

XLI OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP III

Zadania doświadczalne

ZADANIE D1

Nazwa zadania: „Temperatura włókna”

Wyznacz:

- temperaturę włókna żarówki, gdy moc wydzielana w niej równa jest jej mocy nominalnej oraz
- stosunek R_{nom}/R_0 , gdzie R_{nom} jest oporem włókna żarówki przy nominalnej wartości mocy, a R_0 jest oporem w temperaturze pokojowej.

Masz do dyspozycji następujące przyrządy:

- 2 żarówki 12 V 5 W,
- przewody elektryczne, krokodylki,
- wielozakresowy woltomierz prądu stałego,
- wielozakresowy amperomierz prądu stałego,
- regulowany zasilacz prądu stałego (napięcia od 0 do 50 V, maksymalny prąd 1 A),
- opornik 1 k Ω ($\pm 10\%$),
- papier milimetrowy.

Omów poczynione założenia. Wskaż istotne źródła błędów i przedyskutuj ich wpływ na otrzymane wyniki.

Wskazówki:

- przyjmij, że włókno żarówki zrobione jest z jednorodnego drutu wolframowego o temperaturze topnienia 3680 K i traktuj je jako ciało doskonale szare czyli takie którego zdolność absorpcyjna ma wartość stałą, mniejszą od jedności, niezależną od długości fali światła padającego i temperatury.
- Nie obawiaj się przepalenia żarówki.

Uwaga!

Źródło napięcia można podłączyć po uprzednim sprawdzeniu obwodu przez asystenta.

ROZWIĄZANIE ZADANIA D1

Idea rozwiązania opiera się na wykorzystaniu wskazówki dotyczącej potraktowania włókna żarówki jako ciała doskonale szarego. Dyssypacja energii z włókna takiej żarówki zachodzi na drodze promienistej. W realnej sytuacji, szczególnie w niższych temperaturach (rzędu kilkudziesięciu do kilkuset stopni Celsjusza), obserwuje się transport ciepła poprzez doprowadzenia elektryczne włókna żarówki. Doświadczenie pokazuje, że już w temperaturze 1000 K można zaniedbać efekty przewodnictwa cieplnego przez doprowadzenia elektryczne żarówki i rozważyć jedynie rozpraszanie energii na drodze promienistej. Ciało doskonale szare o temperaturze T (w skali bezwzględnej) wypromieniowuje moc, która zgodnie z prawem Stefana-Boltzmana proporcjonalna jest do T^4 . Moc wypromieniowana P równa jest:

$$P = \sigma'(T^4 - T_0^4), \quad (1)$$

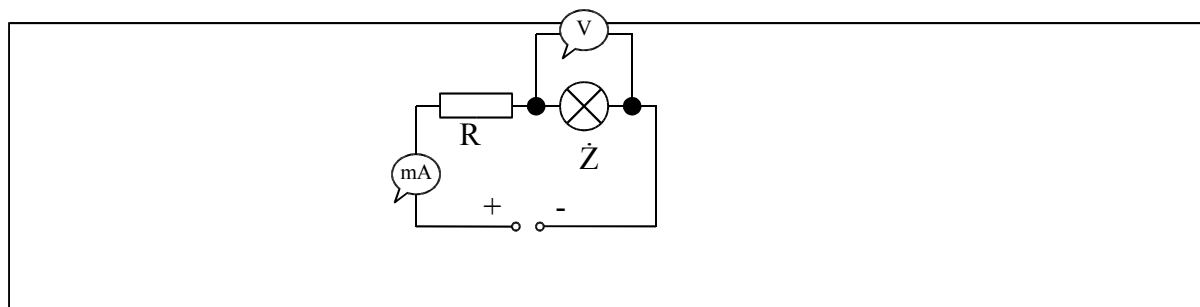
Gdzie σ' jest pewną efektywną stałą Stefana Boltzmana, a T_0 jest temperaturą otoczenia. Dla wysokich temperatur można pominąć składnik T_0^4 . Zakładając, że całość mocy elektrycznej P doprowadzonej do włókna żarówki ($P=UI$, gdzie U - napięcie na żarówce, a I to płynący przez nią prąd) jest rozpraszana na drodze promienistej otrzymujemy związek:

$$T \sim \sqrt[4]{UI}. \quad (2)$$

Wykorzystując sugestie ze wskazówki nr 2, żeby nie obawiać się przepalenia żarówki należy doprowadzić do tego notując moc P' przy której to następuje. Zakładając, że żarówka przepala się gdy włókno osiągnie temperaturę topnienia wolframu można przyporządkować $T=3680$ K mocy, przy której następuje przepalenie, a następnie poprzez prostą proporcję obliczyć temperaturę włókna T_{nom} gdy moc wydzielana w nim jest równa mocy nominalnej $P_{nom}=5$ W.

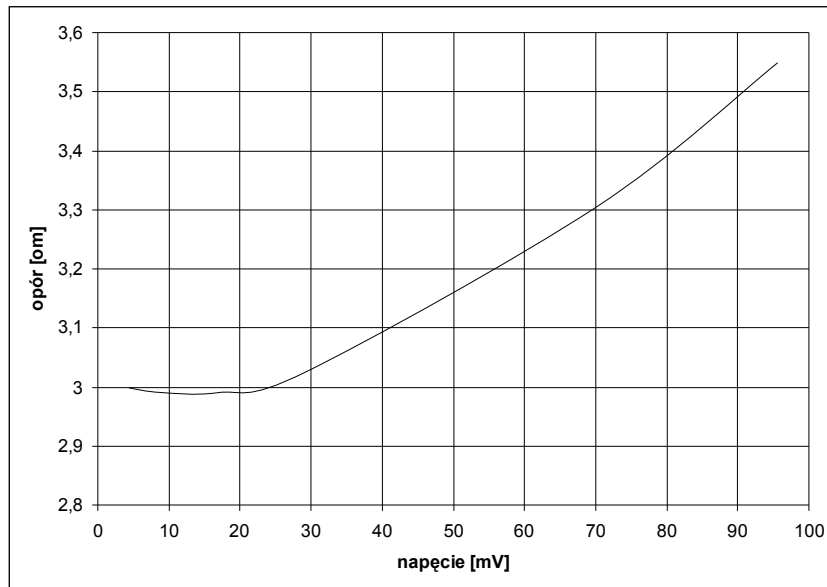
$$T_{nom} = 3680 \sqrt[4]{(P_{nom} / P')}.$$

Oporność włókna żarówki w warunkach gdy zasilana jest mocą nominalną wyliczamy z prawa Ohma dzieląc napięcie U przez prąd I płynący przez włókno. Doświadczenie sprowadza się do pomiaru charakterystyki prądowo – napięciowej włókna żarówki. Należy szczególnie dokładnie zmierzyć ją w zakresie najniższych napięć aby móc ekstrapolować oporność włókna dla napięcia równego 0 V. Już dla napięcia na włóknie żarówki rzędu kilkunastu do kilkudziesięciu mV zaczyna się ono grzać co manifestuje się znacznym wzrostem jego oporu. Do pomiarów w tym zakresie napięć należy zestawić obwód pokazany na ryc. 4.



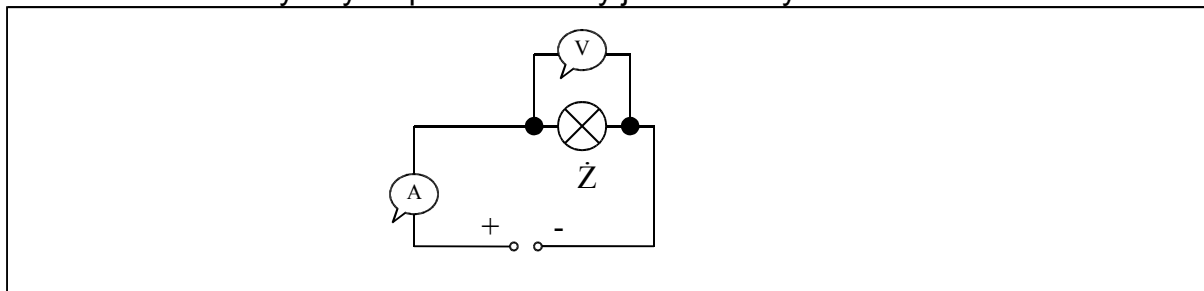
Ryc.4. Obwód elektryczny do pomiaru charakterystyki prądowo – napięciowej w zakresie najniższych napięć przykładanych do włókna żarówki.

Opornik $R=1$ k Ω służy do ograniczenia prądu płynącego przez włókno, a przez to samo pomiar prądu przy minimalnym napięciu na włóknie. Zasilacze umożliwiały ustawienie minimalnego napięcia, które było co najmniej kilkanaście razy większe niż to, przy którym następuje widoczne grzanie się włókna żarówki. Stąd konieczność wstawienia dodatkowego opornika. Pomiary napięcia przeprowadzonego woltomierzem cyfrowym o oporze wewnętrznym rzędu M Ω i zakresie umożliwiającym odczyt napięcia z dokładnością do setnych mV. Zależność oporności włókna żarówki z partii żarówek ukrytej w finale dla najmniejszych napięć przedstawiona jest na ryc. 5.



Ryc. 5. Zależność oporności włókna żarówki (z partii żarówek użytej w finale) jako funkcja przyłożonego napięcia. R_0 jest opornością żarówki w temperaturze pokojowej.

Drugim krokiem eksperymentalnym powinno być zestawienie układu do pomiaru charakterystyki prądowo – napięciowej dla napięć bliskich napięciu znamionowemu i wyższych: przedstawiony jest on na ryc. 6.



Ryc. 6. Układ do pomiaru charakterystyki prądowo – napięciowej dla wyższych napięć

Pomiary dla napięć bliskich znamionowemu powinny być przeprowadzone dla wielu bliskich napięć tak aby można było z interpolacji odczytać wartość U oraz I , dla którego $P=P_{nom}$. Wygodnie jest użyć skali proporcjonalnej do

$$\sqrt[4]{UI}$$

na osi odciętych i proporcjonalnej do UI na osi rzędnych. Punkty doświadczalne układają się wtedy na prostej. Wytłumaczenie tego faktu jest proste: opór w tym zakresie temperatur jest liniową funkcją temperatury.

Ostatnim etapem doświadczenia jest pomiar charakterystyki $U-I$ dla napięć bliskich napięciu przepalającemu włókno żarówki, tak aby można było określić moc wydzielaną we włóknie w momencie przepalenia. Należy unikać długotrwałych pomiarów przy tych napięciach, gdyż włókno wtedy intensywnie paruje i przepalenie żarówki może zajść przy niższej temperaturze wskutek wyparowania włókna. Doświadczenie manifestuje się to spadkiem płynącego prądu mimo zwiększania napięcia. Jest to wynik gwałtownego wzrostu oporności włókna wskutek

zmniejszenia się jego przekroju poprzecznego. Optymalnie jest więc przeprowadzić pomiary stosunkowo szybko.

W doświadczeniu użyto żarówki samochodowej 12 V 5 W używane do oświetlania wnętrza samochodu (podłużny kształt z włóknem prostoliniowym rozciągniętym między doprowadzeniami elektrycznymi z obu stron podłużnej bańki szklanej). W celu badania wspomnianych charakterystyk użyto zasilacza prądu stałego regulowanego w zakresie od 0 do 50 V. Prąd mierzono multimetrem analogowym V640, zaś napięcie wielozakresowym woltomierzem cyfrowym. Napięcie przepalające żarówkę było równe około 40 V i wystarczyło je wyznaczyć z dokładnością ok. 0,5 v. Moc przy której następuje przepalenie włókna wahała się w granicach 25-30 W (w zależności od szybkości przepalania i egzemplarza żarówki, choć w rozwiązaniach olimpijskich był też wartości 12-14 W). Wyliczona stąd temperatura prac włókna żarówki była równa około 2400 K. Co ciekawe moc nominalną osiągało się przy zasilaniu żarówki napięciem bliskim 13 V (zamiast nominalnym 12 v). Oporność włókna w temperaturze otoczenia ekstrapolowana do napięć bliskich zeru była równa ok. 3W i można ją było wyznaczyć z dokładnością do drugiego miejsca po przecinku. Szukany stosunek R_{nom}/R_0 wahał się w granicach 10 – 12. Tablicowa wartość równa jest 12,8.

Trudności eksperymentalne polegają na :

- Pomiarach stosunkowo dużych prądów i uniezależnieniu się od spadków napięć na przewodach . Przewody pomiarowe napięć na żarówce powinny być poprowadzone bezpośrednio od żarówki do woltomierza.
- Przełamaniu bariery psychicznej polegającej na tym, że celu wyskalowaniu skali bezwzględnej temperatury należy doprowadzić do przepalenia żarówki, zakładając iż wtedy włókno posiada temperaturę topnienia.
- Umiejętności zestawienia układu do pomiarów charakterystyk prądowo – napięciowych i obchodzenia się z mirnikami prądu stałego.

Źródło:
Zadanie pochodzi z czasopisma „Fizyka w Szkole” 91/92 r.

Komitet Główny Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szc.pl