

ĆWICZENIE 8.

WYZNACZANIE OGNISKOWYCH SOCZEWEK ZE WZORU SOCZEWKOWEGO ORAZ METODĄ BESSELA.

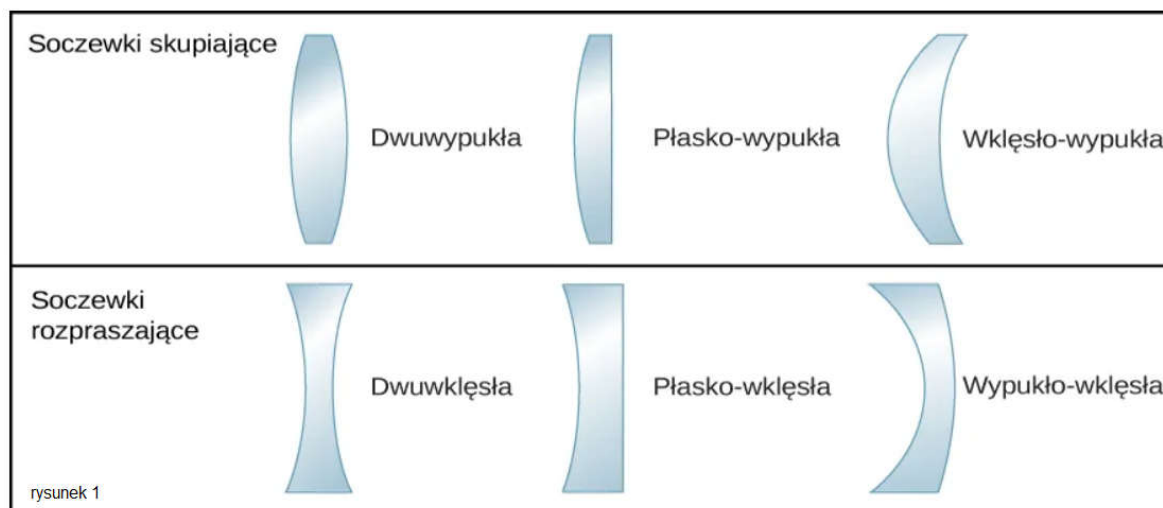
Cel ćwiczenia: Celem ćwiczenia jest wyznaczenie ogniskowych cienkich soczewek: skupiającej i rozpraszającej.

Część teoretyczna: Załamanie światła, rodzaje soczewek, właściwości soczewek i ich zastosowanie, powstawanie obrazu w soczewce skupiającej i rozpraszającej, równanie soczewki, metoda Bessela.

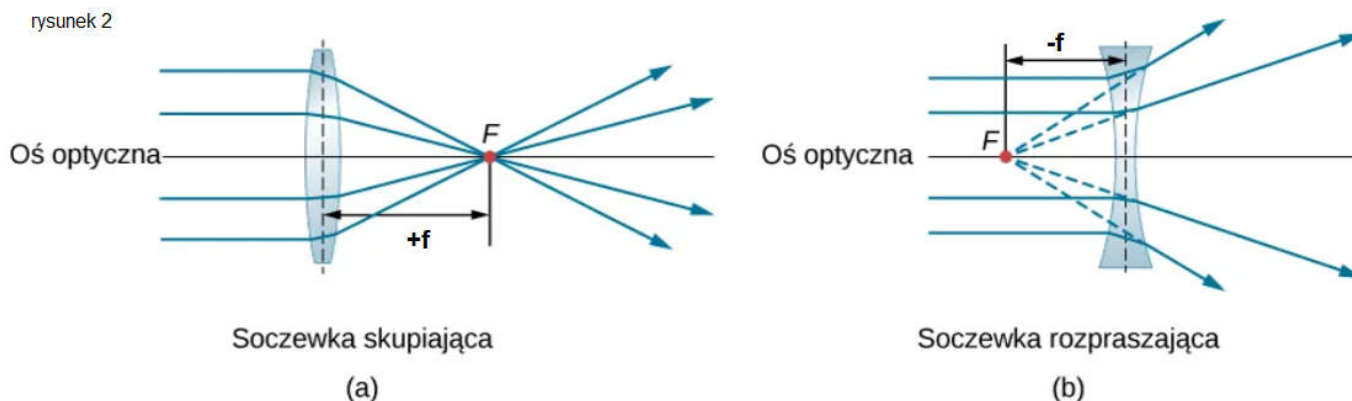
Aparatura: Ława optyczna, lampa, ekran, zestaw soczewek skupiających i rozpraszających.

Wstęp.

Soczewki występują w wielu układach optycznych, m.in. w mikroskopie, w aparatach fotograficznych, w oku. Słowo „soczewka” pochodzi od łacińskiego określenia ziarna soczewicy, której kształt jest podobny do soczewki wypukłej. Nie wszystkie soczewki mają jednak taki sam kształt (rysunek 1).



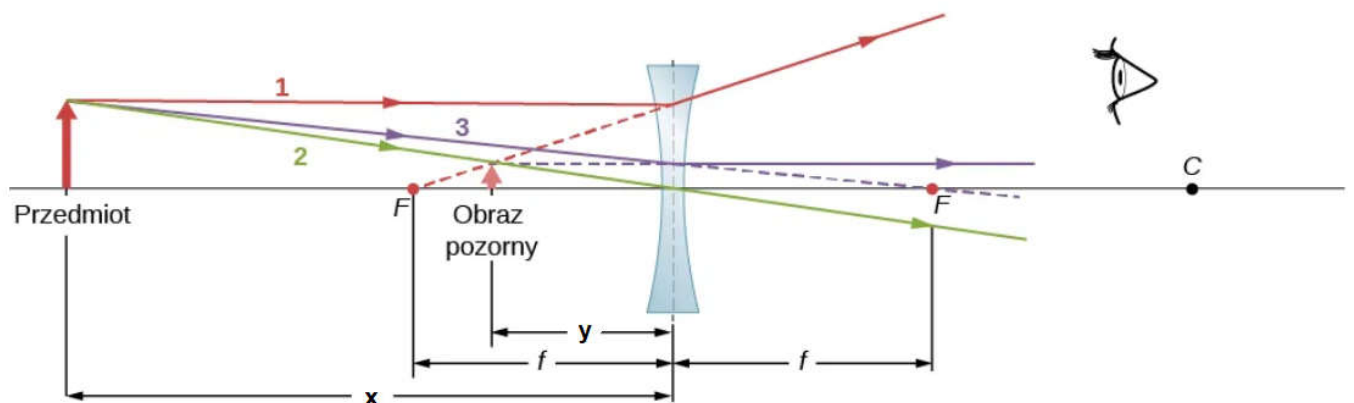
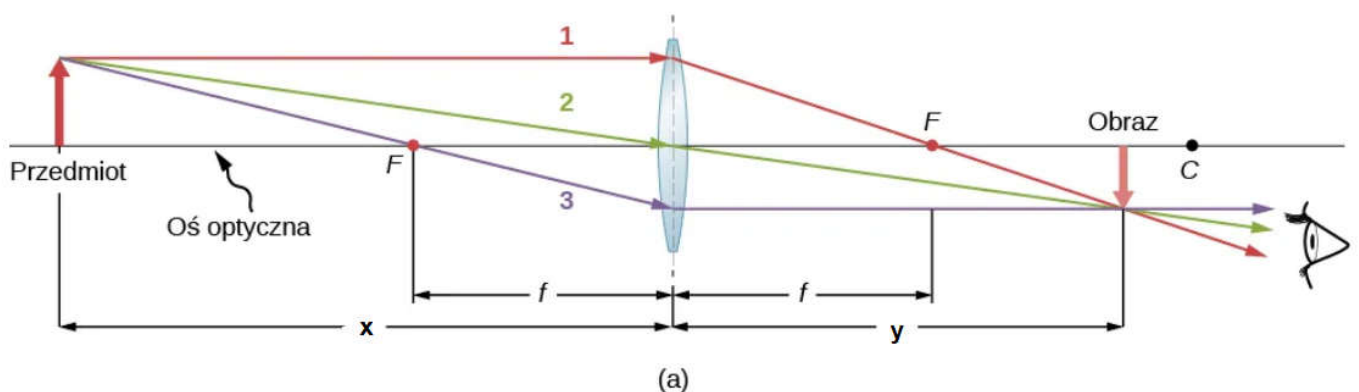
Równoległe do osi optycznej promienie światła padające na soczewkę skupiającą (a) (rys. 2) są skupiane w ognisku F , natomiast padające na soczewkę rozpraszającą (b) są rozbieżne. Podstawowym parametrem charakteryzującym soczewkę jest jej ogniskowa f czyli odległość ogniska F od płaszczyzny środkowej soczewki. Zdolność skupiająca $Z = \frac{1}{f}$ mierzona jest w dioptriach $1D = \frac{1}{\text{metr}}$.



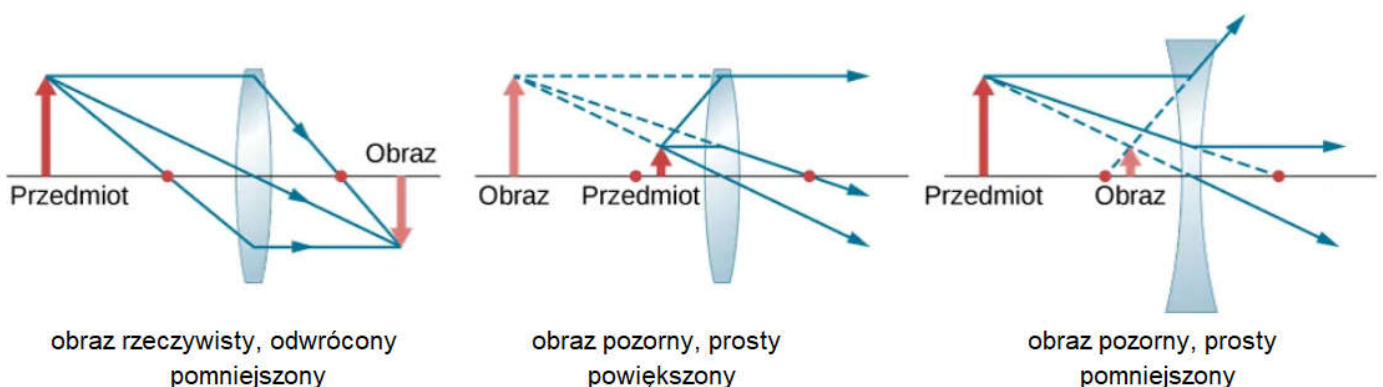
W przypadku soczewki rozpraszającej, w ognisku soczewki przecinają się tylko wsteczne przedłużenia promieni, które po przejściu przez soczewkę są rozbieżne (b). Ogniskową f takiej soczewki uważamy za ujemną, a więc odległość między ogniskiem i soczewką wynosi w tym przypadku $-f$.

Konstrukcja biegu promieni jest techniką graficznego wyznaczania drogi promieni światła. Zasady konstrukcji biegu promieni dla cienkich soczewek:

- Promień równoległy do osi optycznej soczewki skupiającej po załamaniu w soczewce przechodzi przez ognisko po drugiej stronie soczewki (promień 1 w części (a) poniżej). Promień równoległy do osi optycznej soczewki rozpraszającej po załamaniu w soczewce wychodzi wzdłuż linii przechodzącej przez ognisko po tej samej stronie soczewki (promień 1 w części (b) poniżej).
- Promień przechodzący przez środek soczewki zarówno skupiającej, jak i rozpraszającej nie zmienia swojego początkowego kierunku (promień 2 w częściach (a) i (b) poniżej).
- Promień przechodzący przez ognisko soczewki skupiającej po przejściu przez soczewkę rozchodzi się równoległe do osi optycznej (promień 3 w części (a) poniżej). Promień rozchodzący się wzdłuż linii przechodzącej przez ognisko soczewki rozpraszającej wychodzi z soczewki równoległe do osi optycznej (promień 3 w części (b) poniżej).



Otrzymany obraz może być pozorny lub rzeczywisty, odwrócony lub prosty, powiększony lub pomniejszony (ewentualnie tego samego rozmiaru) np.:

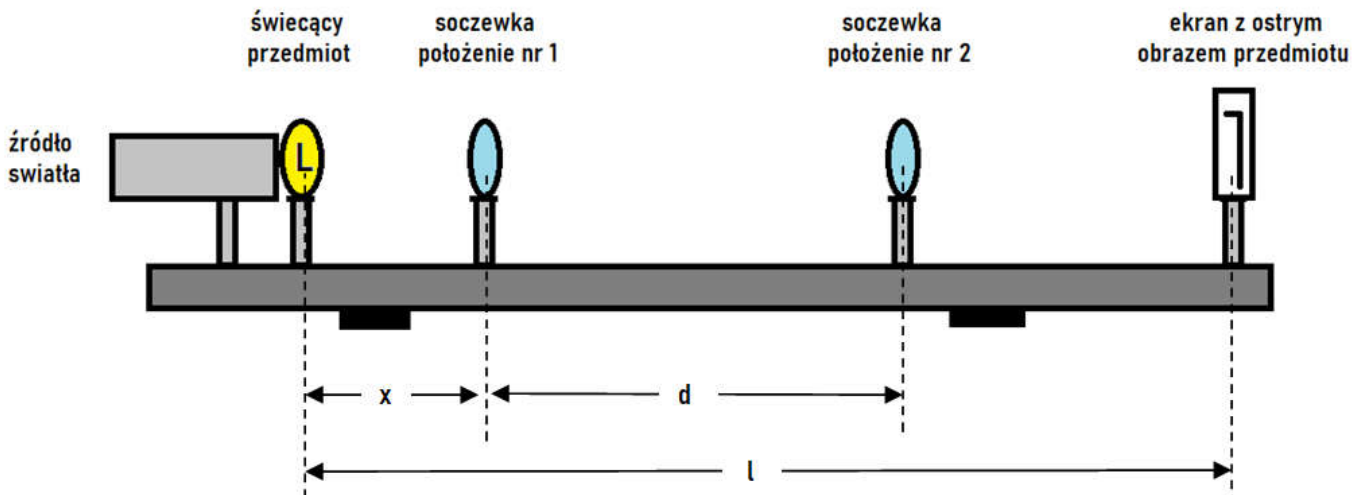


Dla soczewek cienkich spełnione jest równanie zwane równaniem soczewki:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$$

w którym dla obrazów pozornych y jest ujemne. Powiększenia obrazu $p = \frac{y}{x}$.

Układ doświadczalny BESSELA do wyznaczania ogniskowych przedstawia schemat:



Wykonując pomiar zapewne zauważysz, że przy ustalonej odległości l (gdzie $l > 4f$) można znaleźć dwa położenia soczewki, dające ostry obraz.

Przyczynę zrozumiesz rozwiązując równanie służące wyznaczeniu tego położenia. Dla ustalonej odległości l mamy $y = l - x$ i równanie soczewki można zapisać w postaci:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{l-x} \quad \text{czyli} \quad x^2 - xl + fl = 0$$

a więc są dwa rozwiązania:

$$x_1 = \frac{1}{2}(l - \sqrt{l^2 - 4fl}) \quad \text{oraz} \quad x_2 = \frac{1}{2}(l + \sqrt{l^2 - 4fl}) \quad \text{gdzie } l > 4f$$

stąd

$$d = x_2 - x_1 = \sqrt{l^2 - 4fl}$$

zatem

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l}$$

Metoda ta zwana jest **metodą Bessela** wyznaczania ogniskowych soczewek.

Jeżeli złożymy dwie soczewki o różnych ogniskowych f_1 i f_2 (soczewki muszą znajdować się bezpośrednio jedna przy drugiej), to taki zestaw działa jak soczewka o ogniskowej f spełniająca zależność:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

czyli ogniskowa takiego układu soczewek wynosi:

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}$$

Część praktyczna:

1. Zanotuj w tabeli położenie świecącego przedmiotu na skali przymocowanej do ławy optycznej (x_p).
2. Ustaw na ławie optycznej ekran. Zanotuj w tabeli jego położenie (x_e).
3. Metoda 1. Pomiar ogniskowej z równania soczewki:
 - a) Znajdź takie położenie soczewki aby uzyskać wyraźny obraz na ekranie. Zapisz w tabeli wynik pomiaru jako x_s .
 - b) Kilukrotnie zmień położenie ekranu x_e i ponownie znajdź wyraźny obraz przedmiotu.
 - c) Wykonaj pomiary dla kilku soczewek skupiających.
 - d) Oblicz ogniskową badanej soczewki.
4. Metoda 2. Pomiar ogniskowej metodą Bessela.
 - a) Znajdź **dwa** (powiększony i pomniejszony) takie położenia soczewek aby obraz na ekranie był wyraźny. Zapisz w tabeli wyniki pomiaru x_1 i x_2 .
 - b) Kilukrotnie zmień położenie ekranu i ponownie znajdź dwa wyraźne obrazy przedmiotu.
 - c) Wykonaj pomiary dla kilku soczewek skupiających.
 - d) Oblicz ogniskową soczewki.
5. Wykonaj podobne pomiary dla dwóch soczewek rozpraszających korzystając z układu soczewek w celu otrzymania obrazu rzeczywistego. W tym przypadku użyj tylko metody Bessela.
6. Wyznacz niepewności pomiarowe ogniskowych korzystając z prawa przenoszenia niepewności pomiarowych. Porównaj obie metody.

Przykładowa tabela do metody pomiaru ogniskowej z równania soczewki $\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$:

soczewka						
pomiar	$x_p(cm)$	$x_e(cm)$	$x_s(cm)$	$x = x_s - x_p (cm)$	$y = x_e - x_s (cm)$	$f = \frac{xy}{x+y} (cm)$
1						
2						
3						
4						
5						

Przykładowa tabela do metody Bessela dla równania $f = \frac{l^2 - d^2}{4l}$:

soczewka							
pomiar	$x_p(cm)$	$x_e(cm)$	$l = x_e - x_p (cm)$	$x_1(cm)$	$x_2(cm)$	$d = x_2 - x_1 (cm)$	$f = \frac{l^2 - d^2}{4l} (cm)$
1							
2							
3							
4							
5							

Przykładowa tabela do metody Bessela dla układu soczewek:

soczewka oraz soczewka							
pomiar	$x_p(cm)$	$x_e(cm)$	$l = x_e - x_p (cm)$	$x_1(cm)$	$x_2(cm)$	$d = x_2 - x_1 (cm)$	$f = \frac{l^2 - d^2}{4l} (cm)$
1							
2							
3							
4							
5							

Przykładowe zadania na kolokwium.

1. Projektor slajdów ma soczewkę o ogniskowej $+100mm$. Oblicz w jakiej odległości znajduje się ekran, jeśli slajd umieszczono $105mm$ od soczewki i jego obraz na ekranie jest ostry? Jeśli slajd ma wymiary $24mm$ na $36mm$, to jakie są rozmiary obrazu?
2. Odległość pomiędzy oświetlonym przedmiotem i ekranem wynosi $2,25$ m. Pomiedzy przedmiotem i ekranem ustawiono soczewkę skupiającą o ogniskowej $f = 50cm$. Określ, wykonując obliczenia, dwa położenia soczewki przy których na ekranie powstaną ostre obrazy przedmiotu. Dla jakiej ogniskowej soczewki powstanie tylko jeden obraz?
3. W odległości $100cm$ przed soczewką o zdolności skupiającej $Z = -4D$ umieszczono przedmiot. Oblicz w jakiej odległości od soczewki powstanie obraz? Podaj trzy cechy obrazu.
4. W odległości $50cm$ przed ogniskiem soczewki o zdolności skupiającej $Z = +2D$ umieszczono przedmiot. Oblicz w jakiej odległości od soczewki powstanie obraz? Podaj trzy cechy obrazu.
5. Oblicz ogniskową dla układu soczewek o ogniskowych $f_1 = 10\text{ cm}$, $f_2 = -20\text{ cm}$.

Bibliografia:

Podręcznik online - Fizyka dla szkół wyższych. <https://cnx.org/>

Henryk Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa 2003

David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, Podstawy fizyki, t. 1-5, PWN, Warszawa 2003,

Jerzy Massalski, Fizyka dla inżynierów, t. 1-2, WNT, Warszawa 1980.