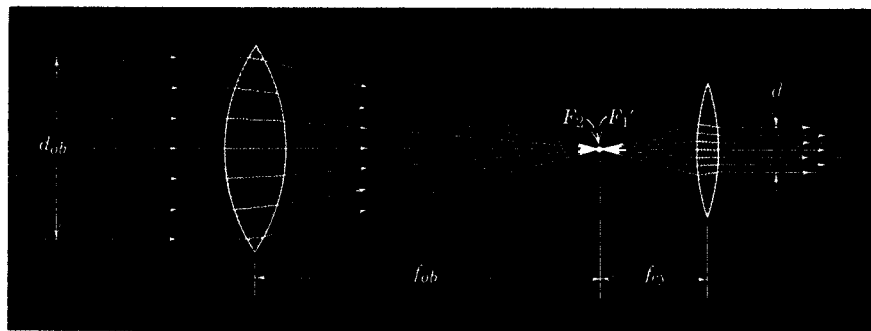


Reflexion y refracción
Ondas y superficies esféricas

Capítulo 44

Halliday y Resnick. Física. Parte 2.

La Fig. 44-31 muestra un telescopio astronómico simple como el representado en la Fig. 44-30, excepto que (a) los rayos paralelos incidentes son paralelos al eje del telescopio y (b) los rayos incidentes cubren toda la lente objetivo, cuyo diámetro es d_{ob} . Determinar el diámetro d del haz saliente que contiene toda la información disponible para el ojo del observador.



EJEMPLO 9

figura 44-31

La fórmula para d (Ec. 44-26) se cumple aun sin los rayos incidentes no son paralelos al eje del telescopio, como en la Fig. 44-30. Sin embargo, los rayos deben ser paraxiales, pues de lo contrario, no se cumplen la mayoría de las consideraciones cuantitativas de esta sección.

En la Fig. 44-31 se tiene, para los triángulos semejantes,

$$\frac{d_{ob}/2}{f_{ob}} = \frac{d/2}{f_{ey}}$$

o (ver la Ec. 44-25)

$$d = d_{ob} \left(\frac{f_{ey}}{f_{ob}} \right) = - \frac{d_{ob}}{m_{\theta}} \tag{44-26}$$

Nótese que m_{θ} es intrínsecamente negativa, así que d es positiva, como debe ser.

Se debe comparar la distancia d con el diámetro d_p de la pupila del ojo. Este diámetro no es constante sino que varía con la iluminación entre los límites aproximados de 2 mm (con luz solar) y 9 mm (en la oscuridad). La condición ideal es $d = d_p$. Por ejemplo, si $d > d_p$ parte de la luz no entra al ojo y se desperdicia.

En la práctica, estas consideraciones tienen que modificarse. En la mayoría de los instrumentos ópticos se utilizan registros fotográficos. Por otra parte, los telescopios (y las cámaras fotográficas) en los satélites en órbita y en las sondas espaciales con frecuencia mandan sus datos a la Tierra en forma electrónica, que después son procesados mediante técnicas de computación para transformarlos a una forma fotográfica. Sin embargo, el concepto de haz saliente sigue siendo importante no sólo para observación visual, sino también en muchas consideraciones de diseño de sistemas de lentes.

1. Describir una prueba u observación simple que demuestre que la ley de la reflexión es igual para todas las longitudes de onda, en las condiciones en las que prevalece la óptica geométrica.
2. De todos es conocido que al mirarse en un espejo se produce una inversión de la izquierda y la derecha. La mano derecha parece ser una mano izquierda; si se marca una raya en el pelo del lado izquierdo, en la imagen parecerá estar del lado derecho, etc. ¿Podría diseñarse un sistema de espejos que permitiese observar una imagen igual a la forma en que se observan normalmente a las personas? De ser posible, hacer un dibujo con algunos rayos típicos que demuestren que esto es cierto.
3. Ya se vió que una reflexión en un espejo plano invierte la izquierda por la derecha. Por ejemplo, al manejar por una carretera las letras de los letreros se ven invertidas cuando se les observa a través del espejo retrovisor. Sin embargo, observando por

preguntas

el mismo espejo, el conductor del vehículo no ve un cambio de posición de su automóvil en la carretera (es decir, no siente que haya cambiado de carril). ¿Por qué es que el espejo invierte las letras pero no invierte los carriles? ¿O es que sí los invierte? Discutir la respuesta.

4. Una joven observa de cerca su cara en un espejo plano de buena calidad. Ella observa perfectamente enfocada la imagen de su rostro. (Ignorar la inversión de la derecha por la izquierda). ¿A qué se debe el "enfocamiento perfecto"? Después de todo, su nariz está más cerca del espejo que los pabellones de sus orejas.
5. Nótese (Fig. 44-8) que cualquier fracción del espejo que se encuentre por debajo de b o por encima de a se desperdicia totalmente en lo que a observarse de cuerpo entero se refiere. Si el lector dispone de un espejo de "cuerpo entero" puede comprobar que esto es cierto cubriendo con hojas de diarios las partes del espejo delimitadas por los puntos a y b , dejando sin cubrir sólo la región comprendida entre a y b . A continuación puede caminar acercándose y alejándose del espejo para comprobar que este teorema se cumple sin importar la distancia a la cual se encuentre del espejo. Por último, pegue una hoja de papel entre a y b y describa lo que observa.
6. Si un espejo invierte izquierda por derecha, ¿por qué no invierte arriba por abajo?
7. Describir un sistema de espejos que permita la observación de la parte posterior de la cabeza. Trazar los rayos apropiados que demuestren que se ha logrado tal propósito.
8. Si sobre un espejo plano inciden rayos convergentes, ¿es virtual la imagen que se forma?
9. En muchos autobuses de las ciudades se suspende un espejo convexo sobre la puerta, el cual pueda ser observado en su totalidad por el conductor. ¿Por qué no utilizar un espejo plano o un cóncavo?
10. Los odontólogos y los técnicos dentales utilizan un espejo pequeño sujeto en el extremo de una manija larga para poder examinar los dientes de las personas. ¿Cómo debe ser ese espejo, cóncavo, convexo o plano, y por qué?
11. ¿Qué aproximaciones se hicieron al obtener la ecuación de los espejos (Ec. 44-4):

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{2}{r}$$

12. ¿En qué condiciones formará (a) una imagen real, (b) una imagen invertida y (c) una imagen menor que el objeto, un espejo esférico que puede ser cóncavo o convexo?
13. ¿Es posible ver un cuerpo reflector perfecto? Es decir, si un espejo esférico, cóncavo, perfectamente reflector se coloca en un cuarto oscuro y se le ilumina, por ejemplo, con un objeto puntual luminoso colocado sobre su eje óptico, ¿se podría ver la superficie del espejo? Discutir la respuesta.
14. ¿Se puede proyectar sobre una pantalla una imagen virtual? ¿Se puede fotografiar? Si se coloca un trozo de papel en la posición de un objeto virtual (suponiendo que el haz luminoso tiene una gran intensidad) ¿entrará en combustión después de una exposición suficientemente prolongada? Considerar estas dos preguntas en el caso de imágenes reales y objetos reales e indicar las diferencias, si es que existen, entre ambos. Discutir la respuesta.
15. Con frecuencia, el ojo humano se ha asociado con un cámara fotográfica y, de hecho, esta comparación es válida. Sin embargo, existe una diferencia; el ojo humano no tiene un disparador (los parpados no pueden cumplir con este propósito). Si se deja abierto el mecanismo de disparo de una cámara fotográfica y entonces se "barre el horizonte", la imagen revelada será sólo un manchón. Por otra parte, si se hace un barrido con los ojos, cada objeto se observará en forma clara. ¿De qué manera se podrían explicar las diferencias entre estas dos situaciones? Ver "Visual Motion Perception" de Gunnar Johansson, *Scientific American*, junio de 1975.
16. En relación con la Pregunta 15, considerar la siguiente diferencia adicional entre el ojo y una cámara fotográfica. Si se toma una fotografía de un olmo, por ejemplo, la imagen de la película se puede sobreexponer con relativa facilidad hasta el grado de no poder reconocerla. Por otra parte, si se observa al olmo, la imagen percibida permanece constante indefinidamente. ¿A qué se debe esta diferencia?
17. Se asegura que el principal dispositivo de enfoque del ojo humano es la córnea, es decir, la superficie curva externa del ojo, y que la "lente" del ojo sirve para hacer ajustes pequeños en el enfoque. ¿Es cierta o falsa esta afirmación? ¿Cuál es la función que desempeña el iris? ¿Qué ventajas tiene una cámara fotográfica respecto al ojo humano? De hecho, existen algunas.
18. ¿Depende la profundidad aparente de un objeto sumergido en agua del ángulo de visión de un observador que se encuentra en el aire? Explicar e ilustrar la respuesta con un diagrama de rayos.

19. Una lente delgada asimétrica forma en su eje una imagen de un objeto puntual. ¿Cambia la posición de la imagen si se invierte la lente?
20. ¿Por qué una lente tiene dos puntos focales, en tanto que un espejo sólo tiene uno?
21. ¿En qué condiciones formará (a) una imagen real, (b) una imagen invertida y (c) una imagen menor que el objeto, una lente delgada que puede ser convergente o divergente?
22. Un buzo quiere usar una bolsa de plástico llena con aire como una lente convergente para emplearla bajo el agua. Describir la sección transversal adecuada de la bolsa de plástico.
23. ¿Qué aproximaciones se hicieron al deducir la ecuación de las lentes delgadas (Ec. 44-19):

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}?$$

24. ¿En qué condiciones tendrá una lente delgada un aumento lateral de (a) -1 y (b) $+1$?
25. ¿Cómo se compara la distancia focal de una lente de vidrio cuando se utiliza luz azul y cuando se utiliza luz roja, suponiendo que la lente es (a) divergente y (b) convergente?
26. ¿Depende la distancia focal de una lente del medio en el cual esté inmersa? ¿Es posible que una lente dada actúe como lente convergente en un medio y como lente divergente en otro medio?
27. ¿Son ciertas las siguientes afirmaciones relacionadas con una lente de vidrio en el aire? (a) Una lente que es más gruesa en su centro que en sus orillas es una lente convergente para luz paralela. (b) Una lente que es más gruesa en las orillas que en su centro es una lente divergente para luz paralela. Explicar e ilustrar la respuesta utilizando frentes de ondas.
28. ¿En qué condiciones es infinito el aumento lateral ($m = -i/o$) de las lentes y los espejos? ¿Existe algún significado práctico de tal condición?
29. Los rayos luminosos son reversibles. Discutir la situación en términos de objetos y de imágenes si todos los rayos en las Figs, 44-10, 44-14, 44-17, 44-19, 44-23 y 44-25 invierten su sentido.
30. En relación con la Fig. 44-24a se señaló que todos los rayos que se originan en el mismo frente de onda de la onda incidente tienen que recorrer la misma longitud de camino óptico hasta el punto imagen. Discutir esto en términos del principio de Fermat (Sec. 43-6).
31. ¿Se ve afectada la distancia focal de un espejo esférico por el medio en el cual esté inmerso? ¿Y la de una lente delgada? ¿Cuál es la diferencia?
32. ¿Cuál es el significado del origen de coordenadas en las Figs. 44-27a y 44-27b?
33. ¿Cuáles son los significados de o , i , r' y r'' en los cuatro casos mostrados en la Fig. 44-23?
34. ¿Cómo se interpreta que $o/|f| = +1$ y que $i/|f| = +1$ en la Fig. 44-27a? Hacer un diagrama de rayos que ilustre estas dos situaciones para lentes convergentes delgadas. Responder la misma pregunta, en relación con la Fig. 44-27b, para $o/|f| = -1$ e $i/|f| = -1$ en lentes divergentes delgadas.
35. ¿Por qué el aumento de una lupa se define en términos de ángulos y no de la relación entre los tamaños de la imagen al objeto?
36. Los anteojos comunes no amplifican, en tanto que una lupa sí lo hace. ¿Cuál es entonces la función de los anteojos?
37. En "número f" de una cámara es su distancia focal dividida entre la abertura de su diafragma (ver el Prob. 47); es decir, es su diámetro efectivo. ¿Por qué es útil saber este número en fotografía? ¿Cómo se puede cambiar el número f de una lente? ¿Cómo está relacionado el tiempo de exposición con el número f?
38. ¿Es importante que las imágenes producidas sean derechas o invertidas en (a) un telescopio astronómico, (b) un microscopio compuesto, (c) una lupa, (d) una cámara, incluyendo una cámara de TV y (e) un proyector, incluyendo un proyector de transparencias y uno de cine? ¿Es importante que las imágenes sean reales o virtuales en los mismos casos? Discutir la respuesta de cada caso.
39. ¿Por qué se produce la aberración cromática en una lente simple pero no se presenta en un espejo?

40. Sin ningún dispositivo adicional, el ojo humano produce en la retina una imagen real pero *invertida*. (a) ¿Por qué, entonces, no percibimos “de cabeza” objetos tales como otras personas o árboles? Claro que esto no sucede, pero supóngase que utilizáramos lentes especiales para que esto ocurriese. Si entonces se invirtiera esta página, ¿se podría leer esta pregunta con la misma facilidad con la que se lee normalmente? Discutir la respuesta.
41. Cuando un director de cine desea representar una escena vista a través de unos binoculares, en la pantalla aparece una “mascarilla” con una abertura en forma de un ocho horizontal. ¿En qué está equivocado este procedimiento?
42. ¿Por qué es que los telescopios recientes de gran tamaño son de la variedad reflectora, más que de la refractora? Pensar en los problemas de la montura mecánica de lentes y de espejos, en las dificultades para darles forma a las diferentes superficies ópticas que intervienen, en los problemas que representan los pequeños defectos en las piezas de vidrio óptico utilizadas para hacer lentes y espejos, etc.

SECCION 44-2 *Ondas esféricas. Espejos planos.*

problemas

1. Un pequeño objeto se encuentra a 10 cm de un espejo plano. Si el observador se encuentra detrás del objeto, a 30 cm del espejo, y observa su imagen, ¿a qué distancia debe enfocar sus ojos?
Respuesta: 40 cm.
2. Supóngase que se desea fotografiar un objeto que se observa a través de un espejo plano. Si el objeto está colocado a 5.0 m a la derecha y a 1.0 m más cerca del plano del espejo que el fotógrafo, ¿a qué distancia se debe enfocar la lente de la cámara?
3. Un objeto puntual está colocado a 10 cm de un espejo, en tanto que el ojo de un observador (cuyo diámetro pupilar es de 5.0 mm) está colocado a 20 cm. Suponiendo que tanto el ojo como el objeto puntual están en la misma línea perpendicular a la superficie, encontrar el área del espejo utilizado para observar la reflexión del objeto puntual.
Respuesta: 2.2 mm².
4. Dos espejos planos forman un ángulo de 90° entre sí. ¿Cuál es el mayor número de imágenes de un objeto, situado entre los espejos, que pueden ser apreciadas por un observador colocado en un punto conveniente? El objeto *no* tiene que estar sobre la bisectriz de los espejos.
5. Resolver el Ej. 2 si el ángulo entre los espejos es de (a) 45°, (b) 60° y (c) 120°, con el objeto colocado siempre en la bisectriz entre los espejos.
Respuesta: (a) 7, (b) 5, (c) 2.
6. ¿Cuántas de sus imágenes puede observar una persona en un cuarto cuyo techo y dos paredes adyacentes son espejos? Explicar la respuesta.
7. Un pequeño objeto *O* se encuentra a la tercera parte de la distancia entre dos espejos planos paralelos, como se muestra en la Fig. 44-32. Trazar el conjunto apropiado de rayos para observar las cuatro imágenes que se encuentran más cercanas al objeto.

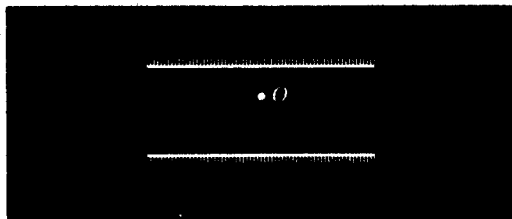


figura 44-32
Prob. 7

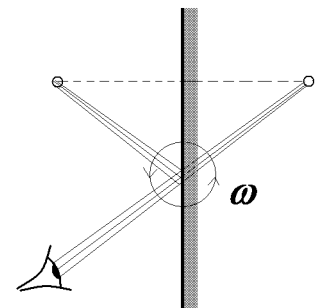


Figura 44-6

8. En la Fig. 44-6 se hace girar el espejo 30° en el sentido contrario al de las manecillas del reloj, sin mover al objeto puntual *O*. ¿Se desplaza la imagen (virtual) puntual? De ocurrir algún desplazamiento, ¿cuál es la nueva posición de la imagen? ¿Todavía podrá el ojo ver la imagen sin cambiar la posición? Hacer una figura en la que se muestre la nueva situación, sin que el ojo y el objeto *O* hallan cambiado de posición.
9. Se observa a través de un orificio el interior de una caja iluminada. En la cara posterior de la caja, frente al observador, se encuentra un espejo plano. Un marco cuadrado de alambre gira lentamente en sentido contrario al de las manecillas del reloj (visto desde arriba) en torno a un eje vertical. La distancia del orificio al espejo

jo es de 15 cm. (a) ¿A qué distancia del espejo debe estar el eje vertical de rotación del cuadrado para que su imagen en el espejo sea la mitad del tamaño del cuadrado mismo? (b) Comparar los sentidos de rotación del objeto y de su imagen. (c) Describir lo que se observaría, suponiendo que se ignora que la caja contiene un espejo.

10. Ampliar a tres dimensiones la Fig. 44-9, añadiendo un espejo perpendicular al eje común de los dos espejos mostrados. Esta disposición forma un *reflector de esquina*, el cual se usa mucho en óptica, en las microondas y en otras aplicaciones. Tiene la propiedad de hacer que un rayo incidente regrese, después de tres reflexiones, a lo largo de su misma dirección. Demostrar este resultado.

SECCION 44-3 Ondas esféricas. Espejos esféricos

11. Por claridad, en figuras como la 44-10 los rayos no se dibujan suficientemente paraxiales como para que la Ec. 44-4 se cumpla con gran precisión. Medir con una regla los valores de r y o en esta figura y calcular el valor predicho de i por la Ec. 44-4. Comparar este valor calculado con el valor medio de i .
12. Llenar los espacios de la siguiente tabla, la cual se refiere a espejos esféricos y objetos reales. Comprobar los resultados mediante un análisis gráfico. Las distancias están dadas en centímetros; si un número no tiene el signo más o el menos frente a él, determinar su signo correcto.

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
Tipo	cóncavo						convexo	
<i>f</i>	20		+20			20		
<i>r</i>					-40		40	
<i>i</i>					-10		4	
<i>o</i>	+10	+10	+30	+60				+24
<i>m</i>		+1		-0.5		+0.10		0.50
¿Imagen real?		no						
¿Imagen derecha?								no

Respuesta: Columnas verticales alternadas: (a) +, +40, -20, +2, no, sí. (c) Cóncavo, +40, +60, -2, sí, no. (e) Convexo, -20, +20, +0.5, no, sí. (g) -20, -, -, +5, no, sí.

13. Un objeto lineal pequeño, de longitud l , se encuentra sobre el eje de un espejo esférico, a una distancia o del mismo. (a) Demostrar que su imagen tendrá una longitud l' dada por

$$l' = l \left(\frac{f}{o - f} \right)^2$$

(b) Demostrar que el *aumento longitudinal* m' ($= l'/l$) es igual a m^2 , en donde m es el aumento lateral estudiado en la Sec. 44-3. (c) ¿Existe alguna condición tal que la imagen de un cubo pequeño, ignorando todos los defectos del espejo, también sea un cubo?

Respuesta: (c) Sí; el objeto en el centro de curvatura.

14. Hacer un dibujo, a mayor escala, de la Fig. 44-33 trazando con cuidado los rayos reflejados y utilizando la ley de la reflexión. ¿Se forma un foco puntual? Discutir la respuesta.
15. Una placa plana, delgada, de vidrio parcialmente reflector, se encuentra a una distancia b de un espejo convexo. A una distancia a de la placa se encuentra una fuente puntual S (ver la Fig. 44-34) de tal forma que su imagen sobre la placa parcial-

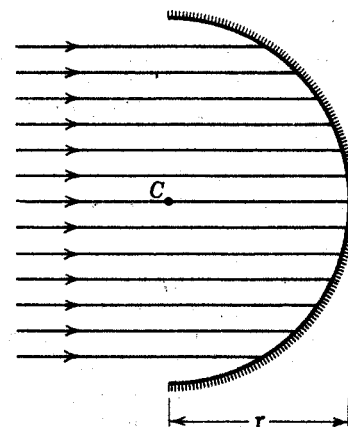


figura 44-33
Prob. 14.

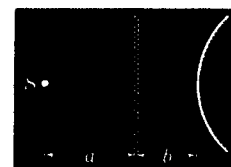


figura 44-34
Prob. 15

mente reflectora coincide con su imagen en el espejo. Si $b = 7.5$ cm y la distancia focal del espejo es $f = -30$ cm, determinar el valor de a y hacer un diagrama de la situación.

Respuesta: 23 cm.

16. Verificar que existe una consistencia entre la Ec. 44-4 y las situaciones de la Fig. 44-5, 10, 12 (ver el Ej. 3), 13, 14 y 15. En algunos casos sólo se puede dar una respuesta cualitativa.
17. Modificar la Fig. 44-12 (posiblemente añadiendo otro espejo a la izquierda del que se muestra en la figura) de tal forma que el objeto de la Fig. 44-12 sea virtual. Trazar los rayos correspondientes.

SECCION 44-4 Superficies refractantes esféricas

18. En el fondo de una alberca de 10 pies (3 m) de profundidad se encuentra una moneda. ¿Cuál es la profundidad aparente de la moneda vista desde fuera del agua? El índice de refracción del agua es 1.33.
19. Completar la siguiente tabla, en la cual cada columna se refiere a una superficie esférica que separa a dos medios con índices de refracción diferentes. Las distancias se miden en centímetros. En todos los casos el objeto es real.

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
n_1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5
n_2	1.5	1.5	1.5		1.0	1.0	1.0	
<i>o</i>	+10	+10		+20	+10		+70	+100
<i>i</i>		-13	+600	-20	-6	-7.5		+600
<i>r</i>	+30		+30	-20		-30	+30	-30
¿Imagen real?								

En cada situación dibujar una figura y construir gráficamente los rayos apropiados. Suponer un objeto puntual.

Respuesta: Columnas verticales alternadas: (a) -18, no. (c) +71, sí. (e) +30, no. (g)-26, no.

20. Una capa de agua ($n = 1.33$) de 2.0 cm de espesor flota sobre otra capa de tetracloruro de carbono ($n = 1.46$) de 4.0 cm de espesor. ¿A qué distancia por debajo del agua, observando en incidencia normal, parece estar el fondo del tanque que los contiene?
21. Como un ejemplo de la importancia de la suposición de rayos paraxiales, considérese el problema siguiente. En el fondo de una alberca llena con agua ($n = 1.33$) se coloca una moneda a profundidad de 8.0 pies. ¿Cuál es la profundidad aparente de la moneda al observarla (a) en incidencia casi normal (es decir, cuando los rayos son casi paraxiales) y (b) cuando los rayos que parten de la moneda forman un ángulo de 30° respecto a la normal (es decir, cuando los rayos definitivamente no son paraxiales)? ¿Qué conclusiones se pueden sacar de estos resultados?
22. Definir y localizar los puntos focales primero y segundo (ver Pág. 437) de una superficie esférica refringente tal como la mostrada en la Fig. 44-17.
23. Un haz paralelo de luz incide sobre una esfera sólida de vidrio con incidencia normal. Localizar la imagen en términos del índice de refracción n y del radio r de la esfera.

Respuesta: Suponiendo que la luz de la izquierda, $i = \frac{2-n}{n}r$, hacia la derecha de

la superficie derecha de la esfera, si $n < 2$, como en el caso del vidrio.

SECCION 44-5 Lentes delgadas

24. Una lente biconvexa se fabrica con vidrio cuyo índice de refracción es 1.50. Una superficie debe tener el doble de radio de curvatura de la otra y la distancia focal debe ser de 6.0 cm. ¿Cuáles son los radios?

452 REFLEXION Y REFRACCION—ONDAS Y SUPERFICIES ESFERICAS

Dibujar una figura en cada caso y construir gráficamente los rayos apropiados. En todos los casos el objeto es real.

Respuesta: Columnas verticales alternadas (una X significa que la cantidad no puede determinarse de los datos disponibles): (a) +, X, X, +20, X, -1, sí, no. (c) Convergente, +, X, X, -10, X, no, sí. (e) Convergente, +30, -5, +1.5, no, sí. (g) Divergente, -120, -9.2, +0.92, no, sí. (i) Convergente, +3.3, X, X, +5, X, -, no.

31. Un objeto luminoso y una pantalla están separados una distancia D . (a) Demostrar que una lente convergente, de distancia focal f , forma una imagen real en la pantalla en dos posiciones que se encuentran separadas una distancia

$$d = \sqrt{D(D - 4f)}.$$

(b) Demostrar que la relación entre los tamaños de las dos imágenes en estas dos posiciones es

$$\left(\frac{D - d}{D + d}\right)^2.$$

32. Una lente convergente de 20 cm de distancia focal está localizada a 10 cm a la izquierda de una lente divergente de -15 cm de distancia focal. Si un objeto se coloca a 40 cm a la izquierda de la primera lente, localizar y describir completamente la imagen formada.
33. Dos lentes delgadas de distancias focales f_1 y f_2 están en contacto. Demostrar que son equivalentes a una sola lente delgada cuya distancia focal es

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}.$$

34. Demostrar que la distancia entre un objeto real y su imagen real, formada por una lente delgada convergente, siempre es mayor que cuatro veces la distancia focal de esta lente.
35. La expresión

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

recibe el nombre de forma *gaussiana* de la fórmula de las lentes delgadas. A partir de esta fórmula se puede obtener otra expresión, llamada forma *newtoniana*, considerando la distancia x del objeto al primer punto focal y la distancia x' del segundo punto focal a la imagen. Demostrar que

$$xx' = f^2.$$

36. Un objeto derecho se coloca a una distancia igual al doble de la distancia focal f_1 de una lente convergente. Del otro lado de la lente se encuentra un espejo convergente de distancia focal f_2 y separado de la lente por una distancia $2(f_1 + f_2)$. (a) Encontrar la posición, la naturaleza y el tamaño relativo de la imagen final. (b) Dibujar un diagrama con los rayos apropiados. Ver Fig. 44-36

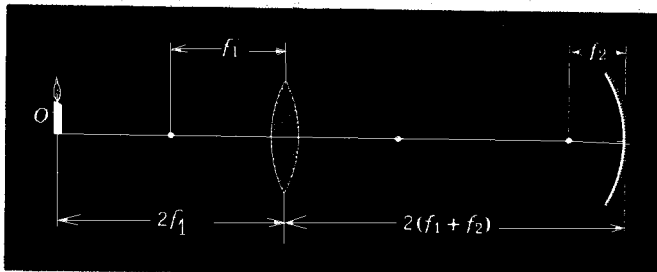


figura 44-36
Prob. 36.

37. Dos lentes delgadas, cuyas distancias focales son $f = +12.0$ cm y $f = -10.0$ cm, están separadas por 7.0 cm. A 43.5 cm del centro del sistema de lentes, y sobre el

eje principal, se coloca un pequeño objeto, de un lado y después del otro. Determinar la posición final de la imagen en ambos casos.

Respuesta: Cuando el objeto está más cerca de la lente convergente, la imagen está a 8.5 cm del lado opuesto al centro del sistema de lentes. Cuando el objeto está más cerca de la lente divergente, la imagen está a 63.5 cm del lado opuesto al centro del sistema de lentes.

38. (a) Demostrar que la lente convergente delgada, de distancia focal f , seguida de una lente divergente delgada, de distancia focal $-f$, producirá un enfocamiento de un haz de luz paralelo a un punto más allá de la segunda lente, siempre y cuando se cumpla que $0 < L < f$. (b) ¿Cambia esta propiedad si se intercambian las lentes? (c) ¿Qué sucede cuando $L = 0$?
39. Un objeto se coloca a 1.0 m de una lente convergente de 0.5 m de distancia focal que se encuentra a 2.0 m de un espejo plano. (a) ¿En dónde se encuentra, midiendo desde la lente, la imagen final que vería una persona que observe el espejo a través de la lente? (b) ¿Es real o virtual la imagen final? (c) ¿Es derecha o invertida? (d) ¿Cuál es el aumento lateral?
Respuesta: (a) 0.60 m del lado de la lente alejado del espejo. (b) Real. (c) Derecha. (d) +0.20.
40. Un objeto se encuentra a 20 cm a la izquierda de una lente cuya distancia focal es de +10 cm. A 30 cm a la derecha de esta lente se coloca una segunda lente cuya distancia focal es de +12.5 cm. (a) Utilizando la imagen formada por la primera lente como objeto para la segunda, encontrar la posición y el tamaño relativo de la imagen final. (b) Verificar las conclusiones dibujando a escala el sistema de lentes y construyendo un diagrama de rayos. (c) Describir la imagen final.
41. Demostrar que la Ec. 44-21 es correcta.
42. Un objeto se coloca a 0.30 m de una lente convergente de 0.15 m de distancia focal que se encuentra a 0.60 m de un espejo plano. (a) ¿En dónde se encuentra, midiendo desde la lente, la imagen final que vería una persona que observe el espejo a través de la lente? (b) ¿Es real o virtual la imagen final? (c) ¿Es derecha o invertida? (d) ¿Cuál es el aumento lateral?

SECCION 44-6 Instrumentos ópticos

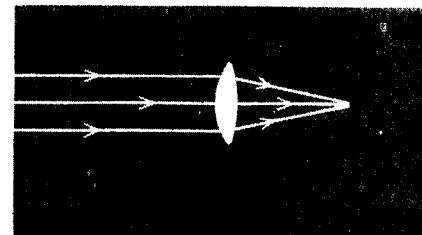
43. En relación con la Fig. 44-28b, (a) demostrar que si el objeto O se mueve desde el primer punto focal F_1 hacia el ojo, la imagen se acerca desde el infinito y aumenta el ángulo θ' (y por lo tanto el aumento angular m_θ). (b) Si este proceso continúa, ¿en qué posición de la imagen se obtendrá el valor máximo de m_θ utilizable? (c) Demostrar que el valor máximo de m_θ utilizable es $1 + (25 \text{ cm})/f$. (d) Demostrar que, en esta situación, el aumento angular es igual al aumento lineal, el cual está dado por la Ec. 44-23.
44. Un microscopio del tipo mostrado en la Fig. 44-29 tiene una lente objetivo con una distancia focal de 4.0 cm y una lente ocular con una distancia focal de 8.0 cm. La distancia entre las dos lentes es de 25 cm. (a) ¿Cuál es el valor de la distancia s en la Fig. 44-29? (b) ¿A qué distancia más allá de F_1 se debe colocar el objeto para reproducir las condiciones de la Fig. 44-29? (c) ¿Cuál es el aumento lateral m del objetivo? (d) ¿Cuál es el aumento angular m_θ del ocular? (e) ¿Cuál es el aumento total M del microscopio?
45. *El ojo-el instrumento óptico básico:* La Fig. 44-37a sugiere un ojo humano normal. Los rayos paralelos que penetran en un ojo relajado que mira al infinito, producen una imagen real e invertida sobre la retina. En estas condiciones el ojo actúa como una lente convergente. La mayor parte de la refracción se produce en la superficie externa del ojo, llamada *córnea*. Suponer que la distancia focal f del ojo es de 2.50 cm.

En la Fig. 44-37b, el objeto se ha movido hasta una distancia o ($= 40.0 \text{ cm}$) del ojo. Para poder formar una imagen sobre la retina, la distancia focal efectiva del ojo tiene que reducirse a f' . Esto se logra por la acción de los músculos ciliares, los cuales cambian la forma de la lente y, en consecuencia, la distancia focal del ojo.

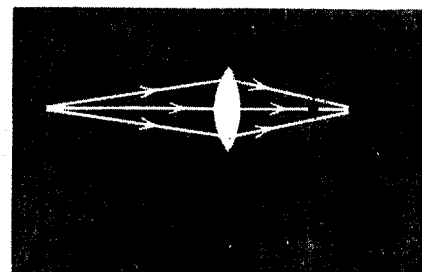
(a) Encontrar el valor de f' partiendo de los datos anteriores. (b) ¿Aumentará o disminuirá el radio efectivo de la lente al pasar de la situación a a la b en la Fig. 44-37? (En esta figura sólo se sugiere la estructura del ojo y la Fig. 44-37b no está a escala.)

Respuesta: (a) 2.35 cm. (b) Será menor.

46. Un ojo *hipermétrope* enfoca los rayos paralelos de tal forma que la imagen se forma atrás de la retina, como en la Fig. 44-38a. Un ojo *miope* forma la imagen en frente de la retina, como en la Fig. 44-38b. (a) ¿Cómo se tiene que diseñar una lente que corrija cada uno de estos defectos del ojo? Hacer un diagrama de rayos para



(a)



(b)

figura 44-37
Prob. 45.

cada caso. (b) Si sólo se requiere de anteojos para leer, ¿el defecto es de miopía o de hipermetropía? (c) ¿Cuál es la función de las lentes bifocales, en las cuales las partes superiores tienen una distancia focal diferente a la de las partes inferiores? (d) Algunos músicos de las orquestas sinfónicas (y también otro tipo de músicos) utilizan lentes *trifocales*. ¿Qué problema ocupacional es el que interviene en este caso?

47. *La cámara fotográfica:* La Fig. 44-39 muestra una cámara fotográfica idealizada enfocada sobre un objeto en el infinito. Sobre la película se forma una imagen real e invertida I para la cual la distancia imagen i es igual a la distancia focal (fija) del sistema de lentes (por ejemplo, $f = 5.0$ cm). En la Fig. 44-39b, el objeto O se ha acercado a la cámara hasta una posición para la cual la distancia objeto o es de, por ejemplo, 100 cm. Para poder enfocar una imagen I sobre la película, es necesario alejar la lente de la cámara (¿por qué?). (a) Determinar el valor de i' en la Fig. 44-39b. (b) ¿Qué distancia se debe mover la lente? Nótese que, en este aspecto, la cámara difiere del ojo (ver el Prob. 45). En la cámara, f permanece constante y la distancia imagen i debe ajustarse moviendo la lente. En el ojo, la distancia imagen i permanece constante y la distancia focal f se ajusta distorsionando la lente. Comparar cuidadosamente las Figs. 44-37 y 44-39.

Respuesta: (a) 5.3 cm. (b) 3.0 mm.

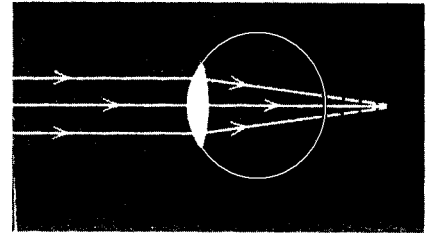
48. *El telescopio reflector:* Convencido como estaba de que la aberración cromática era una propiedad inherente de los telescopios refractores (y resultó que en esto estaba equivocado), Isaac Newton inventó el telescopio reflector, el cual se muestra en forma esquemática en la Fig. 44-40. Presentó a la Royal Society su segundo modelo de este tipo de telescopio, el cual tenía un poder amplificador de 38; este aparato todavía se conserva.

En la Fig. 44-40 un haz de luz casi paralelo al eje del telescopio incide sobre el espejo objetivo M . Después de ser reflejado por un espejo pequeño M' (esta figura no está a escala), los rayos forman una imagen real e invertida sobre el plano focal que pasa a través de F . Esta imagen se observa mediante un ocular.

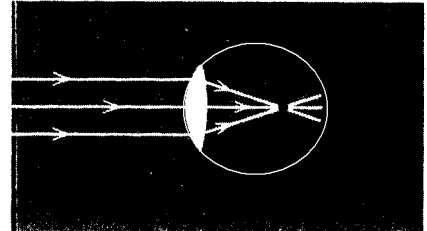
Demostrar que el aumento angular m_θ también está determinado por la Ec. 44-25; es decir, por

$$m_\theta = -f_{ob}/f_{ey}$$

en donde f_{ob} es la distancia focal del espejo objetivo y f_{ey} es la del ocular. (b) El espejo de 200 plg del telescopio reflector de Monte Palomar tiene una distancia focal de 16.8 m. Estimar el tamaño de la imagen formada en el plano focal de este espejo cuando el objeto es una regla de un metro colocada a 2.0 km del espejo. Suponer que los rayos incidentes son paralelos. (c) El espejo de un telescopio astronómico reflector tiene un radio de curvatura efectivo ("efectivo" debido a que tales espejos se hacen en forma parabólica, más que esférica, para eliminar los defectos de la aberración esférica) de 10 m. ¿Cuál debe ser la distancia focal del ocular para que se obtenga un aumento angular de 200?



(a)



(b)

figura 44-38
Prob. 46.

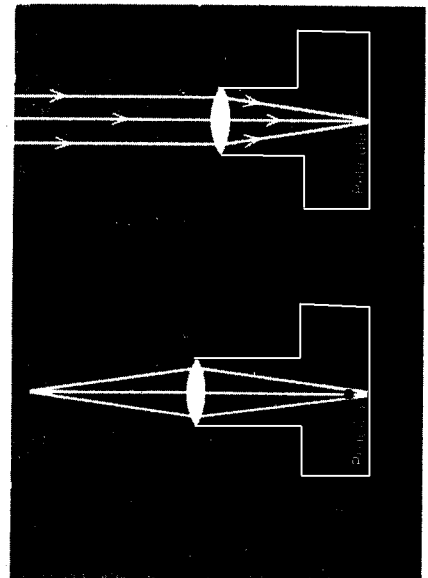


figura 44-39
Prob. 47.

figura 44-40
Prob. 48.

