

electromagnetismo III: difracción.

Versión 3.0

Héctor Cruz Ramírez¹
Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM
¹hector.cruz@ciencias.unam.mx

abril 2018

Índice

1. Resumen	1
2. Objetivos	1
3. Teoría	2
4. Experimento	3
4.1. Difracción producida por un cabello y una rendija	3
4.2. Experimento de Young	3
4.3. Difracción por un semi-plano	4
5. Pormenores de la práctica	5
6. Agradecimientos	5

1. Resumen

En esta práctica observaremos un fenómeno presente en todas las ondas: **la difracción**. Las ondas que utilizaremos serán las ondas electromagnéticas en el régimen visible: **la luz**.

2. Objetivos

La difracción de la luz se implementará observando el patrón de difracción de Fraunhofer producida cuando un haz láser pasa por un *cabello*. Este patrón de intensidad puede ser utilizado para medir el diámetro del cabello. El patrón podrá ser observado en una pantalla o cámara.



La segunda implementación será observar el patrón de intensidad producida cuando un haz láser pasa por una **rendija**. Veremos más abajo que es similar a la primera implementación. El patrón podrá ser observado en una pantalla o cámara.

La tercera implementación será observar el patrón de intensidad producida cuando un haz láser pasa por una **doble rendija**. Este es el experimento clásico e importante de Young. Es importante hacer notar que el experimento de Young es fundamental para entender experimentos en la mecánica cuántica. El patrón podrá ser observado en una pantalla o cámara.

La cuarta implementación será colocado un semi-plano y observar el patrón de intensidad cuando se pasa un haz láser. El patrón podrá ser observado en una pantalla o cámara.

La rendija simple, la doble rendija y el semi-plano serán fabricados por el alumno usando papel aluminio.

3. Teoría

La propagación de las ondas es un problema fundamental. La idea es que si conocemos la función de onda a un tiempo t_0 , $\psi_0 = \psi(\vec{x}, t_0)$, entonces podemos calcular a un tiempo posterior t_p la función de onda, $\psi_p = \psi(\vec{x}, t_p)$. Este cálculo en 3-dimensiones se puede realizar mediante el **principio de Huygens**[1], el cual consiste en considerar que cada punto del frente de onda es una fuente puntual, entonces, el frente de onda de ψ_p se construye con la envolvente de todas las ondas producidas por todas las fuentes puntuales del frente de onda de ψ_0 ; y además, cada fuente puntual es coherente, por lo cual, es posible observar en el tiempo de observación el **patrón de intensidad** producido por la interferencia de estas fuentes[1]. Suponiendo que un onda incide sobre un obstáculo (en nuestro caso un cabello o la doble rendija) entonces el frente de onda inmediatamente después del obstáculo (considerando solamente las zonas donde no hay obstrucción) aplicamos el principio de Huygens a una distancia z de la obstrucción y obtenemos el patrón de intensidad. Todo esto es conocido como difracción.

La difracción puede calcularse en la aproximación de campo cercano (difracción de Fresnel) o en la aproximación de campo lejano (difracción de Fraunhofer). En este trabajo utilizaremos la aproximación de campo lejano, lo cual significa que el punto donde observamos el patrón de intensidad esta lo suficiente lejano a la obstrucción (cabello o doble rendija). En esta aproximación es valido el **Principio de Babinet**, este principio establece que el patrón de intensidad de un cuerpo opaco (el cabello) es idéntica al de un objeto con un abertura del misma forma al cuerpo opaco (una placa con una rendija cuyo ancho sea igual al del cabello).

A continuación describiremos el experimento y daremos las formulas importantes.

4. Experimento

4.1. Difracción producida por un cabello y una rendija

Hacemos incidir un haz láser sobre un cabello, ver Figura 1. Supongamos que el cabello es estirado a lo largo del eje y . Sea W_x el diámetro de este. Si colocamos una pantalla a una distancia z del cabello y mayor a 25cm (esta cantidad fue calculada mediante la formula 4-24 de la pag. 74 de [1], que establece la condición para poder aplicar la difracción de Fraunhofer), entonces podremos observar el patrón de intensidad en la aproximación de campo lejano, el cual esta dado por[1]

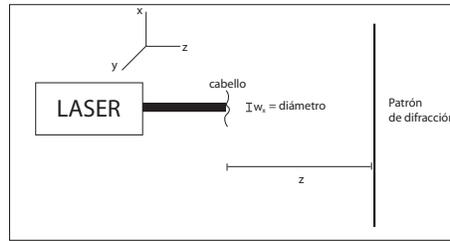


Figura 1: Arreglo experimental para obtener el patrón de difracción producido por un cabello.

$$I(x) \propto \text{sinc}^2\left(\frac{\pi W_x x}{\lambda z}\right), \quad (1)$$

donde λ es la longitud de onda del láser (633nm en nuestro caso) y el origen del sistema coordinado se encuentra en el cabello. La ecuación anterior describe un patrón de intensidad de franjas brillantes y oscuras. De la misma ecuación podemos deducir el diámetro del cabello. Conociendo z , y la distancia entre las dos primeras franjas oscuras Δx y observando la gráfica de la función sinc^2 (ver Figura 3) tenemos

$$\frac{\pi W_x \Delta x}{\lambda z} = 2\pi, \quad (2)$$

y de la cual se puede deducir W_x .

Para realizar el experimento de una rendija solamente intercambiamos el cabello por una placa con una apertura rectangular (rendija) de un ancho a , y por lo dicho anteriormente podemos aplicar las ecuaciones anteriores para medir el ancho de la rendija. Ver Figura (2 a).

4.2. Experimento de Young

Hacemos incidir un haz láser sobre una doble rendija, ver Figura (2 b). Supongamos que cada rendija tiene un ancho a y están separadas una distancia b . Si colocamos una pantalla a una distancia z de la doble rendija y mayor a

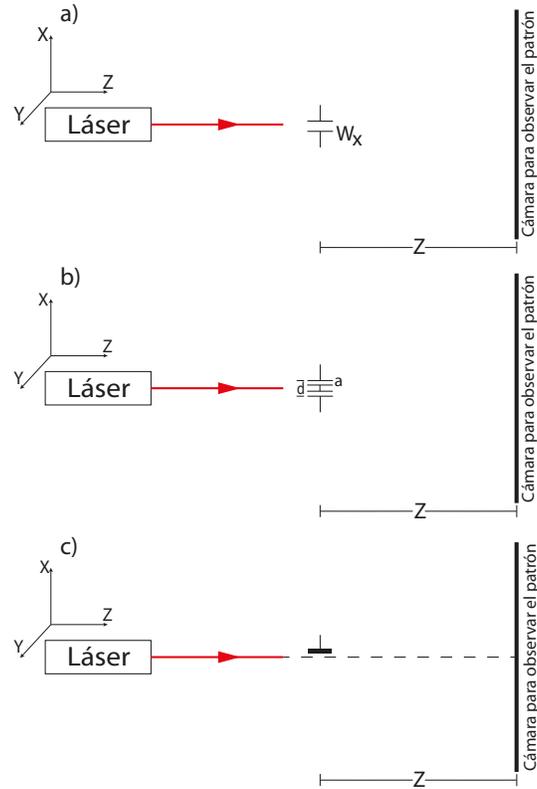


Figura 2: Diagrama para el patrón de intensidad debido a la difracción de: a) una rendija, b) una doble rendija, y c) un semi-plano.

25cm, entonces podremos observar el patrón de intensidad en la aproximación de campo lejano[1, 2].

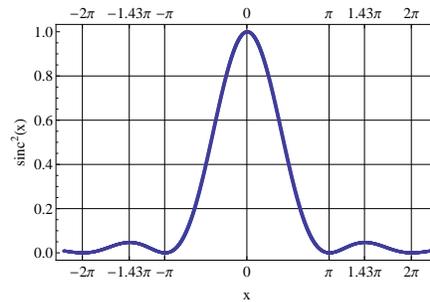
El patrón de intensidad es formado por franjas brillantes y oscuras, y esta dado por[2]

$$I(x) \propto \text{sinc}^2 \left(\frac{\pi a x}{\lambda \sqrt{x^2 + z^2}} \right) \cos^2 \left(\frac{\pi b x}{\lambda \sqrt{x^2 + z^2}} \right), \quad (3)$$

donde el origen del sistema coordenado se encuentra en el centro de las dos rendijas.

4.3. Difracción por un semi-plano

En este experimento, ver Figura (2 c), se coloca una pantalla opaca rectangular de tal forma que el haz láser quede obstruido por la mitad. Después se obtiene la imagen del patrón de intensidad.

Figura 3: Gráfica de la función sinc^2

5. Pormenores de la práctica

La práctica es de dos sesiones de laboratorio.

6. Agradecimientos

Estas notas fueron realizadas con el apoyo de los proyectos PAPIME PE106415, PE105917 y PE107618 (última versión). Agradecemos a los estudiantes Samuel Corona Aquino, Javier Alejandro López, Alfaro Jorge Arturo Monroy Ruz y Francisco Javier Morelos Medina por su contribución a la elaboración de estas notas.

Referencias

- [1] J. W. Goodman, "Fourier Optics," Robert & Company Publishers, 3ra ed. (2005).
- [2] E. Hecht y A. Zajac, "Óptica," Fondo Educativo Interamericano, 1977.