

Лабораторна робота № 6.2

Вивчення залежності опору металів від температури

Приналежності: Прилад для вивчення температурної залежності опору металів. Металеві зразки.

Мета роботи: Визначення температурного коефіцієнта опору металу.

Теоретичні відомості.

Електричний опір R - фізична величина, що характеризує протидію провідника, носіям електричного струму, що рухаються в ньому. Електричний опір обумовлений перетворенням електричної енергії в інші види (переважно в теплову).

При постійному струмі електричний опір R ділянки кола дорівнює відношенню прикладеної до нього напруги U до сили струму, що проходить I при відсутності на цій ділянці джерел ЕРС (закон Ома)

$$I = \frac{U}{R}. \quad (1)$$

Його називають омичним або активним опором. Він залежить від властивостей матеріалу провідника, його розмірів, форми, а також від зовнішніх умов (зокрема, від температури). Одиницею опору служить Ом, рівний опору такого провідника, в якому при напрузі в 1 В проходить струм силою в 1 А.

Для однорідного за складом провідника довжиною l при постійній площі поперечного перерізу S

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

де ρ - **питомий опір** - фізична величина, що дорівнює електричному опору циліндричного провідника одиничної довжини і одиничної площі поперечного перерізу. Питомий опір ρ характеризує матеріал провідника. Якщо опір R виражено в омах, довжина l - в метрах, і переріз S - в квадратних метрах, то питомий опір ρ буде виражатися в омах, помножених на метр (ом·метрах).

Часто замість опору провідника R застосовують зворотну величину - **електропровідність**. Точно так же замість питомого опору ρ застосовують зворотну величину $\gamma = \frac{1}{\rho}$ - **питому електропровідність** речовини.

Таблиця 1.

Величина	Одиниця вимірювання в СІ
Електричний опір R	1 Ом (ом)
Електропровідність $\frac{1}{R}$	$\frac{1}{\text{Ом}} = \text{См}$ (сименс)
Питомий опір ρ	1 Ом·м (ом·метр)
Питома електропровідність $\gamma = \frac{1}{\rho}$	$\frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}} = \frac{\text{См}}{\text{м}}$ (сименс на метр)

Питома електропровідність входить в закон Ома для густини струму (інакше - закон Ома в диференціальній формі): в твердому однорідному матеріалі густина струму в будь-якій точці провідника дорівнює добутку питомої електропровідності провідника на напруженість електричного поля:

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = \gamma \vec{E} . \quad (3)$$

З усіх металів найбільшу питому електропровідність має срібло. Електропровідність міді тільки на 10% менше електропровідності срібла, притому мідь у багато разів дешевше, тому високоякісні дроти, що застосовуються в електротехніці, найчастіше виготовляються з міді. Поряд з міддю для виготовлення проводів застосовують залізо, яке для запобігання від іржі оцинковують. Залізо має велику механічну міцність, воно значно дешевше міді, але його питома електропровідність в шість разів менше, ніж у міді. Для виготовлення проводів застосовують також алюміній, питомий опір якого тільки в півтора рази перевищує опір міді.

З ростом температури електричний опір провідників збільшується, зі зниженням - зменшується. При дуже низьких температурах опір деяких металів і сплавів падає до нуля (надпровідність).

Експериментально встановлено, що в досить широкому інтервалі температур питомий опір більшості металів зростає з температурою приблизно за лінійним законом

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) , \quad (4)$$

де ρ_0 - питомий опір провідника при 0°C , t° - температура за шкалою Цельсія, α - **температурний коефіцієнт опору**, який чисельно дорівнює приблизно $1/273$.

Переходячи до абсолютної температури, отримаємо

$$\rho = \rho_0 \alpha T \quad (5)$$

або

$$\gamma \sim \frac{1}{T} \quad (6)$$

Температурний коефіцієнт опору - фізична величина, що характеризує електричні властивості металу і чисельно дорівнює відносному збільшенню питомого опору цього металу при підвищенні його температури на один градус.

Для більшості металів в досить широкому інтервалі температур α змінює-ся в межах $(33 - 62) \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$ (див. таблицю 2).

Наприклад, підвищення температури заліза до 600°C викликає майже восьмикратне збільшення його питомої опору. Підвищення температури до 500°C викликає приблизно трикратне збільшення опору міді.

Питомі опори і температурні коефіцієнти опору деяких металів і сплавів (при $t = 18^\circ\text{C}$) показані в таблиці.

Таблиця 2.

	Питомий опір, ρ , нОм·м	Температурний коефіцієнт опору, α , 10^{-4} град $^{-1}$
<i>Чисті метали</i>		
Срібло	15,8	41
Мідь	17,5	43
Золото	22	40
Алюміній	27	38
Вольфрам	53	51
Цинк	60	37
Нікель	73	27
Залізо	100	62
Платина	108	38
Олово	113	45
Свинець	208	42
Сурма	340	
Ртуть	954	8,8
Вісмут	1180	
<i>Сплави</i>		
Манганін (85% міді, 12% марганцю, і 3% нікелю)	390	0,08
Константан (58,8% міді, 40% нікелю і 1,2% марганцю)	470	0,04
Ніхром (67,5% нікелю, 15% хрому, 16% заліза і 1,5% марганцю)	1050	2

Особливістю наведених тут сплавів є той факт, що, незважаючи на дещо більший, ніж у чистих металів, питомий опір, їх температурний коефіцієнт опору є набагато меншим. Це означає, що в широкому інтервалі температур такі сплави практично не змінюють свого омичного опору.

На рис .1 представлена залежність питомого опору деяких металів від температури, отримана на досліді. З рисунка видно, що питомі опори свинцю, заліза і міді при нагріванні значно зростають. Опір же константана, наприклад, при цьому залишається майже незмінним.

Висока електропровідність металів пов'язана з тим, що в них є велика кількість носіїв струму - електронів провідності, що утворюються з валентних електронів атомів металу. Електричний струм в металі виникає під дією зовнішнього електричного поля, яке зумовлює впорядкований рух електронів.

Відповідно до *класичної теорії електропровідності металів* електрони провідності в металі ведуть себе подібно до молекул ідеального газу. Рухомі під дією поля електрони стикаються з іонами, що утворюють кристалічну решітку металу, розсіюються на неоднорідностях іонної решітки (на домішках, дефектах решітки). При цьому електрони втрачають імпульс, а енергія їх руху перетворюється у внутрішню енергію кристалічної решітки, що і призводить до нагрівання

провідника при проходженні по ньому електричного струму. Таким чином, електричний опір металів обумовлений зіткненнями вільних електронів з іонами, що містяться у вузлах кристалічної решітки металу. Класична теорія дала якісне пояснення законів постійного струму. Однак вона не змогла дати правильного пояснення залежності опору від температури.

У *квантовій теорії* електричний струм - впорядкований рух електронів в металі - розглядається як процес поширення електронних дебройлевських хвиль. Причиною електричного опору чистих металів є розсіювання цих електронних хвиль на іонах решітки, які здійснюють теплові коливання.

Абсолютно правильна, ідеальна кристалічна решітка, у вузлах якої містяться *нерухомі іони*, не розсіює електронні хвилі. У такій решітці відсутні центри розсіювання - неоднорідності, спотворення правильності решітки, що перевершують за розмірами довжину дебройлевських хвиль. Потік вільних електронів має проходити крізь такі ґрати безперешкодно.

Подібна решітка не чинила б ніякого опору для руху електронів. Електричний опір металу дорівнював би нулю, якщо б іони решітки металу були нерухомі.

Однак добре відомо, що при будь-якій температурі частинки твердого тіла у вузлах решітки *здійснюють коливання*. Хаотичні теплові коливання частинок у вузлах кристалічної решітки створюють в ній флуктуації густини. За рахунок теплових коливань відстані між частинками в решітці, а, отже, і густина речовини, можуть бути неоднаковими в сусідніх малих об'ємах всередині металу. Результатом теплових коливань частинок у вузлах решітки є поява місцевих неоднорідностей густини. Лінійні розміри областей в металі, де виявляються ці неоднорідності, є значно більшими, ніж довжина дебройлевських хвиль. Таким чином виникають центри розсіювання електронних хвиль. Крім того, реальні решітки завжди містять домішкові атоми і дефекти структури, на яких також розсіюються електронні хвилі.

За квантовою теорією металів питома електропровідність

$$\gamma = \frac{n_0 e^2 \langle \lambda_F \rangle}{\rho_F} \quad (7)$$

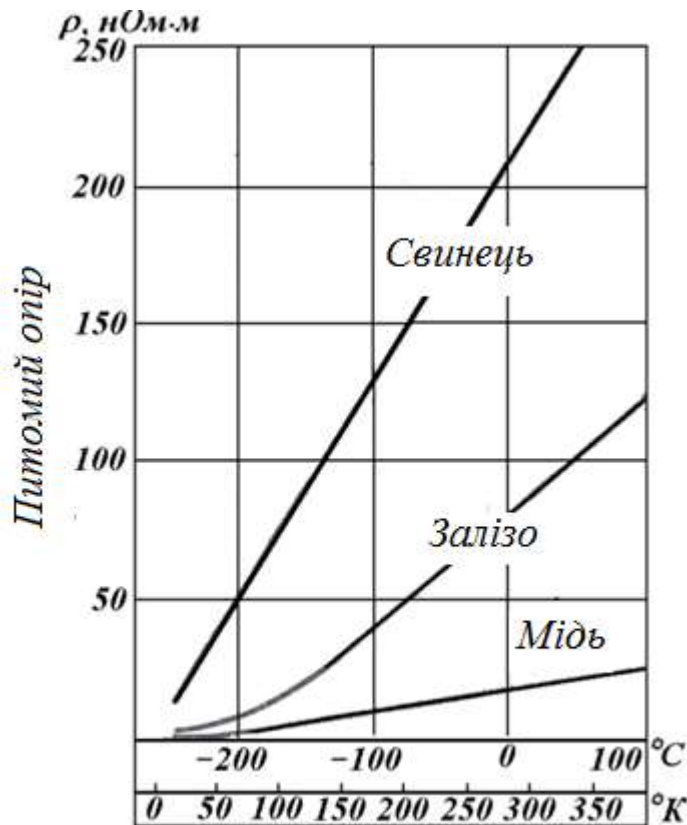


Рис. 1.

де n_0 — число електронів провідності в одиниці об'єму металу, e - заряд електрона, $\langle \lambda_F \rangle$ — середня довжина вільного пробігу електронних хвиль в металі, p_F - імпульс електрона, що знаходиться на рівні Фермі.

З величин, що входять в цю формулу, від температури залежить тільки середня довжина вільного пробігу електронних хвиль $\langle \lambda_F \rangle$. З підвищенням температури зростає розсіювання електронних хвиль на теплових коливаннях вузлів решітки і зменшується середня довжина їх вільного пробігу. При цьому $\langle \lambda_F \rangle$, а отже і γ , добре узгоджуються з дослідними даними (див. формулу (6)) - обернено пропорційні абсолютній температурі

$$\gamma \sim \frac{1}{T}. \quad (8)$$

Відповідно до формули (4) залежність опору металевого зразку від температури визначається лінійною функцією:

$$R = R_0 (1 + \alpha t^\circ), \quad (9)$$

де R_0 - опір зразка при температурі 0°C , α - температурний коефіцієнт опору, t° - температура металу в градусах Цельсія.

Якщо обчислити похідну від R по t° , отримаємо

$$\frac{dR}{dt^\circ} = R_0 \alpha. \quad (10)$$

Відомий геометричний зміст похідної - похідна дорівнює тангенсу кута нахилу φ до графіка функції - прямої $R = f(t^\circ)$ (див. рис.2).

Отже

$$\operatorname{tg} \varphi = R_0 \alpha$$

звідки отримуємо розрахункову формулу для температурного коефіцієнта опору α

$$\alpha = \frac{1}{R_0} \operatorname{tg} \varphi \quad (11)$$

Висновок. Якщо на досліді визначити залежність опору R зразку від температури і зобразити результати досліді на графіку, то нахил прямої дозволяє визначити температурний коефіцієнт опору α .

Опис установки.

Лабораторна установка складається з електропечі з розміщеними всередині неї досліджуваними зразками і вимірювального пристрою, з'єднаних кабелем (рис.3).

Електропіч служить для нагрівання зразків, температура яких вимірюється датчиком температури. На передній панелі електропечі знаходиться вікно, через яке видно зразки в печі. На цій же панелі поміщені вимикач «МЕРЕЖА» і перемикач зразків «ЗРАЗОК». Положення перемикача: «1» - метал, «2» - сплав, «3» - напівпровідник, «0» - вхід закорочений.

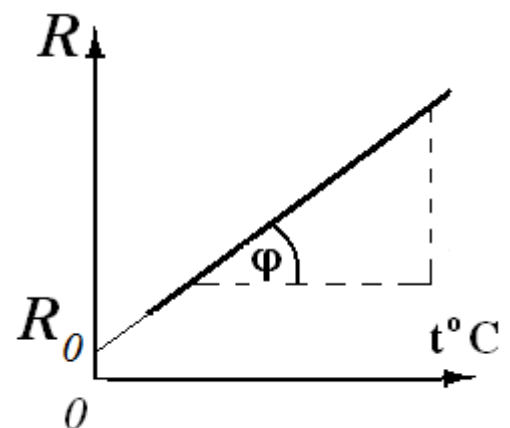


Рис. 2.



Рис.3.

На панелі **вимірювального пристрою** розміщені:

- рідиннокристалічний індикатор (у верхній частині - температури в градусах Цельсія, t °С, в нижній - опору в Ом, R Ohm), а також режимів роботи (відображається в правому верхньому куті).
- кнопки «НАГРІВ» і «ВЕНТ» - призначені для включення і виключення (шляхом повторного натискання) електропечі і вентилятора. При увімкненій печі на індикаторі з'являється напис «WARM», при включеному вентиляторі - «COOL».
- кнопка «СТОП ІНД» - призначена для включення і виключення (шляхом повторного натискання) режиму зупинки індикації значень температури і опору при знятті показань з індикаторів (в роботі не використовується).

Порядок виконання роботи.

1. Підключають кабелі живлення в мережу і включають установку вимикачами «МЕРЕЖА» на задній панелі пристрою вимірювання і передньої панелі електропечі (виконує викладач). Прогрівають установку 3 - 5 хвилин. Перемикач «ЗРАЗОК» ставлять в положення «1».

Вимірювання починають з кімнатної температури. Потім підвищують температуру, для чого натискають кнопку «НАГРІВ». При цьому на індикаторі з'явиться напис «WARM», а в печі засвітиться лампочка. Спостерігаючи за показаннями індикатора, через кожні 10°С записують одночасні показання температури і опору і заносять їх у таблицю.

2. Максимальне значення температури нагріву 110 °С . Піч вимикається повторним натисканням кнопки «НАГРІВ» при температурі 100 °С , за рахунок теплової інерції печі відбудеться нагрів до 110 °С.

3. Потім проводять ті ж вимірювання при охолодженні в зворотному порядку. Вентилятор для охолодження включається кнопкою «ВЕНТ». При цьому лампочка в печі повинна згаснути, і з'являється напис - «COOL». Знову через кожні 10°C, але при охолодженні записують одночасні показання температури і опору і поміщають їх поруч з отриманими при нагріванні в таблиці.

На цьому експеримент закінчується. Після закінчення роботи необхідно відключити живлення установки вимикачем «МЕРЕЖА».

4. Далі **приступають до розрахунку**. Вибирають масштаб і наносять точки на графік залежності R від t °C. Проводять пряму лінію, яка добре лягає на всі точки.

Продовжують графік до перетину з віссю ординат. За координатою точки перетину визначають R_0 - опір провідника при 0 °C.

5. Розраховують $\text{tg } \varphi$ - тангенс кута нахилу прямої $R = R(t^\circ)$. Для рівняння (10) тангенс кута нахилу є величиною розмірною, його розмірність - Ом/град.

6. Визначають температурний коефіцієнт опору металу за формулою:

$$\alpha = \frac{\text{tg } \varphi}{R_0}$$

7. За побудованим графіком визначають опір R провідника при 18 °C. Потім, знаючи довжину провідника $l = 4,85$ м і його діаметр $d = 0,05$ мм, розраховують питомий опір провідника ρ при $t^\circ = 18$ °C за формулою

$$\rho = \frac{RS}{l} = \frac{R_{18} \pi d^2}{4l}$$

8. Отримавши значення α і ρ , за таблицею 2 визначають, з якого матеріалу виготовлений досліджуваний зразок.

Примітка. На сайті кафедри фізики, «лабораторні роботи» можна отримати програму побудови графіка і обчислення нахилу прямої. Програму розробила студентка гр.ЗІ-06 М. Щетовська.

Таблиця

NN п/п	$t, ^\circ\text{C}$	$R, \text{ Ом}$		$R_0, \text{ Ом}$	$\text{tg } \varphi,$ Ом/град	$\alpha, \text{ град}^{-1}$	$\rho,$ нОм·м
		<i>нагрів</i>	<i>охолодження</i>				
1	20						
2.	30						

Контрольні питання.

1. Якою є природа електричного опору? .
2. Що називається питомим опором? Питомою електропровідністю? Які у них одиниці вимірювання?
3. Яка ідея визначення температурного коефіцієнта опору металу в даній роботі?

Література

1. Кучерук І. М., Горбачук І.Т, Луцик П.П.. Т.3. Оптика. Квантова фізика. К .; «Техніка», 2006, - 520 с.
3. Савельєв І.В. Курс фізики Т.3: Квантова оптика. Атомна фізика. Фізика твердого тіла. Фізика атомного ядра та елементарних частинок. М .: «Наука», 1989, - 304с.

Укладачі І.П.Гаркуша, Е.А.Якунін