

Ćwiczenie O4

Pomiar ogniskowych soczewek metodą Bessela

O4.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie ogniskowych soczewek skupiających oraz rozpraszających z zastosowaniem o metody Bessela.

O4.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Soczewka optyczna,
- promień krzywizny soczewki,
- ogniskowa soczewki, równanie soczewki,
- wzór soczewkowy,
- rodzaje soczewek,
- obraz rzeczywisty i pozorny,
- warunki powstawania obrazów w soczewkach.

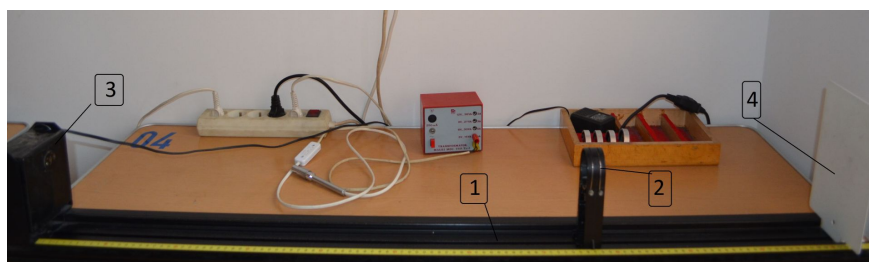
O4.3. Literatura

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Podstawy fizyki, cz. 2 i cz. 4*, PWN, Warszawa.
- [2] Szczeniowski S., *Fizyka doświadczalna, cz. 4*, PWN, Warszawa.
- [3] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*, <http://ftims.pg.edu.pl/documents/10673/20436990/wstep.pdf>

O4.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

Układ doświadczalny

Rysunek O4.1 przedstawia zdjęcie układu pomiarowego, który składa się z ławy optycznej **1** oraz badanych soczewek **2**. Na końcach ławy optycznej znajdują się przedmiot **3** (oświetlona strzałka) oraz ekran **4**, na którym obserwujemy obraz.



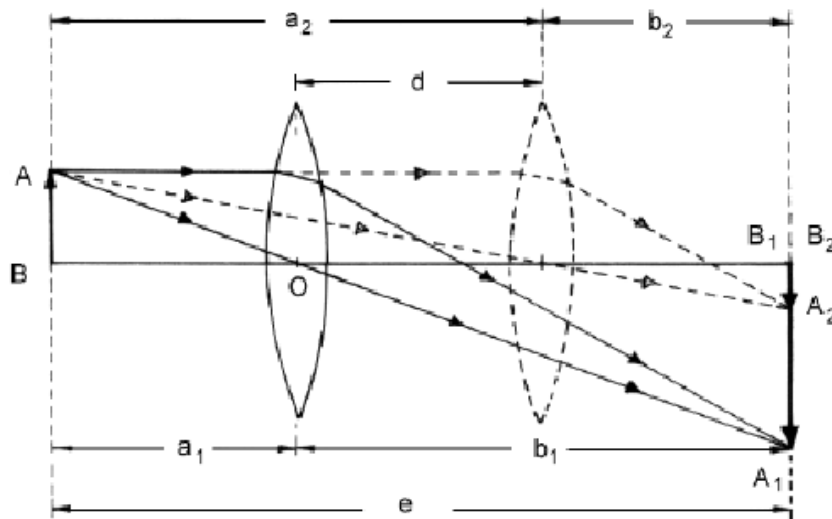
Rysunek O4.1. Zdjęcie układu pomiarowego

Przebieg doświadczenia

Przy stałej, odpowiednio dużej odległości przedmiotu od ekranu e , istnieją dwa położenia soczewki skupiającej, przy których na ekranie można uzyskać obraz rzeczywisty, powiększony i pomniejszony. Na ławie optycznej umieszczamy soczewkę skupiającą pomiędzy przedmiotem (oświetlona strzałka) a umieszczonym w takiej odległości od przedmiotu ekranem, aby można było na nim uzyskać ostry obraz powiększony. Wyznaczane w doświadczeniu wielkości ilustruje rysunek O4.2. Mierzmy odległość ekranu od przedmiotu e , (do metody Bessela) oraz odległości a_1 i b_1 przedmiotu i obrazu soczewki (do metody graficznej). Następnie przesuwamy soczewkę (lub układ soczewek) w położenie, przy którym na ekranie powstanie ostry obraz pomniejszony, i mierzmy przesunięcie soczewki d (do metody Bessela) oraz odległości a_2 i b_2 (do metody graficznej).

Pomiar ogniskowej soczewki rozpraszającej wykonujemy w układzie z soczewką skupiającą. Soczewkę rozpraszającą umieszczamy we wspólnej oprawce z soczewką skupiającą o krótszej ogniskowej.

Dla danej soczewki wykonujemy serię pomiarów. Do dalszych obliczeń używamy wartości średnich.



Rysunek O4.2. Ilustracja wielkości wyznaczanych w doświadczeniu

Zadania do wykonania

- O4.1. Wyznaczyć ogniskowe dwóch soczewek skupiających metodą Bessela oraz metodą graficzną.
 O4.2. Porównać wyniki uzyskane metodą graficzną i metodą Bessela.
 O4.3. Wyznaczyć ogniskową soczewki rozpraszającej.

Uzupełnienie do zadania O4.1

Metoda Bessela. Na rysunku O4.2 widać, że spełnione są następujące zależności:

$$a + b = e, \quad (\text{O4.1})$$

$$a_1 + b_1 = a_2 + b_2 = e, \quad (\text{O4.2})$$

$$a_2 - a_1 = b_1 - b_2 = d. \quad (\text{O4.3})$$

Podstawiając wzór (O4.1) do równania soczewki możemy napisać:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{e - a} = \frac{1}{f}. \quad (\text{O4.4})$$

Doprowadzając powyższe równanie do równania kwadratowego

$$a^2 - ae + ef = 0 \quad (\text{O4.5})$$

a następnie rozwiązując je dla warunku

$$\Delta = e^2 - 4ef > 0, \quad (\text{O4.6})$$

otrzymujemy dwa pierwiastki:

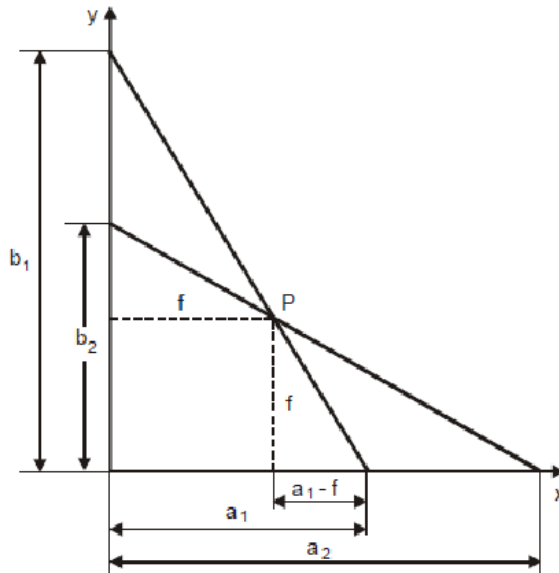
$$a_1 = \frac{e - \sqrt{e^2 - 4ef}}{2}, \quad a_2 = \frac{e + \sqrt{e^2 - 4ef}}{2}, \quad (\text{O4.7})$$

określające położenia soczewki o ogniskowej f , dla których uzyskujemy ostre obrazy. Podstawiając (O4.7) do (O4.3), otrzymamy:

$$d = a_2 - a_1 = \sqrt{e^2 - 4ef}, \quad (\text{O4.8})$$

$$f = \frac{e^2 - d^2}{4e}. \quad (\text{O4.9})$$

Metoda graficzna. Na osi x prostokątnego układu współrzędnych (rysunek O4.3) odkładamy odległości przedmiotu od soczewki dla obrazu powiększonego (a_1) i dla obrazu pomniejszonego (a_2), a na osi y odpowiednie odległości b_1 i b_2 obrazu od soczewki. Odpowiednie pary sprzężonych ze sobą punktów a_1 i b_1 oraz



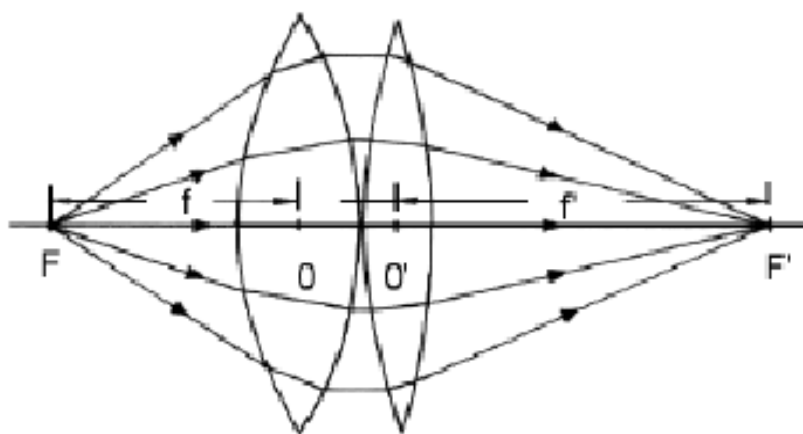
Rysunek O4.3. Ilustracja metody graficznej

a_2 i b_2 łączymy liniami prostymi, które przecinają się w punkcie P . Jak można wykazać, współrzędne punktu P są równe wartości ogniskowej badanej soczewki:

$$x_p = f, \quad y_p = f. \quad (\text{O4.10})$$

Uzupełnienie do zadania O4.3

Ogniskową układu dwóch cienkich soczewek f_u obliczamy z równania soczewki. Jak widać na rysunku O4.4, obraz punktu umieszczonego w odległości $a = f$ od soczewki, znajduje się w odległości $b = f'$. Stąd otrzymujemy zależność na



Rysunek O4.4. Ogniskowa układu soczewek

ogniskową układu soczewek:

$$\frac{1}{f_u} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f'}. \quad (\text{O4.11})$$

W sytuacji, gdy jedna z soczewek jest soczewką rozpraszającą (np. $f' < 0$), a chcemy aby układ soczewek miał właściwości skupiające ($f_u > 0$), należy zadbać o to aby spełniony był następujący warunek: $|f'| > f$.

O4.5. Rachunek niepewności

Niepewność pomiaru e oceniamy na podstawie dokładności skali ławy optycznej. Niepewność pomiaru przesunięcia soczewki określamy jako sumę niepewności odległości a_1 i a_2 , za które przyjmujemy połowę przedziału pomiędzy skrajnymi położeniami soczewki, przy których odpowiedni obraz zaczyna tracić ostrość.

Niepewność wyznaczenia ogniskowej f soczewki skupiającej oraz f_u dla układu soczewek wyznaczamy jako niepewność wielkości złożonej.

Analogicznie postępujemy przy wyznaczaniu niepewności pomiaru ogniskowej soczewki rozpraszającej f_r .