

Práctica 6: Interferencia y difracción II: interferómetro de Michelson.

Tomás Basile, Jessica Gallegos, Rebeca Rangel

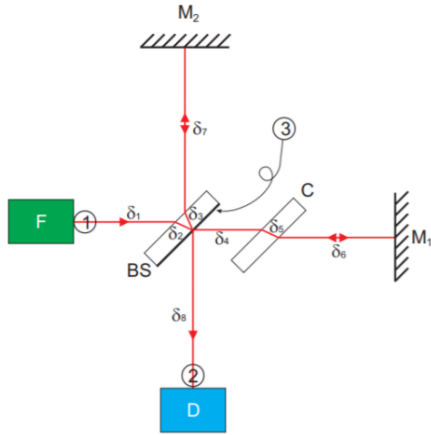
21 de agosto de 2021

Resumen

En esta práctica estudiaremos el fenómeno de interferencia utilizando el famoso interferómetro de Michelson. Este dispositivo se utiliza para separar un haz láser en dos partes que siguen distintos recorridos, los cuales, después, se hacen interferir sobre una pantalla, dándonos información sobre la diferencia en longitud de los recorridos. El objetivo de este experimento es observar las franjas de interferencia tras utilizar el interferómetro y usar esta información para calcular la longitud de onda del láser. De esta forma obtendremos una medida experimental de la longitud de onda del láser y luego podremos compararla con el valor verdadero y estimar el error de nuestro experimento.

I. Introducción y Teoría

El interferómetro de Michelson utiliza un divisor de haz para separar un rayo en dos partes con aproximadamente la misma intensidad, luego las dos partes recorren distintos caminos y finalmente se hacen interferir. El esquema general de un interferómetro de Michelson se presenta en la figura 1.



El bloque F representa un láser, que es la fuente de luz en el experimento. Se hace pasar el láser por un divisor de haz orientado a 45 grados, el cual refleja la mitad del haz hacia arriba y transmite la otra mitad hacia la derecha. La primera mitad se llama brazo reflejado y se reflejará en el espejo M_2 para luego regresar al divisor de haz. La segunda mitad se llama brazo transmitido y es la que se refleja en el espejo M_1 antes de volver al divisor. Cuando ambas partes regresan al divisor, una fracción del primer haz se transmite y una fracción del segundo haz se refleja en éste. Estas partes se juntan en el detector (2) e interfieren.^[3]

Figura 1: Esquema del interferómetro de Michelson

Dado que ambos haces fueron divididos de la fuente inicial, se infiere que ellos estaban inicialmente en fase. Sin embargo, al llegar al detector, tendrán un desfase debido a una diferencia de camino óptico entre las dos trayectorias. Si los dos espejos

están a la misma distancia del divisor, se dice que el interferómetro está balanceado, pues los caminos ópticos en el brazo reflejado y en el transmitido serán iguales (para asegurarnos de eso, se añade el vidrio marcado por C en la figura 1, ya que el haz reflejado tuvo que atravesar tres veces el vidrio BS, y al agregar C nos aseguramos que el segundo haz también atraviesa tres veces un vidrio).^[1]

Por lo dicho en el párrafo anterior, la única razón por la que pueda existir un desfase entre los haces es debido a una diferencia en la longitud de los brazos. Luego, cuando ambos haces llegan al detector, pueden interferir y generar un patrón de interferencia que dependerá de la diferencia en longitud de los brazos.^[2] Para que exista esta interferencia, es importante que la luz sea coherente, lo cual se cumple para láseres de buena calidad. Como resultado de la interferencia, se observará un patrón de franjas luminosas y oscuras en el detector.

En nuestro experimento, el espejo M_1 estará montado en un motor, por lo que podremos mover su distancia al divisor. Si acercamos el espejo M_1 una distancia d con respecto a la posición balanceada del interferómetro, entonces habrá una diferencia de camino óptico de $2d$ entre la trayectoria reflejada y la transmitida (porque el camino total de ida y regreso al espejo M_1 disminuirá una distancia de $2d$). Si $2d = m\lambda$ con m un entero y λ la longitud de onda de la luz, entonces ya no habrá una diferencia de fase entre las dos trayectorias, pues la diferencia en distancia será un múltiplo de la longitud de onda. Por lo tanto, se repetirá el mismo patrón que cuando el interferómetro estaba balanceado pero con un retardo de m franjas con respecto al patrón original.^[3]

Es decir, si acercamos una distancia d el espejo M_1 , habrá un retardo de m franjas en el patrón de interferencia, donde se cumple la relación:^[3]

$$\text{Ecuación (1) : } d = \frac{m\lambda}{2}$$

Esta ecuación nos será útil para calcular la longitud de onda de la luz usando los valores experimentales de d y m .

II. Experimento y Resultados

Montaje:

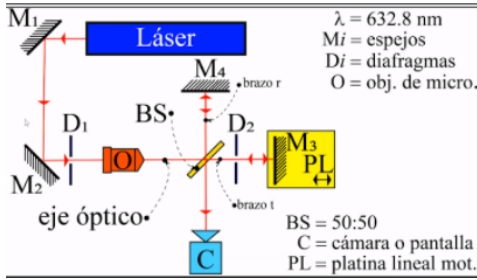


Figura 2: Montaje Experimental

Se hace un montaje experimental como se muestra en la figura 2, utilizando un láser con longitud de onda de $\lambda = 632,8 \text{ nm}$. El montaje está basado en el esquema del experimento visto en el marco teórico, con la diferencia de que se utilizan primero los espejos M_1 y M_2 para direccionar el láser hacia el divisor (ya que en el laboratorio el láser no cabe si se pone paralelo al interferómetro) y luego se utilizan los espejos M_3 y M_4 para formar el interferómetro. Además, el espejo M_3 se encuentra sobre un motor que se puede mover para cambiar la longitud del brazo de transmisión.

Experimento: Una vez colocado el montaje experimental que detallamos anteriormente, comprobamos que todos los dispositivos se encuentren alineados y que el láser realice las trayectorias que se muestran en la figura 2. Enseguida, colocamos el motor de tal forma que el interferómetro se encuentre balanceado, al realizar esto observamos a través de la cámara un patrón de interferencia formado por franjas luminosas y oscuras como se muestra en la figura 3.



Figura 3: Patrón de interferencia encontrado

Posteriormente, desplazamos lentamente el motor una distancia total de $d = 10 \mu\text{m}$ y observamos el movimiento de las franjas de interferencia captado por la cámara. Durante este procedimiento, contamos el número de posiciones m que se movieron las franjas del patrón de interferencia, que, como se muestra en el marco teórico, debe de estar relacionado con d por la ecuación 1. Se repitió este procedimiento con las distancias $d = 10 \mu\text{m}, 20 \mu\text{m}, 30 \mu\text{m}, 40 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m}$, contando el número m en cada caso.

Resultados: Al terminar el experimento, recopilamos los valores de d utilizados y sus correspondientes valores de m en la tabla 1 del apéndice. En la figura 4 mostramos la gráfica de m vs d de estos resultados, donde los puntos representan los valores experimentales. Así mismo, utilizamos una regresión lineal para encontrar la mejor línea que se adapte a estos puntos.

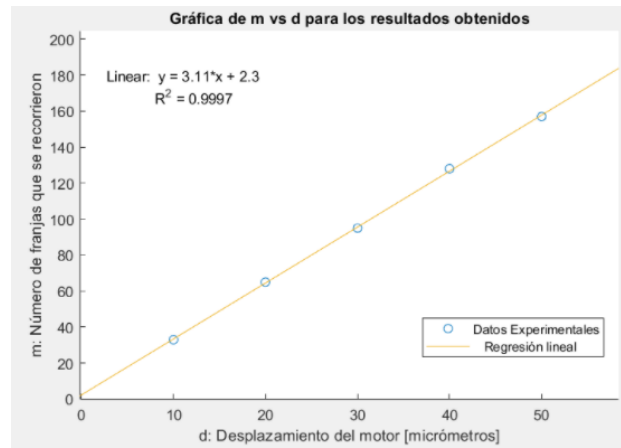


Figura 4: Gráfica de los resultados obtenidos

Según la regresión lineal, se obtuvo que $m = (3,11 \pm 0,035 \mu m^{-1}) \cdot d + (2,3 \pm 0,22)$. Donde entonces $3,11 \pm 0,035 \mu m^{-1}$ es la pendiente de esta recta. De acuerdo con la Ecuación 1, se debería de seguir la relación $m = \frac{2}{\lambda}d$, por lo que la pendiente encontrada es el valor experimental obtenido de $\frac{2}{\lambda}$. Con ello, podemos calcular la longitud de onda de la luz como:

$$\frac{2}{\lambda} = 3,11 \pm 0,035 \mu m^{-1} \Rightarrow \lambda = \frac{2}{3,11 \pm 0,035 \mu m^{-1}} = 0,643 \pm 0,0072 \mu m = 643 \pm 7,2 nm$$

Conclusiones

Viendo la figura 4 de los resultados, podemos comprobar que, como dice la Ecuación 1 del marco teórico, se sigue una relación lineal entre la distancia d que se mueve uno de los brazos del interferómetro y el número m que cuenta el retardo de franjas que se observa. Esta relación lineal nos permitió calcular fácilmente el valor de λ con un resultado de $\lambda = 643 \pm 7,2 nm$. Dicho resultado difiere de la longitud de onda verdadera que tiene el láser (632.8 nm) por un porcentaje de 1.61 %.

Como vemos, se obtuvo un resultado muy cercano a la longitud de onda verdadera. Esto nos demuestra la sencillez y utilidad de usar un interferómetro de Michelson para medir longitudes de onda. Además, es importante mencionar que este interferómetro es también muy utilizado en la práctica con el objetivo inverso, a partir de conocer la longitud de onda λ del láser, podemos medir precisamente longitudes d muy pequeñas.

IV. Referencia

- [1] Hecht Eugene, Optics, Fifth Edition, Pearson, USA,2017.
- [2] B.D. Guenther, "Modern Optics," Oxford University Press; 2 edition (2015).
- [3] Ramírez, H. C. (2017). *Interferencia y difracción II: interferómetro de Michelson*. Recuperado 18 de Agosto de 2021 de [http://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/5268/interferencia y difraccion II.pdf](http://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/5268/interferencia_y_difraccion%20II.pdf)