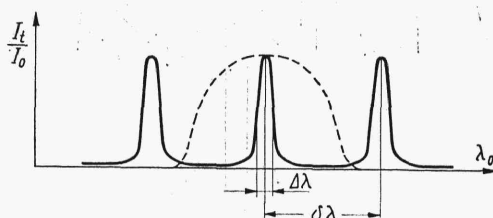


dzie pomijalnie mała. Dla połówkowej szerokości zgodnie z zależnością (3.73) pozostanie

$$\Delta\lambda = \frac{(1-\varrho)\lambda_0}{\pi\sqrt{\varrho}K} \quad (3.75)$$

Im wyższy jest więc współczynnik odbicia ϱ i wyższy rząd interferencji K między dwoma sąsiednimi promieniami, tym węższy jest przedział przepuszczalnego widma. Maksymalna intensywność przepuszczania jest spełniona dla wielu przedziałów widma ($K = 0, 1, 2 \dots$) i odległość $\delta\lambda$ sąsiednich przedziałów, dla których $\Delta K = 1$ z (3.74), wyniesie

$$\delta\lambda = \frac{\lambda_0}{K} \quad (3.76)$$



Rys. 3.28

Na rys. 3.28 zilustrowano wykreślenie zależności intensywności światła przepuszczanego od długości fali. Oznaczono tam również wielkości $\Delta\lambda$ i $\delta\lambda$. Łącząc płytkę płasko-równoległą, w której zachodzi wielopromieniowa interferencja z filtrem absorpcyjnym o odpowiednio dobranej charakterystyce widmowej można stworzyć układ zwany *filtrem interferencyjnym*, który będzie przepuszczał energię tylko w jednym przedziale $\Delta\lambda$. Na rys. 3.28 przykładową krzywą przepuszczania filtra absorpcyjnego zaznaczono linią przerywaną.

Aby uzyskać duże wartości współczynników odbicia przy małych kątach padania płytka pokrywana jest układem cienkich warstw dielektrycznych lub światłodziących warstwami metalicznymi. W tym ostatnim przypadku nie można już założyć, że $\varrho + \tau = 1$, gdyż pojawia się istotny czynnik absorpcji powiększający się w miarę wzrostu współczynnika odbicia, przez co maleje również intensywność światła przechodzącego. Zwykle dla $\Delta\lambda = 5 - 25$ nm maksymalna przepuszczalność jest rzędu 0,40.

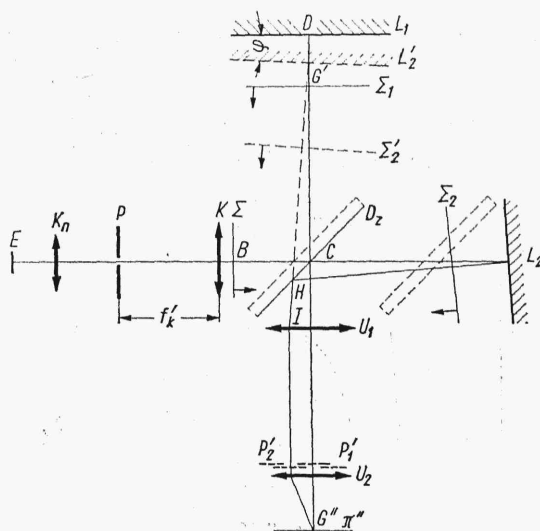
Jeżeli płaszczyzny płytki (rys. 3.24) będą względem siebie nierównoległe, to wystąpi wówczas zjawisko interferencji wielopromieniowej dla prążków zlokalizowanych w płytce i podobnie jak przy prążkach równoległego nachylenia można udowodnić, że prążki równej grubości wraz ze wzrostem współczynnika odbicia również stają się bardziej wąskie lecz ze wzrostem kąta klina spada ich kontrast.

3.2.9. Interferometry Twyman-Greena, Mach-Zehndera i Köstersa

Rozwinięciem idei układów wykorzystujących interferencję promieni odbitych od powierzchni płytek są interferometry z rozdzielonymi falami.

Niech będzie źródło światła E (rys. 3.29), którego obraz dany przez kondensator K_n umieszczony jest w płaszczyźnie przysłony P znajdującej się

w ognisku przedmiotowym kolimatora K . Światło wychodzące z kolimatora za pomocą płytki światłodzielącej D_z jest rozdzielone na dwie części. Pierwsza część odbija się od zwierciadła L_1 , druga od L_2 , i następnie przez tę samą płytkę światłodzielącą obie części są ze sobą łączone.



Rys. 3.29

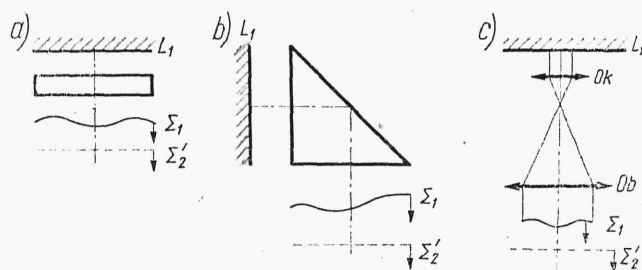
Zaburzenia wtedy będą się rozchodziły zarówno w stronę kolimatora jak i układu U_1 tworząc pola interferencyjne, z których pierwsze w tym układzie uważa się za stracone. Rozpatrując układ w kategorii źrenic i luk z uwagi na położenie przysłony P , jej obraz dany przez obiektyw kolimatora znajduje się w nieskończoności i następnie światło odbite przez płytkę światłodzielącą D_z za pomocą zwierciadła L_1 i po przejściu płytki D_z utworzy w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu U_1 obraz P'_1 . Zakłada się dla prostoty, że obydwa zwierciadła są płaskie i jedno z nich np. L_1 jest prostopadłe do promienia idącego po osi kolimatora. Światło przechodzące przez płytkę D_z po odbiciu od zwierciadła L_2 i płytki światłodzielącej utworzy obraz P'_2 ogólnie przesunięty względem P'_1 . Przesunięcie będzie zależało od kąta pochylenia zwierciadła L_2 względem osi kolimatora. Prążki powstaną na przecięciu promieni odbitych od obydwu zwierciadeł, to znaczy na przecięciu prostych DC i HI (punkt G'). Zjawisko ma dokładnie taki przebieg, jakby pozornie w przestrzeni zwierciadła L_1 znajdowało się zwierciadło L_2 , które jest obrazem zwierciadła L_2 , danym przez odbicie na płytce światłodzielącej D_z . Pozwala to przenieść rozważania przeprowadzone dla płytek do układu bardziej złożonego. Jeżeli zwierciadło L_1 w ogólnym przypadku również nie będzie prostopadłe do osi układu, to prążki jednakowej grubości powstaną w pobliżu płaszczyzn zwierciadeł L_1 i L'_2 . Można je obserwować w płaszczyźnie sprzężonej przez układy U_1 i U_2 (punkt G''). Układem U_2 może być również oko. Prążki dla płaskich zwierciadeł L_1 i L_2 oraz płytki światłodzielącej są prostoliniowe i równoległe do krawędzi łamiącej klina utworzonego przez L_1 i L'_2 . Przez obrót jednego ze zwierciadeł można zmieniać kąt klina zmieniając tym samym gęstość prążków w polu widzenia. Przez przesuw wzdłuż osi można zmieniać optyczną odległość zwierciadeł. Dla koincydencji optycznej, wtedy gdy L_1

przecina się z L'_2 , w punkcie przecięcia się drogi optyczne obydwu ramion interferometru są równe i rząd interferencji wynosi $m = 0$. Można wtedy zjawisko obserwować w świetle białym, co jest szczególnie wygodne przy wyznaczaniu bezwzględnej odległości zwierciadeł, gdyż łatwo jest wtedy wyróżnić prążek rzędu $m = 0$ z uwagi na szybki spadek kontrastu wraz ze wzrostem m , poza tym dla oka tylko ten prążek ma barwę źródła światła (p. 3.2.6). Następnie zmieniając źródło światła białego na źródło monochromatyczne i przesuwając jedno ze zwierciadeł przez zliczanie przechodzących prążków przez punkt, dla którego zachowany był warunek $m = 0$, można wyznaczyć z dokładnością ułamka długości fali względne położenie zwierciadeł.

Warunkiem koniecznym obserwacji prążków w świetle białym jest niezależność różnicy dróg optycznych obu gałęzi od długości fali. Płytką światłodzielącą D_z , zwykle wykonana ze szkła z warstwą metaliczną na jednej z powierzchni dla wyrównania intensywności wiązek interferujących, ma pewną grubość. Dla jednej z gałęzi promienie przechodzą trzykrotnie przez płytkę, natomiast dla drugiej — tylko jeden raz. Współczynnik załamania płytki jest funkcją długości fali i koincydencja optyczna dla jednej długości fali nie spełnia tego warunku dla innej długości. Dla skompensowania zmiany rzędu interferencji wraz z długością fali wstawiana jest w układ dodatkowa płytką wykonana z tego samego szkła i o tej samej grubości, co płytką światłodzielącą. Położenie płytek na rys. 3.29 zaznaczono symbolicznie linią przerywaną.

Wyżej opisany interferometr, nazywany od nazwiska jego wynalazców *interferometrem Twymana-Greena*, może być stosowany również do badania elementów układów optycznych.

Wstawiając w miejsce jednego ze zwierciadeł powierzchnię elementu sprawdzanego można zbadać jej kształt podobnie jak to było w interferometrze *Fizeau*. Ważniejszym jednak zastosowaniem jest pomiar zniekształceń powierzchni falowych (aberracji) wprowadzonych przez te elementy w układzie. Rozważając własności interferometru z tego punktu widzenia, niech Σ (rys. 3.29) będzie płaską falą wychodzącą z kolimatora dla punktowego źródła światła. Po odbiciu od zwierciadeł L_1 i L'_2 zostaną utworzone dwie fale Σ_1 i Σ'_2 , których odległość mierzona w kierunku normalnym do jednej z nich, z uwagi na mały kąt między L i L'_2 , będzie równa różnicy dróg optycznych między promieniami interferującymi w polu interferencji.

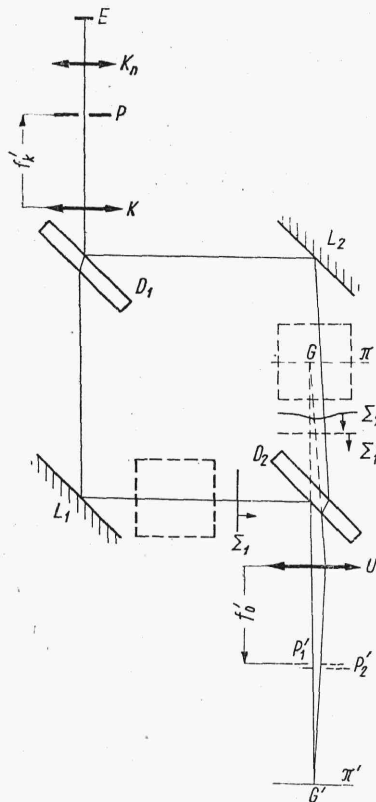


Rys. 3.30

Jeżeli w gałęzi zwierciadła L_1 wprowadzona zostanie płytka (rys. 3.30a), to fala płaska przechodząc przez nią dwukrotnie w ogólnym przypadku nie będzie płaska. Na jej kształt wpłyną sumarycznie błędy wykonania

powierzchni i niejednorodności współczynnika załamania płytki. Ewentualny obrót czoła fali Σ_1 wynikający z kąta klina płytki i zwierciadeł można skompensować obrotem zwierciadła L_1 . Zniekształcenia fali (odstępstwo od płaskości) można wyznaczyć na podstawie kształtu i liczby prążków interferencyjnych pozostających w polu widzenia interferometru po wspomnianej kompensacji. Podobnie można badać pryzmaty (rys. 3.30b), układy bezogniskowe (rys. 3.30c) lub ogniskujące. W tym ostatnim przypadku w miejsce zwierciadła płaskiego należy wstawić zwierciadło sferyczne i pokryć obraz przysłony P z jego środkiem krzywizny. Temat ten będzie omówiony w p. 7.1.2.

Powracając do rys. 3.29, jeżeli zwierciadła L_1 i L'_2 będą równoległe, wówczas prążki można obserwować w płaszczyźnie ogniskowej układu U_1 (prążki jednakowego nachylenia). Przyrząd taki, będący pierwowzorem interferometru *Twymana-Greena*, nosi nazwę *interferometru Michelsona* i rzadko jest obecnie stosowany w technice pomiarowej z uwagi na kłopotliwy warunek równoległości.

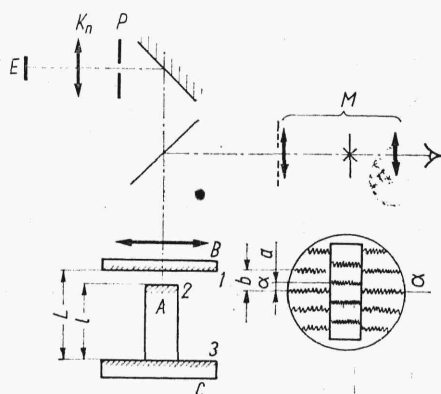


Rys. 3.31

W interferometrze *Mach-Zehndera* zostały zastosowane dwie płytki światłodzielnące D_1 i D_2 (rys. 3.31), dzięki czemu fala płaska wychodząca z kolimatora K przechodzi tylko jeden raz przez ośrodek badany znajdujący się w jednym z ramion interferometru. Pozwala to na wyznaczenie większych zniekształceń fali i interferometr ma szczególne zastosowanie do badania przepływu gazów. Dwie fale płaskie: Σ_2 — przechodząca przez

ośrodek badany znajdujący się między płytką światłodziącą D_2 i zwierciadłem L_2 oraz porównawcza Σ_1 lub Σ'_1 — odniesiona do przestrzeni fali Σ_2 , tworzą w pozornej płaszczyźnie π układ prążków, który można obserwować w płaszczyźnie π sprzężonej z π za pomocą układu U . Dla ośrodków jednorodnych układ prążków jest prostoliniowy, których gęstość i kierunek regulowane przez pochylenie zwierciadeł i płytek światłodziących, zależy od kierunku i kąta między czołami fal Σ_2 i Σ'_1 . Przez pochylenie zwierciadeł zmieniana jest równocześnie lokalizacja prążków (położenie płaszczyzny π).

Przepływ gazu w roboczej części interferometru, zachodzący w komorze osłoniętej z dwóch stron płytkami, powoduje powstanie przestrzennego rozkładu gęstości gazu, a tym samym i współczynnika załamania. Wyznaczając rozkład prążków przed przepływem gazu i zmianę rzędu interferencji w ustalonym miejscu badanego obszaru w czasie przepływu można wyznaczyć średnią zmianę współczynnika załamania na długości badanej komory, a więc i gęstości gazu. W drugim ramieniu zwykle dla skompensowania drogi optycznej wstawiona jest dodatkowa komora bezprzepływowa, co pozwala obserwować prążki w świetle białym, a tym samym jednocześnie ustalać rząd interferencji dowolnego prążka w polu interferencji.



Rys. 3.32

Interferometr *Fizeau* opisany w p. 3.2.5 może służyć również do bezwzględnego pomiaru długości przymiarów końcowych (rys. 3.32). Jeżeli element mierzony A o długości l zostanie położony na powierzchni płaskiej 3, wówczas między płaszczyznami 2 i 3 z jednej strony i światłodziącą płaszczyzną 1 z drugiej powstaną układy prążków równej grubości. Kierunek prążków w polu widzenia (rys. 3.32b) może być zmieniany przez odpowiednie pochylenie płytki B . Załóżmy z uwagi na łatwość pomiaru, że prążki są skierowane prostopadle do dłuższego boku przymiaru. Dla ustalonego przekroju $\alpha - \alpha$ można napisać równanie prążków między płaszczyznami 1 i 2

$$m_{12} = \frac{2(L-l)}{\lambda_0} + \delta_{12}$$

i płaszczyznami 1 i 3

$$m_{13} = \frac{2L}{\lambda_0} + \delta_{13}$$

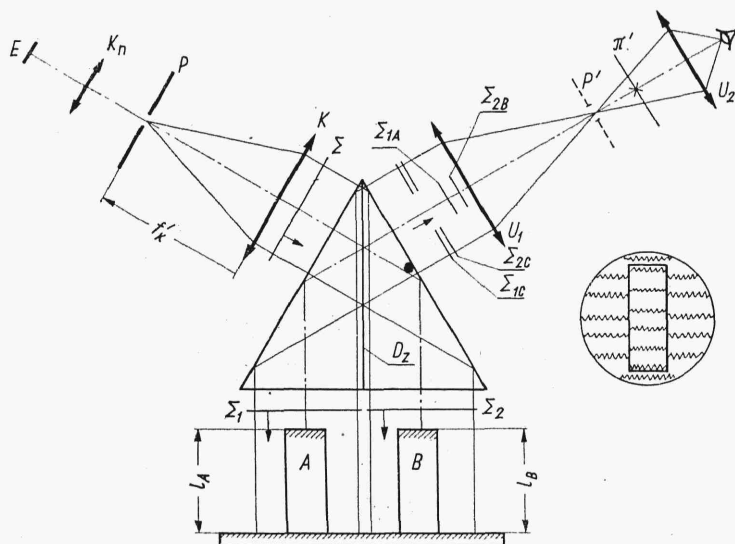
gdzie δ_{12} i δ_{13} są różnicami skoków fazy występującymi między promieniami odbitymi od odpowiednich powierzchni. Jeżeli pryzmiar i płytka C są wykonane z tego samego metalu, wówczas $\delta_{13} = \delta_{12}$ i przez odjęcie

$$l = \frac{\lambda_0}{2} (m_{13} - m_{12})$$

Różnica rzędów interferencji nie jest liczbą całkowitą, co można zapisać w postaci $m_{13} - m_{12} = \Delta m_c + \varepsilon$, gdzie ε — ułamkowa część rzędu interferencji, którą można wyznaczyć z obrazu interferencyjnego prążków za pomocą mikroskopu M ; ($\varepsilon = a/b$) (rys. 3.32b). Ponieważ Δm_c jest znane tylko w przybliżeniu (przez pomiar długości l za pomocą mikromierza) tworząc ciąg pomiarów dla różnych długości fali i wyznaczając dla nich wartości ε_λ , wtedy

$$l = \frac{\lambda_1}{2} (\Delta m_{1c} + \varepsilon_1) = \frac{\lambda_2}{2} (\Delta m_{2c} + \varepsilon_2) = \dots$$

co pozwala na wyznaczenie l z dokładnością rzędu $\lambda_0/50$.



Rys. 3.33

Wygodniejszy jest pomiar porównawczy dwóch pryzmiarów zrealizowanych za pomocą *interferometru Köstersa* (rys. 3.33). W płaszczyźnie sklejenia dwóch pryzmatów naniesiona jest warstwa światłodziela D_z , dzięki czemu fala płaska Σ jest dzielona na dwie części Σ_1 i Σ_2 . Pomijając chwilowo obecność pryzmiarów fale te, odbite od płaszczyzny A, łączą się za pomocą powierzchni D_z i tworzą układ prążków interferencyjnych obserwowany w płaszczyźnie π' . Dzięki pozostawieniu w płaszczyźnie sklejenia pryzmatów pewnego kąta między ich krawędziami łamiącymi, prążki są liniowe i prostopadłe do płaszczyzny D_z (w przestrzeni pryzmiarów). Przez odpowiednie ustawienie pryzmiarów fale odbite od ich powierzchni A i B będą interferowały tylko między sobą. Układ powierzchni falowych w przestrzeni przedmiotowej obiektywu U_1 naniesiono symbolicznie na rysunku, przy czym przez Σ_{1C} i Σ_{2C} oznaczone są fale odbite od płas-

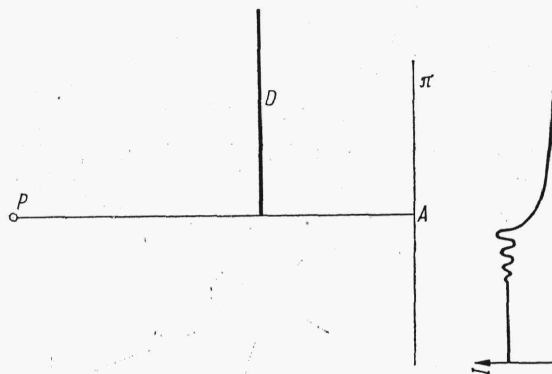
szczyzny elementu C , natomiast przez Σ_{1A} i Σ_{2B} od porównywanych przymiarów. Obraz prążków w polu widzenia przyrządu pokazano obok schematu przyrządu. Miarą różnicy długości obydwu przymiarów będzie przesunięcie układu prążków widocznych na powierzchni przymiarów względem prążków widocznych w pozostałej części pola. Ponieważ nominalnie przymiary są tej samej długości, to w białym świetle można wyznaczyć położenie zerowych rzędów w obydwu częściach pola, a tym samym całkowitą część różnicy rzędów interferencji. Część ułamkowa mierzona jest w świetle monochromatycznym o długości fali λ_0 i różnica długości obydwu przymiarów spełniać będzie równanie

$$l_B - l_A = \frac{\lambda_0}{2} (\Delta m_c + \varepsilon)$$

3.3. Dyfrakcja światła

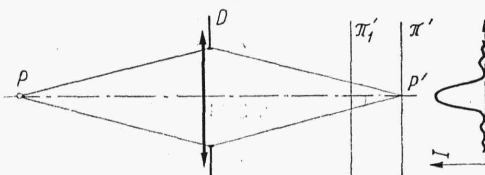
3.3.1. Zasada Huygensa-Fresnela

Niech będzie punktowe źródło światła P (rys. 3.34) i przysłona D pochłaniająca falę elektromagnetyczną. Prosta PA przechodząca przez brzeg przysłony jest granicą, na której zachodzi skokowa zmiana wektora natężenia



Rys. 3.34

żenia pola elektrycznego i magnetycznego i zgodnie z rozważaniami p. 1.4.7 optyka geometryczna nie może dać poprawnego opisu rozkładu intensywności w pobliżu punktu A płaszczyzny π . Teoria dyfrakcji, uwzględniająca



Rys. 3.35

periodyczność zjawisk świetlnych zajmuje się opisem rozchodzenia się fali w takich obszarach. Szczególne znaczenie ma przypadek, kiedy obraz źródła światła dany przez układ U (rys. 3.35) pokrywa się z płaszczyzną π' .