

**LVI OLIMPIADA FIZYCZNA (2006/2007). Stopień III, zadanie doświadczalne – D**

---

<b>Źródło:</b>	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej.
<b>Autor:</b>	Andrzej Wysmołek – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej, IFD UW.
<b>Nazwa zadania:</b>	Praca wyjścia wolframu
<b>Działy:</b>	Elektryczność, termodynamika, fizyka współczesna
<b>Słowa kluczowe:</b>	napięcie, moc, opór, termoemisja, zasilacz prądu stałego, bateria, obwód, miernik elektryczny, woltomierz, amperomierz, temperatura, żarówka

---

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

Masz do dyspozycji:

- żarówkę samochodową 12 V z dwoma włóknami wolframowymi o mocy nominalnej 5 W oraz 20 W, odizolowanymi od siebie elektrycznie
  - woltomierz cyfrowy o oporze wewnętrznym 10 MΩ, niezależnym od zakresu napięcia stałego,
  - miernik uniwersalny, który może być używany jako woltomierz i amperomierz prądu stałego,
  - zasilacz prądu stałego o napięciu regulowanym w zakresie 0 ÷ 12 V,
  - baterię 9 V,
  - przewody elektryczne, krokodylki, folię aluminiową i inne elementy umożliwiające wykonanie odpowiednich połączeń elektrycznych,
  - papier milimetrowy.
- 1) Wyznacz zależność temperatury włókna żarówki o mocy nominalnej 5 W od przyłożonego do niego napięcia w zakresie 0 ÷ 12 V. Uzyskaną zależność przedstaw na wykresie.

Przyjmij, że zależność oporu włókna od temperatury można opisać wzorem:

$$R_w(T) = R_0 (1 + \alpha_R (T - T_0)), \quad (1)$$

gdzie  $T$  – bezwzględna temperatura włókna, natomiast  $R_0$  – opór włókna w temperaturze pokojowej  $T_0$ . Przyjmij  $\alpha_R = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ,  $T_0 = 295 \text{ K}$ .

- 2) Wyznacz pracę wyjścia  $W$  dla wolframu.

Przyjmij, że dla temperatur niższych niż 2000 K, liczbę  $n$  elektronów emitowanych w jednostce czasu w wyniku zjawiska termoemisji przez włókno wolframowe można opisać wzorem:

$$n = n_0 e^{-\frac{W}{kT}}, \quad (2)$$

gdzie  $W$  – praca wyjścia,  $T$  – temperatura bezwzględna włókna,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  (stała Boltzmanna),  $n_0$  – pewna stała,  $e = 2,718\dots$  – podstawa logarytmu naturalnego.

Uwaga:

- a) W celu uniknięcia efektów elektrostatycznych mogących zakłócić pomiary, szklaną bańkę żarówki należy owinać folią aluminiową. Folia powinna być połączona elektrycznie z końcówką jednego z włókien.
- b) Miernik uniwersalny, który może być używany jako woltomierz i amperomierz prądu stałego ma obudowę o kolorze czarnym.

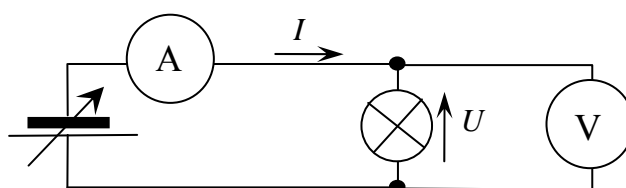
## Rozwiązanie

### 1) Wyznaczenie zależności temperatury włókna od napięcia.

Informację o temperaturze  $T$  włókna można uzyskać mierząc jego opór  $R$ . Przekształcając wzór (1) podany w treści zadania otrzymujemy związek:

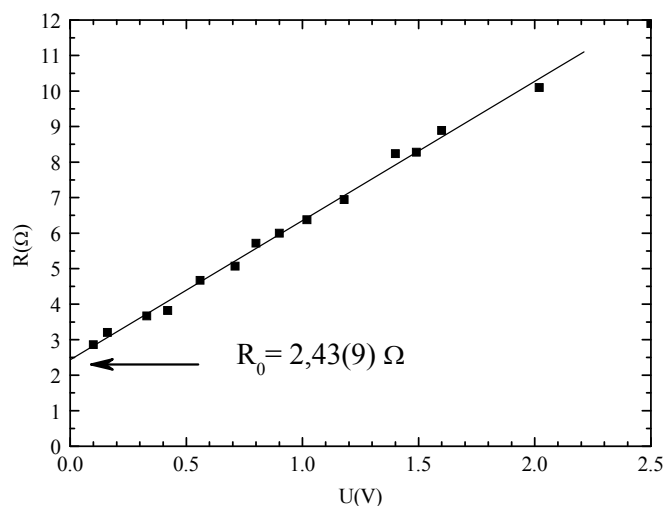
$$T(R) = (R/R_0 - 1)/\alpha_R + T_0. \quad (3)$$

Żeby z niego skorzystać trzeba wcześniej znać opór  $R_0$  włókna w temperaturze (pokojowej)  $T_0$ . Opór ten można wyznaczyć wykorzystując układ przedstawiony schematycznie na rys. 1. Sposób umieszczenia amperomierza i woltomierza w obwodzie pomiarowym wynika z tego, że oporność wewnętrzna woltomierza jest znacznie większa od oporności żarówki. W takiej sytuacji natężenie prądu płynącego przez woltomierz jest znikome w porównaniu z natężeniem prądu płynącego przez żarówkę. Oznacza to, że dołączenie woltomierza do układu nie zmienia znacząco prądu płynącego przez żarówkę.



Rys. 1

Regulując napięcie dostarczane przez zasilacz, mierzymy natężenie prądu  $I$  płynącego w obwodzie oraz odpowiadające mu napięcie  $U$  na żarówce. Ponieważ przepływ prądu powoduje ogrzewanie włókna żarówki to pomiary należy wykonywać powoli, tak żeby uzyskane wartości prądu i napięcia odpowiadały warunkom równowagi (tzn. odpowiadające sytuacji, w której temperatura włókna jest ustalona). Wykres zależności oporu włókna  $R$  od przyłożonego do niej napięcia ( $R = U/I$ ) w zakresie napięć od zera do 2,5 V przedstawiono na rys. 2.

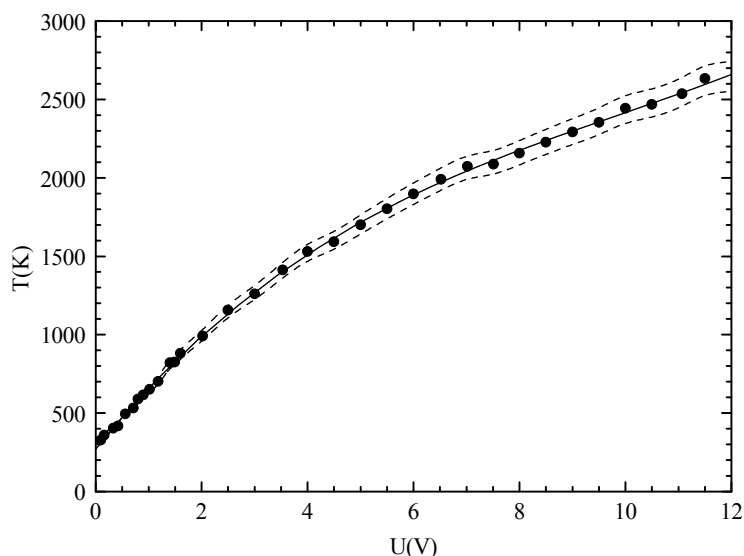


Rys. 2

Można oczekiwać, że dla bardzo małych napięć płynący przez żarówkę prąd nie powinien znacząco ogrzewać włókna i jego opór powinien się ustalić na pewnej wartości. W praktyce jednak, ze względu na ograniczoną czułość dostępnych przyrządów pomiarowych osiągnięcie takiej sytuacji było trudne. Dlatego, rozsądne wydaje się wyznaczenie oporu  $R_0$  poprzez ekstrapolację zależności  $R(U)$  dla  $U$  dążących do zera. Uzyskana w ten sposób

wartość oporu włókna żarówki odpowiadająca temperaturze pokojowej wyniosła  $R_0 = (2,43 \pm 0,09) \Omega$ .

Mierząc opór włókna dla różnych napięć do niego przyłożonych, korzystając ze wzoru (3) można wyznaczyć zależność temperatury włókna od napięcia (rys. 3).



Rys. 3

Dodatkowe krzywe przerywane umieszczone na rys. 3 obrazują niepewność pomiarową temperatury włókna. Wynika ona głównie z niedokładności wyznaczenia oporu  $R_0$  włókna w temperaturze pokojowej.

## 2) Wyznaczenie pracy wyjścia

Przy zmianie temperatury włókna zmienia się liczba emitowanych przez nie elektronów. Jeśli do ogrzewanego włókna („katody”) przyłączyć ujemny biegun baterii, a włókno zimne (anodę) połączyć do bieguna dodatniego, to elektrony wyemitowane z katody będą miały szansę dotrzeć do katody i w obwodzie popłynie prąd  $I_d$ . Natężenie tego prądu powinno być proporcjonalne do liczby elektronów wyemitowanych przez włókno. Zatem zgodnie z założeniem (2) przyjmujemy w treści zadania:

$$I_d = I_0 e^{-\frac{W}{kT}}, \quad (4)$$

gdzie  $I_0$  – pewna stała.

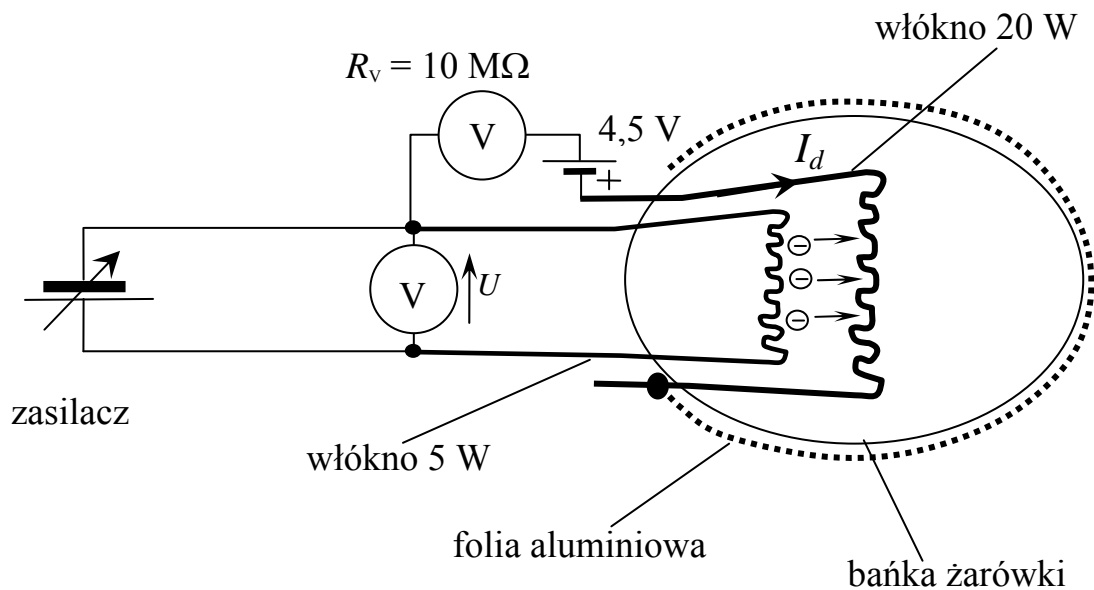
Logarytmując obie strony wzoru (4) otrzymujemy zależność:

$$\ln(I_d) = -\frac{W}{kT} + \ln(I_0) \quad (5)$$

Tak więc, w zakresie temperatur włókna  $T < 2000$  K, zależność logarytmu wartości prądu płynącego pomiędzy włóknami powinna być liniową funkcją odwrotności temperatury. Żeby wyznaczyć pracę wyjścia wolframu  $W$  wystarczy wykonać pomiary natężenia prądu płynącego pomiędzy włóknami dla różnych temperatur włókna 5 W. Następnie, na podstawie uzyskanych danych doświadczalnych należy sporządzić wykres zależności  $\ln(I_d)$  od odwrotności temperatury  $1/T$  i dopasować prostą w odpowiednim zakresie temperatur. Współczynnik jej nachylenia odpowiadać będzie wartości  $\beta = -W/k$ .

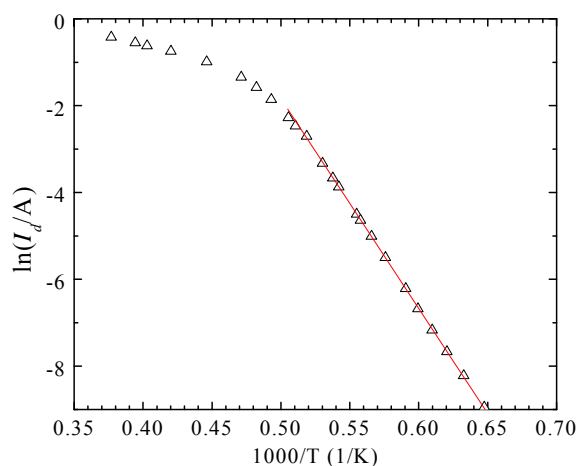
Odpowiednie pomiary można przeprowadzić w układzie przedstawionym na rys. 4. Do jednej z końcówek włókna o mocy 20 W podłączono dodatni biegun baterii 9 V, a drugi

biegun baterii, przez woltomierz o oporze wewnętrznym  $10\text{ M}\Omega$  połączono z włóknem o mocy  $5\text{ W}$ . W takim układzie elektrony emitowane przez gorące włókno mogą dopływać do włókna zimnego podobnie jak ma to miejsce w próżniowych lampach elektronowych. Zaproponowany sposób wykorzystania woltomierza, pozwala na wyznaczenie bardzo małych wartości prądu, znacznie mniejszych niż najniższy zakres natężenia prądu dla dostępnych w zestawie doświadczalnym mierników. Jeśli napięcie wskazywane przez woltomierz wynosi  $U_d$  to wartość natężenia prądu płynącego pomiędzy włóknami wynosi odpowiednio  $I_d(\mu\text{A}) = U_d/R_v = 0,1U_d(\text{V})$ . Zatem napięciu  $1\text{ V}$  odpowiadać będzie prąd równy  $0,1\ \mu\text{A}$ ! Temperaturę włókna określić można korzystając z wykresu wykonanego w pierwszej części zadania, mierząc napięcie zasilania włókna przy użyciu drugiego woltomierza.



Rys. 4

Uzyskane wyniki zostały po odpowiednim przeliczeniu przedstawione na rys. 5.



Rys. 5

Z rys. 5 wynika, że dla temperatur włókna niższych od  $2000\text{ K}$  (co odpowiada wartości  $1000/T > 0,5$ ), logarytm natężenia prądu płynącego pomiędzy włóknami jest liniową funkcją odwrotności temperatury włókna. Z dopasowania prostej w tym zakresie uzyskujemy współczynnik  $\beta = -(49 \pm 0,2) \cdot 10^3\text{ K}$ , co odpowiada pracy wyjścia  $W = (6,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-19}\text{ J}$  (lub

( $4,3 \pm 0,2$ ) eV). Uzyskany wynik pozostaje w bardzo dobrej zgodności z wartością tablicową dla pracy wyjścia dla wolframu wynoszącą 4,55 eV.

### **Punktacja**

#### **Wyznaczenie zależności temperatury od napięcia**

1. Rozpoznanie włókien 5 W/20 W 1 pkt.
2. Układ pomiarowy umożliwiający wykonanie pomiarów oporu włókna 1 pkt.
3. Wykonanie pomiarów oporu włókna dla napięć w zakresie 0 – 12 V 3 pkt.
4. Wyznaczenie oporu  $R_0$  (wykonanie pomiarów dla małych napięć na włóknie, wykonanie wykresu, ekstrapolacja) 3 pkt.
5. Wykonanie wykresu zależności temperatury włókna od napięcia 2 pkt.

#### **Wyznaczenie pracy wyjścia wolframu**

6. Układ pomiarowy umożliwiający pomiar prądu termoemisyjnego (w tym użycie woltomierza do pomiaru prądu oraz pomiar napięcia na ogrzewanym włóknie) 4 pkt.
7. Wykonanie pomiarów w szerokim zakresie temperatur włókna 2 pkt.
8. Wyznaczenie pracy wyjścia (wykonanie wykresu zależności prądu termoemisyjnego od temperatury, dopasowanie prostej, wartość, oszacowanie niepewności pomiarowej) 4 pkt.