

Física General IV: Óptica

Práctico de Laboratorio N°7: Difracción de Fraunhofer

Objetivo: Observación cuantitativa de los patrones de difracción de Fraunhofer de rendijas alargadas, aberturas rectangulares, circulares y obstáculos opacos.

Introducción: Según el principio de Huygens-Fresnel, cada punto no obstruido de un frente de ondas actúa como centro emisor de ondas esféricas secundarias (con igual frecuencia que la de la onda primaria). La amplitud del campo eléctrico en todo punto por delante, está dada por la superposición de todas las ondas secundarias.

En el caso de obstáculos opacos, su efecto puede visualizarse de igual manera, excepto por el signo, substituyendo la onda incidente y sus ondas secundarias (provenientes de todos los puntos no obstruidos) por el campo generado sólo por las ondas secundarias que se habrían generado en la región del obstáculo, si este no existiera.

Se deben distinguir dos situaciones de observación distintas. La primera, en la cual el plano de observación está próximo al plano del obstáculo (sea este opaco o una abertura), se conoce como condición de Fresnel o de campo cercano. La segunda, conocida como condición de Fraunhofer o de campo lejano, se obtiene cuando el plano de observación se aleja lo suficiente como para cumplir con la condición

$$R > \frac{a^2}{\lambda}, \quad (1)$$

donde R es la distancia entre el obstáculo y la pantalla de observación, a es el ancho más grande que presenta el obstáculo y λ es la longitud del frente de ondas plano que incide sobre el obstáculo. Bajo la primera condición, la imagen del objeto o abertura se proyecta de forma perfectamente reconocible en la pantalla, si bien aparecen franjas que rodean su periferia. Alejando la pantalla de observación, las franjas se tornan más visibles y estructuradas, aunque la imagen del obstáculo aún está presente. A medida que la pantalla se aleja, las franjas cambian continuamente hasta que, si la distancia es muy grande, ya no se logra apreciar cambio alguno en la estructura y dimensiones

del patrón de franjas y la imagen ya no es mas perceptible. Esta última situación es la denominada difracción de Fraunhofer, cuya descripción matemática es mas sencilla.

Experimentalmente se trabaja con un frente de ondas plano incidente, generado por un láser o colocando una fuente puntual en el foco de una lente convergente. La condición de Fraunhofer se asegura colocando el obstáculo en el foco de una lente positiva, permitiendo así trabajar de forma cómoda con la pantalla a distancia finita del obstáculo, si bien la observación se realiza a distancia infinita.

Para una rendija delgada el patrón de difracción de franjas paralelas observado es tal que la irradiancia I sobre la pantalla está dado en función del ángulo de observación θ por

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2, \quad (2)$$

donde I_0 es la irradiancia en el centro del patrón ($\theta = 0$) y

$$\beta = \frac{2\pi d}{\lambda} \frac{1}{2} \text{sen } \theta,$$

siendo d el ancho de la rendija. Los mínimos de intensidad en la pantalla se tienen así para los valores de $\beta = \pm\pi, \pm 2\pi, \dots$. Para la determinación del ángulo de observación son válidas las aproximaciones realizadas en la construcción de los patrones de interferencia.

Para una rendija rectangular el patrón de difracción sobre la pantalla presenta una irradiancia en cada punto de la pantalla de coordenadas (Y, Z) (respecto del centro) dada por

$$I(Y, Z) = I_0 \left(\frac{\text{sen } \alpha'}{\alpha'} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta'}{\beta'} \right)^2, \quad (3)$$

donde

$$\alpha' = \frac{2\pi a}{\lambda} \frac{Z}{2R}, \quad \beta' = \frac{2\pi b}{\lambda} \frac{Y}{2R},$$

siendo a y b las dimensiones de la abertura rectangular.

Para una abertura circular, por otro lado, se tiene que el patrón de irradiancia en la pantalla en función del ángulo de observación está dado por

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{2 J_1(\beta)}{\beta} \right)^2 \quad (4)$$

con

$$\beta = \frac{2\pi d}{\lambda} \frac{1}{2} \text{sen } \theta,$$

siendo d en este caso el diámetro de la abertura circular. La función $J_1(\beta)$ es la Función de Bessel de orden 1. Los ceros de esta función, según valores de tabla, se encuentran en los valores de $\beta = 0; 3,832; 7,016; 10,173; 13,324; \dots$

Desarrollo Experimental:

Experiencia 1: Observar la imagen de una rendija delgada de ancho conocido, iluminada por un láser de He-Ne. Llevar la pantalla a la proximidad del plano de la rendija y alejarla paulatinamente. Registrar la distancia a partir de la cual se observan claramente franjas alrededor de la imagen y la necesaria para ya no poder distinguir la imagen de la rendija en la pantalla. Comparar con la condición de Fraunhofer dada en la Ec. (1).

Experiencia 2: Reproducir la disposición experimental de Fraunhofer para la observación de una rendija de ancho conocida. Determinar la separación entre los mínimos que limitan el máximo central y determinar la longitud de onda del láser de He-Ne. Identificar la principal fuente de error.

Experiencia 3: Reproducir la disposición experimental de Fraunhofer para la observación de una abertura cuadrada o rectangular. A partir de la medición de las distancias entre los mínimos que delimitan el máximo central, determinar las dimensiones de la abertura.

Experiencia 4: Reproducir la disposición experimental de Fraunhofer para la observación de una abertura circular. A partir de la medición del diámetro del primer mínimo (anillo que encierra al disco de Airy o máximo central), determinar el diámetro de la abertura.

Experiencia 5: Reproducir la disposición experimental de Fraunhofer para la observación de un objeto delgado opaco (emplear un cabello o alambre delgado). Determinar el espesor del obstáculo a partir del patrón de difracción observado.

Experiencia 6: Reproducir la disposición experimental de Fraunhofer para la observación de una doble rendija de separación y ancho conocidos. Identificar los patrones de difracción e interferencia. Obturar una de las dos rendijas y observar el patrón resultante. Comparar las distancias entre los mínimos que delimitan el máximo central del patrón de difracción en cada caso.

Bibliografía:

1. E. Hecht, *Optics*, Addison Wesley, Reading, MA (1998), 3ed.
2. F. A. Jenkins y H. E. White, *Fundamentos de Óptica*, Aguilar, Madrid (1964).