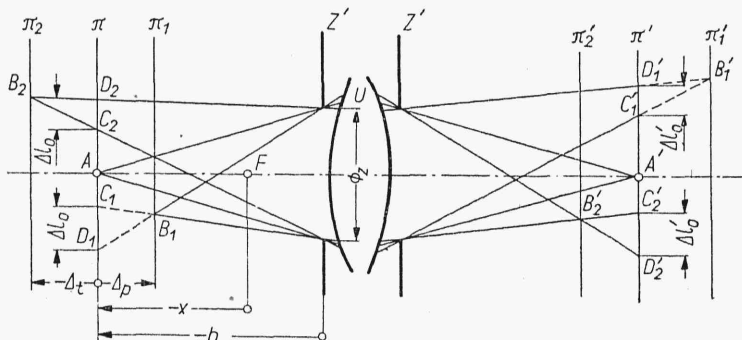


2.5.2. Głębina ostrości

Niech będzie układ optyczny doskorały U (rys. 2.45) z odbiornikiem w płaszczyźnie π' , na którym ma być odwzorowana przestrzeń przedmiotowa. Odbiornikiem może być na przykład emulsja światłoczuła, fotokatoda kamery telewizyjnej, siatkówka oka itp. W pierwszych dwóch przypadkach układem optycznym będzie obiektyw, natomiast w ostatnim może być układ optyczny oka połączony z przyrządem wizualnym. Z i Z' oznaczają źrenice: wejściową i wyjściową układu, zaś F — ognisko przedmiotowe.



Rys. 2.45

Niech π będzie płaszczyzną w przestrzeni przedmiotowej sprzężoną z π' . Powstaje pytanie, w jaki sposób w płaszczyźnie odbiornika zostaną odwzorowane sąsiednie płaszczyzny π_1 i π_2 odległe odpowiednio o Δ_p i Δ_t od płaszczyzny π ? Jeżeli płaszczyzny π_1 i π_2 są sprzężone z π_1 i π_2 to pęki promieni wychodzące z B_1 i B_2 utworzą w płaszczyźnie odbiornika pewne plamki rozproszenia $C'_1D'_1$ i $C'_2D'_2$, których wymiary będą zależały od parametrów układu optycznego i jednej z odległości Δ .

Z uwagi na ziarnistą strukturę odbiornika istnieje pewien graniczny wymiar plamki $\Delta l'_0$ charakterystyczny dla każdego odbiornika, poniżej którego sposób rejestrowania obrazu nie ulega zmianie. Oznacza to, że wszystkie elementy w płaszczyźnie obrazu, których wymiar będzie mniejszy niż $\Delta l'_0$ odbiornik będzie rejestrował tak samo jak i obrazy punktowe. Jeżeli teraz $C'_1D'_1$ i $C'_2D'_2$ nie będą większe niż $\Delta l'_0$, to sąsiednie płaszczyzny π_1 i π_2 zostaną zarejestrowane w płaszczyźnie π' w ten sam sposób co i płaszczyzna π ; mówi się wtedy, że płaszczyzny te leżą w głębi ostrości układu dla danego odbiornika. Przedmioty punktowe znajdujące się na zbyt dużej odległości od π utworzą w płaszczyźnie odbiornika zauważalne plamki rozproszenia, a więc zostaną odwzorowane nieostro.

Przyjmując, że dopuszczalna plamka rozproszenia odniesiona do płaszczyzny przedmiotu wynosi Δl_0 , wówczas dla przedniej głębi ostrości Δ_p przyjmując $C_1D_1 = \Delta l_0$ otrzymuje się

$$\frac{\Phi_z}{\Delta l_0} = \frac{-b - \Delta_p}{\Delta_p}$$

i stąd

$$\Delta_p = \frac{-b}{\frac{\Phi_z}{\Delta l_0} + 1}$$

Analogicznie dla tylnej głębi ostrości Δ_l

$$\Delta_l = \frac{b}{\frac{\Phi_z}{\Delta l_0} - 1}$$

We wzorach przyjmuje się, że średnica źrenicy wejściowej i plamki rozproszenia są wyrażone przez wartości dodatnie.

Ale ponieważ

$$\Delta l'_0 = \Delta l_0 |\beta| = \Delta l_0 \left| \frac{f'}{x} \right|$$

gdzie β — powiększenie poprzeczne układu dla płaszczyzny przedmiotu sprzężonej z odbiornikiem, przy czym przy ocenie głębi ostrości znak powiększenia nie jest istotny i stąd jego bezwzględna wartość;

Ostatecznie będzie więc

$$\Delta_p = \frac{-b}{\left| \frac{\Phi_z f'}{\Delta l'_0 x} \right| + 1} \quad (2.66a)$$

$$\Delta_l = \frac{b}{\left| \frac{\Phi_z f'}{\Delta l'_0 x} \right| - 1} \quad (2.66b)$$

Z wyrażeń (2.66) wynika, że dla danej dopuszczalnej średnicy plamki rozproszenia $\Delta l'_0$ głębia ostrości maleje wraz z powiększeniem średnicy źrenicy wejściowej Φ_z i ogniskowej f' układu oraz zmniejszeniem odległości $|b|$ płaszczyzny przedmiotu od układu. Dla danej ogniskowej obiektywu fotograficznego wzrost liczby otworu $N = f'/\Phi_z$ pociąga za sobą zmniejszenie się średnicy źrenicy wejściowej, a tym samym powiększenie głębi ostrości.

Jeżeli chce się ostro odwzorować jak największą część przestrzeni rzeczywistej z płaszczyzną przedmiotów leżącą w nieskończoności włącznie, wtedy musi być spełnione

$$\Delta_l = \infty$$

i z (2.66b)

$$\left| \frac{\Phi_z f'}{\Delta l'_0 x} \right| = 1$$

Dla obiektywu fotograficznego ponieważ $\Phi_z = f'/N$ płaszczyzna emulsji powinna być sprzężona wtedy z przedmiotem znajdującym się na odległości $x = \frac{-f'^2}{N \Delta l'_0}$.

Zgodnie z wyrażeniem (2.66a), w przypadku ostrego odwzorowania przedmiotu nieskończenie odległego, przednia głębia ostrości wyniesie

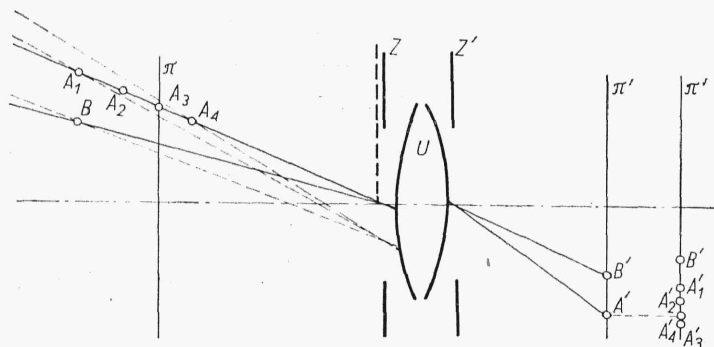
$$\Delta_p = -\frac{b}{2}$$

Dla przykładu niech będzie obiektyw fotograficzny $f' = 50$ mm, $N = 4$ i dopuszczalna średnica plamki rozproszenia $\Delta l'_0 = 0,1$ mm. Wtedy płaszczyzna, na którą powinno ogniskować się aparat fotograficzny znajduje się na odległości $x = -6,25$ m od ogniska przedmiotowego obiektywu. Po-

nieważ w przybliżeniu $b \approx x$ to plan przedni (granica głębi ostrości) będzie znajdował się na połowie odległości między aparatem fotograficznym a płaszczyzną najwyższej ostrości (na odległości około 3,1 m). Dla $N = 2$ obiektów powinno się ogniskować na odległość 12,5 m, a przedmioty znajdujące się na odległości od 6,25 m do nieskończoności będą odwzorowane ostro.

2.5.3. Perspektywa. Paralaksa położenia i wielkości

Niech będzie układ optyczny U (rys. 2.46) i zbiór punktów $A_1 - A_4$ w przestrzeni przedmiotowej leżący na jednym promieniu głównym, przy czym dla prostoty zakłada się, że w układzie nie występuje winietowanie



Rys. 2.46

geometryczne i promienie główne przechodzą przez środki źrenic układu Z i Z' . Obraz punktu A_3 zostanie dokładnie odwzorowany w płaszczyźnie odbiornika π' sprzężonej z π , natomiast pozostałe punkty utworzą na niej plamki rozproszenia o większej lub mniejszej średnicy, zależnie od ich odległości od płaszczyzny π . Osie symetrii tych plamek, zgodnie z definicją promienia głównego będą się pokrywały z obrazem punktu A_3 i powstanie wrażenie przy oglądaniu płaszczyzny π' , że punkty $A_1 - A_4$ przestrzeni przedmiotowej również pokrywają się ze sobą. Wynika stąd, że dla części przestrzeni przedmiotowej, dla której nie zachodzi winietowanie geometryczne, *środkiem perspektywy* układu optycznego jest środek źrenicy wejściowej. Dwa punkty będą widoczne przez przyrząd rozdzielnie, jeżeli będą tak widoczne ze środka źrenicy wejściowej (np. punkt B i jeden z punktów A), a ściślej, jeżeli będą leżały na różnych promieniach głównych.

Przykładem doskonale ilustrującym zjawisko perspektywy w układach optycznych jest obserwacja wizualna przez soczewkę o dużej średnicy kawałka rury (rys. 2.47). Dla uproszczenia oko zaznaczono na rysunku symbolicznie. W tym przypadku przysłoną aperturą układu jest źrenica oka, natomiast przysłoną pola oprawa soczewki. Dla oka w położeniu 1 źrenica wejściowa układu znajduje się w Z_1 i można wtedy obserwować wnętrze rury (rys. 2.48a). Dla źrenicy oka znajdującej się w ognisku obrazowym F' soczewki źrenica wejściowa znajduje się w nieskończoności i promienie główne w przestrzeni przedmiotowej biegną równolegle do osi. Obserwowana wtedy jest tylko czołowa powierzchnia rury (rys. 2.48b). Dla oka w położeniu 3 źrenica wejściowa leży przed przedmiotem, dzięki czemu oprócz powierzchni czołowej można obserwować również powierzchnię boczną rury (rys. 2.48c).