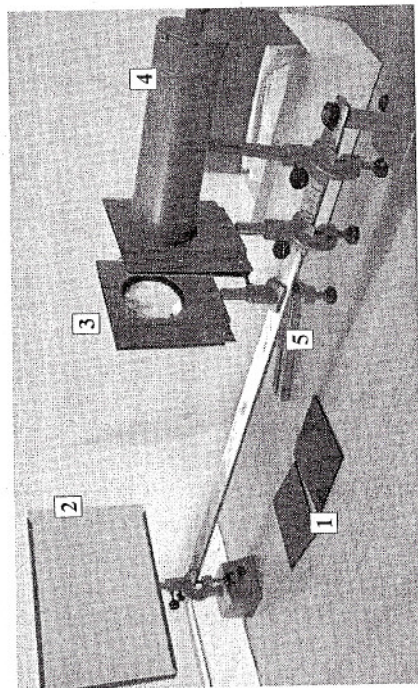


17. WYZNACZANIE OGNISKOWYCH SOCZEWEK. BADANIE WAD SOCZEWEK

Wymagane wiadomości

Os optyczna główna, ognisko oraz ogniskowa. Rodzaje soczewek. Równanie soczewki. Powiększenie. Metody wyznaczania ogniskowej. Metoda Bessela. Powstawanie obrazów. Dioptria. Wady soczewek. Aberracja chromatyczna.

Literatura: [21], [23], [25]



Rys.17.1. Stanowisko pomiarowe: 1 - filtr czerwony i fioletowy, 2 - ekran, 3 - soczewka, 4 - oświetlacz, 5 - pryzmat.

Soczewki. Równanie soczewki.

Soczewką nazywamy bryłę z przezroczystego materiału ograniczoną dwoma powierzchniami sferycznymi o promieniach krzywizny R_1 i R_2 . Prosta przechodząca przez środki krzywizny tych powierzchni, nazywa się główną osią optyczną. Podstawową funkcją soczewek jest skupianie lub rozpraszanie światła i dlatego dzieli się je na soczewki skupiające i rozpraszające. Soczewki skupiające są zwykle grubsze w środku niż na brzegach, natomiast rozpraszające - odwrotnie. W przypadku, gdy grubość soczewki jest mała w porównaniu z promieniami krzywizny, soczewkę nazywa się cienką.

Soczewka skupiająca posiada punkt zwany ogniskiem F (rys.17.2), w którym skupiają się promienie równoległe do osi optycznej po przejściu

przez soczewkę. Odległość ogniska F od środka O soczewki nazywa się ogniskową soczewki f (rys.17.2). Soczewkę rozpraszającą (rys.17.2) charakteryzuje to, że promienie równoległe do osi optycznej, po przejściu przez soczewkę, stają się wiązką rozbieżną. Wiązka rozbieżna biegnie tak, jakby wychodziła z jednego punktu, zwanego ogniskiem pozornym. Odległość ogniska pozornego od soczewki jest ogniskową f ze znakiem ujemnym.

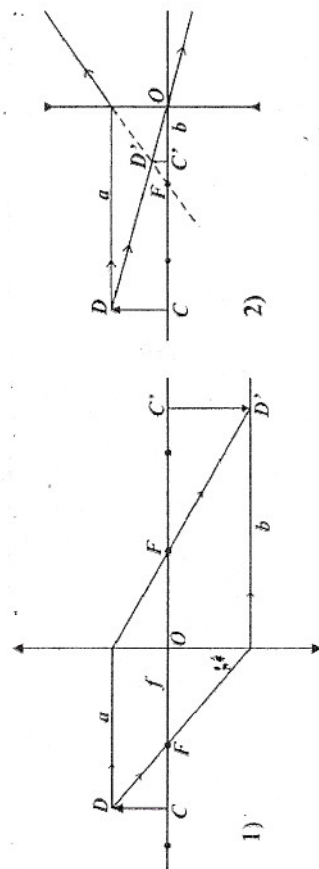
Ogniskowa f soczewki ciekawiej zależy od współczynnika załamania n materiału soczewki względem otaczającego środowiska oraz od promieni krzywizn R_1 i R_2 soczewki, zgodnie z wzorem:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (17.1)$$

Wielkość $D = \frac{1}{f}$ nazywamy zdolnością zbierającą. Jednostką zdolności zbierającej jest dioptra o wymiarze $[m^{-1}]$.

Po przejściu światła przez soczewki skupiające powstają obrazy rzeczywiste lub pozorne, proste albo odwrócone, powiększone, pomniejszone lub tej samej wielkości, w zależności od odległości przedmiotu od soczewki. Natomiast przy użyciu soczewek rozpraszających uzyskuje się obrazy pozorne, proste i pomniejszone.

Przykłady konstrukcji obrazu otrzymanego za pomocą soczewki skupiającej i rozpraszającej przedstawione są na rys.17.2.



Rys.17.2. Konstrukcja obrazu otrzymanego przy przejściu światła przez soczewkę skupiającą (1) i rozpraszającą (2), a i b oznaczają odległości przedmiotu i obrazu od soczewki, CD , $C'D'$ - wysokość przedmiotu i obrazu, F - ognisko, $OF = f$ - ogniskowa.

Powiększenie p obrazu wyraża się wzorem:

$$p = \frac{C'D'}{CD}, \quad (17.2)$$

gdzie CD i $C'D'$ to odpowiednio wysokość przedmiotu i obrazu (rys.17.2). Powiększenie obrazu można również obliczyć znając odległości a i b przedmiotu i obrazu od soczewki:

$$p = \frac{b}{a}, \quad (17.3)$$

$|p| > 1$ odpowiada obrazowi powiększonemu, $|p| < 1$ - pomniejszonemu. Między ogniskową f , odległościami a i b przedmiotu i obrazu od soczewki zachodzi związek zwany równaniem soczewki:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}. \quad (17.4)$$

Wyznaczanie ogniskowej soczewki

Wyznaczanie ogniskowej metodą bezpośrednią

Ogniskową f soczewki można wyznaczyć z przekształcenia wzoru (17.4):

$$f = \frac{ab}{a+b}. \quad (17.5)$$

Wyznaczanie ogniskowej z zależności powiększenia od odległości obrazu od soczewki

Wykorzystując wzory (17.3) i (17.4) otrzymuje się wyrażenie na powiększenie w postaci:

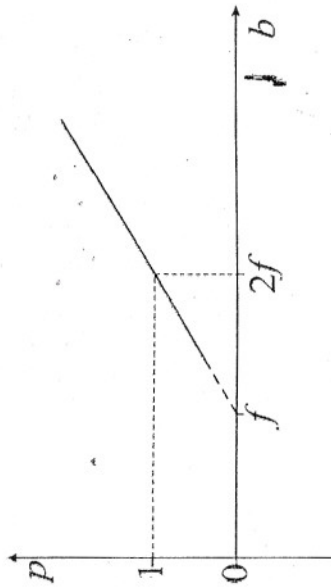
$$p = \frac{1}{f} \cdot b - 1. \quad (17.6)$$

Z równania (17.6) wynika, że powiększenie p jest liniową funkcją odległości b obrazu od soczewki i jest przedstawione na rys.17.3. Zależność (17.6) można zapisać w postaci równania prostej:

$$p = A \cdot b + B, \quad (17.6a)$$

gdzie :

$$A = \frac{1}{f}, \quad B = -1. \quad (17.6b)$$



Rys.17.3. Zależność powiększenia p od odległości obrazu b od soczewki.

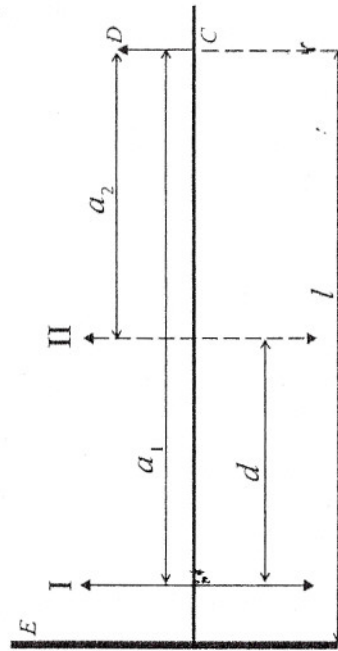
Ogniskową soczewki można obliczyć z nachylenia A prostej:

$$f = \frac{1}{A}, \quad (17.7)$$

lub odczytać z wykresu (rys.17.3) jako punkt przecięcia osi Ob z wyznaczoną prostą: $b = f$.

Wyznaczanie ogniskowej metodą Bessela

Przy stałej odległości l przedmiotu od ekranu istnieją dwa położenia a_1 i a_2 soczewki względem stałego położenia przedmiotu, dla których na ekranie pojawia się ostry obraz powiększony i pomniejszony (rys.17.4).



Rys.17.4. Zasada metody Bessela. a_1 i a_2 - odległości soczewki od przedmiotu odpowiadające pozycjom I i II soczewki, przy których uzyskuje się obraz pomniejszony i powiększony, CD - wysokość przedmiotu, l - odległość przedmiotu od obrazu, $d = a_1 - a_2$.

Z poniższego układu równań:

$$\begin{cases} a+b=l, \\ \frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \end{cases} \quad (17.8)$$

otrzymuje się równanie kwadratowe:

$$a^2 - l \cdot a + l \cdot f = 0, \quad (17.9)$$

które posiada dwa rozwiązania: a_1 i a_2 odpowiadające dwóm położeniom soczewki dla obrazu powiększonego i pomniejszonego:

$$a_1 = \frac{1}{2}(l - \sqrt{l(l-4f)}), \quad a_2 = \frac{1}{2}(l + \sqrt{l(l-4f)}). \quad (17.10)$$

Odległość d tych położen jest równa:

$$d = a_1 - a_2, \quad (17.11)$$

czyli

$$d = \sqrt{l(l-4f)}. \quad (17.12)$$

Po przekształceniu wzoru (17.12) otrzymuje się wzór, według którego można obliczyć ogniskową f soczewki:

$$f = \frac{1}{4} \left(l - \frac{d^2}{l} \right). \quad (17.13)$$

Metoda Bessela polega na pomiarze odległości d położen soczewki i odległości l obrazu od świecącego przedmiotu.

Wyznaczanie ogniskowej soczewki rozpraszającej

Soczewki rozpraszające nie wytwarzają obrazów rzeczywistych. W celu wyznaczenia ogniskowej soczewki rozpraszającej zestawia się ją z soczewką skupiającą. Ogniskowa takiego układu soczewek spełnia następujące równanie:

$$\frac{1}{f_u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}, \quad (17.14)$$

gdzie f_u , f_1 i f_2 oznaczają odpowiednio ogniskową układu soczewek, ogniskową soczewki skupiającej i ogniskową soczewki rozpraszającej.

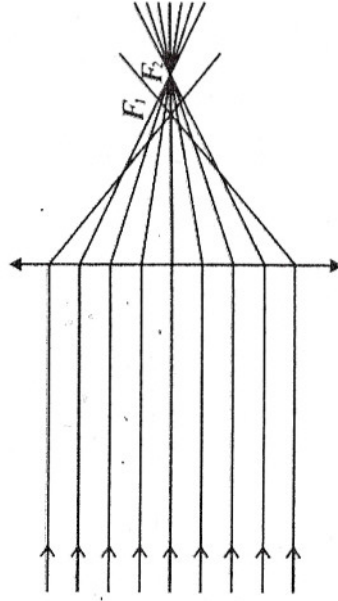
Aby obliczyć ogniskową f_2 soczewki rozpraszającej należy najpierw wyznaczyć ogniskową f_u układu soczewek oraz ogniskową f_1 soczewki skupiającej oraz skorzystać z wzoru (17.13):

$$f_2 = -\frac{f_u f_1}{f_1 - f_u}. \quad (17.15)$$

Wady soczewek

Aberracja sferyczna jest to wada soczewki, polegająca na tym, że promienie biegnące bliżej osi głównej przecinają się dalej od soczewki: w ognisku F_2 , natomiast promienie biegnące dalej od osi głównej przecinają się bliżej soczewki: w ognisku F_1 (rys.17.5). Różnicę ogniskowej f_2 dla promieni środkowych i f_1 dla promieni brzegowych przyjęto za miarę aberracji sferycznej:

$$\Delta S = f_2 - f_1. \quad (17.16)$$

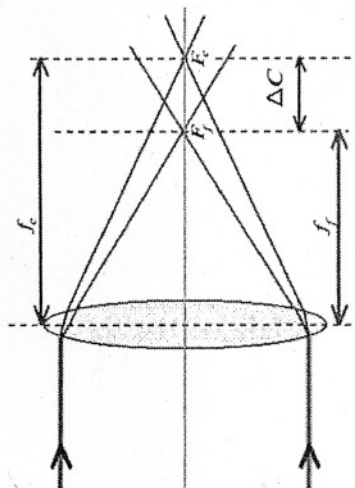


Rys.17.5. Schemat powstawania aberracji sferycznej. F_1 i F_2 ogniska dla promieni skrajnych i środkowych.

Drugą podstawową wadą soczewek jest **aberracja chromatyczna** związana z rozszczepieniem na barwy składowe światła białego po przejściu przez soczewkę. Promienie czerwone załamują się słabiej niż fioletowe (rys.17.6), gdyż współczynnik załamania światła czerwonego n_c jest mniejszy niż światła fioletowego n_f i w związku z tym powstają różne ogniska dla tych barw. Odnosi się to do wszystkich barw składowych światła białego.

Odległość ΔC między ogniskami dla światła czerwonego i fioletowego jest miarą aberracji chromatycznej, którą oblicza się jako różnicę pomiędzy ogniskową f_c dla światła czerwonego i f_f fioletowego:

$$\Delta C = f_c - f_f. \quad (17.17)$$



Rys.17.6. Schemat powstawania aberracji chromatycznej. F_f , F_c - ogniska dla promieni fioletowych i czerwonych.

Przebieg ćwiczenia

Wyznaczanie ogniskowej soczewki skupiającej i układu soczewek

Metoda bezpośrednia

1. W uchwycie przed oświetlaczem ustawić przedmiot w postaci strzałki. Włączyć oświetlacz (rys.17.1). Soczewkę skupiającą zamocować w uchwycie na ławie optycznej. W pewnej odległości od przedmiotu ustawić ekran.
2. Przesuwając uchwyt z soczewką znaleźć na ekranie ostry obraz, najlepiej powiększony, przedmiotu. Zanotować odległości a i b przedmiotu i obrazu od soczewki.
3. Pomiary z punktu 2 powtórzyć dla 5-ciu różnych odległości ekranu od przedmiotu.
4. W uchwycie na ławie optycznej zamocować układ składający się z dwóch soczewek: skupiającej, którą badano w punkcie 2 i rozpraszającej o nieznanej ogniskowej.

5. Przesuwając uchwyt z układem soczewek znaleźć na ekranie ostry obraz, najlepiej powiększony. Zanotować odległości a i b przedmiotu i obrazu od układu soczewek.

6. Pomiary z punktu 5 powtórzyć dla 5-ciu położen ekranu.

Pomiar ogniskowej metodą Bessela

7. Na jednym końcu ławy umieścić oświetlony przedmiot, a na drugim ekran. Zanotować odległość l między ekranem i przedmiotem.
8. Soczewkę skupiającą, zamocowaną w uchwycie na ławie optycznej przesunąć do chwili uzyskania na ekranie ostrego obrazu powiększonego. Zanotować położenie a_1 soczewki względem stałego położenia przedmiotu.
9. Przesunąć soczewkę w stronę ekranu do chwili uzyskania na ekranie ostrego obrazu pomniejszonego. Zanotować położenie a_2 soczewki względem stałego położenia przedmiotu.
10. W uchwycie na ławie optycznej zamocować układ składający się z dwóch soczewek: skupiającej, którą badano w punkcie 8 i 9 i rozpraszającej o nieznanej ogniskowej.
11. Układ soczewek przesunąć na ławie optycznej do chwili uzyskania na ekranie ostrego obrazu powiększonego. Zanotować położenie a_1 układu soczewek względem stałego położenia przedmiotu.
12. Układ soczewek przesunąć w stronę ekranu do chwili uzyskania na ekranie ostrego obrazu pomniejszonego. Zanotować położenie a_2 układu soczewek względem stałego położenia przedmiotu.
13. Pomiary z punktów 8 i 9 oraz 11 i 12 wykonać dla 5-ciu odległości l ekranu od przedmiotu.

Badanie aberracji chromatycznej

14. Soczewkę skupiającą zamocować na ławie optycznej. Nałożyć filtr czerwony na oświetlony przedmiot i dla 5-ciu odległości przedmiotu od obrazu otrzymać na ekranie ostry obraz powiększony. Zanotować odległości a i b .
15. Pomiary a i b wykonać dla filtru fioletowego dla 5-ciu położen ekranu.

Opracowanie uzyskanych wyników

Wyznaczanie ogniskowej soczewki skupiającej i rozpraszającej

Wyznaczanie ogniskowej soczewki skupiającej w metodzie bezpośredniej

16. Na podstawie zmierzonych wartości a i b wyznaczyć, dla 5-ciu położen ekranu, wartości ogniskowej badanej soczewki skupiającej korzystając z równania (17.5).