

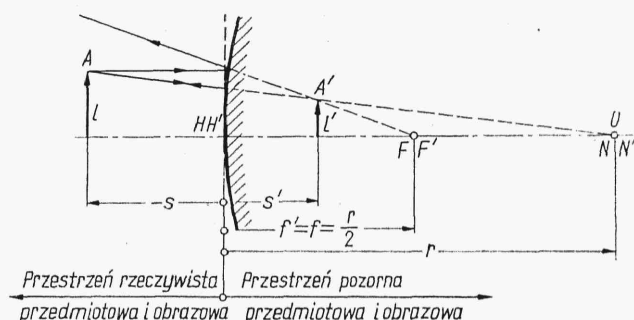
To formalne założenie umożliwia zastosowanie wzorów (2.25) i dalszych wyprowadzonych dla sferycznej powierzchni załamującej do sferycznej powierzchni odbijającej. Należy tylko pamiętać, że zależności (2.48) są spełnione przy założeniu stałego kierunku obserwacji i mimo zmiany kierunku biegu światła znaki odcinków skierowanych nie ulegają zmianie. Niezależnie od tego, czy mierzy się odległość przedmiotu czy obrazu od powierzchni sferycznej, odcinki skierowane w lewo od powierzchni są ujemne, a w prawo — dodatnie (rys. 2.29).

Dla przestrzeni przyosiowej zgodnie z zależnością (2.29) po wstawieniu $n' = -n$ będzie

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{r} \quad (2.49)$$

Ponieważ zgodnie z (2.32) dla płaszczyzn głównych $\beta = -\frac{s'}{s} = 1$ to warunek (2.49) jest tylko wtedy spełniony, gdy $s' = s = 0$. Płaszczyzny główne pokrywają się z wierzchołkiem sfery. Teraz jeżeli $s \rightarrow \infty$ to $s' \rightarrow f'$ i jeżeli $s' \rightarrow \infty$ to $s \rightarrow f$, stąd $f' = f = r/2$. Położenie węzłów $s_N = s'_N = f' + f = r$. Węzły podobnie jak dla sferycznej powierzchni załamującej znajdują się w środku krzywizny zwierciadła.

Elementy sferycznej powierzchni odbijającej jako układu doskonałego i przykładowy sposób wyznaczania punktów sprzężonych pokazano na rys. 2.30. W porównaniu ze sferyczną powierzchnią załamującą odmien-



Rys. 2.30

nie rozmieszczone są przestrzenie obrazowe. Przestrzeń obrazowa rzeczywista pokrywa się z przestrzenią przedmiotową rzeczywistą, a przestrzeń obrazowa pozorna z przestrzenią przedmiotową pozorną.

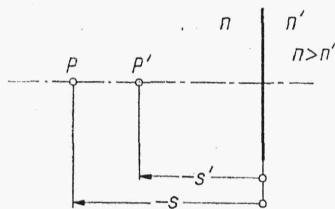
Dla zwierciadła płaskiego, w którym $r = \infty$, z zależności (2.49) wynika $s' = -s$. Obraz i przedmiot położone są symetrycznie względem płaszczyzny zwierciadła płaskiego. Na podstawie wzoru (2.25) można również wykazać, że dla dowolnego kąta u zawsze jest spełniona równość $S' = -S$. A więc zwierciadło płaskie jest układem stygmatycznym dla całej przestrzeni przedmiotowej.

2.4.3. Płytko płasko-równoległa

Niech będzie płaszczyzna dzieląca dwa ośrodki o współczynnikach załamania n i n' (rys. 2.31). Zjawisko załamania przez taką płaszczyznę można uważać za graniczny przypadek załamania przez powierzchnię sferyczną o nieskończenie długim promieniu. Niech P będzie przedmiotem znaj-

dującym się w odległości s od tej płaszczyzny. Odległość s' obrazu P' dla przestrzeni przyosiowej z (2.29) będzie

$$s' = \frac{n'}{n} s \quad (2.50)$$



Rys. 2.31

Dla powierzchni sferycznej zgodnie z (2.6a) i (2.34a)

$$\beta = 1 - \frac{s'(n' - n)}{n'r}$$

Stąd dla $r \rightarrow \infty$ $\beta \rightarrow 1$ niezależnie od położenia przedmiotu. A więc dla płaszczyzny będzie spełnione

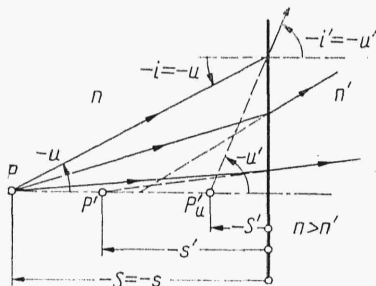
$$\beta = 1; \quad \gamma = \frac{n}{n'}; \quad \alpha = \frac{n'}{n} \quad (2.51)$$

Dwa ostatnie wyrażenia wynikają z zależności między powiększeniami (tabl. 2.1).

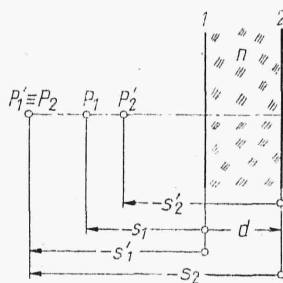
Dla promienia padającego pod dowolnym kątem (rys. 2.32), ponieważ $n \sin i = n' \sin i'$, to

$$S' = S \frac{\operatorname{tg} u}{\operatorname{tg} u'} = S \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} i'} = S \frac{n'}{n} \frac{\cos i'}{\cos i} = S \frac{n'}{n} \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{n}{n'}\right)^2 \sin^2 i}}{\cos i} \quad (2.52)$$

A więc położenie obrazu P'_u jest funkcją kąta padania. Oznacza to, że pęk promieni wychodzących z punktu P nie przetnie się w jednym punkcie w przestrzeni obrazowej. Płaszczyzna załamująca nie jest układem styg-



Rys. 2.32



Rys. 2.33

matycznym dla dowolnego kąta padania. Dla małych kątów można przyjąć $\cos i' \approx \cos i \approx 1$ i z zależności (2.52) i (2.50) $S' \rightarrow s'$, $P'_u \rightarrow P'$. Odległość

$P'P'_u = S' - s' = S \frac{n'}{n} \left(\frac{\cos i'}{\cos i} - 1 \right)$ nazywa się *podłużną aberracją sferyczną płaszczyzny*.

Niech będzie płaska płytko o grubości d i współczynnika załamania n , znajdująca się w ośrodku o $n = 1$ (rys. 2.33). P_1 jest przedmiotem, P'_1 — obrazem danym przez pierwszą powierzchnię, będącym równocześnie przedmiotem dla drugiej powierzchni, P'_2 — obraz dany przez drugą powierzchnię.

Dla przestrzeni przyosiowej zgodnie z (2.50) i z rysunkiem będzie

$$s'_1 = ns, \quad s_2 = s'_1 - d \quad s'_2 = \frac{s_2}{n}$$

Skąd

$$s'_2 = s_1 - \frac{d}{n} \quad (2.53)$$

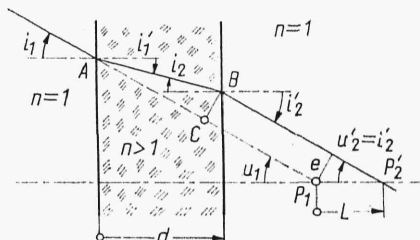
W celu wyznaczenia odległości od drugiej płaszczyzny płytki należy od odległości przedmiotu od pierwszej płaszczyzny odjąć zredukowaną grubość płytki (przez odległość zredukowaną dwóch punktów w danym ośrodku rozumie się iloraz geometryczny odległości tych punktów i współczynnika załamania ośrodka).

Przesunięcie obrazu względem przedmiotu (rys. 2.33) wynosi

$$P_1 P'_2 = s'_2 - s_1 + d = \frac{n-1}{n} d \quad (2.54)$$

Dla $n = 1,5$ obraz przesunie się o $1/3$ grubości płytki. Zgodnie z równaniami (2.22) i (2.51) dla całej płytki $\alpha = \beta = \gamma = 1$. A więc w przestrzeni przyosiowej płytka jest nie tylko układem doskonałym, ale również idealnym.

Przebieg promienia pod dowolnym kątem do płaszczyzny pokazano na rys. 2.34, przy czym w celu uniknięcia znaków minus przed oznaczeniami przedmiot P_1 jest pozorny.



Rys. 2.34

Z prawa załamania dla obydwu płaszczyzn będzie

$$\sin i_1 = n \sin i'_1; \quad n \sin i_2 = \sin i'_2$$

Ponieważ płytka jest płasko-równoległa, to $i'_1 = i_2$, a więc $\sin i_1 = \sin i'_2$ oraz $i_1 = i'_2$. Dowolny promień po przejściu przez płytkę płasko-równoległą pozostaje więc równoległy do pierwotnego kierunku.

Przesunięcie promienia w kierunku prostopadłym do biegu promienia (z prostokątnego trójkąta ABC)

$$e = d \frac{\sin(i_1 - i'_1)}{\cos i'_1} \quad (2.55)$$

Przemieszczenie promienia w kierunku prostopadłym do płytki

$$L = \frac{e}{\sin i_2'} = \frac{e}{\sin i_1}$$

Po przekształceniach z uwzględnieniem zależności (2.55) i prawa załamania będzie ostatecznie

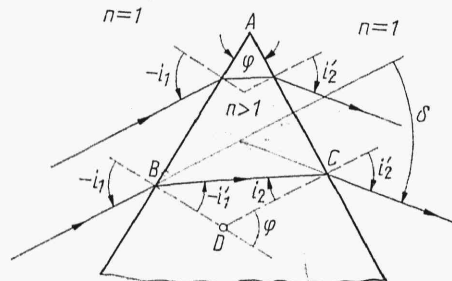
$$L = d \left(1 - \frac{\cos i_1}{n \cos i_1'} \right) \quad (2.56)$$

A więc przesunięcie $L = P_1P_2'$ dowolnego promienia jest funkcją kąta padania $u_1 = i_1$. Oznacza to, że jeżeli z punktowego przedmiotu P_1 wychodzi pęk promieni (rys. 2.34), to w przestrzeni obrazowej nie przetnie się on w jednym punkcie. Płytko płasko-równoległa, podobnie jak i płaszczyzna, nie jest układem stygmatycznym dla dowolnych kątów padania u_1 .

2.4.4. Pryzmat załamujący. Klin

Pryzmatem załamującym nazywany jest ośrodek ograniczony dwiema nierównoległymi płaszczyznami. Prosta powstała z przecięcia się obu płaszczyzn nazywana jest *krawędzią łamiącą*, a kąt φ między tymi płaszczyznami — *kątem łamiącym pryzmatu*.

Ponieważ płaszczyzna jest układem doskonałym tylko dla promieni padających na nią pod małym kątem, to przy dużym kącie łamiącym φ , pęk promieni o małym kącie rozwarcia stygmatycznie przekształcony przez jedną powierzchnię, będzie padał pod kątem bliskim φ na drugą. Oznacza to, że dla pryzmatu załamującego, w odróżnieniu od soczewki czy płytki, nie można wydzielić przestrzeni, dla której byłby on układem doskonałym. Jeżeli natomiast rozważy się źródło światła leżące nieskończenie daleko, to promienie docierające do pryzmatu będą tworzyły pęk promieni rów-



Rys. 2.35

noległych padających na pierwszą płaszczyznę pod pewnym kątem, jednakowym dla wszystkich promieni. Dla promieniowania o danej długości fali, to znaczy dla ustalonego współczynnika załamania trzech ośrodków, po załamaniu przez pierwszą i drugą powierzchnię pęk promieni znów będzie równoległy w przestrzeni obrazowej. Wniosek stąd, że pryzmat jest układem stygmatycznym tylko dla punktów nieskończenie odległych. W związku z tym dla opisu własności pryzmatu jako układu doskonałego, wystarczą rozważania nad przekształceniami kątowymi.

Najpierw zostaną wyprowadzone zależności dla promienia znajdującego się w przekroju głównym, to jest w płaszczyźnie prostopadłej do krawędzi łamiącej (rys. 2.35). Podobnie jak dla soczewki rozważania zostaną