

LABORATORIUM
OPTYKA GEOMETRYCZNA I FALOWA

Instrukcja do ćwiczenia nr 42

**Temat: Wyznaczanie współczynnika sprawności
światłnej źródła światła**

I. Wymagania do ćwiczenia

1. Wielkości fotometryczne, jednostki.
2. Energia fali elektromagnetycznej, wektor Poyntinga.
3. Moc prądu elektrycznego.

Literatura

Skrypt PRz, Fizyka I pracownia, Rzeszów 2015, str. 165-167, str. 236-250

J. Massalski, M. Massalska - Fizyka dla inżynierów t.1, WNT, W-wa 2012, str 596-598

D. Halliday, R. Resnick - Fizyka t.2, PWN, W-wa 2015

S. Szczeniowski - Fizyka doświadczalna, PWN, W-wa 1980, str. 202-205

II. Wprowadzenie do tematyki ćwiczenia

Współczynnik sprawności świetlnej źródła światła

Sprawnością świetlną źródła jest stosunek strumienia świetlnego (mocy wyjściowej) do mocy zużytej (wejściowej):

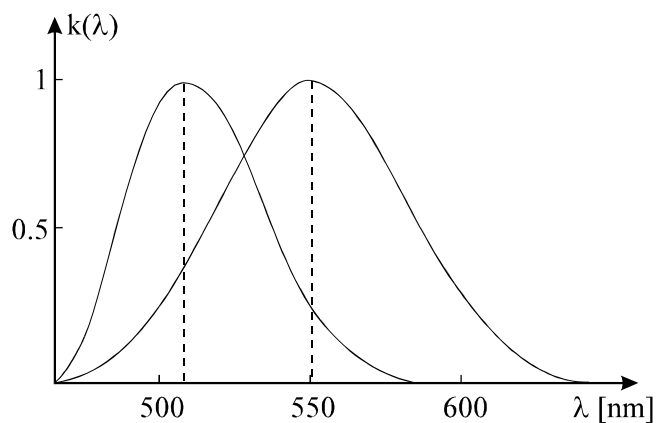
$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (1)$$

Jednostką jest (lm/W).

Definiuje się również sprawność względną $k(\lambda)$, która jest określona wzorem:

$$k(\lambda) = \frac{\eta(\lambda)}{\eta_{\max}} \cdot 100\%$$

Sprawność świetlna $k(\lambda)$ jest funkcją długości fali. Przeciętny przebieg krzywej wrażliwości widmowej oka $k(\lambda)$ przedstawia rys. 1.



Rys. 1.

Maksimum wrażliwości uzyskujemy dla światła o długości fali 555nm, a więc w części żółto-zielonej widma (krzywa I). Tego rodzaju przebieg wrażliwości otrzymujemy dla oka adoptowanego na światło dzienne. Oko adoptowane na ciemność wykazuje nieco inną wrażliwość, maksimum występuje dla $\lambda = 510\text{nm}$ (krzywa II). Jak wiadomo obraz dawany przez układ optyczny oka powstaje na siatkówce, której budowa jest bardzo złożona. Znajdują się w niej zakończenia nerwu wzrokowego, tworzące właściwą, wrażliwą na światło warstwę, znajdującą się w głębi siatkówki. Zakończenia nerwów są w postaci czopków bądź pręcików. Wrażliwość na światło nie jest na całej siatkówce jednakowa. Największa jest tam, gdzie jest największe zagęszczenie czopków (żółta plamka). Pręciki są nawet bardziej wrażliwe na światło niż czopki, nie dają jednak wrażeń barwnych. Dzienna krzywa wrażliwości jest to krzywa

wrażliwości czopków, krzywa nocna charakteryzuje zachowanie się pręcików. Przy czym nie chodzi o wrażenia barwne, ale o wrażliwość na moc światła o określonej długości fali. Maksimum natężenia w widmie światła słonecznego odpowiada długości fali niewiele mniejszej od długości charakteryzującej maksimum wrażliwości oka.

Maksymalnej wrażliwości widmowej oka odpowiada $\eta_{\max} = 680 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$. Odwrotność tego

stosunku jest równa $1,47 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{lm}}$ i charakteryzuje najkorzystniejsze energetyczne warunki oświetleniowe jakie można otrzymać. Opierając się na krzywej wrażliwości oka można budować za pomocą odpowiednich komórek energetycznych i filtrów tzw. obiektywne fotometry oceniające światło podobnie jak przeciętne oko.

Współczynniki sprawności energetycznej źródła

Dla każdego źródła światła możemy określić tzw. współczynnik wydajności energetycznej źródła. Współczynnik ten jest równy ułamkowi całkowitej mocy promieniowania jaki przypada na światło, czyli promieniowanie widzialne. Niech moc promieniowania badanego źródła światła w zakresie długości od λ do $\lambda + d\lambda$ będzie równa $e(\lambda) \cdot d\lambda$. Całkowita moc promieniowania jest równa:

$$E = \int_0^{\infty} e(\lambda) d\lambda$$

gdzie $e(\lambda)$ jest mocą promieniowania przypadającą na mały przedział długości fali $d\lambda$ położony na długości λ .

Moc promieniowania widzialnego jest równa:

$$E' = \int_{0,38\mu\text{m}}^{0,78\mu\text{m}} e(\lambda) d\lambda$$

Współczynnik sprawności energetycznej źródła definiujemy jako

$$\eta_{\text{en}} = \frac{E'}{E} = \frac{\int_{0,38\mu\text{m}}^{0,78\mu\text{m}} e(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} e(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

Oprócz sprawności świetlnej energetycznej należy jeszcze uwzględnić sprawność świetlną wizualną. Różne długości fali promieniowania widzialnego rozmaicie działają na oko. Współczynnikiem sprawności świetlnej wizualnej dla promieniowania nazywamy wyrażenie:

$$\eta_{\text{wiz}} = \frac{\int_{0,38\mu\text{m}}^{0,78\mu\text{m}} k(\lambda) \cdot e(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} e(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (3)$$

Sprawności wizualne źródeł światła przebiegają dość podobnie do sprawności energetycznych w zakresie temperatur od 2000 °C do 10000 °C. Dla temperatur niższych sprawność wizualna bardzo się pogarsza. Sprawności wizualne najlepszych termicznych źródeł światła używanych w praktyce sięgają zaledwie 12%.

Jeżeli badać będziemy za pomocą filtru tylko część strumienia świetlnego $\Delta\phi$, która zawiera się w wąskim zakresie długości fal $\Delta\lambda$, to wyznaczymy nie całkowity współczynnik sprawności świetlnej, lecz tylko jego pewną składową, którą oznaczymy przez $\eta(\Delta\lambda)$.

Ćwiczenie polega na wyznaczeniu współczynnika sprawności świetlnej żarówki, a następnie na zbadaniu w jaki sposób zmienia się jego składowa $\eta(\Delta\lambda)$ dla światła o podanej długości fali w zależności od mocy żarówki.

Wyznaczenie światłości badanego źródła światła

Ze znajomości natężenia jednego ze źródeł światła I_w oraz obydwu odległości r_1 i r_2 wyliczyć można nieznaną wartość natężenia źródła światła I_b .

Zgodnie ze wzorem $E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$, dla $\alpha=0$ otrzymujemy:

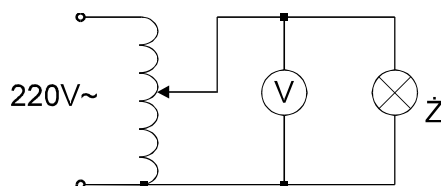
$$E_w = \frac{I_w}{r_1^2} \quad \text{oraz} \quad E_b = \frac{I_b}{r_2^2}$$

Z równości oświetleń $E_w=E_b$ wynika:

$$I_b = I_w \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (4)$$

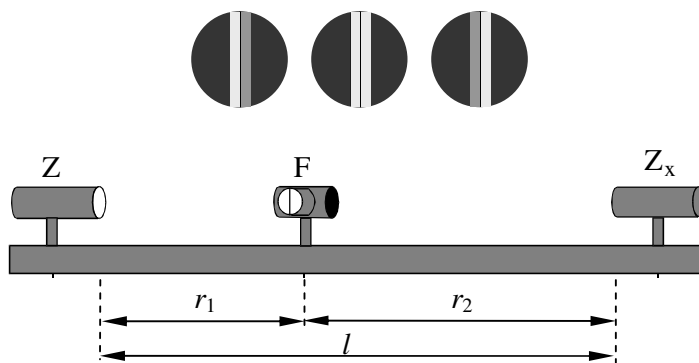
III. Metodologia wykonania pomiarów

1. Połączyć obwód elektryczny według schematu przedstawionego na rysunku.



2. Ustawić na ławie obydwie żarówki (wzorcową i badaną) oraz fotometr. Zmierzyć odległość l między źródłami. Odległość tę mierzymy pomiędzy otworami obu źródeł.
3. W zaciemnionym pomieszczeniu, po przygotowaniu oka do widzenia w ciemności, ustawić fotometr w połowie odległości pomiędzy źródłami światła i tak dobrać napięcie źródła prądu płynącego w obwodzie żarówki badanej, aby stopień szarości obu połówek pola widzenia kostki fotometrycznej był jednakowy. W tych warunkach natężenie światła żarówki badanej I_b oraz strumień od niej pochodzący Φ_b są równe odpowiednio natężeniu światła żarówki wzorcowej I_w i strumieniowi Φ_w . Odczytać wskazanie woltomierza.

Wyniki, czyli napięcie U , odległość fotometru od wzorcowego źródła światła r_1 i odległość fotometru od żarówki badanej r_2 zapisać w tabeli.



4. Posługując się autotransformatorem ustawić napięcie zasilające żarówkę badaną na 100 V. Znaleźć takie położenie fotometru, przy którym oświetlenie pola widzenia obu połówek fotometru będzie jednakowe. Odczytać odległości r_1 i r_2 . Następnie zmieniać napięcie zasilające żarówkę badaną od 100 V do 200 V w odstępach co 10 V i powtarzać pomiary r_1 i r_2 . Wyniki pomiarów zapisać w tabeli.

I_w	l	U	r_1	r_2
[cd]	[cm]	[V]	[cm]	[cm]
19				

5. Zanotować wielkość działki elementarnej na skali woltomierza.

IV. Obliczenia

- Dla każdej wartości napięcia obliczyć światłość badanego źródła światła I_b ze wzoru (4).
- Obliczyć niepewności $u(r)$ i $u(l)$ metodą typu B.
- Obliczyć niepewności $u(I_b)$ metodą przenoszenia niepewności dla każdej wartości napięcia. Jednak ponieważ mierzone wielkości r_1 i r_2 są skorelowane (dodatni błąd popełniony przy danym ustawieniu r_1 fotometru powoduje ujemny błąd dla r_2), do obliczenia pochodnych w niepewności złożonej $u(I_b)$ wykorzystać wzór

$$I_b = I_w \frac{(l - r_1)^2}{r_1^2}$$

zamiast wzoru (4). Oczywiście pomiary wielkości l i r są nieskorelowane.

- Obliczyć wielkość strumienia świetlnego Φ wysyłanego przez badane źródło światła w pełny kąt bryłowy ω ($\Phi = I \cdot \omega$) dla każdej wartości napięcia. Obliczyć $u(\Phi)$ metodą przenoszenia niepewności.
- Znaleźć wartość rezystancji odpowiadających każdej wartości napięcia. Można ją wyznaczyć z wykresu (rys. 2), jednak dokładniej będzie obliczyć ją za pomocą zależności odpowiadającej temu wykresowi

$$R = 1990 + 7.5 \cdot U$$

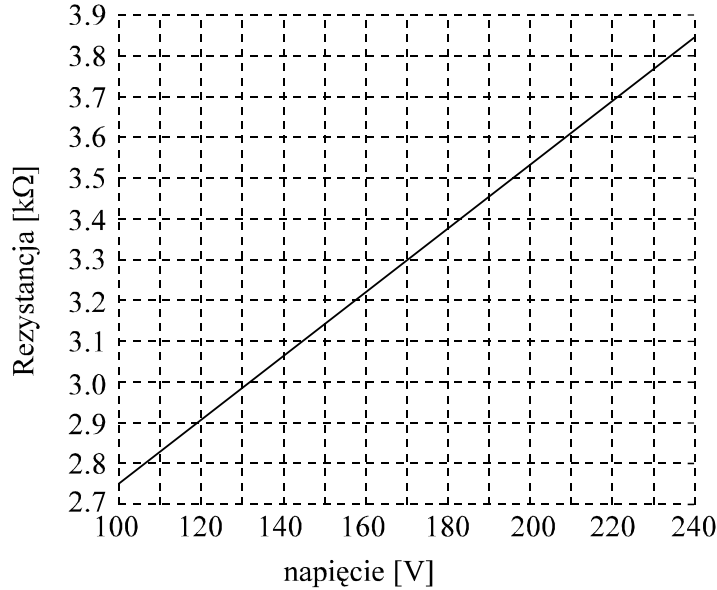
Obliczyć niepewność $u(U)$ metodą typu B oraz niepewności $u(R)$ metodą przenoszenia niepewności dla każdej wartości napięcia.

- Korzystając z zależności $P = \frac{U^2}{R}$ obliczyć moc prądu płynącego przez badaną żarówkę dla każdej wartości napięcia.

Obliczyć niepewności $u(P)$ dla każdej wartości napięcia metodą przenoszenia niepewności dzięki $u(U)$ i $u(R)$.

7. Obliczyć sprawnością świetlną η dla badanej żarówki ze wzoru (1) dla każdej wartości napięcia.

Obliczyć niepewności $u(\eta)$ metodą przenoszenia niepewności.



8. Wyniki obliczeń zapisać w tabeli.

U	$u(U)$	I_b	$u(I_b)$	Φ	$u(\Phi)$	R	$u(R)$	P	$u(P)$	η	$u(\eta)$
[V]	[V]	[cd]	[cd]	[lm]	[lm]	[Ω]	[Ω]	[W]	[W]	[lm/W]	[lm/W]

9. Sporządzić wykresy zależności światłości żarówki i mocy pobieranej przez żarówkę w zależności od przyłożonego napięcia, $I_b(U)$ i $P(U)$.
Sporządzić wykres zależności sprawności świetlnej żarówki od napięcia $\eta(U)$.

Nadobowiązkowo – dokładniejsze obliczenie niepewności $u(P)$ z punktu 7. Błędy pomiarowe napięcia są skorelowane z błędami oporu, bo opór R wyznacza się z napięcia U . Dlatego niepewność $u(P)$ nie można wyznaczyć ze zwykłego prawa przenoszenia niepewności dzięki $u(U)$ i $u(R)$, bezpośrednio bazując na wzorze $P=U^2/R$. Jednak gdy do powyższego wzoru wstawimy zależność oporu od napięcia $R = 1990 + 7.5 \cdot U$ obowiązującą dla badanej żarówki, to tak otrzymany wzór może być podstawą do obliczenia niepewności $u(P)$ z niepewności $u(U)$ zwykłą metodą przenoszenia niepewności. Tak obliczone niepewności $u(P)$ (dla każdego U) zaleca się porównać z tymi wyznaczonymi według punktu 7.