

Ondas IV: difracción con luz.

Versión 2.0

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

septiembre 2017

1. Resumen

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

2. Introducción y objetivos

Esta práctica tiene tres objetivos:

1. *Registrar* la difracción de la luz obteniendo una imagen (con una cámara digital) del patrón de intensidad producida cuando un haz láser que pasa por un *cabello*. Este patrón de intensidad debe ser utilizado para medir el diámetro del cabello con ayuda de la teoría de difracción en la aproximación de Fraunhofer. En la industria esta implementación da como resultado un instrumento de medición llamado **micrómetro láser**[1].
2. La segunda implementación será *registrar* el patrón de intensidad producida cuando un haz láser que pasa por una **rendija**. Veremos más abajo que es similar a la primera implementación.



3. La tercera implementación será *registrar* 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, o entender técnicas de caracterización de pulsos ultra-cortos, etc.

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 calculo en 3-dimensiones se puede realizar mediante el **principio de Huygens**[2], 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[2]. 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 [2], 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[2]

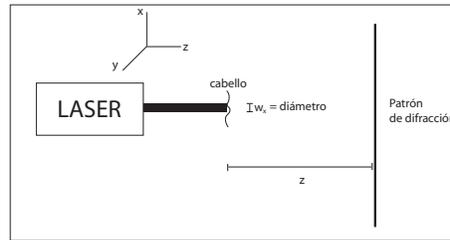


Figura 1: Arreglo experimental para obtener el patrón de difracción producido por un cabello.

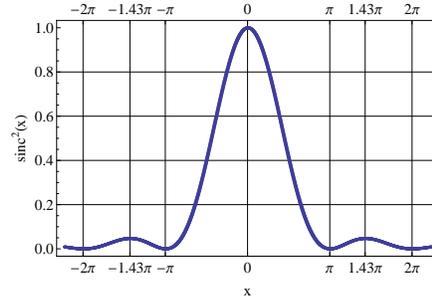
$$I(x) \propto \text{sinc}^2 \left(\frac{\pi W_x x}{\lambda z} \right), \quad (1)$$

donde λ es la longitud de onda del láser (633nm en nuestro caso) y el origen del sistema coordenado 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 2) 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.


 Figura 2: Gráfica de la función sinc^2

4.2. Experimento de Young

Hacemos incidir un haz láser sobre una doble rendija, ver Figura 3. 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 25cm, entonces podremos observar el patrón de intensidad en la aproximación de campo lejano[2, 3].

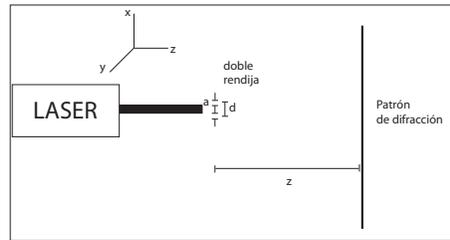


Figura 3: Arreglo experimental para obtener el patrón de intensidad producida por una doble rendija.

El patrón de intensidad es formado por franjas brillantes y oscuras, y está dado por[3]

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

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



5. Pormenores de la práctica

Cantidad de sesiones en el laboratorio: 2 sesiones.

6. Agradecimientos

Estas notas fueron realizadas con el apoyo de los proyectos PAPIME PE106415 (version 1) y PAPIME PE105917 (version 2). Agradecemos al estudiante Jorge Arturo Monroy Ruz por su contribución a la elaboración de estas notas.

Referencias

- [1] Ver por ejemplo la página de MICRÓMETROS DE MÉXICO: “<http://www.micromex.com.mx/>”.
- [2] J. W. Goodman, “Fourier Optics,” Robert & Company Publishers, 3ra ed. (2005).
- [3] E. Hecht y A. Zajac, “Óptica,” Fondo Educativo Interamericano, 1977.