

Ćwiczenie 41

Własności elektryczne drutu oporowego

1 Przebieg doświadczenia

1.1 Przyrządy pomiarowe

- Miliamperomierz klasy 0,5. Minimalna działka zmienna w zależności od serii pomiarowej: $\delta I_1 = 5\text{mA}$, $\delta I_{2,3} = 2\text{mA}$, $\delta I_{4,5} = 1\text{mA}$
- Woltomierz klasy 0,5, minimalna działka – $\delta U = 0,1\text{V}$

1.2 Wyniki pomiarów

W tabeli 1 zamieszczono wyniki pomiarów prądu elektrycznego przez drut w zależności od napięcia do niego przyłożonego, dla pięciu serii pomiarowych (5 różnych długości drutu). Zaparafowana oryginalna tabela pomiarów – załączona.

$U[\text{V}]$	$I_1[\text{mA}]$	$I_2[\text{mA}]$	$I_3[\text{mA}]$	$I_4[\text{mA}]$	$I_5[\text{mA}]$
0,5	15,0	12	6	5,0	4,0
1,0	32,5	20	12	10,5	8,0
1,5	50,0	32	20	16,0	12,5
2,0	67,5	42	26	22,0	17,0
2,5	85,0	54	34	27,5	24,0
3,0	105,0	65	40	33,0	25,5
3,5	122,5	76	48	39,0	30,0
4,0	140,0	88	54	44,5	34,5
4,5	157,5	98	62	50,0	39,0
5,0	177,5	110	69	56,0	43,0
5,5	195,0	121	76	61,5	47,5
6,0	212,5	132	82	67,5	52,0
6,5	230,0	143	90	73,0	56,0
7,0	250,0	–	97	–	61,0
7,5	267,5	–	103	–	65,0

Tabela 1: Pomiary doświadczalne

1.3 Wyniki doświadczenia

Oporność elektryczna drutu: $\rho = 0,9310(89) \times 10^{-6}\Omega\text{m}$. Prawdopodobnie wykonany został z chromonikieliny (tablicowa wartość oporności elektrycznej: $1,06 \times 10^{-6}\Omega\text{m}$).

2 Opis doświadczenia

2.1 Opis teoretyczny

Uporządkowany, ukierunkowany ruch ładunków w ośrodku nazywamy przepływem prądu elektrycznego. Najczęściej rozumiemy pod tym terminem ruch elektronów w przewodniku (metalu), wywołany różnicą potencjału na końcach tego przewodnika. Wiąże się to ze strukturą krystaliczną metali, różną od struktury kryształów jonowych, w których siły przyciągania elektrostatycznego wiązały sieć krystaliczną, w której węzłach umieszczone były jony różnych znaków. W metalach (bądź ich stopach) występują wyłącznie jony dodatnie, utrzymywane w sieci przez swobodne elektrony walencyjne. Elektrony te mogą przemieszczać się w sieci krystalicznej metalu.

W skali makroskopowej prąd (wg innego nazewnictwa – natężenie prądu) elektryczny jest wartością skalarną, zdefiniowaną następująco:

$$I = \frac{dQ}{dt}, \quad (1)$$

czyli ilość ładunku przepływająca przez pewien przekrój przewodnika w jednostce czasu. Jednostką natężenia prądu jest 1 amper, 1A, zdefiniowany jako jednostka podstawowa układu SI następująco: jest to prąd płynący przez każdy z nieskończonych, równoległych prostoliniowych przewodników o pomijalnym przekroju, odległych od siebie o 1m, jeśli na każdy metr długości przewodu działa siła $2 \times 10^{-7} \text{N}$.

Wektorowym odpowiednikiem I jest gęstość prądu

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS} \vec{i}_0, \quad (2)$$

gdzie \vec{i}_0 jest wersorem o kierunku i zwrocie zgodnym z przepływem prądu. Jeśli U jest różnicą potencjałów przyłożoną do końców przewodnika o długości l , to powstałe pole elektryczne wynosi

$$\vec{E} = \frac{U \vec{i}_0}{l}, \quad (3)$$

i okazuje się proporcjonalne do gęstości prądu:

$$\vec{j} = \frac{\vec{E}}{\rho}. \quad (4)$$

Współczynnik proporcjonalności ρ jest stałą materiałową, zwaną opornością elektryczną (lub oporem właściwym) substancji. Jak łatwo wywnioskować,

$$\frac{dI}{dS} = \frac{U}{l\rho}, \quad (5)$$

a po przejściu do skończonych wartości (np. dla przewodników posiadających symetrię translacyjną, jak używany w doświadczeniu długi drut)

$$\frac{U}{I} = \frac{l\rho}{S}. \quad (6)$$

Jest to prawo Ohma. Wartość po prawej stronie równości nazywamy oporem elektrycznym przewodnika i oznaczamy R . Jednostką oporu elektrycznego jest 1 om, $1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}}$, oporności elektrycznej – $1\Omega\text{m}$.

Warto jeszcze nadmienić, iż oporność elektryczna zmienia się z temperaturą – gdy temperatura metalu rośnie, wzmagają się drgania jego struktury krystalicznej, co utrudnia ruch elektronów w niej. Z kolei w niskich temperaturach (rzędu kelwinów) oporność maleje do znikomych wartości (nadprzewodnictwo). W naszym przypadku możemy przyjąć stałą temperaturę – cienki drut jest bardzo dobrze chłodzony przez powietrze.

2.2 Opis układu doświadczalnego

Układ pomiarowy stanowi obwód elektryczny składający się zasilacza (źródła prądu stałego o regulowanym napięciu), odcinka drutu (o zmienianej w każdej serii pomiarowej długości) o stałej średnicy $\phi = 0,25\text{mm}$ wykonanego z nieznanego materiału, oraz mierników – miliamperomierza (przyłączonego szeregowo) i woltomierza (przyłączonego równolegle).

Dla każdej z długości drutu: $L_1 = 1,41\text{m}$, $L_2 = 2,37\text{m}$, $L_3 = 3,78\text{m}$, $L_4 = 4,74\text{m}$, $L_5 = 6,15\text{m}$ zmieniano napięcie co $0,5\text{V}$ w zakresie $0 \div 7,5\text{V}$ i odnotowywano odpowiednie wartości prądu elektrycznego.

3 Obliczenia

3.1 Opracowanie wyników

Współczynniki kierunkowe a_i prostych regresji $I = a_i U + b_i$ wyliczone programem Gnuplot wynoszą

$$a_1 = 0,036160(95), \quad (7)$$

$$a_2 = 0,02216(13), \quad (8)$$

$$a_3 = 0,014007(63), \quad (9)$$

$$a_4 = 0,011357(23), \quad (10)$$

$$a_5 = 0,008693(88). \quad (11)$$

Są one wymiaru $1\Omega^{-1}$, i odpowiadają odwrotności oporu elektrycznego badanych odcinków drutu. Na ich podstawie wyliczymy oporność elektryczną materiału, z którego powstał drut. Z wzoru

$$\rho_i = \frac{4L_i}{a_i \pi \phi^2} \quad (12)$$

otrzymujemy następujące wartości ρ :

$$\rho_1 = 0,9628, \quad (13)$$

$$\rho_2 = 0,9347, \quad (14)$$

$$\rho_3 = 0,9271, \quad (15)$$

$$\rho_4 = 0,9119, \quad (16)$$

$$\rho_5 = 0,9182. \quad (17)$$

Wartości podano w jednostkach $10^{-6}\Omega\text{m}$. Ich średnia arytmetyczna wynosi

$$\rho = 0,9310[10^{-6}\Omega\text{m}]. \quad (18)$$

3.2 Rachunek błędów

Zgodnie z odpowiednim wzorem instrukcji ONP, dla odczytów z analogowych przyrządów pomiarowych o klasie k , zakresie z i działce d mamy

$$u(X) = \frac{\frac{kz}{100} + d}{\sqrt{3}}, \quad (19)$$

zatem dla naszych pomiarów te wartości wynoszą odpowiednio

$$u(U) = \frac{\frac{0,5 \cdot 7,5V}{100} + 0,1V}{\sqrt{3}} = 0,079V \quad (20)$$

$$u(I_1) = \frac{\frac{0,5 \cdot 300mA}{100} + 5mA}{\sqrt{3}} = 3,8mA \quad (21)$$

$$u(I_{2,3}) = \frac{\frac{0,5 \cdot 150mA}{100} + 2mA}{\sqrt{3}} = 1,5mA \quad (22)$$

$$u(I_{4,5}) = \frac{\frac{0,5 \cdot 150mA}{100} + 1mA}{\sqrt{3}} = 0,79mA \quad (23)$$

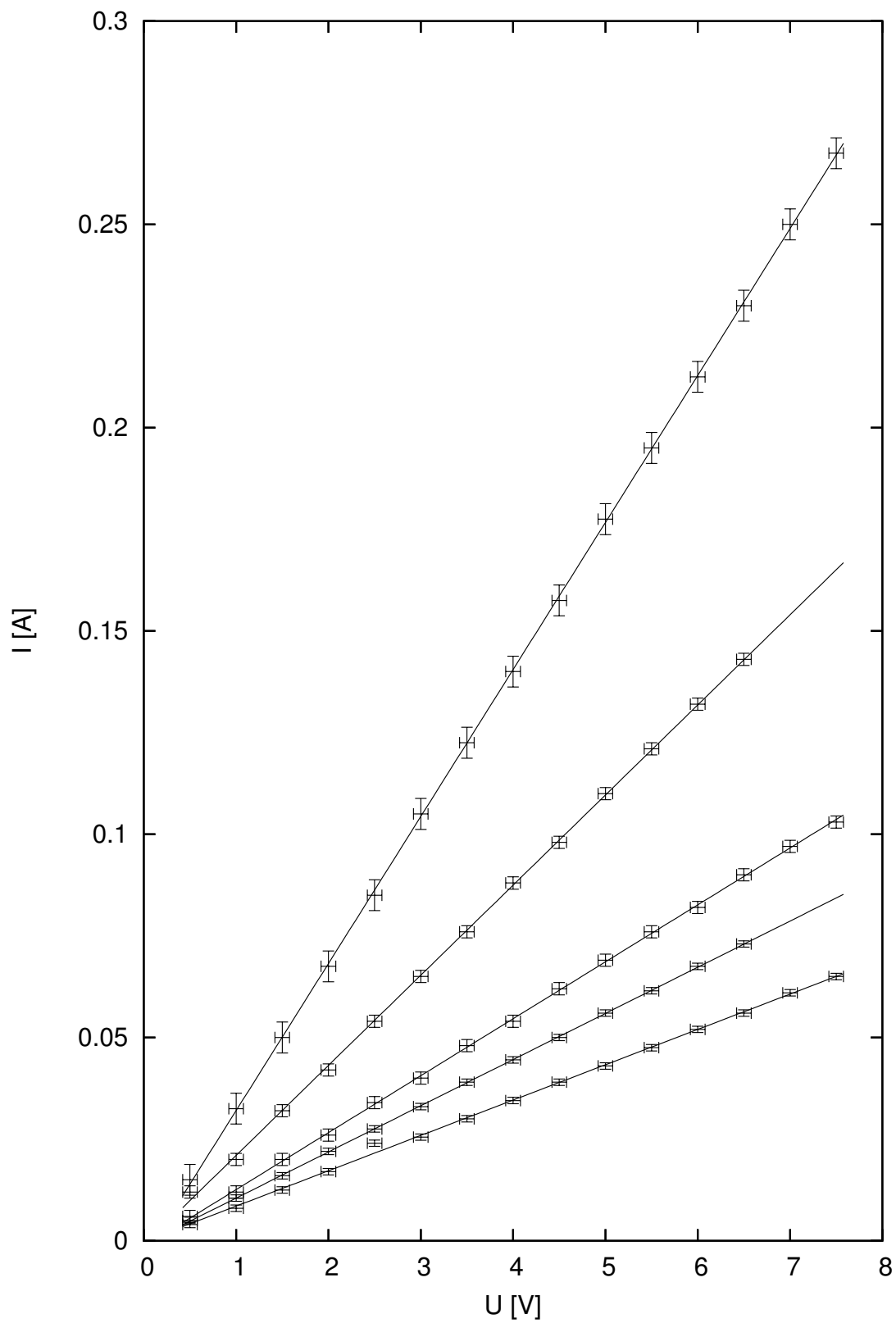
i zostały umieszczone na wykresach jako słupki błędów U, I .

Niepewność wartości ρ (wzór (18)) obliczono z wzoru (2) instrukcji ONP:

$$u(\rho) = 0,0089[10^{-6}\Omega m]. \quad (24)$$

4 Wnioski

Wykres na stronie 5 przedstawia zależności $I(U)$ oraz ich proste regresji. Punkty pomiarowe znajdują się blisko prostych, zatem prawo Ohma potwierdza się w praktyce. Porównanie otrzymanej wartości ρ z wartościami tablicowymi wywnioskować można, że badany drut wykonany został z chromonikieliny.



Rysunek 1: Punkty doświadczalne i proste regresji