

Interferómetro de Michelson

Objetivo

Medir la longitud de onda de la luz emitida por un laser, determinar la variación del índice de refracción del aire con la presión y evaluar el índice de refracción de un vidrio usando un interferómetro de Michelson.

Introducción

La Fig. 1 muestra un diagrama del interferómetro diseñado originalmente por Michelson para probar la existencia del éter, medio hipotético en el cual se suponía que se propagaba la luz.^{1,2}

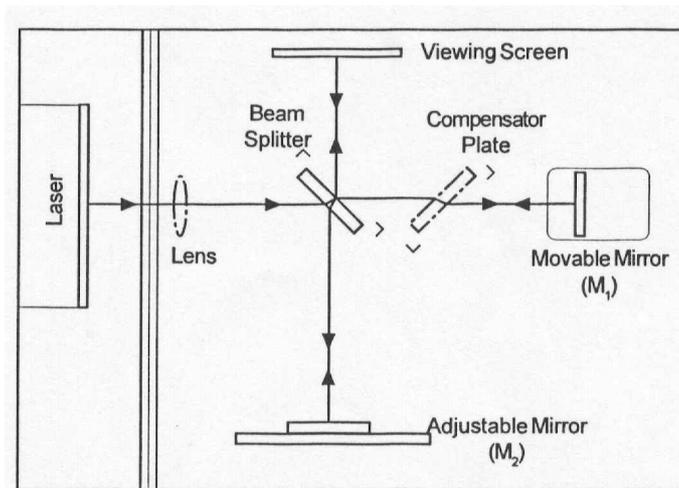


Fig. 1. Diagrama del interferómetro de Michelson.

El haz luminoso emitido por el laser de He-Ne incide sobre el separador de haces, el cual refleja el 50% de la onda incidente y transmite el otro 50%. Uno de los haces se transmite hacia el espejo móvil M₁ y el otro se refleja hacia el espejo fijo M₂. Ambos espejos reflejan la luz hacia el separador de haces, de forma que los haces transmitido y reflejado por este último se recombinan sobre la pantalla de observación.

Como los dos haces que interfieren sobre la pantalla provienen de la misma fuente luminosa, la diferencia de fase se mantiene constante y depende sólo de la diferencia de camino óptico recorrido por cada uno. Por lo tanto, las franjas generadas por el interferómetro se pueden visualizar sobre la pantalla mediante la colocación de una lente convergente de corta distancia focal entre el laser y el separador de haces. El sistema de franjas de interferencia producido es similar al que se muestra en la Fig. 2.

El camino óptico de uno de los haces se puede variar desplazando el espejo M₁. Si dicho espejo se desplaza en $\lambda/4$ alejándose del separador de haces, el camino óptico de ese haz aumentará en $\lambda/2$. Las franjas de interferencia cambiarán de modo que el radio de los máximos aumentará y ocupará la posición de los mínimos iniciales. Si el espejo M₁ se desplaza en una distancia adicional de $\lambda/4$, el nuevo sistema de franjas producido será indistinguible del original.

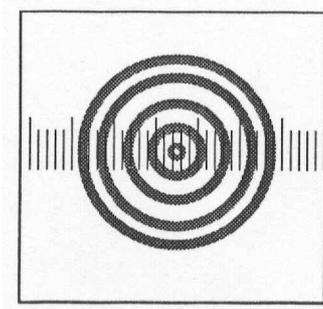


Fig. 2. Franjas de interferencia producidas por el interferómetro de Michelson.

Por lo tanto, desplazando lentamente el espejo en una distancia d y contando el número m de franjas que van pasando por un punto fijo de la pantalla, la longitud de onda λ de la luz se puede calcular como

$$\lambda = \frac{2d}{m} \quad (1)$$

Alineación del interferómetro

Posicionar el laser sobre el soporte respectivo, el cual se ubicará a la izquierda del interferómetro como se muestra en la Fig. 3.

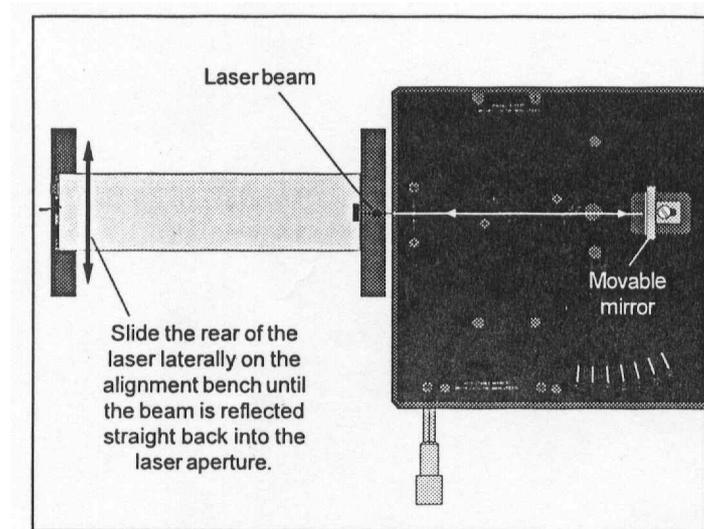


Fig. 3. Alineación del laser.

Colocar el espejo móvil M_1 sobre la base del interferómetro y ajustar los tornillos. Nivelar el soporte del laser mediante los tornillos respectivos de forma que el haz generado sea paralelo a la base del interferómetro. El haz laser debe incidir en el centro del espejo M_1 . Ajustar la posición del laser (moviendo la parte trasera del mismo) de forma que el haz reflejado por el espejo M_1 llegue a la abertura del laser.

Montar el espejo ajustable M_2 y los soportes para la lente y la pantalla en la base del interferómetro como se muestra en la Fig. 4. Colocar el separador de haces de forma que forme un ángulo de 45° con el haz laser incidente y tal que el haz reflejado por el mismo incida en el centro del espejo fijo M_2 .

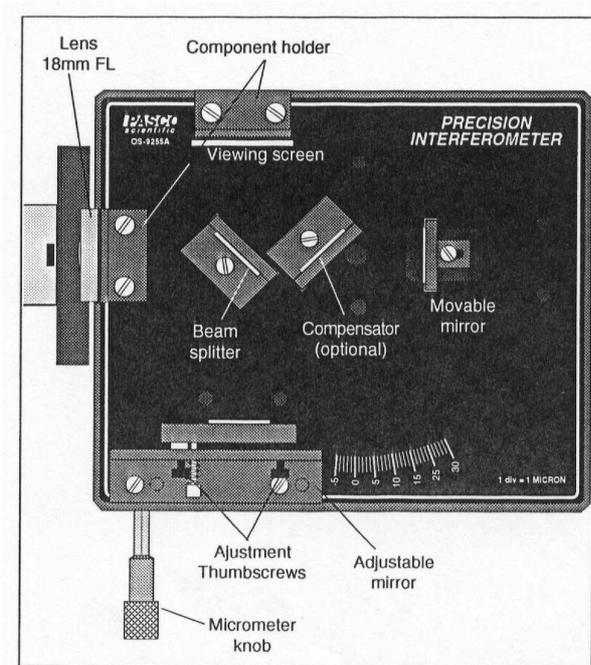


Fig. 4. Sistema óptico

Sobre la pantalla se observarán dos conjuntos de puntos brillantes provenientes de ambos espejos. Cada conjunto de puntos estará formado por uno más brillante y otros de menor intensidad generados por las reflexiones múltiples. El ángulo del separador de haces se deberá ajustar de forma que uno de los conjuntos de puntos esté lo más cerca posible del otro. Cuando esto suceda, deberán ajustarse los tornillos del separador de haces.

Usando los tornillos colocados en la parte de atrás del espejo fijo M_2 , éste se girará hasta que los dos conjuntos de puntos coincidan sobre la pantalla. Luego se colocará la lente convergente de corta distancia focal (18 mm) sobre el soporte magnético y se posicionará el haz divergente de forma que incida en el centro del separador de haces. En la pantalla se deberá observar un sistema de franjas de interferencia cerrado.

Conteo de las franjas de interferencia

Debido a aberraciones de las componentes ópticas y deficiencias en la alineación, es posible que las franjas de interferencia no sean perfectamente circulares. Sin embargo, este hecho no introduce errores en las mediciones mientras los máximos y mínimos se puedan distinguir.

También es importante que antes de empezar a contar las franjas que se crean o desaparecen debido al movimiento del espejo, el micrómetro se gire una vuelta y se continúe desplazándolo en el mismo sentido. De esta forma se consiguen eliminar los posibles errores de retroceso (backlash) del tornillo.

Las franjas se pueden contar seleccionando una línea de referencia sobre la pantalla donde aparezca un borde entre un máximo y un mínimo. Después el micrómetro se desplazará hasta que el próximo máximo y mínimo alcancen la posición previamente determinada y se contará una franja.

Las franjas se pueden contar automáticamente usando un fotómetro de alta sensibilidad. A tal efecto la pantalla se debe reemplazar por una platina de traslación sobre la cual se monta

una fibra óptica que se conecta al fotómetro. Este sistema permite medir intensidades luminosas relativas sobre un área aproximada de 1 mm^2 .

Primero, el fotómetro se debe colocar en cero impidiendo que llegue luz al detector mediante un plástico o cartón negro. No tocar el extremo de la fibra óptica con los dedos ni rayarla o ensuciarla. El rango (Range) del fotómetro se debe colocar en la escala más sensible y girar el ajuste de cero (Zero Adjust) hasta que el medidor lea cero. Luego, el fotómetro se podrá usar en cualquier escala.

A continuación, girando el tornillo micrométrico se harán pasar los máximos por el extremo de la fibra óptica. Los máximos deben producir en el medidor una lectura mayor a la mitad de la escala. En caso contrario, se deberá usar otra escala más sensible.

Para contar los máximos, la señal producida por el detector del fotómetro al detectar una franja brillante se debe comparar con un voltaje de referencia. Esta calibración se deberá realizar variando el nivel de comparación mediante una perilla que se encuentra en la parte de atrás del fotómetro, de manera que el led verde se ilumine al detectar un máximo y se apague al pasar por un mínimo. Las salidas verde (+) y negra (-) se conectarán a un contador electrónico que contará las transiciones entre los máximos y mínimos.

Una vez calibrado el sistema, se deberá comprobar que el mismo cuenta correctamente el número de máximos de las franjas de interferencia que pasan por el extremo de la fibra óptica. Esta evaluación se realizará comparando los valores obtenidos automática y manualmente para un número de 100-150 franjas.

Medición de longitudes de onda

Para medir la longitud de onda del laser, el micrómetro se posicionará en una lectura de aproximadamente $50 \mu\text{m}$ para asegurar que el movimiento se realiza en una región donde el desplazamiento es lineal. La fibra óptica se posicionará de modo que su extremo coincida con la segunda o tercera franja brillante. Luego, se seguirá moviendo lentamente al micrómetro en el mismo sentido mientras el contador cuenta los máximos (al menos 100). La distancia recorrida por el espejo móvil será igual a la diferencia entre la lectura inicial y final del micrómetro. La longitud de onda se calculará mediante la Ec. (1). Estas mediciones se repetirán entre 7 y 10 veces y se analizarán los errores de medición.

Variación del índice de refracción del aire con la presión

Como analizó previamente, en el interferómetro de Michelson los cambios de fase se introducen usualmente a través de la variación del camino óptico de uno de los haces. Otra forma posible es mediante la modificación del índice de refracción del medio que atraviesa alguno de los haces. Esta metodología se utilizará para medir la variación del índice de refracción del aire con la presión.

Para realizar este experimento, en la base del interferómetro se debe colocar la platina de rotación entre el separador de haces y el espejo móvil, como se muestra en la Fig. 5. Posicionar la celda de vacío sobre la platina de rotación de forma que las placas de vidrio sean perpendiculares al haz laser. La sujeción de la celda en la platina es magnética. Conectar la celda a la bomba de vacío. Posiblemente se necesite alinear de nuevo el espejo fijo de modo que las franjas de interferencia sean visibles en la pantalla de observación. También es probable que las franjas de interferencia se vean distorsionadas debido a las irregularidades en las placas de vidrio que forman la celda de vacío.

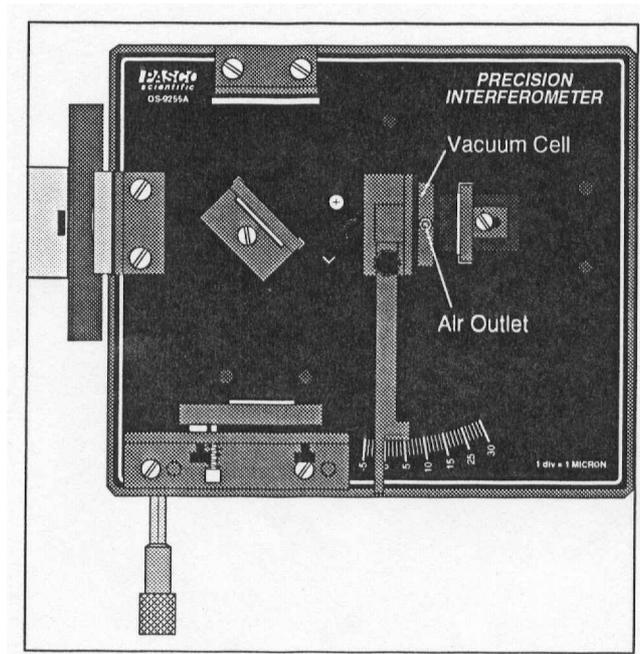


Fig. 5. Sistema óptico para medir la variación del índice de refracción del aire con la presión.

Registrar la presión inicial p_i y lentamente accionar la bomba para generar vacío en la celda. Cuando se llega a la presión final p_f , el contador habrá registrado un número N de transiciones de las franjas de interferencia.

Afuera de la celda de vacío, los caminos ópticos de ambos haces no varían. Sin embargo, la longitud de onda cambia adentro de la celda. Cuando un haz se propaga en un medio de índice de refracción n , su longitud de onda varía de acuerdo a

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (2)$$

donde λ_0 es la longitud de onda en el vacío.

Suponiendo que el índice de refracción del aire varía linealmente con la presión, usando la Ec. (2) se puede demostrar que

$$\frac{n_i - n_f}{p_i - p_f} = \frac{N\lambda_0}{2d(p_i - p_f)} \quad (3)$$

donde n_i y n_f son los índices de refracción del aire a las presiones p_i y p_f , respectivamente y d es la longitud de la celda de vacío (3.0 cm).

Calcular y graficar la variación del índice de refracción del aire con la presión, teniendo en cuenta los errores introducidos en las mediciones.

Medición del índice de refracción de un vidrio

Para medir el índice de refracción de un vidrio es necesario variar la longitud del camino óptico del haz que atraviesa el mismo. Este procedimiento se realizará montando el vidrio sobre la platina de rotación (con sujeción magnética), como se muestra en la Fig. 6.

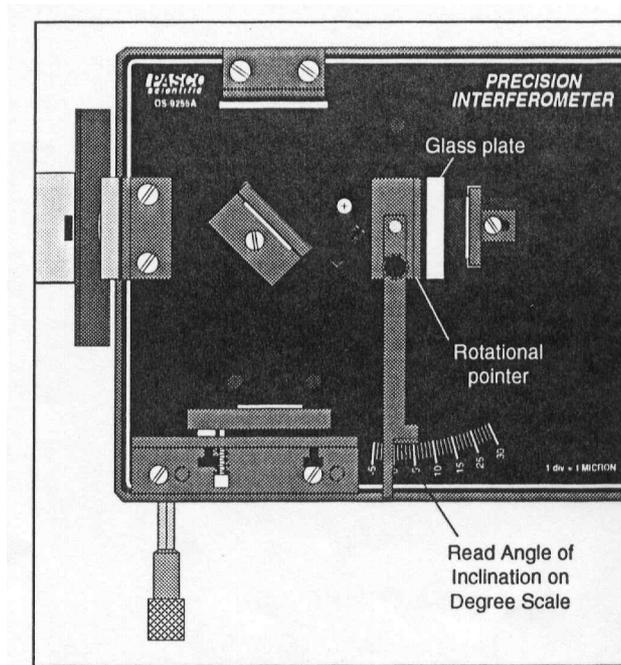


Fig. 6. Sistema óptico para medir el índice de refracción de un vidrio.

Posicionar la platina de modo que su vernier esté alineado con el cero de la escala en grados que está en la base del interferómetro. Remover la lente enfrente del laser y colocar la pantalla entre la placa de vidrio y el espejo móvil. Se debe girar la platina hasta que en la pantalla se observe un único punto brillante. Ahora la placa de vidrio estará perpendicular al haz laser. Corregir el cero de la escala en grados y colocar nuevamente la pantalla y la lente. Introducir ajustes menores en el espejo fijo de forma que las franjas de interferencia se observen en la pantalla. Rotar lentamente la platina y contar las transiciones de franjas que aparecen al pasar de 0° a un ángulo $\theta > 10^\circ$.

El índice de refracción del vidrio n se determinará mediante la expresión³

$$n = \frac{(2t - N\lambda_0)(1 - \cos \theta)}{2t(1 - \cos \theta) - N\lambda_0} \quad (4)$$

IMPORTANTE

Los espejos y el separador de haces no deben ser tocados con los dedos porque se deterioran.

Referencias

1. E. Hecht, *Optics, Third Edition*, Addison-Wesley, 1998.
2. R. D. Guenther, *Modern Optics*, Wiley, 1990.
3. C. L. Andrews, *Optics of the Electromagnetic Spectrum*, Prentice-Hall, 1960.