

19.12.2022

Група 21

Фізика і астрономія

Урок 33-34

Тема: Практична робота №7 «Розв’язування задач з теми «Закон Ома для повного кола»». Електричний струм у металах. Залежність питомого опору від температури

Мета:

- Повторити теоретичний матеріал; узагальнити, систематизувати та поглибити знання учнів із теми; застосувати знання з фізики під час розв’язування прикладних задач; формувати уяву про процеси у природі;
- розвивати в учнів пізнавальний інтерес, уміння використовувати набуті знання, навички й уміння в нових ситуаціях; підвищити інтерес до вивчення фізики та астрономії; розвивати абстрактне та логічне мислення;
- виховувати у учнів повагу та зацікавленість до вивчення фізики та астрономії, старанність у навчанні; сприяти розширенню кругозору учнів.

Матеріали до уроку:

1 Як рухаються електрони в металевому провіднику

У 1900 р., через три роки після відкриття електрона, німецький фізик *Пауль Друде* (1863–1906) запропонував *електронну теорію провідності металів*, відповідно до якої електрони в металах поводяться подібно до молекул ідеального газу. Зараз ця теорія має назву **класична електронна теорія**.

Згідно із класичною електронною теорією внутрішня будова металу являє собою утворену позитивно зарядженими йонами кристалічну ґратку, яка перебуває в «газі» вільних електронів. Якщо в металевому провіднику створити електричне поле, то на хаотичний рух електронів накладатиметься дрейф електронів у напрямку сили, що діє на електрони з боку електричного поля. Цей дрейф електронів і є *електричним струмом*.

Дослід

Стюарта — Толмена

Якщо металевому провіднику (1) надати швидкого обертання, а потім різко зупинити, то вільні заряджені частинки рухатимуться за інерцією — в провіднику виникне короточасний електричний струм. За відхиленням стрілки гальванометра (2) можна виявити, заряди якого знаку створюють цей струм, а знаючи опір провідника, силу струму та лінійну швидкість обертання, дізнатися, які саме частинки створюють струм.

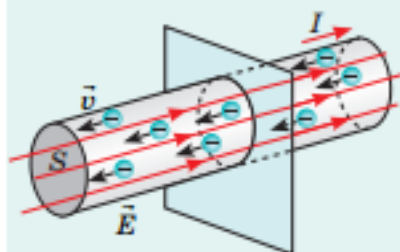
Електричний струм у металах являє собою напрямлений рух вільних електронів.

Уявімо модель руху електрона в металі, в якому створено електричне поле. Відповідно до класичної теорії електрон досить короткий час розганяється електричним полем, потім, зіткнувшись із позитивним йоном, змінює напрямок свого руху, потім знову набирає швидкості в напрямку дії поля, знову зіштовхується з йоном і т. д. Під час зіткнень електрон передає йону частину кінетичної енергії, здобутої внаслідок дії поля. Саме ці зіткнення «відповідальні» за опір металу.

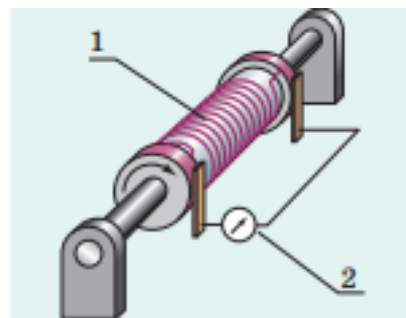
Визначимо *середню швидкість \bar{v} напрямленого руху електронів*. За інтервал часу t через переріз площею S провідника проходить N електронів: $N = nS\bar{v}t$, де n — концентрація

Як швидко рухаються електрони

Середня швидкість хаотичного руху вільних електронів величезна — близько 300 км/с. Разом із тим середня швидкість їхнього напрямленого руху надзвичайно мала — кілька десятків міліметра за секунду. Чому ж, щойно ми натискаємо вмикач лампи, вона відразу спалахує? Річ у тім, що електричне поле поширюється в провіднику зі швидкістю 300 000 км/с. Завдяки дії поля вільні електрони, розташовані в будь-якій точці провідника, майже миттєво втягуються в напрямлений рух.



? Оцініть, через який інтервал часу після ввімкнення плеєра ви почули б музику в навушниках, якби електричне поле поширювалось зі швидкістю напрямленого руху електронів.



Такий дослід у 1916 р. здійснили американські вчені Річард Толмен (1881–1948) і Томас Стюарт (1890–1958). Вони експериментально довели, що електричний струм у металах являє собою напрямлений рух вільних електронів.

вільних електронів у провіднику. При цьому переноситься заряд $q = N|e|$. За означенням:

$$I = \frac{q}{t}. \text{ Отже, маємо:}$$

$$I = n|e|\bar{v}S \Rightarrow \bar{v} = \frac{I}{n|e|S}$$

? Визначте середню швидкість напрямленого руху електронів у мідному проводі з перерізом 1 мм^2 за сили струму 1 А , якщо концентрація вільних електронів у міді $n = 8,4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

2 Як опір металів залежить від температури

Опір металевого провідника залежить не тільки від його геометричних розмірів і речовини, з якої він виготовлений, а й від температури (останнє обґрунтовано в квантовій теорії електропровідності металів). Досліди свідчать: якщо температура t металу є не надто низькою і не надто високою ($t < t_{\text{плвл}}$), питомий опір металу та опір металевого провідника залежать від температури майже лінійно (рис. 5.1):

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad R = R_0(1 + \alpha t),$$

де ρ_0 , R_0 — відповідно питомий опір і опір провідника за температури $0 \text{ }^\circ\text{C}$; ρ , R — відповідно питомий опір і опір провідника за температури t ; α — *температурний коефіцієнт електричного опору*.

Температурний коефіцієнт електричного опору — це фізична величина, яка характеризує залежність питомого опору речовини від температури.

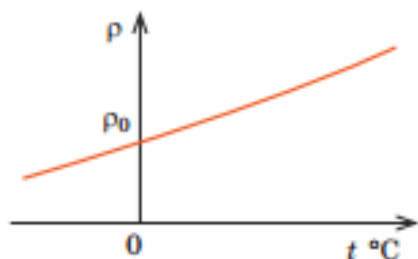
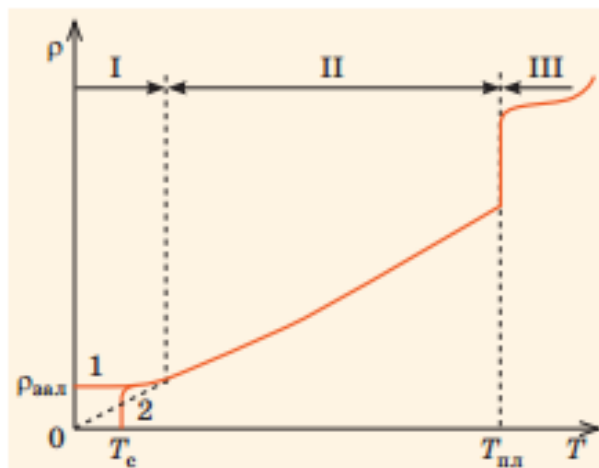


Рис. 5.1. Графік залежності питомого опору металу від температури (лінійна ділянка). Зі збільшенням температури питомий опір металу збільшується

Одиниця температурного коефіцієнта в СІ — обернений кельвін (кельвін у мінус першому степені): $[\alpha] = \text{K}^{-1} (\text{K}^{-1})$.

Для всіх металів $\alpha > 0$. Наприклад, температурний коефіцієнт електричного опору алюмінію становить $0,0038 \text{ K}^{-1}$ (див. Додаток 1).

Якщо температура металу зменшується, наближаючись до абсолютного нуля (0 K , $-273 \text{ }^\circ\text{C}$), або збільшується, наближаючись до температури плавлення, то залежність $\rho(t)$ вже не буде лінійною (рис. 5.2).



Ділянка I. Температура наближається до 0 K :

- у деяких металів питомий опір перестає залежати від температури і стає незмінним (вітка 1); $\rho_{\text{нал}}$ — залишковий питомий опір;
- питомий опір деяких металів стрибком падає до нуля (вітка 2) — стан надпровідності; T_c — критична температура (температура переходу в надпровідний стан).

Ділянка II. Лінійна ділянка: питомий опір майже лінійно залежить від температури.

Ділянка III. При досягненні температури плавлення питомий опір збільшується стрибком.

Рис. 5.2. Приблизний графік зміни питомого опору металу в широкому діапазоні температур

3 Знайомимося з явищем надпровідності

У 1911 р. нідерландський учений *Гейке Камерлінг-Оннес* (1853–1926), досліджуючи, як поводить себе ртуть за температур, близьких до абсолютного нуля, помітив дивне явище: в разі зниження температури ртуті до $4,1 \text{ K}$ її питомий опір стрибком падав до нуля.

Аналогічне явище спостерігалось з оловом, свинцем і низкою інших металів (рис. 5.3). Це явище назвали **надпровідністю**. Зараз відомо багато речовин і матеріалів, які за відповідної температури переходять у надпровідний стан.

Якщо в замкненому провіднику, який перебуває в надпровідному стані, створити електричний струм, то струм існуватиме в провіднику без підтримки джерела необмежений час. Ця та інші властивості надпровідників відкривають широкі можливості для їх застосування в техніці й промисловості. Тільки створення надпровідних ліній електропередачі дозволяє зекономити 10–15 % електроенергії.

Труднощі широкого застосування надпровідників пов'язані з необхідністю охолодження матеріалів

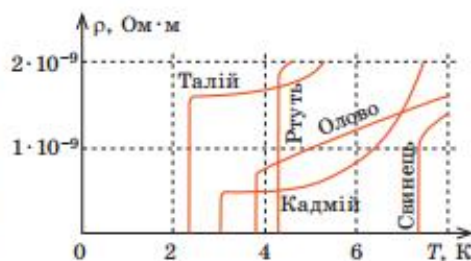


Рис. 5.3. Графіки зміни питомого опору деяких металів за температур, близьких до абсолютного нуля

«Труна Магомета»

Нульовий опір — це не єдина унікальна властивість матеріалів у надпровідному стані. У 1933 р. німецькі вчені *Вальтер Мейснер* (1882–1974) і *Роберт Оксенфельд* (1901–1993) виявили, що під час переходу в надпровідний стан магнітне поле повністю витісняється з провідника (ефект Мейснера).

Якщо над провідником помістити магніт і, охолоджуючи, перевести провідник у надпровідний стан, магніт буде левітувати над надпровідником. Дослід, який демонструє ефект Мейснера, назвали «труна Магомета» — вважається, що труна з тілом пророка Магомета левітувала в повітрі без жодної підтримки.





Рис. 5.4. Микола Миколайович Боголюбов (1909–1992) — видатний радянський фізик-теоретик і математик, засновник наукових шкіл у галузях нелінійної механіки, статистичної фізики і квантової теорії поля. У 1934–1959 рр. працював у Київському університеті, у 1965–1973 рр. — директор Інституту теоретичної фізики АН України (зараз цей інститут носить ім'я вченого)

до низьких температур — це досить дорого коштує. Зараз знайдено матеріали, які переходять у надпровідний стан за температури близько 100 К (–173 °С) і нижче. Останній «рекорд» високотемпературної надпровідності був поставлений у 2015 р.: за величезного тиску (1 млн атм.) сірководень (H_2S) був переведений у надпровідний стан за температури –70 °С.

Надпровідність неможливо пояснити з точки зору класичної теорії електропровідності металів. У 1957 р. група американських учених: Джон Бардін (1908–1991), Леон Купер (народ. 1930), Джон Шріффер (народ. 1931) — і незалежно від них радянський вчений Микола Миколайович Боголюбов (рис. 5.4) розробили квантову теорію надпровідності.

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Електричне коло складається із джерела струму, міліамперметра опором 20 Ом і реостата, обмотка якого виготовлена зі сталі. За температури 0 °С показ міліамперметра 30 мА, а опір реостата — 200 Ом. Яким буде показ міліамперметра, якщо обмотка реостата нагріється до 50 °С? Внутрішнім опором джерела та опором з'єднувальних проводів знехтувати.

36. Два резистори з'єднали послідовно. Напряга у першому резисторі дорівнює 6 В, опір першого резистора – 6 Ом, а другого – 2 Ом. Знайти загальну силу струму та напрягу в колі, напрягу в другому резисторі.

$$\begin{array}{l|l}
 \text{Дано:} & \\
 U_1 = 6 \text{ В} & I = I_1 = I_2 \\
 R_1 = 6 \text{ Ом} & I_1 = \frac{U_1}{R_1} \\
 R_2 = 2 \text{ Ом} & I_1 = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А} \\
 I = ?, U_2 = ?, U = ? & U_2 = I_2 \cdot R_2 \\
 & U_1 = 1 \text{ А} \cdot 20 \text{ Ом} = 2 \text{ В} \\
 \\
 U = U_1 + U_2 & \\
 U = 6 \text{ В} + 2 \text{ В} = 8 \text{ В} & \\
 \text{Відповідь: } I = 1 \text{ А}; U_2 = 2 \text{ В}; U = 8 \text{ В}. &
 \end{array}$$

42. Опір обмотки деякого нагрівального елемента дорівнює 0,75 Ом, а сила струму в ньому – 20 А. Знайти роботу електричного струму за 1 хв у даному нагрівальному елементі.

<p>Дано:</p> <p>$R = 0,75 \text{ Ом}$</p> <p>$I = 20 \text{ А}$</p> <p>$\Delta t = 1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$</p> <hr/> <p>$A = ?$</p>	<p>$A = I^2 R \Delta t$</p> <p>$A = 20^2 \text{ А}^2 \cdot 0,75 \text{ Ом} \cdot 60 \text{ с} =$</p> <p>$= 18000 \text{ Дж} = 18 \text{ кДж}$</p> <p>Відповідь: 18 кДж.</p>
--	--

44. Напряга електричного кола дорівнює 200 В, а опір – 484 Ом. Знайти потужність електричного струму в колі.

<p>Дано:</p> <p>$U = 200 \text{ В}$</p> <p>$R = 484 \text{ Ом}$</p> <hr/> <p>$P = ?$</p>	<p>$P = \frac{U^2}{R}$</p> <p>$P = \frac{200^2 \text{ В}^2}{484 \text{ Ом}} = 100 \text{ Вт}$</p> <p>Відповідь: $P = 100 \text{ Вт}$.</p>
---	--

50. Відомо, що в деякому електричному колі електричний струм виконав роботу 18 Дж. Знайти величину електричного заряду в цьому колі, якщо відомо, що джерело струму має ЕРС 1,5 В.

<p>Дано:</p> <p>$E = 1,5 \text{ В}$</p> <p>$A_1 = 18 \text{ Дж}$</p> <hr/> <p>$q = ?$</p>	<p>$E = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$</p> <p>$q = \frac{A_{\text{ст}}}{E}$</p> <p>$q = \frac{18 \text{ Дж}}{1,5 \text{ В}} = 12 \text{ Кл}$</p> <p>Відповідь: $q = 12 \text{ Кл}$.</p>
--	---

51. До джерела струму з ЕРС 5 В і внутрішнім опором 1 Ом підключено резистор опором 14 Ом. Знайти напругу в електричному колі.

<p>Дано:</p> <p>$\mathcal{E} = 5 \text{ В}$</p> <p>$r = 1 \text{ Ом}$</p> <p>$R = 14 \text{ Ом}$</p> <hr/> <p>$U = ?$</p>	$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ $U = I R$ $U = \frac{\mathcal{E} R}{R + r}$ $U = \frac{5 \text{ В} \cdot 14 \text{ Ом}}{10 \text{ Ом} + 1 \text{ Ом}} = 4,67 \text{ В}$
---	---

61. Відомо, що якщо два резистори з'єднати послідовно, опір кола становитиме 5 Ом, а якщо ці ж резистори з'єднати паралельно, то опір кола становитиме 1,2 Ом. Знайти опори кожного резистора.

<p>Дано:</p> <p>$R_{\text{посл}} = 5 \text{ Ом}$</p> <p>$R_{\text{пар}} = 1,2 \text{ Ом}$</p> <p>$R_1 = ?, R_2 = ?$</p>	$R_{\text{посл}} = R_1 + R_2$ $R_{\text{пар}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ $\begin{cases} R_1 + R_2 = 5 \text{ Ом}, \\ \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 1,2 \text{ Ом}; \end{cases}$
--	---

$$\begin{cases} R_1 = 5 - R_2, \\ R_1 R_2 = 1,2 (R_1 + R_2); \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_1 = 5 - R_2, \\ R_1 R_2 = 1,2 \cdot 5 \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_1 = 5 - R_2, \\ R_1 R_2 = 6 \end{cases}$$

$$R_2 (5 - R_2) = 6$$

$$5 R_2 - R_2^2 - 6 = 0$$

$$R_2^2 - 5 R_2 + 6 = 0$$

$$R_2 = \frac{5 \pm \sqrt{1}}{2} = 3 \text{ Ом}$$

$$R_2 = \frac{5 \pm \sqrt{1}}{2} = 2 \text{ Ом}$$

Відповідь: $R_1 = 3 \text{ Ом}; R_2 = 2 \text{ Ом}$.

Домашнє завдання: пройти тест за посиланням
<https://forms.gle/3pa0HxFKfVDsedsx9>.

Зворотній зв'язок:

E-mail t.anastasia.igorivna@gmail.com