

PRACTICA DE LABORATORIO III-4

INTERFEROMETRO DE MICHELSON

OBJETIVO

1. Estudiar el fenómeno de interferencia de la radiación electromagnética visible, en un montaje interferométrico del tipo Michelson.
2. Realizar mediciones conducentes a la determinación de longitudes de ondas e índices de refracción.
3. Comprender el concepto de longitud de coherencia.

MATERIALES

- Interferómetro de Michelson
- Lentes varias
- Lámparas de Na, Hg y Luz blanca
- Láser de He - Ne
- Celda Fotovoltaica
- Registrador X-t
- Voltímetro con salida para registrador.

ACTIVIDADES PRELIMINARES

1. Lea con detenimiento la guía.
2. Encuentre que relación debe existir entre el avance X , el número de anillos que se desplazan o colapsan en el campo de visión y la longitud de onda λ de la radiación.
- 2ª. Adapte la relación anterior al caso real. Estime cuantos anillos transcurren en 10 micrómetros de desplazamiento del tornillo micrométrico **Recuerde** que hay una reducción de 5 a 1 en el interferómetro que se encuentra en el laboratorio.

3. Demuestre que de la expresiones (2) y (3) se puede demostrar que $\frac{L_c \Delta \lambda}{\lambda^2} \approx 1$. **(a)** Estime L_c si la fuente de luz es un bombillo de luz blanca cuyo ancho de banda es $\Delta \lambda \sim 350$ a 650 nm . **(b)** Un láser de HeNe donde el ancho de banda es de $\Delta \lambda \sim 0.0005$ nm.
4. Usando una fuente altamente incoherente (bombillo) usted puede conseguir la condición de interferencia (los brazos del interferómetro son aproximadamente iguales) y descubrir que esta se reduce a unos pocos micrómetros. Explique una metodología y derive las expresiones matemáticas correspondientes, para determinar el índice de refracción de una muestra colocada en uno de los brazos y que tiene un espesor d .

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El interferómetro de Michelson pertenece a la clase de los interferómetros de división de amplitud, esto quiere decir que los haces que interfieren se originan dividiendo (o produciendo dos copias idénticas) el haz de luz original. El interferómetro de Michelson utiliza una placa de vidrio parcialmente reflectora, donde se dividen y también se recombinan los haces reflejados en los espejos, vea la figura 3.

Interferencia constructiva

Se puede demostrar que, la diferencia de camino óptico X (en aire) para un haz que viaja dentro del interferómetro, a un cierto ángulo θ y una diferencia en la longitud de los brazos t es igual a

$$X = 2t \cos \theta$$

Por la simetría del sistema (fuente esférica) , tenemos un rango de ángulos θ disponibles –dependiendo de la apertura del sistema-, por lo tanto el patrón de interferencia consiste en anillos, que en el estado de alineación, deben ser concéntricos y se distorsionan en igual forma al observar el patrón desde un ángulo dado fuera de la normal en cualquier dirección.

En consecuencia los máximos de luz son círculos donde se cumple que

$$2t \cos\theta = m\lambda \quad (1)$$

Tiempo y Longitud de coherencia

La ecuación anterior es cierta siempre y cuando se cumpla que $2t$ sea menor que la longitud de coherencia L_c . Esto es un efecto del contenido espectral del haz de luz $\Delta\lambda$ ($\equiv \Delta f$) esta afirmación la vamos a ilustrar seguidamente. En la figura siguiente se da un ejemplo cualitativo usando una fuente de luz posee una mezcla de dos colores rojo y verde, con longitudes de onda λ_V y λ_R , y que están en fase a $t=0$. En el siguiente gráfico se observa claramente como, después de un cierto tiempo $2\tau_c$, ambos haces de luz están completamente desfasados (π rad.).

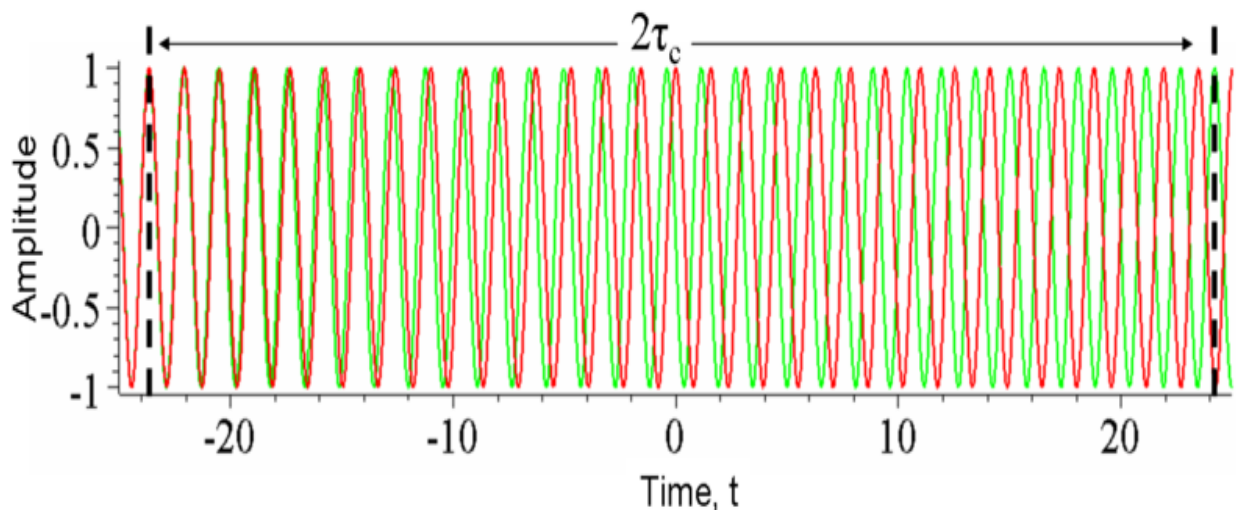


Figura 1. Muestra de cómo dos ondas de longitud de onda diferente se desfasan paulatinamente con el tiempo, hasta un desfase de π .

$2\tau_c$ se conoce en la literatura como **el tiempo de coherencia**. En general invocando los principios de composición de Fourier, se puede obtener la siguiente expresión

$$\Delta f \sim \frac{1}{2\tau_c} \quad (2),$$

que relaciona Δf , la banda de frecuencias que compone el haz de luz en unidades de Hz con τ_c . Esta expresión indica que el contenido espectral (ancho de banda) es el recíproco de $2\tau_c$.

El tiempo de coherencia de una onda electromagnética está conectado a L_c la **longitud de coherencia** de la siguiente forma

$$L_c = c \tau_c \quad (3),$$

donde c es la velocidad de la luz.

De lo anterior se infiere que en la recombinación de dos haces de radiación electromagnética, con una diferencia de camino óptico fijo X , y un contenido frecuencial Δf , si $X \gg L_c$ el resultado de la interferencia de ambos haces **es incoherente** con respecto a la condición $X=0$. Esto es debido a que el resultado de la interferencia para $X \gg L_c$ es la suma de las amplitudes de los distintos ingredientes frecuenciales que respectivamente tienen fases muy diferentes. Sin embargo $X \leq L_c$ la cercanía de la fases entre los ingredientes frecuenciales garantiza un grado de **coherencia**

como para por ejemplo, poder diferenciar interferencia constructiva y destructiva.

Resumiendo, sólo dentro de una distancia L_c en un haz de luz ,se puede garantizar que dos puntos del haz se comporten como legítimos elementos de una onda.

Medición del índice de refracción

Como se trató de ilustrar en la sección anterior, no es posible producir interferencia constructiva o destructiva, más allá del tiempo o de la longitud de coherencia si la fuente de luz tiene un cierto contenido espectral. Esto implica, que la diferencia X de camino óptico entre los dos brazos del inteferómetro de Michelson debe ser menor que la L_c de la luz.

En el caso de una fuente de luz altamente incoherente, como un bombillo normal, la longitud de coherencia es un número muy pequeño, del orden de los micrómetros (Ver actividades preliminares). En un interferómetro de Michelson como el que tenemos en el laboratorio, es posible reducir la diferencia de camino óptico entre los dos brazos para poder obtener interferencia constructiva y destructiva aún en este caso.

Lograda esta condición, esta desaparece inmediatamente si colocamos alguna muestra transparente (vidrio, mica,cuarzo,...) en uno de los brazos. Si uno corrige la descompensación en la fase, debida a la presencia de la muestra, utilizando el espejo que permite ser desplazado, y mide la magnitud de ese desplazamiento; usted tendrá suficiente información para determinar el índice de refracción del material (Ver actividades preliminares).

FUNDAMENTOS EXPERIMENTALES

La descripción de los principios de un interferómetro de Michelson están explicados detalladamente en la literatura. En la figura 3, se muestra un esquema del aparato. Consiste de una lámina semi transparente que divide el haz incidente en dos haces perpendiculares entre sí. Cada uno de estos haces es reflejado en espejos, para recombinarlos en un haz de salida donde se puede observar la interferencia que ocurre por el desfase producido por la diferencia de caminos entre ambos brazos del interferómetro.

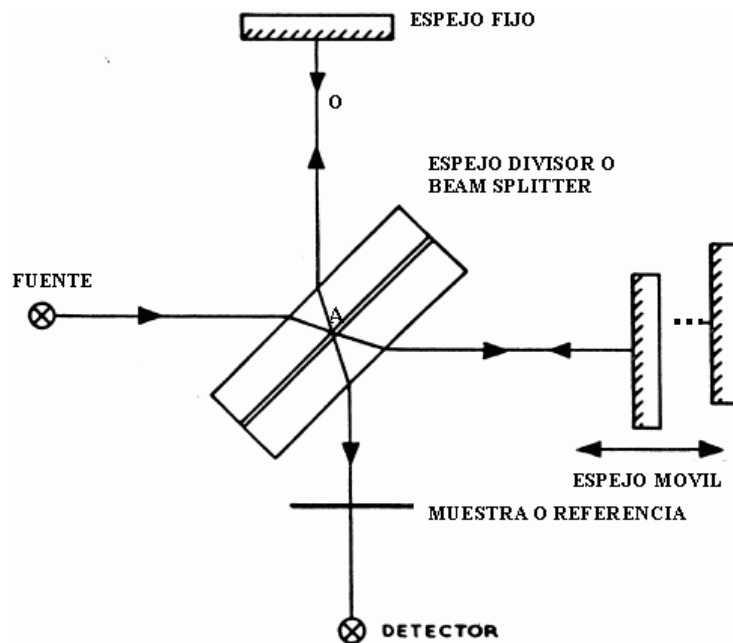


Figura 3. Interferómetro de Michelson. Note que en el laboratorio las dos secciones del espejo divisor ,frontal y trasera, están separadas por ~ 5 cm.

Uno de los espejos (fijo) cuenta con la posibilidad de alineación alrededor del eje paralelo y perpendicular al papel, el otro (móvil) con un avance normal para cambiar la diferencia de caminos entre los brazos,

como se indica en la figura. **Para avanzar, el espejo está equipado con una interfase que provee una reducción de 5 a 1 entre el tornillo micrométrico y el desplazamiento actual del espejo.**

La alineación de este instrumento requiere de cuidado y paciencia por parte del operario. El sentido común es un gran aliado en esta tarea.

Para la alineación trate que su haz de luz se desplace centrado a lo largo de ambos brazos del instrumento y que las dos imágenes coincidan en el punto de salida. Comience usando el láser de HeNe

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Una vez que se familiarice con el instrumental, se proponen llevar a dos mediciones que ilustran las aplicaciones del interferómetro de Michelson

1. Determinación de longitudes de onda de una radiación cuasi monocromática : láser de HeNe y luz emitida por mercurio (Hg).

Para llevar a cabo esto se deberá registrar el número N de anillos para un cierto avance " X " del espejo móvil. Usted debe haber obtenido la relación matemática necesaria para este propósito (actividades preliminares 2^a). Repita el procedimiento para varios valores de N o de X (como usted prefiera). Realice un ajuste lineal y determine λ .

2. Determinación del índice de refracción de un material semitransparente.

El segundo procedimiento involucra la determinación del índice de refracción de una lámina de material transparente y espesor conocido. Esta observación se basa en el patrón de interferencia observado con luz blanca cuando los caminos en ambos brazos coinciden. La lámina debe colocarse en el brazo fijo sobre la mitad del campo, la observación así lograda será

medio campo con patrón de interferencia de luz blanca y medio campo sin interferencia. Cambiando el brazo con micrómetro podrá observarse de nuevo el patrón de interferencia en la zona del campo por donde la radiación atraviesa la lámina. En las actividades preliminares debe encontrarse la relación entre el avance necesario, el espesor y el índice de refracción del material.

Use al menos 3 muestras de las disponibles en el laboratorio.

Comentarios y sugerencias

- El patrón de interferencia de la luz blanca consistirá de una banda negra con bandas de los colores del espectro de la luz blanca a ambos lados de la banda negra.
- La parte de más cuidado en este experimento es el encontrar el patrón de interferencia con la luz blanca. Para lograr esto se sugiere, usar la lámpara de mercurio y expandir el diámetro de la región luminosa central mediante el desplazamiento del espejo móvil. Cuando el campo esté prácticamente cubierto con la región luminosa central, encienda la luz blanca (apague la de mercurio) y cuidadosamente (recuerde actividad 3a) continúe desplazando el espejo hasta conseguir el patrón de interferencia.
- Los procedimientos en (1) y (2) deberán ser repetidos varias veces a fin de obtener una estadística adecuada, ya que los errores son difíciles de expresar cuantitativamente.

BIBLIOGRAFIA

Cualquier libro de óptica cuenta con información acerca de interferómetro de Michelson. En particular puede verse al:

1. “Optica” Eugene Hecht y Alfred Zajac. Fondo educativo interamericano, S. A.
2. Google:”michelson interferometer applet”