

Laboratorio de Física II (ByG)
2do cuat. 2015

Guía 4: Fenómeno de Difracción. La Cristalografía de rayos X.

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 levantar un perfil de la misma.

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].

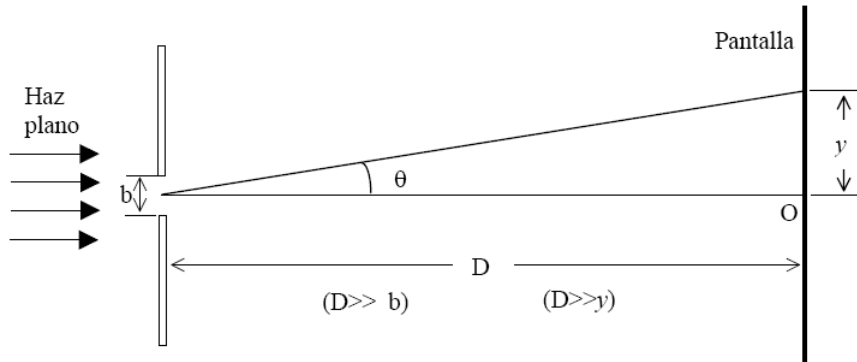


Figura 1: Esquema que representa la difracción de Fraunhofer para una ranura estrecha en donde se observa la figura de difracción sobre una pantalla muy alejada de la ranura. Ilustración de Antonio J. Barbero García.

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:

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

donde I_o 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!

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

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

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

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! Recuerden seguir las normas de seguridad y ubicar el láser en la mesa óptica quedando éste bajo el nivel de las barreras de protección. Remuevan solo una de las mismas y utilice como pantalla la pared. Tengan cuidado al realizar las observaciones y mediciones cuidando de no exponer los ojos al haz.

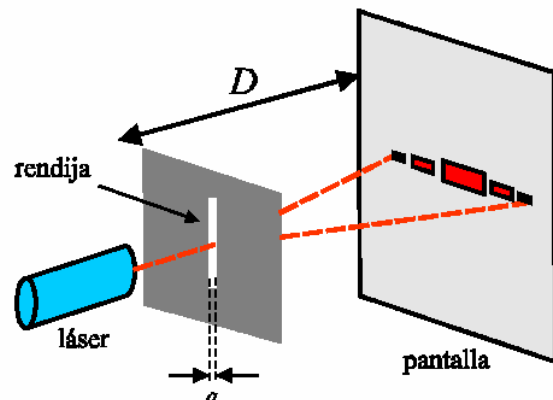


Figura 2: Esquema del dispositivo experimental

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:

- Determine la posición de los mínimos de difracción.
- Estime el ancho de la ranura empleada. Explique cómo lo estima.
- Mida la ranura con un microscopio y compare los resultados.

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?

Para ver: 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.

Distribución de intensidad de las figuras de difracción

El objetivo de esta parte de la práctica es medir la distribución de intensidades de la luz sobre la pantalla sobre la que observamos las figuras de difracción, empleando el mismo sistema ranura-láser pero ahora en lugar de la pantalla se ubicará un fotosensor montado sobre un posicionador traslacional. La idea es desplazar el fotosensor a lo largo de la figura de difracción e ir registrando para cada posición la intensidad de luz.

A partir del perfil de intensidades:

- Estime el ancho de la ranura empleada.
- Calcule la relación entre las intensidades del máximo principal y los de primer orden.

Consideraciones para el uso del fotosensor:

- El fotosensor satura dando un valor de 3V, esto quiere decir que aunque se lo ilumine con una mayor intensidad de luz la lectura que dará el instrumento seguirá siendo 3V. Al medir el perfil de intensidades asegurarse de que no se llega a la saturación.
- Tenga en cuenta el tamaño de la celda del fotosensor en comparación con el tamaño de la figura de difracción que desea medir. Considere que tal vez sea necesario reducir el área de la celda que esta expuesta a la luz. Para discutir!

Método alternativo para la medición

- 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.

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.

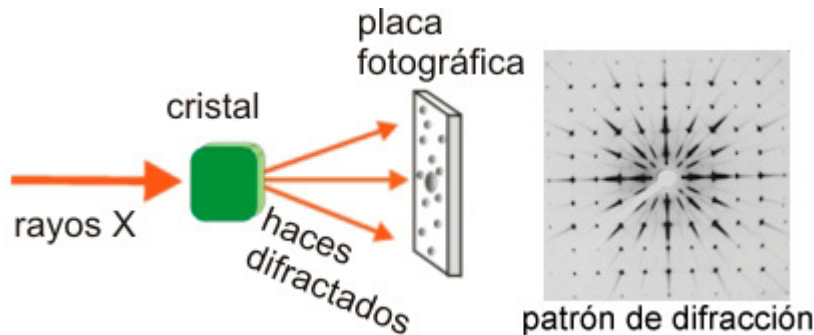


Figura 3: Esquema que ilustra los principios básicos de la cristalografía. Fuente ref [3].

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. 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.

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

- [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>