

**LIII OLIMPIADA FIZYCZNA (2003/2004). Stopień II, zadanie doświadczalne – D**

**Źródło:** Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;  
Andrzej Wysmołek – sekretarz naukowy do zad. dośw., IFD UW;  
Marek Trippenbach, Andrzej Wysmołek: *Fizyka w Szkole* nr 3, 2004.

**Nazwa zadania:** Wyznaczanie średnicy i oporu właściwego grafitu

**Działy:** Elektryczność

**Słowa kluczowe:** opór, obwód, prąd elektryczny, napięcie, natężenie, woltomierz, amperomierz, wkład, ołówek, grafit, baterijka, szkiełko.

**Zadanie doświadczalne – D, zawody II stopnia, LIII OF.**

Masz do dyspozycji:

- wkład piszący do ołówka automatycznego,
- dwa szkiełka do mikroskopu,
- linijkę,
- miękkie przewody miedziane z odizolowanymi końcówkami,
- woltomierz,
- amperomierz,
- baterijkę 1,5 V i przewody elektryczne umożliwiające połączenie układu pomiarowego,
- papier milimetrowy.

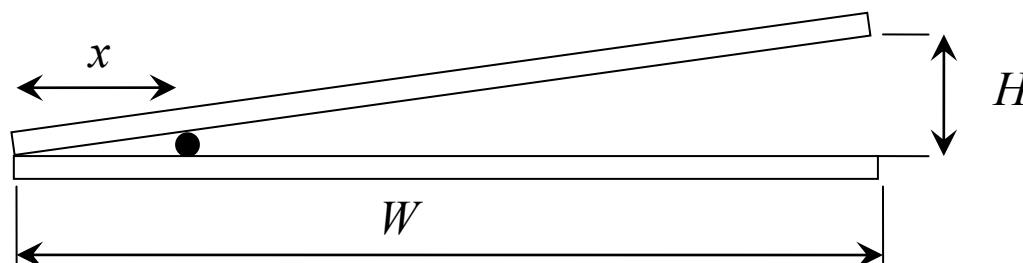
1. Nie łamiąc wkładu wyznacz jego średnicę.
2. Wyznacz opór właściwy materiału, z którego wykonany jest wkład.

*Uwaga!*

Z wkładem obchodź się ostrożnie, aby go nie połamać. Jeśli jednak Ci się to zdarzy, poproś asystenta o nowy wkład.

**Rozwiązanie****1. Wyznaczanie średnicy wkładu**

Ponieważ średnica wkładu jest mniejsza niż 1 mm to trudno jest ją dokładnie zmierzyć bezpośrednio linijką. Można to zrobić umieszczając wkład pomiędzy szkiełkami mikroskopowymi w sposób przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1

Wkład powinien być umieszczony równoległe do brzegów szkiełek. Znając odległość  $x$  wkładu od linii zetknięcia szkiełek oraz odległość między końcami szkiełek  $H$ , można wyznaczyć średnicę wkładu:

$$d = \frac{x}{W} H, \quad (1)$$

gdzie  $W$  – długość szkiełka. Dla zwiększenia dokładności pomiary wykonujemy dla kilku różnych odległości  $x$ . Następnie wyznaczamy średnią wartość średnicy oraz jej niepewność pomiarową.

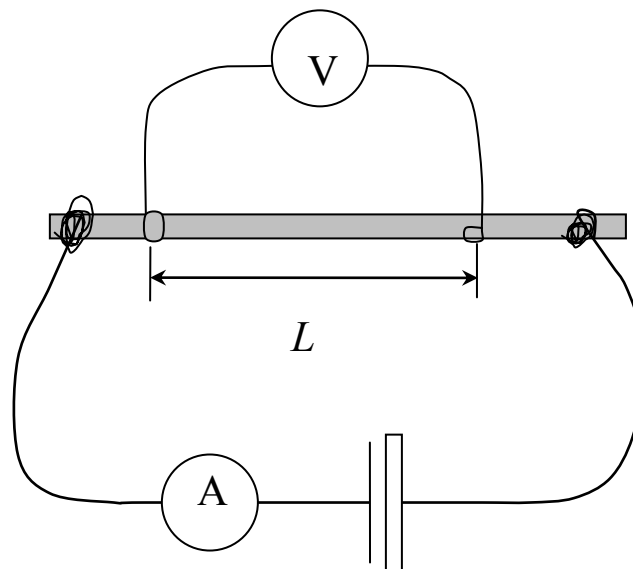
## 2. Wyznaczanie oporu właściwego

Opór elektryczny  $R$ , walca o długości  $L$  i o średnicy  $d$ , wyraża się wzorem:

$$R = \frac{4\rho}{\pi d^2} L, \quad (2)$$

gdzie  $\rho$  – oporność właściwa materiału walca. Zatem, oporność właściwą wkładu można wyznaczyć mierząc opór „kawałka” wkładu o znanych wymiarach. Zadanie to jednak nie jest tak proste jakby mogło się wydawać na pierwszy rzut oka. Wkłady są małe i delikatne. Trzeba też wymyślić metodę podłączenia ich ze źródłem napięcia. W zestawie pomiarowym nie ma „profesjonalnych” zacisków, więc kontakty należy wykonać np. oplatając i zaciskając odizolowane przewody miedziane na końcach wkładu.

Po podłączeniu wkładu do baterijki okazuje się, że natężenie prądu płynącego przez wkład słabo zależy od odległości między doprowadzeniami prądu. Oznacza to, że opór wkładu jest mały w porównaniu z opornościami kontaktów metal–wkład. Zatem, żeby go wyznaczyć trzeba zastosować odpowiedni układ pomiarowy np. układ czterech sond przedstawiony na rys.2. Kontakty prądowe (doprowadzenia prądu) umieszczone są w pobliżu końców wkładu. Sondy napięciowe stanowią końcówki przewodów podłączone bezpośrednio do woltomierza. Ponieważ oporność wewnętrzna woltomierza jest bardzo duża w porównaniu z opornością wkładu, to natężenie płynącego przez niego prądu można pominąć w porównaniu z natężeniem prądu płynącego przez wkład.



Rys. 2

Biorąc pod uwagę, że oporność  $R$  kawałka wkładu wyraża się zależnością (1) napięcie  $U$  wskazywane przez woltomierz wyniesie:

$$U = \frac{4I\rho}{\pi d^2} L, \quad (3)$$

co można zapisać w postaci:

$$U = aL, \quad (4)$$

gdzie  $a = \frac{4I}{\pi d^2} \rho$ .

Zależność (4) sugeruje wykonanie serii pomiarów dla różnych wartości odległości  $L$  między kontaktami, przy ustalonej wartości prądu płynącego przez wkład i dopasowania prostej do uzyskanych wyników.

### Część doświadczalna

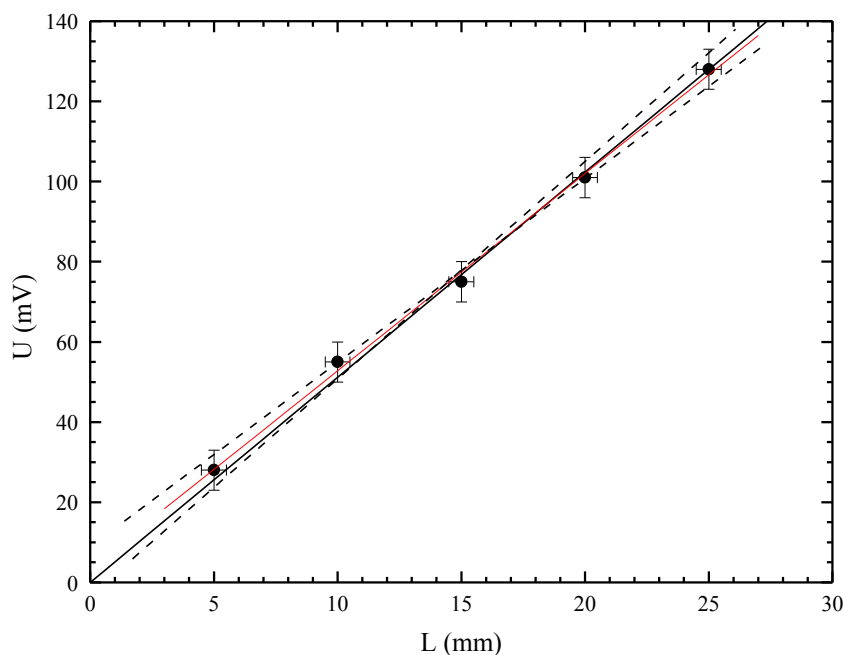
Dla trzech różnych ustawień wkładu i szkiełek uzyskano odpowiednio pary odległości:

$x = 5 \text{ mm}$ ,  $H = 10 \text{ mm}$ ,  $x = 6 \text{ mm}$ ,  $H = 8 \text{ mm}$  oraz  $x = 5 \text{ mm}$ ,  $H = 9 \text{ mm}$ .

Długość szkiełek wynosiła  $W = (7,7 \pm 0,1) \text{ cm}$ .

Dla każdej z par obliczono odpowiadającą jej średnicę a następnie wyznaczono jej średnią wartość  $d = (0,61 \pm 0,04) \text{ mm}$ .

Po zestawieniu układu pomiarowego według schematu przedstawionego na rys.2. wykonano pomiary napięcia dla różnych odległości między kontaktami napięciowymi. Wartość prądu w obwodzie nie zmieniała się podczas pomiarów i wynosiła  $I = (150 \pm 1) \text{ mA}$ . Uzyskane wyniki przedstawione są na rys. 3. Warto zwrócić uwagę, że na rys.3 nie naniesiono punktu odpowiadającego odległości  $L = 0$ , której ze względu na skończone rozmiary kontaktów nie można zrealizować doświadczalnie.



Rys. 3

Z dopasowania prostej otrzymano wartość współczynnika kierunkowego  $a = (4,9 \pm 0,3) \text{ mV/mm}$ . Po podstawieniu danych liczbowych uzyskano:

$$\rho = \frac{\pi d^2}{4I} a = (9,6 \pm 1,0) \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}.$$

Uzyskanie poprawnego wyniku zależy w dużym stopniu od staranności wykonania pomiarów. Szczególnie ważne jest, aby kontakty prądowe były na tyle mocno zaciśnięte, aby dotykanie wkładu końcówkami woltomierza nie zmieniało prądu płynącego w układzie.

**Proponowana punktacja**

1. Wyznaczenie średnicy wkładu.
  - a) pomysł pomiaru do 2 pkt.
  - b) wykonanie pomiarów do 2 pkt.
  - c) uzyskanie poprawnego wyniku wraz z oszacowaniem błędu pomiarowego do 2 pkt.
2. Wyznaczenie oporności właściwej materiału wkładu.
  - a) pomysł wykonania doświadczenia eliminującego wpływ oporu kontaktów na wyznaczone wartości oporności, schemat układu pomiarowego, wyprowadzenie wzorów, do 4 pkt.
  - b) wykonanie pomiarów napięcia metodą czterech sond dla różnych odległości między sondami napięciowymi (po 1 pkt. za pomiar) do 5 pkt.
  - c) wykonanie wykresu zależności napięcia od odległości między sondami, dopasowanie prostej (zaznaczenie błędów pomiarowych, dobór skali, graficzne oszacowanie błędu współczynnika kierunkowego) do 3 pkt.
  - d) uzyskanie poprawnej wartości oporności właściwej, oszacowanie niepewności pomiarowych do 2 pkt.