

Física II - Biociencias y Geociencias (Curso 2011)

Practico 10

ÓPTICA ONDULATORIA

➤ Ejercicios de musculación y teóricos:

- 10.1** Se hace incidir luz perpendicularmente sobre una pantalla con dos rendijas. Una pantalla de observación está puesta a una distancia de $1,2\text{ m}$ detrás de la pantalla con las rendijas. Si la distancia entre las dos rendijas es de $0,030\text{ mm}$ y la franja brillante de segundo orden está a $4,5\text{ cm}$ del máximo central,
- determinar la longitud de onda de la luz
 - calcular la distancia entre las franjas brillantes adyacentes
- 10.2** En un patrón de interferencia de doble rendija, la distancia entre el primer mínimo y el décimo es de 18 mm . Si la distancia entre las dos rendijas es de $0,15\text{ mm}$ y la pantalla está a 50 cm de las mismas, ¿cuál es la longitud de onda de la luz incidente?
- 10.3** El aparato de problema **10.2** se sumerge en agua, con la fuente de luz emitiendo a la misma frecuencia que antes. ¿Cuál es la separación entre el primer mínimo y el décimo entonces? El índice de refracción de agua es $1,333$.
- 10.4** ¿Que pasa si la luz incidente sobre una pantalla con dos rendijas no viene perpendicular a la pantalla?: Se hace incidir luz monocromática sobre una pantalla con un ángulo θ_1 medido respecto a la normal. En la pantalla hay dos rendijas angostas, paralelas entre si y perpendiculares a la luz incidente, con una separación d entre ellas.
- ¿A qué ángulo con la normal de la pantalla se encuentra el máximo central de la luz transmitida a través de las rendijas? ¿Dónde está el máximo central con respecto a la dirección de propagación de la luz incidente sobre las rendijas? *Notar que en el máximo central (máximo de orden cero) el camino recorrido por las crestas a través de las dos rendijas tiene que ser igual, tal que llegan juntos.*
 - Ahora considere los máximos de interferencia. Dé una relación entre los ángulos θ_1 y θ_2 que es necesaria y suficiente para que haya un máximo de interferencia a un ángulo θ_2 con la normal de la pantalla. *(Pista: La relación es entre $\sin \theta_1$ y $\sin \theta_2$, y puede ser encontrada por un razonamiento acerca de diferencias de distancia recorrida por un pulso que viaja por rendija 1 y por rendija 2.)*
 - Si θ_1 y θ_2 son ángulos pequeños, ¿como difiere el patrón de interferencia del encontrado en el caso $\theta_1 = 0$ (incidencia normal de la luz)?
- 10.5** Dos parlantes separados 50 cm , emiten ondas sonoras sincronizadas de longitud de onda 1 m . Describa cualitativamente el patrón de intensidad que se oiría a 20 m por delante del par de parlantes.
- 10.6** Se hace incidir luz monocromática normalmente sobre una pantalla con dos rendijas, tal que las crestas de las ondas pasan simultáneamente por las dos rendijas. Ahora por algún mecanismo, como por ejemplo mover la fuente, se cambia la fase de la onda en una de las rendijas tal que las crestas salen de ésta con un retraso con respecto a la otra rendija.
- ¿Que pasa con el patrón de interferencia que se ve en una pantalla atrás de las rendijas? En particular ¿que pasa si el retraso es de medio ciclo de la onda?

La luz de una lámpara común (incandescente o fluorescente, pero no un láser) consiste de una serie de trenes de crestas de aproximadamente un metro de largo. La fase relativa entre los trenes es aleatoria. El tiempo que dura un tren se llama el tiempo de *coherencia* de la luz.

b) Si las dos rendijas están iluminadas por la luz de dos lámparas distintas (del mismo color) ¿aproximadamente cuanto tiempo se mantendrá fijo el patrón de interferencia? ¿Será visible?

10.7 Una luz de $\lambda = 500\text{nm}$ incide normalmente sobre una rejilla de difracción. El máximo de orden 3 se observa a un ángulo de 32° .

a) ¿Cuántas líneas por centímetro tiene la rejilla?

b) ¿Cuántos máximos primarios pueden observarse en esta situación? (*Un máximo primario es uno en el cual la luz proveniente de todas las “líneas”, o rendijas, de la rejilla interfiere constructivamente. Si la rejilla tiene pocas líneas también se pueden observar máximos secundarios en los cuales la interferencia es solo parcialmente constructiva.*)

10.8 Una rejilla de difracción tiene 4200 líneas por cm. Sobre una pantalla a 2m de la rejilla se encuentra que los máximos correspondientes al orden m , de dos longitudes de ondas muy próximas $\lambda_1 = 589,0\text{nm}$ y $\lambda_2 = 589,6\text{nm}$, están separados 1,5cm. Determinar m .

➤ Acercándonos al “mundo real”...

10.9 James Gregorie observó en 1673 que una pluma se comporta como una rejilla de difracción. Si la luz solar que pasa por un agujero de alfiler llega a la pluma, las distintas longitudes de onda que componen la luz solar se observarán a distintos ángulos. Asumiendo que el espaciamiento de “rendijas” de la pluma es de $5\ \mu\text{m}$; ¿a que ángulo se observa el máximo de primer orden para la componente azul, de $450\ \text{nm}$?

10.10 Una limitación sobre la nitidez de la visión ocular es la difracción de la luz por la apertura por donde ésta entra al ojo, la pupila. Debido a esa difracción, la imagen de un objeto puntual no es un punto, sino más bien una mancha circular de radio determinado por la longitud de onda de la luz y el diámetro de la pupila (rodeado de círculos más pálidos). Dos objetos puntuales no pueden ser resueltos si el ángulo $\Delta\theta$ entre ellos es tan pequeño que las manchas que son sus imágenes en la retina se solapan demasiado. Un criterio razonable es el criterio de Rayleigh, el cual dice que dos objetos pueden ser resueltos apenas si su separación angular $\Delta\theta$ es tal que el centro de la imagen de uno coincide con el primer mínimo en el patrón de difracción que es la imagen del otro objeto. Detalles de tamaño angular menor que $\Delta\theta$ no pueden ser distinguidos. Este $\Delta\theta$ se denomina resolución angular.

a) Evalúa la mejor resolución angular posible para el ojo humano según el criterio de Rayleigh para luz amarilla (longitud de onda $550\ \text{nm}$), roja (700nm) y azul (450nm) suponiendo que el diámetro de la pupila es $4\ \text{mm}$.

b) ¿Cuál es el radio sobre la retina del primer mínimo de difracción para la luz amarilla? Suponer que la retina está a $2.2\ \text{cm}$ de la pupila.

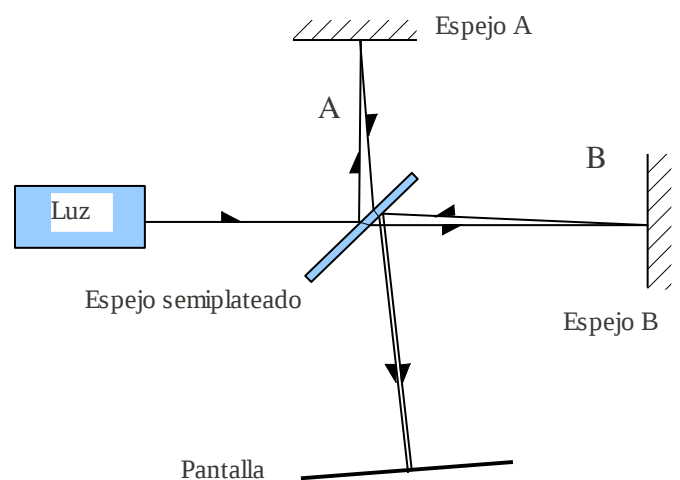
La separación de los fotorreceptores (conos) en la fovea, la parte de la retina que proporciona la visión más aguda, es aproximadamente igual a la distancia que se pide en b), y las personas de visión más aguda pueden resolver objetos con separación angular aproximadamente el doble del mínimo establecido por difracción según el criterio de Rayleigh. Es decir, la resolución que

tienen los mejores ojos humanos es peor por un factor 2 del límite impuesto por la difracción en la pupila.

c) ¿Como se podría mejorar la resolución del ojo? ¿Es posible eliminar el “desenfoco” debido a la difracción por medio de una lente?

10.11 En un experimento se ha medido la distancia a la Luna con precisión milimétrica reflejando un pulso de luz en un espejo colocado en la superficie lunar y midiendo el tiempo de ida y vuelta del pulso. Es importante que el haz sea muy angosto para que la mayor parte posible de la energía lumínica emitida en la Tierra llegue al pequeño espejo en la Luna. El haz desde la Tierra pasa a través de un telescopio con apertura circular de diámetro $2,6\text{ m}$. La difracción en esta apertura produce un ensanchamiento del haz. Si no existen otras causas de ensanchamiento, ¿cuán ancho será el haz al llegar a la Luna? Considere como ancho del haz el correspondiente al máximo central de difracción. Entonces el ancho del haz es dos veces el radio del primer mínimo de difracción sobre la superficie de la Luna. La longitud de onda de la luz del haz es 690 nm y la Luna se encuentra aproximadamente 384000 km de la Tierra.

10.12 En 1893 Michelson y Benoit mostraron que el metro estándar de París, una barra de iridio y platino, tiene largo $1.553163.5$ longitudes de onda de luz de una cierta línea espectral de Cadmio. Para realizar esta medición usaron lo que se llama el interferómetro de Michelson ilustrado en la figura (vea 37.7 Serway tomo 2, 4ta edición).



El espejo semiplataado refleja la mitad de la luz que viene desde la fuente hacia el espejo A y deja pasar a la otra mitad, hacia el espejo B. La luz que llega al espejo A es reflejada ahí y vuelve al espejo semiplataado, donde la mitad sigue derecho a la pantalla de observación. La luz transmitido hacia el espejo B es reflejado en espejo B y vuelve al espejo semiplataado que refleja la mitad de esta luz hacia la pantalla de observación. En la pantalla de observación se combinan las ondas que pasaron por los dos caminos A y B. Habrá interferencia constructiva si el tiempo de recorrido es igual para ambos caminos. Es decir, si el tiempo ida y vuelta desde el espejo semiplataado al espejo A es igual al tiempo ida y vuelta desde el espejo semiplataado al espejo B. También habrá interferencia constructiva si estos tiempos difieren por un número entero de periodos de oscilación de la luz.

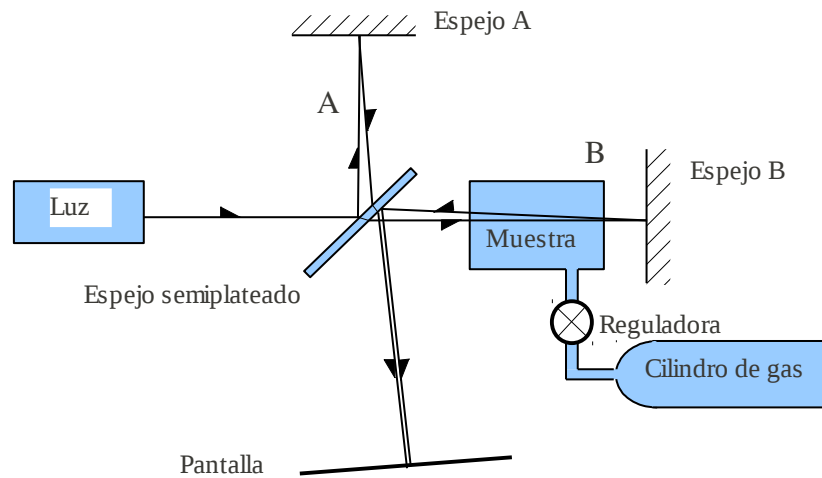
Moviendo espejo B cambia la distancia recorrida por la luz reflejada en este espejo, por tanto puede cambiar la interferencia en la pantalla de constructiva a destructiva, y luego, si uno sigue moviendo al espejo, a constructivo de nuevo. Moviendo el espejo gradualmente y contando los máximos de interferencia que aparecen en la pantalla uno puede medir el desplazamiento del espejo B.

a) Suponiendo que el espejo móvil se movió de un extremo de la barra de un metro al otro extremo, ¿cuántos máximos de interferencia deberían contar Michelson y Benoit para concluir que el largo de la barra era $1.553163.5$ longitudes de onda?

b) ¿Les ocurre alguna manera razonable para contar esta cantidad de máximos (disponible en 1893)?

EJERCICIO PARA ENTREGAR (SOLO UNO)

Se puede usar el interferómetro de Michelson para medir el índice de refracción de un gas, como muestra la figura. (Vea ejercicio 10.12 y 37.7 *Serway tomo 2, 4ta edición*).



a) Si la distancia entre el punto donde incide la luz en el espejo semiplatado y espejo A es a , ¿cuán largo es camino de ida y vuelta? ¿Cuanto tiempo lleva recorrerlo si el aparato se encuentra en vacío? La separación entre el espejo semiplatado y espejo B es b , ¿cuanto tiempo lleva recorrer ida y vuelta camino B, si el recipiente no altera el tiempo de recorrido? Suponer que en ambos caminos, A y B, la luz recorre la misma línea en la ida y la vuelta.

Ahora suponer que se evacua al recipiente y luego se ajusta a la distancia a tal que se observa un máximo de interferencia en la pantalla. Una vez hecho esto se deja entrar al gas lentamente en el recipiente. Esto alarga gradualmente el tiempo que demora la luz en atravesar al recipiente ya que el índice de refracción del gas dentro de éste aumenta linealmente con densidad. Así la interferencia en la pantalla va pasar gradualmente de constructiva a destructiva y luego a constructiva de nuevo. Se cuenta el número de veces que se observa un máximo de interferencia hasta que la presión del gas llega al valor P .

b) Supongamos que con el gas CO_2 y luz de longitud de onda 500 nm se cuentan 90 máximos hasta que la presión del CO_2 en el recipiente llega a $P = 100 \text{ kPa}$. Si el recipiente tiene largo 5.0 cm ¿cual es el índice de refracción de CO_2 con esta presión?

c) Si se hace este experimento en un laboratorio lleno de aire, ¿cambia su análisis? El índice de refracción de las ventanas en el recipiente donde pasa la luz afecta el tiempo de recorrido de esta luz. ¿Esto afecta a su análisis?