

XXXVIII OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP I

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 zlewka (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 wypromieniowywanej w tym zakresie widma do energii dostarczanej.
- 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 możliwość jej 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 trudność 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 szkło 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, c ciepło właściwe wody, mamy

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

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

Ostatecznie wyznaczamy sprawność jako

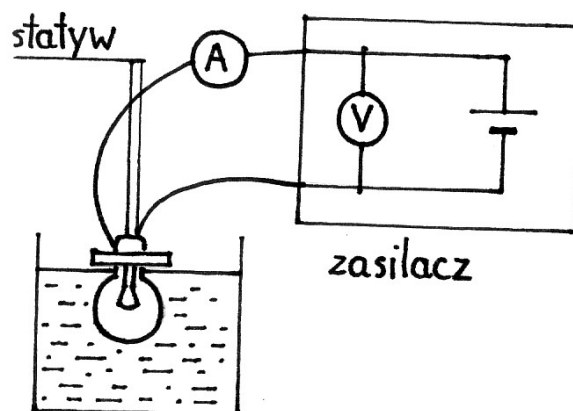
$$\eta = \frac{M_e}{M_w} = \frac{mc}{M_w t} (\Delta T_b - \Delta T_a). \quad (1)$$

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 mierzone 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 oraz 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 ustawienia żarówki względem wody w wersji a i b.



Ryc. 1.

Cała bańka żarówki była praktycznie zanurzona. Cokół 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:

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

Sprawność obliczona na podstawie wzoru (1) wynosi $\eta = 10\%$. Interesujące, że czarna woda pochłonęła ok. 64% energii wydzielonej w żarówce, pozostałe 36% energii zostało przekazane głównie powietrzu przez cokół 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 $0,06 \text{ K/min}$ – 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: 1 cm wody przepuszcza:

- ok. 70% dla $\lambda = 1 \text{ } \mu\text{m}$,
- ok. 30% dla $\lambda = 1,15 \text{ } \mu\text{m}$,
- ok. 1% dla $\lambda = 1,4 \text{ } \mu\text{m}$.

Orientacyjnie można przyjąć, że wyznaczona w doświadczeniu sprawność dotyczy promieniowania o długości fali poniżej ok. $1 \text{ } \mu\text{m}$ (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 (jak włókno żarówki) energia promieniowania dla $\lambda < 1 \text{ } \mu\text{m}$ stanowi mniej niż 50% całkowitej energii promieniowania. Z kolei energia promieniowania widzialnego ($0,4 \text{ } \mu\text{m} < \lambda < 0,7 \text{ } \mu\text{m}$) jest kilkakrotnie mniejsza od energii promieniowania dla $\lambda < 1 \text{ } \mu\text{m}$.

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

Punktacja:

W dostępnym źródle nie ma informacji o punktacji.

Źródło:
Zadanie pochodzi z czasopisma „Fizyka w Szkole” marzec-kwiecień 1989

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