

7.2. Badanie obrazu punktu

7.2.1. Analiza wizualna

Obraz punktu, jak wynika z rozważań p. 3.3, zawiera wszystkie informacje niezbędne do ustalenia właściwości układu dla dowolnego przedmiotu, lecz z uwagi na małą jego intensywność, i w związku z tym, trudności z rejestracją szczegółów, analiza obrazu punktu spełnia na ogół rolę pomocniczą. Badania przeprowadzane są metodą wizualną i służą one najczęściej do ustalenia prawidłowości wykonania części i ich montażu. Z uwagi na swą prostotę stanowią jednak niezwykle ważny sposób badania. Przy pewnym doświadczeniu badającego, dzięki czułości oka w wykrywaniu zmian kształtu i barwy plamki aberracyjnej może służyć do oceny ilościowej korekcji układu z dokładnością sięgającą nawet części długości fali dla aberracji falowej.

Obraz punktu dawany przez badany układ obserwowany jest za pomocą pomocniczego przyrządu o odpowiednio dużym powiększeniu. Zastosowanie jego ma na celu zapewnienie łatwego rozróżniania istotnych szczegółów plamki dyfrakcyjnej. Jeżeli układ badany jest ogniskujący, wówczas przyrządem tym jest mikroskop, dla układów bezogniskowych — luneta.

W celu umożliwienia obserwacji obrazu punktu w różnych płaszczyznach przestrzeni obrazowej mikroskop powinien mieć przesuw wzdłuż osi badanego obiektu, natomiast luneta odpowiedni ruch dioptryjny okularu.

Ważne jest, aby wiązka aperturowa przechodząca przez badany układ dla danego punktu nie była ograniczona przez dostawiony przyrząd, gdyż w przeciwnym przypadku wpływałby on również na kształt plamki. Z tej samej przyczyny punktowe źródło światła powinno dawać równomierne oświetlenie w źrenicy wejściowej układu badanego, co narzuca wymagania stawiane układowi oświetlającemu ten punkt. Ponadto oczywisty jest warunek odpowiedniej korekcji aberracji przyrządu dostawianego.

Należy pamiętać, że punktowe źródło światła jest pojęciem teoretycznym, gdyż z fizycznego punktu widzenia może ono emitować tylko nieskończenie małą energię. Praktycznie za punktowe przyjmowane jest takie źródło rozciągnięte, którego wymiary mają pomijalnie mały wpływ na rozważane zjawisko. Oznacza to, że dopuszczalny wymiar quasipunktowego źródła światła będzie zależał od rozpatrywanego układu i badanego zjawiska. W naszym przypadku wymiar źródła należy tak dobrać, aby jego obraz geometryczny był znacznie mniejszy od średnicy środkowego maksimum plamki dyfrakcyjnej dla układu bezaberracyjnego (plamka *Airy*), gdyż wtedy obraz takiego źródła będzie dobrze aproksymował kształt plamki dla źródła punktowego przy dowolnych wartościach aberracji.

Badania obrazu punktu mogą być przeprowadzone na środku pola, poza osią optyczną dla światła monochromatycznego, w całym zakresie widma widzialnego lub w wydzielonych jego częściach.

I tak przy badaniu na środku pola obraz punktu powinien być osiowo symetryczny. Jeżeli ten warunek jest niespełniony będzie to oznaczać, że układ ma pewne wady wykonawcze. Powodem tego może być niecentralny montaż, toryczność powierzchni lub ich deformacja pod wpływem nacisków dawanych przez oprawy soczewek. Ta ostatnia przyczyna szczególnie często występuje w układach zwierciadlanych. Przy wadzie niecen-

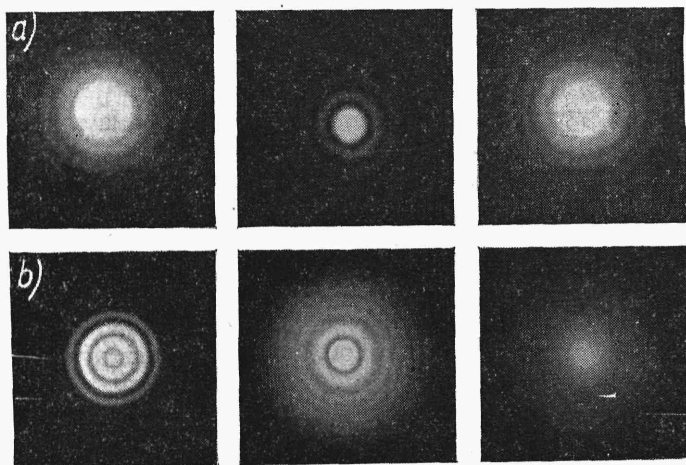
tralności plamka ma charakter komatyczny, natomiast dla dwóch ostatnich przypadków — astygmatyczny.

Badania aberracji sferycznej przeprowadzane są w środku pola i w świetle monochromatycznym. Gdyby układ był bezaberracyjny, wówczas w jego płaszczyźnie *Gaussa* obrazem punktu byłaby plamka *Airy*.

Poza płaszczyzną *Gaussa* dyfrakcyjny obraz punktu zmienia się wraz ze zmianą położenia płaszczyzny odbiornika, przy czym można wykazać, że kształt plamki zmienia się jednakowo niezależnie od kierunku przeogniskowania (do i od układu). Rozkłady intensywności dla różnych wielkości przeogniskowań podano w tabl. 3.4 oraz zilustrowano wykresem na rys. 3.50.

Jeżeli układ obarczony jest aberracją sferyczną, wówczas następuje zaburzenie w symetrii zmiany kształtu przy przeogniskowaniu w dwóch kierunkach. Wystarcza to do stwierdzenia jej obecności. Ponadto zależnie od sposobu korekcji i wielkości aberracji falowej w różnych płaszczyznach przestrzeni obrazowej tworzą się charakterystyczne rozkłady intensywności, których znajomość jest podstawą oceny układu.

Dla przykładu na rys. 7.13a pokazany jest obraz punktu dla układu bezaberracyjnego w trzech położeniach płaszczyzny odbiornika. Środkowa dotyczy płaszczyzny *Gaussa*, dwie pozostałe dla symetrycznych wielkości przeogniskowań względem płaszczyzny *Gaussa*. Na rys. 7.13b pokazano obrazy punktu dla tych samych położań w przypadku układu dodatniego obarczonego aberracją sferyczną III-ciego rzędu.

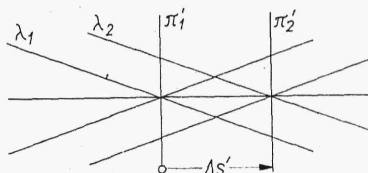


Rys. 7.13

Badania chromatyzmu położenia układu przeprowadzone jest przez obserwację rozkładu barw w obrazie punktu w różnych położeniach płaszczyzny odbiornika oczywiście dla źródła świecącego światłem spektralnie złożonym (niemonochromatycznym).

W celu wyjaśnienia ogólnej metody postępowania zakłada się, że źródło świeci tylko w dwóch wąskich przedziałach widma np. zgodnie z danymi tabl. 1.2 światłem niebieskim ($\lambda_1 = 0,49 \mu\text{m}$) i czerwonym ($\lambda_2 = 0,66 \mu\text{m}$) w przybliżeniu o tej samej intensywności. Niech ponadto układ będzie stygmatyczny dla obydwu długości fali. Jeżeli π'_1 i π'_2 (rys. 7.14)

będą płaszczyznami *Gaussa* odpowiednio dla λ_1 i λ_2 , to w pierwszej powstaje plamka *Airy* dla światła niebieskiego z maksymalną intensywnością na osi układu, natomiast światło czerwone jest rozpostarte na pewnym obszarze zależnym od wielkości $\Delta s'$. A więc obraz w płaszczyźnie π'_1 ma intensywny środek o barwie niebieskiej otoczony pierścieniem światła czerwonego. Odwrotna sytuacja będzie w płaszczyźnie π'_2 . Przechodząc od płaszczyzny π'_1 do π'_2 intensywność światła niebieskiego w środku będzie stopniowo malała natomiast będzie zaznaczał się coraz większy wpływ światła czerwonego. Oczywiście nakładać się tu będzie również wpływ



Rys. 7.14

zmiany kształtu plamki wraz z przeogniskowaniem, co dość mocno komplikuje zjawisko. Aby go osłabić brane są dość szerokie przedziały widma zarówno dla promieniowania czerwonego jak i niebieskiego. W przypadku korekcji achromatycznej badania wygodniej jest przeprowadzać w świetle białym, gdyż łatwo wtedy na podstawie barw występujących w różnych płaszczyznach, a wynikających z addytywności barw monochromatycznych ustalić, które z części widma nawzajem się pokrywają.

Wizualne badanie obrazu punktu poza osią układu, mające na celu ocenę aberracji które decydują o jakości odwzorowania, jest zagadnieniem dość złożonym z uwagi na nakładanie się wpływu wszystkich aberracji. Względnie łatwo jest wydzielić chromatyzm wielkości, natomiast przy aberracjach monochromatycznych można ustalić na podstawie kształtu plamki aberracyjnej, które z aberracji dominują w kształtowaniu obrazu.

Na zakończenie zwraca się uwagę, że ocena wizualna jakości odwzorowania ma tylko ograniczone zastosowanie, gdyż odnosi się do przedziału widzialnego widma fal elektromagnetycznych. Nawet dla obiektywu fotograficznego, kiedy zakresy czułości oka i emulsji w znacznej części się pokrywają, ocena średnicy obrazu punktu, czy płaszczyzny najlepszego odwzorowania może być fałszywa, gdyż maksimum czułości emulsji przypada na część fioletową i nadfioletową, na którą w małym stopniu lub w ogóle nie reaguje oko.

7.2.2. Wyznaczenie krzywej rozkładu energii

Przez analogię do metod stosowanych przy analizie jakości odwzorowania (p. 6.4.1) można również eksperymentalnie wyznaczyć średnice kołowych obszarów w płaszczyźnie odbiornika, w których mieszczą się określone części energii przesyłanej z punktu przedmiotowego do płaszczyzny obrazu. Typowy układ pomiarowy pokazany jest na rys. 7.15 z pominięciem elementów realizujących punktowe źródło światła. Obraz punktu dany przez badany układ odwzorowywany jest w płaszczyźnie przysłony *S* za pomocą obiektywu mikroskopowego *Ob*. W przypadku badania lunet obiektyw powinien być zogniskowany na odległość nieskończenie wielką.