



LVI OLIMPIADA FIZYCZNA
ZADANIA ZAWODÓW III STOPNIA
CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Nazwa zadania	Praca wyjścia wolframu.
Rok	2006/2007
Źródło	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej; Andrzej Wysmołek, sekretarz naukowy ds. zad. dośw. KGOF, IFD UW;

Zadanie D - LVI OF, III stopień.

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, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K, (stała Boltzmann), n_0 – pewna stała, $e = 2,718 \dots$ – podstawa logarytmu naturalnego.

Uwaga:

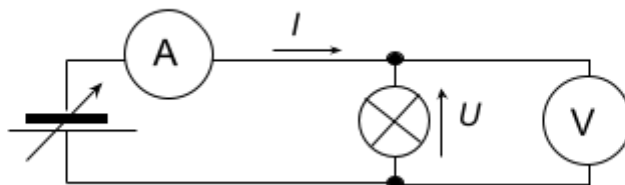
- a) W celu uniknięcia efektów elektrostatycznych mogących zakłócić pomiary, szklaną bańkę żarówki należy owinać folią aluminiową. Folia powinna być połączona elektrycznie z końcówką jednego z włókien.
- b) Miernik uniwersalny, który może być używany jako woltomierz i amperomierz prądu stałego ma obudowę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

Rozwiązanie zadania D - LVI OF, III stopień.**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:

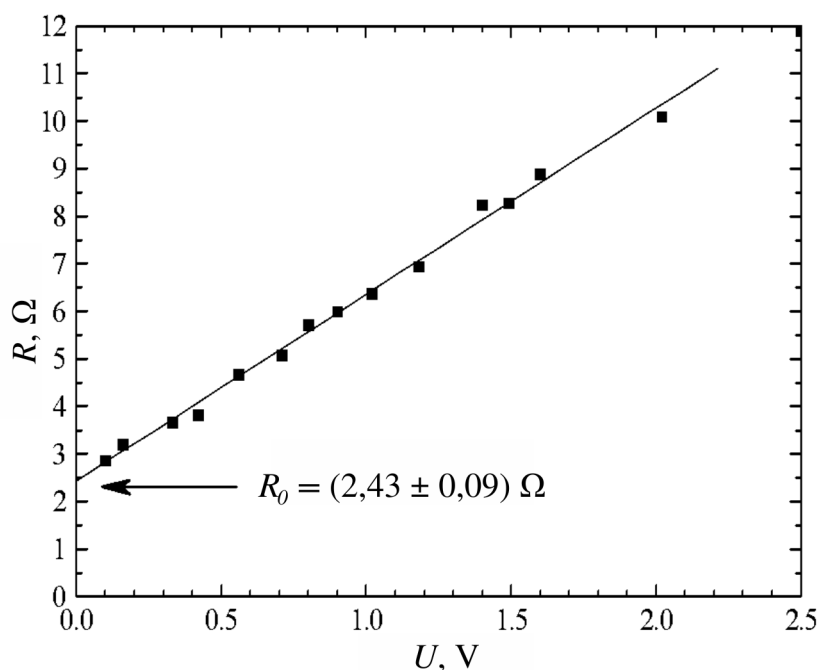
$$T(R) = \frac{\left(\frac{R}{R_0} - 1\right)}{\alpha_R} + T_0. \quad (3)$$

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 zmieni znacząco prądu płynącego przez żarówkę.



Rysunek 1: Schemat układu do pomiaru oporu.

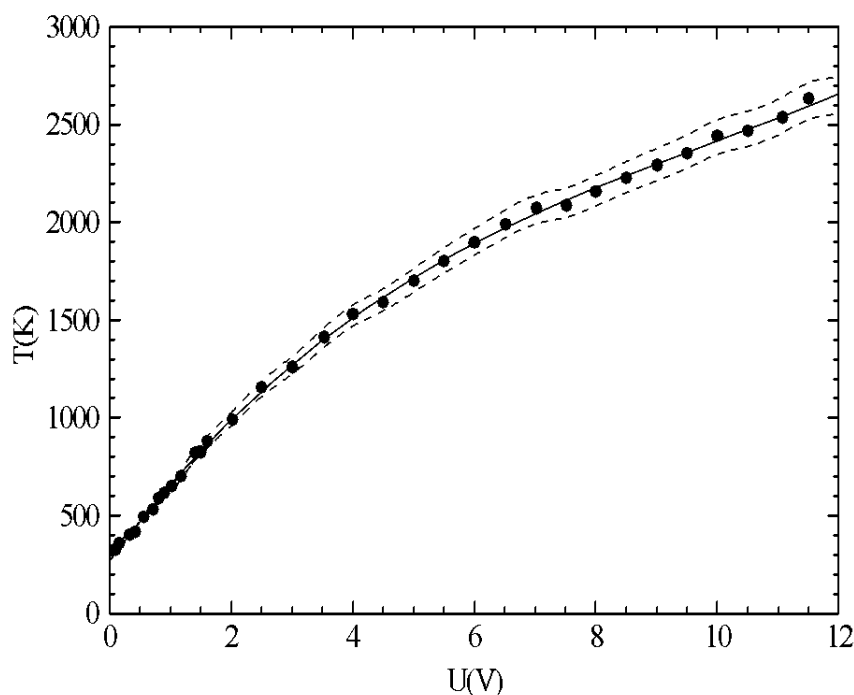
Regulując napięcie dostarczane przez zasilacz, mierzymy natężenie prądu I płynącego w obwodzie oraz odpowiadające mu napięcie U na żarówce. Ponieważ przepływ prądu powoduje ogrzewanie włókna żarówki, to pomiary należy wykonywać powoli, tak żeby uzyskane wartości prądu i napięcia odpowiadały warunkom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



Rysunek 2: Wykres zależności oporu włókna od przyłożonego do niej napięcia.

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).



Rysunek 3: Wykres zależności temperatury włókna od napięcia.

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) przyjętym w treści zadania:

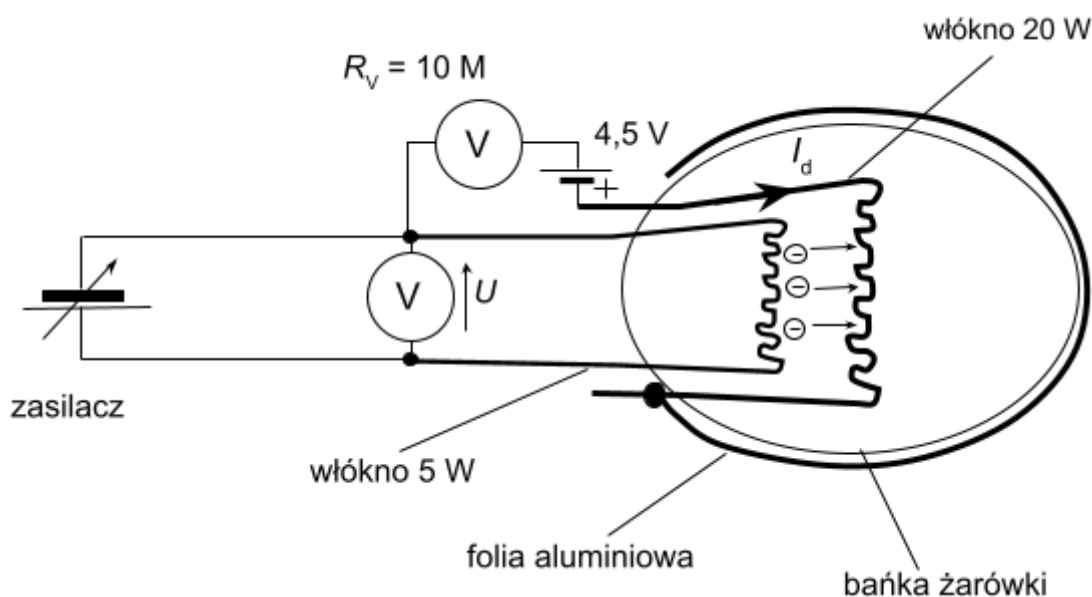
$$I_d = I_0 e^{-\frac{W}{kT}}, \quad (4)$$

gdzie I_0 - pewna stała. Logarytmując obie strony wzoru (4), otrzymujemy zależność:

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

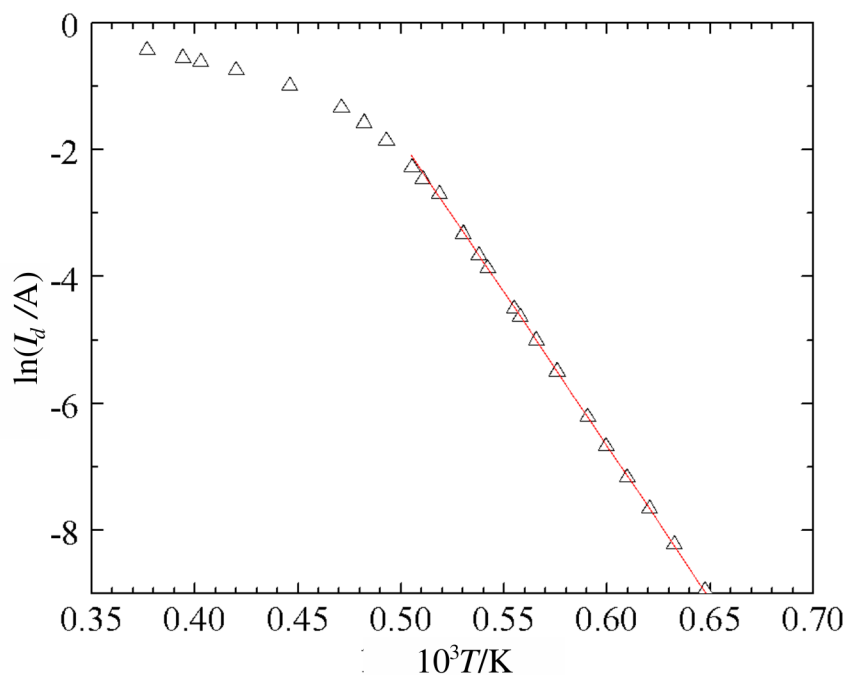
Tak więc, w zakresie temperatur włókna $T < 2000$ K, zależność logarytmu wartości prądu płynącego pomiędzy włóknami powinna być liniową funkcją odwrotności temperatury. Żeby wyznaczyć pracę wyjścia wolframu W , wystarczy wykonać pomiary natężenia prądu płynącego pomiędzy włóknami dla różnych temperatur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

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 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 $I_d (\mu\text{A}) = \frac{U_d}{R_V} = 0,1U_d (\text{V})$. Zatem napięciu 1 V odpowiadać będzie prąd równy $0,1\ \mu\text{A}$. Temperaturę włókna można określić, korzystając z wykresu wykonanego w pierwszej części zadania, mierząc napięcie zasilania włókna przy użyciu drugiego woltomierza.



Rysunek 4: Schemat układu do pomiarów natężenia prądu płynącego pomiędzy włóknami.

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



Rysunek 5: Wykres zależności logarytmu naturalnego natężenia prądu płynącego pomiędzy włóknami od odwrotności temperatury włókna.

Z rys. 5 wynika, że dla temperatur włókna niższych od 2000 K (co odpowiada wartości $10^3 T/K > 0,5$), logarytm naturalny 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 $(4,3 \pm 0,2) \text{ eV}$). Uzyskany wynik pozostaje w bardzo dobrej zgodności z wartością tablicową dla pracy wyjścia dla wolframu wynoszącą 4,55 eV.

Punktacja

Rozpoznanie włókien 5 W /20 W.	1 pkt
Układ pomiarowy umożliwiający wykonanie pomiarów oporu włókna.	1 pkt
Wykonanie pomiarów oporu włókna dla napięć w zakresie 0 V –12 V	3 pkt
Wyznaczenie oporu R_0 (wykonanie pomiarów dla małych napięć na włóknie, wykonanie wykresu, ekstrapolacja).	3 pkt
Wykonanie wykresu zależności temperatury włókna od napięcia.	2 pkt
Układ pomiarowy umożliwiający pomiar prądu termoemisyjnego (w tym użycie woltomierza do pomiaru prądu oraz pomiar napięcia na ogrzewanym włóknie)	4 pkt
Wykonanie pomiarów w szerokim zakresie temperatur włókna	2 pkt
Wyznaczenie pracy wyjścia (wykonanie wykresu zależności prądu termoemisyjnego od temperatury, dopasowanie prostej, wartość, oszacowanie niepewności pomiarowej)	4 pkt