

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



ФІЗИКА

9



*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Наказ № 56 від 02.02.2009 р.)*

Працівники Міністерства освіти і науки України
та Інституту інноваційних технологій і змісту освіти,
які є відповідальними за підготовку підручника до видання:
О. В. Хоменко — головний спеціаліст МОН України
І. А. Юрчук — методист вищої категорії
Інституту інноваційних технологій і змісту освіти

Експерти, які здійснювали експертизу рукопису підручника
та рекомендували його до друку:

- І. І. Бродин* — кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики твердого тіла
Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника
В. Г. Бар'яхтар — доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАН України,
директор Інституту магнетизму НАН України
М. В. Головка — кандидат педагогічних наук, заступник директора Інституту
педагогіки АПН України
О. М. Дума — вчитель-методист гімназії № 4 м. Одеси
З. Я. Євтушик — методист ММК Ковельського міського управління освіти Волинської обл.
В. М. Карпова — вчитель-методист гімназії № 28 м. Запоріжжя
О. М. Хоренко — методист Київського ОІПОПК

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

**Ш97 Фізика : 9 кл. : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. / М. І. Шут, М. Т. Мартинюк,
Л. Ю. Благодаренко — К. : Ірпінь : Перун, 2009. — 224 с. : іл.**

ISBN 978-966-569-264-5

ББК 22.3я721

© ВТФ «Перун», 2009

© Шут, М. І., Мартинюк, М. Т.,
Благодаренко, Л. Ю., 2009

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено.

ЯК ПРАЦЮВАТИ З ПІДРУЧНИКОМ

Поради для учнів

Підручник є для вас основним джерелом знань. Тому, працюючи з підручником, ви повинні налаштуватися на серйозну, кропітку роботу, на глибоке усвідомлення змісту навчального матеріалу.

Роботу з підручником здійснюйте у такій послідовності:

- ознайомтесь із загальною будовою підручника, його змістом, передмовою. Це дасть вам можливість одержати загальне уявлення про підручник, а також питання, які в ньому розглядаються;
- читайте матеріал параграфа від початку до кінця;
- виявляйте незнайомі слова, терміни, вирази, назви і намагайтесь знайти роз'яснення за допомоги додаткових засобів;
- при повторному читанні тексту вирізняйте основні думки та намагайтесь поступово усвідомити прочитане;
- класифікуйте й узагальнюйте факти, формулюйте основні ідеї, викладені у параграфі.

Підручник містить рубрики:

- **Поглибте свої знання**
- **Від теорії до практики**
- **Підготуйте повідомлення**
- **Це цікаво знати**
- **Історична довідка**

Як бачите, кожна рубрика має колір. Ознайомтесь з деякими з них.

«Перевірте себе»

Щоби впевнитись у тому, що ви зрозуміли і засвоїли навчальний матеріал, слід виконати завдання, наведені у кінці параграфів.

Деякі з них є експериментальними, оскільки експеримент слугує основним методом дослідження природних явищ. Для вас експеримент теж буде одним із джерел знань.

Отже, як треба правильно експериментувати?

- визначте мету дослідження або спостереження;
- чітко усвідомте, що саме потрібно зробити для досягнення поставленої мети;
- сплануйте дослід, визначте послідовність своїх дій;
- підготуйте необхідне обладнання;
- виконайте заплановані дії;
- опишіть результати експерименту, виконайте рисунки, які його пояснюють;
- проаналізуйте одержані результати, зробіть висновки відповідно до поставленої мети.

«Тестові завдання»

Тестові завдання подані після кожного розділу і мають на меті допомогти вам самостійно оцінити свої навчальні досягнення.

Кожний тест містить 6 завдань, які охоплюють весь навчальний матеріал розділу і диференційовані за рівнем складності. За кожне правильно виконане завдання виставляються певні бали, а саме: за кожне з перших трьох завдань — по 1 балу, за четверте завдання — 2 бали, за п'яте завдання — 3 бали, за шосте завдання — 4 бали. Залежно від кількості одержаних балів ви зможете визначити свій рівень навчальних досягнень відповідно до 12-бальної шкали оцінювання.

Електричне поле

- Статична електрика — звідки вона з'являється?
- Як заряджаються хмари?
- Чи заряджаються тіла на відстані?
- Найменший заряд — який він?
- Де шукати електрони?
- Чи можуть заряди зникнути?
- Атмосферна електрика — це небезпечно?
- Чи проводить людина електричні заряди?
- Електричне поле — яке воно?
- Матерія — це речовина і поле
- Чи має електричне поле енергію?
- Один кулон — це багато чи мало?
- Закон Кулона та його роль в електростатиці

У курсах фізики 7-го і 8-го класів ми говорили про явища, які безпосередньо сприймаються нашими органами чуття — про рух, теплоту, звук, світло. Вивчення цих явищ пов'язане з багатьма труднощами, але їх існування не можна ставити під сумнів. Тепер ми переходимо до явищ, які не є такими очевидними — електричних і магнітних. Ці явища на перший погляд абсолютно різні, але вони нерозривно пов'язані між собою і є складовими одного класу фізичних явищ — електромагнітних. Отже, учення про електрику і магнетизм охоплює величезну сукупність явищ мега-, макро- і мікросвіту, які відбуваються внаслідок електромагнітної взаємодії. Електромагнітною є взаємодія між ядрами та електронами в атомах, міжатомна взаємодія в молекулах, міжмолекулярна взаємодія. До електромагнітної природи відносяться сили пружності, тертя, сила наших м'язів; ними визначаються хімічні перетворення. Електромагнітні явища відіграють істотну роль у космосі: випромінювання електромагнітної енергії Сонцем і зорями впливає на земні процеси. Без електромагнітних явищ не можна уявити сучасне життя: це електричне освітлення, зв'язок, радіотехнічні та електротехнічні пристрої, електродвигуни, комп'ютери.

Електричні та магнітні явища було відкрито вже декілька тисяч років тому, проте пояснити їх виявилось досить складно. Лише в середині XIX століття з'явилася теорія, яка пояснила і передбачила безліч нових явищ і фактів. Внаслідок різноманітності і багатства проявів електромагнітних явищ їх дослідження є важливим інструментом пізнання законів природи.

Отже, знайомство з електромагнітними явищами ми починаємо з вивчення найпростіших електричних явищ.

§1 Електризація тіл. Електричний заряд. Два роди електричних зарядів

1. Навколо нас завжди відбувається багато цікавих явищ, над якими ми навіть не замислюємось. А от у стародавні часи люди дуже уважно спостерігали за навколишнім світом і намагались пояснити все, що в ньому відбувалось. Саме завдяки цьому виникла така наука, як філософія, з якої пізніше виділились і природничі науки.

Отже, пригадаємо і спробуймо пояснити найпростіші електричні явища, які всім вам добре відомі: якщо в суху погоду ви знімаєте одяг, то чуєте легке потріскування, а у темряві навіть бачите іскри; якщо взимку торкаєтесь хутра або металевих поверхонь, то ваші пальці зазнають больового відчуття; якщо розчісуєте сухе волосся пластмасовим гребінцем, то волосся притягується до гребінця.

Візьміть звичайне скло і потріть його аркушем паперу або шовковою тканиною. Ви побачите, що скло почне притягувати до себе дрібні папірці, пушинки, соломинки, нитки, навіть тонкі струмені води. Таких властивостей внаслідок тертя набувають й інші речовини, зокрема ебоніт, потертий об вовну або хутро. Цікаво, що ще давньогрецький філософ Фалес Мілетський за 600 років до нової ери описав здатність бурштину, потертого об вовну, притягувати легкі предмети. До речі, як свідчать історичні трактати, цю властивість помітили ткалі під час своєї роботи, оскільки веретена в давнину виготовлялися з бурштину. А наприкінці XVI ст. англійський лікар і учений Вільям Гільберт описав понад 20 речовин, які мають аналогічні властивості. Саме Гільберт уперше ввів термін «електрика» (від гр. *ἤλεκτρον* – смола, бурштин),



а

рис. 1



б

рис. 1

від якого надалі утворились слова «електричний», «електризація» тощо.

*Отже, виникнення в натертих тіл властивості притягувати інші тіла називається **електризацією**, а самі натерті тіла — **наелектризованими** або **зарядженими**.*

2. Тепер перевірмо, чи взаємодіють між собою наелектризовані тіла.

Зробімо невеликий легкий циліндрик із металевої фольги і підвісьмо його до лапки штатива на шовковій нитці. Доторкнімося до циліндрика скляною паличкою, потертою об папір (або шовк). Ми побачимо, як циліндрик відштовхнеться від палички, відхилиться на деякий кут і залишиться в такому положенні (рис. 1, а). Очевидно, що циліндрик після взаємодії з паличкою теж став наелектризованим (зарядженим), причому зарядився він однаково з паличкою. Якщо тепер ми натremo ебонітову паличку об вовну (або хутро) і піднесемо її до циліндрика так, щоб між ними не було безпосереднього контакту, то циліндрик притягнеться до палички (рис. 1, б).

Ці досліди свідчать про те, що *скляна та ебонітова палички зарядилися по-різному*. Саме тому різним виявився і *характер взаємодії заряджених тіл* — у першому досліді вони *відштовхувались*, а в другому — *притягувались*. Очевидно, що під час виконання цих дослідів ми використали *види електризації тіл* — через *тертя* і через *дотик*.

Якщо продовжити досліди і доторкнутися до циліндрика ебонітовою паличкою, то циліндрик повернеться у вертикальний стан. А це означає, що він більше не є *зарядженим*. З цього можна зробити висновок: *тіла, заряджені по-різному, при доторканні втрачають ті властивості, яких вони набули в результаті електризації*.

Отже, ми з'ясували, що між наелектризованими тілами відбувається **взаємодія**. Така взаємодія називається **електричною**.

3. Причина всіх розглянутих вище явищ полягає в тому, що в природі існують два роди електричних зарядів, які мають протилежні знаки: позитивний (+) і негативний (-). Всі наелектризовані тіла мають певний позитивний або негативний заряд. *Набутий тілами внаслідок електризації електричний заряд називається статичною електрикою.* Статична електрика утворюється не лише на Землі, а й в атмосфері (атмосферна електрика). Атмосферна електрика зумовлена тим, що в атмосфері завжди знаходяться заряди. Зокрема, у хмарах є позитивні й негативні заряди, розміщені в різних частинах хмари. Саме внаслідок атмосферної електрики виникає блискавка. Найбільша інтенсивність атмосферної електрики викликає грозові явища в атмосфері.

За величиною заряд може бути більшим або меншим. Це можна перевірити експериментально: якщо в розглянутому вище досліді зарядити кульку від скляної (чи ебонітової) палички двічі, то кулька відхилиться на більший кут. Це означає, що *заряд визначається як знаком, так і числовим значенням.*

Отже, електричний заряд — це фізична величина, яка визначає властивості заряджених тіл брати участь в електричній взаємодії і має певне значення. Заряд позначається літерою q .

За одиницю електричного заряду прийнято **кулон** (1 Кл). Цю одиницю названо на честь французького фізика Шарля-Огюста Кулона, який встановив основний кількісний закон взаємодії електрично заряджених тіл.

Зазначимо, що розподіл зарядів на позитивні й негативні є *умовним*. Головна ж суть, сформульована ще в 1733 р. французьким фізиком Шарлем Дюфе, полягає в тому, що електричні явища можна пояснити, передба-

Набутий тілами внаслідок електризації електричний заряд називається статичною електрикою.

Електричний заряд – це фізична величина, яка визначає властивості заряджених тіл брати участь в електричній взаємодії і має певне значення. Заряд позначається літерою q .

*За одиницю електричного заряду прийнято **кулон** (1 Кл).*

Тіла, які мають електричні заряди одного знаку (однойменні), взаємно відштовхуються, а тіла, які мають заряди протилежного знаку (різнойменні), – взаємно притягуються.

Заряд визначає електричні властивості тіла, а тому він не може існувати сам по собі та завжди пов'язаний з тілами (аналогічно до маси). Заряд – це одна з фундаментальних властивостей матерії.

чивши існування двох родів зарядів – **позитивного** (додатного), якого набуває скляна паличка, потерта об шовк, та **негативного** (від'ємного), якого набуває бурштин, потертий об вовну. Тіла, які мають електричні заряди одного знаку (однойменні), *взаємно відштовхуються*, а тіла, які мають заряди протилежного знаку (різнойменні), – *взаємно притягуються*. При взаємодії заряди протилежного знаку *компенсуються* (або *нейтралізуються*). Так було закладено підґрунтя вчення про електрику.

Відзначмо ще одну дуже важливу особливість електричного заряду: заряд визначає електричні властивості *тіла*, а тому він не може існувати сам по собі і завжди *пов'язаний з тілами* (аналогічно до маси). Заряд – це одна з фундаментальних властивостей матерії.

Запам'ятайте! Проводячи досліди слід враховувати, що при електризації на одному й тому ж тілі можуть одержуватись заряди різних знаків. Наприклад, ебоніт при терті об хутро і шовк електризується негативно, а при терті об папір і гуму – позитивно. Проте часто помилково вважають, що ебоніт завжди заряджається негативно.

Поглибте свої знання

Симетрія в природі. Причина існування такої універсальної властивості природи, як наявність двох родів електричних зарядів, невідома. Вважають, що це – протилежні прояви однієї якості, так само, як «праве» і «ліве». В цьому виявляється фундаментальна властивість матерії – властивість *симетрії*.

У природі найчастіше спостерігається взаємна компенсація електричних зарядів на макроскопічних тілах, внаслідок чого тіла стають електрично нейтральними і не беруть участі в електричних взаємодіях. Наш Всесвіт – добре зрівноважена система позитивних і негативних зарядів. Це не дивно, оскільки однойменні заряди відштовхуються і, якби навколишній світ містив лише однойменні заряди, то він не був би стійким.

Поглибте свої знання

Електрофорна машина. Цікаві та наочні досліди зі статичної електрики можна виконати за допомоги електрофорної машини, яка є в кожному фізичному кабінеті (рис. 2). Електрофорна машина, в якій використовується електризація тертям, складається з двох дисків зі скла, ебоніту або органічного скла, вільно насаджених на горизонтальну вісь (рис. 2). За допомоги рукояті диски приводяться в обертальний рух у протилежних напрямках. Під час обертання диски труться об щіточки, за рахунок чого на кульках електрофорної машини накопичуються заряди. Коли їх стає достатньо, між кульками проскакує електрична іскра.



рис. 2

Історична довідка

Електростатична машина Отто фон Геріке. У XVII – на початку XVIII ст. проводилися численні досліди з наелектризованими тілами. Важливим етапом у розвитку вчення про електрику були досліди німецького ученого Отто фон Геріке. Він побудував першу електростатичну машину, яка являла собою кулю із сірки, насажену на металеву вісь (рис. 3). Кулю можна було обертати. Якщо при цьому до неї прикладалася долоня, то це спричиняло електризацію кулі і проскакування іскор. Наелектризована куля притягувала шматочки золота, срібла, паперу. Геріке експериментально показав, що, крім електричного притягання, існує і електричне відштовхування.



рис. 3

Від теорії до практики

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

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

Атмосферна електризація і літаки. В авіаційній промисловості необхідно враховувати вплив атмосферної електрики при експлуатації літаків, оскільки в процесі польоту з великою швидкістю корпус літака зазнає сильної електризації. Досліджують цю проблему спеціалісти лабораторій атмосферної електрики та геофізичних обсерваторій.

Це цікаво знати

Бурштин— закам'яніла смола. У давнину на Землі було дуже багато покладів бурштину. Тому з нього виготовлялися прикраси, предмети побуту і деякі знаряддя праці.

Бурштин — це викопна смола особливого виду сосни третинного періоду. Колір бурштину може бути медово-жовтим, бурим, червоно-бурим, чорним, білим. Інколи в шматках бурштину трапляються комахи, які колись зав'язли у смолі та закам'яніли в ній.

Перші розробки бурштину в Україні відомі біля Києва (район Міжгір'я та Вишгорода) та на Волині (Клесівське родовище). Сьогодні в єдиному в Україні Кілесівському родовищі добувається щорічно більше 100 кг.

Перевірте себе

1. Які тіла називаються наелектризованими або зарядженими?
2. Якими способами можна наелектризувати тіло?
3. Що називається електричним зарядом?
4. Які два роди електричних зарядів існують у природі?

5. Який електричний заряд вважається негативним, а який — позитивним?
6. Як взаємодіють тіла, заряджені однойменно? різнойменно?
7. Чи може електричний заряд існувати сам по собі, за відсутності тіл або частинок речовини?

Завдання 1

1. Виготуйте легку кульку з тонкого паперу або серветки (всередину кульки для зручності виготовлення покладіть шматочок вати) і підвісьте її на шовковій нитці. Піднесіть до кульки пластмасову лінійку, заряджену через тертя об папір. Спостерігайте за взаємодією між кулькою та лінійкою. Тепер приберіть лінійку і піднесіть до кульки гребінець, потертий об волосся. За характером взаємодії кульки і гребінця визначте, однойменні чи різнойменні заряди виникли на лінійці та гребінці. Як визначити знаки цих зарядів? Виконайте в зошиті рисунок досліду.
2. Відкрийте водопровідний кран і відрегулюйте його так, щоби струмінь води був тонким. Наелектризуйте пластмасову ручку об папір і піднесіть її до струменя води. Спостерігайте, що відбудеться зі струменем, і поясніть це явище. Перевірте результат досліду, використовуючи інші предмети, які можна наелектризувати (лінійка, гребінець, бурштин, ебоніт). Виконайте в зошиті рисунок досліду.
3. Поясніть, чому інколи одяг прилипає до тіла, а при його зніманні ви відчуваєте легке поколювання і чуєте слабкий тріск.
- *4. Для запобігання явища, описаного в попередньому завданні, використовуються антистатика у вигляді ополіскувачів та аерозолів. Ополіскувачі використовуються безпосередньо під час прання, а аерозолі наносяться на сухий одяг. Поясніть механізм їх дії.

Підготуйте повідомлення

Використання взаємодії наелектризованих тіл у техніці.

§2 Прилади для виявлення електризації тіл. Дискретність електричного заряду



рис. 4



рис. 5

1. Для виявлення на тілах електричного заряду та визначення його знака застосовується прилад, який називається *електроскопом*. Електроскоп (рис. 4) являє собою скляний циліндричний корпус. У верхній частині корпусу встановлено пластмасову пробку, за допомоги якої всередині корпусу закріплено металевий стержень із двома тонкими паперовими смужками на кінці. Якщо будь-яким зарядженим тілом доторкнутися до кульки на стержні електроскопа, то паперові смужки відштовхнуться одна від одної. При цьому, що більше наелектризоване тіло, то на більший кут розійдуться смужки, і навпаки. Отже, за зміною кута, на який розходяться паперові смужки електроскопа, можна судити про *ступінь наелектризованості тіла*.

Існує також електроскоп складнішої конструкції, який називається *електрометром* (рис. 5). Електрометр являє собою металевий корпус, засклений з обох боків і закріплений на підставці. Від електроскопа він відрізняється тим, що на середині його металевого стержня встановлено стрілку-показчик, а на задньому матовому склі нанесено шкалу з поділками. Зауважмо, що *електрометр не вимірює величини заряду*, а лише дозволяє визначати, *більшим чи меншим є наданий тілу заряд* залежно від кутів відхилення стрілки-показчика.

2. Тепер нам необхідно відповісти на важливе питання: чи можна ділити заряди, які знаходяться на тілах? У цьому нам допоможе простий і наочний дослід.

Заряджений електрометр 1 з'єднаймо за допомоги металевої палички, закріпленої на пластмасовій ручці, з таким самим електрометром 2 (рис. 6, а). Ми побачимо, що стріл-

ки-показчики обох електрометрів відхиляться на однакові кути, тобто половина заряду (оскільки електрометри однакові) перейде з першого електрометра на другий. Тепер роз'єднаємо електрометри і розрядимо другий з них, доторкнувшись до нього рукою (заряд із електрометра крізь тіло людини йде в землю). Стрілка другого електрометра після цього встановиться вертикально, що свідчить про відсутність на ньому заряду.

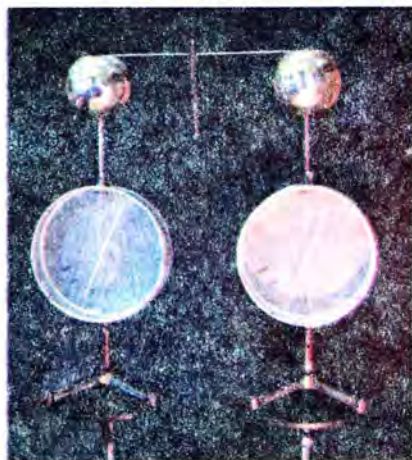
Знову приєднаймо другий електрометр до першого, на якому залишилася половина початкового заряду. Побачимо, що стрілки обох електрометрів знову відхилилися на однакові, але вже менші кути (рис. 6, б). Це свідчить про те, що зарядженими знову є обидва електрометри, але заряд на них дорівнює лише четвертій частині від початкового заряду. Очевидно, що, продовжуючи дослід, можна одержати на електрометрах послідовно одну восьму, одну шістнадцяту тощо частину від початкового заряду. Зрештою, заряд першого електрометра зменшиться так, що стрілки більше відхилитися не будуть.

Отже, ми експериментально довели, що заряд, який є на тілах, *можна ділити*. Але тоді виникає ще одне запитання: чи є *межа* цього поділу? Чи існує в природі *найменший* заряд, який розділити вже неможливо?

Відповідь на це запитання дав англійський фізик Джон-Джозеф Томсон, який передбачив: у природі існує *частинка*, яка має *найменший (елементарний)* електричний заряд. З-поміж багатьох дослідників Томсон та його учні здійснили найбільш точні експериментальні дослідження, і 29 квітня 1897 року Томсон доповів про відкриття першої елементарної частинки. Її було наз-



а



б

рис. 6

Електрон є носієм елементарного негативного заряду.

Електрон – це дуже мала частинка, набагато менша від молекул і атомів. Маса електрона дорівнює $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Носієм елементарного позитивного заряду є протон.

За абсолютною величиною заряди електрона і протона є рівними.

вано електроном. Перше експериментальне вимірювання елементарного заряду виконав американський фізик Міллікен. Виявилося, що заряд електрона негативний і дорівнює $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Отже, *електрон є носієм елементарного негативного заряду.*

Заряди, менші від заряду електрона, невідомі. Мало того, щоразу, коли з достатньою точністю вимірюється певний електричний заряд, він виявляється *кратним* до заряду електрона. Це означає, що *негативний заряд будь-якого тіла складається з цілого числа елементарних зарядів (зарядів електрона).*

Електрон – це дуже мала частинка, набагато менша від молекул і атомів. Маса електрона дорівнює $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Наприклад, маса молекули водню, найменшої з усіх молекул, у 3670 разів більша від маси електрона.

З усієї різноманітності частинок електрон займає особливе місце. Практично всі фізичні процеси в тілах відбуваються за його участі. Тому не випадково, що електрон став першою зарядженою частинкою, відкритою експериментально. З відкриттям електрона почався вік атомної фізики. Стало можливим пояснити багато фізичних явищ, з'явилися пристрої, в яких використано унікальні властивості електронів: комп'ютери, електронні мікроскопи, лазери, теле- і радіоприлади тощо.

Так само, як і негативний заряд, позитивний заряд будь-якого тіла складається з елементарних позитивних зарядів. *Носієм елементарного позитивного заряду є протон.* Позитивний заряд протона дорівнює $+1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, отже, *за абсолютною величиною заряди електрона і протона є рівними.* Маса протона дорівнює $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг і перевищує масу електрона в 1836 разів.

Поглибте свої знання

Частинки і античастинки. Поряд з електрично зарядженими частинками існують їх *античастинки*, які мають *таку саму масу і такий самий, але протилежний* за знаком заряд. Зокрема, античастинкою електрона є *позитрон*, а протона – *антипротон*. Частинки утворюють речовину, а античастинки – антиматерію. При взаємодії частинки і античастинки взаємно знищуються. При цьому за законом збереження виділяється енергія. Цей процес називається *анігіляцією*. У багатьох творах письменників-фантастів описується процес знищення матерії за допомоги антиматерії. Зокрема, про це йдеться у романі «Солярис» видатного польського письменника-фантаста Станіслава Лема.

Перевірте себе

1. У чому полягає основне призначення електроскопа?
2. Опишіть будову електроскопа та поясніть принцип його дії.
3. Чим електроскоп відрізняється від електрометра?
4. Як показати на досліді, що електричний заряд можна ділити?
5. Чи можна ділити електричний заряд нескінченно?
6. Чому дорівнює елементарний електричний заряд?
7. Яка частинка є носієм елементарного негативного електричного заряду? елементарного позитивного електричного заряду?

Завдання 2

1. Самостійно виготуйте електроскоп. Для цього візьміть скляну банку з пластмасовою накривкою (або пластмасову пляшку з накривкою) і відтин товстого металевого дроту (або товстий металевий цвях). За допомоги шовкової нитки закріпіть на кінці дроту (або цвяха) легкі паперові смужки. Пропустіть дріт (або цвях) крізь пластмасову накривку всередину банки (або пляшки). Електроскоп готовий. Після цього перевірте його роботу: зарядіть електроскоп за допомоги наелектризованих тіл. Сфотографуйте заряджений електроскоп і вклейте фотографію в зошит (або виконайте в зошиті рисунок досліду).
2. Використовуючи виготовлений вами електроскоп, експериментально перевірте:
 - а) нейтралізацію зарядів протилежних знаків;
 - б) поділ зарядів, які є на тілах.
3. Чи можна надати тілу заряд, менший від заряду електрона у 2 рази? заряд, більший від заряду електрона у 2,5 рази?
4. Чи може тіло мати заряд $+5,6 \cdot 10^{-19}$ Кл? $-6,4 \cdot 10^{-19}$ Кл?
5. Скількома електронами створюється заряд в «-1 Кл»?



Ернест Резерфорд
(1871 – 1937) –
англійський фізик. Лауреат
Нобелівської премії з хімії
«за проведені ним
дослідження в області
розпаду елементів у хімії
радіоактивних речовин».

*Сума заряду всіх негативно
заряджених електронів
дорівнює позитивному
заряду ядра.*

1. Для того, щоб зрозуміти, чому і як відбуваються електричні явища, зокрема електризація тіл, необхідно пригадати будову речовини, з якою ви ознайомилися в курсі фізики 7-го класу та хімії 8-го класу. Тоді вам стало відомо, що підґрунтям сучасної фізики є ядерна (планетарна) модель атома, на підставі дослідів запропонована англійським фізиком Ернестом Резерфордом.

Згідно з цією моделлю, в центрі атома міститься *позитивно* заряджене **атомне ядро**. Навколо ядра по замкнених орбітах рухаються **електрони**. Орбіти електронів утворюють *електронні оболонки*, що їх наближено можна уявити як концентричні сфери навколо ядра. На кожній орбіті оболонки може бути лише один електрон. Оскільки ядро заряджене *позитивно*, а електрони *негативно*, вони притягуються до ядра. Саме тому ядерна модель атома називається ще *планетарною*: електрони рухаються навколо ядра аналогічно до того, як планети Сонячної системи рухаються навколо Сонця. Але слід зауважити: за багатьма ознаками ця аналогія досить *умовна*.

У нормальному стані (за відсутності зовнішніх впливів) атом є електрично *нейтральним*. Це означає, що *сума заряду всіх негативно* заряджених електронів *дорівнює позитивному* заряду ядра.

Ядро атома – теж *складне* утворення. Ядро складається з *позитивно* заряджених **протонів** і *незаряджених (нейтральних)* частинок – **нейтронів**. Протони і нейтрони називаються ще *нуклонами*. Вам уже відомо, що заряд протона за абсолютною величиною дорівнює заряду електрона. Відповідно, *кількість електронів, що рухаються навколо ядра, дорівнює кількості*

протонів у ядрі. Ця кількість визначається *порядковим номером елемента* в періодичній системі елементів Менделєєва. Наприклад, порядковий номер Оксигену в таблиці Менделєєва – 8. Це означає, що в ядрі атома Оксигену міститься 8 протонів, а по орбітах навколо ядра рухаються 8 електронів.

Число електронів (і, відповідно, протонів) у різних атомів є різним, причому воно може бути як малим, так і досить великим: зокрема, в атомі гідрогену навколо ядра рухається 1 електрон, а в атомі золота – 79.

Основну масу атома (99,98 %) зосереджено в ядрі, оскільки маси протона і нейтрона (які є майже однаковими) набагато перевищують масу електрона. Уявлення щодо розмірів атома дає таке порівняння: уперек нігтя мізинця (1 см) можна було б розмістити 100 000 000 атомів!

Запам'ятайте! Розглянута ядерна модель атома є дуже *спрощеною*, а тому вона дозволяє пояснити лише *найпростіші* фізичні явища. За уявленнями сучасної фізики будова атома набагато складніша.

Але стан атома не завжди буває нормальним. У деяких випадках атом може зазнавати суттєвих зовнішніх впливів (нагрівання, сильне опромінення тощо). За таких умов нейтральний атом *втрачає один або кілька електронів*, і тоді в ньому виявляється надлишок *позитивного заряду*. У такому разі атом перетворюється на **позитивно заряджений йон** (позитивний заряд ядра не компенсується негативним зарядом електронів).

І навпаки, якщо атом *набуває надлишкових електронів*, то він стає **негативно зарядженим йоном** (в цьому разі не компенсованим виявляється негативний заряд електронів).

На рис. 7 зображено атом берилію (а) та його позитивний (б) і негативний (в) йони.

Кількість електронів, що рухаються навколо ядра, дорівнює кількості протонів у ядрі.

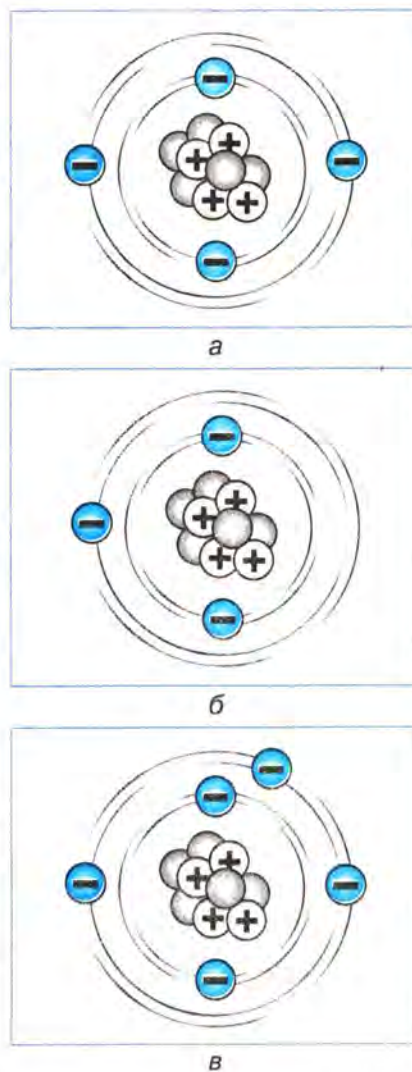


рис. 7

Зверніть увагу! На рис. 7 зображено не орбіти електронів, а електронні оболонки. Як ви вже знаєте, *два електрона не можуть рухатися по одній орбіті.*

2. Тепер ви одержали достатньо відомостей для розуміння того, що відбувається з тілами в процесі електризації та чому вони стають зарядженими.

Виконаймо ще один дослід із електризації. Для цього скористаймося двома пластинками для електризації (ебонітовою і з органічного скла) та електрометром, на який зверху надіто порожню металеву кулю.

Спочатку почергово помістімо в порожню кулю незаряджені пластинки і впевнімося у тому, що *електрометр не фіксує наявності будь-якого заряду.* Це означає, що *пластинки є електрично нейтральними:* негативний заряд кожної пластинки дорівнює її позитивному заряду.

Після цього щільно притиснімо пластинки одну до одної, наелектризуємо їх за допомогою тертя і окремо помістімо всередину кулі. В обох випадках стрілка електрометра відхилиться на однакові кути (рис.8, а). А це означає, що *в результаті тертя однаково зарядились обидві пластинки.* Тепер помістімо пластинки в порожнину кулі одночасно. Побачимо, що стрілка електрометра залишиться нерухомою — електрометр не виявить ніякого заряду (рис.8, б). Виникає запитання: де зник заряд, адже пластинки є зарядженими? Відповідь на це запитання — проста: заряди пластинок *нейтралізувались*, а, отже, вони є *рівними і протилежними за знаком.* Якщо ж забрати одну з пластинок із кулі, то стрілка знову відхилиться.

Одержаний нами експериментальний результат дає можливість зробити висновок: **при електризації заряджаються обидва тіла,**



а



б

рис. 8

причому заряди на них є протилежними за знаком і рівними за величиною.

Пояснімо механізм електризації тіл, використовуючи знання про будову атома. За щільного контакту двох тіл (унаслідок тертя) їхні атоми в місцях дотику наближаються один до одного. Взаємодіючи між собою, вони можуть захоплювати або віддавати частину електронів, які значно віддалені від ядра (такі електрони порівняно слабо утримуються ядром). Цим і пояснюється те, що на одному тілі утворюється надлишок електронів, а на іншому — їх нестача.

Відповідно, тіла, атоми яких унаслідок тертя *набули зайвих електронів*, заряджаються *негативно*, а тіла, атоми яких *втратили електрони*, — *позитивно*.

Отже, під час електризації тіл тертям заряди **не створюються і не зникають**, вони лише **перерозподіляються** між контактуючими тілами. При цьому сумарний заряд тіл **не змінюється**.

Запам'ятайте! При виникненні як негативного, так і позитивного зарядів перемішуються з одного тіла на інше *лише електрони*.

Отже, ви ознайомилися з механізмом електризації через тертя. А що ж відбувається при електризації через дотик? При електризації через дотик із зарядженого тіла на незаряджене переходить частина надлишкового заряду, який утворюється при електризації тіла. Цей надлишок перерозподіляється між тілами залежно від площі їхньої поверхні: *що більшою є площа поверхні тіла, то більший заряд утворюється на цьому тілі*.

Отже, можна зробити важливі висновки:

- внаслідок електризації *через тертя* тіла заряджаються однаковими за величиною, але протилежними за знаком зарядами;
- внаслідок електризації *через дотик* тіла

При електризації заряджаються обидва тіла, причому заряди на них є протилежними за знаком і рівними за величиною.

Тіла, атоми яких внаслідок тертя набули «зайвих» електронів, заряджаються негативно, а тіла, атоми яких втратили електрони, — позитивно.

• *Внаслідок електризації через тертя тіла заряджаються однаковими за величиною, але протилежними за знаком зарядами.*

• *Внаслідок електризації через дотик тіла заряджаються однаковими за знаком зарядами, при цьому величина заряду, якого набувають тіла, залежить від площі їхніх поверхонь.*

Сумарний заряд тіл до електризації дорівнює їхньому сумарному заряду після електризації.

Під замкненою електричною системою розуміють сукупність тіл, які не одержують електричного заряду з навколишнього середовища, тобто є ізольованими від зовнішніх заряджених тіл.

Повний електричний заряд замкненої системи тіл є величиною постійною та дорівнює алгебраїчній сумі позитивних і негативних зарядів цих тіл.

заряджаються однаковими за знаком зарядами, при цьому величина заряду, якого набувають тіла, залежить від площі їхніх поверхонь.

3. Спостереження та експериментальні дослідження явища електризації дозволили нам зробити важливий висновок: *сумарний заряд тіл до електризації дорівнює їхньому сумарному заряду після електризації*. Справді, внаслідок електризації на одному тілі з'являється негативний заряд, а на іншому — позитивний, але рівний негативному за абсолютною величиною. При цьому алгебраїчна сума зарядів обох тіл залишається такою, якою вона була до електризації, тобто рівною нулю.

Але цей результат має місце лише в замкненій електричній системі. Під **замкненою електричною системою** розуміють *сукупність тіл, які не одержують електричного заряду з навколишнього середовища, тобто є ізольованими від зовнішніх заряджених тіл*. Зокрема, в розглянутих дослідах з електризації — це два тіла: ебонітова паличка і хутро; скляна паличка і шовк; ебонітова пластинка та пластинка з органічного скла.

Враховуючи всі висновки, яких ми дійшли, можна сформулювати основоположний у теорії електрики закон збереження електричного заряду:

повний електричний заряд замкненої системи тіл є величиною постійною та дорівнює алгебраїчній сумі позитивних і негативних зарядів цих тіл.

Цей закон є одним з найголовніших законів природи (такі закони називаються фундаментальними). Сучасна наука підтверджує, що закон збереження заряду виконується в мікро-, макро- і мегасвітах.

Від теорії до практики

Електризація в боротьбі проти шкідників. Електризація через тертя успішно використовується для захисту рослин від шкідників. Річ у тім, що електрично заряджені отрутохімікати тримаються на листі рослин міцніше, ніж за відсутності на них зарядів. Це пояснюється тим, що внаслідок електризації через тертя в місцях дотику частинок отрутохімікатів з листям утворюються протилежні за знаком заряди. Це забезпечує міцне електричне притягання між отрутохімікатами і листям.

Це цікаво знати

Які відстані між частинками в атомах? Одержати уявлення про густину розташування ядер і електронів в атомах можна на такому прикладі: якби об'єм людини масою 80 кг зменшився за рахунок відстаней між ядрами та електронами, тобто електрони розташувалися впритул до ядер, то новий об'єм людини став би рівним мільйонній частині голівки шпильки (близько 10 куб. мм).

Перевірте себе

1. Опишіть ядерну модель атома. Чому вона називається планетарною?
2. Які частинки входять до складу атомного ядра?
3. Які відомості про атом можна одержати, знаючи порядковий номер елемента в періодичній системі елементів Менделєєва?
4. Чим різняться такі частинки, як електрон, протон і нейтрон?
5. Як утворюються позитивні і негативні йони?
6. Поясніть механізм електризації тіл. Чому в процесі електризації заряджаються обидва тіла?
7. Чи змінюється в процесі електризації сумарний заряд тіл, що електризуються?
8. Чому в нормальному стані тіла є електрично нейтральними?
9. Яка електрична система називається замкненою?
10. Сформулюйте закон збереження електричного заряду. Чому цей закон називають фундаментальним?

Завдання 3

1. Поясніть, у чому полягає умовність аналогії між планетарною моделлю атома Резерфорда і Сонячною системою?

2. Ядро атома золота містить 197 нуклонів. Порядковий номер золота в періодичній системі елементів Менделєєва дорівнює 79. Скільки електронів, протонів і нейтронів в атомі золота?
3. Атом срібла втратив один електрон. На що перетворився атом срібла? Який заряд цієї частинки?
4. Чи може тіло одночасно мати позитивний і негативний заряди?
5. Зарядженому позитивно тілу надали такий самий за абсолютною величиною негативний заряд. Яким стало тіло? Чи можна при цьому стверджувати, що заряди в тілі зникли?
6. При розчісуванні сухого волосся ваш пластмасовий гребінець зарядився позитивно. А який заряд виник на волоссі? Відповідь поясніть.
- *7. Чи знаєте ви, що після посадки літака трап до нього підганяють не одразу, а спочатку опускають на землю металевий трос, з'єднаний з корпусом літака. Поясніть, для чого це роблять?
- *8. Наведіть приклади, які підтверджують закон збереження електричного заряду.

Підготуйте повідомлення

Практичне застосування електричних явищ у технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.

§4 Провідники, напівпровідники, ізолятори. Електризація через вплив



а

рис. 9

1. Виконуючи досліди з електризації, ми впевнилися в тому, що:

- електричні заряди можуть переходити із *зарядженого тіла на незаряджене* (наприклад, з наелектризованої палички на електрометр);
- електричні заряди можуть *переміщуватися вздовж самого зарядженого тіла* (електрометр заряджався через дотикання наелектризованої палички до верхнього кінця металевого стержня, а відхилялась стрілка, яка міститься на іншому кінці).

Звідси виникає запитання: а чи переміщуються електричні заряди вздовж будь-якого тіла? Для відповіді на це запитання виконаємо нескладний дослід. Поставимо поряд два

електрометри, зарядімо один із них і з'єднаймо його з іншим за допомоги металевої палички (лінійки, дротини).

Побачимо, що стрілки обох електрометрів відхилилися на однакові кути (рис. 9, а). Отже, *вздовж металу заряди переміщуються*.

Тепер повторімо дослід, але з'єднаємо заряджений і незаряджений електрометри скляною паличкою (ебонітовою, пластмасовою). При цьому стрілка другого електрометра залишиться нерухомою (рис. 9, б). Це означає, що *вздовж скла заряди не переміщуються*.

Отже, залежно від здатності до переміщення (проведення) електричних зарядів розрізняють три види речовин:

- **провідники** — речовини, в яких електричні заряди переміщуються (метали, водні розчини кислот, лугів, солей, вода, тіло людини);
- **діелектрики (ізолятори)** — речовини, в яких електричні заряди не переміщуються (скло, повітря, дерево, гума, бурштин, шовк, пластмаса);
- **напівпровідники** — речовини, в яких електричні заряди можуть переміщуватися лише за певних умов (кремній, фосфор, сірка).

З властивостями провідників, діелектриків і напівпровідників ви ознайомитеся під час вивчення розділу 2.

Розподіл речовин на провідники і діелектрики можна пояснити на основі знань про будову атома. Зокрема, в металах частина електронів, як ви знаєте, рухаються в атомах навколо ядер, а частина є *вільними*. Вільні електрони безладно рухаються між атомами, утворюючи *електронний газ*. Така внутрішня будова притаманна лише металам. Вільні електрони, як ви вже знаєте, є носіями електричного заряду, отже, вони і забезпечують переміщення зарядів уздовж



б

рис. 9

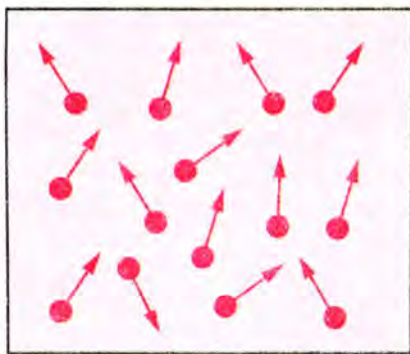


рис. 10

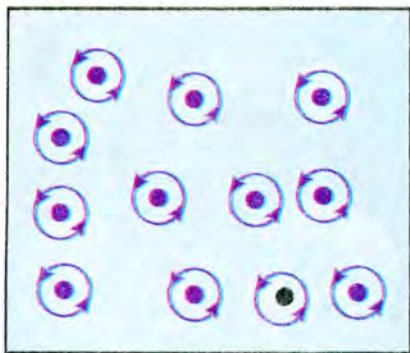


рис. 11

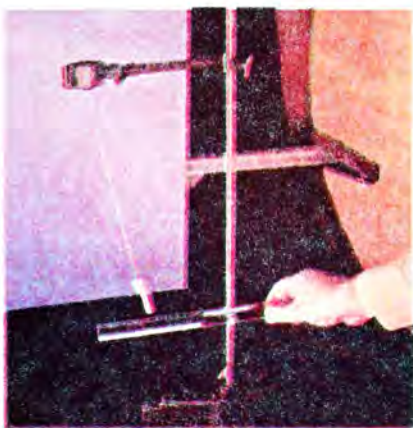


рис. 12

провідника. На рис. 10 показано схему провідника. Точками на ній позначено електрони, а стрілками — напрямки їхнього руху. Як бачимо, напрямки руху електронів безладні.

В ізоляторах вільних електронів немає. Електрони в атомах ізоляторів рухаються навколо ядер, тому вони не можуть забезпечити переміщення зарядів уздовж провідника (рис. 11).

2. Крім розглянутих нами способів електризації тіл (через тертя, через дотик) є ще один, з яким нам слід ознайомитися для глибшого розуміння механізму електричних явищ.

Отже, повернімося до першого досліду з електризації, в якому ми заряджали циліндрик із металеві фольги за допомоги наелектризованої палички. Але тепер трохи змінимо умови досліду: піднесімо позитивно заряджену скляну паличку до циліндрика, але не торкаймося його. Циліндрик все одно відхилиться від свого початкового положення і притягнеться до палички (рис. 12). Те саме відбудеться, якщо до циліндрика піднести негативно заряджену ебонітову паличку. При цьому за допомоги електromетра можна впевнитися в тому, що під час досліду циліндрик залишається нейтральним.

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

Аби пояснити цей факт, достатньо пригадати, що негативно заряджені електрони можуть вільно переміщатися вздовж металевго провідника. При піднесенні до кульки з металеві фольги позитивно зарядженої скляної палички негативно заряджені вільні електрони будуть притягуватися до палички і сконцентруються на тій частині кульки, яка найближча до палички. Відповідно, на протилежній частині кульки виникне нестача

електронів, тобто надлишок позитивного заряду, але в цілому кулька залишиться нейтральною (рис. 13). Після прибирання зарядженої палички кулька повернеться у вихідний стан.

Розглянутий спосіб електризації тіл називається **електризацією через вплив**. Заряди, які з'являються на тілах у процесі електризації через вплив, називаються *наведеними*, або *індукованими* (від латинського слова *inductio* — наведення).

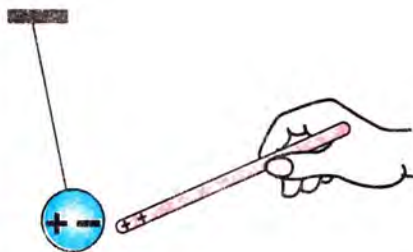


рис. 13

Поглибте свої знання

Як виникає блискавка? Після ознайомлення з властивостями провідників щодо перенесення електричного заряду можна пояснити механізм утворення блискавки. Ви вже знаєте, що у хмарах є позитивні та негативні заряди. Вони розміщені в різних частинах хмари. Найчастіше негативні заряди розміщені на нижній частині хмари, відстань від якої до поверхні Землі складає 1–2 км. Виникнення блискавки починається з появи *каналу блискавки (лідера)*, який досягає поверхні Землі та ніби з'єднує хмару і Землю *провідником*. Відповідно, канал блискавки спрямовується на такий об'єкт на Землі, на якому внаслідок електризації через вплив виникає надлишок позитивного заряду (вістря парасольок, високі сухі дерева, поодинокі предмети на відкритій місцевості). Через канал блискавки негативні заряди з хмари починають рухатись до Землі, де вони нейтралізуються позитивними зарядами. При цьому спостерігається яскраве світіння, нагрівання повітря і виникнення ударної хвилі — грому.

Історична довідка

Зароди науки. Російські вчені Михайло Ломоносов і Георг Ріхман, вивчаючи атмосферну електрику, довели, що блискавка має електричну природу. Георг Ріхман досліджував блискавку за допомоги спеціальної «гromової машини» — високої металевої жердини, яка проходила крізь дах приміщення для дослідів. Під час сильної грози 6 серпня 1753 р., виконуючи свої досліді, Ріхман був убитий сильним грозовим розрядом. Але дослідження Ломоносова і Ріхмана мали величезне практичне значення — вони запропонували захист споруд за допомоги блискавковідводів.

Історична довідка

Хто украв блискавку? Суттєвий внесок у розвиток вчення про електрику зробив відомий американський політичний діяч, вчений і філософ Бенджамін Франклін. Він, зокрема, здійснив блискучий експеримент, пропустивши розряд блискавки по вологій мотузці від повітряного змія. Фактично Франклін добровільно міг стати провідником блискавки! Проте він не постраждав і здійснив ще багато корисного для розвитку фізики. Цікаво, що на могильному камені Франкліна вибито таку епітафію: «Він украв блискавку з небес».



рис. 14

Від теорії до практики

Де заховатися від грози? Тепер, коли ви дізнались, як виникає блискавка, можна з'ясувати правила безпечної поведінки під час грози. Отже, подивіться на рис. 14: очевидно, що найбільшої небезпеки зазнають люди, які намагаються заховатися під високими деревами або під парасольками. Якщо гроза запопала вас на відкритій місцевості, краще заховатися у невисоких кущах або взагалі лягти на землю.

Перевірте себе

1. Назвіть три види речовин залежно від їхньої здатності щодо переміщення електричних зарядів.
2. Які речовини називаються провідниками, а які — діелектриками?
3. Як на досліді можна встановити, є тіло провідником чи ізолятором?
4. Чи існують інші види електризації, крім електризації через тертя і через дотик?
5. Поясніть механізм електризації через вплив.
6. Поясніть, чому в досліді, зображеному на рис. 13, при піднесенні до циліндрика з металевої фольги позитивно зарядженої скляної палички негативно заряджені вільні електрони притягуються до палички і концентруються на тій частині циліндрика, яка найближча до палички.

Завдання 4

1. Виготуйте дві легкі кульки з металевої фольги і підвісьте одну з них на шовковій нитці, а іншу — на дуже тонкому металевому дроті (або металевій нитці), які з'єднані із землею. Спостерігайте за тим, що відбудеться з кульками, якщо торкнутися кожної з них зарядженою скляною (або пластмасовою) паличкою. Виконайте в зошиті рисунок досліду і поясніть його результат.
2. Поясніть, чи можна, тримаючи в руці, зарядити скляну паличку? металевий стрижень?
3. Чому блискавковідвід виготовляють із металу?
4. На одній з двох однакових заряджених кульок є надлишок 10 електронів. Кульки сполучили між собою провідником. Як розподіляться електрони між кульками?
5. Чи можна зарядити тіло, не торкаючись до нього іншим зарядженим тілом? Як при цьому розподіляться заряди в тілі, що заряджається? Запропонуйте метод для експериментальної перевірки своєї відповіді. Виконайте в зошиті рисунок досліду.
6. Чим відрізняються провідники від діелектриків під кутом зору їхньої внутрішньої будови?
- *7. Поясніть, чому явище електризації через тертя відкрили за допомоги тіл, які не проводять електричних зарядів?

Підготуйте повідомлення

Принцип дії блискавковідводу.

§5 Електричне поле. Взаємодія заряджених тіл

1. Вивчаючи попередній матеріал ви за допомоги експериментів впевнилися в тому, що в процесі електризації ненаелектризовані тіла під впливом наелектризованих тіл набувають електричних властивостей. Але одна справа, коли між тілами відбувається дотик — при цьому заряди переходять з одного тіла на інше і розподіляються між ними. А як відбувається електризація через вплив — адже при цьому немає безпосереднього контакту між тілами? За допомоги

чого та як у цьому випадку наелектризоване тіло діє на ненаелектризоване? Можна було би передбачити, що це відбувається за рахунок певних особливостей повітря, але за відсутності заряджених тіл ніяких електричних взаємодій у повітрі не фіксується. Як же відбувається взаємодія зарядів на відстані? Це питання дуже цікавило вчених.

Упродовж XIX століття у фізиці панувала теорія далекодії, згідно з якою вважалося, що заряди миттєво діють крізь порожнечу один на одного без участі будь-якого матеріального посередника. При цьому кожний заряд ніби «відчуває» на відстані присутність іншого. Але ця теорія була надто штучною, оскільки не пояснювала, чому в одних випадках взаємодія між зарядженими тілами є більшою, а в інших — меншою. Пошуком правильної теорії взаємодії заряджених тіл учені різних країн переймалися впродовж багатьох десятиліть.

І от, нарешті, наприкінці XIX століття найвидатніший з експериментаторів того часу, засновник сучасних уявлень про електромагнетизм англійський фізик Майкл Фарадей запропонував неочікувану гіпотезу. Слід відзначити, що Фарадей завжди геніально визначав ключові напрямки пошуку і віддавав перевагу новим сміливим ідеям. Отже, Фарадей вважав, що простір, який оточує заряджені тіла, відрізняється від звичайного простору, в якому містяться незаряджені тіла. Тому він увів у фізику абсолютно нове поняття — поняття про електричне поле. Згідно з ідеєю Фарадея, у просторі навколо зарядженого тіла виникає електричне поле. Саме через електричне поле одне заряджене тіло діє на інше. Після введення Фарадесм поняття електричного поля у фізиці почала розвиватись теорія близькодії. Згідно з цією теорією, взаємодія між зарядами зі скінченною швидкістю передається

Теорія далекодії, згідно з якою вважалося, що заряди миттєво діють крізь порожнечу один на одного без участі будь-якого матеріального посередника.

Теорія близькодії. Згідно з цією теорією взаємодія між зарядами зі скінченною швидкістю передається крізь електричне поле, яке оточує ці заряди.

крізь електричне поле, яке оточує ці заряди. Отже, за сучасними поглядами матеріальним носієм взаємодії зарядів є електричне поле. У вченні про електрику електричне поле відіграє основну роль. Теорія далекодії сьогодні становить лише історичний інтерес.

2. Що являє собою електричне поле? Головна його особливість — матеріальність. Це означає, що електричне поле — вид матерії, її особливий, специфічний стан. Пригадаймо, що *матерія існує незалежно від нашої свідомості*, а, отже, це стосується і електричного поля. До цього вам був знайомий лише один вид матерії — речовина. Тепер ви знаєте, що *матерія — це не лише речовина, а ще й поле*. Крім електричного, існує багато інших полів — гравітаційне, магнітне, електромагнітне, з проявами яких ви ознайомитесь у подальшому. А поки що запам'ятайте нескладну, але дуже важливу формулу:

матерія — це речовина і поле.

Дослідження властивостей фізичних полів сьогодні є одним із найважливіших завдань фізики. Від речовини будь-яке поле, зокрема й електричне, відрізняється, насамперед, тим, що його не можна безпосередньо сприймати за допомоги органів чуття. Ви знаєте, що для спостереження за матеріальним об'єктом ми використовуємо зір, слух, дотик тощо; саме вони надають нам інформацію про спостережуваний об'єкт або явище і підтверджують їх наявність. Проте електричне поле не діє безпосередньо на наші органи чуття. Саме з цим пов'язані деякі ускладнення при введенні поняття електричного поля, адже важко повірити в реальність того, чого безпосередньо не відчуваєш!

Матеріальним носієм взаємодії зарядів є електричне поле.

Матерія — це не лише речовина, а ще й поле.

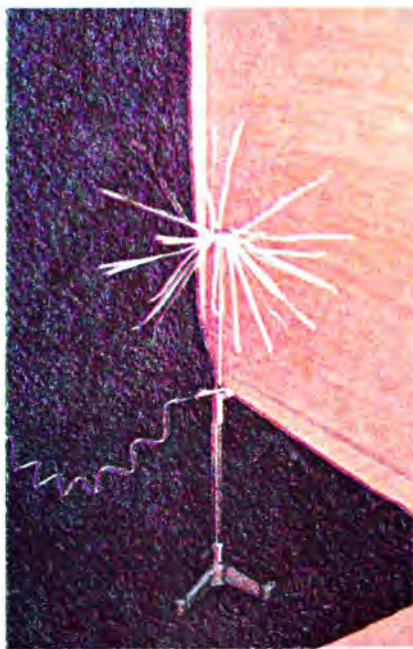


рис. 15

Сила, яка діє на заряджені тіла або заряди в електричному полі, називається **електричною силою**.

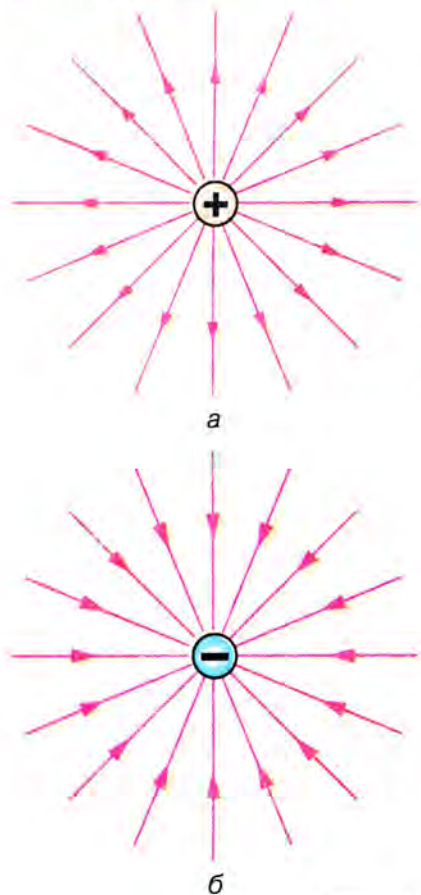


рис. 16

Фізична величина, яка називається **напруженістю електричного поля** і є **силовою характеристикою поля**.

Упевнитися в існуванні електричного поля можна за його діями.

Основною ознакою наявності електричного поля є те, що на будь-яке заряджене тіло або заряд, унесені в це поле, діє **сила**.

Сила, яка діє на заряджені тіла або заряди в електричному полі, називається **електричною силою**.

Отже, для експериментального дослідження властивостей поля в нього треба вносити деякий заряд і спостерігати за дією поля на цей заряд. Але яким цей заряд повинен бути? Очевидно, що заряд, за допомогою якого досліджується поле, має бути **набагато меншим** від того заряду, який створює досліджуване поле. У протилежному випадку він буде спотворювати це поле завдяки впливу на нього. Такий заряд називається **пробним**. Умовно приймається, що пробний заряд є **позитивним**. Моделлю пробного заряду може слугувати, наприклад, легка бузинова кулька на шовковій нитці.

Отже, пробний заряд – це малий позитивний заряд, який не спотворює досліджуваного поля і не впливає на результати вимірювань.

Як же діє електричне поле на пробний заряд? За допомоги експерименту можна переконатись у тому, що при вміщенні пробного заряду в різні точки електричного поля, створеного певним зарядженням тілом, на цей заряд буде діяти **неоднакова сила**. Відповідно, електричне поле в різних точках є **неоднаковим**, і за величиною сили, що діє на пробний заряд, можна судити про величину електричного поля зарядженого тіла в кожній точці.

Ми з вами розглядатимемо електричні поля, які **створюються нерухомими зарядами** і **не змінюються з часом**. Такі поля називаються **електростатичними**.

Розділ фізики, в якому вивчаються властивості і взаємодія нерухомих електричних зарядів та властивості електростатичних полів, називається **електростатикою**.

Для цього вводиться фізична величина, яка називається **напруженістю електричного поля** і є силовою характеристикою поля. Напруженість позначається літерою E латинського алфавіту.

Напруженість електричного поля – це фізична величина, яка дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на заряд, до величини цього заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q},$$

де \vec{E} – напруженість; \vec{F} – сила, яка діє на заряд в електричному полі; q – величина заряду.

Одиницею вимірювання напруженості в системі СІ є **ньютон на кулон**:

$$[E] = \text{Н/Кл}$$

Напруженість електричного поля, як і сила, є величиною **векторною** (\vec{E}). Напрямок напруженості електричного поля збігається з напрямом сили, що діє в цьому полі на позитивний заряд.

3. Чи можна наочно уявити електричне поле? Так, можна. Для цього використовується певна модель – електричне поле зображається за допомогою **силових ліній** електричного поля, або **ліній напруженості**.

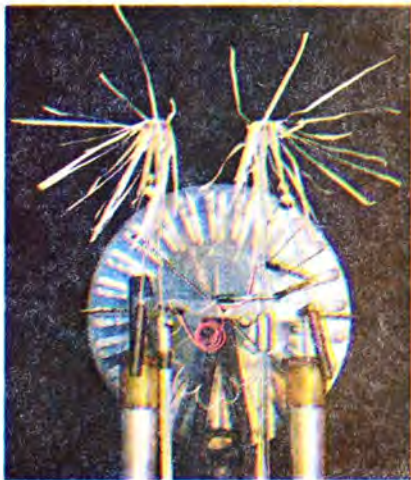
Найпростішу демонстрацію силових ліній електричного поля можна здійснити за допомогою **султанів**. Султан являє собою металевий стержень на ізолюючій основі, до верхньої частини якого прикріплено білі чи кольорові смужки тонкого паперу.

Зарядімо султана добре наелектризованою паличкою. Побачимо, що паперові смужки розташуються радіально. Так виглядає картина ліній напруженості електричного поля, створеного одним зарядом (рис. 15).

Напрямок напруженості електричного поля збігається з напрямом сили, що діє в цьому полі на позитивний заряд.

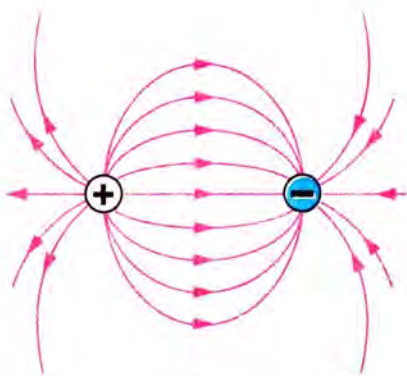


а

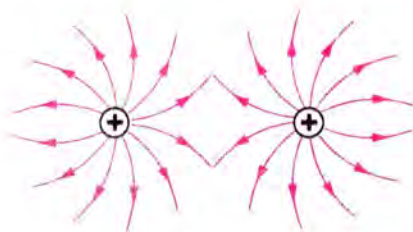


б

рис. 17



а



б

рис. 18

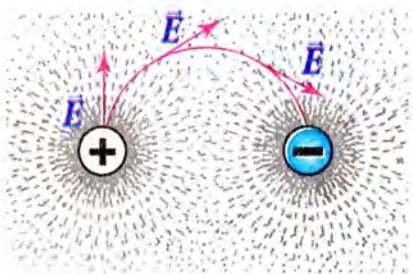


рис. 19

На рис. 16, а схематично зображено лінії напруженості електричного поля, створеного позитивним зарядом, а на рис. 16, б – негативним. Лінії напруженості позитивного заряду спрямовані *від заряду* і простягаються у нескінченність, а лінії напруженості негативного заряду спрямовані з нескінченності *до заряду*.

Тепер візьмімо два султани і зарядімо їх по чергово різнойменними (рис.17, а), а потім однойменними (позитивними) зарядами (рис. 17, б).

Схематичне зображення силових ліній електричних полів двох *різнойменних* зарядів показано на рис. 18, а; *однойменних* – 18, б.

Отже, *лінії напруженості* – це *геометричні лінії*, які є *неперервними* і *ніколи не перетинаються*. Дотична, проведена в будь-якій точці до лінії напруженості, *збігається з напрямом вектора напруженості* електричного поля в даній точці (рис. 19). Починаються лінії напруженості на додатніх зарядах, а закінчуються на від'ємних.

За щільністю ліній напруженості електричного поля можна характеризувати величину поля: там, де силові лінії розташовані *щільніше*, електричне поле є *сильнішим*, тобто діє на заряджене тіло з більшою силою. Відповідно, з віддаленням від заряду сила, яка діє з боку електричного поля на заряджені тіла, зменшується.

4. У дослідах, які ви спостерігали, в результаті дії електричного поля на тіла з певною силою ці тіла переміщувались. Відповідно, при цьому електричне поле виконувало роботу. Але для виконання роботи необхідно мати енергію. Отже, в електричному полі завжди запасена енергія, яка називається **енергією електричного поля**.

Поглибте свої знання

Однорідне електричне поле. Електричне поле можна характеризувати не лише за щільністю ліній напруженості, а й за характером їх взаємного розташування. Якщо лінії напруженості електричного поля паралельні одна до одної, то це означає, що напруженість поля в усіх його точках є однаковою. У протилежному випадку електричні поля називаються неоднорідними, і напруженість таких полів змінюється від однієї точки до іншої. Уважно подивіться на рис. 16, 18: очевидно, що зображені на рисунках електричні поля є неоднорідними. Але в деяких областях неоднорідного електричного поля його можна наближено вважати однорідним. Зокрема, електричне поле двох різнойменних зарядів (рис. 18, а) можна вважати наближено однорідним в області між цими зарядами, яка прилягає до лінії, що з'єднує їхні центри.

Від теорії до практики

Електростатичне поле допомагає на виробництві. Властивості електростатичного поля успішно використовуються в процесах електростатичного фарбування, покриття паперу наждачним порошком, покриття поверхонь лаком, нанесення емалі на метали (автомобільні заводи, фабрики музичних інструментів, меблеві фабрики, заводи емалевого посуду).

На суконних фабриках, фабриках із виробництва лінолеуму, руберойду, толю в електростатичному полі здійснюється ворсування матеріалів при виробленні ворсових тканин, килимів, ковдр, замші, різних видів покриттів та будівельних матеріалів.

Як очищується повітря? Для уловлювання шкідливих димових газів, які у великих кількостях викидаються витяжними трубами заводів, фабрик, теплових електростанцій тощо, використовуються електрофільтри. Дія електрофільтрів заснована на здатності позитивних йонів притягуватися до негативно заряджених поверхонь. Електрофільтр являє собою металеву трубу, по осі якої натягнуто металевий дріт. Між стінкою труби і дротом створюється електричне поле з дуже великою напруженістю. За такої напруженості в трубі з атомів газу утворюються позитивні йони. Ці йони осідають на частинках диму і притягуються до негативно заряджених стінок труби, утворюючи на них шар шкідливих відходів. Під дією періодичних ударів по стінках фільтра відходи падають у спеціальний збірник, з якого їх витягують і відправляють на перероблення або знищують.

Електрофільтр використовується також для очищення повітря в метро.

Введення в експлуатацію нових або реконструйованих підприємств, цехів, установок та інших об'єктів, які забруднюють навколишнє середовище, без очищувального обладнання заборонено законодавством України.

Це цікаво знати

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

Перевірте себе

1. Як учені пояснювали взаємодію зарядів за допомоги теорії далекодії?
2. У чому полягала ідея Фарадея?
3. Поясніть суть теорії близькодії.
4. Як ви розумієте той факт, що електричне поле є матеріальним?
5. Як можна виявити електричне поле, адже ми його не відчуваємо?
6. Яку силу називають електричною?
7. Що являє собою пробний заряд?
- *8. Яку фізичну величину називають напруженістю електричного поля? Чому вона є силовою характеристикою електричного поля?
- *9. Які електричні поля називаються електростатичними?
- *10. Що таке лінії напруженості електричного поля і для чого вони вводяться? Чи існують ці лінії реально?
- *11. Нарисуйте лінії напруженості електричного поля, створеного:
 - а) позитивним зарядом;
 - б) негативним зарядом;
 - в) двома різнойменними зарядами;
 - г) двома однойменними зарядами.

Завдання 5

1. Чи відрізняється простір навколо заряджених тіл від простору навколо тіл незаряджених? Якщо відрізняється, то чим?

2. Якими зарядами створюється електричне поле — позитивними, негативними чи будь-якими? Відповідь обґрунтуйте.
3. Для дослідження електричного поля, створеного деяким зарядом, обрали пробний заряд, величина якого є порівнянною з величиною цього заряду. Як це відіб'ється на результатах досліджень? Чому?
4. Чи може існувати електричне поле за відсутності заряду або зарядженого тіла?
5. Підтвердіть за допомоги відповідних прикладів той факт, що електричне поле має енергію.
6. В якому полі на електричний заряд діє менша сила: в тому, в якого силові лінії розташовані більш щільно чи менш щільно?
- *7. Чим відрізняться взаємодія тіл в електричному полі від взаємодії тіл у гравітаційному полі (полі земного тяжіння)?
- *8. Поясніть, чому лінії напруженості електричного поля не перетинаються.
- *9. Чи тотожні поняття: *силова лінія* електричного поля і *траєкторія* руху заряду в електричному полі?
- *10. На заряд $2 \cdot 10^{-7}$ Кл в деякій точці електричного поля діє сила 0,015 Н. Визначте напруженість поля в цій точці.
- *11. Чому дорівнює сила, з якою електричне поле в деякій точці діє на заряд $4,5 \cdot 10^{-6}$ Кл, якщо напруженість поля в цій точці має значення 400 Н/Кл?

§6 Закон Кулона

1. У попередніх дослідах ви впевнилися в тому, що між зарядженими тілами діє електрична сила, яка за величиною може бути більшою або меншою. Це було відомо людству здавна, але перші кількісні експериментальні дослідження електричних явищ почалися лише в кінці XVII століття. До того часу не існувало приладів, за допомоги яких можна було би виміряти електричну силу.

У 1785 р. французький фізик Шарль Кулон, який цікавився виготовленням різних фізичних приладів, сконструював дуже чутливий прилад для вимірювання сили — крутильні терези, і за їх допомоги дослідив взаємодію заряджених тіл.

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

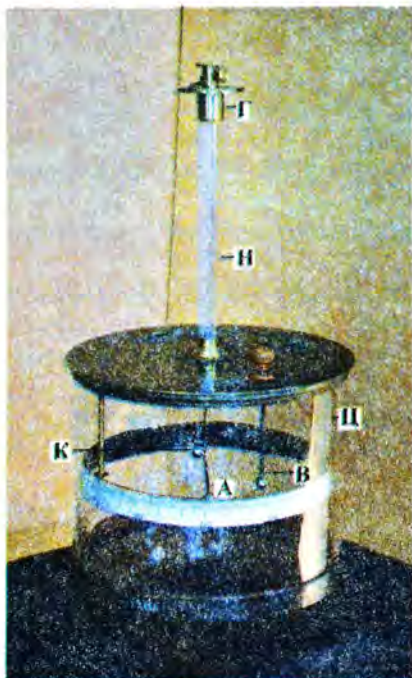


рис. 20

Розгляньмо, як побудовані та як діють крутильні терези. Модель терезів представлена на рис. 20.

Основною частиною приладу (рис. 20) є пружна металева нитка H , що з'єднана одним кінцем із поворотною головкою G , за шкалою якої можна визначати кут закручування нитки. До другого кінця нитки прикріплено легке коромисло K , виготовлене з ізолятора (зокрема скла). На кінцях коромисла закріплено металеву кульку A і противагу C (для зрівноваження коромисла). Для перешкоджання повітряним потокам чутливу частину приладу вміщено у скляний циліндр $Ц$, на якому нанесено шкалу. Крізь отвір у накривці циліндра всередину приладу можна вносити металеву кульку B на ізолюючому стрижні для зарядження кульки A .

Якщо зарядженою кулькою B торкнутися кульки A , то кулька A зарядиться і вони відштовхнуться одна від одної. При цьому коромисло повернеться і закрутить нитку. За кутом закручування нитки можна визначити силу взаємодії кульок.

Виконавши за допомоги крутильних терезів велику кількість дослідів, Кулон встановив, що *сила взаємодії заряджених кульок обернено пропорційна до квадрату відстані між ними*

$$(F \sim \frac{1}{r^2}) .$$

Але для остаточного встановлення закону взаємодії заряджених тіл необхідно було ще визначити, як залежить сила взаємодії тіл від величини зарядів, які на них є. Дослідне визначення такої залежності виявилось складним, оскільки невідомими були величини зарядів на кульках.

Для усунення цього ускладнення слід врахувати, що при дотиканні провідної зарядженої кульки до такої ж за розмірами неза-

рядженої кульки заряди розподіляються між ними *порівну*.

Отже, якщо до зарядженої кульки A піднести таку саму незаряджену кульку, то заряд на кульці A зменшиться вдвічі. Відповідно зміниться і сила взаємодії між кульками A і B . Аналогічно можна змінити заряд на кульці A в 4, 8 тощо разів і знову виміряти силу взаємодії між кульками A і B .

Змінюючи заряди кульок, Кулон установив, що *сила їхньої взаємодії прямо пропорційна добутку модулів зарядів* ($F \sim q_1 q_2$).

2. Узагальнюючи одержані експериментальні результати, Кулон встановив закон взаємодії електричних зарядів, який дістав назву *закону Кулона*. Але перш ніж сформулювати закон Кулона, слід назвати дві передумови, за яких він діє.

По-перше, закон Кулона має місце лише для *точкових зарядів*. Заряди називаються *точковими*, якщо розміри тіл, на яких вони зосереджені, набагато менші від відстаней між цими тілами.

По-друге, закон Кулона виконується лише для *нерухомих* зарядів. Отже, закон Кулона є *основним законом електростатики*.

Сформулюймо цей закон.

Сила взаємодії двох *точкових нерухомих* зарядів у вакуумі *прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними*:

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

де q_1 і q_2 — модулі зарядів; r — відстань між зарядами; k — коефіцієнт пропорційності.

Коефіцієнт пропорційності

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

Заряди називаються точковими, якщо розміри тіл, на яких вони зосереджені, набагато менші від відстаней між цими тілами.

Сила взаємодії двох точкових нерухомих зарядів у вакуумі прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:

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

де ϵ_0 – електрична стала, яка в системі СІ має значення:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / (\text{Н} \cdot \text{м}^2)$$

Якщо розглядається взаємодія двох точкових зарядів у вакуумі (або повітрі), то коефіцієнт $k = 9 \cdot 10^9 \text{ (Н} \cdot \text{м}^2) / \text{Кл}^2$.

Відносна діелектрична проникність середовища вказує, у скільки разів сила взаємодії точкових зарядів у вакуумі більша, ніж сила їх взаємодії в середовищі:

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

3. Але на практиці заряджені тіла взаємодіють не лише у вакуумі або повітрі, але й у інших непровідних середовищах (гасі, воді тощо). У цьому випадку взаємодія електричних зарядів зменшується, оскільки середовище чинить певний вплив на цю взаємодію. Кількісно вплив середовища на взаємодію зарядів можна оцінити, якщо порівняти сили їх взаємодії у вакуумі та середовищі. Відношення цих сил називають *відносною діелектричною проникністю середовища*. Відносна діелектрична проникність середовища вказує, у скільки разів сила взаємодії точкових зарядів у вакуумі більша, ніж сила їх взаємодії в середовищі:

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

Відносна діелектрична проникність середовища є величиною *безрозмірною* і завжди *більша від одиниці*. Значення діелектричної проникності середовища визначається експериментально. У таблиці 1 наведено значення відносної діелектричної проникності деяких речовин.

Речовина	ϵ
Вакуум	1
Вода	81
Гас	2
Гліцерин	39
Ебоніт	2,6
Повітря	1,0006
Сірка	4
Скло	5 – 10
Спирт	27

Таблиця 1

Отже, закон Кулона для взаємодії двох точкових зарядів у середовищі з діелектричною проникністю має такий вигляд:

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

Як і для кожного фізичного закону, для закону Кулона необхідно визначити *межі його застосування*. Отже, закон Кулона справджується на атомних відстанях, на відстанях від кількох міліметрів до десятків сантиметрів, а також на географічних і космічних відстанях.

Користуючись законом Кулона, можна отримати уявлення про величину заряду в 1 Кл. Якщо розрахувати силу взаємодії двох зарядів по 1 Кл кожний, які знаходяться у повітрі на відстані 1 м, то виявиться, що вони діють один на одного з силою в дев'ять тисяч мільйонів ньютон. Отже, 1 кулон — це дуже великий заряд. Навіть заряд Землі є набагато меншим.

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

Перевірте себе

1. Чому кількісні дослідження електричної взаємодії розпочалися лише в кінці XVIII століття?
2. Які заряди називаються точковими?
3. Опишіть будову крутильних терезів і поясніть суть дослідів Кулона.
4. Як формулюється закон Кулона? Запишіть формулу цього закону.
5. Для яких зарядів виконується закон Кулона?
- *6. Визначте межу застосування закону Кулона.
- *7. Як записується закон Кулона для взаємодії зарядів у непровідному середовищі? У чому полягає зміст діелектричної проникності середовища?
- *8. Чому сила взаємодії двох точкових зарядів у вакуумі завжди більша, ніж у будь-якому середовищі?

Завдання 6

1. Як зміниться сила взаємодії між двома точковими зарядами, якщо величину кожного заряду збільшити в 4 рази, а відстань між зарядами зменшити вдвічі?

2. Два однакові за величиною і знаком точкові заряди, які знаходяться у вакуумі на відстані 3 м один від одного, відштовхуються з силою 0,4 Н. Визначте величину зарядів.
3. Два заряди, один з яких у 3 рази більший від іншого, знаходяться у вакуумі на відстані 30 см один від одного і взаємодіють з силою 30 Н. Визначте величини зарядів.
- *4. Користуючись даними попередньої задачі, визначте, на якій відстані у воді ті ж самі заряди будуть взаємодіяти з такою самою силою. Значення діелектричної проникності води наведено у таблиці 1.
- *5. Із § 6 (п. 2) ви дізналися, що два заряди по 1 Кл кожний, які знаходяться на відстані 1 м у вакуумі (повітрі), діють один на одного із силою $9 \cdot 10^9$ Н. Визначте, з якою силою будуть взаємодіяти ці заряди у спирті на такій самій відстані. Порівняйте значення сил взаємодії зарядів у повітрі та спирті. Зробіть висновок щодо впливу середовища на силу взаємодії зарядів. Значення діелектричної проникності спирту наведено у таблиці 1.
- *6. З якою силою взаємодітимуть на відстані 0,5 м у вакуумі дві маленькі металеві кулі, кожна з яких містить $5 \cdot 10^5$ надлишкових електронів?
- *7. Дві кульки, розмішені в повітрі на відстані 20 см одна від одної, мають однакові негативні заряди і взаємодіють між собою із силою $5,76 \cdot 10^{-7}$ Н. Скільки електронами створено заряд кожної кульки?

УЗАГАЛЬНЕННЯ РОЗДІЛУ «ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ»

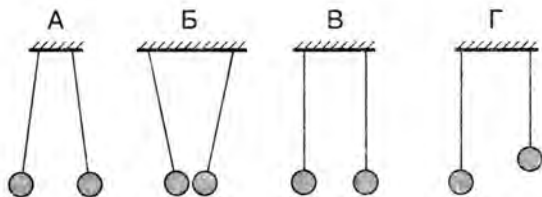
- Причина всіх електричних явищ полягає в тому, що в природі існують два роди електричних зарядів — **позитивні** і **негативні**. Носієм елементарного негативного заряду є **електрон**, позитивного — **протон**. Заряд будь-якого тіла є **кратним** до елементарного заряду. Для виявлення на тілах електричного заряду застосовується **електроскоп**, **електрометр**.
- Тіла набувають електричних властивостей внаслідок електризації. Існують три види електризації тіл: через **тертя**, через **дотик**, через **вплив**. Між наелектризованими тілами відбувається **електрична взаємодія**.
- Згідно з ядерною (планетарною) теорією будови атома Резерфорда атом містить позитивно заряджене **ядро** та негативно заряджені **електрони**, які обертаються навколо ядра. По кожній орбіті рухається **один** електрон. Ядро складається з **нуклонів**: позитивно заряджених **протонів** та електрично нейтральних **нейтронів**.

- Під дією зовнішніх впливів нейтральний атом може **втратити один чи кілька електронів** (при цьому він перетворюється на **позитивний йон**) або **набути надлишкових електронів** (при цьому він перетворюється на **негативний йон**).
- Одним з найголовніших законів природи є **закон збереження електричного заряду**, який виконується лише для **замкнених електричних систем**.
- Залежно від здатності речовин щодо переміщення електричних зарядів розрізняють **провідники** і **діелектрики (ізолятори)**. У металах носіями електричного заряду є **вільні електрони**. В діелектриках вільних електронів немає, тому заряди вздовж діелектрика не переміщуються.
- Сучасна фізика ґрунтується на **теорії близькодії**, згідно з якою матеріальним носієм взаємодії зарядів (або заряджених тіл) є **електричне поле**. Електричне поле існує незалежно від нашої свідомості. Для дослідження електричного поля використовується **пробний заряд**, який не спотворює досліджуваного поля.
- Основною ознакою наявності електричного поля є **електрична сила**, яка діє на заряд або заряджене тіло, що внесені в це поле.
- Поля, які створюються **нерухомими зарядами** і **не змінюються часом**, називаються **електростатичними**.
- В електричному полі завжди запасено енергію, яка називається **енергією електричного поля**.
- Основним законом електростатики є **закон Кулона**, який визначає силу електричної взаємодії двох точкових зарядів у вакуумі або в середовищі з певною діелектричною проникністю ϵ .

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ «ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ»

- 1 (1 бал). На рисунку зображено легкі кульки, підвішені на шовкових нитках. Яку пару кульок заряджено однойменними зарядами?

- 1) А;
- 2) Б;
- 3) В;
- 4) Г.



2. (1 бал). Частинка, яка має найменший негативний заряд, називається
- 1) молекулою;
 - 2) атомом;
 - 3) електроном;
 - 4) протоном.
3. (1 бал). В ядрі Оксигену 16 частинок, з яких 8 протонів. Скільки електронів і нейтронів містить атом Оксигену?
- 1) 8 електронів і 16 нейтронів;
 - 2) 8 електронів і 8 нейтронів;
 - 3) 16 електронів і 8 нейтронів;
 - 4) 16 електронів і 16 нейтронів.
4. (2 бали). При електризації через тертя обидва тіла одержують заряди...
- 1) рівні за абсолютною величиною і однакові за знаком;
 - 2) різні за абсолютною величиною і однакові за знаком;
 - 3) різні за абсолютною величиною і протилежні за знаком;
 - 4) рівні за абсолютною величиною і протилежні за знаком.
5. (3 бали). Чи будуть електричні заряди взаємодіяти на Місяці, де відсутня атмосфера?
- 1) так, оскільки взаємодія між зарядами відбувається за допомоги електричного поля, яке створюється в будь-якому середовищі;
 - 2) так, оскільки взаємодія між зарядами відбувається лише у вакуумі;
 - 3) ні, тому що взаємодія між зарядами відбувається через повітря;
 - 4) ні, тому що на Місяці електричне поле не створюється внаслідок відсутності атмосфери.
6. (4 бали). Два точкові заряди величиною по 10^{-8} Кл кожен розміщено в повітрі. Як зміниться сила взаємодії між зарядами, якщо відстань між ними зменшити у 2 рази?
- 1) зменшиться у 2 рази;
 - 2) збільшиться у 2 рази;
 - 3) зменшиться в 4 рази;
 - 4) збільшиться в 4 рази.

Електричний струм

- Які дії електричного струму?
- Якими приладами вимірюються величини струму і напруги в колі?
- Що таке гальванометр, амперметр і вольтметр?
- Які закони електричного струму при послідовному і паралельному сполученні?
- Відкриття Гальвані. Отримання електричного струму без електризації тертям
- Як гальванічний елемент створює струм?
- Від чого залежить опір провідників?
- Чому освітлювальні лампи з'єднують паралельно?
- Як виміряти потужність електроприладів?
- Що таке електроліт, що таке електроліз?
- За яких умов повітря проводить електричний струм?
- Чому металеві провідники при проходженні електричного струму нагріваються?

Із розумінням, що комфортність життя людини залежить від того, чи є електричний струм, ми стикаємося ще в дитячому віці. Електричний струм підводять до будинку чи квартири по провідниках. Тому наявність електричного струму — це, зокрема, ефективна робота всіх побутових приладів в будинку чи квартирі, робота міського електротранспорту (ви можете самі доповнити цей перелік).

У цьому розділі будемо вивчати явища і процеси, пов'язані з рухом електричних зарядів, визначимо, що таке електричний струм, які закони і джерела електричного струму, як використовують електричний струм у побуті, на виробництві, а також звернемо увагу на безпеку людини під час роботи з електричним струмом.

Поставмо запитання: що таке електричний струм?

У провіднику за звичайних умов заряджені частинки перебувають у рівновазі та здійснюють безладний, хаотичний рух (тепловий рух). У цьому випадку відсутній напрямлений рух заряджених частинок.

Але коли в якомусь тілі електрично заряджені частинки переміщуються в одному певному напрямі, то кажуть, що в цьому тілі є *електричний струм*, а електрично заряджені частинки називають *носіями заряду*.

Електричним струмом називають упорядкований (направлений) рух електрично заряджених частинок.

Які ж заряджені частинки можуть переміщуватись і створювати електричний струм?

Ми вже знаємо, що в тілах є електрони. Електрони мають від'ємний електричний заряд. Електричний заряд мають також і йони. Отже, в тілах можуть рухатися різні заряджені частинки — електрони та йони, як додатні, так і від'ємні.

Розрізняють електричний струм провідності та конвекційний струм.

Електричний струм провідності пов'язаний з рухом заряджених частинок у тілі.

Конвекційний струм пов'язаний з рухом у просторі зарядженого тіла. Наприклад, рух по орбіті Землі, що має надлишковий негативний електричний заряд, можна вважати за конвекційний струм.

Ми будемо вивчати електричний струм провідності, який називають просто електричним струмом. Виявляється, що для виникнення та існування електричного струму треба здійснення таких двох умов.

Електричним струмом називають упорядкований (направлений) рух електрично заряджених частинок.

Розрізняють електричний струм провідності та конвекційний струм.

Перша — це наявність у тілі вільних заряджених частинок, які могли б у ньому рухатись.

Друга — наявність електричного поля.

Під дією електричного поля заряджені частинки починають рухатись у напрямку дії на них електричних сил. Так виникає електричний струм.

Для того, щоб електричний струм у провіднику існував довго, необхідно весь час підтримувати в ньому електричне поле. Для цього використовують **джерела електричного струму** (див. § 12).

Напря́м електричного струму.

Виникає питання, рух яких саме заряджених частинок слід взяти за напрям електричного струму?

Історично склалося так, що незалежно від того, рух яких частинок — негативно чи позитивно заряджених — зумовлює електричний струм, *за напрям струму беруть умовно той напрям, у якому рухаються (або могли б рухатися) в провіднику позитивно заряджені частинки під дією електричного поля.* Це враховано в усіх правилах і законах електричного струму.

Для виникнення та існування електричного струму треба здійснення таких двох умов:

Перша — це наявність у тілі вільних заряджених частинок, які могли б у ньому рухатись.

Друга — наявність електричного поля.

За напрям струму беруть умовно той напрям, у якому рухаються (або могли б рухатися) в провіднику позитивно заряджені частинки під дією електричного поля.

Перевірте себе

1. Що таке електричний струм?
2. За яких умов виникає в провіднику електричний струм?
3. Рух яких заряджених частинок прийнято за напрям електричного струму?

§8 Дії електричного струму

Чи можна визначити наявність у провіднику електричного струму?

Виявляється, що можна. Наявність у провіднику електричного струму, тобто направленого руху заряджених частинок, можна визначити за його зовнішніми діями. Розрізня-



рис. 21



а



б

рис. 22

ють теплову, магнітну, хімічну, світлову, механічну дії струму.

Теплова і світлова дія струму.

Теплову дію струму можна спостерігати, якщо до джерела струму приєднати електричну лампочку. Нитка лампочки нагрівається і починає світитися. *Теплова дія* струму використовується в усіх побутових електронагрівних приладах (рис. 21), а *світлова* — в електричних лампах розжарення.

Нагрівання провідників при проходженні через них струму може бути більшим або меншим залежно від властивостей провідників. Так, нитка лампочки дуже розжарюється і світиться, а інші провідники, що підводять електричний струм, не нагріваються.

Магнітна дія струму.

Магнітна стрілка відхиляється від початкового положення, коли над нею (або поруч) по провіднику проходить електричний струм (рис. 22, а). Коли струм припиняється, магнітна стрілка повертається в попереднє положення. Отже, електричний струм виявляє магнітну дію.

Якщо мідний ізолюваний провід намотати на залізний цвях і з'єднати з будь-яким джерелом струму, то провідником проходитиме струм. При цьому цвях намагнічується і може притягати до себе невеличкі залізні предмети: цвяхи, залізну стружку, ошурки. Якщо струм в обмотці зникає, цвях розмагнічується. Це і є найпростіша модель електромагніту. На рис. 22, б показано дію електромагніту.

Підкреслимо, що магнітна дія струму проявляється завжди незалежно від властивостей провідника. Тому саме магнітну дію струму з усіх його дій розглядають як найхарактерніший прояв струму. Докладніше магнітну дію струму будемо вивчати у розділі 3.

Явище взаємодії провідника зі струмом і магніту використовується в електровимірних приладах, які називаються **гальванометрами**. Стрілка гальванометра зв'язана з рухомою рамкою, що перебуває у магнітному полі.

На рис. 23 показано зовнішній вигляд гальванометра. Отже, за допомоги гальванометра можна виявити наявність струму в колі.

Хімічна дія струму. Під час проходження електричного струму через деякі водні розчини кислот, лугів і солей на електродах, які занурено в розчин, виділяються речовини, що є у розчині. Так, із пропусканням струму крізь розчин мідного купоросу (CuSO_4) на негативно зарядженому електроді виділяється мідь (Cu). Схему досліду показано на рис. 24. У цьому полягає хімічна дія струму. Хімічну дію струму використовують для добування деяких чистих металів, наприклад міді, алюмінію або покриття одних металів іншими.

Механічна дія струму. Є ще одна дія електричного струму, яку можна віднести до **механічної дії**. Завдяки струму, що живить електродвигун, відбувається рух трамваїв, тролейбусів, електромобілів та працюють інші пристрої.

В основі роботи електродвигуна лежить явище взаємодії провідника зі струмом і магніту (рис. 25). На взаємодії провідника зі струмом і магніту ґрунтується робота не лише електродвигунів, а й багатьох електровимірних приладів.



рис. 23

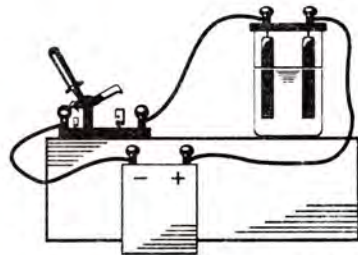


рис. 24



рис. 25

Перевірте себе

1. Як можна спостерігати на досліді теплову і світлову дії струму?
2. Як можна спостерігати на досліді хімічну дію струму?
3. Де використовують теплову і хімічну дії струму?
4. Де використовується магнітна дія струму?
5. Де використовується механічна дія струму?

Це цікаво знати

Експерименти свідчать, що хімічна дія струму спостерігається не в усіх провідниках. У провідниках першого роду, до яких належать усі метали, а також вугілля, проходження електричного струму не викликає хімічної дії, а в провідниках другого роду (електролітах – розчинах кислот, лугів і солей та багатьох інших) електричний струм спричиняє розкладання цих речовин.

Нагрівання провідників під час проходження через них електричного струму також спостерігається не завжди. Багато речовин (наприклад, різні метали, зокрема свинець) за дуже низьких температур можуть перебувати у надпровідному стані, коли вони зовсім не нагріватимуться електричним струмом.

А от магнітна дія струму виявляється завжди, незалежно від властивостей провідників. Тому Майкл Фарадей, характеризуючи магнітну дію струму, підкреслив: «Немає дії, яка була б характернішою для електричного струму».

§9 Електрична провідність матеріалів: провідники, напівпровідники, діелектрики

За здатністю проводити електричний струм речовини поділяються на провідники, діелектрики і напівпровідники.

Ми знаємо, що всі речовини в природі мають неоднакову здатність проводити тепло. Виявляється, що речовини мають також неоднакову здатність проводити електричний струм. За здатністю проводити електричний струм речовини поділяються на *провідники, діелектрики і напівпровідники*.

Провідниками називають матеріали (речовини), які добре проводять електричний струм. А це означає, що заряджені частинки в таких матеріалах можуть легко перемішуватись.

Добрими провідниками є всі метали, водні розчини солей і кислот, графіт. Виявляється, що ґрунт, а також тіло людини теж проводять електричний струм. Тому зрозумілою стає пересторога не підходити до обірваних проводів ліній електропередач.

Діелектриками, або ізоляторами, називають матеріали, які не проводять електричного струму. Тобто, в діелектриках заряджені частинки не можуть переміщуватись. Діелектриками є скло, фарфор, бурштин, ебоніт і всі пластмаси, гума, газу за кімнатних температур.

Але значна кількість тіл у природі не належать ні до тієї, ні до іншої групи, тому й отримали назву напівпровідники.

Напівпровідниками називають матеріали, які за своїми властивостями займають проміжне становище між дуже добрими провідниками і дуже добрими діелектриками.

У сучасному використанні електричного струму і провідники, і діелектрики відіграють величезну роль. Металеві проводи ліній електропередач являють собою ті шляхи, по яких передається електричний струм від атомних, теплових або гідроелектростанцій до споживачів. При цьому важливо, щоб металеві провідники не торкалися металевих опор ліній електропередач. Для цього проводи навішуються на спеціальні ізолятори. В середині будинків, квартир проводи, по яких тече електричний струм, ізолювані по всій довжині. Орієнтовну схему електропроводки квартири показано на рис. 26.

У містах електричний струм подається до будинків підземним кабелем. Підземний кабель має спеціальний захист із декількох шарів діелектричного матеріалу, що захищає електричний провід як від вологи, так і від інших несприятливих факторів. Як матеріал для проводів використовується алюміній або мідь.

Напівпровідники завдяки своїм унікальним властивостям широко використовуються в радіотехніці, радіоелектроніці, обчислювальній та комп'ютерній техніці.

Діелектриками, або ізоляторами, називають матеріали, які не проводять електричного струму.



рис. 26

Перевірте себе

1. Назвіть матеріали, які добре проводять електричний струм.
2. Назвіть матеріали, що не проводять електричного струму.
3. Які матеріали відносять до напівпровідників?

Це цікаво знати

Поділ матеріалів на провідники, напівпровідники і діелектрики є умовним. І може так статися, що та сама речовина в одних випадках може поводитися як діелектрик (ізолятор), а в інших випадках — як провідник.

Ізолюючі властивості речовини залежать досить часто від характеристик її стану і можуть змінюватись. Наприклад, такий діелектрик, як звичайне скло, за високої температури зовсім втрачає свої ізолюючі властивості і стає провідником.

§10 Струм у металах

Атоми в металі розташовуються в певному порядку і утворюють просторову кристалічну ґратку.

*Електрони легко відриваються від атома, рухаються в проміжках між атомами і називаються «**вільними електронами**».*

Ми вже знаємо, що носіями струму в металах є вільні електрони. **Звідки ж беруться вільні електрони в металах і як вони рухаються?**

Метали у твердому стані мають кристалічну будову. Атоми в металі розташовуються в певному порядку і утворюють просторову кристалічну ґратку. За сучасними уявленнями, електрони, які є на зовнішніх орбітах атомів (це валентні електрони), найслабше зв'язані з ядрами атомів. Ці електрони легко відриваються від атома, рухаються в проміжках між атомами і називаються «**вільними електронами**». Атоми, що коливаються у вузлах кристалічної ґратки навколо положення рівноваги, після втрати електрона стають позитивними йонами.

Для одновалентних металів на один атом (позитивний йон) припадає один вільний електрон.

Від'ємний заряд усіх вільних електронів за абсолютним значенням дорівнює позитивному заряду всіх йонів кристалічної ґратки.

Тому за звичайних умов метали електрично нейтральні (рис. 27). Розрахунки показують, що число вільних електронів у металі приблизно дорівнює $8,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

Усі вільні електрони рівномірно розподілені по всьому об'єму металу і беруть участь у хаотичному поступальному тепловому русі, аналогічному тепловому рухові молекул газу.

Але, якщо в металі створити електричне поле, то вільні електрони почнуть рухатися напрямлено під його дією. Виникне електричний струм.

Отже, електричний струм у металах зумовлено впорядкованим рухом вільних електронів.

Цікаво, що за такого руху одночасно зберігається і хаотичний рух вільних електронів, подібно до того, як зберігається хаотичний рух у хмарці мошви, коли під дією вітру вона рухається в одному напрямку.

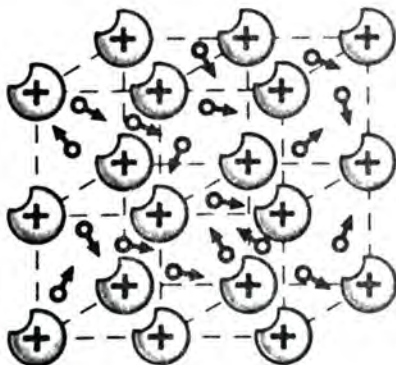


рис. 27

Електричний струм у металах зумовлено впорядкованим рухом вільних електронів.

Перевірте себе

1. Що являє собою електричний струм у металах?
2. Який знак заряду у частинок, що напрямлено рухаються в металевому провіднику під дією електричного поля?
3. Як пояснити, що за звичайних умов метал — електрично нейтральний?

Це цікаво знати

Яка швидкість електричного струму? Електричний струм — то є напрямлений рух електрично заряджених частинок, що можуть вільно переміщатися під дією сил електричного поля (для металів — це рух від'ємно заряджених вільних електронів). Хоча швидкість руху окремих електронів протягом їх руху (від зіткнення до зіткнення) величезна (понад 100 км/с), але швидкість упорядкованого переміщення електронів дуже мала. Весь час затримуючись і відхиляючись від «курсу», електрони переміщуються («дрейфу-

ють») вперед повільніше, ніж, скажімо, равлик. Так, середня швидкість равлика 1 мм/с, а електрон переміщується в напрямі проводу зі швидкістю близько 0,3 мм/с. Але чому ж достатньо увімкнути вимикач, як вмить спалахує електрична лампа? Як же узгодити цю суперечність — повільне переміщення електронів уздовж проводу і миттєве передавання сигналу? Річ у тім, що під швидкістю струму розуміють не швидкість напрямленого руху електронів, а швидкість поширення електричного поля, що зумовлює цей рух. А швидкість поширення електричного поля дорівнює 300 000 км/с!

Якщо хтось на кінці телеграфного проводу, скажімо в Ужгороді, на відстані 620 км змінить напругу на 10 В, то спостерігач у Києві помітить появу струму через $\frac{620 \text{ км}}{300\,000 \text{ км/с}} = 0,002 \text{ с}$. А ті заряди, які в цей момент перебували в Ужгороді, перемістилися б у Київ лише через 100 000 років.

Електричне поле поширюється майже миттєво, тому й спонукає всі вільні електрони до напрямленого руху майже одночасно в усьому провіднику. Начебто по команді!

Історична довідка

Дослідні підтвердження природи електричного струму в металах.

Здавалося б, що все зрозуміло: носіями електричного струму в металах є вільні електрони!

Але спочатку це було лише припущення. Дослідне підтвердження це припущення отримало лише на початку ХХ ст. Для досліду брали три металеві циліндри однакового радіуса: мідний — алюмінієвий — мідний. Циліндри з'єднували послідовно, міцно притиснувши торцями один до одного. Потім крізь циліндри протягом року пропускали електричний струм. Міркували так: якби струм переносився речовиною, то на торцях були би сліди міді або алюмінію. Проте ніяких ознак речовини виявлено не було.

Дійшли висновку, що електропровідність металів зумовлена такими зарядженими частинками, що є спільними для всіх металів і не пов'язані з їхніми фізичними чи хімічними властивостями.

Залишилося нез'ясованим питання, яка ж усе-таки природа носіїв струму в металах?

Російські вчені Л. І. Мандельштам і М. Д. Папалексі в 1913 році виконали такий дослід: котушка з намотаним на неї дротом могла здійснювати крутильні коливання. До кінців дроту було приєднано телефонну трубку. За швидких кру-

тильних коливань котушки навколо її осі виникав тріск у телефонній трубці. Це свідчило, що в металевому дроті виникає електричний струм, зумовлений інерційним рухом заряджених частинок. Але відповіді на питання, що це за частинки, цей дослід не дав.

У 1916 році американські фізики Р. Толмен і Б. Стюарт удосконалили цей дослід, змінивши телефонну трубку на чутливий гальванометр. За різкої зупинки котушки гальванометр відзначав появу струму. Схему досліду показано на рис. 28.

Дослід підтвердив, що носіями струму в металах є електрони.

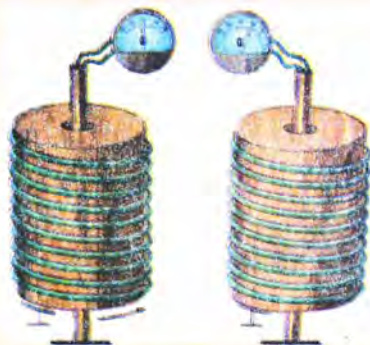


рис. 28

§ 11 Електричне коло

Складові електричного кола. Щоб використати електричну енергію електричного струму, треба, насамперед, мати джерело струму та пристрій, у якому електрична енергія перетворюватиметься в інші види енергії, — споживач.

Електродвигуни, електронагрівальні прилади, радіоприймачі, телевізори, різні прилади називають приймачами або споживачами електричної енергії. Щоб передати електричну енергію до приймача, його з'єднують із джерелом електроенергії проводами. Щоб вмикати і вимикати в потрібний час приймачі електричної енергії, застосовують рубильники, кнопки, вимикачі, тобто пристрої, які замикають і розмикають електричне коло. Нарешті, щоб виміряти параметри електричного струму в колі, використовують електровимірні прилади: амперметри, вольтметри, електролічильники, які надалі ви будете вивчати.

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

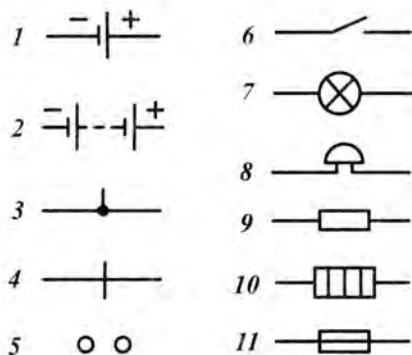


рис. 29

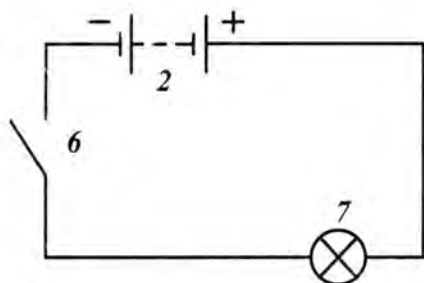


рис. 30

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

Щоб у колі проходив струм, воно має бути замкнутим, тобто складатися лише з провідників електрики. Якщо в якомусь місці провід обірветься, то струм у колі припиниться. На цьому ґрунтується дія вимикачів.

Електрична схема. Способи з'єднання електричних приладів у коло зображуються на кресленнях, які називають схемами. Прилади на схемах позначають умовними знаками. Деякі з них подано на рисунку 29.

1 – гальванічний елемент або акумулятор; 2 – батарея акумуляторів; 3 – точка з'єднання проводів; 4 – перетин проводів (без з'єднання); 5 – затискачі для вмикання якого-небудь приладу; 6 – вимикач; 7 – електрична лампа, 8 – електричний дзвінок; 9 – провідник, що має певний опір (резистор); 10 – нагрівальний елемент, 11 – плавкий запобіжник.

На рисунку 30 зображено схему найпростішого електричного кола.

Напрямок електричного струму в електричному колі. У замкнутому електричному колі тече електричний струм – впорядкований рух заряджених частинок. У металевих провідниках – це впорядкований рух негативно заряджених електронів, у розчинах кислот, лугів, солей – рух йонів обох знаків, як негативних, так і позитивних. Причому, електрони та негативно заряджені йони в електричному колі рухатимуться від негативного полюса джерела («-») до позитивного полюса («+»), а позитивно заряджені йони рухатимуться у протилежному напрямі. За напрям електричного струму в електричному колі прийнято напрям від позитивного полюса джерела до негативного.

Електрони та негативно заряджені йони в електричному колі рухатимуться від негативного полюса джерела («-») до позитивного полюса («+»), а позитивно заряджені йони рухатимуться у протилежному напрямі.

Перевірте себе

1. З яких частин складається електричне коло?
2. Які приймачі або споживачі електричної енергії ви знаєте?
3. Яке електричне коло називається замкнутим? розімкнутим?
4. Що таке схема електричного кола?

§12 Джерела електричного струму

Для чого потрібне джерело струму. Необхідною умовою існування електричного струму в провіднику є наявність у ньому електричного поля, під дією якого вільні заряджені частинки рухатимуться у напрямі дії на них електричних сил.

Щоб електричний струм, тобто напрямлений рух вільних заряджених частинок під дією сил електричного поля, існував тривалий час, необхідно весь цей час підтримувати в ньому електричне поле. *Як же це можна зробити?* Згадаймо дослід з електростатики: візьмімо дві різнойменно заряджені кульки і з'єднаймо їх металевим провідником. Ви вже знаєте, що у напрямі від негативно зарядженої кульки до позитивно зарядженої почнуть рухатись електрони (адже електрон має негативний заряд) і дуже короткий час проходитиме електричний струм.

Але як довго йтиме струм? Мабуть, поки недостача електронів позитивно зарядженої кульки не компенсується електронами, що вільно переміщуються. Електричне поле у провіднику зникає, отже, припиняє текти електричний струм. Для його відновлення необхідно знову заряджати кульки.

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

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

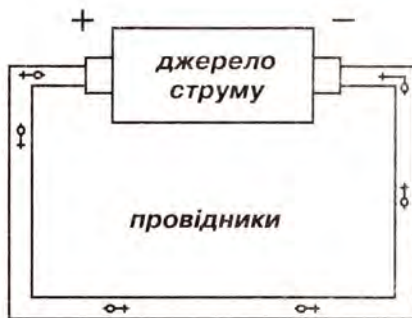


рис. 31



рис. 32



а



б

рис. 33

Електричне поле в провідниках створюється і може тривалий час підтримуватися джерелами електричного струму.

Джерело струму – це пристрій, який виробляє електричну енергію, перетворюючи в неї інші види енергії (механічну, хімічну, теплову, електромагнітного випромінювання тощо). Розрізняють **хімічні джерела струму**, в яких електричну енергію дістають завдяки окислювально-відновним хімічним реакціям (це гальванічні елементи та акумулятори), і **фізичні джерела струму**, які перетворюють в електричну всі інші види енергії.

Розділення зарядів у джерелі струму. Хоч би якими були джерела струму, але в будь-якому з них виконується робота розділення позитивно і негативно заряджених частинок, які накопичуються на полюсах джерела струму. Полюсами називають місця, до яких за допомоги клем або затискачів під'єднують провідники. Один полюс джерела струму заряджається позитивно, інший негативно. Отже, якщо полюси джерела з'єднати провідником, то під дією сил електричного поля джерела вільні заряджені частинки в провіднику рухатимуться, виникне електричний струм (рис.31).

Перетворення енергії в джерелах струму. Хоч би якими були за конструкцією джерела струму, їх об'єднує те, що в процесі виконання роботи з розділення електричних зарядів інші види енергії (механічна, теплова, хімічна тощо) перетворюються в електричну. Так, в електрофорній машині (рис. 32) в електричну енергію перетворюється механічна енергія обертання дисків. Якщо спаяти дві дротини, виготовлені з різних металів, і нагріти місце спаю, то в дротинках виникне електричний струм (рис. 33, а). У такому джерелі струму, який називають термоелементом, внутрішня енергія нагрівника

перетворюється в електричну енергію. При освітленні речовини (селену, оксиду міді (I), кремнію) світлова енергія може безпосередньо перетворюватися в електричну. Це явище називають фотоелементом. На ньому ґрунтується будова і дія фотоелементів (рис. 33, б). Термоелементи і фотоелементи широко використовуються в науці й техніці.

Перетворення хімічної енергії, що виділяється під час хімічних реакцій, відбувається у гальванічних джерелах струму, до яких належать гальванічні елементи та акумулятори (рис. 33, в). Із таким джерелом, як електрофорна машина, ви вже знайомі, а з іншими ознайомитесь надалі.



в

рис. 33

Перевірте себе

1. Яке призначення джерела струму в електричному колі?
2. Від якого полюса джерела і до якого прийнято визначати напрям струму?
3. Накресліть схему кишенькового ліхтарика і назвіть частини цього кола.
4. Накресліть схему кола, що складається з одного гальванічного елемента, вимикачів і двох електричних лампочок, кожен з яких можна вмикати окремо.

§13 Гальванічні елементи. Акумулятори

Будова гальванічного елемента. Найпоширеніший гальванічний елемент складається з цинкової посудини (1), в яку вставлено вугільний стрижень (2) (рис. 34). Стрижень вміщують у полотняний мішечок (3), наповнений сумішшю оксиду марганцю з вугіллям. Мішечок зі стрижнем вміщують у цинкову посудину, наповнену густим клейстером (4), що виготовлений з борошна на розчині нашатиру. Цинкову посудину встановлюють у картонну коробку і заливають шаром смоли (5). Внаслідок хімічної реакції нашатиру з цинком від

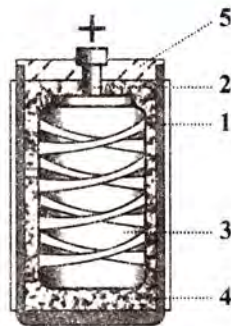


рис. 34

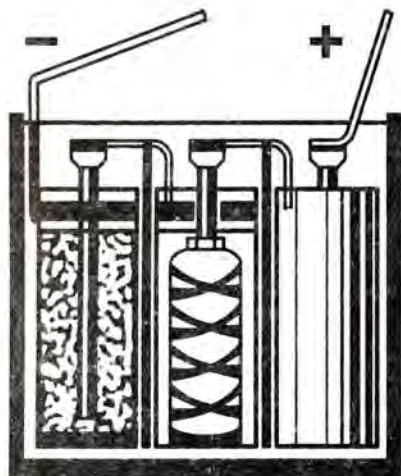


рис. 35

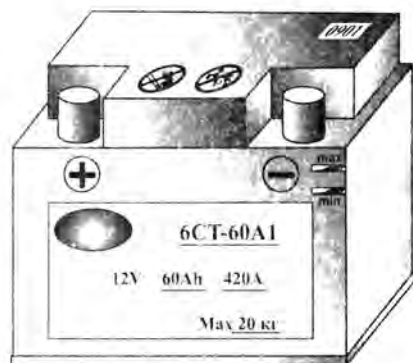


рис. 36

цинку відокремлюються позитивні йони, і він стає негативно зарядженим, а вугільний стрижень — позитивно зарядженим. Вугільний стрижень і цинкова посудина є електродами. Між електродами виникає електричне поле. Якщо електроди з'єднати провідником, то в провіднику проходитиме електричний струм.

З кількох гальванічних елементів можна скласти батарею (рис. 35). Цинкові посудини елементів батареї ізольовані одна від одної. Цинкова посудина першого елемента з'єднується провідником з вугільним стрижнем другого, цинкова посудина другого — з вугільним стрижнем третього. Від цинкової посудини першого елемента й вугільного стрижня останнього виведено дві металеві пластинки, які є полюсами батареї: *негативним і позитивним*.

Акумулятор (від латинського accumulator — збирач). Найпростіший акумулятор складається з двох свинцевих пластин (електродів), вміщених у водний розчин сульфатної кислоти. Щоб акумулятор став джерелом струму, крізь нього пропускають струм від якого-небудь джерела. Цей процес називається заряджанням акумулятора. У процесі заряджання внаслідок хімічних реакцій один електрод стає позитивно зарядженим, а інший — негативно. Після заряджання акумулятор можна використати як самостійне джерело струму.

Крім свинцевих, або кислотних, акумуляторів широко застосовують залізонікелеві, або лужні, акумулятори, в яких використовується водний розчин лугу, а пластини складаються — одна із спресованого залізного порошку, інша — з піроксиду нікелю. На рисунку 36 зображено акумулятор.

Використання джерел струму. Акумулятори широко використовуються в техніці для освітлення, запуску автомобільного двигуна, живлення електроенергією підводного

човна під водою, руху електровізків (електрокарів) на невеликі відстані. Радіопередавачі та інша радіоапаратура штучних супутників Землі дістають електроживлення від сонячних акумуляторних батарей, що встановлені на них.

На електростанціях електричний струм виробляють за допомоги генераторів (від латинської *generator* — *створювач, виробник*), будову яких ви вивчатимете пізніше. Цей електричний струм використовують у промисловості, сільському господарстві, на транспорті, в побуті.

Перевірте себе

1. Які ви могли б назвати джерела струму? Чим вони різняться між собою?
2. Яка будова гальванічного елемента?
3. Що таке акумулятор? Яка його будова?
4. Де застосовують гальванічні елементи та акумулятори?
5. Підготуйте стислі повідомлення про застосування гальванічних елементів та акумуляторів.

Історична довідка

Із історії відкриття хімічних джерел струму.

У другій половині XVIII ст. проводилися різноманітні дослідження впливу електрики на організм тварин і людини. Так, під впливом електричного струму спостерігалися скорочення м'язів лапок жаби.

Досліди з лапками жаби проводив у 1786 р. італійський лікар Луїджі Гальвані (1737—1798). Одного разу він підвісив на **мідних** гачках задні лапки жаби до **залізних** ґрат свого балкону. Яким же було його здивування, коли він виявив, що м'язи лапок скорочувались, якщо він надавлював на мідні гачки. Гальвані неправильно пояснив відкрите ним явище виникнення електричного струму між мідними гачками і залізними ґратами балкону. Зокрема, він уважав, що в лапках виникає «тваринна» електрика.

Правильне пояснення відкритого Гальвані явища дав його співвітчизник Алессандро Вольта. Він установив, що це явище пов'язане з наявністю двох

різних металів (мідь гачка і залізний стрижень), котрі дотикаються до електроліту (рідини в жаб'ячій лапці), і що жаб'яча лапка лише відіграє роль чутливого приладу, який виявляє електричний струм. Вчений досліджував контакти різних металів і встановив, що подразнення м'язів тварин буде найбільшим за контакту цинку і срібла.

Виникнення електричного струму спостерігалось також між кружками мідних і цинкових пластинок, переділених картонним кружком, який був змочений кислотою.

Такий стовпчик із багатьох складених попарно мідних і цинкових пластин, розділених вологою прокладкою, дістав назву **вольтова стовпа**.

Він був побудований у 1800 році і являв собою послідовно з'єднані мідно-цинкові елементи, що дістали назву **елементи Вольта**.

Елементи Вольта і відкриті пізніше джерела струму були названі іменем **Гальвані — гальванічними елементами**.

Гальванічні елементи є хімічними джерелами струму. Між розчинами, що змочували прокладку, і металами перебігала хімічна реакція, в результаті якої у джерелі струму відбувалося розділення електрично заряджених частинок.

Між полюсами джерела струму утворювалось електричне поле. Коли з'єднували полюси джерела струму, утворювалось замкнене електричне коло, в якому проходив електричний струм.

Винайдення джерела електричного струму відкрило нову еру в дослідженні електричних явищ.

Це цікаво знати

Припускають, що гальванічному елементові більше двох тисяч років. У 1936 р. австрійський археолог В. Кеніг, проводячи розкопи в Іраку, знайшов дивний предмет — глиняну посудину завдовжки 28 см, всередині якої був мідний циліндр, що, своєю чергою, за асфальтовою прокладкою приховував окислений залізний брусок.

Вчені з'ясували вік посудини — 2000 років. Довго вони ламали голову над її призначенням, поки у когось не майнула думка, що це є гальванічний елемент. Незабаром знайшли ще кілька посудин, з'єднаних залізними й мідними стрижнями. Це вже була справжня гальванічна батарея!

Вчені реконструювали один зі знайдених пристроїв, заповнили його найдоступнішими тогочасним жителям рідинами — вином, оцтом, морською водою і — ото дива! — дістали електричний струм силою до 0,5 А і напругою до 0,5 В, який ішов 18 днів!

Найпростіше хімічне джерело струму.

Чи можна власноруч зробити найпростіший гальванічний елемент? Виявляється, можна.

Для виготовлення такого джерела необхідно два електроди — це смужка цинку і вугільна паличка. Смужку цинку і вугільну паличку можна взяти із відпрацьованої батарейки кишенькового ліхтарика. Електроди втикаються в солоний огірок (або солоний помідор). Перевірити дію такого джерела струму можна на шкільному гальванометрі або за допомоги магнітної стрілки, наприклад, компаса. На циліндричну трубку, вирізану з пластикової пляшки, намотати до 30 витків мідного дроту завширшки 5–10 мм (число витків підбирається дослідним шляхом). Діаметр пластикового циліндра мусить бути більшим за діаметр компаса.

Компас розмістіть усередині котушки з витками дроту. Зорієнтуйте площину котушки з дротом за напрямом магнітної стрілки. Приєднайте кінці дроту до джерела струму. Внаслідок магнітної дії струму магнітна стрілка відхилиться (спробуйте розмістити котушку так, щоб магнітна стрілка була під витками. Спробуйте використати для дослідів батарейку кишенькового ліхтаря).

* * *

Найпростіший вольтів стовп.

Для виготовлення вольтова стовпа необхідно нарізати з використаних батарейок 5–6 цинкових круглих пластинок діаметром 20–25 мм. Такого ж розміру нарізати круглі пластинки з міді. Зачистити поверхні та зібрати стовпчик із кружків у такій послідовності: цинк — мідь — серветка, змочена розчином кухонної солі — знову цинк і т. д. — останній електрод мідний. Контакти виготовити з провідників, у яких зачищено кінці.

На плоску поверхню (можна використати невелику тарілку) покласти кінець дроту у вигляді спіралі, зверху вольтів стовп і зверху другий провідник. Два провідники приєднайте до гальванометра.

* * *

Як можна відновити і змусити працювати деякий час електричну батарейку до кишенькового ліхтарика у відсутності нової або в туристичному поході? Достатньо просто. Для цього слід просвердлити в декількох місцях накривку, залиту гудроном, опустити батарейку в насичений розчин кухонної солі — дві столові ложки солі на три склянки води. Кип'ятити батарейку в цьому розчині 10–15 хв. Після цього отвори зверху замазати пластиліном чи воском або парафіном, і батарейка знову працює деякий час.

§14 Сила струму. Амперметр. Вимірювання сили струму

Силою струму називається фізична величина, що характеризує електричний струм у колі та дорівнює відношенню електричного заряду q , що пройшов крізь поперечний переріз провідника, до часу його проходження t :

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

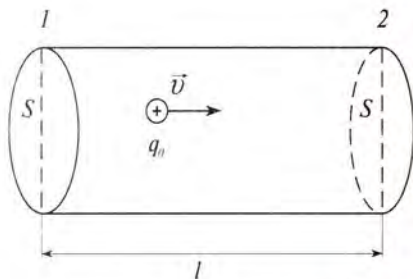


рис. 37

Коли в електричному колі проходить електричний струм, то це означає, що крізь поперечний переріз провідника разом із рухом заряджених частинок весь час переноситься електричний заряд. Заряд, який переноситься за одиницю часу, є основною кількісною характеристикою струму і називається силою струму.

Отже, **силою струму називається фізична величина, що характеризує електричний струм у колі та дорівнює відношенню електричного заряду q , що пройшов крізь поперечний переріз провідника, до часу його проходження t :**

$$I = \frac{q}{t} \quad (1)$$

Якщо сила струму з часом не змінюється, такий струм називають **постійним**.

Зв'язок між силою струму, зарядом, концентрацією заряджених частинок і швидкістю їх напрямленого руху.

Розглянемо провідник, який має поперечний переріз площею S . За напрямком руху струму візьмімо напрямок зліва направо (рис. 37). Заряд частинки рівний q_0 . Перерізи 1 і 2 розміщено на відстані l .

У циліндричному об'ємі провідника ($V = S \cdot l$), обмеженого перерізами 1 і 2, міститься частинок $N = n \cdot S \cdot l$,

де n – концентрація заряджених частинок. Загальний заряд частинок у цьому об'ємі рівний добутку заряду частинки на їх число $q = q_0 \cdot N = q_0 \cdot n \cdot S \cdot l$.

Якщо швидкість руху частинок \vec{v} , то за час

проходження частинкою l відстані $t = \frac{l}{v}$ всі

частинки, що є в об'ємі, пройдуть крізь переріз 2.

Сила струму рівна $I = \frac{q}{t}$, заряд рівний $q = q_0 \cdot n \cdot S \cdot l$.

Отже, маємо:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q_0 n S l}{t} \quad (2)$$

Врахуємо, що $\frac{l}{t} = v$:

$$I = q_0 n v S \quad (3)$$

Формула (3) визначає зв'язок між силою струму, зарядом частинки, їх концентрацією і швидкістю руху.

Для металевого провідника заряд частинки q_0 рівний заряду електрона e . Формула (3) для сили струму в металевому провіднику запишеться так:

$$I = e n v S \quad (4)$$

де e — заряд електрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл); n — концентрація електронів у металі, v — швидкість руху електронів, S — площа поперечного перерізу провідника.

Одиниця сили струму. Оскільки $I = \frac{q}{t}$, то сила струму рівна $\frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}}$. Така одиниця вимі-

рювання сили струму називається ампером (А) на честь французького фізика Андре

Ампера, $1 \text{ А} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}}$. Ампер є основною одини-

цею Міжнародної системи (СІ) і визначається за взаємодією двох паралельних провідників зі струмом, як було вирішено на Міжнародній конференції з мір і ваг у 1948 р.



Ампер Андре-Марі
(1775—1836) — французький фізик і математик. Він запропонував у фізиці поняття «електричний струм», першу теорію зв'язку електричних і магнітних явищ та ін.



рис. 38

Для того, щоб ввести одиницю сили струму в міжнародній системі одиниць, необхідно взяти тонкі і нескінченно довгі провідники і розмістити їх у вакуумі на відстані 1м один від одного.

Ампер — це така сила незмінного струму, при якій відрізки двох тонких, нескінченно довгих паралельних провідників довжиною 1м, що знаходяться на відстані 1м один від одного, у вакуумі, взаємодіють із силою $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

$$\begin{aligned} 1 \text{ мА} &= 0,001 \text{ А} = 10^{-3} \text{ А}, \\ 1 \text{ мкА} &= 0,000001 \text{ А} = 10^{-6} \text{ А}, \\ 1 \text{ кА} &= 1000 \text{ А} = 10^3 \text{ А}. \end{aligned}$$

Визначення одиниці сили струму — ампера. На рис.38 зображено два гнучкі прямі провідники, паралельні один одному. Якщо обидва провідники під'єднати до джерела струму, то при замиканні кола по провідниках проходить струм, внаслідок чого вони взаємодіють між собою — притягуються, якщо в обох провідниках струм тече в одному напрямі, або відштовхуються, якщо струм у провідниках тече у протилежних напрямках.

Сила взаємодії провідників зі струмом, яку можна безпосередньо виміряти, як показують дослід і розрахунки, залежить від довжини провідників, відстані між ними, середовища, в якому вони розміщені, а також від сили струму в провідниках: чим більша сила струму в кожному провіднику, тим з більшою силою вони взаємодіють.

Для того, щоб ввести одиницю сили струму в міжнародній системі одиниць, необхідно взяти тонкі і нескінченно довгі провідники і розмістити їх у вакуумі на відстані 1м один від одного.

Ампер — це така сила незмінного струму, при якій відрізки двох тонких, нескінченно довгих паралельних провідників довжиною 1м, що знаходяться на відстані 1м один від одного, у вакуумі, взаємодіють із силою $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Одиниці сили струму і заряду. На практиці, крім одиниці сили струму ампер (А), застосовують також частинні й кратні одиниці сили струму: міліампер (мА), мікроампер (мкА), кілоампер (кА).

$$\begin{aligned} 1 \text{ мА} &= 0,001 \text{ А} = 10^{-3} \text{ А}, \\ 1 \text{ мкА} &= 0,000001 \text{ А} = 10^{-6} \text{ А}, \\ 1 \text{ кА} &= 1000 \text{ А} = 10^3 \text{ А}. \end{aligned}$$

Через одиницю сили струму — 1 А визначають одиницю електричного заряду — 1 Кл, яка Вам уже відома:

$$1 \text{ кулон} = 1 \text{ ампер} \cdot 1 \text{ секунда, або } 1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$$

Отже, за одиницю електричного заряду 1 Кл приймають заряд, який проходить крізь поперечний переріз провідника за 1 с за сили струму 1 А.

Електричний заряд іноді називають *кількістю електрики*.

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

Амперметр. Силу струму в колі вимірюють приладом, який називається амперметром.

Амперметр — це прилад для вимірювання сили струму в електричному колі. Його шкалу проградуєвано в амперах, або частинних чи кратних одиницях ампера. На рис. 39 зображено зовнішній вигляд лабораторного амперметра.

Принцип роботи амперметра (гальванометра) однієї із систем ґрунтується на одній із дій електричного струму — магнітній. Амперметр складається з легкої котушки з дротом, яка розміщується між полюсами постійного магніту. До котушки кріпиться стрілка. З проходженням електричного струму відбувається взаємодія струму з постійним магнітом, стрілка відхиляється і показує на шкалі приладу значення сили струму.

Вмикання амперметра в коло. Щоб виміряти силу струму, амперметр вмикають у коло послідовно (кінець одного провідника є початком другого) з тим приладом, силу струму в якому вимірюють за допомогою двох клем або затискачів, що є на приладі, з позначками «+» біля однієї і «-» біля другої. На рис. 39, а показана схема вмикання амперметра в коло і його умовне позначення.

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



рис. 39

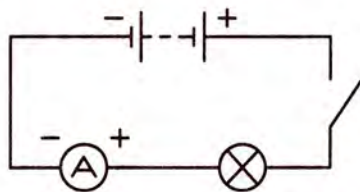


рис. 39, а

Це цікаво знати

Швидкість упорядкованого руху електронів у провіднику

Спробуймо визначити швидкість упорядкованого руху електронів у металевому провіднику. Для цього скористаймося формулою (4) і визначемо швидкість руху електрона:

$$v = \frac{I}{enS};$$

де e — модуль заряду електрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл). Для спрощення розрахунків візьмімо силу струму рівною 1 А, площу поперечного перерізу $1 \text{ мм}^2 = 10^{-6} \text{ м}^2$. Ми вже знаємо, що число вільних електронів в 1 м^3 одновалентної міді дорівнює числу атомів у цьому об'ємі. Це число рівне $n = 8,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^3$. Підставмо значення у попередню формулу:

$$v = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,5 \cdot 10^{28} \cdot 10^{-6}} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Отже, швидкість упорядкованого руху електронів справді дуже мала, а швидкість поширення електричного струму близько $3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ (швидкість поширення світла у вакуумі).

Перевірте себе

1. Що називають силою електричного струму?
2. Як виражається сила струму через електричний заряд і час?
3. Як визначається одиниця сили струму в СІ — ампер?
4. Як називають прилад для вимірювання сили струму? Як вмикають його у коло?

Завдання 7

1. Сила струму в колі електричної плитки 1,4 А. Який електричний заряд проходить крізь поперечний переріз спіралі за 10 хв?
2. Яка сила струму, якщо крізь поперечний переріз провідника проходить заряд 100 Кл за 4 с?
3. Запишіть в амперах силу струму, яка дорівнює 2000 мкА, 100 мА, 3,5 кА.

§15 Електрична напруга. Вольтметр. Вимірювання напруги

Ми вже знаємо, що в замкненому електричному колі відбувається рух вільних електронів, які утворюють електричний струм. Цей рух відбувається під дією електричного поля, що створюється джерелом струму. Отже, сили електричного поля виконують роботу з переміщення зарядів, і ця робота називається **роботою струму**. Окрім величини заряду, робота струму визначається ще й фізичною величиною, яка дістала назву **електричної напруги**.

Напруга — це фізична величина, що характеризує електричне поле на певній ділянці електричного кола або в усьому колі та створює електричний струм.

Напруга U на ділянці кола чисельно дорівнює відношенню роботи струму до електричного заряду q , що переміщується через цю ділянку кола:

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

Робота струму рівна: $A = q \cdot U$.

Одиниці електричної напруги. Електричну напругу вимірюють у вольтах (позначають В). Так її назвали на честь видатного італійського фізика Алессандро Вольта, який створив перший гальванічний елемент.

За одиницю електричної напруги 1 вольт (1 В) приймають таку напругу на кінцях провідника, за якої робота з переміщення електричного заряду в 1 кулон (1 Кл) по провіднику дорівнює роботі 1 джоуль (1 Дж):

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



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

Напруга — це фізична величина, що характеризує електричне поле на певній ділянці електричного кола або в усьому колі та створює електричний струм.

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



рис. 40

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

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

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

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

Вольтметр. Ми вже знаємо, що величину струму в електричному колі можна виміряти за допомоги приладу амперметра.

Величину електричної напруги можна виміряти за допомоги приладу, що називається вольтметром.

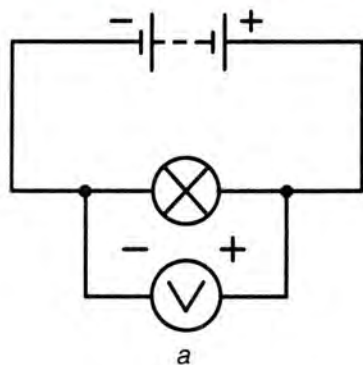
На рис. 40 зображено зовнішній вигляд шкільного демонстраційного вольтметра, а на рис. 41, а, б його умовне позначення.

Принцип роботи вольтметра також ґрунтується на магнітній дії електричного струму. Тоді в чому ж полягає відмінність у будові амперметра і вольтметра? Уважно подивімося на рухому рамку (котушку з дротом), до якої прикріплено стрілку лабораторного амперметра і вольтметра. Ми побачимо, що в амперметрі котушку намотано дротом більшого діаметру, а у вольтметрі дротом меншого діаметру та більшої кількості витків. Чому це так, ви дізнаєтесь у наступних параграфах.

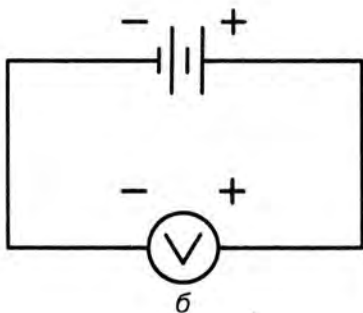
Вимірювання напруги.

Пригадаймо, що амперметр в електричне коло вмикається послідовно. Вольтметр для вимірювання електричної напруги вмикається в коло паралельно.

Затискачі вольтметра під'єднують до тих точок кола, між якими треба виміряти напругу, причому затискач із позначкою «+» приєднують до проводу, що йде від позитивного полюса джерела струму, а з позначкою «-» — до негативного. Якщо приєднати навпаки, то стрілка вольтметра відхилиться у протилежний бік, і прилад не покаже напруги і навіть може зіпсуватися.



а



б

рис. 41

На рисунку 41, а зображено, як треба приєднати вольтметр, щоб виміряти напругу на ділянці кола електричної лампи, а на рис.41, б — щоб виміряти напругу на полюсах джерела струму.

Поглибте свої знання

Електрорушійна сила джерела струму.

Нині ми не можемо собі уявити життя без електронних годинників, мобільних телефонів, портативних плеєрів, мінітелевізорів та інших електронних приладів. Вся мінітехніка живиться постійним електричним струмом від батарейок або мініакумуляторів. На батарейках (елементах живлення) позначається тип, наприклад, R20, AA, AAA, який визначає геометричні розміри, та вказується значення напруги, наприклад, 1,2 В, 1,5 В, 4,5 В.

Напруга, яка вказується на елементах живлення, мініакумуляторах, акумуляторах, називається **електрорушійною силою** (ЕРС) цього джерела струму.

Іноді кажуть, що ЕРС — це напруга, яку може дати джерело струму, хоча це не зовсім точно. Про це ви дізнаєтесь у старшій школі.

Вимірюється ЕРС у вольтах за допомоги вольтметрів.

Перевірте себе

1. Що таке електрична напруга?
2. Як можна визначити напругу, знаючи роботу струму і електричний заряд?
3. Як можна визначити роботу струму, знаючи напругу і перенесений заряд?
4. Як можна підрахувати, який заряд перенесено, якщо відомі напруга і робота струму?
5. Що приймають за одиницю напруги?
6. Яким приладом вимірюють напругу? Як вмикають його у коло для вимірювання напруги на ділянці кола?

Завдання 8

1. Яка напруга на кінцях провідника, якщо за проходження крізь нього заряду 5 Кл виконується робота 1,1 кДж?
2. Яка робота виконується з переміщення заряду 4,6 мкКл по провіднику, напруга на кінцях якого 2000 В?
3. Розглянемо шкалу вольтметра на рис. 40. Визначте ціну поділки.

§16 Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола. Електричний опір

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

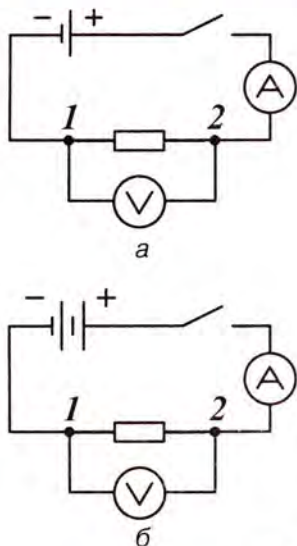


рис. 42

Сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника однорідної ділянки кола.

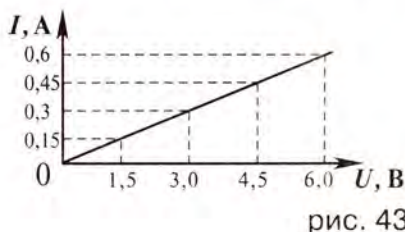


рис. 43

Ми знаємо, що електричне коло складається із джерела, з'єднувальних провідників і споживачів. В електричне коло для вимірювання сили струму послідовно вмикається амперметр. Для вимірювання напруги на окремій ділянці кола паралельно цій ділянці вмикається вольтметр. **Така ділянка замкненого електричного кола, яка не містить джерела струму, називається однорідною** (наприклад, ділянка 1–2, рис. 42, а). Для встановлення закону Ома виконаймо такий дослід.

Складімо схему (рис. 42) з одним гальванічним елементом або акумулятором. Вольтметр приєднано до однорідної ділянки кола 1–2 паралельно. На ділянці кола 1–2 приєднано нікелінову дротину (може бути частина спіралі нагрівача). Замкнімо коло і запишімо покази приладів. Потім приєднаймо до першого акумулятора послідовно такий самий акумулятор (рис. 42, б) і знову замкнімо коло. Напруга на дроті збільшилась удвічі, і амперметр покаже удвічі більшу силу струму. За трьох однакових акумуляторів напруга на спіралі збільшується втричі, у стільки ж разів збільшується сила струму.

Отже, сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника однорідної ділянки кола.

Цю залежність можна зобразити графічно (рис. 43). Графік залежності сили струму від напруги є прямою лінією (залежність прямо пропорційна).

Увімкнімо в коло інший провідник – довший або коротший, і знову виконаймо таку саму серію дослідів. Хоча сила струму буде іншою, однаке все одно вона змінюватиметься прямо пропорційно напрузі.

Узагальнюючи результати дослідів, можна зробити висновок:

сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на його кінцях:

$$I = kU, \quad (1)$$

де I – сила струму, k – коефіцієнт пропорційності між струмом і напругою, який залежить від властивостей провідника.

Цю залежність експериментально встановив у 1827 р. німецький вчений Георг Сімон Ом, провівши багато дослідів з різними провідниками. Цей закон має його ім'я.

Електропровідність. Коефіцієнт провідності k між силою струму і напругою залежить від властивостей провідника, від його геометричних розмірів та матеріалу, з якого він виготовлений. Що більше значення k , то більша сила струму за тієї ж напруги, отже то краще провідник проводить струм. Тому величина k називається *провідністю* провідника, або *електропровідністю*.

Електричний опір. На практиці набагато частіше використовують не електропровідність, а величину, її обернену, яка дістала назву *електричного опору*, або просто *опору*.

Позначивши опір провідника через

$$R = \frac{1}{k},$$

закон Ома можна записати так:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2)$$

де I – сила струму; U – напруга, R – опір. Тому закон Ома для однієї однорідної ділянки кола можна сформулювати так:

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



Ом Георг-Сімон
(1787 – 1854) — німецький фізик. Теоретично і експериментально обґрунтував закон, який виражає зв'язок між силою струму, напругою і опором.

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

$$U = IR$$

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

За одиницю опору беруть 1 ом (Ом) – опір такого провідника, в якому за напруги 1 В на його кінцях сила струму дорівнює 1 А.

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

Опір провідника не залежить ні від сили струму, ні від напруги, а залежить від матеріалу провідника і його геометричних розмірів.

Отже, знаючи силу струму і опір, можна за законом Ома обчислити напругу, а за напругою і силою струму – опір провідника:

$$U = IR, \quad R = \frac{U}{I}. \quad (3)$$

Слід пам'ятати, що опір провідника не залежить ні від сили струму, ні від напруги, а залежить від матеріалу провідника і його геометричних розмірів.

Одиниці опору. За одиницю опору прийнято 1 ом (Ом) – опір такого провідника, в якому за напруги 1 В на його кінцях сила струму дорівнює 1 А.

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

На практиці часто використовують і такі одиниці опору: кілоом (кОм), мегаом (МОм).

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

$$1 \text{ МОм} = 1000000 \text{ Ом} = 10^6 \text{ Ом}.$$

Будьте обережні з електричним струмом!

Досліджено, що проходження струму крізь тіло людини силою біля 100 мА викликає серйозні ураження організму. Безпечним вважається струм до 1 мА.

Верхній шар сухої шкіри людини має дуже великий опір. Опір людини, що має суху шкіру, достатньо значний – близько 15 000 Ом.

За законом Ома, враховуючи великий опір, небезпечні струми можуть виникнути за значної напруги. Але у вологому приміщенні, коли шкіра людини волога та її опір різко зменшується, небезпечною може бути навіть напруга у 12 В. *Пам'ятайте про це.*

Історична довідка

Георг-Сімон Ом розпочав дослідження в галузі електрики в 1825 році. Перші досліди Ом проводив, користуючись власноруч виготовленим джерелом струму.

Для оцінювання і порівняння величини струму, що проходив по провіднику, Ом використовував магнітну стрілку (див. «Дії електричного струму»). Що більший кут відхилення стрілки, то більший струм проходив по провіднику.

Закон Ома для ділянки кола був опублікований 1827 р. в праці «Гальванічне коло, розроблене математично доктором Г. С. Омом».

§17 Залежність опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу та матеріалу

Залежність опору провідника від його геометричних розмірів і речовини, з якої він виготовлений, вперше дослідним способом установив Ом:

електричний опір прямо пропорційний довжині провідника, обернено пропорційний площі його поперечного перерізу й залежить від речовини провідника.

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (1)$$

де R — опір провідника, l — довжина, S — площа поперечного перерізу, ρ (читається «ро») — коефіцієнт пропорційності, який залежить від матеріалу провідника і називається **питомим опором**.

З цієї формули випливає:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} \quad (2)$$

За одиницю питомого опору прийнято питомий опір провідника завдовжки 1 м, площею поперечного перерізу 1 м², що має опір 1 Ом:

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

Електричний опір прямо пропорційний довжині провідника, обернено пропорційний площі його поперечного перерізу й залежить від речовини провідника.

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

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



НІКЕЛІН	1
НІКЕЛІН	0,5
НІКЕЛІН	0,5
СТАЛЬ	0,5
МІДЬ	0,5

рис. 44

Оскільки найчастіше площу поперечного перерізу провідника виражають у мм^2 , користуються і такою позасистемною одиницею питомого опору:

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

Вираз (1) ми можемо отримати дослідним способом. Проробімо такий дослід: у коло джерела струму по черзі вмикатимемо різні провідники: нікелінові провідники однакової товщини, але різної довжини; нікелінові провідники однакової довжини, але різної товщини, і нарешті, нікеліновий і мідний провідники однакової довжини і товщини (рис. 44). Визначивши силу струму і напругу в кожному досліді та обчисливши опір кожного з провідників за формулою (1) побачимо, що:

- з двох нікелінових провідників з однаковим поперечним перерізом довший має більший опір;
- з двох нікелінових провідників однакової довжини більший опір має дріт з меншим поперечним перерізом;
- з двох однакових за розмірами провідників нікеліновий має більший опір, ніж мідний.

- з двох нікелінових провідників з однаковим поперечним перерізом довший має більший опір;
- з двох нікелінових провідників однакової довжини більший опір має дріт з меншим поперечним перерізом;
- з двох однакових за розмірами провідників нікеліновий має більший опір, ніж мідний.

Отже, ми отримали формулу (1) залежності опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу та питомого опору.

Розгляньмо значення питомих опорів деяких речовин за кімнатної температури, що подані в таблиці 2.

Таблиця 2.

Питомий опір деяких речовин і сплавів

Провідник	ρ , Ом·м	Провідник	ρ , Ом·м
Алюміній	$2,8 \cdot 10^{-8}$	Срібло	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Вольфрам	$5,5 \cdot 10^{-8}$	Сталь	$12 \cdot 10^{-8}$
Графіт	$3 \cdot 10^{-8}$	Цинк	$6,1 \cdot 10^{-8}$
Залізо	$10 \cdot 10^{-8}$	Фарфор	10^{13}
Золото	$2,4 \cdot 10^{-8}$	Ебоніт	10^{20}
Мідь	$1,8 \cdot 10^{-8}$	Вода	10^6
Нікелін (сплав)	$40 \cdot 10^{-8}$	(дистильована)	

Як бачимо, метали (срібло, мідь, золото, алюміній) мають невеликий питомий опір, а найкращі провідники електрики — це срібло і мідь. Для ліній електропередачі використовують алюмінієві та мідні проводи, що мають невеликий питомий опір.

В електричних лампах розжарення, електронагрівальних приладах, де потрібний великий опір, використовують спеціально створені сплави, що мають питомий опір, більший за питомий опір заліза, наприклад, нікелін.

Фарфор та ебоніт мають дуже великий питомий опір, у 10^{20} – 10^{21} раз більший за питомий опір заліза, тому вони — типові діелектрики, практично не проводять електричного струму, їх використовують як ізолятори.

Подібно до того, як величина, обернена до опору провідника, називається електропровідністю, **величина, обернена до питомого опору, називається питомою електропровідністю.**

Для ліній електропередачі використовують алюмінієві та мідні проводи, що мають невеликий питомий опір.

Величина, обернена до питомого опору, називається питомою електропровідністю.

Поглибте свої знання

У чому причина електричного опору металів? Розгляньмо природу електричного опору металевих провідників. Якби електрони в провіднику не зазнавали ніяких перешкод під час свого руху, то вони під дією електричного поля рухалися б необмежено довго. Насправді електрони взаємодіють з йонами (атомами) кристалічної ґратки металів, які коливаються навколо положень рівноваги. Внаслідок втрати електронами енергії під час цих взаємодій сповільнюється їх упорядкований рух, і через поперечний переріз провідника проходить менша кількість заряджених частинок за одиницю часу, тобто зменшується сила струму. Можна передбачити: що довший провідник, то більше разів електрони, що рухаються впорядковано, взаємодіятимуть з йонами металу, отже, більшим буде і опір. І навпаки: що більший поперечний переріз провідника, то більша кількість електронів бере участь у впорядкованому русі і то меншим буде опір. Опір, як ми вже знаємо, залежатиме також від внутрішньої будови провідника, матеріалу, з якого він зроблений, бо внутрішня будова провідника визначатиме частоту зіткнень носіїв електричних зарядів з йонами ґратки. Не виключено й

вплив температури провідника, бо зі зростанням температури інтенсивнішим стає тепловий рух йонів атомів кристалічної ґратки і, одночасно, електронів, тобто зростатиме кількість зіткнень електронів з йонами ґратки, що також зумовлює зростання опору.

Перевірте себе

1. Як формулюється закон Ома? Про зв'язок яких трьох основних електричних величин йдеться в законі Ома?
2. Що таке електропровідність? В яких одиницях вимірюється електропровідність?
3. Що таке опір провідника? В яких одиницях вимірюється опір?
4. Як, знаючи силу струму і опір провідника, можна визначити напругу на кінцях провідника?
5. Від чого залежить опір провідника?
6. У яких одиницях виражають питомий опір провідника?

Завдання 9

1. Як зміниться опір металевої дротини, якщо збільшити у 2 рази її довжину? площу поперечного перерізу?
2. Як зміниться опір дротини, якщо одночасно збільшити у 3 рази її довжину і діаметр?
3. За напруги на кінцях провідника 2 В сила струму в ньому 0,5 А. Якою буде сила струму в провіднику, якщо напруга на його кінцях збільшиться до 4 В?

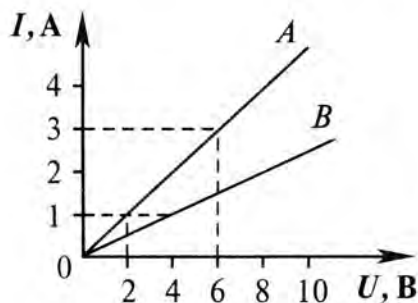


рис. 45

4. На рисунку 45 зображено графік залежності сили струму від напруги для двох провідників A і B. Який з провідників має менший опір? Визначте опір кожного провідника.
5. Визначте опір провідника, виготовленого з алюмінієвого дроту завдовжки 80 м і площею поперечного перерізу $0,2 \text{ мм}^2$.
6. На рисунку 44 складено електричне коло з нікеліновим провідником завдовжки 120 см і площею поперечного перерізу 1 мм^2 . Визначте питомий опір нікеліну. Порівняйте з табличним значенням. (Скористайтесь показами приладів: $U = 0,5 \text{ В}$, $I = 1 \text{ А}$.)

§18 Реостати

На практиці часто необхідно змінювати силу струму в електричному колі. Для цього використовуються прилади, що отримали назву реостати. Отже, **реостати — це прилади, призначені для регулювання сили струму в колі.**

Реостати бувають повзункові з ковзаючим контактом (рис. 46, а), у вигляді магазину резисторів (рис. 46, б) або важільні (рис. 46, в).

Повзункові реостати складаються з керамічного циліндра, на якому намотано дріт із великим питомим опором. Зверху циліндра розміщено металевий стержень, по якому ковзає металевий контакт. Електричний струм проходить крізь затискач на стержні до рухомого контакту і далі витками дроту на інший затискач.

У важільному реостаті опір змінюється стрибкоподібно шляхом зміни положення металевого важеля. Таким чином змінюється довжина дроту реостата.

У колах з малою силою струму використовують реостати у вигляді набору резисторів — магазини резисторів. На верхній накривці магазину резисторів є мідна пластина з розривами. Електричний контакт можна встановлювати спеціальними мідними стрижнями. Якщо вставити всі контактні стрижні у розриви, то струм тектиме пластиною, опір якої надзвичайно малий, отже, опір усього реостата практично дорівнюватиме нулю. Якщо якийсь контактний стрижень вийняти, струм проходитиме крізь відповідний резистор. Виймаючи різні стрижні, можна дістати різні значення опору.

Подільник напруги. Якщо реостат має три клеми: дві під'єднано до кінців обмотки, третю — до повзунка, то такий резистор змінного опору може використовуватися в електричному колі як подільник напруги (рис. 47, а). Умовне позначення реостата зображено на рис. 47, б, схему включення подільника напруги зображено на рис. 47, в.



рис. 46

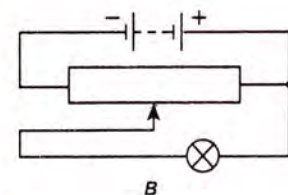
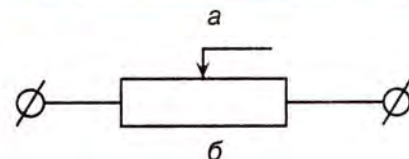
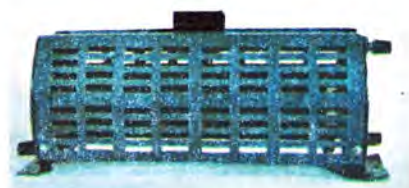


рис. 47

Перевірте себе

1. Що таке резистор?
2. Для чого призначений реостат?
3. Чому в реостатах використовують дріт із великим питомим опором?
4. Як на схемах електричних кіл зображають резистор і реостат?
5. Які реостати за конструкцією ви знаєте?
6. Як слід увімкнути в коло електричну лампу і повзунковий реостат, щоб ним можна було регулювати силу струму в лампі? Накресліть схему такого з'єднання. Як треба відповідно до схеми перемістити повзун реостата, щоб лампа світилася яскравіше?

§19 Залежність опору провідника від температури

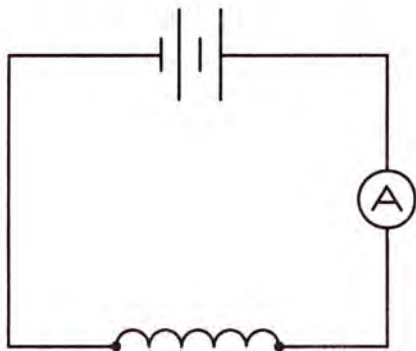


рис. 48

З підвищенням температури опір металів збільшується.

Ми вже знаємо, що опір провідника залежить від його довжини, площі поперечного перерізу, матеріалу.

Виявляється, що опір провідника залежить також і від його температури.

Перш, ніж скласти електричне коло за схемою рис. 48, підготуймо провідник у вигляді спіралі. Для цього візьмімо провід із великим питомим опором діаметром 0,1-0,2 мм. Це може бути залізо, ніхром, вольфрам. Під'єднаймо спіраль до клем.

Замкнімо електричне коло і відмітьмо покази амперметра. Нагріваймо спіраль за допомогою нагрівника. Ми побачимо, що мірою нагрівання покази амперметра фіксують зменшення струму. Згідно з законом Ома, зменшення струму свідчить про збільшення опору дроту спіралі. Такий результат ми одержимо з усіма іншими металами.

Отже, з підвищенням температури опір металів збільшується.

Позначимо за температури $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ опір провідника R_0 , за довільної температури $t\text{ }^{\circ}\text{C}$

опір буде R . Дослід показує, що відносна зміна опору провідника прямо пропорційна зміні температури t на окремих ділянках кола.

Це можна записати так:

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha (t - t_0), \quad (1)$$

де α – температурний коефіцієнт опору, $t = t^\circ\text{C}$ – довільна температура.

Фізичний зміст температурного коефіцієнта опору встановимо з формули (1):

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0} \cdot \frac{1}{t - t_0}. \quad (2)$$

Отже, температурний коефіцієнт опору чисельно рівний відносній зміні опору провідника за його нагрівання на 1°C . (Згадаймо, що $1^\circ\text{C} = 1\text{ K}$)

Для металевих провідників величина $\alpha > 0$ і незначно збільшується зі збільшенням температури.

Залежність питомого опору провідника від температури.

Для визначення залежності питомого опору від температури у формулу (1) підставимо значення опору $R = \rho \frac{l}{S}$ і $R_0 = \rho_0 \frac{l}{S}$.

Проведімо розрахунки ($t_0 = 0^\circ\text{C}$) і отримаємо:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t) \quad (3)$$

де ρ_0 – питомий опір за 0°C .

Ця формула (3) виражає залежність питомого опору від температури.

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

Для робочого елемента термометрів опору зазвичай беруть платиновий дріт. Значення

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha (t - t_0)$$

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0} \cdot \frac{1}{t - t_0}$$

Температурний коефіцієнт опору чисельно рівний відносній зміні опору провідника за його нагрівання на 1°C .

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$$

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

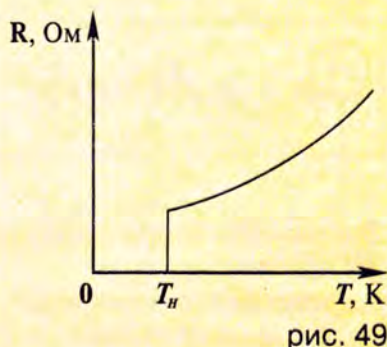
опору для платинового дроту за різних температур добре відомо. Платиновий дріт намотується на слюдяну пластинку, поміщається в піч. Кінці дроту приєднуються до кола. Вимірюючи зміну опору обмотки з температурою, визначають температуру об'єкта.

Термометри опору дозволяють вимірювати як дуже низькі температури, так і дуже високі температури, для вимірювання яких рідинні термометри не підходять.

Історична довідка

Надпровідність. Нідерландський фізик Камерлінг-Оннес (1853–1926) 1911 р. відкрив надзвичайно цікаве явище, що дістало назву **надпровідності**. Суть цього явища в тому, що з охолодженням деяких металів до температур, близьких до абсолютного нуля (нижче 25 К, або -248°C) їхній опір, починаючи з деякої «критичної» температури зменшується стрибкоподібно.

Камерлінг-Оннес відкрив це явище за охолодження ртуті в рідкому гелії. Спочатку опір ртуті змінюється повільно, а за температури 4,1 К (або $-268,9^{\circ}\text{C}$) стрибкоподібно падає до нуля (рис. 49).



Явище надпровідності знаходить широке практичне використання. Це, зокрема, потужні електромагніти, які використовуються в прискорювачах елементарних частинок, і створення надпотужних електронно-обчислювальних машин.

Пояснення явища надпровідності можливе тільки на основі квантової теорії. Воно було здійснене лише в 1957 р. американськими вченими Дж. Бардіним, Л. Купером, Дж. Шриффером і українським ученим, академіком М. М. Боголюбовим.

§20 З'єднання провідників. Розрахунки простих електричних кіл

1. Послідовне з'єднання. Електричні кола, що застосовуються на практиці, зазвичай, складаються з багатьох елементів: кількох споживачів, вимірювальних приладів та джерел струму. Ці складові елементи електричного кола можуть з'єднуватись по-різному.

Таке з'єднання елементів електричного кола, за якого кінець першого елемента з'єднується з початком другого, а початок першого елемента і кінець другого елемента (якщо їх декілька — то останнього), називається **послідовним з'єднанням**.

На рисунку 50, *а* зображено коло послідовного з'єднання двох електричних ламп та амперметра, а на рисунку 50, *б* — схему такого з'єднання.

Сила струму за послідовного з'єднання. За послідовного з'єднання елементів електричного кола сила струму в будь-яких частинах кола однакова, тобто

$$I = I_1 = I_2. \quad (1)$$

Це можна пояснити так: крізь поперечні перерізи всіх послідовно з'єднаних провідників проходитиме за одиницю часу однакова кількість носіїв заряду, і струм буде однаковим у будь-яких частинах кола.

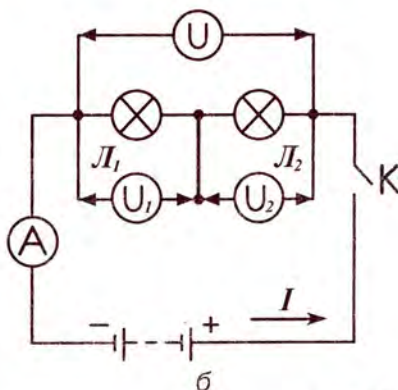
Напруга за послідовного з'єднання. Напруга в колі за послідовного з'єднання дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола:

$$U = U_1 + U_2 \quad (2)$$

Опір за послідовного з'єднання. Використаймо закон Ома для ділянки кола і окремих провідників, з яких вона складається.



а



б

рис. 50

За послідовного з'єднання елементів електричного кола, сила струму в будь-яких частинах кола однакова.

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

Напруга в колі за послідовного з'єднання дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола.

Загальний опір за послідовного з'єднання дорівнює сумі опорів окремих провідників (або окремих елементів кола):

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Отримаємо:

$$U = IR, U_1 = IR_1, U_2 = IR_2,$$

де I – сила струму в колі, R , R_1 і R_2 – опори всієї ділянки кола та окремих її частин, U , U_1 , U_2 – відповідно напруга всієї ділянки та окремих її частин.

Оскільки із формули 2 $U = U_1 + U_2$, то

$$IR = IR_1 + IR_2,$$

і, скоротивши на I , матимемо:

$$R = R_1 + R_2.$$

Загальний опір за послідовного з'єднання дорівнює сумі опорів окремих провідників (або окремих елементів кола):

$$R = R_1 + R_2. \quad (3)$$

За послідовного з'єднання двох опорів напруга на провідниках та їхні опори зв'язані співвідношенням (із формули 1):

$$I_1 = I_2;$$

або

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

Остаточнo

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (4)$$

Перевірте себе

1. Яке з'єднання резисторів називається послідовним? Як зобразити послідовне з'єднання трьох провідників на схемі?
2. Яка електрична величина однакова для всіх резисторів, що з'єднані послідовно?
3. Як знайти напругу ділянки кола, складеного з кількох послідовно з'єднаних резисторів, якщо напруга на кожному з них відома?
4. Як знайти опір усієї ділянки кола, складеної з послідовно з'єднаних резисторів, якщо відомо опір кожного з резисторів?

2. Паралельне з'єднання. Паралельним називають таке з'єднання провідників, коли початки провідників з'єднуються в один вузол, а

інші кінці — в другий. Вузли з'єднань вмикаються у коло.

На рисунку 51, а зображено паралельне з'єднання двох електричних ламп, а на рисунку 51, б — схему цього з'єднання.

Напруга за паралельного з'єднання споживачів. Як видно з рисунка 51, б, за паралельного з'єднання обидві лампочки одним своїм проводом приєднуються до однієї точки кола С, а іншим — до точки В. Тому напруга на ділянці кола СВ і на кінцях цих паралельно з'єднаних провідників однакова:

$$U = U_1 = U_2. \quad (5)$$

Сила струму за паралельного з'єднання. За паралельного з'єднання струм у точці В (рис. 51, б) розгалужується на два струми I_1 і I_2 , які сходяться знову в точці С. Це подібно до того, як потік води в річці розподіляється на два рукави, що сходяться потім знову в загальну течію.

Зрозуміло, що буде справедливою рівність:

$$I = I_1 + I_2, \quad (6)$$

тобто сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів в окремих паралельно з'єднаних провідниках. Цей висновок підтверджують і результати досліду (рис. 51, а).

Це можна пояснити виходячи з того, що електричний заряд не може накопичуватися в окремих точках кола. Електричний заряд q , що переноситься за час t у нерозгалуженій частині кола, розподіляється в розгалуженнях на заряди q_1 і q_2 , причому

$$q = q_1 + q_2. \quad \left(q = \frac{I}{t} \right),$$

Підставивши значення заряду одержимо:

$$\frac{I}{t} = \frac{I_1}{t} + \frac{I_2}{t},$$

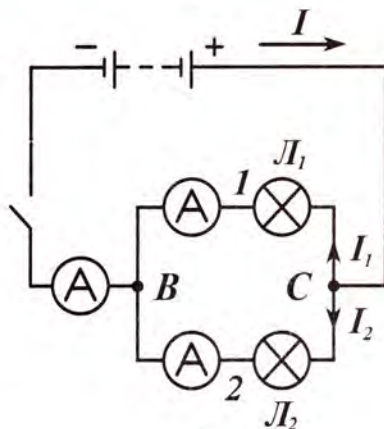
де t — час. Отримали:

$$I = I_1 + I_2,$$

що підтверджує правильність рівності 6.



а



б

рис. 51

Сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів в окремих паралельно з'єднаних провідниках.

За паралельного з'єднання провідників величина, обернена повному опору з'єднання, дорівнює сумі величин, обернених до опорів розгалужених частин.

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

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Опір за паралельного з'єднання споживачів.

Оскільки $I = I_1 + I_2$, а за законом Ома:

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

то маємо:

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

Скоротивши на U , отримуємо:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad (7)$$

тобто за паралельного з'єднання провідників величина, обернена повному опору з'єднання, дорівнює сумі величин, обернених до опорів розгалужених частин.

• Сили струму у двох провідниках та їхні опори за паралельного з'єднання зв'язані співвідношенням:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Покажімо це. Оскільки: $U = U_1 = U_2$, то

$$IR = I_1 R_1 = I_2 R_2.$$

Звідси:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2,$$

Остаточо маємо:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (8)$$

тобто відношення сил струмів в розгалужених частинах кола обернено пропорційна до опорів цих частин.

Перевірте себе

1. Яке з'єднання елементів кола називається паралельним?
2. Чому дорівнює напруга для всіх резисторів з'єднаних паралельно, якщо напруга на першому резисторі 1 В?
3. Чому дорівнює сила струму в нерозгалуженій частині кола, якщо відомі сили струму в окремих розгалужених частинах?
4. Як залежать сили струмів в двох окремих частинах розгалуження від їхніх опорів?
5. Як обчислити загальний опір розгалуженої частини кола?

3. РОЗРАХУНКИ ПРОСТИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ.

Ми розглянули послідовне і паралельне з'єднання резисторів, встановили закони послідовного і паралельного з'єднання.

Розглянемо приклади розрахунку простих електричних кіл із послідовним, паралельним і змішаним з'єднанням.

ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ

Задача 1. Три резистори з опорами $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$ і $R_3 = 5 \text{ Ом}$ з'єднані послідовно. Амперметр, увімкнений у коло, показує 1 А (див. рис. 52). Визначити опір кола, напругу на кожному резисторі і повну напругу всієї ділянки кола.

Дано:
 $R_1 = 2 \text{ Ом}$
 $R_2 = 3 \text{ Ом}$
 $R_3 = 5 \text{ Ом}$
 $I = 1 \text{ А}$
 $R - ?$
 $U_1 - ?$
 $U_2 - ?$
 $U_3 - ?$
 $U - ?$

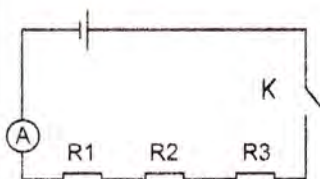


Рис. 52

Розв'язування

Сила струму в усіх послідовно з'єднаних резисторах одна й та сама і дорівнює силі струму в колі:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I = 1 \text{ А.}$$

Загальний опір кола:

$$R = R_1 + R_2 + R_3,$$

$$R = 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}$$

За законом Ома знаходимо напругу в кожному з резисторів:

$$U_1 = IR_1, U_1 = 1 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 2 \text{ В};$$

$$U_2 = IR_2, U_2 = 1 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 3 \text{ В};$$

$$U_3 = IR_3, U_3 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}.$$

Повна напруга в колі $U = U_1 + U_2 + U_3$, або $U = IR$.

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

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

Задача 2. Коло складається з трьох послідовно з'єднаних провідників, приєднаних до джерела струму з напругою 24 В (Див. рис. 53). Опір першого провідника 4 Ом , другого 6 Ом , напруга на кінцях третього провідника 4 В . Визначити силу струму в колі та опір третього провідника.

$$U = 24 \text{ В}$$

$$R_1 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом}$$

$$U_3 = 4 \text{ В}$$

$$I - ?$$

$$R_3 - ?$$

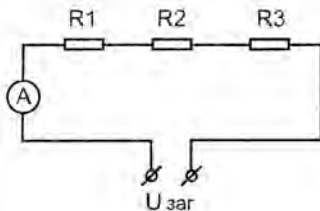


Рис. 53

Розв'язування:

Скористаймося формулами для послідовного з'єднання провідників:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

За законом послідовного з'єднання:

$$IR_1 + IR_2 + IR_3 = U. \quad (1)$$

Оскільки напруга на третьому опорі:

$$U_3 = IR_3, \quad (2)$$

то (1) можна записати так:

$$IR_1 + IR_2 + U_3 = U,$$

$$I(R_1 + R_2) = U - U_3.$$

Звідси сила струму в колі дорівнює

$$I = \frac{U - U_3}{R_1 + R_2} \quad I = \frac{24\text{В} - 4\text{В}}{4\text{Ом} + 6\text{Ом}} = 2 \text{ А}.$$

З формули (2) знаходимо опір третього провідника

$$R_3 = \frac{U_3}{I} \quad R_3 = \frac{4\text{В}}{2\text{А}} = 2 \text{ Ом}$$

Відповідь: сила струму в колі становить 2 А, а опір третього провідника 2 Ом.

Задача 3. Ділянка ланцюга складається зі сталюого дроту завдовжки 2 м і площею поперечного перерізу $0,48 \text{ мм}^2$, з'єднаного послідовно з нікеліновим дротом завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу $0,21 \text{ мм}^2$. Яку напругу треба підвести до ділянки, щоб дістати силу струму 0,6 А?

$$l_{ст} = 2 \text{ м}$$

$$S_{ст} = 0,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$l_{нік} = 1 \text{ м}$$

$$S_{нік} = 0,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$I = 0,6 \text{ А}$$

$$\rho_{ст} = 12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{нік} = 42 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$U - ?$$

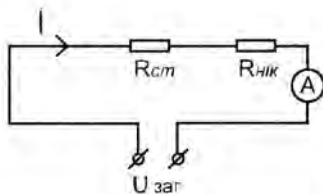


Рис. 54

Розв'язування:

За законом Ома для ділянки кола:

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

За послідовного з'єднання загальний опір кола:

$$R = R_{ст} + R_{нік}$$

Згадаймо, що опір провідника довжиною l і площею поперечного перерізу S :

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

Отже, струм у колі:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{\rho_{ст} \frac{l_{ст}}{S_{ст}} + \rho_{ник} \frac{l_{ник}}{S_{ник}}};$$

$$U = I \left(\rho_{ст} \frac{l_{ст}}{S_{ст}} + \rho_{ник} \frac{l_{ник}}{S_{ник}} \right);$$

$$U = 0,6 \text{ А} \cdot \left(12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \frac{2 \text{ м}}{0,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} + 42 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \frac{1 \text{ м}}{0,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} \right) = 1,5 \text{ В}.$$

Відповідь: напруга, яку треба підвести до ділянки, 1,5 В.

ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ

Задача 4. Чотири лампочки, розраховані на напругу 3 В і силу струму 0,3 А, треба ввімкнути паралельно і живити від джерела напругою 5,4 В. Резистор якого опору треба ввімкнути послідовно з лампочками ?

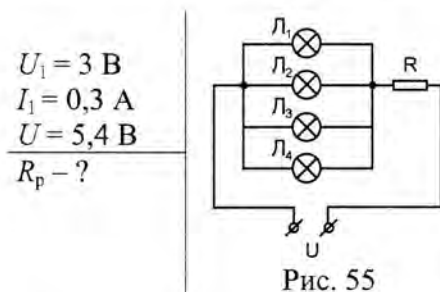


Рис. 55

Розв'язування:

Маємо послідовне з'єднання 4 паралельно з'єднаних лампочок і резистора. (рис. 55)
 Напруга в колі за послідовного з'єднання:

$$U = U_{л} + U_p, \quad (1)$$

де $U_{л} = U_1$.

Сила струму, який проходить крізь лампочки:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 4I_1.$$

Оскільки лампочки і опір з'єднані послідовно, то сила струму, яка проходить через опір, буде рівною:

$$I = I_p = 4I_1.$$

За законом Ома для ділянки кола:

$$U_p = R_p \cdot I$$

Тоді (1) запишемо як:

$$U = U_1 + 4I_1 R_p;$$

Звідси опір резистора:

$$R_p = \frac{U - U_1}{4I_1}$$

$$R_p = \frac{5,4 \text{ В} - 3 \text{ В}}{4 \cdot 0,3 \text{ А}} = 2 \text{ Ом}$$

Відповідь: опір резистора 2 Ом.

ЗМІШАНЕ З'ЄДНАННЯ

Задача 5. До кола (рис. 56) підведено напругу 90 В. Опір лампи Л2 дорівнює опорів лампи Л1, а опір лампи Л3 в 4 рази більший від опору лампи Л1. Сила струму, яка споживається від джерела, дорівнює 0,5 А. Визначити опір кожної лампи, напругу на лампах Л1 і Л3, а також силу струму в них.

$$U = 90 \text{ В}$$

$$R_2 = R_1$$

$$R_3 = 4R_1$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$$R_1, R_2, R_3 - ?$$

$$U_1, U_3 - ?$$

$$I_1, I_2, I_3 - ?$$

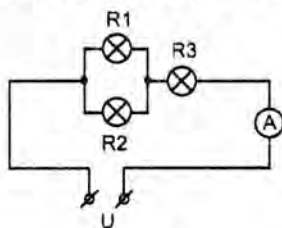


Рис. 56

Розв'язання

Опори R_1 та R_2 з'єднані паралельно. Загальний опір цієї ділянки:

$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 + R_1} = \frac{R_1^2}{2R_1} = \frac{R_1}{2}.$$

Опори R_{12} та R_3 з'єднані послідовно. Отже, загальний опір:

$$R = R_{12} + R_3,$$

$$R = \frac{R_1}{2} + 4R_1 = 4,5R_1.$$

(1)

За послідовного з'єднання струм у всьому колі однаковий:

$$I_3 = I_{12} = I = 0,5 \text{ А}$$

За законом Ома для ділянки кола:

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

З формули (1):

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

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

Опір лампи Л3 (за умовою) $R_3 = 4R_1 = 160 \text{ Ом}$

За законом Ома для ділянки кола:

$$U_3 = IR_3$$

$$U_3 = 0,5 \text{ А} \cdot 160 \text{ Ом} = 80 \text{ В}$$

Оскільки паралельно з'єднані лампи Л1 і Л2 мають однаковий опір, а також вони послідовно з'єднані з Л3, то можна записати, що:

$$U_1 = U_2 = U - U_3,$$

$$U_1 = 90 \text{ В} - 80 \text{ В} = 10 \text{ В}.$$

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

$$I = I_{12} = I_3$$

$$I_1 = I_2 = \frac{U_1}{R} = \frac{10 \text{ В}}{40 \text{ Ом}} = 0,25 \text{ А}.$$

Відповідь: сила струму в лампах Л1 та Л2 становить 0,25 А, у лампі Л3 — 0,5 А, опори ламп Л1, Л2 — 40 Ом, Л3 — 160 Ом, напруги на лампах Л1 та Л2 — 10 В, Л3 — 80 В.

Задача 6. Знайти загальний опір кола та напругу на кожному резисторі. Сила струму в колі 5 А, опори $R_1 = R_5 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$, що з'єднані за схемою (рис. 57).

$$R_1 = R_4 = 1 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$R = ? \quad U_1 = ?$$

$$U_2 = ? \quad U_3 = ?$$

$$U_4 = ?$$

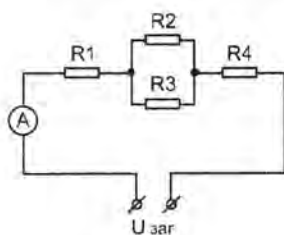


Рис. 57

Розв'язування:

Загальний опір кола для послідовного з'єднання опорів R_1 , R_{2-3} та R_4 .

$$R = R_1 + R_{2-3} + R_4 \quad (1)$$

Опори R_2 та R_3 з'єднані паралельно:

$$\frac{1}{R_{2-3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3},$$

$$R_{2-3} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

Тоді (1) запишімо так:

$$R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_4,$$

загальний опір кола:

$$R = 1 \text{ Ом} + \frac{2 \text{ Ом} \cdot 2 \text{ Ом}}{2 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом}} + 1 \text{ Ом} = 3 \text{ Ом}.$$

За послідовного з'єднання сила струму в усіх ділянках кола однакова. $R_1 = R_4$, тому $U_1 = U_4$. За законом Ома для ділянки кола:

$$U_1 = R_1 I$$

$$U_1 = U_4 = 1 \text{ Ом} \cdot 5 \text{ А} = 5 \text{ В}$$

Опори R_2 та R_3 з'єднані паралельно, тому напруга на них однакова. З формули (2) знаходимо опір $R_{2-3} = 1 \text{ Ом}$. Тому $U_3 = U_2 = U_1 = 5 \text{ В}$.

Відповідь: загальний опір кола 3 Ом, напруги на резисторах R_1 , R_2 , R_3 та R_4 становлять 5 В.

Це цікаво знати

Чому птахи можуть сидіти на проводах електропередач і їх не вражає електричний струм? Щоб це зрозуміти, слід узяти до уваги таке: тіло птаха, що сидить на проводі, є паралельним відгалуженням від частини проводу між лапками птаха. Опір тіла птаха значно більший за опір частини проводу, що міститься між лапками. За законами паралельного з'єднання провідників сили струмів у розгалуженнях обернено пропорційні їхнім опорам. Тому сила струму, що проходить крізь тіло птаха, дуже мала та безпечна для нього. Але якщо птах, що сидить на проводі, якимось чином з'єднається з землею (торкнеться до стовпа крилом, дзьобом чи хвостом) — він буде миттєво вбитий струмом, який пройде крізь тіло птаха у землю.

* * *

Чи задумувалися ви над тим, як маленька сигнальна лампочка, що розрахована на 6 В, увімкнена в електричне коло спіралі електричної праски, розрахованої на 220 В?

Подивіться на схему увімкнення лампочки, що зображена на рисунку 58. Тут використано змішане з'єднання резисторів. Резистор R використовується, як дільник напруги. Позначмо: R — опір усієї спіралі, R_1 — опір частини спіралі, паралельно якій під'єднано сигнальну лампочку L . За законом Ома:

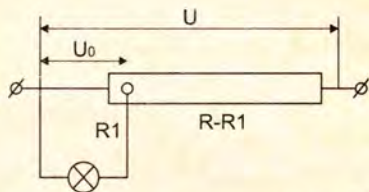


рис. 58

$$I = \frac{U_0}{R_1} = \frac{U}{R},$$

де U_0 – напруга на лампочці, U – напруга в електричній мережі. (Оскільки опір лампочки значно більший, ніж R_1 , то сила струму в ній дуже мала.)

$$\text{Звідки } \frac{U_1}{R_1} = \frac{U}{R},$$

$$\frac{U_0}{U} = \frac{R_1}{R}, \text{ або } \frac{R_1}{R} = \frac{6 \text{ В}}{220 \text{ В}} \approx \frac{1}{36},$$

тобто сигнальну лампочку треба увімкнути до $1/36$ частини спіралі.

До речі, ми бачимо, що схема увімкнення сигнальної лампочки в електричне коло праски відповідає принципу дії подільника напруги.

Перевірте себе

1. Чому побутові прилади у приміщенні слід з'єднувати паралельно?
2. Три дроти – залізний, мідний і срібний – однакової довжини та однакової площі поперечного перерізу ввімкнено в коло паралельно. Яким дротом йтиме струм більшої сили?
3. Порівняйте послідовне і паралельне з'єднання резисторів:
 - а) Яка величина однакова для всіх резисторів за послідовного з'єднання? За паралельного з'єднання?
 - б) Як змінюється загальний опір ділянки кола, якщо до неї під'єднати ще один резистор послідовно? паралельно?

Завдання 10

1. Коло складається з двох послідовно з'єднаних провідників, опір яких 4 і 6 Ом. Сила струму в колі 0,3 А. Знайдіть напругу на кожному з провідників і загальну напругу.
2. Електричне коло складається з джерела струму – батареї акумуляторів, яка створює в колі напругу 6 В, лампочки від кишенькового ліхтарика опором 13,5 Ом, двох спіралей опором 3 і 2 Ом, вимикача і з'єднувальних проводів. Усі деталі кола з'єднані послідовно. Накресліть схему кола. Визначте силу струму в колі і напругу на кінцях кожного із споживачів струму.
3. Три резистори 10, 20 і 12 Ом з'єднані паралельно. Напруга на кінцях цієї ділянки кола 24 В. Визначте силу струму в кожному резисторі, загальну силу струму в ділянці кола та опір ділянки кола.

Поглибте свої знання

Гальванометр, амперметр, вольтметр.

Ми вже ознайомились із будовою та призначенням амперметра, вольтметра і гальванометра. Знаємо також, що амперметр умикається в коло послідовно, вольтметр — паралельно.

Розгляньмо тепер деякі особливості їх використання в електричних колах.



рис. 59

Шкільні демонстраційні гальванометри (рис. 59) бувають двох видів: для *вимірювання струму і напруги*.

Розширення меж вимірювання амперметра.

Шкільний демонстраційний гальванометр для вимірювання струму, тобто амперметр, має внутрішній опір порядку 380 Ом. Під терміном «внутрішній опір» приладу розуміють опір дріотної рамки, спіральних пружин і провідників, по яких струм підводиться до рамки. Згадаймо, що рамка може вільно повертатися між полюсами постійного магніту.

У такому виконанні гальванометр-амперметр може вимірювати струм силою не більше 0,25 мА. Зрозуміло, що за струмів, більших 0,25 мА дріотна рамка може перегоріти.

Для вимірювання більших струмів необхідно розширити межі вимірювання амперметра (гальванометра).

З цією метою паралельно до амперметра під'єднується опір значно менший, ніж опір амперметра, який називається **шунтом**. Яка ж роль шунта?

Якщо паралельно до амперметра під'єднати шунт (рис. 60), то сила струму $I_{\text{ш}}$, що проходить крізь шунт, буде значно більше сили струму I_A , що проходить крізь амперметр. Це й зрозуміло, адже за паралельного з'єднання:

$$I = I_A + I_{\text{ш}} \quad (1)$$

$$I_A \cdot R_A = I_{\text{ш}} R_{\text{ш}} \quad (2)$$

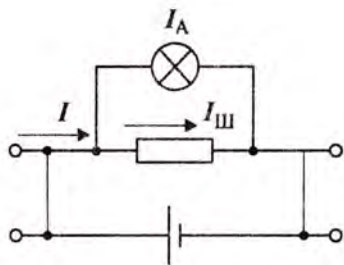


рис. 60

Тепер прилад може вимірювати більші струми. Розрахуємо, який опір шунта необхідно взяти, щоби збільшити верхню межу вимірювання в n разів.

Отже, значення n дорівнюватиме

$$n = \frac{I}{I_A} \Rightarrow I = nI_A. \quad (3)$$

Підставмо в (1):

$$nI_A = I_A + I_{ш} \Rightarrow I_A(n - 1) = I_{ш}.$$

Підставмо отриманий вираз у формулу (2):

$$I_A \cdot R_A = I_A(n - 1)R_{ш}.$$

Звідси:

$$R_{ш} = \frac{R_A}{n - 1} \quad (4)$$

де n — число, що показує, у скільки разів ми збільшуємо межу вимірювань.

Отримана формула (4) дає можливість розраховувати опір шунта, що необхідний для розширення меж вимірювання амперметра.

Отже, за допомоги шунтів можна розширити межі вимірювання амперметра і використовувати його для вимірювання більших струмів.

Також вам, напевно, зрозуміло, що амперметр мусить мати малий внутрішній опір, щоб його включення в електричне коло помітно не змінювало загального опору кола.

Розширення меж вимірювання вольтметра. Шкільний демонстраційний гальванометр для вимірювання напруг, на основі якого отримують вольтметр, має внутрішній опір близько 2,5 Ом. Максимальна напруга, яку можна виміряти таким гальванометром, 10 мВ.

Під'єднання вольтметра в коло не мусить помітно змінювати силу струму в колі. Це можливо за умови, коли внутрішній опір вольтметра R_V значно більший за опір ділянки кола, на якій проводиться вимірювання напруги. Тоді струм, який проходить крізь вольтметр, буде незначним. Пояснюється це тим, що сили струму в двох паралельно з'єднаних провідниках обернено пропорційні їхнім опорам.

Що ж робити, коли необхідно вимірювати більшу напругу?

Для цього до вольтметра (гальванометра) приєднується **додатковий резистор**. Розрахуємо величину опору додаткового резистора.

Позначимо напругу, яку може вимірювати вольтметр, через U_V , напругу, яку потрібно вимірювати, через U . Тоді

$$n = \frac{U}{U_V}$$

визначає, у скільки разів треба збільшити межу вимірювання вольтметра.

У вольтметрi та додатковому резисторi, якi з'єднанi послiдовно, проходить один i той же струм I_V (рис. 61). Тому

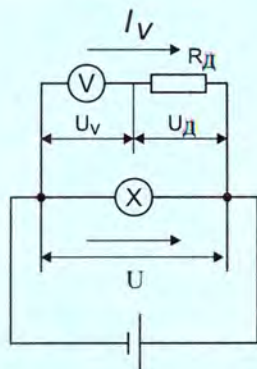


рис. 61

$$U_V = I_V \cdot R_V; U_D = I_V \cdot R_D.$$

За послiдовного з'єднання

$$U = U_V + U_D,$$

де U – напруга, яку треба вимiряти.

$$U = nU_V.$$

Тому

$$nU_V = I_V R_V + I_V R_D,$$

або

$$nI_V R_V = I_V R_V + I_V R_D.$$

Звідси

$$R_D = R_V \cdot (n - 1). \quad (5)$$

Формула (5) визначає значення опору додаткового резистора, який необхідно пiд'єднати послiдовно до вольтметра, щоб збiльшити межу вимiрювання в n разiв.

Отже, за допомоги додаткових резисторiв можна розширити межi вимiрювання вольтметра.

§21 Робота i потужнiсть електричного струму

1. Робота електричного струму. Ви вже знаєте, що проходження електричного струму в колi спричинює теплову, хiмiчну i магнiтну дiї струму. Явище взаємодiї мiж провiдниками зi струмом (або провiдника зi струмом i магнiту) використовується в пристроях, де за рахунок енергiї електричного поля виконується механiчна робота (наприклад, в електродвигунах).

Отже, пiд час проходження електричного струму відбувається перетворення енергiї електричного поля, що спричинює напрямлений рух електрично заряджених частинок, в iншi види енергiї (теплову, хiмiчну, механiчну), тобто електричним струмом виконується робота.

Відомо, що напруга на кінцях ділянки кола чисельно дорівнює роботі, яка виконується під час проходження цієї ділянкою електричного заряду в 1 Кл. Зрозуміло, щоб визначити роботу A електричного струму на деякій ділянці кола, слід напругу U на кінцях цієї ділянки кола помножити на електричний заряд q (кількість електрики), що пройшов нею:

$$A = U \cdot q. \quad (1)$$

Електричний заряд q , що пройшов на ділянці кола, можна визначити, вимірявши силу струму I та час його проходження t :

$$q = It. \quad (2)$$

Використовуючи ці співвідношення, дістанемо формулу роботи електричного струму, якою зручно користуватися на практиці:

$$A = UIt. \quad (3)$$

Отже, **робота електричного струму на ділянці кола дорівнює добутку напруги на кінцях цієї ділянки на силу струму і час, протягом якого виконувалася робота.**

У Міжнародній системі одиниць роботу вимірюють у джоулях, напругу — у вольтах, силу струму — в амперах і час — у секундах, тому:

$$1 \text{ джоуль} = 1 \text{ вольт} \times 1 \text{ ампер} \times 1 \text{ секунда}, \\ \text{або } 1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}.$$

2. Потужність електричного струму. Знаючи роботу, що виконується струмом за деякий інтервал часу, можна визначити й потужність струму. **Потужність електричного струму — це фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі струму за одиницю часу, тобто**

$$P = \frac{A}{t}, \quad (4)$$

де P — потужність струму.

Скориставшись формулою (3), одержимо

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

$$A = UIt$$

$$A = Uq$$

Робота електричного струму на ділянці кола дорівнює добутку напруги на кінцях цієї ділянки на силу струму і час, протягом якого виконувалася робота.

Потужність електричного струму — це фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі струму за одиницю часу.

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

Отже, *потужність електричного струму дорівнює добутку напруги на силу струму:*

$$P = UI. \quad (5)$$

$$P = UI$$

У Міжнародній системі одиниць за одиницю потужності взято 1 ват, що дорівнює $1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$, звідси

$$1 \text{ ват} = 1 \text{ вольт} \times 1 \text{ ампер, або } 1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

На практиці використовують також кратні одиниці: гектоват (гВт), кіловат (кВт), мегават (МВт).

$$1 \text{ гВт} = 100 \text{ Вт};$$

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

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

3. Вимірювання роботи і потужності електричного струму. Потужність електричного струму можна виміряти, увімкнувши в коло вольтметр і амперметр. Щоб обчислити шукану потужність, слід помножити напругу на силу струму, знайдені за показами приладів. А щоб визначити роботу електричного струму, потрібно мати ще й годинник, бо $A = Pt$.

Безпосередньо вимірюють потужність електричного струму в колі спеціальними приладами, зокрема ватметром.

Електричну енергію, що витрачається споживачем, вимірюють електричним лічильником (лічильником електричної енергії). Електричний лічильник проградуєвано в позастемній одиниці — ват-година.

Класичний лічильник, по суті, являє собою невеликий електромотор, швидкість обертання якого пропорційна потужності, що споживається в колі. Обертова частина мотора через спеціальний механізм зв'язана з циферблатом лічильника. Лічильник градуєвано так, що він відраховує кількість використаних кіловат-годин. Якщо відома вартість кіловат-години, то легко розрахувати повну вартість використаної електроенергії. Нині використовуються електронні лічильники електричної енергії, принцип роботи яких інший.

Потужність електричного струму можна виміряти, увімкнувши в коло вольтметр і амперметр.

Електричну енергію, що витрачається споживачем, вимірюють електричним лічильником (лічильником електричної енергії).

Нерідко кажуть про потужність електричного струму, що споживається в мережі, маючи на увазі те, що за допомоги електричного струму виконується робота двигунів, нагріваються електричні плити тощо. Відповідно до цього, на електроприладах звичайно зазначають їхню номінальну потужність, тобто потужність струму, яка необхідна для нормальної дії цих приладів. Так, електроплитка, розрахована на напругу 220 В, потужністю в 500 Вт для нормальної роботи потребує силу струму близько 2,3 А. Skorиставшись ф. 5 маємо: $500 \text{ Вт} : 220 \text{ В} \approx 2,3 \text{ А}$.

В електротехніці й побуті значно зручніше роботу електричного струму визначати не в джоулях, а через одиниці потужності – ват та кратні йому одиниці, й одиниці часу – секунду та годину. Такими одиницями є ват-секунда (Вт·с), ват-година (Вт·год), гектоват-година (гВт·год), кіловат-година (кВт·год).

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

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

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

На електроприладах звичайно зазначають їхню номінальну потужність, тобто потужність струму, яка необхідна для нормальної дії цих приладів.

Таблиця 3

Потужності окремих споживачів електричної енергії

Споживачі	Потужності		
	Вт	кВт	МВт
Кишеньковий радіоприймач	0,6 – 0,7		
Вентилятор побутовий	10 – 65		
Холодильник	110 – 160		
Електропраска	300 – 1000		
Електропилосос побутовий	600 – 1500		
Двигун трамвая		45 – 50	
Двигун тролейбуса		80 – 100	
Двигун електровоза		625 – 660	
Дніпрогес			650
Київська ГЕС			225
Рівненська АЕС (один блок)			1000

Перевірте себе

1. Як виразити роботу струму через напругу, силу струму і час?
2. Як, знаючи напругу та електричний заряд, що пройшов крізь поперечний переріз провідника, визначити роботу електричного струму?
3. Чому дорівнює потужність електричного струму?
4. Якими приладами вимірюють потужність і роботу електричного струму?
5. Які одиниці роботи електричного струму використовують на практиці?
6. Які одиниці потужності використовують на практиці?

Завдання 11

1. Напруга на спіралі лампочки від кишенькового ліхтарика 3,5 В, опір спіралі 14 Ом. Яку роботу виконує струм у лампочці за 5 хв.?
2. На електричній лампочці кишенькового ліхтарика зазначено 2,5 В; 0,25 А. Визначте потужність лампочки. (Визначте потужність лампочки ліхтарика, що є вдома)
3. Пилосос потужністю 500 Вт працює при напрузі 220 В. Визначте: а) силу струму, що споживається; б) опір; в) витрату електричної енергії за 30 хв.

Приклад розв'язування задачі

Яка потужність електродвигуна і яку роботу він виконує за 1 год., якщо сила струму в колі електродвигуна 6 А, напруга на його клеммах 220 В? Коефіцієнт корисної дії двигуна 80%.

Д а н о:
 $t = 1 \text{ год} = 3600 \text{ с}$
 $I = 5 \text{ А}$
 $U = 220 \text{ В}$
 $\eta = 0,8$
 $P = ?$
 $A_1 = ?$

Р о з в ' я з а н н я
Потужність струму $P = UI$:
 $P = 220 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} = 1100 \text{ Вт} = 1,1 \text{ кВт};$
Повна робота струму $A = P \cdot t$:
 $A = 1100 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,960\,000 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 3,96 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$
або
 $A = 3,96 \cdot 10^3 \text{ кДж.}$

Корисна робота електродвигуна A_1 становить 80% (0,8) від усієї роботи струму:

$$A_1 = \eta \cdot A = \eta \cdot UI \cdot t;$$
$$A_1 = 3,96 \cdot 10^3 \text{ кДж} \cdot 0,8 = 3,168 \cdot 10^3 \text{ кДж} \approx 3,2 \cdot 10^3 \text{ кДж.}$$

Відповідь: $P = 1,1 \text{ кВт}$, $A_1 = 3,2 \cdot 10^3 \text{ кДж}$.

§22 Закон Джоуля—Ленца

Нам уже відоме явище нагрівання провідників електричним струмом. Вільні електрони в металах або йони в розчинах лугів, кислот, солей, переміщуючись під впливом електричного поля, взаємодіють з йонами або атомами речовини провідника й передають їм свою енергію, внаслідок чого внутрішня енергія провідника збільшується. Нагрітий провідник віддає здобуту енергію навколишнім тілам внаслідок теплопередачі. Кількість теплоти, яку виділяє провідник зі струмом, дорівнює роботі струму. Її визначають за формулою:

$$A = UI t. \quad (1)$$

Позначмо кількість теплоти, що виділяє провідник, як і раніше, буквою Q . Оскільки за законом збереження енергії кількість виділеної теплоти Q в провіднику дорівнює роботі струму A , то

$$Q = UI t. \quad (2)$$

Використавши закон Ома, кількість теплоти можна визначити через силу струму, опір ділянки кола та час проходження струму. Взявши до уваги, що $U = IR$, матимемо:

$$Q = IR I t = I^2 R t. \quad (3)$$

Закон, що визначає кількість теплоти, яку виділяє провідник зі струмом у навколишнє середовище, вперше експериментально встановили англійський учений Д. П. Джоуль і російський учений Е. Х. Ленц. Закон Джоуля—Ленца формулюється так:

Кількість теплоти, яку виділяє провідник зі струмом, дорівнює добутку квадрата сили струму, опору провідника й часу проходження струму провідником:

$$Q = I^2 R t. \quad (4)$$

Така форма запису закону Джоуля—Ленца зручна для використання у колах із послідовним з'єднанням елементів.

Для кіл із паралельним з'єднанням більш зручною є формула:

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



Джоуль Джеймс Прескотт (1818–1889) установив закон, який визначає теплову дію електричного струму. Обґрунтував на дослідах закон збереження енергії.

$$Q = I^2 R t$$

§23 Електронагрівальні прилади



Ленц Еміль Християнович (1804–1865) установив закон, який визначає теплову дію електричного струму. Один із основоположників електротехніки.

Теплова дія струму широко використовується в техніці й побуті. До побутових приладів, в яких використовується теплова дія струму, належать, зокрема, електричні лампи розжарювання, побутові електронагрівальні прилади: електрична плитка, праска, кип'ятильники тощо. У промисловості широко використовують потужні електричні печі для нагрівання деталей, контактне електрозварювання, спеціальні печі для виплавляння окремих сортів сталі і багатьох інших металів.

У сільському господарстві за допомоги електричного струму обігрівають теплиці, кормозапарники, інкубатори, а також сушать зерно, готують корми для тварин.

Мабуть немає кімнати, де не було б електричної лампи. Основна частина сучасної електролампи розжарювання — спіраль із тонкого вольфрамового дроту.

Вольфрам — тугоплавкий метал, його температура плавлення 3387°C . Температура спіралі у лампі досягає 3000°C . За цієї температури спіраль світиться яскравим світлом. Спіраль вміщують у скляну колбу, з якої викачано повітря, іноді колбу заповнюють інертним газом. Це робиться для продовження терміну роботи лампи.

На рис. 62 зображено електричну лампу розжарювання. Спіраль лампи тримається дротинами, дві з них проходять крізь скло балона і припаяні до металевих частин цоколя лампи: одна — до гвинтової нарізки, інша — до основи цоколя, ізольованого від нарізки.

Вмикається лампа в мережу за допомоги патрона, внутрішня частина якого має гвинтову нарізку, що утримує лампу. Всередині патрон має пружинний контакт, який стикається з основою цоколя лампи. Патрон під'єднують до електричної мережі.



рис. 62

Лампи розжарювання випускаються різної потужності (що більша потужність лампи, то яскравіше вона світиться) та на різну напругу, наприклад, 220 В – для освітлювальної мережі, 12 В – для автомобілів, 2,5, 3,5 і 6,5 В – для кишенькових ліхтариків. Виготовляються електричні лампи, розраховані на іншу напругу – індикаторні, мініатюрні лампочки, що використовуються в медицині, радіоелектроніці тощо.

Основною частиною будь-якого нагрівального приладу є нагрівальний елемент – провідник з великим опором, здатний витримувати, не руйнуючись, нагрівання до високої температури (1000–1200°C). Найчастіше для виготовлення нагрівального елемента застосовують ніхром – сплав нікелю, заліза, хрому і марганцю, що має великий питомий опір (у 70 разів більший від питомого опору міді). Великий питомий опір дає змогу виготовляти нагрівальні елементи малих габаритів.

Конструкції нагрівальних елементів дуже різноманітні. Наприклад, нагрівальним елементом у сучасній електричній прасці є ніхромові стрічка, яка з міркувань безпеки користування праскою запресована в термостійкий ізолюючий матеріал. Такі нагрівальні елементи не підлягають ремонту.

Основною частиною будь-якого нагрівального приладу є нагрівальний елемент – провідник із великим опором, здатний витримувати, не руйнуючись, нагрівання до високої температури (1000–1200°C).

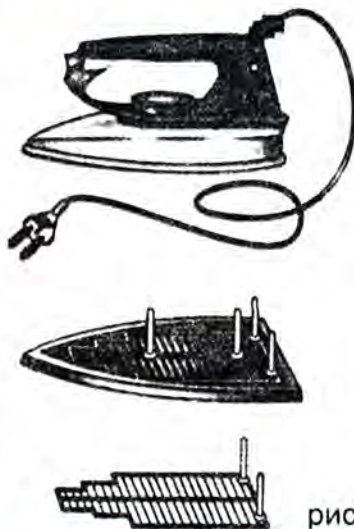


рис. 63

Перевірте себе

1. Яка причина нагрівання провідника електричним струмом?
2. Як обчислити кількість теплоти, що виділяє провідник зі струмом?
3. Як формулюється закон Джоуля—Ленца?
4. Як побудована сучасна електрична лампа розжарювання?
5. З яких матеріалів виготовляють спіралі ламп розжарювання? Чому?
6. Для чого проводи в місцях з'єднання не просто скручують, а ще й спаюють? Відповідь обґрунтуйте.
7. У коло джерела струму ввімкнено послідовно три дротини однакового перерізу і довжини: мідну, сталеву і нікелінову. Яка з них більше нагріється? Відповідь обґрунтуйте і, якщо є змога, перевірте на досліді в класі.

Це цікаво знати

Як визначити потужність побутового електроприладу, якщо у вас немає амперметра, вольтметра або ватметра?

Якщо у вашій квартирі є електrolічильник, а на руці годинник, то це просто зробити. Вимкніть у квартирі всі електроприлади, крім однієї або двох ламп, потужності яких вам відомі, наприклад однієї 100-ватної лампи або двох 60-ватних ламп. Поспостерігайте за рухом диску електrolічильника і визначте час t_1 , за який він зробить певну кількість повних обертів, скажімо 25. Вимкніть лампу, ввімкніть електроприлад невідомої потужності і знову визначте час t_2 для тієї ж кількості обертів електrolічильника. За цих умов робота струму буде однаковою. Тому знаючи відношення $t_1 : t_2$ і потужність лампи, можна визначити шукану потужність електроприладу.

Якщо у Вашому будинку встановлено сучасний електронний лічильник, то подумайте, яким чином можна обчислити невідому потужність електроприладу.

§24 Електричний струм у розчинах і розплавах електrolітів

Добрими провідниками є водні розчини кислот, лугів і солей.

Електrolіти – це розчини кислот, лугів і солей, які хімічно розкладаються при проходженні через них постійного електричного струму.

1. Електrolіз. Ми вже знаємо, що електричний струм може проходити крізь водні розчини кислот, лугів і солей, причому проходження струму супроводжується хімічними перетвореннями.

Скажімо, чиста вода і кристали купрум (II) хлорид (CuCl_2) практично не проводять електричного струму, а розчин хлориду міді у воді є гарним провідником. Добрими провідниками є водні розчини кислот, лугів і солей. Отже,

Електrolіти – це розчини кислот, лугів і солей, які хімічно розкладаються при проходженні через них постійного електричного струму.

Електричний струм добре проходить також крізь розплави електrolітів.

Виконаймо такий дослід: у посудину з розчином купрум (II) хлорид опустімо два вугіль-

ні електроди і зберімо коло, як показано на рисунку 64. Замкнімо коло. По деякім часі побачимо, що на негативно зарядженому вугільному електроді (катоді) виділяється мідь – тонкий шар міді, що має червоне забарвлення, а на позитивно зарядженому електроді (аноді) виділяється хлор – там ми побачимо бульбашки газу. Хлорид міді під час проходження електричного струму розклався на мідь і хлор. (Позитивно заряджений *анод* – від гр. *ανοδος* – *сходження*; негативно заряджений *катод* – від гр. *καθοδος* – *спуск*)

2. Природа електричного струму в електролітах. Струм в електролітах супроводжується електролізом – окисно-відновлювальними реакціями з виділенням на електродах речовини. Отже, на відміну від металів, які мають електронну провідність, електропровідність розчинів і розплавів електролітів обумовлена переміщенням йонів. Ні дистильована вода, ні розчинювана сіль, кислота або луг вільних йонів не містять, тому всі вони добрі діелектрики. У водних розчинах солей, кислот і лугів постійно відбувається розпад молекул на йони. Важливо те, що йони виникають лише у процесі взаємодії молекул розчиненої речовини з молекулами води. **Процес розпаду нейтральних молекул розчиненої речовини на йони обох знаків під впливом розчинника називається електролітичною дисоціацією.**

Зворотній процес з'єднання молекул називається *рекомбінацією*. Якщо в електроліт помістити електроди і створити електричне поле, то крізь електроліт потече струм. Струм у розчинах і розплавах електролітів обумовлений упорядкованим рухом носіїв струму (йонів) обох знаків. Це — йонна провідність електролітів.

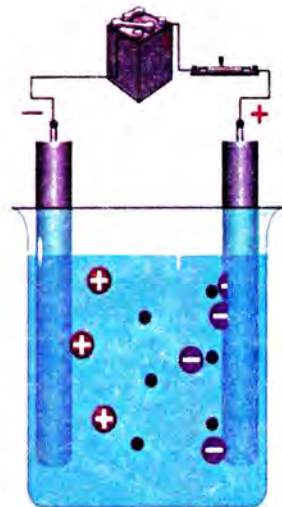


рис. 64

На відміну від металів, які мають електронну провідність, електропровідність розчинів і розплавів електролітів обумовлено переміщенням йонів.

Струм у розчинах і розплавах електролітів обумовлено впорядкованим рухом носіїв струму (йонів) обох знаків. Це — йонна провідність електролітів.

§25 Кількість речовини, що виділяється під час електролізу



Майкл Фарадей
(1791-1867) – видатний
англійський фізик, член
Лондонського королівсько-
го товариства. Наукові до-
слідження стосуються
електромагнетизму. У 1831
р. відкрив явище електро-
магнітної індукції та вста-
новив основний закон
електромагнітної індукції.

$$m = kq = kIt$$

1. Перший закон електролізу Фарадея. З проходженням струму крізь електроліт позитивні йони рухаються до катода, де отримують недостатні у них електрони, стають нейтральними та осідають.

Негативні йони рухаються до анода, віддаючи йому зайві електрони, стають нейтральними та осідають на позитивному електроді. Йони можуть осідати на електрод або випадати в осад, або виділятися в атмосферу.

Процес розкладання речовини електричним струмом, який супроводжується виділенням на електродах складових речовин, які входять до складу електроліту, називається електролізом.

Продовжімо дослід (рис. 64). Будьмо пропускати електричний струм різної сили і протягом різного часу, зважаючи вугільний електрод після кожної частини дослідів з тим, щоб визначити масу міді, яка виділилася. Проаналізувавши результати дослідів, можна зробити висновок, що маса міді, що виділилася, залежить і від сили струму, і від часу проходження струму через електроліт.

У 1834 р. дослідним шляхом англійський фізик Майкл Фарадей встановив такий закон:

Маса речовини, що виділяється на електроді під час електролізу, прямо пропорційна електричному заряду, що пройшов крізь електроліт.

Це — перший закон електролізу, або перший закон Фарадея. Його можна записати так:

$$m = kq = kIt \quad (1)$$

де m — маса речовини, що виділилася на електроді, q — заряд, що пройшов крізь елек-

троліт, I – сила струму, t – час проходження струму крізь електроліт, k – коефіцієнт пропорційності, який називають *електрохімічним еквівалентом*.

2. Електрохімічний еквівалент. Дослідження Фарадея показали, що електрохімічний еквівалент – величина, що характеризує кожну речовину, він є різним для різних речовин. Із закону Фарадея випливає

$$k = \frac{m}{q},$$

тобто електрохімічний еквівалент чисельно дорівнює кількості речовини, що виділяється на електроді під час проходження заряду 1 Кл.

Електрохімічним еквівалентом деякої речовини є величина, яка чисельно дорівнює масі речовини, що виділяється на електроді під час проходження крізь електроліт заряду в 1 Кл.

Поглибте свої знання

• **Другий закон Фарадея.** Як видно з таблиці 4, електрохімічні еквіваленти різних речовин дуже істотно відрізняються один від одного.

Таблиця 4

Електрохімічні еквіваленти, мг/Кл

Алюміній (Al^{3+})....0,093	Цинк (Zn^{2+}).... 0,34
Гідроген (H^+).... 0,0101	Нікель (Ni^{2+}).... 0,30
Оксиген (O^{2-}) 0,083	Срібло (Ag^+).... 1,12
Мідь (Si^{2+}).... 0,33	Хром (Cr^{3+}).... 0,18

Постає питання: від яких же властивостей речовини залежить значення електрохімічного еквівалента?

Відповідь на це питання дає встановлений дослідним шляхом другий закон Фарадея:

Електрохімічні еквіваленти різних речовин прямо пропорційні їхній молярній масі та обернено пропорційні їх валентності.

Другий закон Фарадея можна записати у вигляді формули

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} \quad (2)$$

де k — електрохімічний еквівалент, M — молярна маса речовини, що виділяється на електроді, n — валентність речовини.

Число F називається сталою Фарадея. Значення сталої Фарадея

$$F = 96\,500 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$$

• **Об'єднаний закон Фарадея.** Об'єднуючи формули (1) і (2) можна одержати обидва закони Фарадея у вигляді однієї формули:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} \cdot q \quad (3)$$

Формула (3) визначає об'єднаний закон Фарадея, або врахувавши, що $q = I \cdot t$:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} \cdot I t$$

§26 Застосування електролізу у промисловості й техніці

*Електролітичний спосіб покриття виробів тонким шаром металу називається **гальваностегією**.*

Відомо, що явище електролізу покладено в основу принципу дії кислотних і лужних акумуляторів.

За допомоги електролізу з солей і оксидів дістають багато хімічно чистих металів, наприклад алюміній, мідь, нікель. Оскільки електролітичний спосіб дає можливість отримувати речовини з незначною кількістю домішок, то його використовують для утворення надчистих матеріалів.

Для захисту виробів від окислення, для підвищення їхньої міцності або просто для надання їм привабливого вигляду часто на них наносять тонкий шар таких металів, як хром, нікель, срібло, золото. Для цього також використовують електроліз. Електролітичний спосіб покриття виробів тонким шаром металу називається **гальваностегією** (від імені італійського вченого Гальвані та грецького *στέγη* — *покриття*).

Якщо пропускати струм крізь електроліт тривалий час, то на виробі може утворитися

шар металу такої товщини, що його можна відокремити від виробу, зберігши форму, і отримати точну копію виробу. Електролітичне отримання точних копій різних виробів називається **гальванопластикою**. За допомоги гальванопластики дістають копії предметів складної форми, зокрема копії скульптур та інших витворів мистецтва. Метод гальванічного покриття і отримання точних копій предметів розроблено в 1838 р. російським ученим Б. С. Якобі.

Широке використання мають гальванотехнічне покриття цинком залізних виробів, нікелювання, хромування багатьох деталей у машинобудуванні.

У промисловості поряд із електролізом водних розчинів солей велике значення має електроліз розплавлених солей. Наприклад, із розплаву натрію гідроксиду (NaOH) за температури близько 330°C добувають натрій. Особливо важливим є електролітичне отримання алюмінію з розплаву розчину глинозему в кріоліті. Електроліз проводять за 900°C в електролітичній залізній печі, викладеній всередині пресованою вугільною масою, що є катодом. Зверху розміщені вугільні стрижні — аноди. Алюміній, який виділяється на катоді перебуває в розплавленому стані. Алюміній, як відомо, широко використовується в літакобудуванні.

Можна відзначити ще одне використання електролізу — це можливість електролітичного полірування поверхні металів. Тут електроліз використовується не для осідання металу на поверхні, а для розчинення різних мікровиступів на поверхні металевих виробів, які є анодом.

Отож, ми ознайомилися з найбільш поширеними способами застосування електролізу у промисловості й техніці.

*Електролітичне отримання точних копій різних виробів називається **гальванопластикою**.*

Широке використання мають гальванотехнічне покриття цинком залізних виробів, нікелювання, хромування багатьох деталей у машинобудуванні.

Можна відзначити ще одне використання електролізу — можливість електролітичного полірування поверхні металів.

Це цікаво знати

Приєднайте до кишенькової батарейки два мідні провідники. Наждачним папером зніміть ізоляцію з кінців провідника. Приготуйте розчин кухонної солі в воді. Опустіть кінці мідних провідників у розчин солі. Опишіть, що спостерігається на кінцях провідників. Дайте пояснення.

Чи існують тверді електроліти? Так. Прикладом твердого електроліту може бути всім відоме скло. Наявні у склі йони натрію за низьких температур переміщуються слабо, і скло є ізолятором. Якщо ж нагріти скло до температури 300–400 °С, то йони натрію мають можливість переміщуватися під дією сил електричного поля і скло стає провідником електричного струму.

Перевірте себе

1. Що таке електроліт?
2. Що таке електроліз?
3. Від чого залежить маса речовини, що виділяється на електроді під час електролізу?
4. Як формулюється перший закон електролізу?
5. Яка природа електричного струму в електроліті?
6. Який фізичний зміст електрохімічного еквівалента?
7. Як у промисловості та в техніці використовується явище електролізу?
8. Що таке гальваностегія? Гальванопластика?

Завдання 12

1. Чому дорівнює маса міді, що виділяється з розчину за 6 год за сили струму 2 А?
2. Яка потрібна сила струму, щоб нанести на спортивну нагороду — кубок 20,12 г срібла за 10 год?

§27

Струм у напівпровідниках

1. Електропровідність напівпровідників. Ще на початку вивчення електричних явищ ученими було помічено, що не всі тіла однаково проводять електрику: одні — добре, через що й дістали назву **провідники**, а інші майже не проводять — їх названо **діелектриками**, або **ізоляторами**.

Але виявилось, що переважну більшість речовин не можна віднести ні до провідників, ні до діелектриків. Цю групу речовин назвали напівпровідниками і вважали, що вони практичного значення не мають. Проте серед них було виявлено й такі, що мають надзвичайно цікаві й важливі властивості, що й спонукало до подальшого їх вивчення, а згодом і до широкого використання.

Як встановлено дослідним шляхом, за питомим опором (або електропровідністю) напівпровідники займають проміжне місце між добрими провідниками (металами) і діелектриками.

Утім, слід мати на увазі, що чіткої межі значень питомого опору провідників, напівпровідників і діелектриків немає. Деякі напівпровідники за певних умов можуть бути за електричними властивостями близькими як до металів, так і до діелектриків.

Напівпровідники — широкий клас речовин, для яких значення питомого опору знаходиться між значеннями питомого опору провідників і діелектриків (питомий опір металів $10^{-6} \div 10^{-8}$ Ом·м, питомий опір діелектриків $10^8 \div 10^{13}$ Ом·м).

Типовими представниками напівпровідників є Силіцій (Si), Германій (Ge), Телур (Te).

Отже, основна відмінність металів від напівпровідників — та, що в металах валентні електрони є вільними, а в напівпровідниках — слабо зв'язаними.

Між напівпровідниками і діелектриками чіткої межі провести не можна, оскільки за високих температур діелектрики можуть поводитись як напівпровідники, зокрема проводити електричний струм.

2. Залежність струму в напівпровідниках від температури. За якими ж ознаками з величезної кількості речовин, що існують у природі чи можуть бути створені штучно, вибирають ті

Переважну більшість речовин не можна віднести ні до провідників, ні до діелектриків. Цю групу речовин назвали напівпровідниками.

Напівпровідники — широкий клас речовин, для яких значення питомого опору знаходиться між значеннями питомого опору металів і діелектриків

Основна відмінність металів від напівпровідників — та, що в металах валентні електрони є вільними, а в напівпровідниках — слабо зв'язаними.

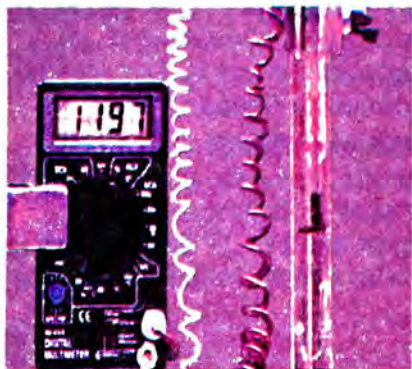


рис. 65

речовини, які сьогодні називають напівпровідниками? Пригадаймо, як залежить опір металевих провідників від температури. Якщо взяти металевий, наприклад залізний, провідник, включити його послідовно в електричне коло і нагрівати в полум'ї свічки, то сила струму в колі буде зменшуватися, тобто з підвищенням температури опір металевих провідників зростає.

Якщо ж до електричної схеми (рис. 65) під'єднати напівпровідник і нагрівати, то сила струму в колі зростатиме. Отже, на відміну від металевих провідників, опір яких під час нагрівання зростає, опір напівпровідників зменшується з підвищенням температури.

Така залежність сили струму в напівпровідниках від температури пояснюється тим, що в напівпровідниках валентні електрони зв'язані з атомом слабкими силами, тому з підвищенням температури число вільних носіїв заряду зростає.

Отже, характерною *особливістю напівпровідників*, яка відрізняє їх від металів, є *зменшення опору зі зростанням температури* (рис. 66).

Саме за цією ознакою і вибирають напівпровідникові речовини, що використовуються в сучасній техніці.

3. Термістори. Зменшення опору аргентум (II) сульфід (Ag_2S) ще в 1833 р. спостерігав видатний англійський учений М. Фарадей. Сьогодні ця властивість напівпровідників широко використовується у приладах, які називаються термісторами — датчиками температури в електричних термометрах, терморегуляторах тощо.

Термістори, інша назва — терморезистори — одні з найпростіших напівпровідникових приладів, які призначені для вимірювання температури за значенням сили струму в колі із включеним у нього термістором.

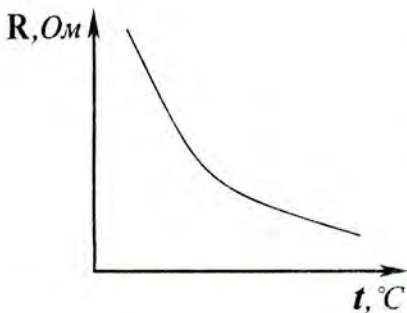


рис. 66

Випускаються термістори у вигляді стрижнів, трубок, дисків чи бусинок розмірами від декількох мікрометрів до декількох сантиметрів. Діапазон температур вимірювання — від 170 до 570 К. Для наукових цілей існують термістори для вимірювання як дуже низьких ($\approx 4 \div 80$ К) температур, так і дуже високих (≈ 1300 К).

Широкого використання термістори набули у схемах протипожежної безпеки. В кожній квартирі обов'язково є такий датчик температури — термістор, який сигналізує про небезпеку в разі підвищення температури.

Перевірте себе

1. Який клас речовин називають напівпровідниками?
2. У чому полягає основна відмінність напівпровідників від металів?
3. Є два резистори: звичайний і напівпровідниковий (термістор). Їхні форма, розміри і значення опорів за 20°C однакові. Як визначити резистор, виготовлений з напівпровідникової речовини?
4. Що називається термістором? Його призначення.

§28 Електричний струм у газах. Несамостійний газовий розряд

1. За нормальних умов гази (повітря) електрично нейтральні. Провідність в таких газах може виникнути лише за умови появи носіїв струму.

Своєю чергою носії струму (електрони, йони) можуть виникнути лише під дією зовнішніх факторів, зокрема таких: висока температура, ультрафіолетове, рентгенівське випромінювання, космічні промені. Такий процес утворення носіїв струму в газі (повітрі) називається **йонізацією газу**.

У цьому легко переконатися за допомоги досліду, що зображений на рисунку 67. Навіть найчутливіший гальванометр не покаже електричного струму, якщо коло розірвано пові-

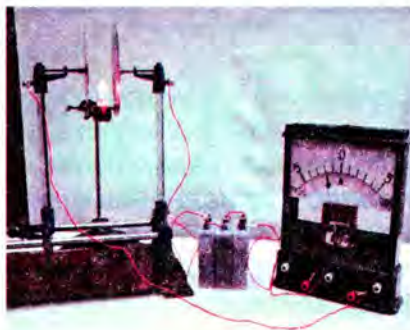


рис. 67

Процес проходження електричного струму крізь газ називається газовим розрядом, а явище проходження електричного струму в газі, що спостерігається лише за умови зовнішньої дії, називається **несамостійним газовим розрядом**.

Під дією високої температури швидкості молекул повітря швидко зростають, і при зіткненні молекула може втратити один або кілька електронів, перетворившись на позитивний йон.

Одночасно з йонізацією при зіткненні молекул газу відбувається і зворотний процес – приєднання електронів до позитивних йонів; цей процес називається **рекомбінацією**.

тряним проміжком. Якщо внести у повітряний проміжок полум'я сірника або свічки, то електрометр покаже незначний електричний струм. Отже, під дією полум'я повітря стало провідним. Якщо винести полум'я з простору між пластинами, то електрометр покаже відсутність струму. Аналогічний результат буде, якщо опромінювати пластини світлом електричної дуги. Ці досліди свідчать, що газ може бути провідником за умови певної зовнішньої дії на нього.

Процес проходження електричного струму крізь газ називається *газовим розрядом*, а явище проходження електричного струму в газі, що спостерігається лише за умови зовнішньої дії, називається *несамостійним газовим розрядом*.

2. Природа несамостійного газового розряду. Як видно з досліду, вільні носії заряду в повітрі виникли під дією високої температури полум'я.

Під дією високої температури швидкості молекул повітря швидко зростають, і при зіткненні молекула може втратити один або кілька електронів, перетворившись на позитивний йон. Звільнені електрони своєю чергою захоплюються нейтральними молекулами або атомами, що веде до утворення негативних йонів.

Коли ж полум'я свічки наближати до зарядженого електрометра, електрометр незалежно від типу заряду розряджається. Це підтверджує той факт, що під дією температури полум'я свічки в повітрі утворюється як позитивні, так і негативні заряди.

Одночасно з йонізацією при зіткненні молекул газу відбувається і зворотний процес – приєднання електронів до позитивних йонів; цей процес називається *рекомбінацією*.

Отже, природою несамостійного газового розряду є існування в газах за високої температури (або в разі дії інших зовнішніх факто-

рів) вільних заряджених частинок: електронів, позитивних і негативних йонів.

Під дією сил електричного поля ці частинки можуть напрямлено рухатись і створювати електричний струм.

§29 Електричний струм у газах. Самостійний газовий розряд

1. Залежність сили струму газового розряду від прикладеної напруги. Щоб установити залежність сили струму від напруги, розглянемо такий дослід (рис. 68). Візьмімо скляну трубку з двома електродами, заповнену будь-яким газом, і увімкнімо її в електричне коло. Піднесімо до неї йонізатор. Поки на трубку не подано електричної напруги (в газі не створено електричного поля), кількість пар йонів, які з'являються в газі за певний час, дорівнюватиме кількості пар йонів, які, зіткнувшись, стають нейтральними (рекомбінують).

Подаватимемо на електроди напругу. Під дією сил електричного поля позитивно заряджені йони перемішуватимуться до негативного електрода, а негативно заряджені йони та електрони — до позитивного (рис. 69). У трубці виникає електричний струм. Якщо напруга невелика, то лише частина йонів, утворених йонізатором, рекомбінуватиме в газі, а решта досягне електродів і на них нейтралізуватиметься. Збільшуючи напругу, побачимо, що збільшується й сила струму газового розряду. Нарешті, збільшуючи напругу, досягнемо того, що практично всі йони нейтралізуватимуться на електродах і з подальшим збільшенням напруги сила струму вже не зростатиме (струм досягає насичення $I_{\text{нас}}$). Графік залежності сили струму газового розряду від прикладеної напруги зображено на рисунку 70.

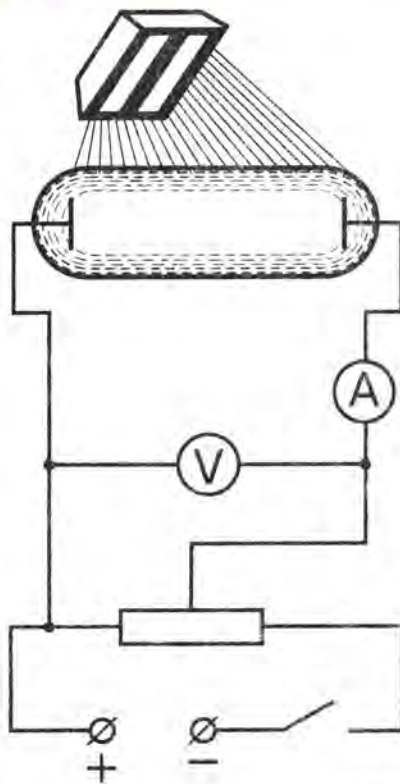


рис. 68

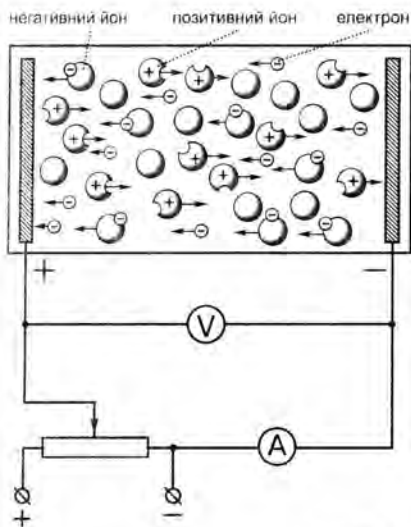


рис. 69

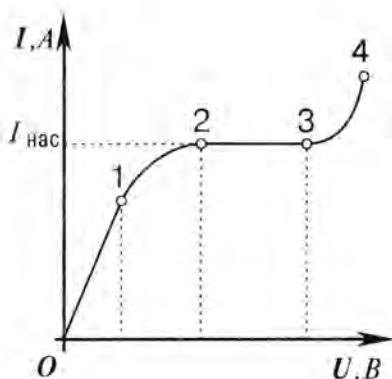


рис. 70

Із графіка видно, що зі зростанням напруги спочатку пропорційно зростає і сила струму. Про це свідчить прямолінійна ділянка $0-1$. За певного значення напруги U_1 всі йони та електрони будуть прискорені електричним полем, і струм у газі набуває насичення — $I_{\text{нас}}$. — всі носії зарядів рухаються до відповідних електродів (на графіку ділянка $1-2$) незалежно від зростання напруги до деякого значення (U_2).

2. Ударна іонізація. Здавалося б, далі сила струму вже не зростатиме, бо всі йони, які виникають у газі за одиницю часу, нейтралізуються поблизу електродів, тож більший заряд уже не може бути перенесений.

Проте дослід показує, що зі значним збільшенням напруги, починаючи з деякого значення U_2 , сила струму знову зростає, причому різко (ділянка $3-4$). Це означає, що в газі виникли додаткові йони, відбулася додаткова іонізація газу.

Пояснити різке зростання струму на ділянці ВС можна, якщо дати відповідь на питання: чому збільшення напруги між електродами привело до додаткової іонізації газу?

Це пояснюється **ударною іонізацією атомів і молекул** газу при зіткненні зі швидкими електронами. Під дією сильного електричного поля електрони набувають великих значень кінетичної енергії $\frac{mv^2}{2}$, яка стає більшою за роботу A , яку треба виконати, щоб іонізувати нейтральний атом або молекулу.

Отже, в процесі іонізації атома або молекули утворюються вже дві заряджені частинки. Обидва електрони (початковий і шойно вибитий) розганятимуться в електричному полі між електродами до великих швидкостей. Кожен з них на своєму шляху також ударятиме зустрічні нейтральні молекули

газу і вибиватиме з них електрони. Кількість вільних електронів, що мчатимуть із великою швидкістю до анода, лавиноподібно зростатиме і, як зрозуміло, не за рахунок зовнішнього іонізатора. Одночасно швидко зростає й кількість позитивно заряджених йонів, які рухаються до катода і також беруть участь у створенні електричного струму. Кількість вільних електронів і йонів стає настільки великою, що сила струму різко зростатиме. Цей процес і називають *ударною іонізацією* (3–4, рис. 70).

Отже, умовою ударної іонізації газу є нерівність:

$$\frac{mv^2}{2} > A.$$

У процесі ударної іонізації різко зростає кількість іонізованих атомів, а з ними й число електронів, які здійснюють іонізацію.

За таких умов на ділянці 3–4 струм уже може існувати і після припинення дії зовнішнього іонізатора.

Тому такий **розряд, який існує після припинення дії зовнішнього іонізатора, називають самостійним газовим розрядом**. Самостійний газовий розряд уже не потребує зовнішнього іонізатора для свого підтримання.

2. Види самостійних газових розрядів. Види самостійних газових розрядів такі: тліючий, іскровий, коронний і дуговий.

— **Тліючий розряд** — це самостійний розряд, який виникає в газах за низьких тисків (порядку 2–50 мм рт. ст.) (рис. 71).

Тліючий розряд у парах ртуті, натрію використовується в лампах денного освітлення, у газі неоні (червоне свічення) використовується в сигнальних лампах і рекламних трубках. Тліючий розряд в аргоні, який дає синювато-зелене свічення, використовується у рекламних трубках.

Види самостійних газових розрядів такі: тліючий, іскровий, коронний і дуговий.

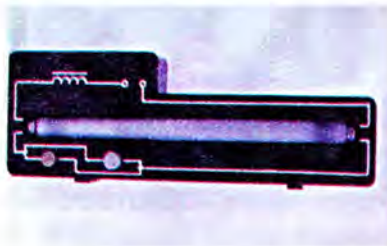


рис. 71



рис. 72

Іскровий розряд виникає в повітрі між двома електродами за нормального тиску.



рис. 73

Коронний розряд – це проміжний розряд між тліючим та іскровим.

Пояснити виникнення тліючого розряду за низьких тисків можна наступним чином. Коли газ дуже розріджений і відстані між молекулами великі, то йони, рухаючись деякий час без зіткнень, можуть набувати великих швидкостей і, отже, мати значну кінетичну енергію. При ударі в катод швидких йонів з металеві поверхні катода вибиваються електрони.

Ці два процеси: йонізація електронним ударом і вибивання електронів із катода і є основними в тліючому розряді.

— **Іскровий розряд** виникає в повітрі між двома електродами за нормального тиску (рис. 72).

Він триває короткий інтервал часу. За зовнішнім виглядом нагадує пучок зигзагоподібних смужок, що розгалужуються від тонкого каналу. Смужки швидко пронизують проміжок між електродами, гаснуть, потім виникають знову.

Іскровий розряд виникає за такої високої напруги між електродами, коли кількість вільних електронів, які мчать із величезною швидкістю до анода, і позитивно заряджених йонів, які рухаються до катода, наростає, мов лавина. Виникає, так званий, *електричний пробій повітряного проміжку*.

Іскровий розряд супроводжується звуковим ефектом за рахунок утворення ударної хвилі в повітрі внаслідок локального підвищення температури.

Найяскравішим прикладом іскрового електричного розряду є блискавка, яка виникає між зарядженими хмарами або зарядженими хмарами і Землею. Різниця потенціалів між хмарою і Землею близько $14 \cdot 10^9$ В.

— **Коронний розряд** – це проміжний розряд між тліючим та іскровим (рис. 73).

Виникає на електродах з тонкого дроту або із загостреними кінцями, увімкнених до джерела

високої напруги. Поблизу таких дротів чи загострених кінців створюється дуже сильне електричне поле. Коронний розряд може виникнути на загострених частинах провідників або у проводах високовольних ліній електропередач, що призводить до значних втрат електричної енергії. Щоб зменшити можливість виникнення коронного розряду, збільшують діаметр проводів.

У коронному розряді, на відміну від іскрового, має місце неповний пробій газового проміжку.

— *Дуговий розряд або електрична дуга, на відміну від переривчастого іскрового, є неперервним потужним самостійним електричним розрядом* (рис. 74). Його можна продемонструвати за допомоги двох вугільних електродів, приєднаних до джерела струму постійної напруги.

Для запалювання дуги треба звести електроди так, щоб вони дотикалися один до одного. У місці контакту, що має великий опір, із проходженням струму виділятиметься велика кількість теплоти. Кінці електродів сильно розжарюються і, якщо їх трохи розсунути, спалахне дуга. Внаслідок високої температури в дуговому проміжку газ буде сильно йонізованим, опір його малим, а сила струму великою. За великої сили струму удари позитивних йонів та електронів викликать іще сильніше розжарення катода і анода. З поверхні катода при цьому відбувається емісія електронів, що забезпечує підтримання самостійного розряду в газі та неперервне «горіння» дуги.

— *Плазма* називають стан газу, що має високий ступінь йонізації, за якого концентрація електронів та йонів у газі дуже велика.

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



рис. 74

Дуговий розряд або електрична дуга, на відміну від переривчастого іскрового, є неперервним потужним самостійним електричним розрядом

Плазмою є стан газу в дуговому, іскровому і тліючому розрядах. У нейтральній плазмі концентрація електронів і позитивних йонів однакові, і сумарний об'ємний заряд дорівнює нулю (як і в металах).



рис. 75

Плазма є особливим станом речовини, який дістав назву четвертого стану речовини (рис. 75).

Розрізняють *слабойонізовану*, *середньоїонізовану* та *повністю йонізовану* плазму.

Слабойонізована плазма присутня у зовнішніх шарах атмосфери.

Сильнойонізована плазма присутня у блискавці. У космосі плазма є найбільш поширеним станом речовини.

За надвисоких температур порядку мільйонів градусів *атоми газу повністю йонізуються* (розпадаються на електрони і ядра). Властивості такої плазми і способи її одержання набули останнім часом великого значення через проблему здійснення керованих термоядерних реакцій.

Перевірте себе

1. Який розряд називають несамотійним?
2. Який розряд називають самотійним?
3. Як пояснити механізм ударної йонізації?
4. Що таке іскровий розряд?
5. Що таке тліючий розряд?
6. Що таке електрична дуга?
- 7*. Який стан газу називають плазмою?

§30 Застосування струму в газах у побуті, в промисловості, в техніці

Явища і процеси, пов'язані з проходженням струму в газах, знайшли широке застосування в побуті, у промисловості, техніці. Розгляньмо деякі з них.

Коронний розряд може приносити користь людині. Так, його використовують в електрофільтрах для очищення димів і газів від твердих домішок. Створено промислові електрофільтри, за допомоги яких можна за годину

очистити сотні тисяч кубометрів промислових газів від диму, пилю та шкідливих туманів і добути з газів тонни корисних продуктів для виробництва сірчаної кислоти. Фільтри використовуються також у ливарнях. Коронний розряд покладено в основу дії надзвичайно важливих приладів — лічильників елементарних частинок.

Тліючий розряд: лампи денного освітлення. Пара ртуті за тліючого розряду в лампах денного освітлення дає фіолетове та ультрафіолетове проміння, яке кепсько сприймається людським оком. Тому на внутрішню поверхню трубки лампи наносять шар спеціальної речовини (люмінофор), яку добирають так, щоб вона, поглинувши фіолетове та ультрафіолетове проміння, випромінювала світло, спектральний склад якого був би близьким до сонячного. Лампи денного світла значно (у 3–4 рази) економічніші за лампи розжарення.

Іскровий розряд використовують в електроіскровому методі різання, свердління та інших видах точної обробки металу.

Іскровий проміжок використовують як запобіжник від перенапруг в електричних лініях передач.

Електрична дуга. Електрозварювання. Електрична дуга є основою електричного зварювання. Електрозварник, торкаючись кінцем електроду до зварюваної деталі та, домагаючись виникнення розряду, відводить електрод на невелику відстань, яка в процесі зварювання має бути приблизно сталою. Між електродом і деталлю виникає електрична дуга (рис. 76).

Дуговий розряд супроводжується яскравим свіченням і сильним розігріванням електродів. Температура каналу дуги сягає 5000°C , а за тиску $2 \cdot 10^6$ Па (у 20 раз більше за атмосферний) може перевищувати 7000°C . (Порівняйте, 6000°C — це температура поверхні Сонця!).

Коронний розряд покладено в основу дії надзвичайно важливих приладів — лічильників елементарних частинок.



рис. 76

Через це електричну дугу широко застосовують у сучасній техніці для зварювання й різання металів, у металургії, як потужне джерело світла у прожекторах і проєкційних апаратах. Дослідженням фізичних процесів дугового розряду, знаходженням шляхів застосування його в сучасній науці й техніці займаються в Україні вчені Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної Академії наук України. Наукові здобутки українських учених дістали високу оцінку в усьому світі.

§31 Безпека людини під час роботи з електричними приладами і пристроями

Кожне електричне коло слід захистити від надмірного зростання сили струму в ньому.

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

1. **Коротке замикання.** Виконуючи роботи з електричним струмом, слід пам'ятати, що струм, проходячи крізь тіло людини, може бути небезпечним для здоров'я і навіть для життя. Тому слід суворо дотримуватися правил техніки безпеки. Необхідно враховувати, що кожне електричне коло розраховане на певну силу струму. Якщо з деяких причин сила струму перевищує допустиму, то проводи можуть сильно нагрітися, ізоляція, що їх вкриває, — пошкодитися або навіть спалахнути, а електровимірювальні та інші прилади можуть вийти з ладу. Тому кожне електричне коло слід захистити від надмірного зростання сили струму в ньому.

Причиною значного зростання сили струму в мережі може бути або одночасне вмикання потужних споживачів струму (електричних плиток, електронагрівачів), або коротке замикання. *Коротким замиканням ділянки кола називають з'єднання її провідником із дуже малим опором, внаслідок чого відбувається різке збільшення сили струму.* Коротке замикання може виникнути, наприклад, під час ремонту електропроводини чи електроарматури під струмом (чого ні в

якому разі не можна робити!), або під час випадкового зіткнення оголених проводів.

Опір кола за короткого замикання дуже незначний, тому в колі, згідно з законом Ома, виникає дуже велика сила струму.

2. Запобіжники. Оскільки сила струму короткого замикання може бути значною, то проводи електричної мережі при цьому можуть сильно нагріватися і навіть спричинити пожежу. Щоб уникнути цього, в мережу вмикають спеціальні пристрої — запобіжники, призначення яких — відразу вимкнути лінію, тільки не сила струму перевищить допустиму.

На рисунку 77, а показано запобіжник із плавкою вставкою, який застосовують у квартирній проводині. Головна його частина — дроти́на з легкоплавкого металу (наприклад, із свинцю), що міститься всередині фарфорової вставки. Пробка має гвинтову нарізку і центральний контакт. Нарізку з'єднано з центральним контактом свинцевою дротиною. Пробку вкручують у спеціальний патрон, який міститься всередині коробки з ізолюючого матеріалу.

Свинцеву дротину добирають такої товщини, щоб вона витримувала лише певну силу струму. Якщо сила струму перевищить допустиме значення, то свинцева дротина розплавиться і коло розімкнеться. Тому такі запобіжники й називають **плавкими**.

Плавку вставку можна легко замінювати, якщо вона перегорить.

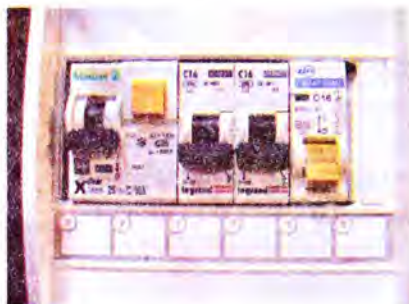
Нині широко застосовуються запобіжники, дія яких ґрунтується на тепловому розширенні тіл під час нагрівання. На рис. 77, б зображено зовнішній вигляд такого запобіжника. У разі перевантаження електричне коло розмикається. Ввімкнення кола здійснюється натисненням кнопки. Тут же (рис. 77, в) зображено сучасний блок запобіжників різного призначення.



а



б



в

рис. 77



рис. 77

Ймовірність ураження електричним струмом зростає, якщо людина стоїть на кам'яній, земляній чи вологій дерев'яній підлозі.

Електричний опір людського тіла не завжди однаковий, він залежить від багатьох факторів: вологості шкіри, стану нервової системи, стану здоров'я, втоми.

У радіопристроях застосовують плавкі запобіжники іншої конструкції (рис. 77, з). Такий запобіжник — це скляна трубка з металевими наконечниками, між якими натягнуто тонкий провідник. Запобіжник установлюється в спеціальний тримач.

Використання запобіжників захищає електричні кола від перевантаження.

3. Дія електричного струму на організм людини.

Щоб захиститися від дії електричного струму, тим, хто працює з електрикою, слід суворо дотримувати певних заходів безпеки.

Іноді помилково вважають, що струм, створюваний напругою 220 В, яка звичайно буває в освітлювальній мережі, безпечний для людини. Це — хибна думка.

Дослідження показали, що сила струму близько 0,01 А в разі проходження крізь тіло людини спричинює легке подразнення, за 0,03 А м'язи можуть утратити здатність скорочуватися, а струм силою 0,1 А вважається небезпечним для життя. Оскільки електричний опір тіла людини може змінюватися від 500 кОм до 1 кОм, то при випадковому попаданні під напругу 220 В крізь тіло людини може проходити струм силою

$$I = \frac{220 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 0,22 \text{ А, який також є небезпеч-$$

печним.

Слід також зазначити, що електричний опір людського тіла не завжди однаковий, він залежить від багатьох факторів: вологості шкіри, стану нервової системи, стану здоров'я, втоми. Також треба пам'ятати, що ймовірність ураження електричним струмом зростає, якщо людина стоїть на кам'яній, земляній чи вологій дерев'яній підлозі, доторкається до газових, водопровідних, каналізаційних труб чи інших металевих предметів. Тому за несприятливих умов не те

що 220 В, а лише 50–60 В можуть нашкодити життю людини. Навіть напруга 12 В вже небезпечна для здоров'я!

Слід мати на увазі, що ступінь ураження електричним струмом залежить не лише від сили струму, а й від шляху, яким струм проходить крізь тіло людини.

Найбільша небезпека для людини виникає тоді, коли при ураженні струм проходить крізь нервові центри органів дихання і кровообігу. Тому будьте уважні, користуючись електричним струмом у побуті та в кабінеті фізики.

4. Правила безпеки під час роботи з електричним струмом. Щоб бути гарантованим від неприємностей, кожний, хто має справу з електрикою, має виконувати такі основні правила: *ніколи не працювати під напругою, користуватися тільки електроізольованим інструментом, бути особливо обережним під час роботи у вологих приміщеннях.*

Подекуди підвідний провід настільних ламп, прасок, плиток та інших електроприладів від частого згинання оголюється. Якщо торкнутися цього місця, вас може вразити струмом. Отже, частіше перевіряйте стан шнура і своєчасно ізолюйте оголені місця. Особливо ретельно стежте за станом ізоляції проводів у вологих приміщеннях, оскільки волога ізоляція може стати провідником електрики. У таких приміщеннях має використовуватися провід із водонепроникною ізоляцією. Підвідні проводи не повинні дотикатися до предметів, які проводять електричний струм: радіаторів опалення, каналізаційних, газових, водопровідних труб.

Особливо небезпечно доторкатися до увімкнених в електричне коло приладів мокрими руками. Неправильне поводження з електрикою може спричинити й пожежу. Тому не

Правила безпеки:

- *ніколи не працювати під напругою;*
- *користуватися тільки електроізольованим інструментом;*
- *бути особливо обережним під час роботи у вологих приміщеннях.*

залишайте без нагляду електропраски, плитки, паяльника, теле- і радіоприладів, якщо вони увімкнені в мережу.

Пам'ятайте, що ураження струмом найчастіше буває внаслідок:

- дотику до неізольованих, оголених проводів, рубильників, лампових патронів, запобіжників та інших приладів, які перебувають під напругою;
- дотику до робочих частин електроустановки, електродвигуна, які внаслідок пошкодження електричної ізоляції опинилися під небезпечною напругою;
- перебування поблизу місця падіння на землю обірваного проводу електромережі;
- недодержання правил безпеки в побуті.

Перевірте себе

1. Чому потрібно дотримуватися правил безпеки під час роботи з електричним струмом?
2. Чим пояснити, що за короткого замикання сила струму в колі може бути дуже великою?
3. Для чого потрібні запобіжники, які вмикають у мережу?
4. Чому слід ретельно перевіряти стан електроізоляції проводів, особливо у вологих приміщеннях?
5. Чому не можна залишати без нагляду електронагрівальні прилади?

Це цікаво знати

Іноді під час грози коронний розряд із блискавководводу стає настільки сильним, що біля вістря виникає чітко видиме свічення. Таке свічення іноді виникає й біля інших загострених предметів: на кінцях корабельних щогл, гострих верхівок дерев та ін. Це явище було відоме ще декілька віків тому, діставши назву «вогні святого Ельма», і викликало містичний жах у мореплавців.

* * *

Красиве, але й небезпечне явище природи — блискавка — це не що інше, як іскровий розряд в атмосфері.

Як утворюється блискавка, ви вже дізналися з першого розділу «Електричне поле». Досліджуючи природу блискавки, М. Ломоносов, Б. Франклін і Г. Ріхман показали, що блискавка — величезна електрична іскра, що проскакує між грозовими хмарами або між хмарою та Землею.

Грозові хмари — сильно електрично заряджені. Різні частини грозової хмари несуть заряди різних знаків. Найчастіше нижня частина грозової хмари (ближча до Землі) буває заряджена негативно. Тому, якщо дві грозові хмари зближуються протилежно зарядженими частинами, то між ними виникає блискавка (рис. 78). Буває й інакше. Грозова хмара, проходячи над Землею, утворює на її поверхні великі індукційні заряди, тому хмара і поверхня Землі заряджаються зарядами протилежних знаків. Напруга між хмарою і Землею досягає величезних значень — сотні мільйонів вольт! За таких значень напруги між хмарою та Землею може виникнути самостійний електричний розряд — блискавка. Сила струму в каналі блискавки досягає 10 000 — 20 000 А, тривалість імпульсу струму складає лише декілька десятків мікросекунд. Самостійний електричний розряд між грозовою хмарою та Землею після декількох спалахів блискавки сам собою припиняється, бо більшість надлишкових електричних зарядів грозової хмари нейтралізується електричним струмом, що протікає вздовж каналу блискавки.

Оскільки сила струму блискавки сягає десятків тисяч амперів, то повітря в каналі блискавки нагрівається до температури понад 10 000 °С і перебуває у стані плазми. Раптова зміна тиску у плазмовому каналі, діаметр якого становить 10 — 20 см, за зміною сили струму і припиненням розряду викликає звукове явище — грім. Звукові хвилі, відбиваючись від землі, пагорбів, будинків тощо, часто-густо створюють тривалий громовий гуркіт.

* * *

Іноді твердять, що блискавковідвід (інша поширена назва — громовідвід) приймає на себе і відводить у землю грозові розряди. В окремих випадках це можливо, але все-таки основне призначення блискавковідводу не приймати на себе удар, а не допускати, щоб такий удар стався. Оскільки блискавкові-



рис. 78

двід зв'язаний з Землею, то з його вістря відбувається «стікання» електронів, тобто своєрідний електричний розряд. Внаслідок цього зменшується ймовірність удару блискавки в іншому місці.

Внесок українських учених у розвиток учення про електричний струм

Значний внесок у розвиток вчення про електричний струм зробили також і українські вчені, зокрема:

Олександр Смакула (1900–1983), який народився в с. Доброводи на Тернопільщині. У 1927 р. написав працю «Колір питомого опору плинного воздуха», в якій вивів формулу для розрахунку питомого опору рідкого повітря, провів перевірку закону Ома.

Іван Пулюй (1845–1918), який народився в м. Гримайлові (Тернопільська область), удосконалив технологію виготовлення розжарювальних спіралей для освітлювальних ламп.

Михайло Авенаріус (1835–1895), організатор і керівник Київської школи фізиків-експериментаторів. Сформулював залежність електрорушійної сили термоелементів від температури.

УЗАГАЛЬНЕННЯ РОЗДІЛУ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ»

- *Електричний струм* — це впорядкований (напрямлений) рух заряджених частинок. Необхідною умовою існування електричного струму в провіднику є наявність у ньому електричного поля та вільних електрично заряджених частинок.
- *Електричне коло* — це з'єднані між собою провідниками джерело струму, споживачі струму, пристрої для замикання і розмикання кола, електровимірювальні прилади.
- *За напрям електричного струму* умовно беруть напрям, яким у колі рухались би позитивно заряджені частинки, тобто напрям від позитивного полюса джерела струму до негативного.
- *Електрична напруга* — це фізична величина, що характеризує електричне поле, яке створює струм на певній ділянці кола.
Сила струму — це фізична величина, що характеризує електричний струм

у колі та дорівнює відношенню електричного заряду q , що пройшов крізь поперечний переріз провідника, до часу його проходження t .

- *Закон Ома для ділянки кола* — сила струму на однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі U на кінцях цієї ділянки та обернено пропорційна її опору R :

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

- *Опір металевого провідника* — це фізична величина, яка не залежить ні від сили струму, ні від напруги, а залежить лише від розмірів та матеріалу провідника.
- *Опір провідника R* прямо пропорційний довжині провідника l та обернено пропорційний площі поперечного перерізу провідника S , коефіцієнт пропорційності ρ називається питомим опором провідника ρ :

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

- *Одиниці вимірювання напруги, сили струму та опору в Міжнародній системі одиниць СІ*: напруги — вольт (1 В), сили струму — ампер (1 А), опору — Ом (1 Ом).
- *Резистор* — це пристрій, призначений для зміни опору в електричному колі. *Реостат* — це пристрій, пристосований для регулювання сили струму в колі. *Подільник напруги* — це пристрій, який має три клеми. Залежно від призначення і способу ввімкнення в електричне коло, може бути: резистором зі сталим опором, реостатом для зміни струму в колі і подільником напруги. Подільник напруги може змінювати напругу в електричному колі від нуля до значення напруги джерела струму.
- *Послідовне з'єднання елементів електричного кола* — це таке з'єднання, за якого кінець першого елемента з'єднують із початком другого, кінець другого — з початком третього і т. д. *Паралельним з'єднанням елементів електричного кола* називають таке з'єднання, коли початки всіх елементів з'єднуються в один вузол, кінці — в інший.
- *За послідовного з'єднання резисторів*:
сила струму в будь-яких частинах кола однакова ($I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$);
повна напруга в колі, або напруга на полюсах джерела струму, дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола ($U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$);
загальний опір кола дорівнює сумі опорів окремих ділянок кола ($R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$).
- *За паралельного з'єднання резисторів*:
напруга на кінцях усіх паралельних розгалужень однакова ($U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$);

сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів в окремих розгалуженнях ($I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$);

сила струмів у розгалуженнях обернено пропорційна опорам розгалужень $I_1 : I_2 = R_2 : R_1$;

величина, обернена повному опору з'єднання, дорівнює сумі величин, обернених опорам розгалужень

$$\left(\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right).$$

- *Робота електричного струму* A на ділянці кола дорівнює добутку напруги на кінцях цієї ділянки кола U на електричний заряд q , що пройшов по ній: $A = U \cdot q$, а потужність електричного струму P дорівнює добутку напруги U на силу струму в колі I : $P = UI$.
- *Закон Джоуля — Ленца*: кількість теплоти Q , яку виділяє провідник зі струмом, дорівнює добутку квадрата сили струму I , опору R й часу проходження струму провідником t : $Q = I^2 R t$.
- *Електролізом* називають процес розкладання речовини електричним струмом, який супроводжується виділенням на електродах складових речовин, які входять до складу електроліту.
Маса речовини m , що виділяється на електроді під час електролізу, прямо пропорційна електричному заряду q , що пройшов крізь електроліт (перший закон Фарадея): $m = kq$, $m = kIt$ (бо $q = It$), де k — електрохімічний еквівалент.
- За *несамостійного* газового розряду вільні носії заряду — електрони і позитивно заряджені йони — утворюються під дією зовнішнього іонізатора. Газовий розряд називають *самостійним*, якщо він не потребує зовнішнього іонізатора для свого підтримування (вільні електрони та йони утворюються внаслідок процесів, що відбуваються в самому газі). Розрізняють: *іскровий, тліючий, дуговий, коронний* газові розряди.
- *Напівпровідники* — клас речовин, які за своїм питомим опором (чи питомою електропровідністю) займають проміжне місце між провідниками і діелектриками. Але ми знаємо, що чіткої межі значень питомого опору для провідників, напівпровідників і діелектриків немає. Характерна відмінність між металами і напівпровідниками — та, що опір металевих провідників під час нагрівання збільшується, а опір напівпровідників зменшується.
- *Пам'ятайте, що навіть такий незначний струм силою 0,1 А за певних умов є небезпечним для життя людини.*

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ»

1. (1 бал). Які частинки є носіями струму в металевих провідниках?
 - а) додатні йони;
 - б) вільні електрони;
 - в) від'ємні і додатні йони;
 - г) від'ємні йони.
2. (1 бал). Для отримання електричного струму в електричному колі необхідно:
 - а) створити в ньому електричні заряди;
 - б) під'єднати до споживача електричної енергії;
 - в) створити в ньому електричне поле;
 - г) під'єднати лічильник електричної енергії.
3. (1 бал). Яка величина є сталою за послідовного з'єднання різних резисторів?
 - а) сила струму;
 - б) напруга на ділянці кола;
 - в) потужність електричного струму;
 - г) робота електричного струму.
4. (2 бали). Розрахуйте опір алюмінієвого дроту довжиною 5000 м і площею поперечного перерізу 2 см^2 ?
 - а) 1,4 Ом;
 - б) 0,7 Ом;
 - в) 2,8 Ом;
 - г) 3,2 Ом.
5. (3 бали). Два резистори опором 10 Ом і 40 Ом з'єднані паралельно. Який їх загальний опір?
 - а) 4 Ом;
 - б) 16 Ом;
 - в) 8 Ом;
 - г) 10 Ом.
6. (4 бали). У скільки разів робота струму за один і той же час буде більшою, у випадку коли два опори по 5 Ом кожен з'єднали перший раз послідовно, чи коли в другий раз паралельно? Напруга в обох випадках 4,5 В.

а) $\frac{A_2}{A_1} = 0,4$;

в) $\frac{A_2}{A_1} = 0,25$;

б) $\frac{A_2}{A_1} = 4$;

г) $\frac{A_2}{A_1} = 1$

Магнітне поле

- У чому полягає суть відкриття Ерстеда?
- Які речовини притягуються магнітом?
- Чому компаси на літаках і пароплавах часто дають неточні покази?
- Де містяться магнітні полюси Землі?
- Як виготовити постійний магніт?
- Яка відмінність будови амперметра і вольтметра?
- Як виготовити найпростіший електромагніт?
- У чому полягає суть відкриття Фарадея?
- У чому полягає суть гіпотези Ампера?

Ми вже знаємо, що в природі існують різні види полів, зокрема гравітаційне, електричне. У розділі 2 було описано різні дії електричного струму, зокрема й магнітну дію. Проявляється магнітна дія у взаємодії між провідником із електричним струмом і магнітною стрілкою, між двома провідниками, по яких проходить електричний струм. Виявляється, що такі взаємодії здійснюються за допомоги магнітного поля.

§32 Магнітне поле. Постійні магніти. Взаємодія магнітів. Магнітне поле Землі

1. **Магнітне поле** — особливий вид матеріального поля, через яке здійснюється взаємодія електричних струмів, рухомих електричних зарядів на відстані.

Ви знаєте, що в природі існують постійні магніти, які створюють магнітне поле. Постійні магніти можуть бути виготовлені з невеликого числа речовин, зокрема таких, як залізна руда. Було помічено, що ряд речовин, які поміщаються в магнітне поле постійного магніту, намагнічуються. Особливо це стосується таких речовин, як залізо і сталь.

Якщо прибрати постійний магніт, то намагнічений під його впливом кусок заліза чи сталі втрачає значну частину своїх магнітних властивостей, але все ж таки залишається намагніченим.

Різні сорти сталі й заліза мають різне залишкове намагнічення. Так, залишкове намагнічення спеціальних сортів сталі значно більше, ніж м'якого заліза.

Постійні магніти мають різну форму: плоскі прямі (штабові), підковоподібні, плоскі тороїдальні тощо (рис. 79).

2. Виконаємо такий дослід: на штатив підвісьмо на слабкій спіральній пружині металеву кульку. Підносимо до неї плоский магніт по черзі трьома точками: двома біля кінців магніту А і В і однією посередині С (рис. 80). Біля обох країв магніту кульки притягуються досить сильно. Це можна оцінити з величини розтягнення пружини в момент відриву кульки. У точці посередині магніту кулька майже не притягується до нього. Дос-

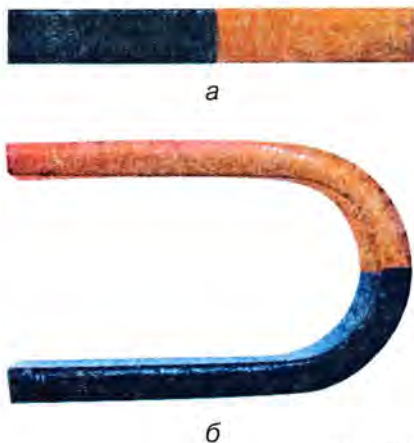


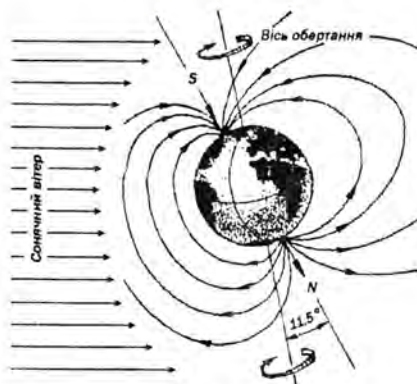
рис. 79



рис. 80



а



б

рис. 81

лід можна повторити також із металевими ошурками. Краї магніту, де проявляється найбільша магнітна взаємодія з кулькою, називаються **полюсами магніту**.

Усі магніти завжди мають два полюси. Ніколи не було створено магніт, який мав би один полюс або непарне число полюсів.

Якщо виготовити магніт у вигляді довгого тонкого стрижня, то ми одержимо добре всім відому **магнітну стрілку**. Полюси магнітної стрілки знаходяться в точках біля кінців стрілки. Така магнітна стрілка, розміщена на вістрі гілки (або тонкому підвісі), завжди встановлюється так, що один із її полюсів буде повернутий на північ, а другий — на південь (рис. 81, а). Тому полюс магнітної стрілки, що повертається на північ Землі, називається **північним полюсом**, а другий полюс — **південним**. За допомоги магнітної стрілки легко виявити наявність існування магнітного поля в цьому місці, розрізнити, з яким металом намагніченим чи не намагніченим, ми маємо справу.

Якщо магнітна стрілка притягується до металу, то це значить, що найближчий до полюса стрілки кінець металу намагнічується протилежно до цього полюса.

Однйменні полюси магнітів (північний — північний, південний — південний) відштовхуються, різнойменні притягуються (північний — південний). Це можна просто перевірити самостійно на дослідах із двома магнітними стрілками. Домовилися північний полюс магнітів і магнітної стрілки забарвлювати синім кольором, а південний — червоним.

3. Магнітне поле Землі. Виявляється, що Земля являє собою величезний магніт. Маг-

нітні полюси Землі не збігаються з географічними. Південний полюс магнітного поля Землі міститься біля північних берегів Америки, а північний полюс — в Антарктиді. Існування магнітного поля Землі підтверджується відхиленням магнітної стрілки за її вільного підвісу.

Схему магнітного поля Землі показано на рисунку 81, б.

Однорідні полюси магнітів (північний – північний, південний – південний) відштовхуються, різноіменні притягуються (північний – південний).

Історична довідка

Англійський вчений В. Джильберт (1540–1603) був одним із перших, який висловив припущення, що сама Земля є магнітом. Він виготовив великий глобус із магнітного заліза. Виявилося, що в усіх точках глобуса магнітна стрілка компаса показувала напрям із півночі на південь.

Потім Джильберт виготовив магнітну стрілку, що могла вільно повертатись у вертикальній площині навколо горизонтальної вісі. Він спостерігав, як біля магнітних полюсів глобуса стрілка встановлювалася вертикально.

У середній частині, на так званому, магнітному екваторі, стрілка встановлювалася горизонтально паралельно поверхні так само, як це має місце на поверхні Землі. Кут, що його утворює магнітна стрілка з горизонтальною площиною, називається **магнітним нахиленням**. Отже, на екваторі магнітне нахилення рівне нулю, а на полюсах 90 градусів.

На земній кулі є місцевості, в яких магнітне поле змінюється дуже сильно. Такі області на місцевості називаються областями **магнітної аномалії**. Причиною таких аномалій є наявність на поверхні руди значних мас магнітної залізної руди.

Перевірте себе

1. Є два однакових за геометричними розмірами сталевих бруска. Один із брусків намагнічено (постійний магніт). Як визначити, який саме брусок намагнічений, не користуючись нічим, окрім цих брусків?
2. Як реагуватиме звичайна магнітна стрілка компаса над одним із магнітних полюсів Землі; у місцях магнітних аномалій?

Це цікаво знати

Як не дивно, але достатньо довго існувала думка, що джерелом притягання магнітної стрілки компаса була Полярна зоря. Нам зрозуміло, що якби це було так, то напрямок магнітної стрілки компаса мусив би змінюватися внаслідок видимого колового руху Полярної зорі. Насправді ж цього не спостерігалось.

Цікавий випадок стався під час подорожі Колумба, в якій було відкрито Америку. Він так описав явище, що сталося з компасом на кораблі, у листі до королеви Іспанії: «Після того, як я проплив на захід від Азорських островів ..., стрілка компаса, що до того показувала на північний схід, раптом повернулась на цілу чверть на північний захід ...».

Нам зрозуміло, що магнітне схилення змінилося зі східного на західне внаслідок перетину кораблем лінії нульового схилення. А того часу це спричинило паніку серед матросів і ледь не закінчилося бунтом.

* * *

Постійний магніт можна виготовити, розміщуючи швейну голку або частинку годинникової пружини в контакт з сильним магнітом. Можна також намагнітити тертям сталеві предмети, тертям одним полюсом сильного магніту в одному напрямку. Якщо сталь у процесі намагнічення піддавати ударам, то намагніченість зростає.

Поглибте свої знання

Земний магнетизм. Унаслідок того факту, що положення магнітного і географічного полюсів не збігається, магнітна стрілка показує напрям північ-південь наближено щодо географічних полюсів.

Площина, в якій встановлюється магнітна стрілка в магнітному полі Землі, називається **площиною магнітного меридіана**. Площина магнітного меридіана перетинається з горизонтальною площиною. Лінію перетину називають **магнітним меридіаном**.



рис. 82

На рис. 82 показано взаємне розташування географічного і магнітного меридіанів. Кут φ між напрямками магнітного і географічного меридіанів називають **магнітним схиленням**. Магнітне схилення може бути східним (як це показано на рис. 82) або західним, залежно від того, до сходу чи до заходу від площини географічного меридіана відхиляється магнітна стрілка.

Тому ясно, що для того, аби штурман корабля чи пілот літака міг користуватися магнітним компасом, необхідні знання магнітного схилення в заданій точці шляху.

- Ми вже знаємо, що на екваторі магнітна стрілка розташована горизонтально. Що далі на північ або на південь, — то більший кут нахилу стрілки до горизонту. А в двох точках на Землі ця стрілка займає вертикальне положення. Це — *магнітні полюси Землі*. На них стрілка звичайного компаса взагалі нічого не показує — вона коливається як завгодно. Порівняно недалеко (приблизно на відстані 2100 км) від Північного географічного полюса розміщено Південний магнітний полюс (тут північну сторону стрілки нахилення спрямовано в Землю), Північний магнітний полюс Землі лежить неподалік від Південного географічного полюса. Тут магнітне поле Землі напрямлене вертикально вгору. Вісь, яка проходить крізь магнітні полюси Землі, називається *магнітною віссю Землі*.

Неспівпадінням магнітних полюсів Землі з її географічними полюсами (наявністю кута між віссю обертання та її магнітною віссю — рис. 81, б) пояснюється неспівпадіння напрямку магнітної стрілки з напрямом географічного меридіана. Навіть більше, на Земній кулі є райони, в яких напрям магнітної стрілки постійно відхилений навіть від напрямку місцевої магнітної лінії Землі. Такі райони, як ми вже знаємо, називають районами *магнітної аномалії*. Це — райони залягання залізних руд та інших магнетиків.

- Порівняно нещодавно вчені-геофізики навчилися визначати, яким було магнітне поле Землі тисячі й мільйони років тому. Річ у тім, що багатьом гірським породам властива *залишкова намагніченість*. А тому, знаючи період утворення такої породи, можна дізнатися, який напрям мало магнітне поле на той час. Виявилось, що магнітні полюси «подорожують», — змінюють своє положення на Земній кулі. Мало того, вчені виявили, що за останні мільйони років магнітні полюси Землі «мінялися місцями» сім разів! Причому останній раз це сталося приблизно десять тисяч років тому і здійснювалося за фантастично короткий термін — декілька десятків років. Для Землі (їй понад чотири мільярди років) — це коротка мить. Отже, *Земля — це не постійний магніт*.

- Виявляється, що початкове (хай навіть і дуже слабке) магнітне поле в розплавленому шарі ядра планети могло виникнути з різних причин: воно могло вже існувати в тому місці Всесвіту, де почала утворюватися Земля, або й виникнути цілком випадково — якщо збігалися власні магнітні поля

великої кількості сусідніх атомів розплавленого й сильно стиснутого в ядрі Землі заліза.

Виникнувши раз, магнітне поле в умовах ядра Землі уже зникнути не може. Магнітне поле Землі на 99% є полем, утвореним глибинними електричними струмами всередині планети. Його ми умовно називаємо «стаціонарним». Однак, решту існуючого магнітного поля Землі утворено атмосферними струмами, які викликані взаємодією сонячного випромінювання, «сонячного вітру», зі стаціонарним магнітним полем Землі. Заряджені частинки сонячного випромінювання зазнають дії з боку магнітного поля Землі і відхиляються ним. У період сонячної активності такі магнітні поля викликають *магнітні бурі*, що приводить до несподіваних коливань стрілок магнітних компасів, виникнення полярного сяйва, зміна самопочуття людей, порушення радіозв'язку тощо.

Польоти штучних супутників Землі, геофізичних ракет-зондів та інші дослідження дали змогу виявити місця, особливо насичені зарядженими частинками «сонячного вітру», що названі *радіаційними поясами Землі*.

Сукупність «стаціонарного» і «змінного» магнітних полів утворюють результуюче магнітне поле, яке називають *магнітосферою Землі*. Магнітне поле Землі перешкоджає зарядженим частинкам «сонячного вітру» проникати в глибинні шари земної атмосфери і в такий спосіб захищає все живе на Землі від шкідливого впливу випромінювання.

Перевірте себе

1. Для чого визначають магнітне поле Землі?
2. Що таке «стаціонарне» магнітне поле Землі?
3. Що відомо про переміщення магнітного поля і магнітних полюсів Землі?
4. Що називають магнітосферою Землі? Яка роль магнітосфери в житті Землі і землян?

§33 Магнітна дія струму. Дослід Ерстеда

З давніх часів людям відомі найпростіші електричні та магнітні явища, пов'язані з їхніми силовими діями на предмети.

Так, згадаймо досліди (розділ 1) із притягання легких предметів, як-от: клаптиків паперу, соломинок тощо натертою скляною паличкою або натертим бурштином. Але ж ми вже ознайомились і з притяганням магнітами металевих предметів. Ці явища «електричного» і «магнітного» притягання були відомі грекам років за 600 років до нової ери. Але різниця між природою цих явищ була незрозумілою, тому вважалося, що ці явища мають однакову природу.



рис. 83

Історична довідка

Вперше на відмінність між електричним і магнітним притяганням звернув увагу англійський природодослідник Вільям Джильберт (1544–1603). Він описав результати власних дослідів і започаткував дослідження електричних і магнітних явищ, запровадив термін «електрика».

Хоча відмінність між електричними й магнітними явищами не викликала сумніву, проте ряд фактів свідчить про те, що ці явища якимось чином нерозривно пов'язані одне з одним.

Можливо, одним із перших на це звернув увагу французький фізик Домінік Араго (1786–1860). Найбільш вагомими фактами були намагнічування залізних предметів і перемагнічування магнітних стрілок під впливом блискавки.

Араго, зокрема, описує такий випадок: «У липні 1681 р. корабель “Королева”, що перебував у відкритому морі за сотню миль від берега, був уражений блискавкою, яка пошкодила щогли та вітрила. А коли настала ніч, то за положенням зорь стало ясно, що з трьох компасів, які були на кораблі, два почали показувати на південь замість того, щоб показувати на північ».

Відомі також випадки, коли від удару блискавки в будинок намагнічувалися сталеві ножі, виделки та інші предмети.



Ерстед Ганс-Крістіан
(1777–1851) — датський фізик, професор університету в м. Копенгагені, член багатьох академій. Ідея взаємозв'язку між різними явищами природи — головна риса його наукової творчості в багатьох галузях фізичної науки.

Відкриття Ерстеда полягає в тому, що навколо провідника, по якому проходить електричний струм, утворюється магнітне поле.

Ми вже знаємо, що блискавка являє собою сильний електричний струм, який іде крізь повітря.

А в кінці XVIII — на початку XIX ст. описані вище явища наводили на думку, що електричний струм має магнітні властивості. Вперше магнітні властивості електричного струму дослідним шляхом 1820 р. виявив датський учений Г. Ерстед. Він помітив відхилення магнітної стрілки біля провідника, коли ним проходив електричний струм.

Проробімо дослід, який дістав назву досліду Ерстеда. Розмістімо провідник над магнітною стрілкою компаса паралельно стрілці і замкнімо коло (рис. 83). Магнітна стрілка відхилиться. Якщо змінити напрям струму, магнітна стрілка відхилиться у протилежному напрямку.

Стрілка намагається розміститися перпендикулярно до провідника зі струмом.

Отже, відкриття Ерстеда полягає в тому, що навколо провідника, по якому проходить електричний струм, утворюється магнітне поле.

Згадаймо, що електричний струм — це впорядкований рух електричних зарядів. Дослід Ерстеда з відхилення магнітної стрілки струму показав, що рухомі електричні заряди мають здатність не лише до електричних, а й до магнітних взаємодій. Електричні здійснюються за допомоги електричного поля, а магнітні — магнітного поля.

Це цікаво знати

Найпростіший компас можна виготовити зі звичайної голки. Візьміть тонку голку і намагніть її за допомоги постійного магніту. Якщо це підковоподібний магніт, то помістіть голку між полюсами. Голка стане перпендикулярно до площини полюсів магніту в проміжку між ними. Цікаво, що скільки б її не відхиляли, голка після коливань знову стане вертикально в повітрі між полюсами. Якщо це плоский магніт, то намагніть тертям.

Змастіть голку будь-яким жиром (парафіном, воском тощо) і покладіть обережно на поверхню води у склянці. Голка не потоне і займе на воді положення північ-південь.

Перевірте себе

1. У чому суть досліду Ерстеда?
2. Яке історичне значення досліду Ерстеда для подальшого розвитку фізики.

§34 Магнітне поле провідника зі струмом

• Задамо собі запитання: якими способами можна виявити магнітне поле? Один із способів виявлення магнітного поля полягає у використанні магнітних стрілок або залізних ошурок, які намагнічуються в магнітному полі і стають маленькими магнітними стрілочками. Вісь кожної стрілочки (лінія, яка сполучає її полюси) в магнітному полі розміщується вздовж напрямку дії сил магнітного поля.

На рисунку 84 зображено картину магнітного поля прямого провідника зі струмом. Щоб отримати таку картину, прямий провідник пропускають крізь пластинку органічного скла або аркуш картону. На пластинку насипають тонкий шар залізних ошурок (якщо є маленькі магнітні стрілки, то можна замість ошурок розмістити їх). Якщо по провіднику

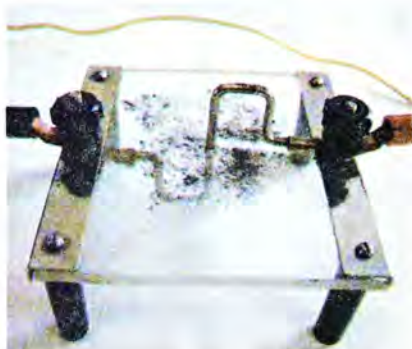


рис. 84

Силкові лінії магнітного поля навколо прямого провідника зі струмом є концентричними колами та ніде не перетинаються одна з одною.

пропустити електричний струм, то залізні ошурки намагнітившись під його впливом розмістяться вздовж силових ліній магнітного поля і будуть вказувати їхній напрям.

• **Графічне зображення магнітного поля.** Під дією магнітного поля прямого провідника зі струмом залізні ошурки або маленькі магнітні стрілки розміщуються навколо провідника не безладно, а ланцюжками, які утворюють концентричні кола з центром усередині провідника.

Лінії, вздовж яких у магнітному полі розміщуються залізні ошурки або осі магнітних стрілок, називають силовими лініями магнітного поля.

Отже, силові лінії магнітного поля навколо прямого провідника зі струмом є концентричними колами та ніде не перетинаються одна з одною.

Напрямок, що його показує північний полюс магнітної стрілки в кожній точці магнітного поля, прийнято за напрям силових ліній магнітного поля. На силовій лінії, проведеній через задану точку поля, напрям силових ліній магнітного поля зображають відповідно спрямованою стрілочкою.

За допомоги силових ліній зручно зображати магнітні поля графічно подібно до графічного зображення електростатичного поля нерухомих електричних зарядів. Оскільки магнітне поле існує в усіх точках простору, що оточує провідник зі струмом, то через будь-яку точку можна провести магнітну силову лінію і визначити її напрям. Це й буде напрям дії магнітного поля на магнітну стрілку.

• **Від чого залежить напрям магнітного поля?**

Змінюватимемо напрям електричного струму в провіднику (рис. 85, а, б), як свого часу Ерстед. Дослід показує, що кожного разу оріє-



а



б

рис. 85

ентація магнітної стрілки змінюється на протилежну. Отже, напрям силових ліній магнітного поля залежить від напрямку струму у провіднику.

Залежність напрямку силових ліній магнітного поля від напрямку струму, що його утворює, зручно визначати за правилом свердлика:

Якщо напрям поступального руху свердлика збігається з напрямом струму в провіднику, то напрям обертання кінця ручки свердлика вкаже на напрям силових ліній магнітного поля (рис. 85, в).

Напрямок, що його показує північний полюс магнітної стрілки в кожній точці магнітного поля, прийнято за напрям силових ліній магнітного поля.

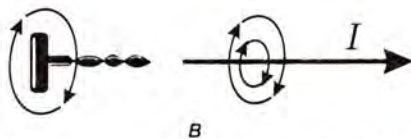


рис. 85

Перевірте себе

1. Як можна встановити напрям струму у провіднику за допомоги компаса?
2. Що називають магнітними силовими лініями?
3. За допомоги якого правила визначають напрям магнітного поля?

§35 Магнітне поле котушки зі струмом. Електромагніти

Найбільший практичний інтерес становить магнітне поле котушки зі струмом. Котушку можна отримати, послідовно намотавши ізолюваний провідник на трубчастий каркас, виготовлений з непровідного матеріалу (картону, деревини, текстоліту). Кінці провідника кріплять на затискачах, до яких подається електричний струм. Отже, котушка зі струмом — це сукупність великої кількості окремих витків. Тому, щоб з'ясувати, яким буде магнітне поле котушки, спочатку розглянемо магнітне поле окремого витка зі струмом.

1. Магнітне поле окремого витка зі струмом.

Якщо виток зі струмом уявно переділити на велику кількість ділянок, то кожен з них можна вважати близькою до прямолінійного провід-

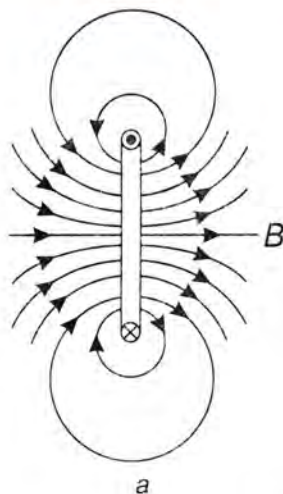


рис. 86

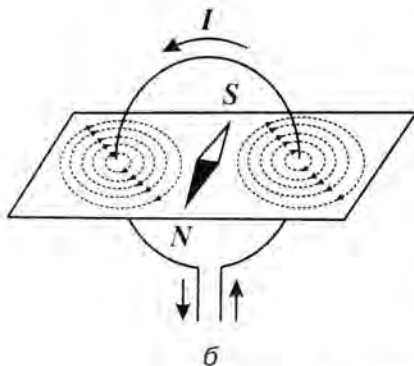


рис. 86

ника зі струмом. Скористаймося правилом свердлика і встановимо, що силові лінії магнітного поля, утворені всередині витка всіма його ділянками, мають однаковий напрям, а отже, взаємно підсилюють одне одного (рис. 86, а). Зовні колового витка силові лінії магнітного поля кожної пари протилежних ділянок контуру (як це видно на рисунку 86, а) взаємно послаблюють одне одного. Отже, магнітне поле колового провідника є значно підсиленням всередині та ослабленням зовні.

Картину магнітного поля колового провідника зі струмом зображено на рисунку 86, б. На рисунку 86, б схематично показано, як визначають напрям результуючого магнітного поля всередині витка, користуючись правилом свердлика. Як видно, напрям магнітного поля витка зі струмом — від південного до північного полюса вздовж осі розташування магнітної стрілки.

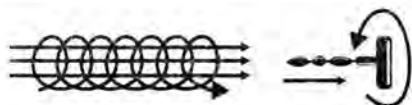


рис. 87

2. Магнітне поле котушки зі струмом. У котушці площини кожного з витків близькі до паралельних, а струми у витках збігаються за напрямками (рис. 87). Це означає, що напрями силових ліній магнітних полів, створених окремими витками, збігаються, а отже, магнітне поле окремих витків взаємно підсилюється. Що більша кількість витків, то сильніше поле всередині котушки. Зовні котушки магнітні силові лінії окремих витків протилежні та магнітні поля компенсують одне одного. Отже, магнітне поле котушки зі струмом в основному зосереджено всередині котушки. Напрямок магнітного поля всередині котушки визначають за правилом свердлика так само, як у випадку колового провідника.

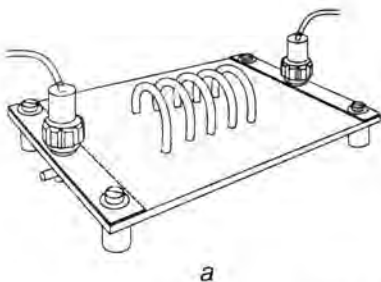


рис. 88

Наочну картину магнітного поля котушки можна дістати за допомоги залізних ошурок. Для цього використовують діелектричну підставку з котушкою (рис. 88, а). На неї посипа-

ють ошурки і вмикають котушку в електричне коло. Злегка струшуючи підставку, отримують картину силових ліній магнітного поля всередині та зовні котушки зі струмом (рис. 88, а). Схему магнітного поля котушки зі струмом представлено на рис. 88, б.

3. Електромагніти. На рис. 88, в показано картину силових ліній магнітного поля прямого, так званого, штабового магніту.

Порівняння цих картин дає підстави зробити висновок про те, що вони подібні, а отже, подібними є властивості котушки зі струмом та постійного магніту.

• Силові лінії котушки зі струмом, яку ще називають **соленоїдом**, не мають ні початку, ні кінця — вони завжди замкнуті. Силові лінії постійного магніту теж завжди замкнуті. Зовні магніту вони продовжуються від північного полюса до південного (рис. 88, в).

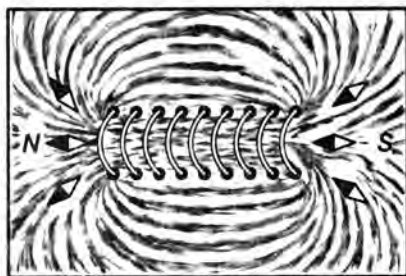
Але ми поки що не знаємо, як розташувались би залізні ошурки всередині постійного магніту. (Про це поговоримо в кінці розділу.)

Отже, в обох випадках силові лінії магнітного поля між магнітними полюсами замкнуті.

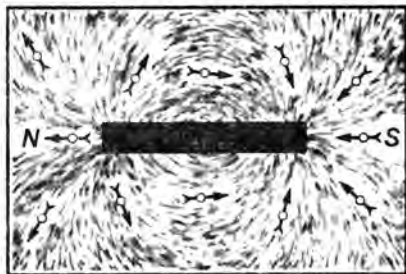
Подібно до постійного магніту, котушка має два полюси — північний і південний.

Якщо котушку зі струмом підвісити на тонких і гнучких довгих провідниках, то вона діє як магнітна стрілка: один полюс (кінець котушки) буде повернутий на північ, інший — на південь.

• Котушку із залізним осердям усередині називають **електромагнітом** (рис. 89). Отже, введення в котушку залізного осердя підсилює магнітне поле котушки і фактично перетворює котушку в електромагніт. Під дією магнітного поля котушки залізне осердя намагнічується, стає магнітом. Силові лінії магнітного поля осердя збігаються з напрямом силових ліній магнітного поля, що ство-



б



в

рис. 88

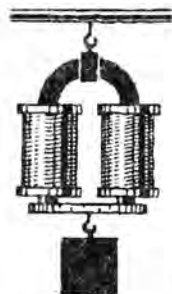


рис. 89

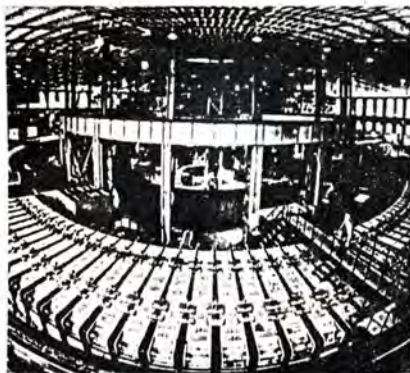


рис. 90

Перший електромагніт був зроблений ще у 1823 році і являв собою шар металевого дроту навитого на ізольоване металеве осердя.

рюється котушкою, і значно підсилюють магнітне поле. Тому електромагніти мають велику магнітну силу притягання.

Збільшити силу притягання електромагніту можна ще і збільшенням числа витків котушки або збільшенням струму в котушці.

Перший електромагніт був зроблений ще у 1823 р. та являв собою шар металевого дроту навитого на ізольоване металеве осердя.

Сучасні електромагніти — це надзвичайно різноманітні як за будовою, так і за призначенням пристрої. Електромагніти широко використовуються на збагачувальних рудних і сталеплавильних заводах, на залізничних товарних станціях для відвантаження металевих конструкцій, на заводах переробки металу ...

Електромагніти використовуються в прискорювачах елементарних частинок (рис. 90). Так, на запущеному 10 вересня 2008 р. в Європейському центрі ядерних досліджень у Швейцарії надсучасному прискорювачі елементарних частинок (адронному колайдері) використовуються 1624 надпотужні електромагніти, які працюють за температури -271°C у стані надпровідності (як ви вже знаєте, у стані надпровідності опір металів дуже малий і тому магнітне поле, створене такими електромагнітами, надзвичайно сильне).

Електромагніти використовуються також у побутових приладах, різноманітних реле та електричних дзвінках і под.

Це цікаво знати

Є ще одна галузь, в якій широко використовуються електромагніти — це виготовлення постійних магнітів. Для цього використовується спеціальна сталь. Якщо шматок сталі, наприклад, у формі підкови, то кінці підкови розташовують відповідно навпроти північного і південного полюсів. Потім

умикається електричний струм. Магнітні силові лінії входять у сталеву підкову через північний полюс і виходять через південний. Сила електромагніту, що використовується для виготовлення постійних магнітів, мусить бути достатньо великою для того, щоб забезпечити насичення сталі. Після закінчення процесу намагнічування полюси постійного магніту з'єднуються металевою пластинкою для того, щоб послабити розмагнічування. Тому рекомендується з'єднувати кінці постійних магнітів з метою подовження їхніх магнітних властивостей.

Перевірте себе

1. У чому полягає спосіб виявлення магнітного поля за допомоги магнітних стрілок та залізних ошурок?
2. Що називається електромагнітом?
3. Як можна посилити магнітне поле електромагніту?
4. Чи підсиляться магнітне поле котушки зі струмом, якщо в неї ввести стальне осердя? алюмінієве осердя?
5. Як можна змінити напрям магнітного поля котушки зі струмом на протилежний?
6. Наведіть приклади використання електромагнітів у побуті, техніці.
7. Поясніть як можна визначити місце провідника зі струмом, який перебуває неглибоко під землею чи під підлогою.

§36 Дія магнітного поля на провідник зі струмом

Ми вже ознайомилися з різноманітними магнітними явищами, зокрема із взаємодією магнітів між собою, з дією електричного струму на магніти, із взаємодією електричних струмів. В основі всіх взаємодій лежить вплив магнітного поля на провідники зі струмом. Тому надалі розгляньмо сили, що діють на провідники зі струмом у магнітному полі.

1. Дія магнітного поля на прямолінійний провідник зі струмом. На рисунку 91 зображено провідник, підвішений на гнучких проводах, які приєднані до джерела струму. Провідник

За будь-якого напрямку поля і струму напрям сили, яка діє на провідник, залишається перпендикулярним до силових ліній поля і напрямку струму в провіднику.



рис. 91

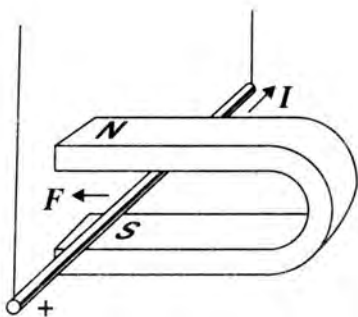


рис. 92

Якщо розмістити ліву руку так, щоб силові лінії магнітного поля входили в її долоню, а витягнуті чотири пальці вказували напрям струму, то відігнутий великий палець покаже напрям сили, що діє на провідник.

розміщено між полюсами підковоподібного магніту, тобто провідник перебуває в магнітному полі. Коли замкнуте електричне коло, провідник почне рухатися в напрямку від полюсів магніту.

Якщо змінити напрям струму чи силових ліній магнітного поля, то провідник втягуватиметься у проміжок між полюсами магніту. За будь-якого напрямку поля і струму напрям сили, яка діє на провідник, залишається перпендикулярним до силових ліній поля і напрямку струму в провіднику.

Саме тому, напрям дії магнітного поля на провідник зі струмом визначається як напрямом струму, так і напрямом силових ліній магнітного поля, в якому він розміщений.

Отож, у цьому досліді провідник зі струмом або втягувався у магнітне поле постійного магніту, або виштовхувався з нього.

Для визначення напрямку сили, яка діє на прямолінійний провідник зі струмом у магнітному полі, користуються *правилом лівої руки*, яке формулюється так:

Якщо розмістити ліву руку так, щоб силові лінії магнітного поля входили в її долоню, а витягнуті чотири пальці вказували напрям струму, то відігнутий великий палець покаже напрям сили, що діє на провідник (Напрямок дії сили показано на рис. 92).

Величину цієї сили у 1820 р. визначив французький фізик Андре-Марі Ампер, тому вона і названа силою Ампера.

- На окремий рухомий заряд у магнітному полі також діє сила з боку магнітного поля. Ця сила змінює тільки напрям швидкості руху зарядженої частинки, залишаючи незмінним її кількісне значення. Напрямок сили, що діє на позитивний заряд, який рухається в магнітному полі, визначається **за правилом лівої руки**:

Якщо ліву руку розташувати так, щоб силові лінії магнітного поля входили в долоню, чотири

витягнуті пальці показували напрям руху **позитивно зарядженої частинки**, то відігнутий великий палець вказуватиме на напрямок дії сили.

Для негативно заряджених частинок (електронів) напрям струму приймається протилежним руху частинок, тому пальці лівої руки, які показують напрям струму, розміщуються назустріч рухові електронів.

2. Дія магнітного поля на виток (рамку) зі струмом. Ми розглянули вплив магнітного поля на прямолінійну ділянку провідника зі струмом. Це — найпростіший випадок. Більш складним і важливим для практичного використання є розгляд впливу магнітного поля на виток зі струмом. Для зручності розгляду виток робиться у вигляді прямокутної рамки, що підвішується на двох тонких довгих проводах у магнітному полі постійного підковоподібного магніту (рис. 93, а).

• *Як же поводить себе рамка зі струмом у постійному магнітному полі?* Згадаймо, що рамка (виток) зі струмом подібна до невеликого магніту. Магнітні силові лінії такого невеликого магніту, згідно з правилом свердлика, направлені зліва направо (рис. 93, а). Тому магнітне поле постійного магніту діє на рамку зі струмом, як на магнітну стрілку. В результаті, рамка повертається так, щоб її площина була перпендикулярна до напрямку магнітних силових ліній постійного магніту (рис. 93, б).

• *Чому рамка повертається в постійному магнітному полі?* Із рис. 93, б бачимо, що дві сторони рамки розміщені паралельно напрямку поля (горизонтально), а дві — перпендикулярно до поля (вертикально). На паралельні сторони рами магнітне поле не діє. На дві інші сторони рамки зі струмом магнітне поле діє з однаковими силами, але протилежно напрямленими. Напрямок цих сил визначається за правилом лівої руки. Напрямок вказано на

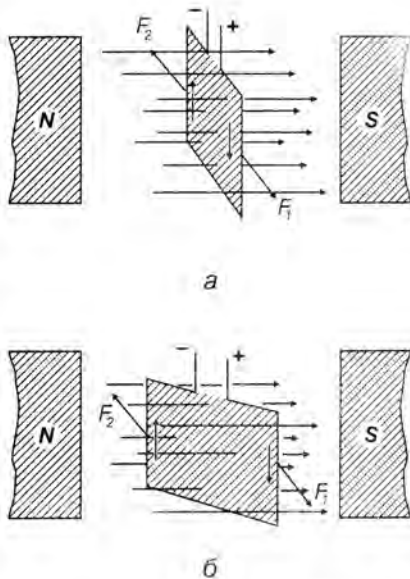


рис. 93

Сили, з якими магнітне поле діє на рамку зі струмом, рівні за величиною та протилежно напрямлені, становлять пару сил.

рис. 93, б. Отже, сили, з якими магнітне поле діє на рамку зі струмом, рівні за величиною та протилежно напрямлені, становлять пару сил. Дія пари сил на рамку повертає її в магнітному полі доти, доки площина рамки не встановиться перпендикулярно до напрямку поля (рис. 93, а). Рамка зупиняється в цьому положенні рівноваги.

На явищі обертання рамки зі струмом у магнітному полі ґрунтується дія електродвигунів, електровимірювальних приладів і інших пристроїв.

§37 Електричні двигуни. Гучномовець. Електровимірювальні прилади

- **Обертання рамки зі струмом.** Відомо, що виток зі струмом повертається в магнітному полі, прагнучи розташуватися перпендикулярно до його силових ліній.

Як досягають того, щоб виток обертася? Адже саме явище обертання провідника зі струмом у магнітному полі використовують в електричних двигунах, електровимірювальних приладах та ін.

Ми вже знаємо, що повертання рамки зі струмом обумовлено дією зовнішнього магнітного поля. Якщо під дією зовнішнього магнітного поля рамка при обертанні досягне суттєвої швидкості, то вона за інерцією пройде положення рівноваги. Щоби продовжити рух рамки в тому самому напрямі, необхідно поміняти напрям її магнітного поля, тобто змінити напрям струму в рамці.

Отже, щоби від повертання рамки перейти до обертання, необхідно кожних півоберта рамки змінювати в ній напрям струму на протилежний. На рисунку 94, а зображено модель, за допомогою якої можна здійснювати такий рух. Тут рамку $ABCD$ насаджено на вер-



рис. 94

тикальну вісь. На рамці укладено обмотку, яка складається з декількох десятків витків ізолюваного дроту. Один кінець обмотки приєднано до одного півкільця (1), інший — до іншого півкільця (2). Кожне півкільце притискується до однієї з металевих пластин — щіток 3. Щітки призначені для підведення струму від джерела. З повертанням рамки приєднані до її кінців півкільця повернуться разом з нею, і кожна притиснеться до іншої щітки, внаслідок чого струм у рамці змінить напрям на протилежний, Рамка продовжуватиме обертатись.

• **Електричні двигуни (електродвигуни).** Електродвигуни — це електричні машини, в яких енергія електричного струму перетворюється в механічну. Електродвигуни постійного струму (рис. 94, б) складаються з нерухомої частини — статора (1) і рухомої обертової частини — якоря (2). До статора кріпляться магнітні полюси, які можуть являти собою постійні магніти або електромагніти. Якір є обертовою частиною електродвигуна, що набирається з листової сталі. Він має циліндричну форму із поздовжніми пазами. У пази якоря укладається обмотка з тонкого ізолюваного дроту.

Обертання якоря відбувається внаслідок взаємодії магнітного поля обмотки якоря з магнітним полем нерухомої частини статора. Вал двигуна, що проходить по осі залізного циліндра, з'єднують із приводом машини.

Електричні двигуни мають ряд переваг. За однакової потужності вони менші за розмірами, ніж теплові. Під час роботи електродвигуни не виділяють газів, диму й пари, отже, не забруднюють повітря, не потребують запасів палива та води. Їх можна виготовити будь-якої потужності: від кількох ват, наприклад, в електробритках, до сотень і тисяч кіловат — у тролейбусах, на ескалаторах і прокатних станах. ККД потуж-



б



в

рис. 94



них електродвигунів досягає 98 %. Такого високого ККД не має жоден інший двигун.

Перший електричний двигун, придатний для практичного використання, винайшов російський вчений Якобі Борис Семенович (1801–1874) у 1834 р.

На рис. 94, б показано модель електродвигуна, 94, в один із видів електродвигунів.

• **Гучномовець.** Дія магнітного поля на провідник зі струмом використовується також для створення *гучномовців* – приладів для збудження звукових коливань під дією електричного струму, сила якого змінюється зі звуковою частотою.

На рис. 95 схематично зображено будову гучномовця: 1 – кільцевий магніт, 2 – звукова котушка, намотана тонким ізольованим дротом на легкому циліндричному каркасі, 3 – дифузор. Принцип роботи гучномовця ґрунтується на взаємодії змінного магнітного поля звукової котушки з постійним магнітним полем кільцевого магніту, на рис. 95 показано напрям дії сили F магнітного поля. Магнітне поле звукової котушки змінюється в такт із зміною звукових коливань. Дифузор відтворює й передає звукові коливання в навколишній простір.

Якісні гучномовці відтворюють звукові коливання без значних спотворень у діапазоні від 40 Гц до 15000 Гц.

• **Електровимірювальні прилади.** Вивчаючи магнітну дію струму та котушки зі струмом ми вже знайомились із принципом дії та частково з будовою гальванометра, амперметра і вольтметра.

Залежно від способу виникнення сил, які рухають і переміщують по шкалі вказівну стрілку, розрізняють електровимірювальні прилади тієї або іншої систем. Найчастіше застосовуються прилади магнітоелектричної та електромагнітної систем.

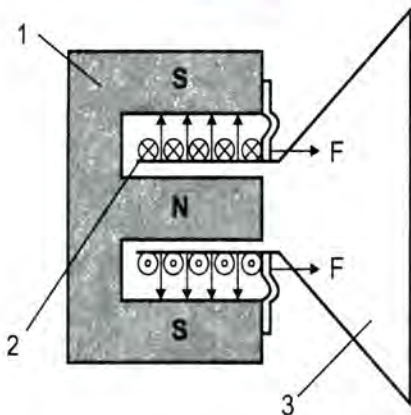


рис. 95

Якісні гучномовці відтворюють звукові коливання без значних спотворень у діапазоні від 40 Гц до 15000 Гц.

Прилади магнітоелектричної системи. На рис. 96 зображено схему електровимірювального приладу магнітоелектричної системи. Між полюсами магніту (1) може вільно обертатися котушка (2), що розміщена горизонтально. Котушка обертається навколо металевого осердя (3). Призначення осердя — підсилювати магнітне поле котушки. Струм до котушки підводиться крізь металеві пружинки (4). За відсутності струму пружинки утримують котушку в горизонтальному положенні, а прикріплену до осі стрілку (5) на нульовому положенні шкали приладу. Під час проходження котушкою струму вона повертається в зовнішньому магнітному полі внаслідок взаємодії магнітного поля котушки і магніту (1). Кут повороту, а отже і покази приладу, залежать від сили струму в котушці.

Стрілка зупиняється, коли обертальний момент, який діє на рамку приладу з боку магнітного поля, зрівнюється з протидіючим моментом, який створюється спіральною пружиною. При цьому кут повороту стрілки приладу прямо пропорційний силі струму в рамці. Це забезпечує рівномірність шкали приладів магнітоелектричної системи.

Прилади електромагнітної системи. Принцип дії приладів електромагнітної системи ґрунтується на втягуванні легкого магнітного осердя в проміжок котушки зі струмом (своєрідного електромагніта).

На рис. 97 показано схему приладів електромагнітної системи.

Коли по котушці (1) тече електричний струм, у проміжку котушки створюється магнітне поле. Магнітне поле взаємодіє з металевим осердям (2). Осердя втягується в проміжок котушки доти, поки зрівноважаться магнітні сили, що діють на осердя, з силами пружності спіральної пружинки (3). Для заспокоєння коливань стрілки призначено повітряний демпфер (4).

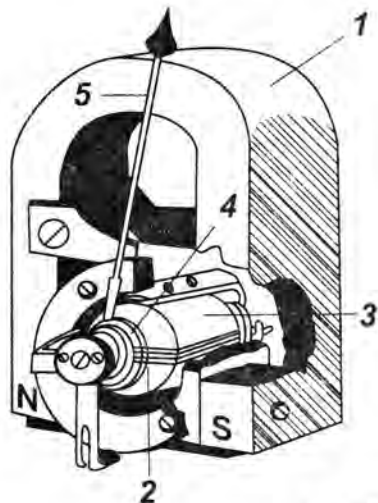


рис. 96

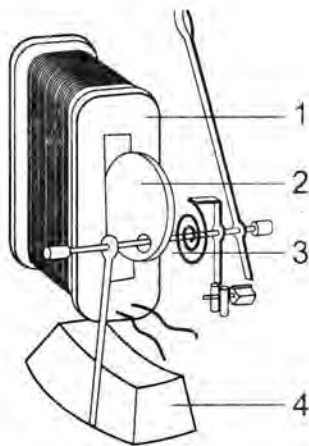


рис. 97

Перевірте себе

1. Чому рамка зі струмом повертається в магнітному полі?
2. У чому полягає принцип дії електричного двигуна? Яка будова електро-двигуна?
3. Яка будова гучномовця? Який принцип дії гучномовця?
4. Яка будова приладів магнітоелектричної системи?
5. Яка будова приладів електромагнітної системи?
6. У чому полягає відмінність у принципах дії та будові приладів магніто-електричної та електромагнітної систем?

§38 Електромагнітна індукція. Досліди Фарадея



а



б

рис. 98

Згадаймо, що в природі існують додатно і від'ємно заряджені частинки, які взаємодіють між собою, притягуються і відштовхуються завдяки існуванню електричного поля, що створюється навколо них.

Рух заряджених частинок створює електричний струм і приводить до появи нового матеріального поля — магнітного, яке було відкрито дослідним шляхом Г. К. Ерстедом.

Поставмо таке запитання, а чи не може магнітне поле приводити до виникнення електричного струму? Виявляється, що таке явище можливе.

- **Електромагнітна індукція.** Влітку 1831 р. Майкл Фарадей відкрив нове явище, що дістало назву електромагнітної індукції.

Явище електромагнітної індукції підтвердило найтісніший зв'язок між електричним і магнітним полями. Суть явища полягає у виникненні електричного струму в замкненому провідному контурі, внаслідок зміни в ньому числа магнітних силових ліній зовнішнього магнітного поля.

Спочатку Фарадей відкрив явище індукції в нерухомих котушках при замиканні і

розмиканні кола. Потім було пророблено досліди, які підтвердили, що струм виникає завжди при відносному русі котушок.

Цими дослідками було зроблено вирішальний крок у відкритті нових властивостей електричних і магнітних взаємодій. Ці взаємодії дістали назву електромагнітних взаємодій, а поле, через які передавались ці взаємодії, дістало назву електромагнітного поля.

• **Досліди Фарадея.** Тепер досліди Фарадея ми можемо відтворити просто. На рисунку 98, а зображено варіант одного з дослідів Фарадея: магніт рухають відносно котушки, кінці якої з'єднано з чутливим гальванометром. Тільки-но магніт починає рухатися (рис. 98, а), стрілка гальванометра відхиляється, що свідчить про наявність у колі котушки електричного струму. Нерухомий відносно котушки магніт не створює в ній електричного струму (рис. 98, б).

Видозмінимо цей дослід, рухаючи котушку відносно нерухомого магніту (рис. 98, в). Результат цього дослідку аналогічний попередньому: струм у колі котушки виникає лише під час відносного руху котушки і магніту.

Зробимо цей дослід, замінивши в ньому постійний магніт електромагнітом (рис. 99). Цей дослід знову підтверджує, що струм у колі котушки 1 виникає лише під час відносного руху електромагніту 2 і котушки.

Отже, в усіх описаних дослідках електричний струм виникає тільки під час відносного руху котушки і магніту (електромагніту). А це означає, що струм у котушці виникає внаслідок зміни в ній зовнішнього відносно неї магнітного поля; незмінне в часі магнітне поле електричного струму не збуджує.

Струм, що виникає в замкнутому провіднику внаслідок зміни числа силових ліній магніт-



В

рис. 98



рис. 99

Струм, що виникає в замкнутому провіднику внаслідок зміни магнітного поля, що пронизує його називають індукційним струмом.

ного поля, що пронизує його, називають індукційним струмом.

Струм може виникнути лише в замкненому провіднику!

Із дослідів Фарадея можна зробити ще й такий висновок: *змінне магнітне поле збуджує в замкнутому провіднику електричне поле, яке й зумовлює появу індукційного струму в ньому.*

- Індукційний струм породжує власне магнітне поле. Якщо напрям індукційного струму відомий, то напрям його магнітного поля можна визначити за правилом свердлика.

- Напрямок магнітного поля індукційного струму можна визначити з таких міркувань. Змінне магнітне поле, що зростає з часом, породжує індукційний струм, який, своєю чергою, створює власне магнітне поле. Власне магнітне поле індукційного струму не може сприяти зростанню зовнішнього магнітного поля. Інакше це означало б створення додаткового магнітного поля фактично з нічого, що суперечить закону збереження енергії. Аналогічно міркуючи, дійдемо висновку, що коли індукційний струм створюється магнітним полем, яке зменшується з часом, то власне магнітне поле індукційного струму не може сприяти цьому зменшенню, оскільки це означало би зникнення частини енергії магнітного поля.

Отже, *зі збільшенням магнітного потоку витками котушки індукційний струм має такий напрямок, що створюване ним магнітне поле перешкоджає збільшенню загального магнітного потоку витками котушки. Це і є загальне правило визначення напрямку індукційного струму.*

Магнітний потік можна уявити, як число силових ліній магнітного поля, що проходять через площу витка.

Підтвердімо наші міркування на досліді. Схему досліду представлено на рис. 100.

Змінне магнітне поле збуджує в замкнутому провіднику електричне поле, яке й зумовлює появу індукційного струму в ньому.

Зі збільшенням магнітного потоку витками котушки індукційний струм має такий напрямок, що створюване ним магнітне поле перешкоджає збільшенню магнітного потоку витками котушки.

На вістрі розміщено стрижень з двома алюмінієвими кільцями, одне з яких розрізане. Якщо підносити магніт до суцільного кільця, то в ньому виникає індукційний струм із власним магнітним полем. Оскільки кільце відштовхується від магніту, то напрям силових ліній магнітного поля індукційного струму в ньому протилежний до напрямку силових ліній поля магніту.

Продовжімо дослід: виводячи магніт із кільця, помітимо, що воно притягується до магніту і рухається за ним. Це означає, що у випадку зменшення магнітного поля магнітне поле індукційного струму збігається з ним за напрямом і підсилює його.

Піднесення магніту до розрізаного кільця не створює ніякого руху кільця.



рис. 100

Поглибте свої знання

Характерні ознаки електричного поля індукційного струму. Причину виникнення електричного поля індукційного струму ми вже з'ясували: це — наявність змінного магнітного поля. У цьому полягає *перша* відмінність електричного поля індукційного струму від електричного поля, створюваного постійними джерелами струму.

Другою характерною властивістю індукційного електричного поля є неперервність його силових електричних ліній вздовж усього замкнутого провідника. Пригадаймо, що силові лінії електричного поля, створеного постійним джерелом струму, починаються на додатньому і закінчуються на від'ємному полюсах.

У випадку індукційного струму робота з переміщення зарядів у замкнутому електричному колі виконується не джерелом струму (бо його в колі немає), а самим індукційним електричним полем. Необхідну для цього енергію індукційне електричне поле дістає від змінного магнітного поля, яке його породжує.

Перевірте себе

1. Яке значення для розвитку фізики мало відкриття М. Фарадея?
2. Що називають індукційним струмом? За яких умов він виникає?

3. Чи виникатиме електричний струм у суцільних кільцях, виготовлених з непровідного і провідного матеріалів, якщо вони рухатимуться в постійному магнітному полі?

Завдання 13



рис. 101

1. Виконайте описані досліди Фарадея з котушкою (рис. 98), яка має меншу чи більшу кількість витків. Що ви спостерігали?

2. Проробіть аналогічні досліди (рис. 100) з розрізаним кільцем. Поясніть спостережуване явище.

• 3. Під час руху магніту відносно замкнутого провідника в останньому виникає індукційний струм, напрям якого показано стрілкою (рис. 101). Визначте напрям (вгору чи вниз) руху магніту.

Від теорії до практики

Промислове одержання електричного струму. Ми вже знаємо: якщо котушку помістити в магнітне поле та обертати, то в ній виникає електричний струм. Найбільше практичне значення має індукційний струм, який створюється під час рівномірного обертання рамки (витка) у магнітному полі. На рисунку 102 зображено прямокутну рамку, яка обертається в магнітному полі за годинни-

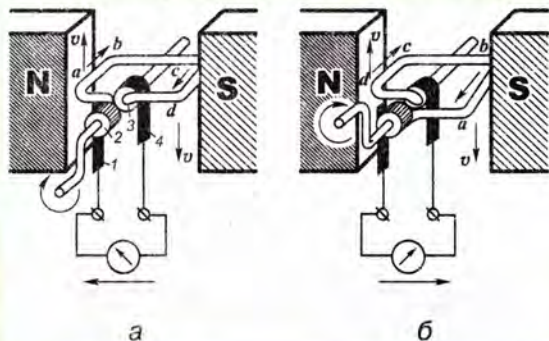


рис. 102

ковою стрілкою. За правилом лівої руки визначимо, що індукційний струм у лівій стороні рамки (ab) напрямлений від нас, а в правій стороні (cd) — до нас. Протягом півоберта рамки, коли сторона ab рухається вгору, струм у ній напрямлений від a до b , а в стороні cd — від c до d (рис. 102, a). Після проходження площиною рамки вертикального положення сторона ab руха-

ється вниз, і, отже, струм у ній ітиме не від a до b , а навпаки — від b до a (рис. 102, б). Аналогічно зміниться напрям струму на протилежний і в стороні cd , яка тепер рухається вгору.

Якщо за допомоги кілець 2 і 3 та щіток 1 і 4 з'єднати рамку з клемми зовнішнього кола, то в ньому струм проходитиме протягом першого півоберта рамки в одному напрямі (рис. 102, а), а протягом наступного півоберта (рис. 102, б) в протилежному. За наступного обертання рамки напрям індукційного струму змінюватиметься на протилежний протягом кожного півоберта.

Крім того, під час обертання рамки змінюється і значення сили струму: спочатку він зростає від нуля до найбільшого значення, а потім зменшується до нуля.

Одержаний таким чином індукційний струм називають *змінним індукційним струмом*.

Генератори змінного струму. Це пристрої, в яких механічна енергія обертання провідників (рамок, витків, котушок) у магнітному полі перетворюється в енергію електричного струму. Їх ще називають індукційними генераторами струму. Потужність таких генераторів може бути кілька ватів (наприклад, для живлення лампи велосипедного ліхтаря) або мільйонів ватів (МВт).

В індукційному генераторі розрізняють дві механічні частини: нерухому (статор) і рухому (ротор, який обертається всередині статора).

У потужних генераторах статором є нерухомий магніт, який створює магнітне поле. Індукційний струм збуджується у витках рухомої частини (ротора), зв'язаних із колом споживача ковзними контактами типу «кілець — щітка». Є також потужні генератори, магнітне поле в яких створюють обертові постійні магніти. Для таких генераторів кільця і щітки не потрібні, оскільки індукційні обмотки з'єднані з колом споживача постійними контактами.

У потужних генераторах напруга і сила індукційного струму мають великі значення (десятки кіловольтів і кілоамперів відповідно). Такі струми не можна пропускати крізь ковзні контакти: останні підгорають і плавляться. Тому статором у цих генераторах завжди є сама індукційна обмотка (індуктор), яка має постійні контакти з колом споживача. Магнітне поле створюється ротором — обмотками рухомого електромагніту, які живляться крізь ковзні контакти потужним джерелом.

Ротор індукційного генератора може обертатися двигуном внутрішнього згоряння, вітровим двигуном, газовою або водяною турбіною тощо.

Перевірте себе

1. Який струм називається «змінним індукційним струмом»?
2. Які генератори називаються індукційними генераторами?

Підготуйте повідомлення

1. Найпотужніші гідроелектростанції України.
2. Вітроенергетика України.

§39 Гіпотеза Ампера

У природі є речовини (залізо, нікель, сталь і деякі інші стопи), які набувають помітних магнітних властивостей внаслідок намагнічування.

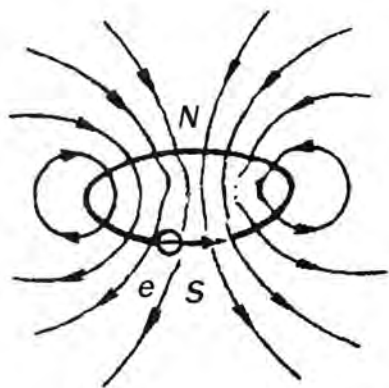


рис. 103

1. Всі речовини, що мають магнітні властивості в природі, є магнетиками. Термін «магнетики» стосується речовин, які самі створюють магнітне поле або впливають на нього: послаблюють чи підсилюють.

Ми вже знаємо, що залізна руда є природним магнітом. Саме завдяки йому людина вперше ознайомилася з магнітними властивостями тіл: притяганням залізних предметів, наявністю у будь-якого магніту обов'язково двох полюсів, відштовхуванням двох однойменних і притягуванням різнойменних полюсів. У природі є речовини (залізо, нікель, сталь і деякі інші сплави), які набувають помітних магнітних властивостей внаслідок намагнічування. З них сталь та окремі сплави зберігають намагніченість і тоді, коли усувається поле, що її спричинило. Проте немагнітних речовин (тобто таких, які не реагують на магнітне поле) у природі не існує. Це обумовлено внутрішньою електронно-ядерною будовою атомів речовини.

Відомо, що кожен атом має один чи більше електронів, які обертаються навколо ядра. Орбітальний рух електрона — це своєрідний коловий струм, який створює магнітне поле. Схематично це можна зобразити на рис. 103.

Тому *магнітне поле, утворене рухом електрона навколо ядра атома, називають орбітальним магнітним полем електрона.*

Також установлено, що кожна з найдрібніших часток речовини — протон і електрон — має власне магнітне поле. Його виявили за взаємодією цих частинок із сильними магнітними полями. Тому магнітне поле є такою ж невід'ємною від електрона якістю, як і його маса та заряд.

Ядро атома також має власне магнітне поле. Його утворюють власні магнітні поля нуклонів та рух і взаємодія нуклонів. Це поле — дуже слабе та істотного впливу на масивне ядро атома не має. Тому магнітні властивості атома в основному визначаються власними та обертовими полями електронів.

Отже, справді можна вважати, що всі речовини мають певні магнітні властивості.

2. Гіпотеза Ампера. Досліди Ерстеда і Ампера, з якими ми ознайомилися раніше, привели до нових уявлень про природу магнітного поля. Вчені того часу навіть припускали можливість існування в природі магнітних зарядів (адже існування електричних зарядів доведено незаперечно).

Ми вже знаємо, що за своїми магнітними властивостями окремий виток зі струмом, або котушка зі струмом, подібні до магнітних властивостей постійного магніту. Тому Ампер рішуче відкинув думки про існування магнітних зарядів і створив теорію існування молекулярних струмів, що пояснювала природу магнетизму.

Суть теорії сформульовано в **гіпотезі Ампера: магнітні властивості речовини визначаються мікроскопічними струмами всередині речовини.**

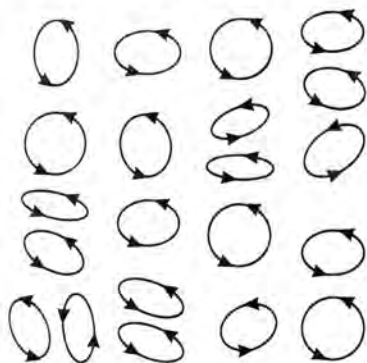
Ці мікроскопічні струми були названі молекулярними струмами, що й створюють

Магнітне поле, утворене рухом електрона навколо ядра атома, називають орбітальним магнітним полем електрона.

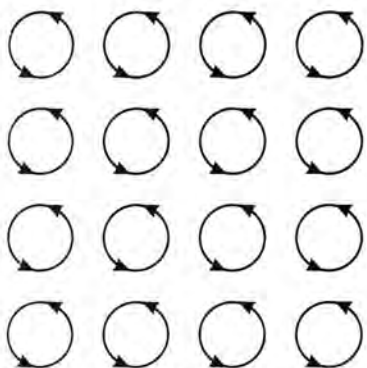
Магнітне поле є такою ж невід'ємною від електрона якістю, як і його маса та заряд.

За своїми магнітними властивостями окремий виток зі струмом, або котушка зі струмом, подібні до магнітних властивостей постійного магніту.

Гіпотеза Ампера: *магнітні властивості речовини визначаються мікроскопічними струмами всередині речовини.*



а



б

рис. 104

магнітне поле. Їх можна уявити як елементарні постійні дуже малі магніти. За відсутності зовнішнього магнітного поля внаслідок теплового руху атомів площини орбіт молекулярних струмів орієнтовані хаотично (рис. 104, а), тому власне магнітне поле, створюване всіма атомами речовини, в середньому дорівнює нулю. Саме тому шматочок металу за звичайних умов не має магнітних властивостей, хоч і має кожен атом окремо.

Коли речовину поміщують у зовнішнє магнітне поле, площини орбіт електронів (подібно до рамок зі струмом) частково повертаються так, щоб напрями створюваних ними полів були паралельні до напрями силових ліній зовнішнього магнітного поля (рис. 104, б).

З погляду теорії Ампера можна дати пояснення невіддільності північного і південного полюсів. Адже кожний елементарний магніт являє собою коловий виток струму, що має північний і південний полюси. Саме тому не можна відокремити один від одного північний і південний полюси.

Отже, процес намагнічування тіла полягає в тому, що під впливом зовнішнього магнітного поля елементарні колові струми встановлюються паралельно один з одним і створюють результуюче магнітне поле.

Поглибте свої знання

Магнітні властивості речовини обумовлені магнітними явищами, які в ній відбуваються. Розрізняють три типи магнетиків.

Діамагнетики — це речовини, які ослаблюють зовнішнє магнітне поле. Такі властивості мають вода, мідь, золото, срібло, графіт, вісмут, кам'яна сіль, нафталін і деякі інші речовини.

Парамагнетики — речовини, які підсилюють зовнішнє магнітне поле. Це, наприклад, алюміній, скло, кисень, каучук та ін.

Феромагнетики — речовини, які надзвичайно сильно підсилюють зовнішнє магнітне поле. Це, наприклад, залізо, кобальт, нікель, сталь та інші

сплави. Магнітні поля всередині них у тисячі разів більші, ніж зовні. Їх намагніченість може тривалий час зберігатися, як, наприклад, у сталі. Магнітні властивості цих речовин обумовлені явищем феромагнетизму.

Феромагнетики широко застосовують на практиці для отримання постійних магнітів, для побудови трансформаторів, електродвигунів, радіоприладів, телетехніки тощо. З феромагнетиків виготовляють магнітні стрічки для запису й відтворення звуку в магнітофонах та інформації в електронно-обчислювальних машинах.

Постійні магніти теж виготовляють із феромагнітних матеріалів (заліза, нікелю, кобальту і ін.) різними способами: виливанням або пресуванням сумішей феромагнітних матеріалів із домішками інших речовин. Так, зокрема, отримують тверді постійні магніти у вигляді магнітних стрілок до компасів, магнітних осердь гучномовців і електродинамічних мікрофонів, побутові магнітні утримувачі мила, дверцят шаф тощо.

Природа феромагнетизму. Феромагнетизм — явище, характерне для багатьох речовин, але найпомітнішим їхнім представником є звичайне залізо. Звідси й походить назва цього явища, що в перекладі означає «залізний магнетизм». Крім заліза, феромагнетизм виявляють кобальт, нікель, сталь та деякі інші сплави.

Феромагнетизм обумовлений тим, що завдяки особливостям будови кристалів металу атоми взаємодіють між собою і, як наслідок, об'єднуються у блок із однаковою орієнтацією їхніх власних магнітних полів. Такий блок дістав назву домену. Результируюче магнітне поле такого домену, велике.

За звичайних умов намагнічені домени орієнтовані безладно, і їх наявність у речовині зовні не проявляється. На рисунку 105, а домени графічно зображено трикутниками зі стрілками, напрям яких вказує напрям магнітного поля домену. Ситуація змінюється, якщо домени зазнають впливу зовнішнього магнітного поля.

Домени орієнтуються в речовині (як єдине ціле) так, щоби напрям силових ліній їхнього магнітного поля збігався з напрямом силових ліній зовнішнього поля. Магнітне поле всередині речовини зростає в тисячі разів.

За досить сильного зовнішнього магнітного поля досягається стан, коли магнітні поля всіх доменів орієнтовані вздовж одного напрямку. Такий стан називають станом *магнітного насичення* речовини (рис. 105, б).

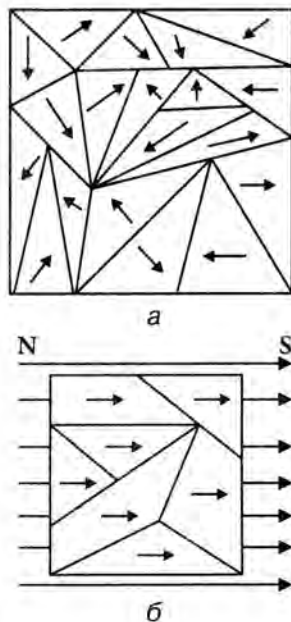


рис. 105

Перевірте себе

1. Три однакові штабові магніти одночасно починають падати з однакової висоти. Перший падає вільно, другий під час падіння проходить крізь отвір котушки із замкнутою обмоткою, третій – крізь отвір незамкнутої котушки. Чи однаковим буде час падіння магнітів?
2. В магнітному полі розміщено маятники з мідної, алюмінієвої, ебонітової пластин. Пластини мають однакову масу. Маятники відхиляють на один і той самий кут і відпускають. У якій послідовності маятники зупиняться? В який вид енергії перетвориться механічна енергія маятника?
3. Чому з нагріванням постійний магніт втрачає свої властивості?

Підготуйте повідомлення

1. Історія вивчення магнітного поля Землі.
2. Земний магнетизм і життя на Землі.

УЗАГАЛЬНЕННЯ РОЗДІЛУ «МАГНІТНЕ ПОЛЕ»

- *У природі є особливий вид взаємодії тіл – магнітна взаємодія.* Тіла, здатні до такої взаємодії, називають магнітами. Магнітна взаємодія тіл здійснюється через взаємодію створюваних цими тілами магнітних полів. Магнітне поле – особливий вид матеріального поля, через яке здійснюється взаємодія електричних струмів і рухомих електричних зарядів на відстані.
- *Магнітні поля графічно зображають силовими лініями:* напрямленими лініями, вздовж яких орієнтуються намагнічені залізні ошурки або магнітні стрілки. Силкові лінії замкнуті, не мають ні початку, ні кінця.
- *Є два види магнітних взаємодій: притягання і відштовхування.* Однойменні полюси магнітів відштовхуються, а різнойменні – притягуються.
- *Суть відкриття Ерстеда* полягає в тому, що навколо провідника зі струмом утворюється магнітне поле. Дослід Ерстеда з відхилення магнітної стрілки показав, що рухомі електричні заряди мають здатність не лише до електричних, а й до магнітних взаємодій.

- Напрямок силових ліній магнітного поля залежить від напрямку струму в провіднику і визначається за правилом свердлика: *якщо напрям поступального руху свердлика збігається з напрямом струму в провіднику, то напрям обертання ручки свердлика вкаже на напрям силових ліній магнітного поля.*
- Магнітне поле діє з певною силою на провідники зі струмом. Для визначення напрямку сили дії магнітного поля користуються **правилом лівої руки**: *якщо розмістити ліву руку так, щоб силові лінії магнітного поля входили в її долоню, а витягнуті чотири пальці вказували напрям струму, то відігнутий великий палець покаже напрям сили, що діє на провідник.*
- Змінне магнітне поле може приводити до виникнення змінного електричного поля у провіднику. Це явище було відкрито Фарадеєм і дістало назву *явища електромагнітної індукції*.
- Явище електромагнітної індукції підтвердило найтісніший зв'язок між електричним і магнітним полями. Суть явища полягає у *виникненні електричного струму в провідному контурі, який пронизується силовими лініями магнітного поля, що змінюються з часом.*

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ «МАГНІТНЕ ПОЛЕ»

1. (1 бал). Хто відкрив явище електромагнітної індукції?
 - а) Ленц;
 - б) Фарадей;
 - в) Ерстед;
 - г) Ампер.
2. (1 бал). Хто відкрив явище взаємодії провідника зі струмом і магнітної стрілки?
 - а) Ампер;
 - б) Ерстед;
 - в) Кулон;
 - б) Фарадей.

3. (1 бал). Який напрямок показує стрілка компаса на Землі?
- а) на північний географічний полюс;
 - б) на Полярну Зорю;
 - в) на північний магнітний полюс;
 - г) на південний географічний полюс.
4. (2 бали). На якому фізичному явищі ґрунтується робота електричного двигуна?
- а) дія магнітного поля на провідник зі струмом;
 - б) електризація тіл тертям;
 - в) дія магнітного поля Землі на котушку зі струмом;
 - г) дія магнітного поля на заряджену частинку.
5. (3 бали). Прямий (штабовий) постійний магніт посередині розрізали на два шматки. Що отримали?
- а) окремо північний і південний полюси;
 - б) два менші, за розмірами, постійні магніти;
 - в) шматки не будуть мати магнітні властивості;
 - г) шматки втратять магнітні властивості.
6. (4 бали). Магнітна взаємодія тіл пояснюється тим, що:
- а) тіла мають нерухомі заряджені мікрочастинки;
 - б) тіла мають масу;
 - в) всередині тіла існують мікроскопічні струми;
 - г) тіла рухаються у просторі.

Атомне ядро. Ядерна енергетика

- Від першої атомної теорії до будови атомів
- Що випромінюють радіоактивні речовини
- Дослід Резерфорда — дослідження атомів зсередини
- Ще раз про ядерну модель атома
- Протонно-нейтронна будова ядра
- Розпад атомів — ніхто не знає, коли це відбудеться
- Звідки береться природна радіація?
- Як можна загинути від невидимого
- Поділ важких ядер — джерело величезної енергії
- Атомні електростанції — загроза екології?
- Нові ядерні технології

У цьому розділі ви будете знайомитися з основами ядерної фізики — розділу фізики, в якому вивчаються атомні ядра та ядерні процеси. Ядерна фізика є науковою основою сучасної атомної енергетики і ядерного озброєння. Теоретичним підґрунтям ядерної фізики є квантова теорія, яка дозволяє пояснити процеси, що відбуваються в мікросвіті. Вивчаючи цей розділ, ви поглибите свої знання про будову атома і атомного ядра, ознайомитеся з явищем радіоактивності, з видами радіоактивного випромінювання, поняттям природного радіоактивного фону, навчитесь оцінювати їхній вплив на живі організми. Для нас, українців, такі знання є особливо актуальними, оскільки значна кількість областей України постраждали від радіоактивних випромінювань внаслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції, яка сталася в 1986 р.

Дослідження в галузі ядерної фізики відіграли важливу роль у світовому науково-технічному прогресі. Завдяки ядерній фізиці створено напівпровідникову і квантову електроніку, набуває подальшого розвитку ядерна енергетика, яка дозволяє одержувати для народного господарства величезну енергію. Сьогодні учені працюють над проблемою одержання термоядерної енергії, як стане для людства практично невичерпною. Розвиток ядерної фізики сприяє розумінню єдності світу та побудові його єдиної фізичної картини.

§40 Етапи становлення атомної теорії будови речовини. Перша модель будови атома

Вчення про атоми зародилось у глибоку давнину. Вже тоді людина намагалася звести різноманітність навколишніх тіл до деякого числа елементарних одиниць, переділити тіла на складові елементи і пояснити явища природи різними співвідношеннями між цими елементами.

Помітного розвитку атомістика, як й інші науки, набула в епоху Відродження. Зокрема, Ісаак Ньютон, спираючись на атомістику, висловив гіпотезу про корпускулярну природу світла.

1. У § 3 розділу «Електричне поле» ви ретельно ознайомились із ядерною моделлю будови атому Резерфорда. Але такі погляди на будову атомів існували не завжди. Фізика пройшла дуже довгий шлях від першої атомної теорії до сучасних поглядів на будову речовини, а також самих атомів як складових елементів речовини.

Вчення про атоми зародилось у глибоку давнину. Вже тоді людина намагалася звести різноманітність навколишніх тіл до деякого числа елементарних одиниць, переділити тіла на складові елементи і пояснити явища природи різними співвідношеннями між цими елементами. Тому атомістична теорія безпосередньо пов'язана з розвитком філософії, з теорією пізнання навколишнього світу.

Основоположниками давньогрецької атомістики були філософи Левкіпп, Демокрит, Лукрецій Кар, які описували реальність існування атомів не лише міркуваннями, а й за допомоги ретельних спостережень явищ випаровування, дифузії, розчинення, передання тепла тощо.

Помітного розвитку атомістика, як й інші науки, набула в епоху Відродження. Зокрема, Ісаак Ньютон, спираючись на атомістику, висловив гіпотезу про корпускулярну природу світла.

Вагомий внесок у розвиток вчення про атомну будову матерії зробив Михайло Ломоносов, який вперше ввів молекулярні та атомістичні уявлення в фізику.

У XVIII–XIX ст. атомістичні уявлення розвивались у працях Дальтона, Авогадро, Менделєєва.

Отже, розвиток хімії та фізики повністю підтвердив атомну структуру речовини. Проте після цього виникло нове питання: чи є атоми неподільними? Вчені XIX ст. мали різні погляди на цю проблему. Але після відкриття електрона в 1897 р. стало очевидно, що всі атоми містять *електрони* і мають *складну будову*. Перед фізиками виникла проблема: які частинки, крім електронів, входять до складу атомів? Як розташовано частинки в атомах? Всі ці питання потребували негайної відповіді.

Після відкриття електрона в 1897 р. стало очевидно, що всі атоми містять електрони і мають складну будову.

2. Першу модель атома було запропоновано в 1903 р. англійським фізиком Джоном-Джозефом Томсоном. Він представив модель атома у вигляді позитивно зарядженої кулі, усередині якої розміщуються електрони. Модель атома Томсона називається «моделлю пудинга», оскільки згідно з нею електрони вкраплені в атом, як родзинки в пудинг.

Модель Томсона дала можливість пояснити деякі властивості речовини і виявилась дуже плідною для хімії, оскільки дозволила з'ясувати періодичність у властивостях елементів. Але модель виявилась неспроможною для пояснення більшості фізичних явищ. Окрім того, модель Томсона не відповідала на *головне питання: як саме розподіляються в атомі позитивні та негативні заряди?* Очевидно, що для з'ясування будови атома необхідно було проникнути *всередину* атома, тобто в таємниці природи!

Перевірте себе

1. Наведіть експериментальні факти, які свідчать про складну будову атома.
2. Яка наукова проблема виникла у фізиці після встановлення атомної будови речовини?

3. Опишіть модель будови атома Томсона.
4. У чому полягали переваги й вади моделі атома Томсона?

Завдання 14

1. Узагальніть основні етапи розвитку поглядів на будову речовини. Використайте свої знання з курсів природознавства, хімії та фізики. Виконайте в зошиті відповідні записи.
2. Чому після підтвердження атомної структури речовини виникло питання про будову атома? Відповідь обґрунтуйте.
3. Виконайте в зошиті рисунок, який відтворює модель атома Томсона.

§41 Радіоактивність. Види радіоактивного випромінювання та їхні основні характеристики



рис. 106

Соли Урану засвічують фотопластинку і за відсутності сонячного світла, навіть у темряві.

1. Одним із найбільш ґрунтовних спростувань багатовікової ідеї щодо неподільності атомів було відкриття в 1896 р. французьким фізиком Анрі Беккерелем явища радіоактивності.

Беккерель займався дослідженням дії солей урану на фотопластинку після освітлення їх сонячним світлом. Він завертав фотопластинку в чорний папір і виставляв на сонячне світло, попередньо поклавши зверху шматочок уранової солі. На пластинці, яка була надійно захищена від сонячних променів, після проявлення виявлялось почорніння. На думку Беккереля, це свідчило про те, що солі урану під дією сонячного світла набувають здатності засвічувати фотопластинку. Але, продовжуючи свої досліді, Беккерель установив, що *солі урану засвічують фотопластинку і за відсутності сонячного світла, навіть у темряві* (рис. 106). Після цього Беккерель зрозумів, що ним відкрито *нове явище: довільне випромінювання солей урану*. На той час такі випромінювання у фізиці були невідомі. Беккерель ретельно дослідив

випромінювання солей урану і встановив, що воно має такі *особливості*:

- проникає крізь тонкі металеві пластинки;
- не залежить від зовнішніх факторів (освітленості, тиску, температури);
- розряджає електроскоп;
- викликає світіння деяких тіл.

24 лютого 1896 р. Беккерель доповів про своє відкриття на засіданні Французької Академії наук, що викликало значну зацікавленість серед учених.

Особливо зацікавилися результатами дослідів Беккереля французькі фізики, подружжя П'єр і Марія Кюрі, які вирішили відповісти на запитання: *чи існують інші речовини з надзвичайними властивостями урану?* Їх робота була дуже важкою. Складний хімічний аналіз Кюрі виконували без належного обладнання лабораторії, не маючи на це достатньо коштів. У них навіть не було лаборантів, і всю підготовчу роботу вони виконували самостійно (рис. 107). Завдяки їхній наполегливості та енергії у квітні 1898 р. було встановлено, що властивості, аналогічні властивостям урану, належать *торію*. У липні 1898 року П'єром і Марією Кюрі було відкрито новий елемент — *полоній*, а в грудні — *радій*. Ці елементи мали ще *потужніше випромінювання*, ніж уран.

Після відкриття радіо речовини, які випускали такі випромінювання, було названо **радіоактивними**. Нова властивість речовини, пов'язана з наявністю *особливих випромінювань*, дістала назву **радіоактивності**.

Оскільки радіоактивність було відкрито в елементів, які існують у природі, її було названо *природною* радіоактивністю. Природна радіоактивність спостерігається у *важких* елементів, які містяться в періодичній системі Менделєєва за свинцем.



рис. 107

*Речовини, які випускали такі випромінювання, було названо **радіоактивними**. Нова властивість речовини, пов'язана з наявністю особливих випромінювань, одержала назву **радіоактивності**.*

*Оскільки радіоактивність було відкрито в ядер, які існують у природі, її було названо **природною** радіоактивністю. Природна радіоактивність спостерігається у **важких** ядер, які містяться в **періодичній системі** Менделєєва **за свинцем**.*



рис. 108

Після проходження випромінювання крізь магнітне поле воно розділялося на три частини. Один промінь відхилявся праворуч, другий – ліворуч. І лише досить слабкий третій промінь не змінював свого напрямку.

2. Тепер уже явищем радіоактивності захопилися сотні фізиків у багатьох лабораторіях світу. Але про одне ім'я слід сказати окремо – ім'я англійського фізика Ернеста Резерфорда. На той час Резерфорд був ще молодим ученим, більше цікавився електромагнетизмом. Але він захопився явищем радіоактивності, зайнявся його дослідженням і працював над цією науковою проблемою до останніх років свого життя.

Резерфорд поставив перед собою завдання: *виявити природу випромінювання, яке випускають радіоактивні речовини.* Він правильно передбачив, що до складу цього випромінювання входять *заряджені частинки, які відхиляються в магнітному полі.* Тому Резерфорд пропустив випромінювання радію між полюсами потужного магніту. Реєстрація випромінювання здійснювалась за його дією на фотопластинку. *За відсутності магнітного поля на фотопластинці з'являлась одна пляма від випромінювання. Після проходження випромінювання крізь магнітне поле воно розділялося на три частини.* Один потік частинок відхилявся праворуч, другий – ліворуч. І лише досить слабкий третій промінь не змінював свого напрямку (рис. 108).

Про що свідчив цей експериментальний факт?

Відхилення випромінювання в магнітному полі підтвердило передбачення Резерфорда і чітко вказало на те, що до складу радіоактивних випромінювань входять заряджені частинки. Знак заряду частинок можна було визначити за їхнім відхиленням, використовуючи правило лівої руки. За трьома першими літерами грецького алфавіту (α , β , γ) Резерфорд назвав три складові частини випромінювання радіоактивних речовин.

Та частина випромінювання, яка відхилялась як позитивно заряджені частинки, одержала назву *альфа-випромінювання*. Частину

випромінювання, відхилення якої відповідало відхиленню негативно заряджених частинок, було названо *бета-випромінювання*. А та частина випромінювання, яка не відхилялась у магнітному полі, а, отже, не мала електричного заряду, дістала назву *гамма-променів*.

3. Подальші дослідження Резерфорда та інших фізиків привели до остаточного з'ясування фізичної природи альфа- бета- і гамма-променів. Слід зазначити, що *всі вони виявилися шкідливими для живих організмів*.

Альфа-промені (або альфа-частинки) — це потік ядер атомів гелію. Їх заряд є позитивним і вдвічі перебільшує заряд протона, тобто $q = 2e = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл. Маса альфа-частинок дуже значна: $m = 6,67 \cdot 10^{-27}$ кг. Альфа-частинки мають велику швидкість (порядку 10 м/с). Це зумовлює наявність у альфа-частинок значної енергії — $10^6 - 10^7$ Дж. Джерелом альфа-частинок є атоми важких елементів. Шлях, що його альфа-частинка проходить у повітрі, є порівняно невеликим — кілька сантиметрів, а в твердій речовині — кілька десятків мікрометрів, тобто їх можна затримати за допомоги звичайного аркуша паперу. Якщо людина працює з відкритими альфа-препаратами, вона може захистити свої руки за допомоги гумових рукавичок.

Бета-промені (чи бета-частинки) є потоком електронів, швидкість яких наближається до швидкості світла у вакуумі. Відповідно, вони мають дуже велику енергію. Зокрема, деякі бета-частинки долітають до Землі з космічного простору. Захиститись від бета-променів важко, оскільки вони пронизують порівняно товсті металеві пластинки (1,5 — 2 см).

Гамма-промені — це «жорстке» (таке, що має велику проникну здатність) електромагнітне випромінювання. Гамма-промені легко проходять крізь товсті шари бетону і металу, а тому є найбільш шкідливими для живих

Альфа-промені (або альфа-частинки) — це потік атомів гелію.

Бета-промені (чи бета-частинки) є потоком електронів, швидкість яких наближається до швидкості світла у вакуумі.

Гамма-промені — це «жорстке» (таке, що має велику проникну здатність) електромагнітне випромінювання.



рис. 109

організмів. Для захисту від смертоносної дії гамма-променів використовуються тонни бетону і свинцю.

На рис. 109 показано, за допомоги яких речовин можна затримати радіоактивні випромінювання.

Після встановлення складу випромінювання радіоактивних речовин стало очевидно, що *радіоактивність* — це розпад ядер атомів, а, отже, перетворення одних елементів на інші. Справді, радіоактивні атоми нестабільні, вони довільно розпадаються і при цьому з них вилітають альфа- та бета-частинки. Внаслідок цього виникає *інший* атом, який у більшості випадків теж є нестабільним, тобто радіоактивним. Так триває доти, доки не досягається стабільність і не утворюється нерадіоактивний елемент.

Отже, відкриття явища радіоактивності дозволило подолати головне утруднення експериментальної фізики — *знаходження безпосереднього підходу до дослідження будови атомів*.

Поглибте свої знання

Радіоактивні сім'ї. Внаслідок радіоактивності одні хімічні елементи перетворюються на інші, які теж, своєю чергою, розпадаються і перетворюються. Отже, хімічні елементи послідовно переходять один в одного. При цьому утворюється своєрідний ланцюжок, який називається **радіоактивною сім'єю** (або **радіоактивним рядом**). У кожній радіоактивній сім'ї є елемент, яким вона починається, та елемент, яким закінчується. Дослідження показали, що існують три *природні* радіоактивні сім'ї: *урану, торію, актинію*. Четверта радіоактивна сім'я починається елементом, якого в природі немає — *нептунієм*. Нептуній одержують штучно. Всі радіоактивні сім'ї закінчуються елементами, які є *стійкими* і далі *не перетворюються*. Сім'ї урану, торію і актинію закінчуються *свинцем*, а сім'я нептунію — *вісмутом*.

Історична довідка

Наука передусім! Учені, які відкрили радіоактивні речовини, першими постраждали від їхніх небезпечних випромінювань. Історії відомий факт, що

одного разу Анрі Беккерель поклав у кишеню трубочку з радіоактивним препаратом і порівняно недовго проносив її у кишені. Але й цього часу виявилось достатньо для того, щоб у Беккереля відкрилася виразка шлунку, яка у подальшому не загоювалась. А в Марії Кюрі на руках були значні опіки, оскільки вона мала справу з радієм і полонієм.

Перевірте себе

1. Яка особливість відкритого Анрі Беккерелем випромінювання вказувала на те, що воно є незвичайним?
2. У чому полягає явище радіоактивності?
3. Які речовини називаються радіоактивними?
4. Які радіоактивні речовини відкрили П'єр і Марія Кюрі?
5. Який метод використав Резерфорд для встановлення фізичної природи випромінювання радіоактивних речовин? Чому?
6. Що являють собою альфа-частинки? бета-частинки? гамма-промені?
7. Яке випромінювання називається жорстким?
8. Яке з видів радіоактивного випромінювання є найбільш шкідливим для живих організмів? Чому?

Завдання 15

1. Чому відкриття явища радіоактивності дозволило вченим безпосередньо підійти до дослідження атомів?
2. Нарисуйте напрямки рухів альфа-частинок, бета-частинок і гамма-променів у магнітному полі, яке спрямоване перпендикулярно до площини рисунка на спостерігача.
3. Поясніть, чому гамма-промені не відхиляються в магнітному полі.
4. Чи зміниться хімічна природа елемента за випромінювання його атомами гамма-променів? альфа-частинок?

§42 Дослід Резерфорда. Ядерна модель атома

1. Дослід Резерфорда є, безумовно, одним із найбільш важливих експериментів у фізиці. Резерфорду була притаманна головна якість великого вченого – він інтуїтивно відчував, у яких напрямках необхідно здійснювати дослідження, і завжди їх планував. Але дослід, який

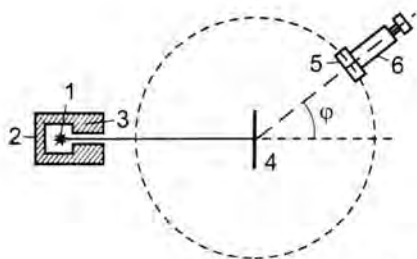


рис. 110

Потрапляння кожної альфа-частинки на екран супроводжувалося спалахом (сцинтиляцією), який виникав унаслідок того, що екран був покритий спеціальною речовиною – сірчаним цинком.

дозволив Резерфорду зробити своє найбільш видатне відкриття був, фактично, випадковим.

Улюбленим інструментом дослідження Резефорда були швидкі й масивні альфа-частинки. Саме тому в 1909 р. Резерфорд доручив своїм учням дослідити, що відбудеться з альфа-частинками при проходженні їх крізь золоту фольгу завтовшки близько 1 мкм.

Схематично дослід Резерфорда представлений на рис. 110. Джерело альфа-частинок **1** вміщувалося у свинцевий футляр **2** з вузьким отвором **3** у передній стінці. Внаслідок сильного гальмування у свинці альфа-частинки виходили крізь цей отвір назовні вузьким пучком. На шляху пучка альфа-частинок розміщувалася золота фольга **4**, яка містить тисячі атомних шарів. Проходячи крізь фольгу, альфа-частинки відхилялися від початкового напрямку (розсіювались), після чого потрапляли на екран **5**, закріплений на об'єктиві мікроскопа **6**. Потрапляння кожної альфа-частинки на екран супроводжувалося спалахом (сцинтиляцією), який виникав унаслідок того, що екран був покритий спеціальною речовиною – сірчаним цинком. Спалахи спостерігалися в мікроскоп. Мікроскоп і екран можна було обертати навколо осі, яка проходила через центр розсіюючої фольги, і встановлювати під будь-яким кутом до напрямку руху частинок. Це дозволяло визначити кількість альфа-частинок, розсіяних під різними кутами φ до початкового напрямку їхнього руху. Вся устатковина вміщувалася в кожух, із якого відкачувалося повітря для запобігання зіткнень альфа-частинок із молекулами повітря. За допомоги описаної устатковини можна було спостерігати частинки, розсіяні під кутами до 150° .

Плануючи цей дослід, Резерфорд був абсолютно впевнений, що масивні альфа-частинки, проходячи крізь золоту фольгу, будуть за-

знавати лише *незначного відхилення* від свого початкового напрямку. Справді, дослід показав, що переважна більшість альфа-частинок проходила крізь фольгу, не змінюючи свого початкового напрямку або дуже слабо відхиляючись від нього. Але виявився несподіваний факт: деякі альфа-частинки — приблизно одна з двадцяти тисяч — відхилялися на кути порядку 90° . А деякі частинки, яких було надзвичайно мало, відхилялися на кути порядку $135^\circ - 150^\circ$.

Такий результат суперечив здоровому глузду! Резерфорд спочатку не повірив в цей результат і відзначив, що він є найбільш неправдоподібним результатом в його житті.

Справді, атоми твердого тіла розташовані *щільно* один до одного. Очевидно, що проходження альфа-частинок крізь фольгу (товщиною в кілька тисяч атомів!) можливе лише тоді, коли атоми не є твердими, суцільними, непроникними частинками (як їх уявляли учені того часу), а є майже *порожніми*. Але як тоді пояснити, що деякі альфа-частинки, проходячи крізь фольгу, відхилялися на великі кути?

2. Намагаючись дати відповіді на ці запитання, Резерфорд запропонував **планетарну (ядерну) модель будови атома**. Згідно з цією моделлю, атом складається з *ядра*, в якому зосереджено *всю його масу і весь позитивний заряд*. Ядро займає *дуже малу частину* атома. Навколо ядра по замкнених орбітах рухаються *електрони*, що утримуються біля нього за рахунок кулонівських сил і утворюють *електронну оболонку атома*. *Позитивний заряд ядра* дорівнює за абсолютною величиною *сумарному негативному заряду електронів*. Сучасні методи оцінювання розмірів на рівні мікросвіту показують, що розміри атома мають порядок 10^{-10} м, ядра — 10^{-15} м.

Дослід Резерфорда показав, що переважна більшість альфа-частинок проходила крізь фольгу, не змінюючи свого початкового напрямку або дуже слабо відхиляючись від нього. Але виявився несподіваний факт: деякі альфа-частинки — приблизно одна з двадцяти тисяч — відхилялися на кути порядку 90° . А деякі частинки, яких було надзвичайно мало, відхилялися на кути порядку $135^\circ - 150^\circ$.

Модель атома

Резерфорда: атом складається з ядра, в якому зосереджено всю його масу і весь позитивний заряд. Ядро займає дуже малу частину атома. Навколо ядра по замкнених орбітах рухаються електрони, що утримуються біля нього за рахунок кулонівських сил і утворюють електронну оболонку атома.

Позитивний заряд ядра дорівнює за абсолютною величиною сумарному негативному заряду електронів.

Альфа-частинка, пролітаючи всередині атома, взаємодіє і з ядром, і з електронами, що входять до складу електронної оболонки.

З погляду ядерної будови атома легко пояснити зміну напрямів руху альфа-частинок при їх проходженні крізь фольгу. Альфа-частинка, пролітаючи всередині атома, взаємодіє і з ядром, і з електронами, що входять до складу електронної оболонки (зверніть увагу — *ця взаємодія є не механічною, а електричною*). Ядро атома і альфа-частинка мають однойменні позитивні заряди. За поступового наближення альфа-частинки до ядра між ними виникають кулонівські сили відштовхування. І якщо альфа-частинка летить у напрямку ядра, то на деякій відстані від ядра вона зупиниться і відкинеться назад у протилежному напрямку. У такому випадку відстань, на яку альфа-частинка наближається до ядра, є найменшою, а сила кулонівського відштовхування — найбільшою. Зокрема, до атома золота альфа-частинка, яка рухається зі швидкістю $1,9 \cdot 10^4$ км/с, може наблизитися на мінімальну відстань $3,1 \cdot 10^{-14}$ м. Якщо ж альфа-частинка проходить поблизу від ядра, то вона відхиляється від свого початкового напрямку, причому відхилення буде то більшим, що ближче до ядра вона пролітає. За умов проходження альфа-частинки на значній відстані від ядра (крізь електронну оболонку), напрям її руху майже не змінюється, оскільки електрон має заряд, удвічі менший від заряду альфа-частинки, набагато меншу масу, і суттєво вплинути на її рух не може.

Отже, створення Резерфордом ядерної моделі будови атома заклало підґрунтя нової галузі фізики — ядерної фізики.

Історична довідка

Ідея про атомне ядро на момент проведення дослідів Резерфорда не була новою. У 1906 р. її висунув англійський фізик Джонстон Стоні, як одну з можливих схем будови ядра. А до Стоні така ж ідея належала японському фізику Нагаоці та ще деяким ученим. Але всі ці гіпотези були теоретичними, тоді як ідея Резерфорда ґрунтувалася на результатах експерименту.

Перевірте себе

1. Чому Резерфорд уважав альфа-частинки найбільш придатними для дослідження речовин зсередини?
2. У чому полягав зміст дослідів Резерфорда?
3. Для чого в досліді Резерфорда мікроскоп із екраном обертався навколо осі, що проходила крізь центр золотої фольги?
4. Чому устатковина для дослідів Резерфорда вміщувалася в кожух, з якого відкачувалося повітря?
5. На підставі яких експериментальних результатів Резерфорд запропонував ядерну модель будови атома?
6. Поясніть під кутом зору ядерної моделі будови атома зміну напрямів руху альфа-частинок за їх проходження крізь фольгу.

Завдання 16

1. Про що свідчив той експериментальний факт, що в досліді Резерфорда число альфа-частинок, які змінювали напрям свого руху на великі кути, виявилось малим?
2. Використовуючи масштаб $0,5 \text{ см} = 10^{-14} \text{ м}$, нарисуйте приблизні траєкторії руху альфа-частинок, які пролітають на таких відстанях від ядра атома золота: а) $r_1 = r_{\min} = 3,1 \cdot 10^{-14} \text{ м}$; б) $r_2 = 2r_{\min}$; в) $r_3 = 5r_{\min}$.
3. Альфа-частинка рухається зі швидкістю $10\,000 \text{ км/с}$. Обчисліть, яку частину від швидкості світла складає швидкість альфа-частинки.
4. Обчисліть, у скільки разів маса електрона менша від маси альфа-частинки.
5. Обчисліть енергію альфа-частинки, яка рухається зі швидкістю $30\,000 \text{ км/с}$.

§43 Встановлення протонно-нейтронної будови ядра атома. Ізотопи. Закономірності радіоактивного розпаду

1. Наступним кроком після створення Резерфордом ядерної моделі будови атома була відповідь на запитання: *а з чого складається саме ядро?* З'ясування природи радіоактивних випромінювань показало, що з розпадом атома з нього вилітають альфа- і бета-частинки. Але звідки вони беруться в атомі, було невідомо.

З розпадом атома з нього вилітають альфа- та бета-частинки.

Нейтрон було відкрито англійським фізиком Джемсом Чедвіком у 1932 р. Маса нейтрона приблизно дорівнює масі протона, а електричного заряду нейтрон не має (тобто є електрично нейтральним), що й зумовлює його назву.

Правильну відповідь на запитання про будову ядра учені змогли дати лише з накопиченням відомостей про різноманітні властивості ядер. Неоціненної допомоги надало фізикам відкриття нової частинки — *нейтрона*.

Нейтрон було відкрито англійським фізиком Джемсом Чедвіком у 1932 р. Маса нейтрона приблизно дорівнює масі протона, а електричного заряду нейтрон не має (тобто є електрично нейтральним), що й зумовлює його назву. Майже одразу після цього відкриття фізики Д. Д. Іваненко і Є. М. Гапон висловили гіпотезу щодо *протонно-нейтронної* будови ядра. Ця гіпотеза дала можливість пояснити всі незрозумілі явища, пов'язані з атомами, а тому вона дуже швидко здобула загальне визнання і стала підґрунтям для створення сучасної теорії атомного ядра.

Історична довідка

Ім'я видатного українського фізика-теоретика, Дмитра Дмитровича Іваненка широко відоме не тільки в країнах СНД, а й далеко за кордоном.

Народився Д. Д. Іваненко 1904 р. в сім'ї вчителів у Полтаві. Навчався спочатку в педагогічному інституті, а потім перевівся до Ленінградського (Санкт-Петербурзького) університету.

У 1932 р. Д. Д. Іваненко опублікував на сторінках журналу «Nature» статтю, в якій висловив припущення, що нейтрон як і протон, є структурними елементами ядра.

Д. Д. Іваненко разом із відомим російським фізиком І. Є. Таммом створили теорію ядерної, чи обмінної взаємодії.

Важливе значення мають праці Д. Д. Іваненка не лише в галузі теоретичної фізики, а й у галузі електронних прискорювачів, гравітації елементарних частинок.

Відомий вчений у галузі фізичної хімії та фізики Євген Микитович Гапон (1904 — 1950) народився в м. Полтаві. Разом з Д. Д. Іваненком розробили протон-нейтронну модель ядра. Є. М. Гапон зробив значний внесок у розвиток хімічної та біофізичної наук.

2. Отже, згідно з сучасними уявленнями ядро складається з *протонів* і *нейтронів* (нуклонів). Сума протонів і нейтронів у ядрі визнача-

ється **масовим числом A** , яке дорівнює округлений до цілого значення відносії атомній масі елемента з періодичної системи елементів Менделєєва:

$$A = Z + N,$$

де Z – кількість протонів у ядрі (або **зарядове число ядра**); N – кількість нейтронів у ядрі.

Співвідношення між кількістю протонів і нейтронів у ядрі в різних елементів різняться. Зокрема, у ядер середньої частини періодичної системи елементів Менделєєва відношення кількості протонів до кількості нейтронів приблизно дорівнює одиниці. Ядра важких елементів, які містяться в кінці періодичної системи Менделєєва перевантажені нейтронами – у них це відношення дорівнює 1,6.

Для позначення ядер застосовується символ A_ZX . Певне атомне ядро з відомими A , Z і N називають **нуклідом**. Ядра атомів радіоактивних речовин називаються **радіоактивними нуклідами**.

Отже, за масовим числом A і атомним номером елемента Z , користуючись періодичною системою елементів Менделєєва, можна безпосередньо визначити кількість протонів і нейтронів у ядрі атома цього елемента.

Між нуклонами в ядрі діють *величезні* за своїми значеннями **ядерні сили**, які не мають аналогів у природі і не належать до жодних відомих у сучасній фізиці видів сил. Повну теорію ядерних сил на сьогоднішній день іще не створено, а їх характер визначено лише наближено. Створення закінченої теорії ядерних сил – справа майбутнього.

3. З курсу хімії ви знаєте, що більшість хімічних елементів являє собою суміш різновидів, серед яких один, зазвичай, значно переважає – **ізотопів (ізотопних нуклідів)**. Ізотопи цього хімічного елемента різняться лише *кількістю нейтронів у ядрі*. Відповідно,

Ядро складається з протонів і нейтронів (нуклонів). Сума протонів і нейтронів у ядрі визначається масовим числом A .

$$A = Z + N,$$

*де Z – кількість протонів у ядрі (або **зарядове число ядра**); N – кількість нейтронів у ядрі.*

Співвідношення між кількістю протонів і нейтронів у ядрі у різних елементів різняться.

Певне атомне ядро з відомими A , Z і N називають нуклідом.

Ядра атомів радіоактивних речовин називаються радіоактивними нуклідами.

Між нуклонами в ядрі діють величезні за своїми значеннями ядерні сили, які не мають аналогів у природі.

Ізотопи цього хімічного елемента різняться лише кількістю нейтронів у ядрі. Відповідно, їхні хімічні властивості є однаковими, а фізичні властивості помітно різняться між собою.

Процес розпаду характеризується такими величинами, як стала розпаду і період напіврозпаду T .

Стала розпаду дорівнює відношенню числа ядер атомів цієї речовини, що розпадаються за одиницю часу, до загального числа ядер атомів на початку розпаду.

$$\lambda = \frac{\Delta N/t}{N}$$

їхні хімічні властивості є однаковими, а фізичні властивості помітно різняться між собою. Серед ізотопів цього хімічного елемента можуть бути як стабільні (нерадіоактивні) так і радіоактивні ізотопи.

Зокрема, водень має три ізотопи:

${}^1_1\text{H}$ – звичайний водень, або протій ($Z = 1, N = 0$);

${}^2_1\text{H}$ – важкий водень, або дейтерій ($Z = 1, N = 1$);

${}^3_1\text{H}$ – тритій ($Z = 1, N = 2$).

Протій і дейтерій є стабільними, а тритій – радіоактивний. Радіоактивний ізотоп С має також вуглець. Сьогодні відомо понад 1000 радіоактивних ізотопів.

4. Після встановлення протонно-нейтронної будови ядра атома стало зрозуміло, що радіоактивні перетворення (розпади) – це властивість атомних ядер. Але що ж тоді залишається і як відбувається перетворення атомів радіоактивних речовин? Отже, необхідно було встановити закономірності, за якими відбуваються розпади ядер атомів радіоактивних речовин.

Теорію радіоактивного розпаду було запропоновано Резерфордом і Содді. За цією теорією процес розпаду характеризується такими величинами, як стала розпаду і період напіврозпаду T .

Стала розпаду дорівнює відношенню числа ядер атомів цієї речовини, що розпадаються за одиницю часу, до загального числа ядер атомів на початку розпаду.

$$\lambda = \frac{\Delta N/t}{N},$$

де $\Delta N/t$ – число ядер атомів цієї речовини, що розпадаються за одиницю часу; t – час розпаду.

Інакше кажучи, стала розпаду показує, яка частина ядер атомів радіоактивної речовини

розпадається за одиницю часу, тобто визначає *швидкість розпаду*. Залежить стала розпаду лише від властивостей ядер атомів цієї радіоактивної речовини.

Найважливішою величиною, яка характеризує радіоактивний розпад, є **період напіврозпаду T** – час, за який розпадається половина атомів радіоактивної речовини. Очевидно, що період напіврозпаду має зв'язок зі сталою розпаду: що швидше розпадається речовина, тобто що більшою є стала розпаду, то період піврозпаду менший, і навпаки.

Математично залежність між сталою розпаду і періодом напіврозпаду виражається так:

$$T = \frac{0,693}{\lambda}$$

Дослідження показали, що радіоактивні елементи мають різноманітні періоди напіврозпаду – від десятимільйонних часток секунди до мільярдів років. У таблиці 5 наведено значення періодів напіврозпаду деяких речовин. Очевидно, що *найнебезпечнішими для живих організмів є ті речовини, у яких період напіврозпаду – більший*.

Таблиця 5

Період піврозпаду T – час, за який розпадається половина атомів радіоактивної речовини.

Найнебезпечнішими для живих організмів є ті речовини, у яких період напіврозпаду – більший.

Речовина	Період напіврозпаду
Торій	$1,41 \cdot 10^{10}$ років
Уран	$4,5 \cdot 10^9$ років
Радій	1601 рік
Вуглець	5568 років
Кобальт	5,2 роки
Полоній	138,4 доби
Стронцій	54 доби
Радон	3,83 доби
Нептуній	2,3 доби

Для кожної радіоактивної речовини період напіврозпаду є строго визначеним, і змінити його неможливо.

Активністю A радіоактивної речовини називається кількість розпадів за одиницю часу.

$$A = \lambda N = \frac{0,693N}{T}$$

Що більшим є період напіврозпаду, то активність речовини є меншою.

1 Бк – це активність речовини, за якої за 1 с відбувається 1 розпад.

Для кожної радіоактивної речовини період напіврозпаду є строго визначеним і змінити його неможливо. Якщо навіть піддавати радіоактивні речовини діям величезних тисків, низьких і високих температур – все одно половина атомів розпадеться за час, який дорівнює періодові напіврозпаду цієї речовини. Це, безумовно, ще раз підтверджує, що *радіоактивні перетворення відбуваються в надрах ядра речовини і саме там слід шукати відповіді на всі запитання.*

Радіоактивні речовини характеризуються також активністю A .

Активністю A радіоактивної речовини називається кількість розпадів за одиницю часу.

Активність характеризує інтенсивність випромінювання всієї речовини (а не окремого ядра) і розраховується за формулою:

$$A = \lambda N = \frac{0,693N}{T},$$

де N – кількість здатних до розпаду ядер у цей момент часу; T – період напіврозпаду.

Отже, з формули видно: *що більшим є період напіврозпаду, то активність речовини є меншою.* Очевидно також, що активність радіоактивної речовини *не є величиною сталою і залежить від того, скільки здатних до розпаду ядер міститься в радіоактивній речовині на цьому етапі розпаду.* Що більша кількість радіоактивної величини розпалася, то меншою стає її активність.

У системі СІ одиницею активності є беккерель (Бк): $[A] = \text{Бк}$.

1 Бк – це активність речовини за якої за 1 с відбувається 1 розпад.

У ядерній фізиці застосовується також позасистемна одиниця активності – кюрі (Ки):

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}.$$

1 кюрі приблизно відповідає активності 1 г радію або 3 т урану.

Від теорії до практики

Скільки років Землі? Дослідження природної радіоактивності тісно пов'язане з питанням про вік Землі та різних її шарів. Зокрема, знаючи періоди напіврозпаду радіоактивних елементів, які містяться в досліджуваних гірських породах, можна визначити геологічний вік Землі, тобто вік найбільш стародавніх ділянок земної кори. За цим методом він оцінюється у $2 \cdot 10^{18}$ років. Як ви бачите, над проблемами історії та геології теж, насамперед, працюють фізики.

Розповідь про минулі століття. Цю важливу місію виконує радіонуклід вуглецю. Вам відомо, що рослини поглинають з атмосфери сполуки вуглецю. Якщо ж рослина, наприклад, дерево, гине, то воно перестає поглинати вуглець. Тоді вміст у ньому радіоактивного нукліда вуглецю поступово зменшується, оскільки він розпадається з періодом напіврозпаду 5568 років. Порівнюючи, наприклад, активність 1 кг деревного вугілля, одержаного зі свіжої деревини, з активністю 1 кг доісторичного вугілля, можна зробити висновок про час загибелі дерева. І вже після цього археологи висловлюють гіпотези щодо причин цієї загибелі та катаклізмів, які в той час сталися на нашій планеті.

Підготуйте повідомлення

Використання радіоактивних нуклідів у медицині.

Перевірте себе

1. Після якого відкриття було запропоновано протонно-нейтронну модель будови атомного ядра?
2. Що таке масове число і як воно визначається?
3. Чому дорівнює зарядове число ядра?
4. Користуючись періодичною системою елементів Менделєєва, схематично позначте ядро атому вуглецю.
5. Що називають нуклідом? радіонуклідом?
6. Що таке ізографи хімічного елемента?
7. Які ізографи має водень? Чи є серед них радіоактивні ізографи?
8. За рахунок яких сил нуклони утворюються в ядрі? Що ви можете про них сказати?
9. Назвіть основні величини, які характеризують радіоактивний розпад.
10. Що таке активність радіоактивної речовини? Що вона характеризує? Запишіть формулу для розрахунку активності радіоактивної речовини.

Завдання 17

1. В яких випадках активність радіоактивної речовини можна вважати величиною сталою?
2. Користуючись таблицею 5, визначте, яка з радіоактивних речовин — радон чи радій — має меншу активність.
3. У результаті радіоактивних перетворень одержано дві радіоактивні речовини з періодами напіврозпаду, що дорівнюють 1 хв і 1 с. Яка з цих речовин має більш інтенсивне випромінювання?
4. Скільки розпадів ядер за хвилину відбувається в речовині, активність якої — 2,8 мКи?
5. Активність речовини дорівнює $10,2 \cdot 10^{17}$ Бк, а початкова кількість здатних до розпаду ядер — $68,4 \cdot 10^{23}$. Обчисліть період напіврозпаду цієї речовини. Користуючись таблицею періодів напіврозпаду речовин, визначте, яка це речовина.
6. У початковий момент активність деякої радіоактивної речовини складала $1,2 \cdot 10^7$ Бк. Якою буде активність цієї речовини через проміжок часу, який дорівнює періоду її напіврозпаду?

§44 Йонізуюча дія радіоактивного випромінювання. Вплив радіоактивного випромінювання на живі організми. Природний радіоактивний фон

Йонізація – відрив електронів від атомів у результаті їх зіткнення з частинками, що мають велику енергію.

1. Дія радіоактивного випромінювання на речовину, зокрема й на живі організми, полягає в *йонізації електронних оболонок атомів і молекул речовини*. Як відбувається процес йонізації? Проходячи крізь речовину, заряджені частинки *зіштовхуються з електронами*, які входять до складу атомів цієї речовини, і передають їм свою енергію. Внаслідок зіткнень електрон може або *набути більшої енергії*, і, якщо одержана енергія є достатньою, *відірватися від атома*.

Отже, в результаті дії радіоактивного випромінювання в речовині може відбутись **йонізація** — відрив електронів від атомів у результаті їх зіткнення з частинками, що мають велику енергію.

А що ж відбувається під дією радіоактивного випромінювання в *живій клітині*?

Йонізуючі частинки здатні викликати *безпосередні порушення в молекулах ДНК і РНК*, вибиваючи з них електрони, які здійснюють хімічний зв'язок між окремими частинами цих молекул. У результаті виникають *розриви хромосом*, що призводить до руйнування молекули.

Також відомо, що близько 60 % загального складу тканини людини становить вода. Під дією радіоактивних випромінювань молекули води теж йонізуються. У результаті порушуються обмінні процеси, сповільнюється і припиняється ріст тканин, виникають нові хімічні сполуки, не властиві організму. Це призводить до порушення життєдіяльності окремих функцій чи системи організму в цілому.

Окремо слід розглянути дію радіоактивного випромінювання на ДНК. Зміни, які відбуваються в молекулах ДНК, називаються *мутаціями*.

Мутації успадковуються і стають причиною захворювань організмів. Незначні мутації не призводять до безпосередньої загибелі клітин і інколи виявляються лише через кілька поколінь.

Деякі радіоактивні речовини накопичуються в окремих внутрішніх органах.

2. Упродовж усього життя людина зазнає впливу радіоактивних випромінювань, що зумовлюється різними причинами.

Основну частину опромінення населення земної кулі одержує від природних радіоактивних джерел (джерел радіації). Це — *природний радіоактивний фон*, який створюється в навколишньому середовищі під дією космічних променів, природних радіоактивних елементів, що містяться в ґрунті та гірських породах, а також у місцях розташування атомних електростанцій. Вплив природного

Під дією радіоактивних випромінювань молекули води теж йонізуються. У результаті порушуються обмінні процеси, сповільнюється і припиняється ріст тканин, виникають нові хімічні сполуки, не властиві організму.

Природний радіоактивний фон створюється в навколишньому середовищі під дією космічних променів, природних радіоактивних елементів, що містяться в ґрунті та гірських породах.

У високогірних областях, де розріджене повітря, інтенсивність космічних променів є більшою, порівняно з їхньою інтенсивністю на рівні моря, а тому природний радіоактивний фон збільшується.

Найбільш вагомим із усіх природних джерел радіації є важкий газ – радон. У місцях, де видобувається радон, його концентрація в закритих приміщеннях в середньому у вісім разів вища, ніж у зовнішньому атмосферному повітрі.

Радіоактивні препарати використовуються в різних галузях науки і техніки, а саме: для безконтактного вимірювання товщини і густини, для контролю якості виробів, для виготовлення матеріалів із запланованими властивостями, в археологічних та біологічних дослідженнях.

радіоактивного фону на людину суттєво змінюється залежно від місця проживання. Зокрема, у високогірних областях, де розріджене повітря, інтенсивність космічних променів є більшою, порівняно з їхньою інтенсивністю на рівні моря, а тому природний радіоактивний фон збільшується. Північний і Південний полюси одержують радіацію від космічних променів більше, ніж екваторіальні області, через наявність у Землі магнітного поля, яке відхиляє заряджені частинки, що рухаються з космосу. Рівні природної радіації також залежать від концентрації радіоактивних елементів у тій чи тій ділянці земної кори.

Найбільш вагомим із усіх природних джерел радіації є важкий газ – радон. У місцях, де видобувається радон, його концентрація в закритих приміщеннях в середньому у вісім разів вища, ніж у зовнішньому атмосферному повітрі.

Крім природного радіоактивного фону, на людину суттєво впливають штучні джерела радіації. Зазнають опромінення люди, які мають справу з радіоактивними випромінюваннями під час виконання службових обов'язків. Це працівники атомних електростанцій, ядерних устатковин, уранових копалень. Окрім того, радіоактивні препарати використовуються сьогодні в різних галузях науки і техніки, а саме: для безконтактного вимірювання товщини і густини, для контролю якості виробів, для виготовлення матеріалів із запланованими властивостями, в археологічних та біологічних дослідженнях, для опромінення пухлин у медицині. Крім того, радіоактивні речовини можуть потрапляти до нашого організму через органи дихання або разом з їжею.

Перевірте себе

1. У чому полягає дія радіоактивних випромінювань на речовину?
2. Що відбувається під дією радіоактивних випромінювань у живих організмах?
3. До чого призводить генетична дія радіоактивних випромінювань?
4. Чим обумовлено природний радіоактивний фон?
5. Від чого залежить рівень природної радіації?
6. Які ви знаєте штучні джерела радіації?

Підготуйте повідомлення

1. Штучні джерела радіації в побуті й техніці.
2. Біологічні реакції організму людини на вплив йонізуючого випромінювання.

§45 Дозиметрія

1. Дія радіоактивного випромінювання на організм людиною не відчувається. Тому всі джерела радіоактивного випромінювання та їхню дію на живі організми необхідно ретельно контролювати. Незалежно від виду радіоактивного випромінювання його вплив на речовину оцінюють за *енергією*, яка поглинається одиницею маси цієї речовини, оскільки саме внаслідок передавання енергії відбувається йонізація молекул речовини.

Внаслідок великої небезпеки для людини будь-якого радіоактивного випромінювання в законодавчому порядку запроваджуються *міри перестороги*. Насамперед, встановлено максимально припустимі *дозы випромінювання*. Розрізняють *поглинуту, еквівалентну та експозиційну* дози випромінювання.

Поглинутою дозою випромінювання D (або дозою випромінювання) називається відношення поглинутої опромінюваною речовиною енергії до маси речовини.

Доза випромінювання розраховується за формулою:

$$D = \frac{E}{m},$$

Незалежно від виду радіоактивного випромінювання його вплив на речовину оцінюють за енергією, яка поглинається одиницею маси цієї речовини

Розрізняють поглинуту, еквівалентну та експозиційну дози випромінювання.

Поглинутою дозою випромінювання D (або дозою випромінювання) називається відношення поглинутої опромінюваною речовиною енергії до маси речовини.

$$D = \frac{E}{m}$$

1 Гр – це доза випромінювання, за якої опромінюваній речовині масою 1 кг передається енергія 1 Дж.

$$1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Потужністю дози N називається відношення поглинутої дози до часу:

$$N = \frac{D}{t}$$

Еквівалентна доза $D_{\text{екв}}$ дорівнює поглинутій дозі випромінювання, помноженій на коефіцієнт, який характеризує біологічну ефективність цього виду радіоактивного випромінювання.

де E – енергія, поглинута опромінюваною речовиною; m – маса опромінюваної речовини.

Одиницею дози випромінювання в системі СІ є *грей* (Гр).

1 Гр – це доза випромінювання, за якої опромінюваній речовині масою 1 кг передається енергія 1 Дж.

$$\text{Отже, } 1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Поглинута доза залежить від енергії випромінювання та від хімічного складу опромінюваної речовини. За інших однакових умов поглинута доза є то більшою, що більшим є час випромінювання, тобто поглинута доза накопичується з часом.

Потужністю дози N називається відношення поглинутої дози до часу:

$$N = \frac{D}{t},$$

де D – поглинута доза випромінювання; t – час випромінювання.

Одиницею потужності дози в системі СІ є *грей за секунду*: $[N] = \text{Гр/с}$.

Запам'ятайте: потужність дози зменшується обернено пропорційно до квадрата відстані від джерела радіоактивного випромінювання.

Зрозуміло, що різні радіоактивні випромінювання по-різному діють на живу тканину. Тобто за однакової поглинутої дози зміни у живій тканині будуть *різними* залежно від *виду* радіоактивного випромінювання. Це необхідно враховувати, насамперед, для захисту від радіації.

Тому для оцінки біологічного впливу радіоактивного випромінювання вводиться *еквівалентна доза*.

Еквівалентна доза $D_{\text{екв}}$ дорівнює поглинутій дозі випромінювання, помноженій на коефіцієнт, який характеризує біологічну ефективність цього виду радіоактивного випромінювання.

Еквівалентна доза розраховується за формулою:

$$D_{екв} = kD,$$

де D — поглинута доза; k — коефіцієнт біологічної ефективності цього виду радіоактивного випромінювання.

Для бета- і гамма-випромінювання $k = 1$, для альфа-випромінювання $k = 10$. Отже, для живих організмів альфа-випромінювання є набагато небезпечнішим.

Одиницею вимірювання еквівалентної дози в системі СІ є **зиверт** (Зв), названий на честь одного з перших дослідників із радіаційної безпеки:

$$[D_{екв}] = \text{Зв}.$$

Зрозуміло, що радіоактивне випромінювання діє не лише на живі організми, а й на повітря, крізь яке воно проходить. Ця дія виявляється в йонізації молекул повітря (при цьому за рахунок утворення додатних йонів у повітрі виникає певний заряд) і характеризується експозиційною дозою випромінювання.

Експозиційна доза випромінювання $D_{екс}$ дорівнює відношенню заряду, який утворився в повітрі внаслідок йонізації під дією радіоактивного випромінювання, до маси йонізованого повітря.

Експозиційна доза розраховується за формулою:

$$D_{екс} = \frac{q}{m},$$

де q — заряд, який утворився в повітрі внаслідок йонізації; m — маса йонізованого повітря.

На практиці експозиційна доза найчастіше вимірюється в **рентгенах** (Р):

$$[D_{екс}] = \text{Р}.$$

Експозиційну дозу можна виразити через поглинуту дозу:

$$1 \text{ Р} = 8,77 \cdot 10^{-3} \text{ Гр}.$$

Нормальним природним радіаційним фоном вважається 15–20 мкР/год.

$$D_{екв} = kD$$

$$[D_{екв}] = \text{Зв}$$

Експозиційна доза випромінювання $D_{екс}$ дорівнює відношенню заряду, який утворився в повітрі внаслідок йонізації під дією радіоактивного випромінювання, до маси йонізованого повітря.

$$D_{екс} = \frac{q}{m}$$

Нормальним природним радіаційним фоном вважається 15 – 20 мкР/год.



рис. 111

Дозиметри – прилади, які фіксують потужність радіоактивного випромінювання.

Наведемо *орієнтовні дози* випромінювання:

- 1 – 2 мЗв – природне фонове опромінення за рік;
- 0,01 – 1 мЗв – політ на літаку залежно від тривалості й висоти польоту;
- 2 – 3 мЗв – опромінення за флюорографії легень;
- 2 – 3 мЗв – опромінення під час рентгенографії зубів.

У разі одержання за короткий проміжок часу дози в 4 Гр, розподіленій по всьому тілу, її біологічна небезпека виявляється такою високою, що людина гине.

Якщо ж доза в 4 Гр одержується протягом кількох років, то, внаслідок здатності деяких речовин до відновлення, стан здоров'я людини погіршується.

Доза, яка складає 2 Гр, викликає променеву хворобу.

■ Для контролю за рівнем йонізуючих випромінювань використовуються **дозиметри** – прилади, які фіксують потужність радіоактивного випромінювання (рис. 111).

У дозиметрах випромінювання реєструється за допомоги лічильників заряджених частинок. Дозиметри забезпечуються пристроєм, який автоматично подає звуковий або світловий сигнал, якщо потужність радіоактивного випромінювання перебільшує допустиму величину.

Питання, які стосуються біологічної дії радіоактивних випромінювань, сьогодні є особливо актуальними і важливими для всіх, хто цікавиться проблемами військової стратегії, ядерної енергетики, випробуваннями ядерної зброї, застосуванням радіонуклідів, ядерними дослідженнями.

Перевірте себе

1. У чому полягає найбільша небезпека радіоактивного випромінювання?
2. За яким параметром оцінюють вплив на речовину радіоактивного випромінювання?
3. Що називають поглинутою дозою випромінювання? еквівалентною дозою? експозиційною дозою? Запишіть формули для визначення цих величин.
4. В яких одиницях вимірюються поглинута доза? еквівалентна доза? експозиційна доза?
5. Що таке потужність дози випромінювання? В яких одиницях вона вимірюється?
6. Як залежить потужність дози від відстані до джерела радіоактивного випромінювання?
7. Чому дорівнює коефіцієнт біологічної ефективності для бета- і гамма-випромінювання? альфа-випромінювання?
8. Який природний радіаційний фон вважається нормальним?
9. У чому полягає призначення дозиметрів?

Завдання 18

1. Поглинута доза, яку людина отримує від космічних променів, дорівнює 0,0004 Гр за рік. Розрахуйте поглинуту дозу випромінювання, яку ви отримали від космічних променів за час свого життя.
2. Використовуючи дані попередньої задачі, розрахуйте потужність дози від космічних променів.
3. Ви зателефонували до служби прогнозу погоди і дізналися, що рівень радіації дорівнює 12 мкР/год. Обчисліть, чому при цьому дорівнює потужність поглинутої дози.
4. Дослідник працював із радіоактивними препаратами, що містили альфа-частинки, і отримав дозу випромінювання 0,05 Гр. Чому дорівнює при цьому еквівалентна доза?

§46 Ядерна енергетика. Розвиток ядерної енергетики в Україні. Екологічні проблеми ядерної енергетики

1. Відкриття Беккерелем радіоактивності та подальші дослідження показали, що всередині атома містяться величезні запаси енергії, яку несуть заряджені частинки, що вилітають з атомів. Стало очевидно, що *ядерна*

Фізики намагались виконати головне завдання – вивільнити внутрішньоядерну енергію.

Одержати внутрішньоядерну енергію можна було лише одним шляхом – поділом ядер на складові частини.

У 1939 р. було одержано перші експериментальні відомості про розпад важкого ядра урану на два приблизно однакові ядра, але менш важкі, з виділенням величезної енергії. Цей процес було названо поділом важких ядер.

енергія міститься в ядрах атомів різних елементів. Необхідно було лише навчитись її звідти одержувати.

Відтоді ядерна фізика почала швидко розвиватись. Фізики намагались виконати головне завдання – вивільнити внутрішньоядерну енергію. Було зрозуміло, що після цього людство одержить невичерпні запаси енергії, які є вкрай необхідними в часи стрімкого розвитку техніки.

Одержати внутрішньоядерну енергію можна було способом поділу важких ядер на складові частини, або шляхом синтезу легких ядер. Але як це зробити? Найбільш придатним методом виявились ядерні реакції – перетворення ядер у результаті їхньої взаємодії з іншими частинками. Більшість фізиків того часу досліджували перетворення ядер важких елементів, зокрема урану, при бомбардуванні їх нейтронами. Нейтрони були обрані завдяки своїй основній здатності – легкому проникненню всередину ядер за рахунок відсутності електричного заряду.

Нарешті, в 1939 р. було одержано перші експериментальні відомості про розпад важкого ядра урану на два приблизно однакові ядра, але менш важкі, з виділенням величезної енергії. Цей процес було названо поділом важких ядер.

Що ж установили вчені?

Ядро урану містить 238 нуклонів. Таке скупчення частинок нуклонів є нестійким. Достатньо лише одного «поштовху», роль якого виконує нейтрон, щоб сталося несподіване: ядро урану стрімко розпадається на дві частини (уламки поділу). І обидві частини (ядра більш легких елементів) розлітаються в різних напрямках, забираючи із собою енергію, що виділяється в процесі розпаду.

Так відбувається поділ одного ядра. Енергія, яка при цьому виділяється, є суттєвою, але

лише на рівні мікросвіту. Для одержання величезної енергії в процесі поділу ядер треба розділити мільйони мільярдів ядер урану. Але де взяти для цього нейтрони, які викликають поділ ядра?

Виявилося, що забезпечувати нейтрони може сам уран. Ви вже знаєте, що ядра всіх важких елементів «переобтяжені» нейтронами. А для утворення ядер, які є уламками поділу і містяться в середній частині періодичної системи елементів Менделєєва, потрібна менша кількість нейтронів. Тому під час поділу ядра урану виділяється декілька «зайвих» нейтронів – від двох до трьох. Кожний з цих нейтронів має енергію, достатню для того, щоб розділити інше ядро урану. Вивільнені нейтрони, своєю чергою, розділять нові ядра. Таким чином буде ділитися дедалі більша кількість ядер, що зумовить дедалі більше виділення енергії. Так виникає *ланцюгова реакція* (рис. 112). Якщо ланцюгова реакція триватиме необмежено, і буде *некерованою*, то енергії виділиться стільки, що відбудеться *величезний вибух*. Саме такий процес відбувається за вибуху *атомної бомби*. Отже, некерована ланцюгова реакція використовується лише у воєнних цілях.

Для потреб енергетики, тобто для постійного використання ядерної енергії, необхідно створити в урані *керовану* ланцюгову реакцію. Що це означає? Це означає, що кількість нейтронів, що викликають поділ наступних ядер, не повинно зростати лавиноподібно. Для цього нейтрони штучно сповільнюють. Енергії нейтронів при цьому зменшуються і вони вже не в змозі розділити наступні ядра. Процес можна відрегулювати так, що кількість поділів ядер у кожний момент часу залишаться сталим. Оскільки поділ ядра – це енергія, яка виділяється, то за керованої реакції ця енергія

Під час поділу ядра урану виділяється декілька «зайвих» нейтронів – від двох до трьох. Кожний з цих нейтронів має енергію, достатню для того, щоб розділити інше ядро урану.

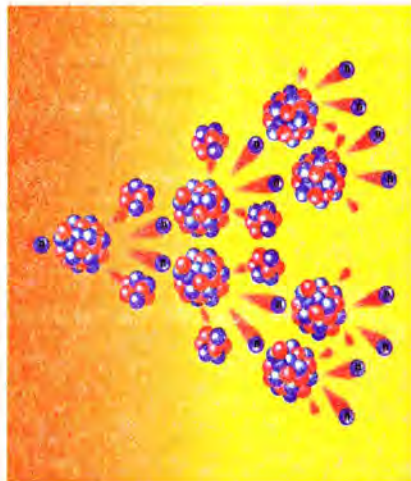


рис. 112

Якщо ланцюгова реакція буде продовжуватись необмежено, буде некерованою, то енергії виділиться стільки, що відбудеться величезний вибух. Саме такий процес відбувається за вибуху атомної бомби.

За період з 1977 р. по 1989 р. було введено 16 енергоблоків загальною потужністю 14 800 МВт на 5 атомних станціях: Запорізькій, Рівненській, Хмельницькій, Чорнобильській, Південноукраїнській.



рис. 113

Зараз в Україні діють 4 атомні електростанції: Запорізька, Рівненська, Хмельницька, Південноукраїнська.

буде, відповідно, залишатися сталою, а, отже, буде залишатися сталою і потужність реакції.

Керовані ланцюгові реакції здійснюються в ядерних реакторах, які встановлюються на атомних електростанціях.

2. Атомна енергетика в Україні розвивається з 1977 р., коли було введено в експлуатацію перший блок Чорнобильської АЕС (рис. 113). За період з 1977 р. по 1989 р. було введено 16 енергоблоків загальною потужністю 14 800 МВт на 5 атомних станціях: Запорізькій, Рівненській, Хмельницькій, Чорнобильській, Південноукраїнській.

Зараз в Україні діють 4 атомні електростанції: Запорізька, Рівненська, Хмельницька, Південноукраїнська. Чорнобильську АЕС було законсервовано в 2003 р. Більше 50 % електроенергії в Україні виробляється на атомних електростанціях. За кількістю реакторів та їхньою потужністю Україна посідає восьме місце у світі. Ядерна енергія в Україні використовується в усіх галузях народного господарства — промисловості, медицині, сільському господарстві, наукових дослідженнях, а також у побуті.

В Україні є поклади уранової руди. Підприємства з видобутку й переробки уранової руди розташовані в Дніпропетровській, Миколаївській та Кіровоградській областях.

Проблема ядерної енергетики особливо актуальна для України. Дуже великої шкоди екології, причому не лише Україні, завдала катастрофа на Чорнобильській атомній електростанції, що сталася 26 квітня 1986 р. У результаті понад 41 тис. кв. км території було забруднено радіонуклідами. Близько 46 тис. га орної землі та 46 тис. га лісу за рівнями забруднення вилучено з виробництва. Ще й сьогодні екологічну небезпеку становлять радіоактивні речовини, викинуті під час аварії та закриті піском і бетоном.

У нормальному робочому стані атомні електростанції завдають екології навколишнього середовища меншої шкоди, ніж теплові, або гідроелектростанції. Для продуктивного подальшого розвитку атомна енергетика має відповідати ряду вимог, серед яких:

- забезпечення людства паливними ресурсами через ефективне використання природного урану, а надалі, й торію;
- унеможливлення будь-яких аварій;
- екологічно безпечні виробництва енергії та ефективна утилізація відходів.

Нині вченими в різних країнах ведеться активний пошук ядерних технологій для майбутнього.

Основне завдання в області радіаційного контролю – не допустити помітного зростання рівня радіоактивного фону. Для розв'язання цієї задачі кожна людина має бути обізнана з фізичними основами ядерних перетворень; знати, як взаємодіє йонізуюче випромінювання з речовиною, як впливає радіація на живий організм; мати знання про допустимі дози випромінювання та заходи захисту населення від дії радіоактивного випромінювання. Саме тому необхідні початкові знання про ядерну енергетику ви одержуєте в основній школі.

Основне завдання в області радіаційного контролю – не допустити помітного зростання рівня радіоактивного фону. Для розв'язання цієї задачі кожна людина має бути обізнана з фізичними основами ядерних перетворень; знати, як взаємодіє йонізуюче випромінювання з речовиною, як впливає радіація на живий організм; мати знання про допустимі дози випромінювання та заходи захисту населення від дії радіоактивного випромінювання.

Перевірте себе

1. Що виділяється під час поділу ядра?
2. Як відбувається поділ ядра урану?
3. Що таке ланцюгова реакція?
4. Де використовується керована ланцюгова реакція, некерована ланцюгова реакція?
5. Які атомні електростанції сьогодні діють в Україні?
6. У чому полягають екологічні проблеми використання ядерної енергії?
7. Які завдання стоять перед сучасною атомною енергетикою?

Завдання 19

Нанесіть на контурну карту України основні атомні електростанції та місця розташування покладів уранової руди. Карту вклейте в зошит. Зробіть висновок щодо природного радіоактивного фону на території України.

УЗАГАЛЬНЕННЯ РОЗДІЛУ «АТОМНЕ ЯДРО. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА»

- Розвиток хімії і фізики повністю підтвердив атомну структуру речовини. Після відкриття електрона в 1897 р. стало очевидно, що всі атоми містять *електрони* і являють собою *складну електричну систему*.
- Одним із найбільш ґрунтовних спростувань багатовікової ідеї щодо неподільності атомів було відкриття в 1896 р. французьким фізиком Анрі Беккерелем явища радіоактивності. *Речовини, які випускали невідомі випромінювання*, було названо *радіоактивними*. Нова властивість речовини, пов'язана з наявністю *особливих випромінювань*, дістала назву *радіоактивності*.
- Дослідження Резерфорда і Содді привели до остаточного з'ясування фізичної природи альфа-, бета- і гамма-променів. Альфа-промені (або альфа-частинки) — це потік ядер гелію. Бета-промені (чи бета-частинки) є потоком електронів, гамма-промені — це «жорстке» електромагнітне випромінювання. *Всі вони виявилися шкідливими для живих організмів*.
- Після встановлення складу випромінювання радіоактивних речовин стало очевидно, що *радіоактивність — це розпад ядер*, а, отже, *перетворення одних елементів на інші*.
- На підставі дослідних фактів Резерфорд запропонував *ядерну (планетарну) модель* будови атома. Після відкриття нейтрона відомі фізики Д. Д. Іваненко і Є. М. Гапон висловили гіпотезу щодо *протонно-нейтронної будови ядра*.
- У результаті дії радіоактивного випромінювання в речовині може відбутись іонізація — відрив електронів від атомів.
- *Природний радіоактивний фон* створюється в навколишньому середовищі під дією космічних променів, природних радіоактивних елементів, що містяться в ґрунті та гірських породах, а також у місцях розташування атомних електростанцій. Вплив природного радіоактивного фону на людину суттєво змінюється залежно від місця проживання.
- Внаслідок великої небезпеки для людини будь-якого радіоактивного випромінювання в законодавчому порядку запроваджуються *міри престо- рого*. Насамперед, встановлено максимально припустимі *дозы випро- мінювання*. Розрізняють *поглинуту, еквівалентну та експозиційну дози* випромінювання.
- Радіоактивні речовини характеризуються *активністю А*. Активність характеризує *інтенсивність випромінювання всієї речовини* (а не окремого

ядра). Активність радіоактивної речовини *не є величиною сталою* і залежить від того, скільки здатних до розпаду ядер міститься в радіоактивній речовині на даному етапі розпаду.

- Для потреб енергетики, тобто для постійного використання ядерної енергії, необхідно створити в урані *керовану* ланцюгову реакцію. Це здійснюється в ядерних реакторах, які встановлюються на атомних електростанціях.
- В Україні діють 4 атомні електростанції: Запорізька, Рівненська, Хмельницька, Південноукраїнська. Україна має поклади уранової руди. Підприємства з видобутку і переробки уранової руди є в Дніпропетровській, Миколаївській та Кіровоградській областях
- Основне завдання людства в області ядерної енергетики – не допустити помітного зростання рівня природного радіоактивного фону. Тому кожна людина має бути обізнана з фізичними основами ядерних перетворень і ядерної енергетики.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ «АТОМНЕ ЯДРО. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА»

1. (1 бал). Ізотони відрізняються один від одного числом:

- 1) електронів;
- 2) протонів;
- 3) нейтронів;
- 4) протонів і нейтронів.

2. (1 бал). Зарядове число ядра дорівнює:

- 1) кількості протонів в ядрі;
- 2) кількості нейтронів в ядрі;
- 3) сумі протонів і нейтронів в ядрі;
- 4) різниці протонів і нейтронів в ядрі.

3. (1 бал). Що таке бета-промені?

- 1) потік електронів;
- 2) потік протонів;
- 3) потік нейтронів;
- 4) потік ядер гелію.

4. (3 бали). Яка доля радіоактивних атомів розпадається через інтервал часу, що дорівнює двом періодам піврозпаду?
- 1) 25 %;
 - 2) 50 %;
 - 3) 75 %;
 - 4) розпадуться всі атоми.
5. (1 бал). У результаті випромінювання γ -променів масове число ядра:
- 1) не змінюється;
 - 2) збільшується;
 - 3) зменшується.
 - 4) стає рівним нулю.
6. (1 бал). У скільки разів зменшиться активність радіонукліда за час, який дорівнює трьом періодам напіврозпаду цього радіонукліда?
- 1) в 8 разів;
 - 2) в 2 рази;
 - 3) в 4 рази;
 - 4) в 9 разів.

Лабораторні роботи

- Дослідження взаємодії заряджених тіл
 - Вимірювання сили струму за допомогою амперметра
 - Вимірювання електричної напруги за допомогою вольтметра
 - Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра і вольтметра
 - Вивчення залежності електричного струму від довжини провідника і площі його поперечного перерізу, матеріалу провідника
 - Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників
 - Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників
 - Вимірювання потужності споживача електричного струму
 - Дослідження явища електролізу
 - Складання найпростішого електромагніту та випробування його дії
 - Вивчення будови дозиметра і проведення дозиметричних вимірювань
-

1 Дослідження взаємодії заряджених тіл

Мета роботи: експериментально здійснити електризацію тіл через тертя; спостерігати взаємодію наелектризованих тіл.

Прилади і матеріали: смужка поліетиленова 10 x 100 мм; смужки паперова і поліетиленова (розміром 60 x 200 мм кожна); клаптик шовку; олівець; ручка пластмасова; нитка довжиною 1 м; штатив з муфтою і лапкою.

Вказівки до роботи

- I. 1. Підвісьте на нитці олівець, закріпивши його на кінцях.
2. Покладіть поліетиленову смужку на стіл і потріть її шовком. Піднесіть смужку і шовк по чергово до кінця підвішеного олівця. Спостерігайте, як вони взаємодіють з олівцем.
3. Повторіть дослід з пластмасовою ручкою, паперовою смужкою, натираючи їх об шовк або поліетилен.
4. Покладіть на паперову смужку поліетиленову і силою притисніть їх рукою. Після цього розліпіть смужки, а потім знову наблизьте одну до одної. Спостерігайте, чи взаємодіють вони між собою.
- II. 1. Поліетиленову смужку підвісьте на нитці до лапки штатива та обережно потріть шматочком паперу.
2. Наелектризуйте паперову і поліетиленову смужки. Для цього покладіть їх одна на одну і розладьте рукою. Підніміть смужки за кінці, розведіть їх, а потім повільно піднесіть одна до одної. Спостерігайте, як вони взаємодіють.
3. Піднесіть до зарядженої поліетиленової смужки, закріпленої на штативі, пластмасову ручку, потерту об папір, а потім об поліетилен. Спостерігайте, чи однакові за знаком заряди виникнуть на пластмасовій ручці в обох випадках.



Контрольні запитання

1. Як наелектризувати тіло?
2. Як виявити, чи наелектризоване тіло?
3. Як взаємодіють однойменно заряджені тіла? Як взаємодіють різнойменно заряджені тіла?

2 Вимірювання сили струму за допомоги амперметра

Мета роботи: навчитися складати найпростіше електричне коло з послідовно з'єднаних елементів і вимірювати силу струму за допомоги амперметра.

Прилади і матеріали: джерело струму (батарея акумуляторів), амперметр постійного струму, резистор, вимикач, низьковольтна електрична лампа, з'єднувальні провідники.

Вказівки до роботи

1. Самостійно накресліть схему електричного кола з послідовно з'єднаними джерелом струму, вимикачем, резистором, амперметром, електричною лампою і з'єднувальними провідниками.
2. Замкніть електричне коло. За свіченням лампочки переконайтесь, що в колі тече електричний струм.
3. Амперметр послідовно підключіть до різних ділянок кола.
4. Запишіть покази.
5. Порівняйте покази амперметра для різних ділянок кола з'єднаних послідовно. Зробіть висновок.

Контрольні запитання

1. Яка ціна поділки амперметра?
2. Як визначити напрям електричного струму в колі?
3. Як вмикається в коло амперметр?



3 Вимірювання електричної напруги за допомоги вольтметра

Мета роботи:

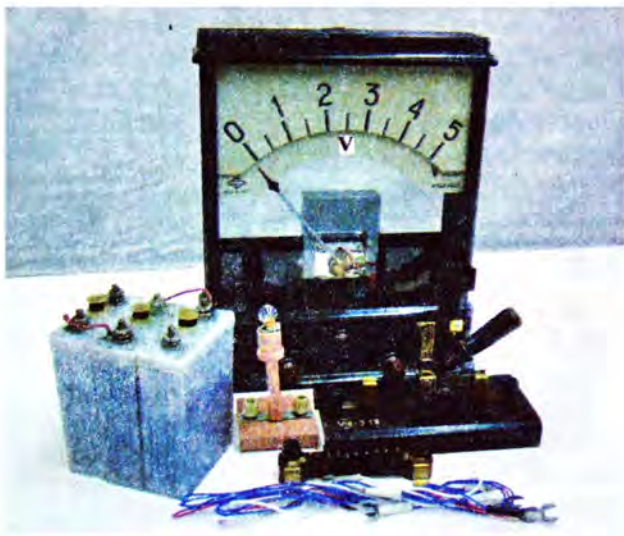
навчитися скласти електричне коло та вимірювати електричну напругу за допомоги вольтметра.

Прилади і матеріали:

джерело струму (батарея акумуляторів), вольтметр постійного струму, резистор, вимикач, низьковольтна електрична лампа, з'єднувальні провідники.

Вказівки до роботи

1. Самостійно накресліть схему електричного кола з послідовно з'єднаними резистором, електричною лампочкою, вимикачем, джерелом струму, та складіть таблицю для запису результатів.
2. Замкніть коло вимикачем. Переконайтеся за свіченням лампочки в тому, що в колі тече електричний струм.
3. Вольтметр паралельно приєднайте до кінців електричної лампочки, потім до кінців резистора. Результати запишіть.
4. Приєднайте вольтметр до кінців з'єднаних послідовно резистора і електричної лампочки. Результат запишіть.
5. Зробіть висновки про значення напруги на послідовно з'єднаних резисторі та електричній лампочці і суми спадів напруг на окремо взятих резисторі та лампочці.



Контрольні запитання

1. Яка ціна поділки вольтметра?
2. Що можна сказати про напругу на послідовно з'єднаних резисторах?
3. Як вмикається в коло вольтметр?

4 Вимірювання опору провідника за допомоги амперметра і вольтметра

Мета роботи:

навчитися розраховувати опір провідника за законом Ома для ділянки кола за допомоги амперметра і вольтметра.

Прилади і матеріали:

джерело постійного струму, амперметр, вольтметр, реостат, резистор, вимикач, з'єднувальні провідники.

Вказівки до роботи

1. Самостійно накресліть схему з послідовно ввімкнених джерела струму, реостата, амперметра, резистора, вимикача. Вольтметр приєднайте паралельно до клем резистора з урахуванням полярності. Позначте на схемі напрям струму в електричному колі і полярність амперметра і вольтметра.
2. Замкніть електричне коло за допомоги вимикача. Стрілки амперметра і вольтметра відхиляться від нульового положення.
3. Запишіть покази амперметра і вольтметра до таблиці. Таблицю, що враховує покази амперметра, вольтметра та опір, складіть самостійно.
4. За допомоги реостата змініть значення сили струму в колі. Запишіть до таблиці одержані значення. Виконайте три вимірювання сили струму і напруги.
5. Розрахуйте за законом Ома опір у кожному із трьох вимірів. Занесіть значення опору до таблиці.
6. Порівняйте отримані значення опору і зробіть висновки.
7. Розрахуйте похибки вимірювання опору даним методом.

Контрольні запитання

1. Чи залежить опір резистора від сили струму? від напруги?
2. Порівняйте отримані значення опору зі значеннями, що нанесені на резисторі, і спробуйте пояснити розбіжності.
3. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.



5 Вивчення залежності електричного струму від довжини провідника і площі його поперечного перерізу, матеріалу провідника

Мета роботи: дослідним способом вивчити залежність електричного опору від довжини, площі поперечного перерізу і матеріалу провідника.

Прилади і матеріали: джерело струму, реостат, амперметр, вольтметр, вимикач, два мідні провідники різної довжини l_1 і $l_2 = 2 \cdot l_1$ однакового діаметру, два мідні провідники однакої довжини l і різного діаметру d_1 і d_2 , мідний і алюмінієвий провідники однакової довжини і однакового діаметру, мікрометр, з'єднувальні провідники

Вказівки до роботи

Ви знаєте, що формула залежності опору провідника (R) від довжини (l), площі поперечного перерізу (S) і матеріалу (ρ) записується так:

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

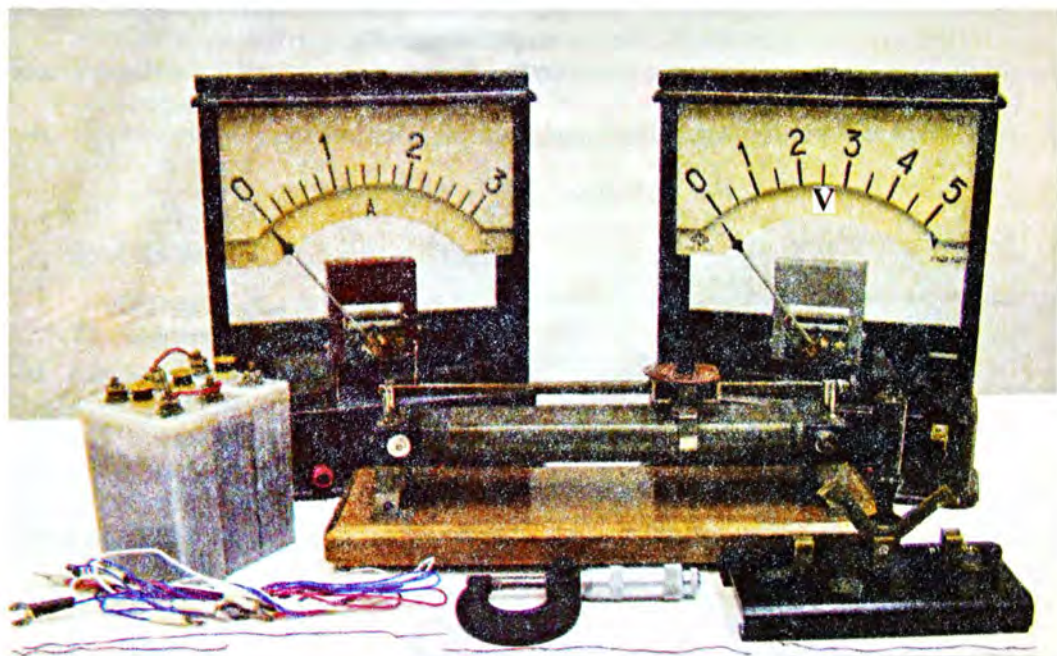
де ρ – питомий опір матеріалу провідника.

1. Самостійно накресліть схему з послідовно включених джерела струму, вимикача, реостата, амперметра і мідного провідника завдовжки l . Вольтметр під'єднати до ділянки кола із мідним провідником l .
2. Замкніть електричне коло. Реостатом відрегулюйте невеликий струм (не більше 0,5 А).
3. Запишіть до таблиці покази амперметра і вольтметра для провідника завдовжки l . Виміряйте лінійкою довжину провідника l , а мікрометром діаметр d . Такі виміри проводьте щоразу для кожного наступного провідника і занесіть до таблиці 1.
4. За значеннями сили струму і напруги розрахуйте опір кожного провідника і дані занесіть до таблиці.
5. Зробіть висновки із дослідів про залежність опору провідників від їхніх геометричних розмірів для одного і того ж матеріалу.
6. Порівняйте значення опору провідників для різних матеріалів (міді і алюмінію), що мають різне значення питомого опору. Зробіть висновки.

№ дос-ліду	Матеріал провід-ника (дроту)	Довжина дроту l , м	Діаметр d , мм	Площа по-перечного перерізу S , мм ²	Сила струму I , А	Напруга U , В	Опір $R = \frac{U}{I}$, Ом
1.							
2.							

Контрольні запитання

1. Як можна визначити діаметр провідника за відсутності мікрометра?
2. Який матеріал використовується в провідниках для передавання електроенергії на великі відстані?



6 Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників

Мета роботи:

навчитись з'єднувати провідники, прилади, резистори послідовно, визначати опір такого сполучення та розподіл напруг в ньому.

Прилади і матеріали:

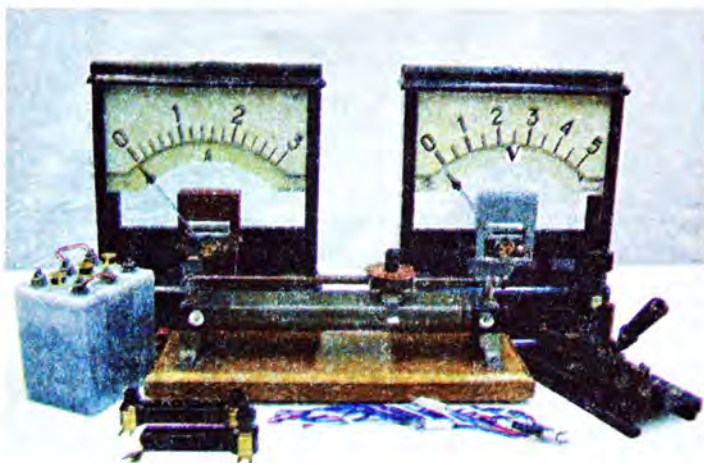
джерело струму, вимикач, амперметр і вольтметр постійного струму, два резистори R_1 і R_2 , реостат, з'єднувальні провідники.

Вказівки до роботи

1. Самостійно накресліть схему електричного кола з послідовно з'єднаними джерелом струму, вимикачем, двома резисторами R_1 і R_2 , амперметром, реостатом, складіть таблицю для запису результатів.
2. Замкніть електричне коло. Реостатом відрегулюйте силу струму в колі. Вкажіть напрям струму та полярність. Вольтметр спочатку приєднайте паралельно до резистора R_1 , потім до резистора R_2 .
3. Виміряйте силу струму в колі і напругу спочатку на першому, потім другому резисторах.
4. Перевірте виконання законів послідовного з'єднання:

$$U = U_1 + U_2; \quad R = R_1 + R_2; \quad I = I_1 = I_2 = \text{const}; \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

5. Зробіть висновки.



Контрольні запитання

1. Сформулюйте закони послідовного з'єднання.
2. Як залежить загальний опір кола від опору окремих ділянок кола?

7 Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників

Мета роботи:

навчитись з'єднувати провідники, прилади, резистори паралельно, визначати опір такого сполучення та розподіл струмів у ньому.

Прилади і матеріали:

джерело постійного струму, вимикач, амперметр і вольтметр постійного струму, два резистори R_1 і R_2 , реостат, з'єднувальні провідники.

Вказівки до роботи

1. Самостійно накресліть схему електричного кола, в якому послідовно з'єднані джерело струму, вимикач, амперметр, реостат і паралельно між собою з'єднані резистори R_1 і R_2 . Складіть таблицю для запису результатів. Вольтметр приєднаний паралельно до резисторів R_1 і R_2 .
2. Замкніть електричне коло. Реостатом відрегулюйте силу струму в колі. Вкажіть напрям струму та полярність.
3. Виміряйте напругу на резисторах і силу струму в електричному колі та окремих резисторах.
4. Перевірте виконання законів паралельного з'єднання:

$$I = I_1 + I_2; \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}; \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

5. Зробіть висновки.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закони паралельного з'єднання?
2. Як з'єднуються споживачі електроенергії в квартирах — послідовно чи паралельно? Чому?



8 Вимірювання потужності споживача електричного струму

Мета роботи:

навчитися визначати потужність електричної лампи, використовуючи амперметр, вольтметр і годинник.

Прилади і матеріали:

джерело струму, низько вольтова лампа, вольтметр, амперметр, вимикач, реостат, з'єднувальні провідники, секундомір (або годинник із секундною стрілкою).

Вказівки до роботи

1. Самостійно накреслити схему і складіть коло з джерела струму, лампи, амперметра, реостата і вимикача, з'єднавши їх послідовно; паралельно до лампи під'єднайте вольтметр.
2. Запишіть покази приладів і обчисліть потужність струму в лампі.
3. Повторіть вимірювання декілька разів, змінюючи силу струму в лампі реостатом.
4. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю

№ досліду	Сила струму I , А	Напруга на лампі U , В	Потужність P , Вт
1.			
2.			

5. Зробіть висновки.



Контрольні запитання

1. Чи збігається знайдене значення потужності з потужністю, позначеною на лампі? Якщо ні, то поясніть, чому.
2. Визначте ціну поділки амперметра, вольтметра, що використовувались у досліді.

9 Дослідження явища електролізу

Мета роботи:

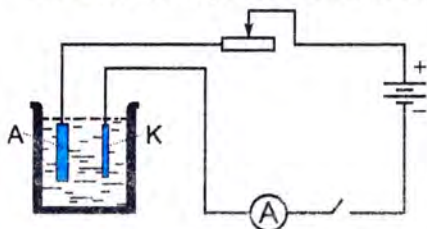
дослідним шляхом ознайомитись із явищем електролізу, визначити масу міді, що виділилася на електроді.

Прилади і матеріали:

джерело постійного струму (4-12 В), вимикач, електролітична ванна з 10%-м розчином CuSO_4 , мідні електроди, амперметр, реостат, секундомір (або годинник із центральною секундною стрілкою), терези з важками, фільтрувальний і наждачний папір, з'єднувальні провідники, електрична плитка.

Вказівки до роботи

1. Скласти електричне коло за схемою:



- Замкнути коло. Реостатом встановити робочу силу струму не більше 1 А. Розімкнути коло.
2. Вийняти катод з електролітичної ванни, ретельно очистити наждачним папером, промити, висушити і зважити з точністю до 10-3 г.
 3. Встановити електрод на місце в електролітичну ванну. Одночасно з вмиканням в колі струму пустити секундомір.
 4. Процес електролізу триває 20 – 30 хв. Протягом досліду струм у колі підтримувати сталим за допомогою реостата.
 5. Одночасно розімкнути електричне коло і вимкнути секундомір.
 6. Вийняти катод, висушити (спочатку фільтрувальним папером) над електричною плиткою і зважити.
 7. Різниця мас катода після і до електролізу дорівнює масі m міді, що виділилась на катоді за час проходження струму.
 8. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закон Фарадея для електролізу.
2. Наведіть приклади використання електролізу.

10 Складання найпростішого електромагніту та випробування його дії

Мета роботи:

навчитися складати найпростіший (прямий) електромагніт із готових деталей та перевірити залежність його дії від кількості витків. Навчитися складати двополюсний (дуго-подібний) електромагніт та з'ясувати його переваги перед прямим електромагнітом. Дослідити залежність притягальної дії електромагніту від сили струму в ньому.

Прилади і матеріали:

штативи універсальні, батарея з акумуляторів (елементів), реостат, амперметр, вимикач, з'єднувальні провідники, компас, деталі для складання електромагніту (прямі і U-подібне осердя, дві котушки, якір з гачком), набір тягарців і гир, м'яка підстилка.

Вказівки до роботи

1. Надіньте на короткий залізний стрижень, закріплений у штативі, котушку й увімкніть її в електричне коло з батареї, реостата, амперметра і вимикача, з'єднавши їх послідовно. Замкніть коло і за допомоги компаса визначте магнітні полюси котушки. Підвішуючи до гачка якоря важки, визначте, який важок утримує електромагніт із однією котушкою.
2. Складіть електромагніт з двох котушок, надітих на прямий стрижень. Котушки з'єднайте послідовно (щоб на їх вільних кінцях утворилися різноіменні полюси). Перевірте полюси за допомоги компаса. Замкніть коло і визначте, який важок утримує прямий електромагніт з двох котушок.
3. Складіть підковоподібний електромагніт, надівши послідовно з'єднані котушки на осердя у вигляді букви П так, щоб на вільних її кінцях були різноіменні полюси. Замкніть коло і визначте, який важок утримує підковоподібний електромагніт.
4. За допомоги реостата збільшіть силу струму в колі. Виявіть і опишіть, як змінилася притягальна дія магніту.
5. Наслідки виконання завдань запишіть у зошит.



Контрольні запитання

1. Якими способами підсилюють притягальну дію електромагніту?
2. Як залежить притягальна дія електромагніту від відстані до нього?

11 Вивчення будови дозиметра і проведення дозиметричних вимірювань

Мета роботи: навчитися користуватись дозиметром і ознайомитись із його будовою.

Прилади і матеріали: дозиметр у комплекті, секундомір, металеві (або свинцеві) пластинки.

Вказівки до роботи

1. За заводською інструкцією ознайомитись із будовою та кнопками керування дозиметра.
2. Виміряти натуральний фон йонізуючого випромінювання у приміщенні. Виконати три послідовних вимірювання за однаковий час (200 с) і розрахувати середнє значення потужності дози природного фону.
3. Закрити металевими пластинками дозиметр. Виконати три послідовні вимірювання за той же час (200 с) і розрахувати середнє значення.
4. Порівняти результати пунктів 3 і 4, зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Який принцип дії лічильника йонізуючого випромінювання?
2. Який порядок роботи з дозиметром?



ВІДПОВІДІ ДО ЗАВДАНЬ

Завдання 1

4. Внаслідок електризації через тертя.
5. Антистатики утворюють прошарок за рахунок якого зменшується електризація через тертя.
6. 0.

Завдання 2

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

Завдання 3

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

Завдання 4

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

Завдання 5

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

Завдання 6

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

Завдання 7

1. 840 Кл.
2. 25 А.
3. $2 \cdot 10^{-3}$ А,
0,1 А,
3500 А.

Завдання 8

1. 220 В.
2. $9,2 \cdot 10^{-3}$ Дж

Завдання 9

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

Завдання 10

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

Завдання 11

1. $2,91 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$
2. 0,625 Вт.
3. 2,272 А; 96,8 Ом; $9 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$

Завдання 12

1. 0,0285 кг.
2. 0,4998 А.

Завдання 13

1. За більшої кількості витків більша $\varepsilon_{\text{IND}}.$
2. Явище ілюструє правило Ленца.
3. Вгору.

Завдання 15

1. Тому що радіоактивність — це розпад атомів.
3. У магнітному полі відхиляються лише заряджені частинки, а гамма-промені — це електромагнітне випромінювання.
4. Не зміниться; зміниться.

Завдання 16

1. Більшість альфа-частинок проходила на значній відстані від ядра, тобто ядро займає малу область атома.
2. $\frac{v_{\alpha}}{c} = \frac{1}{30}$.
3. В 7330 разів.
4. $E_{\alpha} = 10^{-19}$ Дж.

Завдання 17

1. Коли час спостереження є малим порівняно з періодом піврозпаду.
2. Меншою є активність радію.
3. Речовина з періодом піврозпаду 1 с.
4. $6,2 \cdot 10^9$ разів.
5. $T = 4,67 \cdot 10^7$ с = 54 доби (стронцій).
6. $6 \cdot 10^6$ Бк.

Завдання 18

1. $D = 0,006$ Гр (за час життя 15 років).
2. $N = 1,3 \cdot 10^{-11}$ Гр/с.
3. $N = 3,34 \cdot 10^{-15}$ Гр/с.
4. $D_{\text{екв}} = 0,5$ Зв.

ВІДПОВІДІ ДО ТЕСТІВ

1. Відповіді на тестові завдання до розділу «ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ»:

1. 1)
2. 3)
3. 2)
4. 4)
5. 1)
6. 4)

2. Відповіді на тестові завдання до розділу «ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ»:

1. — «б».
2. — «в».
3. — «а».
4. — «б».
5. — «в».
6. — «б».

3. Відповіді на тестові завдання до розділу «МАГНІТНЕ ПОЛЕ»:

1. — «б».
2. — «б».
3. — «в».
4. — «а».
5. — «б».
6. — «в».

4. Відповіді на тестові завдання до розділу «АТОМНЕ ЯДРО. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА»:

1. 2)
2. 1)
3. 1)
4. 3)
5. 1)
6. 1)

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

А

Активність 182
акумулятор 58
альфа-промені 170
амперметр 65, 92
анод 103
атомне ядро 16, 180

Б

Бета-промені 171

В

Валентні електрони 50
відносна діелектрична
проникність середовища 38
вільні електрони 50
вольтметр 68, 92

Г

Газовий розряд 112
гальванічний елемент 57, 60
гальванометр 47, 65, 92
гальванопластика 107
гальваностегія 106
гамма-промені 171
генератор 59, 157
гучномовець 150

Д

Джерело струму 54, 56
діелектрик 23, 49, 108
дозиметр 190
дуговий розряд 117, 128

Е

Еквівалентна доза випромінювання
187, 188
експозиційна доза 187, 189
електризація 6, 10, 25
електрична дуга 119
електрична напруга 67
електричне поле 28, 29
електричний заряд 7
електричний опір 71, 73, 127
електричний струм 44, 51
електродвигун 149
електроліз 102, 104, 128
електролітична дисоціація 103
електромагніт 143
електромагнітна індукція 152, 163
електрометр 12, 18, 23
електрон 14, 16, 19, 167
електронна оболонка 16, 184
електропровідність 71, 108
електрорушійна сила 69
електроскоп 12

електростатичне поле 31
електрофорна машина 9
електрохімічний еквівалент 105
елементарний негативний заряд 14
енергія електричного поля 32

З

Закон збереження електричного заряду 20
закон Джоуля-Ленца 99, 128
закон Кулона 37
закон Ома для ділянки кола 72, 127
закон Фарадея 104, 105, 106

І

Ізотопи 179
індукційний струм 153, 163
іскровий розряд 116, 119, 128

Й

Йонізація 111, 184

К

Катод 103
кількість електрики 65
конвекційний струм 44
коронний розряд 116, 118, 128

Л

Ланцюгова реакція 193
лінії напруженості 31

М

Магнетики 158, 160
магнітна дія струму 46
магнітна стрілка 132
магнітне насичення 161
магнітне поле 131
масове число 178
механічна дія струму 47

Н

Надпровідність 80
напівпровідник 23, 49, 109, 128
напруженість електричного поля 31
нейтрон 16, 178
нуклід 179
нуклон 16, 178, 196

П

Паралельне з'єднання 82, 127
період піврозпаду 180, 181
питома електропровідність 75
питомий опір 73
плазма 117, 118
поглинута доза випромінювання 187
полюси магніту 132
послідовне з'єднання 81, 127
постійний струм 62
потенціометр 77
потужність дози 188
потужність електричного струму 95
правило Ленца 154
правило лівої руки 146, 163

правило свердлика 141, 142, 163
природний радіоактивний фон
185, 196
протон 14, 178

Р

Радіоактивність 169, 172
реостат 77, 127
робота струму 67, 94, 95, 128

С

Самостійний газовий розряд 115, 128
сила струму 62
силові лінії 31
силові лінії магнітного поля 140
струм провідності 44

Т

Теорія близькодії 28
теорія далекодії 28
термістори 110
термометр опору 79
тліючий розряд 115, 119, 128

У

Ударна йонізація 114, 115

Ф

Феромагнетик 160

Я

Ядерна реакція 193

Як працювати з підручником	2
----------------------------------	---

Розділ 1

ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

§ 1. Електризація тіл. Електричний заряд. Два роди електричних зарядів	5
§ 2. Прилади для виявлення електризації тіл. Дискретність електричного заряду	12
§ 3. Будова атома. Електрон. Йон. Механізм електризації тіл. Закон збереження електричного заряду	16
§ 4. Провідники, напівпровідники, ізолятори. Електризація через вплив	22
§ 5. Електричне поле	27
§ 6. Закон Кулона	35

<i>Узагальнення розділу «Електричне поле»</i>	<i>40</i>
---	-----------

<i>Тестові завдання до розділу «Електричне поле»</i>	<i>41</i>
--	-----------

Розділ 2

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

§ 7. Електричний струм	44
§ 8. Дії електричного струму	45
§ 9. Електрична провідність матеріалів: провідники, напівпровідники, діелектрики	48
§ 10. Струм у металах	50
§ 11. Електричне коло	53
§ 12. Джерела електричного струму	55

§ 13. Гальванічні елементи. Акумулятори	57
§ 14. Сила струму. Амперметр. Вимірювання сили струму	62
§ 15. Електрична напруга. Вольтметр. Вимірювання напруги	67
§ 16. Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола. Електричний опір	70
§ 17. Залежність опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу та матеріалу	73
§ 18. Реостати	77
§ 19. Залежність опору провідника від температури	78
§ 20. З'єднання провідників. Розрахунки простих електричних кіл	81
§ 21. Робота і потужність електричного струму	94
§ 22. Закон Джоуля-Ленца	99
§ 23. Електронагрівальні прилади	100
§ 24. Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів	102
§ 25. Кількість речовини, що виділяється під час електролізу	104
§ 26. Застосування електролізу у промисловості й техніці	106
§ 27. Струм у напівпровідниках	108
§ 28. Електричний струм у газах. Несамостійний газовий розряд	111
§ 29. Електричний струм у газах. Самостійний газовий розряд	113
§ 30. Застосування струму в газах у побуті, в промисловості, в техніці	118
§ 31. Безпека людини під час роботи з електричними приладами і пристроями	120
<i>Узагальнення розділу «Електричний струм»</i>	<i>126</i>
<i>Тестові завдання до розділу «Електричний струм»</i>	<i>129</i>

Розділ 3

МАГНІТНЕ ПОЛЕ

§ 32. Магнітне поле. Постійні магніти. Взаємодія магнітів. Магнітне поле Землі	131
§ 33. Магнітна дія струму. Дослід Ерстеда	137
§ 34. Магнітне поле провідника зі струмом	139
§ 35. Магнітне поле котушки зі струмом. Електромагніти	141

§ 36. Дія магнітного поля на провідник зі струмом	145
§ 37. Електричні двигуни. Гучномовець. Електровимірювальні прилади	148
§ 38. Електромагнітна індукція. Досліди Фарадея	152
§ 39. Гіпотеза Ампера	158

<i>Узагальнення розділу «Магнітне поле»</i>	<i>162</i>
<i>Тестові завдання до розділу «Магнітне поле»</i>	<i>163</i>

Розділ 4

АТОМНЕ ЯДРО. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА

§ 40. Етапи становлення атомної теорії будови речовини. Перша модель будови атома	166
§ 41. Радіоактивність. Види радіоактивного випромінювання та їхні основні характеристики	168
§ 42. Дослід Резерфорда. Ядерна модель атома	173
§ 43. Встановлення протонно-нейтронної будови ядра атома. Ізотопи. Закономірності радіоактивного розпаду	177
§ 44. Йонізуюча дія радіоактивного випромінювання. Вплив радіоактивного випромінювання на живі організми. Природний радіоактивний фон	184
§ 45. Дозиметрія	187
§ 46. Ядерна енергетика. Розвиток ядерної енергетики в Україні. Екологічні проблеми ядерної енергетики	191

<i>Узагальнення розділу «Атомне ядро. Ядерна енергетика»</i>	<i>196</i>
<i>Тестові завдання до розділу «Атомне ядро. Ядерна енергетика»</i>	<i>197</i>

Розділ 5

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

№ 1. «Дослідження взаємодії заряджених тіл»	200
№ 2. «Вимірювання сили струму за допомогою амперметра»	201
№ 3. «Вимірювання електричної напруги за допомогою вольтметра»	202

№ 4.	«Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра і вольтметра»	203
№ 5.	«Вивчення залежності електричного опору від довжини провідника і площі його поперечного перерізу, матеріалу провідника»	204
№ 6.	«Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників»	206
№ 7.	«Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників»	207
№ 8.	«Вимірювання потужності споживача електричного струму»	208
№ 9.	«Дослідження явища електролізу»	209
№ 10.	«Складання найпростішого електромагніту і випробування його дії»	210
№ 11.	«Вивчення будови дозиметра і проведення дозиметричних вимірювань»	211

ВІДПОВІДІ ДО ЗАВДАНЬ	212
-----------------------------------	-----

ВІДПОВІДІ ДО ТЕСТІВ	216
----------------------------------	-----

Предметний покажчик	217
----------------------------------	-----