

Wyznaczanie natężenia nieznanego źródła światła za pomocą fotometru

Wymagania do ćwiczenia

1. Wielkości fotometryczne, jednostki.
2. Fotometry - zasada działania.

Literatura

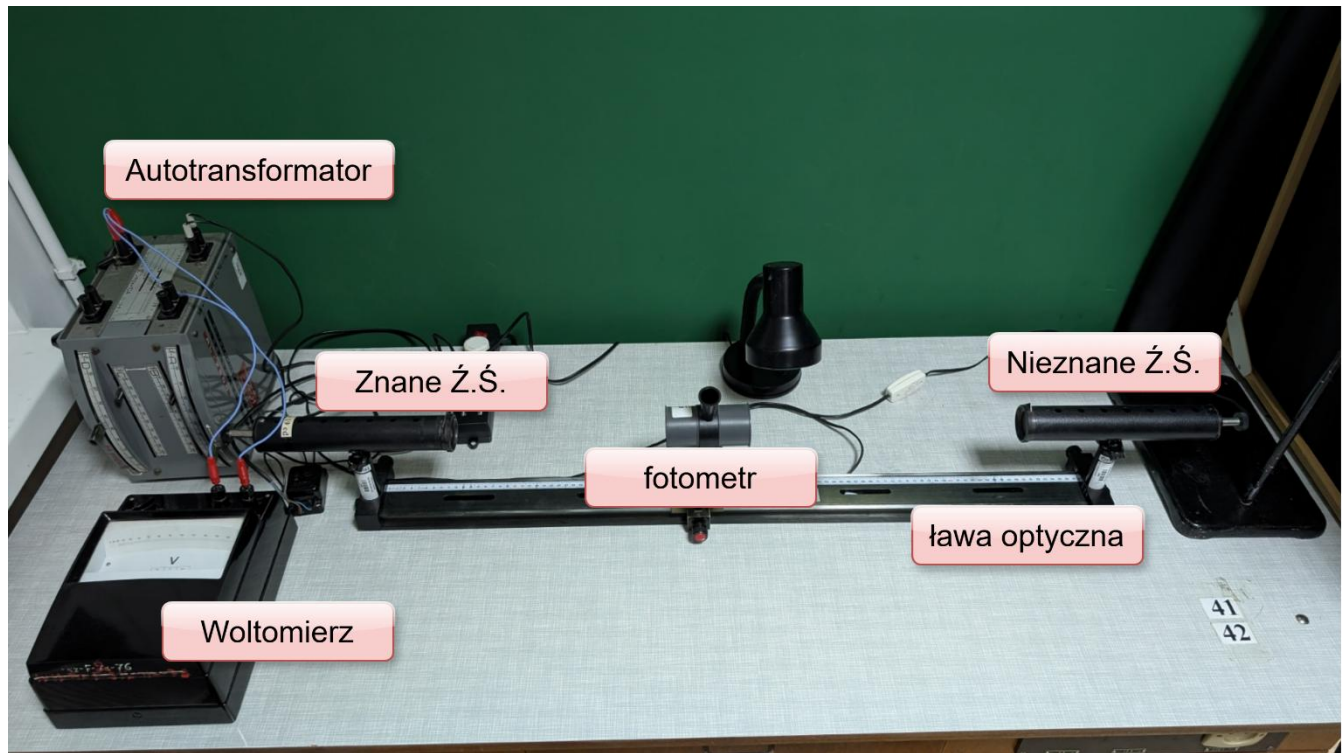
1. J. Massalski, M. Massalska, Fizyka dla inżynierów. t. 1, WNT, Warszawa 1980, str. 596-598,
2. S. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*, PWN, Warszawa 1980, str. 188-197.

Przykładowe pytania

1. Wyjaśnij różnicę pomiędzy pojęciami: natężenie źródła światła a natężenie oświetlenia.
2. Czym jest fotometr? Omów zasadę działania fotometru Bunsena.
3. Omów budowę i zasadę działania współczesnych fotometrów.
4. Wymień i omów jednostki podstawowych wielkości fotometrycznych takich jak: światłość, natężenie oświetlenia, strumień świetlny
5. Jak definiujemy kąt bryłowy?
6. Jak odczytujemy wartości z wielozakresowego miernika wskazówkowego?

Przyrządy pomiarowe / Stanowisko pomiarowe

Woltomierz, fotometr, przymiar milimetrový



WPROWADZENIE DO TEMATYKI ĆWICZENIA



Wielkości fotometryczne, jednostki

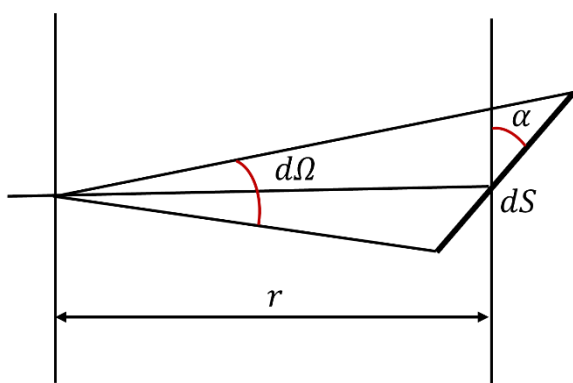
Za podstawowa wielkość w fotometrii przyjmuje się *natężenie źródła światła* I czyli *światłość*. Jednostką *światłości* jest kandela [cd] jako podstawowa jednostka w układzie SI. Kandela jest światłością, którą ma w kierunku prostym pole $1/600\,000$ części metra kwadratowego powierzchni ciała doskonale czarnego, promieniującego w temperaturze krzepnięcia platyny pod ciśnieniem jednej atmosfery.

Strumień światła definiujemy za pomocą następującego rozumowania. Punktowe źródło światła o światłości I wysyła w elementarny (bardzo mały) kąt bryłowy $d\Omega$ *strumień światła* $d\Phi$ równy:

$$d\Phi = I d\Omega. \quad (1)$$

Jeśli światłość punktowego źródła nie zależy od kierunku emisji, to otrzymujemy wartość strumienia wysyłanego naokoło w pełny kąt bryłowy:

$$\Phi = \int_0^{4\pi} I d\Omega = I \int_0^{4\pi} d\Omega = 4\pi I. \quad (2)$$



Jednostką strumienia światła jest lumen [lm], $1\text{lm} = 1\text{cd} \cdot 1\text{sr}$ - jest to wartość strumienia wysyłanego przez źródło punktowe o światłości 1 cd w kąt bryłowy 1 sr. Jednostką kąta bryłowego jest steradian [sr] - jest to kąt bryłowy o wierzchołku w środku kuli, wycinający z jej powierzchni pole równe kwadratowi promienia tej kuli.

Natężenie oświetlenia E definiujemy za pomocą strumienia świetlnego $d\Phi$ padającego na powierzchnię dS i oświetlającego ją, przy czym *natężenie oświetlenia*

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (3)$$

W przypadku punktowego źródła światła: $d\Phi = I d\Omega$, natomiast

$$dS = \frac{r^2 d\Omega}{\cos \alpha} \quad (4)$$

gdzie α – kąt pomiędzy powierzchnią oświetlaną a kątem padania światła (rysunek). Wynika stąd, że:

$$E = \frac{I d\Omega \cos\alpha}{r^2 d\Omega} = \frac{I \cos\alpha}{r^2}, \quad (5)$$

Natężenie oświetlenia dla strumienia światła padającego prostopadle do powierzchni jest maksymalne i wynosi:

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (6)$$

Dla równoległego padania światła ($\alpha = 90^\circ$) oświetlenie powierzchni $E = 0$. Przy ustalonej wartości kąta α oświetlenie maleje z kwadratem odległości od źródła.

Jednostką natężenia oświetlenia jest luks [lx] - strumień świetlny równy 1 lm padając prostopadle na powierzchnię 1 m^2 daje natężenie oświetlenia 1 lx:

Światłość źródła mierzymy porównując ją ze światłością wzorca. Przyrządy służące do porównywania światłości różnych źródeł światła nazywamy *fotometrami*.



Zasada działania fotometru

Zasadę działania fotometru można wyjaśnić w oparciu o najprostszy fotometr Bunsena. Składa się on z białej kartki papieru z tłustą plamą częściowo przepuszczającą światło. Jeśli fotometr oświetlimy z jednej strony, tłusta plama jest ciemna od strony oświetlanej i jaśniejsza od strony przeciwnej. Jeżeli oświetlimy kartkę z obu stron przy pomocy z dwóch niezależnych źródeł o różnych światłościach i odpowiednio dobierzemy odległości źródeł od kartki, możemy doprowadzić do jednakowego oświetlenia obu stron fotometru – wówczas tłusta plama staje się niewidoczna. Spełniony jest warunek:

$$E_1 = E_2$$

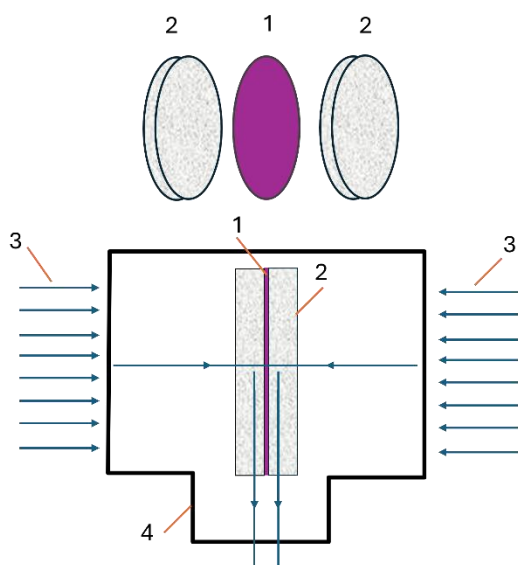
Przy założeniu prostopadłego padania światła, oraz uwzględniając wcześniej podaną zależność pomiędzy natężeniem oświetlenia E a natężeniem źródła światła I , warunek ten można zapisać w postaci:

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}.$$

Przekształcając znajdziemy światłość źródła:

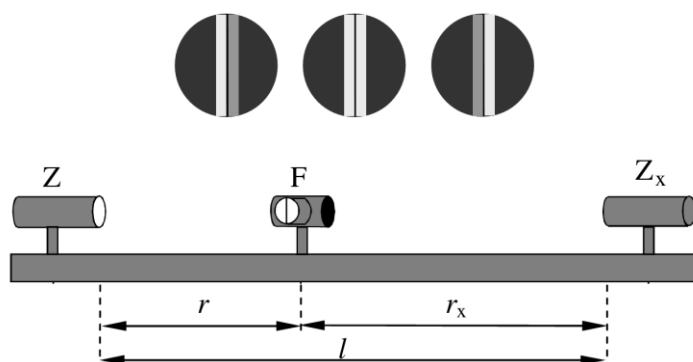
$$I_1 = \frac{r_1^2}{r_2^2} I_2.$$

Znając światłość I_2 oraz mierząc odległość obu źródeł od fotometru wyznaczmy światłość I_1 .



W rzeczywistości od pomiarów światłości używa się fotometrów o bardziej skomplikowanej budowie i większej dokładności. Na rysunku przedstawiono schematycznie budowę takiego fotometru. Pomiędzy dwie warstwy matowego szkła (2) rozpraszającego światło wstawiona jest warstwa odbijająca (1). Tak powstała kostka fotometryczna zamknięta jest w obudowie (4) skonstruowanej w taki sposób, aby światło (3) z obydwu stron padało na fotometr. Wizualnie, patrząc z boku, możemy wówczas porównać oświetlenia obu połówek kostki fotometrycznej.

Ustawiając w odpowiednich odległościach od fotometru F dwa źródła światła (Z i Z_x), z których natężenie jednego jest nieznane, doprowadzamy do zrównania natężenia oświetlenia obydwu części pola widzenia, co pokazano na poniższym rysunku. U góry rysunku przedstawiony jest widok dwóch zespolonych ze sobą warstw matowego szkła w trzech położeniach fotometru. Widać, że jeżeli fotometr znajduje się zbyt blisko źródła światła Z , to lewa warstwa szklana jest wizualnie jaśniejsza niż prawa.



Jeśli fotometr znajduje się w odpowiednich odległościach r i r_x od obu źródeł światła, to natężenia oświetlenia obu połówek fotometru są sobie równe:

$$E = E_x$$

z czego otrzymamy wyrażenie na natężenie nieznanego źródła światła:

$$I_x = I \frac{r_x^2}{r^2} \quad (7)$$



Metodologia wykonania pomiarów

1. Na ławie optycznej ustawić źródła światła oraz fotometr. Zmierzyć odległość l między źródłami. Odległość tę mierzymy pomiędzy otworami obu źródeł.
2. W zaciemnionym pomieszczeniu, po przygotowaniu oka do widzenia w ciemności, ustawić fotometr w takim położeniu, aby obydwie połówki pola widzenia były jednakowo oświetlone. W tym położeniu fotometru zmierzyć jego odległość od znanego źródła światła r oraz nieznanego źródła światła r_x .
3. Pomiary powtórzyć 15 razy dla tego samego źródła i wyniki pomiarów zestawzić w tabeli.



Tabela pomiarowa

I [cd]	l [cm]	r [cm]	r_x [cm]	I_x [cd]	Φ [lm]
19					



Obliczenia

1. Obliczyć średnie wartości r_{sr} i $r_{x,sr}$
2. Obliczyć niepewności $u(r_{sr})$ i $u(r_{x,sr})$ metodą typu A oraz niepewność $u(l)$ metodą typu B.
3. Obliczyć światłość nieznanego źródła I_x ze wzoru (7) biorąc średnie wartości r_{sr} i $r_{x,sr}$
4. Obliczyć niepewność $u(I_x)$ metodą przenoszenia niepewności. Jednak ponieważ wielkości r i r_x są skorelowane (dodatni błąd popełniony przy danym ustawieniu r fotometru powoduje ujemny błąd dla r_x), to ponieważ $r_x = l - r$, do obliczenia pochodnych i niepewności złożonej wykorzystać wzory

$$I_x = I \frac{(l-r)^2}{r^2}, \quad u(I_x) = \sqrt{\left[\frac{\partial I_x}{\partial r} u(r) \right]^2 + \left[\frac{\partial I_x}{\partial l} u(l) \right]^2}$$

zamiast wzoru (7). Pomiary wielkości l i r są nieskorelowane.

Wyznaczyć i podać wyrażenia na powyższe pochodne.

5. Obliczyć wielkość strumienia świetlnego Φ wysyłanego przez badane źródło światła w pełny kąt bryłowy Ω ($\Phi = I \cdot \Omega$). Obliczyć $u(\Phi)$ metodą przenoszenia niepewności.
6. We wnioskach przede wszystkim poprawnie zapisać wyznaczone wielkości I_x i Φ razem z ich niepewnościami.

Następnie stwierdzić na poziomie ufności 0.997, czy oba źródła światła różnią się światłością. W tym celu porównać różnicę światłości $I - I_x$ z niepewnością $u(I_x)$ pomnożoną przez współczynnik rozszerzenia $k = 3$ (tak, jak to opisano w skrypcie „Niepewność pomiaru”).