

SESIÓN 7. Biprisma de Fresnel

TRABAJO PREVIO

1. Conceptos fundamentales
2. Cuestiones

1. Conceptos fundamentales

· Interferencia óptica:

Cuando dos haces de luz se cruzan pueden interferir, lo que afecta a la distribución de intensidades resultante. La coherencia de dos haces expresa hasta qué punto están en fase sus ondas. Si la relación de fase cambia de forma rápida y aleatoria, los haces son incoherentes. Si dos trenes de ondas son coherentes y el máximo de una onda coincide con el máximo de otra, ambas ondas se combinan produciendo en ese punto una intensidad mayor que si los dos haces no fueran coherentes. Si son coherentes y el máximo de una onda coincide con el mínimo de la otra, ambas ondas se anularán entre sí parcial o totalmente, con lo que la intensidad disminuirá (figura 7.1).

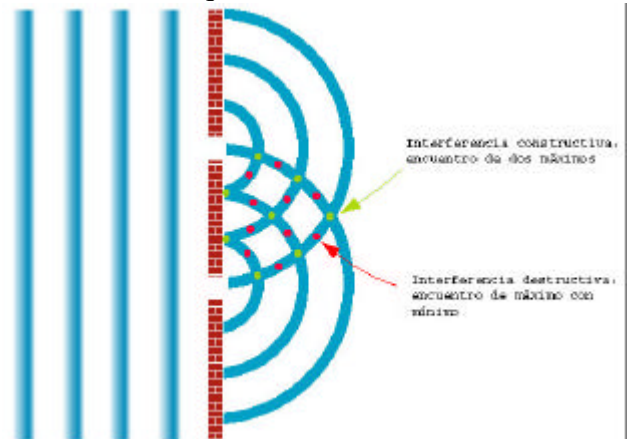


Figura 7.1

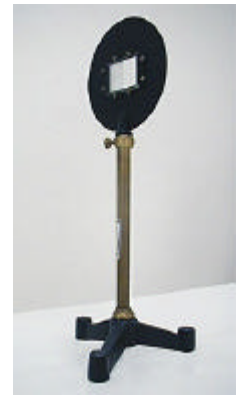
· Condiciones de interferencia:

Cuando las ondas son coherentes, puede formarse un diagrama de interferencia formado por franjas oscuras y claras. Para producir un diagrama de interferencia constante, ambos trenes de ondas deben estar polarizados en el mismo plano. Los átomos de una fuente de luz ordinaria irradian luz de forma independiente, por lo que una fuente extensa de luz suele emitir radiación incoherente. Para obtener luz coherente de una fuente así, se selecciona una parte reducida de la luz mediante un pequeño orificio o rendija. Si esta parte vuelve a separarse mediante una doble rendija, un doble espejo o un doble prisma y se hace que ambas partes recorran trayectorias de longitud ligeramente diferente antes de combinarlas de nuevo, se produce un diagrama de interferencias.

· Experimento clásico de Young:



El primero en mostrar un diagrama de interferencias fue el físico británico Thomas Young, en el experimento que lleva su nombre en 1801. El experimento clásico que demuestra la interferencia de la luz fue realizado primero por Thomas Young en 1801. Young dividió un haz muy estrecho de luz solar, conseguido mediante un orificio pequeño practicado en un panel colocado sobre una ventana, en dos partes. En la pared de frente a la ventana, colocada lejos de los haces, observó un patrón de bandas alternadas claras y oscuras llamadas franjas de interferencia. Las franjas claras indican interferencia constructiva y las oscuras indican interferencia destructiva



de las dos ondas por las rendijas. La interferencia constructiva se produce en los puntos de la pantalla donde las longitudes de camino óptico difieren en un número entero de longitudes de onda de la luz y la interferencia destructiva ocurre si la diferencia es un número entero de media longitud de onda (figura 7.2).



Figura 7.2

Supongamos dos emisores puntuales coherentes, S_1 y S_2 que emiten ondas esféricas de igual frecuencia y estado de polarización. Sean estas dos ondas $\frac{a_1}{r} \exp\{ikr - \omega t\}$ y $\frac{a_2}{r} \exp\{ikr - \omega t\}$ y d la separación de las dos fuentes puntuales. D es la distancia entre el punto medio de las fuentes puntuales y el plano xy que contiene al punto de observación $P(x, y, 0)$ como se muestra en la figura 7.3. Por comodidad, supondremos que el índice de refracción del medio que rodea a nuestro esquema de trabajo es $n = 1$.

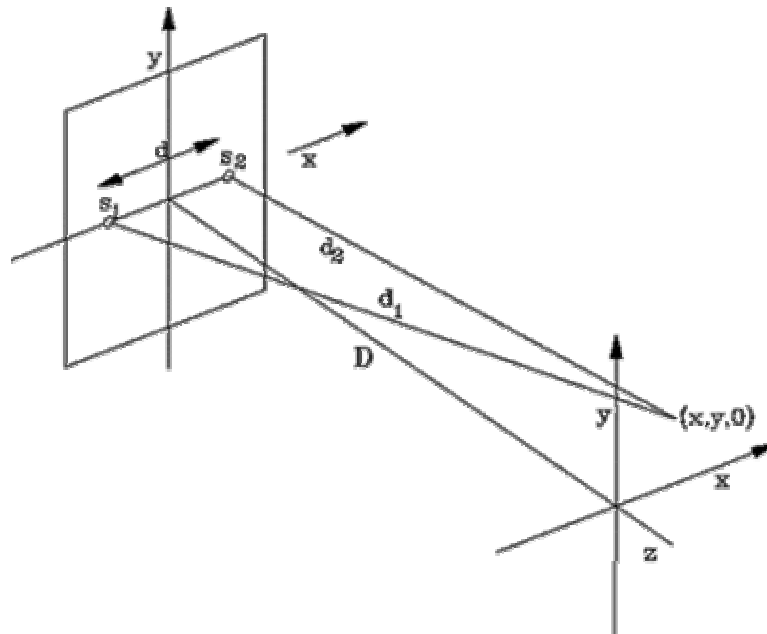


Figura 7.3. Esquema interferencial de dos ondas esféricas.

Aunque las distancias S_1P y S_2P son diferentes, si la diferencia entre las distancias que cada una recorre hasta llegar a P (d_1 y d_2) son grandes, las amplitudes en el punto P se pueden considerar iguales. Haciendo cálculos, podemos calcular la diferencia entre las distancias d_1 y d_2 de la forma:

$$d_1 - d_2 = \sqrt{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + y^2 + D^2} - \sqrt{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2 + y^2 + D^2} \quad (7.1)$$

donde d es la separación entre las fuentes puntuales.

En la experiencia de Young, la distancia de observación es mucho más grande que la distancia entre las fuentes, es decir, $d_1 - d_2 \gg d$, entonces, $d \ll D$ con lo que se puede aproximar $d_1 + d_2 \approx 2D$, por lo tanto, la diferencia queda:

$$d_1 - d_2 = \frac{d_1^2 - d_2^2}{d_1 + d_2} = \frac{2xd}{d_1 + d_2} \approx \frac{xd}{D} \quad (7.2)$$

por lo tanto, la intensidad es:

$$I \propto 4A^2 \cos^2\left(\frac{kxd}{2D}\right) = 4A^2 \cos^2\left(\frac{\pi xd}{D\lambda}\right) \quad (7.3)$$

donde k es el vector de onda y A la amplitud de la onda en el plano de observación

$$A = \frac{a_1}{d_1} = \frac{a_2}{d_2}.$$

A la vista de esto, una vez fijada la geometría, es decir, una vez conocidas d y D y la longitud de onda, la intensidad es sólo una función de x , es decir, $I = I(x)$. Como puede verse, la intensidad no depende de la variable y , por lo que los puntos de igual densidad serán rectas paralelas al eje y . Como se desprende de la ec. (4), el perfil de intensidades varía con el coseno al cuadrado, una función que se hace máximo cuando $\frac{xd}{D} = m\lambda$ con $m \in \mathbb{Z}$ y se anula cuando

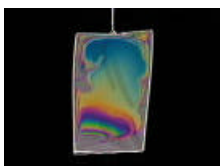
$\frac{xd}{D} = \frac{2m+1}{2}\lambda$ con $m \in \mathbb{Z}$. Con lo visto hasta aquí, el máximo de orden m está en la posición:

$$x_m = m\lambda \frac{D}{d} \quad (7.4)$$

con lo que la distancia entre dos máximos consecutivos, es decir, la interfranja es:

$$x_m - x_{m-1} = \lambda \frac{D}{d} \quad (7.5)$$

• Interferencias en películas delgadas:



Un ejemplo familiar de interferencia de la luz se logra por los efectos del color en películas delgadas, tal como en películas de jabón. Estos efectos se deben a la interferencia de las ondas de luz que se reflejan de las superficies frontal y posterior de la película.

• Algunos dispositivos:

Existen muchos dispositivos para obtener las franjas interferenciales de Young. La clave está en conseguir dos fuentes emisoras de luz que sean puntuales y coherentes, es decir, que la fase aleatoria sea la misma, de esa forma, la diferencia de camino óptico es menor que la longitud de coherencia. La posibilidad más factible es conseguir dos emisiones de un mismo foco luminoso puntual de luz, veamos algunas posibilidades.

1.- Espejo de Lloyd

Se trata de colocar una fuente delante de un espejo. La imagen virtual de la fuente a través del espejo, actúa como segunda fuente coherente de la primera (real). Si el espejo es dieléctrico, el haz reflejado sufre un cambio de fase de π . El esquema se puede observar en la figura 7.4.

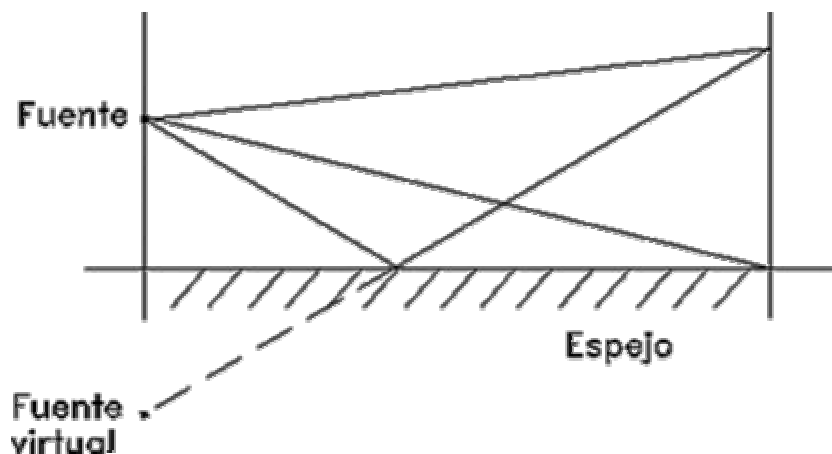


Figura 7.4. Espejo de Lloyd.

2.- Biprisma de Fresnel.

Otra posibilidad es el dispositivo del Biprisma de Fresnel. Consiste en el montaje de la figura 7.5. El ángulo α es muy pequeño, por lo que podremos utilizar las ecuaciones de los prismas delgados como buena aproximación.

Colocamos una fuente luminosa puntual a una distancia a del prisma, de esa forma, un observador situado en el otro lado (a la derecha de la figura) verá dos fuentes puntuales y coherentes correspondientes a las imágenes de la fuente a través del biprisma. En este caso, no hay diferencia de fase entre ambas fuentes, de esa forma, se puede comprobar que el patrón interferencial será el complementario de la deducida anteriormente, es decir, donde antes teníamos máximos, ahora tendremos mínimos y viceversa.

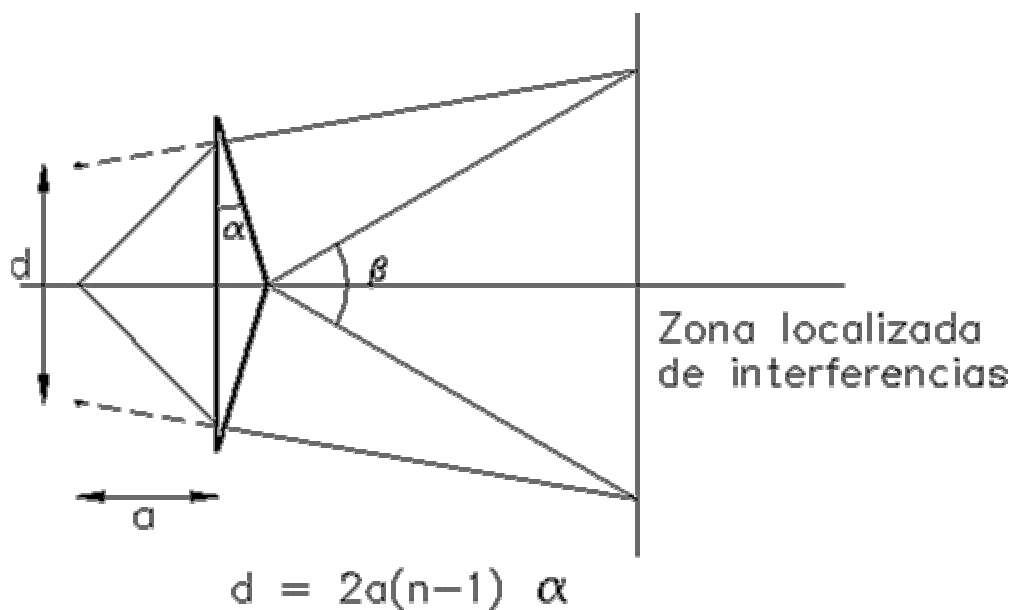


Figura 7.5. Biprisma de Fresnel.

· **Coherencia espacial:**

En la vida real, no existen las fuentes puntuales de luz, por pequeñas que sean, tienen dimensiones. Debido a esto, tendremos que definir un parámetro llamado **contraste de franjas** o **visibilidad** de la forma siguiente:

$$V = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m} \quad (7.6)$$

donde I_M e I_m son las intensidades máximas y mínimas en la distribución de interferencias. En el experimento ideal de doble rendija de Young, por lo tanto, el contraste de las franjas será siempre óptimo, $V = 1$. Sin embargo, si las amplitudes de las dos ondas que interfieren son diferentes, como es el caso real, $I_m \neq 0$ y, en este caso, $V < 1$. Si no se apreciaran interferencias, tenemos el caso en el que $I_m = I_M$, entonces $V = 0$. Si la fuente de luz que ilumina el sistema no es puntual, el factor de visibilidad también puede ser inferior a 1, incluso verificándose estrictamente las cuatro condiciones para obtener imágenes de interferencias estables. El fenómeno de la pérdida de contraste en las franjas a consecuencia de las dimensiones de la fuente está relacionado con el concepto de **coherencia espacial**. El estudio de este fenómeno se hace considerando que cada punto de la fuente es un emisor puntual que genera su sistema de franjas de interferencia. Se puede demostrar que cada uno de estos emisores elementales genera un sistema de franjas con un origen diferente (posición del máximo $m = 0$). La superposición de los diferentes términos \cos^2 de la ecuación 7.3, con un pequeño desplazamiento entre ellas, provoca la pérdida de contraste.

2. Cuestiones

1. ¿Cuáles son las condiciones para que se produzcan interferencias estables en el tiempo?
2. ¿Qué diferencia existe entre la coherencia espacial y temporal?
3. ¿Se puede obtener interferencia con luces no monocromáticas?, ¿por qué?
4. ¿Es necesario que las luces que interfieren sean polarizadas?, ¿por qué?
5. ¿Cómo se puede conseguir que la diferencia de fase sea constante?
6. En un experimento de Young con $d=1$ mm, $\lambda=589$ nm y $D=5$ m, calcula la separación del centro del máximo de orden 12.