



POLSKO-JAPÓŃSKA  
AKADEMIA TECHNIK  
KOMPUTEROWYCH  
W GDAŃSKU

SOCZEWKI CIENKIE

Aleksander Bastek  
s27454

Kamil Koniak  
s26766

1. Celem zadania jest wyznaczanie ogniskowych soczewek cienkich przy pomocy sferometru, metodą graficzną i metodą Bessela.
  2. Podstawowe zagadnienia:
    - 2.1. Właściwości optyczne soczewek cienkich:
      - 2.1.1. Soczewki cienkie charakteryzują się tym, że ich grubość jest znacznie mniejsza od promienia krzywizny.
      - 2.1.2. Promień krzywizny to odległość od środka soczewki do jej krzywizny. Promienie krzywizny dwóch powierzchni soczewki mogą być różne.
      - 2.1.3. Środek optyczny soczewki to punkt leżący na osi optycznej, przez który przechodzi promień świetlny nie ulegając załamaniu.
      - 2.1.4. Oś optyczna to prosta przechodząca przez środek optyczny soczewki i łącząca obrazy przedmiotów i ich rzuty.
      - 2.1.5. Fokus soczewki to punkt, w którym równoległe promienie światła skupiają się po przejściu przez soczewkę, nazywany jest ogniskiem soczewki.
    - 2.2. Zdolność skupiająca określana jest wzorem:
- $$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$
- gdzie:
- $f$  to zdolność skupiająca soczewki  
 $n$  to współczynnik załamania soczewki  
 $R_1$  i  $R_2$  to promienie krzywizny powierzchni soczewki.
- 2.3. Powiększenie obrazu  $M$  wytwarzanego przez soczewkę można obliczyć wzorem:
- $$M = \frac{-i}{o}, \text{ gdzie } i \text{ to odległość obrazu od soczewki, a } o \text{ to odległość przedmiotu od soczewki.}$$
- 2.4. Zasady konstruowania obrazów wytwarzanych przez soczewki cienkie i umowa znaków:

- 2.4.1. Obraz jest rzeczywisty, jeśli promienie świetlne są zbierane po przejściu przez soczewkę a odległość obrazu  $i$  jest ujemna.
- 2.4.2. Obraz jest pozorny, jeśli promienie świetlne pozostają rozbieżne po przejściu przez soczewkę a odległość obrazu  $i$  jest dodatnia.
- 2.4.3. Umowa znaków jest używana do zapisywania równań optycznych, takich jak wzory soczewkowe czy wzory powiększenia, w sposób jednoznaczny i zgodny z praktyką optyczną. Dzięki temu, gdy analizujemy układy optyczne i soczewki, łatwiej jest interpretować i przewidzieć, jak obrazy będą się formować na podstawie znaków przypisanych różnym wielkościom optycznym.

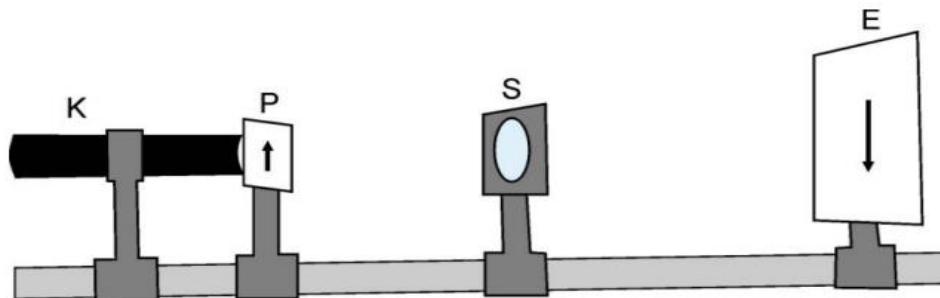
2.5. Wyznaczanie promienia krzywizny soczewki za pomocą sferometru:

Pomiaru promienia krzywizny dokonuje poprzez pomiar strzałki czaszy oraz promień (wewnętrzny lub zewnętrzny) podstawy sferometru, a następnie wyliczenie szukanego promienia.

2.6. Metody wyznaczania ogniskowych soczewek cienkich:

- 2.6.1. Metoda graficzna, wykorzystuje konstrukcję promieni świetlnych, aby znaleźć obraz. Można użyć reguły trzech promieni (promień padający, odbity i przechodzący przez ognisko).
- 2.6.2. Metoda Bessela opiera się na pomiarze odległości między soczewką a ecranem dla dwóch różnych pozycji, przy których obraz jest ostro widoczny. Pozwala obliczyć ogniskową soczewki przy użyciu formuły Bessela.

3. Przyrządy: zestaw soczewek cienkich, ława optyczna, lampa, ekran, przymiar, sferometr.

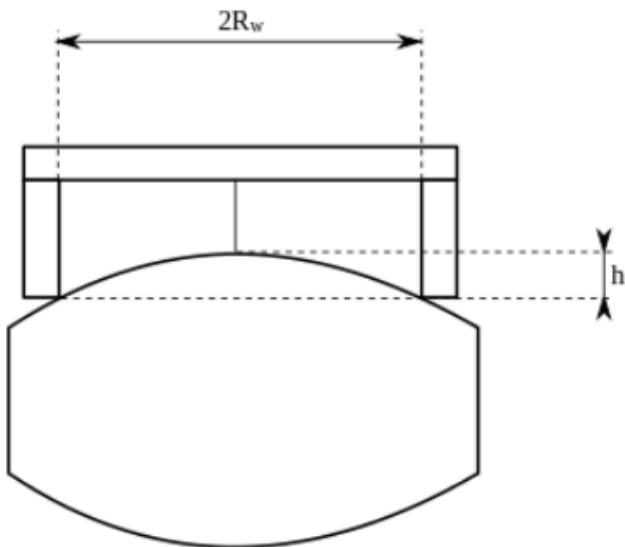


Rysunek przedstawia ławę optyczną, gdzie K to źródło światła, P to przedmiot, S to soczewka a E to ekran.

4. Przeprowadzenie pomiarów:

4.1. Wyznaczanie ogniskowej soczewki cienkiej przy pomocy sferometru.

4.1.1. Zmierzyć  $h$  po obu stronach soczewki ( $h_1$  i  $h_2$ )



4.1.2. Obliczyć  $R_1$  i  $R_2$  ze wzoru:

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h}$$

4.1.3. Obliczyć ogniskową ze wzoru szlifierzy soczewek:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n}{n'} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

gdzie:

$f$  to ogniskowa soczewki

$n$  to współczynnik materiału, z którego wykonano soczewkę

$n'$  to współczynnik załamania ośrodka otaczającego soczewkę (mierzony względem próżni)

$R_1$  i  $R_2$  to promień krzywizny soczewki

Należy przyjąć, że w powietrzu dla soczewki  $n/n' = 1.51$

4.2. Wyznaczanie ogniskowej soczewki przy pomocy pomiaru odległości przedmiotu i obrazu od soczewki.

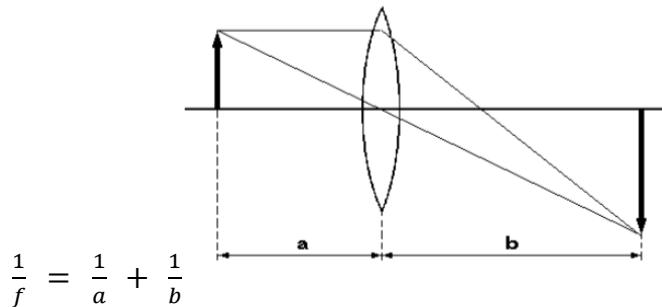
4.2.1. Ustawić źródło światła, przedmiot, soczewkę i ekran w taki sposób, aby otrzymać ostry obraz. Zachować możliwie największą odległość  $l$  przedmiotu od ekranu.

4.2.2. Zmierzyć odległości  $l$ ,  $a$  oraz  $b$ .

4.2.3. Wykonać polecenia z punktu 1 i 2 dla przynajmniej dziesięciu różnych wartości  $l$  zmieniając  $l$  co 5 cm lub według zaleceń prowadzącego ćwiczenie. Dla wartości  $l$  bliskich  $4f$  zmieniać  $l$  co 1cm.

4.2.4. Wpisać wyniki do tabeli zawierającej wartości  $a$ ,  $b$ ,  $f$ .

4.2.5. Obliczyć ogniskową soczewki ze wzoru:



4.3. Wyznaczanie ogniskowej metodą Bessela.

4.3.1. Ustawić źródło światła, przedmiot, soczewkę i ekran w taki sposób, aby otrzymać ostry obraz. Zachować możliwie największą odległość  $l$  przedmiotu od ekranu.

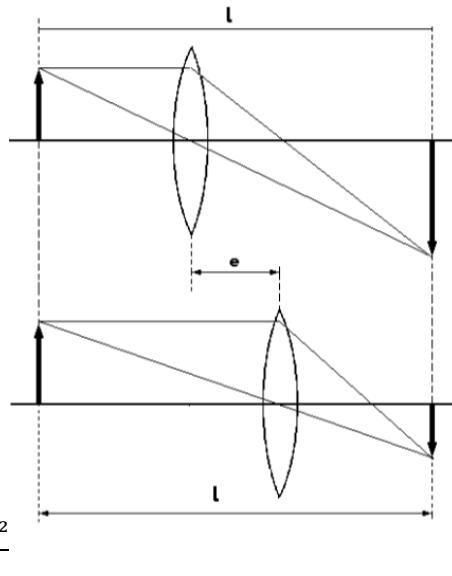
4.3.2. Zmierzyć odległości  $l$ ,  $a$  oraz  $b$ .

4.3.3. Przy ustalonej wartości  $l$  znaleźć takie dwa położenia soczewki, dla których uzyskamy na ekranie dwa ostre obrazy: powiększony a następnie pomniejszony.

Zmierzyć  $l = a + b$  oraz  $e = b - a$

4.3.4. Przeprowadzić pomiary z punktu 3 dla trzech różnych odległości  $l$ .

4.3.5. Obliczyć  $f$  ze wzoru:



5. Opracowanie wyników:

5.1. Obliczyć ogniskową soczewki na podstawie pomiarów wykonanych sferometrem.

Ogniskowa soczewki wynosi 100 mm.

Parametry	Wartości
Ogniskowa soczewki	100 mm
Pomiar wysokości poziom (blat stołu)	91,81
Pomiar wysokości pierwsza strona soczewki	92,89
Pomiar wysokości druga strona soczewki	92,9
$h_1$	1,08
$h_2$	1,09
$r$	14
$R_1$	91,28074074
$R_2$	90,45325688
$n/n'$	1,51
$1/f$	0,01122543014
$f$	89,08344601

**5.2.** Wyznaczyć ogniskową soczewki metodą II (graficzną). W tym celu wykreślić zależność  $b(a)$  oraz  $l(a)$ .

Ogniskowa soczewki wynosi 50 mm.

**Wartość średnia ogniskowej soczewki wynosi 51,16396908 mm.**

Obraz powiększony					
Odległość przedmiotu od ekranu $l$	1000	950	900	850	800
Odległość przedmiotu od soczewki $a$	50	50	50	55	55
Odległość obrazu od soczewki $b = l - a$	950	900	850	795	745
Odległość ogniskowa $f$	47,5	47,36842105	47,22222222	51,44117647	51,21875
Obraz pomniejszony					
Odległość przedmiotu od ekranu $l$	1000	950	900	850	800
Odległość przedmiotu od soczewki $a$	940	890	845	790	750
Odległość obrazu od soczewki $b = l - a$	60	60	55	60	50
Odległość ogniskowa $f$	56,4	56,21052632	51,63888889	55,76470588	46,875

**5.3.** Obliczyć ogniskową korzystając z metody Bessela.

Ogniskowa soczewki wynosi 50 mm.

**Wartość średnia ogniskowej ( $f$ ) wynosi 51,05667641 mm.**

Obraz powiększony			
Różnica $e = b - a$	900	850	800
$l^2$	1000000	902500	810000
$e^2$	810000	722500	640000
$4l$	4000	3800	3600
$f = (l^2 + e^2) / 4l$	47,5	47,36842105	47,22222222
Obraz pomniejszony			
Różnica $e = b - a$	-880	-830	-790
$l^2$	1000000	902500	810000
$e^2$	774400	688900	624100

$4l$	4000	3800	3600
$f = (l^2 + e^2) / 4l$	56,4	56,21052632	51,63888889

5.4. Obliczyć błędy maksymalne ogniskowej wyznaczonej różnymi metodami.

Błędy maksymalne	
Błąd maksymalny sferometru (mm) ( $\partial r$ )	0,01
Błąd maksymalny linijki (mm) ( $\partial h$ )	1
Błąd $n/n'$ ( $\partial n/n'$ )	0,01

5.4.1. Błąd pomiarowy przy wyznaczaniu ogniskowej soczewki cienkiej przy pomocy sferometru.

Wzór na błąd pomiarowy promienia krzywizny soczewki:

$$\Delta R = \frac{r}{h} \Delta r + \left( \frac{r^2}{2h^2} + \frac{1}{2} \right) \Delta h$$

Wzór na błąd pomiarowy ogniskowej soczewki:

$$\begin{aligned} \Delta f &= \frac{1}{\left(\frac{n}{n'} - 1\right)^2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot \Delta \frac{n}{n'} + \\ &+ \frac{R_2^2}{(R_1 + R_2)^2 \left(\frac{n}{n'} - 1\right)} \cdot \\ &\cdot \Delta R_1 + \frac{R_1^2}{(R_1 + R_2)^2 \left(\frac{n}{n'} - 1\right)} \cdot \Delta R_2 \end{aligned}$$

$\Delta n/n'$	0,01
$\partial f / \partial n/n' \cdot \Delta n/n'$	0,000846237883
$\partial f / \partial R_1$	0,494670231
$\partial f / \partial R_2$	0,4857422516
$\Delta R_1$	13,81
$\Delta R_2$	13,65
$\partial f / \partial R_1 \cdot \Delta R_1$	6,83139589
$\partial f / \partial R_2 \cdot \Delta R_2$	6,630381735
$\Delta f$	13,57994771
Przybliżenie ~	13,58

5.4.2. Błąd pomiarowy przy wyznaczaniu ogniskowej soczewki przy pomocy pomiaru odległości przedmiotu i obrazu od soczewki.

Niepewność pomiarowa:

$$\Delta f = \frac{b^2}{(a + b)^2} \Delta a + \frac{a^2}{(a + b)^2} \Delta b$$

$\Delta a$  oraz  $\Delta b$  wynosi 5 mm

**Średnie  $\Delta f$  wynosi 4,428482095**

Obraz powiększony					
Odległość przedmiotu od soczewki $a$	50	50	50	55	55
Odległość obrazu od soczewki $b = l - a$	950	900	850	795	745
Odległość ogniskowa $f$ (mm)	49,296	49,15368421	48,99555556	48,81882353	nizej
$a^2 / (a + b)^2 \cdot \Delta a$	4,5125	4,487534626	4,459876543	4,373875433	4,336132813
$b^2 / (a + b)^2 \cdot \Delta b$	0,0125	0,01385041551	0,01543209877	0,02093425606	0,0236328125
$\Delta f$	<b>4,525</b>	<b>4,501385042</b>	<b>4,475308642</b>	<b>4,394809689</b>	<b>4,359765625</b>
Obraz pomniejszony					
Odległość przedmiotu od soczewki $a$	940	890	845	790	750
Odległość obrazu od soczewki $b = l - a$	60	60	55	60	50

Odległość ogniskowa $f$ (mm)	56,4	56,21052632	51,63888889	55,76470588	46,875
$a^2 / (a + b)^2 \cdot \Delta a$	0,018	0,01994459834	0,01867283951	0,02491349481	0,01953125
$b^2 / (a + b)^2 \cdot \Delta b$	4,418	4,388365651	4,407561728	4,319031142	4,39453125
$\Delta f$	<b>4,436</b>	<b>4,408310249</b>	<b>4,426234568</b>	<b>4,343944637</b>	<b>4,4140625</b>

#### 5.4.3. Błąd pomiarowy przy wyznaczaniu ogniskowej metodą Bessela.

Niepewność pomiarowa:

$$\Delta f = \left| \frac{e}{2l} \right| \Delta e + \left| \left( \frac{e^2}{4l^2} + \frac{1}{4} \right) \right| \Delta l$$

$\Delta e$  oraz  $\Delta l$  wynosi 5 mm

**Średnie  $\Delta f$  wynosi 4,445639758**

Obraz powiększony			
Odległość przedmiotu od ekranu $l$	1000	950	900
Różnica $e = b - a$	900	850	800
$ e^2 / 4l^2 + 0.25 $	0,4525	0,4501385042	0,4475308642
$\Delta f$	<b>4,5125</b>	<b>4,487534626</b>	<b>4,459876543</b>
Obraz pomniejszony			
Odległość przedmiotu od ekranu $l$	1000	950	900
Różnica $e = b - a$	-880	-830	-790
$ e^2 / 4l^2 + 0.25 $	0,4436	0,4408310249	0,4426234568
$\Delta f$	<b>4,418</b>	<b>4,388365651</b>	<b>4,407561728</b>

5.5. Obliczyć średnią ważoną z wartości ogniskowych otrzymanych różnymi metodami.

Wzór na średnią ważoną:

$$\bar{x}_w = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i}$$

gdzie:

$x_i$  to kolejne pomiary ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )

$w_i = 1/(\Delta x_i)^2$  to waga i-tego wyniku  
 $\Delta x_i$  to niepewność pomiarowa dla pomiaru  $x_i$

Waga dla doświadczenia II ( $W_a$ )	0,05099061074
Waga dla doświadczenia III ( $W_b$ )	0,05059778024
Średnia ważona z dwóch doświadczeń	51,11053019

#### Bibliografia

- J. R. Meyer – Arendt, *Wstęp do optyki*, PWN  
T. Dryński, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN  
L. C. Evans, *Równania różniczkowe cząstkowe*, PWN  
H. Szydłowski, *Pracownia Fizyczna*, PWN  
A. Zawadzki H. Hofmokl, *Laboratorium Fizyczne*, PWN

Linki:

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Sferometr>