

В. Д. СИРОТЮК

# Фізика

**Підручник для 9 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*



*Підручник — переможець  
Всеукраїнського конкурсу підручників  
для 12-річної школи  
Міністерства освіти і науки України в 2009 р.*

**Київ  
«Зодіак-ЕКО»  
2009**

ББК 22.3я721  
С40

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(Наказ Міністерства освіти і науки України  
від 2 лютого 2009 р., протокол № 56)*

**Видає за рахунок державних коштів. Продаж заборонено**

*Відповідальні за підготовку до видання підручника: О. В. Хоменко, головний спеціаліст Міністерства освіти і науки України; І. А. Юрчук, методист вищої категорії Інституту інноваційних технологій і змісту освіти Міністерства освіти і науки України. Експерти рукопису підручника: В. М. Карпова — вчитель-методист гімназії № 28, м. Запоріжжя; О. М. Дума — вчитель-методист гімназії № 4, м. Одеса; О. М. Хоренко — методист Київського ОІПОПК, учитель-методист; З. Я. Свтушик — методист ММК Ковельського міського управління освіти; І. І. Бродин — доцент кафедри фізики твердого тіла Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника, кандидат фізико-математичних наук; В. Г. Бар'яхтар — директор Інституту магнетизму НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, дійсний член НАН України; М. В. Головка — заступник директора Інституту педагогіки АПН України, кандидат педагогічних наук*

## **ТВОРЧА ГРУПА РОЗРОБНИКІВ ПІДРУЧНИКА**

**Юрій КУЗНЕЦОВ** — керівник проекту,  
розробник концепції: структури і дизайну;  
**Володимир СИРОТЮК** — автор тексту і методичного апарату;  
**Олег КОСТЕНКО** — заступник керівника проекту;  
**Костянтин ДМИТРЕНКО** — редактор-організатор;  
**Наталія ДЕМИДЕНКО** — контрольне редагування;  
**Андрій ВІКСЕНКО** — розробник макета, художнього оформлення,  
художник обкладинки;  
**Євген САМОХІН** — комп'ютерний дизайн, верстка;  
**Валентина МАКСИМОВСЬКА** — організатор виробничого процесу;  
**Галина КУЗНЕЦОВА** — економічний супровід проекту;  
**Роман КОСТЕНКО** — маркетингові дослідження підручника;  
**Андрій КУЗНЕЦОВ** — моніторинг апробації підручника

**Сиротюк В. Д.**

С40 Фізика: підруч. для 9 класу загальноосвіт. навч. закл. / В. Д. Сиротюк. —  
К.: Зодіак-ЕКО, 2009. — 208 с.: іл.

ISBN 978-966-7090-68-5.

**ББК 22.3я721**

© Видавництво «Зодіак-ЕКО». Усі права захищено. Будь-яка частина, елемент, ідея, композиційний підхід цього видання не можуть бути скопійованими чи відтвореними в будь-якій формі та будь-якими засобами — ні електронними, ні фотомеханічними, зокрема, ксерокопіюванням, записом чи комп'ютерним архівуванням, — без письмового дозволу видавця.

© В. Д. Сиротюк, 2009

© Видавництво «Зодіак-ЕКО», 2009

© Художнє оформлення, А. М. Віксенко, 2009

© Концепції: структури, дизайну, художнього оформлення —  
Ю. Б. Кузнецов, 2009

ISBN 978-966-7090-68-5

## ЗМІСТ

Юні друзі!.....	6
-----------------	---

### Розділ 1 ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ



§ 1.	Електризація тіл. Електричний заряд.....	8
§ 2.	Два роди електричних зарядів. Дискретність електричного заряду .....	10
§ 3.	Будова атома. Йони .....	13
§ 4.	Закон збереження електричного заряду.....	16
§ 5.	Електричне поле. Взаємодія заряджених тіл .....	17
	Лабораторна робота № 1. Дослідження взаємодії заряджених тіл.....	21
§ 6.	Закон Кулона.....	22
	Задачі та вправи.....	24
	Історична довідка.....	28
	Перевірте свої знання	
	Контрольні запитання.....	28
	Що я знаю і вмю робити .....	29
	Тестові завдання .....	30

### Розділ 2 ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ



§ 7.	Електричний струм. Джерела електричного струму .....	34
§ 8.	Електричне коло і його складові частини.....	38
§ 9.	Електричний струм у металах .....	39
§ 10.	Дії електричного струму. Напрямок електричного струму.....	41
	Задачі та вправи.....	44
§ 11.	Сила струму. Амперметр .....	46
	Лабораторна робота № 2. Вимірювання сили струму за допомогою амперметра .....	50
§ 12.	Електрична напруга. Вольтметр .....	51
	Лабораторна робота № 3. Вимірювання електричної напруги за допомогою вольтметра.....	54
§ 13.	Електричний опір провідників. Одиниці опору.....	55
§ 14.	Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола .....	57
	Лабораторна робота № 4. Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра і вольтметра .....	60
	Задачі та вправи.....	61
§ 15.	Розрахунок опору провідника. Питомий опір провідника .....	65
§ 16.	Реостати. Залежність опору провідника від температури .....	67
	Лабораторна робота № 5. Вивчення залежності електричного опору від довжини, площі поперечного перерізу і матеріалу провідника .....	70
	Задачі та вправи.....	70
§ 17.	Послідовне з'єднання провідників .....	72
	Лабораторна робота № 6. Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників .....	73

§ 18.	Паралельне з'єднання провідників .....	74
	Лабораторна робота № 7. Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників .....	76
	Задачі та вправи .....	77
§ 19.	Робота електричного струму .....	78
§ 20.	Потужність електричного струму .....	80
	Лабораторна робота № 8. Вимірювання потужності споживача електричного струму .....	82
§ 21.	Закон Джоуля-Ленца .....	83
§ 22.	Споживачі електричного струму. Електронагрівальні прилади .....	83
	Задачі та вправи .....	87
§ 23.	Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів .....	89
	Лабораторна робота № 9. Дослідження явища електролізу .....	92
§ 24.	Електричний струм у напівпровідниках. Електропровідність напівпровідників .....	93
§ 25.	Електричний струм у газах. Самостійний і несамостійний розряди .....	97
§ 26.	Безпека людини під час роботи з електричними приладами і пристроями .....	106
	Задачі та вправи .....	110
	Історична довідка .....	112
	Перевірте свої знання	
	Контрольні запитання .....	113
	Що я знаю і вмію робити .....	113
	Тестові завдання .....	116

### **Розділ 3** МАГНІТНЕ ПОЛЕ



§ 27.	Постійні магніти. Магнітне поле Землі .....	120
§ 28.	Взаємодія магнітів .....	124
§ 29.	Магнітна дія струму. Дослід Ерстеда. Гіпотеза Ампера .....	126
	Задачі та вправи .....	130
§ 30.	Магнітне поле котушки зі струмом. Електромагніти .....	132
	Лабораторна робота № 10. Складання найпростішого електромагніту і випробування його дії .....	135
§ 31.	Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Електричні двигуни .....	136
§ 32.	Гучномовець. Електровимірювальні прилади .....	139
	Задачі та вправи .....	140
§ 33.	Електромагнітна індукція. Досліди Фарадея .....	144
	Задачі та вправи .....	147
	Історична довідка .....	148
	Перевірте свої знання	
	Контрольні запитання .....	148
	Що я знаю і вмію робити .....	149
	Тестові завдання .....	150

## **Розділ 4 АТОМНЕ ЯДРО. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА**



§ 34. Досліди Резерфорда. Ядерна модель атома .....	154
§ 35. Радіоактивність. Види радіоактивного випромінювання .....	157
§ 36. Будова ядра атома. Ізотопи .....	160
§ 37. Ядерні перетворення. Реакції поділу. Термоядерні реакції.....	165
§ 38. Йонізуюча дія радіоактивного випромінювання. Дозиметри.....	170
§ 39. Вплив радіоактивного випромінювання на живі організми.....	174
Лабораторна робота № 11. Вивчення будови дозиметра і проведення дозиметричних вимірювань.....	179
§ 40. Ядерна енергетика. Розвиток ядерної енергетики в Україні.....	181
§ 41. Ядерна енергетика та сучасні проблеми екології .....	183
Задачі та вправи .....	185
Історична довідка .....	186
Перевірте свої знання	
Контрольні запитання .....	188
Що я знаю і вмю робити.....	189
Тестові завдання.....	190

## **УЗАГАЛЬНЮЮЧІ ЗАНЯТТЯ**

§ 42. Вплив фізики на суспільний розвиток та науково-технічний прогрес.....	192
§ 43. Фізична картина світу.....	195

## **Допоміжні матеріали**

Фізичні задачі навколо нас .....	198
Словник фізичних термінів .....	200
Відповіді до задач і вправ.....	203
Відповіді до розділу «Що я знаю і вмю робити» .....	204
Відповіді до розділу «Фізичні задачі навколо нас» .....	204
Предметно-іменний покажчик .....	205

## ЮНІ ДРУЗІ!

Ви щойно відкрили підручник, з яким працюватимете протягом навчального року. Сподіваємося, що він буде добрим помічником у вашій подорожі в країну знань про все багатство явищ навколишнього світу.

Вивчаючи фізику в попередніх класах, ви дізналися про закономірності навколишнього світу, які розкриваються в механічних, теплових і світлових явищах, про те, як результати фізичних досліджень застосовують у техніці й побуті, переконалися в необхідності уважної, вдумливої та систематичної роботи з підручником. Ви навчилися працювати з фізичними приладами, виконувати досліди і проводити спостереження.

У 9 класі ви вивчатимете електричні й магнітні явища, а також властивості речовини на рівні атома та його ядра. Теоретичний матеріал у пропонованому підручнику допоможе вам зрозуміти і пояснити ці явища. Звертайте увагу на текст, виділений **жирним шрифтом**. Це фізичні терміни, визначення, важливі правила і закони. Їх треба пам'ятати і вміти застосовувати.

Підручник містить багато ілюстрацій, у ньому розглядаються **досліди**, які ви можете виконати самостійно або з допомогою вчителя, пропонуються **спостереження**, які допоможуть глибше зрозуміти фізичний смисл явищ, що вивчаються, **«Історична довідка»** у кінці кожного параграфа, без сумніву, розширить ваш кругозір.

Наприкінці кожного параграфа є запитання і завдання, відповіді на які допоможуть вам практично засвоїти викладений матеріал, закріпити формулювання. Частина з них мають творчий характер і для відповіді потребують умінь аналізувати умови завдання, а також простежувати логічну послідовність і зв'язки в перебігу фізичних явищ. Такі завдання позначено зірочкою.

У рубриці «Розв'язуємо разом» наведено зразки розв'язань найважливіших видів задач і вправ. Підручник містить задачі, вправи і запитання різних рівнів складності: **А** — на закріплення і **Б** — творчого характеру.

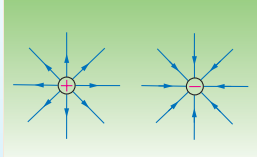
Виконані вами **лабораторні роботи** збагатять вас поглибленим розумінням закономірностей фізичних явищ та уміннями ставити досліди і користуватися вимірвальними приладами.

Тим, хто хоче знати більше, стане в пригоді інформація, вміщена в рубриці «Це цікаво знати».

Якщо вам знадобиться дізнатися про якийсь фізичний термін або правило, скористайтеся «Словником фізичних термінів» і предметно-іменним покажчиком, що містяться в кінці підручника.

Виконуючи спостереження і досліди з фізики, будьте уважними, додержуйтеся правил безпеки.

Щасливої вам дороги до знань!



# ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

- Електризація тіл  
Електричний заряд
- Два роди електричних зарядів  
Дискретність електричного заряду
- Будова атома. Йони
- Закон збереження електричного заряду
- Електричне поле  
Взаємодія заряджених тіл
- Закон Кулона



## § 1 ЕЛЕКТРИЗАЦІЯ ТІЛ. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД

Термін «електрика» вам відомий і звичний. Він дуже давній і ввійшов до науки значно раніше, ніж було винайдено електролампи, електродвигуни, холодильники, телевізори, радіоприймачі — все те, без чого нині важко уявити наше життя. Ще за 600 років до нашої ери стародавні греки помітили, що коли **бурштин** (янтар — скам'яніла викопна смола хвойних дерев, які росли на Землі сотні тисяч років тому) потерти об вовну, то він набуває властивості притягувати до себе пухинки, листя, соломинки. Бурштин грецькою називають *електроном*. Коли бурштин притягує до себе інші тіла, то говорять, що він наелектризований, або йому надано *електричного заряду*. Від слова *електрон* і походить слово *електрика*.

● **Дослід 1.** Візьмемо ебонітову паличку (ебоніт — твердий матеріал з каучуку і великої домішки сірки), покладемо її на клаптики паперу. Бачимо, що ебонітова паличка не притягує паперові клаптики (мал. 1, а). Потремо тепер паличку об клапоть вовняної тканини (мал. 1, б) і наблизимо її до папірців. Папірці притягуються до палички і налипають на неї (мал. 1, в).

Крім того, паличка, аркуш паперу та одяг набувають здатності притягувати до себе клаптики паперу, пухинки, тонкі струмені води (мал. 2). Ви можете переконатися в цьому, потерши пластмасовий гребінець або ручку об аркуш паперу або вовну і піднісши його потім до тонкої струминки води.

У всіх наведених прикладах ми бачимо, що тіла набувають нової властивості — діяти на інші тіла силою, яка набагато більша за силу всесвітнього тяжіння. Цю силу називають *електричною*. Про тіла, які діють одне на одне електричною силою говорять, що вони заряджені, або вони мають електричний заряд. Електризуватися можуть тіла, виготовлені з різних речовин. Наприклад, дуже легко наелектризувати *тертям* об вовну палички з гуми, сірки, пластмаси, капрону.

Електризуються тіла й від *дотику* одного з одним з наступним їх роз'єднанням. (Можна електризувати тіла також, наближаючи до них *без торкання* якесь наелектризоване тіло. Це явище називають *електризацією впливом*, або *індукцією*).



Мал. 1



Мал. 2



Унаслідок дотику скляної палички до шматка гуми електризуються і скло, і гума. Гума, як і скло, притягує до себе легкі тіла.

**В електризації завжди беруть участь два тіла. При цьому електризуються обидва тіла.**

Але за притяганням тіл не можна відрізнити електричний заряд на скляній паличці, потертій об шовк, від заряду на ебонітовій паличці, потертій об вовну, тому що обидві наелектризовані палички притягують клаптики паперу.

*Чи означає це, що заряди на тілах, виготовлених з різних речовин, нічим не відрізняються один від одного?*

● **Дослід 2.** Наелектризуємо ебонітову паличку, підвішену на нитці. Наблизимо до неї таку саму паличку, наелектризовану внаслідок тертя об той самий шматок вовни. Палички відштовхуватимуться одна від одної (мал. 3).

Оскільки палички однакові та наелектризовані об те саме тіло, то можна дійти висновку, що заряди на них однакові, або палички заряджені однаковими зарядами.

● **Дослід 3.** Піднесемо до наелектризованої ебонітової палички скляну паличку, потерту об шовк. Скляна та ебонітова палички притягуватимуться одна до одної (мал. 4). Можна зробити висновок, що заряд на склі, потертому об шовк, іншого роду, ніж на ебоніті, потертому об вовну. Численні досліди свідчать, що у природі існують електричні заряди тільки двох родів.

Заряд на склі, потертому об шовк, назвали *позитивним*, а заряд на ебоніті, потертому об вовну, — *негативним*, позначають відповідно «+» і «-».

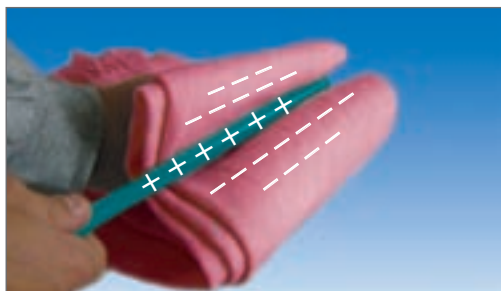
Отже, під час електризації скла об шовк скло набуває позитивного заряду «+», а шовк — негативного «-»; під час електризації ебоніту об вовну ебоніт набуває негативного заряду «-», а вовна — позитивного «+» (мал. 5, 6).



Мал. 3



Мал. 4



Мал. 5



Мал. 6



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Як можна наелектризувати тіло?
2. Скільки тіл беруть участь в електризації і що з ними відбувається?
3. Які електричні заряди існують у природі?
4. Який електричний заряд матиме скляна паличка, потерта об шовкову тканину?
5. Який електричний заряд матиме ебонітова паличка, потерта об вовну?
6. Який найпростіший дослід переконає, що дане тіло наелектризоване?
- 7\*. Чому про деякі частинки говорять, що вони мають заряд?
- 8\*. Чому тіла заряджаються негативно або позитивно?

## § 2

### ДВА РОДИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАРЯДІВ. ДИСКРЕТНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ

У природі існують два роди електричних зарядів: позитивні та негативні.

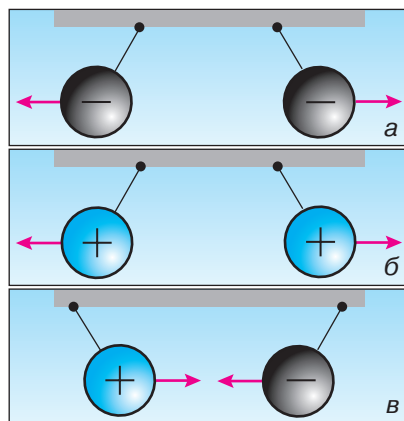
З попередніх дослідів ви побачили, що наелектризовані тіла взаємодіють між собою. Під час електризації ебонітової або скляної палички виникають порівняно невеликі заряди; через те сили, з якими вони взаємодіють, незначні. Сильнішу взаємодію можна спостерігати, зарядивши будь-які тіла від *електрофорної машини*, яка дає змогу безперервно розділяти і накопичувати позитивні та негативні заряди. З'єднані дротом-провідником з кульками машини «султани» (вузькі паперові смужки на штативах для демонстрації взаємодії заряджених тіл) все сильніше взаємодіють зі збільшенням кількості електричних зарядів на них (мал. 7).

З цих і попередніх дослідів добре видно, що **однойменні заряди відштовхуються, а різнойменні — притягуються**.

Тіла, які мають електричні заряди однакового знака (мал. 8, а, б), взаємно відштовхуються, а тіла, що мають заряди протилежних знаків, взаємно притягуються (мал. 8, в).



Мал. 7



Мал. 8

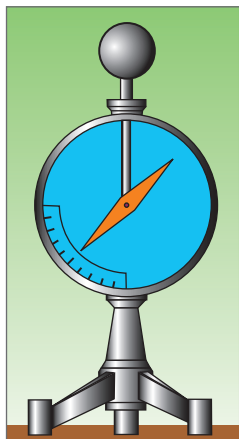
Явище взаємного притягання або відштовхування наелектризованих тіл використовують для виявлення, чи передано певному тілу електричний заряд. Дія пристрою, за допомогою якого виявляють, чи наелектризоване тіло, ґрунтується на взаємодії заряджених тіл. Такий пристрій називають **електроскопом** (від грецьких слів *електрон* — бурштин, електрика і *скопео* — спостерігаю, виявляю). Прилад, у конструкцію якого додано стрілку і шкалу для оцінювання значення електричного заряду, називають **електрометром** (мал. 9).

Крізь пластмасову вставку в металевій оправі корпусу електрометра пропущено металевий стержень, до якого прикріплено легку стрілку (або дві паперові смужки). Ця стрілка, заряджаючись від наелектризованого ебонітовою (скляною) паличкою стержня, відштовхується від нього й відхиляється на певний кут. Чим більший заряд електрометра, тим з більшою силою стрілка відштовхується від стержня і тим на більший кут вона відхиляється. Отже, за зміною кута відхилення стрілки електрометра можна визначити, збільшився чи зменшився його заряд. Аналогічні висновки можна робити за кутом розходження паперових смужок у найпростішому електроскопі, який може легко виготовити кожен учень зі скляної баночки, цвяха і пробки.

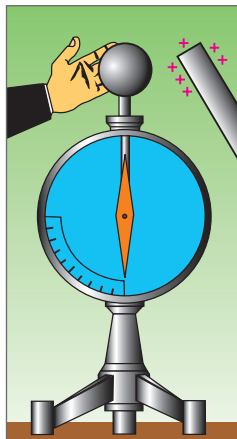
Якщо доторкнутися рукою до зарядженого стержня електрометра, то він розрядиться (електрометр заряду не матиме). Електричні заряди перейдуть на тіло та через нього можуть піти в Землю (мал. 10). Будь-яке заряджене тіло розрядиться, якщо його з'єднати із Землею залізною, мідною або алюмінієвою дротиною. Якщо заряджене тіло з'єднати із Землею скляною, ебонітовою або пластмасовою паличкою, то електричні заряди не переходять із тіла в Землю, тіло не розрядиться.

**За здатністю проводити електричні заряди речовини поділяють на провідники та непровідники електрики.**

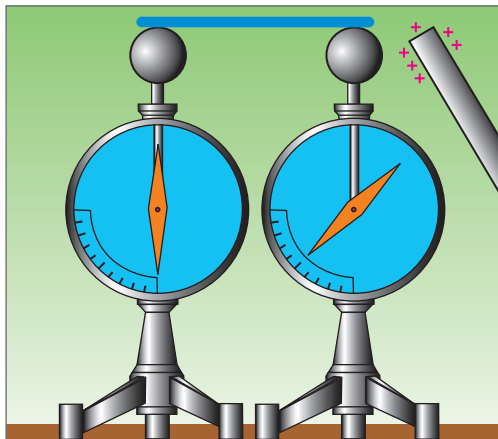
● **Дослід 1.** Зарядимо електрометр, з'єднаємо його за допомогою ебонітової, скляної, порцелянової або пластмасової палички з іншим таким самим електрометром, але незарядженим. У результаті дослідження побачимо, що другий електрометр не зарядиться (мал. 11).



Мал. 9



Мал. 10



Мал. 11

Порцеляна (фарфор), ебоніт, скло, бурштин (янтар), гума, шовк, капрон, пластмаса, гас, повітря — непровідники електрики. Тіла, виготовлені з таких речовин, називають *ізоляторами (діелектриками)* (від французького слова *ізолер* — відокремити).

● **Дослід 2.** Зарядимо електрометр, з'єднаємо його за допомогою будь-якого металевого провідника з таким самим, але незарядженим електрометром. Через провідник заряди перейдуть на незаряджений електрометр. Обидва електрометри стануть однаково зарядженими (мал. 12).

Усі метали, ґрунт, розчини солей і кислот у воді — добрі **провідники** електрики. Тіло людини також є провідником.

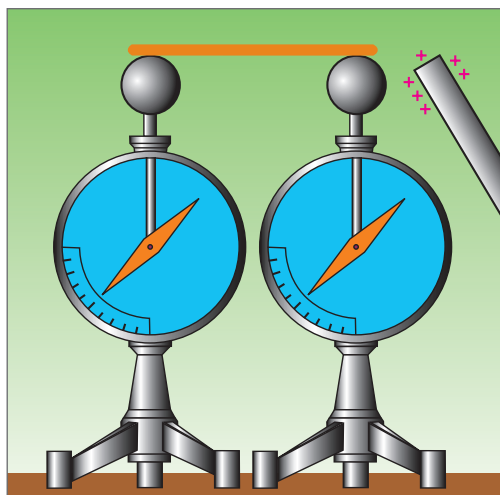
● **Дослід 3.** Роз'єднаємо заряджені в попередньому досліді електрометри і торканням розрядимо другий з них. Знову з'єднаємо його з першим електрометром, на якому залишилася половина початкового заряду. Заряд, що залишився на ньому, знову поділиться на дві рівні частини, і на першому електрометрі залишиться четверта частина початкового заряду. У такий самий спосіб можна отримати одну восьму частину, одну шістнадцяту частину початкового заряду і т. д.

Виникають запитання: доки можна зменшувати заряд? Чи існує межа поділу електричного заряду?

З метою довести, що існує межа поділу електричного заряду і встановити цю межу видатний фізик **А. Ф. Йоффе** (1880–1960) виконав досліди, в яких електризувалися дрібні порошинки цинку, видимі тільки в мікроскоп. Заряд порошинок кілька разів змінювали і щоразу його вимірювали. Досліди показали, що всі зміни заряду порошинок були в ціле число (тобто 2, 3, 4, 5 і т. д.) разів більші від певного найменшого заряду, тобто дискретні (від латинського слова *discretus* — роздільний, перервний). Оскільки електричний заряд властивий речовині, тому вчений зробив висновок, що в природі є така частинка речовини, яка має найменший заряд, що далі вже не ділиться. У 1897 р. зроблено відкриття, що дало змогу пояснити більшість електричних явищ: англійський учений **Дж. Дж. Томсон** відкрив частинку, що є носієм найменшого (елементарного) негативного електричного заряду. Цю частинку назвали **електроном**.

Значення заряду електрона вперше визначив американський учений **Р. Міллікен**. Свої досліди, подібні до дослідів А. Ф. Йоффе, він проводив з дрібними крапельками олії.

Електричний заряд — одна з основних властивостей електрона. Цей заряд не можна «забрати» з електрона. Більше того, заряд електрона не можна ні збільшити, ні зменшити. Він завжди має одне й те саме значення.



Мал. 12

Маса електрона дорівнює  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг, вона в 3700 разів менша від маси молекули Гідрогену. Маса крильця мухи приблизно в  $5 \cdot 10^{22}$  разів більша, ніж маса електрона.

**Електричний заряд — це фізична величина, що визначає електричну взаємодію (притягання, відштовхування) заряджених частинок.**

Позначають електричний заряд малою латинською літерою  $q$ .

У Міжнародній системі одиниць (СІ) одиницею електричного заряду є **один кулон (1 Кл)**. Цю одиницю названо на честь французького фізика *Шарля Кулона* (1736–1806), який відкрив закон взаємодії електричних зарядів.

Один кулон — це дуже великий заряд. У дослідах з електризації тіл, про які йшлося вище, ми мали справу із зарядами в мільйони і мільярди разів менші, ніж один кулон.

Абсолютне значення (модуль) найменшого електричного заряду позначають літерою  $e$  і називають **елементарним зарядом**:

$$e = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 16\ \text{Кл} = 1,6 \cdot 10^{-19}\ \text{Кл}.$$

За визначенням заряд електрона  $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Цей заряд у мільярди разів менший від заряду, що отримують у дослідах з електризації тіл тертям.



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Як взаємодіють між собою різнойменні заряди? Одноийменні?
2. Яка будова електроскопа? Для чого його використовують?
- 3\*. Як за допомогою зарядженого електроскопа встановити, які з предметів, виготовлених з різних речовин, є провідниками, а які — ізоляторами?
4. Чи можна електричний заряд ділити нескінченно?
5. Хто й коли відкрив електрон? Який електричний заряд має електрон? Чому дорівнює його маса?
6. Як називається одиниця заряду в СІ?
- 7\*. Чому заряд електрона можна назвати мінімальним елементарним зарядом?

## § 3

### БУДОВА АТОМА. ЙОНИ

Усі речовини складаються з різних атомів. Вид атомів з однаковим зарядом ядра називають **хімічним елементом**. Різним хімічним елементам відповідають і різні атоми.

**Атом — це найдрібніша частинка простої речовини, найменша частинка хімічного елемента, яка є носієм його хімічних властивостей.**

У давнину атом вважали найпростішою частинкою, яка не має власної структури. Слово «атом» походить від грецького слова *atomos* — неподільний. Однак на сьогодні відомо, що атом має складну структуру.

Вирішальну роль у дослідженні будови атома відіграли досліди, які провів у 1911 р. основоположник ядерної фізики *Ернест Резерфорд*. Він пропустив

випромінювання радіоактивних елементів крізь золоту фольгу. За характером розсіювання альфа-частинок Резерфорд установив, що атом в основному порожній: у центрі його розміщується дуже маленьке і щільне позитивно заряджене ядро, а ззовні — електрони. Згодом Резерфорд запропонував **планетарну модель атома**: електрони обертаються навколо масивного ядра подібно до того, як планети рухаються навколо Сонця.

Виявилось, що порівняно з розмірами самого атома ( $\sim 10^{-10}$  м) ядро дуже мале ( $\sim 10^{-14}$  м). Щоб уявити відносні розміри атома і його ядра, варто розглянути таку модель: якщо ядро атома — це кулька діаметром 1 мм (діаметр головки шпильки), то атом виглядатиме як куля діаметром 10 м (висота триповерхового будинку).

Маса ядра значно більша за масу електрона. Навіть у найлегшого атома — атома Гідрогену — його ядро у 1836 разів важче за масу електрона. В усіх інших атомів відношення маси ядра до маси електрона ще більше. А це означає, що **маса будь-якого атома майже дорівнює масі його ядра**, тобто масою електронів можна знехтувати.

Оболонка атома складається з електронів, сукупний негативний заряд яких за значенням дорівнює позитивному заряду ядра, оскільки в цілому атом електрично незаряджений, або **електронейтральний, чи нейтральний**.

Атоми різних елементів у звичайному стані відрізняються один від одного кількістю електронів, які рухаються навколо ядра. Так, в атомі Гідрогену навколо ядра рухається один електрон (мал. 13, а), в атомі Гелію — 2 електрони (мал. 13, б), Літію — 3 електрони (мал. 13, в), Урану — 92 електрони.

Основною характеристикою хімічного елементу є саме заряд ядра, а не кількість електронів.

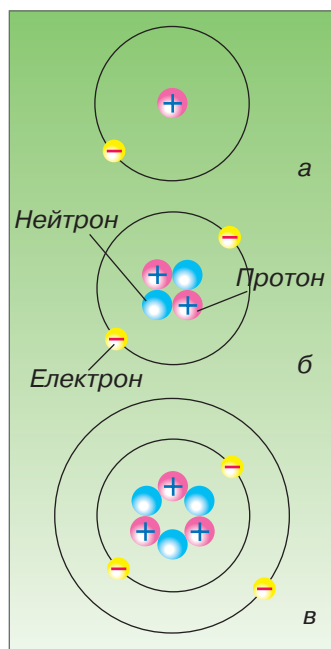
З дослідів, проведених Е. Резерфордом і Г. Мозлі в 1913 р., з'ясувалося, що заряд ядра визначається добутком елементарного заряду  $e$  і порядкового номера елемента  $Z$  у періодичній системі елементів Д. І. Менделєєва:

$$q_{\text{ядра}} = Ze.$$

Як зазначалося вище, атом у цілому електронейтральний, а заряд електрона  $q_e = -e$ . Це означає, що електронна оболонка атома містить  $Z$  електронів. Отже, порядковий номер  $Z$  елемента набуває фізичного змісту: він показує, у скільки разів заряд ядра більший за елементарний заряд.

*А з чого складається атомне ядро?*

У 1932 р. Д. Д. Іваненко запропонував протон-нейтронну модель ядра атома, згідно з якою атомне ядро складається з **протонів і нейтронів**. Протон — це позитивно заряджена частинка, маса якої у 1836 разів перевищує масу електрона. Електричний заряд протона збігається за модулем із зарядом електрона:  $q_{\text{пр}} = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.



Мал. 13

Ядра різних атомів містять різну кількість протонів. Наприклад, у ядрі атома Гідрогену міститься лише один протон, у ядрі атома Оксигену — вісім, у ядрі атома Урану — дев'яносто два протони.

Кількість протонів у ядрі збігається з порядковим номером відповідного елемента в періодичній системі (тобто  $Z$  — кількість протонів у ядрі), а також з числом електронів у атомі внаслідок його електронейтральності.

Крім порядкового номера у періодичній системі для кожного хімічного елемента зазначено відносну атомну масу, округлене ціле значення якої називають *масовим числом ядра*  $A$ . Масове число ядра  $A$  показує загальну кількість протонів і нейтронів у атомному ядрі:

$$A = Z + N,$$

де  $Z$  і  $N$  — відповідно число протонів і нейтронів у ядрі атома.

Маса нейтрона в 1839 разів перевищує масу електрона, електричний заряд нейтрона дорівнює нулю ( $q_n = 0$ ), тобто нейтрон є нейтральною частинкою. Щоб визначити кількість нейтронів  $N$  у ядрі, треба від масового числа  $A$  цього ядра відняти кількість протонів  $Z$  у ньому:

$$N = A - Z.$$

Оскільки нейтрони не мають заряду, то електричний заряд атомного ядра збігається із сумарним зарядом протонів у цьому ядрі.

Отже, уточнена будова атома така: **в центрі атома розміщується ядро, яке складається з нуклонів (протонів і нейтронів), а навколо ядра рухаються електрони.**

Згодом ученими пропонувалися досконаліші моделі будови атома, на цей час, як вам відомо з курсу хімії, загальноприйнятою є складніша оболонкова модель атома. Проте в нашому курсі для пояснення багатьох електричних явищ досить уявлень про уточнену планетарну модель.

Якщо атом втрачає один або кілька електронів, то такий атом називають **позитивним іоном**. Позитивно заряджені йони позначають хімічним знаком елемента і знаком «+» з числом, яке показує, скільки електронів утратив атом, наприклад  $K^+$ ,  $Zn^{2+}$  і т. д.

Відповідно атом, до якого приєдналися один або кілька електронів, називають **негативним іоном**. Позначають негативні йони відповідно  $Cl^-$ ,  $S^{2-}$  і т. д.



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що називається атомом? Яка його будова?
2. Навколо чого обертаються електрони всередині атома?
3. Чому дорівнює електричний заряд ядра атома?
- 4\*. Який фізичний зміст порядкового номера хімічного елемента?
- 5\*. Доведіть, що атом у цілому нейтральний.
6. Хто й коли запропонував планетарну модель атома?
7. З яких частинок складається атомне ядро?
- 8\*. Що являють собою позитивні й негативні йони? Як вони утворюються?

## § 4 ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ

Відомо, якщо в результаті взаємодії тіл відбувається зміна значень мас цих тіл або їх частин, то загальна маса тіл та їх частин не змінюється. Наприклад, після вибуху гарматного ядра сума мас його уламків дорівнює масі оболонки цього ядра до вибуху. Під час електризації тіл та взаємодії між ними також відбувається перерозподіл електричних зарядів між тілами. *Чи змінюється при цьому загальний заряд тіл, що взаємодіють, чи можуть виникати або зникати електричні заряди тільки одного знака?*

● **Дослід 1.** Закріпимо на стержні електрометра металевий диск, покладемо на нього клаптик сукна і накріємо його таким самим диском, але з ручкою із діелектрика. Виконаємо диском кілька рухів по клаптику сукна і заберемо диск. Ми побачимо, що стрілка електрометра відхилиться на певний кут, що свідчить про появу електричного заряду на сукні й диску (мал. 14, а).



Мал. 14

Диском, яким терли об сукно, доторкнемося до стержня другого такого самого електрометра. Його стрілка відхилиться на такий самий кут, як і в першому електрометрі (мал. 14, б). Це означає, що під час електризації обидва диски отримали рівні за модулем заряди.

*А що можна сказати про знаки цих зарядів?* Щоб відповісти на це запитання, з'єднаємо стержні обох електрометрів металевим провідником. Ми побачимо, що стрілки обох приладів повернуться в нульове положення, тобто заряди електрометрів нейтралізуються. Це означає, що заряди, набуті дисками під час електризації, були рівними за модулем, але протилежними за знаком, тому їхня сума дорівнює нулю.

Цей та інші досліди показують, що під час електризації **загальний (сумарний) заряд тіл зберігається**: якщо він дорівнював нулю до електризації, то таким самим він залишається і після електризації.

*Чому так відбувається?* Якщо скляну паличку терти об шовк, то вона, як ви вже знаєте, заряджається позитивно, а шовк — негативно. Відбувається це внаслідок того, що певна кількість електронів під час контакту перейшла зі скляної палички на шовк, створюючи тим самим нестачу електронів на паличці, тобто позитивний заряд, і такий самий за модулем негативний заряд на шовку з надлишком тих самих електронів. При цьому повний електричний заряд на шовку і скляній паличці залишається рівним нулю, тобто зберігається.



Повний електричний заряд зберігається і в тому випадку, якщо початкові заряди тіл не дорівнювали нулю.

Отже, під час електризації тіл справджується фундаментальний закон природи, що називається **законом збереження електричного заряду**. Цей закон справедливий лише для електрично ізольованих, або замкнутих, систем, які не обмінюються електричними зарядами з тілами чи частинками, що не входять до цих систем.

**У замкнутій системі заряджених тіл алгебраїчна сума зарядів залишається сталою.**

Якщо окремі заряди позначити через  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ , то

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}.$$

З цього закону також випливає, що під час взаємодії заряджених тіл не може виникнути чи зникнути заряд тільки одного знака. Виникнення позитивного електричного заряду завжди супроводжується появою такого самого за модулем негативного електричного заряду.

Закон збереження заряду був установлений у 1750 р. американським ученим і видатним політичним діячем **Бенджаміном Франкліном**. Він також уперше ввів поняття про позитивні й негативні електричні заряди, позначивши їх знаками «+» і «-».



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Чому на скляній паличці і на шовку під час дотику утворюються заряди, рівні за модулем і протилежні за знаком?
2. Чому дорівнює сумарний заряд під час електризації тіл?
3. Сформулюйте закон збереження електричного заряду.
4. Наведіть приклади явищ, у яких спостерігається збереження заряду.
- 5\*. Є три однакові металеві ізольовані кулі, одна з яких електрично заряджена. Як зробити, щоб дві інші набули таких самих зарядів, але різних за знаком?

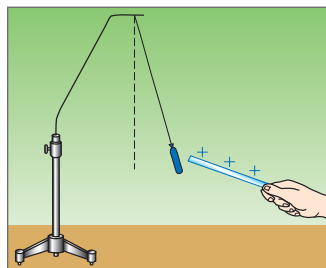
## § 5

### ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ. ВЗАЄМОДІЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ТІЛ

Спостереження та проведені досліди підтверджують, що наелектризовані тіла взаємодіють одне з одним на відстані — притягуються або відштовхуються. *Яким же чином передається дія наелектризованого тіла на інше тіло?*

● **Дослід 1.** Підвісимо на нитці заряджену гільзу і піднесемо до неї наелектризовану скляну паличку. Навіть за відсутності безпосереднього контакту гільза на нитці відхиляється від вертикального положення (мал. 15).

Заряджені тіла, як бачимо, здатні взаємодіяти одне з одним на відстані. Але як при цьому передається дія одного із цих тіл до іншого? *Можливо,*

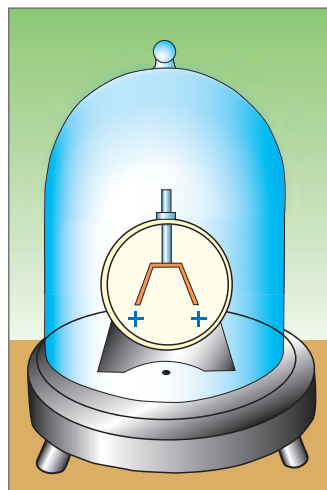


Мал. 15

справа у повітрі, що міститься між ними? З'ясуємо це на досліді.

● **Дослід 2.** Помістимо заряджений електроскоп (без скла) під ковпак повітряного насоса, після чого відкачаємо з нього повітря (мал. 16). Ми побачимо, що в безповітряному просторі листочки електроскопа будуть так само відштовхуватися один від одного. Отже, на передачу електричної взаємодії повітря не впливає. Яким же чином здійснюється взаємодія заряджених тіл?

Вивчаючи взаємодію наелектризованих тіл, учені *Майкл Фарадей* (1791–1867) і *Джеймс-Кларк Максвелл* (1831–1879) установили, що в просторі навколо електричного заряду існує **електричне поле**. За допомогою цього поля і здійснюється електрична взаємодія.



Мал. 16

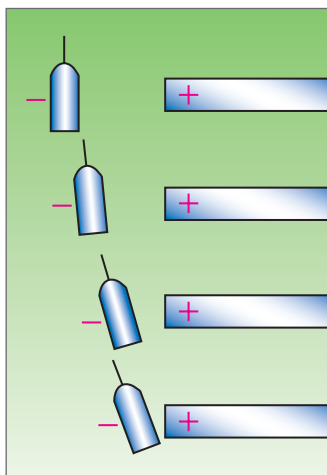
▶ **Електричне поле — це особливий вид матерії, який відрізняється від речовини і існує навколо будь-яких заряджених тіл.**

Органами чуття людини не можна сприймати електричне поле, його можна виявити лише за його дією на електричні заряди.

Спостереження і досліди дають змогу встановити основні властивості електричного поля.

▶ **Електричне поле зарядженого тіла діє з певною силою на будь-яке інше заряджене тіло, що перебуває в цьому полі.**

Це підтверджують усі досліди, в яких демонструється взаємодія заряджених тіл.



Мал. 17, а

▶ **Електричне поле, створюване зарядженим тілом, діє на заряджені тіла, що розміщуються поблизу від нього, сильніше, ніж на тіла, що розміщуються на більшій відстані.**

Переконаємося в цьому, виконавши такий дослід.

● **Дослід 3.** Підвісимо на нитці негативно заряджену гільзу. Розмістимо неподалік від неї паличку із зарядом позитивного знака (мал. 17, а). Наближатимемо підставку з гільзою до зарядженої палички. Дослід показує, що чим ближче гільза до палички, тим з більшою силою діє на неї електричне поле зарядженої палички.

▶ **Силу, з якою електричне поле діє на заряджені тіла, що перебувають у цьому полі, називають електричною силою.**

Слід мати на увазі, що не тільки заряджена паличка своїм електричним полем діє на заряджену гільзу, а й гільза, в свою чергу, власним електричним полем діє на паличку. Така спільна дія електричних полів кожного із заряджених тіл на інше і характеризує електричну **взаємодію заряджених тіл**.

● **Дослід 4.** Підвісимо на нитці незаряджену гільзу з алюмінієвої фольги. Розмістимо неподалік від неї позитивно заряджену паличку, як у досліді 3 (мал. 17, б). Під час зближення палички і гільзи побачимо, що незаряджена гільза також притягується до палички подібно до випадку із зарядженою гільзою.

Чому незаряджена гільза притягується до наелектризованої палички?

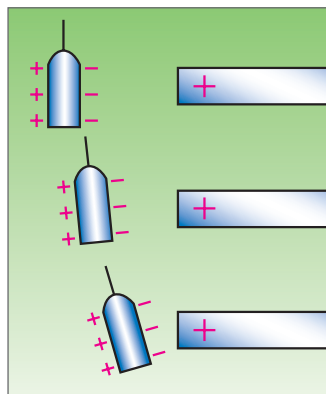
У металах електрони із зовнішніх оболонок атомів легко відриваються від них, утворюючи позитивні йони, які розташовані у вузлах кристалічних ґрат. Ці вільні електрони можуть легко пересуватися по всьому кристалу, електричне поле позитивно зарядженої палички діє на них, і вони, притягуючись до палички, збираються на тому боці гільзи, що розташований найближче до палички. Отже, ця частина гільзи набуває негативного заряду, а протилежна частина гільзи виявляється «збідненою» на електрони і набуває позитивного заряду. Оскільки електричне поле сильніше діє на ближчий до палички негативний заряд, ніж на віддалений позитивний, то результуючою дією і буде притягування гільзи паличкою.

Описаний дослід ілюструє явище **електростатичної індукції**, а тип електризації тіл без торкання до них зарядженим тілом, як вже згадувалося, називають **електризацією впливом, або індукцією**.

Дія електричного поля на заряди виявляється також і в дослідах з діелектриками. Якщо діелектрик розміщений в електричному полі, то позитивно заряджені частинки (йони) під дією електричного поля зміщуються в один бік, а негативно заряджені частинки (електрони) — в інший. Це явище називають **поляризацією діелектрика**.

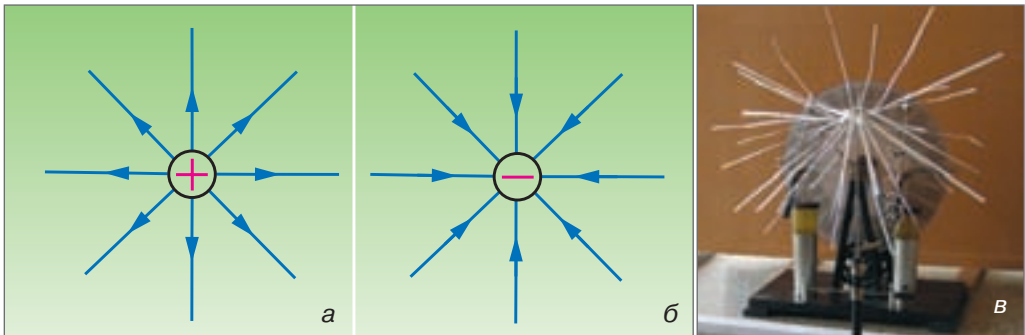
Саме поляризацією пояснюються досліди, в яких відбувається притягання зарядженими тілами легеньких клаптиків паперу, ворсинок, які в цілому нейтральні. Однак в електричному полі наелектризованого тіла (скляної або ебонітової палички, гребінця) вони поляризуються. На тій частині клаптика паперу, що розміщена ближче до палички, виникає заряд, протилежний за знаком заряду палички. Взаємодія з ним і спричиняє притягання клаптиків паперу до наелектризованого тіла.

Електричне поле зображають графічно за допомогою **силових ліній** (мал. 18).



Мал. 17, б

▶ **Силкові лінії електричного поля — це умовні лінії, що вказують напрям сили, яка діє в цьому полі на розміщене в ньому позитивно заряджене маленьке тіло.**



Мал. 18

На малюнку 18 зображено силові лінії поля, яке створюється позитивно (а) і негативно (б) зарядженим тілом. Подібні картинки ми спостерігали, коли проводили досліди з електричними «султанами» (мал. 18, в).



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що таке електричне поле?
2. Назвіть основні властивості речовини.
3. Назвіть основні властивості електричного поля.
4. Що вказують силові лінії електричного поля?
- 5\*. Чому нейтральні шматочки паперу притягаються до наелектризованого тіла?
- 6\*. Поясніть, чому після надання електричному султанові заряду його паперові смужки розходяться в різні боки.
- 7\*. Як можна виявити наявність електричного поля, адже в нас немає для цього ніяких спеціальних органів чуття?

### ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Інколи мандрівникам, особливо альпіністам, яких зненацька темною ніччю застала в горах гроза, доводилося спостерігати таке рідкісне явище. Під час грози палки, обковані залізом, починають звучати, і на їх кінцях у темряві виникає свічення. Волосся на голові й бороді стає дибки, голова починає світитися. Іноді вогники з'являються також на поверхні одягу.

Світаються і вершини високих дерев, громовідводів, антен, корабельні щогли. Таке свічення називається «вогнями святого Ельма», за іменем, що присвоєне церкві, на шпилі якої це явище помітили вперше. Пояснюється це явище так. Перед грозою електричне поле поблизу гострих предметів, що виступають над поверхнею Землі, іноді стає настільки сильним, що виникає електропровідність повітря і протікання струму в газі (електричний розряд) супроводжується випромінюванням світла.

- Одна з «професій» електричного поля — електрофарбування. Воно пояснюється явищем переміщення зарядів у електричному полі. Предмет, що фарбують, приєднують до негативного полюса електричної машини, а фарбопульта — до позитивного. Позитивно заряджені краплини фарби, що відриваються від фарбопульта, рухаються в електричному полі до негативно зарядженого предмета і рівномірно вкривають його. Такий спосіб фарбування дуже економічний і значно підвищує якість фарбування.

Фарбувати в електричному полі можна вироби з металу, дерева, скла, гуми тощо. Тому цей спосіб застосовують не тільки в машинобудівній, а й у взуттєвій, деревообробній і меблевій промисловості.

• Димарі заводів, фабрик, теплових електростанцій викидають багато диму, який забруднює і отруює повітря. Щохвилини наші легені пропускають близько 10 л повітря, а за добу — майже 15 м<sup>3</sup>. Людському організмові потрібне чисте повітря. Тому для очищення повітря від диму застосовують електрофільтри. Електрофільтри — це металеві циліндри, по осі яких натягнуто негативно заряджений провід. Циліндри мають позитивний заряд. Під дією електричного поля, створеного всередині циліндра, дрібні частинки, заряджені негативно, рухаються до стінок і осідають на них. Зі стінок пил або сажу періодично зчищають. За добу з електрофільтра середніх розмірів збирають кілька тонн уловленого пилу і сажі. На одному з цементних заводів за 12 років електричний фільтр уловив 340 000 т цементного пилу. Уявіть, скільки будівель могло «вилетіти в трубу», якби не було фільтра.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЗАРЯДЖЕНИХ ТІЛ

- **Мета роботи:** вивчити електризацію тіл і дослідити взаємодію заряджених тіл.
- **Прилади і матеріали:** дві однакові пластмасові ручки, смужки паперу та поліетиленової плівки, клаптики паперу, нитки, штатив з лапкою.

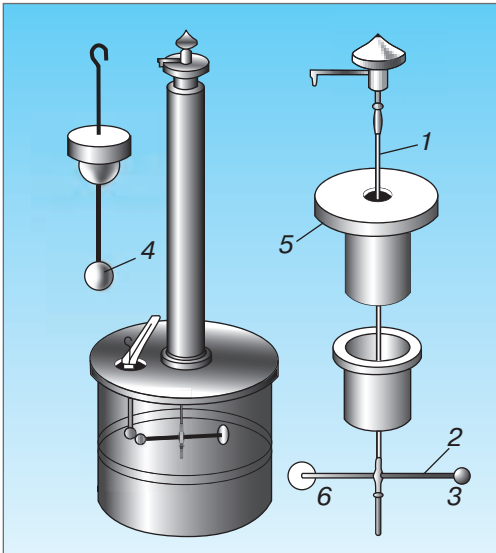
#### Хід роботи

1. Підвісьте на нитці пластмасову ручку до лапки штатива так, щоб вона займала горизонтальне положення. Один кінець ручки натріть папером.
2. Кінець другої ручки натріть папером і піднесіть до натертого кінця підвішеної ручки. Спостерігайте, як взаємодіють тіла.
3. Потріть ручку об поліетиленову смужку і знову перевірте взаємодію з ручкою, що висить.
4. На паперову смужку покладіть поліетиленову смужку і розгладьте її рукою. Підніміть смужки за кінці, розведіть і піднесіть одну смужку до другої. Що відбуватиметься зі смужками?
5. Піднесіть по черзі заряджені смужки до наелектризованої ручки. Що відбувається зі смужками? Як залежить взаємодія від відстані між зарядженими тілами?
6. Покладіть поруч дві поліетиленові смужки і потріть їх сухою рукою. Підніміть їх за кінці і піднесіть одну до одної. Спостерігайте за їх взаємодією.
7. Повторіть попередній дослід, тільки потріть їх сильніше. Як змінилася взаємодія смужок?
8. Зробіть висновки щодо виконаних дослідів. Результати запишіть у зошит.

## § 6 ЗАКОН КУЛОНА

Виконуючи досліди, ми переконалися, що сила взаємодії між зарядженими тілами залежить від ступеня електризації тіл, їх форми і відстані між ними. На практиці немає єдиної формули, яка описувала б електричну взаємодію заряджених тіл за довільних умов. Однак у 1785 р. Шарль Кулон запропонував просту формулу, яка описувала закон взаємодії **точкових зарядів** у вакуумі.

**Точковими зарядами називають заряджені тіла, розміри яких дуже малі порівняно з відстанями, на яких ці тіла взаємодіють.**



Мал. 19

Подібною ознакою ми скористалися раніше для означення поняття матеріальної точки. У своїх дослідах Кулон використав маленькі заряджені кульки. У **крутильних терезах** (мал. 19) легке скляне коромисло 2, підвішене на пружній тонкій нитці 1, закінчується з одного боку металевою кулькою 3, а з іншого — противагою 6. Через отвір у кришці можна було вносити всередину наелектризовану кульку 4, однакової за розміром з кулькою 3. Кулон торкався кулькою 4 до кульки 3. При цьому заряд перерозподілявся між цими кульками, і вони відштовхувалися одна від одної. Коромисло поверталось і закручувало нитку доти, доки сила пружності, що

виникла в нитці, не врівноважувала силу електричної взаємодії. Повертаючи рукоятку у верхній частині приладу, до якої прикріплена нитка, можна було змінювати кут закручування нитки, в результаті чого змінювалася сила пружності, а внаслідок цього — і відстань між зарядами.

**Ш. Кулон визначив: сила електричної взаємодії між точковими зарядами обернено пропорційна квадрату відстані між ними.**

Складність експерименту полягала в тому, що вчений не володів точним методом вимірювання заряду на кульках, тому йому довелося застосувати такий прийом. До наелектризованої кульки він торкався незарядженою кулькою такого самого розміру, яку потім віддаляв на значну відстань. Оскільки при цьому заряд розподілявся порівну між обома кульками, заряд пробної кульки зменшувався вдвічі. Виявилось, що в стільки ж разів зменшилась і сила електричної взаємодії. Виконуючи дослід кілька разів, Кулон дійшов висновку: **сила електричної взаємодії пропорційна добутку точкових зарядів, що взаємодіють.**

Досліди Кулона були не дуже точними, оскільки кульки мали великі розміри і сила вимірювалась зі значною похибкою (порядку 3 %). Крім того,

досліди проводилися в повітрі, що також спотворювало результати експерименту. Вважаючи, що точкові заряди взаємодіють у вакуумі, Кулон сформулював закон, який підтверджується всією сукупністю електричних явищ.

**Сила взаємодії між двома нерухомими точковими електричними зарядами прямо пропорційна добутку цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.**

Якщо позначити модулі точкових зарядів через  $q_1$  і  $q_2$ , а відстань між ними — через  $r$ , то в СІ модуль сили  $F$  електричної взаємодії у вакуумі дорівнюватиме:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

де  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$  — *електрична стала*. Якщо точкові заряди взаємодіють у певному середовищі, то закон Кулона слід записувати так:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

де  $\epsilon$  — *діелектрична стала* (для вакууму  $\epsilon = 1$ , для різних речовин подається в таблицях).

Іноколи використовують електричну сталу у вигляді:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

У цьому разі формула для закону Кулона набуває такого вигляду:

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

З цієї формули видно: якщо відстань між двома точковими зарядами по 1 Кл кожний дорівнює 1 м, то сила взаємодії між ними у вакуумі дорівнюватиме  $9 \cdot 10^9$  Н.



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Який заряд називають точковим?
2. Чому Ш. Кулон, виконуючи дослід, був упевнений, що електричний заряд змінюється саме вдвічі?
3. Сформулюйте закон Кулона.
- 4\*. Чому у формулюванні закону Кулона слід обов'язково користуватися терміном «точковий заряд»?
5. Як визначають одиницю заряду 1 кулон?
- 6\*. Чому за одиницю заряду не прийняли заряд електрона?

## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

### ► Розв'язуємо разом

1. Якщо гладити шерсть кішки долонею, можна помітити в темноті невеликі іскорки, які виникають між рукою і шерстю. Яка причина виникнення іскор?

Відповідь: іскри виникають у результаті електризації руки під час тертя об шерсть.

2. Є щітки, які очищують одяг, притягуючи до себе пил. Дайте пояснення.

Відповідь: такі щітки виготовляють зі спеціального матеріалу, який під час тертя сильно електризується.

3. Найважчий з природних атомів Уран. Який склад цього атома?

Відповідь: кількість електронів у атомі (вона збігається з порядковим номером елемента)  $Z = 92$ ; загальна кількість частинок (вона збігається з масовим числом)  $A = 238$ ; число протонів у ядрі (воно збігається з числом електронів у атомі)  $Z = 92$ ; кількість нейтронів у ядрі:

$$N = A - Z; N = 238 - 92 = 146.$$

4. З якою силою взаємодітимуть два точкових заряди по  $10^{-4}$  Кл кожний, якщо їх розмістити у вакуумі на відстані 1 м один від одного?

Дано:

$$q_1 = q_2 = 10^{-4} \text{ Кл}$$

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

$$r = 1 \text{ м}$$

$$\pi = 3,14$$

$$F = ?$$

Розв'язання

Використаємо формулу:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

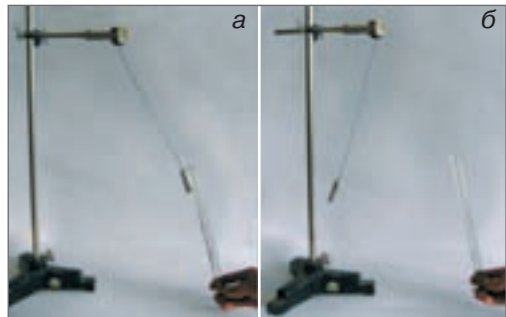
Підставивши значення фізичних величин, отримаємо:

$$F = \frac{10^{-4} \text{ Кл} \cdot 10^{-4} \text{ Кл}}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \cdot 1 \text{ м}^2} = 90 \text{ Н}.$$

Відповідь:  $F = 90 \text{ Н}$ .

### Рівень А

1. Як можна показати, що на обох тілах під час їх тертя виникають електричні заряди?
2. Як пояснити виникнення на одному з натертих тіл позитивного заряду, а на другому — негативного?
3. На шовковій нитці підвішено незаряджену гільзу з алюмінієвої фольги. Якщо до неї наблизити наелектризовану скляну паличку, то гільза притягнеться до неї. Чому гільза одразу після дотикання до палички відштовхується від неї (мал. 20, а, б)?



Мал. 20



4. Як пояснити, що між пасами і шківками машин та трансмісій періодично виникають іскри?
5. Якщо гладити рукою сухе, чисто вимите волосся чи розчісувати його гребінцем, то воно піднімається за рукою або за гребінцем. Як пояснити це явище?
6. Чому можна наелектризувати скляну паличку, тримаючи її в руках, і не можна наелектризувати металеву? Що треба було б зробити, щоб наелектризувати металеву паличку?
7. Синтетичні тканини, якими оббивають сидіння автомобілів, швидко забруднюються внаслідок їх електризації. Чому? Як запобігти цьому?
8. Якщо ебонітову паличку натерти гумою, то вона наелектризується позитивно, а якщо натерти хутром — то негативно. У чому — хутрі чи гумі — атоми слабше утримують електрони, що входять до їх складу?
9. Чи можна ебонітову паличку натиранням електризувати так, щоб одна половина її була заряджена позитивно, а друга — негативно? (Див. умову попередньої задачі).
10. Чому метали внаслідок натирання їх вовною або шовком електризуються тільки позитивно?
11. На однакових нитках підвісили дві кульки. Одна з них відштовхується від позитивно зарядженої палички, а друга — притягується. До негативно зарядженої палички обидві кульки притягуються. Що можна сказати про електричний стан цих кульок?
12. Відомо, що однойменно заряджені тіла відштовхуються. В якому шкільному приладі застосовується властивість заряджених тіл відштовхуватися? Як він діє?
13. Листочки електроскопа починають розходитися ще до того, як доторкнуться до нього зарядженою паличкою. Яка причина цього явища? Чому листочки опадають, як тільки ми віддалимо паличку?
14. Чому кульку і стержень електроскопа виготовляють з металу?  
Як пояснити, що заряджений електроскоп розряджається, як тільки до його кульки доторкнутися пальцем?
15. Чому в приміщенні, де багато людей, заряджений електроскоп швидко втрачає заряд?
16. Чому тіла погано електризуються, якщо в кімнаті висока вологість?
17. З перелічених речовин назвіть провідники та ізолятори: срібло, ебоніт, порцеляна, розчин кухонної солі, мідь, шовк, тіло людини, алюміній, гас.
18. Чому корпуси штепсельних розеток, вилок, патронів, вимикачів тощо роблять з пластмаси чи фарфору?
19. Чому під час роботи електромонтери надівають гумові чоботи та рукавиці (мал. 21)?

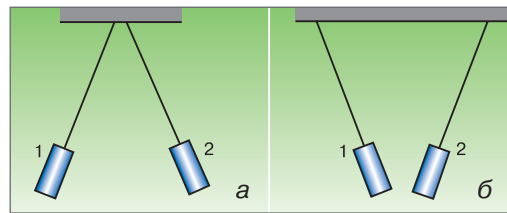


Мал. 21

20. Яким способом можна виявити електричне поле і його дію?
21. Скільки електронів  $e$  в атомі: а) Купруму (Cu); б) Силіцію (Si); в) Йоду (I)?
22. Який склад атомів Флуору (F), Аргентуму (Ag), Платини (Pt), Цинку (Zn)?
23. Чому дорівнює загальний заряд усіх електронів у атомі Оксигену?
24. В якого атома загальний заряд усіх електронів дорівнює  $q = -16 \cdot 10^{-19}$  Кл?
25. Два заряди  $2,3 \cdot 10^{-6}$  Кл і  $3,5 \cdot 10^{-5}$  Кл розміщені у вакуумі на відстані 1,7 см. Визначити силу взаємодії між ними.

### Рівень Б

26. Як можна встановити, яка з двох однакових бузинових кульок, підвішених на тонких шовкових нитках, наелектризована, а яка — ні?
27. Як заряджена гільза 1 (мал. 22, а), якщо гільза 2 заряджена позитивно? Як заряджена гільза 2 (мал. 22, б), якщо гільза 1 заряджена негативно?
28. Під час перевезення в цистернах бензину, гасу вони електризуються, що може призвести до їх загоряння. Яких заходів вживають, щоб нейтралізувати заряди, що виникають внаслідок електризації бензину, гасу?
29. Якщо піднести до незарядженої гільзи на нитці наелектризовану ебонітову паличку, то вона швидко притягнеться до палички, відразу відскочить і утримуватиметься на певній відстані. А коли піднести наелектризовану скляну паличку, то гільза знову притягнеться. Який висновок можна зробити з цього досліду?
30. Чому спочатку помітили електризацію тіл з бурштину, скла, а не міді або олова?
31. Взяти дві однакові металеві кулі. В одній з них не вистачає електронів, а в другій — 4000 зайвих. Кулі з'єднали. Як були заряджені кулі до з'єднання і як — після їх з'єднання?
32. Коли в простір, що оточує наелектризоване тіло, вносять інше заряджене тіло, то на нього діє електрична сила, а в просторі, що оточує ненаелектризоване тіло, цього не спостерігається. Чому ж тоді до зарядженого тіла притягуються дрібні клаптики паперу?
33. Як можна перенести заряд з наелектризованого тіла на ненаелектризоване за допомогою третього ненаелектризованого тіла?
34. Як пояснити, що електризацію тертям помітили на речовинах, які належать до непровідників електрики?
35. Чому під час дослідів з електроскопом до його кульки не тільки торкаються наелектризованою паличкою, а й проводять нею по кульці?
36. Під час демонстрування дослідів з електрики рекомендують ебонітові та скляні палички завжди брати за один кінець. Чому?
37. Чи можна виготовити електроскоп з пластмасовим, ебонітовим або скляним стержнем? Чому?



Мал. 22

38. Як за допомогою електроскопа можна визначити знак заряду наелектризованого тіла?
39. Як пояснити, що іноді електроскоп сам розряджається швидко, а іноді — повільно?
40. Щоб електроскоп добре працював, перед дослідями рекомендують його просушити. Навіщо?
41. Перед дослідями з електрики підставки, ебонітові палички рекомендують протерти ганчіркою, зволоженою гасом. Навіщо?
42. Листочки зарядженого електроскопа ще більше розходяться, коли до нього підносять позитивно заряджену паличку, а коли віддаляють, то займають попереднє положення. Який заряд фіксував електроскоп?
43. Навіщо складальники і ремонтники комп'ютерів під час роботи вдягають на руку заземлений браслет?
44. Чому в грозу не можна запускати паперового змія?
45. До кульки електроскопа, не торкаючись її, підносять наелектризовану ебонітову або скляну паличку. Смужки електроскопа розходяться. Якщо забрати паличку, то смужки знову опадають. Як пояснити це явище?
46. До кульки наелектризованого електроскопа, не торкаючись її, підносять тіло, що має такий самий заряд. Що буде зі смужками, коли наелектризоване тіло забрати?
47. Чому під час дослідів з наелектризованою ебонітовою чи скляною паличкою і клаптиками паперу останні наче танцюють: то підстрибують до палички, то знову падають?
48. Смужки «султана» притягуються до піднесеної наелектризованої палички. Чи значить це, що вони також наелектризовані?
49. Чому дорівнює заряд ядра атома Меркурію (Hg)? У скільки разів він більший за заряд ядра атома Гелію (He)?
50. Від атома Купруму (Cu) відокремився один електрон. Як називається утворена частинка? Який її заряд?
51. Визначте склад атома Силіцію (Si).
52. Електроскопу надали заряду, що дорівнює  $q = - 6,4 \cdot 10^{-10}$  Кл. Якій кількості електронів відповідає цей заряд?
53. Чи може існувати частинка, заряд якої дорівнює  $- 4,8 \cdot 10^{-19}$  Кл? Якій кількості елементарних зарядів відповідає такий заряд?
54. Якій кількості елементарних зарядів відповідає електричний заряд, що дорівнює 1 Кл?
55. Маємо дві однакові металеві кульки, підвішені на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює 10 нКл, другої — 16 нКл. Кульки зіткнули і розвели. Які заряди будуть у кульок після зіткнення?  $1 \text{ нКл} = 10^{-9}$  Кл.
56. Який заряд матиме кожна з трьох однакових металевих кульок після того, як їх зіткнули і розвели, якщо початкові заряди кульок дорівнювали відповідно 6 нКл,  $- 4$  нКл і 7 нКл?

## ІСТОРИЧНА ДОВІДКА



Шарль Кулон

**Кулон Шарль Огюстен** народився 14 червня 1736 р. в Ангулемі. Навчався у Парижі в Коледжі чотирьох націй (Коледж Мазаріні), потім переїхав до Монпельє.

У лютому 1757 р. Ш. Кулон на засіданні Королівського наукового товариства прочитав свою першу наукову працю «Геометричний нарис середньопропорційних кривих». Пізніше його обирають ад'юнктом з класу математики. В лютому 1760 р. Шарль Кулон вступає до Мезьєрської школи військових інженерів, яку закінчив у листопаді 1761 р., отримавши призначення в порт Брест на західному побережжі Франції.

Незабаром Ш. Кулон потрапляє на Мартініку. Завдяки успіхам на будівництві форту на Монт-Граньє в березні 1770 р. він стає капітаном. У цей час Кулон займався винайденням способу виготовлення магнітних стрілок для точних вимірювань магнітного поля Землі, а в 1784 р. закінчив написання праці «Теоретичні та експериментальні дослідження сили кручення і пружності металевих дротів».

У вересні 1781 р. Кулона перевели в Париж, а в грудні цього року обрали в академію з класу механіки. Провівши багато дослідів з вивчення тертя, він дослідив залежність тертя ковзання від відносної швидкості руху стичних тіл з використанням великих навантажень. Працею Ш. Кулона «Теорія простих машин» користувалися інженери протягом майже цілого століття.

З метою застосування розроблених власноруч крутильних терезів Ш. Кулон заглибився у проблеми магнетизму та електрики. Завдяки цьому він установив основний закон електростатики — закон взаємодії точкових зарядів.

В останні роки життя Шарль Кулон займався організацією системи освіти у Франції. Але в результаті частих поїздок по країні влітку 1806 р. вчений захворів на лихоманку і 23 серпня 1806 р. помер.

## ПЕРЕВІРТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

### Контрольні запитання

1. Чому про деякі частинки говорять, що вони мають електричний заряд?
2. Чому заряджені тіла можуть притягуватися одне до одного або відштовхуватися?
3. Заряд яких частинок дорівнює за значенням мінімальному (елементарному) заряду?
4. Чому тіла заряджаються позитивно або негативно?
5. Який фізичний зміст має порядковий номер хімічного елемента?
6. Незаряджені тіла називають *електрично нейтральними*. За яких умов при контакті відбувається повна нейтралізація наелектризованих тіл?

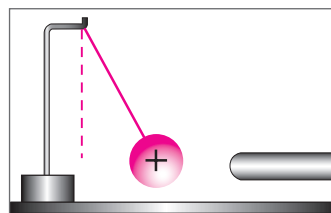
У підручнику  
не писати

7. Яким дослідом з двома електromетрами можна підтвердити закон збереження електричного заряду?
8. Що дає змогу стверджувати, що навколо зарядженого тіла існує електричне поле?
9. Які ви знаєте основні властивості електричного поля?
10. На що вказують силові лінії електричного поля?
11. Чому під час формулювання закону Кулона слід обов'язково вживати термін «точковий заряд»?
12. Чому за одиницю заряду не був прийнятий заряд електрона?

### Що я знаю і вмію робити

#### Я знаю, які заряди існують у природі

1. Який заряд має ебонітова паличка (мал. 23)?
2. Як зарядилася стрілка електromетра (мал. 24)?
3. На малюнку 25 зображено кульки синього, червоного, жовтого кольорів, які взаємодіють. Який заряд має жовта кулька в усіх випадках?
4. Скляну паличку натерли шовковою тканиною. Який заряд отримала паличка? шовкова тканина? Поясніть взаємодію між паличкою та кулькою; між тканиною та кулькою (мал. 26).



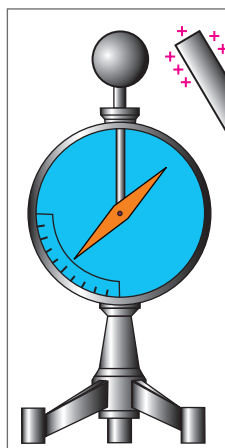
Мал. 23

#### Я вмію пояснювати явище електризації тіл

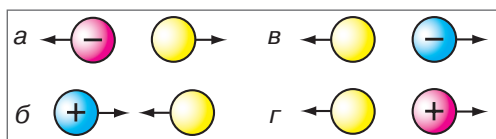
5. Струміння піску, що висипається з вузького отвору, відхиляється в різні боки, якщо до нього піднести заряджену ебонітову або скляну паличку. Як пояснити це явище?
6. Чи будуть електричні заряди взаємодіяти на Місяці, де немає атмосфери?

#### Я вмію виконувати дослід

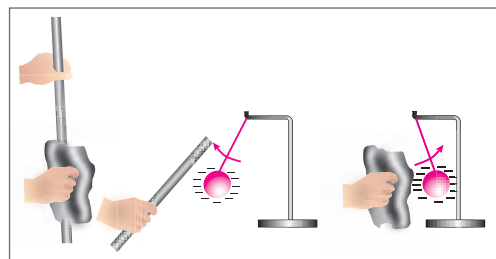
7. Наелектризуйте об волосся гребінець, після чого торкніться ним маленької пір'їнки. Що при цьому відбудеться з пір'їнкою? Стряхніть пір'інку з гребінця і, коли вона перебуватиме в повітрі, змусьте її залишатися на одній і тій самій висоті, підставляючи знизу на деякій відстані наелектризований гребінець. Чому пір'інка перестає падати? Що втримуватиме її в повітрі?



Мал. 24



Мал. 25



Мал. 26

8. Наповніть дитячу повітряну кульку повітрям, після чого потріть її об вовну, хутро або своє волосся. Поясніть, чому кулька починає «прилипати» до різних предметів і навіть до стелі.

**Я знаю, яку будову має атом**

9. Атом якого хімічного елемента містить: а) 15 електронів; б) 79 електронів; в) 100 електронів?
10. Від атома Гелію відокремився один електрон. Як називається утворена частинка? Який її заряд?
11. До атома Оксигену приєднався один електрон. Як називається утворена частинка? Який її заряд?
12. Під час електризації скляної палички вона набула заряду  $3,2 \cdot 10^{-10}$  Кл. Скільки електронів вона втратила?

**Я вмію застосовувати закон збереження електричного заряду**

13. Маємо дві однакові металеві кульки, підвішені на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює 4 нКл, заряд другої —  $(-10$  нКл). Кульки зіткнули і розвели. Який заряд матимуть кульки після цього?

**Я вмію обчислювати силу взаємодії двох точкових зарядів**

14. З якою силою взаємодітимуть два точкових заряди по 1 Кл кожний, якщо їх розмістити на відстані 1 км один від одного?
15. Дві маленькі кульки із зарядами  $2,0 \cdot 10^{-7}$  Кл і  $4,5 \cdot 10^{-7}$  Кл у вакуумі взаємодіють із силою 0,1 Н. Визначте відстань між кульками.

**Тестові завдання**

**Варіант I**

1. Вам відомо, що тертям об вовну заряджаються палички з гуми, сірки, ебоніту, пластмаси, капрону. Чи заряджається при цьому вовна?
- А. Так, тому що в електризації тертям завжди беруть участь два тіла. При цьому електризуються обидва тіла.
- Б. Хоча в електризації тертям беруть участь два тіла, але в дослідах завжди використовують тільки палички, тому можна вважати, що заряджаються тільки палички.
- В. Правильної відповіді немає.
2. Що відбуватиметься з підвішеною на шовковій нитці незарядженою легкою кулькою, якщо до неї піднести заряджене тіло?
- А. Кулька притягнеться до зарядженого тіла.
- Б. Кулька відштовхнеться від зарядженого тіла.
- В. Кулька спочатку притягнеться до зарядженого тіла, а після контакту з ним — відштовхнеться.
3. Для чого використовують електроскоп?
- А. Тільки для визначення значення заряду.
- Б. Тільки для визначення знака заряду.
- В. Тільки для виявлення заряду.
- Г. Для виявлення заряду, визначення його значення і знака.
4. Який заряд у кульки електроскопа, до якої піднесли, не торкаючись її, позитивно заряджену паличку?

- А. Позитивний.  
Б. Негативний.  
В. Заряду немає.
5. Чи можна ділити електричний заряд необмежено?  
А. Можна.  
Б. Не можна.  
В. Тільки до заряду електрона.
6. Наелектризовану паличку поклали на дерев'яний стіл. Чи розрядиться паличка?  
А. Розрядиться. Заряди перейдуть у стіл.  
Б. Усі заряди зберуться на паличці.  
В. У місцях дотику частина зарядів з палички перейде в стіл.
7. До зарядженого електроскопа почали підносити з досить великої відстані негативно заряджену паличку. В міру наближення палички листочки спочатку спадали, а потім стали знову розходитися. Заряд якого знака був на електроскопі?  
А. Позитивний.  
Б. Негативний.  
В. Електроскоп був незаряджений.
8. Чому дорівнює заряд атома Бору?  
А.  $8 \cdot 10^{-19}$  Кл. Б.  $10 \cdot 10^{-19}$  Кл. В.  $-8 \cdot 10^{-19}$  Кл.
9. Який склад атома Хлору?  
А. 17 електронів, 17 протонів, 17 нейтронів.  
Б. 34 електрони, 17 протонів, 17 нейтронів.  
В. 17 електронів, 17 протонів, 18 нейтронів.
10. Маємо три однакові металеві кульки, підвішені на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює 2 нКл, другої — (-10 нКл), а третьої — 5 нКл. Кульки зіткнули і розвели. Який заряд матимуть кульки після цього?  
А. 1 нКл. Б. 5,6 нКл. В. -1 нКл. Г. -3 нКл.
11. Середня відстань між двома хмарами становить 10 км. Електричні заряди їх відповідно дорівнюють 10 Кл і 20 Кл. З якою електричною силою взаємодіють хмари?  
А. 9 кН. Б. 200 кН. В. 180 кН. Г. 18 кН.
12. Заряд однієї з двох однакових металевих кульок у 5 разів більший, ніж іншої. Однією кулькою доторкнулися до іншої, а потім знову відвели на попередню відстань. У скільки разів змінилася сила взаємодії, якщо заряди кульок однойменні?  
А. Збільшилась у 5 разів.  
Б. Збільшилась в 1,8 раза.  
В. Зменшилась в 1,25 раза.  
Г. Не змінилася.

### Варіант II

1. Як взаємодіють одна з одною скляна паличка, потерта об шовк, і ебонітова паличка, потерта об сукно?  
А. Відштовхуються одна від одної.  
Б. Притягуються одна до одної.  
В. Правильної відповіді немає.

2. На чому ґрунтується дія електроскопа?
  - А. На взаємодії різнойменних зарядів.
  - Б. На взаємодії однойменних зарядів.
  - В. На взаємодії нейтральних і заряджених частинок.
3. Позитивно заряджена скляна паличка притягує підвішену на нитці суху соняшникову стеблину. Які з цього можна зробити висновки про заряд стеблини?
  - А. Стеблина заряджена негативно.
  - Б. Стеблина заряджена позитивно.
  - В. Стеблина незаряджена.
4. Чи можуть дві однойменно заряджені бузинові кульки, підвішені на нитках, притягуватися?
  - А. Не можуть, оскільки однойменно заряджені тіла відштовхуються.
  - Б. Можуть у випадку, коли значення зарядів кульок малі.
  - В. Можуть тоді, коли заряд однієї з кульок значно перевищує заряд іншої.
5. Чи можна наелектризувати металевий стержень тертям, якщо тримати його в руці?
  - А. Всі тіла під час тертя електризуються, наелектризується і металевий стержень.
  - Б. Не можна, тому що метал і тіло людини — провідники.
  - В. Можна, якщо його електрично ізолювати від руки.
6. Для чого легкі гільзи або кульки, з якими демонструють досліди із взаємодії зарядів, підвішують на шовкових нитках?
  - А. Шовкові нитки легкі й гнучкі.
  - Б. Шовкові нитки тонкі й міцні.
  - В. Шовкова нитка не проводить електричні заряди.
7. До стержня зарядженого електроскопа піднесли, не торкаючись його, незаряджений металевий стержень. Як при цьому зміниться кут розходження листочків?
  - А. Збільшиться. Б. Зменшиться. В. Не зміниться.
8. Який заряд атома Літію?
  - А.  $4,8 \cdot 10^{-19}$  Кл. Б.  $3 \cdot 10^{-19}$  Кл. В.  $-4,8 \cdot 10^{-19}$  Кл.
9. Який склад атома Карбону?
  - А. 6 електронів, 6 протонів.
  - Б. 12 електронів, 6 протонів, 6 нейтронів.
  - В. 6 електронів, 6 протонів, 6 нейтронів.
10. Маємо три однакові металеві кульки, підвішені на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює  $-2$  нКл, другої —  $10$  нКл, а третьої —  $-5$  нКл). Кульки зіткнули і розвели. Який заряд матимуть кульки після цього?
  - А.  $1$  нКл. Б.  $5,6$  нКл. В.  $-1$  нКл. Г.  $-3$  нКл.
11. Середня відстань між двома хмарами становить  $20$  км. Електричні заряди хмар відповідно дорівнюють  $20$  Кл і  $20$  Кл. З якою електричною силою взаємодіють хмари?
  - А.  $9$  кН. Б.  $200$  кН. В.  $180$  кН. Г.  $18$  кН.
12. Заряд однієї з двох однакових металевих кульок у  $5$  разів більший, ніж іншої. Однією кулькою доторкнулися до іншої, а потім знову відвели на попередню відстань. У скільки разів змінилася сила взаємодії, якщо заряди кульок різнойменні?
  - А. Збільшилася у  $5$  разів.
  - Б. Збільшилася в  $1,8$  раза.
  - В. Зменшилася в  $1,25$  раза.
  - Г. Не змінилася.





# ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

- Електричний струм
- Джерела електричного струму
- Електричне коло
- Електричний струм у металах
- Дії електричного струму
- Сила струму
- Електрична напруга
- Електричний опір провідників
- Закон Ома для ділянки кола
- З'єднання провідників
- Робота і потужність електричного струму
- Закон Джоуля-Ленца
- Споживачі електричного струму
- Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів
- Електричний струм у напівпровідниках
- Електричний струм у газах
- Безпека людини під час роботи з електричним струмом



## §7 ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Для роботи електроприладів потрібний електричний струм. Частина з них, наприклад ліхтарики, електронні годинники, аудіоплеєри, радіоприймачі та телефони, використовують електроенергію батарейок або акумуляторів. Інші, наприклад лампи, холодильники, телевізори, пылососи працюють від електромережі, тобто одержують електроенергію по проводах від електростанції.

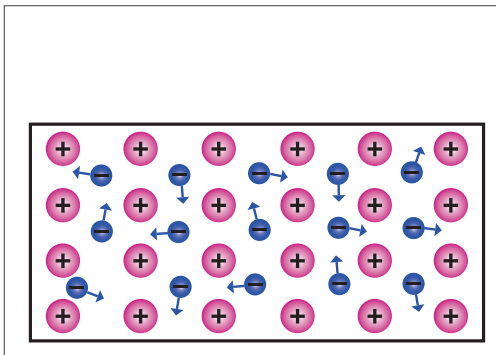
*Що ж таке електричний струм і що потрібно, аби він виникнув та існував протягом потрібного часу?*

*Слово «струм» означає рух або течію чогось. А що може переміщатися в провідниках, які з'єднують батарейку з лампою, холодильник — з електростанцією?*

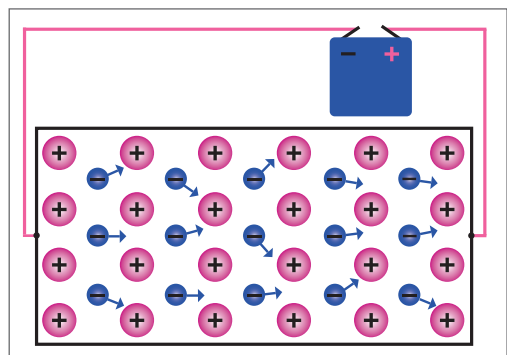
Ви вже знаєте, що явище електризації тіл зумовлене наявністю в них електрично заряджених частинок — електронів, а також позитивних і негативних йонів, які завжди перебувають у стані теплового безладного руху (мал. 28). Є багато речовин, у яких за певних умов заряджені частинки можуть вільно рухатися, тобто пересуватися на великі відстані у всьому об'ємі тіла. Наприклад, здавна в техніці широко застосовуються металеві провідники, у яких носіями електрики є вільні електрони. Якщо на всі вільні заряджені частинки подіяти якоюсь силою в одному напрямі, то до їхнього безладного руху додається ще рух у напрямі прикладеної сили. У цьому разі кажуть, що в тілі виникає **електричний струм**.

**Електричний струм — це впорядкований (напрявлений) рух заряджених частинок.**

Щоб надати зарядженим частинкам напрямленого руху, в об'ємі провідника утворюють електричне поле. Під дією електричного поля вільні заряджені частинки рухаються в напрямі прикладених до них електричних сил, тобто у провіднику виникає електричний струм (мал. 29). Якщо, наприклад, кулю зарядженого електрометра з'єднати провідником із Землею, то в



Мал. 28



Мал. 29

провіднику виникне електричне поле, а разом з ним і електричний струм, який припиниться, як тільки весь заряд кулі, що утворює електричне поле, перейде в Землю.

Щоб електричний струм у провіднику протікав як завгодно довго, потрібно в ньому весь час підтримувати електричне поле, тобто забезпечувати на одному кінці провідника надлишок заряду певного знака, а на другому — його нестачу. Такий сталий розподіл зарядів на кінцях провідника створюється та підтримується джерелами електричного струму.

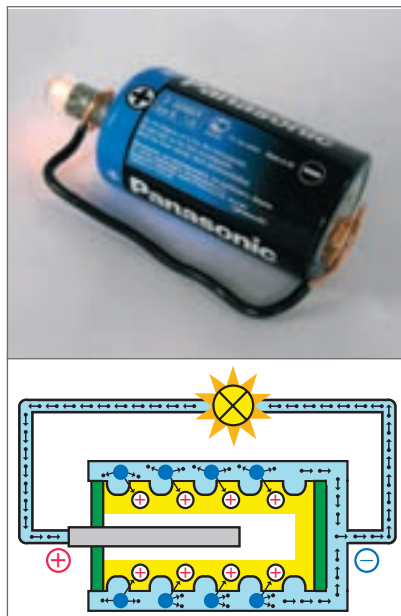
**Джерелами електричного струму називають пристрої, у яких відбувається перетворення енергії певного виду на електричну енергію.**

У кожному джерелі струму виконується робота з розділення позитивно і негативно заряджених частинок, які накопичуються на *полюсах* джерела. Відповідно до цього полюси умовно позначають знаками «+» і «-».

Людина у своїй практичній діяльності використовує різноманітні джерела електричного струму, які за видом перетворюваної енергії можна поділяти на: **хімічні** (гальванічні елементи, акумулятори), **світлові** (фотоелементи, сонячні батареї), **теплові** (термоелементи), **механічні** (електрофорна машина, генератори електричного струму різного роду).

Якщо до гальванічного елемента за допомогою провідників приєднати електричну лампу (мал. 30), то під дією електричного поля заряджені частинки в провіднику починають рухатися, виникає електричний струм, лампа світиться.

**Гальванічні елементи.** Перше найпростіше хімічне джерело струму, яке не втратило свого практичного значення й дотепер, створив у 1799 р. італійський фізик **Алессандро Вольта** і назвав його гальванічним елементом на честь засновника вчення про електрику **Луїджі Гальвані**. Цей елемент давав напругу близько 1 вольта (1 В). З метою одержання вищої напруги, Вольта побудував батарею (так званий *вольтів стовп*) з 20 цинкових, 20 мідних і 20 суконних кружечків, покладених один на одного (мал. 31).



Мал. 30



Мал. 31

У гальванічних елементах відбуваються хімічні реакції, завдяки яким виконується робота з розподілу різноманітних зарядів, тобто хімічна енергія перетворюється в електричну.

● **Дослід.** Опустимо в розчин сірчаної кислоти дві пластинки — цинкову і мідну. Одержимо найпростіший гальванічний елемент (мал. 32). У ньому відбувається перерозподіл позитивно і негативно заряджених частинок речовини, внаслідок чого обидві пластинки електризуються, і між ними утворюється електричне поле. Ці пластинки називаються **електродами (полюсами) джерела струму**.

Гальванічний елемент складається з цинкової посудини 1, заповненої желеподібною сумішшю хімічних речовин (мал. 33). У суміш вставлено вугільний стержень 2. Зверху посудину залито шаром смоли 3.

У результаті хімічних реакцій цинкова посудина стає негативно зарядженою (негативний електрод), а вугільний стержень — позитивно зарядженим (позитивний електрод). Між електродами виникає електричне поле. Якщо позитивний і негативний електроди з'єднати провідником, то в ньому виникне електричний струм.

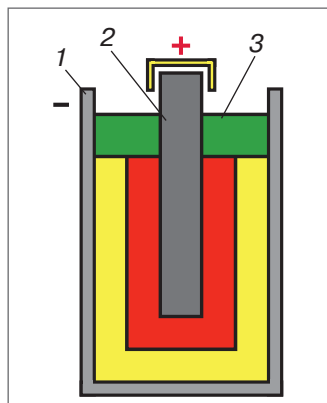
Кілька гальванічних елементів можна з'єднати в батарею. Якщо треба одержати більшу напругу, то використовують **послідовне з'єднання елементів**: окремі елементи приєднують один до одного різнойменними полюсами. На малюнку 34 зображено батарею з трьох елементів, в якій стержень першого елемента з'єднано з цинковою посудиною другого, а вугільний стержень другого — з посудиною третього елемента. Цинкові посудини ізольовано одну від одної. Від цинкової посудини першого елемента і вугільного стержня третього виведено дві жерстяні смужки, які є полюсами батареї: перша — негативним, друга — позитивним.

Якщо хочуть одержати джерело, яке дає більший струм, використовують **паралельне з'єднання елементів**: окремі елементи з'єднують у батарею однойменними полюсами, тобто корпус — з корпусом, а стержень — із стержнем.

**Акумулятори.** Акумулятор (від латинського *аккумуля* — нагромаджую) — це хімічне джерело, у якому електрична енергія нагромаджується внаслідок пропускання електричного струму крізь кислотний або лужний розчин.



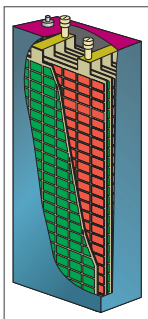
Мал. 32



Мал. 33



Мал. 34



Мал. 35



Мал. 36



Мал. 37

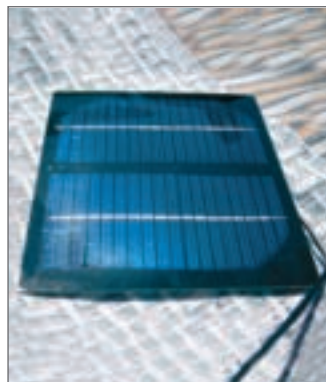
Акумулятори бувають *кислотні* та *лужні*. Кислотний акумулятор складається з однорідних електродів (мал. 35), наприклад свинцевих пластин, уміщених у розчин сірчаної кислоти. У лужних акумуляторах електроди виготовлено з різнорідних металів, наприклад заліза і нікелю, й опущено в розчин їдкого лугу. Для того щоб акумулятор став джерелом струму, його треба «зарядити». З цією метою через нього пропускають струм від якогось іншого джерела. У процесі зарядження внаслідок перебігу хімічних реакцій один електрод стає зарядженим позитивно, а інший — негативно. Коли акумулятор зарядиться, його можна використовувати як самостійне джерело струму. Полюси акумуляторів позначено знаками «+» і «-». Під час заряджання позитивний полюс акумулятора з'єднують з позитивним полюсом джерела струму, негативний — з негативним.

Акумулятори використовують для запуску автомобільних двигунів (мал. 36), освітлення автомобілів і залізничних вагонів. Акумулятори живлять електроенергією підводні човни під час автономного плавання. Наукова апаратура та радіопередавачі на штучних супутниках Землі, космічних кораблях і станціях також живляться від установлених на них акумуляторів, які заряджаються за допомогою сонячних батарей.

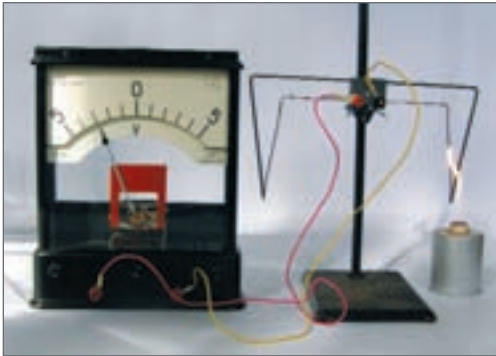
**Сонячні батареї.** Під дією світла, що падає на поверхню пластин з деяких речовин, наприклад селену або кремнію, в них відбувається перерозподіл позитивних і негативних електричних зарядів (мал. 37). На цьому ґрунтуються будова та дія сонячних батарей (мал. 38). У сонячних батареях відбувається пряме перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію.

В Інституті фізики напівпровідників Національної академії наук України розроблено сонячні батареї з ККД 18 %, що наближається до максимально можливого. А вчені Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут» використали сонячні батареї для створення фотоелектричної станції потужністю 5 кВт.

**Термоелементи.** Якщо дві дротини, виготовлені з різних металів, спаяти, а місце спаювання потім нагріти, то в дротинах виникне електричний струм



Мал. 38



Мал. 39

(мал. 39). Таке джерело струму називають **термоелементом**, або **термопарою**. У ньому внутрішня енергія нагрівника перетворюється в електричну енергію.

**Електрофорна машина.** Два диски з органічного скла (з роміщеними по колу металевими смужками) обертаються в протилежних напрямках. Внаслідок тертя дротяних щіток об смужки на кондукторах (полюсах) машини накопичуються заряди протилежних знаків (мал. 7 на с. 10).

Механічна енергія обертання дисків перетворюється на електричну енергію.

На теплових, атомних, вітряних і гідроелектростанціях електричний струм виробляють за допомогою різних **генераторів електричного струму** (від латинського слова *генератор* — виробник, створювач). Про типи генераторів, їх будову та дію ви дізнаєтеся згодом.



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що таке електричний струм?
2. Що потрібно створити в провіднику, щоб у ньому виник і протягом певного часу існував електричний струм?
3. Що називається джерелом електричного струму?
4. Які джерела електричного струму ви знаєте?
5. Хто перший створив гальванічний елемент? Яке походження цієї назви?
- 6\*. Чим відрізняється акумулятор від гальванічного елемента?
7. Яка енергія перетворюється на електричну в сонячних батареях? Термоелементах?
8. Наведіть приклади застосування різноманітних джерел електричного струму.

## § 8

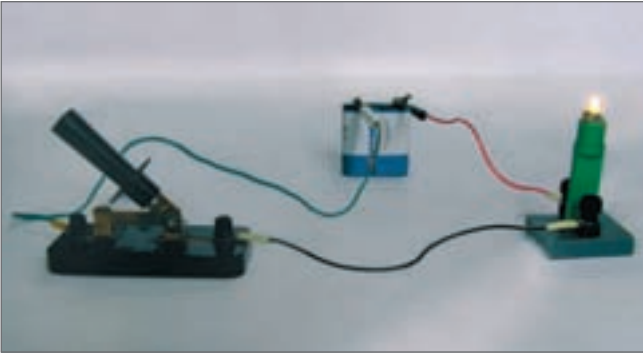
### ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО І ЙОГО СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ

Електрична енергія, що зосереджена в джерелах електричного струму, є дуже вигідним і зручним видом енергії, яка широко використовується в промисловості, техніці, побуті. Відомі вам електродвигуни, електричні лампи, нагрівачі, електричні плити, телевізори і комп'ютери називають **приймачами**, або **споживачами електричної енергії**.

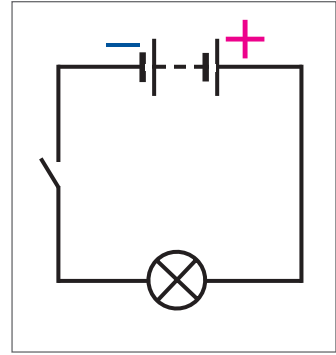
Щоб доставити електричну енергію від джерела до споживача, їх з'єднують між собою **провідниками** електричного струму. Для цього використовують переважно мідний або алюмінієвий провід (дріт).

Найпростіше **електричне коло** складається з джерела струму (мал. 40), споживача електричної енергії (лампа, електродвигун), з'єднувальних провідників і пристрою для замикання та розмикання кола — вимикача.

Для того щоб у колі протікав струм, воно має бути **замкненим**, тобто складатися тільки з провідників електричного струму. Якщо в будь-якому



Мал. 40



Мал. 41

місці від'єднати провід або він обірветься, то струм у колі припиниться. На цьому ґрунтується дія вимикачів.

Креслення, на якому зображують різні способи з'єднання елементів електричного кола, називають **схемою електричного кола**.

Прилади і з'єднання на схемах зображують за допомогою **умовних позначень**. Деякі з них подано в *таблиці* на сторінці I форзаца.

На малюнку 41 зображено схему найпростішого електричного кола.



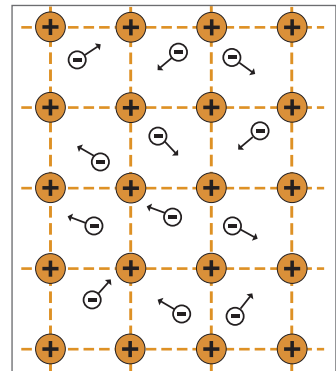
### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що потрібно для існування електричного струму в електричному колі?
2. Назвіть відомі споживачі електричної енергії.
- 3\*. Які види енергії перетворюються на електричну в джерелах струму в процесі роботи з розділення заряджених частинок? Наведіть приклади.
4. З чого складається найпростіше електричне коло?
5. Що таке схема електричного кола?
- 6\*. Накресліть можливі схеми електричних кіл, що складаються з батареї гальванічних елементів, електричної лампи, електродвигуна, електричного дзвінка і ключа.

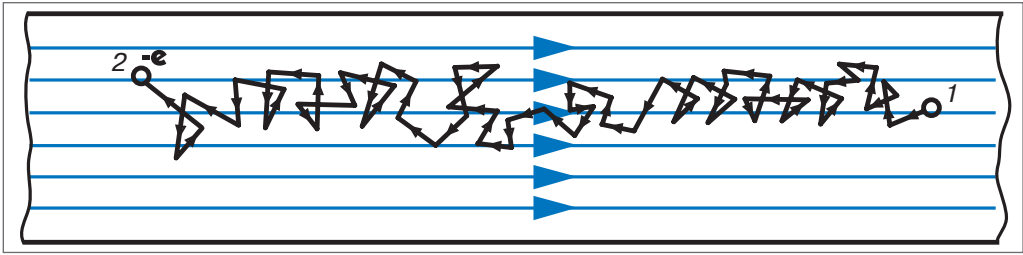
## § 9 ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У МЕТАЛАХ

Ви вже знаєте, що електричний струм — це впорядкований рух вільних електричних зарядів під дією електричного поля джерела струму. Але нам потрібно знати: *які ці заряди? Як вони рухаються?*

Для цього розглянемо внутрішню будову металевих провідників. У будь-якому металі частина електронів покидає свої місця в атомі, в результаті чого атом перетворюється на позитивний йон. Позитивні йони в металах розміщуються в строгому порядку, утворюючи так звані кристалічні ґратки (мал. 42). Між йонами хаотично рухаються вільні електрони у вигляді електронного газу.



Мал. 42



Мал. 43

Негативний заряд усіх вільних електронів за абсолютним значенням дорівнює позитивному заряду всіх йонів кристалічних ґраток. Тому за звичайних умов металевий провідник електрично нейтральний.

*Тож які електричні заряди рухаються під дією електричного поля в металевих провідниках?*

У 1899 р. **К. Рікке** на трамвайній підстанції у Штутгарті вмикав у головний провід, яким подавалося живлення трамвайним лініям, послідовно три металевих циліндри, тісно притиснутих один до одного торцями: два крайніх — мідних, а середній — алюмінієвий. Через ці циліндри понад рік проходив електричний струм. У результаті точного зважування виявилось, що дифузія в металах не відбулася: в мідних циліндрах не було атомів алюмінію і навпаки.

Таким чином, **К. Рікке** довів, що під час проходження провідником електричного струму йони не переміщуються, а в різних металах переміщуються лише електрони. Отже, електричний струм у металевих провідниках створюється впорядкованим рухом електронів.

Тепер залишається з'ясувати: *як рухаються вільні електрони?*

За відсутності у провіднику електричного поля, електрони рухаються хаотично, подібно до того, як рухаються молекули газів або рідин. У будь-який момент часу швидкості руху різних електронів відрізняються значенням і напрямом.

За наявності у провіднику електричного поля, електрони, зберігаючи свій хаотичний рух, починають зміщуватися у напрямі позитивного полюса джерела. Разом з безладним рухом електронів виникає і їх упорядкований рух. На малюнку 43 схематично показано траєкторію руху одного електрона з точки 1 у точку 2 під дією електричного поля.

Тепер можна дійти дуже важливого висновку: **електричний струм у металах (металевих провідниках) — це впорядкований рух електронів під дією електричного поля, яке створює джерело електричного струму.**

Дослідженнями, що стосуються електронної провідності металів, займався український вчений **А. Е. Малиновський** (1884–1937). Він представив свою інтерпретацію взаємодії вільних електронів і позитивних йонів у металах. Зробив уточнення до теорії дослідів, які виконали у 1916 р. американський фізик **Р. Толмен** і шотландський фізик **Б. Стюарт**. Вони розкручували до великої швидкості котушку з мідного тонкого дроту навколо її осі, потім різко гальмували її і при цьому реєстрували в колі короточасний електричний струм, зумовлений інерцією носіїв заряду, якими виявилися саме електрони.





### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Яка будова металевго провідника?
2. Поясніть, що за звичайних умов будь-який шматок металу є електрично нейтральним.
- 3\*. Як довести, що електричний струм у металах виникає внаслідок руху електронів, а не руху йонів? Опишіть відповідний дослід.
- 4\*. Як рухаються електрони у провіднику при відсутності в ньому електричного поля і при наявності його?
5. Поясніть природу електричного струму в металах.

## § 10 ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ. НАПРЯМ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Рух електрично заряджених частинок у речовині провідників людське око не здатне спостерігати. Однак напрямлений рух заряджених частинок спричиняє цілу низку явищ, за якими можна визначити наявність електричного струму в колі.

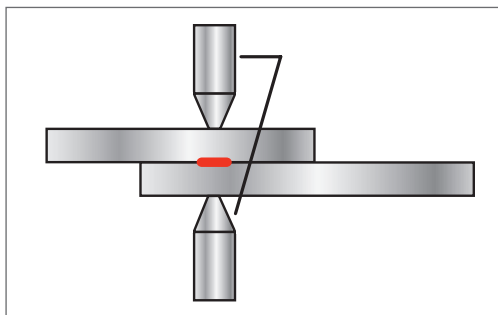


Мал. 44

● **Дослід 1.** Приєднаємо до полюсів джерела струму нікелінову або ніхромову дротину (мал. 44). У результаті досліду бачимо, як дротина нагрівається, розжарюється до червоного світіння і провисає. Спостерігаємо *теплову дію* струму.

Під дією електричного струму в електричних лампах вольфрамова дротинка розжарюється до яскравого світіння, нагріваються спіралі електропрасок та електроплит.

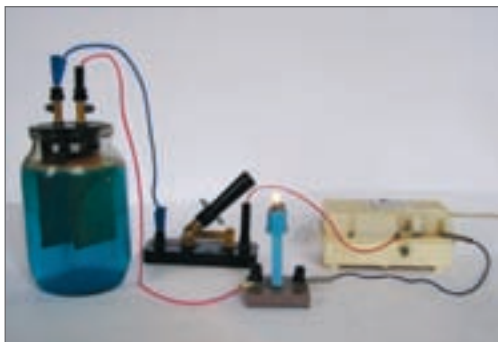
Теплова дія струму широко використовується під час контактного зварювання металів (мал. 45). Крізь деталі, що зварюють, пропускають великий струм. У результаті в місцях контактів деталі дуже нагріваються й зварюються.



Мал. 45



Мал. 46



Мал. 47

● **Дослід 2.** На залізний цвях або стержень намотаємо кілька десятків витків ізольованого мідного проводу. Звільнивши кінці проводу від ізоляції, приєднаємо їх до джерела струму. Бачимо, що цвях набуває властивості притягувати до себе дрібні залізні предмети: ошурки, цвяхи, скріпки тощо (мал. 46), тобто він став магнітом. У цьому досліді виявляється *магнітна дія* електричного струму.

● **Дослід 3.** За малюнком 47 складемо електричне коло. Якщо в посудині буде чиста (дистильована) вода, то електрична лампа не світлитиметься. Якщо у воду додати трохи кристалів мідного купоросу, то лампа одразу ж засвітиться. Отже, крізь розчин мідного купоросу проходить електричний струм. Якщо через певний час витягнемо з посудини негативно заряджений електрод, то побачимо, що на ньому виділилася чиста мідь, тобто завдяки електричному струму відбулися хімічні перетворення речовин.

*Хімічну дію* струму використовують для добування чистих металів.

*Світлову дію* струму ви можете спостерігати, дивлячись на світіння ламп денного світла (мал. 48). Під дією електричного поля газу, що містяться в лампі, починають світитися. У природі світлова дія електричного струму виявляється під час електричного розряду — блискавки (мал. 49).

*А який напрям має електричний струм?*

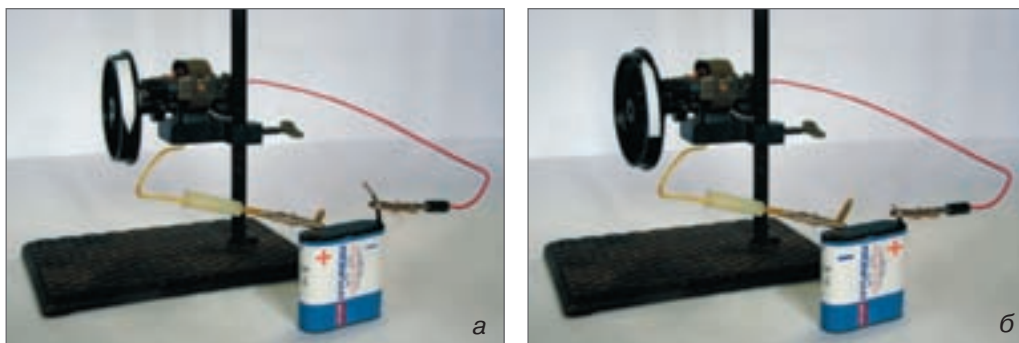
Ще раз пригадаємо, що електричний струм — це впорядкований рух заряджених частинок. *Рух яких саме заряджених частинок у електричному полі треба було б прийняти за напрям струму?*



Мал. 48



Мал. 49



Мал. 50

На практиці ми здебільшого маємо справу з електричним струмом у металевих провідниках, тому за напрям струму в колі доцільно було б узяти напрям руху електронів у електричному полі, тобто вважати, що струм напрямлений від негативного полюса джерела до позитивного.

Але питання про напрям струму виникло в науці тоді, коли про електрони та йони ще нічого не було відомо. Тоді вважали, що в усіх провідниках можуть переміщуватись як позитивні, так і негативні заряди.

**За напрям електричного струму умовно обрали той напрям, у якому рухаються (або могли б рухатися) в провіднику позитивні заряди, тобто напрям від позитивного полюса джерела струму до негативного.**

Переконаймося в тому, що від напрямку струму залежить його механічна дія.

● **Дослід 4.** Приєднаємо до батареї гальванічних елементів електродвигун із стрілкою на його шківі. Вал двигуна обератиметься у певному напрямі (мал. 50, а). А якщо поміняти полюси батареї гальванічних елементів, то вал двигуна обератиметься в протилежному напрямі (мал. 50, б). Принцип роботи електродвигуна є прикладом механічної дії електричного струму, яка полягає в тому, що рамка із дроту, вміщена в магнітне поле, повертається у певному напрямі, якщо через неї проходить струм. Напрямок повороту при цьому залежить від напрямку струму, що ми і бачимо на досліді. Згодом детальніше вивчатимемо дію магнітного поля на провідник із струмом.

Напрямок струму враховують в усіх правилах і законах електричного струму.



#### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

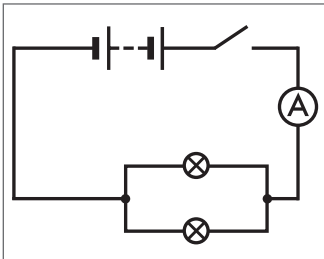
1. Де на практиці можна спостерігати механічну, теплову, хімічну, магнітну і світлову дії електричного струму?
- 2\*. Носіями струму в металі є електрони. Чому за напрямку струму прийнято напрям руху позитивних зарядів?
3. Як можна переконатися, що від напрямку електричного струму залежить його механічна дія?

## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

### ► Розв'язуємо разом

1. Якщо між паралельними металевими пластинами, приєднаними до кондукторів електрофорної машини, що працює, розмістити легенькі пір'їнки, то вони почнуть інтенсивно рухатися від однієї пластини до іншої. Яке фізичне явище буде змодельоване цим дослідом?

Відповідь: електричний струм. Пір'їнки здійснюють упорядкований рух частинок у електричному полі.



Мал. 51

2. Чи діятиме елемент Вольта, якщо його обидва електроди зробити цинковими або мідними?

Відповідь: не діятиме, не буде різниці в зарядах електродів.

3. Накресліть схему електричного кола, що складається з батареї акумуляторів, двох паралельно з'єднаних ламп амперметра, вимикача, з'єднувальних провідників.

Відповідь: схему електричного кола показано на малюнку 51.

### Рівень А

57. Чи може протікати електричний струм у колі, в якому немає вимикача?

58. На малюнку 52 показано різні джерела струму. Як називають кожне з цих джерел? Де їх використовують?

59. Розгляньте кишеньковий ліхтарик. Накресліть схему його електричного кола.

60. Електричне коло складається з електродвигуна і лампи. Джерелом струму в ньому слугує батарея акумуляторів. Намалюйте схему цього кола.

61. У якому джерелі струму на електричну енергію перетворюється: а) хімічна; б) теплова; в) світлова енергія?

62. Як треба з'єднати проводами полюси джерел струму, зображених на малюнку 53, щоб скласти з них батарею для яскравішого світіння лампи?

63. В якому напрямі рухатиметься в електричному полі між двома проти-лежно зарядженими паралельними пластинами: електрон, позитивний йон, негативний йон?



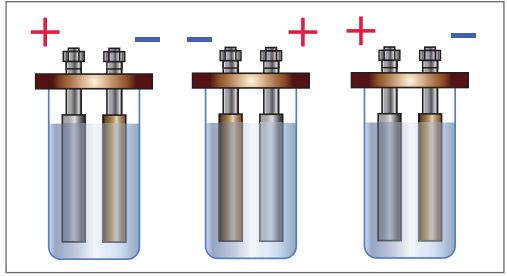
Мал. 52

### Рівень Б

64. Електричне поле поширюється у вакуумі зі швидкістю  $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . За який час воно пошириться на відстань, що дорівнює земному екватору

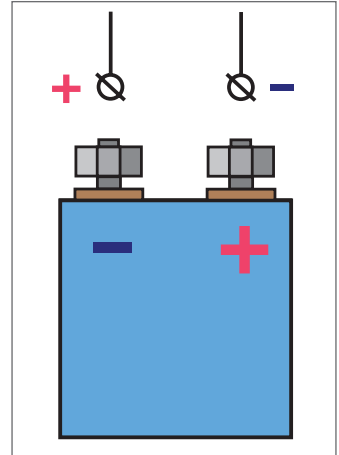
(середній радіус Землі  $R_3 \approx 6,4 \cdot 10^6$  м), та на відстань від Землі до Сонця ( $R_{зс} \approx 1,5 \cdot 10^{11}$  м)?

65. На яку відстань переміститься електрон від джерела струму за 1 год, якщо швидкість його руху проти напрямку електричного поля у провіднику дорівнює  $0,006 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ ?



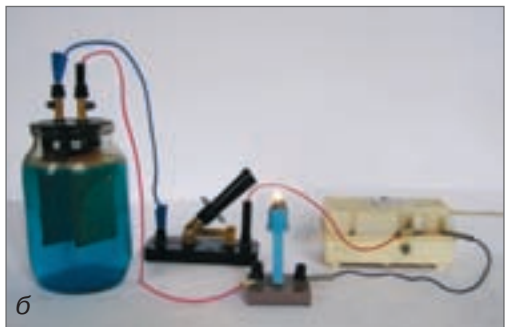
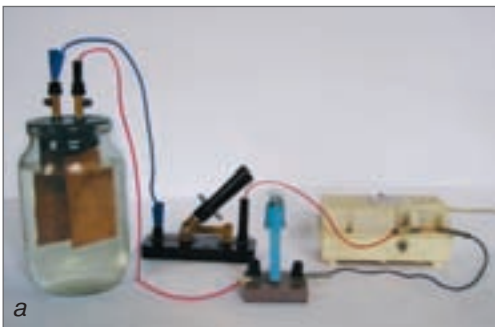
Мал. 53

66. Складіть із вимикача, електричної лампи, мікроелектродвигуна, з'єднувальних проводів електричне коло. Накресліть схему кола.
67. Потрібно зарядити акумулятор від джерела струму. На малюнку 54 покажіть, який з проводів, що йдуть від клем акумулятора, треба приєднати до позитивного полюса джерела струму, а який — до негативного.



Мал. 54

68. Чому акумулятори називають іноді вторинними елементами?
69. Електричне коло складається з гальванічного елемента, електричної лампи, вимикача, з'єднувальних провідників. Яка дія струму свідчить про те, що коло замкнуте? Намалюйте схему електричного кола.
70. Укажіть, яка дія струму використовується в кожному з перелічених випадків: а) приготування їжі на електроплиті; б) освітлення кімнати лампою денного світла; в) хромування та нікелювання деталей; г) нагрівання води електричним кип'ятильником; д) піднімання деталей за допомогою електромагніту.
71. В якій з посудин міститься дистильована вода (вода, звільнена від домішок) (мал. 55 а, б)?
72. Відкриття фізика Араго (1820 р.) полягало в такому: якщо тонкий мідний провід, з'єднаний з джерелом струму, занурити в сталеві опурки, то вони прилипають до нього. Як пояснити це явище?



Мал. 55

73. Чи має значення для теплової дії електричного струму його напрям?  
 74. Накресліть схеми заряджання і розряджання акумулятора, вкажіть для обох випадків напрям електричного струму всередині і зовні акумулятора.

## § 11 СИЛА СТРУМУ. АМПЕРМЕТР

Досліди показали, що чим більше електричних зарядів проходить через провідник за певний час, тим більше проявляються дії електричного струму — теплова, хімічна, магнітна, механічна та світлова. Чим більше заряджених частинок переміщується від одного полюса джерела струму до іншого, тим більший загальний заряд переноситься частинками.

Електричний заряд, що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу, визначає силу струму в колі.

**Сила струму** — це фізична величина, яка характеризує електричний струм і визначається відношенням електричного заряду, що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження.

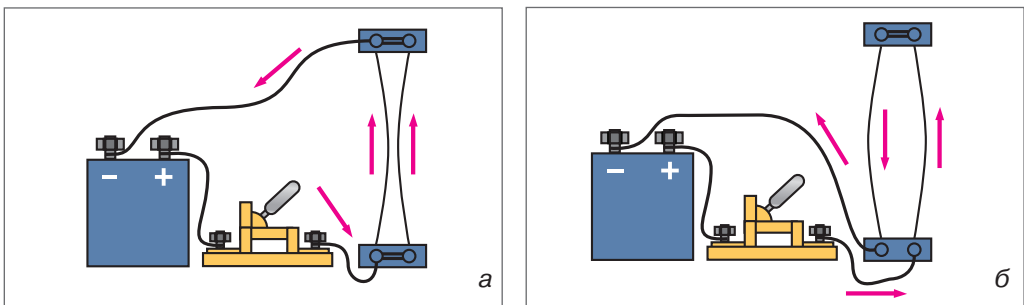
Силу струму позначають великою латинською літерою  $I$ . Формула для визначення сили струму така:

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

де  $q$  — електричний заряд, що пройшов через провідник за час  $t$ .

За одиницю сили струму прийнято **один ампер (1 А)**. Цю одиницю названо на честь французького фізика **Андре-Марі Ампера**. На Міжнародній конференції з мір та ваг у 1948 р. було вирішено в основу визначення одиниці сили струму покласти явище взаємодії двох провідників зі струмом.

● **Дослід 1.** Візьмемо два гнучких прямих провідники, розмістимо їх паралельно один одному та приєднаємо до джерела струму. Під час замикання кола у провідниках проходить електричний струм, внаслідок чого вони взаємодіють між собою — притягуються, якщо напрям струму в них однаковий (мал. 56, а), або відштовхуються, якщо напрям протилежний (мал. 56, б).



Мал. 56

Цей дослід уперше виконав А.-М. Ампер. Він виміряв силу взаємодії провідників зі струмом. Виявилось, що ця сила залежить від довжини провідників, відстані між ними, середовища, в якому вони розміщені, та від сили струму в провідниках. Ампер визначив, що два дуже тонких і довгих паралельних провідники завдовжки 1 м у безповітряному просторі (вакуумі), відстань між якими дорівнює 1 м, сила струму в кожному з них однакова, взаємодіють між собою з силою  $0,0000002 \text{ Н}$ .

**Один ампер (1 А) — сила струму, який, протікаючи у двох паралельних прямолінійних нескінченної довжини тонких провідниках, що розміщені у вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликає на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії  $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ .**

Застосовують також частинні та кратні одиниці сили струму: міліампер (мА), мікроампер (мкА), кілоампер (кА):

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

Через одиницю сили струму 1 А визначають одиницю електричного заряду. Оскільки  $I = \frac{q}{t}$ , то  $q = It$ . Поклавши, що  $I = 1 \text{ А}$ ,  $t = 1 \text{ с}$ , отримаємо одиницю електричного заряду — один кулон (1 Кл).

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

З визначення сили струму випливає, що при силі струму 1 А через поперечний переріз провідника щосекунди проходить електричний заряд 1 Кл,

тобто  $1\text{А} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{с}} = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{с}}$ . Знаючи заряд електрона, неважко визначити, що при силі струму 1 А через поперечний переріз провідника проходять  $6,25 \cdot 10^{18}$  електронів за секунду.

Діапазон (межі) значень сили струму, з якими доводиться зустрічатися у фізиці, невеликий порівняно з іншими величинами і становить від  $10^{-6}$  (0,000001) до  $10^5$  (100 000) А.

В електричних лампах, нагрівальних приладах, де використовується теплова дія струму, сила струму досягає кількох амперів. Під час електрозварювання, коли потрібно розігріти метали до високої температури, сила струму набуває значення кількох тисяч ампер. Ще більша сила струму (в сотні тисяч амперів) виникає під час блискавки, від чого повітря розігрівається до температури  $20\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ ; за дуже короткий час (до  $10^{-4} \text{ с}$ ) його тиск підвищується до 300 атм ( $3,03 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ), що відповідає інтенсивному акустичному удару — ми чуємо грім.

Хімічна дія струму використовується під час зарядження акумуляторів, хромування та нікелювання деталей і виробів, електрохімічного добування металів. Сила струму під час цих процесів становить від кількох амперів (заряджання акумуляторів) до сотень і навіть тисяч амперів (добування чистих металів).

Магнітна дія струму використовується в електромагнітах, двигунах тощо. Для роботи потужних двигунів сила струму має становити сотні амперів.

У таблиці 1 наведено значення сили струму в деяких технічних пристроях і приладах.

Таблиця 1

## Сила струму в різних технічних пристроях і приладах

Пристрій	Сила струму, А
Електронний мікроскоп	0,00001
Кінескоп телевізора	0,00012
Рентгенівська установка	0,02–0,1
Електробритва	0,08
Електричний ліхтарик	0,3
Велосипедний генератор (при $v = 12 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ )	0,3
Електрична лампа	0,3–0,4
Пилосос	1,9–4,2
Електроплита	3–4
Генератор автомобіля	17
Двигун тролейбуса	160–220
Двигун електровоза	350
Апарат для контактного зварювання	10 000

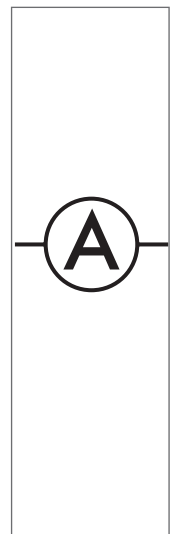
Для вимірювання сили струму в колі використовують прилад — **амперметр** (мал. 57). Шкала амперметра на малюнку 57, *а* проградуєвана в амперах (А), а на малюнку 57, *б* — в мікроамперах (українське позначення — мкА, міжнародне —  $\mu\text{A}$ ). На шкалах відповідно написано літери А і  $\mu\text{A}$ . На схемах амперметр зображають літерою А у колі (мал. 58).

Будь-який вимірювальний прилад під час вмикання в коло не повинен впливати на значення вимірюваної величини. Тому амперметр побудовано так, що при вмиканні його в коло сила струму в колі майже не змінюється.

Для цього амперметр конструюють так, щоб його електричний опір був якомога менший (про електричний опір дізнаєтеся трохи згодом).



Мал. 57

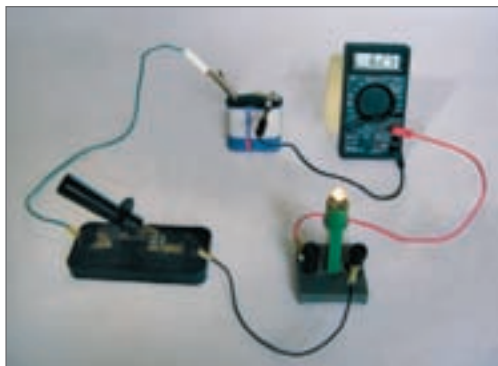


Мал. 58





Мал. 59



Мал. 60

Щоб виміряти силу струму в колі, **амперметр вмикають у коло послідовно** з тим приладом, силу струму в якому вимірюють. Для цього треба «розірвати» коло, тобто від'єднати від приладу один з провідників, приєднаних до нього, і в проміжок, що утвориться, ввімкнути амперметр за допомогою двох клем або затискачів, розташованих на його корпусі. Біля однієї з клем амперметра стоїть знак «плюс» («+»), біля другої — «мінус» (іноді «-» не вказують). Клему зі знаком «+» треба обов'язково з'єднувати з проводом, що відходить від позитивного полюса джерела струму.

Оскільки за законом збереження електричного заряду кількість зарядів, що надходить в коло з одного з полюсів джерела струму, дорівнює кількості зарядів, що повертаються на другий полюс джерела, то сила струму однакова в різних ділянках кола із послідовно з'єднаних приладів. Тому, щоб виміряти силу струму в такому колі, амперметр можна вмикати у будь-якому місці, його покази будуть завжди однакові.

● **Дослід 2.** Складемо електричне коло (мал. 59) і виміряємо силу струму в спіралі лампи кишенькового ліхтарика. Сила струму дорівнює 1 А.

У техніці використовують різноманітні амперметри. За їхніми шкалами або іншими позначеннями видно, на яку найбільшу силу струму вони розраховані. Перевищувати цю силу струму не можна, бо прилад може зіпсуватися. На практиці також використовують амперметри з цифровими індикаторами. Наприклад, на малюнку 60 показано, що виміряна таким амперметром сила струму в колі дорівнює 0,0625 А.

Сучасними амперметрами можна вимірювати струми до  $10^5$  А.



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

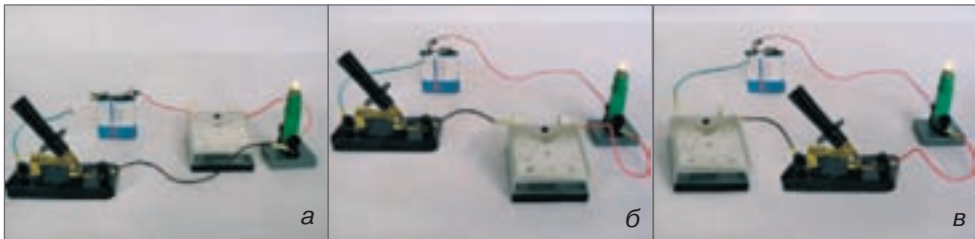
2. Що таке сила струму?
3. Поясніть, чому сила струму є скалярною величиною?
- 4\*. Поясніть, чому термін «сила струму» в принципі не можна вважати вдалим?
- 5\*. Яке явище використовується для визначення одиниці сили струму?
6. Що прийнято за одиницю сили струму? Як називають цю одиницю?
7. Яким приладом вимірюють силу струму?
8. В яких одиницях градуюють шкалу амперметра?
9. Як вмикають амперметр у електричне коло?

**ЛАБОРАТОРНА  
РОБОТА № 2**
**ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СТРУМУ  
ЗА ДОПОМОГОЮ АМПЕРМЕТРА**

- **Мета роботи:** навчитися складати електричні кола. З'ясувати, чи однакова сила струму на різних ділянках кола.
- **Прилади і матеріали:** джерело струму, лампа на підставці, амперметр, вимикач, з'єднувальні провідники.

**Хід роботи**

1. Розгляньте шкалу амперметра. Яка ціна поділки шкали приладу? Які межі вимірювання амперметра?  
Ціна поділки шкали амперметра становить ... А. Амперметром можна виміряти силу струму від 0 до ... А.
2. Складіть електричне коло за малюнком 61, а. Замкніть вимикач. Зніміть покази амперметра. Результат запишіть у зошит.  
 $I_1 = \dots \text{ А.}$
3. Увімкніть амперметр так, як показано на малюнку 61, б. Що показує амперметр?  
 $I_2 = \dots \text{ А.}$
4. Складіть коло за малюнком 61, в. Запишіть покази амперметра.  
 $I_3 = \dots \text{ А.}$
5. Порівняйте всі покази амперметра і зробіть висновок.
6. Накресліть у зошиті схеми складених кіл.



Мал. 61

**Завдання для допитливих**

1. Вивчіть будову кишенькового ліхтарика. Зверніть увагу на те, як вставляється батарея гальванічних елементів, щоб забезпечити контакт з лампочкою. З'ясуйте, на яку силу струму розрахована лампочка. Дослідіть, як замикається і розмикається електричне коло. Накресліть схему електричного кола кишенькового ліхтарика, користуючись умовними позначеннями елементів кола.
2. Візьміть батарею гальванічних елементів і приєднайте до її полюсів дві мідні дротини. Розріжте картоплину надвоє і в місце зрізу однієї половини картоплі встроміть мідні дротини. Спостерігайте за зміною кольору картоплини біля полюсів. Біля одного з полюсів картопля посиніла? Як за допомогою цього дослідів можна визначити полюси джерела постійного струму?

## § 12 ЕЛЕКТРИЧНА НАПРУГА. ВОЛЬТМЕТР

Під дією електричного поля, яке створюється джерелом струму, заряджені частинки рухаються по провіднику. При цьому виконується робота: розжарюється спіраль електролампи, нагрівається електроплитка, набуває руху електричний двигун і т. ін. Це свідчить про те, що головну роль у протіканні електричного струму в провідниках відіграє електричне поле. Для характеристики електричного поля вводять фізичну величину, яка називається електричною напругою, або напругою.

**Напруга** — це фізична величина, що визначається відношенням роботи електричного поля на певній ділянці кола до електричного заряду, що пройшов по цій ділянці. Вона характеризує електричне поле, яке створює струм.

Напруга позначається великою латинською літерою  $U$ . Формула для визначення напруги така:

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

де  $A$  — робота, виконана електричним полем під час протікання струму;  $q$  — значення електричного заряду, перенесеного струмом.

Одиницею напруги є **один вольт (1 В)**. Названа вона за ім'ям італійського вченого Алессандро Вольты, який створив перший гальванічний елемент.

**Один вольт (1 В)** — це така напруга на кінцях провідника, при якій робота щодо переміщення електричного заряду один кулон (1 Кл) по цьому провіднику дорівнює одному джоулю (1 Дж).

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

Крім вольты застосовують частинні та кратні йому одиниці: мілівольт (мВ) і кіловольт (кВ).

$$1 \text{ мВ} = 0,001 \text{ В}; 1 \text{ кВ} = 1000 \text{ В}.$$

Електричні прилади працюють при різній напрузі. Так, під час контактного зварювання напруга становить 0,1 В, побутові прилади працюють при напрузі 220 В, потужні двигуни — при напрузі 380 В, а двигуни електровоза — при напрузі 1500 В.

Різні джерела струму характеризуються робочою напругою. У гальванічному елементі й акумуляторі (хімічних джерелах струму) значення напруги невелике. Якщо в гальванічному елементі мідний і залізний електроди, то напруга 0,78 В, мідний і цинковий — 1,1 В, срібний і цинковий — 1,56 В. Середня напруга свинцевого кислотного акумулятора становить 2 В, а залізо-нікелевого лужного — 1,25 В.

Термоелементи (термопари) та фотоелементи (сонячна батарея) створюють ще менші напруги. Наприклад, термоелемент із графіту та карбиду титану при

нагріванні спаю до  $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$  створює напругу  $52\text{ мВ}$  ( $0,052\text{ В}$ ). Сонячна кремнієва батарея площею  $160\text{ см}^2$  при освітленні сонячними променями дає  $2\text{ В}$ .

Щоб отримати більші напруги, гальванічні елементи, акумулятори, термо- і фотоелементи з'єднують у батареї.

У таблиці 2 наведено значення напруги в деяких технічних пристроях і приладах.

Таблиця 2

### Напруга в різних технічних пристроях і приладах

Пристрій, прилад	Напруга, В
Електронний мікроскоп	130 000
Кінескоп телевізора	16 000
Рентгенівська установка	70 000–200 000
Електробритва	220
Електричний ліхтарик	4,5
Велосипедний генератор (при $v = 12 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ )	7,2
Електрична лампа	220
Пилосос	220
Електроплита	220
Генератор автомобіля	12
Двигун тролейбуса	550
Двигун електровоза	1 500
Апарат для контактного зварювання	0,1



а

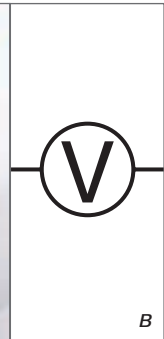
Для вимірювання напруги в електричних колах використовують прилад — **вольтметр** (мал. 62, а — для шкільних дослідів, б — для лабораторних робіт).

Щоб відрізнити вольтметри від амперметрів або інших електричних вимірювальних приладів, на їх шкалах ставлять літеру **V**. На схемах вольтметр зображують так, як це показано на малюнку 62, в.

Як і в амперметра, біля одного затискача вольтметра ставлять знак «+». Цей затискач треба обов'яз-



б



в

Мал. 62

ково з'єднувати з проводом, що йде від позитивного полюса джерела струму. Інакше стрілка приладу відхиллятиметься в зворотний бік, і він може зіпсуватися, тобто слід враховувати напрям електричного струму.

Вольтметр вмикають інакше, ніж амперметр.

● **Дослід 2.** Виміряємо напругу, яку дає батарея гальванічних елементів (мал. 63). Напруга на полюсах батареї гальванічних елементів становить 4,6 В. (Зауваження: ні в якому разі так не можна вмикати амперметр, тому що він вийде з ладу!). Приєднаємо тепер вольтметр до одного із затискачів вимикача та лампи. Вольтметр нічого не показуватиме (мал. 64, а). А якщо приєднати вольтметр до обох затискачів лампи, то він покаже, яка напруга подається на лампу (мал. 64, б). Ця напруга дорівнює 4 В.



Мал. 63



Мал. 64

Вольтметр слід приєднувати паралельно до ділянки кола, на якій потрібно виміряти напругу, тобто затискачі вольтметра треба приєднати до тих точок кола, між якими слід виміряти напругу. При цьому через вольтметр протікає певний струм із кола, що викликає зміну значення напруги у точках приєднання. Щоб ця зміна була якомога меншою, треба, щоб електричний опір вольтметра був якомога більший (про електричний опір дізнаєтеся трохи згодом).

На практиці використовують також вольтметри з цифровими індикаторами. Вимірявши напругу в електромережі, бачимо, що вона дорівнює 217 В (мал. 65).

Сучасними вольтметрами можна вимірювати напругу до  $10^6$  В.



Мал. 65

## ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

Варто також зазначити, що в деяких риб є органи, які виробляють електричний струм. Наприклад, електричний сом дає розряди напругою до 360 В, електричний скат — до 220 В, електричний вугор — до 650 В і силою струму 2 А.



## ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що таке електрична напруга?
2. Як можна визначити напругу, знаючи роботу струму і електричний заряд?
3. Що прийнято за одиницю напруги? Як називають цю одиницю?
4. Яким приладом вимірюють напругу?
5. В яких одиницях градуують шкалу вольтметра?
6. Поясніть, як вмикають вольтметр в електричне коло.
- 7\*. Чому вольтметр вмикають паралельно до ділянки кола?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

## ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ НАПРУГИ ЗА ДОПОМОГОЮ ВОЛЬТМЕТРА

- **Мета роботи:** навчитися користуватися вольтметром, за його допомогою вимірювати напругу на різних ділянках кола.
- **Прилади і матеріали:** джерело струму, низьковольтна лампа на підставці, спіраль з провідника, вольтметр, ключ, з'єднувальні проводи.

### Хід роботи

1. Розгляньте шкалу вольтметра. Яка ціна поділки шкали приладу? Яка межа вимірювання вольтметра?  
Ціна поділки шкали вольтметра становить ... В. Вольтметром можна виміряти напругу від 0 до ... В.
2. Складіть електричне коло з джерела струму, лампи, спіралі та ключа, з'єднавши всі прилади так, як показано на малюнку 66.
3. Знаючи, що вольтметр слід вмикати паралельно до споживача, приєднайте його до лампи. Замкніть коло. Зніміть покази вольтметра.  
 $U_1 = \dots \text{ В.}$
4. Приєднайте вольтметр до спіралі. Замкнувши коло, виміряйте напругу на спіралі.  
 $U_2 = \dots \text{ В.}$



Мал. 66

5. Виміряйте напругу на затискачах батареї гальванічних елементів.  
 $U = \dots$  В. Накресліть схему складеного електричного кола.
6. Визначте суму напруг  $U_1 + U_2$  та порівняйте її з напругою  $U$ .
7. Зробіть висновок.

### *Завдання для допитливих*

Візьміть гальванічні елементи від кишенькового ліхтарика, які вже майже відпрацьовані і від яких спіраль лампочки ледве розжарюється. Підігрійте гальванічні елементи на батареї водяного опалення або іншим нагрівником. Знову вставте їх у ліхтарик. Чи яскравіше світитиметься лампочка? Зробіть висновок.

## § 13 ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР ПРОВІДНИКІВ. ОДИНИЦІ ОПОРУ

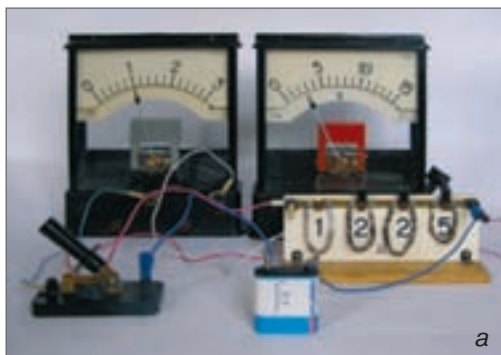
Ви вже знаєте, що електричний струм у колі — це впорядкований рух заряджених частинок в електричному полі. Чим сильніша дія електричного поля на заряджені частинки, які в ньому рухаються, тим більша сила струму в колі.

Водночас дія електричного поля характеризується напругою. Отже, постає запитання: *чи залежить сила струму в провіднику від напруги на його кінцях?*

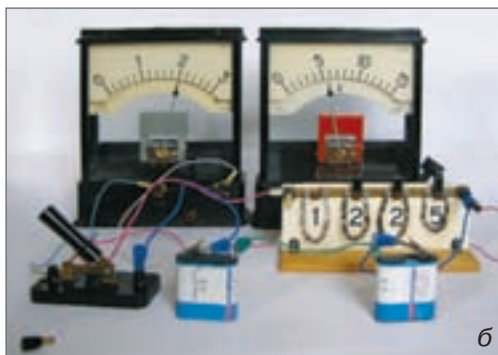
● **Дослід 1.** Складемо електричне коло, використовуючи гальванічний елемент, амперметр, нікелінову спіраль від магазину опорів, до якої паралельно приєднано вольтметр і ключ (мал. 67).

Замкнемо коло і зафіксуємо покази приладів (мал. 67, а). Потім до гальванічного елемента послідовно приєднаємо такий самий гальванічний елемент і знову замкнемо коло. Ми побачимо, що напруга на спіралі при цьому збільшилася вдвічі, а амперметр показує вдвічі більшу силу струму (мал. 67, б).

Якщо з'єднати послідовно три елементи, то напруга на спіралі збільшиться втричі, у стільки само разів збільшиться і сила струму в електричному колі.



а



б

Мал. 67

Графічно це можна зобразити так (мал. 68). На горизонтальній осі у вибраному масштабі відкладемо значення напруги, а на вертикальній — відповідні їм значення сили струму. Нанесемо точки на площину і отримаємо графік лінійної залежності: чим більша напруга прикладена до ділянки кола, тим більший струм у колі.

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

● **Дослід 2.** Складемо електричне коло (мал. 69). Під час його замикання амперметр показує певне значення сили струму. Вимкнувши ключ, приєднаємо до лампи нікеліновий дріт завдовжки 1–2 м. Знову замкнемо коло і побачимо, що сила струму в колі зменшилася. Якщо замість нікелінового дроту ввімкнути в коло такий самий за розмірами ніхромовий дріт, то амперметр покаже ще меншу силу струму. Якщо ввімкнути мідну дротину таких самих розмірів, то сила струму в колі зросте.

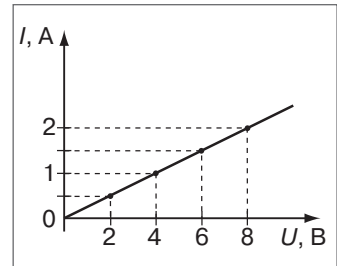
Якщо під час замикання кола щоразу приєднувати до кінців цих провідників вольтметр, то він показуватиме однакову напругу. Отже, сила струму в колі залежить не тільки від напруги, а й від властивостей провідників, увімкнених у коло.

Залежність сили струму від властивостей провідника пояснюється тим, що напрямленому руху вільних електронів у металевому провіднику протидіють їхні хаотичні зіткнення з йонами кристалічних ґраток, що перебувають у стані теплового руху (теплових коливань). Ця протидія призводить до зменшення швидкості напрямленого руху заряджених частинок, тобто до зменшення сили струму в колі.

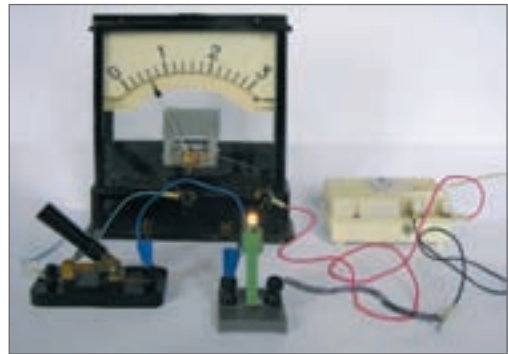
▶ **Величина, яка характеризує властивість провідника протидіяти напрямленому переміщенню вільних зарядів всередині нього, називається електричним опором провідника.**

Провідники, що мають однакові геометричні розміри (довжину і площу поперечного перерізу), але їх виготовлено з різних металів, мають різні значення електричного опору, що пояснюється відмінностями в будові їхніх кристалічних ґраток.

Електричний опір позначають великою латинською літерою **R**. Одиницею електричного опору в СІ є **один ом (1 Ом)**, її названо так на честь німецького фізика **Георга Ома** за вагомий внесок у дослідження законів протікання струму в колах.



Мал. 68



Мал. 69



**Значення електричного опору один ом (1 Ом) має такий провідник, у якому протікає струм силою один ампер (1 А) при напрузі один вольт (1 В) на його кінцях.**

На практиці застосовують ще такі одиниці опору: міліом (мОм), кілоом (кОм), мегаом (МОм).

$$1 \text{ мОм} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; \quad 1 \text{ кОм} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом}; \quad 1 \text{ МОм} = 1 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$

Схеми електричних і електронних приладів складаються із сукупності електричних кіл, сила струму і напруга в яких залежать від значень електричного опору спеціальних деталей — **резисторів** різних конструкцій. Значення опору резисторів становить від десятих часток ома до десяти тисяч мегаомів.



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

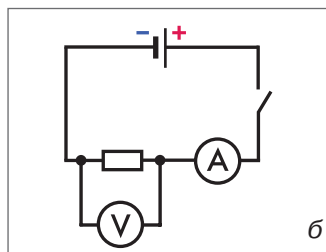
1. Як залежить сила струму в провіднику від напруги на кінцях провідника?
2. Опишіть досліди, які показують, що сила струму в електричному колі залежить від властивостей провідника.
3. Який опір прийнято за одиницю опору провідника?
- 4\*. Що є причиною електричного опору провідника?
5. Яку властивість провідника характеризує його електричний опір?

## § 14 ЗАКОН ОМА ДЛЯ ОДНОРІДНОЇ ДІЛЯНКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА

Явища, що відбуваються в електричних колах, характеризуються фізичними величинами: **силою струму, напругою та опором**, які певним чином пов'язані між собою. Ви, наприклад, знаєте, що сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на його кінцях.

Уперше явища в електричних колах докладно вивчив **Георг Ом**. У 1826 р. йому вдалося експериментально встановити залежність між силою струму, напругою та опором в електричних колах. Ця залежність виявилася дуже важливою й отримала назву **закону Ома**. Щоб зрозуміти його фізичний зміст, виконаємо досліди.

● **Дослід 1.** Використовуючи джерело струму, амперметр, спіраль з нікелінового дроту (резистор), вольтметр, ключ і з'єднувальні провідники, складемо електричне коло (мал. 70, а). На малюнку 70, б наведено схему цього кола. Амперметр, увімкнений у коло **послідовно**, показуватиме силу струму, що протікає в спіралі. Вольтметр, приєднаний до спіралі **паралельно**, покаже напругу на її кінцях. Опір спіралі не змінюватиметься.



Мал. 70

Замкнемо ключ та знімемо покази вольтметра й амперметра. Вони становитимуть:  $U = 4 \text{ В}$ ;  $I = 1 \text{ А}$ . Якщо збільшимо напругу вдвічі, тобто  $U = 8 \text{ В}$ , то амперметр покаже силу струму вдвічі більшу, тобто  $I = 2 \text{ А}$ . У ході досліду доходимо такого висновку: **при постійному опорі провідника сила струму, що протікає в ньому, прямо пропорційна напрузі на його кінцях** (мал. 68 на с. 56).

● **Дослід 2.** Складемо таке саме електричне коло, як у попередньому досліді, тільки замість однієї ніхромової дротини вмикатимемо по черзі дротини, що мають відповідно опір 1 Ом, 2 Ом, 4 Ом (мал. 71, а).

Напруга на кінцях кожного провідника під час досліду буде сталою, контролюватимемо її значення весь час за показами вольтметра. Силу струму в колі вимірюватимемо амперметром.

Результати проведених дослідів виявляються такими: напруга на кінцях провідників становила 2 В; коли вмикали провідник опором 1 Ом, сила струму в колі становила 2 А, 2 Ом — 1 А, 4 Ом — 0,5 А. Відклавши ці значення на осях координат, побудуємо графік (мал. 71, б). Бачимо, що ним є *гіпербола*, тобто: чим більший опір провідника, тим менший струм у ньому протікає.

Отже, доходимо висновку, що **при постійній напрузі сила струму в провіднику обернено пропорційна його опорю**.

Поеднавши результати обох дослідів, запишемо формулу залежності сили струму в провіднику  $I$  від напруги на кінцях провідника  $U$  і його опорю  $R$ :

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

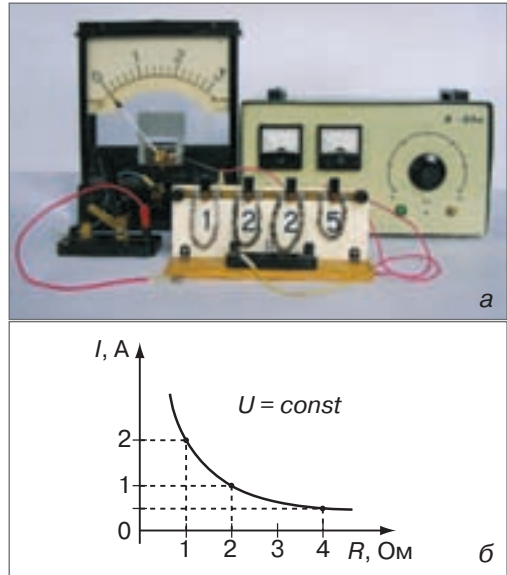
Ця формула й виражає **закон Ома**.

▶ **Сила струму в ділянці електричного кола прямо пропорційна напрузі на цій ділянці й обернено пропорційна опорю цієї ділянки.**

На законі Ома ґрунтується експериментальний спосіб визначення опорю провідника. Із закону Ома випливає, що

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

Отже, для визначення опорю провідника потрібно виміряти на ньому напругу, потім — силу струму в ньому, після чого значення напруги поділити на значення сили струму. З цієї формули також видно, що одиниця елек-



Мал. 71

тричного опору дорівнює відношенню одиниці напруги до одиниці струму,

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

Якщо нам відомі опір і сила струму на ділянці кола, то закон Ома дає змогу розрахувати напругу на його кінцях:

$$U = IR.$$

**Щоб визначити напругу на кінцях ділянки кола, потрібно силу струму в цій ділянці помножити на її опір.**

### ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

Георг Ом після виходу книжки «Теоретичні дослідження електричних кіл», у якій він виклав відкритий ним закон, написав, що «рекомендує її добрим людям з теплим почуттям батька, не осліпленого мавпячою любов'ю до дітей, але задоволений вказівкою на відкритий погляд, з яким його дитина дивиться на злий світ». Світ насправді виявився для нього злим, і вже через рік після виходу його праці в одному з журналів була опублікована стаття, в якій роботи Ома було піддано нищівній критиці. «Той, хто побожними очима дивиться на всесвіт, — говорилося в статті, — повинен відвернутися від цієї книжки, що є плодом непоправних оман, що переслідують єдину мету — применшити велич природи».

Злісні й безпідставні нападки на Ома не пройшли безслідно. Теорію Ома не прийняли. І замість продовження наукових досліджень він повинен був затрачати час і енергію на полеміку зі своїми опонентами. В одному зі своїх листів Ом написав: «Народження “Електричних кіл” принесло мені невимовні страждання, і я готовий проклясти час їхнього зародження».

Але це були тимчасові труднощі. Поступово теорія Ома здобула повного визнання. Закон Ома вніс таку ясність у правила розрахунку струмів і напруг в електричних колах, що американський учений Дж. Генрі, довідавшись про відкриття Ома, не стримався від вигуку: «Коли я перший раз прочитав теорію Ома, то вона мені здалася блискавкою, що раптом освітила кімнату, занурену в морок».



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Як зміниться сила струму на ділянці кола, якщо при незмінному опорі збільшити напругу на її кінцях?
2. Як зміниться сила струму, якщо при незмінній напрузі збільшити опір ділянки кола?
3. Сформулюйте закон Ома.
4. Як за допомогою вольтметра і амперметра можна виміряти опір провідника?
5. За якою формулою визначається напруга, якщо відомі сила струму й опір даної ділянки?
- 6\*. Поясніть, чому формула для розрахунку опору провідника, отримана із закону Ома, не має фізичного змісту.

**ЛАБОРАТОРНА  
РОБОТА № 4**
**ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ПРОВІДНИКА  
ЗА ДОПОМОГОЮ АМПЕРМЕТРА І ВОЛЬТМЕТРА**

- **Мета роботи:** навчитися вимірювати опір провідника за допомогою амперметра і вольтметра. Переконатися на дослідах, що опір провідника не залежить від сили струму в ньому і напруги на його кінцях.
- **Прилади і матеріали:** джерело струму, досліджуваний провідник (ніхромова спіраль), амперметр, вольтметр, реостат, ключ, з'єднувальні проводи.

**Хід роботи**

1. Складіть електричне коло, з'єднавши послідовно джерело струму, амперметр, досліджуваний провідник (спіраль), реостат, ключ. До кінців спіралі приєднайте вольтметр (враховуйте знаки «+» і «-»).
2. Накресліть схему складеного електричного кола.
3. Виміряйте силу струму в колі і напругу на провіднику.
4. За допомогою реостата змініть опір кола й знову виміряйте силу струму в колі та напругу на провіднику.
5. Результати вимірювань запишіть у таблицю.

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

6. Користуючись законом Ома, обчисліть опір провідника за даними кожного окремого вимірювання.
7. Результати обчислень запишіть у таблицю. Порівняйте одержані результати.

**Завдання для допитливих**

За даними роботи накресліть графік залежності сили струму в провіднику від напруги на її кінцях. Проаналізуйте графік. За графіком визначте опір провідника при будь-якому проміжному значенні сили струму.

## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

## ► Розв'язуємо разом

1. Сила струму в колі електричної лампи дорівнює 0,3 А. Скільки електронів пройде крізь поперечний переріз спіралі за 5 хв?

Дано:

$$I = 0,3 \text{ А}$$

$$t = 5 \text{ хв} = 300 \text{ с}$$

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

$$\pi = 3,14$$

$$N = ?$$

Розв'язання

Заряд, що пройшов крізь поперечний переріз провідника за час протікання струму, визначимо за такою формулою:

$$q = It.$$

Поділивши це значення на елементарний заряд, визначимо кількість електронів, що пройшли крізь поперечний переріз провідника:

$$N = \frac{It}{e}.$$

Підставивши значення відомих величин, отримаємо:

$$N = \frac{0,3 \text{ А} \cdot 300 \text{ с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 5,6 \cdot 10^{20} \text{ електронів.}$$

Відповідь: крізь поперечний переріз спіралі пройде  $5,6 \cdot 10^{20}$  електронів.

2. Який опір має вольтметр, розрахований на 150 В, якщо сила струму в ньому не повинна перевищувати 0,01 А?

Дано:

$$U = 150 \text{ В}$$

$$I = 0,01 \text{ А}$$

$$R = ?$$

Розв'язання

Опір вольтметра визначимо за законом Ома:  $R = \frac{U}{I}$ .

Підставивши значення, отримаємо:  $R = 150 \text{ В} : 0,01 \text{ А} = 15\,000 \text{ Ом} = 15 \text{ кОм}$ .

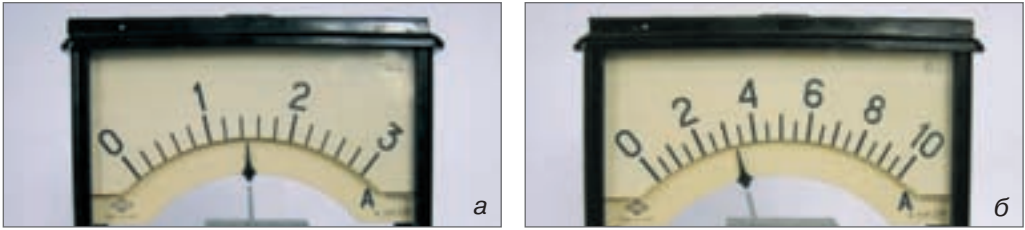
Відповідь: опір вольтметра дорівнює  $R = 15 \text{ кОм}$ .

3. Що змінилося на ділянці кола, якщо ввімкнений послідовно з нею амперметр показує збільшення сили струму?

Відповідь: підвищилася напруга або зменшився опір.

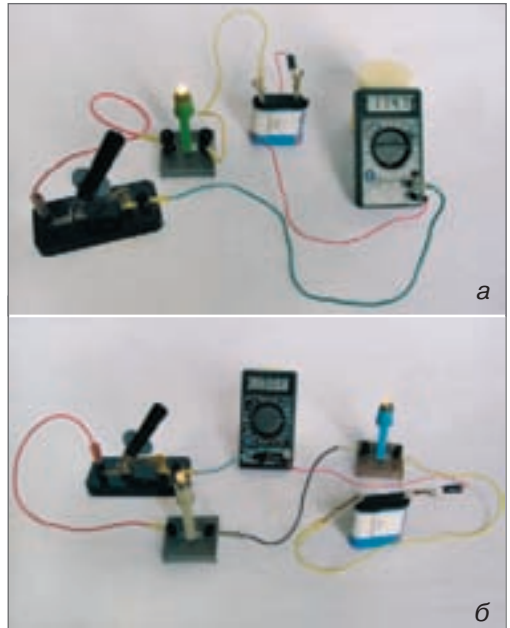
## Рівень А

75. Сила струму в колі електричної плитки дорівнює 1,4 А. Який електричний заряд проходить крізь спіраль за 10 хв?
76. Обчисліть силу струму в провіднику, крізь поперечний переріз якого за кожну хвилину проходить заряд 36 Кл.
77. У ввімкненому в електричне коло приладі сила струму дорівнює 6 мкА. Який заряд проходить крізь цей прилад за 10 хв?
78. За який час крізь поперечний переріз провідника пройде заряд 10 Кл при силі струму 2 А?
79. Амперметр, увімкнений в електричне коло, показує силу струму 4 А. За який час крізь цей амперметр пройде заряд 20 Кл?
80. Виразіть в амперах силу струму, яка дорівнює: 2000 мА; 100 мА; 55 мА; 3 кА.



Мал. 72

81. На малюнку 72 (а, б) зображено шкали двох амперметрів. Визначіть для кожного амперметра межі вимірювання і ціну поділки шкали. Яку силу струму показує кожний амперметр?
82. Під час вимірювання сили струму в електричному колі один учень увімкнув амперметр у коло послідовно, а другий — паралельно. Який з учнів неправильно приєднав амперметр? Чому?
83. На малюнку 73 (а, б) зображені електричні кола. Які прилади увімкнуті в електричні кола? Накресліть електричні схеми цих кіл. Яку силу струму зафіксував кожний з амперметрів?
84. Внаслідок переміщення заряду 12 Кл по спіралі електричної лампи виконана робота 240 Дж. Яка напруга на затискачах лампи?
85. Визначте напругу на ділянці електричного кола, на якій струм виконав роботу 10 кДж при перенесенні заряду 10 Кл.
86. Визначте напругу на автомобільній лампі, якщо для переміщення в ній заряду 100 Кл треба виконати роботу 600 Дж.
87. На малюнку 74 (а, б, в) зображено шкали трьох вольтметрів. Для кожного вольтметра визначте межі вимірювання і ціну поділки шкали. Визначте, яку напругу показує кожний вольтметр.

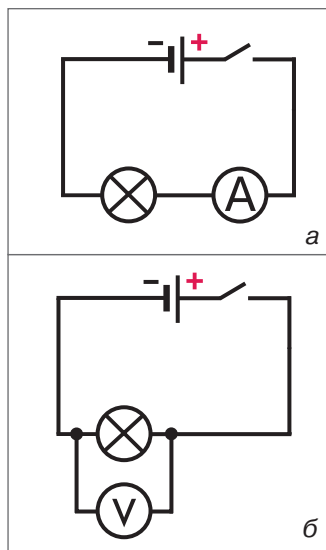


Мал. 73



Мал. 74

88. Один учень увімкнув вольтметр в електричне коло послідовно, а другий — паралельно. Який вольтметр увімкнено правильно?
89. Треба виміряти напругу на електролампі, ввімкненій в освітлювальну мережу. Який з двох вольтметрів: на 300 чи на 150 В має вибрати учень? Напруга в мережі становить 220 В.
90. Виміряйте напругу на виводах гальванічного елемента та батареї гальванічних елементів. Які покази ви зафіксували?
91. На малюнку 75, а показано, як потрібно з'єднати елементи, щоб вимірювати силу струму в електричному колі, а на малюнку 75, б — напругу. У чому полягає відмінність між вимірюванням сили струму і напруги в електричному колі?
92. Потрібно виміряти силу струму в електродвигуні й напругу, під якою він працює. Накресліть схему вмикання приладів.
93. В електричній лампі, розрахованій на напругу 220 В, сила струму дорівнює 0,5 А. Визначте опір нитки лампи в робочому стані.
94. Електрична плитка розрахована на напругу 220 В. Опір її спіралі дорівнює 75 Ом. Визначте силу струму в ній.
95. Чому дорівнює сила струму в електричній лампі кишенькового ліхтаря, якщо опір нитки розжарювання дорівнює 15 Ом і приєднана вона до батареї гальванічних елементів напругою 4,5 В?
96. Вольтметр показує напругу 120 В. Який опір вольтметра, якщо крізь нього проходить струм 10 мА?
97. Визначте опір електричної лампи, сила струму в якій дорівнює 0,5 А при нарузі 120 В.
98. При нарузі 1,2 кВ сила струму в колі одного із блоків телевізора дорівнює 50 мА. Чому дорівнює опір кола цього блока?
99. Яку напругу треба прикласти до провідника, опір якого 1000 Ом, щоб отримати в ньому силу струму 8 мА?
100. У паспорті амперметра написано, що його опір дорівнює 0,1 Ом. Визначте напругу на затискачах амперметра, якщо він показує силу струму 10 А.
101. Визначте напругу на кінцях провідника, опір якого дорівнює 20 Ом, якщо сила струму в провіднику 0,4 А.

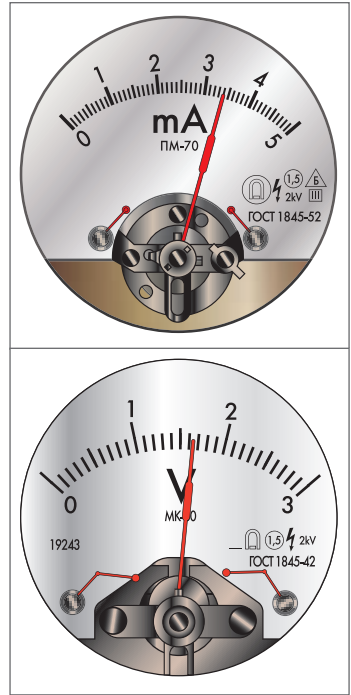


Мал. 75

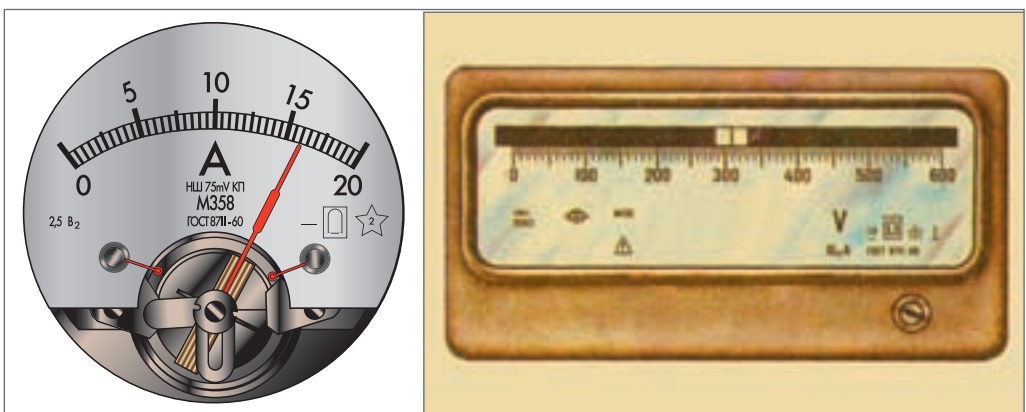
**Рівень Б**

102. Крізь одну електричну лампу проходить заряд 450 Кл за кожні 5 хв, а через другу — 15 Кл за 10 с. В якій із ламп сила електричного струму більша?
103. Скільки електронів проходить за секунду крізь поперечний переріз провідника, якщо сила струму в ньому дорівнює 5 А?

104. Крізь поперечний переріз провідника в електричному колі щосекунди проходить  $3,1 \cdot 10^{18}$  електронів. Визначте силу струму в колі. Скільки електронів проходить крізь поперечний переріз спіралі електричної лампи в цьому колі?
105. На малюнку 76 зображено шкали вимірювальних приладів. Як називаються ці прилади? Для вимірювання якої фізичної величини їх використовують? На яке максимальне значення вимірюваної величини розрахований кожний із приладів? Яка ціна поділки шкал приладів? Яке значення вимірюваної величини показує кожний із приладів?
106. Як за допомогою вольтметра визначити полюси джерела постійного струму?
107. Чому опір є однією з найважливіших характеристик провідників?
108. Чому всі провідники певною мірою спричиняють опір напрямленому руху зарядів усередині провідника?
109. Чи можна від батареї акумуляторів напругою 12 В отримати у провіднику силу струму 140 мА, якщо опір провідника дорівнює 100 Ом?
110. У електромережу напругою 220 В увімкнули електричний чайник і настільну лампу. Опір нагрівального елемента чайника дорівнює 22 Ом, опір нитки розжарення лампи — 240 Ом. Визначте силу струму в кожному із приладів.
111. Під час опосередкованих вимірювань опору резистора сфотографували амперметр і вольтметр (мал. 77). Визначте опір резистора.



Мал. 76



Мал. 77



## § 15 РОЗРАХУНОК ОПОРУ ПРОВІДНИКА. ПИТОМИЙ ОПІР ПРОВІДНИКА

Ви вже знаєте, що причиною електричного опору провідника є взаємодія вільних електронів з йонами кристалічних ґраток металу.

Розглянемо тепер, від чого залежить опір провідника. Для цього проведемо такі досліди.

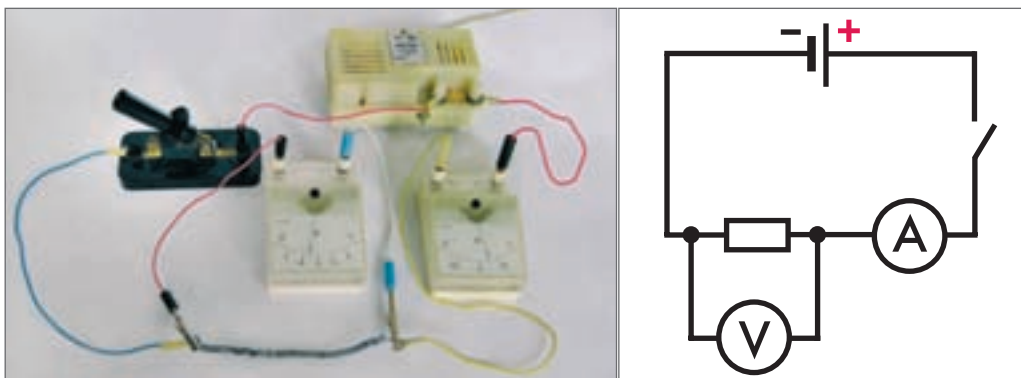
● **Дослід 1.** В електричне коло (мал. 78) вмикатимемо по черзі провідники, які виготовлено з однакового матеріалу, мають однаковий діаметр, але різну довжину. Силу струму вимірюватимемо амперметром, а напругу — вольтметром.

Провівши досліди, доходимо такого висновку: **чим довший провідник, тим більший його електричний опір.** Це пояснюється тим, що чим довший провідник, тим більшої протидії зазнають на своєму шляху частинки, які рухаються напрямлено.

● **Дослід 2.** Вмикатимемо в електричне коло по черзі провідники, які виготовлено з однакового матеріалу, мають однакову довжину, але різні поперечні перерізи. Вимірявши силу струму в провідниках і напругу на їхніх кінцях, переконаємося: **чим товщий провідник, тим менший його електричний опір.** Збільшення товщини провідника рівнозначне «розширенню русла», яким рухаються заряди, тому й опір провідника зменшується.

● **Дослід 3.** Тепер в електричне коло будемо по черзі вмикати провідники однакової довжини і поперечного перерізу, але виготовлених з різних речовин. У результаті виявимо, що: **електричний опір провідника залежить від того, з якої речовини він виготовлений.** Це пояснюється тим, що провідники з різних металів мають різні кристалічні структури, отже, гальмівна дія зіткнень йонів і вільних електронів виявляється різною.

Вищезгадану залежність опору провідника від його розмірів і речовини, з якої виготовлено провідник, уперше встановив дослідним шляхом Георг Ом: **опір провідника прямо пропорційний його довжині, обернено пропорційний площі його поперечного перерізу і залежить від речовини, з якої виготовлено провідник.**



Мал. 78

Залежність опору провідника від речовини, з якої він виготовлений, характеризують спеціальним параметром: питомим опором речовини.

**Питомий опір речовини** — це фізична величина, що показує, який опір має виготовлений із цієї речовини провідник довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м<sup>2</sup>.

Якщо довжину провідника позначити літерою  $l$ , площу його поперечного перерізу —  $S$ , питомий опір —  $\rho$ , то опір провідника визначатиметься за такою формулою:

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

З цієї формули можна визначити питомий опір речовини:

$$\rho = \frac{RS}{l},$$

Оскільки одиницею опору є 1 Ом, одиницею площі поперечного перерізу — 1 м<sup>2</sup>, одиницею довжини — 1 м, то одиницею питомого опору буде:

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

На практиці площу поперечного перерізу провідників зазвичай виражають у квадратних міліметрах, тому одиницею питомого опору речовини в цьому разі є  $1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ .

У таблиці 3 подано визначені експериментально значення питомого опору широко застосованих на практиці речовин.

Таблиця 3

**Питомий електричний опір деяких речовин**  
(при  $t = 20^\circ\text{C}$ )

Речовина	$\rho$ , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Речовина	$\rho$ , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Речовина	$\rho$ , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Срібло	0,016	Свинець	0,21	Ніхром (сплав)	1,1
Мідь	0,017	Нікелін (сплав)	0,40	Фехраль (сплав)	1,3
Золото	0,024	Манганін (сплав)	0,43	Графіт	13
Алюміній	0,028	Константан (сплав)	0,50	Фарфор (порцеляна)	$10^{19}$
Вольфрам	0,050	Ртуть	0,96	Ебоніт	$10^{20}$
Залізо	0,10				

Як бачимо з таблиці 3, найкращими провідниками електрики є срібло, мідь, золото. Але для практичних потреб (наприклад, створення електромереж) провідники виготовляють із алюмінію, міді і заліза.

У нагрівальних елементах застосовують ніхромові й фехралеві провідники. Фарфор (порцеляна) і ебоніт є чудовими ізоляторами.

Бачимо, що для різних речовин значення питомого опору змінюються в дуже широких межах. Це пояснюється тим, що вони мають різну внутрішню будову.

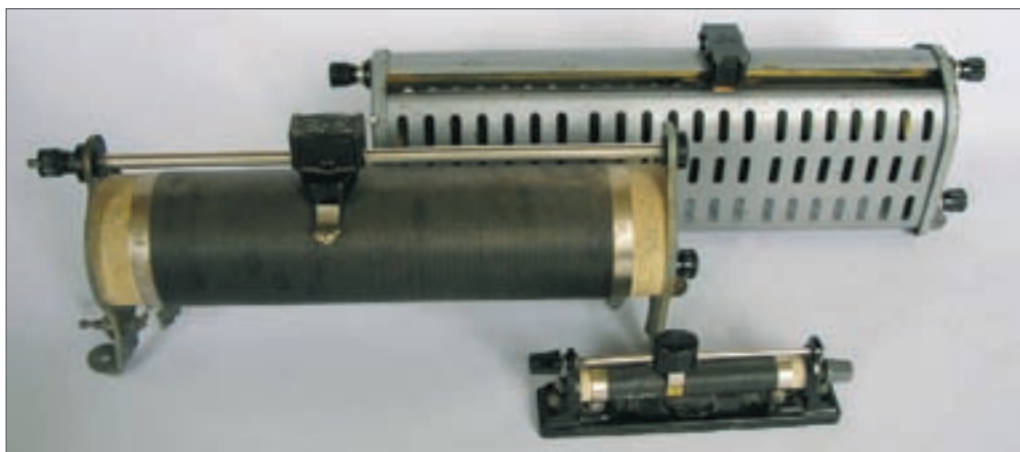
**ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ**

1. Що характеризує електричний опір і як його позначають?
2. Від чого залежить опір провідника?
3. За якою формулою визначають опір провідника?
4. Що показує питомий опір? Якою літерою його позначають?
5. Які ви знаєте одиниці питомого опору?
- 6\*. Є два провідники. В якого з них більший опір, якщо вони: а) мають однако-ву довжину і площу поперечного перерізу, але один з них виготовлено з кон-стантану, а інший — з фехралю; б) виготовлені з тієї самої речовини, мають однако-ву товщину, але один з них удвічі довший; в) виготовлені з тієї самої речовини, мають однако-ву довжину, але один з них удвічі тонший?
- 7\*. Провідники, розглянуті вище, по черзі приєднують до того самого джере-ла струму. В якому випадку сила струму буде більшою, а в якому — меншою? Порівняйте кожну пару розглянутих провідників.

**§ 16 РЕОСТАТИ. ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПОРУ ПРОВІДНИКА ВІД ТЕМПЕРАТУРИ**

На практиці часто доводиться змінювати силу струму в колі, роблячи її то більшою, то меншою. Наприклад, змінюючи силу струму в електроплитці, ми регулюємо температуру її нагрівання.

Для регулювання сили струму в електричному колі застосовують спеціальні прилади — **реостати**. На малюнку 79 показано зовнішній вигляд реостатів (їх умовне позначення ви можете побачити в таблиці на с. І форзаца). Такі реостати називають **повзунковими**. У них на керамічний циліндр намотано дріт, покритий тонким шаром окалини, тому витки дроту ізолювані один від одного. Над обмоткою розміщено металевий стержень, уздовж якого може переміщуватися повзунок. Від тертя повзунка об витки шар окалини під контактами повзунка стирається, і електричний струм у колі проходить від витків дроту до повзунка, а крізь нього — у стержень, який має



Мал. 79

на кінці затискач. Реостат вмикають у коло за допомогою цього затискача і затискача, з'єднаного з одним із кінців обмотки й розміщеного на корпусі реостата.

Переміщуючи повзунок по стержню, можна збільшувати або зменшувати опір увімкненого в коло реостата.

На малюнку 80 зображено реостат (а) і магазин опорів (б), за допомогою яких можна змінювати опір у колі не плавно, а стрибкоподібно.

Кожний реостат розрахований на певний опір і на певну допустиму силу струму, перевищувати яку не слід, тому що обмотка реостата може розжаритися й перегоріти. Опір реостата і найбільше допустиме значення сили струму зазначено на корпусі реостата.



Мал. 80

*А чи залежить опір провідника від його стану, зокрема температури?*

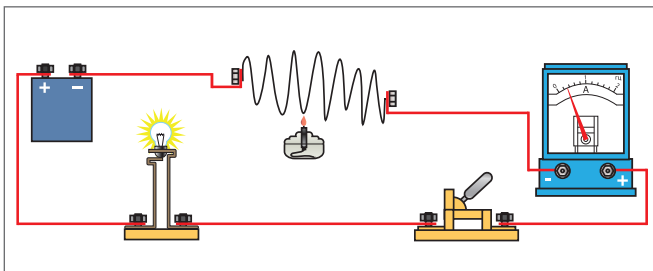
● **Дослід 1.** Складемо електричне коло з джерела струму, сталеві спіралі, амперметра і ключа (мал. 81). Нагріватимемо спіраль у полум'ї пальника. Амперметр, увімкнений в коло, покаже зменшення сили струму з підвищенням температури.

Звідси можна зробити висновок: **зі зміною температури опір металевих провідників змінюється: при підвищенні температури — збільшується, при зниженні температури — зменшується.**

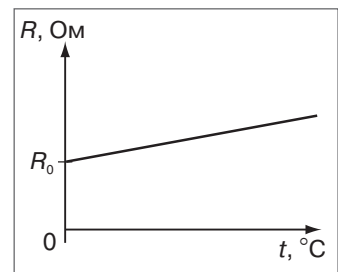
Наукові дослідження виявили, що в обмеженому діапазоні температур опір металевих провідників зростає прямо пропорційно температурі (мал. 82) і може бути визначений за формулою:

$$R = R_0(1 + \alpha t),$$

де  $R$  — опір провідника при певній температурі;  $R_0$  — опір провідника при  $0^\circ\text{C}$ ;  $t$  — температура провідника за шкалою Цельсія;  $\alpha$  — температурний коефіцієнт опору.



Мал. 81



Мал. 82

**Температурний коефіцієнт опору характеризує залежність опору речовини від температури і визначається відносною зміною опору провідника при нагріванні на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ :**

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 t}.$$

У чистих металів (які мають мінімальні домішки):

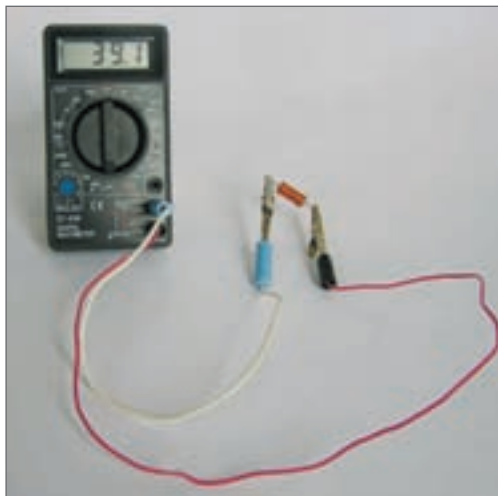
$$\alpha \approx \frac{1}{273}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = 0,00367\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}.$$

Наприклад, опір вольфрамової нитки лампи розжарювання збільшується під час проходження по ній струму більш як у 10 разів.

Сплав константан (міді з нікелем) має дуже малий температурний коефіцієнт опору, який приблизно дорівнює  $10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Питомий опір константану великий  $\rho = 10^{-6}\text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Такі сплави використовують для виготовлення еталонних опорів і додаткових опорів для вимірювальних приладів, тобто в тих випадках, коли потрібно, щоб опір помітно не змінювався під час коливань температури.

Залежність опору металевих провідників від температури використовують у **термометрах опору**. Основним робочим елементом таких термометрів є платиновий дріт. Про зміни температури навколишнього середовища судять за зміною опору дроту, яку можна виміряти. Такі термометри дають змогу вимірювати дуже низькі й дуже високі температури середовища, коли рідинні термометри для цього непридатні.

Для вимірювання опору провідників використовують прилади, які називаються **омметрами**. Омметри бувають різних конструкцій. Ми ознайомимося з одним із них. Наприклад, для того щоб виміряти опір провідника, приєднаємо до нього омметр (мал. 83). Цифровий індикатор омметра показує, що опір провідника дорівнює 39,1 Ом.



Мал. 83



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Які конструкції реостатів ви знаєте? Для чого їх використовують?
2. Як залежить опір металевого провідника від температури навколишнього середовища?
3. Наведіть формулу для визначення опору провідника за певної температури?
4. Що таке температурний коефіцієнт опору?
- 5\*. Назвіть переваги термометрів опору над рідинними?
6. Якими приладами вимірюють опір провідників?

**ЛАБОРАТОРНА  
РОБОТА № 5**
**ВИВЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО  
ОПОРУ ВІД ДОВЖИНИ,  
ПЛОЩІ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ  
І МАТЕРІАЛУ ПРОВІДНИКА**

- **Мета роботи:** на дослідах виявити залежність опору металевих провідників від їх розмірів і матеріалу.
- **Прилади і матеріали:** нікелінові і ніхромові дроти різних довжин і поперечного перерізу, джерело струму, амперметр, вольтметр, ключ, з'єднувальні проводи.

**Хід роботи**

1. Складіть електричне коло за схемою (мал. 78), увімкнувши в нього нікелінову дrottину довжиною 40 см. Виміряйте силу струму в дротині і напругу на її кінцях. Визначте опір дротини.
2. Зменшіть довжину нікелінової дротини до 20 см. Знову виміряйте в ній силу струму і напругу на її кінцях. Визначте опір дротини.
3. Порівняйте отримані результати. Зробіть висновки.
4. Складіть електричне коло за схемою (див. мал. 78), увімкнувши в нього ніхромову дrottину довжиною 40 см. Виміряйте силу струму в дротині і напругу на її кінцях. Визначте опір дротини.
5. Зменшіть довжину ніхромової дротини до 20 см. Знову виміряйте в ній силу струму і напругу на її кінцях. Визначте опір дротини.
6. Порівняйте отримані результати. Зробіть висновки.
7. Складіть електричне коло за схемою (див. мал. 78), увімкнувши в нього нікелінову дrottину довжиною 40 см, але поперечний переріз якої більший, ніж у попередньому досліді. Виміряйте силу струму в дротині і напругу на її кінцях. Визначте опір дротини.
2. Зменшіть довжину нікелінової дротини до 20 см. Знову виміряйте в ній силу струму і напругу на її кінцях. Визначте опір дротини.
3. Порівняйте отримані результати. Зробіть висновки.

**ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ**
**➤ Розв'язуємо разом**

1. Опір котушки мідного дроту дорівнює 1,5 Ом. Опір другої котушки мідного дроту такого самого поперечного перерізу — 6 Ом. У скільки разів довжина дроту однієї котушки менша за іншу?

Відповідь: відомо, що опір провідника прямо пропорційний його довжині. Отже, чим коротший мідний дріт, тим менший опір. Звідси випливає, що довжина мідного дроту в першій котушці у 4 рази менша, ніж у другій.

2. Реостат виготовлено з нікелінового дроту довжиною 40 м і площею поперечного перерізу  $0,5 \text{ мм}^2$ . Напруга на записках реостата становить 80 В. Чому дорівнює сила струму, що проходить крізь реостат?

Дано:

$l = 40 \text{ м}$

$S = 0,05 \text{ мм}^2$

$U = 80 \text{ В}$

$\rho = 0,40 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

 $I = ?$ 

Розв'язання

Силу струму визначимо за законом Ома:

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

Але нам невідомий опір нікелінового дроту. Його визначимо за формулою

 $R = \rho \frac{l}{S}$ . Питомий опір  $\rho$  визначимо з таблиці 3 (с. 66). Тоді сила струмувизначатиметься за формулою:  $I = \frac{US}{\rho l}$ .

Підставивши значення, отримаємо:

$$I = \frac{80 \text{ В} \cdot 0,05 \text{ мм}^2}{0,40 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 40 \text{ м}} = 2,5 \text{ А}.$$

Відповідь: сила струму в реостаті дорівнює 2,5 А.

**Рівень А**

112. У скільки разів і як зміниться опір провідника, якщо його довжину збільшити у 5 разів?
113. Провід розрізали на три частини і сплели в один. У скільки разів змінився опір проводу? Збільшився він чи зменшився?
114. До будинку підведено кабель з мідними жилами загальним перерізом  $100 \text{ мм}^2$ . Довжина кабеля дорівнює 80 м. Який його опір?
115. Визначте опір кожного кілометра мідного трамвайного проводу, поперечний переріз якого дорівнює  $51 \text{ мм}^2$ .
116. Розгляньте будь-який реостат. Укажіть, на який опір і на яку допустиму силу струму він розрахований.
117. На реостаті написано «50 Ом; 0,2 А». Що це означає?
118. Треба виготовити реостат на 5 Ом з нікелінового дроту площею перерізу  $0,2 \text{ мм}^2$ . Якої довжини дріт потрібен для цього?
119. Крізь моток ізольованого мідного дроту проходить струм 0,05 А при напрузі 8,5 В. Яка довжина дроту в мотку, якщо його поперечний переріз дорівнює  $0,5 \text{ мм}^2$ ?

**Рівень Б**

120. Учень установив на столі лампу від кишенькового ліхтарика. Батарею гальванічних елементів він розмістив на підлозі під столом і з'єднав її з лампою за допомогою двох тоненьких алюмінієвих провідників. Незважаючи на те, що батарея була новою, лампа світилася погано. Поясніть, чому.
121. Крізь нікеліновий провідник довжиною 5 м і поперечним перерізом  $0,12 \text{ мм}^2$  протікає струм силою 1,5 А при напрузі 24 В. Визначте питомий опір нікеліну.
122. Опір провідника дорівнює 20 Ом. На скільки рівних частин треба його розрізати, щоб опір сплетених в один провід частин становив 5 Ом?

123. Реостат опором 30 Ом має 50 витків. На скільки збільшується опір у колі, якщо ввімкнути послідовно 15 витків реостата?
124. Для виготовлення спіралі електричного нагрівника, розрахованого на напругу 120 В і силу струму 5 А, використовується манганіновий провідник поперечним перерізом  $0,3 \text{ мм}^2$ . Визначте довжину цього провідника ( $\rho = 0,45 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ).
125. Скільки треба взяти метрів мідного дроту перерізом  $2 \text{ мм}^2$ , щоб його опір був таким самим, як опір алюмінієвого дроту перерізом  $5 \text{ мм}^2$  і довжиною 17 м?
126. Опір спіралі електричної лампи у розжареному стані в 10 разів більший за опір спіралі у холодному стані. Який опір спіралі лампи в розжареному стані, якщо при напрузі 220 В сила струму в ній дорівнює 0,44 А? Який опір спіралі цієї лампи в холодному стані?
127. Визначте масу мідного проводу, який потрібний для проведення повітряної лінії довжиною 2 км, якщо опір її має дорівнювати 1,36 Ом.

## § 17 ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

Електричні кола, з якими доводиться мати справу на практиці, складаються не з одного споживача електричного струму, а з кількох різних, які можуть бути з'єднані між собою послідовно, паралельно або послідовно й паралельно (змішане з'єднання).

▶ **При послідовному з'єднанні споживачів (провідників) їх з'єднують по черзі один за одним без розгалужень проводів між ними.**

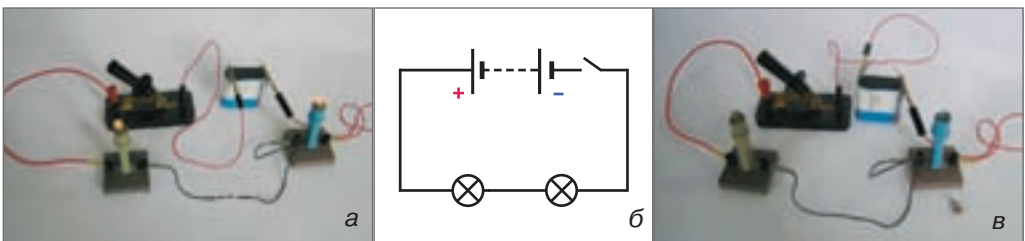
● **Дослід.** До джерела струму приєднаємо послідовно дві лампи (мал. 84, а), намалюємо схему цього електричного кола (мал. 84, б). Якщо вимкнемо одну лампу, то коло розімкнеться й друга лампа погасне (мал. 84, в).

Послідовно з'єднані, наприклад, прилади в електричному колі, зображеному на малюнку 73, б.

Після виконання лабораторних робіт ви вже знаєте таке:

1. При послідовному з'єднанні провідників сила струму в будь-якій частині електричного кола однакова, тобто

$$I = I_1 = I_2.$$



Мал. 84





5. Визначте опори резисторів, електричної лампи та загальний опір кола.
6. Перевірте закони послідовного з'єднання провідників. Зробіть висновки.

### *Завдання для допитливих*

З'єднайте послідовно три однакових по довжині і площі поперечного перерізу провідники, наприклад, мідний, залізний і алюмінієвий. Приєднайте електричну лампочку по черзі до кінців кожного із провідників. У якому випадку і чому спіраль лампочки розжарюється найбільше? На кінцях якого з трьох провідників найбільша напруга?

## § 18 ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

Послідовно з'єднані прилади працюють усі разом у замкнутому колі або всі не працюють у незамкнутому, а це не завжди зручно. Наприклад, для освітлення будинку або кімнати немає потреби, щоб одночасно світили всі лампи. У разі їх послідовного з'єднання, вимикаючи одну з ламп, ми вимикаємо й решту. Якщо треба, щоб прилади працювали в колі незалежно, то використовують паралельне з'єднання провідників.

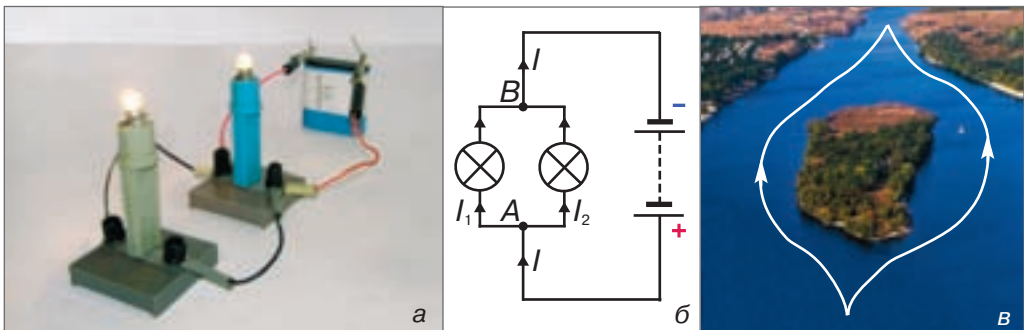
**При паралельному з'єднанні споживачів (провідників) виводи кожного з них приєднують до спільної для всіх пари затискачів (точок або вузлів кола).**

На малюнку 85, *а* показано паралельне з'єднання двох електричних ламп, а на малюнку 85, *б* — схему цього з'єднання (у точках *A* і *B* — вузли кола). Якщо одну лампу вимкнути, то друга продовжуватиме світитися.

Виконавши досліди, переконуємося, що **напруга на ділянці кола *AB* і на кінцях усіх паралельно з'єднаних провідників однакова, тобто**

$$U = U_1 = U_2.$$

У побуті й техніці зручно застосовувати паралельне з'єднання споживачів, оскільки вони розраховані на однакову напругу.



Мал. 85

При паралельному з'єднанні струм  $I$  у точці  $A$  (мал. 85, б) розгалужується на два струми —  $I_1$  та  $I_2$ , які сходяться знову в точці  $B$ , подібно до того, як потік води в річці розділяється на два рукави, що потім знову сходяться (мал. 85, в). Стає очевидним зв'язок між значеннями сили струму в гілках паралельного кола.

Сила струму в нерозгалуженій ділянці кола дорівнює сумі струмів в окремих паралельно з'єднаних провідниках, тобто

$$I = I_1 + I_2.$$

При паралельному з'єднанні ніби збільшується товщина провідника, тому загальний опір кола зменшується і стає меншим від опору кожного з провідників, увімкнених в коло. Виходячи із закону Ома, можна вивести співвідношення для визначення загального опору кола при паралельному з'єднанні:

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

Якщо коло складається з двох паралельно з'єднаних однакових ламп з опором  $R_{\text{л}}$  кожна, то загальний опір кола  $R$  буде вдвічі менший від опору однієї лампи:  $R = \frac{R_{\text{л}}}{2}$ .

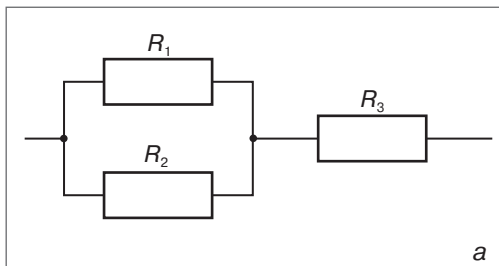
В електричних колах часто зустрічається також *змішане* або *складне з'єднання*, яке є комбінацією послідовного і паралельного з'єднань. У випадку трьох резисторів можливі два варіанти змішаного з'єднання. В першому випадку (мал. 86, а) є дві послідовно з'єднані ділянки, одна з яких є паралельним з'єднанням. Загальний опір кола в цьому випадку

$$R = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

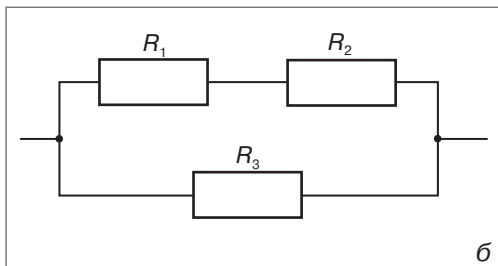
У другому випадку (мал. 86, б) все коло слід розглядати як паралельне з'єднання, в якому одна вітка сама є послідовним з'єднанням. Загальний опір кола в цьому випадку

$$R = \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

При більшому числі резисторів можуть бути складені різні, більш складні схеми змішаного з'єднання.



а



б

Мал. 86



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Чому при паралельному з'єднанні двох провідників справджується формула  $I = I_1 + I_2$ ?
2. Чому на практиці паралельне з'єднання провідників є найпоширенішим з'єднанням?
- 3\*. Поясніть, чому закон загального опору для паралельного з'єднання двох провідників має такий вид:

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

- 4\*. Доведіть, що при паралельному з'єднанні сила струму в кожному з будь-якої пари провідників та їх опори пов'язані співвідношенням  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ .
- 5\*. Чому паралельне з'єднання провідників є більш економічним, ніж послідовне?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ ПРОВІДНИКІВ

- **Мета роботи:** дослідити електричні кола з паралельним з'єднанням провідників, перевірити закони паралельного з'єднання провідників.
- **Прилади і матеріали:** джерело струму, набір дротяних резисторів: 1, 2, 4 Ом, низьковольтна лампа на підставці (на 2,5 або 3,5 В), амперметри, вольтметр, реостат лабораторний (6 Ом), ключ, з'єднувальні проводи.

### Хід роботи

1. Визначте ціну поділки шкал амперметрів і вольтметра.
2. Накресліть схему електричного кола, що складається з джерела струму, двох опорів і електричної лампи, з'єднаних паралельно, амперметрів, вольтметра і ключа.
3. Складіть електричне коло за накресленою схемою.
4. Виміряйте силу струму в електричному колі й напругу на опорах та електричній лампі. Результати занесіть у таблицю.

Номер досліджу	Напруга, $U$ , В	Сила струму, А				Опір, Ом			
		$I_1$ в резисторі $R_1$	$I_2$ в резисторі $R_2$	$I_3$ в лампі $R_3$	$I$ в резисторах і лампі $R$	$R_1$	$R_2$	Лампа $R_3$	Загальний $R$

5. Визначте опори резисторів, електричної лампи та загальний опір кола.
6. Перевірте закони паралельного з'єднання провідників. Зробіть висновки.

## Завдання для допитливих

Складіть електричне коло з гальванічного елемента або батареї гальванічних елементів, електричної лампочки відповідної напруги і трьох вимикачів, увімкнених у коло так, щоб унаслідок замикання кожного з них окремо лампочка світилась. Перед тим як замикати другий вимикач, розмикайте перший. Накресліть схему такого кола, де використується цей спосіб з'єднання вимикачів.

## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

## ► Розв'язуємо разом

1. Два провідники опорами  $R_1 = 2 \text{ Ом}$  і  $R_2 = 3 \text{ Ом}$  з'єднані послідовно. Сила струму в колі дорівнює  $1 \text{ А}$ . Визначте опір кола та напругу, прикладену до всіх ділянок кола.

Дано:

$R_1 = 2 \text{ Ом}$

$R_2 = 3 \text{ Ом}$

$I = 1 \text{ А}$

$R = ? \quad U = ?$

Розв'язання

Сила струму в усіх послідовно з'єднаних провідниках одна й та сама:

$I_1 = I_2 = I = 1 \text{ А}$

Загальний опір кола становить:

$R = R_1 + R_2;$

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

За законом Ома:  $U = IR$ ,  $U = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}$ .Відповідь: загальний опір кола  $R = 5 \text{ Ом}$ , напруга  $U = 5 \text{ В}$ .

2. В освітлювальну мережу кімнати ввімкнено дві однакові електричні лампи. Опір кожної лампи дорівнює  $440 \text{ Ом}$ , напруга в мережі —  $220 \text{ В}$ . Визначте загальний опір кола та силу струму в підвідних проводах.

Дано:

$R_1 = R_2 = 440 \text{ Ом}$

$R_2 = R_1 = 440 \text{ Ом}$

$U = 220 \text{ В}$

$R = ? \quad I = ?$

Розв'язання

Якщо опір ламп однаковий, то при паралельному з'єднанні провідників

він дорівнюватиме  $R = \frac{R_{\text{л}}}{2}$ .

$R = 440 \text{ Ом} : 2 = 220 \text{ Ом}$

За законом Ома:  $I = \frac{U}{R}$ .

$I = 220 \text{ В} : 220 \text{ Ом} = 1 \text{ А}$

Відповідь: загальний опір кола  $R = 220 \text{ Ом}$ , сила струму  $I = 1 \text{ А}$ .

## Рівень А

128. Для новорічної ялинки потрібно виготовити гірлянду з однакових 12-вольтних ламп, щоб увімкнути її в освітлювальну мережу  $220 \text{ В}$ . Скільки треба взяти таких ламп?

129. В освітлювальну мережу 220 В увімкнули послідовно дві електричні лампи з однаковим опором. Якою буде напруга на кожній з ламп?
130. Опір кола, що складається з двох послідовно з'єднаних однакових ламп і реостата, дорівнює 1020 Ом. Який опір кожної лампи, якщо опір реостата дорівнює 120 Ом?
131. Накресліть схему кола, що складається з акумулятора, електричної лампи, реостата і вимикача, з'єднаних за допомогою провідників послідовно.
132. Як зміниться сила струму в ялинковій гірлянді, якщо до неї послідовно приєднати ще одну лампу? Як зміниться світіння ламп?
133. Яка ялинкова гірлянда більш зручна: з послідовним чи паралельним з'єднанням? Чому?

### Рівень Б

134. В освітлювальну мережу увімкнули послідовно дві лампи з різним опором. Яка з них світлитиметься яскравіше? Чому?
135. Для освітлення трамвайного вагона використовують 120-вольтові електричні лампи, хоча напруга в контактній мережі трамваю становить 600 В. Як мають бути увімкнені в таку мережу лампи, щоб на кожну з них припадала нормальна напруга?
136. Салон тролейбуса освітлюється 14 плафонами, в кожному з яких є лампа, розрахована на напругу 120 В. Ще одна така лампа слугує для освітлення номера маршруту. Накресліть схему вмикання всіх ламп у контактну мережу тролейбуса, напруга в якій становить 600 В.
137. Складіть найпростішу схему пожежної сигналізації з 5 ключами в різних пунктах, джерелом струму і одним дзвінком.
138. Один з учнів вважає, що шнур, який з'єднаний з електричною плиткою, — це два паралельно з'єднаних провідники, а інший доводить, що ці провідники послідовно з'єднані з електричною плиткою. Чия думка правильна і чому?
139. Гірлянда кімнатної ялинки має 24 лампи. Якщо одна з ламп цієї гірлянди перегорить, то решта ламп перестають світитися. А якщо одна з ламп гірлянди шкільної ялинки перегорить, то решта ламп продовжують світитися. Поясніть, чому.
140. В освітлювальну мережу з напругою 220 В треба увімкнути 4 однакові лампи, що дають повне розжарення при напрузі 110 В. Як з'єднати лампи, щоб вони не перегоріли під час вмикання їх у мережу?

## § 19 РОБОТА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Дія всіх відомих вам електричних приладів відбувається за рахунок електричної енергії, яку постачає джерело електричного струму. В результаті цього одержуємо світло, теплоту, звук, механічний рух тощо, тобто різні види енергії.

**▶ Робота електричного струму — фізична величина, що характеризує перетворення електричної енергії в інші види енергії.**

Ви вже знаєте, що напруга — це фізична величина, що характеризує електричне поле, яке переміщує вільні заряди, створюючи струм. Напруга на кінцях певної ділянки кола визначається відношенням роботи  $A$  електричного струму на цій ділянці до електричного заряду  $q$ , що пройшов по ній, тобто:

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

З наведеного співвідношення випливає формула для визначення роботи електричного струму на ділянці кола:

$$A = Uq.$$

**Щоб визначити роботу електричного струму на ділянці кола, треба напругу на кінцях цієї ділянки помножити на електричний заряд, що пройшов по ній.**

Протягом часу  $t$  струм силою  $I$  переносить в колі електричний заряд  $q = It$ . Тоді формула для роботи  $A$  електричного струму набуває такого виду:

$$A = UIt,$$

де  $U$  — напруга на кінцях ділянки;  $I$  — сила струму в колі;  $t$  — час, протягом якого виконувалася робота.

**Щоб визначити роботу електричного струму на ділянці кола, потрібно напругу на кінцях цієї ділянки помножити на силу струму в ній і час, протягом якого виконувалася робота.**

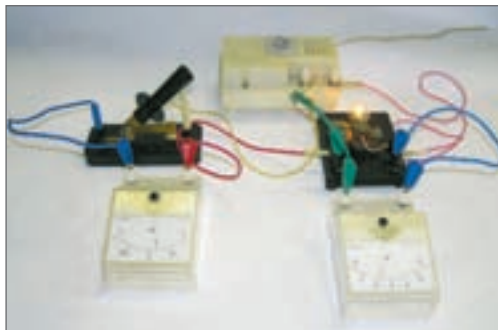
Одиницею роботи електричного струму, як і механічної роботи, є 1 Дж. З формули для роботи електричного струму випливає:  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$ .

Щоб виміряти роботу електричного струму в колі, треба мати вольтметр, амперметр і годинник.

● **Дослід.** Складемо електричне коло, як це показано на малюнку 87. За допомогою вольтметра визначимо напругу, яку прикладено до електричної лампи, а за допомогою амперметра — силу струму в спіралі лампи. Бачимо, що вольтметр показує напругу 2,3 В, а амперметр — силу струму 1,2 А.

Для визначення роботи струму протягом 10 хв, або 600 с, скористаємося формулою  $A = UIt$ . Підставимо значення:

$$\begin{aligned} A &= 2,3 \text{ В} \cdot 1,2 \text{ А} \cdot 600 \text{ с} = \\ &= 1656 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = 1656 \text{ Дж} = \\ &= 1,656 \text{ кДж}. \end{aligned}$$



Мал. 87

Отже, робота сили струму дорівнює 132 кДж.

На практиці роботу електричного струму також вимірюють спеціальним приладом — *електричним лічильником*, зовнішній вигляд якого показано на малюнку 88. Лічильник електричної енергії можна побачити в кожному будинку або квартирі. Конструкція лічильника поєднує властивості всіх названих вище приладів.



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що називають роботою електричного струму?
2. Як визначити роботу електричного струму?
3. Назвіть одиниці роботи електричного струму в СІ.
4. Як на практиці вимірюють роботу електричного струму?
- 5\*. Користуючись формулою для обчислення роботи електричного струму, покажіть, як одиницю роботи — 1 джоуль можна виразити через інші одиниці.



Мал. 88

## § 20

### ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

На балоні або цоколі електричної лампи, корпусі багатьох побутових електроприладів, в інструкціях до них ви обов'язково побачите написи: «220 В; 60 Вт», «потужність електричної праски 1,2 кВт» тощо. Як ви пам'ятаєте з механіки, у ватах вимірюють потужність, отже, тут йдеться про **потужність електричного струму**.

**Потужність електричного струму — фізична величина, що характеризує здатність електричного струму виконувати певну роботу за одиницю часу.**

Потужність електричного струму позначають великою латинською літерою  $P$ . Якщо робота електричного струму  $A$  виконана протягом часу  $t$ , то потужність електричного струму  $P$  визначатиметься формулою

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

Скориставшись відомим вам співвідношенням  $A = UIt$ , надамо формули для потужності електричного струму такого виду:

$$P = UI.$$

**Потужність електричного струму визначається добутком напруги на кінцях ділянки кола і сили струму в цій ділянці.**



Одиницею потужності електричного струму є один ват (1 Вт). З формули для потужності випливає, що  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$ .

Використовують також кратні одиниці потужності: гектоват (гВт), кіловат (кВт), мегават (МВт), гігават (ГВт).

1 гВт = 100 Вт;

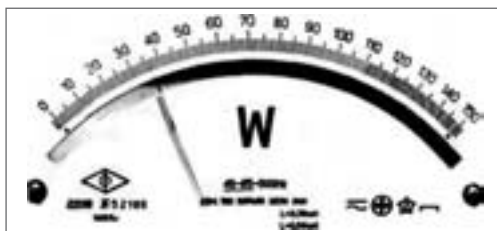
1 кВт = 1 000 Вт;

1 МВт = 1 000 000 Вт;

1 ГВт = 1 000 000 000 Вт.

Щоб виміряти потужність електричного струму в колі, потрібні вольтметр і амперметр. Використовують також спеціальний прилад — **ватметр**, яким можна безпосередньо виміряти потужність електричного струму в колі. На малюнку 89 наведено шкалу такого приладу.

У таблиці 4 подано значення потужності деяких споживачів електричного струму.



Мал. 89

Таблиця 4

#### Потужність деяких електричних приладів

Назва приладу	Потужність, Вт
Лампа кишенькового ліхтарика	1
Лампи освітлювальні (побутові)	$(1,1 - 1,6) \cdot 10^2$
Холодильник домашній	$(0,15 - 2) \cdot 10^2$
Електрична праска	$(0,3 - 1,0) \cdot 10^3$
Пральна машина	$(0,35 - 2) \cdot 10^3$
Електрична плитка	$(6 - 8) \cdot 10^2$ ; $(1,0 - 1,2) \cdot 10^3$
Електропилосос	$(0,1 - 1,2) \cdot 10^3$
Двигун трамвая	$(45 - 50) \cdot 10^3$
Двигун електровоза	$650 \cdot 10^3$
Електродвигун прокатного стану	$(6 - 9) \cdot 10^6$

Більшість побутових приладів розраховано на напругу 220 В, але на різну силу струму. Отже, потужність споживачів електроенергії різна, тому їй однакову роботу вони виконують за різний час.

З визначення потужності електричного струму випливає формула для підрахунку електричної енергії, або роботи  $A$ :

$$A = Pt,$$

де  $P$  — потужність електричного струму;  $t$  — час проходження струму.

**▶ Робота електричного струму визначається добутком потужності електричного струму і часу споживання струму.**

З цієї формули випливає ще один вираз для одиниці роботи електричного струму:  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}$ .

Якщо електрична лампа потужністю 100 Вт світитиме впродовж 10 год, то робота електричного струму дорівнюватиме:

$$P = 100 \text{ Вт} \cdot 36000 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3\,600 \text{ кДж} = 3,6 \text{ МДж}.$$

Таке значення роботи електричного струму називають **кіловат-годиною** і позначають **1 кВт · год**.

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3600 \text{ кДж} = 3,6 \text{ МДж}.$$

Покази електричного лічильника, що вимірює спожиту приладами у квартирі електричну енергію (роботу електричного струму), виражено саме в кіловат-годинах.

Механічну роботу 3 600 кДж людина може виконати, якщо, наприклад, мішок масою 50 кг підніме сходами на висоту понад 7 км. А на тепловій електростанції, щоб виробити 1 кВт · год, потрібно спалити всього 330 г вугілля.

У таблиці на с. III форзаца наведено види робіт, на виконання кожної з яких затрачено 1 кВт · год енергії.



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Чому поряд з поняттям «робота електричного струму» дуже важливе значення має поняття «потужність електричного струму»?

2\*. Для визначення потужності електричного струму за допомогою закону Ома

можна одержати три еквівалентні формули:  $P = UI$ ,  $P = \frac{U^2}{R}$  і  $P = I^2R$ . За яких

умов для розв'язування задачі зручніше користуватися одною з цих формул?

3\*. Поясніть, чому зменшується потужність лампи розжарювання, коли її спіраль унаслідок випаровування стає тоншою?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

## ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

- **Мета роботи:** навчитися вимірювати потужність споживачів електричного струму.
- **Прилади і матеріали:** джерело струму, низьковольтна лампа на підставці, амперметр, вольтметр, ключ, з'єднувальні проводи.

### Хід роботи

1. Складіть електричне коло з джерела струму, лампи на підставці, амперметра і ключа, з'єднавши їх послідовно.
2. Виміряйте вольтметром напругу на лампі, амперметром — силу струму, який протікає по спіралі лампи.
3. За формулою  $P = UI$  визначте потужність лампи.
4. Розгляньте написи на цоколі лампи. За цими даними визначте потужність лампи. Порівняйте отримані дані з попередніми. Зробіть висновки.
5. Ознайомтеся з інструкцією будь-якого побутового електроприладу. Яка потужність цього приладу? На яку напругу і силу струму він розрахований? Для чого використовується цей прилад?

## § 21 ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА

Електричний струм нагріває провідник. Це явище вам добре відоме. Пояснюється воно тим, що заряджені частинки, переміщуючись під впливом електричного поля, взаємодіють з атомами речовини провідника та передають їм свою енергію. Внаслідок роботи електричного струму внутрішня енергія провідника збільшується.

Англійський фізик *Джеймс Джоуль* і російський фізик *Емілій Ленц* на основі дослідів установили, що в нерухомих металевих провідниках уся робота електричного струму витрачається на збільшення їхньої внутрішньої енергії. Нагрітий провідник віддає отриману енергію навколишнім тілам, але вже внаслідок теплообміну. Вони дійшли висновку, що **кількість теплоти, яка виділяється провідником зі струмом, визначається добутком квадрата сили струму, опору провідника і часу проходження струму.**

Цей закон отримав назву закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

де  $Q$  — кількість теплоти, яка виділяється провідником зі струмом;  $I$  — сила струму у провіднику;  $R$  — опір провідника;  $t$  — час проходження струму.

Якщо провідники з'єднані паралельно, то вони перебувають під однаковою напругою. У цьому разі кількість теплоти у провіднику зручно визначати за формулою

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

**За законом збереження енергії кількість теплоти, що передається навколишньому середовищу, дорівнює роботі електричного струму:**

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



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Чому саме формула  $Q = I^2 R t$ , що використовується для розрахунку кількості теплоти, виражає суть закону Джоуля-Ленца?
- 2\*. Якщо в коло паралельно ввімкнути мідний і сталевий дроти, які мають однакові довжини і площі поперечного перерізу, то в мідному провіднику за той самий час виділиться більше теплоти. Чому?
- 3\*. При послідовному з'єднанні найбільше нагрівається провідник з найбільшим опором. Доведіть це.

## § 22 СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ. ЕЛЕКТРОНАГРІВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

З доісторичних часів і до середини XIX ст. людина використовувала для освітлення смолоскипи (факели), свічки, газові лампи і газові пальники. Лише в 1878 р. деякі вулиці й площі Парижа було освітлено електричними

свічками — лампами з електричною дугою (мал. 90, а). Електричну свічку створив російський винахідник **Павло Яблочков**, тому її ще називають «свічкою Яблочкова».

У 1870 р. інший російський електротехнік **Олександр Лодигін** сконструював електричну лампу розжарювання. Лампа Лодигіна складалася зі скляного балона, в якому розміщувався тонкий вугільний стержень, закріплений між двома мідними провідниками (мал. 90, б). Вугільний стержень під час роботи лампи розжарювався й ставав джерелом світла, але швидко перегорав (за 30–40 хв). Коли Лодигін відкачав з балона повітря, то час роботи лампи збільшився.

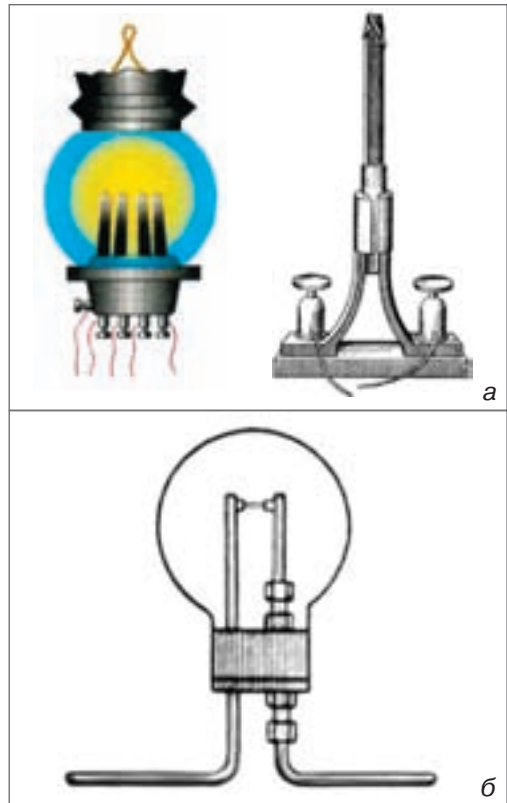
1879 р. американський винахідник **Томас Едісон** винайшов спосіб одержання тонких вугільних ниток, які він використовував у конструкції електричної лампи (мал. 91). Він також запропонував зручний спосіб вмикання лампи в електромережу за допомогою гвинтового цоколя та патрона. Тим самим Едісон сприяв швидкому поширенню електричного освітлення.

На початку ХХ ст. створюють більш економічні лампи з металевою зигзагоподібною ниткою (мал. 92).

Великим недоліком таких електроламп було випаровування матеріалу нитки під час її розжарювання, тому час роботи ламп скорочувався. Крім того, матеріал, що випаровувався, осідав на стінках скляного балона і затемнював його.

У 1906 р. Лодигін конструює лампу з ниткою із вольфраму. Вольфрам — тугоплавкий метал, що плавиться при температурі 3380 °С. Щоб зменшити швидке випаровування вольфраму, балон лампи почали наповнювати інертними газами — аргонем (з домішками азоту), криптонем.

Для зменшення теплових втрат вольфрамову нитку у лампі почали виготовляти у вигляді спіралі (мал. 93). На малюнку 94 показано сучасні лампи розжарювання.



Мал. 90



Мал. 91

Мал. 92

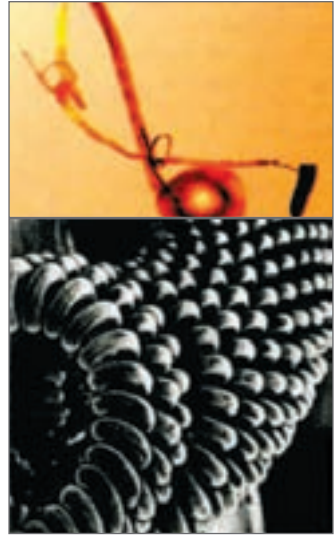
Для освітлення в побуті та більшості випадків на виробництві застосовують електричні лампи розжарювання, розраховані на напругу 220 В, потужністю від 15 до 150–200 Вт; для освітлення залізничних вагонів використовують лампи, які розраховані на напругу 50 В, автомобілів — 12 і 6 В, у кишенькових ліхтариках — 6,3; 3,5; 2,5 і 1 В. Для спеціальних потреб виготовляють лампи розжарювання великої потужності. На малюнку 95 ви бачите лампу, потужність якої 500 Вт. Лампи такої великої потужності потрібно охолоджувати спеціальними вентиляторами.

Час роботи електричної лампи розжарювання становить 1000 год. Він значною мірою залежить від напруги, яка подається на лампу. Наприклад, якщо на лампу, розраховану на 220 В, подавати напругу 222 В, то час її роботи зменшиться на 130 год.

Крім ламп розжарювання людина для власних потреб використовує газорозрядні лампи денного світла (їх ще називають люмінесцентними лампами). Такі лампи являють собою довгу (від 10 до 120 см) скляну запаяну трубку (мал. 96). Повітря із трубки викачують і вводять краплину ртуті та трохи газу — аргону, криптону, неону тощо. Всередині поверхню прозорого скла покривають речовиною, що світиться під дією ультрафіолетового випромінювання, яке супроводжує електричний розряд у газовій суміші. Підбираючи дослідним шляхом склад цієї речовини, можна отримати світло будь-якого кольору. Під час світіння ламп денного світла температура в них не перевищує 50 °С.

Лампи денного світла за своєю економічністю перевищують в 5–7 разів лампи розжарювання, до того ж час їх роботи в 2–3 рази довший.

Теплову дію струму використовують у різних електронагрівальних приладах і установках. У побуті широко застосовують електричні плитки, праски, чайники, кип'ятильники, водонагрівачі та електрорадіатори (мал. 97), у промисловості — виплавляють спеціальні сорти сталі та багато інших металів, зварюють метали (мал. 98), у сільському господарстві — обігрівують теплиці, інкубатори, висушують зерно і т. ін.



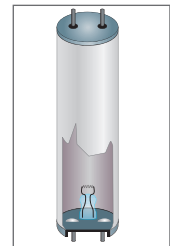
Мал. 92



Мал. 94



Мал. 95



Мал. 96



Мал. 97

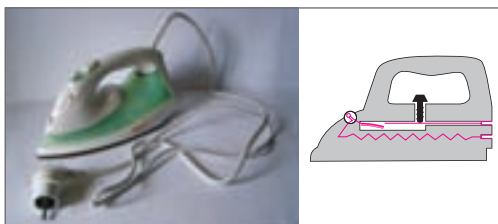
Основною частиною нагрівально-го електричного приладу є **нагрівальний елемент**. Нагрівальний елемент — це провідник з великим опором, який здатний витримувати, не руйнуючись, нагрівання до високої температури (1000 — 1200 °С).

Найчастіше для виготовлення нагрівальних елементів застосовують сплав нікелю, заліза, хрому і марганцю, відомий під назвою «ніхром». Великий опір, що його має ніхром, дає змогу виготовляти з нього дуже зручні, малі за розмірами, нагрівальні елементи.

У нагрівальному елементі провідник у вигляді дроту, стрічки або спіралі намотують на каркас або прикріплюють до арматури із жаростійкого матеріалу: слюди, кераміки. Наприклад, нагрівальним елементом в електричній прасці (мал. 99) є ніхромова стрічка або спіраль, від якої нагрівається нижня частина (підшва) праски.



Мал. 98



Мал. 99



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Назвіть винахідників ламп розжарювання?
2. Які електричні лампи використовують для практичних потреб людини?
- 3\*. Оцініть (приблизно) ККД електричної лампи розжарювання?
4. Назвіть електронагрівальні прилади, які ви знаєте.
5. Що таке нагрівальний елемент?

## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

**> Розв'язуємо разом**

1. Амперметр показує силу струму в колі 15 А, вольтметр — напругу на ділянці 24 В. Яку роботу виконає електричний струм за 20 хв?

Дано:

$$I = 15 \text{ А}$$

$$U = 24 \text{ В}$$

$$t = 20 \text{ хв} = 1200 \text{ с}$$

$$A = ?$$

Розв'язання

Щоб визначити роботу електричного струму, потрібно скористатися формулою:  $A = UIt$ . Підставивши значення величин, отримаємо:

$$A = 24 \text{ В} \cdot 15 \text{ А} \cdot 1200 \text{ с} = 432\,000 \text{ Дж} = 432 \text{ кДж.}$$

Відповідь: електричний струм виконав роботу  $A = 432 \text{ кДж}$ .

2. Яку потужність повинен мати електричний двигун, щоб він за 20 хв виконав роботу 100 кДж?

Дано:

$$A = 100 \text{ кДж} = 100\,000 \text{ Дж}$$

$$t = 20 \text{ хв} = 1200 \text{ с}$$

$$P = ?$$

Розв'язання

Щоб визначити потужність електродвигуна, потрібно роботу електричного струму поділити на час його роботи:

$$P = \frac{A}{t}. \text{ Підставивши значення величин, отримаємо:}$$

$$P = 100\,000 \text{ Дж} : 1200 \text{ с} = 100 \text{ Вт.}$$

Відповідь: потужність електричного двигуна  $P = 100 \text{ Вт}$ .

3. Дві електричні лампи потужністю 60 Вт і 100 Вт увімкнено в мережу 220 В паралельно. Яка із них світитиметься яскравіше?

Відповідь: лампа потужністю 100 Вт світитиметься яскравіше.

**Рівень А**

141. Обчисліть роботу струму в електричній лампі за 10 хв, якщо сила струму в ній становить 0,2 А і прикладено напругу 220 В?
142. Опір електричної плитки дорівнює 80 Ом. Напруга в електромережі 220 В. На яку потужність розрахована плитка?
143. Обчисліть потужність струму в електричній лампі, якщо при напрузі 220 В сила струму в ній дорівнює 0,25 А.
144. Електрична лампа увімкнена в освітлювальну мережу 220 В. Обчисліть силу струму в ній та її опір, якщо потужність лампи дорівнює 100 Вт.
145. Щоб перевірити правильність показів лічильника, учень увімкнув на 6 хв кілька споживачів енергії, розрахованих на загальну потужність 1 кВт, і підрахував, що за цей час лічильник зробив 120 обертів (1 кВт · год відповідає 1200 обертів). Чи правильно вимірює спожиту енергію лічильник? Чому дорівнює робота струму за цей час?
146. Яка сила струму в електроплитці, якщо вона розрахована на напругу 220 В і потужність 600 Вт?
147. Визначте кількість теплоти, яка виділяється у провіднику опором 120 Ом, якщо по ньому протягом 40 хв проходив струм 1,5 А.

## Рівень Б

148. Користуючись законом Ома, виразить роботу струму через силу струму, опір і час; через напругу, опір і час.
149. На дві електричні лампи потужністю 100 і 25 Вт, з'єднаних паралельно, подається напруга 220 В. Чому дорівнює сила струму в кожній лампі? В якій лампі більший опір нитки розжарення?
150. На електролічильнику є такі написи:  $220\text{ V}$  ( $220\text{ В}$ ),  $5\text{--}17\text{ A}$ ,  $1\text{ kW}\cdot\text{h}$  ( $1\text{ кВт}\cdot\text{год}$ ) =  $1200$  *оберт*ам диска. Що означають ці написи? На яку найбільшу потужність розрахований лічильник? Скільки ламп по 100 Вт можна увімкнути в електромережу? Скільки обертів зробить диск, якщо протягом 2 год буде увімкнено електропраску потужністю 1 кВт?
151. Нехай лічильник зафіксував значення роботи струму, яке дорівнює  $7\,500,4\text{ кВт}\cdot\text{год}$ . Що покаже лічильник, якщо в будинку протягом 10 год світилося 10 електричних ламп потужністю 100 Вт? Яку суму грошей потрібно заплатити, якщо вартість  $1\text{ кВт}\cdot\text{год}$  становить  $0,2436$  коп.?
152. Дві лампи потужністю по 100 Вт кожна, розраховані на напругу 120 В, увімкнено послідовно в електромережу 220 В. Визначте силу струму в колі і напругу на кожній із ламп.
153. Дві електричні лампи опором 80 і 160 Ом увімкнено в коло послідовно. В якій із них виділиться більше теплоти за один і той самий час?
154. Дві електричні лампи опором 80 і 160 Ом увімкнено в коло паралельно. В якій із них виділиться більше теплоти за один і той самий час?
155. На електричному чайнику є напис  $1,2\text{ кВт}$ ,  $220\text{ В}$ . Що означає цей напис? Який струм виникає в нагрівальному елементі чайника при нормальному режимі роботи? Яка кількість теплоти виділяється в нагрівальному елементі за 3 хв? Чи достатньо цієї теплоти, щоб нагріти до кипіння 1,5 л води, взятої при  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ?
156. Дві електричні лампи потужністю 40 і 100 Вт, розраховані на напругу 110 В, увімкнено в мережу 220 В послідовно. Яка із ламп світитиметься яскравіше? Чи можуть довго світитися лампи за таких умов?
157. Із хромалевої дротини перерізом  $0,5\text{ мм}^2$  потрібно виготовити спіраль для нагрівника потужністю 700 Вт, який працює при напрузі 220 В. Визначте довжину дротини, якщо питомий опір хромалю дорівнює  $1,4\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$ .
158. Яка кількість теплоти виділиться за 20 хв в електричному чайнику опором 100 Ом, якщо його увімкнути в мережу напругою 220 В? Яка маса води, наливої в чайник, якщо вона нагрілася за цей час від  $20\text{ }^\circ\text{C}$  до кипіння?
159. Електрична плитка опором 80 Ом працює при напрузі 220 В. Скільки потрібно часу, щоб закипів чайник, в якому міститься 3 л води? Початкова температура води дорівнює  $10\text{ }^\circ\text{C}$ . ККД нагрівального елемента плитки 60%. Теплоємністю чайника знехтувати.



## § 23 ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РОЗЧИНАХ І РОЗПЛАВАХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

До цього часу ми вивчали закономірності проходження електричного струму в металевих провідниках і знаємо, яке велике практичне значення має це явище. *А чи існують провідники електрики з неметалів?*

Вивчаючи далі явища електричного струму в різних середовищах, переконаємося, що електричний струм, окрім металів може існувати також у рідинах, газах і, навіть, у вакуумі. У цих випадках розглядатимемо замкнене коло, в якому є ділянка провідника, що складається з речовини в рідкому чи газоподібному стані, або зовсім не містить речовини, тобто є вакуумним проміжком. Провідники, які підводять напругу (струм) до цієї ділянки називають **електродами**. Електрод, приєднаний до позитивного полюса джерела струму, називають **анодом**, а приєднаний до негативного полюса — **катодом**. Під час протікання струму до анода притягуються вільні електрони й негативні йони (**аніони**), а до катода — позитивні йони (**катиони**).

Ви вже добре знаєте, що для існування електричного струму в речовині, вміщеній в електричне поле, обов'язковою умовою є наявність рухомих, або вільних, електричних зарядів, тобто таких, які можуть в речовині переміщуватися під дією електричного поля на відстані, обмежені тільки розмірами зразка. В металевих провідниках носіями струму є вільні електрони, а йони металу жорстко зв'язані у вузлах кристалічних ґраток і можуть здійснювати лише коливальні рухи.

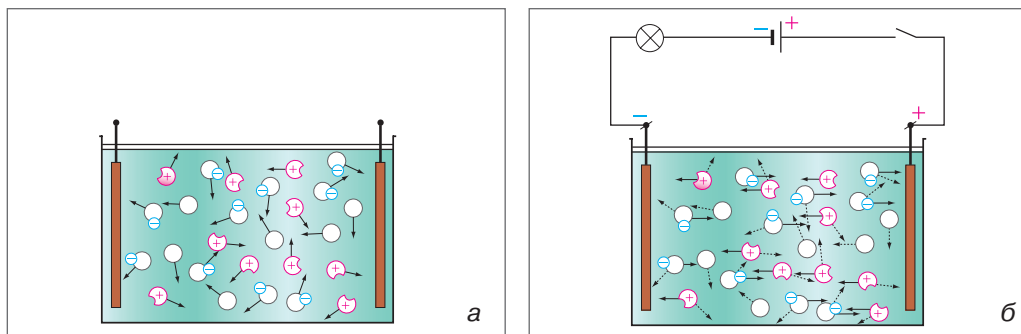
У подібному зв'язаному стані перебувають йони в інших твердих тілах з йонною структурою — йонних кристалах, прикладом яких є звичайна кухонна сіль (NaCl). Вільних електронів в йонних кристалах немає, а ті, що віддають атоми металу ( $\text{Na}^+$ ), утворюють негативні йони галогену ( $\text{Cl}^-$ ), внаслідок чого виникає хімічний зв'язок. Отже, вільних носіїв електрики в йонних кристалах немає, тому при невисоких температурах вони є добрими ізоляторами. У цьому неважко переконатися, якщо спробувати утворити електричне коло, зануривши два провідники, приєднані послідовно з мікроамперметром до джерела струму, у посудину з кристалами сухої кухонної солі: ніякого струму не зареєструємо.

Якщо ж надати йонам рухливості, перевівши йонні кристали в рідкий стан шляхом їх нагрівання і розплавлення, то речовина стане провідником струму. Відомо, що розплави солей та інших сполук проводять струм. Провідниками струму є також водні та інші розчини солей кислот і лугів.

Дистильована вода, що має молекулярну структуру, є гарним ізолятором, оскільки в ній немає вільних електричних зарядів, отже, у ній не може виникнути електричний струм.

**Речовини, водні розчини або розплави яких проводять електричний струм, називають електролітами.**

● **Дослід.** Зберемо електричне коло, зображене на малюнку 47, і наллємо в посудину дистильовану воду. Лампа не світитиметься, а амперметр покаже відсутність електричного струму в колі.



Мал. 100

Але якщо розчинити у воді яку-небудь сіль, кристали якої мають йонну структуру, наприклад кухонну сіль ( $\text{NaCl}$ ) або мідний купорос ( $\text{CuSO}_4$ ), то в колі виникне струм, лампа почне світитися. Спробуємо з'ясувати, в чому тут причина.

Молекула води полярна, тобто її можна уявляти об'єктом видовженої форми, на кінцях якого зосереджені електричні заряди протилежних знаків. Відтак електричне поле молекул води сприяє розпаду йонних кристалічних ґраток на вільні йони (мал. 100, а).

Руйнуванням кристалічних ґраток супроводжується також процес плавлення солей, в результаті якого утворюється рідина, що складається з вільних йонів.

### Розщеплення електроліту на йони у водному розчині або в розплаві називають електролітичною дисоціацією.

Типовими електролітами є солі, кислоти й луги, багато органічних сполук.

Що ж відбудеться, якщо в розчині електроліту створити електричне поле (мал. 100, б)? Очевидно, що позитивні йони (катіони) почнуть рухатися до негативно зарядженого електрода — катода, а негативні йони (аніони) — до позитивно зарядженого електрода, тобто до анода. У колі виникне електричний струм, зумовлений напрямленим рухом електричних зарядів обох знаків.

Таким чином, електричний струм у розчинах електролітів — це впорядкований рух йонів.

Якщо струм протікає крізь розчин мідного купоросу, то з часом виявимо, що на катоді утворився тонкий шар міді. Отже, у розчині під дією електричного поля до катода переміщуються позитивно заряджені йони  $\text{Cu}^{2+}$ , які при контакті з катодом приєднують до себе недостатні електрони і нейтралізуються. Нейтральні атоми, що утворилися, осідають на електроді. Бачимо, що на відміну від металів струм в електроліті супроводжується перенесенням речовини.

### Процес виділення речовини на електродах під час протікання електричного струму крізь розчини або розплави електролітів називають електролізом.

У 1833–1834 рр. видатний англійський вчений *Майкл Фарадей* експериментально встановив кількісні співвідношення, що описують явище

електролізу. **Перший закон Фарадея** для електролізу дає змогу обчислити масу речовини, яка виділяється на електроді.

**Маса речовини, яка виділяється на електроді під час електролізу, прямо пропорційна силі струму і часу проходження струму через електродіт.**

$$m = kIt,$$

де  $m$  — маса виділеної на електроді речовини;  $k$  — коефіцієнт пропорційності — **електрохімічний еквівалент** даної речовини (подається у таблицях);  $I$  — сила струму в колі;  $t$  — час проходження електричного струму.

Виходячи із першого закону Фарадея, можна експериментально визначити значення електрохімічного еквіваленту даної речовини.

**Електрохімічний еквівалент визначається відношенням маси речовини, яка виділяється на електроді під час електролізу, до електричного заряду, який пройшов через електродіт.**

Одиницею електрохімічного еквіваленту в СІ є один кілограм на кулон ( $1 \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ ).

Другий закон Фарадея детальніше характеризує властивості електрохімічного еквіваленту, вивчатимемо його згодом.

Електроліз широко застосовується в промисловості. За допомогою електролізу (**гальваностегії**) можна покривати металеві деталі тонким шаром іншого металу. У такий спосіб проводять нікелювання, хромування, золочення й обміднення різних виробів.

Пропускаючи електричний струм крізь розплави деяких солей, можна виділяти метали в чистому виді. Так отримують алюміній, рафіновану (надчисту) мідь та інші метали.

За допомогою електролізу очищають метали від домішок, наприклад неочищену мідь, добуту з руди. Її відливають у формі товстих листів, які потім вміщують у ванну як аноди. Під час електролізу мідь анода розчиняється, домішки, які містять цінні й рідкісні метали, випадають в осад, а на катоді осідає чиста мідь.

У 1836 р. **Б. С. Якобі** (1801–1874) запропонував процес одержання відшаровуваних покриттів (**гальванопластику**) і застосував його для виготовлення порожнистих фігур, що прикрасили Ісаакіївський собор у Санкт-Петербурзі.



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. У чому полягає явище електролітичної дисоціації?
2. Чому кристали з йонним зв'язком є електролітами?
3. Поясніть механізм виникнення струму в електролітах.
4. Переліchte відмінності у проходженні електричного струму в металах та розчинах і розплавах електролітів.
5. Розкажіть, що таке електроліз і де його застосовують.
6. Яка одиниця електрохімічного еквіваленту? Що показує значення електрохімічного еквіваленту певної речовини?
- 7\*. Які практичне та наукове значення першого закону електролізу Фарадея?

**ЛАБОРАТОРНА  
РОБОТА № 9**
**ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ЕЛЕКТРОЛІЗУ**

- **Мета роботи:** дослідити явище електролізу, визначити масу речовини, що виділилася на електроді.
- **Прилади і матеріали:** електролітична ванна з електродами, джерело струму, кухонна сіль, терези, набір важків, посудина з дистильованою водою, посудина з розчином мідного купоросу, паперові серветки, низьковольтна лампа на підставці, амперметр, ключ, з'єднувальні проводи.

**Хід роботи**

1. З'єднайте послідовно електроди електролітичної ванни, низьковольтну лампу, амперметр, джерело струму, ключ. Налийте у ванну дистильованої води. Що ви спостерігаєте? Що показує амперметр? Чи світиться лампа?
2. В електролітичну ванну з дистильованою водою насипте кухонної солі. Знову замкніть ключ. Що ви спостерігаєте? Зробіть висновки.
3. Вилийте розчин кухонної солі і налейте в електролітичну ванну розчин мідного купоросу.
4. Висушіть паперовою серветкою електрод (катод) і зважте його за допомогою терезів.
5. Складіть електричне коло, як у попередніх дослідах. Замкніть коло ключем на 20 хв. Зафіксуйте силу струму в електричному колі.
6. Висушіть катод і знову зважте його за допомогою терезів.
7. За формулою  $m = kIt$  визначте масу речовини, що виділилася на електроді (для  $\text{Cu}^{2+}$   $k = 0,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ ).
8. Порівняйте отримані результати. Зробіть висновки.

**Завдання для допитливих**

Візьміть слабкий розчин кухонної солі і опустіть у нього дві мідні дротини, з'єднані з полюсами батареї гальванічних елементів. Визначте, на якій з дротин раніше з'являються бульбашки газу і виділятиметься в більшій кількості газ. З яким полюсом з'єднана ця дротина? Визначте полюси батареї гальванічних елементів.

## § 24 ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У НАПІВПРОВІДНИКАХ. ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКІВ

Вивчаючи явища електростатики і протікання електричного струму, ми користувалися матеріалами і приладами, виготовленими з речовин, які були або ізоляторами (скло, ебоніт, бурштин, папір, повітря, пластмаса тощо), або провідниками (мідь, срібло, алюміній, сталь, олово, вугілля, ніхром, електроліти тощо). Однак виявилось, що більшість природних простих речовин, сполук і синтезованих матеріалів за їхнім електричними властивостями не можна віднести ані до провідників, ані до діелектриків. Цей **широкий клас речовин, які за своїм питомим опором займають проміжне місце між провідниками і діелектриками, називають напівпровідниками**.

До напівпровідників належать 12 хімічних елементів (B, C, Si, Ge, Sn, P, As, Sb, S, Se, Te, J), сполуки елементів III і V груп типу  $A^{III}B^V$  (InSb, GaAs та ін.), сполуки елементів II і VI груп типу  $A^{II}B^{VI}$  (CdS, ZnO та ін.), низка інших сполук, деякі органічні речовини. Найширше застосування в науці і техніці мають напівпровідники Германій Ge і Силіцій Si.

*Чим напівпровідники відрізняються від провідників?*

Здатність будь-якої речовини проводити електричний струм під дією електричного поля називають **електричною провідністю, електропровідністю, або провідністю**. Тип провідності зумовлений видом носіїв струму. Метали мають *електронну провідність*, оскільки носіями струму в них є вільні електрони. В електролітах носіями струму є вільні позитивні і негативні йони, тому в них *йонна провідність*. Чим менший електричний опір провідника, тим більша його провідність і навпаки.

Ви вже знаєте, що електричний опір металів залежить від температури: чим вища їх температура, тим більший опір провідника (див. мал. 82 на с. 68).

Результати наукових дослідів показали, що напівпровідники мають такі основні властивості.

1. Електропровідність напівпровідників дуже залежить від стану речовини (температура, освітлення, наявність домішок тощо).

2. З підвищенням температури електричний опір напівпровідників на відміну від металів різко спадає.

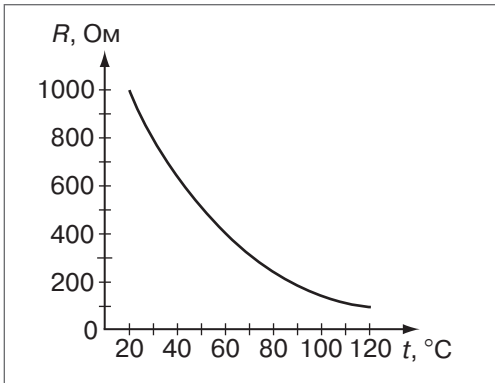
3. Проходження струму через напівпровідник не пов'язане з перенесенням речовини, тобто струм у напівпровідниках зумовлений напрямленим рухом електронів, а не йонів.

Розглянемо детальніше властивості напівпровідників.

● **Дослід.** Увімкнемо в електричне коло напівпровідниковий елемент (мал. 101). Якщо його нагрівати, то стрілка гальванометра показуватиме зростання сили струму в колі. Це свідчить про те, що **опір напівпровід-**



Мал. 101



Мал. 102

Електричний опір напівпровідників залежить також від ступеня їх освітлення. На мал. 103, *а* напівпровідниковий фотоприймач закрито заслінкою, струм в колі дуже малий. Під час освітлення напівпровідника (мал. 103, *б*) сила струму в електричному колі помітно зростає. Це свідчить про зменшення опору напівпровідника (збільшення електричної провідності) під дією світла.

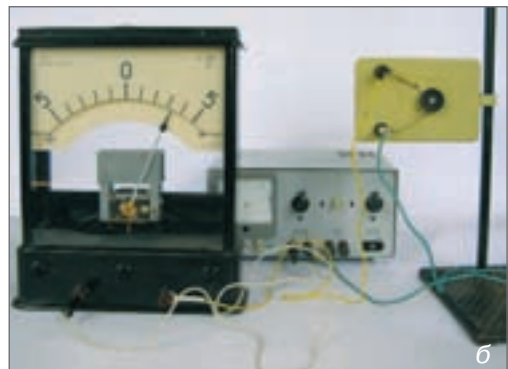
Залежність опору напівпровідників від освітлення і нагрівання пов'язана з внутрішньою будовою цих матеріалів.

Розглянемо для прикладу один з типових напівпровідників — Германій, порядковий номер якого 32. Чотири його електронні оболонки мають 32 електрони. На першій найближчій до ядра оболонці є 2, другій — 8, третій — 18, четвертій — 4 електрони (мал. 104, *а*). Електрони трьох внутрішніх оболонок утворюють стійкі конфігурації і не беруть участі в хімічних реакціях. Електрони зовнішньої оболонки слабо зв'язані з ядром атома. Їх називають *зовнішніми*, або *валентними електронами*, оскільки вони визначають валентність даного елемента — здатність його атомів входити в хімічний зв'язок з певним числом інших атомів. Валентність Германію, атом якого має на зовнішній оболонці 4 електрони, дорівнює чотирьом.

При зближенні одного атома з іншим їх валентні електрони внаслідок слабого зв'язку із своїми ядрами легко взаємодіють, утворюючи стійкий хімічний зв'язок, який називають *ковалентним*.



а



б

Мал. 103

У твердому стані атоми Германію розташовані у вузлах просторових кристалічних ґраток, кожен з них має чотирьох рівновіддалених сусідів, з якими має парноелектронний (ковалентний) зв'язок. На мал. 104, б зображено умовну плоску схему структури зв'язків у кристалі Германію (таку саму схему структури зв'язків має Силіцій, який також належить до IV групи періодичної системи і має подібні до Германію хімічні й фізичні властивості). За низьких температур усі валентні електрони атомів зайняті в цих зв'язках, тобто не є вільними. Через брак вільних електронів напівпровідники за низьких температур поведуть себе, як діелектрики. Для того, щоб напівпровідник проводив струм, треба розірвати парноелектронні зв'язки, тобто звільнити електрони.

Під час нагрівання або освітлення кристалу деякі електрони набувають надлишкової енергії і стають вільними. Чим більше нагрівається або освітлюється напівпровідник, тим більше в ньому з'являється вільних електронів і тим більшою стає його електрична провідність, тобто зменшується опір напівпровідника.

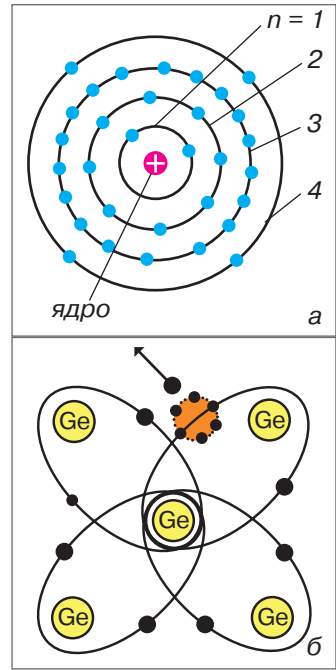
Електрон, що звільнився, покидає своє місце, яке було у системі зв'язків між атомами. У цьому місці утворюється **вакансія**, тобто незаповнений електронний зв'язок, яку називають **діркою**. Кількість таких дірок тим більша, чим більше електронів вивільниться у кристалі в результаті його нагрівання або освітлення. Отже, кількість дірок у кристалі напівпровідника, як і кількість вільних електронів, залежить від зовнішньої дії на кристал.

Дірка поводить себе як позитивний заряд. Справа в тому, що недостатність негативного заряду в системі електронного зв'язку рівносильна наявності в цьому місці позитивного заряду. Заряд дірки дорівнює за значенням заряду електрона. Дірка може захоплювати електрон від сусіднього зв'язку, де завдяки цьому виникне нова дірка, тоді як первісна дірка зникає. Це еквівалентно переміщенню дірки в просторі, тому вона може рухатися у кристалі подібно до вільного електрона.

Вільні електрони і дірки в кристалі напівпровідника перебувають у стані хаотичного теплового руху, але характер їхнього руху суттєво зміниться, якщо до кристала прикласти напругу. Електричне поле впорядкує рух як вільних електронів, так і дірок. Позитивні дірки під дією електричного поля почнуть рухатися до негативного полюса джерела — катода, а вільні електрони — до позитивного полюса — анода. У кристалі напівпровідника виникає електричний струм, зумовлений рухом носіїв двох типів. Кажуть, що в напівпровіднику є **діркова і електронна провідності**.

Провідність хімічно чистих напівпровідників, яка виникає під час їх нагрівання або освітлення, називають **власною провідністю**.

Власна провідність напівпровідників за кімнатної температури невелика. Виявилось, що значно збільшити електричну провідність напівпровід-



Мал. 104

ника (тобто зменшити його електричний опір), можна, вносячи в чистий напівпровідник спеціальні домішки. Провідність напівпровідників, зумовлену наявністю домішкових атомів, називають **домішковою провідністю**. Розрізняють **електронну домішкову провідність** і **діркову домішкову провідність**.

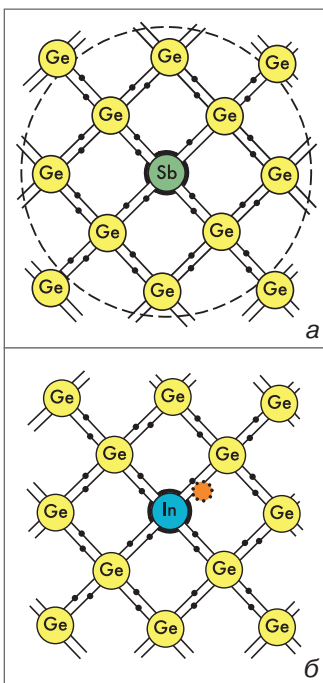
Електронна домішкова провідність виникає, якщо замінити деякі атоми Германію або Силіцію атомами іншої речовини, що мають п'ять валентних електронів, наприклад Арсену (As) або Стибію (Sb). Тоді чотири електрони Стибію забезпечують ковалентні зв'язки із сусідніми атомами, а п'ятий електрон, слабкозв'язаний з атомом домішки, стає вільним. У речовині об'ємом  $1 \text{ см}^3$  міститься близько  $10^{22}$  атомів. Заміна одного атома Германію з мільйона на атом Стибію або Арсену приведе до того, що в кожному кубічному сантиметрі напівпровідника з'явиться близько  $10^{16}$  вільних електронів, що і надасть напівпровіднику здатності проводити електричний струм. Домішки, що легко віддають електрони, і, отже, збільшують кількість вільних носіїв, називають **донорними домішками**, або **донорами**.

Отже, за рахунок вкраплення в Германій або Силіцій атомів п'ятивалентної речовини отримуємо напівпровідники з домішковою електронною провідністю (мал. 105, а). Їх називають **напівпровідниками n-типу** (від латинського слова *negativus* — негативний).

Діркова домішкова провідність виникає, якщо в напівпровідниковому кристалі замінити деякі атоми іншими атомами, що мають три валентних електрони, наприклад атомами Індію In. У цьому разі на утворення ковалентного зв'язку із сусідніми атомами у домішкового атома не вистачає одного електрона (мал. 105, б). Тому в цьому місці, куди вкравився атом домішки, утворюється дірка (нестача електрона). Якщо замінити один з мільйона атомів основної речовини на атом тривалентної домішки, то в кожному кубічному сантиметрі напівпровідника утвориться близько  $10^{16}$  дірок. Домішки цього типу називають **акцепторними** (приймальними), або **акцепторами**. Такий напівпровідниковий кристал забезпечить електричний струм завдяки дрейфу дірок, які переносять позитивний електричний заряд.

Отже, внаслідок вкраплення в Германій або Силіцій атомів тривалентної речовини отримуємо напівпровідники з домішковою дірковою провідністю. Їх називають **напівпровідниками p-типу** (від латинського *positivus* — позитивний).

Як уже зазначалося, електричний опір напівпровідників залежить від його температури. Цю властивість напівпровідників використовують для вимірювання температури навколишнього середовища (в діапазонах від  $-269$  до  $-193$  °C; від  $-103$  до  $+297$  °C; понад  $+1000$  °C) за силою струму в колі з напівпровідником. Такі прилади



Мал. 105



називають **термісторами**, або **терморезисторами**. Їх виготовляють у вигляді стержнів, трубок, дисків, шайб, намистин розміром від кількох мікрометрів до кількох сантиметрів і застосовують для дистанційного вимірювання температури, протипожежної сигналізації тощо.

Електрична провідність напівпровідника зростає внаслідок розривання зв'язків і утворення вільних електронів і дірок за рахунок енергії світла, що падає на напівпровідник. Це явище називають **внутрішнім фотоелектричним ефектом**, який використовують у напівпровідникових приладах — **фоторезисторах**. За допомогою фоторезисторів визначають якість поверхонь, контролюють розміри виробів тощо.

Згодом вивчатимете будову і принципи роботи різних напівпровідникових приладів: *діодів*, *транзисторів* і створених на їх базі електронних *інтегральних схем*. Саме завдяки їм електронна апаратура стала малогабаритною, економічною і надійною: перші комп'ютери розміщувалися у великих залах, а сучасні — можна тримати на долоні, музичний плеєр не стоїть на столі, а висить на шнурку або лежить у кишені. Напівпровідниковий *лазер* дає змогу записати багато даних на CD- або DVD-диск, а *флеш*-накопичувач — переносити і зберігати гігантські обсяги інформації.

Великий вклад у розвиток напівпровідникової галузі, зокрема фізики напівпровідників, внесли українські вчені **К. Д. Товстюк** (1922–2004) і **В. Є. Лошкар'ов** (1903–1974), який створив наукову школу фахівців з фізики напівпровідників.



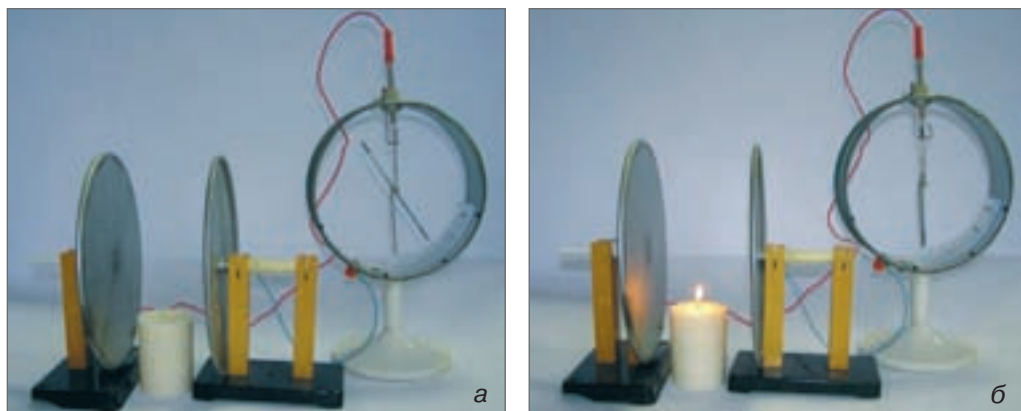
### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Чому деякі речовини називають напівпровідниками?
2. Чому напівпровідники за низької температури мають властивості діелектрика?
3. Поясніть, чому з підвищенням температури провідність напівпровідників зростає?
4. Назвіть причини появи електронів провідності й дірок?
5. Які напівпровідники називають напівпровідниками *n*-типу?
6. Чому напівпровідники з дірковою провідністю називають напівпровідниками *p*-типу?
- 7\*. На вашу думку, чому резистори і термістори мають різні властивості?
- 8\*. Чому провідність напівпровідників збільшується під час освітлення їх поверхні?



## § 25 ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ. САМОСТІЙНИЙ І НЕСАМОСТІЙНИЙ РОЗРЯДИ

Гази є добрими ізоляторами тому, що за звичайних умов — низьких температурах і відсутності зовнішнього опромінення (ультрафіолетового, рентгенівського, радіоактивного) — вони складаються з нейтральних атомів або молекул. У них немає вільних електричних зарядів, упорядковане переміщення яких і спричиняє електричний струм. Однак за деяких умов можна одержати електричний струм і в газах.



Мал. 106

● **Дослід 1.** Зарядимо (наприклад, від електрофорної машини) алюмінієві диски, з'єднані провідниками з виводами електрометра (мал. 106, а). Спостерігаємо, що відхилення стрілки електрометра залишається сталим, тому що електрична провідність повітря за умов кімнатної температури та сухого повітря дуже мала, і пластини помітно не розряджаються.

Внесемо у простір між дисками полум'я від запаленого сірника або свічки (мал. 106, б). Спостерігаємо швидкий розряд електрометра. Отже, повітря внаслідок значного підвищення температури набуло провідності й замкнуло коло, тобто в нагрітому газі протікає електричний струм.

▶ **Процес проходження електричного струму крізь газ називають газовим розрядом.**

Внаслідок нагрівання або випромінювання частина атомів газу йонізується — розпадається на позитивно заряджені йони й електрони. У газі можуть утворюватися і негативно заряджені йони (коли вільні електрони приєднуються до нейтральних атомів).

Йонізація газів під час нагрівання пояснюється тим, що деякі молекули починають рухатися так швидко, що частина з них під час зіткнення розпадається, перетворюючись на йони. Чим вища температура газу, тим більше утворюється йонів. У нашому досліді полум'я свічки виконувало роль *йонізатора*, тобто джерела йонів.

▶ **Процес, який забезпечує йонізацію газу і подальший розвиток газового розряду, називають йонізатором.**

Як йонізатор діють *рентгенівські промені*, а також *радіоактивне випромінювання*, яке вивчатимемо згодом. За нормальних умов оточуюче повітря завжди певною мірою йонізоване внаслідок сонячних променів і *космічного випромінювання* (потік швидких заряджених частинок, переважно протонів, які потрапляють на Землю з глибин Космосу).

Механізм провідності газів подібний до механізму провідності розчинів і розплавів електродитів, але відмінність полягає в тому, що негативний

заряд переноситься в основному не негативними йонами, а вільними електронами, хоча провідність за рахунок негативних йонів також може відігравати певну роль.

Таким чином, у газах поєднується електронна провідність, подібна до провідності металів, з йонною провідністю, подібною до провідності водних розчинів і розплавів електродитів.

Якщо ми припиняємо нагрівати або опромінювати газ, то він знову стає діелектриком. Струм припиняється після того, як усі йони й електрони досягнуть електродів. Крім того, при зближенні електрона і позитивно зарядженого йона знову утворюється нейтральний атом. Такий процес називають **рекомбінацією** заряджених частинок.

Якщо немає зовнішнього електричного поля, то заряджені частинки зникають лише внаслідок рекомбінації, і газ стає діелектриком.

У газах розряд може відбуватися і без нагрівання та опромінення. Інколи він може підтримувати себе сам. *За яких умов це можливо?*

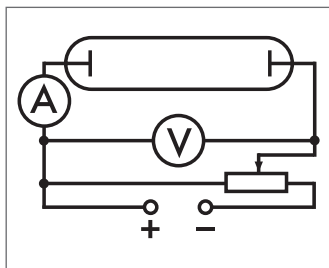
● **Дослід 2.** Візьмемо запаяну і наповнену повітрям скляну трубку з двома металевими електродами, до яких прикладемо напругу, склавши коло, зображене на малюнку 107. Вважатимемо, що на газ у трубці діє якийсь йонізатор. Якщо напруга між електродами трубки невелика, то позитивно заряджені йони переміщуються до негативного електрода, а електрони і негативно заряджені йони — до позитивного. Внаслідок цього в трубці виникає електричний струм, тобто відбувається газовий розряд.

Оскільки в міжелектродному просторі водночас відбувається процес рекомбінації, то не всі утворені електрони і йони досягають електродів трубки.

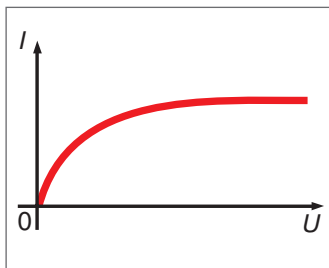
При збільшенні напруги між електродами помічаємо, що в колі зростає сила струму. Потім настає момент, коли сила струму не змінюється. Струм досягає **насичення** (мал. 108). Якщо дія **йонізатора** (нагрівання, опромінення) припиняється, то припиняється й розряд, оскільки інших джерел йонів немає. Тому такий розряд називають **несамостійним розрядом**.

*А що ж станеться з розрядом у газі, якщо збільшувати напругу на електродах трубки?*

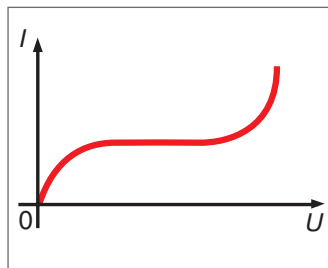
Дослід показує, що в газі зі збільшенням напруги на електродах трубки, починаючи з деякого значення, сила струму знову зростає (мал. 109). Це відбувається тому, що в газі додатково відбувається **йонізація електронним ударом** в результаті зіткнень прискорених електричним полем електронів з атомами газу. Внаслідок цього виникає значно більше йонів, ніж тих, що утворюються в результаті дії йонізатора. Сила струму зростає в тисячі



Мал. 107



Мал. 108



Мал. 109

разів, а кількість йонів може стати такою, що зовнішній йонізатор уже не потрібний для підтримання розряду.

Оскільки такий розряд не потребує для свого підтримання зовнішнього йонізатора, його називають **самостійним розрядом**.

Залежно від властивостей і стану газу, характеру і розміщення електродів, а також від прикладеної до електродів напруги виникають різні види самостійного розряду.

**Тліючий розряд спостерігається при низьких тисках (десяті й соті частки міліметра ртутного стовпа) і напрузі між електродами в кілька сотень вольтів.**



Мал. 110

Тліючий розряд використовують у рекламних трубках (мал. 110). Якщо трубка наповнена неонам, то виникає червоне світіння, якщо аргоном — то синювато-зелене. У лампах денного світла використовують розряд у парі ртуті.

**Електрична дуга — явище виникнення яскравого світлого стовпа газу між двома вугільними електродами при низькій напрузі.**

Електричну дугу «запалюють» так. Спочатку зближують і вводять у контакт вугільні електроди, замикаючи коло. Внаслідок теплової дії струму, що проходить через точкові контакти з великим електричним опором, кінці електродів розжарюються до світіння. З поверхні електродів при цьому вилітають з великою швидкістю електрони і через зіткнення йонізують газ у прилеглому просторі (про явище *термоелектронної емісії* читай нижче на с. 103). Якщо тепер розвести електроди в сторони, то електричний струм в колі не припиняється, він проходить через йонізований газ, що супроводжується його розжаренням і яскравим світінням.

Сила струму в невеликій дузі досягає кількох ампер, а у потужних дугах — кількох сотень ампер при напрузі приблизно 50 В.



Мал. 111

Під час горіння дуги повітря або інший газ у проміжку між вугільними електродами розігрівається до кількох тисяч градусів і, піднімаючись вгору внаслідок конвекції, вигинає світний стовпчик у формі дуги, за що цей вид газового розряду і отримав свою назву (мал. 111).

Дуговий розряд — потужне джерело світла. Його використовують у прожекторах, проєкційних апаратах і кіноапаратах. У металургії досить поширені електропечі, в яких джерелом тепла є дуговий розряд. Дуговий розряд використовують для зварювання металів.

При коронному розряді світна область нагадує корону, він утворюється при атмосферному тиску поблизу загострених частин провідника з великим електричним зарядом.

Газ у цьому разі *йонізують ударом* електрони, прискорені сильним електричним полем, що виникає поблизу загострених заряджених провідників.

Перед грозою або у грозу часто на вістрях і гострих кутах високо піднятих предметів спалахують схожі на щіточки конуси світла, наприклад на вістрях корабельних щогл (мал. 112). З давніх-давен це світіння називають вогнями святого Ельма, інколи їх спостерігали навіть на кінчиках багнетів рушниць.

Коронним розрядом не можна нехтувати, якщо маєш справу з високою напругою. Коли є виступні частини або дуже тонкі проводи, то може виникнути коронний розряд. Це призводить до втрат електроенергії. Чим вища напруга високовольтної лінії, тим товщими мають бути проводи.

Іскровий розряд виникає при високій напрузі між електродами в повітрі (мал. 113, а) і має вигляд пучка яскравих зигзагоподібних смужок, що відгалужуються від тонкого каналу.

При іскровому розряді газ йонізують ударом прискорені сильним електричним полем електрони, що виникають в окремих місцях у проміжку між електродами внаслідок природної йонізації повітря.

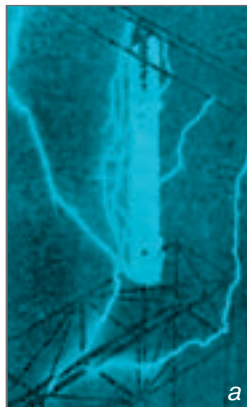
За допомогою іскрового розряду можна обробляти деталі з тугоплавких металів, тому що велика енергія цього розряду виділяється в малому об'ємі за дуже малий інтервал часу. Відтак теплообміну між зоною розряду і навколишнім середовищем практично немає. У місці розряду температура металу різко підвищується, і відбувається його випаровування.

Прикладом велетенського іскрового розряду є блискавка (мал. 113, б). Вивченням цього явища природи займалися багато вчених, зокрема **Б. Франклін**, **М. В. Ломоносов**, **Г. В. Ріхман**. У 1753 р., досліджуючи атмосферну електрику, **Г. В. Ріхман** загинув від удару блискавки.

Багаторічними дослідженнями встановлено, що під час руху повітря за рахунок конвекції повітряні потоки й хмари в результаті зіткнень електри-



Мал. 112

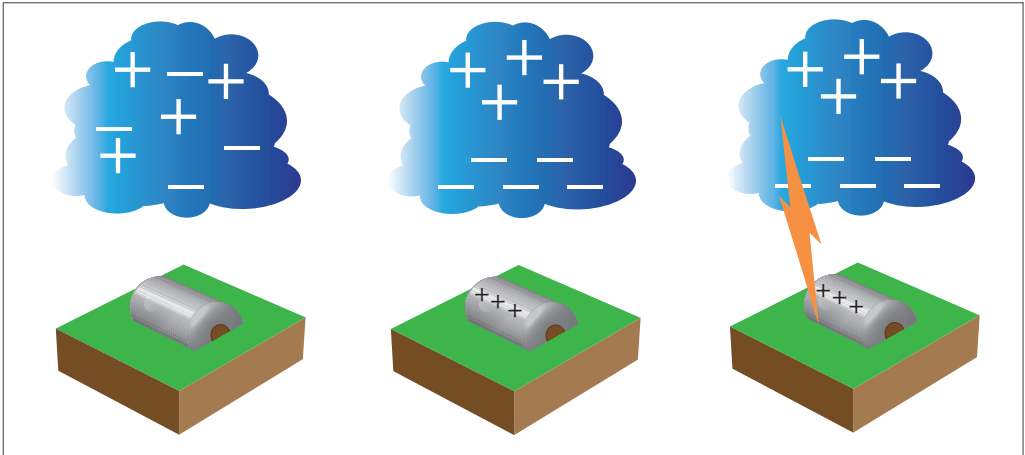


а



б

Мал. 113



Мал. 114



Мал. 115

зуються. При цьому одна частина хмари (наприклад, верхня) електризується позитивно, а інша — негативно.

Напруга між двома хмарами, а також між хмарами й Землею досягає десятків мільйонів вольтів. У результаті між хмарами або між хмарою й Землею виникає гігантська іскра — блискавка (мал. 114). Довжина блискавки досягає кількох кілометрів, а діаметр її каналу іноді становить 6 м і навіть більше. Сила струму в каналі блискавки величезна: від 1–2 до 200 кА. Однак тривалість розряду мала: вона становить тисячні частки секунди. Тому загальний заряд, що протікає при одному спалаху блискавки, не перевищує десятків або сотень кулонів.

Для захисту споруд (будинків, опор ліній електропередачі тощо) поблизу них встановлюють щоглу із загостреним металевим стержнем, що добре з'єднаний (спаяний, зварений) товстим проводом із закопаним глибоко в землю металевим предметом, тобто **заземлений** (мал. 115). Цей пристрій називають **блискавковідводом** (часто — громовідводом).

Спрощено принцип роботи блискавковідводу можна пояснити так. Грозова хмара власним електричним полем наводить у блискавковідводі електричний заряд, протилежний за знаком заряду хмари. Цей заряд створює поряд з вістрям блискавковідводу сильне електричне поле, у якому починається «тихий» коронний розряд, який забирає на себе енергію взаємодії наведеного хмарою електричного заряду, чим зменшує ймовірність розвитку блискавки. Розміри території, захищеної блискавковідводом на поверхні Землі, визначаються висотою блискавковідводу.

**Електричний струм у вакуумі.** Якщо із скляної трубки в досліді 2 на с. 99 (див. мал. 107) за допомогою спеціального насоса відкачати повітря, то в

ній утвориться *вакуум*, тобто безповітряний простір. При цьому вимірювальний прилад покаже, що в колі трубки ніякого струму немає. Цей факт цілком зрозумілий — адже хоча в міжелектродному проміжку є електричне поле, але відсутні вільні носії електричного заряду, тому вакуумний проміжок є добрим ізолятором.

І все ж у такій *вакуумній трубці* може бути електричний струм. Якщо поряд із катодом трубки розмістити мініатюрний електронагрівач (нитку розжарення), який нагріє катод до температури видимого світіння (900–1500 °С), то з його поверхні почнуть «випаровуватися» електрони, які утворюють електронну «хмарку», тобто з'являться вільні носії електрики. Під дією електричного поля електрони почнуть рухатися в бік анода і замкнуться коло — вимірювальний прилад покаже наявність струму.

Описане явище, яке назвали *термоелектронною емісією*, вперше спостерігав у 1883 р. видатний американський винахідник Т. А. Едісон (ефект Едісона). Досліджуваний вакуумний прилад мав цінну властивість — *однобічну провідність*. Якщо полярність приєднаного до трубки джерела струму поміняти на протилежну, тобто до катода приєднати позитивний полюс джерела, а до анода — негативний, то струм у колі зникав. У цьому разі позитивний катод «не відпускав» від себе негативні електрони, а негативний анод у свою чергу відштовхував їх назад, тобто коло не замикалося. Згодом на основі цієї властивості було створено *випрямлячі змінних* (таких, що періодично змінюють напрям) *струмів*, а також *електронно-променеві трубки*, які широко застосовувалися в телевізорах і моніторах комп'ютерів.

## ▶ ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Слід зазначити, що блискавка — досить часте явище на Землі. Як підраховали вчені, щодня на земній кулі відбувається близько 44 000 гроз або приблизно одна гроза через кожні 2 с. Грози найчастіше бувають у другій половині дня. Тривалість більшості гроз — близько 1 год. Однак у тропіках і горах вони іноді тривають до 12–13 год. Найбільшу кількість грозових днів — 220 на рік — зафіксовано на острові Ява. У місті Санта-Марія (штат Каліфорнія в США) гроза відбувається не частіше одного разу на 2 роки. Щодня на земній кулі спалахує близько 8 млн. блискавок.

- Вольтів стовп і батарея відкрили можливості для широких експериментів із сильним електричним струмом. Багато вчених виготовляли такі джерела струму і проводили з ними цікаві досліді.

У 1802 р. професор Петербурзької медико-хірургічної академії **В. В. Петров** (1761–1834) сконструював найпотужнішу батарею того часу. Вона складалася із 4200 мідних і цинкових кружків, укладених в чотири дерев'яних ящики. Приєднавши мідною дротиною до полюсів батареї два вугільних стержні (електроди), він наблизив стержні один до одного і побачив, що між ними раптом спалахнула яскрава дуга. Вона освітила лабораторію, внесені в неї шматки металу дуже швидко плавилися. Так була відкрита **електрична дуга**.

- **Спосіб зварювання металів за допомогою електричної дуги** у 1881 р. запропонував уродженець с. Мостового Миколаївської області винахідник **Микола Миколайович Бенардос** (1842–1905), який запатентував близько 100 винаходів у галузі транспорту та енергетики. М. Бенардос



Микола Бенардос



Євген Патон

сконструював вугільні електроди різних форм і комбіновані електроди (вуглець — метал), один із електродів є вугільним, а за другий править металевий предмет, який зварюється; запропонував спеціальне пристосування для зварювання у вертикальному положенні; вперше використав електромагніт для закріплення деталей, що зварюються, у належному положенні; створив декілька конструкцій зварювальних напівавтоматів та автоматів; розробив способи підводного зварювання та різання металів, зварювання в газовому струмені, точкового і шовного контактного зварювання.

- Славні традиції здобутків українських учених у дослідженні проблем зварювання металів продовжив **Євген Оскарівич Патон** (1870–1953) — засновник вітчизняної школи зварювання. За його ініціативи при колишній АН УРСР була організована лабораторія (1929 р.), яка в 1934 р. переросла в Інститут електрозварювання, директором і науковим керівником якого був Є. О. Патон. Основні праці вченого присвячені науковим і технологічним основам дугового зварювального процесу та проблемам його автоматизації; створенню електрозварювальної апаратури.

- В Інституті електрозварювання АН УРСР безпосередньо під керівництвом Є. О. Патона у 1939–1940 рр. була завершена розробка методу високопродуктивного автоматичного зварювання під флюсом. Інститут розробив технологію зварювання броньованої сталі, що уможливило створення поточного механізованого виробництва бронекорпусів танків. За допомогою автоматичного зварювання під флюсом було налагоджено виробництво авіабомб, артилерійських снарядів. Довоєнний і воєнний періоди діяльності Інституту, якому в 1945 р. було присвоєно ім'я Є. О. Патона, можна розглядати як становлення нової наукової школи (В. В. Шверницький, О. А. Казимиров, Г. В. Раєвський, А. М. Макара, Б. Є. Патон, В. І. Медовар, Д. М. Рабкін, С. І. Фрумін). Іменем Є. О. Патона названо сконструйований ним міст через Дніпро у Києві (1953 р.). Пізніше справу батька продовжив його син — Б. Є. Патон, який із 1953 р. очолює Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона.



Борис Патон

- **Борис Євгенович Патон** — видатний учений у галузі зварювання, металургії і технології металів, організатор науки, державний і громадський діяч. Президент Національної академії наук України з 1962. Очолюваний ним Інститут електрозварювання виріс у потужний науково-технічний комплекс, до структури якого входять науково-дослідний інститут, конструкторсько-технологічні й експериментальні підрозділи, три дослідні заводи, а також інноваційні організації, науково-інженерні й атестаційний центри.

Під керівництвом Б. Є. Патона і за його особистою участю в Інституті проведено глибокі дослідження й



отримано великі результати в розробці прогресивних технологій нероз'ємного з'єднання й обробки металів і неметалів у різних умовах і середовищах. До них належать зварювання і наплавлення під флюсом, зварювання в захисних газах суцільним і порошковим дротом, електрошлакове зварювання, стикове зварювання оплавленням, газотермічне напилювання, променеві технології та інші процеси.

Фундаментальні дослідження Б. Є. Патона і його учнів щодо взаємодії зварювальних джерел нагрівання з розплавленим металом заклали основу для створення нової галузі металургії — спеціальної електрометалургії. Завдяки їй стало можливим лиття особливо чистих спеціальних сталей і сплавів, кольорових металів, одержання унікальних композиційних матеріалів. Відкрилися перспективи для створення новітніх конструкційних і функціональних матеріалів XXI століття.

Борис Євгенович уніс великий вклад у створення нових типів зварних конструкцій, індустріальних способів зварювання магістральних трубопроводів, великогабаритних резервуарів для зберігання нафти, кожухів доменних печей, висотних баштових конструкцій.

Б. Є. Патон першим започаткував дослідження у відкритому космосі в галузі технології металів, створення унікальних конструкцій. Під його безпосереднім керівництвом у 1984 р. космонавти **С. Є. Савицька** та **В. О. Джанібеков** уперше в світі провели у відкритому космосі винятково важливі дослідження і здійснили перше практичне зварювання, різання і напилення металів.

Під його керівництвом співробітники Інституту і вчені-медики створили новий спосіб з'єднання (зварювання) м'яких тканин людини і тварин, що широко використовується нині в хірургічній практиці.



### ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

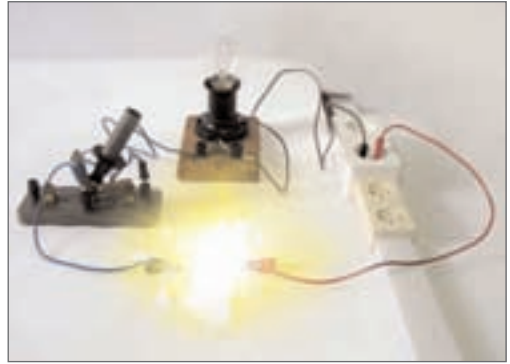
1. Чому за звичайних умов гази є діелектриками?
2. Поясніть, чому під час нагрівання чи опромінення газу рентгенівськими або ультрафіолетовими променями газ стає провідником?
3. Чому під час нагрівання газу він йонізується?
4. З припиненням дії йонізатора газ знову швидко стає діелектриком. Чому?
5. Який газовий розряд називають несамостійним?
6. Чому розряд у газах з йонізацією ударом називають самостійним?
- 7\*. Опишіть процес виникнення електричної дуги між вугільними електродами при низькій напрузі.
8. Коли виникає коронний розряд?
9. Розкажіть, як виникає блискавка — іскровий розряд.
- 10\*. Обґрунтуйте, чому електрична дуга утворюється при низьких напругах, а іскровий розряд — при дуже високих.
- 11\*. Чому електричний струм у газах називають «електричним розрядом»?
- 12\*. Як за допомогою іскрового розряду можна обробляти деталі з тугоплавких металів?

## § 26 БЕЗПЕКА ЛЮДИНИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПРИБАДАМИ І ПРИСТРОЯМИ

Будь-яке електричне коло розраховують на певну силу струму. Якщо з якоїсь причини сила струму в колі перевищить допустиму, то проводи можуть перегрітися, а їхня ізоляція — спалахнути.

Причиною значного збільшення сили струму в колі може бути одночасне вмикання багатьох потужних споживачів струму (наприклад, електроплитки, електропраски, пральної машини, водонагрівника) або **коротке замикання**.

● **Дослід.** Складемо електричне коло з джерела струму, електричної лампи, ключа. Один з проводів цього кола складається з тоненьких провідників. Замкнемо ключ — лампа світитиметься. Тепер до затискачів лампи приєднаємо провід і знову замкнемо коло. Лампа згасне, а тонькі провідники розжаряться і світитимуться (мал. 116) доти, доки ми не розімкнемо коло або вони не перегорять зі спалахом.



Мал. 116

**Коротким замиканням називають з'єднання кінців ділянки кола провідником, опір якого дуже малий порівняно з опором ділянки кола.**

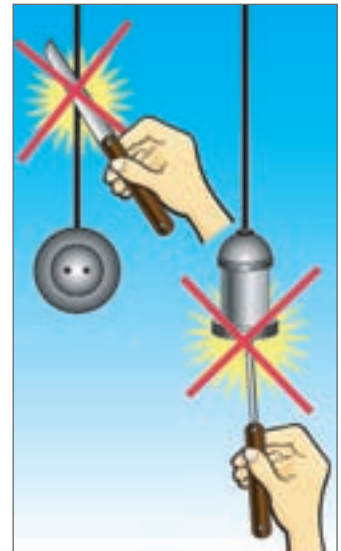
Коротке замикання може виникнути, наприклад, під час ремонту проводки під струмом (мал. 117) або в разі випадкового зіткнення оголених проводів.

Опір кола під час короткого замикання незначний, тому в колі різко зростає сила струму, від чого проводи можуть спалахнути. Для уникнення цього в електромережу обов'язково вмикають **запобіжники**.

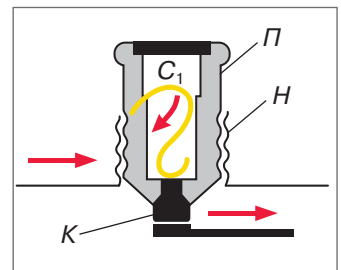
*Яке призначення і яка будова запобіжників?*

Призначення запобіжників — відразу вимкнути лінію, якщо сила струму раптом стане більшою за допустиму норму.

Головною частиною запобіжника (мал. 118) є дротина *C* з легкоплавкого металу (наприклад, зі



Мал. 117



Мал. 118

свинцю), розміщена усередині порцелянової (фарфорової) пробки *П*. Пробка має гвинтову нарізку *Н* і центральний контакт *К*. Нарізку з'єднано з центральним контактом свинцевою дротиною. Пробку вкручують у патрон, який міститься всередині порцелянової коробки.

Отже, свинцева дротина є частиною загального кола. Товщина свинцевих дротин розрахована так, що вони витримують певну силу струму, наприклад 4, 6, 10, 16, 25, 32 А (мал. 119). Якщо сила струму в колі перевищить допустиме значення, то свинцева дротина розплавиться і коло розімкнеться.

Запобіжники з провідником, що плавиться, називаються **плавкими запобіжниками**.

На малюнку 120 зображено плавкий запобіжник із вставкою, яку в разі перегорання можна замінювати.

У різних приладах застосовують різні запобіжники (мал. 121). На малюнку 122 показано запобіжник, дія якого ґрунтується не на плавленні, а на тепловому розширенні тіл під час нагрівання.

Якщо вам доведеться замінювати запобіжники, то обов'язково дотримуйтесь таких правил.

**Перед тим як замінити перегорілі при короткому замиканні запобіжники, потрібно передусім виявити й усунути це замикання. Для цього необхідно:**

1) вимкнути всі споживачі струму, які є в квартирі або будинку;

2) вставити в гніздо одного із запобіжників лампу розжарювання, що відповідає тій напрузі, яка є в мережі, а в гніздо другого запобіжника — пробку;

3) якщо замикання трапилося не в споживачах, а в підвідних провадах квартири, то лампа яскраво світитиметься;

4) якщо замикання в підвідних провадах не виявлено (спіраль лампи розжарена слабо), то потрібно по черзі вмикати всі споживачі струму;

5) якщо замикання немає у жодному зі споживачів, то це означає, що у вашій квартирі мережа перевантажена. Потрібно вимкнути зайві споживачі струму.

Під час роботи з електроприладами необхідно суворо й неухильно дотримуватися застережних заходів. Якщо цим нехтувати, то вашому життю загрожує смертельна небезпека внаслідок можли-



Мал. 119



Мал. 120



Мал. 121



Мал. 122

вої електротравми. **Електротравмою називають ураження людини електричним струмом.** Вона виникає при контакті тіла людини з електричним кабелем, приладом чи устаткуванням, що перебувають під напругою за умови їх несправності або порушень правил безпеки під час їх ремонту й експлуатації.

При ураженні електричним струмом має значення його сила, напруга, частота, а також багато інших чинників: місце ураження, час впливу струму на організм, стан навколишнього середовища, особливості організму, шкіри й одягу постраждалого.

Людське тіло — провідник. При контакті частин тіла з оголеними проводами або з устаткуванням, що перебувають під напругою, через нього проходить струм, дія якого може бути більш чи менш небезпечною залежно від значення сили струму.

Струм силою в межах **0,6–1,5 мА** вже відчувається людиною як пощипування шкіри та больові відчуття.

Струм силою **5–25 мА** може спричинити мимовільні непереможні судоми (скорочення м'язів), через які вражена людина не може самостійно відімкнутися від джерела небезпеки. Оскільки м'язи-згиначі сильніші за м'язи-розгиначі, то, торкаючись несправного електроприладу чи кабелю, ми ризикуємо обхопити небезпечну поверхню. Зрозуміло, що краще, якщо торкання увімкненого електроприладу відбулося тильним боком долоні: ураження струмом все одно можливе, та коли м'язи-згиначі скоротяться, рука відсахнеться від джерела небезпеки.

Струм в межах **50–350 мА** викликає фібриляцію (безладні скорочення) серця, тобто розлад серцевої діяльності аж до його зупинки.

Ступінь травматизму залежить від **місця ураження** й від того, через які органи проходить струм. Є кілька варіантів проходження електричного струму через тіло людини по лінії: нога — нога; рука — рука; рука — нога. Найнебезпечніше, коли струм проходить через серце.

Ступінь ураження залежить і від **часу дії струму на організм.**

Суттєве значення для електротравматизму має **стан навколишнього середовища.** Вологість, струмопровідна підлога — усе це збільшує дію струму на організм людини. Особливо небезпечно користуватися електроприладами у підсобних приміщеннях і надворі.

Наслідки електротравм залежать і від **стану організму** постраждалого. Сп'яніння, хворобливий стан людини, юний вік, психологічний стрес зменшують опір організму і збільшують ступінь ураження.

Зрозуміло, що певний **одяг**, наприклад гумові рукавиці або черевики, можуть захистити чи суттєво послабити вплив струму на організм людини.

Нормами встановлено значення найбільшої допустимої *напруги торкання* протягом досить тривалого часу її дії: для постійного струму — 8 В (струм протікання 1 мА); для змінного струму — 2 В (струм протікання 0,3 мА).

Виходячи з того, що значення електричного опору людського тіла може коливатися в межах від ста омів до кількох десятків кілоомів, безпечно вважають постійну напругу 25 В. У приміщеннях з підвищеною вологістю безпечно вважають напругу 15 В.

Навчальний фізичний кабінет в школі належить до приміщень з підвищеною небезпекою. Під час виконання лабораторних та інших робіт

учні мають суворо дотримувати правила електробезпеки, які в кожному кабінеті фізики викладені на спеціальному плакаті.

Усім, хто користується електричним обладнанням, обслуговує чи ремонтує його, завжди **треба пам'ятати про таке:**

**1. Дуже небезпечно одночасно торкатися двома руками до двох оголених проводів.**

**2. Дуже небезпечно торкатися до оголеного проводу, стоячи на землі, на сирій або бетонній підлозі.**

**3. Небезпечно користуватися зіпсованими електричними приладами. Їх повинні періодично перевіряти фахівці.**

**4. Не можна збирати, розбирати чи виправляти будь-що в електроприладі, не від'єднавши його від джерела струму.**

**5. Не можна розбирати вимикачі, розетки та іншу арматуру електромережі, не викрутивши запобіжники.**

**Якщо ви побачите застережні знаки (мал. на с. IV форзаца), то це означає, що цього категорично не можна робити!**

*А як надати першу допомогу ураженій електричним струмом людині?*

**Запам'ятайте:** під час ураження електрикою дорога кожна хвилина, потрібні негайні рятувальні заходи для надання ураженому першої допомоги. Насамперед потрібно звільнити людину від контакту з проводом під напругою, по якому тече струм. Якщо це відбулося в приміщенні, де є вимикач або штепсель, потрібно вимкнути струм вимикачем або витягнути штепсельну вилку. Якщо випадок стався в колі, де немає вимикача, потрібно викрутити запобіжники або вимкнути головний вимикач, що є біля лічильника.

У разі, коли вимикачі розміщено дуже далеко, а людина перебуває під струмом, то насамперед необхідно надіти гумове взуття або гумові рукавиці, скинути з неї сухою дерев'яною (або з іншого ізоляційного матеріалу) палицею провід або перерізати його ножем, перерубати сокирою, «перекусити» гострозубцями. Однак і тоді варто пам'ятати, що в усіх перелічених інструментах ручки мають бути виготовлені з ізоляційного матеріалу.

Звільнивши потерпілого від струму, треба покласти його на спину, звільнити груди від одягу, викликати лікаря або «швидку допомогу», а якщо це неможливо, то треба зробити йому штучне дихання.



### **ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ**

1\*. Якщо вийняти з води увімкнений електричний кип'ятильник, то його спіраль може перегоріти. Відповідь поясніть.

2\*. На вашу думку, чи можна замість запобіжника вставити товстий провід або пучок тонких мідних провідників?

3\*. Поясніть, чи можна наливати воду в електричний чайник, увімкнута мережу.

4. Чи можна знімати провід з потерпілого за допомогою мокрої палиці або металевого стержня?

5. Чому електромонтерам рекомендують працювати в гумових рукавицях і гумовому взутті?

## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

## ➤ Розв'язуємо разом

1. Чому електроліти мають йонну провідність?

Відповідь: тому що носіями струму в електролітах є йони обох знаків. Вільних електронів в електролітах немає.

2. Внаслідок проходження електричного струму крізь розчин мідного купоросу на катоді виділилося 52,8 г міді. Який заряд пройшов крізь електроліт, якщо електрохімічний еквівалент міді дорівнює  $0,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{КГ}}{\text{Кл}}$ ?

Дано:

$$m = 52,8 \text{ г} = 0,0528 \text{ кг}$$

$$k = 0,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{КГ}}{\text{Кл}}$$

$$q = ?$$

Розв'язання

Щоб визначити заряд, який пройшов крізь електроліт, скористаємося формулою:  $q = It$ .

У формулі, що виражає закон Фарадея  $m = kIt$ , замінимо добуток  $It$  на  $q$

і одержимо вираз для заряду:  $q = \frac{m}{k}$ .

Підставивши значення фізичних величин, отримаємо:

$$q = \frac{0,0528 \text{ кг}}{0,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{КГ}}{\text{Кл}}} = 160\,000 \text{ Кл} = 160 \text{ кКл.}$$

Відповідь: через електроліт пройде заряд 160 кКл.

3. Чому в техніці переважно використовують не чисті напівпровідники, а з донорними або акцепторними домішками?

Відповідь: тому що введенням у напівпровідниковий кристал домішок можна змінити електропровідність кристала Германію в мільйон, а кристала Силіцію — у мільярд разів.

4. Чому електричний струм у газах назвали «електричним розрядом»?

Відповідь: тому що під час проходження струму крізь газ між двома різнойменно зарядженими тілами ці тіла розряджаються.

## Рівень А

160. Чому опір електролітів зменшується з підвищенням температури?
161. Чому в електролітах у твердому стані немає вільних електронів?
162. Чому перш ніж зробити гальванічне покриття вироби ретельно знежирюють і промивають?
163. Чому для гальванічного покриття виробу найчастіше застосовують нікель і хром?
164. Чому саме водні розчини солей, кислот і лугів є провідниками?
165. Коли в посудині з електролітом, де є носії струму обох знаків, струму немає?
166. Чому з підвищенням температури електроліту кількість йонів обох знаків збільшується?
167. Чому електроліт у розчині чи розплаві є електрично нейтральний, хоча він містить величезну кількість йонів обох знаків?

168. Чому під час проходження струму крізь електроліт на електродах виділяється чиста речовина, що входить до складу електроліту?
169. Чому під час проходження електричного струму крізь електроліти відбуваються переміщення і відкладання речовин на електродах?
170. Чому електропровідність напівпровідників вимірюють при слабкому освітленні, майже у темряві?
171. Чому між вугільними електродами при невисокій напрузі виникає газовий розряд — електрична дуга?
172. Чому для «запалювання» електричної дуги на її електроди подають високу напругу, а для підтримання струму в дузі така напруга не потрібна?
173. Чому електроскоп, розміщений недалеко від полум'я свічки, дуже швидко розряджається?
174. Коли виникає коронний розряд?
175. Чому особливо небезпечно доторкатися до проводів зі струмом мокрими руками?
176. Як утворюється блискавка між грозовою хмарою й поверхнею Землі?
177. Дощ застав вас у полі. Неповдалік від вас росте високе дерево з могутньою кроною. Чи варто бігти до нього, щоб сховатися від дощу?
178. Провідники, що з'єднують громовідвід (блискавковідвід) із заземленою пластиною, виявилися порваними. Чи зможе він захистити від блискавки?

**Рівень Б**

179. У розчині аргентум (I) нітрату внаслідок проходження заряду 1 Кл на катоді виділяється 1,118 мг срібла. Визначте, яка маса срібла виділиться внаслідок проходження електричного заряду 500 Кл.
180. Під час електролізу розчину цинк сульфату виділилося 2,45 г цинку. Визначте електрохімічний еквівалент цього металу, якщо крізь електроліт протягом 60 хв проходив електричний струм 2 А.
181. Якою була сила струму під час електролізу розчину мідного купоросу, якщо за 50 хв на катоді виділилося 1,98 г міді?
182. Найбільшу кількість електрики, яку одержують під час розряджання акумулятора або гальванічного елемента, називають ємністю і вимірюють в ампер-годинах. Визначте, якої сили струм проходив крізь лужний акумулятор ємністю 42 А · год під час його заряджання протягом 2,8 год.
183. Внаслідок електролізу розчину хлоридної (соляної) кислоти HCl на катоді за деякий час виділилося 75 г водню. Скільки хлору виділилося за цей самий час на аноді? Електрохімічні еквіваленти водню і хлору відповідно дорівнюють  $0,0104$  і  $0,367 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$ .
184. Електролізом добуто 3,3 кг міді. Скільки срібла можна одержати, якщо пропустити крізь відповідний електроліт такий самий заряд?
185. Крізь розчин сірчаної кислоти пройшло  $2 \cdot 10^6$  Кл електрики, щоб виділеним під час електролізу воднем заповнити за нормальних умов повітряну кулю. Який вантаж зможе підняти ця куля? Електрохімічний еквівалент водню дорівнює  $0,0104 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$ .

## ІСТОРИЧНА ДОВІДКА



Луїджі Гальвані

**Гальвані Луїджі** (9.09.1737–4.12.1798) — італійський фізик і фізіолог. Народився в Болоньї. Закінчив Болонський університет (1759), з 1775 р. — професор цього університету.

Почав у 1773 р. анатомічне дослідження рухів м'язів жаб, а в 1780 р. провів на них свої перші електрофізіологічні досліді. Після 11 років досліджень і експериментів, які привели його до відкриття (1786) у тканині жаби короткочасних імпульсів електричного струму, або, як він назвав, «тваринної» електрики, опублікував в 1791 р. свої результати в «Трактаті про сили електрики при м'язовому русі». Гальвані помітив, що якщо з'єднати металевим провідником м'язи й нерви тільки що вбитої й препарованої жаби, відразу ж відбувається скорочення її м'язів.

Скорочення стають сильнішими і тривалими, якщо провідник складається із двох різнорідних металів, наприклад заліза й міді або срібла. Гальвані зробив висновок, що скорочення м'язів жаби зумовлені виникненням у них електричного струму. Однак причину цього Гальвані помилково вбачав у наявності в кожній тварині так званої власної «тваринної» електрики. Незабаром А. Вольта довів, що електричні струми в досліді Гальвані виникали внаслідок сполучення металевих провідників із тваринними тканинами.

Л. Гальвані — один з основоположників вчення про електрику, його досліді з «тваринною» електрикою поклали початок новому науковому напрямку — електрофізіології.



Алессандро Вольта

**Вольта Алессандро** (18.02.1745–5.03.1827) — італійський фізик, винахідник гальванічного елемента. Народився в Комо, поблизу Мілана. Навчався в школі ордена єзуїтів. З раннього дитинства зацікавився природничими науками, зокрема вивченням електричних явищ. Протягом 1774–1779 рр. викладав фізику в своєму рідному місті, з 1779 р. працював професором Павійського університету, а в 1815–1819 рр. був деканом філософського факультету Падуйського університету.

У 1769 р. А. Вольта опублікував працю про лейденську банку, а в 1775 р. — про винайдений ним *смоляний електрофор* — прилад, що став прообразом електрофорної машини.

У 1781 р. побудував *чутливий електроскоп із соломинками* і запровадив його в практику вимірювань. Після опублікування Л. Гальвані у 1791 р. «Трактату про сили електрики при м'язовому русі» А. Вольта повторив і розвинув ці досліді й спостереження. В результаті численних власних експериментів, проведених у 1792–1794 рр., прийшов до висновку, що явища, які спостерігав Гальвані, пов'язані з наявністю кола з двох різнорідних металів і рідини, тобто причиною скорочення м'язів препарованої жаби є не «тваринна» електрика, а контакт різнорідних металів. Щоб довести свою правоту, Вольта повністю виключив фізіологічні об'єкти, замінивши лапку жаби своїм електрометром. Так було *вперше здійснено замкнене коло електричного струму*.

А. Вольта виконав значні дослідження у галузі хімії. У галузі фізіології вперше показав, що нерви тварин і людини мають велику електричну збуджуваність.



## ПЕРЕВІРТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

### Контрольні запитання

1. Чому для створення електричного струму в провіднику має бути джерело струму?
2. Виконання відразу яких умов є необхідним для існування струму в електричному колі?
3. Чому метали мають електронну провідність?
4. Як пояснити, що ми можемо точно знати, в якому провіднику тече струм, хоча руху частинок у провіднику не бачимо?
5. Чому магнітна дія струму, на відміну від хімічної або теплової, є основною дією струму?
6. Чому амперметр роблять з дуже малим опором, а вольтметр — з дуже великим?
7. Чому три формули для визначення роботи сили струму ( $A = Ult$ ,  $A = I^2Rt$ ,  $A = \frac{U^2 \cdot t}{R}$ ) можна використати для розрахунку кількості теплоти, що виділяється в провіднику під час проходження в ньому струму?
8. Чому в двох провідниках з одного і того самого матеріалу, однакової довжини, але різного поперечного перерізу, що з'єднані послідовно, за той самий час виділяється різна кількість теплоти?
9. Які досліди доводять йонну теорію провідності розчинів і розплавів електролітів?
10. Дистильована вода не є провідником. Чому ж водопровідна, а також річкова і морська вода є гарним провідником?
11. Поясніть, у чому полягає відмінність між негативним йоном у електроліті й електроном.
12. Щоб газ став провідником, потрібний процес йонізації газу. Поясніть, чому.

### Що я знаю і вмю робити

#### **Я знаю, які існують джерела струму.**

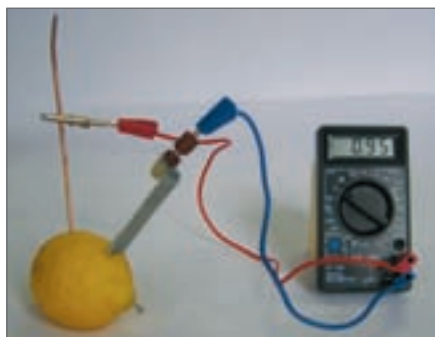
1. Назвіть, які джерела струму ви бачите на малюнку 123.

#### **Я вмю конструювати та виготовляти прості гальванічні елементи**

2. У лимон, солоний огірок або яблуко вставте мідну й сталеву пластини з відводами (мал. 124). Приєднайте відводи до гальванометра. Що він показуватиме? Чому?



Мал. 123



Мал. 124



Мал. 125

**Я вмію складати електричні кола та креслити їхні схеми.**

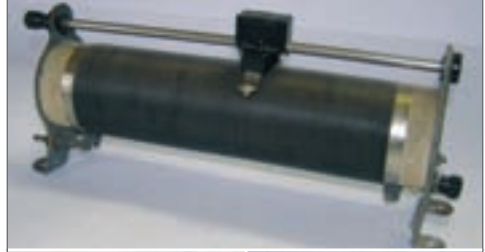
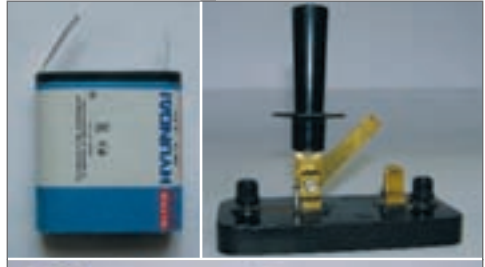
3. Розкажіть, як працює кишеньковий ліхтарик (мал. 125). Назвіть його основні частини. Накресліть схему електричного кола.

4. На малюнку 126 зображено прилади. Які електричні кола можна скласти за допомогою цих приладів? Користуючись таблицею на с. 1 форзаца «Умовні позначення елементів електричних кіл», накресліть схеми цих кіл.

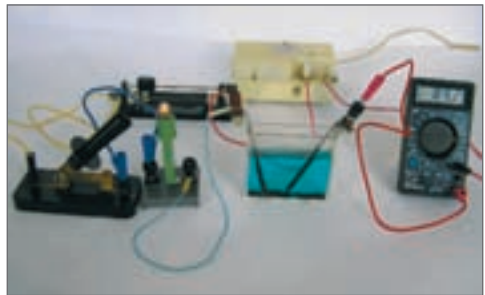
5. Ви маєте джерело струму напругою 12 В і чотири електричні лампи, що розраховані на напругу 3,5 В кожна. Як потрібно їх з'єднати, щоб вони працювали в нормальному режимі? Намалюйте схему такого електричного кола.

**Я вмію пояснювати фізичні явища.**

6. Користуючись малюнком 127, поясніть явище, яке відбувається під час досліду.
7. Електричний вугор може паралізувати свою здобич. За рахунок чого і як він це робить (мал. 128)?
8. На малюнку 129 зображено ялинкову гірлянду, яка складається з багатьох



Мал. 126



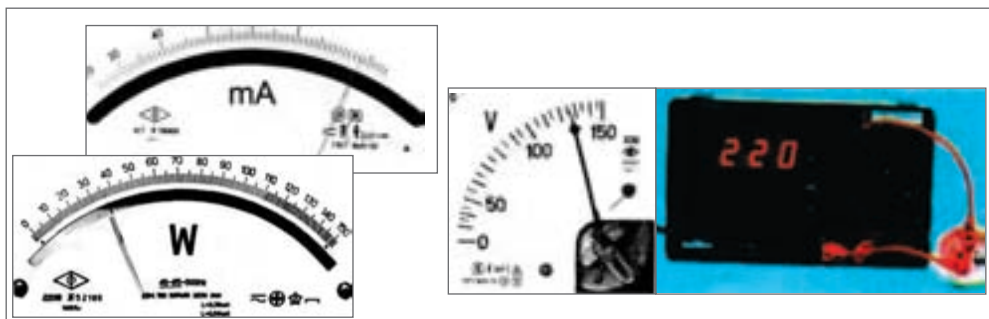
Мал. 127



Мал. 128



Мал. 129



Мал. 130

маленьких ламп. Як пояснити те, що лампи світяться неоднаково? Як ці лампи з'єднані між собою?

**Я вмю вимірювати фізичні величини за допомогою приладів.**

9. Який прилад і шкали яких приладів зображено на малюнку 130? Як вони називаються? Які фізичні величини можна ними вимірювати? Запишіть у зошит покази цих приладів.

**Я вмю визначати силу струму в електричному колі.**

10. Через першу електричну лампу проходить заряд 1350 Кл за кожні 15 хв, а через другу — 30 Кл за 10 с. В якій електричній лампі сила струму більша? У скільки разів?
11. Визначити силу струму в колі, якщо 24 Кл електричного заряду протікають у ньому за 10 с? 1 хв?
12. Який струм у провіднику, якщо крізь його поперечний переріз за 2 хв протікає заряд 30 Кл? Яка кількість електронів проходить при цьому крізь переріз провідника?

**Я вмю обчислювати роботу та потужність електричного струму.**

13. У нижній частині електропраски є написи (мал. 131). Що вони означають? Яка потужність електропраски? Яку роботу виконає електричний струм, що проходить по її спіралі, за 10 хв?
14. Сила струму під час розряду блискавки дорівнює 100 кА, а напруга між хмарою та Землею — 30 МВ. Обчисліть потужність блискавки.



Мал. 131

**Я знаю, як виготовляють електричні лампи розжарювання.**

15. Використовуючи малюнок 132, розкажіть про основні етапи виготовлення електричної лампи розжарювання.
16. Розгляньте всі наявні у вас електричні лампи і дайте відповідь на такі запитання: 1) чи різняться наявні електричні лампи своєю



Мал. 132

будовою? 2) На яку напругу вони розраховані? 3) Користуючись малюнком 133, укажіть основні параметри електричної лампи.

**Я знаю, які електричні прилади використовують у побуті.**

17. Назвіть, які електричні прилади зображено на верхньому малюнку с. II форзаца і для чого їх використовують.

**Я вмію виготовляти прилади і пристрої.**

18. Виготовте саморобний гальванічний елемент. Для цього використайте розчин оцту (2 столові ложки на склянку води), один електрод — мідний або вугільний (можна взяти стержень від старої батарейки), другий — цинковий або залізний. У наявності напруги можна переконатися, торкнувшись язиком електродів: відчуватиметься солонуватий присмак. Якщо у вас є вольтметр з межею вимірювання до 5 В, виміряйте напругу на полюсах вашого гальванічного елемента. Який електрод є анодом; катодом?

**Я знаю, як побудована в будинку електромережа.**

19. За нижнім малюнком на с. II форзаца визначте запобіжники, які потрібні для споживачів електричного струму. Назвіть ці споживачі. Якого поперечного перерізу провідники використовують у мережі?



Мал. 133

### Тестові завдання

#### Варіант I

- Сила струму в колі електричної лампи дорівнює 0,3 А. Скільки електронів проходить крізь поперечний переріз спіралі за 5 хв?  
А.  $56 \cdot 10^{20}$  електронів. Б.  $5,6 \cdot 10^{20}$  електронів. В. 5 600 електронів. Г. 56 електронів.
- Як називається прилад, призначений для вимірювання напруги на ділянці кола?  
А. Омметр. Б. Ваттметр. В. Вольтметр. Г. Амперметр.
- Яка фізична величина завжди є однаковою для різних провідників у колі, з'єднаних послідовно?  
А. Сила струму. Б. Напруга. В. Опір. Г. Потужність.
- Сила струму в залізному провіднику завдовжки 150 см і площею поперечного перерізу  $0,02 \text{ мм}^2$  дорівнює 250 мА. Яка напруга на кінцях провідника?  
А. 2 В. Б. 20 В. В. 0,2 В. Г. 200 В.
- Яка сила струму в нитці розжарювання катода телевізійної трубки (кінескопа), якщо її опір дорівнює 0,6 Ом, а до кінців прикладена напруга 0,3 В?  
А. 5 А. Б. 0,5 А. В. 0,2 А. Г. 1,8 А
- На спеціальному верстаті дріт протягують так, що він стає вдвічі довший і тонший. Як змінюється його опір?  
А. Збільшується в 4 рази.  
Б. Збільшується в 2 рази.

- В. Зменшується в 2 рази.  
Г. Не змінюється.
7. За якою формулою визначають кількість теплоти, яку виділяє провідник зі струмом?  
А.  $Q = I^2 R t$ , Б.  $Q = I R t$ . В.  $Q = U^2 R t$ . Г.  $Q = \frac{I^2 R}{t}$ .
8. Чи виконуватиметься закон Ома в умовах невагомості?  
А. Так, тому що опір провідників не залежить від їх ваги.  
Б. Ні, тому що закон Ома виконується на Землі.  
В. Правильної відповіді немає.
9. Чому за допомогою контактного зварювання не можна з'єднати мідні чи срібні деталі?  
А. Тому що деталі мають великий питомий опір, і в місці контакту неможливо досягти температури, достатньої для їх з'єднання.  
Б. Тому що деталі мають малий питомий опір, і в місці контакту неможливо досягти температури, достатньої для їх з'єднання.  
В. Тому що деталі не мають опору, і в місці контакту неможливо досягти температури, достатньої для з'єднання.
10. Що є вільними носіями заряду в напівпровідниках із власною провідністю?  
А. Йони обох знаків.  
Б. Позитивно заряджені дірки.  
В. Електрони і дірки.  
Г. Вільні електрони та електрони, які утворюють ковалентні зв'язки в кристалах.
11. В електролітичній ванні, що містить розчин  $\text{AgNO}_3$ , проходить струм 10 мА. Скільки атомів Аргентуму виділиться на катоді за 1 с, якщо ( $k_{\text{Ag}} = 1,12 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ )?  
А.  $16 \cdot 10^{22}$ . Б.  $0,16 \cdot 10^{16}$ . В.  $6,25 \cdot 10^{22}$ . Г.  $6 \cdot 10^{16}$ .
12. Як називають вид газового розряду, що супроводжується світінням поблизу загострених предметів?  
А. Дуговий. Б. Іскровий. В. Коронний. Г. Тліючий.

### Варіант II

1. Сила струму в колі електричної лампи дорівнює 0,3 А. За який час крізь поперечний переріз спіралі проходить  $5,6 \cdot 10^{20}$  електронів?  
А. 3 хв. Б. 300 с. В. 500 с. Г. 30 хв.
2. Як називається прилад, призначений для вимірювання сили струму?  
А. Омметр. Б. Ваттметр. В. Вольтметр. Г. Амперметр.
3. Яка фізична величина завжди є однаковою для всіх провідників у колі, з'єднаних паралельно?  
А. Сила струму. Б. Напруга. В. Опір.
4. Яка напруга на кінцях спіралі електричної лампи, що має опір 110 Ом, а амперметр показує 0,2 А?  
А. 110 В. Б. 20 В. В. 22 В. Г. Правильної відповіді немає.
5. Чому дорівнює опір стартера автомобіля, якщо при напрузі 12 В сила струму в ньому дорівнює 600 А?  
А. 0,2 Ом. Б. 0,02 Ом. В. 50 Ом. Г. Правильної відповіді немає.
6. В освітлювальну мережу кімнати ввімкнено дві електричні лампи, опори яких

- 200 і 300 Ом. Напруга в мережі 220 В. Визначте силу струму до розгалуження.  
 А. 2 А. Б. 1 А. В. 1,8 А. Г. 0,18 А.
7. Два провідники з однаковими опорами з'єднано спочатку послідовно, а потім паралельно і в обох випадках увімкнені при однаковій напрузі. В якому випадку робота електричного струму за той самий час більша і в скільки разів?  
 А. При послідовному з'єднанні робота електричного струму в рази більша.  
 Б. Робота електричного струму в обох випадках однакова.  
 В. При паралельному з'єднанні робота електричного струму в 4 рази більша.  
 Г. При паралельному з'єднанні робота електричного струму у 8 разів більша.
8. За якою формулою визначається робота електричного струму?  
 А.  $A = I^2 R t$ , Б.  $A = I R t$ . В.  $A = U^2 R t$ . Г.  $A = \frac{I^2 R}{t}$ .
8. Що є вільними носіями заряду в металевих провідниках?  
 А. Негативно заряджені йони.  
 Б. Позитивно заряджені йони.  
 В. Йони обох знаків.  
 Г. Електрони.
9. При силі струму 1,6 А на катоді за 10 хв відклалася мідь масою 0,316 г. Визначте електрохімічний еквівалент міді.  
 А.  $3,04 \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ . Б.  $3,3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ . В.  $3,94 \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ . Г.  $3,94 \cdot 10^{-7} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ .
10. Чому кажуть, що блискавка може «знаходити» зариті під землею скарби?  
 А. Тому що блискавка найчастіше влучає у те місце, де під землею є дорогоцінне каміння.  
 Б. Тому що блискавка найчастіше влучає у те місце Землі, де у ґрунті є метали — добрі провідники струму.  
 В. Тому що блискавка найчастіше влучає у те місце Землі, де у ґрунті є неметали.  
 Г. Тому що блискавка найчастіше влучає у те місце Землі, де у ґрунті є тільки благородні метали.
11. Чому з підвищенням температури напівпровідників їх опір зменшується?  
 А. Змінюється швидкість носіїв заряду.  
 Б. Збільшується кількість носіїв заряду.  
 В. Збільшується амплітуда коливань молекул у вузлах ґраток.  
 Г. Зменшується кількість носіїв електричного заряду.
12. Чому при дуговому розряді для проходження струму крізь газовий проміжок не потрібна висока напруга?  
 А. Є вільні заряджені частинки.  
 Б. Наявність вільних електричних зарядів забезпечується високою температурою.  
 В. Електроди йонізують газ навколо себе.  
 Г. Наявність носіїв заряду забезпечується електронною емісією.