



Podstawy Fizyki Optyka

Praca zbiorowa

Ćwiczenie 42

## **WYZNACZANIE OGNISKOWEJ SOCZEWKI CIENKIEJ**

opr. tech. Mirosław Maś

Uniwersytet Przyrodniczo - Humanistyczny  
Siedlce 2020

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie ogniskowej soczewki rozpraszającej. Nie można tego zrobić bezpośrednio, dlatego najpierw wyznacza się ogniskową soczewki skupiającej, buduje układ soczewek, wykonuje obliczenia ogniskowej. Mając wartości obu serii pomiarowych – oblicza się ogniskową soczewki rozpraszającej.

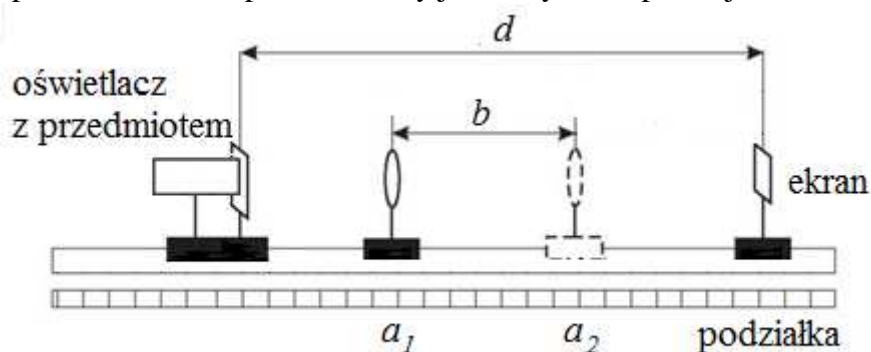
W ćwiczeniu studenci poznają metody wyznaczania ogniskowych soczewek wykorzystujące równanie soczewki cienkiej i metodę Bessela, oraz ugruntowują swoją wiedzę o podstawowych prawach optyki geometrycznej.

Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy sprawdzić czy zestaw laboratoryjny jest kompletny.

W skład zestawu pomiarowego wchodzi:

- oświetlacz z przedmiotem + zasilacz regulowany,
- ława optyczna z uchwytem na soczewki i ekran,
- metrówka,
- komplet soczewek.

Używany do pomiarów zestaw przedstawiony jest na rysunku poniżej.



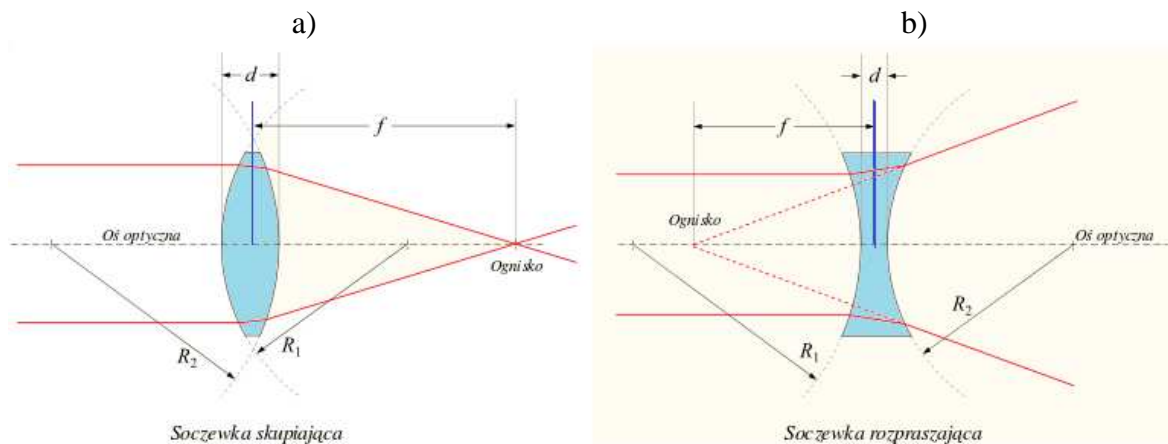
Do ćwiczenia należy opanować następujące zagadnienia teoretyczne:

- podstawowe wiadomości dotyczące rozchodzenia się światła: ?
- załamanie i odbicie,
- dyspersja;
- zależność współczynnika załamania światła od długości fali;?
- soczewki: rodzaje i zastosowanie,
- powstawanie obrazu w soczewce skupiającej i rozpraszającej, równanie soczewki;
- metody wyznaczania ogniskowych soczewek:
- w oparciu o równanie soczewki, metoda Bessela, ogniskowa układu dwóch cienkich soczewek;
- wady soczewek: aberracja sferyczna, aberracja chromatyczna, astygmatyzm.

## 2. Wprowadzenie teoretyczne.

### Podstawowe pojęcia i definicje

**Soczewka** jest obiektem fizycznym wykonanym z materiału przezroczystego o zadanym kształcie i symetrii. Interesować się będziemy soczewkami ograniczonymi powierzchniami sferycznymi (lub powierzchnią sferyczną i płaską), takimi, że maksymalna odległość między nimi jest dużo mniejsza niż promień krzywizny tych powierzchni. Promienie świetlne przechodzące przez soczewkę ulegają dwukrotnemu załamaniu na granicy ośrodków, powietrze – szkło, a następnie szkło – powietrze. Równoległe promienie, padające na soczewkę skupiającą (prostopadle do jej płaszczyzny środkowej) po przejściu przez soczewkę przecinają się w jednym punkcie - zwanym ogniskiem. Odległość ogniska soczewki od płaszczyzny środkowej soczewki nazywa się ogniskową  $f$ . Soczewka rozpraszająca posiada ognisko pozorne, w którym przecinają się przedłużenia promieni załamanych (patrz Rys. 1).



Rys. 1

$R_1$  i  $R_2$  – promienie krzywizny,  
 $d$  – grubość soczewki (w połowie jest zaznaczona płaszczyzna środkowa),  
 $f$  – ogniskowa soczewki.

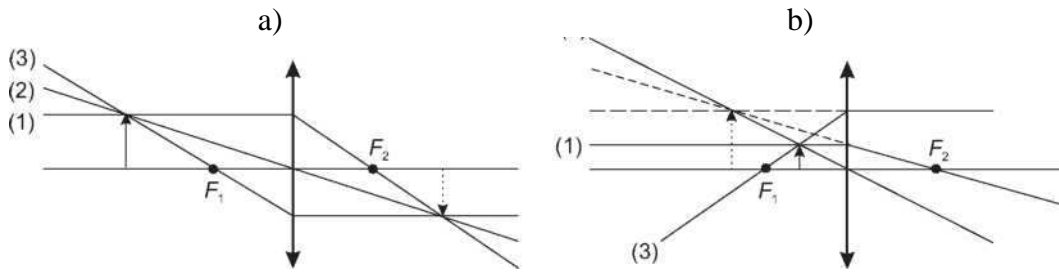
### Konstrukcja obrazu

W celu konstrukcji obrazu w soczewce skupiającej i rozpraszającej wykorzystuje się bieg charakterystycznych promieni:

- (1) biegnącego równoległe do osi optycznej soczewki,
- (2) przechodzącego przez środek optyczny soczewki oraz
- (3) przechodzącego przez ognisko soczewki  $F_1$ .

**Soczewka skupiająca** - gdy przedmiot znajduje się **dalej** niż ognisko soczewki to: promień (1) po załamaniu przechodzi przez ognisko  $F_2$ , promień (2) nie zmienia swojego kierunku, a promień (3) po załamaniu biegnie równoległe do osi soczewki (Rys. 2a) powstaje obraz rzeczywisty.

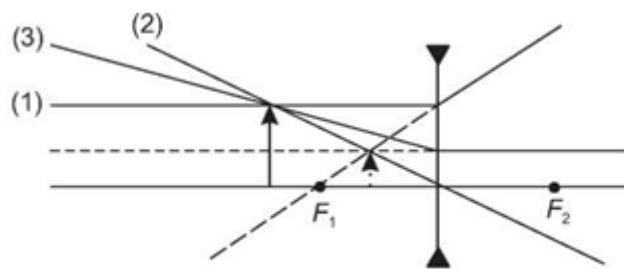
Natomiast, gdy odległość przedmiotu od soczewki **jest mniejsza** od jej ogniskowej, to powstaje obraz pozorny na przedłużeniu rozbieżnej wiązki promieni załamanych (Rys. 2b).



Rys. 2

**Soczewka rozpraszająca** daje obraz pozorny.

Promień (1) ulega załamaniu tak, że jego przedłużenie przechodzi przez ognisko  $F_1$ . Promień (2) nie zmienia swojego biegu, a promień (3) po przejściu przez soczewkę jest równoległy do osi optycznej (patrz Rys. 3).



Rys. 3

**Równanie soczewki** wiąże ze sobą odległość przedmiotu od soczewki  $x$  oraz odległość obrazu od soczewki  $y$  z jej ogniskową  $f$

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

Jest to równanie soczewki cienkiej. Po przekształceniach otrzymamy odpowiednio:

$$x = \frac{yf}{y - f}, \quad y = \frac{xf}{x - f},$$

a ogniskowa

$$f = \frac{xy}{x + y}. \quad /1a/$$

Dla soczewek rozpraszających ogniskowa  $f$  ma wartość minusową, bo  $y$  odległość obrazu urojonego od soczewki ma ujemną wartość (przedmiot i jego obraz są po tej samej stronie soczewki).

**Soczewka cienka** – to soczewka sferyczna (modelowa) o zaniedbywalnie małej grubości. Pojęcie - zostało wprowadzone by uprościć wzory opisujące bieg promieni w układach optycznych (np. w równaniu soczewki). W rzeczywistości możemy uznać że - soczewka cienka - to soczewka, której grubość ( $d$ ) jest dużo mniejsza od jej ogniskowej ( $f$ ), a średnica jest mniejsza od promieni krzywizn soczewki ( $R_1$  i  $R_2$ ). Przy rysowaniu (np. zasady

powstawania obrazów) rozpatrujemy tylko promienie biegnące blisko osi optycznej. W soczewce rzeczywistej obraz może być zniekształcony np. przez aberrację (sferyczną).

### Wady soczewek

Idealna soczewka (cienka) skupia wiązkę światła w jednym punkcie i wytwarza ostry obraz przedmiotu, różniący się od niego tylko powiększeniem. Rzeczywiste soczewki posiadają wady - aberracje, wytworzone przez nie obrazy są zniekształcane. Wady wynikają:

- z niedokładności wykonania,
- ukrytych wad materiału z którego są zrobione,
- z fizycznych właściwości soczewek, przede wszystkim z różnic grubości pomiędzy środkiem a brzegiem,
- rodzaju materiału z którego są wykonane, i wynikającej z tego zależności współczynnika załamania materiału,

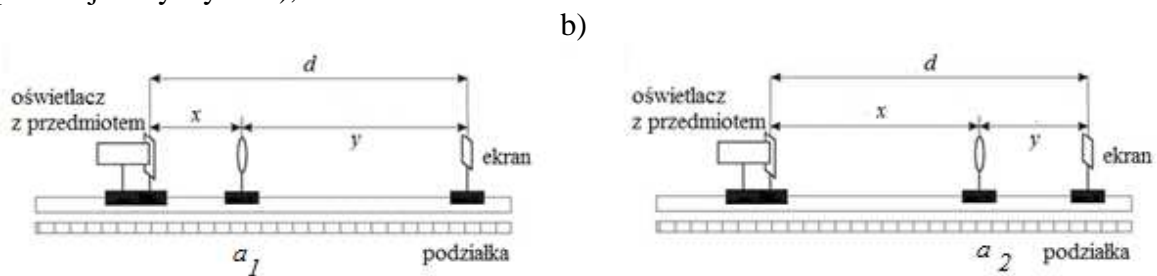
Rodzaje aberracji:

- aberracja chromatyczna,
- aberracja sferyczna,
- koma,
- astygmatyzm,
- dystorsja.

Niweluje się ww. wady zastępując pojedynczą soczewkę układem soczewek.

### Wyznaczenie ogniskowej:

**Z równania soczewki.** - Przy stałej odległości przedmiotu i ekranu istnieją dwa położenia soczewki, w których na ekranie otrzymamy ostre obrazy (powiększony Rys. 4a oraz pomniejszony Rys. 4b),



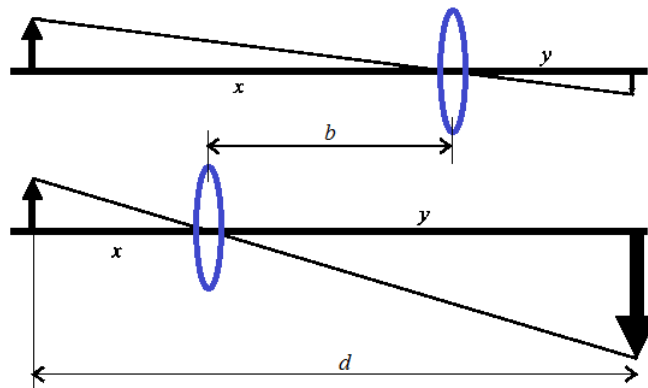
Rys. 4

Analizując powyższe rysunki, widać że:

$$x + y = d = \text{const} ,$$

Mierząc odległości  $x$  i  $y$  (w ustawieniu  $a_1$  lub  $a_2$ ) a następnie podstawiając je do wzoru /1a/ obliczamy ogniskową soczewki skupiającej.

**Metoda Bessela** - zaznaczając oba przypadki z Rys. 4 na jednym - otrzymamy układ przedstawiony na rysunku.



Widać, że gdy spełniony jest warunek  $d > 4f$  to

$$x + y = d = \text{const}$$

ale również

$$y - x = b = \text{const}$$

$b$  – jest odległością między położeniami soczewek  $a_1$  i  $a_2$ .

Rozwiązując ten układ otrzymujemy:

$$x = \frac{d - b}{2} \quad \text{oraz} \quad y = \frac{d + b}{2}$$

Podstawiając te wartości do wzoru /1/ dostaniemy

$$f = \frac{d^2 - b^2}{4d} \quad \text{lub} \quad 4f = d - \frac{b^2}{d} . \quad /2/$$

Wzór /2/ jest wzorem na wyliczenie ogniskowej soczewki skupiającej metodą Bessela. Identycznie wyznacza się ogniskową układu soczewek.

Jeżeli mamy układ cienkich soczewek, to ogniskową takiego układu obliczymy z dużym przybliżeniem z zależności:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d'}{f_1 f_2} , \quad /3/$$

gdzie:  $f_1$  i  $f_2$  - są odpowiednio ogniskami soczewek wchodzących do układu, a  $d'$  - odległością między środkami soczewek.

Jeżeli soczewki układu przylegają do siebie, wówczas  $d' = 0$  , to

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

W przypadku, gdy druga soczewka układu jest rozpraszająca wzór zapisujemy w postaci:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2},$$

i ostatecznie wzór na ogniskową soczewki rozpraszającej przybierze postać:

$$f_2 = \frac{ff_1}{f_1 - f}. \quad (18) /5/$$

### 3. Wykonanie pomiarów

1. Ustawiać na ławie optycznej oświetlony przedmiot i ekran w odległości ( $d$ ) podanej przez prowadzącego.
2. Między ekranem a oświetlonym przedmiotem ustawić soczewkę skupiającą tak, aby obraz na ekranie był rzeczywisty i powiększony. Wyznaczyć położenie soczewki  $a_1$ .
3. Przesunąć soczewkę w takie położenie, aby na ekranie otrzymać obraz rzeczywisty zmniejszony. Odczytać położenie soczewki  $a_2$ .
4. Obliczyć przesunięcie między położeniami  $a_2 - a_1 = b$ .
5. Czynności przedstawione w punktach 2, 3, 4 powtórzyć 3-krotnie. Wyniki zapisać w tabeli.

	Odległość między przedmiotem a ekranem	Położenia soczewki		$b = a_2 - a_1$
		$a_1$ [cm]	$a_2$ [cm]	
soczewka skupiająca	d =			
zestaw soczewek	d =			

6. Zmontować układ soczewek (pamiętając o ustawieniu kolejności soczewek od przedmiotu). Zmienić odległość ( $d$ ) i powtórzyć czynności z punktu 2, 3, 4. Wyniki zapisać.
7. Czynności opisane w punktach 1-6 powtórzyć dla innych soczewek i zestawów.
8. Wykonać obliczenia korzystając ze wzorów /2/, a w przypadku układu soczewek również ze wzorów /3/, /4/ lub /5/.
9. Błędy liczyć metodą średniego błędu kwadratowego. Przeprowadzić dyskusję wyników.

## Literatura:

- A. Daniluk, Instrukcje do ćwiczeń
1. T. Dryński, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa, 1978.
  2. S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, cz. 4, PWN, Warszawa, 1980.
  3. H. Szydlowski, Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa, 1994.
  4. J. R. Meyer-Arendt, Wstęp do optyki PWN, Warszawa, 1979.
  5. R. Resnick, D. Halliday, Fizyka, t. II, PWN, 1997.
  6. Sz. Szczeniowski, Optyka, PWN, Warszawa, 1971 Wyd. 4 uzup.
  7. I Pracownia Fizyczna. pod red. Cz. Kajtocha, Wyd.Naukowe AP, Kraków 2007
  8. <https://www.wikimedia.org/>
  9. [https://www.uj.edu.pl/instrukcje\\_ćwiczeń](https://www.uj.edu.pl/instrukcje_ćwiczeń)
  10. <https://www.fizyka.p.lodz.pl/download/404.pdf>