

LVI Olimpiada Fizyczna Zawody III stopnia

ZADANIE DOŚWIADCZALNE „Praca wyjścia wolframu”

Masz do dyspozycji:

- żarówkę samochodową 12V z dwoma włóknami wolframowymi o mocy nominalnej 5 W oraz 20W, 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÷12V,
- 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 5W od przyłożonego do niego napięcia w zakresie 0÷12V. 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.

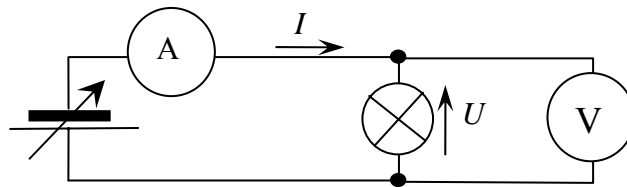
Rozwiązanie

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:

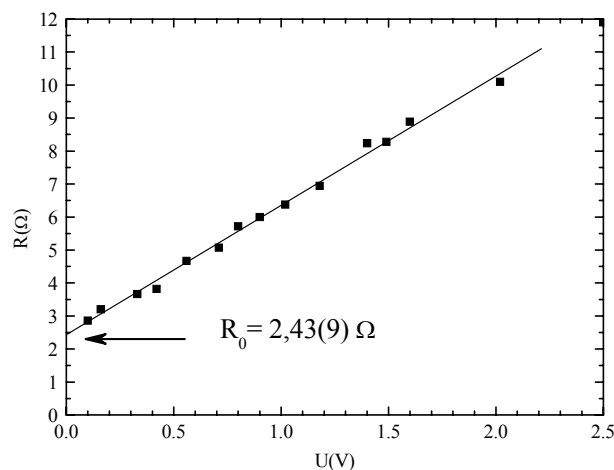
$$T(K) = (R/R_0 - 1)/\alpha_R + T_0. \quad (3)$$

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 zmieni 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.

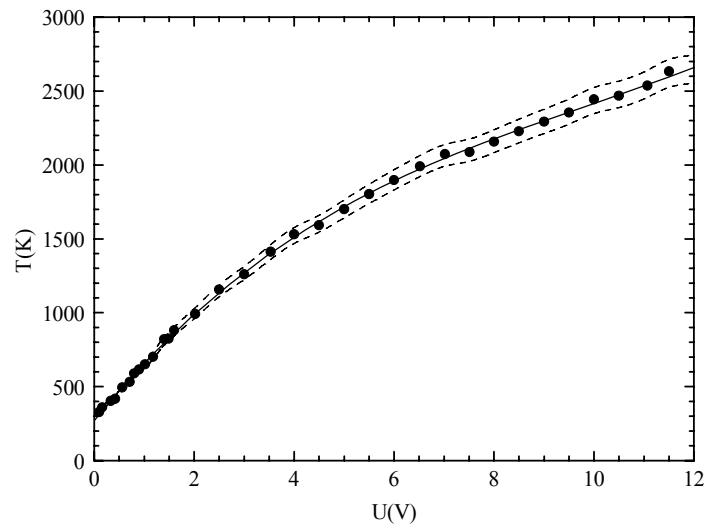


Rys. 2

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) przyjętym w treści zadania:

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

gdzie I_0 – pewna stała.

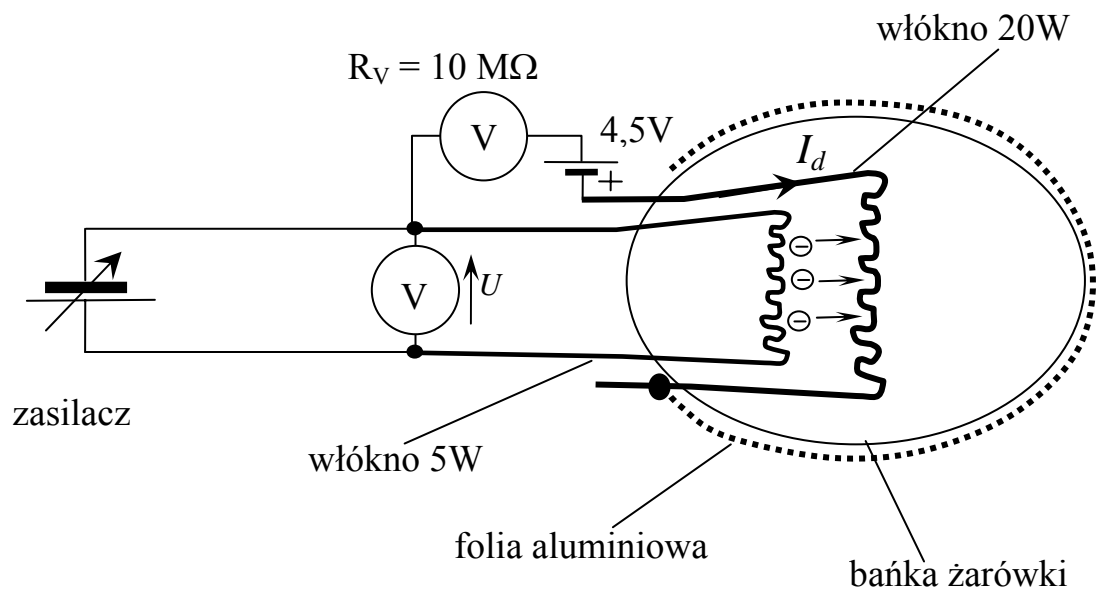
Logarytmując obie strony wzoru (4) otrzymujemy zależność:

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

Tak więc, w zakresie temperatur włókna $T < 2000\text{K}$, 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 5W. 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 $\beta = -W/k$.

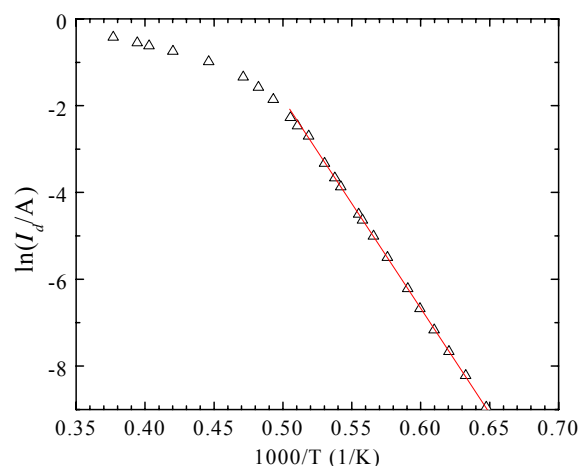
Odpowiednie pomiary można przeprowadzić w układzie przedstawionym na rys. 4. Do jednej z końcówek włókna o mocy 20W podłączono dodatni biegun baterii 9V, a drugi

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