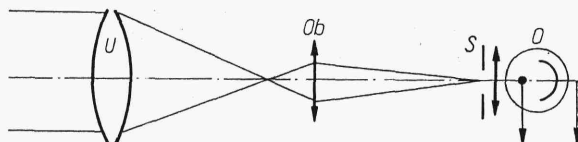


Reakcja odbiornika O dla różnych średnic przysłony S jest miarą energii zawartej w tej przysłonie. Wielkością normującą wartości odczytywane jest energia całego obrazu źródła światła, która ustalona jest dla odpowiednio dużej średnicy S . Badania można przeprowadzać w świetle monochromatycznym, białym lub o dowolnym zestawie spektralnym zależnie od warunków pracy układu U . Przy badaniach dla światła niemonochro-



Rys. 7.15

matycznego należy pamiętać o kompensacji ewentualnej różnicy czułości widmowej między zastosowanym w doświadczeniu odbiornikiem O a odbiornikiem, z którym będzie współpracował układ U . Wymaga to odpowiedniego wyboru odbiornika O , którego zakres czułości widmowej powinien obejmować zakres odbiornika układu U . Względne różnice w gęstości monochromatycznej reakcji są kompensowane za pomocą filtru absorpcyjnego umieszczonego najczęściej w oświetlaczu.

Podobnie jak przy badaniu obrazu punktu (p. 7.2.1) apertura obiektywu mikroskopowego nie powinna ograniczać wiązki aperturowej obiektywu badanego i ponadto, co jest tu szczególnie istotne, źródło światła powinno dawać równomierne oświetlenie źrenicy wejściowej układu U .

Obrazy punktu analizowane mogą być na osi układu lub w polu widzenia. W ostatnim przypadku badany układ należy obracać o żądany kąt pola, natomiast obiektyw mikroskopowy wraz z przysłoną i odbiornikiem przemieszczać w ślad za zmieniającym swe położenie obrazem punktu. Przesuw wspomnianego zespołu wzdłuż osi obiektywu pozwala poza tym wyznaczyć krzywe rozkładu energii w różnych płaszczyznach obrazu, a więc ustalić również płaszczyznę najlepszego odwzorowania.

Ponadto przysłona S powinna mieć możliwość przesuwu w niewielkich granicach w kierunku prostopadłym do osi, gdyż ułatwia to znalezienie obrazu w plamce, dla którego reakcja odbiornika będzie największa. Oczywiście przy badaniu obrazu w środku pola środek przysłony S będzie się pokrywał z obrotową osią symetrii obrazu punktu danego przez układ U i obiektyw Ob , natomiast dla punktów leżących poza osią z uwagi na komę plamka ma budowę asymetryczną, co powoduje potrzebę przesunięcia środka przysłony wraz ze zmianą jej średnicy.

Zwraca się tu uwagę na prostotę pomiarów krzywej rozkładu energii w porównaniu z wyznaczeniem jej metodami analitycznymi (p. 6.4.1).

7.3. Wyznaczenie zdolności rozdzielczej układu

Miarą zdolności rozdzielczej układu zgodnie z p. 3.3.5 jest odwrotność odległości dwóch punktów, które są rozróżniane przez układ jako oddzielne. Odległość tych punktów zależnie od rodzaju układu może być wyrażona w mierze kątowej (lunety) lub długości (mikroskopy).

Zdolność rozdzielcza zależy nie tylko od wymiarów przysłony aperturowej, ale również od aberracji układu i stąd wyznaczenie jej może

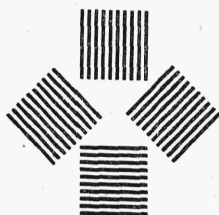
być miarą jakości układu. Ta metoda oceny jakości układu znalazła zastosowanie w teleskopach, gdyż wtedy „płaszczyzna” przedmiotu poza obserwacją niektórych ciał niebieskich leżących najbliżej nas, jest zbiorem punktowych źródeł światła. Naturalnym testem jest samo niebo, przy czym dla teleskopu o ustalonej średnicy źrenicy wejściowej dobieranych jest kilka par gwiazd o różnej odległości między nimi w poszczególnych parach. Najmniejsza odległość między gwiazdami powinna odpowiadać teoretycznej wartości granicznego kąta zdolności rozdzielczej ustalonej dla układów bez aberracji (p. 3.3.5). Miarą jakości układu optycznego teleskopu będzie obniżenie jego zdolności rozdzielczej w stosunku do jej wartości teoretycznej.

Wartość tę można również wyznaczyć dla innych układów, np. mikroskopu, ale nie zawsze w adekwatny sposób charakteryzuje ona właściwości układu. Można wykazać, że układy o zbliżonej zdolności rozdzielczej mogą różnić się w dość istotny sposób w odtwarzaniu różnych fragmentów tego samego przedmiotu. Podobne właściwości układu przy przenoszeniu informacji o drobnej strukturze nie gwarantują zachowania podobieństwa w obrazach przedmiotu o strukturze znacznie grubszej.

Ścisłe biorąc, chcąc badać jakość układu należałoby stosować testy, które pozwoliłyby uwypuklić tę cechę układu, która wynika z zasady pracy przyrządu. I tak dla teleskopu najważniejsza jest możliwość rozróżniania najdrobniejszych fragmentów przedmiotu i stąd ocena jego jakości za pomocą zdolności rozdzielczej dwóch punktów. Podobnie naturalna metoda oceny stosowana jest w przyrządach spektralnych, kiedy badana jest zdolność rozróżniania dwóch odpowiednio bliskich linii w widmie ustalonego pierwiastka.

Zagadnienie jest trudniejsze, jeżeli przedmiot ma dość złożony rozkład intensywności. Gdyby był on niezmienny, testem mógłby być sam przedmiot, z tym że nie zawsze wtedy w łatwy sposób można uzyskać ilościowe informacje o jakości odwzorowania.

Dla układów takich jak obiektywy fotograficzne lub mikroskopowe przedmiot może być bardzo różny, co sprawia, że do oceny jakości potrzebna jest znajomość sposobu odwzorowania przedmiotu w przestrzeni obrazowej dla różnych rozkładów intensywności, co omówiono w p. 7.4.



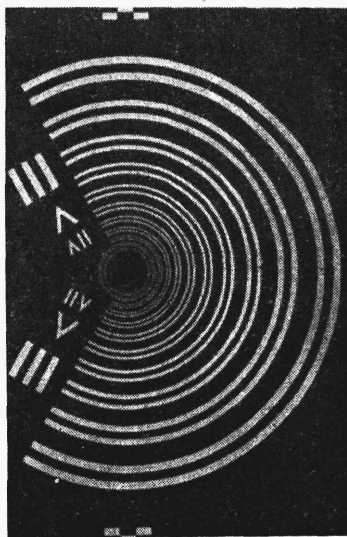
Rys. 7.16

Dość powszechnie stosowaną metodą badania układów jest wyznaczenie granicy rozróżnialności testu *Foucaulta* przy odwzorowaniu go przez układ. Podstawą budowy testu jest zbiór równoległych linii czarnobiałych o jednakowej szerokości. Na rys. 7.16 pokazano grupę testową linii, umożliwiającą jednoczesne badanie właściwości odwzorowania układów w czterech kierunkach, co jest szczególnie istotne dla obszarów przedmiotu leżących poza osią optyczną układu. Test składa się z szeregu takich grup

różniących się między sobą okresem przestrzennym (odległością między środkami sąsiednich linii białych lub czarnych). Okres między poszczególnymi grupami zmieniany jest najczęściej w postępie geometrycznym lub arytmetycznym.

Celem badania jest ustalenie grupy o najmniejszym okresie przestrzennym, dla której jeszcze rozróżniane są jej linie przy odwzorowaniu przez układ. Graniczny kąt, pod którym widać okres tej grupy może być miarą jakości odwzorowania, gdyż zależy on również od aberracji. Ocenę jakości odwzorowania uzyskuje się z porównania otrzymanego wyniku z teoretycznym kątem granicznym dla układu bezaberracyjnego.

Wadą tej metody jest wiązanie jakości układu z jego właściwościami tylko dla drobnej struktury, gdy tymczasem, jak wynika z rozważań p. 3.3.6, aberracje mają największy wpływ na harmoniczne intensywności o częstościach pośrednich między częstością graniczną a zerową. Ponadto kąt graniczny testu nie charakteryzuje tylko samego układu, gdyż zależy on również od możliwości detekcji różnic intensywności w płaszczyźnie obrazu przez odbiornik. Tak więc kąt graniczny wyznaczony przy obserwacji wizualnej różni się od kąta uzyskanego przy rejestracji fotograficznej obrazu, co więcej, w przypadku oka kąt ten zmienia się np. wraz ze zmianą luminancji obrazu (p. 4.3). Z wyżej wymienionych powodów wyznaczenie granicznego kąta dla testu *Foucaulta* przy ocenie jakości układu ma charakter tylko pomocniczy i z uwagi na szybkość oraz łatwość pomiaru ma szczególne zastosowanie do badania prawidłowości montażu w warunkach fabrycznych. Przykładowo można tą metodą sprawdzać prostopadłość osi optycznej układu do ustalonej płaszczyzny obrazu. W tym celu w czterech punktach pola widzenia symetrycznie względem jego środka umieszczone są jednakowe testy, których obraz analizowany jest w płaszczyźnie obrazu metodą wizualną za pomocą mikroskopu lub fotograficzną przez rejestrację na emulsji światłoczułej. Występujące różnice w obrazach tych testów świadczą o wspomnianej nieprostopadłości. Podobny wpływ na jakość obrazu ma również niecentralny montaż.



Rys. 7.17

Dla każdego z typów układu można eksperymentalnie ustalić dopuszczalne zmiany w obrazach testu, co może być podstawą oceny prawidłowości jego montażu.

Do badania jakości montażu można więc zastosować dowolny test, gdyż i tak kryterium jakości ustalone jest eksperymentalnie. Np. polska norma BN-65/5524-02 zaleca badanie obiektów fotograficznych i powiększalnikowych za pomocą testu pierścieniowego (rys. 7.17), kiedy ustalana jest zdolność rozróżniania tylko dwóch linii. W teście rozmieszczonych jest współosiowo kilka grup tych linii ze zmiennymi stopniowo odległościami między nimi. Zaletą tego testu w porównaniu z testem *Foucaulta* są jego mniejsze wymiary, a tym samym zmniejszenie wpływu zmiany położenia grupy testowej na wyznaczenie jakości układu w danym punkcie pola oraz możliwość ustalenia właściwości obrazu w dowolnym przekroju, a nie tylko w kierunkach danych przez położenie linii testu *Foucaulta*.

7.4. Pomiar optycznej funkcji przenoszenia dla oświetlenia niekoherentnego

Na podstawie przekształcenia *Fouriera* (rozdz. 8) wiadomo, że każdy rozkład intensywności można rozłożyć na zbiór rozkładów harmonicznym o różnych częstościach. Wynika stąd, że badanie właściwości układu tylko dla rozkładów harmonicznym w paśmie częstości przenoszonym przez układ pozwala ustalić odwzorowanie układu dla dowolnego rozkładu intensywności. Pomiar optycznej funkcji przenoszenia daje więc najbardziej ogólną i wszechstronną ocenę jakości układu i dlatego znalazł szczególne zastosowanie do badań obiektów fotograficznych.

Niech w płaszczyźnie przedmiotu będzie sinusoidalny rozkład intensywności o częstości \tilde{x} w danym kierunku x . Ponieważ układ optyczny jest elementem liniowym (p. 3.3.6), to w płaszczyźnie obrazu również będzie rozkład sinusoidalny ale o częstości $\tilde{x}' = \tilde{x}/\beta$, gdzie β jest powiększeniem poprzecznym między płaszczyzną przedmiotu i obrazu. Jeżeli przez $p(\tilde{x})$ oznaczona będzie amplituda rozkładu sinusoidalnego w płaszczyźnie przedmiotu, to amplitudę w płaszczyźnie obrazu można znaleźć z zależności

$$p'(\tilde{x}') = d(\tilde{x}) p(\tilde{x}) \quad (7.1)$$

gdzie $d(\tilde{x})$ — optyczna funkcja przenoszenia dla częstości \tilde{x} ; $p(\tilde{x})$ oraz $d(\tilde{x})$, a więc w konsekwencji i $p'(\tilde{x}')$ są wielkościami zespolonymi. Przykładowo będzie $p(\tilde{x}) = |p(\tilde{x})| \exp(i\Theta_p)$. Parametr Θ_p — będący argumentem $p(\tilde{x})$ — uwzględnia początkową fazę zależną od przyjętego punktu odniesienia w płaszczyźnie przedmiotu. Argument $d(\tilde{x})$ opisuje wpływ układu na przesunięcie fazy rozkładu sinusoidalnego w płaszczyźnie obrazu dla danej częstości \tilde{x} . Rozpisując zależność (7.1) dla modułów otrzymuje się wyrażenie

$$|p'(\tilde{x}')| = |d(\tilde{x})| |p(\tilde{x})| \quad (7.2)$$

z którego wynika, że amplituda rzeczywista $|p'(\tilde{x}')|$ harmonicznego rozkładu intensywności w płaszczyźnie obrazu jest równa iloczynowi amplitudy rzeczywistej w płaszczyźnie przedmiotu przez moduł funkcji przenoszenia. Zgodnie z wzorem (3.140) najwygodniej jest funkcję przenoszenia przedstawić w postaci znormowanej przez $d_n(0) = 1$ i wtedy

$$d_n(\tilde{x}) = \frac{d(\tilde{x})}{d(0)}$$