Ćwiczenie **54**

POMIAR NATĘŻENIA ŹRÓDŁA ŚWIATŁA (ŚWIATŁOŚCI) ZA POMOCĄ FOTOMETRU LUMMERA-BRODHUNA

54.1. Wiadomości ogólne

Wielkością charakteryzującą źródło promieniowania świetlnego jest natężenie źródła światła (światłość) I. W układzie SI jest to wielkość należąca do zbioru wielkości podstawowych, których nie definiuje się, natomiast podaje się możliwe dokładne określenie ich jednostek i sposób pomiaru. Jednostką natężenia źródła światła jest kandela (cd). Kandela to światłość, jaką ma w określonym kierunku źródło emitujące promieniowanie momochromatyczne o częstotliwości $540 \cdot 10^{12}$ Hz i którego natężenie w tym kierunku jest równe 1/683 W/sr.

Punktowe źródło światła wysyła promieniowanie we wszystkich kierunkach, wskutek czego do oświetlanej nim powierzchni dochodzi tylko część emitowanego promieniowania. Strumień świetlny Φ jest równy iloczynowi natężenia źródła światła I i kąta bryłowego Ω, w którym zawarty jest ten strumień:

$$\Phi = I \cdot \Omega \,. \qquad (54.1)$$

Jednostką strumienia świetlnego jest lumen (lm). Jest to strumień wysyłany przez punktowe źródło światła o natężeniu 1 cd, zawarty wewnątrz kąta bryłowego równego 1srd (steradian).

Oświetlenie powierzchni E jest miarą strumienia świetlnego Φ padającego na jednostkę powierzchni prostopadłej do kierunku padania promieni świetlnych:

$$E = \frac{\Phi}{S}\,, \qquad (54.2)$$

gdzie: S – powierzchnia, na którą pada strumień świetlny Φ.

Jednostką oświetlenia jest lux (1 lx = 1 lm/m^2).

Wielkością charakteryzującą źródło światła jest wydajność świetlna

$$\eta = \frac{I}{P}\ [\mathrm{cd/W}]\,, \qquad (54.3)$$

gdzie: P – moc pobierana przez źródło światła.

Natężenie źródła światła mierzymy przez porównanie go z natężeniem źródła wzorcowego o znanej wartości. Pomiar natężenia źródła światła za pomocą fotometrów optycznych oparty jest na wykorzystaniu prawa Lamberta:

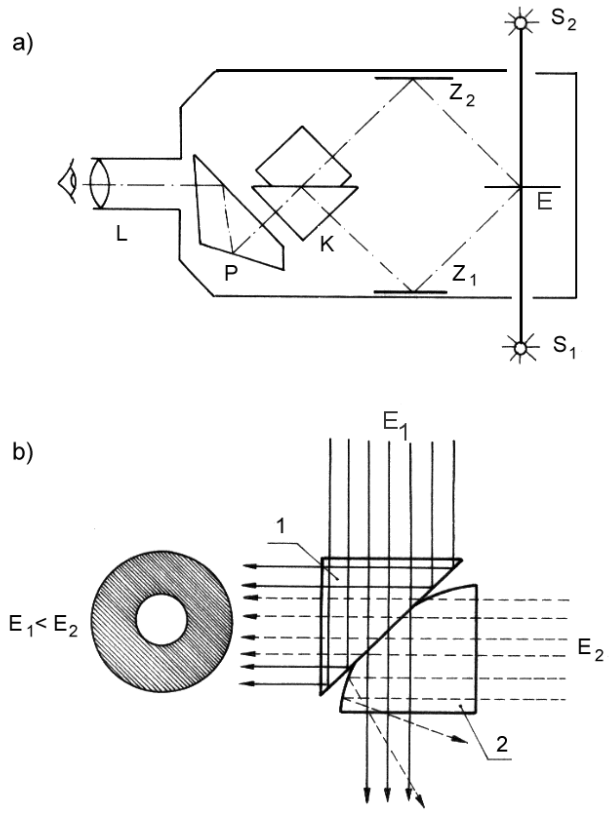
$$E = \frac{I\cos\varphi}{r^2}\,, \qquad (54.4)$$

gdzie: E – oświetlenie powierzchni odległej o r od źródła o natężeniu I,

φ – kąt między normalną do powierzchni oświetlanej a kierunkiem padania promieni świetlnych.

Zasada pomiaru polega na znalezieniu takiego punktu między badanym i wzorcowym źródłem światła, dla którego wartości oświetlenia tego punktu, przez każde ze źródeł są jednakowe.

Zasadniczą częścią składową fotometru Lummera-Brodhuna (rys. 54.1a) jest kostka fotometryczna (rys. 54.1b). Składa się ona z dwóch pryzmatów prostokątnych. Podstawa jednego z nich jest płaska (1), drugiego zaś kulista (2), przy czym środkowa część powierzchni kulistej jest zeszlifowana płasko, tak aby mogła dokładnie przylegać do powierzchni podstawy pryzmatu 1.



Rys. 54.1

W skład fotometru wchodzą jeszcze: dwustronny biały, rozpraszający światło ekran gipsowy E, para zwierciadeł płaskich Z_1 i Z_2, służących do skierowania promieni przez obie powierzchnie ekranu w kierunku prostopadłym do ścianek kostki fotometrycznej, i pryzmat P, który zmienia kierunek promieni z kostki K, kierując je do lunetki L, ustawionej prostopadle do linii łączącej źródła światła S_1 i S_2.

Światło ze źródeł S_1 i S_2 pada na ekran E, ulegając rozproszeniu. Część światła rozproszonego przez każdą z powierzchni ekranu pada na zwierciadła Z_1 i Z_2 i po odbiciu pada na pryzmat kostki fotometrycznej K. Promienie świetlne odbite od zwierciadła Z_1 przechodzą przez powierzchnię styku pryzmatów bez przeszkód; promienie padające na części brzegowe pryzmatu 1 ulegają całkowitemu wewnętrznemu odbiciu i biegną równolegle do promieni odbitych od zwierciadła Z_2, które przechodzą przez powierzchnię styku pryzmatów bez zmiany kierunku. Do lunetki L trafiają więc poprzez pryzmat P promienie przechodzące przez powierzchnię styku pryzmatów 1 i 2 (pochodzące od źródła S_2) i odbite przez części brzegowe pryzmatu 1 (pochodzące od źródła S_1). Otrzymany w ten sposób obraz składa się z krążka i otaczającego go pierścienia o różnych stopniach jasności, zależnych od oświetlenia obu powierzchni ekranu E. Przy jednakowym oświetleniu obu powierzchni ekranu pole krążka i otaczające go pierścienie są jednakowo jasne. Wówczas $E_1 = E_2$ i przy $\varphi = 0$ z równania (54.4) otrzymujemy

$$\frac{I}{r_1^2} = \frac{I_0}{(l - r_1)^2}, \qquad (54.5)$$

stąd

$$I = I_0 \frac{r_1^2}{(l - r_1)^2}, \qquad (54.6)$$

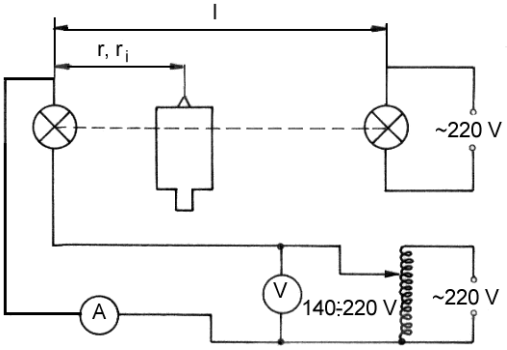
gdzie: I – natężenie badanego źródła światła,
I_0 – natężenie wzorcowego źródła światła,
r_1 – odległość fotometru od źródła badanego,
l – odległość między źródłami światła.

54.2. Zadania

54.2.1. Wyznaczyć wartości natężenia źródła światła (żarówki) przy różnych wartościach napięcia zasilającego (140÷220 V).
54.2.2. Znaleźć wartości mocy prądu P płynącego przez badaną żarówkę (P = U i) dla wszystkich napięć zasilających.
54.2.3. Obliczyć wartości wydajności świetlnej η badanej żarówki dla wszystkich wartości I.
54.2.4. Uzyskane wyniki przedstawić w formie wykresów: I = f(P) i η = f(P).
54.2.5. Obliczyć wartości niepewności pomiarów ΔP i $\Delta\eta$ oraz nanieść je na wykresy.

54.3. Zasada i przebieg pomiarów

Pomiary wykonujemy za pomocą układu przedstawionego na rys. 54.2. Po zmontowaniu obwodu elektrycznego i włączeniu układu do sieci, ustawiamy źródła światła na końcach ławy optycznej i mierzymy odległość l między źródłami. Odległości tej nie zmieniamy w trakcie ćwiczenia. Za pomocą autotransformatora ustalamy żądaną wartość napięcia zasilającego badaną żarówkę (140, 160, 180, 200 i 220 V). Żarówka o znanym natężeniu światła jest zasilana bezpośrednio z sieci (220 V).



Rys. 54.2

Po ustaleniu napięcia zasilającego U każdorazowo odczytujemy wartość natężenia prądu i płynącego przez badaną żarówkę. Następnie przesuwamy fotometr wzdłuż ławy optycznej do położenia, w którym obserwowane w lunetce fotometru pole krążka i otaczającego go pierścienia będą jednakowo oświetlone (nierozróżnialnie) i odczytujemy na ławie optycznej odległość r między ekranem fotometru (strzałka u dołu fotometru) a badaną żarówką. Dla wyeliminowania błędów wynikających z asymetrii układu, obracamy obudowę kostki fotometru wokół osi poziomej o 180°, ustawiając go ponownie tak, aby obserwowane w lunetce pola krążka i pierścienia były jednakowo jasne, po czym notujemy odległość r_i między ekranem fotometru a badaną żarówką. Niepewność pomiaru Δr i Δr_i znajdujemy, ustalając skrajne położenia, przy których zmiana jasności jednakowo oświetlonych pól jest jeszcze niezauważalna. Opisane czynności wykonujemy dla każdej wartości napięcia zasilającego badaną żarówkę. Natężenie badanego źródła I obliczamy, podstawiając do wzoru (54.6) średnie geometryczne odległości

$$r_l = \sqrt{r \cdot r_i} \quad \text{i} \quad l - r_l = \sqrt{(1-r)(l-r_i)}\ ,$$

$$I = I_0 \frac{r \cdot r_i}{(1-r)\cdot(l-r_i)}\ . \qquad (54.7)$$

54.4. Ocena niepewności pomiarów

Względną systematyczną niepewność pomiaru natężenia źródła światła obliczamy metodą różniczki zupełnej (wzór (9) – Wstęp):

$$\delta_I = \left|\frac{\Delta I}{I}\right| = \left|\frac{\Delta I_0}{I_0}\right| + \left|\frac{l}{r(1-r)}\right|\Delta r + \left|\frac{l}{r_i(l-r_i)}\right|\Delta r_i \quad \text{oraz} \quad \Delta I = I \cdot \delta_I . \qquad (54.8)$$

Względną niepewność pomiaru mocy prądu możemy obliczyć, stosując metodę różniczki logarytmicznej (wzór (15) – Wstęp):

$$\delta_p = \left|\frac{\Delta P}{P}\right| = \left|\frac{\Delta U}{U}\right| + \left|\frac{\Delta i}{i}\right| \quad \text{i} \quad \Delta P = P \cdot \delta_P . \qquad (54.9)$$

Wartości ΔU oraz Δi ustalamy na podstawie klasy i podziałki mierników, stosując wzór (3) – Wstęp.
Względną niepewność systematyczną pomiaru wydajności świetlnej obliczamy metodą różniczki logarytmicznej (wzór (15) – Wstęp) w zastosowaniu do wzoru (54.3):

$$\delta_\eta = \left|\frac{\Delta \eta}{\eta}\right| = \left|\frac{\Delta I}{I}\right| + \left|-\frac{\Delta P}{P}\right| \quad \text{oraz} \quad \Delta\eta = \delta_\eta \cdot \eta . \qquad (54.10)$$

Parametry wzorcowego źródła światła I_0 oraz ΔI_0 podane są przy stanowisku pomiarowym.

Literatura

[1] Szczeniowski S.: Fizyka doświadczalna, cz. IV. Warszawa: PWN 1983.
[2] Massalski J., Massalska M.: Fizyka dla inżynierów, cz. 1. Warszawa: WNT 1980.