

## Ćwiczenie Nr 403

Temat: Wyznaczanie odległości ogniskowej i powiększenia cienkich soczewek.

### I. LITERATURA:

1. D. Halliday, R. Resnick, Fizyka t. II, PWN, Warszawa.
2. J.R. Meyer-Arendt. Wstęp do optyki, PWN, Warszawa 1977.
4. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, W-wa 1978 .

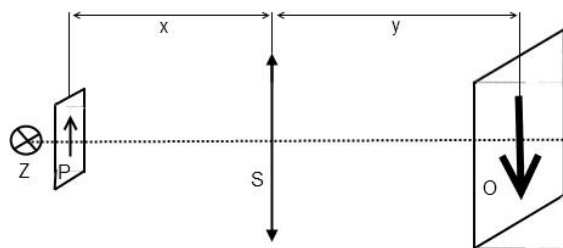
### II. TEMATY TEORETYCZNE:

1. Prawa odbicia i załamania światła, bieg promieni przez soczewki i powstawanie obrazów
2. Równanie soczewki, metoda Bessela, wady soczewek.

### III. METODY POMIAROWE:

Dla cienkich soczewek stosuje się przybliżony wzór, zwany wzorem soczewkowym:

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



gdzie (jak to widać na rysunku obok):

x- odległość przedmiotu P od soczewki S

y- odległość obrazu O na ekranie od soczewki S

f- ogniskowa soczewki

Odległość x w tym wzorze przyjmuje zawsze wartość dodatnią, natomiast y jest dodatnie tylko wtedy, gdy obraz można uzyskać na ekranie czyli jest obrazem rzeczywistym. Dla obrazów pozornych wartość  $y < 0$ .

Podobnie ogniskowa soczewki f jest dodatnia dla soczewek skupiających, zaś dla soczewek rozpraszających przyjmujemy  $f < 0$  (soczewki takie nie wytwarzają obrazu rzeczywistego).

Obrazów pozornych nie możemy uzyskać na ekranie, natomiast oko (i mózg) symuluje powstanie takiego obrazu w tzw. odległości dobrego widzenia d. Ta odległość jest indywidualna dla każdego oka, ale zazwyczaj przyjmuje się  $d = 25\text{cm}$ . We wzorze soczewkowym dla obrazów pozornych  $y = -d$  (bo wtedy  $y < 0$ ).

Pomiaru ogniskowej soczewek dokonujemy na ławie optycznej dwiema metodami:

- a) metodą wzoru soczewkowego, mierząc odległość x przedmiotu od soczewki i odległość y obrazu od soczewki. Ogniskową obliczamy ze wzoru:

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

b) metodą Bessela, polegającą na wyznaczeniu dwóch położenia soczewki  $x_1$  i  $x_2$ , dla których na ekranie obserwuje się ostry obraz przedmiotu (jeden powiększony, drugi pomniejszony). Wówczas ogniskową obliczamy ze wzoru:

$$f = \frac{e^2 - s^2}{4e}$$

gdzie  $e$  jest odległością ekranu od przedmiotu, a  $s = |x_2 - x_1|$ .

#### IV. ZESTAW PRZYRZĄDÓW:

Ława optyczna ze źródłem światła, przedmiotem i ekranem; badane soczewki (wypożyczyć w pok. 619).

#### V. CZYNNOŚCI POMIAROWE:

1. Wyznaczanie ogniskowej soczewki skupiającej metodą wzoru soczewkowego:
  - a) Włączyć źródło światła.

##### SOCZEWKA SKUPIAJĄCA PŁASKO-WYPUKŁA

- b) Umocować soczewkę skupiającą w uchwycie wraz z krążkiem dociskającym soczewkę i ustawić ją na ławie optycznej pomiędzy obserwowanym przedmiotem (płytką, z otworkami tworzącymi strzałkę) a ekranem;
- c) Dobrać odległość soczewki i ekranu tak, aby uzyskać na ekranie obraz strzałki. W razie potrzeby skorygować wysokość położenia soczewki i ekranu;
- d) Przesuwając soczewkę wzdłuż ławy uzyskać na ekranie ostry obraz strzałki (lub część tego obrazu, jeśli nie mieści się on cały na ekranie)
- e) Zmierzyć odległości  $x$  oraz  $y$ ;
- f) Pomiary z punktów **d-e** powtórzyć jeszcze dwukrotnie, za każdym razem na nowo szukając ostrego obrazu;

##### SOCZEWKA SKUPIAJĄCA DWUWYPUKŁA

- g) Pomiary z punktów **b-f** powtórzyć dla drugiej soczewki skupiającej.

##### SOCZEWKA DWUWYPUKŁA WRAZ Z SOCZEWKA ROZPRASZAJĄCA

- h) Soczewkę dwuwypukłą (opisaną w podpunkcie **g**) umieścić w uchwycie wraz z soczewką rozpraszającą (krążek dodatkowy nie jest w tym pomiarze potrzebny) i tak uzyskany skupiający układ soczewek umieścić na ławie optycznej;
- i) Z tym układem soczewek wykonać pomiary opisane w punktach **b-f**

2. Wyznaczanie ogniskowej soczewki metodą Bessela:

##### SOCZEWKA DWUWYPUKŁA WRAZ Z SOCZEWKA ROZPRASZAJĄCA

- Układ soczewek umieścić na ławie optycznej;
- Dobrać położenie ekranu tak, aby przesuwając soczewkę po ławie optycznej można było uzyskać w dwóch różnych położeniach ostry obraz.
- Ustawić soczewkę w jednym z położeń, w którym widoczny jest ostry obraz
- Zmierzyć odległość  $x_1$  od środka układu soczewek do przedmiotu.
- Pomiar z punktu  $c$  powtórzyć jeszcze dwukrotnie, za każdym razem na nowo szukając ostrego obrazu;
- Umieścić soczewkę w drugim położeniu, przy którym widoczny jest ostry obraz i powtórzyć pomiary z punktów  $c$ - $e$ , aby wyznaczyć tym razem odległość  $x_2$  od soczewek do przedmiotu.
- Zmierzyć odległość  $e$  od przedmiotu do ekranu.

3. Wyniki pomiarów umieścić w tabelach:

TABELA 1 (wykorzystanie wzoru soczewkowego)

SOCZEWKA SKUPIAJĄCA NR 1 (CIEŃSZA)	$x[m]$			$\bar{x}[m]$	$y[m]$			$\bar{y} [m]$	$f_1[m]$	$u[f_1]$ [m]	$p_1 = \frac{ y }{x}$	$u(p_1)$
	1	2	3		1	2	3					
	$Z_1 = \frac{1}{f_1} = \dots\dots\dots \left[ \frac{1}{m} \right]$									$u(Z_1) = \dots\dots\dots \left[ \frac{1}{m} \right]$		
SOCZEWKA SKUPIAJĄCA NR 2 (GRUBSZA)	$x[m]$			$\bar{x}[m]$	$y[m]$			$\bar{y} [m]$	$f_2[m]$	$u[f_2]$ [m]	$p_2 = \frac{ y }{x}$	$u(p_2)$
	1	2	3		1	2	3					
	$Z_2 = \frac{1}{f_2} = \dots\dots\dots \left[ \frac{1}{m} \right]$									$u(Z_2) = \dots\dots\dots \left[ \frac{1}{m} \right]$		
SKUPIA- JĄCA + ROZPRA- SZA- JĄCA	$x[m]$			$\bar{x}[m]$	$y[m]$			$\bar{y} [m]$	$f_3[m]$	$u[f_3]$ [m]	$p_3 = \frac{ y }{x}$	$u(p_3)$
	1	2	3		1	2	3					
	$Z_3 = \frac{1}{f_3} = \dots\dots\dots \left[ \frac{1}{m} \right]$									$u(Z_3) = \dots\dots\dots \left[ \frac{1}{m} \right]$		

TABELA 2 (wykorzystanie metody Bessela)

SKUPIA- JĄCA + ROZPRA- SZA- JĄCA	$x_1[m]$			$\bar{x}_1[m]$	$x_2[m]$			$\bar{x}_2[m]$	$s =  x_2 - x_1 $ [m]	$f[m]$	$u[f]$ [m]	$p = \frac{ y }{x}$	$u(p)$
	1	2	3		1	2	3						
	$Z_4 = \frac{1}{f_4} = \dots\dots\dots \left[ \frac{1}{m} \right]$												$u(Z_4) = \dots\dots\dots \left[ \frac{1}{m} \right]$
												$p' =$	
												$p'' =$	

$e = \dots\dots\dots$ ;  $\Delta(e) = \dots\dots\dots$ ;  $\Delta(x) = \Delta(x_1) = \Delta(x_2) = \dots\dots\dots$   $\Delta(y) = \Delta(x) + \Delta(e) = \dots\dots\dots$

## VI. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW (\*):

### WYKORZYSTANIE WYNIKÓW Z TABELI 1

1. Dla obu soczewek skupiających i układu soczewki skupiającej z rozpraszającą obliczyć powiększenia ( $p_1, p_2, p_3$ ) obrazu i ich niepewności.

*Uwaga: przy obliczaniu  $p$  i  $u(p)$  używamy  $x$  i  $y$  z części tabeli dla odpowiedniej soczewki lub układu soczewek:*

$$p = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \quad u(p) = p \cdot \sqrt{\frac{u^2(\bar{x})}{\bar{x}^2} + \frac{u^2(\bar{y})}{\bar{y}^2}}$$

gdzie  $u^2(\bar{x}) = u_A^2(\bar{x}) + u_B^2(\bar{x})$  oraz  $u^2(\bar{y}) = u_A^2(\bar{y}) + u_B^2(\bar{y})$  (\*)

2. Wyznaczyć ogniskowe ( $f_1, f_2, f_3$ ) obu soczewek skupiających i układu soczewki skupiającej z rozpraszającą oraz ich niepewności:

$$f = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y}}{\bar{x} + \bar{y}} \quad u(f) = \frac{f}{\bar{x} + \bar{y}} \cdot \sqrt{p^2 \cdot u^2(\bar{x}) + \frac{u^2(\bar{y})}{p^2}}$$

3. Obliczyć zdolności skupiające ( $Z_1, Z_2, Z_3$ ) obu soczewek skupiających i układu soczewki skupiającej z rozpraszającą oraz ich niepewności:

$$Z = \frac{1}{f} \quad u(Z) = Z^2 \cdot u(f)$$

### WYKORZYSTANIE WYNIKÓW Z TABELI 2

4. Metodą Bessela wyznaczyć ogniskową układu soczewek i jej niepewność:

$$f_4 = \frac{e^2 - s^2}{4e} \quad u(f_4) = \sqrt{\left(\frac{e^2 + s^2}{4 \cdot e^2}\right)^2 \cdot u_B^2(e) + \left(\frac{s}{2 \cdot e}\right)^2 \cdot u^2(s)}$$

gdzie  $u^2(s) = u_A^2(\bar{x}_1) + u_B^2(\bar{x}_1) + u_A^2(\bar{x}_2) + u_B^2(\bar{x}_2)$

5. Wyznaczyć zdolność skupiającą układu soczewek według zależności:

$$Z_4 = \frac{1}{f_4} \quad u(Z_4) = Z_4^2 \cdot u(f)$$

6. Obliczyć powiększenia układu soczewek w dwóch położeniach i ich niepewności:

$$p' = \frac{y_1}{\bar{x}_1} = \frac{e - \bar{x}_1}{\bar{x}_1}; \quad p'' = \frac{y_2}{\bar{x}_2} = \frac{e - \bar{x}_2}{\bar{x}_2}$$

$$u(p') = p' \cdot \sqrt{\frac{u^2(x_1)}{x_1^2} + \frac{u^2(e)}{e^2}}; \quad u(p'') = p'' \cdot \sqrt{\frac{u^2(x_2)}{x_2^2} + \frac{u^2(e)}{e^2}}$$

## PORÓWNANIE WYNIKÓW DLA SOCZEWKI ROZPRASZAJĄCEJ

7. Obliczyć zdolność skupiającą  $Z$  soczewki rozpraszającej oraz jej niepewność korzystając z wyników uzyskanych w punkcie 3 oraz w punkcie 5:

$$Z' = Z_3 - Z_2 \qquad u(Z') = \sqrt{u^2(Z_3) + u^2(Z_2)}$$

$$Z'' = Z_4 - Z_2 \qquad u(Z'') = \sqrt{u^2(Z_4) + u^2(Z_2)}$$

$$Z_{sr} = \frac{Z' + Z''}{2} \qquad u(Z) = \frac{1}{2} \sqrt{u^2(Z') + u^2(Z'')}$$

---

(\*) Uwaga:

$u_A(\dots)$  oznacza niepewności typu A, obliczane wg wzoru  $u_A(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (\bar{x} - x_i)^2}{3 \cdot 2}}$

$u_B(\dots)$  oznacza niepewności typu B obliczane według zależności  $u_B(\dots) = \frac{\Delta(\dots)}{\sqrt{3}}$ , gdzie

$\Delta(\dots)$  oznacza niepewność maksymalną

$u(\dots)$  oznacza niepewność całkowitą:  $u(\dots) = \sqrt{u_A^2(\dots) + u_{B1}^2(\dots) + u_{B2}^2(\dots) + \dots}$

$u_{B1}(\dots), u_{B2}(\dots), \dots$  oznaczają niepewności typu B danej wielkości (może być ich kilka)