

Nazwisko

Data

Wydział

Imię

Dzień tyg.

Godzina

Ćwiczenie 361 Badanie układu dwóch soczewek**Wyznaczenie ogniskowych soczewek metodą Bessela**

Odległość przedmiotu od ekranu (60 cm – 110 cm)		$l =$		
Soczewka	Położenie soczewki na ławie optycznej		$d = x_2 - x_1$	Ogniskowa $f = \frac{l^2 - d^2}{4l}$ Δf - dokładność
	Obraz powiększony	Obraz pomniejszony		
1	$x_1 =$ obraz:.....	$x_2 =$ obraz:.....	$d =$	$f_1 =$ $\Delta f_1 =$
2	$x_1 =$	$x_2 =$	$d =$	$f_2 =$ $\Delta f_2 =$

Wyznaczenie położenia obrazu w układzie dwóch soczewek**A. Soczewki rozstawione na odległość**

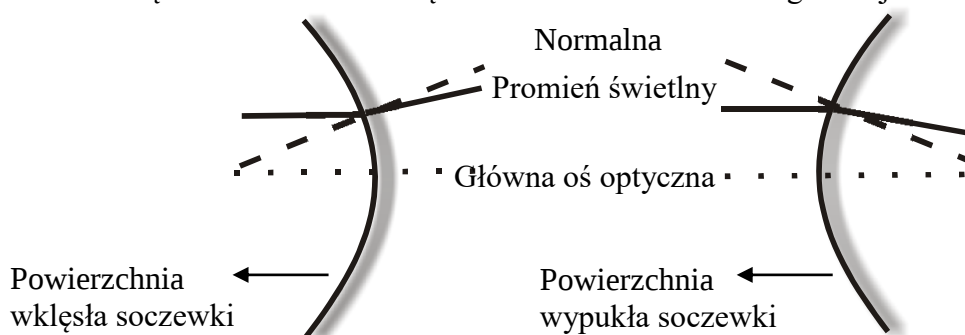
Odległość przedmiotu od soczewki 1 (25 cm – 35 cm)		$x_1 =$	
Odległość między soczewkami (40 cm – 55 cm)		$s =$	
Odległość obrazu od soczewki :	wartość zmierzona	wartość obliczona $\frac{1}{y_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{s - \frac{f_1 x_1}{x_1 - f_1}}$	
		Δy_2 - dokładność	
obraz:.....	$y_2' =$	$y_2 =$ $\Delta y_2 =$	

B. Soczewki blisko siebie

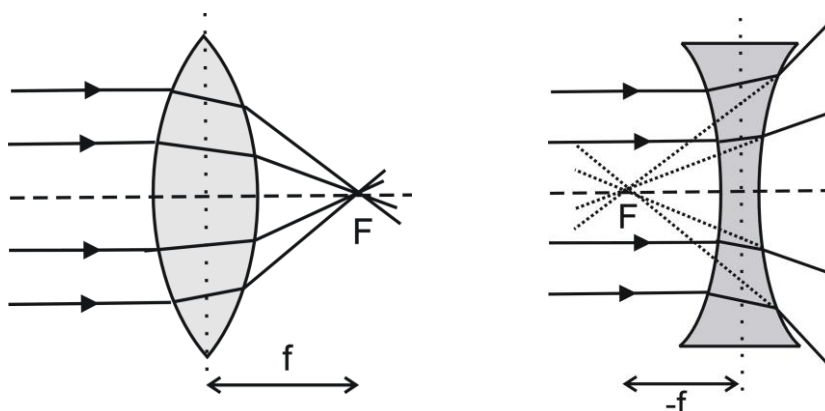
Odległość obrazu od soczewki 2	wartość zmierzona	wartość obliczona $\frac{1}{y_2} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{1}{x_1}$	
		Δy_2 - dokładność	
obraz:.....	$y_2' =$	$y_2 =$ $\Delta y_2 =$	

Wstęp teoretyczny

Soczewki sferyczne ograniczone są dwiema kulistymi powierzchniami, które mogą być wklęsłe lub wypukłe. Światło przechodząc z powietrza do szkła (jeśli soczewka jest wykonana ze szkła), a następnie ze szkła do powietrza, załamuje się na obu granicach ośrodków. Kierunek tego załamania zależy od ośrodka z którego światło wychodzi i do którego wchodzi (a dokładniej zależy od stosunku współczynnika załamania ośrodka, z którego światło wychodzi do współczynnika załamania ośrodka, do którego światło wchodzi). Jeżeli prostą prostopadłą do powierzchni soczewki nazwiemy normalną, to światło przechodząc z powietrza do szkła załamie się w kierunku normalnej, a przechodząc ze szkła do powietrza załamie się od normalnej. Kierunek załamania światła zależy też od kształtu granicy ośrodków. Np. światło przechodząc z powietrza do szkła przez wklęsłą powierzchnię soczewki załamie się w kierunku przeciwnym do głównej osi optycznej soczewki (rys.), a przechodząc przez wypukłą powierzchnię załamie się w kierunku głównej osi optycznej.



W efekcie, w zależności od kształtu dostajemy soczewki skupiające lub rozpraszające. W soczewce skupiającej wszystkie promienie padające na powierzchnię soczewki równoległe do głównej osi optycznej, po wyjściu z soczewki przechodzą przez jeden punkt nazywany ogniskiem F (rys.). W soczewce rozpraszającej promienie padające równoległe, po wyjściu z soczewki nie przecinają się. Natomiast przedłużenia promieni wychodzących z soczewki, w punkcie nazywanym ogniskiem pozornym. Odległość ogniska od soczewki nazywamy ogniskową f . Ogniskowa soczewki rozpraszającej ma wartość ujemną ($f < 0$). W okulistyce używa się również pojęcia dioptrii. Jest to jednostka zdolności skupiającej, która jest odwrotnością ogniskowej $\frac{1}{f}$. Jednostka $\frac{1}{m}$ nazywana jest dioptrią.



Jeżeli po jednej stronie soczewki umieścimy przedmiot, to w pewnej określonej odległości od soczewki powstanie ostry obraz tego przedmiotu. Obraz może być rzeczywisty lub pozorny. Obraz rzeczywisty powstaje po drugiej stronie soczewki niż przedmiot, i można go zobaczyć na ekranie. Obraz pozorny powstaje z przedłużenia promieni wychodzących z soczewki, po tej samej stronie soczewki co przedmiot. Dlatego obrazu pozornego nie możemy

zobaczyć na ekranie. Soczewki rozpraszające dają tylko obrazy pozorne. Soczewki skupiające dają obrazy pozorne tylko wtedy, gdy przedmiot jest bardzo blisko soczewki, np. tak jak wtedy gdy patrzymy przez lupę (w odległości mniejszej niż ogniskowa). W pozostałych sytuacjach, soczewki skupiające dają obrazy rzeczywiste.

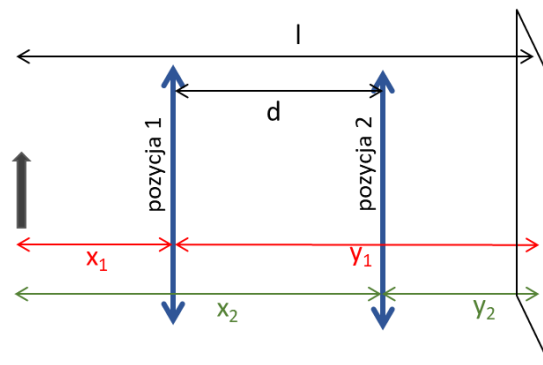
Obraz może być prosty lub odwrócony. Soczewki rozpraszające dają tylko proste obrazy. Soczewki skupiające dają proste obrazy tylko wtedy, gdy przedmiot umieszczony jest bardzo blisko soczewki (w odległości mniejszej niż ogniskowa). W pozostałych przypadkach obrazy są odwrócone.

Obraz może być powiększony lub pomniejszony w porównaniu z przedmiotem. Soczewki rozpraszające zawsze pomniejszają. W soczewkach skupiających zależy to od odległości soczewki od przedmiotu. Soczewka skupiająca pomniejsza, gdy przedmiot jest daleko od soczewki (w odległości większej niż podwójna ogniskowa). Gdy przedmiot znajduje się w odległości mniejszej niż podwójna ogniskowa, obraz jest powiększony. Gdy przedmiot znajduje się w odległości równej podwójnej ogniskowej obraz jest tej samej wielkości co przedmiot, a w odległości równej ogniskowej obraz w ogóle nie powstaje.

Ogniskową soczewki możemy obliczyć z prostego wzoru soczewkowego:

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

mierząc odległość przedmiotu od soczewki x i odległość ostrego obrazu od soczewki y . W ćwiczeniu posłużymy się jednak dokładniejszą metodą Bessela. W metodzie tej ustalamy stałą odległość przedmiotu od ekranu l , a następnie ustawiamy soczewkę tak, aby na ekranie uzyskać najpierw ostry obraz powiększony, a potem obraz pomniejszony. W obu przypadkach odczytujemy położenie soczewki i obliczamy różnicę tych położeń d .



Wzór soczewkowy dla obrazu powiększonego oraz dla obrazu pomniejszonego ma postać :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_1} + \frac{1}{y_1} \quad \text{oraz} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{x_2} + \frac{1}{y_2}, \quad \text{przy czym } x_1 = y_2 \text{ oraz } x_2 = y_1.$$

Stąd uzyskujemy :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}.$$

Następnie z zależności $l = x_1 + y_1 = x_1 + x_2$ określamy : $x_2 = l - x_1$,

a z $d = x_2 - x_1 = l - x_1 - x_1$ określamy $x_1 = \frac{l-d}{2}$. Stąd : $x_2 = l - \frac{l-d}{2} = \frac{l+d}{2}$.

Podstawiamy wzory do równania : $\frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{l-d}{2}} + \frac{1}{\frac{l+d}{2}} = \frac{4l}{l^2 - d^2}$.

Ostatecznie uzyskujemy wzór na ogniskową : $f = \frac{l^2 - d^2}{4l}$.

Soczewki skupiające i rozpraszające można zestawiać w układy. Układy takie mają szerokie zastosowanie praktyczne, np. w okulistyce. Soczewka okularów z soczewką oka tworzą układ o ogniskowej odpowiedniej do ostrego widzenia bliskich lub dalekich przedmiotów. Położenie ostrego obrazu w układzie dwóch soczewek możemy obliczyć korzystając ze wzoru soczewkowego. Dla pierwszej i drugiej soczewki wzór soczewkowy wygląda następująco : $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{x_1} + \frac{1}{y_1}$ i $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{x_2} + \frac{1}{y_2}$.

Po przekształceniu dostaniemy : $\frac{1}{y_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{x_1}$ oraz $\frac{1}{y_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{x_2}$.

Ze wzoru dla pierwszej soczewki możemy wyprowadzić : $y_1 = \frac{f_1 x_1}{x_1 - f_1}$.

W układzie soczewek obraz otrzymywany z pierwszej soczewki staje się przedmiotem dla drugiej soczewki. Dlatego odległość między soczewkami możemy wyrazić jako $s = y_1 + x_2$,

stąd : $x_2 = s - y_1 = s - \frac{f_1 x_1}{x_1 - f_1}$.

Po podstawieniu do wzoru dla drugiej soczewki dostajemy : $\frac{1}{y_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{s - \frac{f_1 x_1}{x_1 - f_1}}$.

Gdy soczewki ustawimy bardzo blisko siebie, możemy zastosować wzór dla układu soczewek:

$\frac{1}{f_u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$. Jeżeli zastosujemy wzór soczewkowy dla całego układu : $\frac{1}{f_u} = \frac{1}{x_1} + \frac{1}{y_2}$, z

połączenia obu równań uzyskamy : $\frac{1}{x_1} + \frac{1}{y_2} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$.

Stąd : $\frac{1}{y_2} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{1}{x_1}$

Wykonanie ćwiczenia

1. Na ławie optycznej umieszczone jest źródło światła, przedmiot (płytką z wyciętym otworem) oraz ekran. Ustaw odległość l między przedmiotem a ekranem w zakresie 60 – 110 cm i wpisz ją do tabeli pomiarowej.
2. Obejrzyj soczewkę 1 i 2. W jaki sposób można ustalić, czy są to soczewki skupiające czy rozpraszające?
3. Umieść na ławie soczewkę 1 i przesuwając nią znajdź ostry, powiększony obraz. Odczytaj położenie soczewki na ławie optycznej (x_1). Czy obraz jest prosty czy odwrócony? Zapisz obserwację w tabeli pomiarowej.
4. Znajdź ostry, pomniejszony obraz. Odczytaj położenie soczewki na ławie optycznej (x_2). Czy obraz jest prosty, czy odwrócony? Zapisz obserwację w tabeli pomiarowej.

5. Zdejmij z ławy soczewkę 1 i wykonaj takie same pomiary z soczewką 2.
6. Oblicz ogniskowe obu soczewek. Porównaj je z fabrycznymi wartościami zdolności zbierających podanymi na soczewkach (oblicz ogniskową na podstawie zdolności zbierającej, wartość zmierzona metodą Bessela nie powinna różnić się więcej niż 1 cm od wartości fabrycznej).
7. Umieść na ławie obie soczewki. Zachowaj kolejność soczewek (od lewej strony: przedmiot, soczewka 1, soczewka 2, ekran). Ustaw odległość x_1 między przedmiotem a soczewką 1 w zakresie 25 – 35 cm, oraz odległość s między soczewką 1 a soczewką 2 w zakresie 40 – 55 cm. Zapisz te odległości w tabeli pomiarowej.
8. Przesuwając ekran spróbuj znaleźć najostrzejszy obraz i zanotuj jego odległość y'_2 od soczewki 2. Czy obraz jest prosty czy odwrócony? Czy obraz jest powiększony czy pomniejszony? Zapisz obserwację w tabeli pomiarowej.
9. Oblicz odległość y_2 obrazu od soczewki 2.
10. Dostaw soczewkę 2 do soczewki 1 (nie zmieniamy położenia soczewki 1). Przesuwając ekran (soczewek nie ruszamy) znajdź nowe położenie ostrego obrazu i zanotuj odległość y'_2 ekranu od soczewki 2. Czy obraz jest prosty czy odwrócony? Czy obraz jest powiększony czy pomniejszony? Zapisz obserwację w tabeli pomiarowej.
11. Oblicz odległość y_2 obrazu od soczewki 2.

Rachunek błędu:

W ćwiczeniu wykonujemy jeden rodzaj pomiarów: mierzymy odległości za pomocą linijki z podziałką milimetrową. Odczyty położenia wykonujemy z ograniczoną dokładnością, zatem wyniki końcowe jakie otrzymujemy, czyli wartości ogniskowych i obliczane odległości obrazu od soczewki, również mają pewną niedokładność. Do przybliżonego oszacowania dokładności metody pomiarowej stosujemy następujące wzory:

- dla wyznaczenia obu ogniskowych: $\Delta f = \frac{(l+d)^2}{4l^2} \Delta l$, gdzie Δl to dokładność odczytu odległości przedmiotu od ekranu, można przyjąć $\Delta l = 0,5$ cm;

- dla obliczenia wartości odległości obrazu od soczewki: $\Delta y_2 = \left(\frac{\Delta f_1}{f_1} + \frac{\Delta f_2}{f_2} + \frac{\Delta x_1}{x_1} \right) \cdot y_2$, gdzie

Δf_i to obliczone dokładności wyznaczenia ogniskowych, a Δx_1 to dokładność odczytu odległości przedmiotu od soczewki 1, można przyjąć $\Delta x_1 = 0,5$ cm. Wzór ten stosujemy zarówno dla soczewek rozstawionych, jak i soczewek zsuniętych. Wartości obliczonych dokładności wpisujemy w odpowiednich miejscach tabeli, zaokrąglone „do góry” do pierwszej cyfry znaczącej.

Pytania do dyskusji:

1. W jaki sposób można ustalić, czy soczewka jest skupiająca czy rozpraszająca?
2. W układzie dwóch soczewek, w zależności od odległości pomiędzy soczewkami, można uzyskać zarówno obrazy proste jak i odwrócone. Dlaczego?
3. Czy zmierzona i obliczona odległość obrazu od soczewki 2 w układzie rozstawionych soczewek jest podobna czy różna? Uzasadnij wykorzystując obliczoną w rachunku błędu dokładność metody pomiarowej Δy_2 .
4. Czy zmierzona i obliczona odległość obrazu od soczewki 2 w układzie zsuniętych soczewek jest podobna czy różna? Uzasadnij wykorzystując obliczoną w rachunku błędu dokładność metody pomiarowej Δy_2 .
5. Czym układ dwóch soczewek zastosowany w ćwiczeniu różni się od lunety Keplera?