



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Człowiek – najlepsza inwestycja

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomaganie fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Pracownia Fizyczna

ćwiczenie PF-6:

Wyznaczanie ogniskowych soczewek cienkich.

Badanie wad soczewek grubych.

dr Szymon Pustelny

Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego

Uniwersytet Jagielloński

Wersja 1.2, luty 2010

Zawarte w tym opracowaniu materiały przeznaczone są do wspomaganie pracy nauczycieli i uczniów w czasie zajęć pozalekcyjnych w szkołach biorących udział w projekcie edukacyjnym FENIKS. Mają na celu ułatwienie przygotowania do zajęć laboratoryjnych w I Pracowni Fizycznej IF UJ.

<http://feniks.ujk.kielce.pl/>

feniks@th.if.uj.edu.pl



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomaganie fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

I Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania soczewek oraz poznanie szeregu wad, którym te elementy optyczne podlegają. W pierwszej części ćwiczenia wyznaczone zostaną ogniskowe soczewek różnego typu (soczewki skupiającej i soczewki rozpraszającej), a następnie analizie poddane zostaną takie wady soczewek jak aberracja sferyczna, aberracja chromatyczna i astygmatyzm.

II Zagadnienia do przygotowania

Przygotowując się do zajęć należy zapoznać się z takimi zagadnieniami jak:

- odbicie i załamanie światła,
- zależność współczynnika załamania materiału od długości fali – dyspersja,
- soczewki i ich rodzaje:
 - soczewka skupiająca i rozpraszająca,
 - oś główna soczewki,
 - płaszczyzna główna soczewki,
 - powstawanie obrazu w soczewce skupiającej i rozpraszającej – obraz rzeczywisty i pozorny,
 - równanie soczewki,
- metody wyznaczania ogniskowych soczewek w oparciu o:
 - równanie soczewki,
 - metodę Bessela,
- ogniskowa układu soczewek cienkich,
- wady soczewek:
 - aberracja sferyczna,
 - aberracja chromatyczna,
 - astygmatyzm.

III Wprowadzenie

Wiadomości ogólne

Światło jest promieniowaniem elektromagnetycznym o długości fali w zakresie od 400 nm do 750 nm. Promień świetlny padający na granicę dwóch ośrodków, o różnych współczynnikach załamania, ulega na tej granicy odbiciu i załamaniu. Przy odbiciu kąt padania α_{pad} i kąt odbicia α_{odb} promienia są sobie równe, podczas gdy kierunek promienia załamanego jest taki, że spełnione jest prawo Snella

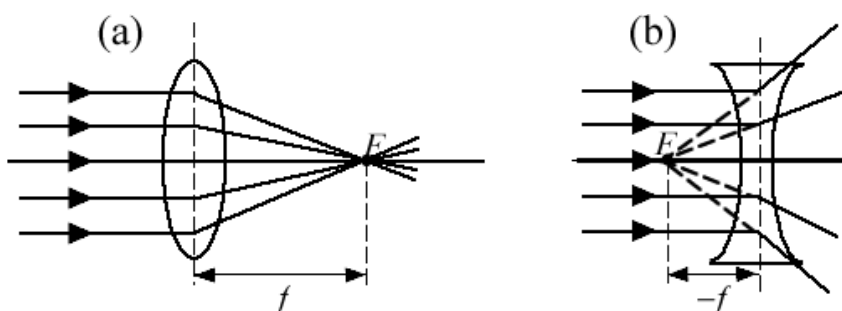
$$\frac{\sin \alpha_{pad}}{\sin \alpha_{zal}} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1)$$



gdzie n_1 – współczynnik załamania ośrodka pierwszego, n_2 – współczynnik załamania ośrodka drugiego, α_{zal} – kąt załamania promienia.

Soczewka jest prostym elementem optycznym wykonanym z przezroczystego materiału, którego co najmniej jedna z powierzchni ograniczających jest fragmentem sfery o środku znajdującym się na osi optycznej soczewki. Soczewki, których płaszczyzny ograniczające są wypukłe nazywane są *soczewkami wypukłymi* (Rys. 1a), te zaś, w których są one wklęsłe noszą nazwę *soczewek wklęsłych* (Rys. 1b). Istnieją ponadto soczewki będące kombinacją różnych typów soczewek np. *soczewki płasko-wypukłe*, *płasko-wklęsłe* czy *wklęsło-wypukłe*.

Światło przechodzące przez soczewkę ulega załamaniu na powierzchniach ograniczających soczewkę. Dla idealnej soczewki wszystkie promienie świetlne padające na nią równoległe do jej *osi optycznej* skupiane są w jednym punkcie zwanym *ogniskiem głównym soczewki* F (w ogólności, promienie równoległe padające na soczewkę pod określonym kątem przecinają się w jednym punkcie leżącym w *plaszczynie ogniskowej soczewki* tzn. płaszczyźnie prostopadłej do osi optycznej soczewki, zawierającej ognisko główne soczewki). Odległość płaszczyzny głównej soczewki, która wyznacza środek soczewki, od ogniska nazywana jest *ogniskową soczewki* f . Soczewki, w których promienie świetlne padające na soczewkę równoległe do osi optycznej ulegają załamywaniu w kierunku do osi nazywane są *soczewkami skupiającymi* (Rys. 1a). Soczewki takie posiadają dodatnią ogniskową ($f > 0$). Soczewki, w których promienie załamane oddalają się od osi optycznej noszą nazwę *soczewek rozpraszających*. Soczewki rozpraszające posiadają *ognisko pozorne*, tzn. przecięciu nie podlegają same promienie a jedynie ich przedłużenia, a ich ogniskowa jest ujemna (Rys. 1b).



Rys. 1. Dwa typy soczewek: skupiające (a) i rozpraszające (b).

Dla tzw. soczewek cienkich, czyli takich, których grubość jest mała w porównaniu z promieniami krzywizny R_1 i R_2 płaszczyzn ograniczających soczewkę zachodzi związek



Człowiek – najlepsza inwestycja

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_m}{n_o} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (2)$$

gdzie n_m jest współczynnikiem załamania materiału, z którego wykonana jest soczewka, zaś n_o współczynnikiem załamania otoczenia. Z powyższego wzoru widać, że ta sama soczewka, w zależności od tego, w jakim otoczeniu jest umieszczona może być raz soczewką skupiającą, a innym razem soczewką rozpraszającą.

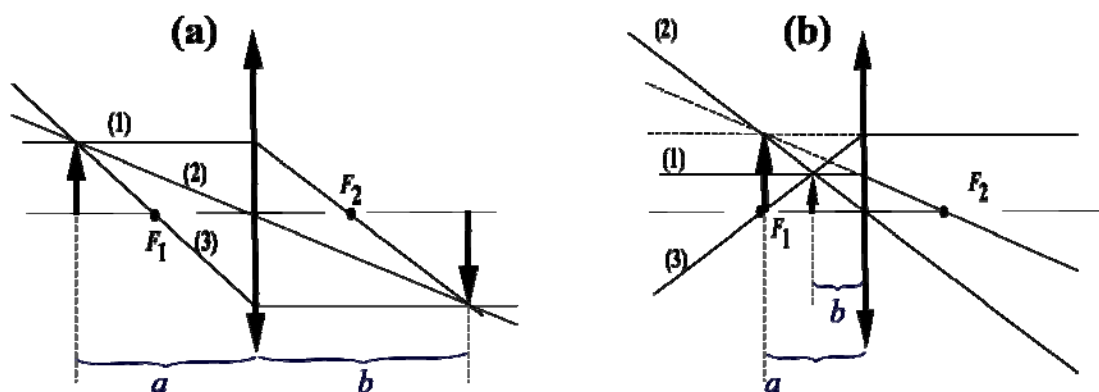
Konstrukcja obrazu w soczewce

Optyka geometryczna jest działem fizyki, który pozwala na rozwiązanie szeregu zagadnień optycznych w oparciu o pojęcie promienia świetlnego. Rozchodzenie się tego promienia w ośrodkach rządzone jest prostymi prawami geometrycznymi. W szczególności optyka geometryczna pozwala ona na konstrukcję obrazu przedmiotu powstającego w soczewce.

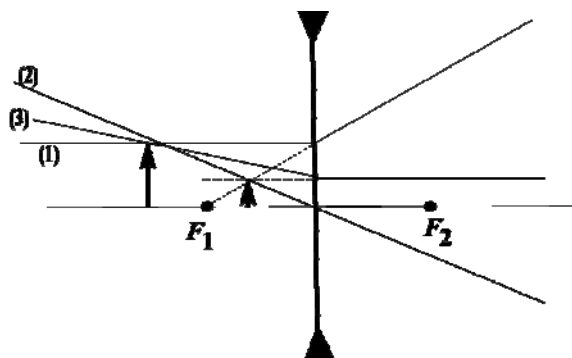
Do konstrukcji obrazu powstającego w soczewce skupiającej wykorzystuje się bieg charakterystycznych promieni: promienia (1) biegnącego równoległe do osi optycznej soczewki, promienia (2) przechodzącego przez środek optyczny soczewki oraz promienia (3) przechodzącego przez ognisko soczewki F_1 (Rys 2). Promień (1) po załamaniu w soczewce przechodzi przez ognisko F_2 , promień (2) nie zmienia swojego kierunku, a promień (3) po załamaniu biegnie równoległe do osi soczewki. Jeśli odległość przedmiotu od soczewki skupiającej jest większa od jej ogniskowej, wówczas powstający obraz jest *obrazem rzeczywistym*. Obraz ten jest wyznaczony przez przecięcie promieni załamanych (Rys. 2a). Natomiast, gdy odległość przedmiotu od soczewki jest mniejsza od jej ogniskowej, powstający obraz jest *pozorny* (Rys. 2b).

W przeciwieństwie do soczewki skupiającej soczewka rozpraszająca zawsze daje obraz pozorny. Do jego konstrukcji również wykorzystuje się bieg promieni charakterystycznych: promienia (1) biegnącego równoległe do osi optycznej soczewki, promienia (2) przechodzącego przez środek optyczny soczewki oraz promienia (3) biegnącego w kierunku ogniska F_2 . Promień (1) ulega załamaniu w taki sposób, że jego przedłużenie przechodzi przez ognisko F_1 . Promień (2) nie zmienia swojego biegu przy przejściu przez soczewkę, zaś promień (3) po przejściu przez soczewkę jest równoległy do jej osi optycznej. Idea konstrukcji obrazu w soczewce rozpraszającej zaprezentowana została na Rys. 3.





Rys. 2. Konstrukcja obrazu w soczewce skupiającej.



Rys. 3. Konstrukcja obrazu w soczewce rozpraszającej.

Równanie soczewki

Równanie soczewki wiążące ze sobą odległość soczewki od przedmiotu i obrazu z jej ogniskową f nosi nazwę *równania soczewki*

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \quad (3)$$

gdzie a jest odległością przedmiotu od soczewki, a b odległością ekranu od soczewki. W oparciu o równanie soczewki możliwe jest wyznaczenie ogniskowej soczewki skupiającej.

Inną metodą, która pozwala na wyznaczenie ogniskowej soczewki f jest *metoda Bessela*. Polega ona na poszukiwaniu ostrego obrazu przedmiotu na ekranie umieszczonym w odległości l poprzez przesuwanie soczewki umieszczonej między nimi. W takim przypadku równanie soczewki można zapisać w postaci

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{l-b} + \frac{1}{b}. \quad (4)$$





Ponieważ równanie (4) jest równaniem kwadratowym ma ono więc dwa rozwiązania ze względu na b

$$b_1 = \frac{l + \sqrt{l^2 - 4lf}}{2}, \quad b_2 = \frac{l - \sqrt{l^2 - 4lf}}{2}. \quad (5)$$

Rzeczywiście pomiary eksperymentalne wykazują, że przy ustalonej odległości pomiędzy ekranem i przedmiotem istnieją dwa położenia soczewki, dla których na ekranie uzyskiwany jest ostry obraz przedmiotu. W jednym przypadku obraz przedmiotu jest powiększony, podczas gdy dla drugiego położenia soczewki jest on pomniejszony.

Ogniskowa układu soczewek

Ogniskowa f układu soczewek zbudowanego z dwóch cienkich soczewek o ogniskowych f_1 i f_2 znajdujących się blisko siebie spełnia zależność

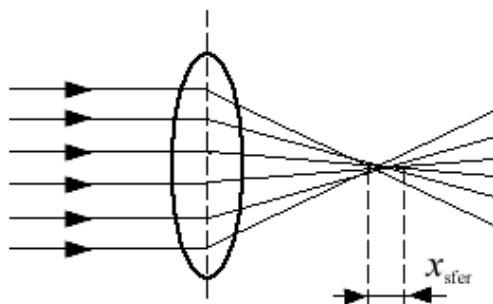
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}. \quad (6)$$

Możliwość obliczenia ogniskowej układu soczewek pozwala na wyznaczanie ogniskowych soczewek rozpraszających.

Aberracja sferyczna

Podane powyżej równanie soczewki [równanie (3)] obowiązuje tylko przy założeniu, że badana soczewka jest cienka, a wiązka padających na nią promieni jest niezbyt odległa od głównej osi optycznej soczewki. Można pokazać, że w przypadku gdy wiązka światła padającego na soczewkę jest szeroka, *promienie przyosiowe* tzn. promienie bliskie osi głównej soczewki, załamują się słabiej niż *promienie brzegowe* propagujące dalej od tej osi. W takim przypadku ognisko dla promieni przyosiowych znajdzie się dalej od soczewki, niż dla promieni brzegowych. W konsekwencji zamiast pojedynczego punktu, w którym skupiają się wszystkie promienie wzdłuż osi pojawia się rozmyty obszar (Rys. 4). Efekt pojawienia się rozmycia ogniska dla różnych promieni równoległych nosi nazwę aberracji sferycznej, zaś odległość między ogniskami dla promieni przyosiowych i brzegowych jest miarą tego efektu.





Rys. 4. Aberracja sferyczna.

Aberracja chromatyczna

Aberracja chromatyczna jest wadą soczewek związaną ze *zjawiskiem dyspersji*. Zjawisko to polega na zależności współczynnika załamania światła od długości fali. Dyspersja prowadzi do różnicy pomiędzy kątami załamania promieni świetlnych o różnej barwie, a co za tym idzie różnych ogniskowych dla różnych długości fal. W szczególności promienie czerwone po przejściu przez soczewkę wykonaną ze szkła załamywać się będą słabiej od promieni fioletowych, a w konsekwencji ognisko soczewki dla promieni czerwonych znajdować się będzie dalej od soczewki niż ognisko dla promieni fioletowych.

Astygmatyzm

Równoległa wiązka promieni świetlnych padających na soczewkę pod dużymi kątami względem głównej osi optycznej po przejściu przez soczewkę nie przecina się w jednym punkcie, ale daje rozmytą plamę świetlną. Spowodowane jest to tym, że różne części wiązki ulegają załamaniu na innych fragmentach soczewki różniących się znacząco warunkami geometrycznymi. To właśnie sprawia, że obraz przedmiotu nieznajdującego się na osi optycznej soczewki jest zdeformowany.

IV Przebieg ćwiczenia

Układ doświadczalny

W skład układu doświadczalnego wchodzi następujące przyrządy: ława optyczna z naniesioną podziałką, źródło światła, soczewki skupiające i rozpraszające, przedmiot (litera na matówce), ekran, gruba soczewka do badania wad soczewek, przysłony do badania aberracji sferycznej (przepuszczające promienie przyosiowe, pośrednie i brzegowe), filtry do badania aberracji chromatycznej, matówka z naniesioną siatką prostokątnych linii, latarka.



Metoda pomiarowa

Zasadniczą częścią pomiarów ogniskowych soczewek polega na znajdowaniu położenia ekranu lub soczewki, przy którym na ekranie obserwowany jest ostry obraz przedmiotu. Ponieważ określenie położenia soczewki, w którym obserwowany jest ostry obraz jest subiektywne, dlatego położenie soczewki dla ustalonej odległości przedmiot – ekran należy znajdować kilkakrotnie. W celu uzyskania możliwie najlepszych warunków eksperymentalnych należy układ pomiarowy zestawić w taki sposób, aby wszystkie elementy wchodzące w jego skład znajdowały się na takiej samej wysokości. Płaszczyzny przedmiotu, ekranu i soczewek winny być prostopadłe do wiązki światła, zaś przedmiot powinien znajdować się możliwie najbliżej źródła światła.

Pierwsza z metod wyznaczania ogniskowych soczewek wykorzystuje równanie soczewki. Przekształcając równanie (3) otrzymuje się zależność ogniskowej f od odległości soczewki od przedmiotu a i obrazu b

$$f = \frac{ab}{a + b}. \quad (7)$$

W celu wyznaczenia ogniskowej soczewki należy znaleźć takie położenie ekranu, dla którego, przy ustalonej odległości soczewka-przedmiot, widać na nim ostry obraz. Pewnym problemem w korzystaniu z tej metody jest konieczność bezwzględnego pomiaru odległości pomiędzy płaszczyzną główną soczewki a ekranem i przedmiotem, ponieważ położenie tej płaszczyzny nie jest dokładnie znane.

Druga z metod wyznaczania ogniskowej jest metodą Bessela. Zaletą tej metody jest jej większa dokładność oraz brak konieczności bezwzględnego pomiaru odległości pomiędzy elementami umieszczonymi na ławie. Do jej zastosowania wystarcza jedynie znajomość względnej odległości d pomiędzy punktami, dla których na ekranie obserwowany jest ostry obraz. W oparciu o równanie (5) można wyznaczyć taką odległość

$$d = b_1 - b_2 = \sqrt{l^2 - 4lf}. \quad (8)$$

Przekształcając równanie (8) można wyznaczyć ogniskową soczewki przy użyciu odległości d między dwoma położeniami soczewki dającymi ostry obraz

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l}. \quad (9)$$

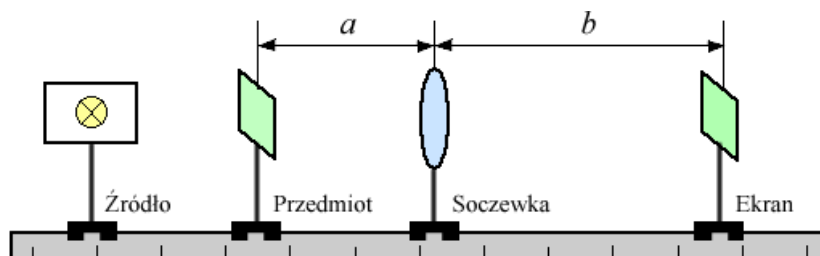
Ze względu na większą dokładność metody Bessela należy ją wykorzystać do pomiarów ogniskowej soczewek rozpraszających oraz wad soczewek grubych.





Przebieg doświadczenia

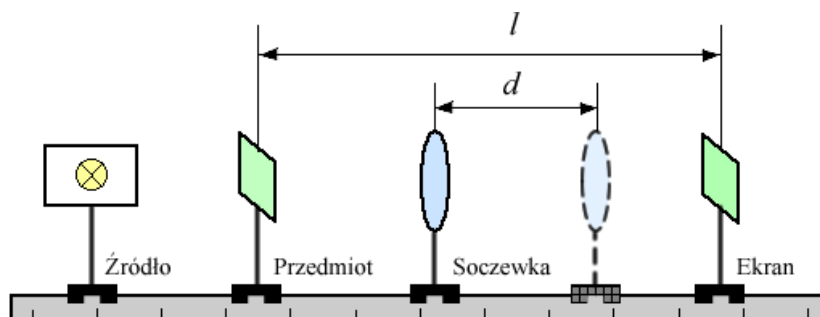
Dla wybranej soczewki skupiającej wyznaczyć należy ogniskową metodą wykorzystującą równanie soczewki. W tym celu trzeba ustalić i zmierzyć odległość pomiędzy przedmiotem i soczewką (dla uproszczenia przyjmujemy, że odległość a nie jest obarczona niepewnością pomiarową). Następnie szukamy położenia ekranu, dla którego obserwowany jest na nim ostry powiększony obraz. W celu wyeliminowania przesunięcia soczewki względem skali (oprawka na soczewkę nie jest idealnie współosiowa z podstawą) identycznego pomiaru należy dokonać przekręcając pozycję soczewki o 180° . Każdego z tych pomiarów należy wykonać kilku-, co najmniej pięcio-, krotnie. Idea wyznaczania ogniskowej na podstawie równania soczewki przedstawiona jest na Rys. 5.



Rys. 5. Wyznaczanie ogniskowej soczewki na podstawie równania soczewki.

W kolejnym etapie pomiarów dla wcześniej badanej soczewki skupiającej wyznaczyć należy jej ogniskową korzystając z metody Bessela. W tym celu trzeba ustalić i zmierzyć odległość pomiędzy przedmiotem a ekranem. Następnie pomiędzy ekranem i przedmiotem umieszczamy soczewkę i przesuwając ją szukamy położenia, dla którego na ekranie obserwowany jest ostry powiększony i pomniejszony obraz. Oba położenia notujemy. Dla ustalonej odległości pomiędzy przedmiotem a ekranem każdy z pomiarów należy powtórzyć kilkakrotnie.

Idea wyznaczania ogniskowej metodą Bessela zilustrowana jest na Rys. 6.



Rys. 6. Wyznaczanie ogniskowej soczewki przy pomocy metody Bessela.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

Ogniskową soczewki rozpraszającej wyznacza się mierząc ogniskową układu soczewek składającego się z soczewki rozpraszającej i soczewki skupiającej o znanej ogniskowej umieszczonych możliwie blisko siebie. Badany układ soczewek powinien być skupiający. Pomiaru ogniskowej układu soczewek dokonuje się korzystając z metody Bessela postępując zgodnie z procedurą podaną powyżej.

Do badania aberracji sferycznej wykorzystać należy grubą soczewkę. Montując na soczewce kolejne przysłony przy pomocy metody Bessela wyznacza się ogniskowe dla promieni przyosiowych, pośrednich i brzegowych.

W celu zbadania aberracji chromatycznej soczewki wyznaczyć trzeba jej ogniskową (korzystając z metody Bessela) dla światła czerwonego, zielonego i niebieskiego. W tym celu pomiędzy źródłem światła a przedmiotem umieścić należy odpowiedni filtr barwny. Ze względu na właściwości ludzkiego oka wyznaczanie ogniskowej dla światła czerwonego, niebieskiego i zielonego jest mniej precyzyjne niż dla światła białego.

Badając astygmatyzm soczewki jako przedmiotu należy użyć matówki z naniesioną siatką prostopadłych linii. Soczewkę umieścić na statywie zaopatrzonym w podziałkę kątową. W pierwszej kolejności należy odnaleźć takie położenie soczewki, w którym jej płaszczyzna główna jest prostopadła do wiązki światła, a na ekranie obserwowany jest ostry powiększony obraz przedmiotu. Następnie należy obrócić soczewkę o około 15° – 20° i znaleźć dwa charakterystyczne położenia, dla których w obrazie przedmiotu widoczne są jedynie linie poziome lub pionowe. Przy pomiarze wielokrotnie trzeba odczytać położenia soczewki dla dwóch wymienionych przypadków. Odległość między tymi położeniami zależy od kąta, jaki płaszczyzna soczewki tworzy z wiązką światła.

Przy badaniu wad soczewek należy pamiętać, że wszystkie wady soczewek występują równocześnie. Dlatego też podczas badania jednej z wybranych wad, może się okazać, że wpływ innej wady w sposób istotny zakłóca pomiary. Z tego powodu przy badaniu aberracji chromatycznej i astygmatyzmu, celowym może okazać się zminimalizowanie wpływu aberracji sferycznej poprzez zastosowanie odpowiednich przysłon (wybrać tylko promienie przyosiowe).

V Opracowanie wyników

Wyznaczenie ogniskowej w oparciu o równanie soczewki

W celu wyznaczenia ogniskowych soczewek w oparciu o równanie soczewki należy obliczyć średnią arytmetyczną z dwóch pomiarów dokonanych dla soczewki ustawionej pod kątem 0° i 180°



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Człowiek – najlepsza inwestycja

$$\bar{b} = \frac{(b_0 + b_{180})}{2} \quad (10)$$

Następnie z tak obliczonych średnich obliczamy średnią z całej serii pomiarowej

$$\bar{b}_{pom} = \frac{\bar{b}_1 + \bar{b}_2 + \dots + \bar{b}_n}{n}, \quad (11)$$

gdzie n jest liczbą pomiarów w serii.

Procedura dla Licealistów

Licealiści obliczają w kolejnym kroku niepewność pomiarową wyznaczenia tej wartości w oparciu o tzw. *odchylenie standardowe wartości średniej*

$$\Delta b_{pom} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} [(\bar{b}_1 - \bar{b}_{pom})^2 + (\bar{b}_2 - \bar{b}_{pom})^2 + \dots + (\bar{b}_n - \bar{b}_{pom})^2]}. \quad (12)$$

Podstawiając średnią odległość pomiędzy soczewką i ekranem dla jednej serii pomiarowej oraz wykorzystując zmierzoną odległość pomiędzy przedmiotem a soczewką obliczyć można ogniskową soczewki

$$\bar{f} = \frac{a\bar{b}_{pom}}{a + \bar{b}_{pom}}, \quad (13)$$

oraz niepewność pomiarową wyznaczenia tej wielkości

$$\Delta f = \frac{a^2}{(a + \bar{b}_{pom})^2} \Delta b_{pom}. \quad (14)$$

W tym drugim przypadku do wyznaczenia niepewności pomiarowej posłużono się tzw. *metodą różniczki zupełnej*.

Procedura dla Gimnazjalistów

Procedura postępowania dla gimnazjalistów jest nieco inna. Obliczają oni bowiem wartość ogniskowej na podstawie każdego z pomiarów \bar{b}_i

$$f_i = \frac{a\bar{b}_i}{a + \bar{b}_i}. \quad (15)$$

Następnie z tak obliczonych ogniskowych obliczają średnią arytmetyczną

$$\bar{f} = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_n}{n}, \quad (16)$$





Człowiek – najlepsza inwestycja

a jako niepewność pomiarową przyjmują maksymalną różnicę pomiędzy uzyskanymi wartościami ogniskowych

$$\Delta f = \max[f_i - f_j]. \quad (17)$$

Uwaga! Powyższa różnica sposobów obliczania niepewności pomiarowych dla licealistów i gimnazjalistów obowiązuje w dalszych etapach ćwiczenia. Podczas gdy licealiści obliczają wartości średnie i odchylenie standardowe z serii pomiarów, gimnazjaliści dokonują obliczeń konkretnych wielkości dla każdego punktu, a jako niepewność pomiarową przyjmują maksymalną różnicę pomiędzy uzyskanymi wielkościami.

Wyznaczenie ogniskowej metodą Bessela

W celu wyznaczenia ogniskowej soczewki metodą Bessela należy obliczyć odległość d pomiędzy dwoma położeniami soczewki, dla których na ekranie obserwowany był ostry obraz. Następnie w oparciu o obliczone odległości należy wyliczyć, postępując zgodnie z opisem podanym powyżej, średnią i niepewność pomiarową wyznaczenia tych wielkości. Podstawiając obliczone wartości do równania (9) można wyznaczyć wartość oczekiwaną (poszukiwaną) ogniskowej

$$f_{pom} = \frac{l^2 - d_{pom}^2}{4l}, \quad (18)$$

oraz niepewność pomiarową wyznaczenia tej wielkości

$$\Delta f_{pom} = \left| \frac{d_{pom}}{2l} \right| \Delta d_{pom}. \quad (19)$$

Gimnazjaliści obliczają wartość ogniskowej jako średnią wartości otrzymanych w poszczególnych pomiarach, zaś jako niepewność pomiarową przyjmują maksymalną różnicę pomiędzy uzyskanymi ogniskowymi.

Porównanie wartości ogniskowej wyznaczonej dwoma metodami

W sprawozdaniu z ćwiczenia należy porównać wartości ogniskowych otrzymanych dwiema opisanymi metodami. Proszę sprawdzić czy wartości te się ze sobą zgadzają i która z metod jest dokładniejsza.

Wyznaczenie wartości ogniskowej soczewki rozpraszającej

W oparciu o opisaną powyżej procedurę obliczyć należy wartość ogniskowej układu soczewek: soczewka rozpraszająca-soczewka skupiająca. Wykorzystując obliczoną wartość oczekiwaną ogniskowej układu soczewek f_{pom}^{ukl} oraz znalezioną wcześniej wartość oczekiwaną ogniskowej soczewki skupiającej f_{pom}^{skup} otrzymać można wartość oczekiwaną ogniskowej soczewki rozpraszającej korzystając ze wzoru





Człowiek – najlepsza inwestycja

$$f_{roz} = \frac{f_{pom}^{ukl} f_{pom}^{skup}}{f_{pom}^{skup} - f_{pom}^{ukl}}, \quad (20)$$

oraz niepewność wyznaczenia tej wielkości

$$\Delta f_{roz} = \left| \frac{f_{pom}^{ukl}}{(f_{pom}^{skup} - f_{pom}^{ukl})^2} \right| \Delta f_{pom}^{skup} + \left| \frac{f_{pom}^{skup}}{(f_{pom}^{skup} - f_{pom}^{ukl})^2} \right| \Delta f_{pom}^{ukl}. \quad (21)$$

Gimnazjaliści postępują zgodnie z procedurą opisaną powyżej.

Wyznaczenie aberracji sferycznej grubej soczewki

Korzystając z podanego powyżej opisu obliczeń dla metody Bessela należy obliczyć ogniskową grubej soczewki dla kolejnych stosowanych przysłon. Jako miarę aberracji sferycznej należy przyjąć różnicę ogniskowych dla promieni przyosiowych i brzegowych

$$x_{sfer} = f_{pom}^{przy} - f_{pom}^{brzeg}. \quad (22)$$

Niepewność wyznaczenia aberracji sferycznej należy obliczyć korzystając z zależności

$$\Delta x_{sfer} = \Delta f_{pom}^{przy} + \Delta f_{pom}^{brzeg}. \quad (23)$$

Wyznaczenie aberracji chromatycznej grubej soczewki

Analogicznie jak poprzednio wyznaczyć należy ogniskowe przy zastosowaniu różnych filtrów. Jako miarę aberracji chromatycznej podać różnicę ogniskowych dla światła czerwonego i niebieskiego

$$x_{chrom} = f_{pom}^{czer} - f_{pom}^{nieb}. \quad (24)$$

Należy również określić niepewność pomiarową tej wielkości

$$\Delta x_{chrom} = \Delta f_{pom}^{czer} + \Delta f_{pom}^{nieb}. \quad (25)$$

Wyznaczenie astygmatyzmu soczewki

Opracowując wyniki pomiarów dla astygmatyzmu należy obliczyć wartość średnią różnicy położenia soczewki, przy których na ekranie widoczne są tylko linie pionowe lub tylko linie poziome

$$x_{ast} = \bar{b}_{pion} - \bar{b}_{poz}. \quad (26)$$



Człowiek – najlepsza inwestycja

Należy również określić niepewność pomiarową obliczonej różnicy

$$\Delta x_{ast} = \Delta x_{pion} + \Delta x_{poz} \quad (27)$$

Wyznaczona wielkość jest miarą pełnego astygmatyzmu soczewki.

Uwagi końcowe

Wypisując ostateczne wyniki obliczeń należy przedstawić je w formie

$$f = \bar{f} \pm \Delta f \quad [\text{jednostka}] \quad (28)$$

gdzie w miejsce \bar{f} i Δf należy wpisać odpowiednie wartości liczbowe zaś w miejscu [jednostka] podać odpowiednią jednostkę. Proszę krótko przedyskutować otrzymane wyniki oraz spróbować wskazać powody, które sprawiają, że w pomiarach pojawiły się niepewności pomiarowe.

LITERATURA DODATKOWA:

- [1] Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*, tom III, PWN, Warszawa.
- [2] <http://pl.wikipedia.org/wiki/i> lub <http://www.google.pl>
- [3] http://fizyka.zamkor.pl/aplety/programy_nauczycielskie/prog_fiz_naucz.htm (funkcja liniowa i wielkości wprost proporcjonalne, W. Nowak).
- [4] H. Szydłowski, *Pracownia Fizyczna*, PWN, Warszawa.
- [5] T. Dryński, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa.
- [6] A. Magiera, *I Pracownia Fizyczna*, Instytut Fizyki UJ, Oficyna Wydawnicza „Impuls”, Kraków 2006.