

Ćwiczenie 404

Wyznaczanie ogniskowej soczewki i układu soczewek metodą Bessela

Przed zapoznaniem się z instrukcją i przystąpieniem do wykonywania ćwiczenia należy opanować następujący materiał teoretyczny:

1. Soczewki, ich rodzaje, właściwości i zastosowanie [10].
2. Równania soczewki cienkiej. Układy soczewek cienkich. [10] lub [25].

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

1. Zapoznanie się z możliwością wyznaczenia parametrów soczewek przy użyciu ławy optycznej.
2. Wyznaczenie ogniskowych soczewek skupiających i ich układu.
3. Wyznaczenie ogniskowej soczewki rozpraszającej.

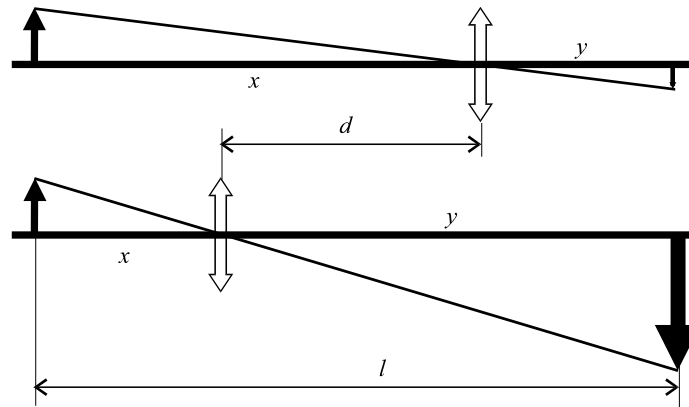
Metoda pomiaru

Jeśli przedmiot znajduje się w odległości $x > f$ od soczewki o ogniskowej f (rys. 1), to jego obraz rzeczywisty utworzy się w odległości y , spełniającej warunek:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f} . \quad (1)$$

Postać powyższego wzoru wskazuje, że gdybyśmy przedmiot umieścili w odległości y od soczewki, to obraz powstałby w odległości x . Można to zrealizować przesuając odpowiednio soczewkę wzdłuż jej osi optycznej w kierunku przedmiotu lub obrazu, w zależności od tego, która odległość (x czy y) jest większa. Oznaczając odległość przedmiotu od jego obrazu przez l , zaś odległość między dwoma położeniami soczewki przez d , na podstawie wzoru (1) otrzymamy

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l} . \quad (2)$$



Rys. 1. Zasada metody Bessela

Wzór (2) pozwala wyznaczyć ogniskową soczewki bez pomiaru wartości x i y , pod warunkiem, że $l > 4f$.

Ogniskowa f układu złożonego z dwu soczewek o ogniskowych f_1 i f_2 umieszczonych w odległości a od siebie wyraża się wzorem

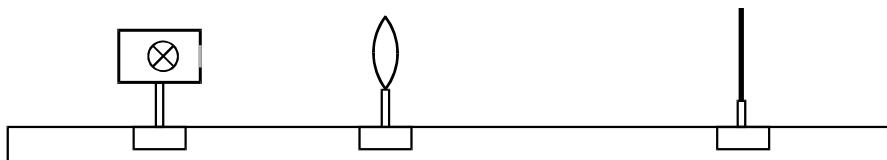
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{a}{f_1 f_2} . \quad (3)$$

Jeśli odległość soczewek jest bardzo mała w porównaniu z ich ogniskowymi, to ostatni wzór można ograniczyć do postaci

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} . \quad (4)$$

Przebieg pomiaru

Do wykonania pomiarów służy zestaw przedstawiony schematycznie na rys. 2. Na ławie optycznej znajdują się trzy koniki. Na pierwszym z nich umieszczono żarówkę osłoniętą matówką, na której naniesiono odpowiednią siatkę. Matówka wraz z siatką spełnia rolę świecącego przedmiotu. Na drugim koniku znajduje się uchwyt do soczewek, zaś na trzecim - ekran do obserwacji obrazów rzeczywistych. Ława optyczna może być wyposażona w skalę ułatwiającą pomiary odległości między poszczególnymi elementami umieszczonymi na niej.



Rys. 2. Schemat zestawu pomiarowego

Kolejność czynności

Część I. Pomiar ogniskowych soczewek skupiających

1. Umieścić w uchwycie jedną z soczewek skupiających.
2. Włączyć lampkę oświetlającą matówkę.
3. Dobrać takie położenia soczewki i ekranu, aby powstał na nim ostry, zmniejszony obraz przedmiotu. Zanotować położenie a_1 krawędzi konika, na którym umocowana jest soczewka na ławie optycznej.
4. Oszacować błąd Δa_1 tego pomiaru. Ponieważ błąd ten zależy nie tylko od dokładności odczytu położenia na skali, lecz głównie od oceny ostrości obrazu, trzeba zmierzyć szerokość przedziału ostrości. W tym celu należy:
 - a) przesunąć konik z soczewką o około 1cm w lewo,
 - b) obserwując ekran przesuwać konik w prawo, mijając położenie dające ostry obraz, aż do zauważenia pogorszenia się ostrości obrazu; zanotować położenie konika,
 - c) przesunąć konik z soczewką o około 1cm w prawo,
 - d) obserwując ekran przesuwać konik w lewo, mijając położenie dające ostry obraz, aż do zauważenia pogorszenia się ostrości obrazu; zanotować położenie konika,
 - e) przyjmując, że połowa różnicy zanotowanych położenia jest poszukiwanym błędem.
5. Zmierzyć odległość l między matówką będącą źródłem światła i ekranem i oszacować błąd Δl tego pomiaru.
6. Oddalając konik z soczewką od ekranu znaleźć takie jego położenie, przy którym na ekranie powstaje ostry, powiększony obraz przedmiotu. Zanotować położenie a_2 krawędzi konika, na którym umocowana jest soczewka.
7. Podobnie jak w punkcie 4 oszacować błąd Δa_2 .
8. Zamienić soczewkę w uchwycie na inną soczewkę skupiającą.

9. Postępując jak w punktach 3 - 7 dokonać odpowiednich pomiarów.

Część II. Wyznaczanie ogniskowej układu soczewek skupiających

1. Umieścić w uchwycie dwie soczewki skupiające.
2. Postępując jak w punktach 3 - 7 części I, dokonać odpowiednich pomiarów.

Część III. Wyznaczanie ogniskowej soczewki rozpraszającej

1. Umieścić w uchwycie jedną z wcześniej badanych soczewek skupiających oraz soczewkę rozpraszającą. (Powstały układ musi być skupiający.)
2. Postępując jak w punktach 3 - 7 części I, dokonać odpowiednich pomiarów.
3. Wszystkie wyniki pomiarów zgromadzić w tabeli.

Nr soczewki (soczewek)	Rodzaj soczewki (soczewek)	a_1 [cm]	a_2 [cm]	Δa_1 [cm]	Da_1 [cm]	l [cm]	Δl [cm]

Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Krótki opis metody pomiaru i układu pomiarowego (wraz ze schematycznym rysunkiem), bez wymieniaania wykonywanych czynności.
2. Tabele z wynikami pomiarów.
3. Obliczenia:
 - a) ogniskowych dwu soczewek skupiających według wzoru (2), w którym $d = |a_1 - a_2|$,
 - b) ogniskowej układu soczewek skupiających według wzoru (4) na podstawie wyników uzyskanych w punkcie a),
 - c) ogniskowej układu soczewek skupiających według wzoru (2),
 - d) ogniskowej układu złożonego z jednej soczewki skupiającej i soczewki rozpraszającej według wzoru (2),
 - e) ogniskowej soczewki rozpraszającej (według wzoru (4)).
4. Rachunek błędów:
 - a) błędy Δf ogniskowych obydwu soczewek skupiających oraz ich układu, a także układu złożonego z jednej soczewki skupiającej i soczewki rozpraszającej, obliczyć korzystając ze wzoru

$$\Delta f = \frac{1}{2l} \left(\frac{l^2 + d^2}{2l} \Delta l + d \Delta d \right), \quad (5)$$

b) błąd Δf ogniskowej soczewki rozpraszającej obliczyć ze wzoru

$$\Delta f_r = f_r^2 \left(\frac{\Delta f_u}{f_u^2} + \frac{\Delta f_s}{f_s^2} \right), \quad (6)$$

gdzie f_u jest ogniskową układu złożonego z jednej soczewki skupiającej i soczewki rozpraszającej, zaś f_s ogniskową soczewki skupiającej wchodzącej w skład tego układu.

5. Wyniki obliczeń zebrane w tabeli.

Nr soczewki (soczewek)	Rodzaj soczewki (soczewek)	f [m]	Δf [m]

6. Dyskusję dotyczącą stosowalności wzoru (4) w warunkach wykonywanych pomiarów, na podstawie obliczeń z punktu 3b i 3c.

Pytania

1. Podać definicje ogniska, ogniskowej oraz zdolności skupiającej soczewki.
2. Jakie soczewki określa się mianem cienkich?
3. Narysować jak powstaje obraz przedmiotu umieszczonego na osi optycznej soczewki skupiającej w odległości większej i mniejszej od jej ogniskowej.
4. Narysować jak powstaje obraz przedmiotu umieszczonego na osi optycznej soczewki rozpraszającej.
5. Wyprowadzić wzory (1), (2) i (4).
6. Dlaczego przy wyznaczaniu ogniskowej układu soczewek korzystniej jest stosować metodę Bessela, niż metodę bezpośredniego pomiaru odległości przedmiotu i obrazu od układu?