

Laboratorio de Electromagnetismo y Óptica (ByG)
2do cuat. 2022

TP N° 6: Fenómeno de Difracción

Objetivos

Estudiar la figura de difracción (también llamada patrón de difracción) producida por diferentes obstáculos y aberturas. Medir la intensidad de la figura de difracción formada por una abertura de geometría rectangular y analizar el perfil de la misma. Determinar parámetros geométricos de los obstáculos/aberturas a partir del análisis de la figura de difracción.

Introducción

La difracción es un fenómeno típicamente ondulatorio que se observa cuando una onda se distorsiona por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda. Según el principio de Huygens, cuando una onda incide sobre una rendija todos los puntos de su plano se convierten en fuentes secundarias de ondas, emitiendo nuevas ondas, que se superponen generando la figura de difracción. El fenómeno de difracción no es cualitativamente distinto de la interferencia, sino que se considera como la interferencia de un número infinito de fuentes.

Consideremos el caso en la que el obstáculo es una rendija estrecha y larga, de modo que podemos ignorar los efectos de los extremos de la misma. Si suponemos que las ondas incidentes son normales al plano de la rendija, y el observador se encuentra a una distancia grande en comparación con el ancho de la misma, la difracción ocurrida en estas condiciones se denomina difracción de Fraunhofer [1].

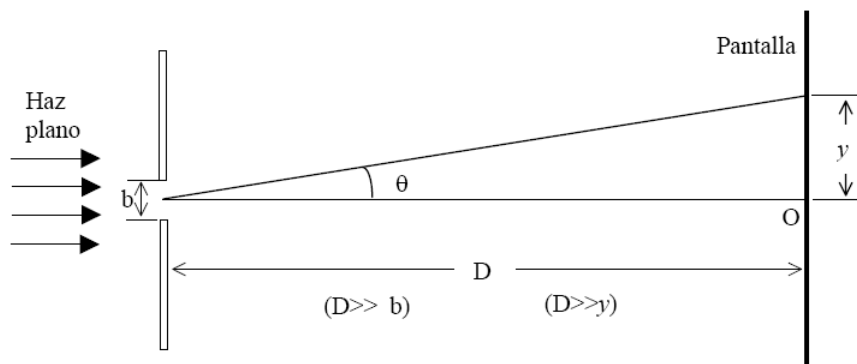


Figura 1: Esquema que representa la difracción de Fraunhofer para una ranura estrecha en donde se observa la figura de difracción sobre una pantalla muy alejada de la ranura. Ilustración de Antonio J. Barbero García.

En este caso, la intensidad de la figura de difracción generada por una ranura de ancho b en función del ángulo θ de observación sobre una pantalla ubicada a una distancia D de la ranura está dada por:

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{\sin(\beta)}{\beta} \right)^2, \quad \text{con } \beta = \frac{\pi \cdot b}{\lambda} \sin(\theta) \quad (1)$$

donde I_0 es la intensidad del máximo central y λ es la longitud de onda de la luz utilizada.

El sistema ranura-obstáculo de igual dimensión corresponde a los tipos de sistema llamados complementarios es decir que si se superponen completan una pantalla opaca. Una característica notable de estos sistemas es que forman los mismos patrones de difracción. Este resultado se conoce como *principio de Babinet* y se debe al hecho de que la figura de difracción producida bloqueando parte de un frente de onda depende solamente de las ubicaciones de *los bordes* de los obstáculos que producen difracción [2].

Para pensar y calcular!

A partir de la distribución de intensidades (ecuación 1) calcule la posición de los mínimos de difracción sobre la pantalla en función de las variables del problema.

¿Cómo estimaría el ancho de la ranura a partir de la posición de los mínimos de intensidad?
¿Qué parámetros debería conocer y/o determinar?

Ayuda: Note que el ángulo θ mide la apertura angular de la figura de difracción respecto del máximo central y verifica:

$$\tan(\theta) = \frac{y}{D} \quad (2)$$

siendo y la coordenada sobre la pantalla y D la distancia ranura-pantalla. Recuerde que la pantalla está ubicada muy alejada con respecto a la ranura, con lo cual θ puede ser considerado un ángulo pequeño.

Actividades

Como fuente de luz utilizaremos un láser, con el cual iluminaremos diferentes aberturas u objetos para observar sobre una pantalla la figura de difracción.

¡CUIDADO! Seguir las normas de seguridad de uso láser.

Tengan cuidado de no exponer los ojos al haz o a sus reflexiones, durante las observaciones y mediciones. Para ello **seguir las normas de seguridad.**

ANTES de encender el láser fijarlo en la mesa óptica y ubicarlo de forma que el haz quede por debajo del nivel de las barreras de protección. Una vez que fijaron el láser y las barreras están colocadas, pueden encender el láser. No usar objetos reflectantes en las manos y brazos.

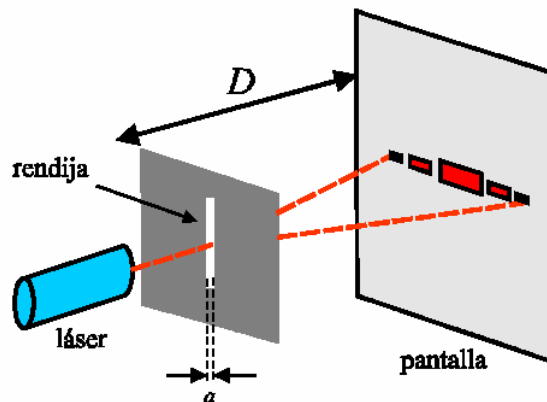


Figura 2: Esquema del dispositivo experimental

Actividades

Iluminando una rendija de ancho variable con el láser observar sobre una pantalla la figura de difracción. Observe cómo se distribuye la intensidad de la luz sobre la pantalla. Varíe el ancho de la rendija y estudie cómo se modifica la imagen de difracción.

- Cómo varía el ancho de la zona central de máxima intensidad cuando se aumenta o disminuye el tamaño de la rendija.
- Investigue la relación existente entre la distancia entre mínimos (o máximos) de intensidad y el ancho de la rendija.
- También describa cómo se modifica la imagen de difracción al cambiar la distancia entre la ranura y la pantalla.

A partir de la figura de difracción generada por la ranura:

1- Determine la posición y orden de los mínimos de difracción.

2- ¿Cómo estimaría el ancho de la ranura a partir de la posición de los mínimos de intensidad? ¿Qué parámetros debería conocer y/o determinar? Estimar el ancho de la ranura empleada.

3- Mida la ranura con un microscopio y compare los resultados.

Observación: Para determinar la posición de los mínimos puede emplear una hoja en donde proyectar la figura de difracción y marcar con un lápiz la posición de los mínimos visibles. Noten que haciendo uso de la figura de difracción y midiendo con una regla podrán determinar tamaños de objetos órdenes de magnitud más pequeños que la mínima división de la regla!

Método alternativo determinación del perfil de intensidad: Pueden probar fotografiar la figura de difracción con una cámara web. ¿Cómo colocarían en este caso la cámara en el sistema óptico? ¿Es posible obtener la información de la intensidad en función de la posición a partir de dicha imagen? Consulten sobre este punto.

4- Reemplace la ranura por un alambre de ancho conocido (si consigue uno de igual ancho que la ranura usada antes muchísimo mejor) y observe la figura de difracción. ¿Cómo es? ¿es muy diferente?

Optativo- muy interesante! En el laboratorio contamos con diapositivas que tienen impresos diferentes patrones geométricos. Observe la figura de difracción generada por los diferentes patrones. Note que la distribución y distancia entre los máximos y mínimos de un diagrama de difracción informa sobre la distancia y distribución de los nodos del patrón observado. Es decir, la figura de difracción nos da información sobre la forma del obstáculo que genera la difracción.

Apéndices

Apéndice A – Introducción al fenómeno de difracción

Empleando la aplicación de difracción del simulador Wave interference (https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_en.html) de la Universidad de Colorado, puede investigar los siguientes ítems relacionados con la figura de difracción producida al iluminar con un láser una rendija rectangular:

A.1 Estudie la dependencia de la figura de difracción que se observa en la pantalla, con el ancho de la abertura. En particular mida el ancho de la campana de difracción y determine cómo varía en función del ancho de la rendija.

A.2 Análogo al ítem A.2, pero estudiando la dependencia de la figura de difracción con la longitud de onda de la luz incidente.

A.3 ¿Es posible determinar a qué distancia de la ranura se muestra la figura de difracción en estas simulaciones? Si es así, determínelo.

Noten que el simulador indica una escala de tamaño, y pueden variar las características de las aberturas/obstáculos.

Apéndice B - Uno de los usos de la difracción: la Cristalografía de rayos X

Como vimos en la práctica, la figura de difracción nos da información sobre la forma del obstáculo que genera la difracción. Si en una experiencia similar sustituyéramos la ranura por los átomos de un cristal, y el láser por una fuente de rayos X, podríamos determinar, partiendo del diagrama de difracción obtenido, la posición de los átomos en el cristal. Esta es la base de la determinación de estructuras cristalinas por difracción de Rayos X, una de las técnicas más importantes en la Química.

Para discutir: ¿Por qué es necesario reemplazar el láser por rayos X para determinar la estructura de los átomos de un cristal?

Ante todo, considere que los rayos X son radiaciones electromagnéticas, como lo es la luz visible, o las radiaciones ultravioleta e infrarroja, y lo único que los distingue de las demás radiaciones electromagnéticas es su longitud de onda, que es del orden de 10^{-10} m (equivalente a la unidad de longitud que conocemos como Ångstrom o a 10 nm). Esa longitud de onda es muy próxima a las distancias entre los átomos.

La cristalografía de rayos X es una técnica que consiste en hacer pasar un haz de rayos X a través de un cristal de la sustancia sujeta a estudio (ver esquema de la figura 3). Debido a la disposición de los átomos, el haz se difracta dando lugar a una distribución de intensidades que puede interpretarse según la ubicación de los átomos en el cristal, aplicando la ley de Bragg.

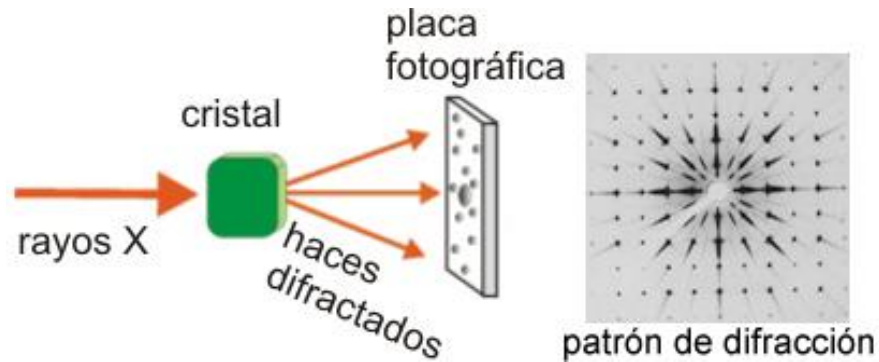


Figura 3: Esquema que ilustra los principios básicos de la cristalografía. Fuente ref [3].

Para estudiar la estructura de materiales biológicos, como las proteínas o el ADN, se deben producir cristales de dichas sustancias, de esta forma se pudo ampliar la cristalografía hacia la biología y la biomedicina. La cristalografía de rayos X desempeñó un papel esencial en la descripción de la doble hélice de la molécula de ADN. Hoy en día esta técnica es muy utilizada en la determinación de las estructuras de las proteínas [3].

Referencias

- † S. Gil y E. Rodríguez, *Física re-Creativa*, Prentice Hall, Buenos Aires, 2001.
- [1] Curso de Física de Berkeley, Volumen 3: Ondas, Frank Crawford.
- [2] E. Hecht, *Óptica*, Ed. Addison Wesley, Capítulo 10 (1998).
- [3] <http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia>