

**III OLIMPIADA FIZYCZNA (1953/1954). Stopień wstępny, zadanie doświadczalne – D.**

**Źródło:** Stefan Czarnecki: Olimpiada Fizyczna I-IV, PZWS, Warszawa 1956

**Nazwa zadania:** Zależność oporu od temperatury.

**Działy:** Elektrostatyka

**Słowa kluczowe:** Siła elektromotoryczna, bateria, opór, spirala, temperatura.

---

**Zadanie doświadczalne – D, zawody stopnia wstępnego, III OF.**

Wykonaj z cienkiego drutu miedzianego spiralę, której opór elektryczny w temperaturze pokojowej wynosi kilka omów. Wyznacz ten opór dowolną znaną ci metodą, używając do tego celu potrzebnych przyrządów z pracowni szkolnej. Następnie zanurz spiralę do naczynia z wodą i ogrzewając je palnikiem wyznacz ponownie wartości oporu elektrycznego spirali dla kilku różnych temperatur wody (aż do wrzenia). Analogiczne pomiary przeprowadź dla spirali z drutu żelaznego i spirali z nikieliny (np. takiej, jakiej używa się na grzejniki w kuchenkach elektrycznych).

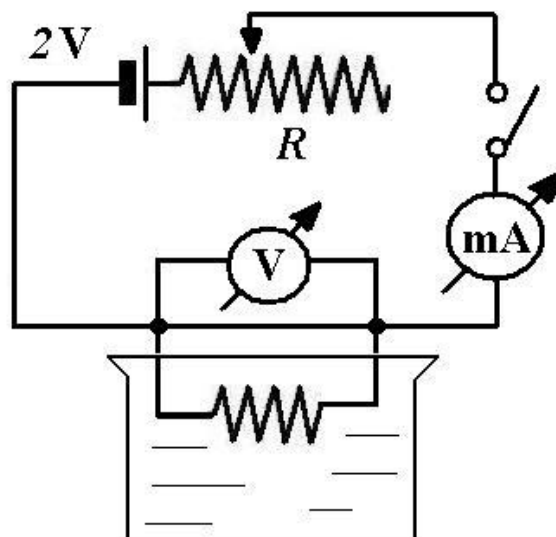
Otrzymane wyniki zbierz w tabelki i przedstaw w postaci wykresu zależności oporu każdej ze spiral od temperatury. Jakie wnioski możesz wyciągnąć na podstawie otrzymanych wyników? Jak wykonałeś doświadczenie, by otrzymać najdokładniejszy wynik?

**Rozwiązanie**

Celem zadania doświadczalnego jest zwrócenie uwagi ucznia na wyraźną różnicę zależności oporu elektrycznego od temperatury dla metali czystych i stopów. Można oczekiwać, że uczeń przy opracowywaniu tego tematu zaznajomi się z pojęciem temperaturowego współczynnika oporu i wyznaczy wartość tego współczynnika dla badanych metali; pozna przy tym praktycznie przynajmniej jedną metodę wyznaczania oporu elektrycznego i spróbuje przeanalizować warunki, w jakich należy prowadzić pomiar, aby uzyskać najdokładniejsze wyniki.

Za najlepsze rozwiązanie należy uznać pomiar oporu za pomocą mostka Wheatstone'a. Można również przeprowadzać pomiary metodą bezpośrednią, wykorzystując prawo Ohma; wymaga to jednak pewnych ostrożności dla otrzymania wyniku nie obciążonego zbyt dużym błędem doświadczalnym.

Ażeby uniknąć grzania się spirali wskutek przepływu prądu, co powoduje powstanie różnicy między temperaturami spirali i termometru, wskazane jest prowadzenie pomiaru przy użyciu jak najmniejszych prądów, a więc stosowanie o ile możliwości czułych przyrządów pomiarowych.



Rys. 1.

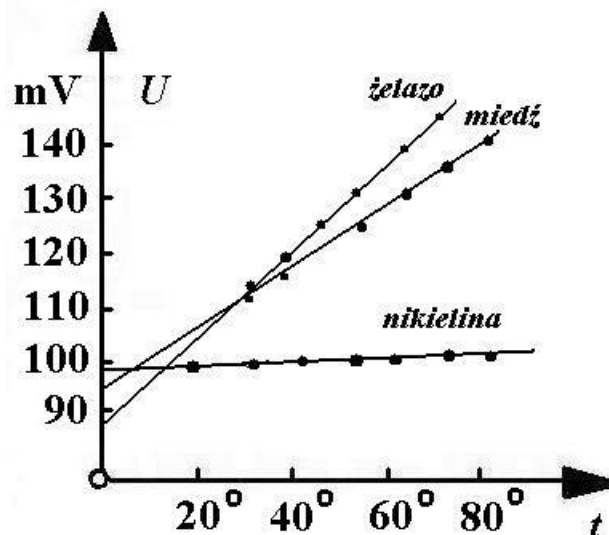
Schemat układu pomiarowego metody drugiej podany jest na rys. 1.

Opór  $R$  (kilkadziesiąt omów) pozwala regulować natężenie prądu. Woltmierz powinien mieć stosunkowo duży opór wewnętrzny pozwalający na zaniedbanie prądu przezeń płynącego. W celu zwiększenia dokładności pomiaru najlepiej użyć miliwoltmierz z dużą skalą, tak dobierając natężenie prądu, by spadek napięcia na spirali dawał wychylenia maksymalne dla  $100^{\circ}\text{C}$ .

W warunkach doświadczenia łatwo jest utrzymać stałość natężenia prądu płynącego przez spiralę. Wówczas za zmienną zależną bierze się wartość napięcia na zaciskach spirali drutu badanego a za zmienną niezależną temperaturę drutu.

Celem uzyskania dokładnego pomiaru temperatury termometr powinien znajdować się w bliskim sąsiedztwie spirali, która winna być umieszczona w środku naczynia. Ogrzewać należy wolno a wodę ciągle mieszać. Do doświadczenia najlepiej użyć wody destylowanej, by jak najbardziej zmniejszyć przewodnictwo elektryczne (z uwagi na to najlepiej użyć jakiejś innej cieczy nie przewodzącej, np. nafty).

Do próbnych pomiarów użyto następujących drutów: drutu miedzianego, żelaznego i nikielinowego o grubościach 0,1 mm, 0,2 mm i 0,3 mm. Długości ich wynosiły 91,3 cm, 62,8 cm i 35,4 cm. W tych warunkach każdy z drutów posiada opór w temperaturze pokojowej ( $20^{\circ}\text{C}$ ) równy  $2\Omega$  (obliczono a następnie skorygowano doświadczalnie). Połączenia ze spiralkami wykonano grubymi drutami, by opór ich można było pominąć. W czasie każdego pomiaru tak regulowano wartość oporu  $R$ , by natężenie prądu było stałe. Wynosiło ono przy każdym pomiarze 50 mA. Miliwoltmierz mierzył spadek napięcia na badanej spirali. Pomiarów dokonywano w temperaturach od  $20^{\circ}\text{C}$  do  $80^{\circ}\text{C}$  co  $10^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 2.

Otrzymane wyniki podają wykresy na rysunku 2. Wykresy te wskazują przede wszystkim, że zależność oporu od temperatury (przy dokładności, jaką w tych warunkach można było osiągnąć) jest liniowa. Dalej stwierdzamy, że opór żelaza i miedzi zależy od temperatury w stopniu znacznie większym niż opór nikieliny.

Ze względu na stwierdzoną liniową zależność możemy łatwo znaleźć tzw. współczynniki temperaturowe oporu dla badanych metali. Współczynnik taki definiuje się analogicznie jak np. współczynnik rozszerzalności cieplnej. Jest to stosunek względnego przyrostu oporu do różnicy temperatur.

$$\alpha = \frac{\Delta r}{r \Delta t} = \frac{r - r_0}{r_0 \Delta t}, \quad (1)$$

gdzie  $r_0$  oznacza opór w temperaturze  $0^\circ\text{C}$ , a  $r$  opór w najwyższej temperaturze badanego zakresu.

Ponieważ

$$r = \frac{U}{i},$$

przeto

$$\alpha = \frac{\frac{U}{i} - \frac{U_0}{i}}{\frac{U_0}{i} \Delta t} = \frac{U - U_0}{U_0 \Delta t}. \quad (2)$$

Napięcie  $U_0$  łatwo odczytać z wykresu przez ekstrapolację, czyli przez przedłużenie otrzymanych prostych poza badany przedział temperatur aż do przecięcia się z osią rzędnych. Można by się obyć bez ekstrapolacji, gdybyśmy dysponowali lodem i przeprowadzili jeszcze po jednym pomiarze w temperaturze  $0^\circ\text{C}$ .

Ekstrapolując i posługując się wyprowadzonym wzorem (2) znaleziono następujące wartości współczynników temperaturowych oporu:

Miedź  $-0,0040 \cong 0,004$

Żelazo  $-0,0061 \cong 0,006$

Nikielina –  $0,00021 \cong 0,0002$ .

Przekształcając wzór (1) otrzymać możemy opór przewodnika wyrażony jako funkcję temperatury:

$$r = r_0(1 + \alpha t) \quad (3)$$

lub też jego opór właściwy

$$Q = Q_0(1 + \alpha t - \beta t^2),$$

gdzie  $\beta$  jest pewną stałą dla danego metalu. Zresztą i ten wzór jest jedynie przybliżony; można go stosować dla niezbyt niskich temperatur.