

Práctica 6. Difracción mediante redes

1. OBJETIVOS

- Aprender a usar las redes de difracción como instrumentos de medida de longitudes de onda de líneas espectrales.

2. MATERIAL

- Espectrómetro.
- Redes de difracción (de 500 y 600 líneas/mm).
- Lámparas de Na y He. Portalámparas y fuente de alimentación.

3. FUNDAMENTO

Una red de difracción es un conjunto repetitivo de elementos difractores igualmente espaciados (aberturas u obstáculos), los cuales producen alteraciones periódicas en la fase, y/o amplitud de la onda luminosa en estudio. La red puede separar un haz de luz que incida sobre ella en sus colores o longitudes de onda constituyentes, las cuales pueden además medirse.

Distinguimos dos tipos de redes de difracción: redes por reflexión y redes por transmisión. Las redes por reflexión se construyen grabando rayas paralelas equiespaciadas en la superficie pulimentada de un metal. La luz se refleja en los salientes entre las rayas marcadas. En las redes por transmisión, las rayas paralelas se graban sobre una placa de vidrio, y la luz pasa a través de los espacios transparentes que existen entre dichas rayas.

El efecto de una red puede describirse en términos de una disposición regular de rendijas paralelas. Las redes que utilizaremos son planas, rectangulares y de varios centímetros de lado. El espaciamiento d entre rendijas es muy pequeño y el número N de rendijas es generalmente grande. La constante de red a es el número de rendijas por milímetro. Un valor típico de la constante es, por ejemplo, $a = 600$ líneas/mm, con lo que $d = 1/600$ mm = $1'67$ μ m.

Si un haz de luz monocromática incide normalmente sobre una red, las ondas emergentes de cada rendija están en fase, y sobre una pantalla colocada a gran distancia se formará un diagrama de interferencia debido a un gran número de focos igualmente espaciados. Las ondas interferirán constructivamente cuando la diferencia de camino sea un múltiplo entero de la longitud de onda, es decir, los máximos de interferencia estarán localizados en ángulos θ_m dados por:

$$d \sin \theta_m = \pm m \lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

donde el entero m indica el orden del máximo interferencial. La expresión (1) se denomina ecuación de la red.

En el caso de luz incidente compuesta por varias longitudes de onda, cada una tendrá diferentes valores de θ_m , y a los máximos se les denomina líneas espectrales. En la pantalla aparece el denominado espectro de líneas. Los órdenes pueden aparecer mezclados, es decir, una línea espectral de tercer orden correspondiente a una determinada longitud de onda puede aparecer antes que otra línea de segundo orden de distinta longitud de onda.

La ecuación de la red es la misma que la que da los máximos en el diagrama de interferencia de una doble rendija. De hecho, se puede estudiar el efecto de ir aumentando progresivamente el número N de rendijas, partiendo de dos, hasta llegar a un número suficientemente grande de ellas como para considerar una red. Hay que destacar dos hechos:

- la intensidad de cada máximo aumenta con N^2
- la semianchura del máximo (ángulo entre el centro del máximo y su mínimo adyacente) disminuye como $1/N$.

Por tanto si una doble rendija produce un diagrama de franjas y una determinada distribución de intensidades, una red produce, si N es elevado, un diagrama que consiste en máximos nítidos, estrechos y brillantes y el resto de la pantalla oscuro.

Una magnitud importante para la red es la dispersión angular D , que es la diferencia en la posición angular que corresponde a una diferencia determinada en la longitud de onda:

$$D = \frac{d\theta_m}{d\lambda} \quad (2)$$

A partir de la ecuación de la red se obtiene que

$$D = \frac{m}{d \cos \theta_m} \quad (3)$$

con lo que se deduce que la dispersión es mayor para redes con menor separación entre rendijas.

Si la diferencia de longitudes de onda $\Delta\lambda$ entre dos líneas es lo suficientemente pequeña como para que se superpongan ($\Delta\theta_m$ muy pequeño), el máximo resultante queda ambiguo, es decir, las líneas no están resueltas. El poder de resolución R de una red se define como:

$$R = \frac{\lambda}{(\Delta\lambda)_{\min}} \quad (4)$$

$(\Delta\lambda)_{\min}$ es la mínima diferencia resoluble de longitud de onda (límite de resolución).

Criterio de resolución de Rayleigh: dos líneas espectrales están resueltas si su separación angular $\Delta\theta_m$ es mayor que la semianchura angular $\Delta\theta_{1/2}$ de cada línea. La semianchura angular $\Delta\theta_{1/2}$ se define como el ángulo entre el centro del máximo y su mínimo adyacente y vale:

$$\Delta\theta_{1/2} = \frac{\lambda}{N d \cos \theta_m} \quad (5)$$

Por tanto el criterio de Rayleigh implica que:

$$\Delta\theta_m > \Delta\theta_{1/2} \quad \text{D} \quad \Delta\lambda > \Delta\theta_{1/2}$$

y sustituyendo:

$$\Delta\lambda > \frac{\lambda}{mN} \quad (6)$$

Es decir, dos líneas espectrales se resuelven si distan un mínimo de λ/mN . Por tanto el poder de resolución R es igual a mN :

$$R = \frac{\lambda}{(\Delta\lambda)_{\min}} = mN \quad (7)$$

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Precaución: La rejilla es un componente delicado. Se debe tener mucho cuidado de no arañar su superficie, y de guardarla siempre en su funda protectora.

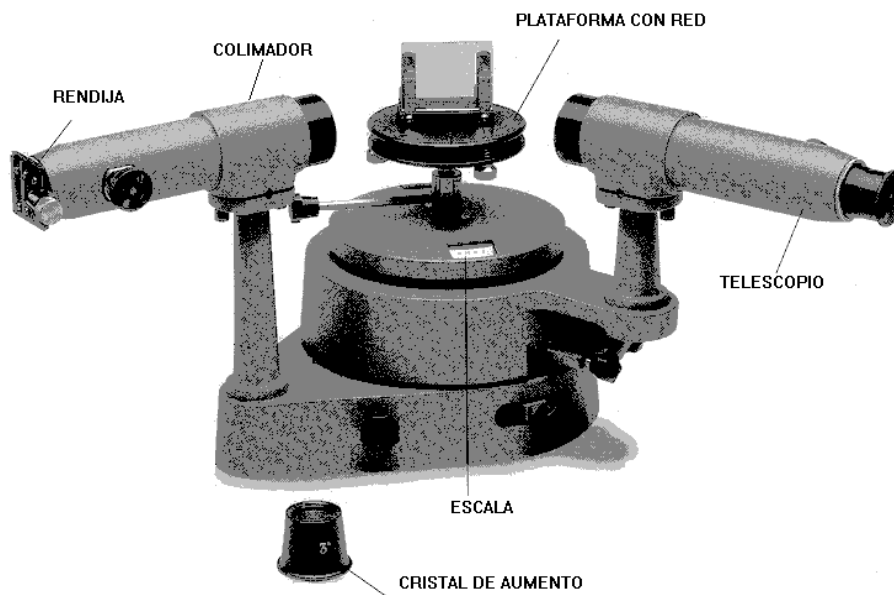


Figura 1
Esquema del dispositivo experimental

Alineación de la rejilla

Pedir al profesor que instale la lámpara de sodio.

Ver las Figuras 2 y 3 para complementar las instrucciones.

1.- Alinear y enfocar el telescopio. El telescopio debe estar enfrente del colimador con la rendija nítidamente enfocada y alineada con la línea vertical.

2.- Liberar el tornillo de fijación de la plataforma del espectrómetro. Alinear la línea grabada en la plataforma del espectrómetro de forma que esté, en la medida de lo posible, colineal con el eje óptico del telescopio y el colimador. Asegurar el tornillo de fijación.

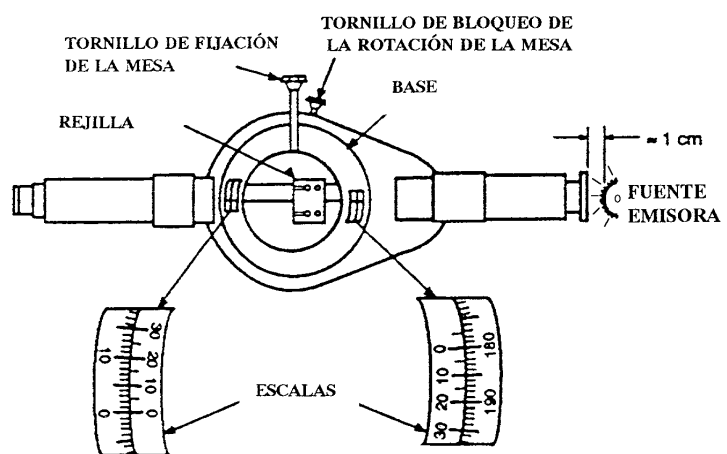


Figura 2

3.- Usando los tornillos, fijar la montura de la rendija perpendicularmente a las líneas grabadas.

4.- Insertar la rejilla de difracción en los clips de la montura. Para comprobar la orientación de la rejilla, mirar a su través hacia una fuente de luz y observar como ésta es dispersada en sus colores componentes. Cuando está colocada en su montura, la rejilla debe dispersar horizontalmente los colores: así la rotación del telescopio permitirá ver las diferentes imágenes coloreadas de la rendija.

5.- Colocar la fuente de luz aproximadamente a un centímetro de la rendija y ajustar su anchura para obtener una imagen brillante y nítida. Si es necesario, ajustar la altura de la plataforma giratoria del espectrómetro para que la imagen esté centrada en el campo de visión.

6.- Rotar el telescopio hasta encontrar una imagen brillante de la rendija. Alinear la línea vertical de la retícula con el borde fijo de la rendija (figura 3) y medir cuidadosamente el ángulo de difracción.

7.- La rejilla difracta la luz incidente a ambos lados de la línea del rayo incidente, en idénticos espectros

Rotar el telescopio hacia atrás, pasando el ángulo cero, hasta encontrar la otra imagen.

Medir el ángulo correspondiente.

8.- Si la rejilla está perfectamente alineada, los ángulos de difracción para las imágenes correspondientes serán idénticos.

Si no, usar el botón de ajuste fino de rotación de la plataforma giratoria para compensar la diferencia, es decir, para alinear la rejilla perpendicularmente al haz procedente del colimador hasta que los dos ángulos medidos sean iguales.

9.- Repetir los pasos 6 a 8 hasta que la coincidencia de los ángulos de difracción para las imágenes sea de hasta un minuto de arco.

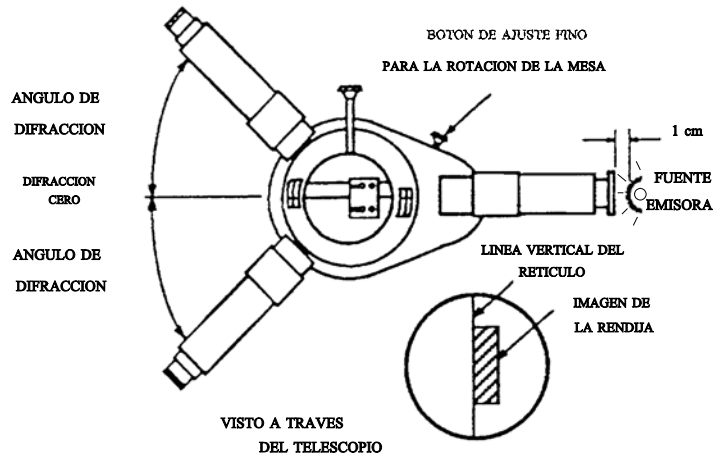


Figura 3

Lectura

Una vez que la rejilla está alineada, no rotar la plataforma giratoria o su base. Los ángulos se medirán como se describe en las instrucciones de uso del espectrómetro. (Puesto que las escalas fueron movidas al ajustar la plataforma giratoria, el punto de difracción cero debe ser medido de nuevo). Las longitudes de onda se determinan de acuerdo con la fórmula:

$$\lambda = \frac{d \sin\theta}{m}$$

donde λ es la longitud de onda; d la distancia entre las líneas de la rejilla de difracción ($d = 1.66 \times 10^{-3}$ para la rejilla de 600 líneas/mm, por ejemplo); θ es el ángulo de difracción; y m es el orden del espectro de difracción bajo observación.

Toma de datos

10.- Medir los ángulos de difracción para todas las líneas del espectro de Na. A partir de la fórmula calcular las longitudes de onda de las líneas espectrales y compararlas con las teóricas.

Pedir al profesor que instale la lámpara de He.

11.- Medir los ángulos de difracción para todas las líneas del espectro de He. Calcular las longitudes de onda correspondientes y su error (tener en cuenta que la red tiene 600 ± 10 líneas/mm).

12.- Colocar ahora la red de 500 ± 50 líneas/mm. Medir ahora los ángulos de difracción para todas las líneas del espectro de He y calcular las longitudes de onda correspondientes. Comparar con las obtenidas para la otra red de difracción.

RESULTADOS

Presentar en forma tabulada los siguientes resultados:

- espectro de Na obtenido con la red de 600 líneas/mm
- espectro de He obtenido con la red de 600 líneas/mm
- espectro de He obtenido con la red de 500 líneas/mm

5. CUESTIONES

1.- Obtener la expresión (3).

2.- ¿Cuál es el poder resolutivo de las redes utilizadas? ¿Puede, por tanto, resolverse el doblete del Na?

3.- Representar gráficamente el espectro de He frente al ángulo de desviación medido con la red de 600 líneas/mm. (Longitudes de onda en ordenadas y ángulos medidos correspondientes en abcisas). Realizar los cálculos de regresión y determinar si la relación existente entre las magnitudes representadas es lineal.

4.- Si un haz monocromático es desviado en el espectroscopio de red un ángulo de $15'16''$, ¿cuál es la longitud de onda del haz?