

PRACTICA DE LABORATORIO **LF-10A**

ÓPTICA ONDULATORIA (EFECTOS DE LA DIFRACCIÓN)

OBJETIVO

1. Observar experimentalmente los efectos de la difracción relativos a haces de radiación colimada de tamaño finito.

MATERIALES

- Láser He-Ne
- Monturas ópticas
- Pinhole
- Cámara CCD
- Lentes
- Diafragma o iris
- Carril óptico
- Rendijas simples y múltiples para difracción
- Red de difracción
- Filtros de densidad neutral
- Polarizadores cruzados (para uso como filtro de intensidad)
- Espejos planos
- Divisor de haz

TAREAS PRELIMINARES

- Repase los conceptos fundamentales de la difracción en objetos simples.
- Investigue que es un haz Gaussiano
- Investigue el concepto óptico de mínimo de difracción.

FUNDAMENTOS

La serie de experimentos que se presentan seguidamente, intentan reforzar el entendimiento de los conceptos de la óptica ondulatoria, reforzando parte de las ideas que se experimentan en los laboratorios básicos.

En la primera etapa, partes 1 y 2, el estudiante registra el patrón de difracción detallado de una abertura circular y el ángulo de difracción para compararlos con resultados esperados. En el tercer experimento se trata que el estudiante descubra el omnipresente efecto de la difracción, en un haz de radiación que tiene una sección transversal finita. En este experimento se enfoca el haz y se hacen mediciones del tamaño del punto focal. Los resultados se comparan con valores esperados y se comparan con el estimado del mínimo de difracción.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Parte 0

Preliminares

Intensidad del láser

- El láser que se dispone en el laboratorio está polarizado, por tanto su intensidad se puede modular usando polarizadores.
- También puede utilizar los filtros de densidad neutral.

La cámara

- Garantize que su señal no satura el detector, para evitar una medición errónea y/o dañar el detector de la cámara (lea el Apéndice).
- Familiarícese con el programa que controla la cámara, en particular con la función de corte transversal.

Calibración Espacial

- Usted requiere de hacer una **calibración espacial** del detector para expresar sus resultados en las unidades espaciales apropiadas. Para esto proponga y utilice alguna metodología apropiada. (lea el Apéndice)

Parte 1

Angulo de Difracción.

Como se evidencia en este experimento, un haz de radiación electromagnética coherente, como el láser de HeNe, no se propaga como un frente de onda plano de intensidad uniforme, sino que se va expandiendo y tiene una distribución de intensidad transversal que disminuye radialmente a partir de un máximo sobre el eje de propagación (ver figuras 1a y 1b).

En general cualquier haz de radiación, de sección transversal finita, propagándose en el vacío, se expande naturalmente por difracción (piense como a si el haz estuviese pasando por una abertura igual al diámetro de éste) con un ángulo $\theta = \lambda/\pi w_0$. Se puede demostrar que, debido a esta expansión, la distribución radial de la intensidad sigue una función gaussiana en función del radio. Por esta razón en la literatura especializada se usa el término haz Gaussiano, para referirse a un haz de sección transversal finita, y para singularizar su naturaleza ondulatoria.

Procedimiento

- Projete el láser de HeNe sobre la cámara a la mayor distancia posible.
- Tome la imagen

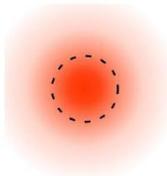


Figura 1a

- Haga un corte transversal.

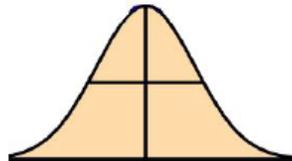


Figura 1b

- Aunque la metodología es sencilla, es muy importante que usted se asegure que no está saturando el detector (la cámara--lea el Apéndice).
- Mida y ajuste el perfil de intensidad a una curva de la forma

$$I(r) = I_o e^{-\left(2(r/a)^2\right)} \quad (1)$$

- , determine el valor de **a** (lea el apéndice: "ajuste de curvas"). Mida el ángulo de divergencia del láser asumiendo que $w \sim a$, revise la figura 2 y la ecuación 2. Reporte el ángulo y su respectivo error experimental.
- Mida el ángulo de divergencia del láser proyectando el haz en la pared . Estime el valor de w directamente sobre la imagen. Nuevamente reporte el valor de θ con su respectivo error experimental.

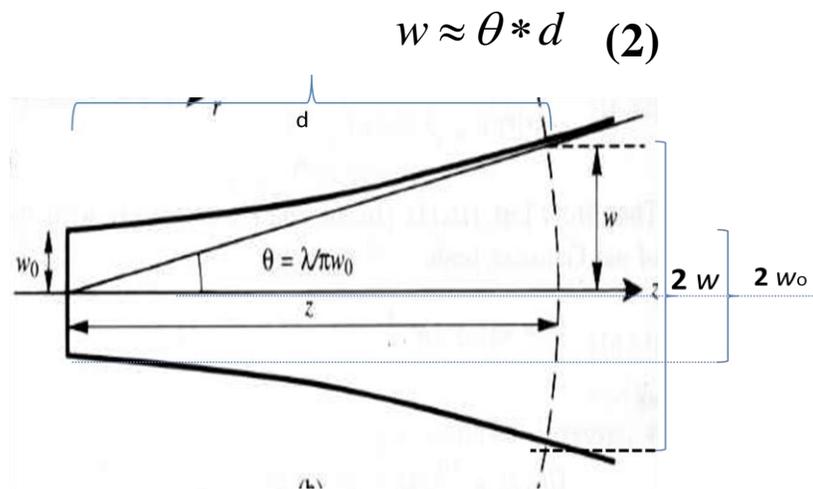


Figura 2

d es la distancia de la salida del láser a la pared, $2w_0$ es el diámetro inicial del láser.

- Compare los valores de θ obtenidos con el valor esperado

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (3)$$

Parte 2

Medición del patrón de difracción de una abertura circular.

- Haciendo uso del láser de HeNe ilumine la abertura circular (conocida en inglés como, “pinhole” debido a su tamaño diminuto) que se provee en el laboratorio.
- Haga incidir la imagen sobre la cámara CCD. Obtenga una imagen del patrón de difracción de Airy y un corte transversal.

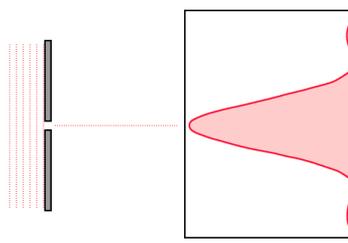


Figura 2

- Aunque la metodología es sencilla, es muy importante que usted se asegure que no está saturando el detector (la cámara).
- Para el análisis, ajuste (vea el apéndice) el corte transversal (ver figura 2) a una función analítica usando el programa Excel. Busque en la literatura la función más apropiada. Deduzca el tamaño de la abertura del “pinhole”. Determine el error de la medición.
- **NOTA:** Usted debe calibrar espacialmente el detector para expresar su resultado en las unidades espaciales apropiadas (Lea el Apéndice).
- **NOTA:** Es posible que usted no logre la condición de No saturar y una buena calidad de imagen al mismo tiempo; consulte con el profesor.

Parte 3

Medición del tamaño del punto focal de una lente (mínimo de difracción).

En el siguiente experimento, se trata de observar una consecuencia práctica del tamaño finito de un haz de luz. Para esto mediremos el diámetro mínimo del punto de enfoque de un haz a través de una lente.

Este diámetro mínimo D_{min} se denomina **mínimo de difracción** (ver apéndice) y se expresa de la siguiente forma:

$$D_{min} = 2 f \theta = 2 f \left(\frac{\lambda}{\pi w_o} \right) \quad (2)$$

Donde f es la distancia focal de la lente y la expresión entre paréntesis es el ángulo de expansión debido a la difracción.

En particular nos interesa verificar experimentalmente la dependencia de D_{min} con w_o , para lo cual usaremos además del haz original un haz expandido utilizando un “expansor de haz”.

PROCEDIMIENTO

Construcción de un expansor de haz

Para realizar este experimento se requiere construir un expansor de haz como se muestra en la figura 3.

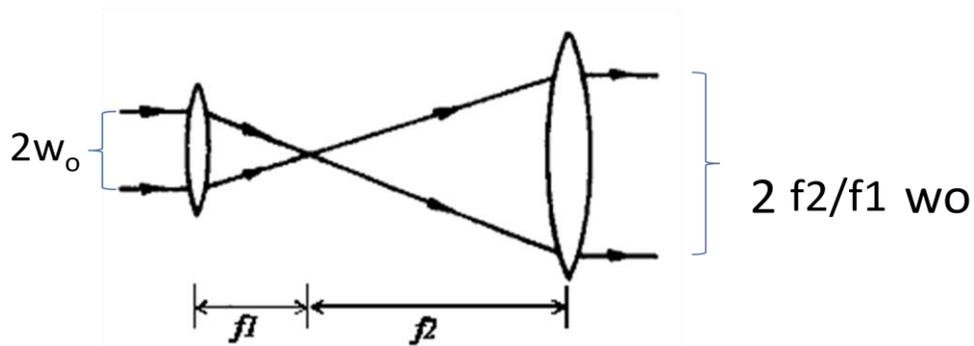


Figura 3 Expansor de haz (Kepleriano)

Un expansor de haz es un sistema óptico que permite aumentar el tamaño transversal de un haz colimado, tipo láser, conservando el resto sus propiedades.

En este experimento usaremos una configuración donde dos lentes convergentes de distancias focales f_1 y f_2 se colocan a una distancia de

separación igual a $f_1 + f_2$ como se muestra en la figura. Esta configuración produce un haz magnificado por un factor igual a f_2/f_1 .

- Tome dos lentes tal que $f_2 \gg f_1$ y colóquelos a una distancia $f_1 + f_2$.
- Mueva la lente f_2 y observe simultáneamente el haz de salida. Ajuste la lente f_2 hasta que la proyección del haz sobre la pared tenga el mismo diámetro que sobre la lente f_2 .
- Verifique que dicho diámetro no cambie su tamaño a lo largo de “toda” la trayectoria del haz.

Medición del punto focal

- Coloque una lente $f_3 > 30$ cm. Apunte la imagen del punto focal al CCD de la cámara.
- Realice un corte transversal de la imagen (con el programa de la cámara) para determinar el diámetro de dicho punto focal.
- Para esta medición, usted debe ser cuidadoso al apuntar su imagen a la cámara. Nuevamente:
 - i. Nunca apunte a la cámara antes de reducir apropiadamente la intensidad del haz.**
 - ii. Reduzca considerablemente la intensidad haciendo uso de los filtros de densidad neutral y polarizadores disponibles.**
 - iii. Garantize que su señal no satura el detector, para evitar una medición errónea.**
- **SIN MOVER** ni f_3 , ni la cámara; retire con cuidado el expansor de haz (ajuste la luminosidad). Mida nuevamente el diámetro del punto focal.
- Analice sus resultados en función de la ecuación (2).

APÉNDICE

Sobre la saturación

- Saturar significa que la intensidad de ciertas partes de la imagen superan el límite máximo manejable por el detector.
- En esta cámara basta con determinar que ningún pixel supere la intensidad de 256.
- En general para verificar que la saturación no está presente, se debe atenuar la “señal” por un factor conocido. La medición del detector debe disminuir proporcionalmente en el mismo factor.
- En el visible la técnica usual es usar filtros de densidad neutral.

Sobre la calibración espacial del detector.

- Usted necesita conocer la relación entre las unidades espaciales que usa el detector, y las dimensiones reales.
- Utilice la **imagen** de un objeto de dimensiones conocidas para calibrar apropiadamente el detector.
- **Precaución** usted debe conocer exactamente las dimensiones de la imagen en cuestión. En esta práctica se recomienda usar la **imagen** de la sombra que produce un alambre al ser iluminado con la luz del láser de HeNe. Si utiliza el expansor de haz –para lograr una iluminación más homogénea-, asegúrese de que el expansor está bien ensamblado.
- Este procedimiento se debe realizar en cualquier momento del transcurso de la práctica

Ajuste a curvas

- En términos de una hoja de cálculo significa, generar un vector (columna) que contiene una curva analítica parametrizada .
- Graficar dicha curva, junto con los datos experimentales.
- Variar los parámetros disponibles para conseguir el mejor ajuste.
- En el Aula virtual puede conseguir un programa en Excel que puede ser de utilidad.

Límite de difracción

- En la literatura se observa con frecuencia la expresión “el límite de difracción” de una lente. Esta expresión se refiere a al mínimo tamaño que puede adquirir un punto en el foco de la lente.
- El haz usualmente ilumina una “zona limitada” de la lente, por la necesidad de reducir también otros efectos como lo son la aberración cromática y esférica.

REFERENCIAS

1.-Óptica (Eugene Hecht y Alfred Zajac) Fondo Educativo InterAmericano.