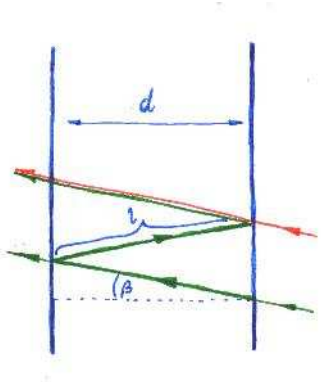
Interferometr Fabry-Pérota

1 Obraz interferencyjny otrzymywany przy pomocy interferometru Fabry–Pérota.

W płaskim interferometrze Fabry–Pérota (IFP) równoległa wiązka światła może odbijać się wielokrotnie od płaskich zwierciadeł ustawionych równolegle. Promienie światła przechodzące przez IFP nie odbijają się od zwierciadeł lub odbijają się 2, 4, 6, ... razy. Wszystkie promienie (odbijające się i nie odbijające się) interferują ze sobą dając wkład do wypadkowego natężenia światła przechodzącego przez IFP. Maksymalne natężenie światła przechodzącego przez IFP otrzymujemy gdy fale opisujące wszystkie promienie (odbijające się i nie odbijające się) są ze zgodne w fazie. Oznacza to że różnica dróg optycznych $2l$ między interferującymi promieniami które się odbijają i nie odbijają powinna być równa całkowitej wielokrotności długości fali λ padającego światła:

$$2l = (k+n)\lambda,$$

gdzie k i n są pewnymi liczbami naturalnymi.



Rysunek 1: Bieg promieni światła interferujących w interferometrze Fabry–Pérota.

Gdy odległość między zwierciadłami IFP jest równa d oraz kąt między promieniem padającym a kierunkiem normalnym do powierzchni zwierciadeł jest równy β (patrz rys. 1) to

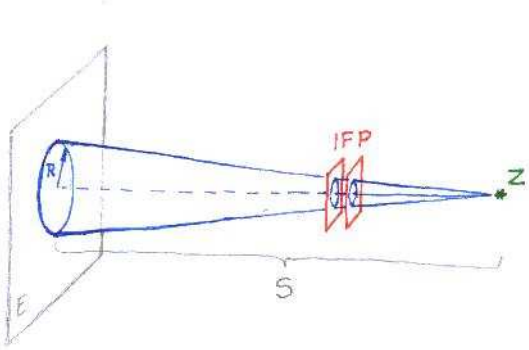
$$l = \frac{d}{\cos\beta}.$$

Korzystając z obu podanych związków otrzymujemy warunek

$$\cos\beta_n = \frac{d}{(k+n)\lambda}$$

pozwalający obliczyć kąty β_n dla których natężenie światła przyjmuje wartości maksymalne przy zadanych d i l. Wartość k dobieramy tak by β_0 było najmniejszym kątem dla którego występuje maksimum.

Z punktowego źródła (Z) możemy otrzymać rozbieżną wiązkę światła. W przypadku gdy między ekranem (E) a punktowym źródłem monochromatycznego światła znajduje się IFP na ekranie pojawia się obraz interferencyjny w kształcie koncentrycznych okręgów.



Rysunek 2: Powstawanie obrazu interferencyjnego na ekranie po przejściu światła ze źródła punktowego przez interferometr Fabry–Pérota.

Jeśli tylko ekran ustawiony jest równolegle do zwierciadeł IFP (patrz rys. 2) to środek tych okręgów leży na prostej prostopadłej do ekranu i przechodzącej przez źródło światła. Promienie światła tworzące wyżej wspomniane okręgi padają na ekran pod kątami $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots$. Promienie okręgów $R_n = s \sin\beta_n$ zależne są od s czyli odległości źródła światła od ekranu. Możemy zapisać związek między kwadratem średnicy okręgów $D_n = 2R_n$ i $\sin\beta_n$ w następującej postaci

$$\sin^2\beta_n = \frac{D_n^2}{4s^2}\,.$$

Wykorzystując przybliżenie

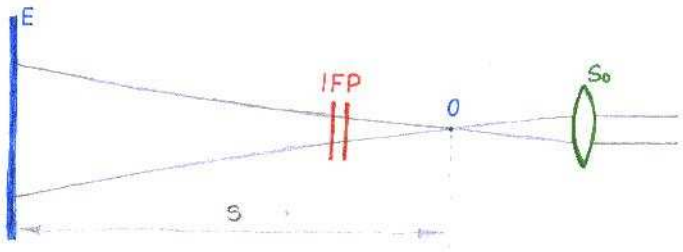
$$\frac{1}{\cos\beta_n} = \frac{1}{\sqrt{1-\sin^2\beta_n}} \approx 1 + \frac{1}{2}\sin^2\beta_n$$

poprawne dla małych kątów β_n otrzymujemy liniową zależność kwadratu średnicy D_n od indeksu n numerującego kolejne pierścienie obrazu interferencyjnego.

2 Proste układy optyczne z interferometrem Fabry–Pérota.

W celu obserwacji i analizy prążków interferencyjnych wygodniej jest użyć lasera He–Ne jako silnego źródła światła. Wiązka światła generowanego przez laser jest niemal równoległa toteż wstawiając w bieg wiązki soczewkę (So) możemy ją zogniskować a jej ognisko (O) traktować jak punktowe źródło światła (Z) (jak na rys. 3).

Odległość między ogniskiem (O) a ekranem (E) jest więc równa s czyli odległości między ekranem a źródłem. W przypadku gdy na linii biegnącego światła między ogniskiem a ekranem znajdzie się IFP na ekranie pojawiają się pierścienie interferencyjne. Pamiętać należy że światło generowane przez laser He–Ne może nie być monochromatyczne. Tak jest gdy użyty



Rysunek 3: Wykorzystanie soczewki (So) do wytworzenia punktowego źródła światła.

laser jest laserem wielomodowym. Wówczas obserwowany obraz interferencyjny jest złożenien obrazów interferencyjnych odpowiadających poszczególnym modom lasera He–Ne różniących się nieznacznie długością fali λ. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że średnice okręgów D_n i D'_n odpowiadających dwóm nieznacznie różniącym się długościom fali λ oraz λ' ($\lambda \approx \lambda'$) spełniają równość $D_n^2 - {D'}_n^2 = 8s^2(\lambda - \lambda')/\lambda$.

Innym sposobem otrzymania rozbieżnej wiązki światła jest wprowadzenie do lunety promienia laserowego. Przekrój wiązki otrzymanej po wyjściu z lunety jest znacznie większy natomiast jej rozbieżność kątowa jest niewielka. Symuluje to światło pochodzące z odległego źródła punktowego które jest źródłem pozornym. Jeżeli nie znamy odległości s pozornego źródła światła od ekranu to możemy zmierzyć średnicę dowolnego pierścienia D_n a następnie przesunąć ekran o Δs tak by jego odległość od pozornego źródła wyniosła $s' = s + \Delta s$ i ponownie zmierzyć promień tego samego okręgu D'_n. Korzystając z twierdzenia Talesa można otrzymać wzór $s = D_n \Delta s/(D'_n - D_n)$ pozwalający na wyznaczenie odległości między pozornym źródłem światła a ekranem.

3 Zalecane obserwacje.

Ustawić układ optyczny umożliwiający obserwację pierścieni interferencyjnych. Sprawdzić czy średnica pierścieni zależy od odległości IFP od ekranu jeśli s pozostaje nie zmienione. Sprawdzić jak średnica pierścieni na ekranie zmienia się wraz ze zmianą odległości ekranu od punktowego źródła światła. Zmierzyć średnicę kolejnych pierścieni interferencyjnych w celu sprawdzenia liniowej zależności kwadratu średnicy od indeksu n numerującego kolejne pierścienie interferencyjne. Korzystając z wyżej wspomnianej zależności liniowej oraz metody najmniejszych kwadratów oszacować długość fali światła laserowego znając odległość s i odległość d między zwierciadłami IFP. Jeśli jest to możliwe, zmierzyć różnicę długości fal odpowiadających kolejnym modom lasera He–Ne.