

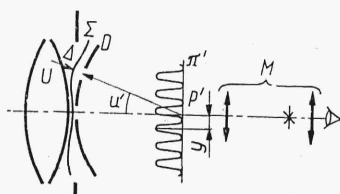
Podsumowując zagadnienia pomiaru aberracji geometrycznych, wydaje się dostatecznie uzasadnione stwierdzenie, że jakość odwzorowania obrazu punktu, czy zbioru punktów, w tym również dystorsji i krzywizny pola rozumianych w ogólnym sensie, a nie jako wyizolowanych aberracji Seidla, nie jest wielkością związaną tylko z układem optycznym, ale również zależy od źródła światła (w tym przypadku od rozkładu widmowego emitowanej energii) i od zastosowanego odbiornika (od jego czułości widmowej, liniowości reakcji i ziarnistości).

W niniejszym punkcie przedstawiono tylko zasady pomiaru aberracji geometrycznych. Na ich podstawie zostały opracowane bardziej kompleksowe metody (Hartmana, Wetthauera) pozwalające przyspieszyć sam proces pomiaru [4], [5].

7.1.2. Pomiar aberracji falowych

Do pomiaru aberracji falowych powszechnie wykorzystywane są zjawiska interferencji.

Na rys. 7.5 pokazano jedną z metod, po raz pierwszy zastosowaną przez Michelsona. Niech Σ będzie aberracyjnym czołem fali dla ustalonego punktowego przedmiotu świecącego światłem monochromatycznym.



Rys. 7.5

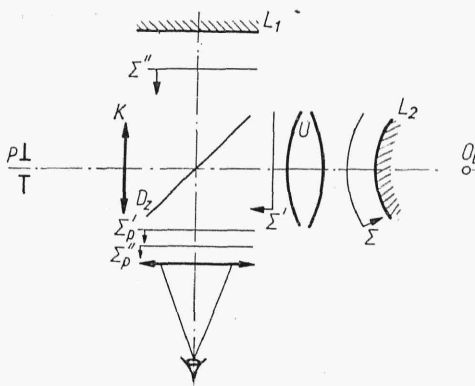
π' jest płaszczyzną odbiornika obserwowaną za pomocą mikroskopu M . Wyznaczenie odchylenia kształtu fali Σ od sfery ze środkiem w punkcie P' można przeprowadzić przez badanie układu prążków powstających w płaszczyźnie π' przy przesłonięciu źrenicy przysłoną D z dwoma otworami. Przykładowo rozkład intensywności w płaszczyźnie π' zaznaczono symbolicznie w kładzie. Aberracja falowa Δ powoduje powstanie różnicy fazowej $2\pi\Delta/\lambda$ między promieniami wychodzącymi z obydwu otworów i interferującymi w punkcie P' . Jeżeli jeden z otworów np. środkowy ma stałe położenie, natomiast drugi jest przemieszczany w źrenicy, wówczas wraz ze zmianą Δ następuje zmiana położenia centralnego prążka i jego przemieszczenia w polu widzenia mikroskopu. Odległość y jest miarą aberracji falowej dla danego kąta u' . Można wykazać, że dla małego kąta u'

$$\Delta = yu'$$

Wadą tej metody jest badanie kształtu fali kolejno punkt po punkcie i dlatego, mimo prostoty urządzenia, większe zastosowanie znalazł interferometr *Twyman-Greena* (rys. 7.6) pozwalający wyznaczyć jednocześnie zniekształcenie czoła fali w całej źrenicy. Sposób działania i pomiaru interferometru opisany został w p. 3.2.9, tu zwrócona zostanie tylko uwaga na pewne aspekty związane z badaniem układów optycznych.

Gdyby układ badany był bezaberracyjny wówczas czoło fali Σ dla punktowego źródła światła byłoby sferyczne i jeżeli środek sfery Σ po-

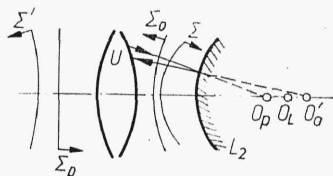
krywa się ze środkiem O_L zwierciadła sferycznego L_2 wówczas fala odbita Σ' po ponownym przejściu układu byłaby płaska. W wyniku interferencji z falą Σ'' odbitą od zwierciadła L_1 powstałyby ogólnie prążki prostoliniowe, których częstość i kierunek w polu widzenia można zmieniać



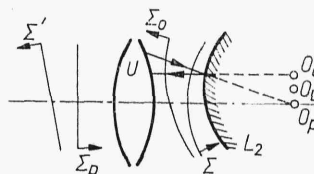
Rys. 7.6

pochyleniem zwierciadła L_1 . Dla jednego z położen tego zwierciadła, gdy fale Σ_p'' i Σ_p' powstałe z Σ'' i Σ' po przejściu i odbiciu od płytki światłodzielącej będą równoległe, pole interferencyjne będzie jednorodne. Intensywność pola może przyjmować dowolne wartości między 0 a maksimum zależnie od odległości Σ_p'' i Σ_p' , a więc i położenia zwierciadła L_1 .

Jeżeli układ z jednorodnym polem interferencyjnym przyjmuje się za wyjściowy, to przy przesunięciach zwierciadła L_2 wzdłuż osi obiektu badanego (rys. 7.7) fala płaska Σ_p padająca na układ bezaberracyjny zostaje przekształcona na fale sferyczną Σ , z tym że jej środek O_p nie bę-



Rys. 7.7



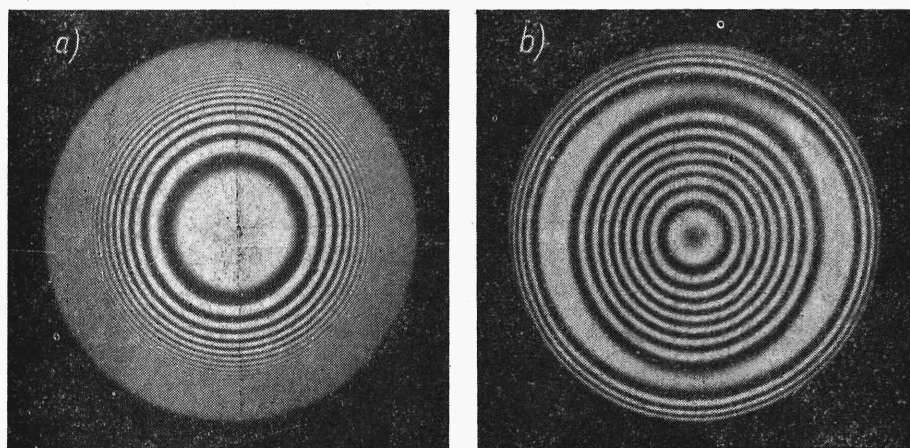
Rys. 7.8

dzie się pokrywał ze środkiem O_L zwierciadła L_2 . Stąd fala odbita Σ_0 od zwierciadła dla małych kątów aperturowych będzie falą sferyczną ze środkiem w punkcie O'_0 i po przejściu przez układ U , ponieważ punkt O_p jest równocześnie ogniskiem układu U , przyjmie kształt Σ' , który będzie sferyczny, jeżeli układ U zachowuje warunek stygmatyczności dla punktu O'_0 . W wyniku interferencji między falami Σ' i Σ'' powstaną wtedy prążki kołowe. Można również zwierciadło L_2 przesunąć w kierunku poprzecznym do osi (rys. 7.8), wówczas fala odbita Σ_0 dla małych przesunięć $O_p O_L$ będzie sferyczna, ale jej środek O_0 zostanie przesunięty o odległość $O'_0 O_p = 2 O_L O_p$. Jeżeli układ U będzie stygmatyczny dla punktu O'_0 , wówczas fala Σ' wychodząca z układu będzie płaska, ale nieprostopadła do osi. Pochylenie płaszczyzny Σ' można wyznaczyć z praw przekształcenia dawan-

go przez rozpatrywany układ. Efekt przesunięcia zwierciadła w kierunku poprzecznym z pominięciem wpływu aberracji zwierciadła L_2 i układu U dla punktu poza osią jest równoważny pochyleniu zwierciadła L_1 . W polu interferencyjnym pojawiają się wtedy prostoliniowe prążki, przy czym kierunek ich będzie prostopadły do kierunku przesuwu zwierciadła L_2 (z uwzględnieniem odbicia na płycie światłodzielącej).

Jeżeli w układ interferometru zostanie wstawiony badany obiektyw U , to ogólnie biorąc środek zwierciadła O_L nie będzie się pokrywał z O_p . Przesunięcie $O_p O_L$ może być zarówno wzdłuż osi badanego obiektywu, jak i w kierunku poprzecznym i kształt prążków z pominięciem szczegółów będzie krzywoliniowy. Ale można wtedy obserwując zmiany obrazu prążków tak przesuwać zwierciadło L_2 , aby minimalizować liczbę prążków w polu widzenia. W przypadku, gdy obiektyw badany jest stygmatyczny dla rozpatrywanego punktu O_p , wówczas można znaleźć takie położenie zwierciadła L_2 , że pole interferencyjne będzie jednorodne. Oznaczać to będzie, że środek zwierciadła O_L został pokryty z punktem O_p .

Jeżeli układ nie jest stygmatyczny, to fala Σ nie jest falą sferyczną i nie ma takiego położenia zwierciadła L_2 , dla którego oświetlenie pola interferencyjnego jest jednorodne. Z rozmieszczenia i liczby prążków interferencyjnych można wnioskować o odchyleniu czoła fali geometrycznej Σ od sfery ze środkiem krzywizny umieszczonym w punkcie O_L . Przesuwając zwierciadło L_2 można zmieniać środek odniesienia sfery, a tym samym badań aberrację falową dla różnych punktów O_L . Przy badaniu układu dla środka pola widzenia, z uwagi na obecność tylko aberracji sferycznej można znaleźć takie położenie zwierciadła L_2 , dla którego prążki będą miały kształt kołowy. Na rys. 7.9a pokazano obraz interferencyjny



Rys. 7.9

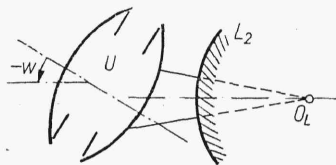
dla układu oznaczonego aberracją sferyczną trzeciego rzędu, gdy punkt O_L pokrywa się z ogniskiem przyosiowym. Rys. 7.9b pokazuje obraz prążków dla tego samego układu przy przesunięciu zwierciadła L_2 wzdłuż osi obiektywu do pokrycia się środka O_L z punktem przecięcia się promieni dla strefy pośredniej żrenicy układu.

Gdyby w środku pola widzenia układu dla każdego położenia zwierciadła L_2 obraz prążków nie miał obrotowej osi symetrii, świadczyłoby to



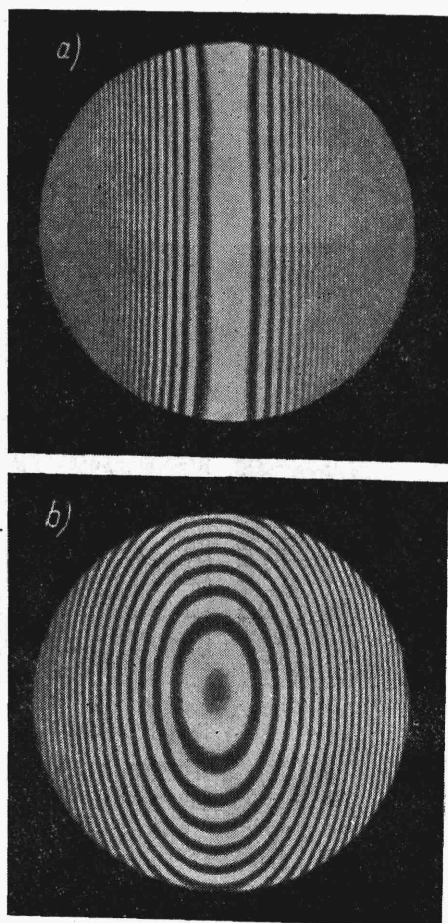
o pewnych jego wadach wykonawczych, takich jak niecentryczność położenia elementów lub toryczność ich powierzchni.

Aby wyznaczyć zniekształcenia powierzchni falowej dla punktów leżących poza osią (rys. 7.10) wystarczy układ obrócić o ustalony kąt pola



Rys. 7.10

w . Wybór osi obrotu jest prawie bez znaczenia, gdyż ewentualne przeszczenie obrazu korygowane jest przeszczeniami zwierciadła L_2 . Warunkiem koniecznym jest tylko zachowanie położenia źrenicy wejściowej układu w polu widzenia interferometru. Na rys. 7.11 pokazane są obrazy prąż-



Rys. 7.11

ków interferencyjnych dla układu obciążonego astygmatyzmem przy dwóch położeniach zwierciadła L_2 . Rys. 7.11a odpowiada pokryciu się środka O_L z ogniskiem astygmatycznym równoleżnikowym, natomiast rys. 7.11b położeniu O_L na promieniu głównym na zewnątrz odcinka łączącego obydwie ogniska astygmatyczne.

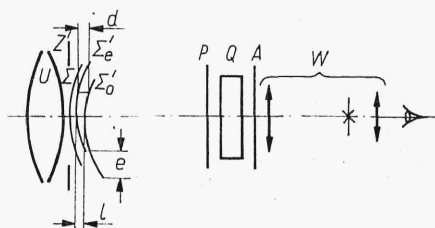
Za pomocą interferometru *Twymana-Greena* można badać nie tylko zniekształcenia powierzchni falowej, ale również i wielkości aberracji promienia. Przykładowo dla środka pola widzenia i danej długości fali można znaleźć takie położenie zwierciadła L_2 , aby jego środek pokrywał się z ogniskiem przyosiowym układu (rys. 7.9a). Przez zmianę długości fali światła (wymiana źródła), z uwagi na aberrację chromatyczną układu, nastąpi przemieszczenie się ogniska przyosiowego. Wielkość przesuwu zwierciadła L_2 do pokrycia się punktu O_L z nowym ogniskiem będzie podłużną aberracją chromatyczną położenia w przestrzeni przyosiowej.

Pomiar podłużnej aberracji sferycznej sprowadza się do wyznaczenia przesunięcia zwierciadła L_2 przy pokryciach się jego środka z przecięciem się promieni dla różnych stref źrenicy (rys. 7.9a i b).

Można również mierzyć i aberracje pozaosiowe. W tym celu zwierciadło L_2 musi mieć mierzone przesuwu w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach, za pomocą których, ustalone będą położenia charakterystycznych linii obrazowych (rys. 7.11a).

Przytoczony tu układ interferometru *Twymana* ma niewątpliwie tę zaletę, że pozwala ustalić aberracje w sposób bezpośredni jednocześnie dla całej źrenicy, co szczególnie wyróżnia go spośród innych układów. Wadą jego jest wrażliwość na wstrząsy, pod wpływem których ulega łatwemu rozregulowaniu.

Pozbawione tej wady są interferometry wykorzystujące zjawisko dwój-
łomności, których zasada działania opisana została w p. 3.5.5. Przykładowy układ takiego interferometru pokazano na rys. 7.12. Powierzchnia fa-



Rys. 7.12

lowa Σ dla ustalonego punktu przedmiotu została rozdzielana przez płytkę Q , na dwie fale Σ'_e i Σ'_o przesunięte ogólnie przestrzennie o odległości l i e . W wyniku interferencji fal Σ'_e i Σ'_o w polu interferencji powstaje rozkład intensywności zależny od odległości d tych fal w danym punkcie pola, a więc również od kształtu fali Σ . Obraz obserwowany jest za pomocą wzornika W zogniskowanego na źrenicę wyjściową układu U .

Wadą tej metody, w porównaniu z interferometrem *Twymana-Greena*, jest dość złożony sposób odtworzenia kształtu fali Σ na podstawie obrazu interferencyjnego.