

na płaszczyźnie ekranu. Dodatkowym elementem jest tu układ oświetlający w postaci reflektora lampy błyskowej, słońca itp. Spotyka się również fotografowanie lub projekcję przedmiotów samoświecących.

Podstawowym zespołem tych układów jest obiektyw i mimo tak prostego sformułowania zasady jego pracy, z uwagi na kompleksowe wymagania jakie są mu stawiane, jest on jednym z najtrudniejszych układów pod względem konstrukcyjnym i technologicznym. Z jednej strony ma on dość znaczne kąty pola widzenia niekiedy przekraczające 90° , z drugiej strony — duże otwory względne zapewniające odpowiednie natężenie oświetlenia ekranu przy projekcji, lub odpowiednio krótki czas ekspozycji przy wykonywaniu fotografii w złych warunkach oświetleniowych. Przy dużym kącie pola i takim otworze względnym obiektyw jednocześnie musi być skorygowany na wszystkie aberracje, podczas gdy np. w lunecie można było za pomocą obiektywu korygować aberracje zależne od otworu, natomiast za pomocą okularu — aberracje polowe. Trudnością dodatkową jest tu konieczność dobrej korekcji krzywizny pola, warunek najczęściej pomijany w przyrządach wizualnych, a niekiedy, np. w obiektywach fotograficznych lub reprodukcyjnych — bardzo wysokie wymagania dotyczące dystorsji.

5.4.1. Obiektywy

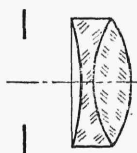
Z punktu widzenia optycznego te same zagadnienia występują przy konstrukcji obiektywów przeznaczonych do celów fotograficznych co i projekcyjnych. W zależności od położenia przedmiotu, kąta pola widzenia, założonego otworu oraz wymagań dotyczących jakości obrazu w całym polu widzenia, konieczna jest odpowiednia korekcja aberracji spełniająca warunki założonych wymagań. Różnice występują w budowie mechanicznej. Obiektywy zdjęciowe prawie zawsze muszą mieć wbudowany mechanizm zmiany otworu względnego regulujący natężenie oświetlenia w płaszczyźnie obrazu zależnie od luminancji przedmiotu i czasu ekspozycji oraz mechanizm migawki, gdy jest ona typu centralnego. Ma to wpływ na decyzje konstruktora układu optycznego, gdyż musi on przewidzieć na wspomniane mechanizmy odpowiednie miejsce. Ponadto w przypadku aparatów fotograficznych, czy kamer zdjęciowych z układem celowniczym pracującym na zasadzie jednoobiektywowej lustrzanki, istnieje konieczność zachowania odpowiednio dużej odległości między płaszczyzną obrazu a ostatnią powierzchnią obiektywu, z uwagi na mechanizm podnoszenia zwierciadła. W przeciwieństwie do obiektywów zdjęciowych, obiektywy projekcyjne mają stałą średnicę przysłony aperturowej. Ponadto przeznaczone są one przeważnie do ustalonej odległości projekcyjnej, podczas gdy obiektywy fotograficzne muszą spełniać odpowiednie wymagania, w dość szerokim przedziale położen płaszczyzny przedmiotu. Zwraca się również uwagę na różny sposób definiowania otworu względnego. Dla układów zdjęciowych będzie to stosunek średnicy źrenicy wejściowej do ogniskowej, natomiast dla projekcyjnych bierze się pod uwagę źrenicę wyjściową. Wynika to z zasady pracy, gdyż w pierwszym przypadku duża jest odległość do płaszczyzny przedmiotu w porównaniu z ogniskową obiektywu, natomiast w drugim — taką jest odległość do obrazu.

Obiektywy można podzielić na pewne grupy biorąc pod uwagę podstawowe ich parametry, tj. kąt pola widzenia i otworów względny. Zwyczajowo przyjęto uważać obiektyw za *normalny*, jeżeli jego kąt pola $2w' = 50^\circ$. Odpowiada to dla błony o formacie małoobrazkowym (24×36 mm)

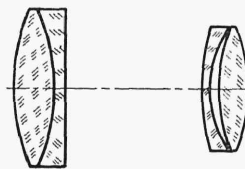
ogniskowej $f' = 50$ mm, natomiast przy formacie 60×60 mm $f' = 80$ mm. W przybliżeniu spełniona jest wtedy zależność, że przekątna formatu zdjęcia równa jest ogniskowej obiektywu. Obiektywy o kątach pola nie mniejszych niż $2w' = 70^\circ$ noszą nazwę *szerokokątnych*, natomiast o większych otworach od 1 : 2,8 — obiektywów o *dużej jasności*.

Wzrost otworu względnego, kąta pola widzenia oraz wymagań dotyczących jakości odwzorowania wiąże się ze wzrostem liczby elementów w układzie. Rozmieszczenie i ich kształt mogą być bardzo różne i trudno jest podać sensowną klasyfikację typów obiektywów obecnie istniejących z tego punktu widzenia. Wraz z zastosowaniem do obliczeń cyfrowych maszyn elektronicznych, kiedy pracochłonność analitycznej oceny układów przestała ograniczać inwencję konstruktorów, powstało wiele układów, których jakość odwzorowania jest podobna przy różnych realizacjach kształtu. Odwrotna sytuacja jest również możliwa, kiedy obiektyw niemal o identycznej budowie różni się sposobem korekcji. Przykładowo dla jednych większą uwagę zwraca się na jakość odwzorowania dla środka pola, w innych istotniejsza jest jednakowa jakość w całym polu. Każde biuro obliczeniowe zajmujące się konstrukcją układów optycznych ma przeanalizowane warianty różnych typów obiektywów, które z jednej strony mogą być podstawą do dalszej poprawy jakości układów, z drugiej stanowią gotowe rozwiązania, które w zależności od potrzeb można zastosować w różnych układach. Szczegółowe parametry konstrukcyjne produkowanych, czy tylko obliczonych obiektywów, pomijając układy najprostsze, są tajemnicą poszczególnych fabryk. Publikowane dane, np. dla ochrony patentowej, wskazują na cechy charakterystyczne nowego rozwiązania, ale nie podają jego optymalnej postaci. Zresztą niemal przy każdym rozwiązaniu można znaleźć kilka wariantów bardzo zbliżonych pod względem jakości odwzorowania. Z tego powodu wymienione tu zostaną tylko pewne charakterystyczne przykłady układów mniej złożonych z ogólnymi wskazaniem możliwości korekcji. Bardziej szczegółowe dane można znaleźć w [10].

Najprostszym rozwiązaniem obiektywu jest pojedynczy układ *jednosoczewkowy* lub *achromatyczny klejony* (rys. 5.48). Przez odpowiednie ustawienie przysłony przed obiektywem można dobrze skorygować astygmatyzm i komę. Z uwagi na dużą aberrację sferyczną i krzywiznę pola stosowane otwory względne nie są większe niż 1 : 11, a kąt pola $2w' = 40^\circ$.



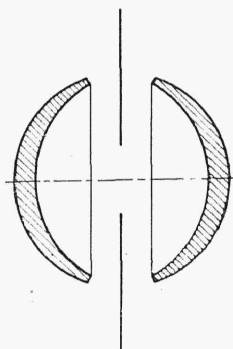
Rys. 5.48



Rys. 5.49

Historycznie bardzo ważnym momentem było obliczenie w r. 1840 przez *Petzvala*, po raz pierwszy na podstawie teorii aberracji III-ciego rzędu obiektywu nazwanego jego imieniem i złożonego z czterech soczewek (rys. 5.49). Układ ma dobrze skorygowaną aberrację sferyczną, komę i chromatyzm położenia. Osiągany otwór 1 : 3,5. Z uwagi na znaczny astygmatyzm krzywiznę pola i winietowanie kąt pola $2w' = 25^\circ$. Układ jest do dziś stosowany w nieco zmienionej postaci w obiektywach do projekcji kinowej.

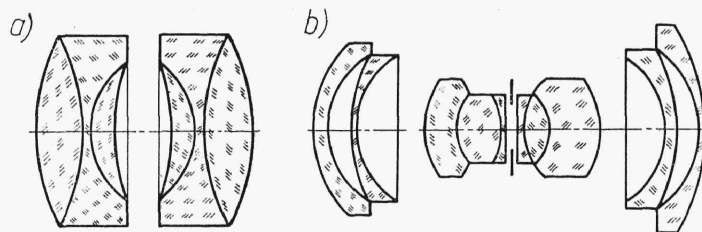
Układy całkowicie symetryczne, przy czym symetria dotyczy ich budowy oraz przebiegu promienia polowego i aperturowego (rys. 5.50) (powiększenie obrazu $\beta_p = -1$, powiększenie w żrenicach $\beta_z = 1$) mają niezależnie od kształtu elementów składowych automatycznie skorygowaną komę, dystorsję i chromatyzm powiększenia. Przy pojedynczych soczew-



Rys. 5.50

kach można doбором ich rozstawienia i kształtu skorygować również astygmatyzm. Z uwagi na znaczną wtedy aberrację sferyczną i chromatyzm położenia stosowany otwór wynosi 1:22. Mały otwór zmniejsza wpływ krzywizny pola, przez co można osiągnąć kąt pola $2w' = 140^\circ$.

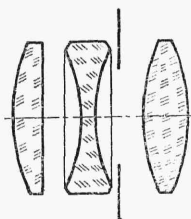
Jeżeli przedmiot znajduje się nieskończenie daleko, wówczas brak jest w układzie pełnej symetrii, lecz odstępstwo od właściwej korekcji wyżej wspomnianych aberracji na ogół nie jest duże. Obiektywy tego typu szczególnie dla układów szerokokątnych są często dobrymi wariantami wyjściowymi do ostatecznej korekcji osiąganej przez komplikowanie ich budowy i wprowadzanie w układ pewnej asymetryczności. Przedstawicielami tej grupy obiektywów są Dagor (1:5,6, $2w' = 60^\circ$), (rys. 5.51a) oraz Aviogon (1:5, $2w' = 90^\circ$), (rys. 5.51b). Ostatni obiektyw, przeznaczony do zdjęć fotogrametrycznych, praktycznie jest bez dystorsji.



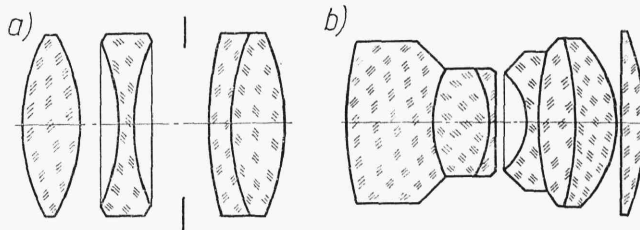
Rys. 5.51

Z obiektywów asymetrycznych największe możliwości przy względnie prostej budowie daje tryplet (rys. 5.52) skonstruowany pod koniec ubiegłego stulecia przez *Taylor'a*. Ma on dobrą korekcję wszystkich aberracji w kącie pola 60° i do otworu względnego 1:3,5. Podobnie jak przy obiektywach symetrycznych komplikowanie budowy trypletu stworzyło możliwości budowy układów dających lepszą korekcję przy większych otworach względnych. Pochodnymi rozwiązaniami są obiektywy: Tessar 1:2,8 (rys. 5.53a) i Sonnar 1:1,5 (rys. 5.53b).

Często istnieje potrzeba, przy niezmiennym położeniu aparatu fotograficznego, czy kamery filmowej, zwiększenia powiększenia między płaszczyzną przedmiotu i obrazu, co wiąże się przy stałym formacie zdjęcia ze zmniejszeniem kąta pola. Jest to osiągane przez stosowanie obiekty-

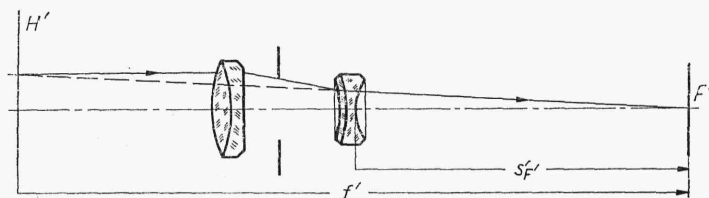


Rys. 5.52



Rys. 5.53

wów o dłuższych ogniskowych, zwanych *teleobiektywami*. W celu zmniejszenia gabarytów obiektywów budowane są one z dwóch elementów (rys. 5.54): pierwszego o mocy dodatniej i drugiego o ujemnej, dzięki czemu płaszczyzny główne całego układu i wysunięte są ku przedmiotowi. Z uwagi również na gabaryty obiektywów wraz z wydłużaniem ognisko-



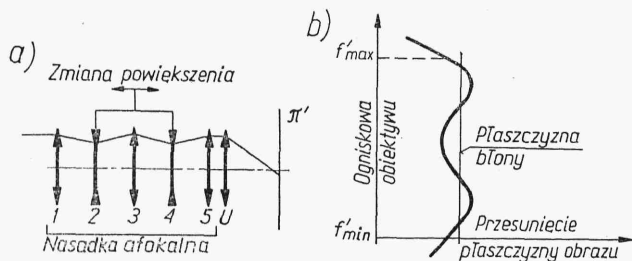
Rys. 5.54

wej zazwyczaj maleją otwory względne. W przypadku obiektywów krótkoogniskowych, kiedy istnieje konieczność zwiększenia odległości między płaszczyzną obrazu i ostatnią powierzchnią obiektywu, stosowane są teleukłady odwrócone, których płaszczyzny główne wysunięte są w stronę obrazu.

Zmiana powiększenia między przedmiotem a płaszczyzną obrazu realizowana przez wymianę obiektywów, daje tylko skokowy rozkład powiększeń i poza tym wymaga pewnego czasu na zamianę. Z tego powodu wykonywane są obecnie, zwłaszcza do kamer filmowych i telewizyjnych, *obiektywy o zmiennej ogniskowej* pozwalające w szybki sposób przesuwem elementów układu dobrać w pewnym przedziale dowolną wielkość ogniskowej. Pracochłonność obliczeń w porównaniu z obiektywami o stałej ogniskowej rośnie dość znacznie i możliwości praktyczne konstrukcji tego typu stworzyły dopiero cyfrowe maszyny elektroniczne.

Obiektyw o zmiennej ogniskowej musi zapewniać z odpowiednią dokładnością położenie płaszczyzny obrazu w płaszczyźnie odbiornika dla każdej wartości ogniskowej i przy różnych położeniach przedmiotu, ponadto stałość otworu względnego oraz odpowiednią korekcję aberracji dla wszystkich kombinacji wartości ogniskowej i położenia przedmiotu. Dla ułatwienia konstrukcji zwykle wprowadza się pewien podział ról między poszczególne elementy. Schemat takiego układu pokazano na rys. 5.55.

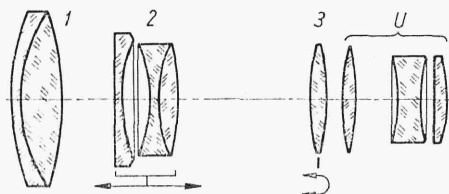
Przed obiektywem U którego ognisko obrazowe pokrywa się z płaszczyzną emulsji π' znajduje się *nasadka afokalna*, której powiększenie zmieniane jest za pomocą wspólnego przesuwu elementów 2 i 4. Dla przedmiotu leżącego w nieskończoności afokalność takiej nasadki jest możliwa tylko dla skończonej liczby położeń i wtedy obraz dokładnie pokrywa się



Rys. 5.55

z płaszczyzną odbiornika. W pozostałych przedziałach występuje pewne przesunięcie obrazu zilustrowane wykresem w prawej części rysunku. Maksymalna wielkość przesunięcia będzie rosła wraz ze wzrostem przedziału zmian powiększenia nasadki i należy tak dobrać rozstawienie poszczególnych elementów, ich moce oraz przedział zmian ogniskowej, aby przesunięcie obrazu nie wykraczało poza określoną wielkość. Jest to przykład układu z kompensacją optyczną.

Ruchome elementy układu mogą mieć również przesuwu niezależne, przykładem czego jest obiektyw Angenieux (rys. 5.56). Wraz ze zmianą



Rys. 5.56

ogniskowej przy jednokierunkowym ruchu elementu 2 występuje złożony (ze zwrotem) przesuw elementu 3 za pomocą krzywki. Jest to przykład kompensacji mechanicznej, przy której w porównaniu z kompensacją optyczną, układy mają mniejszą liczbę elementów i większy przedział zmian ogniskowych sięgający 4—8 razy (optycznie 3—6), natomiast wymagają one precyzyjniejszego wykonania części mechanicznych. Kształty elementów optycznych pokazane na rys. 5.56 wynikają z warunków korekcyjnych aberracji. W przypadku przedmiotów położonych na skończonych odległościach w jednym i drugim przypadku ogniskowanie wykonywane jest przesuwem elementu 1.

5.4.2. Układy projekcyjne

Układy projekcyjne można podzielić na *diaskopowe* i *episkopowe*. Pierwsze wykorzystują światło przechodzące przez przedmiot, którego obraz jest odwzorowywany na ekranie (na przykład projektor filmowy, powiększalnik) drugie — światło odbite (episkop).