

SESIÓN Nº 10: ANILLOS DE NEWTON.



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.

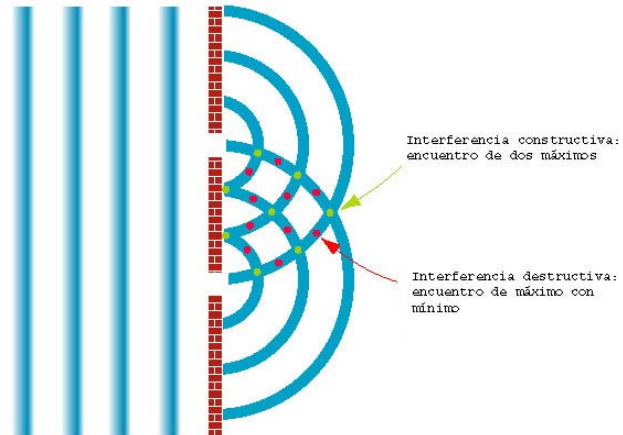


Figura 10.1

• 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 impar de media longitud de onda, como se deduce de la ecuación para la intensidad resultante de la superposición de las dos ondas que interfieren:

$$I \propto 4A^2 \cos^2\left(\frac{\delta}{2}\right) = 4A^2 \cos^2\left(\frac{\pi\Delta}{\lambda}\right) \quad (10.1)$$

donde A es la amplitud de las ondas, δ es el desfase y Δ la diferencia de camino óptico entre las dos ondas.

El experimento de Young es un buen ejemplo de interferencias por *división del frente de onda*.

• **Interferencias en películas delgadas:**

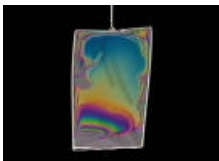


Figura 10.2

Un ejemplo familiar de interferencia de la luz se logra por los efectos del color en películas delgadas, tal y como pueden ser observados por ejemplo en películas de jabón (figura 10.2). Estos efectos se deben a la interferencia de las ondas de luz que se reflejan de las superficies frontal y posterior de la película.

• **Anillos de Newton:**

Este tipo de patrón interferencial fue presentado por Newton ante la Royal Society por primera vez en diciembre de 1675, y discutido más ampliamente en su libro *Optics* (1704), aunque Newton no consiguió darle una explicación correcta al fenómeno. Los anillos de Newton se forman cuando iluminamos con luz suficientemente coherente (cuanto más monocromática, mejor), un espacio estrecho de aire entre dos sólidos transparentes, uno de ellos con simetría circular. La forma más clásica de obtenerlos es presionando una lente bastante plana contra una lámina de vidrio, y observando por reflexión el patrón interferencial producido en forma de anillos. En la figura 10.3 puede verse un esquema de la formación del patrón interferencial:

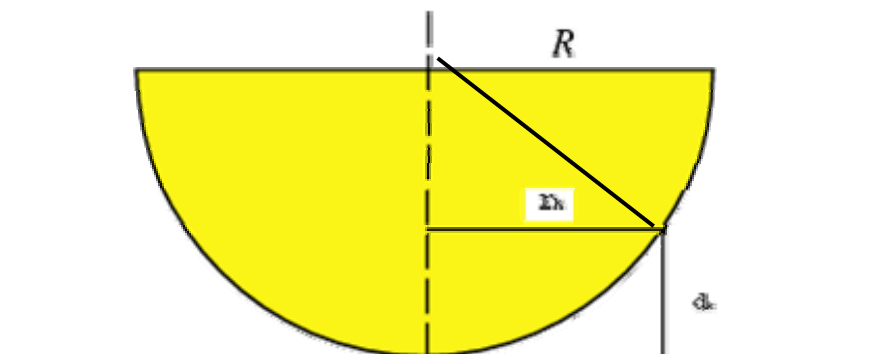


Figura 10.3

Las interferencias se producen por superposición de las ondas múltiples reflejadas en la lámina plana y la cara curva de la lente. Para incidencia normal a una distancia r_k del centro de la lente, y el sistema sumergido en aire, tendremos una diferencia de camino óptico entre la onda que pasa a través de la lente y se refleja en la lámina y la que tras hacerlo vuelve a reflejarse en la lente y sucesivamente en la lámina, de:

$$\Delta = 2d_k \quad (10.2)$$

Dado que todas las interfases de las reflexiones son aire-vidrio (de menor a mayor índice de refracción), tenemos que considerar un salto adicional de fase de π por cada reflexión, lo que hace que la condición de máximo en la configuración interferencial por reflexión se corresponda con la de mínimo por transmisión ($\Delta = (2k+1)\lambda/2$), y obtengamos anillos oscuros o mínimos por reflexión para $\Delta = k\lambda$, o sea,

$$d_k = k \frac{\lambda}{2} \quad (10.3)$$

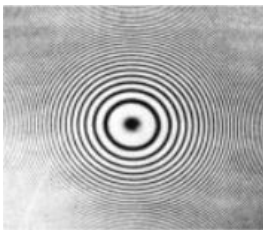


Figura 10.4
paralela.

El anillo central por reflexión será siempre oscuro, ya que pasa toda la luz a través de la lente y la lámina (supuestas del mismo vidrio), lo que corresponde a una diferencia nula de camino óptico. El primer anillo oscuro a partir del central se formará entonces cuando el espesor de la capa de aire sea λ , el segundo para 2λ , etc. En la figura 10.4 podemos observar un ejemplo de anillos de Newton por reflexión. El patrón interferencial es de franjas **localizadas en el espacio**, en el plano de la lámina plano-

Si consideramos el triángulo cuyos lados son el radio de curvatura de la lente, la distancia del punto de incidencia a la vertical r_k (radio del anillo oscuro de orden k) y la vertical, tenemos que:

$$R^2 = r_k^2 + (R - d_k)^2 = r_k^2 + R^2 + d_k^2 - 2Rd_k \quad (10.4)$$

si despreciamos el término en d_k^2 , simplificando obtenemos la relación entre el espesor de la capa de aire (y por tanto, también la longitud de onda) y el radio para el anillo oscuro de orden k :

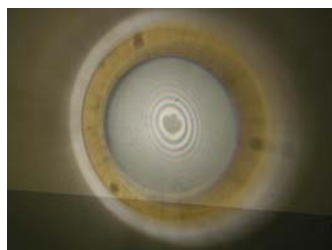


Figura 10.5.

$$r_k^2 = 2Rd_k = Rk\lambda \quad (10.5)$$

Esta expresión permite obtener el radio de curvatura de la lente conociendo la longitud de onda y el radio de uno o varios anillos de la configuración.

Los anillos de Newton permiten también apreciar si el tallado de la lente es perfecto o presenta algunas

irregularidades (en cuyo caso, los anillos se verán deformados, como observamos en la figura 10.5).

• **Coherencia espacial:**

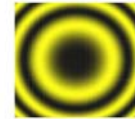
En la vida real, no existen las fuentes puntuales de luz, por pequeñas que sean, tienen dimensiones. Debido a esto, tendremos que definir un parámetro llamado **contraste de franjas** o **visibilidad** de la forma siguiente:

$$V = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m} \quad (10.6)$$

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 10.1, con un pequeño desplazamiento entre ellas, provoca la pérdida de contraste.

2. Cuestiones

1. Calcula la intensidad (salvo constantes de proporcionalidad) para dos ondas de amplitud A y longitud de onda λ que interfieren con una diferencia de camino óptico de $9\lambda/2$. ¿Para qué diferencia de camino óptico encontramos el máximo más próximo en la configuración interferencial? ¿y el mínimo más próximo?
2. Describe cómo sería la configuración de anillos de Newton observada por transmisión.
3. Calcula el radio del sexto anillo oscuro de una configuración obtenida para $R = 1\text{m}$ con luz de Na ($\lambda = 589.3\text{ nm}$).
4. ¿Qué crees que le ocurriría a la configuración interferencial de anillos de Newton si aumentamos mucho el espacio de aire entre lente y placa, considerando efectos de coherencia espacial de la fuente?
5. ¿Puede conseguirse un patrón interferencial de anillos de Newton con luz blanca? Discute la respuesta.



GUIÓN DE LA SESIÓN DE PRÁCTICAS Nº 10

Objetivo de la práctica

Observación de la configuración interferencial de anillos de Newton. Medida del radio de curvatura de una lente plano-convexa.

Realización del experimento

A) Puesta a punto del dispositivo.

Como se explica en el trabajo previo, para obtener los anillos de Newton debemos observar por reflexión una lente colocada sobre una lámina plana de vidrio, e iluminar con luz lo más coherente posible (en el montaje experimental, se utiliza una lámpara de Na). Para facilitar la observación del patrón interferencial y poder realizar las medidas, se monta el dispositivo sobre la pletina de un microscopio. Esto nos plantea el problema de conseguir una iluminación adecuada por reflexión en nuestras condiciones experimentales. Para poner a punto el dispositivo, primero debemos asegurar que llegue suficiente luz al sistema lente-lámina dispuesto sobre la pletina. La luz de la fuente de Na la colimamos por medio de un telescopio de banco, y la hacemos incidir sobre una lámina mediante una lámina semitransparente, que también deja pasar la luz por reflexión hacia el objetivo y ocular del microscopio, como podemos ver en el esquema de la figura 10.6.

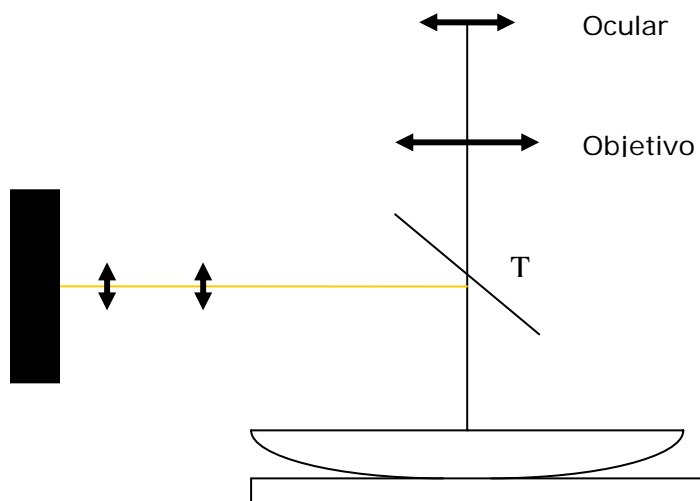


Figura 10.6

Para conseguir una buena iluminación, nos aseguramos de que casi toda la luz de la fuente llega al telescopio de banco, y que éste tiene bien regulada su altura para la incidencia directa sobre la lámina semitransparente. Observaremos a través del ocular y dispondremos los elementos del sistema de iluminación de forma que consigamos ver un campo suficientemente iluminado. Después, utilizando los tornillos de desplazamiento horizontal y vertical de la pletina, procuraremos centrar lo máximo posible la lente y la lámina en el objetivo.

El último paso de la puesta a punto es enfocar el plano en el que están localizados los anillos (plano de la lámina) a través del microscopio.

Si hemos realizado correctamente las tres operaciones de puesta a punto, veremos un conjunto de anillos (o al menos de franjas que permitan afinar el centrado) a través del ocular.

Todas las operaciones de puesta a punto del interferómetro son muy delicadas, por lo que es aconsejable que el profesor esté presente para supervisarlas y asegurar que el proceso sea lo más corto posible.

B) Observación de la configuración.

Una vez obtenida la configuración interferencial, se observan sus características principales: anillo central (puede ser que no sea totalmente oscuro, debido a que el ajuste entre lente y lámina no es perfecto), y número de anillos oscuros que podemos discernir a través del ocular del microscopio, que es el de tipo micrométrico.

C) Medida del radio de curvatura de la lente.

A partir de la ecuación (10.5) del trabajo previo, es fácil deducir que midiendo el radio de dos anillos oscuros de órdenes k_1 y k_2 (lo más alejados entre sí que permita el rango del ocular micrométrico), podemos obtener el radio de curvatura de la lente a partir de:

$$R = \frac{r_{k_1}^2 - r_{k_2}^2}{(k_1 - k_2)\lambda} \quad (10.7)$$

La longitud de onda es la correspondiente a la media del doblete de Na, 589.3 nm. Obtendremos así R y su correspondiente error a partir de las medidas de los radios de dos anillos oscuros obtenidas con el ocular micrométrico. El procedimiento de medida con el mismo ya se ha estudiado en la práctica del microscopio. Debemos reflexionar sobre si hace falta conocer algún parámetro auxiliar del objetivo de microscopio, dado que las medidas se realizan sobre el plano imagen del objetivo, para medirlo también antes de abandonar el laboratorio.

Otro procedimiento para obtener R es medir los radios de cuatro o cinco anillos consecutivos y ajustar por mínimos cuadrados la recta de ordenada r_k^2 y abscisa $k\lambda$. De la pendiente del ajuste podemos obtener el valor de R .

Compararemos los valores de R obtenidos por ambos procedimientos para dos lentes diferentes, reflexionando sobre las causas posibles de error en cada caso.