

FORMACIÓN DE IMÁGENES MEDIANTE DIFRACCIÓN

Alumnos: Herrera, María S. y Ruiz, María E.

Docentes: Lemmi, Claudio; Villarreal, Mirta y Mazzaferri, Javier.

Asignatura: Laboratorio II. Depto. Física, FCEN, UBA

Fecha: 3 de Diciembre del 2003

RESUMEN

En este trabajo se presenta la posibilidad de formar imágenes de objetos pequeños mediante difracción, utilizando luz blanca y obstáculos esféricos. Se hace una breve descripción teórica del fenómeno y, en la parte experimental, se destaca la sencillez del montaje utilizado.

INTRODUCCION

Cuando una onda plana o esférica ilumina un obstáculo esférico, se puede observar en el centro de la sombra una figura de difracción, que consta de una pequeña mancha encerrada por anillos. Esta recibe el nombre de mancha de Arago o Poisson. En el año 1818^[1], cuando Fresnel presentó su trabajo acerca de la teoría ondulatoria de la luz ante la Academia Francesa, Poisson concluyó que, de acuerdo a la nueva teoría, un punto brillante debería verse en el centro de la sombra del obstáculo esférico, demostrando de esta manera que el tratamiento dado por Fresnel era incorrecto. Sin embargo, tiempo después, el punto brillante pudo ser observado por Arago, con lo que la teoría ondulatoria de la luz adquirió un fuerte sustento experimental.

En este trabajo, le hemos dado a éste fenómeno una aplicación muy interesante y poco conocida que consiste en la utilización de obstáculos esféricos como sistemas formadores de imágenes.

Luego de la introducción teórica, se mostrará el sistema óptico utilizado con el cual se obtuvieron imágenes de objetos bidimensionales.

DESCRIPCIÓN TEÓRICA

Cuando se ilumina una esfera de diámetro $2a$, con una onda esférica de radio de curvatura d , en cualquier posición z detrás de la esfera se puede observar la figura de difracción correspondiente a la mancha de Arago (Ver Fig. 1). La amplitud del campo a la salida, dentro de la sombra y cerca del eje óptico, puede ser

aproximada a la función de Bessel del primer tipo y orden cero^[2]:

$$U(r) = A \cdot J_0\left(\frac{kar}{z}\right) \quad (1)$$

donde

$$A = e^{ik(z+d)} \cdot e^{\frac{ika^2(z+d/2zd)}{z+d}} \quad (2)$$

es una constante, $k = 2\pi/\lambda$ y λ es la longitud de onda.

Utilizando la ecuación (1) y las propiedades de la función $J_0(x)$, la cual tiene su primer cero en $x = 2.403$, se obtiene el radio r_0 de la mancha central de Arago:

$$r_0 = 0.38 \sqrt{z/a} \quad (3)$$

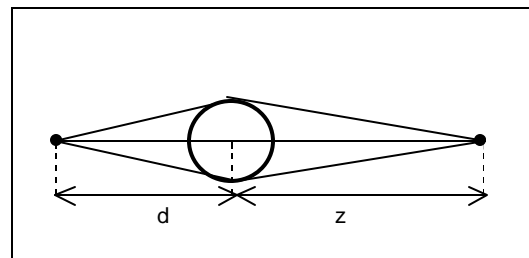


Figura 1. La mancha de Arago se encuentra a una distancia z detrás del obstáculo esférico iluminado por una onda esférica de radio de curvatura d .

En la figura 2 se presenta el esquema del montaje óptico. El objeto bidimensional y de altura h , es iluminado por luz blanca y se ubica a una distancia d' delante de la esfera. La imagen se forma a

una distancia z detrás de la esfera y es real e invertida. De acuerdo a la óptica geométrica la altura H de la imagen es:

$$H = hz/d' \quad (4)$$

Hay que destacar una característica importante de este sistema formador de imágenes que lo distingue de los demás: la imagen aparece en cualquier posición detrás del obstáculo esférico, es decir, no existe ningún plano imagen bien definido. Además, las imágenes son casi acromáticas, es decir, se observan en su color natural. En la mayoría de los sistemas formadores de imágenes cada longitud de onda tiene su propio plano imagen y en consecuencia no se logra un enfoque completo en ningún plano.

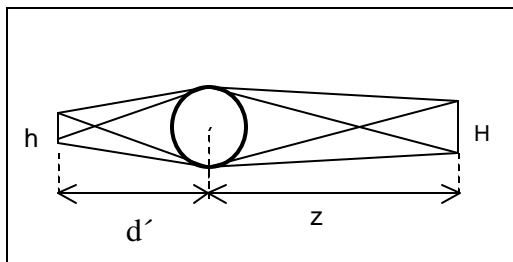


Figura 2. Formación de una imagen en la zona de sombra para un objeto de altura h .

EXPERIMENTO

El montaje realizado se esquematiza en la figura 3. Como fuente luminosa se empleó un proyector de luz blanca de 100W (P) y se concentró la mayor cantidad de luz sobre el objeto (O) utilizando una lente convergente (L) de distancia focal 5 cm. Se trabajó con esferas de acero (E) cuyas dimensiones van desde los 3 a los 9 mm de diámetro. Cada una de ellas fue pegada en un portaobjetos de vidrio (los que se usan en microscopios) y luego el vidrio se colocó perpendicular al eje óptico de la configuración. Las imágenes fueron tomadas por una cámara CCD Sony M350.

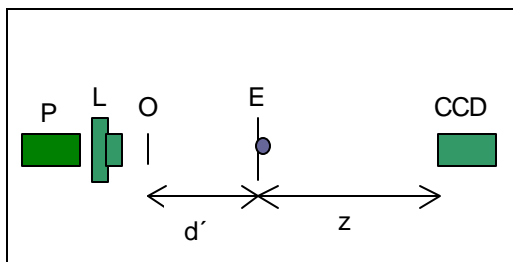


Figura 3 Esquema del sistema experimental utilizado: P: proyector, L: lente, O: objeto, E: esfera, CCD: cámara.

Los resultados de los experimentos realizados están dados en las figuras 4, 5, 6 y 7. Las figuras 4.a y 4.b presentan dos imágenes distintas de la figura de difracción. En la Figura 5.a se muestra el objeto bidimensional donde el diámetro de cada círculo es de 1.9mm. En las Figuras 5.b y 5.c se observan las imágenes obtenidas utilizando una esfera de 6 mm de diámetro. En éste caso las distancias z y d' fueron de 19.7 cm. y 82.7cm. respectivamente. Las figuras 6a y 6.b corresponden a la imagen obtenida del mismo objeto pero con una esfera de 3.25 mm de diámetro, en ellas se puede apreciar la imagen formada en el centro de la sombra del obstáculo difractor. Las distancias z y d' fueron de 43,2 cm y 5,15 cm respectivamente. En las Figuras 7.a y 7.b se exhiben otro objeto bidimensional y su correspondiente imagen, la altura de cada letra es de 1,45 mm, y las distancias z y d' son las mismas que para el caso de la Figura 5. Todas las imágenes de las figuras 4-7 fueron obtenidas utilizando luz blanca.

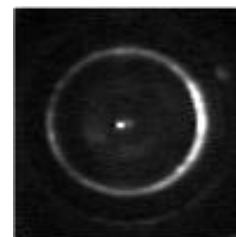
También se trabajó con una esfera de 9 mm de diámetro, pero para observar imágenes, el arreglo experimental requería mayor espacio que el proporcionado por el cuarto de laboratorio.

Asimismo, se intentó formar imágenes iluminando cada uno de los objetos de las figuras 5, 6 y 7 con un láser de helio-neón. Sin embargo esto no fue posible debido a la interferencia de las múltiples reflexiones de la luz en la esfera.



a

Figura 4. (a) Anillos de difracción. (b) Figura de difracción y mancha de Arago



b

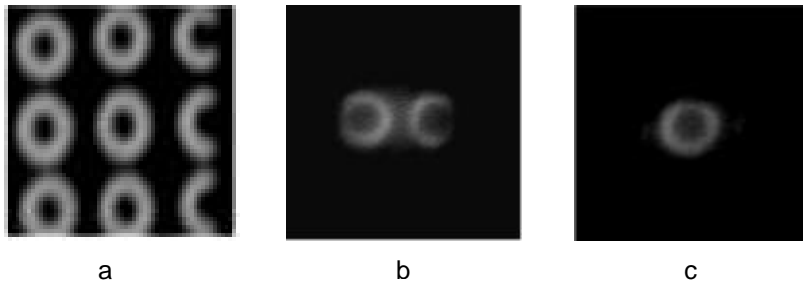


Figura 5. (a) Objeto bidimensional. (b) Imagen lograda iluminando sobre dos círculos. (c) Imagen lograda iluminando sobre un círculo.

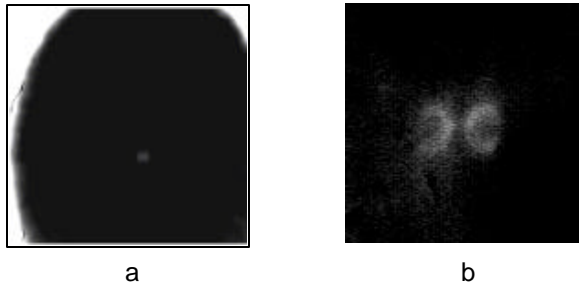


Figura 6. (a) Sombra de la esfera difractora y en su centro la imagen. (b) Imagen lograda con una esfera de 3,25 mm de diámetro.

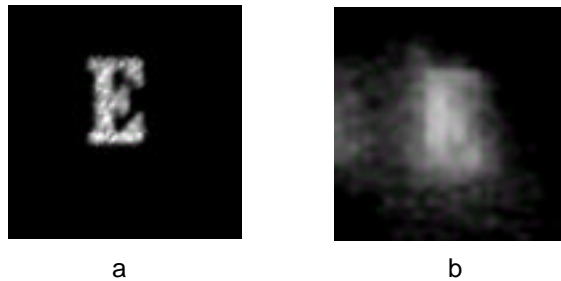


Figura 7. (a) Objeto bidimensional. (b) Imagen lograda iluminando sobre una de las letras.

CONCLUSIONES

El arreglo es simple, compacto e incluye componentes ópticos de fácil obtención, lo que posibilita la realización del experimento en el curso de laboratorio 2.

Las imágenes sólo pueden ser observadas mediante la utilización de luz blanca. Esto se debe a que, como la luz blanca es incoherente, no se produce interferencia entre las distintas reflexiones de la luz en la esfera sino que sus intensidades se suman contribuyendo a la formación de imágenes. En el caso de la luz coherente la interferencia produce pérdida de información del objeto, y por consiguiente no se forman imágenes.

Por otro lado, el sistema posee gran profundidad de campo, en otras palabras la imagen puede ser observada en cualquier posición detrás de la esfera.

Además el proceso es casi acromático lo que nos permite decir que las imágenes se observan en su color natural; en cambio en la mayoría de los sistemas formadores de imágenes, éstas se forman en distintos planos para cada longitud de onda.

La distribución de energía de los anillos externos del patrón de difracción se mantiene relativamente constante^[3] produciendo ruido en la imagen. Sin embargo la imagen posee una alta resolución debido a que la esfera no sufre de aberraciones (como las lentes) y además los errores de fase introducidos por la esfera no son perjudiciales. La simetría esférica garantiza que todos los puntos del objeto sean axiales a la esfera.

Las imágenes ubicadas en planos distantes, tienen grandes dimensiones pero les llega poca intensidad de luz, lo cual dificulta la posibilidad de observarlas.

REFERENCIAS

[1] E. Hecht. "Óptica". Addison-Wesley (2000)

[2] A. Kolodziejczyk, Z. Jaroszewicz, R. Henao y O. Quintero. "And experimental apparatus for white light imaging by means of a spherical obstacle". Am. J. Phys. **70** (2), 169-172 (2002).

[3] G. E. Sommargren y H. J. Weaver. "Diffraction of light by an opaque sphere. II: Image formation and resolution consideration". Appl. Opt. **31** (10), 1385-1398 (1992).

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Dr. Claudio Lemmi por permitirnos trabajar en el Laboratorio de Procesado de Imágenes. A los docentes Javier y Mirta, al pañolero de Laboratorio II Alejandro Greco, por su colaboración y a Ana María Elguero por prestarnos el proyector, ya que sin él no hubiésemos podido realizar este trabajo.