

Zadanie D2

Sprawnością żarówki nazywamy stosunek mocy światła emitowanego w zakresie widzialnym $P_{\text{św}}$ do mocy elektrycznej P_{el} pobieranej przez żarówkę — $\eta = P_{\text{św}}/P_{\text{el}}$.

Masz do dyspozycji:

- „zwykłą” żarówkę do latarki oraz żarówkę o podwyższonej jasności, np. kryptonową lub halogenową, o identycznych napięciach znamionowych,
- dwa oporniki o regulowanym oporze oraz baterie umożliwiające zasilenie żarówek napięciem znamionowym,
- woltomierz,
- dwa amperomierze,
- linijkę lub taśmę mierniczą,
- biały papier,
- cienki pręt (np. kredkę lub ołówek), który można ustawić w pozycji pionowej,
- dwa statywy,
- oprawki na żarówki, zaciski i przewody elektryczne, taśmę klejącą itp. elementy umożliwiające zestawienie układu doświadczalnego.

Wyznacz stosunek sprawności żarówki „zwykłej” i żarówki o podwyższonej jasności, przy zasilaniu ich napięciem znamionowym. Przyjmij, że obie żarówki mają taki sam rozkład widmowy promieniowania w obszarze widzialnym.

Uwaga!

1. Do doświadczenia postaraj się użyć żarówek bez wbudowanych soczewek. Jeśli miałbyś kłopoty z ich zakupem i miałbyś do dyspozycji tylko żarówki z wbudowanymi soczewkami, to w doświadczeniu badaj światło, które nie przechodzi przez soczewki.
2. Zamiast baterii i oporników możesz użyć zasilacza.

Rozwiązanie D2

Wyznaczenie stosunku sprawności żarówek polega na porównaniu mocy światła emitowanego przez żarówki oraz mocy elektrycznej pobieranej przez żarówki:

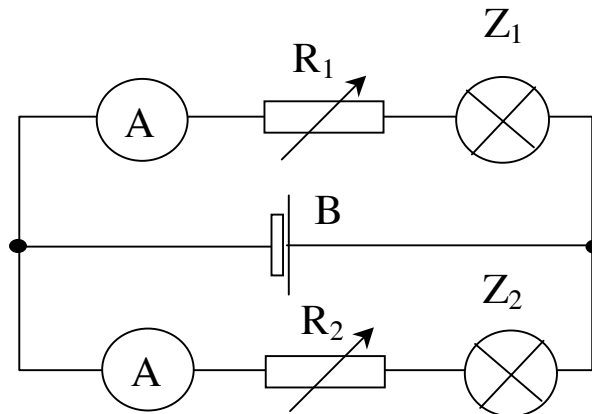
$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{P_{\text{św1}}}{P_{\text{św2}}} \cdot \frac{P_{\text{el2}}}{P_{\text{el1}}}, \quad (1)$$

gdzie $P_{\text{św1}}$, $P_{\text{św2}}$ oznaczają moc światła widzialnego emitowanego przez żarówki, natomiast P_{el1} , P_{el2} oznaczają moc elektryczną pobieraną, odpowiednio przez zwykłą żarówkę i żarówkę o podwyższonej jasności.

Jeśli żarówki zasilane będą takim samym napięciem, to do wyznaczenia stosunku mocy elektrycznej żarówek wystarczy zmierzyć płynące przez nie prądy:

$$\frac{P_{\text{el2}}}{P_{\text{el1}}} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2)$$

Mając do dyspozycji baterie o napięciu wyższym niż napięcie znamionowe żarówek, odpowiednie pomiary można wykonać w układzie, którego schemat elektryczny przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1

W układzie tym żarówki podłączone są do tego samego źródła napięcia, który stanowią np. połączone równolegle baterie 4,5 V. Odpowiednio dobierając opory R_1 oraz R_2 można doprowadzić do sytuacji, w której na zaciskach żarówek uzyska się napięcie znamionowe (mierzymy je woltomierzem).

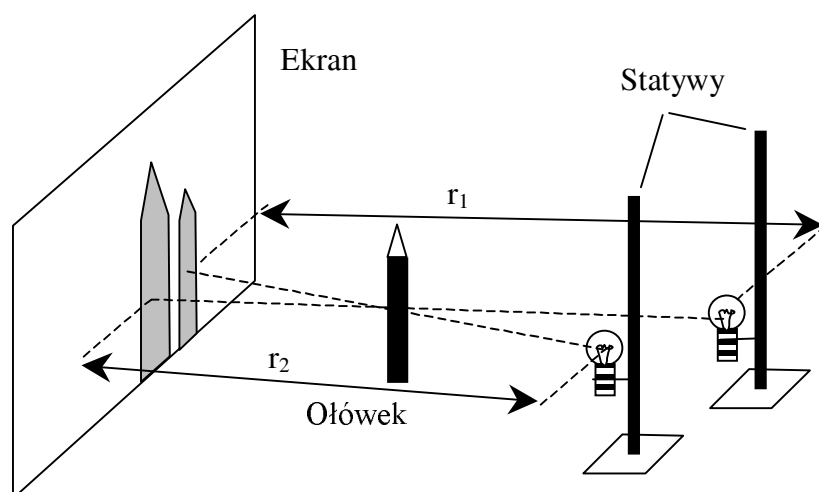
W celu wyznaczenia stosunku mocy światła emitowanego przez żarówki można porównać jasność cieni ołówka ustawionego przed ekranem.

Zmieniając odległości żarówek od ekranu można doprowadzić do sytuacji, w której jasności obu cieni są takie same. Jeśli odległości pomiędzy ołówkiem a żarówkami będą odpowiednio duże, to żarówki można traktować jako źródła punktowe. Wtedy można przyjąć, że natężenie światła docierającego do ekranu jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości żarówki od ekranu i spełniony jest związek:

$$\frac{P_{\text{św1}}}{P_{\text{św2}}} = \frac{r_1^2}{r_2^2}, \quad (3)$$

gdzie r_1 i r_2 - odległości od ekranu, odpowiednio pierwszej i drugiej żarówki. Po podstawieniu wyrażeń (2) oraz (3) do wzoru (1) dostajemy ostatecznie:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdot \frac{I_2}{I_1}. \quad (4)$$



Rys. 2

Wykonanie doświadczenia

Do żarówek podłączamy (np. lutujemy) dostatecznie długie przewody, które umożliwią zmianę położenia żarówek przed ekranem. Żarówki przyklejamy do statywów taśmą klejącą na jednakowej wysokości (mniejszej niż długość ołówka) w taki sposób, aby osie żarówek były pionowe. Jest to ważne, w sytuacji, gdy dysponujemy żarówkami z wbudowaną soczewką, która istotnie zmienia kątowy rozkład natężenia światła emitowanego w kierunku osi żarówki, natomiast nie zmienia rozkładu natężenia światła w kierunku poprzecznym. Należy też zadbać o to, żeby włókna żarówek ustawione były równoległe do ekranu. Ekran może stanowić kartka białego papieru przyklejona na ścianie. Przed kartką ustawiamy pionowo ołówek, którego cień będziemy obserwować. Zmieniając odległość obu żarówek od ekranu wyznaczamy pary odległości (r_1 , r_2), dla których cienie są jednakowo jasne (szare). Zadanie to jest dość trudne ze względu na istotnie różne barwy cieni wynikające z różnych temperatur włókien obu żarówek, tym niemniej po kilku próbach, z dokładnością ok. 5% udaje się ustalić odległości, przy których jasności cieni są zbliżone. Wykonujemy szereg pomiarów dla różnych odległości żarówek od ekranu i nanosimy je na wykres. Na osi pionowej odkładamy wartość r_1^2 , a na poziomej wartość r_2^2 , dla których jasności obu cieni są równe (rys. 3). Zgodnie ze wzorem (3)

$$r_1^2 = \frac{P_{\text{św1}}}{P_{\text{św2}}} r_2^2, \quad (4)$$

co można przedstawić w postaci:

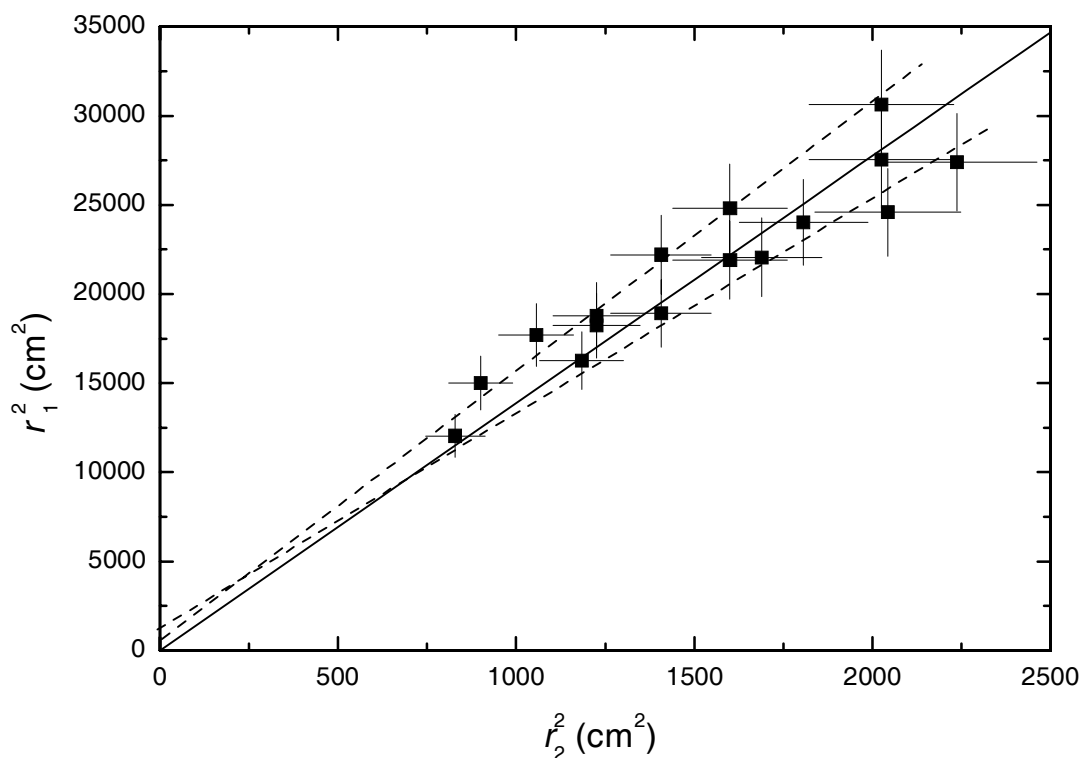
$$r_1^2 = a r_2^2, \quad (5)$$

gdzie $a = \frac{P_{\text{św1}}}{P_{\text{św2}}}$.

Wyniki pomiarów wraz z dopasowaną prostą przedstawia rys. 3. Indeks „1” odnosi się do żarówki o podwyższonej sprawności, a „2” do zwykłej żarówki.

Z dopasowania uzyskano wartość $a = 14 \pm 3$. Biorąc pod uwagę, że natężenia prądu płynącego przez żarówkę o podwyższonej jasności oraz przez żarówkę zwykłą wynosiły odpowiednio $I_1 = (0,77 \pm 0,01)$ oraz $I_2 = (0,28 \pm 0,01)$ ze wzoru (1) uzyskano wartość stosunku sprawności

żarówek $\frac{\eta_1}{\eta_2} = 5 \pm 1$



Rys. 3

Wynik ten jest obarczony błędem systematycznym wynikającym z różnej barwy światła emitowanego przez żarówki. W połączeniu z zależnością czułości ludzkiego oka od długości fali światła sprawia to, że natężenia światła docierającego do ekranu mogą być różne, mimo że obserwator stwierdza, że są jednakowe. Ważne jest również, aby ostateczne pomiary wykonać używając nowych baterii, na tyle szybko, aby ich nie rozładować.

Proponowana punktacja

Część teoretyczna

- 1) Pomysł porównania jasności cieni na ekranie do 5 pkt.
- 2) Wyrażenie stosunku sprawności żarówek przez stosunek mocy elektrycznych i odległości żarówek od ekranu (odpowiednie założenia, wyprowadzenie wzorów (1)-(4)) do 5 pkt.

Część doświadczalna

- 1) Zestawienie poprawnego układu eksperymentalnego (układ elektryczny, optyczny, właściwe ustawienie włókien żarówek) do 2 pkt.
- 2) Pomiar prądu płynącego przez żarówki (dla takiego samego napięcia na obu żarówkach) do 1 pkt.
- 3) Wyznaczenie odległości żarówek od ekranu, dla których jasności cieni są zbliżone do 3 pkt.
- 4) Wykonanie wykresu i dopasowanie prostej do zależności r_1^2 od r_2^2 do 2 pkt.
- 5) Uzyskanie poprawnego wyniku i dyskusja niepewności pomiarowych do 2 pkt.