

XLII OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP III

Zadanie doświadczalne

ZADANIE D1

Nazwa zadania:

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

Wskazówki:

1. Przyjmij, że włókno żarówki zrobione jest z jednorodnego drutu wolframowego o temperaturze topnienia 3680 K i traktuj je jak ciało doskonale szare czyli takie, którego zdolność absorpcyjna ma wartość stałą, mniejszą od jedności, niezależną od długości fali światła padającego i temperatury.
2. 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. Dysypacja 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 ciepła przez doprowadzenia elektryczne żarówki i rozważać wyłącznie 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:

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

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:

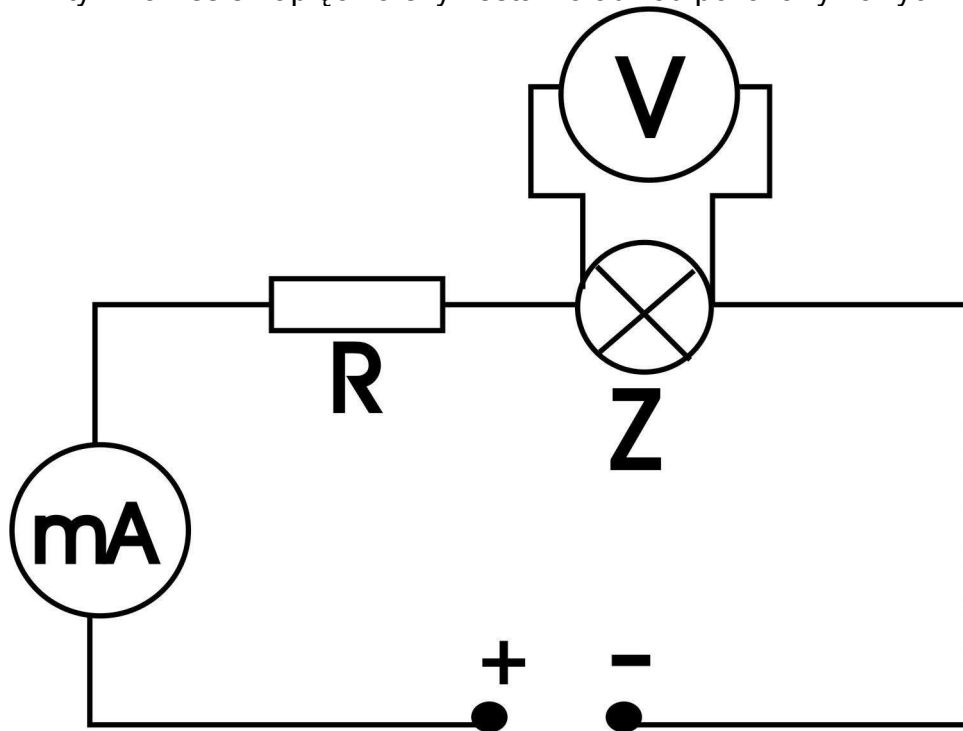
$$T \sim \sqrt[4]{UI}$$

Wykorzystując sugestię 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 temperaturę $T = 3680$ K mocy, przy której następuje przepalenie, a następnie poprzez prostą proporcję obliczyć temperaturę włókna T_{nom} gdy moc wydzielana w nim równa jest mocy nominalnej $P_{\text{nom}} = 5$ W

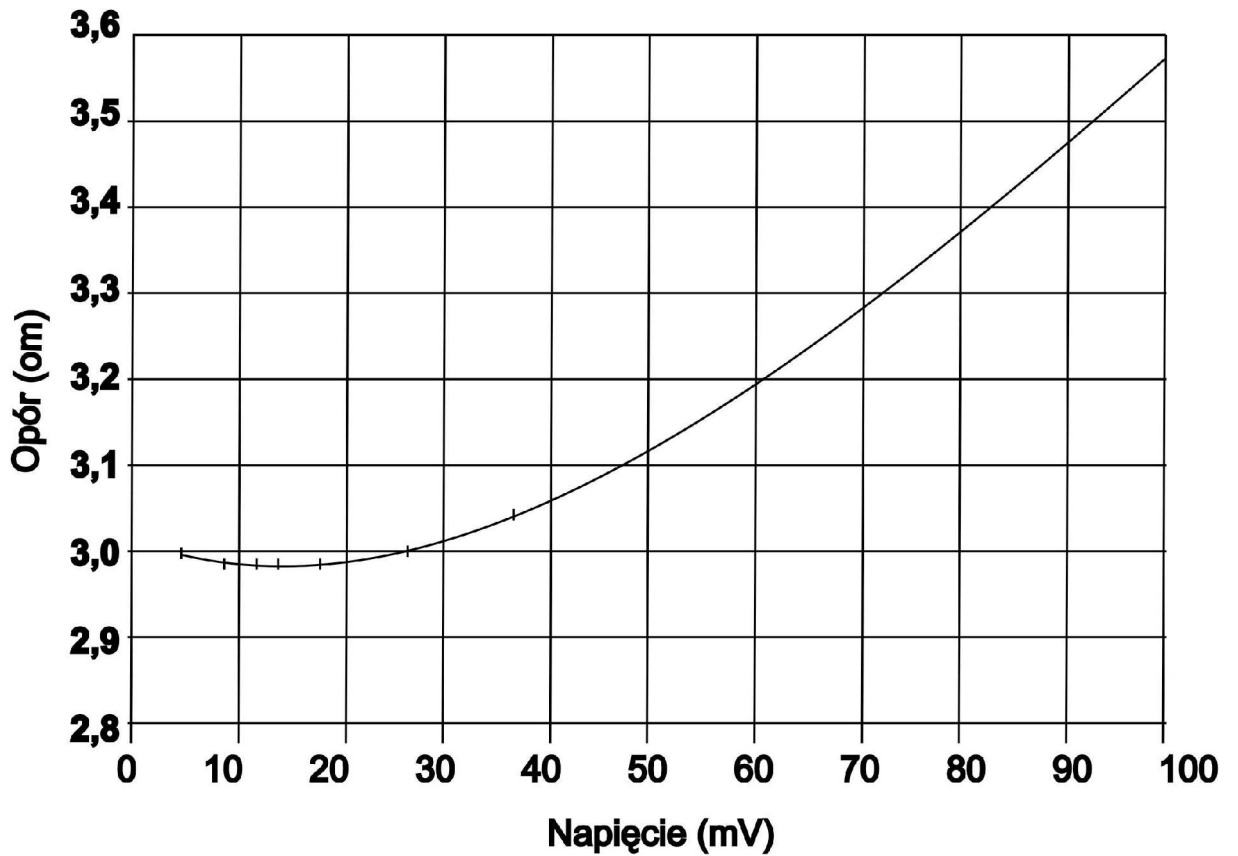
$$T_{nom} = 3680 \cdot \sqrt[4]{P_{nom} / P}$$

Oporność włókna żarówki w warunkach, gdy zasilana jest mocą nominalną wyliczamy z prawa Ohma dzieląc napięcie U przez prąd I płynący przez włókno.

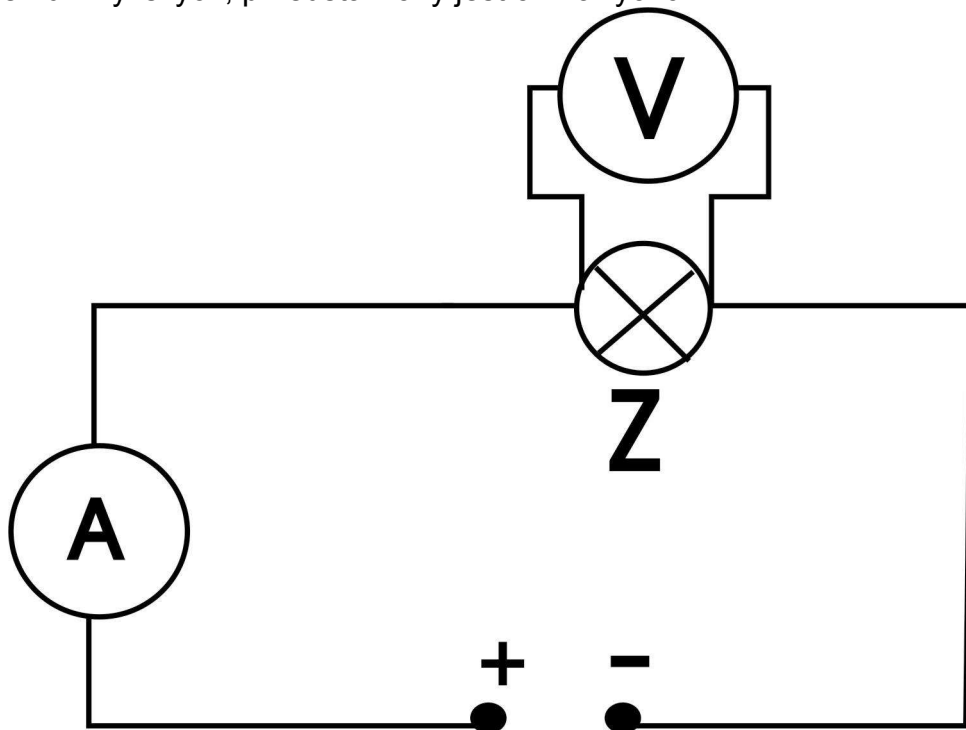
Doświadczenie sprowadza się do pomiaru charakterystyki prądowo – napięciowej włókna żarówki. Należy szczególnie dokładnie zmierzyć ją w zakresie najniższych napięć, aby móc ekstrapolować oporność włókna dla napięcia równego 0 V. Już dla napięcia na włóknie żarówki rzędu kilkunastu do kilkudziesięciu 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.



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



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.



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 $P = p_{\text{nom}}$. Wygodnie jest użyć skali proporcjonalnej do $\sqrt[4]{UI}$ na osi odciętych i proporcjonalnej do U/I na osi rzędnych. Punkty doświadczalne układają się wtedy na prostej. Wytlumaczenie 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. Doświadczalnie manifestuje się to spadkiem płynącego prądu mimo zwiększania napięcia. Jest to wynik gwałtownego wzrostu oporności włókna wskutek zmniejszania się jego przekroju poprzecznego. Optymalnie więc jest przeprowadzić pomiary stosunkowo szybko.

W doświadczeniu użyto żarówki samochodowej 12 V 5 W używanej do oświetlenia wnętrza samochodu (podłużny kształt z włóknom prostoliniowym rozciągniętym między doprowadzeniami elektrycznymi z obu stron podłużnej bańki szklanej). W celu zbadania 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 do 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 były też wartości 12 – 14 W). Wyliczona stąd temperatura pracy włókna żarówki była równa około 2400 K.. Co ciekawe moc nominalną osiągało się przy zasilaniu żarówki napięciem bliskim 13 V (zamiast nominalnych 12 V). Oporność włókna w temperaturze otoczenia ekstrapolowana do napięć bliskich zeru była równa ok. 3 Ω 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.

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Druk OF”

Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szcz.pl