

Laboratorio de Enseñanza de Física

PRACTICA DE LABORATORIO No. 5

1. Interferencia

Los patrones de color de una mancha de aceite en el pavimento mojado son un ejemplo de experiencias diarias que permiten visualizar el fenómeno de interferencia.

Este tipo de efecto proviene de situaciones en donde dos o más ondas se superponen, anulándose mutuamente o sumándose de forma tal que el resultado resulta mas pronunciado que cualquiera de sus constituyentes. La naturaleza ondulatoria de los campos electromagnética de la luz es la base para comprender este tipo de efectos.

Los campos (eléctricos y magnéticos) cumplen con las siguientes expresiones, que son ecuaciones diferenciales de segundo orden Estas muestran la naturaleza ondulatoria y además obedece al principio de superposición.

$$\nabla^2 E = \mathbf{e}_o \cdot \mathbf{m}_o \cdot \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad [1.a]$$

$$\nabla^2 B = \mathbf{e}_o \cdot \mathbf{m}_o \cdot \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} \quad [1.b]$$

Si \overline{E}_1 y \overline{E}_2 son soluciones de las ecuaciones anteriores. El campo eléctrico resultante, debido a la superposición de dos o más ondas, es igual a la suma vectorial de las perturbaciones constitutivas, y también cumple con la ecuación anterior.

$$\overline{E} = \overline{E}_1 + \overline{E}_2 \quad [2]$$

Es decir, las ecuaciones de Interferencia y Difraccion son deducidas dentro del contexto vectorial.

Punto No.1: ¿Qué es una onda?, ¿Dónde se refleja el carácter vectorial?

1.1 Aspectos experimentales

Desde el punto de vista experimental tenemos que definir que vamos a medir, es decir, de alguna manera tenemos que medir el campo vectorial \vec{E} resultante de la suma de las perturbaciones.

Lo que es conveniente es la medición de la intensidad o irradiancia que puede ser medido por una gran variedad de sensores: fotoceldas, emulsiones fotográficas o el ojo humano.

La intensidad viene dada por:

$I = \langle E^2 \rangle$, donde el símbolo $\langle \rangle$ se refiere al promedio sobre el tiempo de detección T.

Para una función $f(t)$ cualquiera, el promedio se escribe como:

$$\langle f(t) \rangle = \frac{1}{T} \cdot \int_t^{t+T} f(t') dt' \quad [3]$$

Consideremos entonces dos fuentes de emisión de ondas separadas una distancia a en un medio homogéneo como se muestra en la figura 1.

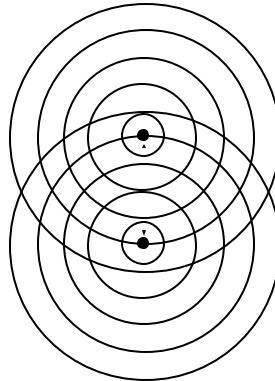


FIGURA 1: Esquema de dos fuentes de ondas puntuales, separadas una distancia finita. Los círculos concéntricos representan el movimiento de los frentes de onda. Notar que existe superposición de los frentes de onda de cada fuente.

Los dos haces que se superponen, de fuentes separados, interfieren generando un patrón de interferencia que no se mantendrá en el tiempo. Estudiemos el motivo.

Una fuente típica contiene átomos que irradian un tren de ondas (figura 2) cada 10^{-8} segundos. Entonces, dos fuentes distintas podrían mantener fases relativas, en el mejor de los casos, en este tiempo solamente (10^{-8} segundos), con lo cual el patrón de interferencia no es observable a simple vista.



FIGURA 2: Esquema de un tren de onda.

La diferencia de fase entre las ondas tiene que ser constante para que la superposición de las ondas incidentes se mantenga en una condición determinada. Esto implica que el patrón de interferencia será constante en el espacio durante el lapso que esta condición se cumpla.

Por lo tanto, sería útil intentar ver o fotografiar el patrón de interferencia de dos fuentes de frecuencias muy similares y coherentes (diferencia de fase constante en el tiempo). La forma más común es hacer que una fuente se utilice para producir dos fuentes secundarias.

1.2 Polarización

Otro aspecto importante en la generación de los patrones de interferencia es la dependencia con la polarización de la fuente que se utiliza.

Sin entrar en detalle veamos que es la polarización. La luz se puede tratar como una onda electromagnética transversal.

Si la luz es linealmente polarizada, la orientación del campo eléctrico \vec{E} se mantiene en un plano a pesar que su magnitud y signo varían con el tiempo a medida que se propaga.

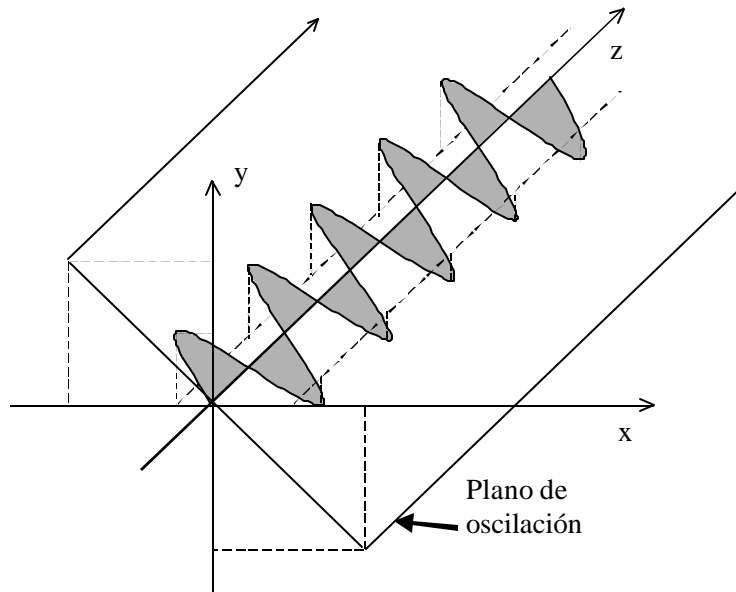


FIGURA 3: Esquema de una onda polarizada linealmente. Notar el plano de oscilación.

Cada onda (linealmente polarizada o no) puede ser descompuesta en dos ondas linealmente polarizadas, ortogonales entre sí, de la misma frecuencia moviéndose a través de la misma región del espacio en la misma dirección.

El estado de polarización de una onda incidente vendrá dado por el plano de oscilación de la onda resultante.

Con relación al fenómeno de interferencia tenemos que si las dos fuentes que se utilizan para generar el patrón de interferencia tienen una polarización ortogonal entre sí, la intensidad será nula $I=0$. Mientras que se obtendrá una intensidad distinta de cero cuando la polarización sea paralela entre las fuentes. En ambos casos, estamos considerando haces incidentes coherentes.

Punto No.2: ¿ Cual es el estado de polarización del Láser? ¿Y de la luz natural?

1.3 Anillos de Newton

Una manera inteligente de generar dos fuentes secundarias es a través de la división de amplitud de la onda incidente. Supongamos que una onda luminosa incide sobre una placa o película, donde parte de la onda es transmitida y parte reflejada, si estas dos ondas

(transmitidas y reflejada) pueden ser reunidas de alguna manera sobre un detector habría interferencia si la coherencia original entre las dos ondas no se afecta.

En el laboratorio existe un montaje que permite observar patrones de interferencia mediante este efecto. Se tiene una lente sobre un plano óptico que cuando es iluminado con una fuente monocromática en incidencia normal genera anillos concéntricos de interferencia.

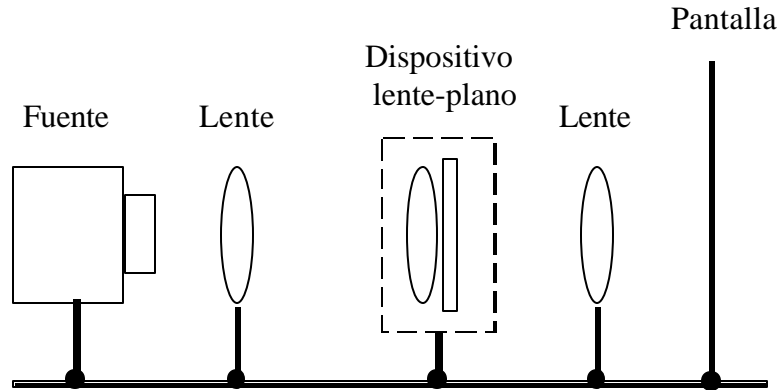


FIGURA 4: Esquema del montaje experimental sobre un banco óptico para observar los anillos de Newton.

Considerando la diferencia de camino óptico entre el haz transmitido y reflejado (ver Fig. 5) se puede calcular el radio de los anillos de interferencia X_m .

$$X_m = \sqrt{\left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda_f \cdot R} \quad \text{anillos brillantes} \quad [4.a]$$

$$X_m = \sqrt{m \cdot \lambda_f \cdot R} \quad \text{anillos oscuros} \quad [4.b]$$

donde λ_f es la longitud de onda del haz incidente, R el radio de la lente (12.14 m en nuestro caso) y m es un numero entero que señala el m -ésimo orden de los anillos de interferencia.

Los anillos brillantes y oscuros corresponden a máximos y mínimos de interferencia respectivamente.

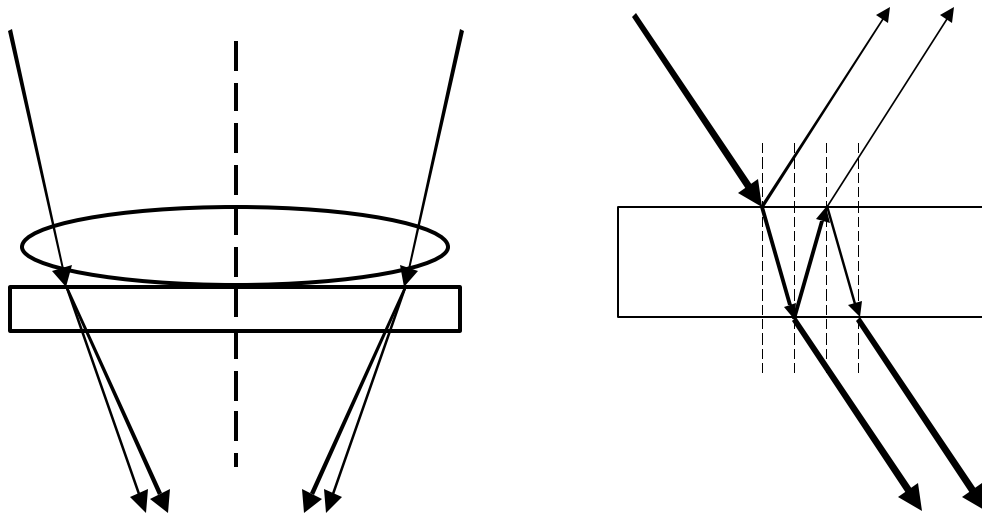


FIGURA 5: Esquema simplificado de la división de amplitud del rayo incidente en el caso del dispositivo lente-plano. Notar que los haces que interfieren tienen distintos caminos ópticos. El camino óptico es la trayectoria que recorre el haz.

Un punto interesante a discutir es la presencia de la longitud de onda en las expresiones de los anillos. La lámpara de Mercurio que se utiliza, no es exactamente monocromática, presenta un espectro característico. En el laboratorio disponemos de filtros que permiten el paso del haz con una determinada longitud de onda (436, 546 y 578 nm), con lo cual se puede definir un único valor de I_f .

Punto No.3: ¿Qué funciones tienen las lentes convergentes?

Punto No.4: ¿Por qué se utiliza una lámpara de Mercurio? ¿Qué características tiene?

Punto No.5: Luego de montar el dispositivo de la Fig.4, centrar los anillos, medir el radio de los sucesivos anillos brillantes y oscuros para distintas longitudes de onda I_f .

Comparar los valores experimentales de X_m con los teóricos. ¿Hay diferencias significativas?

¿Cuál es la dependencia de X_m con I_f ?

2. Difraccion

Un cuerpo opaco colocado a medio camino entre una pantalla y una fuente puntual forma una sombra intrincada hecha de regiones claras y oscuras.

Este efecto es una característica general de los fenómenos ondulatorios que ocurren donde quiera que una porción de un frente de onda es obstruida de alguna manera. Los varios segmentos del frente de onda, se comportan como fuentes secundarias que se propagan mas allá del obstáculo e interfieren para producir una distribución de intensidad particular conocida como patrón de difraccion.

No hay distinción física significativa entre interferencia y difraccion. Sin embargo se habla de interferencia cuando hay superposición de pocas ondas, y difraccion cuando se esta tratando de un gran numero de ondas.

Punto No.6: ¿Cuál es la diferencia entre los fenómenos de Interferencia y Difraccion?

2.1 Red de Difraccion

Una red de difraccion es un conjunto repetitivo de elementos, sean aberturas u obstáculos, los cuales tienen el efecto de producir alteraciones periódicas en la fase o en la amplitud dependiendo del tipo de red.

En el laboratorio disponemos de un conjunto de redes de transmisión que consisten en regiones opacas y transparentes alternadas. Se tiene redes de 80, 100, 300 y 600 líneas opacas por milímetro.

Para poder comprender lo que sucede al iluminar una red de difraccion consideramos la suma de los N osciladores generados por la sucesión de regiones opacas en la red.

$$E = E_0(r).e^{i(k.r_1-w.t)} + E_0(r).e^{i(k.r_2-w.t)} + \dots + E_0(r).e^{i(k.r_N-w.t)} \quad [5]$$

Notar que cada termino es solución de la ecuación de segundo orden mencionada al inicio. Luego, resolviendo esta suma la distribución de intensidad se escribe como:

$$I(\mathbf{j}) = I_0 \left(\frac{\sin N \cdot \mathbf{a}}{\sin \mathbf{a}} \right)^2 \quad \text{donde} \quad \mathbf{a} = \frac{k \cdot \lambda}{2} \cdot \sin \mathbf{j} \quad , \quad \text{siendo "a" la distancia entre ranuras y } \mathbf{j}$$

el ángulo de salida del haz que se proyecta sobre la pantalla.

En esta expresión los máximos de intensidad vienen dados por la siguiente condición:

$$a \cdot \sin \mathbf{j}_{MAX} = m \cdot \lambda \quad [6]$$

donde λ es la longitud de onda del haz incidente, y m es un numero entero relacionado con el orden m-esimo de las líneas.

Ahora que sabemos como debería ser la intensidad de un haz monocromático que atraviesa la red de difraccion analicemos el efecto desde el punto de vista experimental.

Montar el sistema que se muestra en la figura sobre el banco óptico. Alinear el láser de He-Ne, cualquiera de las redes de difraccion y la pantalla.

Encender el láser y observar el patrón que se genera sobre la pantalla.

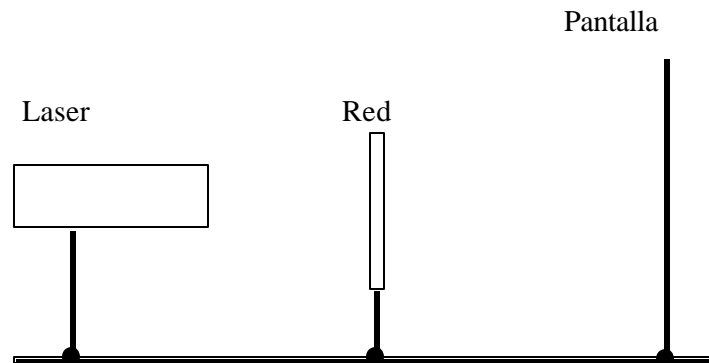


FIGURA 6: Esquema del montaje experimental sobre un banco óptico para observar el patrón de difraccion utilizando una red.

Punto No.7: Describir el patrón que se observa sobre la pantalla para cada red de difraccion. ¿Cuál es la dependencia con el numero de líneas por mm?

Punto No.8: Graficar la expresión de la intensidad en función del ángulo ϕ y de la posición sobre la pantalla. ¿Cómo se aplica la expresión de la distribución de intensidad a la situación observada en el laboratorio?

Punto No.9: Calcular la posición de los máximos de orden m -ésimo según la condición anterior y comparar los resultados con los experimentales.

$$I(j) = I_0 \left(\frac{\sin N \cdot a}{\sin a} \right)^2 \left(\frac{\sin b}{b} \right)^2 \quad \text{con} \quad b = \frac{k \cdot b}{2} \cdot \sin j$$

3. Reflexión y Refracción

En esta sección consideraremos ciertos fenómenos relacionados con la propagación de la luz y su interacción con los medios materiales. En particular estudiaremos las características de las ondas de luz al progresar a través de varios materiales, cruzando interfaces, y siendo reflejadas y refractadas.

Para poder analizar este efecto, el concepto de rayo de luz será muy útil. Un rayo es una línea en el espacio que corresponde a la dirección del flujo de energía irradiante. Es un instrumento matemático más que una identidad física, en la práctica es posible construir haces muy finos de luz como por ejemplo el Láser.

Si consideremos el caso en el que un haz atraviesa una interfaz entre dos medios caracterizados por n_i y n_r , se puede mostrar que se van a cumplir las siguientes reglas o leyes.

- 1- Los rayos incidente, reflejado y refractado están todos en el plano de incidencia.
- 2- El ángulo de incidencia θ_i , es igual al ángulo de reflejado θ_r , $\mathbf{q}_i = \mathbf{q}_r$
- 3- Al cruzar una interfaz se cumple: $n_i \cdot \sin \mathbf{q}_i = n_r \cdot \sin \mathbf{q}_t$

Y para comprender mejor estas reglas vamos a comprobarlas experimentalmente

El montaje de este dispositivo es muy sencillo, basta con disponer convenientemente los diferentes accesorios en el banco como lo muestra la figura.

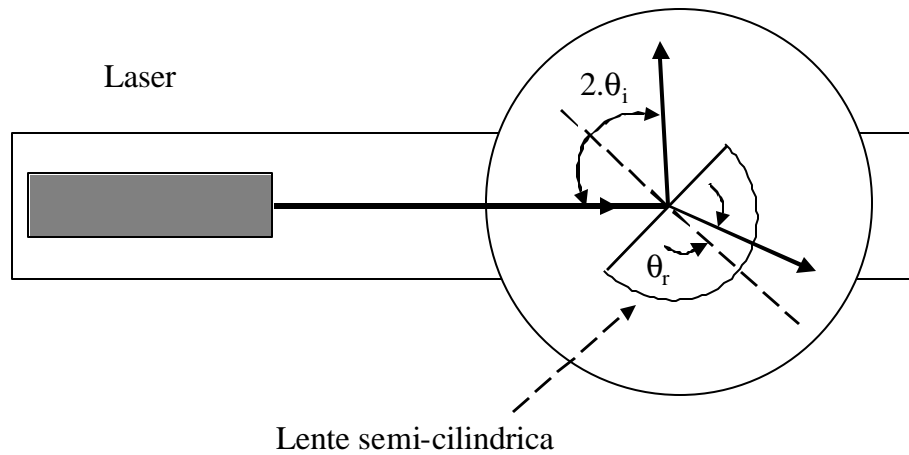


FIGURA 7: Esquema del montaje experimental sobre un banco óptico para observar las propiedades de transmisión de un haz láser a través de una lente semi-cilíndrica.

Inicialmente el haz de luz Láser se dirige hacia la cara plana de la lente semi-cilíndrica, parte de la luz se refleja y parte se trasmite. Con ayuda del disco metálico graduado es posible medir los ángulos θ_r , θ_t y θ_i .

Punto No.10: ¿Por qué el medio en el cual el rayo se propaga esta representado con el parámetro n ? Este parámetro, ¿que propiedad representa?

Punto No.11: Para distintos ángulos de incidencia comprobar las reglas 2 y 3.

Luego se gira la lente semi-cilíndrica, de manera que la luz penetra al principio por la cara cilíndrica (y normalmente a dicha cara), y de la misma forma se miden los ángulos θ_r , θ_t y θ_i . Notar que los ángulos se deben medir sobre la cara plana de la lente.

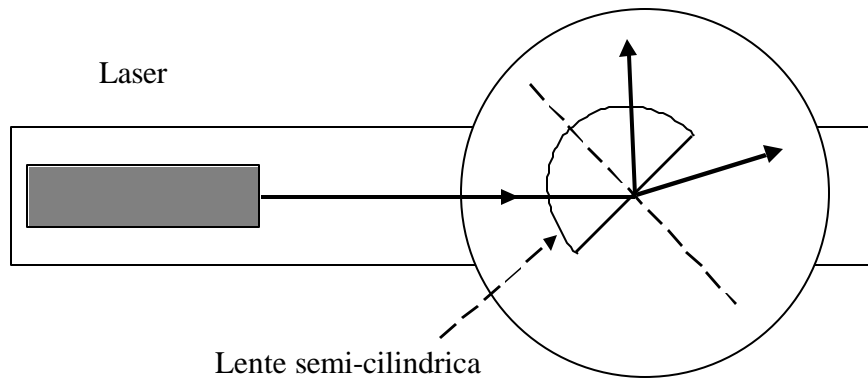


FIGURA 8: Esquema del montaje experimental sobre un banco óptico para observar las propiedades de transmisión de un haz láser a través de una lente semi-cilindrica.

Punto No.12: Con la configuración anterior, determine para que ángulo de incidencia, se tiene un ángulo de reflexión de 90° .