

Ley de Snell y lentes

Laboratorio de Electromagnetismo y Óptica, Departamento de Física - FCEyN - UBA

Objetivos: Estudiar experimentalmente la reflexión y refracción de la luz. Determinar el índice de refracción de un material. Observar el fenómeno de reflexión total interna.

I. INTRODUCCIÓN

A. Refracción

Cuando un haz de luz incide sobre la superficie que separa dos medios, en los cuales la luz se propaga con diferentes velocidades, parte de la misma se transmite y parte se refleja. Para un medio cualquiera, el índice de refracción n se define como $n = c/v$, donde la velocidad de la luz en el vacío es c y en el medio v . La *ley de Sahl-Snell*¹ establece que la relación entre el ángulo incidente θ_1 y el refractado θ_3 es

$$n_1 \sin \theta_1 = n_3 \sin \theta_3, \quad (1)$$

donde n_1 es el índice correspondiente al medio por donde incide el rayo y n_3 el medio por el cual se transmite el rayo. Similarmente la ley establece que para el ángulo del rayo reflejado θ_2 nos queda $\theta_1 = \theta_2$. En la figura 1 se puede observar el diagrama de los rayos incidente, reflejado y refractado.

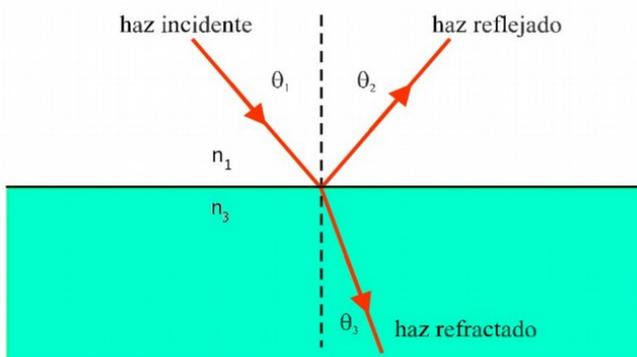


Figura 1. Diagrama de rayos.

B. Lente

En una lente delgada se cumple la *ecuación del constructor de lentes*

$$\frac{n_m}{p} + \frac{n_m}{q} = (n_l - n_m) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), \quad (2)$$

¹ El persa musulmán Ibn Sahl publicó en Bagdad en el año 984 una descripción matemática de la refracción equivalente a la que Willebrord Snellius publicó en los países bajos en 1621.

donde p es la distancia objeto-lente, q es la distancia pantalla-lente, n_m y n_l los índices de refracción del medio y la lente respectivamente y R_1 y R_2 los radios de las dioptras que componen la lente. Esta ecuación se puede reescribir en la forma de la *ecuación de Gauss*

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}, \quad (3)$$

donde f es la distancia focal de la lente y no sólo depende de la construcción de la lente, sino también del medio donde está inmersa.

II. ESTUDIO DE LA REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

A. Dependencia con ángulo de incidencia

Se propone investigar la relación entre el ángulo de reflexión y el ángulo de refracción en función del ángulo incidente, para lo que se dispone de una media caña acrílica (tiene forma de "D"), un puntero láser y alfileres.

1. Representar gráficamente los ángulos de reflexión y refracción en función del ángulo incidente. Analice la dependencia y discuta sus conclusiones. ¿Es la forma más adecuada de analizar las relaciones anteriores?
2. ¿Qué puede decir acerca de la validez de la *ley de Sahl-Snell* para el caso que acaba de estudiar experimentalmente?
3. A partir de sus resultados determine el índice de refracción de la luz del material de acrílico.
4. ¿Cómo estima los errores en sus mediciones?

B. Reflexión total interna

Utilizando los mismo elementos de la actividad anterior, diseñe un experimento para poder estimar el ángulo de reflexión total interna θ_c . ¿Encuentra un ángulo para el cual la luz deja de transmitirse al aire?

1. Determine en forma directa el ángulo crítico para el cual deja de existir el rayo transmitido.
2. ¿Qué sucede cuando se incide con un ángulo mayor al crítico θ_c ?
3. Usando la ley de Sahl-Snell y el valor del índice de refracción del acrílico estimado en la sección anterior, calcular el valor del ángulo crítico θ_c . Comparar con el valor hallado de forma directa.

III. LENTES CONVERGENTES Y DIVERGENTES

A. Lente convergente: estudio cualitativo

1. Describa cómo varían las características de lo que observa al variar la distancia observador–objeto. ¿La imagen es más grande, más pequeña o igual que el objeto mismo? ¿La imagen es derecha o invertida? ¿Varían estas imágenes al variar la distancia observador–lente?
2. Otra propiedad interesante de las lentes convergentes es que forman imágenes reales, es decir imágenes que pueden proyectarse en una pantalla. Para realizar esta observación es conveniente disponer de un objeto bien iluminado, por ejemplo, un árbol o un paisaje. También será conveniente que quien mide, con su lente y una pantalla se coloque en un lugar con mucha sombra, pero que le permita ver claramente el objeto iluminado. Interponga la lente entre el objeto y la pantalla y varíe la distancia lente–pantalla hasta que aparezca una imagen nítida del objeto. La imagen en la pantalla aparecerá invertida. Este es el principio de funcionamiento de una cámara fotográfica, en la cual el sensor *CMOS* (o *CCD* en las de uso científico) constituye la “pantalla” donde se forma la imagen.
3. El foco de una lente convergente es el punto sobre el eje óptico a una distancia f de la lente, donde convergen todos los rayos incidentes paraxiales (paralelos y cercanos al eje) luego de la refracción. ¿De qué forma puede estimar el valor f ?
4. Obstruya distintas partes de la lente y observe cómo afecta esto a la imagen. Describa sus conclusiones.
5. ¿Cuál es la diferencia entre una imagen real y una imagen virtual? ¿Qué tipo de imagen es la que se observa en un espejo plano? ¿Y en uno cóncavo?
6. ¿Qué tipo de imagen puede ser proyectada sobre una pantalla: una imagen real o una virtual? ¿Dónde debe ubicarse el objeto respecto de la lente para obtener una imagen que pueda observarse sobre una pantalla?

B. Lente convergente: estudio cuantitativo

En la figura 2 se propone un montaje experimental.

1. Para diversas distancias objeto–pantalla, encuentre todas las imágenes que pueda variando la posición de la lente. ¿Para cuántas posiciones de la lente ve imágenes nítidas en la pantalla? Cada vez que observe imágenes nítidas, mida las distancias p , q y los tamaños y orientaciones del objeto y su imagen.

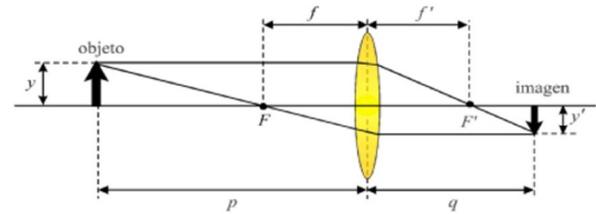


Figura 2. Esquema del montaje para lentes convergentes.

2. Represente q en función de p y también q^{-1} en función de p^{-1} . ¿Qué relación encuentra entre q y p ? ¿Puede describirse por medio de la ecuación de Gauss?
3. Estime el valor de la distancia f . ¿Cómo puede estimar las incertidumbres de p y q ?
4. Se define el aumento lateral m como el cociente entre el tamaño de la imagen y el tamaño del objeto. Determine experimentalmente el aumento de la imagen que resulta para distintas posiciones relativas entre objeto y lente. Compare el resultado de sus mediciones con las predicciones de la óptica geométrica. Represente gráficamente m y el cociente q/p en función de p en un mismo gráfico y discuta sus resultados.
5. Otra propiedad interesante de las lentes convergentes es que sólo forman imagen de un objeto sobre una pantalla cuando la distancia objeto–pantalla $D = p + q$ cumple la condición $D > 4f$. Investigue experimentalmente la validez de esta afirmación usando un banco óptico y una lente de distancia focal f conocida.
6. Usando la ecuación de Gauss demostrar que si $D < 4f$ la lente no forma imagen. Analice el caso particular de $D = 4f$. ¿Dónde se forma la imagen y con qué aumento en este caso?