

EXPERIMENTO 10

Difracción de la luz láser por dos y varias rendijas

Objetivos

- * Estudiar en dos casos la difracción e interferencia de la luz láser por una doble rendija. En el primero, para rendijas con ancho fijo pero diferente separación y en el segundo, para rendijas con separación fija pero diferente ancho.
- * Calcular la longitud de onda del láser a partir de una imagen del patrón de difracción de una doble rendija.
- * Estudiar la difracción e interferencia de la luz láser por múltiples rendijas del mismo ancho.

Teoría

Todas las ondas electromagnéticas experimentan difracción e interferencia; ambas propiedades son compartidas simultáneamente por las ondas, independiente de su longitud de onda. En particular, la luz visible experimenta cambios en su dirección de propagación cuando se encuentra con un obstáculo por el cual la luz se transmite parcialmente. Este fenómeno se conoce como difracción de Fraunhofer¹. Una vez que la luz ha pasado por el obstáculo (abertura o rendija), muy lejos de este aparece un patrón de franjas de luz brillantes y oscuras; las franjas se extienden a ambos lados de la dirección perpendicular a la dirección de propagación de la luz láser. Esto significa que la luz es proyectada en direcciones diferentes a la dirección original de propagación. Las razones que explican la formación del patrón de difracción obedecen al carácter ondulatorio de la luz. Esto quiere decir que las franjas oscuras y brillantes son el resultado de una superposición de muchos haces parciales, formados cuando la luz se encuentra con los bordes de la rendija. En ciertas direcciones, la superposición

¹También es posible explicar este fenómeno desde el punto de vista de la teoría de Fresnel, sin embargo, consideramos aquí la teoría de Fraunhofer por ser mucho más simple.

da lugar a una interferencia constructiva (franjas brillantes) o destructiva (franjas oscuras).

Si en lugar de una rendija se usan dos, la luz es difractada y el patrón resultante también es el resultado de la superposición constructiva y destructiva de los haces parciales de ambas rendijas. Este fenómeno aparece para más de dos rendijas, en cuyo caso la forma de los patrones de difracción depende del número (N) de rendijas, la separación (d) entre ellas y el ancho (g) de cada una.

El ancho de las rendijas produce sobre el patrón de difracción una modulación en la intensidad de las franjas brillantes, la cual corresponde con el patrón para una rendija del mismo ancho. La franja de mayor intensidad es la del centro y se conoce como máximo central, el resto son máximos primarios (o laterales) de menor intensidad debido a la modulación. Los mínimos son las franjas oscuras donde la intensidad de la luz es nula. En una franja brillante, resultado de la interferencia constructiva de los haces parciales, se cumple que la diferencia de camino entre los haces provenientes de cada rendija es un número entero de veces la longitud de onda de la luz difractada.

Si la pantalla en la cual se proyecta el patrón de difracción está lejos de las rendijas, a una distancia L , la separación entre cualquier par sucesivo de máximos primarios es constante, esto es:

$$x_{n+1} - x_n = \frac{L\lambda}{d} \quad (10.1)$$

donde $x_n = \frac{nL\lambda}{d}$, corresponde a la posición de cada máximo primario con respecto al máximo central. $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ toma valores positivos para los máximos de la derecha y valores negativos para los máximos de la izquierda.

La diferencia entre el patrón de difracción de una doble rendija y el de una rendija múltiple, es la formación de máximos secundarios de menor intensidad que los máximos primarios. Entre cada dos máximos primarios se forman $N - 2$ máximos secundarios y $N - 1$ mínimos.

Si se mantiene fijo tanto el ancho como la separación entre las rendijas, la intensidad de los máximos primarios y secundarios es menor cada vez que el número N de rendijas

aumenta. A pesar de eso, la separación entre los máximos primarios permanece siempre igual².

Equipo

- * Láser rojo de He-Ne, rendijas 3B Scientific: dobles (U14100, U14101), múltiples (U14102), portador de rendijas, pantalla traslúcida cuadrículada.
- * Flexómetro, calibrador, cámara y computador portátil.

Precauciones

- * **No mire directamente el rayo de luz láser y tampoco la reflexión que proviene de cualquier superficie metálica. Evite usar accesorios metálicos (relojes, anillos, cadenas) durante la manipulación del láser.**

Procedimiento

El montaje óptico mostrado en la Figura # estará listo en las mesas de trabajo. Sin embargo, usted debe revisar que los elementos ópticos estén alineados correctamente, de tal forma que la sección transversal circular del rayo de luz, cubra por completo cada par de rendijas. En este punto puede que necesite subir o bajar la rendija de las pinzas del portador.

Verifique que el patrón de difracción sobre la pantalla se vea lo más intenso posible, en caso contrario alinee nuevamente el láser hasta conseguir sobre la pantalla la imagen más intensa. Procure mantener la rendija en la misma posición durante todo el experimento (puede pegarla a la mesa con cinta de enmascarar). Cada vez que cambie a otro tipo de rendija, puede ser necesario volver a alinear el láser y la rendija hasta que en la pantalla observe el patrón de difracción más nítido. Es recomendable que las luces del laboratorio estén apagadas.

1. Una vez alineado el montaje óptico, mida con el flexómetro la longitud L entre la rendija y la pantalla traslúcida. Mantenga fija esta longitud durante todo el experimento.
2. Identifique las rendijas sobre la mesa; hay tres referencias diferentes (U14100, U14101, U14102), en cada una el ancho está dado por b , mientras que la separación entre ellas es g .

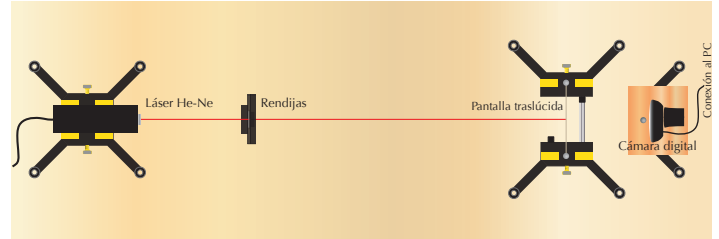


Figura 10.1

3. Monte las rendijas (U14101) con ancho fijo y separación variable. Para cada par de rendijas obtenga el mejor patrón de difracción y tome una fotografía con la cámara digital. La cámara está conectada al computador y mediante su software puede ajustar y registrar fácilmente la imagen.

Con un programa de edición de imágenes podrá medir en píxeles la longitud entre las franjas brillantes o oscuras. Necesita un factor de escala de píxeles a metros para determinar la separación real de las franjas. Este factor puede sacarlo de una imagen del patrón en la cual se observe la cuadrícula (puede iluminar con la luz de su teléfono). Mida con el calibrador la longitud real de la cuadrícula, también mida su longitud en píxeles, luego use estas medidas para sacar la escala. Haga esto por cada imagen que registre.

4. Monte las rendijas (U14100) con ancho variable y separación fija. Para cada par de rendijas tome una fotografía del patrón de difracción y por medio del método sugerido en el paso anterior, mida la separación entre las franjas brillantes o oscuras.
5. Por último, monte las rendijas múltiples (U14102) y registre la imagen del patrón de difracción para $N = 2, 3, 4, 5$. Observe cada uno de ellos e identifique los máximos secundarios.

Análisis

- * A partir de las imágenes registradas en el procedimiento 3, calcule el valor promedio de la separación entre los máximos para cada uno de los cuatro pares de rendijas. Use estos resultados y la separación entre cada par para calcular mediante una regresión lineal, la longitud de onda del láser y su respectiva incertidumbre. Compare su resultado con el valor nominal impreso en la etiqueta del láser. ¿Los patrones de difracción coinciden con los que predice la teoría de Fraunhofer?.
- Un montaje óptico es sensible a muchos factores; en su caso particular mencione los factores de error encontrados durante su medición.

²Para mayor detalle sobre la difracción de la luz por múltiples rendijas, consulte el libro: E. Hecht, *Optics*, 4th Edition (Addison Wesley, 2002), Chapter 10.

- ✱ Verifique que la separación entre las franjas brillantes obtenida de las imágenes registradas en el procedimiento 4, no cambia con el ancho de las rendijas. ¿Cómo afecta el ancho de las rendijas a los patrones de difracción?
- ✱ Analice cada patrón de difracción obtenido de las imágenes registradas en el procedimiento 5. Identifique los máximos principales y los máximos secundarios, además verifique que la separación entre los máximos principales no cambia si se aumenta el número de rendijas. Compare todos los patrones de difracción y establezca las diferencias cuando hay más rendijas. ¿Cuál es el efecto más notable entre ellos?