

Lasery i ich zastosowanie

Ćwiczenie nr 11

Interferencyjny pomiar obiektu fazowego

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie zasady działania interferometru Macha-Zehndera, wyznaczenie zależności zmiany współczynnika załamania od ciśnienia .

2. Zarys teorii

Do mierzenia zmian współczynnika załamania światła danego gazu szeroko stosowana jest interferometria optyczna przy użyciu interferometru Macha –Zehndera. Rejestracja zmian gęstości jest możliwa dzięki powstawaniu dodatkowego przesunięcia fazy światła, spowodowanego przez badany ośrodek ze zmieniającym się współczynnikiem załamania umieszczony w jednej z wiązek interferometru.

Jak wiadomo zasada działania interferometru dwuwiązkowego oparta jest na wykorzystaniu zjawiska interferencji dwóch wiązek światła, wychodzących z tego samego źródła i przechodzących dwie różne drogi optyczne. Drogę optyczną s określa się jako iloczyn drogi geometrycznej l i współczynnika załamania światła n ośrodka, w którym rozchodzi się światło, czyli $s=nl$. Jeżeli współczynnik załamania zmienia się od punktu do punktu $n=n(x)$, to drogę optyczną określa się całką ze współczynnika załamania ośrodka $n(x)$ po drodze propagacji światła:

$$s = \int_0^{\infty} n(x) dx \quad (1)$$

Jeżeli to wyrażenie zastosuje się do interferometru dwuwiązkowego, to zmiana długości drogi optycznej Δs przebytej przez jedną z wiązek określi zmianę współczynnika załamania ośrodka na pewnym fragmencie drogi l wzdłuż kierunku biegu wiązki światła:

$$\Delta s = \int_0^l [n(x) - n_0] dx \quad (2)$$

gdzie n_0 jest współczynnikiem załamania niezaburzonego ośrodka. Jeżeli n nie zależy od x , to

$$\Delta s = (n - n_0)l \quad (3)$$

W przypadku gdy różnica dróg optycznych będzie równa nieparzystej liczbie połówek długości fali światła, to oba promieniowania będą się osłabiały w płaszczyźnie obserwacji obrazu interferencyjnego (minimum natężenia), a jeżeli różnica ta będzie równa całkowitej liczbie długości fal, to fazy będą zgodne i oba promienie będą się sumowały (maksimum natężenia). Obraz interferencyjny obserwowany na ekranie składa się z kolejnych ciemnych i jasnych prążków, które nazywają się prążkami interferencyjnymi.

Przesunięcie o jeden prążek odpowiada zmianie drogi optycznej o jedną długość fali λ . Zatem przy wzroście współczynnika załamania ośrodka od n_0 do n , przy geometrycznej grubości l , różnica dróg optycznych zmieni się o Δs i przesuniecie wyniesie k prążków tzn.

$$\Delta s = (n - n_0)l = k\lambda \quad (4)$$

Bezpośredni związek między współczynnikiem załamania ośrodka a jego gęstością, ustala się na podstawie klasycznej lub kwantowej teorii dyspersji. Doświadczenie i elementarna teoria pokazują że współczynnik załamania dielektryka zależy głównie od jego gęstości. Zależność ta opisana jest wzorem Lorentza-Lorenza.

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{4\pi}{3} \frac{N_0}{\mu} \rho \alpha \quad (5)$$

gdzie μ jest masą molową substancji, N_0 – liczba Avogadro, α – średnią polaryzowalnością, ε – przenikalnością dielektryczną, ρ – gęstością substancji.

Dla gazów będących pod niewysokim ciśnieniem, a w szczególności dla powietrza pod ciśnieniem atmosferycznym, wielkość:

$$n^2 + 2 \approx 3$$

$$n^2 - 1 = (n - 1)(n + 1) \approx 2(n - 1)$$

i wzór (5) można przedstawić w postaci

$$n - 1 = 2\pi \alpha \frac{N_0}{\mu} \rho \quad (6)$$

gdzie

$$K = 2\pi \alpha N_0 / \mu$$

jest stałą Gladstone'a-Dale'a. (dla powietrza $K=0,227 \text{ cm}^3/\text{g}$)

Wzór (6) odzwierciedla bezpośrednią zależność optycznego współczynnika załamania ośrodka gazowego przy niedużych ciśnieniach od jego gęstości. Zmiana współczynnika załamania o wielkość

$$\Delta = n - n_0$$

odpowiada zmianie gęstości ośrodka o

$$\Delta \rho = \rho - \rho_0$$

i wzór (4) przyjmie postać

$$(n - n_0)l = (\rho - \rho_0) = \frac{\lambda k}{Kl} \quad (7)$$

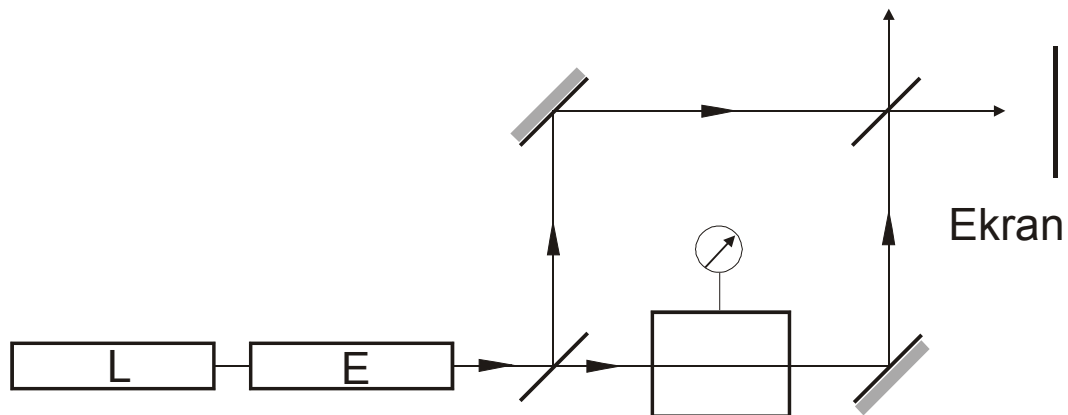
gdzie ρ_0 jest gęstością niezaburzonego ośrodka, którą obliczamy z równania stanu gazu.

$$\rho_0 = \frac{\mu p_0}{RT} \quad (8)$$

gdzie p_0 jest ciśnieniem, T- temperaturą, R stała gazowa.

3. Wykonanie ćwiczenia

Odczytać ciśnienie powietrza oraz dla różnych wartości ciśnienia w komorze pomiarowej odczytać położenie prążków interferencyjnych. Wykreślić zależność $p=f(k)$ i porównać ją z wykresem teoretycznym.



Rys.1. Interferometr Macha -Zehndera