

Jednostką mocy optycznej jest *dioptria* (1/m). Układ ma moc jednej dioptrii, jeżeli $f'/n' = 1$ m (dla układu znajdującego się w powietrzu, jeżeli ogniskowa obrazowa wynosi 1 m).

Zgodnie z równaniem (2.18a) i ponieważ $f_2/f'_2 = -n/n_p$ to

$$\frac{n_p}{f'} = \frac{n}{f_1} + \frac{n_p}{f_2} - \frac{d}{n} \frac{n}{f_1} \frac{n_p}{f_2}$$

skąd

$$D = D_1 + D_2 - \frac{d}{n} D_1 D_2 \quad (2.38)$$

Moc układu bezogniskowego równa jest zeru, dla $f' > 0$ jest dodatnia, a dla $f' < 0$ — ujemna. Moc pojedynczej powierzchni sferycznej zgodnie z (2.34a)

$$D_{sf} = \frac{n' - n}{r} \quad (2.39)$$

Wychodząc z definicji mocy wzory (2.19c, d, e, f) można przepisać w postaci

$$s'_{F'} = \frac{1 - \frac{d}{n} D_1}{D} n_p \quad (2.40a)$$

$$s'_{H'} = - \frac{d D_1}{D} \frac{n_p}{n} \quad (2.40b)$$

$$s_F = - \frac{1 - \frac{d}{n} D_2}{D} n_0 \quad (2.40c)$$

$$s_H = \frac{d D_2}{D} \frac{n_0}{n} \quad (2.40d)$$

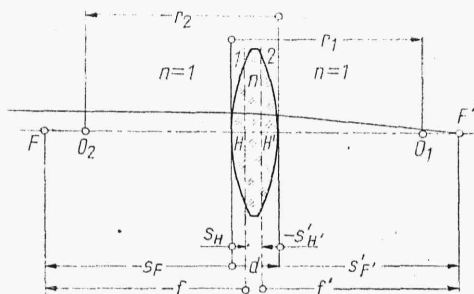
2.4. Podstawowe elementy układów optycznych

2.4.1. Soczewki

Za *soczewkę* uważana jest część przestrzeni jednorodnego ośrodka przezroczystego ograniczona dwoma powierzchniami ze wspólną obrotową osią symetrii, z których przynajmniej jedna nie jest płaska. Ośrodkiem tworzącym soczewkę może być ciało stałe (szkło, kwarc, tworzywo sztuczne itp.), ciekłe (np. woda) lub gazowe. W zależności od kształtu powierzchni rozróżnia się soczewki sferyczne i asferyczne. Z uwagi na sporadyczność występowania w układach tych ostatnich (trudności technologiczne) w dalszej części pod pojęciem soczewki rozumieć się będzie wyłącznie soczewki sferyczne.

Ograniczymy się tu tylko do wyznaczenia właściwości soczewki jako układu doskonałego, to znaczy do wyznaczenia zależności w jej przestrzeni przysiołowej, przy czym przez oś optyczną rozumie się prostą łączącą środki krzywizn O_1 i O_2 obu powierzchni sferycznych (rys. 2.25). Dla prostoty zakłada się, że soczewka znajduje się w jednym i jednorodnym ośrodku o bezwzględnym współczynniku załamania n_0 .

Niech n_s będzie bezwzględnym współczynnikiem załamania soczewki. Oznaczając $n_s/n_0 = n$, rozważania sprowadza się do soczewki zbudowanej z materiału o współczynniku załamania n znajdującej się w ośrodku o współczynniku $n = 1$.



Rys. 2.25

Dla soczewki z uwagi na jednakowy współczynnik załamania przestrzeni obrazowej i przedmiotowej jest spełnione $f' = -f$.

Soczewkę można uważać za układ złożony z dwóch elementarnych układów (powierzchni sferycznych załamujących) o ogniskowych

$$\frac{1}{f'_1} = \frac{n-1}{nr_1}; \quad \frac{1}{f'_2} = \frac{1-n}{r_2}$$

gdzie r_1 i r_2 — promienie odpowiednio pierwszej i drugiej sferycznej powierzchni załamującej. Zgodnie ze wzorami do obliczenia parametrów układów złożonych (tabl. 2.2) oraz uwzględniając, że $n_0 = n_p = 1 \neq n$ otrzymuje się

$$\frac{1}{f'} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{n-1}{n} \frac{d}{r_1 r_2} \right) \quad (2.41)$$

$$s'_{F'} = f' \left[1 - \frac{d(n-1)}{nr_1} \right] \quad (2.42)$$

$$s_F = -f' \left[1 + \frac{d(n-1)}{nr_2} \right] \quad (2.42b)$$

$$s'_{H'} = - \frac{d(n-1)}{nr_1} f' \quad (2.43a)$$

$$s_H = - \frac{d(n-1)}{nr_2} f' \quad (2.43b)$$

Jeżeli grubość d soczewki jest znacznie mniejsza od promieni krzywizn, to można ją przy rozważaniach pominąć i napisać

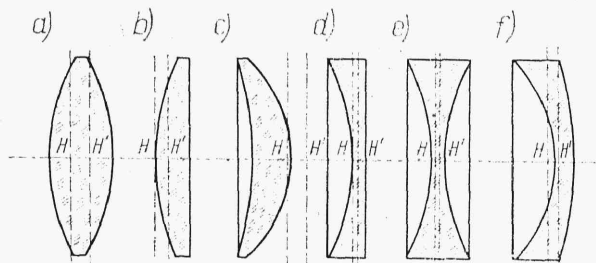
$$\frac{1}{f'_{d=0}} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.44)$$

Wtedy błąd wyznaczenia ogniskowej wyniesie

$$\frac{f'_{d=0} - f'}{f'} = \frac{\frac{1}{f'} - \frac{1}{f'_{d=0}}}{\frac{1}{f'_{d=0}}} = \frac{n-1}{n} \frac{d}{r_2 - r_1}$$

Przykładowo dla $n = 1,5$, $r_1 = -r_2$ (soczewka symetryczna) oraz $d/r = 0,1$ mamy $\frac{f'_{d=0} - f'}{f'} \approx 0,015$. Błąd jest więc niewielki i dlatego w przybliżonych obliczeniach można korzystać ze wzoru (2.44).

Tylko dla soczewek o odpowiednio dużej grubości d w porównaniu z promieniami krzywizn r_1 i r_2 oraz soczewek meniskowych, dla których



Rys. 2.26

r_2 jest bliskie r_1 (rys. 2.26, c, f) założenie $d \approx 0$ prowadzi do większych odchyłań.

Odległość między płaszczyznami głównymi soczewki wynosi (rys. 2.25)

$$HH' = d - s_H + s_{H'}' = d \left[1 - \frac{f'}{n} (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right] = d \left(1 - \frac{f'}{nf'_{d=0}} \right) \quad (2.45)$$

Jeżeli można przyjąć $f' \approx ff'_{d=0}$, to znaczy dla $d \ll |r_2 - r_1|$, wtedy $HH' = d \frac{n-1}{n}$. Dla $n = 1,5$ otrzymuje się $HH' = d/3$.

Położenie punktów węzłowych zgodnie z równaniem (2.11a)

$$s_{N'}' = s_N = 0 \quad (2.46)$$

Punkty węzłowe soczewki znajdującej się w ośrodku jednorodnym pokrywają się z punktami głównymi. Tę własność można uogólnić na dowolny układ złożony z powierzchni sferycznych, umieszczony w ośrodku jednorodnym, gdyż wtedy zawsze $f' = -f$ i zawsze spełniony jest warunek (2.46).

Na rys. 2.26 pokazano różne typy soczewek i położenie ich płaszczyzn głównych (wyznaczone ze wzoru (2.43)). Dla $n > 1$ pierwsze trzy soczewki są dodatnimi ($f' > 0$), pozostałe — ujemnymi ($f' < 0$).

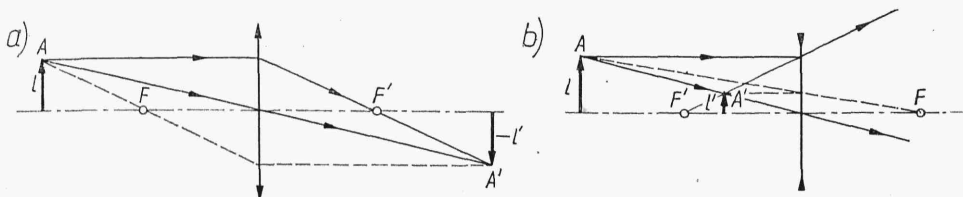
Dla soczewek płasko-sferycznych (typ b i d), ponieważ $r_2 = \infty$ to zgodnie z (2.41)

$$f' = \frac{r_1}{n-1} \quad (2.47)$$

Ponadto z zależności (2.43) po uwzględnieniu (2.47) $s_{H'}' = -d/n$, $s_H = 0$. Ogniskowa takiej soczewki nie zależy od jej grubości. Jedna z płaszczyzn głównych pokrywa się z wierzchołkiem sfery, druga oddalona jest od strony płaskiej o d/n .

Soczewki, dla których w rozważaniach zakłada się $d \approx 0$ nazywają się *soczewkami cienkimi*. Z zależnościami (2.43) i (2.45) wynika, że płaszczyzny główne i wierzchołki powierzchni sferycznych tych soczewek pokry-

wają się. Symbolicznie takie soczewki rysuje się w postaci odcinka ze strzałkami na jego końcach zwróconych ku sobie lub przeciw sobie, zależnie czy są to soczewki ujemne czy dodatnie (rys. 2.27). Na rysunku zamieszczono dodatkowo sposób wyznaczania punktów sprzężonych



Rys. 2.27

AA' , oparty na ogólnych zasadach podanych w p. 2.2.1. Jeśli ośrodki przestrzeni przedmiotowej i obrazowej są jednakowe, to punkty węzłowe pokrywają się z punktami głównymi i najlepiej jest wtedy rysować promień idący przez środek soczewki, który przy przejściu od przestrzeni przedmiotowej do obrazowej nie ulega odchyleniu. Linia przerywaną narysowano promień idący przez ognisko przedmiotowe. Obie konstrukcje są równoważne.

2.4.2. Zwierciadła sferyczne i płaskie

Niech będzie dowolna powierzchnia T (rys. 2.28) odbijająca bez rozproszenia, dla której zgodnie z prawem odbicia (p. 1.4.5) są spełnione warunki

$$\sin i = \sin i'_{2r} \quad \text{oraz} \quad i'_{2r} = \pi - i$$

Powierzchnia taka nazywana jest **zwierciadłem**.

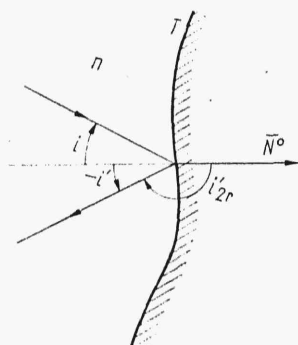
Jeżeli zachowa się jeden kierunek obserwacji dla promieni padających i odbitych, to kąt ostry i' między normalną a promieniem zgodnie z regułą znaków będzie miał wartość ujemną i wtedy $i'_{2r} - i' = \pi$ skąd

$$i = -i' \quad \sin i = -\sin i' \quad (2.48a, b)$$

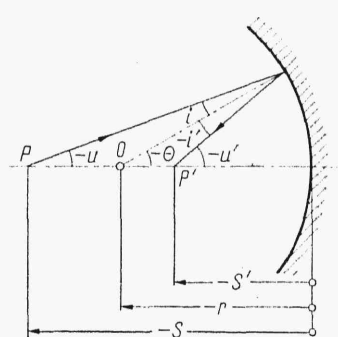
Tę ostatnią zależność można uważać za szczególny przypadek prawa załamania w zastosowaniu do zjawisk odbicia przy założeniu

$$n = -n' \quad (2.48c)$$

gdzie n, n' — współczynniki załamania przestrzeni przedmiotowej i przestrzeni obrazowej powierzchni odbijającej.



Rys. 2.28



Rys. 2.29