

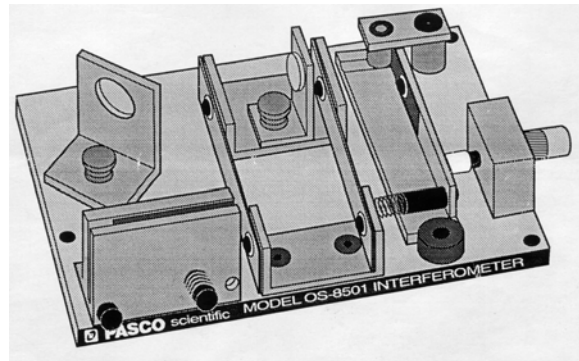
Práctica 4. Interferencias por división de amplitud

1.- OBJETIVOS

- Estudiar una de las propiedades ondulatorias de la luz, la interferencia.
- Aplicar los conocimientos para la medida (interferometría) de longitudes de onda o distancias.

2.- MATERIAL

- Interferómetro.
- Fuente de luz (láser, lámpara espectral)
- Lente de distancia focal corta para expandir el haz.
- Dispositivo para realizar vacío y medir presiones.



3.- FUNDAMENTO TEÓRICO

Un rayo de luz es una onda electromagnética, de campos E y B variables. Cuando dos rayos de luz se encuentran, los campos se superponen, y en cada punto del espacio el vector E o B será la suma vectorial de los campos de los rayos individuales.

Si los dos haces de luz provienen de fuentes distintas, en general no hay relación constante entre los campos de cada haz, de manera que cuando estos se superponen el campo resultante oscila con el tiempo, y el ojo humano percibe una intensidad promedio uniforme.

Si los dos haces proceden de la misma fuente, estarán correlacionados en frecuencia y fase. De esta forma, cuando los rayos se superponen (interfieren) se producirá una interferencia constructiva si el estado de fase es el mismo, y se tendrá un máximo en intensidad. Si, por el contrario, los campos se encuentran en oposición de fase, la superposición supondrá la anulación del campo total, y se produce un mínimo (cero) en la intensidad.

Thomas Young fue el primero en diseñar un método para producir y visualizar los máximos y mínimos de intensidad descritos anteriormente. La luz que, procedente de una misma fuente, llega a una pantalla tras haber atravesado dos rendijas estrechas y juntas,

2 Interferencias por división de amplitud

forma un patrón regular de bandas brillantes y oscuras. Este patrón de interferencia constituyó una evidencia concluyente de la naturaleza ondulatoria de la luz. La *doble rendija de Young* es el primer y más simple interferómetro: por una parte, si el espacio entre las rendijas es conocido, el espaciado entre los máximos y mínimos interferenciales permite medir la longitud de onda. Por otra parte, si se conoce la longitud de onda, se puede determinar el espaciado entre las rendijas.

Interferómetro de Michelson

Aunque inicialmente Michelson diseñó este interferómetro (1881) para detectar el éter, una vez que fue imposible demostrar su existencia se utiliza su dispositivo para medir longitudes de onda o para, conocida la longitud de onda de una fuente emisora, medir distancias muy pequeñas o índices de refracción de distintos medios.

La figura 1 muestra un esquema:

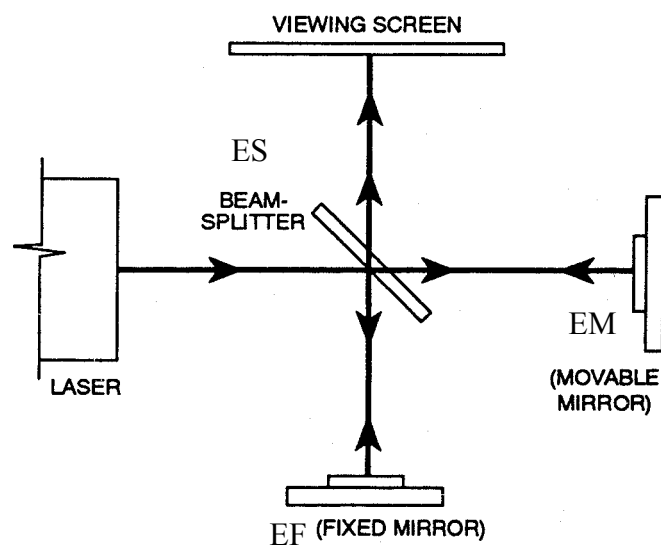


Figura 1

Un rayo procedente del láser es desdoblado mediante un espejo semitransparente ES (espejo que refleja sólo el 50% de la luz que incide sobre él, dejando pasar el otro 50%). Uno de los rayos se refleja en el espejo fijo EF, y el otro en el espejo móvil EM. Ambos rayos vuelven a juntarse en la pantalla. Sobre la pantalla vemos la superposición o interferencia de los dos haces de luz, cuyas fases (estados de oscilación de los campos), están altamente correlacionadas por proceder de la misma fuente. Si con una lente abrimos el haz justo antes de ser desdoblado, se podrá observar en pantalla el modelo de interferencia formado por anillos alternativamente claros y oscuros. Es el patrón de interferencia que se muestra en la figura 2:

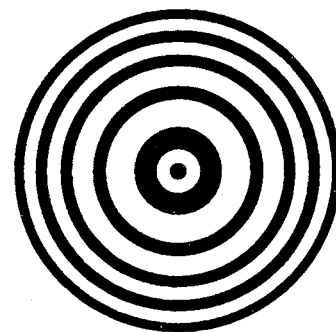


Figura 2

¿Cómo se ha formado? Inicialmente los dos haces desdoblados estaban en fase. La diferencia de fase que haya entre ellos cuando se encuentren de nuevo en un mismo punto del espacio dependerá de la diferencia de camino que hayan recorrido. Si EF y EM están a la misma distancia del espejo semitransparente, el camino recorrido por ambos rayos es el mismo, y por tanto llegarán en fase a la pantalla, y la interferencia en cualquier punto será máxima o mínima pero constante en el tiempo, lo que nos permite observar el patrón de interferencia.

Moviendo el espejo EM cambiaremos esta situación. Si la distancia ES-EM se varía en un cuarto de longitud de onda, los haces en pantalla estarán en oposición de fase (desfasados 180°). Esto es debido a que el haz que va de ES a EM recorre esa distancia dos veces, por lo que la diferencia de camino recorrido por los dos haces es de media longitud de onda: en la pantalla las posiciones de los máximos y mínimos estarán intercambiadas.

Si se varía ahora la distancia de ES a EM en media longitud de onda, de nuevo los haces estarán en fase en la pantalla. El modelo de interferencia volvería a ser ahora como inicialmente.

De esta forma, moviendo EM tendremos un modelo de interferencia que va variando al variar la posición del espejo, y que volverá a ser como inicialmente cada vez que el espejo se mueva un múltiplo de la semilongitud de onda de la luz utilizada.

Por tanto, moviendo EM una distancia d_m y contando m , el número de veces que el patrón de interferencia vuelve a ser como inicialmente, se puede calcular la longitud de onda λ de la luz utilizada:

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

Si la longitud de onda es conocida, se puede usar el mismo procedimiento para medir una distancia d_m .

4.- MÉTODO EXPERIMENTAL

La figura 3 muestra un esquema del interferómetro de Michelson.

Los espejos disponen de tornillos de ajuste para facilitar el alineamiento de los haces. El

4 Interferencias por división de amplitud

movimiento del espejo móvil EM se controla y mide con un tornillo micrométrico, del que cada división corresponde a una micra (10^{-6} m) de desplazamiento de EM.

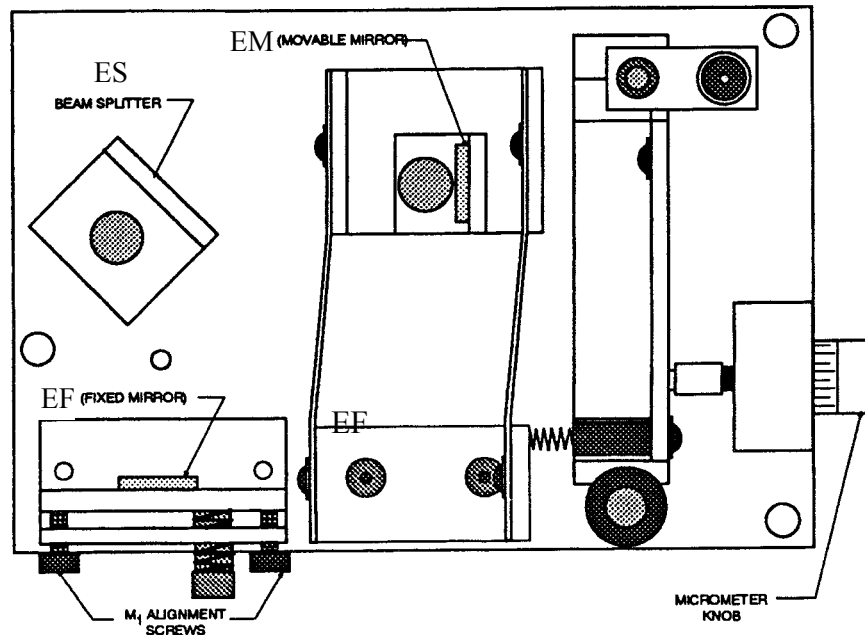


Figura 3

Alineamiento del interferómetro

1.- Colocar el láser y el interferómetro a unos 10-20 cm, sobre una superficie plana, y colocar una pantalla frente al espejo EF, según el esquema de la figura 4. Conectar el láser.

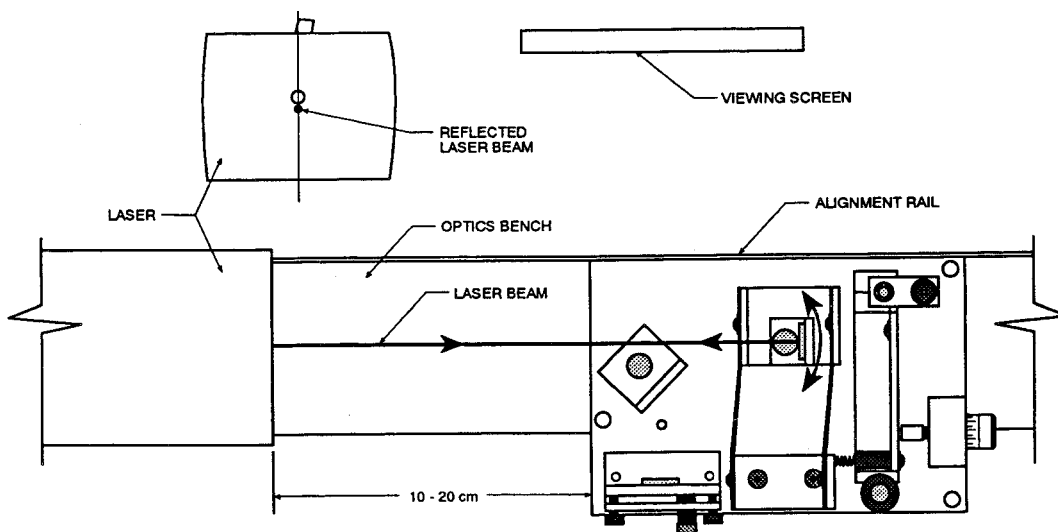


Figura 4

2.- Aflojar los tornillos de ES y girarlo para que no tape el haz, como se ve en la figura. A continuación aflojar los tornillos de EM y rotarlo ligeramente hasta colocarlo en incidencia normal: el haz tiene que ser reflejado de nuevo hacia la apertura de salida del láser, pudiendo no coincidir exactamente con el orificio de salida, pero sí debe estar sobre la misma vertical. Fijar entonces la posición de EM.

3.- Girar de nuevo ES para que su superficie forme un ángulo de unos 45° con el haz láser (figura 5). Aparecerán dos conjuntos de puntos en la pantalla, y se debe ajustar el ES para que las dos series de puntos estén lo más próximas posible. Fijar el ES.

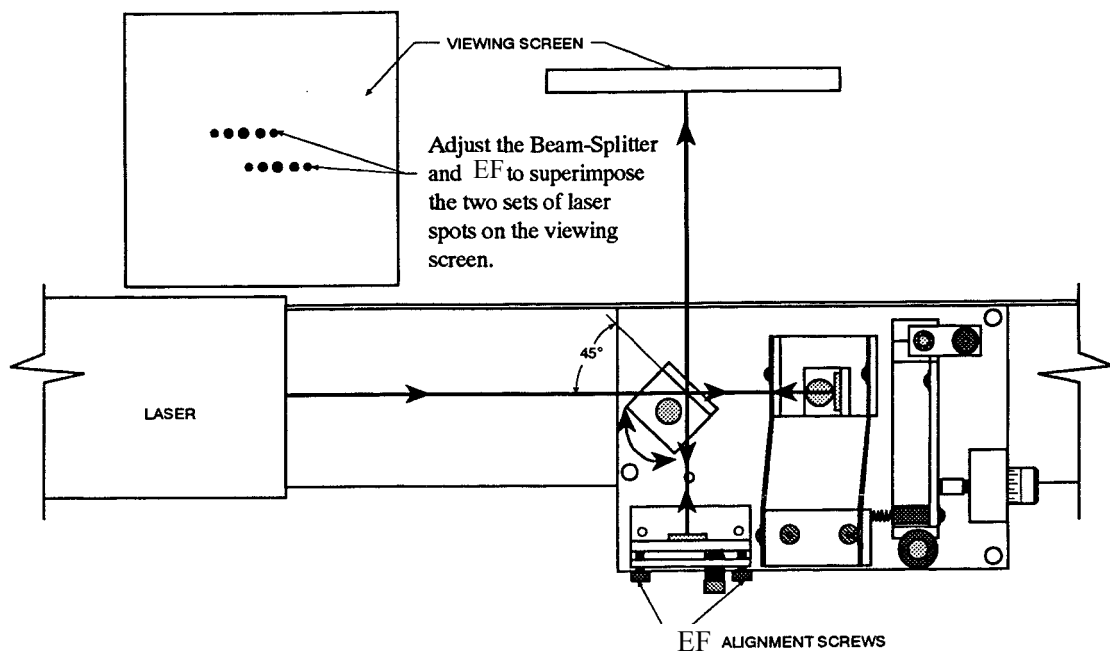


Figura 5

4.-Ajustar el ángulo de EF para que las dos series de puntos coincidan en pantalla.

5.- Poner la lente de 18 mm de distancia focal a la salida del haz (se adhiere con imanes) de forma que el haz abierto por la lente incida en el centro de ES. Si el alineamiento se ha realizado correctamente, aparecerá en pantalla un patrón de interferencia de anillos concéntricos (figura 2). Si no se ve el centro, ajustar el alineamiento de EF lentamente para centrar los anillos interferenciales.

I. Medida de la longitud de onda de la luz

- Alinear el láser y el interferómetro como se describe anteriormente para observar claramente el patrón de interferencias en pantalla.

6 Interferencias por división de amplitud

- Ajustar el tornillo micrométrico de forma que el brazo sea casi paralelo a la base del interferómetro, ya que así la relación entre la rotación del tornillo y el movimiento de EM es prácticamente lineal.

- Hacer una marca en un folio sobre la pantalla. Esta referencia debe estar entre dos anillos, y si se hace dos o tres anillos lejos del centro será más fácil contar los desplazamientos.

- Girar el tornillo micrométrico en el sentido contrario a las agujas del reloj lentamente, y contar los anillos conforme van pasando por la marca de referencia hasta un total de m . Repetir este proceso para varios anillos y anotar la distancia (d_m) recorrida por el espejo en cada caso (recordar que cada división del tornillo micrométrico es una micra).

Resultados:

- 1) Representar gráficamente los resultados, distancia d_m frente a número de anillos m .
- 2) Realizar un ajuste por mínimos cuadrados. La pendiente es la mitad de la longitud de onda de la fuente láser. Analizar y comentar los resultados.

II. Medida de índice de refracción

Para una luz de frecuencia dada, la longitud de onda varía según la expresión:

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

siendo λ_0 la longitud de onda en el vacío, λ la longitud en el medio donde se está propagando la luz y n el índice de refracción de dicho medio.

Si la presión es baja, el índice de refracción de un gas varía linealmente con la presión. Mediremos el índice de refracción del aire a varias presiones. El fundamento de estas medidas es que variar el índice de refracción en parte del camino óptico, equivale a variar la longitud de onda y por tanto produciremos un cambio en la fase relativa de los rayos, cambiando la posiciones de máximos y mínimos en el patrón de interferencia.

- Alinear el láser y el interferómetro como se describe anteriormente.
- Insertar la cámara de vacío en el orificio dispuesto en la base del interferómetro, en el camino de ES a EF. Rotarla de forma que esté perpendicular al rayo (nos podemos ayudar observando los anillos interferenciales).

- Evacuar el aire de la cámara de vacío, de manera que en el interior, $P \cong 0$ atm.
- Marcar un punto de referencia sobre la pantalla.
- Hacer entrar lentamente el aire en la cámara hasta un presión P_1 , y mientras ir contando el número de anillos que pasan por la referencia.
- Continuar aumentando la presión hasta sucesivos valores P_i y contando los m_i anillos (de forma acumulativa). NUNCA se debe sobrepasar la presión atmosférica.

Resultados:

3) Para cada P_i , calcular el índice de refracción según

$$n_i = \frac{m_i \lambda_0}{2d} + n_0 \quad (3)$$

siendo n_0 el índice de refracción del vacío ($n_0 = 1$), y d la longitud de la cámara de vacío ($d = 3.0$ cm).

4) Representar gráficamente n frente a P . Realizar el ajuste de los datos.

5) Consultar en la bibliografía la dependencia del índice de refracción con la presión y comentar los resultados.

NOTA: se ha fijado un punto $(P_0, n_0) = (0, 1)$, siendo $n_0 = 1$ un valor teórico y $P_0 = 0$ mm Hg un valor experimental. Una causa de error sistemático importante es el hecho de que no se alcance un vacío absoluto en la cámara. Si esto ocurre, comentar la posible influencia en los resultados.

6) Opcional: si se dispone de algún gas, repetir la experiencia para éste, y comparar la dependencia n - P obtenida en uno y otro caso.

III. Interferometría con una lámpara espectral.

Si la fuente de luz es una lámpara espectral, podemos medir la longitud de onda emitida tal como se hizo en el apartado I, pero con ligeras modificaciones.

- Si la lámpara emite varias longitudes habrá que colocar un filtro a la salida de la fuente.

8 *Interferencias por división de amplitud*

- Los anillos interferenciales no se podrán ver sobre la pantalla, sino sobre el espejo semitransparente ES.
- Se puede realizar el alineamiento con el láser, pero al sustituir éste habrá que hacer algunos ajustes:
 - Sobre el difusor a la salida de la lámpara se coloca una cruz de enfoque.
 - Mirando a través de ES hacia EF se verán dos imágenes de la cruz, y ajustando la rotación de ES y EM la dos imágenes se verán muy próximas.
 - Se debe ahora ajustar los tornillos de alineamiento de EF hasta que las dos imágenes se superpongan. Los anillos serán visibles mirando a EF a través de ES.

Resultados

7) Realizar las medidas como se describe en el apartado I y determinar las longitudes de onda emitidas por la fuente, contrastándolas con datos de la bibliografía.