

РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

ЧАСТИНА 1. ПОСТІЙНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

§ 1. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ



«Рух нематеріальної рідини» — напевно, так назвав би електричний струм творець першої теорії про електрику американський фізик і політик *Бенджамін Франклін* (1706–1790). Зараз ви добре знаєте, що електричний струм являє собою рух саме матеріальних частинок, а от порівняння з рідиною залишається слухним. Про те, що таке електричний струм, за яких умов він виникає та які фізичні величини його характеризують, згадаємо в цьому параграфі.

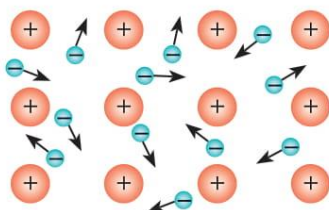


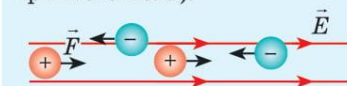
Рис. 1.1. За відсутності електричного поля електрони в металевому провіднику рухаються хаотично

Нагадуємо

■ *Електричне поле* — форма матерії, яка виявляється в дії на заряджені частинки та тіла, що перебувають у цьому полі.

■ Силовою характеристикою електричного поля в даній точці є *вектор напруженості*: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$.

■ Якщо $q > 0$, то $\vec{F} \uparrow \vec{E}$; якщо $q < 0$, то $\vec{F} \downarrow \vec{E}$ (\vec{F} — сила, з якою електричне поле діє на заряд q ; \vec{E} — вектор напруженості електричного поля).



1 Умови існування електричного струму

Розглянемо металевий провідник. Метали — це полікристалічні речовини, у вузлах кристалічних ґраток яких розташовані позитивні йони; між йонами «мандрують» вільні електрони, здійснюючи рух, подібний до руху молекул газу (рис. 1.1). Якщо в металевому провіднику створити електричне поле, то вільні електрони, не припиняючи свого хаотичного руху, починають зміщуватись у бік, протилежний вектору напруженості електричного поля, тобто рух електронів стає напрямленим — у провіднику виникає *електричний струм*.

■ **Електричний струм** — це напрямлений (упорядкований) рух частинок, які мають електричний заряд.

Зрозуміло, що створювати електричний струм можуть не тільки електрони. Так, в електролітах унаслідок дії електричного поля зміщуються позитивні й негативні йони, а в газах — електрони та позитивні й негативні йони.

❓ Чому позитивні йони зміщуються в напрямку напруженості електричного поля, а негативні — в протилежному напрямку?

Для виникнення та існування електричного струму є необхідними дві умови:

1) наявність вільних заряджених частинок — носіїв струму;

2) наявність електричного поля, дія якого створює та підтримує напрямлений рух вільних заряджених частинок.

За створення електричного поля «відповідають» **джерела струму** — пристрої, які перетворюють різні види енергії на електричну енергію. У джерелах струму виконується робота з розділення різнойменних електричних зарядів, у результаті чого один полюс джерела набуває позитивного заряду, а другий — негативного; у такий спосіб створюється електричне поле.

Найпоширенішими джерелами струму є електромеханічні генератори, в яких механічна енергія перетворюється на електричну. Останнім часом широко застосовують сонячні батареї — джерела струму, в яких на електричну енергію перетворюється енергія світла.

? Які ще джерела електричного струму ви знаєте? Які перетворення енергії в них відбуваються?

2 Що таке електричне коло

Найпростіше електричне коло являє собою з'єднані провідниками в певному порядку джерело струму, споживач електричної енергії, замикальний (розмикальний) пристрій.

Креслення, на якому умовними позначеннями (див. таблицю) показано, з яких елементів складається електричне коло та в якій послідовності вони з'єднані між собою, називають **електричною схемою**.

Зверніть увагу:

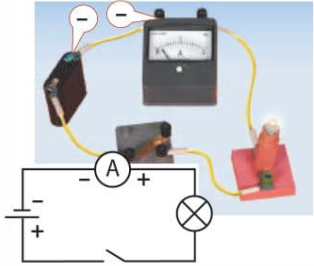
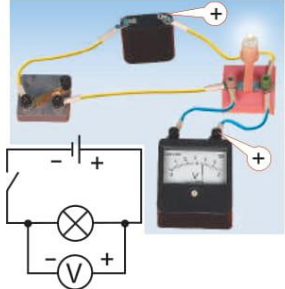
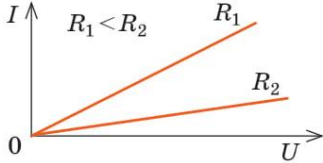
- за напрямком струму в електричному колі прийнято напрямок, у якому рухалися б по цьому колу позитивно заряджені частинки, тобто напрямок від позитивного полюса джерела струму до негативного;
- в умовному позначенні гальванічного елемента довга риска позначає позитивний полюс джерела, а коротка — негативний.

3 Закон Ома для ділянки кола

Для кількісного опису струму в провіднику застосовують такі фізичні величини: *сила струму* (характеризує власне електричний струм), *напруга* (характеризує поле, яке створює струм), *опір* (характеризує провідник). Згадаємо їх.

Умовні позначення деяких елементів електричного кола

Елемент електричного кола	Умовне позначення
Гальванічний елемент або акумулятор	
Батарея гальванічних елементів або акумуляторів	
Резистор	
Реостат	
Штепсельне з'єднання	
З'єднання проводів	
Перетин проводів (без з'єднання)	
Затискачі для під'єднання ділянки кола	
Ключ	
Нагрівальний елемент	
Запобіжник	
Лампа розжарювання	
Світлодіод	
Напівпровідниковий діод	
Конденсатор	
Котушка індуктивності; соленоїд	
Електромагніт	
Гучномовець	
Амперметр	
Вольтметр	
Гальванометр	

Сила струму I	Напруга U	Опір R
<p>Сила струму в провіднику — фізична величина, яка характеризує електричний струм і чисельно дорівнює заряду, що проходить через поперечний переріз провідника за секунду:</p> $I = \frac{q}{t}$ <ul style="list-style-type: none"> • Одиниця сили струму в СІ — ампер: $[I] = 1 \text{ A (A)}^*$. Це основна одиниця СІ. • 1 А дорівнює силі струму, який, проходячи в двох паралельних провідниках нескінченної довжини та нехтовно малої площі перерізу, розташованих у вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликав би на кожній ділянці провідників завдовжки 1 м силу взаємодії $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$. • Прилад для вимірювання сили струму — амперметр. Амперметр вмикають у коло послідовно зі споживачем, в якому вимірюють силу струму. 	<p>Електрична напруга на ділянці кола — фізична величина, яка характеризує електричне поле на ділянці кола і чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщення по цій ділянці заряду 1 Кл:</p> $U = \frac{A}{q}$ <ul style="list-style-type: none"> • Одиниця напруги в СІ — вольт: $[U] = 1 \text{ В (V)}$. • 1 В — це така напруга на ділянці кола, за якої електричне поле виконує роботу 1 Дж, переміщуючи по цій ділянці заряд 1 Кл: $1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \quad \left(1 \text{ В} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} \right).$ <ul style="list-style-type: none"> • Прилад для вимірювання напруги — вольтметр. Вольтметр приєднують до електричного кола паралельно ділянці, на якій вимірюють напругу. 	<p>Електричний опір — фізична величина, яка характеризує властивість провідника протидіяти електричному струму.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Одиниця опору в СІ — ом: $[R] = 1 \text{ Ом (}\Omega\text{)}$. • 1 Ом — це опір такого провідника, в якому йде струм силою 1 А за напруги на кінцях провідника 1 В: $1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}} \quad \left(1 \Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}} \right).$ <ul style="list-style-type: none"> • Опір провідника, який має незмінний поперечний переріз, дорівнює: $R = \rho \frac{l}{S},$ <p>де ρ — питомий опір речовини, з якої виготовлений провідник; l — довжина провідника; S — площа поперечного перерізу провідника.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Питомий опір речовини — фізична величина, яка характеризує електричні властивості речовини та чисельно дорівнює опору виготовленого з неї провідника довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м^2. Одиниця питомого опору в СІ — ом-метр: $[\rho] = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м (}\Omega \cdot \text{m)}$. Питомий опір істотно залежить від температури.
<p>Закон Ома для ділянки кола</p> <p>Сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях ділянки та обернено пропорційна опору цієї ділянки:</p> $I = \frac{U}{R}$	 <p>Вольт-амперна характеристика (ВАХ) металевих провідників незмінного опору</p>	

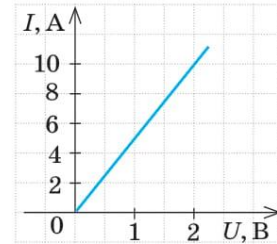
* Тут і далі в дужках наведено міжнародні позначення одиниць СІ.

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача. На рисунку подано вольт-амперну характеристику циліндричного провідника, який має довжину 250 м і площу поперечного перерізу $3,5 \text{ мм}^2$. Із якого металу виготовлений провідник?

Аналіз фізичної проблеми. Дізнатися, з якого металу виготовлений провідник, можна, якщо визначити його питомий опір і скористатися відповідною таблицею (див. Додаток 1).

Питомий опір металу знайдемо з формули для визначення опору циліндричного провідника. Опір обчислимо, скориставшись законом Ома та графіком залежності $I(U)$. Відповідно до графіка за напруги, наприклад, 2 В сила струму в провіднику становить 10 А.



Дано:

$$l = 250 \text{ м}$$

$$S = 3,5 \text{ мм}^2 =$$

$$= 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$U = 2 \text{ В}$$

$$I = 10 \text{ А}$$

ρ — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання. За законом Ома:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I}. \text{ Оскільки } R = \rho \frac{l}{S}, \text{ маємо: } \frac{U}{I} = \frac{\rho l}{S}. \text{ Отже, } \rho = \frac{US}{Il}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[\rho] = \frac{\text{В} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} \cdot \text{м} = \text{Ом} \cdot \text{м}; \quad \rho = \frac{2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 250} = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}.$$

За таблицею (див. Додаток 1) визначаємо, що провідник виготовлений з алюмінію.

Відповідь: провідник виготовлений з алюмінію.

ПРОФЕСІЯ МАЙБУТНЬОГО

Безумовно, ви вже розумієте, що наш світ змінюється і багато професій, які є популярними зараз, зникнуть у майбутньому. Тож яку професію обрати, щоб не помилитися? Чи потрібен шкільний курс фізики для оволодіння навичками майбутньої професії? Стислі відомості про деякі перспективні професії ви знайдете на сторінках підручника.



Фахівець з ремонту та обслуговування роботів

Навіть малюкам відомо про наближення ери роботів. Але роботи, як і інші механізми, потребують обслуговування: налаштування, заміни зіпсованих частин тощо. Для такої роботи треба бути фахівцем з електрики та електроніки, знавцем у програмуванні.

Кількість роботів буде зростати, відповідно зростатиме попит на їх обслуговування. Тож фахівці з ремонту та обслуговування роботів — одна із професій майбутнього.



Підбиваємо підсумки

- Електричний струм — це напрямлений (упорядкований) рух частинок, які мають електричний заряд. Для виникнення та існування електричного струму необхідна наявність вільних заряджених частинок (носіїв струму) та електричного поля. За напрямком струму в електричному колі прийнято напрямок, у якому рухалися б по цьому колу позитивно заряджені частинки (напрямок від позитивного полюса джерела струму до негативного).

- Для кількісного опису струму в ділянці кола застосовують такі фізичні величини: сила струму ($I = \frac{q}{t}$); напруга на ділянці ($U = \frac{A}{q}$); опір провідника (опір ділянки). Опір провідника, що має поперечний переріз, визначають за формулою: $R = \rho \frac{l}{S}$.
- Сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки та обернено пропорційна опорю ділянки: $I = \frac{U}{R}$ — закон Ома для ділянки електричного кола.



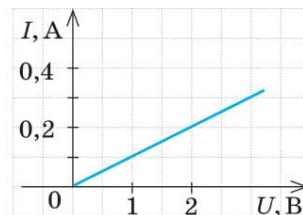
Контрольні запитання

1. Що таке електричний струм? Якими є умови його виникнення та існування?
2. Які пристрої називають джерелами електричного струму? Наведіть приклади.
3. Відтворіть, як позначають на електричних схемах гальванічний елемент; резистор; реостат; амперметр; вольтметр; ключ. Для чого призначені ці пристрої?
4. Що прийнято за напрямок струму в колі?
5. Дайте характеристики фізичних величин: сила струму в колі; напруга на ділянці кола; опір провідника; питомий опір.
6. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.

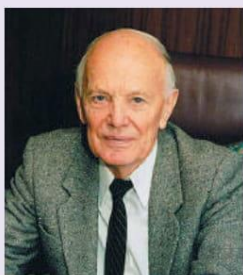


Вправа № 1

1. Наведіть приклади споживачів електричного струму. Які перетворення енергії в них відбуваються?
2. Нагрівальним елементом праски, до кінців якого прикладено напругу 220 В, за 0,5 хв пройшов заряд 300 Кл. Визначте силу струму в нагрівальному елементі та опір елемента.
3. На рисунку подано вольт-амперну характеристику ніхромового дроту із площею поперечного перерізу 0,2 мм². Визначте довжину дроту.
4. Що, на вашу думку, спільне в плиню рідини та електричного струму? Які фізичні величини, що характеризують рух рідини, є аналогічними силі струму; напрузі; опорю; заряду?
5. Чому одиниці сили струму, напруги та опорю пишуть із великих літер? На честь кого вони названі? Які відкриття зробили ці вчені?



Фізика і техніка в Україні



Борис Євгенович Патон (народ. 1918 р.) — український учений, світову славу якому принесли дослідження в галузі електродугового зварювання. У 1953 р. Борис Євгенович став директором Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона (Київ). Учений очолив дослідження, у результаті яких було створено електрошлаковий процес для підвищення якості іржостійких сталей. За ініціативи Б. Є. Патона започатковано зварювання в космосі. Він втілює в практику зварювання тканин людини під час хірургічних операцій. Ця методика зберегла життя тисячам хворих і зараз використовується в усьому світі.

Із 1962 р. Б. Є. Патон є незмінним президентом Національної академії наук України. У 2018 р. вчений відзначив свій 100-річний ювілей. З нагоди цієї події він був нагороджений ЮНЕСКО Золотою медаллю Аристотеля, а також державними нагородами багатьох країн.