## § 18. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У МЕТАЛАХ

Електричний струм можуть проводити рідини й тверді речовини, за певних умов електричний струм проводять і гази. Вивчання електричного струму в різних середовищах ми почнемо з вивчання струму в металах. По-перше, тому, що всі без винятку метали добре проводять електричний струм, а по-друге, саме з провідністю металів пов'язане широке застосування електричної енергії в житті людини.

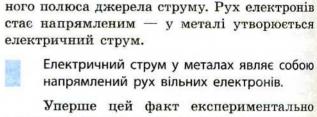
З'ясовуємо природу електричного струму в металах Із курсу хімії вам відомо, що валентні електрони в металах легко залишають свій атом і стають вільними. У результаті у вузлах кристалічної ґратки металу залишаються позитивні йони.

За відсутності електричного поля вільні електрони всередині металевого провідника рухаються хаотично. Рух електронів у металах нагадує рух молекул газу, саме тому вільні електрони в металах

називають електронним газом (рис. 18.1).

Якщо ж у провіднику створене електричне поле, то електрони, рухаючись хаотично, починають зміщуватись у бік позитив-

**Рис. 18.1.** Вільні електрони в металах за відсутності електричного поля рухаються хаотично



Уперше цей факт експериментально довели російські вчені Л. І. Мандельштам і М. Д. Папалексі (1913 р.) й незалежно від них — американські фізики Р. Толмен і Т. Стюард (1916 р.).

Учені користувалися такими міркуваннями. Якщо металевому провіднику надати швидкого руху (рис. 18.2), а потім різко його зупинити, то наявні в ньому вільні заряджені частинки рухатимуться за інерцією (аналогічно тому, як у випадку різкої зупинки транспорту в ньому продовжують рух незакріплені предмети). У результаті в провіднику виникне короткочасний струм, який можна зафіксувати гальванометром. За напрямком відхилення стрілки гальванометра з'ясовують знак заряду частинок, рух яких спричинив появу струму; за відношенням заряду частинок до їхньої маси встановлюють, які саме частинки створюють струм.

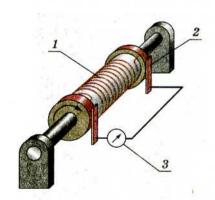


Рис. 18.2. Схема досліду з вивчання електричного струму в металах: 
1 — котушка з металевим дротом; 
2 — ковзні контакти; 
3 — чутливий гальванометр. Котушці надають швидкого обертання й різко зупиняють. У результаті в колі виникає електричний струм, який реєструється гальванометром

Переконуємося, що опір металів залежить від температури У дослідах, про які йшлося в п. 1, після зупинки провідника напрямлений рух частинок швидко припиняється. І це зрозуміло, оскільки провідник чинить опір струмові. Опір металевого провідника залежить не тільки від його геометричних параметрів та речовини, з якої він виготовлений, але й від температури. Переконаємося

З'єднаємо сталеву спіраль з джерелом струму й підігріватимемо її в полум'ї спиртівки (рис. 18.3). Напругу будемо підтримувати по-

стійною. Дослід продемонструє, що в міру нагрівання сила струму в спіралі зменшується, отже, опір спіралі зростає. Проведемо такий самий дослід з іншими спіралями — однаковими зі сталевою спіраллю за розмірами, але виготовленими з інших речовин, і переконаємося, що при збільшенні температури опір цих спіралей також збільшується, але зміна опору буде іншою.

в цьому за допомогою досліду.

Ретельні дослідження показують, що опір металевих провідників залежить від температури практично лінійно. Знаючи, як змінюється опір металевого провідника за умови зміни температури, можна, вимірюючи опір, визначити температуру провідника. Цей факт покладено в основу роботи так званих термометрів опору. Датчик температури (найчастіше платиновий дріт) розміщують у середовищі, температуру в якому необхідно виміряти. Опір дроту в результаті змінюється, що фіксує омметр. За відомим опором визначають температуру середовища. На практиці шкалу омметра відразу градуюють в одиницях температури.

#### Знайомимося з явищем надпровідності

У 1911 р. нідерландський учений Г. Камерлінг-Оннес (рис. 18.4), досліджуючи, як поводиться ртуть за температур, близьких до абсолютного нуля (-273°С), помітив дивне явище: у разі зниження температури ртуті до 4,1 К (-269°С) її питомий опір стрибком падав до нуля. Аналогічне явище спостерігалося з оловом, свинцем та іншими металами. Це явище отримало назву надпровідності (рис. 18.5). Надпровідність неможливо пояс-



Рис. 18.3. Дослід, що демонструє залежність опору металів від температури. У процесі нагрівання спіралі сила струму в ній зменшується, отже, опір спіралі зростає



Рис. 18.4. Гейке Камерлінг-Оннес (1853–1926) — нідерландський фізик, лауреат Нобелівської премії (1913 р.). Відкрив явище надпровідності металів

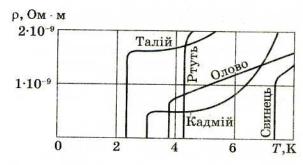


Рис. 18.5. Графіки змінювання питомого опору деяких металів за температур, близьких до абсолютного нуля. З наближенням до нульової позначки питомий опір цих металів стрибком падає до нуля — метал переходить у надпровідний стан



Рис. 18.6. Джон Бардін, Леон Купер, Джон Роберт Шриффер — лауреати Нобелівської премії з фізики (1972 р.) за розробку квантової теорії надпровідності

нити з погляду електронної провідності металів. У 1967 р. групою американських учених (рис. 18.6) була розроблена квантова теорія надпровідності.

# Підбиваємо підсумки

Електричний струм у металах являє собою напрямлений рух вільних електронів.

При відсутності електричного поля вільні електрони в металах рухаються хаотично. Якщо ж у металевому провіднику створити електричне поле, то вільні електрони, не припиняючи свого хаотичного руху, починають рухатися напрямлено.

Опір металевих провідників залежить від їхньої температури. Цей факт покладено в основу роботи термометрів опору.

У разі зменшення температури деяких металів до температур, близьких до абсолютного нуля, їхній опір стрибком падає до нуля. Це явище називають надпровідністю.

### Контрольні запитання

1. Опишіть характер руху вільних електронів у металах: при відсутності електричного поля; при наявності електричного поля. 2. Що являє собою електричний струм у металах? 3. Опишіть суть дослідів учених щодо виявлення природи електричного струму в металах. 4. У чому полягає причина опору металів? 5. Чи залежить опір металів від температури? Якщо залежить, то як? 6. У чому полягає явище надпровідності?

### Вправа № 18

- Визначте напрямок короткочасного електричного струму, що виникає після зупинки котушки (див. рис. 18.2).
- Відомо, що номінальну потужність електроплити розраховують для працюючого пристрою. Уявіть, що опір спіралі плити зі зміненням температури не змінюється. Треба збільшити чи зменшити довжину спіралі, щоб потужність плити не змінилася? Поясніть свою відповідь.

3\*. Металевий волосок розжарювання електричної лампи поступово тоншає через випаровування металу з його поверхні; врешті-решт у найтоншому місці волосок перегоряє. Поясніть, чому лампа перегоряє найчастіше саме в той момент, коли її вмикають.



#### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут металофізики НАН України (Київ)

Сучасне життя неможливо уявити без застосування металів. На жаль, природа не створила «ідеального» металу. Так, одні з них мають велику міцність, невелику густину, проте є досить коштовними (титан), інші мають малий електричний опір та водночає недостатню міцність (алюміній). Тож протягом століть учені намагаються покращити властивості конкретних металів, зберігаючи їхні «добрі» якості та зменшуючи «погані».

Квантова фізика XX ст. надала можливість цілеспрямовано змінювати властивості металів. Цей процес базується на вивченні їхньої мікроструктури за допомогою різних методів. Інститут металофізики має один із найбільших арсеналів для вивчення мікроструктури металів. Тому винахід у кінці XX ст. наноматеріалів учені інституту зустріли всебічно озброєними (хто забув, що таке «наноматеріали», зверніться до Енциклопедичних сторінок у підручнику для 7-го класу).

Практичне втілення наукових розробок Інституту металофізики націлене на створення матеріалів з унікальними властивостями. Вони використовуються в новітніх металевих конструкціях для авіаційної та автомобільної промисловості, космічної техніки, виробів медичного призначення.