

XXXIX OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP III

Zadanie doświadczalne

ZADANIE D1

Nazwa zadania: „Wyznaczanie sprawności żarówki”

Mając do dyspozycji:

1. żarówkę na niskie napięcie (do 24 V) o mocy 20 W-50 W (np. odpowiednią żarówkę samochodową) z dodatkowymi przewodami,
2. odpowiedni zasilacz, transformator lub akumulator umożliwiający zasilanie żarówki napięciem nominalnym,
3. termometr laboratoryjny lub fotograficzny,
4. zegarek,
5. słoik lub zlewkę (o średnicy około 2 cm większej niż średnica żarówki) oraz menzurkę z wodą,
6. czarną farbę plakatową (akwarelę, tusz lub inną farbę rozpuszczalną w wodzie),
7. statyw,
8. amperomierz,
9. woltomierz

wyznacz sprawność żarówki dla promieniowania emitowanego w całym zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni, przepuszczanym przez warstwę wody o grubości rzędu 1 cm . Omów zjawiska wpływające na dokładność pomiaru.

1. Sprawność żarówki w danym zakresie widma jest to stosunek energii wypromieniowanej w tym zakresie widma do energii dostarczonej.
2. Ze względów bezpieczeństwa nie należy stosować napięć wyższych niż 24 V (absolutnie nie można stosować żarówek na 220 V!). Źródło napięcia musi być odizolowane od sieci (można stosować np. transformator, ale nie można stosować autotransformatora).
3. Nie wkładać rozgrzanej żarówki do wody ze względu na jej możliwość pęknięcia!!!

ROZWIĄZANIE ZADANIA D1

W celu wyznaczenia sprawności η musimy znać energię E_e (lub moc M_e) emitowaną przez żarówkę w określonym przedziale widmowym oraz moc wydzielaną w żarówce M_w :

$$\eta = \frac{M_e}{M_w}$$

O ile M_w łatwo określić na podstawie pomiaru napięcia i natężenia prądu (przyrządami dostępnymi w pracowni szkolnej) a w ostateczności można przyjąć moc nominalną żarówki, to wyznaczenie M_e nie jest trywialne i na tym polega główna trudności zadania.

Wielkość tę możemy wyznaczyć zanurzając żarówkę w wodzie (tak, aby całe światło wchodziło do wody, ale aby cokolwiek pozostawał suchy) i mierząc przyrost temperatury wody po określonym czasie w dwóch przypadkach:

- a) wody czystej
- b) wody zaczernionej.

W przypadku a) interesujące nas promieniowanie wychodzi przez warstwę wody na zewnątrz (pochłanianie w szkłe można zaniedbać w stosunku do pochłaniania w wodzie). W przypadku b) całość emitowanego przez żarówkę promieniowania zostaje pochłonięta. Moc przekazywana wodzie przez żarówkę drogą niepromienistą jest w obu przypadkach taka sama. Oznaczając przez t czas świecenia żarówki, a przez ΔT_a oraz ΔT_b przyrost temperatury wody – odpowiednio czystej (a) i zabarwionej (b), ponadto przez m - masę wody i c - ciepło właściwe wody, mamy:

$$M_c = \frac{E_b - E_a}{t} = \frac{mc}{t} (\Delta T_b - \Delta T_a).$$

E_b i E_a oznaczają tu wartości energii, jaka dostarczona została wodzie odpowiednio w przypadku b) i a).

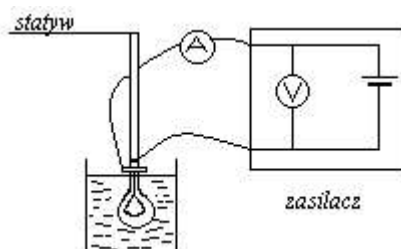
Ostatecznie wyznaczamy sprawność jako:

$$\eta = \frac{M_c}{M_w} = \frac{mc}{M_w} (\Delta T_b - \Delta T_a). \quad (1)$$

Doświadczenie wykonano stosując żarówkę od reflektora samochodowego – włókna światła drogowych (12 V, 45 W). Do środkowej - niewykorzystanej końcówki przymocowano pręt z plexiglasu, który został zamocowany w statywie, do pozostałych końcówek były przylutowane przewody. Do zasilania żarówki użyto zasilacza stabilizowanego wyposażonego w miernik napięcia; natężenie prądu żarówki było zmierzone amperomierzem (klasy 0,5).

Woda (wodociągowa) w ilości 250 cm³ była nalana do słoiczka po dżemie o pojemności ok. 0,3 dm³. W obu wersjach doświadczenia (a) i (b) (woda czysta i zaczerniona) początkowa temperatura wody T_1 była zbliżona - nieco niższa od temperatury pokojowej $T_p = 22,3$ °C; podczas pomiaru termometrem laboratoryjnym (o podziałce 0,1 K) mieszano wodę.

Układ doświadczalny przedstawia ryc.1. Szczególną uwagę zwracano na powtarzalność



ryc.1.

ustawienia żarówki względem wody w wersji a) i b). Cała bańka żarówki była praktycznie zanurzona. Cokol znajdował się tuż nad powierzchnią wody. W wersji a) i b) żarówka była włączona na taki sam czas $t = 300$ s (włączenie następowało po umieszczeniu żarówki w wodzie). Po wyłączeniu żarówki była ona wyjmowana ze słoika, po czym następował pomiar temperatury wody (T_2) po starannym mieszaniu, gdyż początkowy rozkład temperatury był silnie niejednorodny. Uzyskane wyniki:

$mc = 1040$ J/K,	$U_{zar} = 12$ V,	$I_{zar} = 3,75$ A.	
$T_{b1} = 20,6$ °C	$t = 300$ s,	$M_w = 45$ W	
$T_{a1} = 20,1$ °C	$T_{b2} = 28,9$ °C	$\Delta T_b = 8,3$ K	
	$T_{a2} = 27,1$ °C	$\Delta T_a = 7,0$ K	

Sprawność obliczona na podstawie wyprowadzonego wzoru (1) wynosi $\eta=10\%$. Interesujące, że czarna woda pochłonięta ok. 64% energii wydzielonej w

żarówce, pozostałe 36% energii zostało przekazane głównie powietrzu przez cokol żarówki.

Uwaga: W obliczeniach zaniedbano pojemność cieplną słoiczka jako małą w porównaniu z pojemnością cieplną wody. Również zaniedbano wymianę ciepła między wodą a otoczeniem podczas świecenia żarówki i pomiaru temperatury, co jest uzasadnione niewielką różnicą temperatur między wodą a otoczeniem (woda o temp. 27 °C stygła w tempie 0,06 K/min - znacznie niższym od szybkości grzania przez żarówkę).

Dokładna analiza błędów byłaby bardzo trudna i dlatego ją w zadaniu pominięto.

Dyskusja

Woda przepuszcza światło widzialne praktycznie w 100%. W podczerwieni przepuszczalność wody maleje: 1cm wody przepuszcza:

ok. 70% dla $\lambda = 1 \mu\text{m}$,

ok. 30% dla $\lambda = 1,15 \mu\text{m}$,

ok. 1% dla $\lambda = 1,4 \mu\text{m}$.

Orientacyjnie można przyjąć, że wyznaczona w doświadczeniu sprawność dotyczy promieniowania o długości fali poniżej ok.1 μm (promieniowanie nadfioletowe praktycznie się tu nie liczy - tak mały jest jego udział w promieniowaniu żarówki).

W widmie promieniowania ciała doskonale czarnego o temp. 2450 K (jako włókno żarówki) energia promieniowania dla $\lambda < 1 \mu\text{m}$ stanowi mniej niż 50% całkowitej energii promieniowania. Z kolei energia promieniowania widzialnego ($0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,7 \mu\text{m}$) jest kilkakrotnie mniejsza od energii promieniowania dla $\lambda < 1 \mu\text{m}$.

Uzyskana wartość sprawności 10% jest więc całkiem sensowna i konsystentna z podawaną w literaturze wartością sprawności dla światła widzialnego 2 – 3%.

Punktacja: w materiale źródłowym nie było podanej punktacji za to zadanie.

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Druk OF”

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