

ĆWICZENIE NR 77

POMIAR ODLEGŁOŚCI OGNISKOWYCH SOCZEWEK

I. Cel ćwiczenia:

1. Zapoznanie się z procesem wytwarzania obrazów przez soczewki cienkie.
2. Wyznaczanie odległości ogniskowych soczewek cienkich różnymi metodami.

II. Zestaw przyrządów:

1. Ława optyczna z podziałką, oświetlacz z zasilaczem i płytka z wyciętym wzorkiem, ekran.
2. Komplet soczewek z oprawkami.
3. Kolimator z płytką ogniskową.
4. Okular mikrometryczny.
5. Sferometr (pierścień wraz z czujnikiem mikrometrycznym zegarowym).
6. Płytko płasko – równoległa.
7. Suwmiarka.

III. Czynności przygotowawcze:

1. Wybrać soczewkę skupiającą i rozpraszającą tak, aby układ obu soczewek był układem skupiającym oraz oszacować orientacyjnie ogniskową f' wybranej soczewki skupiającej i układu skupiającego. W tym celu skierować soczewkę (układ soczewek) na odległe źródło światła i znaleźć na ekranie ostry rzeczywisty obraz tego źródła. Odległość od soczewki (układu soczewek) do ekranu jest w przybliżeniu równa odległości ogniskowej badanej soczewki (lub układu soczewek).

Zadania podstawowe:

Pomiary wykonać dla jednej soczewki skupiającej i jednej rozpraszającej metodą wzoru soczewkowego.

IV. Przebieg pomiarów:

A. METODA WZORU SOCZEWKOWEGO

1. Badaną soczewkę skupiającą włożyć do oprawy. Zalecane jest zastosowanie przesłony. Na jednym końcu ławy ustawić źródło światła, szkło matowe i płytka z wyciętym wzorkiem. Na drugim końcu ustawić ekran (matowa płytka szklana), a między nimi soczewkę. Przedmiot (oświetlona płytka z wyciętym wzorkiem), soczewkę i ekran ustawić tak, aby ich środki leżały na prostej pokrywającej się z główną osią optyczną soczewki, a płaszczyzny przedmiotu i ekranu były do niej prostopadłe. Soczewkę ustawić w odległości s od przedmiotu ($f' < s < 2f'$). Przesuwając ekran wzdłuż ławy optycznej wyznaczyć takie jego położenie s' względem soczewki, aby uzyskać ostry obraz przedmiotu. Nie zmieniając odległości s przedmiotu od soczewki odczytać trzykrotnie odległość s' ekranu od soczewki. Ponieważ soczewki badane nie są idealnie cienkie należy soczewkę wyjąć z oprawy i ustawić ją drugą powierzchnią łamiącą w stronę źródła światła i powtórzyć trzykrotnie pomiary odległości s' .
2. Według wskazówek prowadzącego pomiar odległości s' powtórzyć dla innych odległości s przedmiotu od soczewki np. dla $s > 2f'$, $s = 2f'$.
3. Analogiczne pomiary przeprowadzić dla skupiającego układu soczewek.

B. METODA BESSELA

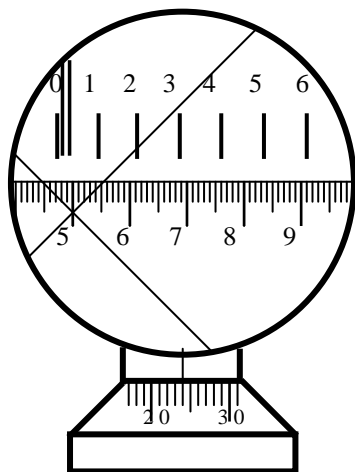
1. Ustawić na ławie optycznej przedmiot, badaną soczewkę skupiającą w oprawie z przesłoną irysową i ekran - w takiej odległości od przedmiotu, aby można było uzyskać na nim dwa razy obraz przedmiotu: raz pomniejszony, raz powiększony, podczas przesuwania soczewki wzdłuż ławy optycznej
2. Przesuwając soczewkę wzdłuż ławy optycznej znaleźć takie położenie soczewki c_1 , w którym na ekranie powstanie ostry powiększony obraz przedmiotu. Pomiary położenia c_1 powtórzyć kilkakrotnie. Analogicznie znaleźć położenie c_2 soczewki, w którym powstaje ostry pomniejszony obraz.

3. Powtórzyć pomiary położenia c_1 i c_2 dla innej odległości d przedmiotu od ekranu.
4. W celu wyznaczenia ogniskowej soczewki rozpraszającej w przesłonie irysowej umieścić układ soczewek (**skupiająca + rozpraszająca**) wybranych tak, aby tworzyły układ skupiający.
5. Przeprowadzić pomiary położenia c_1 i c_2 dla układu soczewek.

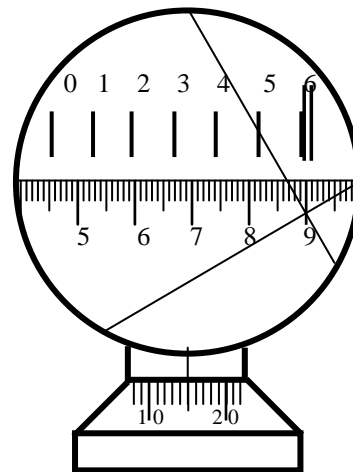
D METODA SFEROMETRU (dla wszystkich soczewek)

1. Przygotować sferometr do pomiarów: na trzpień czujnika zegarowego nałożyć pierścień przeznaczony do pomiaru wartości strzałki h czaszy kulistej o średnicy $2R$. ($2R_{zew}$ dla powierzchni wklęsłej, $2R_{wew.}$ dla powierzchni wypukłej)
2. Ustawić sferometr na powierzchni płytki płasko-równoległej - wartość wskazywana przez czujnik jest wartością odniesienia. Jest możliwość regulacji położenia czujnika względem pierścienia - proponuje się takie ustawienie - aby czujnik wskazywał ok. $\frac{1}{2}$ wartości zakresu pomiarowego – np. 5.00 mm dla zakresu 10 mm . (mała wskazówka wskazuje pełne milimetry, a duża setne części milimetra).
3. Ustawić sferometr na mierzonej powierzchni soczewki i odczytać wskazanie czujnika zegarowego. Wartość h strzałki czaszy kulistej soczewki jest różnicą wskazań czujnika na płytce płasko-równoległej i na mierzonej powierzchni.. Pomiar strzałki h należy powtórzyć kilkakrotnie. Analogiczne pomiary wartości strzałki dokonać dla drugiej powierzchni soczewki.
4. Zmierzyć suwmiarką średnicę zewnętrzną $2R_z$ i średnicę wewnętrzną $2R_w$ pierścienia sferometru.
5. Pomiary strzałek dokonać dla soczewki skupiającej i rozpraszającej.

E. METODA OKULARU MIKROMETRYCZNEGO I KOLIMATORA (dla układów skupiających)



Przecięcie nitek krzyża na skali kolimatora wskazuje wartość **5,0** co na skali okularu mikrometrycznego odpowiada wartości $x_L = 0,24$ mm



Przecięcie nitek krzyża na skali kolimatora wskazuje wartość **9,0** co na skali okularu mikrometrycznego odpowiada wartości $x_P = 6,15$ mm

Rys. 2

1. Wyregulować ustawienie okularu mikrometrycznego na ostre widzenie krzyża.
2. Zestawić na ławie optycznej przyrządy w następującej kolejności: oświetlacz, kolimator z podziałką, badany układ skupiający, okular mikrometryczny ze skalą tak, aby ich środki leżały na jednej prostej pokrywającej się z główną osią optyczną soczewki.
3. Przesuwając okular lub badaną soczewkę wzdłuż ławy optycznej znaleźć takie położenie, aby widzieć ostro, bez paralaksy, obraz skali kolimatora na tle krzyża okularu.
4. Wybrać dwie odległe kreski na skali kolimatora i policzyć liczbę k małych działek między tymi kreskami (na rys. 2 $k = 10 \cdot (9,0 - 5,0) = 40$).
5. Ustawić przecięcie nitek krzyża okularu mikrometrycznego na wybraną lewą kreskę skali kolimatora i odczytać jego położenie x_L . W ten sam sposób dokonać pomiaru położenia x_P dla prawej wybranej kreski skali. Pomiary x_L i x_P powtórzyć trzykrotnie. Wartość elementarnej działki bębna okularu mikrometrycznego wynosi 0,01 mm, a odstęp między

numerowanymi kreskami skali okularu mikrometrycznego wynosi 1mm i odpowiada pełnemu obrotowi bębna. Przykład odczytu położenia krzyża jest zilustrowany na rys. 2.

V. Opracowanie wyników pomiarów:

A. METODA WZORU SOCZEWKOWEGO

1. Obliczyć średnią wartość s' ekranu od soczewki i wyznaczyć jej niepewność bezwzględną.
2. Na podstawie wzoru soczewkowego

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{s'} + \frac{1}{s}$$

gdzie: s – odległość przedmiotu od soczewki

s' – odległość obrazu od soczewki,

obliczyć odległość ogniskową f' . Analogiczne obliczenia wykonać dla innych odległości s przedmiotu od soczewki.

3. Obliczyć zdolność skupiającą soczewki $\phi = \frac{1}{f'}$, gdzie f' wyrażone jest w metrach.
4. Obliczyć niepewność względną i bezwzględną ogniskowej soczewki np. metodą różniczeki zupełnej oraz zdolności skupiającej np. metodą pochodnej logarytmicznej.

B. METODA BESSELA

1. Dla danej odległości d przedmiotu od ekranu obliczyć średnie wartości c_1 i c_2 położenia soczewki, przy których otrzymano ostry obraz powiększony i pomniejszony oraz wyznaczyć ich niepewności.
2. Wyznaczyć odległość c między obu położeniami soczewki ze wzoru:

$$c = |c_2 - c_1|$$

oraz jej niepewność.

3. Obliczyć dla danej odległości d odległość ogniskową soczewki skupiającej wg wzoru

$$f_s' = \frac{d^2 - c^2}{4d}$$

4. Analogiczne obliczenia odległości ogniskowej f_u' przeprowadzić dla układu soczewek
5. Wyznaczyć niepewność względną i bezwzględną ogniskowej soczewki skupiającej i ogniskowej układu np. metodą różniczeki zupełnej.
6. Obliczyć odległość ogniskową f_r' soczewki rozpraszającej z zależności

$$\frac{1}{f_r'} = \frac{1}{f_u'} - \frac{1}{f_s'}$$

oraz jej niepewność względną i bezwzględną.

7. Powtórzyć obliczenia dla innej odległości d przedmiotu od ekranu.
8. Uśrednić otrzymane odległości ogniskowe danej soczewki dla różnych odległości d oraz ich niepewności.

D. METODA SFEROMETRU

1. Obliczyć średnią wartość h strzałki czaszy kulistej dla obu powierzchni soczewki i jej niepewność.
2. Obliczyć promień obu krzywizn soczewki ze wzoru

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

przy czym $R = R_z$ dla wklęsłej powierzchni soczewki

$R = R_w$ dla wypukłej powierzchni soczewki

Obliczyć niepewności promieni krzywizn soczewki.

3. Obliczyć odległość ogniskową f' badanej soczewki i jej zdolność skupiającą ze wzoru:

$$\frac{1}{f'} = \left(\frac{n}{n'} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

gdzie: $n/n' = 1,52 \pm 0,01$ -

r_1, r_2 -

współczynnik załamania szkła względem powietrza,

promienie krzywizn odpowiednio pierwszej i drugiej powierzchni soczewki

UWAGA! Promień krzywizny powierzchni łamiącej soczewki jest dodatni, gdy promienie świetlne padają na stronę wypukłą soczewki, a ujemny - gdy promienie świetlne padają na powierzchnię wklęsłą.

4. Obliczyć niepewność względną i bezwzględną ogniskowej soczewki f' i zdolności skupiającej φ .

E. METODA KOLIMATORA I OKULARU MIKROMETRYCZNEGO.

1. Wyznaczyć średnią wartość położenia x_L dla lewej kreski oraz średnią wartość położenia x_P dla prawej kreski skali kolimatora i wyznaczyć ich niepewność np. metodą Studenta – Fichera.
2. Obliczyć odległość x' między wybranymi do pomiaru kreskami skali ze wzoru

$$x' = x_P - x_L$$

3. Obliczyć odległość ogniskową soczewki i układu skupiającego ze wzoru

$$f' = \frac{x'}{\operatorname{tg}(k \cdot \alpha_0)}$$

gdzie: $\alpha_0 = 4,3'$ odległość kątowa między kolejnymi małymi kreskami skali kolimatora
 k - liczba małych działek między wybranymi kreskami skali kolimatora

4. Wyznaczyć niepewność względną i bezwzględną odległości ogniskowej.
5. Znaleźć odległość ogniskową soczewki rozpraszającej ze wzoru:

$$\frac{1}{f_r'} = \frac{1}{f_u'} - \frac{1}{f_s'}$$

gdzie: f_s', f_r', f_u' - odległość ogniskowa odpowiednio soczewki skupiającej, rozpraszającej i układu soczewek.

6. Wyznaczyć niepewność względną i bezwzględną odległości ogniskowej soczewki rozpraszającej.

VI. Przykładowe tabele:

A. METODA WZORU SOCZEWKOWEGO

Nr soczewki	s	Δs	s'	\bar{s}'	$\Delta \bar{s}'$	f'	$\Delta f'$	$\Delta f'/f'$	φ	$\Delta \varphi$	$\Delta \varphi/\varphi$
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	%	1/m	1/m	%
			...								

B. METODA BESSELA

Nr soczewki	d	c_1	\bar{c}_1	$\Delta \bar{c}_1$	c_2	\bar{c}_2	$\Delta \bar{c}_2$	c	Δc	f'	$\Delta f'$	\bar{f}'	$\Delta \bar{f}'$	$\Delta \bar{f}'/\bar{f}'$
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	%

C. METODA SFEROMETRU

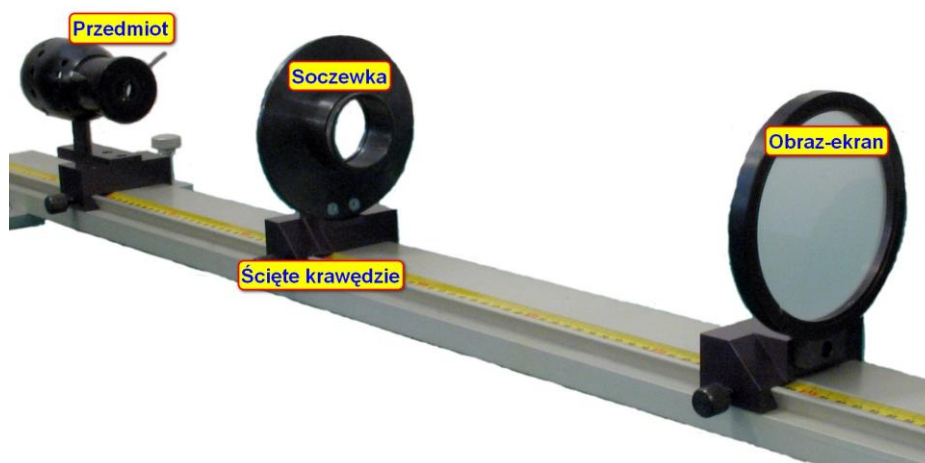
Nr soczewki	Rodzaj powierzchni	h	\bar{h}	$\Delta \bar{h}$	2R	$\Delta(2R)$	r	Δr	f'	$\Delta f'$	$\Delta \bar{f}'/\bar{f}'$	φ	$\Delta \varphi$	$\Delta \varphi/\varphi$
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	1/m	1/m	%

D. METODA KOLIMATORA I OKULARU MIKROMETRYCZNEGO

Nr soczewki	k	x_L	\bar{x}_L	$\Delta \bar{x}_L$	x_P	\bar{x}_P	$\Delta \bar{x}_P$	x'	$\operatorname{tg}(k \cdot \alpha_0)$	f'	$\Delta f'$	$\Delta \bar{f}'/\bar{f}'$
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	%

ĆWICZENIE NR 77

POMIAR ODLEGŁOŚCI OGNISKOWYCH SOCZEWEK CIENKICH WERSJA ZMODYFIKOWANA



W stosunku do ćwiczenia 77 modyfikacja dotyczy: nowych ław optycznych, nowych soczewek o większej średnicy, i nowych pierścieni do metody sferometru. Uwagi przedstawione poniżej dotyczą techniki pomiaru.

1. Soczewki znajdują się w oprawkach, których brzegi oznaczone są kropkami lub kreskami. Liczba kropek to numer soczewki skupiającej (dodatniej). Liczba kresek to numer kolejny litery alfabetu. Litery zaś oznaczają soczewki rozpraszające (ujemne).
2. Aby można było mierzyć układ soczewek (soczewka dodatnia + soczewka ujemna) na nowych ławach, należy mieć na uwadze poniższe warunki:
 - Soczewka A tworzy układ z soczewkami 1 i 2,
 - Soczewka B tworzy układ z soczewkami 1 ÷ 3,
 - Soczewka C tworzy układ z soczewkami 1 ÷ 5.
3. Aby zminimalizować błędy pomiarowe (soczewki bowiem są uważane za cienkie) należy soczewki wkładać do uchwytu w odpowiedni sposób:
 - Każdą soczewkę należy wkładać w taki sposób, by pierścień mocujący w oprawie soczewkę był skierowany w stronę ekranu-matówki.
 - W przypadku badania układu soczewek: soczewkę dodatnią ustawiamy, w uchwycie, bliżej przedmiotu-źródła światła, a soczewkę ujemną dalej od źródła.
4. Położenia: przedmiotu, soczewki i ekranu-matówki, wyznaczają ścięte brzegi koników!, na których się one przesuwają na ławie.

Uwaga: konik soczewki ma dwa ścięte brzegi! Ten ścięty brzeg bliżej zewnętrznej strony ławy służy do pomiaru położenia pojedynczej-dodatniej soczewki. Ścięty brzeg bliżej środka ławy służy do pomiaru położenia układu soczewek.