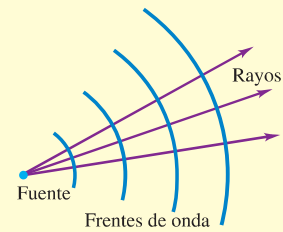


# CAPÍTULO 33 RESUMEN

**La luz y sus propiedades:** La luz es una onda electromagnética. Cuando es emitida o absorbida también presenta propiedades de partícula. Es emitida por cargas eléctricas en aceleración. La rapidez de la luz en el vacío es una constante física fundamental.

$$n = \frac{c}{v} \quad (33.1)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (33.5)$$



Un frente de onda es una superficie de fase constante; los frentes de onda se desplazan con rapidez igual a la de propagación de la onda. Un rayo es una línea recta a lo largo de la dirección de propagación, perpendicular a los frentes de onda. La representación de la luz por medio de rayos es la base de la óptica geométrica.

Cuando se transmite luz de un material a otro, la frecuencia de la luz no cambia, pero la longitud de onda y la rapidez de onda pueden cambiar. El índice de refracción  $n$  de un material es la razón entre la rapidez de la luz en el vacío  $c$  y su rapidez  $v$  en el material. Si  $\lambda_0$  es la longitud de onda en el vacío, la misma onda tiene una longitud más corta  $\lambda$  en un medio con un índice de refracción  $n$ . (Véase el ejemplo 33.2.)

La variación del índice de refracción  $n$  con la longitud de onda  $\lambda$  se llama dispersión. Por lo general,  $n$  disminuye cuando  $\lambda$  aumenta.

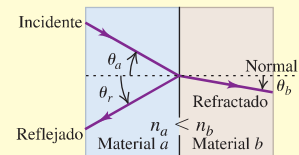
**Reflexión y refracción:** En una interfaz lisa entre dos materiales ópticos, los rayos incidente, reflejado y refractado, así como la normal a la interfaz, yacen todos en un solo plano llamado plano de incidencia. La ley de reflexión establece que los ángulos de incidencia y refracción son iguales. La ley de refracción relaciona los ángulos de incidencia y refracción con los índices de refracción de los materiales. Los ángulos de incidencia, reflexión y refracción siempre se miden con respecto a la normal a la superficie. (Véanse los ejemplos 33.1 y 33.3.)

$$\theta_r = \theta_a \quad (33.2)$$

(ley de reflexión)

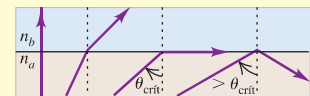
$$n_a \sin \theta_a = n_b \sin \theta_b \quad (33.4)$$

(ley de refracción)



**Reflexión interna total:** Cuando un rayo viaja en un material de índice de refracción mayor  $n_a$  hacia un material con menor índice  $n_b$ , ocurre la reflexión interna total en la interfaz cuando el ángulo de incidencia excede el ángulo crítico  $\theta_{\text{crit}}$ . (Véase el ejemplo 33.4.)

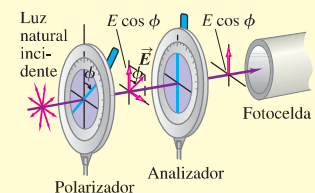
$$\sin \theta_{\text{crit}} = \frac{n_b}{n_a} \quad (33.6)$$



**Polarización de la luz:** La dirección de polarización de una onda electromagnética linealmente polarizada es la dirección del campo  $\vec{E}$ . Un filtro polarizador deja pasar ondas linealmente polarizadas a lo largo de su eje de polarización y bloquea aquéllas perpendicularmente polarizadas con respecto a ese eje. Cuando luz polarizada con intensidad  $I_{\text{máx}}$  incide en un filtro polarizador que se usa como analizador, la intensidad  $I$  de la luz transmitida a través del analizador depende del ángulo  $\phi$  entre la dirección de polarización de la luz incidente y el eje de polarización del analizador. (Véase el ejemplo 33.5.) Cuando se superponen dos ondas linealmente polarizadas con una diferencia de fase, el resultado es luz circular o elípticamente polarizada. En este caso, el vector  $\vec{E}$  no está confinado a un plano que contenga la dirección de propagación, sino que describe círculos o elipses en planos perpendiculares a la dirección de propagación.

$$I = I_{\text{máx}} \cos^2 \phi \quad (33.7)$$

(ley de Malus)

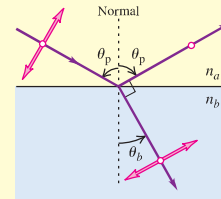


La luz es dispersada por las moléculas del aire. La luz dispersada está parcialmente polarizada.

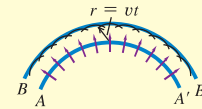
**Polarización por reflexión:** Cuando luz no polarizada incide en una interfaz entre dos materiales, la ley de Brewster establece que la luz reflejada está completamente polarizada en forma perpendicular al plano de incidencia (paralela a la interfaz) si el ángulo de incidencia es igual al ángulo de polarización  $\theta_p$ . (Véase el ejemplo 33.6.)

$$\tan \theta_p = \frac{n_b}{n_a} \quad (33.8)$$

(ley de Brewster)



**Principio de Huygens:** El principio de Huygens establece que si se conoce la posición de un frente de onda en cierto instante, entonces la posición del frente en un momento posterior se puede construir imaginando el frente como una fuente de ondas secundarias. El principio de Huygens se puede usar para deducir las leyes de la reflexión y la refracción.



### Términos clave

óptica, 1121  
frente de onda, 1122  
rayo, 1123  
óptica geométrica, 1123  
óptica física, 1123  
reflexión, 1123  
refracción, 1123  
reflexión especular, 1124  
reflexión difusa, 1124  
índice de refracción, 1124

ley de la reflexión, 1125  
ley de la refracción (ley de Snell), 1125  
ángulo crítico, 1130  
reflexión interna total, 1130  
dispersión, 1132  
linealmente polarizada, 1134  
filtro polarizador (polarizador), 1134  
luz no polarizada (luz natural), 1136  
dicroísmo, 1136  
eje de polarización, 1136

ley de Malus, 1138  
plano de incidencia, 1139  
ángulo de polarización, 1139  
ley de Brewster, 1139  
polarización circular, 1141  
polarización elíptica, 1141  
dispersión, 1142  
principio de Huygens, 1144

### Respuesta a la pregunta de inicio de capítulo ?

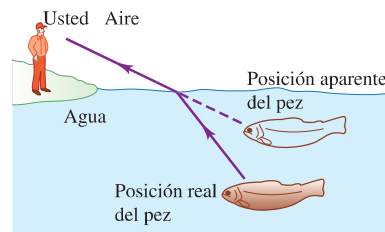
Éste es el mismo efecto que se ilustra en la figura 33.31. Las herramientas de dibujo están colocadas entre dos filtros polarizadores cuyos ejes de polarización son perpendiculares. En los sitios en que el plástico transparente está sometido a esfuerzo, se vuelve birrefringente; es decir, la luz viaja a través de él con una rapidez que depende de su polarización. El resultado es que la luz que sale del plástico tiene una polarización distinta que la de la luz que entra. Un punto en el plástico se ve brillante si la luz que sale tiene la misma polarización que el segundo filtro polarizador. La cantidad de birrefringencia depende de la longitud de onda de la luz, así como de la cantidad de esfuerzo que se ejerce sobre el plástico, por lo que en diferentes lugares del plástico se observan distintos colores.

### Respuestas a las preguntas de evalúe su comprensión

**33.1 Respuesta: iii)** Las ondas viajan más lejos en la dirección y que en las otras direcciones en una cantidad de tiempo dada, de manera que los frentes de onda están alargados en la dirección y.

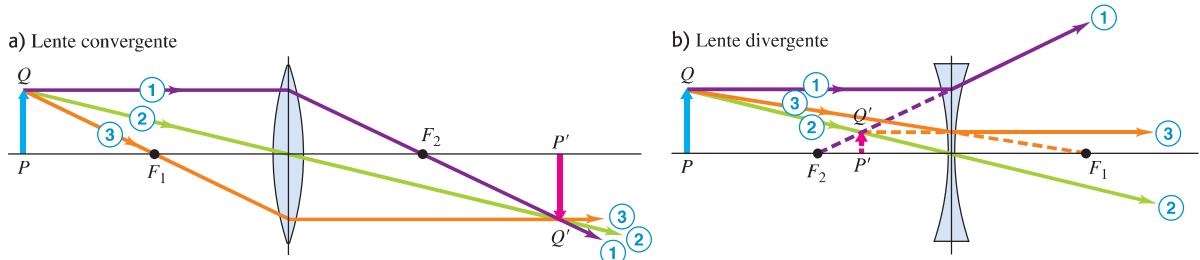
**33.2 Respuestas: a) ii), b) iii)** Como se aprecia en la figura, los rayos de luz que provienen del pez se desvían alejándose de la normal cuando pasan del agua ( $n = 1.33$ ) al aire ( $n = 1.00$ ). Como resultado, el pez parece estar más cerca de la superficie del agua de lo que realmente está.

Por lo tanto, se debe apuntar el arpón *más abajo* de la posición aparente del pez. Si se utiliza un rayo láser, se debe apuntar *hacia* la posición aparente del pez: el haz de luz láser seguiría la misma trayectoria que va de usted al pez que la luz ordinaria que va del pez a usted (aunque en sentido opuesto).



**33.3 Respuestas: i), ii)** La reflexión interna total ocurre sólo si se cumplen dos condiciones:  $n_b$  debe ser menor que  $n_a$ , y el ángulo crítico  $\theta_{\text{crít}}$  (donde  $\text{sen } \theta_{\text{crít}} = n_b/n_a$ ) debe ser más pequeño que el ángulo de incidencia  $\theta_a$ . En los primeros dos casos se satisfacen ambas condiciones: los ángulos críticos son i)  $\theta_{\text{crít}} = \text{sen}^{-1}(1/1.33) = 48.8^\circ$  y ii)  $\theta_{\text{crít}} = \text{sen}^{-1}(1.33/1.52) = 61.0^\circ$ , los dos son más pequeños que  $\theta_a = 70^\circ$ . En el tercer caso,  $n_b = 1.52$  es mayor que  $n_a = 1.33$ , por lo que la reflexión interna total no puede ocurrir a ningún ángulo de incidencia.

**34.36** Método gráfico para localizar una imagen formada por una lente delgada. Los colores de los rayos sirven sólo como identificación; no se refieren a colores específicos de la luz. (Compárelo con la figura 34.19 para espejos esféricos.)



- 1 El rayo incidente paralelo se refracta para pasar por el segundo punto focal  $F_2$ .
  - 2 El rayo que pasa por el centro de la lente no se desvía considerablemente.
  - 3 El rayo que pasa por el primer punto focal  $F_1$  emerge paralelo al eje.
- 1 Después de refractarse parece que el rayo incidente paralelo proviene del segundo punto focal  $F_2$ .
  - 2 El rayo que pasa por el centro de la lente no se desvía considerablemente.
  - 3 El rayo que pasa por el primer punto focal  $F_1$  emerge paralelo al eje.

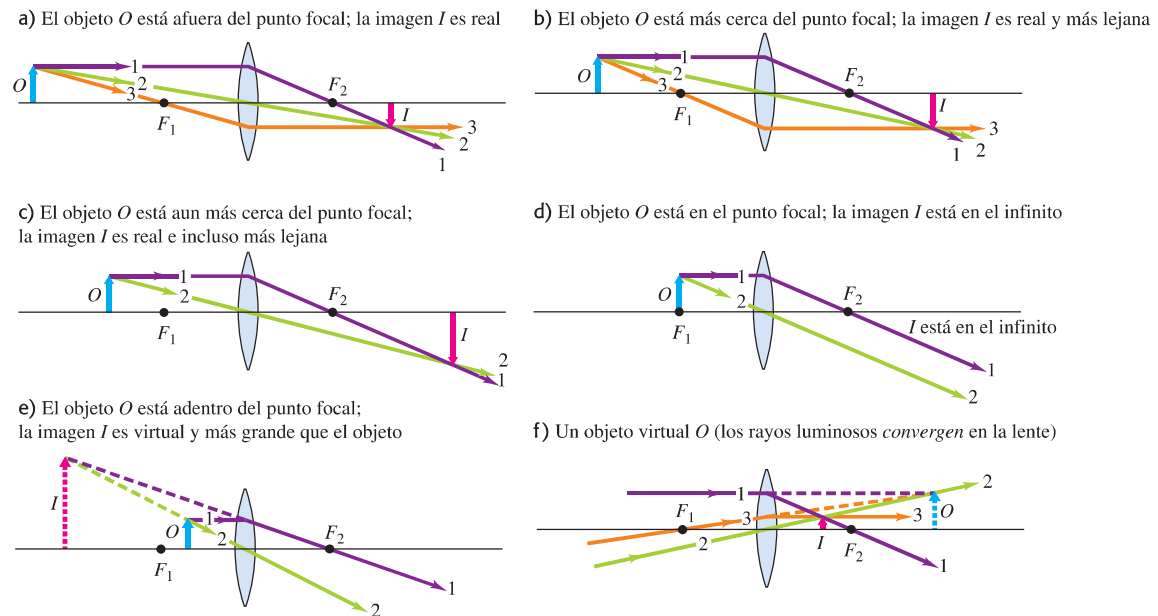
3. Un rayo que pasa por el primer punto focal  $F_1$  (o avanza hacia éste) emerge paralelo al eje.

Cuando la imagen es real, la posición del punto de imagen está determinada por la intersección de dos cualesquiera de los rayos 1, 2 y 3 (figura 34.36a). Cuando la imagen es virtual, se prolongan hacia atrás los rayos salientes divergentes, hasta su punto de intersección para hallar el punto de imagen (figura 34.36b).

**CAUIDADO** Los rayos principales no son los únicos rayos. Tenga en mente que cualquier rayo proveniente del objeto que incida en la lente pasará por el punto de imagen (si la imagen es real) o parecerá que nace en el punto de imagen (si la imagen es virtual). (Hicimos un comentario análogo acerca de la formación de imágenes por espejos en la sección 34.2.) Hemos destacado los rayos principales porque son los únicos que necesitamos dibujar para localizar la imagen. ■

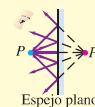
La figura 34.37 muestra diagramas de rayos principales correspondientes a una lente convergente con diversas distancias de objeto. Le sugerimos estudiar cada uno de estos diagramas con mucho detenimiento, comparando cada rayo numerado con la descripción precedente.

**34.37** Formación de imágenes por una lente delgada convergente a diversas distancias de objeto. Se numeraron los rayos principales. (Compárela con la figura 34.20 para un espejo esférico cóncavo.)



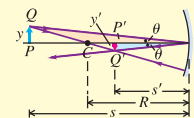
# CAPÍTULO 34 RESUMEN

**Reflexión o refracción sobre una superficie plana:** Cuando divergen rayos a partir de un punto de objeto  $P$  y son reflejados o refractados, la dirección de los rayos salientes es la misma que si hubiesen divergido desde un punto  $P'$  conocido como punto de imagen. Si convergen en realidad en  $P'$  y divergen nuevamente más allá de ese punto,  $P'$  es una imagen real de  $P$ ; si sólo parecen divergir a partir de  $P'$ , se trata de una imagen virtual. Las imágenes pueden ser derechas o invertidas.

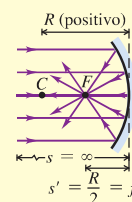


**Aumento lateral:** En cualquier situación de reflexión o refracción, el aumento lateral  $m$  se define como la razón de la altura de la imagen  $y'$  con respecto a la altura del objeto  $y$ . Cuando  $m$  es positivo, la imagen es derecha; y cuando  $m$  es negativo, la imagen es invertida.

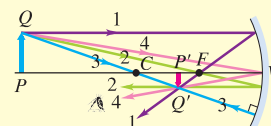
$$m = \frac{y'}{y} \quad (34.2)$$



**Punto focal y distancia focal:** El punto focal de un espejo es el punto donde los rayos paralelos convergen después de reflejarse en un espejo cóncavo, o bien, el punto desde el que parecen divergir después de reflejarse en un espejo convexo. Los rayos que divergen a partir del punto focal de un espejo cóncavo son paralelos después de reflejarse; los rayos que convergen hacia el punto focal de un espejo convexo también son paralelos después de reflejarse. La distancia del punto focal al vértice se llama distancia focal y se denota con  $f$ . Los puntos focales de una lente se definen de modo análogo.



**Relación entre las distancias de objeto y de imagen:** En la tabla que sigue se resumen las fórmulas de distancia de objeto  $s$  y distancia de imagen  $s'$  correspondientes a espejos planos y esféricos, y superficies refractivas individuales. La ecuación referente a una superficie plana se obtiene de la ecuación correspondiente aplicable a una superficie esférica, fijando  $R = \infty$ . (Véanse los ejemplos 34.1 a 34.7.)



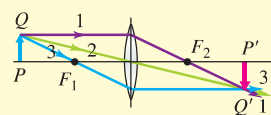
	Espejo plano	Espejo esférico	Superficie refractiva plana	Superficie refractiva esférica
Distancias de objeto y de imagen	$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = 0$	$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f}$	$\frac{n_a}{s} + \frac{n_b}{s'} = 0$	$\frac{n_a}{s} + \frac{n_b}{s'} = \frac{n_b - n_a}{R}$
Aumento lateral	$m = -\frac{s'}{s} = 1$	$m = -\frac{s'}{s}$	$m = -\frac{n_a s'}{n_b s} = 1$	$m = -\frac{n_a s'}{n_b s}$

Las relaciones entre objeto e imagen deducidas en este capítulo son válidas sólo con respecto a rayos cercanos y casi paralelos al eje óptico, llamados rayos paraxiales. Los rayos no paraxiales no convergen de forma precisa en un punto de imagen. El efecto recibe el nombre de aberración esférica.

**Lentes delgadas:** La relación entre objeto e imagen, dada por la ecuación (34.16), es la misma en el caso de una lente delgada que en el de un espejo esférico. La ecuación (34.19), la ecuación del fabricante de lentes, relaciona la distancia focal de una lente con su índice de refracción, y los radios de curvatura de sus superficies. (Véanse los ejemplos 34.8 a 34.11.)

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad (34.16)$$

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (34.19)$$

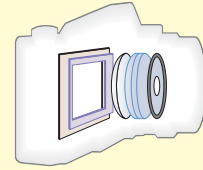


**Reglas de signos:** Las reglas de signos siguientes se aplican a todas las superficies reflectantes y refractivas tanto planas como esféricas.

- $s > 0$  cuando el objeto está del lado entrante de la superficie (objeto real);  $s < 0$  en caso contrario.
- $s' > 0$  cuando la imagen está del lado saliente de la superficie (imagen real);  $s' < 0$  en caso contrario.
- $R > 0$  cuando el centro de curvatura está del lado saliente de la superficie;  $R < 0$  en caso contrario.
- $m > 0$  cuando la imagen es derecha;  $m < 0$  cuando es invertida.

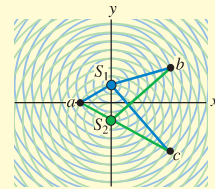
**Cámaras fotográficas:** Una cámara fotográfica forma una imagen real, invertida y reducida del objeto que se fotografía sobre una superficie sensible a la luz. La cantidad de luz que incide en la superficie se regula mediante la rapidez del obturador y la abertura. La intensidad de esta luz es inversamente proporcional al cuadrado del número  $f$  de la lente. (Véase el ejemplo 34.12.)

$$\begin{aligned} \text{Número } f &= \frac{\text{Longitud focal}}{\text{Diámetro de abertura}} \\ &= \frac{f}{D} \end{aligned} \quad (34.20)$$



# CAPÍTULO 35 RESUMEN

**Interferencia y fuentes coherentes:** La luz monocromática es aquella que tiene una sola frecuencia. La coherencia es una relación de fase definida y constante entre dos ondas. El traslape de ondas provenientes de dos fuentes coherentes de luz monocromática forma un patrón de interferencia. El principio de superposición establece que la perturbación total ondulatoria en un punto cualquiera es la suma de las perturbaciones debidas a las ondas individuales.



**Interferencia de la luz de dos fuentes:** Cuando dos fuentes están en fase, ocurre interferencia constructiva en puntos donde la diferencia en la longitud de las trayectorias desde las dos fuentes es igual a cero o un número entero de longitudes de onda; la interferencia destructiva tiene lugar en puntos donde la diferencia es la mitad de un número entero de longitudes de onda. Si dos fuentes que están separadas por una distancia  $d$  están muy alejadas de un punto  $P$ , y la recta entre las fuentes y  $P$  forma un ángulo  $\theta$  con la recta perpendicular a la línea de las fuentes, entonces la condición para que haya interferencia constructiva en  $P$  es la ecuación (35.4). La condición para que haya interferencia destructiva es la ecuación (35.5). Cuando  $\theta$  es muy pequeño, la posición  $y_m$  de la  $m$ -ésima franja brillante en una pantalla colocada a una distancia  $R$  de las fuentes está dada por la ecuación (35.6). (Véanse los ejemplos 35.1 y 35.2.)

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (35.4)$$

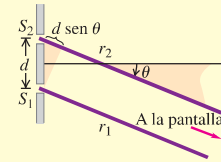
(interferencia constructiva)

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (35.5)$$

(interferencia destructiva)

$$y_m = R \frac{m\lambda}{d} \quad (35.6)$$

(franjas brillantes)

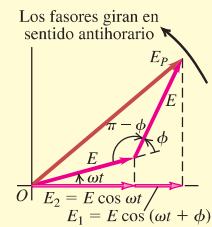


**Intensidad en los patrones de interferencia:** Cuando se superponen dos ondas sinusoidales con igual amplitud  $E$  y diferencia de fase  $\phi$ , la amplitud resultante  $E_p$  y la intensidad  $I$  están dadas por las ecuaciones (35.7) y (35.10), respectivamente. Si las dos fuentes emiten en fase, la diferencia de fase  $\phi$  en el punto  $P$  (localizado a una distancia  $r_1$  de la fuente 1 y a una distancia  $r_2$  de la fuente 2) es directamente proporcional a la diferencia de la longitud de las trayectorias  $r_2 - r_1$ . (Véase el ejemplo 35.3.)

$$E_p = 2E \left| \cos \frac{\phi}{2} \right| \quad (35.7)$$

$$I = I_0 \cos^2 \frac{\phi}{2} \quad (35.10)$$

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) = k(r_2 - r_1) \quad (35.11)$$



**Interferencia en películas delgadas:** Cuando se refleja luz en ambos lados de una película delgada de espesor  $t$  y no hay desplazamiento de fase en ninguna de las superficies, se presenta interferencia constructiva entre las ondas reflejadas cuando  $2t$  es igual a un número entero de longitudes de onda. Si en una superficie tiene lugar un desplazamiento de fase de medio ciclo, ésta es la condición para que haya interferencia destructiva. Durante la reflexión ocurre un desplazamiento de fase de medio ciclo siempre que el índice de refracción del segundo material es mayor que el del primero. (Véanse los ejemplos 35.4 a 35.7.)

$$2t = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (35.17a)$$

(reflexión constructiva en una película delgada, sin desplazamiento de fase relativo)

$$2t = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (35.17b)$$

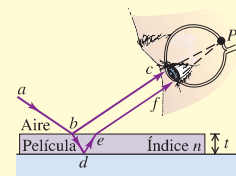
(reflexión destructiva en una película delgada, sin desplazamiento de fase relativo)

$$2t = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (35.18a)$$

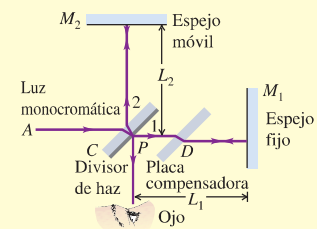
(reflexión constructiva en una película delgada, con desplazamiento de fase relativo de medio ciclo)

$$2t = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (35.18b)$$

(reflexión destructiva en una película delgada, con desplazamiento de fase relativo de medio ciclo)



**Interferómetro de Michelson:** El interferómetro de Michelson utiliza una fuente de luz monocromática y se utiliza para medir longitudes de onda con gran precisión. Su propósito original fue detectar el movimiento de la Tierra con respecto a un hipotético éter, el supuesto medio de propagación de las ondas electromagnéticas. El éter nunca se detectó y el concepto se abandonó; la rapidez de la luz es la misma con respecto a todos los observadores. Esto es parte del fundamento de la teoría especial de la relatividad.



## Términos clave

óptica física, 1207  
interferencia, 1208  
principio de superposición, 1208  
luz monocromática, 1208  
coherente, 1209  
interferencia constructiva, 1209

interferencia destructiva, 1210  
curvas antinodales, 1210  
curvas nodales, 1210  
franjas de interferencia, 1212  
anillos de Newton, 1222  
recubrimiento no reflectante, 1223

recubrimiento reflectante, 1223  
interferómetro de Michelson, 1224  
experimento de Michelson y Morley, 1225  
éter, 1225

## Respuesta a la pregunta de inicio de capítulo ?

Los colores aparecen debido a la interferencia constructiva entre las ondas luminosas reflejadas en las superficies externa e interna de la burbuja de jabón. El espesor de las paredes de la burbuja en cada punto determina la longitud de onda de la luz para la que ocurre la interferencia más constructiva y, por lo tanto, el color más brillante aparece en ese punto (véase el ejemplo 35.4 en la sección 35.4).

## Respuestas a las preguntas de Evalué su comprensión

**35.1 Respuesta: i)** En cualquier punto  $P$  sobre el eje y positivo por arriba de  $S_1$ , la distancia  $r_2$  de  $S_2$  a  $P$  es mayor que la distancia  $r_1$  de  $S_1$  a  $P$  por  $4\lambda$ . Esto corresponde a  $m = 4$  en la ecuación (35.1), que es la que corresponde a la interferencia constructiva. Así, todos esos puntos forman una curva antinodal.

**35.2 Respuesta: ii)** La luz azul tiene una longitud de onda más corta que la roja (véase la sección 32.1). La ecuación (35.6) dice que la distancia  $y_m$  desde el centro del patrón a la  $m$ -ésima franja brillante es proporcional a la longitud de onda  $\lambda$ . Por consiguiente, todas las franjas se moverán hacia el centro del patrón conforme la longitud de onda disminuya, y la separación entre las franjas se reducirá.

**35.3 Respuestas: i), iv), ii), iii)** En los casos i) y iii) se da la longitud de onda  $\lambda$  y la diferencia de trayectorias  $d \sin \theta$ . Por lo tanto, se

usa la ecuación (35.14):  $I = I_0 \cos^2[\pi d \sin \theta / \lambda]$ . En los incisos i) y iii) se da la diferencia de fase  $\phi$  y se utiliza la ecuación (35.10),  $I = I_0 \cos^2(\phi/2)$ . Se obtiene:

$$\text{i) } I = I_0 \cos^2[\pi(4.00 \times 10^{-7} \text{ m}) / (5.00 \times 10^{-7} \text{ m})] = I_0 \cos^2(0.800\pi \text{ rad}) = 0.655I_0;$$

$$\text{ii) } I = I_0 \cos^2[(4.00 \text{ rad})/2] = I_0 \cos^2(2.00 \text{ rad}) = 0.173I_0;$$

$$\text{iii) } I = I_0 \cos^2[\pi(7.50 \times 10^{-7} \text{ m}) / (5.00 \times 10^{-7} \text{ m})] = I_0 \cos^2(1.50\pi \text{ rad}) = 0;$$

$$\text{iv) } I = I_0 \cos^2[(2.00 \text{ rad})/2] = I_0 \cos^2(1.00 \text{ rad}) = 0.292I_0.$$

**35.4 Respuestas: i) y iii)** El benceno tiene un índice de refracción más grande que el del aire, por lo que la luz que se refleja en la superficie superior del benceno experimenta un desplazamiento de fase de medio ciclo. La fluorita tiene un índice de refracción *más pequeño* que el del benceno, de manera que la luz que se refleja en la interfaz benceno-fluorita no experimenta un desplazamiento de fase. Por lo tanto, la ecuación para la reflexión constructiva es la ecuación (35.18a),  $2t = (m + \frac{1}{2})\lambda$ , que se escribe como  $t = (m + \frac{1}{2})\lambda/2 = (m + \frac{1}{2})(400 \text{ nm})/2 = 100 \text{ nm}, 300 \text{ nm}, 500 \text{ nm}, \dots$

**35.5 Respuesta: sí** Al cambiar el índice de refracción cambia la longitud de onda de la luz dentro de la placa del compensador y, por lo tanto, cambia el número de longitudes de onda dentro del espesor de la placa. Así, esto tiene el mismo efecto que si se cambiara la distancia  $L_1$  entre el divisor de haz y el espejo  $M_1$ , lo que modificaría el patrón de interferencia.

## PROBLEMAS

Para las tareas asignadas por el profesor, visite [www.masteringphysics.com](http://www.masteringphysics.com)



### Preguntas para análisis

**P35.1.** Se realiza un experimento de interferencia de dos ranuras, y las franjas se proyectan en una pantalla. Después, todo el aparato se sumerge en la alberca más cercana. ¿Cómo cambia el patrón de las franjas?

**P35.2.** ¿Podría efectuarse un experimento similar al que hizo Young con dos ranuras con el sonido? ¿Cómo se llevaría a cabo? ¿Importa que las ondas sonoras sean longitudinales y las electromagnéticas transversales? Explique su respuesta.

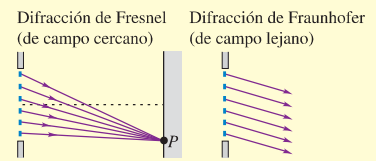
**P35.3.** A través de dos ranuras delgadas pasa luz monocromática que se ve en una pantalla alejada. ¿Las franjas brillantes en la pantalla se encontrarán igualmente separadas? Si es así, ¿por qué? Si no, ¿cuáles están más cerca de estar igualmente separadas?

**P35.4.** En un patrón de interferencia de dos ranuras sobre una pantalla distante, ¿las franjas brillantes están a la mitad de la distancia que hay entre las franjas oscuras? ¿Siempre es ésta una buena aproximación?

**P35.5.** Las luces de un automóvil distante, ¿formarían un patrón de interferencia de dos fuentes? Si así fuera, ¿cómo podría observarse? Si no, ¿por qué?

# CAPÍTULO 36 RESUMEN

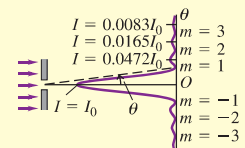
**Difracción de Fresnel y Fraunhofer:** Se produce difracción cuando pasa luz a través de una abertura o alrededor de un borde. Cuando la fuente y el observador se encuentran tan lejos de la superficie obstructora, como para considerar como paralelos los rayos salientes, se produce difracción de Fraunhofer. Cuando la fuente y el observador están relativamente cerca de la superficie obstructora, se tiene difracción de Fresnel.



**Difracción de una sola ranura:** La luz monocromática que pasa a través de una ranura angosta de ancho  $a$  produce un patrón de difracción en una pantalla distante. La ecuación (36.2) establece la condición para que haya interferencia destructiva (una franja oscura) en un punto  $P$  del patrón a un ángulo  $\theta$ . La ecuación (36.7) proporciona la intensidad en el patrón en función de  $\theta$ . (Véanse los ejemplos 36.1 a 36.3.)

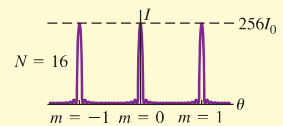
$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{a} \quad (m = \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (36.2)$$

$$I = I_0 \left\{ \frac{\sin[\pi a(\sin \theta)/\lambda]}{\pi a(\sin \theta)/\lambda} \right\}^2 \quad (36.7)$$



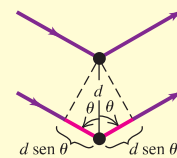
**Rejillas de difracción:** Una rejilla de difracción consiste en un gran número de ranuras finas paralelas, espaciadas una distancia  $d$ . La condición para que se alcance la intensidad máxima en el patrón de interferencia es la misma que en el caso del patrón de dos fuentes; pero los máximos producidos por la rejilla son muy marcados y angostos. (Véase el ejemplo 36.4.)

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad (36.13)$$



**Difracción de rayos x:** Un cristal actúa como una rejilla tridimensional de difracción ante los rayos x, cuya longitud de onda es del mismo orden de magnitud que la separación entre átomos del cristal. Con respecto a un conjunto de planos cristalinos separados entre sí por una distancia  $d$ , hay interferencia constructiva cuando los ángulos de incidencia y de dispersión (medidos con respecto a los planos cristalinos) son iguales y cuando se satisface la condición de Bragg [ecuación (36.16)]. (Véase el ejemplo 36.5.)

$$2d \sin \theta = m\lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (36.16)$$



**Aberturas circulares y poder de resolución:** El patrón de difracción producido por una abertura circular de diámetro  $D$  consiste en una mancha central brillante, llamada disco de Airy, y una serie de anillos concéntricos oscuros y brillantes. La ecuación (36.17) proporciona el radio angular  $\theta_1$  del primer anillo oscuro, igual al tamaño angular del disco de Airy. La difracción fija el límite último de definición (nitidez de la imagen) de los instrumentos ópticos. De acuerdo con el criterio de Rayleigh, dos objetos puntuales están apenas resueltos cuando su separación angular está dada por la ecuación (36.17). (Véase el ejemplo 36.6.)

$$\sin \theta_1 = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (36.17)$$

