Facultad de Matemática, Astronomía y Física

Universidad Nacional de Córdoba

Física General IV: Óptica

Práctico de Laboratorio N°9: Interferómetro de Michelson

Objetivo: Calibración del interferómetro y su empleo en la medición del índice de refracción del vidrio, del índice de refracción del aire y de la separación entre las longitudes de onda del doblete del Sodio.

Introducción: El interferómetro de Michelson es un instrumento de interferometría por división de amplitud que utiliza espejos. El divisor del haz consiste en una placa semi-tranparente P (ver Figura 1) que separa la luz incidente en dos haces perpendiculares de igual amplitud. Los haces son reflejados sobre sus caminos por los espejos M_1 y M_2. El haz reflejado por M_1 es reflejado por el divisor antes del llegar al detector, donde interfiere con el haz proveniente de M_2 que atravesó el divisor.

De esta forma, los haces que llegan al detector por cualquiera de los caminos resultan reflejados una vez en la placa semi-transparente, pero el haz que llega desde M_1 atravesó tres veces el divisor P, mientras que el que llega desde M_1 lo atravesó una sola vez. Para igualar el recorrido en vidrio de los haces, se coloca entonces la placa compensador C, que es una réplica de P (pero sin el semiplateado), y tambien posicionada a 45^o con respecto a la dirección del haz horizontal. Considerando la placa compensadora, toda diferencia de camino óptico entre los haces que arriban al detector proviene de una diferencia neta de distancia recorrida desde la fuente. Usualmente se utiliza una fuente extensa que se consigue iluminando con una lámpara intensa una placa de vidrio esmerilado, o ensanchando con una lente un haz láser. Al detector llegan haces paralelos y la imagen del patrón de interferencia se forma sobre una placa difusora o directamente proyectando con una lente sobre una pantalla.

Todos los haces generados por círculos concéntricos alrededor del eje óptico en la fuente, recorren igual camino hasta el detector. Por lo tanto, asumiendo que todos los puntos de la fuente son coherentes en fase, el patrón de interferencia es de franjas circulares. Para entender como estas franjas son generadas en la Figura 2 se presenta un diagrama conceptual del interferómetro, donde

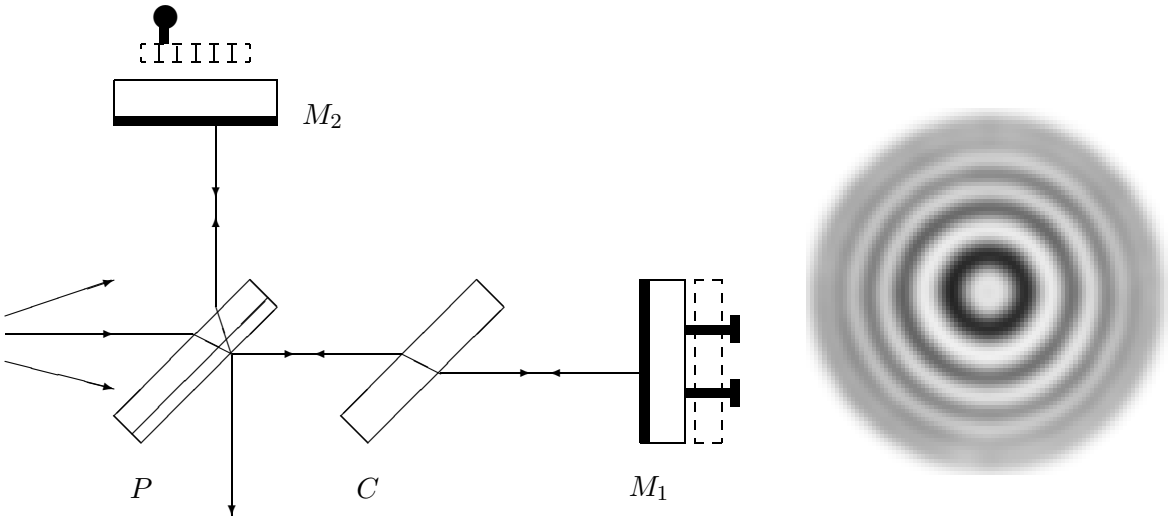

Figura 1: Diagrama esquemático del Interferómetro de Michelson y su patrón de interferencia.

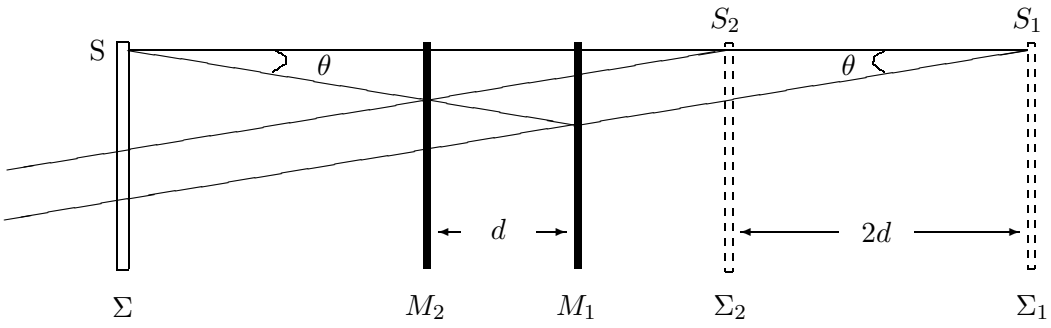

Figura 2: Diagrama conceptual del Interferómetro de Michelson.

las imágenes de la fuente Σ por los espejos M_1 y M_2 están representadas por Σ_1 y Σ_2, respectivamnete. Del diagrama puede observase que si d es la separación efectiva entre los espejos M_1 y M_2, la diferencia de camino ópticos de los haces provenientes de un punto S, bajo un ángulo de observación θ es $2d\cos\theta$.

Ahora, teniendo en cuenta que el haz proveviente de M_1 ha sido reflejado externamente por la placa P, mientras que el proveniente de M_2 fue reflejado internamente en P, ambos haces tiene una diferencia de fase en π por reflexión. Entonces, cuando la diferencia de caminos resulte un número entero de longitudes de onda se obtendrá **interferencia destructiva**

$$2d\cos\theta_m = m\,\lambda\,, \qquad m \text{ entero.} \tag{1}$$

Se tendrá interferencia constructiva para

$$2d\cos\theta_m = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda\,, \qquad m \text{ entero.} \tag{2}$$

Desarrollo Experimental:

En la práctica, la distancia d es inaccesible y sólo puede contarse el número de franjas que aparecen o desaparecen del diagrama (por ejemplo del centro del mismo, $\theta = 0$) para una variación controlada de la distanca d. Con ese fin uno de los espejos es móvil a través de un macanismo micrométrico.

Experiencia 1: Calibración del Tornillo Micrométrico

Se ilumina el instrumento con un haz expandido de una laser de He-Ne. Se alinean correctamnete todos los elementos del interferómetro hasta observar nítidamente las franjas circulares. Se deplaza suavemente el espejo móvil entre dos posiciones predefinidas del tornillo micrométrico, y se cuenta el número n de franjas que pasan por el diagrama de interferencia. De la Ec. (1) ó (2) se obtiene indistintamente (para $\theta = 0$) que

$$\Delta d = n\frac{\lambda}{2}\,. \tag{3}$$

Esta relación permite calibrar la escala del tornillo. Luego, para una fuente monocromática incógnita permite medir la correspondiente longitud de onda.

Experiencia 2: Medición de la separación del doblete de sodio

La luz de una lámpara de Na posee dos líneas de intensidad y longitudes de onda λ_1 y λ_2 comparables. La superposición de los diagramas de interferencia de ambas componentes monocromáticas ocaciona que el diagrama se *destruya* cada vez que las franjas brillantes de uno de los patrones se ubiquen sobre las oscuras del otro. Si esta condición ocurre cuando se cumplen simultáneamente las condiciones: $2d = m\lambda_1$ y $2d = (n + 1/2)\lambda_2$, la condición de destrucción del diagrama volverá a repetirse para una nueva distancia d' tal que: $2d' = m\lambda_1 + k\lambda_1$ y $2d' = (n + 1/2)\lambda_2 + (k + 1)\lambda_2$. Restando miembro a miembro estas expresiones se obtiene que $2\Delta d = k\lambda_1 = (k + 1)\lambda_2$. Por lo tanto, resulta que la separación entre las longitudes de onda de las componentes monocromáticas satisface

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2\Delta d} = \frac{\overline{\lambda}^2}{2\Delta d}\,, \tag{4}$$

donde $\overline{\lambda} = \sqrt{\lambda_1\lambda_2}$ puede aproximarse por la longitud de onda del Na medida con el instrumento.

Experiencia 3: Medición del índice de refracción del vidrio

Colocando una placa de vidrio plano paralela de espesor t sobre uno de los haces del interferómetro, puede variarse la diferencia de camino óptico entre los haces, cambiando el ángulo de incidencia sobre la placa. Computando la longitud de recorrido en el interior de la placa, el índice de refracción de la placa quedará expresado por el número de franjas N que cambian en el patrón de interencia al variar el ángulo de incidencia entre 0 y θ, según la expresión

$$n = \frac{(2t - N\lambda)(1 - \cos\theta)}{2t(1 - \cos\theta) - N\lambda} \,. \tag{5}$$

Experiencia 4: Medición del índice de refracción del aire

Colocando una celda de vacío de longitud D y caras paralelas, delgadas y transparentes con eje sobre uno de los haces del interferómetro, pueden cambiarse la longitud de camino, cambiando la presión del aire encerrado en la celda. En particular, dado que la frecuencia de la radiación viene dada por la fuente, la longitud de onda se relaciona con el índice de refracción del medio según $\lambda = \lambda_0/n$, donde λ_0 es la longitud de onda correspondiente al vacío.

Supongamos que a una presión inicial p_i, el trayecto del haz dentro de la celda es un número entero de longitudes de onda $N_i = 2D/\lambda_i$ (tener en cuenta que la celda es atravesada dos veces). Al cambiar la presión en la celda hasta un valor final p_f, el número de longitudes de onda será ahora $N_f = 2D/\Lambda_f$. Así, el número N de franjas contadas en el patrón de interferencia será $N = N_f - N_i = 2D(1/\lambda_f - 1/\lambda_i) = 2D(n_f - n_i)/\lambda_0$, donde se asume que la presión final es mayor que la inicial. Por lo tanto, $n_f - n_i = N\lambda_0/(2D)$. Suponiendo que la relación $n(p)$ es lineal $n(p) = 1 + \alpha\, p$, resulta que la pendiente está dada por

$$\alpha = \frac{N\lambda_0}{2D\,(p_f - p_i)} \,. \tag{6}$$

Verificar experimentalmente que la relación es lineal, midiendo varios valores de α y determinar n_{atm}. Determinar si conviene trabajar desde la presión atmosférica hacia el vacío, o dejando llenar la celda vacía hasta la presión ambiente.

Bibliografía:

E. Hecht, *Optics*, Addison Wesley, Reading, MA (1998), 3ed.

F. A. Jenkins y H. E. White, *Fundamentos de Óptica*, Aguilar, Madrid (1964).

Fa.M.A.F ©2005