



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt „Plan rozwoju Politechniki Częstochowskiej”
współfinansowany ze środków UNII EUROPEJSKIEJ w ramach EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU SPOŁECZNEGO
Numer Projektu: POKL.04.01.01-00-59/08

INSTYTUT FIZYKI
WYDZIAŁ INŻYNIERII PROCESOWEJ, MATERIAŁOWEJ
I FIZYKI STOSOWANEJ
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA



LABORATORIUM Z FIZYKI

ĆWICZENIE NR W-8

WYZNACZANIE OGNISKOWEJ SOCZEWKI SKUPIAJĄCEJ I UKŁADU SOCZEWEK



Politechnika Częstochowska, Centrum Promocji i Zastosowań Nauk Ścisłych
ul. Dąbrowskiego 73 pok. 178, 42-200 Częstochowa
tel./ fax. +343250324, e-mail: imi@imi.pcz.pl, <http://www.cns.pcz.pl>

I. Zagadnienia do przystudiowania

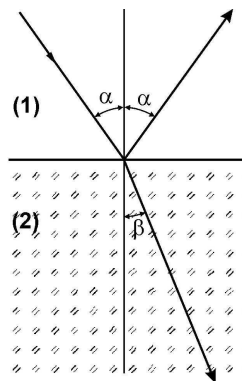
1. Rodzaje soczewek
2. Ognisko, ogniskowa soczewek, zdolność zbierająca soczewki i układu soczewek
3. Podstawowe równania soczewek cienkich
4. Zasady otrzymywania obrazów za pomocą soczewek
5. Metody pomiaru ogniskowej soczewki

II. Wprowadzenie teoretyczne

Światło widzialne stanowi małą część rozległego widma fal elektromagnetycznych, różniących się między sobą długością fali. W przybliżeniu, zwanym optyką geometryczną, zakłada się, że długości fal są bardzo małe w porównaniu z rozmiarami urządzeń służących do ich badania, a więc można zaniedbać efekty dyfrakcyjne. W optyce geometrycznej zakłada się, że w ośrodkach jednorodnych światło rozchodzi się po liniach prostych. Promienie wychodzące z dowolnego punktu przedmiotu tworzą wiązkę rozbieżną. Przekształcenia tej wiązki na zbieżną, równoległą lub bardziej (mniej) rozbieżną można dokonać za pomocą soczewki.

Zjawisko załamania światła

Światło przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego, np. z powietrza do wody, ulega załamaniu, tzn. zmienia kierunek rozchodzenia (rys. 1). Przyczyną tego zjawiska jest różna prędkość światła w obu ośrodkach.



Rys. 1. Kąt padania (α), kąt odbicia (α) i kąt załamania (β) na granicy dwóch ośrodków (1) i (2)

Zjawiskiem załamania rządzi prawo załamania lub inaczej prawo Snelliusa: promień padający, załamany i normalna poprowadzona w punkcie załamania leżą w jednej płaszczyźnie, a stosunek sinusa kąta padania α do sinusa kąta załamania β jest wielkością stałą i równą stosunkowi prędkości światła v_1 i v_2 w tych ośrodkach:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}. \quad (1)$$

Stała oznaczana jest jako n_{21} i nosi nazwę względnego współczynnika załamania światła ośrodka drugiego względem pierwszego.

Współczynnik załamania danego ośrodka względem próżni nazywamy bezwzględnym współczynnikiem załamania światła:

$$n_1 = \frac{c}{v_1}, \quad n_2 = \frac{c}{v_2}, \quad (2)$$

gdzie n_1 i n_2 są bezwzględными współczynnikami załamania światła, odpowiednio dla ośrodka pierwszego i drugiego.

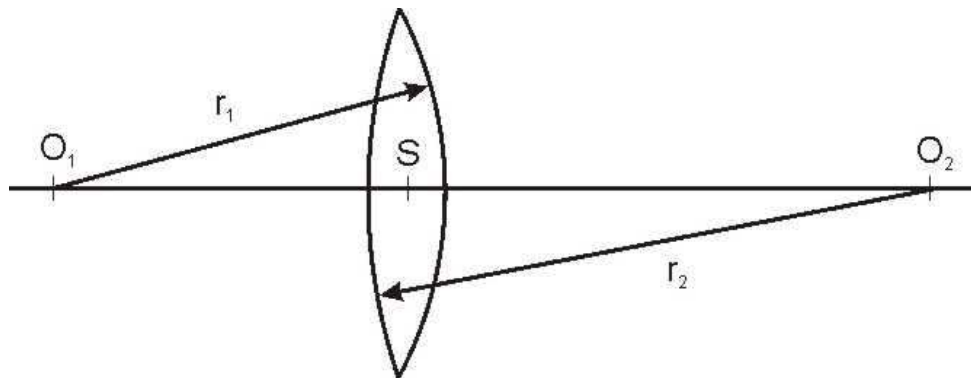
Ze wzoru (2) wynika związek:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}. \quad (3)$$

Z prawa załamania światła (1) wynika, że kąt jaki tworzy promień świetlny ulegający załamaniu z normalną, jest większy w tym ośrodku, w którym jest większa prędkość światła (tj. w ośrodku o mniejszej gęstości optycznej).

Soczewka

Soczewka sferyczna to ciało przezroczyste, ograniczone dwiema powierzchniami kulistymi o promieniach krzywizny r_1 i r_2 (rys. 1). Soczewka może być również płaska z jednej strony, wtedy $r = \infty$. Punkty O_1 i O_2 są środkami krzywizn obu powierzchni soczewki. Prosta przechodząca przez środek soczewki S i przez punkty O_1 i O_2 nazywa się główną osią optyczną.



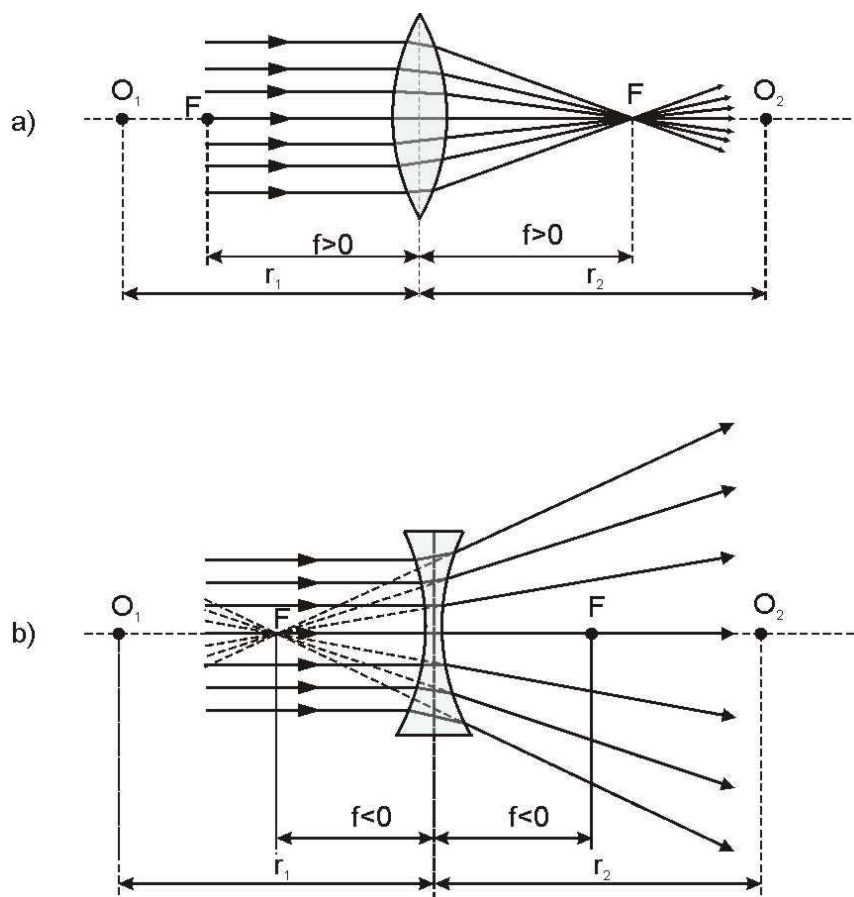
Rys. 2. Środki krzywizny O_1 i O_2 , promienie krzywizny r_1 i r_2 oraz oś optyczna soczewki dwuwypukłej

W efekcie promienie przechodzące przez taką soczewkę szklaną, umieszczoną w powietrzu, kierowane są ku jej osi optycznej. W tych warunkach soczewka dwuwypukła jest soczewką skupiającą, soczewka dwuwklęsła - rozpraszającą.

Symbolicznym graficznym przedstawieniem soczewki skupiającej jest odcinek zakończony na obu końcach strzałkami skierowanymi na zewnątrz, a soczewki rozpraszającej - odcinek ze strzałkami skierowanymi do środka.

Ognisko i ogniskowa soczewki

Jeżeli na soczewkę skupiającą pada przyosiowa wiązka promieni równoległych do osi optycznej soczewki, wówczas po przejściu przez soczewkę promienie te przecinają się w jednym punkcie F , zwanym ogniskiem soczewki (rys. 3 a). Jeśli wiązka promieni równoległych do osi optycznej przechodzi przez soczewkę rozpraszającą, wówczas przedłużenia promieni wychodzących z soczewki przecinają się w jednym punkcie F , który nazywamy ogniskiem soczewki rozpraszającej (rys. 3 b).



Rys. 3. Ogniska F i ogniskowe f soczewki skupiającej (a) $f > 0$ oraz rozpraszającej (b) $f < 0$

Środek optyczny soczewki to punkt wewnątrz soczewki leżący na jej osi optycznej, charakteryzujący się tym, że promienie przechodzące przez ten punkt wychodzą z soczewki bez zmiany swego pierwotnego kierunku.

Ogniskową f soczewki nazywamy odległość ogniska soczewki od środka optycznego soczewki. Ogniskowej soczewki skupiającej przypisujemy wartość dodatnią, rozpraszającej - ujemną.

Ogniskowa soczewki zależy od jej promieni krzywizny r_1 i r_2 i od względnego współczynnika załamania światła materiału soczewki względem otaczającego ośrodka, zgodnie ze wzorem:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (4)$$

gdzie n_1 jest bezwzględnym współczynnikiem załamania ośrodka otaczającego soczewkę, n_2 - bezwzględnym współczynnikiem załamania materiału, z którego zrobiona jest soczewka. Należy pamiętać także o regule znaków: promień krzywizny r jest dodatni dla powierzchni wypukłej i ujemny dla powierzchni wklęsłej, oraz równy nieskończoności dla powierzchni płaskiej.

Ze wzoru (4) wynika, że np. soczewka dwuwypukła ($r_1 > 0$, $r_2 > 0$) wykonana ze zwykłego szkła, która w powietrzu jest soczewką skupiającą ($f > 0$), po zanurzeniu jej np. w dwusiarczku węgla, którego bezwzględny współczynnik załamania światła jest większy niż szkła ($n_1 > n_2$), będzie w nim soczewką rozpraszającą ($f < 0$). Podobnie, pęcherzyk powietrza uwięziony w szkle będzie zachowywał się jak soczewka rozpraszająca.

Wielkością charakteryzującą soczewki jest ich zdolność skupiająca D , której jednostką jest dioptria, definiowana jako odwrotność ogniskowej wyrażonej w metrach, $D = \frac{1}{f[m]}$. Zdolność

skupiająca układu cienkich soczewek stykających się ze sobą jest równa sumie zdolności skupiających tych soczewek:

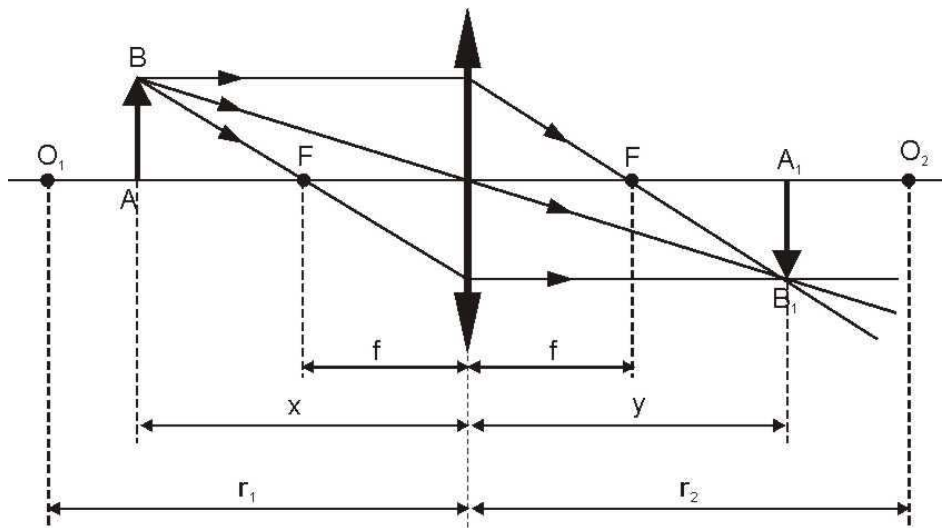
$$D_u = D_1 + D_2. \quad (5)$$

Obrazy tworzone przez soczewki

Graficzną konstrukcję obrazów w soczewkach (rys. 4 i 5) wykonuje się, kreśląc bieg dwóch z trzech następujących promieni: a) promienia biegnącego z wierzchołka B przedmiotu AB równoległe do osi optycznej soczewki, który po załamaniu w niej przechodzi przez ognisko F (soczewka skupiająca) lub jego przedłużenie przechodzi przez ognisko (soczewka rozpraszająca),

b) promienia biegnącego z wierzchołka B przedmiotu AB przez środek optyczny soczewki bez załamania,

c) promienia biegnącego z wierzchołka przedmiotu przez ognisko soczewki (lub którego przedłużenie przechodzi przez ognisko), który po załamaniu w soczewce biegnie równoległe do osi optycznej soczewki.



Rys. 4. Konstrukcja obrazu rzeczywistego A_1B_1 przedmiotu AB tworzonego przez soczewkę skupiającą, gdy przedmiot jest umieszczony względem soczewki w odległości większej niż jej ogniskowa

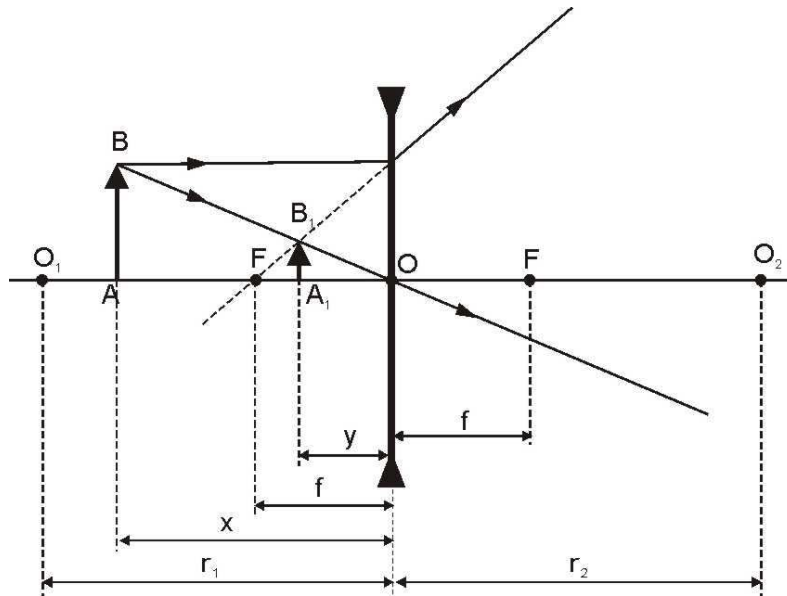
Równanie soczewki cienkiej

Ogniskowa f , odległość przedmiotu od soczewki x i odległość obrazu od soczewki y , związane są równaniem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}, \quad (6)$$

gdzie f jest ogniskową soczewki cienkiej, x - odległością przedmiotu od środka optycznego soczewki oraz y - odległością obrazu od środka optycznego soczewki.

Równanie (6) stosuje się również do soczewek rozpraszających, którym przypisujemy ujemną wartość ogniskowej f . Należy pamiętać, że x jest dodatnie dla każdego przedmiotu rzeczywistego, natomiast y jest dodatnie dla obrazów rzeczywistych, a ujemne dla obrazów pozornych.



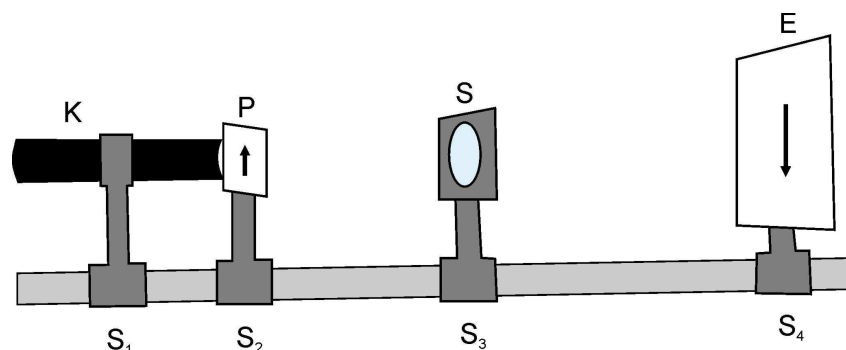
Rys. 6. Konstrukcja obrazu A_1B_1 tworzonego przez soczewkę rozpraszającą gdy przedmiot AB umieszczony jest względem soczewki w odległości większej niż ogniskowa f soczewki.

III. Zestaw pomiarowy

Ława optyczna, oświetlacz, komplet soczewek, ekran

Soczewka skupiająca

Ogniskową soczewki skupiającej można wyznaczyć za pomocą ławy optycznej (rys. 6), na której znajduje się przedmiot P w postaci przeźrocza. Na ławie umieszczamy ekran E , a pomiędzy nim i przedmiotem - soczewkę skupiającą S . Soczewkę przesuwamy tak, aby na ekranie otrzymać wyraźny obraz przedmiotu. Odczytujemy odległość x przedmiotu od środka soczewki i odległość y obrazu od środka soczewki. Otrzymane wartości wstawiamy do wzoru (6).



Rys.7. Ława optyczna

Soczewka rozpraszająca

Ogniskową soczewki rozpraszającej wyznaczamy za pomocą tego samego zestawu pomiarowego. Ponieważ soczewka rozpraszająca nie daje obrazów rzeczywistych, należy posłużyć się dodatkową soczewką skupiającą, która wraz z badaną soczewką rozpraszającą wytworzy na ekranie obraz rzeczywisty. W tym celu umieszczamy na lawie optycznej badaną soczewkę rozpraszającą o ogniskowej f_3 wraz z soczewką skupiającą o wyznaczonej uprzednio ogniskowej f_1 i wykonujemy pomiary ogniskowej układu soczewek f_u według sposobu opisanego poprzednio. Zgodnie ze wzorem (5) otrzymujemy:

$$\frac{1}{f_u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_3} \quad (7)$$

stąd:

$$f_3 = \frac{f_u f_1}{f_1 - f_u} \quad (8)$$

IV. Przebieg ćwiczenia

1. Na lawie optycznej ustawiamy kolejno: oświetlacz, jedną z soczewek skupiających (nr 1) i ekran.
2. Bezpośrednio za oświetlaczem umieszczamy w uchwycie ramkę z przezroczem, który będzie stanowić przedmiot.
3. Włączamy oświetlacz do sieci prądu zmiennego.
4. Źródło światła, przedmiot, soczewkę i ekran ustawiamy tak, aby ich środki leżały na jednej prostej, równoległej do osi optycznej soczewki.
5. Ustawiamy ekran w takiej odległości od przedmiotu, aby uzyskać jego wyraźny obraz.
6. Mierzymy odległość przedmiotu od soczewki x oraz soczewki od ekranu y .
7. Nie zmieniając odległości ekranu od przedmiotu, nieznacznie zmieniamy położenie soczewki, a następnie przesuwamy soczewkę do położenia, w którym na ekranie otrzymamy wyraźny obraz przedmiotu. Mierzymy odległości x oraz y . Czynność tę wykonujemy 10-krotnie.
8. Wykonujemy pomiary wg punktów 3-7 dla soczewki nr 2.
9. Umieszczamy w uchwytach soczewkę rozpraszającą nr 3 oraz soczewką skupiającą nr 1 i dla tego układu wykonujemy pomiary opisane w punktach 3-7.
10. Wyniki wpisujemy do tabeli.

V. Tabela pomiarowa

Soczewka	l.p	x [cm]	y [cm]	f_i [cm]	f_{sr} [cm]	$f_i - f_{sr}$ [cm]	$(f_i - f_{sr})^2$ [cm ²]	Δf_{sr} [cm]	$f_{sr} \pm \Delta f_{sr}$ [cm]
Nr 1	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
	10								
Nr 2	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
	10								
Układ soczewek Nr 1 +Nr 3	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
	10								
Nr 3	1.	-----	-----	-----		-----	-----		

VI. Opracowanie ćwiczenia

1. Na podstawie wyników zestawionych w tabeli obliczamy ogniskowe soczewek skupiających nr 1 i nr 2 oraz układu soczewek f_u z zależności (6).
2. Wyznaczamy ogniskową soczewki rozpraszającej f_3 z zależności (8).
3. Wyniki wpisać do tabeli.

VII. Rachunek błędów

1. Obliczamy wartość średnią ogniskowej soczewki nr 1, 2 oraz układu soczewek nr 1 i 3.
2. Obliczamy średni błąd kwadratowy średniej arytmetycznej ogniskowej soczewek nr 1, 2 oraz układu soczewek nr 1 i 3, zgodnie ze wzorem:

$$\Delta f_{sr} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - f_{sr})^2}{n(n-1)}} \quad (10)$$

3. Zaokrąglamy wartości $|\Delta f_{sr}|$ i f_{sr} zgodnie z obowiązującymi normami.
4. Obliczamy wartość ogniskowej soczewki rozpraszającej nr 3, zgodnie ze wzorem (8). Do obliczeń przyjmujemy średnią wartość ogniskowej nr 1, średnią wartość ogniskowej układu soczewek nr 1 i 3.
5. Niepewność pomiarową wyznaczenia ogniskowej soczewki rozpraszającej wyznaczamy metodą różniczki zupełnej:

$$\Delta f_3 = \left| \frac{\sigma f_3}{\sigma f_1} \right| \Delta f_1 + \left| \frac{\sigma f_3}{\sigma f_u} \right| \Delta f_u \quad (11)$$

Po przekształceniach, otrzymujemy:

$$\Delta f_3 = \left| \frac{-f_u^2}{(f_1 - f_u)^2} \right| \Delta f_1 + \left| \frac{f_1^2}{(f_1 - f_u)^2} \right| \Delta f_u \quad (12)$$

gdzie za Δf_1 , Δf_u przyjmujemy, odpowiednio, średni błąd kwadratowy średniej wartości ogniskowej soczewki nr 1 oraz układu soczewek nr 1 i 3.

6. Zaokrąglamy wartości $|\Delta f_3|$ i f_3 zgodnie z obowiązującymi normami.
7. Obliczamy względną niepewność pomiaru wyznaczonych wielkości.

VIII. Literatura

1. T. Dryński – Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1978
2. S. Szczeniowski „Fizyka doświadczalna”, cz. IV, Optyka, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1976
3. J. Lech – Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Częstochowa 2005