

Interferencia de ondas de luz

Objetivos

Deducir la naturaleza ondulatoria de la luz, mediante el análisis de patrones de interferencia.

Introducción

El interferómetro de precisión proporciona una introducción teórica y práctica del fenómeno de interferencia. Con este instrumento se pueden realizar tres tipos de interferómetros:

Michelson

La configuración de las componentes ópticas del interferómetro de Michelson permite calcular la longitud de onda de la luz que se está ocupando para iluminar, permite medir el índice de refracción de varias sustancias, además de detectar cambios de presión, temperatura, etc.

Twyman – Green

Es un interferómetro que se ocupa para la caracterización de componentes ópticos, por lo que gracias a su uso se han podido crear componentes ópticos con una precisión de una fracción de una longitud de onda.

Fabry – Perot

Es un arreglo interferométrico que se ocupa para realizar espectrometría de alta resolución. Las franjas que se obtienen son más agudas, finas y espaciadas que las franjas obtenidas con un interferómetro tipo Michelson. Además, se utiliza para realizar una cavidad en la cual se puede amplificar la luz al hacerla reflejarse múltiples veces.

Teoría de interferencia

Un haz de luz puede modelarse como una onda oscilante de campos eléctricos y magnéticos. Cuando dos o más haces de luz interfieren en el espacio ambos campos se pueden sumar según el principio de superposición. Es decir, en cada punto del espacio el campo eléctrico y el campo magnético se determina como el vector resultante de la suma de los campos de cada haz por separado.

Si cada haz de luz proviene de una fuente independiente no existirá relación entre las oscilaciones electromagnéticas de los haces. En algún instante del tiempo habrá puntos en el espacio donde los campos se suman para producir un máximo. Sin embargo, las oscilaciones de la luz visible son tan rápidas que el ojo humano no puede percibir dichas oscilaciones. Puesto que no hay ninguna relación fija entre las oscilaciones un punto al cual existe un máximo en un instante quizás tenga un mínimo en otro instante próximo. Así, el ojo humano promedia estos resultados y percibe una intensidad uniforme de luz.

Si los haces de luz provienen de la misma fuente, generalmente existe una correlación entre la frecuencia y la fase de las oscilaciones. En algún punto del espacio tanto el campo eléctrico como el magnético se superponen, dando como resultado la interferencia constructiva o destructiva. Si la interferencia es constructiva se pueden obtener máximos de intensidad que se observarán como franjas o anillos brillantes, por otro lado, si la interferencia es destructiva se observarán franjas o anillos oscuros.

Thomas Young fue uno de los primeros en idear y diseñar un método para obtener un patrón de interferencia. Él hizo pasar un haz de luz estrecho a través de dos ranuras. Enfrente de las ranuras colocó una pantalla y logró observar un patrón regular de bandas oscuras y brillantes.

Las aberturas de la rejilla de Young se ocupan para observar el fenómeno de interferencia. Si se conoce el espacio entre las aberturas, la distancia entre los máximos o mínimos de intensidad y la distancia entre la rejilla y la pantalla de observación, entonces se puede determinar la longitud de onda de la luz con la que se está iluminando la rejilla.

El interferómetro de Michelson

En 1881, Michelson diseñó y construyó un interferómetro usando el principio de interferencia. Originalmente diseñó su interferómetro como un instrumento para probar la existencia del éter, un medio hipotético en el cual la luz se propaga. Debido a sus experimentos, se comprobó que no existía un éter.

En la figura 1 se muestra la configuración de las componentes ópticas del interferómetro de Michelson. El haz monocromático que proviene del láser pasa a través del divisor de haz, permitiendo así dividir la amplitud del haz en dos haces de igual amplitud. Un haz es transmitido hacia el espejo móvil (M1) y el otro es transmitido hacia el espejo fijo (M2). Ambos espejos reflejan la luz sobre el mismo camino óptico hacia el divisor de haz donde se superponen, y dado que los haces provienen de la misma fuente, sus fases están correlacionadas.

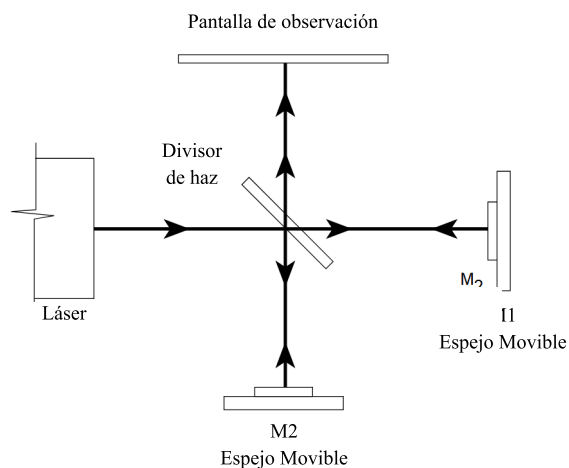


Figura 1. Configuración del interferómetro de Michelson.

Cuando se coloca una lente entre el láser y el divisor de haz, la fuente puntual de luz se extiende y un patrón de interferencia que consiste en anillos oscuros y brillantes se puede visualizar en la pantalla de observación como se muestra en la figura 2.

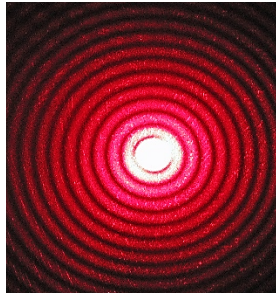


Figura 2. Patrón de interferencia.

Se puede modificar el camino óptico de uno de los haces al mover el espejo M1, ya que el haz recorre dos veces la trayectoria entre M1 y el divisor de haz. Al acercar el espejo al divisor de haz $1/4$ de longitud de onda, se reducirá la longitud de camino óptico del haz $1/2$ longitud de onda. Así, el patrón de interferencia cambiará y los radios de los máximos se reducirán, ocupando ahora la posición de los mínimos anteriores. Si M1 se acerca $1/4$ de longitud de onda más cerca del divisor, los máximos y mínimos de intensidad cambiarán de posición, sin embargo, el patrón de interferencia será diferente al anterior.

Moviendo lentamente el espejo una distancia conocida d_m y contando el número de veces que el patrón de franjas se restaura a su estado original (m), se puede calcular la longitud de onda (λ) como:

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

Por otro lado, si se conoce la longitud de onda de la luz que se está empleando, se puede calcular d_m .

Material

- Interferómetro de precisión.
- Láser.
- Plataforma mecánica variable.

Procedimiento

Advertencia: Abstenerse de mirar directamente el haz láser, ya que puede causar daños severos a la vista.

1. Coloque la base del interferómetro de precisión en la mesa del laboratorio, con la perilla del micrómetro apuntando hacia usted.

2. Coloque perpendicularmente el banco de alineación del láser a la izquierda de la base y coloque el láser sobre el banco.
3. Coloque el espejo móvil en la base del interferómetro (vea la figura 3).
4. Utilizando el tornillo de ajuste del banco para el láser, ajuste la altura de forma que el haz de luz monocromática sea paralelo con el borde de la base del interferómetro. Luego ajuste la altura del láser de forma que el haz de luz incida en el centro del espejo móvil. Para comprobar que el haz es paralelo con la base, coloque un pedazo de papel en la trayectoria del haz con el borde de la orilla del papel en la base. Marque la altura del haz en el papel. Usando el pedazo de papel compruebe que la altura del haz sea igual en ambos extremos del banco.
5. Ajuste la posición x-y del láser hasta que el haz del espejo móvil se refleje nuevamente en la abertura del láser (es decir, que el haz regrese por el mismo camino óptico). Esto puede realizarse fácilmente si se desliza suavemente el extremo posterior del láser hacia el eje del banco de alineación, (figura 3).

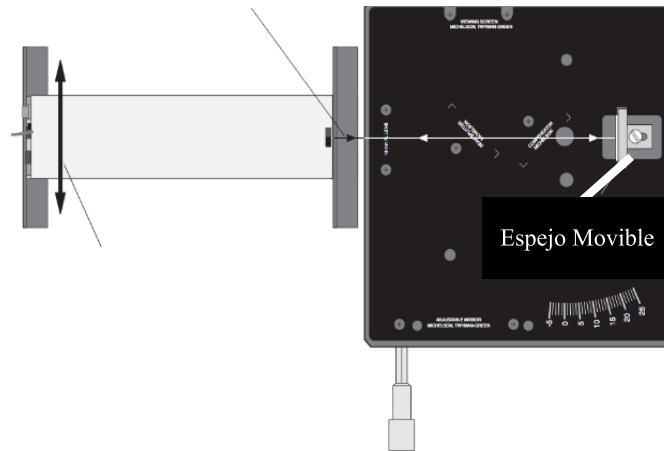


Figura 3. Alineación del láser y el espejo móvil.

6. Monte el espejo ajustable sobre la base del interferómetro (justo arriba del tornillo micrométrico).
7. Coloque una de las piezas para sujetar componentes enfrente del láser. La otra pieza colóquela del lado opuesto del espejo ajustable, y fije la pantalla de observación en la montura por medio de la superficie magnética (Figura 4).
8. Coloque el divisor de haz (espejo semi-plateado) en un ángulo de 45° respecto del láser, de modo que el haz refleje en el centro del espejo fijo.

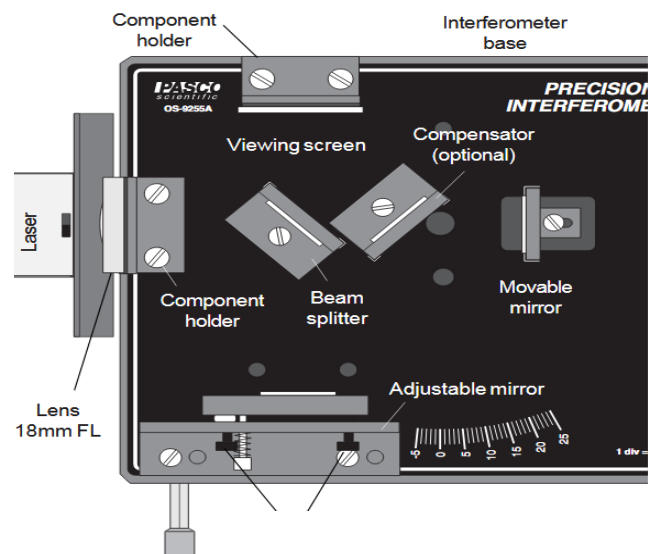


Figura 4. Arreglo experimental del interferómetro de Michelson.

9. Ahora sobre la pantalla deberán aparecer dos conjuntos de puntos brillantes. Cada uno de esos conjuntos incluye un punto brillante con dos o más puntos de menor intensidad (por las múltiples reflexiones que han experimentado). Ajuste nuevamente el ángulo del divisor de haz, hasta que los dos conjuntos de puntos estén lo más cerca posible. Una vez logrado esto, ajuste el tornillo para asegurar el divisor de haz en esa posición.
10. Usando los tornillos ubicados en la parte posterior del espejo ajustable, ajuste la inclinación del espejo hasta que los dos conjuntos de puntos coincidan en la pantalla.
11. Fije sobre el sujetador de componentes que se encuentra enfrente del láser, una lente de 18 mm de distancia focal. Ajuste su posición hasta que el haz divergente se encuentre centrado sobre el divisor. Ahora, se deberán observar anillos circulares sobre la pantalla. Si ese no es el caso, revise la inclinación del espejo ajustable.

Cálculo de la longitud de onda

1. Una vez que el interferómetro en su configuración Michelson esté listo, coloque la perilla del micrómetro en la escala de $50\mu\text{m}$, ya que la relación entre la lectura del micrómetro y el movimiento del espejo es casi lineal.
2. Gire la perilla del micrómetro en sentido antihorario hasta que el cero de la perilla esté alineado con la marca transversal del micrómetro.
3. Ajuste la posición de la pantalla de visualización de modo que una de las marcas en la escala milimétrica, esté alineada con una de las franjas en su patrón de interferencia (ver figura 5). Le resultará más fácil contar las franjas si la marca de referencia es una o dos franjas desde el centro del patrón.
4. Gire la perilla del micrómetro lentamente en sentido antihorario. Cuente las franjas a medida que pasan su marca de referencia. Continúe hasta que un número predeterminado de franjas haya pasado su marca (cuente al menos 20 franjas). Cuando termine su conteo, las franjas deben estar en la misma posición con respecto a su marca de referencia que estaban cuando comenzó a contar. Registre la lectura final del dial micrométrico.
5. Registre el número de transiciones que realizó para obtener las mismas franjas.
6. Con los datos obtenidos en los pasos 4 y 5, calcule la longitud de onda del láser empleando la ecuación (1).
7. Realice varias muestras y promedie los resultados.

Preguntas

1. En el cálculo de la longitud de onda λ basado en el movimiento del micrómetro, ¿Por qué d_m está multiplicado por 2?
2. ¿Por qué se debe mover el espejo varias veces en lugar de solo una? ¿Por qué tomar varias medidas y promediar los resultados?
3. Si conoce con precisión la longitud de onda de su fuente de luz, compare sus resultados con el valor conocido. Si hay una diferencia, ¿a qué la atribuye?
4. Al medir el movimiento del espejo con el dial micrométrico del interferómetro, ¿qué factores limitan la precisión de su medición?