

LVI OLIMPIADA FIZYCZNA (2006/2007). Etap I część 2, zadanie doświadczalne – D.

Źródło: Andrzej Wysmołek - plik

Autor: Andrzej Wysmołek, KG OF

Nazwa zadania: Moc żarówki (Stłuczona żarówka).

Działy:

Słowa kluczowe: moc, żarówka, temperatura włókna żarówki

Zadanie doświadczalne – D2, zawody I stopnia części 2, LVI OF.

Masz do dyspozycji:

- żarówkę o napięciu znamionowym $6\div 6,3$ V i prądzie znamionowym z zakresu $0,2\div 0,3$ A,
- woltomierz napięcia stałego,
- amperomierz prądu stałego,
- zasilacz napięcia stałego regulowany w zakresie $0\div 4$ V lub bateria 4,5 V z opornikiem o regulowanej oporności,
- przewody elektryczne, zaciski itp. elementy umożliwiające zestawienie obwodu elektrycznego,
- papier milimetryowy.

- 1) Wyznacz zależność mocy P_0 pobieranej przez żarówkę od temperatury włókna żarówki. Odpowiednie pomiary wykonaj dla natężenia prądu nieprzekraczającego 60% prądu znamionowego.
- 2) Zachowując ostrożność stłucz bańkę żarówki nie naruszając włókna. Najlepiej zrobić to używając imadła. Ze względów bezpieczeństwa żarówkę należy wcześniej owinąć np. kawałkiem papieru lub folii plastikowej. Następnie, wyznacz zależność mocy P pobieranej przez włókno od jego temperatury. Odpowiednie pomiary wykonaj dla natężenia prądu nieprzekraczającego 60% prądu znamionowego.
- 3) Korzystając z uzyskanych danych eksperymentalnych, wyznacz zależność stosunku mocy P/P_0 od temperatury włókna żarówki. Wyjaśnij dlaczego P różni się od P_0 .

Przyjmij, że opór włókna żarówki R jest liniową funkcją temperatury:

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

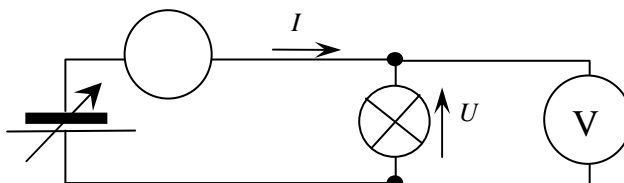
gdzie T – bezwzględna temperatura włókna, natomiast R_0 – opór włókna w temperaturze pokojowej T_0 . Przyjmij $\alpha_R = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, $T_0 = 295 \text{ K}$.

Rozwiązanie**Część teoretyczna**

Wszystkie polecenia w zadaniu dotyczą wyznaczania zależności pewnych wielkości elektrycznych (mocy, stosunku mocy) od temperatury włókna żarówki. Informację o temperaturze T włókna można uzyskać mierząc jego opór R . Przekształcając wzór podany w treści zadania otrzymujemy związek:

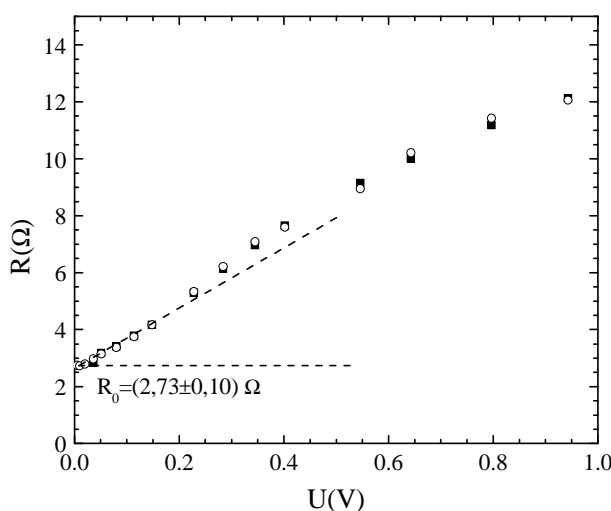
$$T(K) = (R/R_0 - 1)/\alpha_R + T_0 . \quad (1)$$

Wynika z niego, że temperatura włókna jest liniową funkcją jego oporu. Żeby skorzystać ze związku (1) trzeba jednak znać opór włókna w temperaturze pokojowej T_0 . Opór żarówki można zmierzyć 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 można uznać, że natężenie prądu płynącego przez woltomierz jest znikome w porównaniu z prądem płynącym przez żarówkę. Można więc uznać, że dołączenie woltomierza do układu nie zmieni prądu płynącego przez żarówkę. Taki układ nazywa się często „układem poprawnie mierzonego napięcia”.



Rys. 1

Regulując napięcie podawane przez zasilacz mierzymy natężenie prądu I w obwodzie i 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. żeby temperatura włókna była ustalona). Wyniki takich pomiarów pozwalają na wyznaczenie zależności oporu żarówki $R = U/I$ od przyłożonego do niej napięcia (rys. 2). 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 dokładność przyrządów osiągnięcie takiej sytuacji może być trudne. Dlatego rozsądne wydaje się wyznaczenie oporu R_0 poprzez ekstrapolację zależności $R(U)$ dla U dążących do zera. W przypadku eksperymentów przeprowadzonych dla dwóch żarówek o identycznych parametrach znamionowych uzyskano w ten sposób wartość $R_0 = (2,73 \pm 0,10) \Omega$.

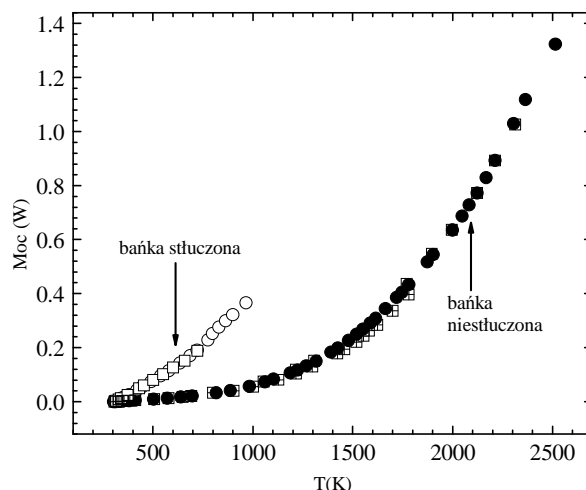


Rys. 2

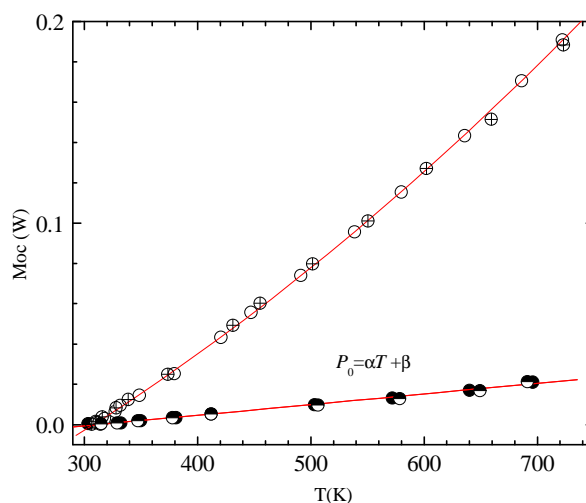
Zatem, mierząc wartość natężenia prądu płynącego przez żarówkę oraz wartość napięcia, na jej włóknie można wyznaczyć zarówno temperaturę jej włókna jak też pobieraną przez

żarówkę moc. Pozwala to porównać moc pobieraną przez żarówkę przed i po stłuczeniu bańki. Wyniki takich pomiarów przeprowadzonych w szerokim zakresie temperatur przedstawiono na rys. 3 dla dwóch żarówek o napięciu znamionowym 6,3 V i prądzie znamionowym 0,2 A. Jak widać różnice pomiędzy uzyskanymi charakterystykami są niewielkie.

Na rys. 4 porównano moce pobierane w dwóch sytuacjach przez dwie żarówki o identycznych parametrach znamionowych dla temperatur włókien poniżej 750 K.



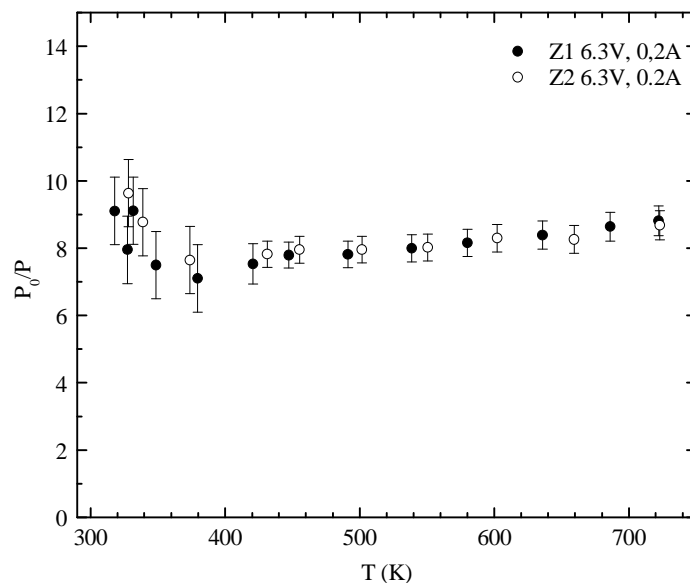
Rys. 3



Rys. 4

W celu wyznaczenia zależności stosunku mocy P/P_0 od temperatury, należy podzielić przez siebie wartości mocy pobieranej przez żarówkę dla danej temperatury włókna. Z rys. 4 wynika, że temperatury, dla których określono moc pobieraną przez żarówkę z zamkniętą i otwartą bańką, w większości, nie pokrywają się. Można jednak zauważyć, że dla temperatur nieprzekraczających 750 K (odpowiada to prądom nieprzekraczającym 150 mA, czyli 60% prądu znamionowego), zależność mocy pobieranej przez żarówki z zamkniętą bańką od temperatury jest liniowa. Zatem do tych danych eksperymentalnych można dopasować prostą $P_0(T) = \alpha T + \beta$. W wyniku dopasowania do danych eksperymentalnych przedstawionych na rys. 4, uzyskano $\alpha = 5,28 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} \text{ W/K}$ oraz $\beta = -0,016 \text{ W}$. Po podzieleniu mocy $P(T)$ uzyskanych dla żarówki z otwartą bańką, przez moc $P_0(T)$ wynikającą z dopasowania, dla dwóch

żarówek o takich samych parametrach znamionowych, uzyskano rezultat przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5

Jeśli pominąć obszar najniższych temperatur, to dla badanych żarówek, stosunek mocy $P(T)/P_0(T)$ nie zależy znacząco od temperatury. Moc wydzielana przez żarówkę ze sztuczonym włóknem jest ok. 8 razy większa od mocy wydzielanej przez włókno zamknięte w bańce. Taki wynik oznacza, że w przypadku żarówki ze sztuczona bańką efektywność wymiany ciepła przez przewodnictwo i konwekcję jest znacznie efektywniejsza niż w przypadku bańki zamkniętej. Eksperymenty przeprowadzone na różnych żarówkach pokazały, że może on wahać się w szerokich granicach od 2 do 8. Dla żarówek próżniowych stosunek P/P_0 jest znacznie większy niż dla żarówek wypełnionych gazem obojętnym. W przypadku tych ostatnich straty energii dostarczanej do włókna są określone głównie przez przewodnictwo cieplne wypełniającego je gazu – azot ma większe przewodnictwo niż argon. Argon z kolei lepiej przewodzi ciepło niż krypton, używany w tzw. żarówkach o podwyższonej jasności.

Proponowana punktacja

1. Wyznaczenie oporu R_0 (wzór (1), dobór układu pomiarowego, wykonanie pomiarów umożliwiających wyznaczenie R_0 , sporządzenie wykresu, ekstrapolacja). do 5 pkt.
2. Wyznaczenie zależności mocy pobieranej przez żarówkę od temperatury (wykonanie pomiarów, poprawne obliczenia, naniesienie na wykres wartości mocy). do 5 pkt.
3. Wyznaczenie zależności mocy pobieranej przez żarówkę ze sztuczona bańką od temperatury (pomiar, obliczenia, naniesienie na wykres wartości mocy) do 5 pkt.
4. stosunku mocy P/P_0 (skorzystanie z dopasowania prostej lub interpolacji, wykonanie wykresu). do 3 pkt.
5. Wyjaśnienie wzrostu mocy pobieranej przez nieosłonięte włókno. do 2 pkt.