

Interferómetro de Young

Objetivo

Con materiales del laboratorio de física. Replicar el diseño de interferómetro que realizó Thomas Young 1802, para caracterizar un láser He-Ne.

Introducción

El experimento de Young, más conocido como el experimento de la doble rendija, fue realizado en 1801 por Thomas Young, en un intento de discernir sobre la naturaleza corpuscular u ondulatoria de la luz. Young comprobó un patrón de interferencia en la luz procedente de una fuente lejana al difractarse en el paso por dos rejillas, resultado que contribuyó a la teoría de la naturaleza ondulatoria de la luz.

La interferencia ocurre cuando dos ondas mutuamente coherentes se superponen en algún lugar del espacio, esto lo podemos conseguir de dos maneras distintas:

- a) dividiendo lateralmente el frente de onda en dos, sin cambiar su irradiancia,
- b) separando el frente de onda en dos y dividiendo su irradiancia en dos, pero preservando su extensión lateral.

La división de frente de onda se puede lograr por medio de difracción, reflexión o refracción. En cualquier caso, la luz que ilumine el interferómetro debe ser espacialmente coherente.

El interferómetro de Young se basa en este principio, a través del experimento de la doble rendija, al llegar el frente de onda a las rendijas, ésta se expande en forma angular en cada uno de los agujeros debido a un fenómeno llamado difracción. En la figura 1 se muestra un diagrama esquemático del experimento de Young.

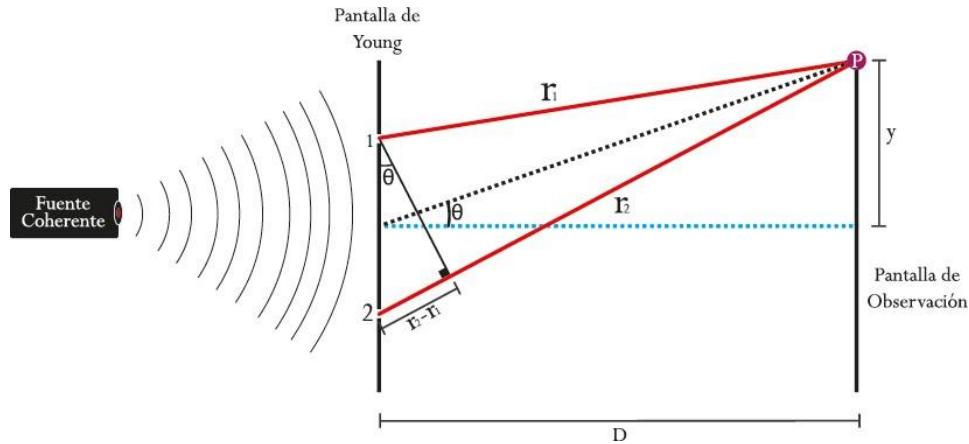


Figura 1. Diagrama esquemático que muestra el principio de superposición en el experimento de Young.

Las distancias de las rendijas 1 y 2 al punto P son diferentes, por lo que el valor de la diferencia de camino óptico depende de la posición de este punto P sobre la pantalla. El patrón de interferencia que se obtiene es una serie de franjas paralelas, de la figura 1 podemos inferir lo siguiente.

$$\tan(\theta) = \frac{y}{D}, \quad \text{Sen}(\theta) = \frac{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}{a} \quad (1)$$

Donde “a” es la distancia entre ambas rendijas, por aproximación paraxial obtenemos.

$$\tan(\theta) \approx \text{sen}(\theta) \approx \theta$$

Por lo tanto

$$\frac{y}{D} = \frac{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}{a} \quad (3)$$

$$|\vec{r}_2 - \vec{r}_1| = \frac{y \cdot a}{D} \quad (4)$$

De la teoría de interferencia sabemos que la intensidad total en el punto P sobre el patrón de interferencia es calculado como:

$$I_{total} = I_1 + I_2 + 2\vec{a}_1 \cdot \vec{a}_2 E_1 E_2 \cos(\vec{k}_1 \cdot \vec{r}_1 - \vec{k}_2 \cdot \vec{r}_2 + (w_1 - w_2)t + (\alpha_1 - \alpha_2)) \quad (5)$$

Dentro de la teoría del interferómetro de Young tenemos las siguientes condiciones.

$$\vec{a}_1 \cdot \vec{a}_2 = a_1 a_2 \quad (6)$$

$$(7)$$

$$\vec{k}_1 = \vec{k}_2 = \vec{k} \quad (8)$$

$$w_1 = w_2, \alpha_1 = \alpha_2 \quad (9)$$

$$I_1 \propto |\vec{E}|^2, \vec{E} = \sqrt{aE}$$

Donde E es el campo eléctrico, k es el número de onda y r es el camino óptico, por lo que nuestra ecuación se reduce.

$$I_{total} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\vec{k} \cdot (\vec{r}_1 - \vec{r}_2)) \quad (10)$$

Con $I_1 = I_2 = I$ y $\cos(\theta) = \cos(-\theta)$ (11)

$$I_{total} = 2I + 2I \cos(\vec{k} \cdot (\vec{r}_2 - \vec{r}_1))$$

Sustituyendo (4) en (11) y con $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$$I_{total} = 2I + 2I \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{y^*a}{D}\right) \quad (12)$$

Cuando $\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{y^*a}{D}\right) = -1 \Rightarrow I_{total} = 0$ (13)

Cuando $\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{y^*a}{D}\right) = 1 \Rightarrow I_{total} = 4I$ (14)

Por lo tanto la interferencia constructiva se presenta cuando

$$\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{y^*a}{D} = 2m\pi \quad (15)$$

Por tanto

$$y = \frac{m\lambda D}{a} \quad (16)$$

$$\Delta y = \frac{(m+1)\lambda D}{a} - \frac{m\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a} \quad (17)$$

Y

$$a = \frac{\lambda D}{\Delta y} \quad (18)$$

Material

- 1 Láser He-Ne Rojo 632.8 nm.
- 1 Láser He-Ne Verde 543.5 nm.
- 12 Láminas de papel aluminio de 5 cm x 5 cm.
- 1 aguja.
- 1 Nivel de gota
- Flexómetro.
- 1 Montura porta lentes.
- Cinta Masking.
- 1 Trípode.
- 1 Celular o cámara fotográfica.
- 1 Regla.
- 1 Gato mecánico.

Procedimiento

1ra Parte

Objetivo: Obtener la distancia entre las aberturas de las láminas de aluminio mediante el análisis del patrón de interferencia generado por el interferómetro de Young usando un láser de 632.8 nm.

1. Ubicarse en una esquina de la mesa antivibraciones y colocar el láser rojo sobre el gato mecánico, de forma que la salida del láser apunte en dirección del pizarrón, procurando que exista una distancia de aproximadamente 3 m entre el láser y el pizarrón.
2. Con ayuda del nivel de gota alineeé el láser de forma que el haz de luz tenga una trayectoria paralela a la mesa de trabajo. Y coloque la regla pegada al pizarrón de forma que corte el haz incidente por la mitad (figura 2).
3. Monte el celular o cámara fotográfica en el trípode, una vez montado coloque el trípode cerca del pizarrón de forma que mediante la cámara se pueda observar tanto la regla como el haz incidente, tratando que el teléfono celular esté paralelo al pizarrón para evitar deformaciones en la imagen debido al ángulo de la cámara, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Representación de una correcta posición para la toma de fotografías.

4. Coloque 4 láminas de aluminio apiladas y con ayuda de la regla y una aguja perfore 2 orificios en el centro de estas (figura 3), cuidando que entre orificio y orificio exista una separación de 2 mm, repita este proceso pero variando la distancia de los orificios a 1 mm y 0.2 mm, puede ayudarse de un vernier o alguna herramienta de medición micrométrica para este último (Cuide el orden el de las láminas ya que los diámetros de las perforaciones varía según la capa).



Figura 3. Láminas de aluminio de 2 mm y 1mm de distancia entre perforaciones.

5. Con ayuda de un poco de cinta masking coloque la lámina de papel aluminio en la montura porta lentes, y alinéelo con el haz láser cuidando que exista una distancia de 1.5 m entre la lámina y el pizarrón, y hacer incidir el láser sobre los orificios de la lámina.



Figura 4. Lámina de papel aluminio colocada sobre montura para lentes.

6. En este momento debería ver un patrón de líneas que forma el haz incidente, en caso de no observar lo. Asegúrese que el láser cruza por ambos orificios de la lámina, una vez que logre observar el patrón enfoque su cámara de forma que se logre ver correctamente la interferencia, procure que la habitación se encuentre completamente oscura para obtener un mejor resultado, posteriormente tome una fotografía de la regla, como se muestra en la figura 5, y repita el proceso con las demás láminas, siempre cuidando que estén correctamente clasificadas y que la posición de la cámara no cambie.

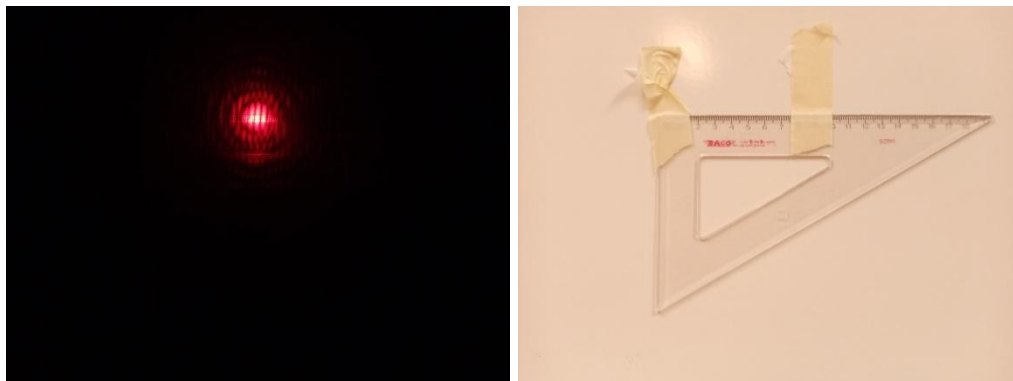


Figura 5. Fotografía del patrón de interferencia y la regla de referencia.

7. Una vez que tenga las fotografías de diríjase al apartado de **Análisis de Resultados** que se encuentra en esta misma práctica y realice el proceso indicado, cuando tenga los datos necesarios realice el paso siguiente.
8. Una vez que tenga los datos correspondientes use la ecuación (18) para obtener el valor de la variable “a” en base a los datos obtenidos de la prueba con las láminas de la capa superior con el láser rojo.

2da Parte

Objetivo: Mediante el interferómetro de Young y utilizando los valores de “a” obtenidos en la 1ra parte calcular la longitud de onda de un láser He-Ne de color verde.

1. Ubicarse en una esquina de la mesa antivibraciones y colocar el láser verde de 543.5 nm sobre el gato mecánico, de forma que la salida del láser apunte en dirección del pizarrón, procurando que exista una distancia de aproximadamente 3 m entre el láser y el pizarrón.
2. Coloque la cámara sobre el trípode y coloque la cámara de la misma manera que lo hizo en la primer parte de la práctica
3. Capture las respectivas fotografías de los patrones de interferencia y la regla de interferencia, una vez que cuente con estas fotografías diríjase al apartado de **Análisis de Resultados**, y realice el proceso indicado, cuando tenga los datos necesarios realice el paso siguiente.
4. Con ayuda de los valores de “a” obtenidos en la primera parte y la ecuación (18) calcule la longitud de onda del láser verde en base a los datos obtenidos de la prueba con las láminas de la capa superior con el láser He-Ne verde.

Análisis de Resultados

1. Inicie el software Matlab y cree un nuevo script, en el script que acaba de crear escriba el siguiente código, en la 3er línea coloque el nombre de la imagen a analizar.

```
clear
clc

A = imread("Nombre de la imagen.jpg");
A = rgb2gray(A);
figure(1) = imshow(A)
A2 = imcrop;
figure(1) = imshow(A2)
improfile
```

2. Procese la fotografía que se le tomó a la regla, una vez que ejecute el programa aparecerá una ventana con la imagen que usted tomo pero en este caso estará en escala de grises (Figura 6), en esta ventana recorte la imagen para tomar solo 1cm de referencia, una vez que seleccione el área, de doble clic izquierdo sobre la imagen, debe mostrarse una nueva ventana con el área que seleccionó como se muestra en la figura 7.

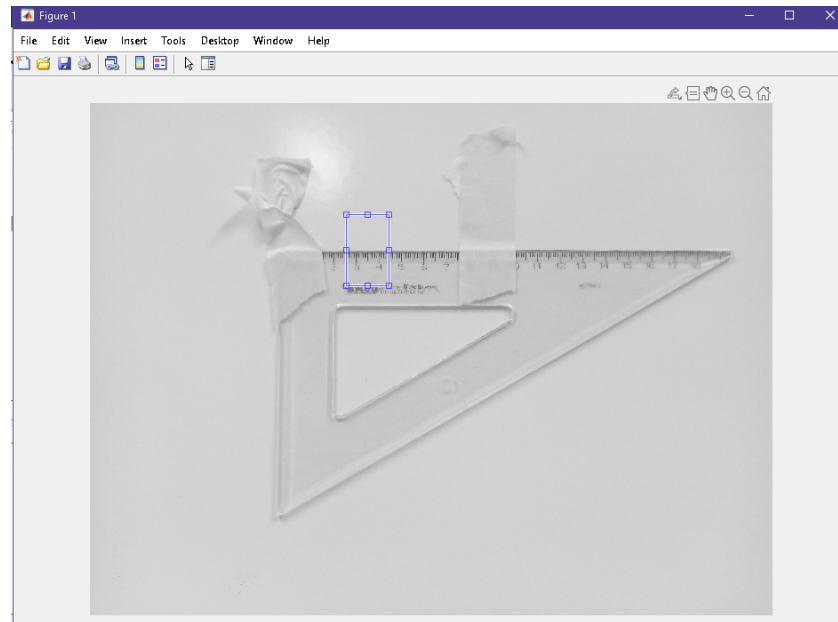


Figura 6. Primera ventana emergente y recuadro de selección ajustable.

3. En la nueva ventana podrá seleccionar la zona en la que se evaluarán los niveles de luz, para ello ubique el puntero justo antes de la marca numerada de los centímetros de clic izquierdo y traslade el puntero hasta haber recorrido una longitud de 1 cm de la escala graduada en la regla como se muestra en la figura 7, una vez ahí podrá ver una línea punteada que indica el recorrido por donde se realizará el análisis de niveles intensidad (Figura7), haga doble clic izquierdo para confirmar la selección, aparecerá una gráfica con los niveles intensidad de luz (Figura 8).

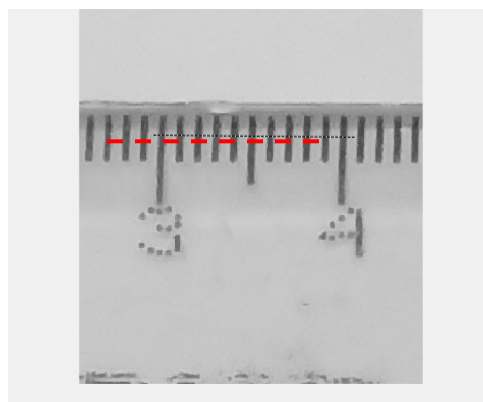


Figura 7. Selección de perfil para análisis de intensidad.

(Se colocó una línea roja para una mejor interpretación)

4. En esta gráfica los niveles más altos indican las zonas con mayor intensidad lumínica, esta es la que debe tener en cuenta, mida los píxeles de anchura de cada uno de los 10 niveles que aparecerán en la pantalla y obtenga un promedio de ellas, para medir el ancho de cada nivel puede auxiliarse de los nodos que existen a lo largo de la gráfica, estos indicarán la su posición en la imagen en píxeles, para el propósito de la práctica solo tome en cuenta los valores de X.

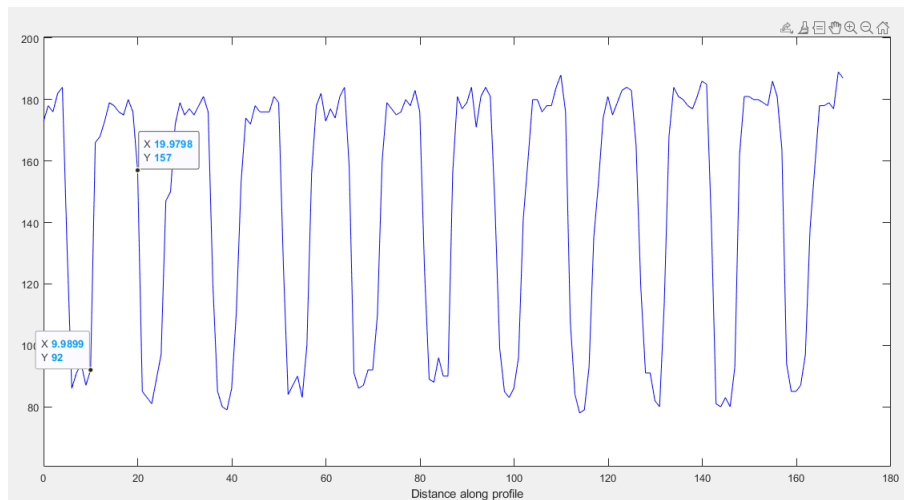


Figura 8. Nivel de intensidad del intervalo seleccionado.

5. Ahora seleccione la imagen del patrón de interferencia correspondiente y ejecute el script de la misma forma en que se indicó anteriormente, cuidando que en la zona que seleccione para los niveles de luz solo se aprecie el patrón de interferencia, como se muestra en la imagen.

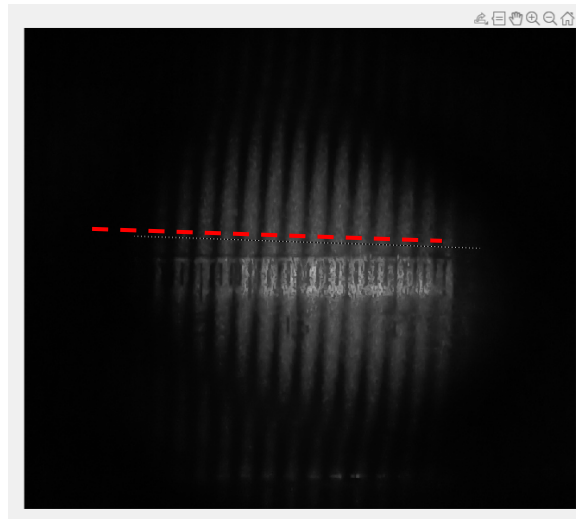


Figura 9. Selección de perfil a analizar.

(Se colocó una línea roja para una mejor interpretación)

6. En este caso seleccionaremos los picos más altos y mediremos la distancia que existe entre ellos y obtendremos un promedio de esas mediciones.

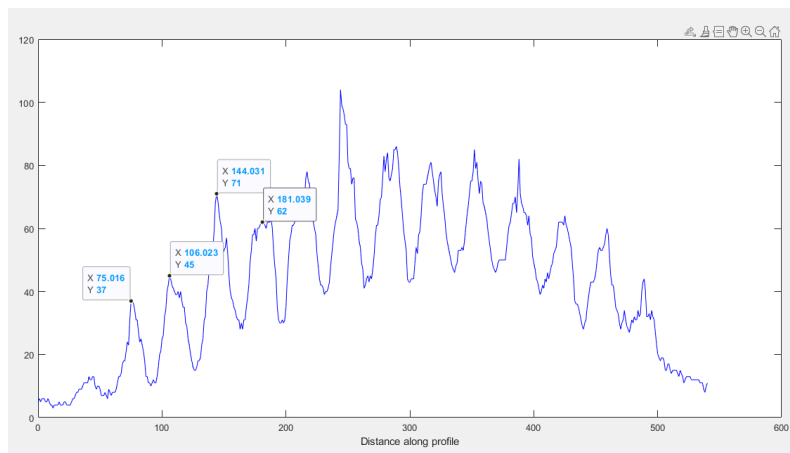


Figura 10. Niveles de intensidad del patrón de interferencia.

Preguntas

1. ¿La longitud de onda obtenida para el láser verde coincidió con la longitud de onda real?
2. ¿Por qué se forma el patrón de interferencia?
3. ¿Qué utilidad tiene la prueba de interferencia de Young?
4. En el análisis de los patrones de interferencia se sugiere tomar el promedio de las medidas entre los picos de intensidad ¿Por qué?
5. ¿El diámetro de los orificios creó una diferencia en los patrones de interferencia?