D1. Wyznaczanie ogniskowych soczewek

***Celem ćwiczenia** jest zapoznanie się z procesem wytwarzania obrazów przez soczewki cienkie oraz doświadczalne wyznaczenie ogniskowej soczewki skupiającej poprzez pomiar powiększenia obrazu i metodą Bessela. .*

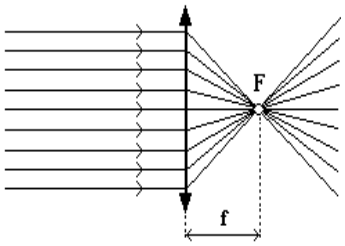
Soczewką optyczną nazywamy ciało przezroczyste, ograniczone (przynajmniej z jednej strony) zakrzywioną powierzchnią o regularnym kształcie (najczęściej kulistą, choć bywają soczewki ograniczone powierzchniami cylindrycznymi oraz paraboloidalnymi).

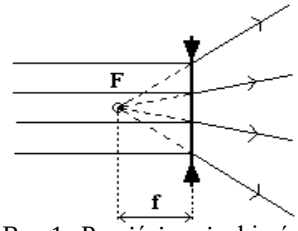
Soczewki wypukłe z materiału o współczynniku załamania większym od współczynnika załamania otaczającego je ośrodka są soczewkami skupiającymi (zwiększającymi zbieżność wiązki światła). Soczewki wklęsłe są soczewkami rozpraszającymi.

Jeśli na soczewkę skupiającą pada wiązka promieni równoległych, po przejściu przez nią skupia się ona w punkcie *F*, zwanym ***ogniskiem*** (w przypadku soczewki rozpraszającej w ognisku przecinają się przedłużenia promieni wychodzących) (rys. 1). Każda soczewka ma dwa ogniska położone w równych odległościach po obu stronach soczewki. Odległość (f) ogniska od środka soczewki nazywamy ***ogniskową*** soczewki, której wartość wyraża się wzorem:

$$\frac{1}{f} = \left(n_{2,1} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

gdzie: f - ogniskowa soczewki, n - współczynnik załamania światła materiału soczewki optycznej względem otaczającego ją ośrodka, r_1 i r_2 - promienie krzywizny powierzchni soczewki optycznej.



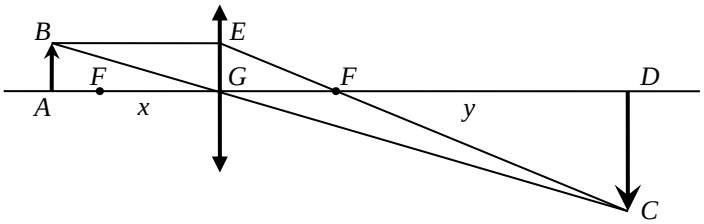


Rys.1. Przejście wiązki równoległej przez soczewkę skupiającą i rozpraszającą.

Przy pomocy soczewek uzyskuje się odwzorowania przedmiotów. W celu wykreślenia obrazu przedmiotu otrzymywanego przy użyciu cienkiej soczewki, rysujemy dwa promienie:

a) promień przechodzący przez środek geometryczny soczewki, który nie ulega załamaniu,
b) promień równoległy do głównej osi soczewki, który po załamaniu w soczewce przechodzi przez ognisko.

Poniższy rysunek przedstawia konstrukcję powstającego obrazu DC dla przedmiotu AB (rys.2.).



Rys.2. Konstrukcja obrazu w soczewce skupiającej.

Stosunek wielkości obrazu (DC) do przedmiotu (AB) nazywamy ***powiększeniem liniowym p***.

Korzystając z podobieństwa trójkątów *EGF* i *DCF* można wyprowadzić ***równanie soczewki***:

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

gdzie: x - jest odległością przedmiotu od środka soczewki, y - jest odległością obrazu od środka soczewki.

Z analizy równania soczewki wynika, że w zależności od jej rodzaju, odległości od niej przedmiotu oraz usytuowania względem ogniska, możemy otrzymać obrazy:

a) rzeczywiste: odwrócone, powiększone lub pomniejszone,
b) urojone: nieodwrócone, powiększone lub pomniejszone.

Przy pomocy soczewek skupiających otrzymujemy obrazy rzeczywiste - powstające w wyniku przecięcia promieni, lub urojone (pozorne) - powstające w wyniku przecięcia przedłużeń promieni. Soczewki rozpraszające pozwalają otrzymać tylko obraz pozorny przedmiotu.

Podstawową wielkością charakteryzującą soczewki optyczne jest ich ***zdolność zbierająca*** (albo ***zdolność skupiająca***) - oznaczana zwykle jako ***Z.*** Zdolność skupiająca to odwrotność ***ogniskowej***, czyli odległości ***ogniska*** soczewki od jej środka. Jednostką zdolności skupiającej jest ***dioptria*** [1dioptria = 1/m]. Dla soczewek skupiających $Z>0$, dla soczewek rozpraszających $Z<0$. Zdolność skupiającą układu składającego się z dwóch soczewek cienkich o ogniskowych f_1 i f_2, które mają wspólną oś optyczną jest opisana zależnością: $\frac{1}{f_u}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}-\frac{s}{f_1 f_2}$, gdzie s oznacza odległość między soczewkami.

Literatura uzupełniająca

1. Cz. Bobrowski, Fizyka- krótki kurs,Rozdz.5.1,5.2
2. S. Przestalski, Fizyka z elementami biofizyki i agrofizyki, Rozdz.1.4.

Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki*

(https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/) (zakładka: *Symulacje zjawisk fizycznych*),

D1. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary	Imię i nazwisko studenta	Wydział grupa
data	Imię i nazwisko prowadzącego	Zaliczenie

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy: Ława optyczna, soczewki, ekran, przedmiot świecący w postaci strzałki, miara metrowa.

Wyznaczanie ogniskowej soczewki skupiającej i rozpraszającej metodą Bessela

1. W odległości ok. 0,5m od oświetlonego przedmiotu ustawiamy ekran.
2. Między ekranem a przedmiotem umieszczamy soczewkę skupiającą (nr 1) w takiej odległości od przedmiotu, by obraz uzyskany na ekranie był ostry i powiększony. Mierzymy odległość soczewki od ekranu (y_1) oraz odległość ekranu od przedmiotu (d). Wyniki wpisujemy do Tabeli 1.
3. Przesuwamy soczewkę w stronę ekranu w takie położenie, by na ekranie otrzymać ostry obraz pomniejszony a następnie odczytujemy odległość soczewki od ekranu (y_2).
4. Analogicznie jak w punktach 2 i 3, odległości y_1 i y_2 odczytujemy dla dwóch innych położeń ekranu.
5. Przesuwamy ekran na koniec ławy optycznej i czynności opisane w punktach 2 – 4 powtarzamy dla układu składającego się z soczewki skupiającej (nr 1) i rozpraszającej (nr 2). Soczewki ustawiamy możliwie najbliżej siebie w taki sposób, by soczewka skupiająca znajdowała się od strony ekranu. Dodatkowo mierzymy odległość między soczewkami s = …… [m].

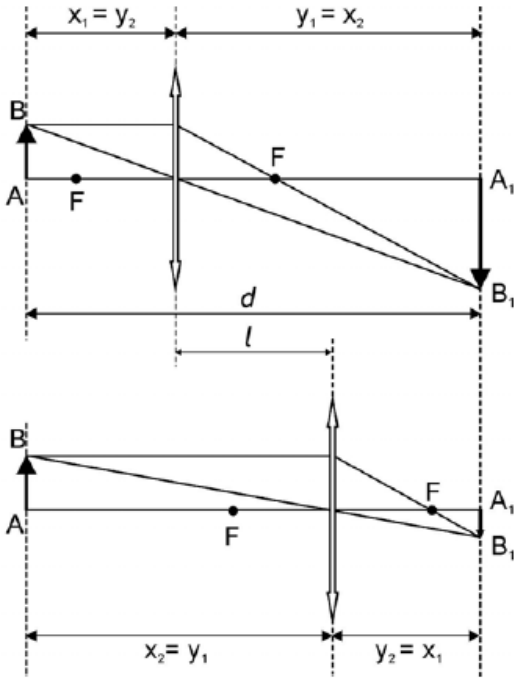


Tabela 1. Pomiary dla soczewki skupiającej nr 1.

Soczewka	lp.	Odległość ekranu od przedmiotu d [m]	Odległość soczewki od ekranu y_1 [m]	Odległość soczewki od ekranu y_2 [m]	$l = y_1 - y_2$ [m]	Ogniskowa f_1 [m]
Skupiająca nr 1	1.					
	2.					
	3.					

Średnia $f_{1śr}$= ____

Zdolność zbierająca Z_1 = ____

Błąd wartości średniej $\Delta f_{1śr}$ [m]= ____

Zestawienie $(f_{śr} \pm \Delta f_{śr})[m]$ = ____

Błąd zdolności zbierającej ΔZ_1 [1/m] = ____

Zestawienie $(Z \pm \Delta Z)\left[\frac{1}{m}\right]$ = ____

Tabela 2. Pomiary dla układu soczewek nr 1 + nr 2.

	lp.	Odległość ekranu od przedmiotu d [m]	odległość obrazu od soczewki y_1 [m]	odległość obrazu od soczewki y_2 [m]	$l = y_1 - y_2$ [m]	Ogniskowa układu soczewek f_u [m]	Ogniskowa soczewki rozpraszającej f_2 [m]
Układ soczewek Nr 1 + Nr 2	1.						
	2.						
	3.						
						Średnia $f_{2śr}$=	
						Zdolność zbierająca Z_2 =	

Błąd wartości średniej $\Delta f_{2śr}$ [m]=		Błąd zdolności zbierającej ΔZ_2 [1/m] =	
Zestawienie $(f_{śr} \pm \Delta f_{śr})[m]$=		Zestawienie $(Z \pm \Delta Z)\left[\frac{1}{m}\right]$=	

Opracowanie wyników

1. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów obliczamy przesunięcie $l = y_1 - y_2$.
2. Korzystając ze wzoru (1) obliczamy ogniskową soczewki skupiającej (nr 1) oraz ogniskową układu soczewek (nr 1 + nr 2) dla każdego przeprowadzonego pomiaru, a następnie wartości średnie $f_{śr}$ oraz zdolności zbierające ze wzoru (2):

$$f = \frac{d^2 - l^2}{4d} \quad (1) \qquad\qquad Z = \frac{1}{f_{śr}} \quad (2)$$

3. Na podstawie wyznaczonej ogniskowej układu soczewek f_u (nr 1 + nr 2) i średniej ogniskowej soczewki skupiającej $f_{1śr}$, obliczamy ze wzoru (3) ogniskową soczewki rozpraszającej f_2, a następnie jej wartość średnią $f_{2śr}$ oraz zdolność zbierającą ze wzoru (2):

$$f_2 = \frac{f_u(f_1 - s)}{f_1 - f_u} \quad (3)$$

gdzie: f_1 – średnia ogniskowa soczewki skupiającej (nr 1), f_2 – ogniskowa soczewki rozpraszającej (nr 2), f_u - ogniskowa układu soczewek (nr 1 + nr 2), s – odległość między soczewkami.

4. Przeprowadzamy rachunek błędów pomiarowych:

   dla obliczonej wartości średniej $f_{śr}$ - metodą odchylenia standardowego SD, przyjmując, że błąd bezwzględny $\Delta f_{śr} = 3 \cdot SD$,

   dla zdolności zbierającej Z – metodą logarytmiczną: $\Delta Z = Z\left|-\frac{\Delta f_{śr}}{f_{śr}}\right|$.

5. Zestawiamy wyniki $f_{śr}$. i Z z ich błędami bezwzględnymi, odpowiednio zaokrąglonymi.