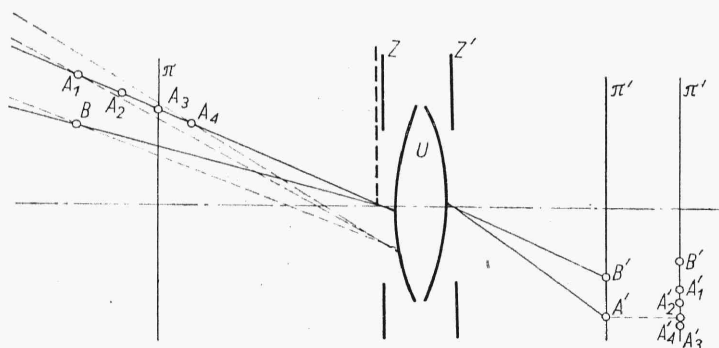


nieważ w przybliżeniu $b \approx x$ to plan przedni (granica głębi ostrości) będzie znajdował się na połowie odległości między aparatem fotograficznym a płaszczyzną najwyższej ostrości (na odległości około 3,1 m). Dla $N = 2$ obiektów powinno się ogniskować na odległość 12,5 m, a przedmioty znajdujące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



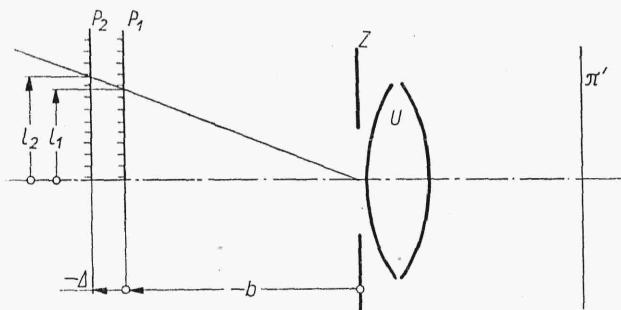
Rys. 2.46

geometryczne i promienie główne przechodzą przez środki źrenic układu Z i Z' . Obraz punktu A_3 zostaje 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 poła 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 równoległe 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).

kazano dodatkowo na rys. 2.49. Obraz punktu A_1 powstaje w punkcie A'_1 i promienie wychodzące z A_1 przy pełnym otwarciu źrenicy tworzą w płaszczyźnie odbiornika plamkę, której oś symetrii pokrywa się z obrazem A'_3 . Jeżeli źrenica zostanie częściowo przesłonięta, przechodzi wtedy przez układ tylko zakreskowany pęk promieni i stąd pozorne przesunięcie się środka plamki A'_1 pochodzącej od punktu A_1 .

Zjawisko pozorne przesunięcia się punktów znajdujących się na różnych odległościach od układu przy przesłanianiu źrenicy nazywa się *paralakcją położenia* (gr. *parallaxis* — odchylenie). Wykorzystywane ono jest przy regulacji przyrządów i służy do sprawdzania warunku sprzężenia płaszczyzn przestrzeni obrazowej i przedmiotowej. Gdyby obraz punktu A_3 (rys. 2.49) przy przesłanianiu źrenicy przesunął się względem ustalonego punktu płaszczyzny π' , oznaczałoby to, że A_3 nie leży w płaszczyźnie π sprzężonej z π' . Szczególnie wygodna jest ta metoda w przyrządach wizualnych, gdyż elementem przesłaniającym może być sama źrenica oka przy bocznych przesunięciach głowy obserwatora względem przyrządu.



Rys. 2.50

Niech przed układem U (rys. 2.50) znajdują się dwie podziałki P_1 i P_2 prostopadłe do osi i znajdujące się w odległości Δ od siebie. W płaszczyźnie odbiornika π' obrazy obydwóch podziałek nakładają się na siebie; znając np. wartości działek pierwszej podziałki można wyznaczyć przez porównanie wartości drugiej. Względne położenie obrazów podziałek w płaszczyźnie π' jest takie, jak gdyby były one obserwowane ze środka źrenicy wejściowej. Stąd zależność między porównywanymi odcinkami podziałek zgodnie z rysunkiem będzie

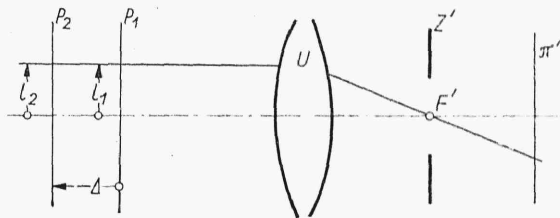
$$l_2 = l_1 \frac{b + \Delta}{b} = l_1 \left(1 + \frac{\Delta}{b} \right) \quad (2.67)$$

Wynika stąd, że do wyznaczania l_2 za pomocą l_1 konieczna jest znajomość odległości między podziałkami Δ i położenia źrenicy względem podziałek (odległość b). Jeżeli jednak podziałka P_2 jest sporadycznie dostawiona do P_1 i nie można dokładnie pomierzyć odległości Δ , wtedy powstanie pewien błąd pomiaru wynikający ze zmienności Δ . Zjawisko to nazywa się *paralakcją wielkości*.

Zgodnie ze wzorem (2.67) można pozbyć się wpływu odległości na błąd pomiaru, jeżeli $b = \infty$, to znaczy jeżeli źrenica wejściowa będzie leżała w nieskończoności, a źrenica wyjściowa w ognisku obrazowym układu (rys. 2.51). Promień główny w przestrzeni przedmiotowej biegnie wtedy

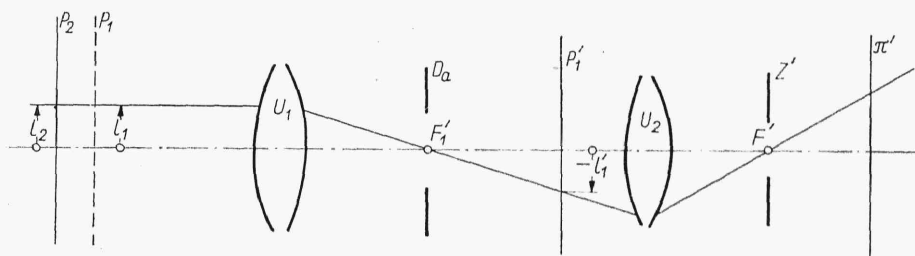
równoległe do osi optycznej i niezależnie od odległości podziałek, odcina na nich odcinki o tej samej długości. Układ taki nosi nazwę *układu z telecentrycznym biegiem promieni* w przestrzeni przedmiotowej.

Podziałka P_1 niekoniecznie musi być elementem realnym, może to być również obraz podziałki.



Rys. 2.51

Na rys. 2.52 realnymi podziałkami są F'_1 (stała) i P_2 (dostawiana). P_1 jest obrazem P'_1 danym przez układ U_1 w kierunku przeciwnym do biegu światła, przy czym $l'_1 = l_1 \beta_1$, gdzie β_1 — powiększenie poprzeczne dla sprzężonych płaszczyzn P_1 i P'_1 . F'_1 — ognisko obrazowe pierwszego układu, F' — ognisko obrazowe całego układu ($U_1 + U_2$). Aby zachować telecen-



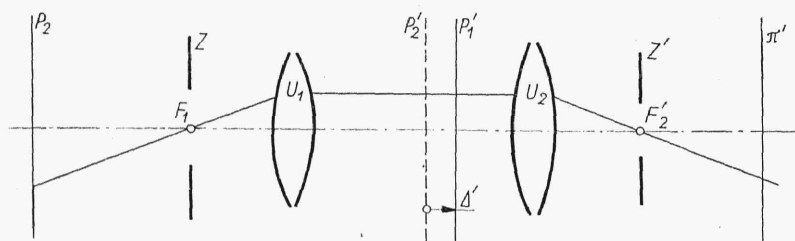
Rys. 2.52

tryczny bieg promieni w przestrzeni przedmiotowej źrenica wyjściowa układu musi leżeć w płaszczyźnie przechodzącej przez F' , natomiast przyśłona aperturowa może być w dowolnej przestrzeni sprzężonej z Z' . Na rysunku znajduje się ona w płaszczyźnie przechodzącej przez ognisko F'_1 , które jest sprzężone przez U_2 z F' . Niezależnie od położenia P_2 spełniona jest zależność $l_2 = l_1$, a więc $l_2 = l_1 / \beta_1$. Należy dodać, że odległość Δ nie może przybierać dowolnych wartości, gdyż dostawiana podziałka P_2 powinna znajdować się w głębi ostrości przyrządu, albo co najmniej w obszarze, w którym jest jeszcze rozróżniana. W tym ostatnim przypadku obraz podziałki w płaszczyźnie odbiornika jest nieostry, ale kontury kresek podziałki są jeszcze dostrzegalne.

W przypadku, kiedy dostawiana byłaby podziałka w przestrzeni obrazowej układu pierwszego, wtedy należałoby zastosować układ z telecentrycznym biegiem promieni w tej przestrzeni (rys. 2.53), gdyż wtedy błąd ustawienia P'_1 nie wpływa na porównanie z P'_2 .

Zasadą jest, że telecentryczny bieg promieni należy stosować w tej przestrzeni, w której znajduje się element ruchomy.

Układ pokazany na rys. 2.53 jest rozwiązaniem stosowanym w lunetach geodezyjnych z przesuwoną płytką ogniskową, a na rys. 2.52 — w mikroskopach pomiarowych i na rys. 2.51 — w lupach z podziałką.



Rys. 2.53

2.6. Geometryczna teoria aberracji

2.6.1. Aberracje monochromatyczne

Z rozważań punktu 2.3 wynika, że układ optyczny złożony z powierzchni sferycznych zachowuje prawa przekształcenia układu doskonałego tylko w przestrzeni przyosiowej. Przedmioty punktowe, których kąt aperturowy nie mogą być uznane za małe, lub które znajdują się poza przestrzenią przyosiową (duże kąty polowe) nie podlegają przekształceniom punktowym. Promienie wychodzące z punkтового źródła światła w przestrzeni obrazowej tworzą wiązkę promieni, która w płaszczyźnie obrazu (wyznaczonego dla przestrzeni przyosiowej) tworzy pewną plamkę. Kształt tej plamki i jej wymiary zależą od położenia punktu i parametrów układu. Mówi się, że taki układ jest obarczony *aberracjami*.

Każda z powierzchni sferycznych układu z uwagi na jej różne usytuowanie względem promieni tworzących obraz może w różny sposób wpływać na ostateczne wartości aberracji. Zadaniem konstruktora układu optycznego jest takie dobranie jego parametrów, aby aberracje wnoszone przez poszczególne powierzchnie kompensowały się nawzajem do wartości nie mających wpływu na informacje przekazywane przez układ. Proces ten nazywa się *korygowaniem układu*.

Aberracją układu jest odchylenie w sposobie przekształcenia przestrzeni przedmiotowej w obrazową w stosunku do przekształcenia wyznaczonego z praw układu doskonałego, a więc również praw przestrzeni przyosiowej.

Oznacza to, że układ dostatecznie skorygowany ma własności zbliżone do jego własności w przestrzeni przyosiowej. Położenie obrazu oraz jego wielkość można wyznaczyć wtedy z zależności wyprowadzonych dla przestrzeni przyosiowej. Należy dodać, że doprowadzenie do przekształcenia punkowego (stygmaticznego) dla pewnego obszaru przestrzeni przedmiotowej nie wystarczy do skorygowania aberracji układu w tym obszarze, gdyż rzeczywisty obraz punktu może powstać w innym miejscu przestrzeni, niż by to wynikało z praw optyki przyosiowej.

Niech będzie dany układ optyczny U z obrotową osią symetrii OO' (rys. 2.54). Z leżącego poza osią punktu P przestrzeni przedmiotowej przez układ przejdzie pęk promieni wyznaczony przez powierzchnię źrenicy