



LIII OLIMPIADA FIZYCZNA
(2003/2004)
ZAWODY II STOPNIA
CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Zadanie doświadczalne – D

Nazwa – Wyznaczanie średnicy grafitowego wkładu do ołówka i jego oporu właściwego.

Źródła – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej

– Andrzej Dragan, Andrzej Wysmołek¹, *Fizyka w Szkole* nr 3, 2004, s. 167–173

– T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

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!

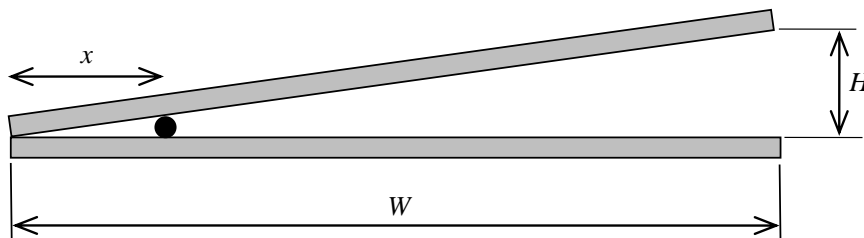
Z wkładem obchodź się ostrożnie, aby go nie połamać. Jeśli jednak Ci się to zdarzy, poproś asystenta o nowy wkład.

¹ Andrzej Wysmołek był sekretarzem naukowym ds. zadań doświadczalnych w KGOF: XLIII–XLVIII OF (wówczas dr), LII–LX OF; w tym okresie, był współautorem artykułów w *Fizyce w Szkole* z OF, do czasu ich publikowania w tym czasopiśmie, tj. do LV OF. Od LXIX OF pełni funkcję Przewodniczącego KGOF. Opracowane zad. na zawody OF w postaci edytowalnych plików były przez sekretarza (AW) udostępniane sekretarzowi KO w Szczecinie (TM), co bardzo ułatwiło umieszczenie tych zad. dośw. w bazie na stronie www.OF.szc.pl (przyp. red.).

Rozwiązanie zadania D – XLIV OF, II stopień

1. Wyznaczanie średnicy układu

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 ⁽²⁾

Wkład powinien być umieszczony równolegle 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.

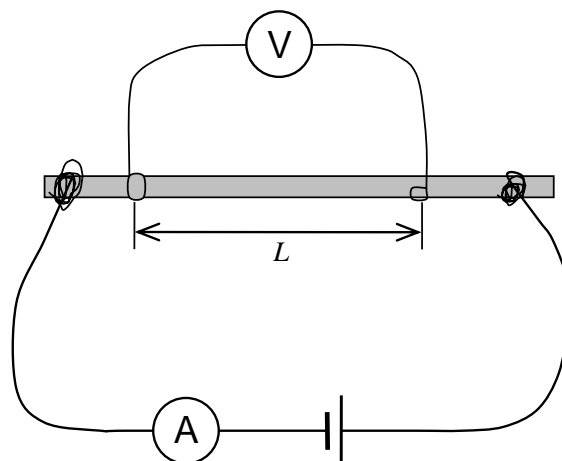
2. Wyznaczanie oporu właściwego

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 ρ – oporność właściwa materiału walca. Zatem oporność właściwą wkładu można wyznaczyć mierząc opór jego części 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.

Jak się okaże, po podłączeniu wkładu do baterijki, natężenie prądu słabo zależy od odległości między doprowadzeniami prądu. Oznacza to, że opór wkładu jest zbliżony do oporności kontaktów metal-wkład. Zatem, w doświadczeniu należy 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 pominać w porównaniu z natężeniem prądu płynącego przez wkład. Jeśli przez wkład przepływać



Rys. 2

będzie prąd o natężeniu I , 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 napięciowymi, przy ustalonej wartości prądu płynącego przez wkład. Dopasowanie prostej do zależności $U(L)$ pozwoli wyznaczyć szukaną oporność właściwą ρ .

3. Część doświadczalna

W celu wyznaczenia średnicy wkładu wykonano kilka pomiarów odległości x od H . Dla trzech różnych ustawień wkładu i szkiełek uzyskano odpowiednio pary odległości:

$x = 5$ mm, $H = 10$ mm, $x = 6$ mm, $H = 9$ mm oraz $x = 7$ mm, $H = 8$ mm.

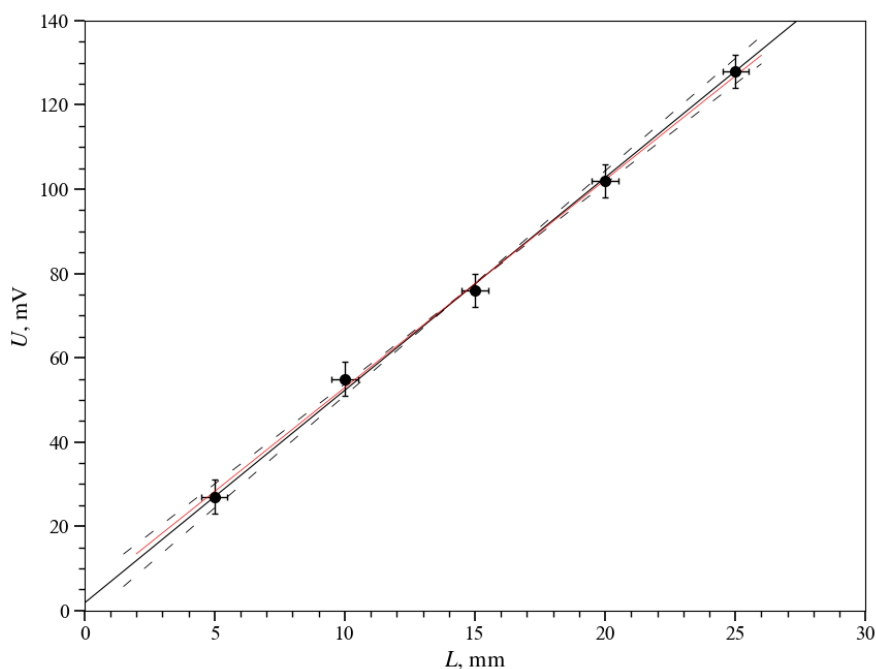
Używając linijki, wyznaczono długość szkiełek: $W = (8,7 \pm 0,1)$ cm ⁽³⁾.

Korzystając z uzyskanych wyników obliczono średnią wartość średnicy d oraz jej niepewność pomiaru: $d = (0,61 \pm 0,04)$ mm.

Pomiary elektryczne wykonano w układzie pomiarowym zestawionym według schematu przedstawionego na rys. 2. Końcówki napięciowe sporządzono, wybierając z odizolowanych końców przewodów elektrycznych po jednym druciku. Pozwoliło to zminimalizować siłę wywieraną na wkład podczas pomiarów. Wkład z podłączonymi przewodami doprowadzającym prąd umieszczono na papierze milimetrowym. Przewody doprowadzające prąd zostały dociśnięte do stołu za pomocą linijki, dzięki czemu wartość prądu w obwodzie nie zmieniała się podczas pomiarów i wynosiła $I = (150 \pm 1)$ mA. Wartości napięć U uzyskane dla różnych odległości L pomiędzy kontaktami napięciowymi przedstawiono na rys. 3. Warto zwrócić uwagę, że na wykresie nie

³ Oznaczenie „ \pm ” stosujemy wyłącznie dla niepewności granicznej czy rozszerzonej – wg zalecenia *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*; u nas problematykę tą w nauczaniu od 2018 r. reguluje *Rekomendacja Polskiego Towarzystwa Fizycznego dotycząca nauczania o opracowywaniu wyników pomiarów w szkołach* –

umieszczono punktu odpowiadającego odległości $L = 0$, którą ze względu na skończone rozmiary kontaktów trudno uzyskać w doświadczeniu. Zgodnie z oczekiwaniami punkty pomiarowe przedstawione na rys. 3 układają się na prostej.



Rys. 3

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

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

Otrzymanie poprawnego wyniku zależy w dużym stopniu od staranności wykonania pomiarów. Szczególnie ważne jest, aby kontakty prądowe były na tyle mocno zaciśnięte, żeby wykonywanie pomiarów napięcia nie zmieniało wartości prądu w obwodzie. Duży wpływ na niepewność pomiaru oporności ρ ma niepewność wyznaczenia średnicy wkładu.

Proponowana punktacja

1. Wyznaczenie średnicy wkładu:
 - a) pomysł pomiaru 2 pkt,
 - b) wykonanie pomiarów 2 pkt,
 - c) uzyskanie poprawnego wyniku wraz z oszacowaniem niepewności pomiaru 2 pkt.
2. Wyznaczenie oporności właściwej materiału wkładu:
 - a) pomysł wykonania doświadczenia eliminującego wpływ oporu kontaktów na wyznaczone wartości oporności, schemat układu pomiarowego, wprowadzenie wzorów 4 pkt,
 - b) wykonanie pomiarów napięcia metodą czterech sond dla różnych odległości między sondami napięciowymi (po 1 pkt. za pomiar) 5 pkt,

- c) wykonanie wykresu zależności napięcia od odległości między sondami, dopasowanie prostej (zaznaczenie krzyżyków niepewności pomiarowych, dobór skali, graficzne oszacowanie niepewności współczynnika kierunkowego) ... 3 pkt,
- d) uzyskanie poprawnej wartości oporności właściwej, oszacowanie niepewności pomiaru 2 pkt.

Uwagi dla organizatorów

1. Na każdego zawodnika przygotować po 5 wkładów do ołówków.
2. Na każde stanowisko powinny przypadać po dwa szkiełka, należy jednak przygotować kilka na zapas.
3. Na każde stanowisko powinny przypadać
 - a) po 2 przewody o długości ok. 20 cm każdy, z dwoma odizolowanymi końcówkami (ok. 2 cm od końca),
 - b) cztery przewody (o długości ok. 20 cm) z końcówkami typu „bananek” na jednym końcu, odizolowane z drugiej strony (ok. 2 cm od końca).
4. Woltomierz powinien umożliwiać pomiary napięć w zakresie 0–1,5 V, z dokładnością nie gorszą niż 2 % zakresu.
5. Amperomierz powinien umożliwiać pomiary natężenia prądu w zakresie 0–0,5 A.
6. Bateria (R14) powinna znajdować się w pudełku umożliwiającym podłączenie do niej odizolowanych. W razie braku takich pudełek można dolutować do biegunów baterii kawałki drutu, które pełnić będą rolę kontaktów.