

Reflexión, refracción y lentes convergentes

Objetivos

Estudiar el fenómeno de reflexión y refracción de la luz. Determinar experimentalmente las leyes de refracción y reflexión [1]. Comparar el experimento real con una simulación. Caracterizar una lente convergente, comprender los conceptos de imagen real, virtual, objeto real y foco.

Introducción

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

$$n = \frac{c}{V} \quad (1)$$

donde c es la velocidad de la luz en el vacío y V la velocidad de la luz en ese medio.

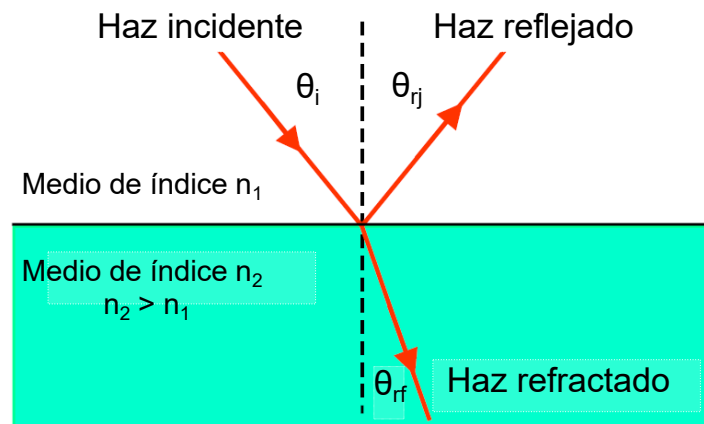


Figura 1: Esquema de la reflexión y refracción de un haz de luz que incide sobre una superficie que separa dos medios con índices de refracción diferentes

La idea de este trabajo práctico es estudiar experimentalmente la relación entre los haces incidente, reflejado y refractados. Para estos investigaremos la relación entre el ángulo de

reflexión, θ_{rj} , y el ángulo de refracción, θ_{rf} , en función del ángulo de incidencia, θ_i , todos ellos definidos respecto de la línea normal de la superficie de separación entre los dos medios, como se muestra en la Figura 1

La ley de reflexión establece que

$$\theta_i = \theta_{rj} \quad (2)$$

mientras que la ley de refracción o también conocida como ley de Snell relaciona los ángulos de incidencia y refracción de la siguiente forma

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_{rf} \quad (3)$$

También estudiaremos el pasaje de la luz a través de una lente convergente. Una lente es un sistema óptico limitado por dos superficies refringentes curvas. Se denomina **lente delgada** cuando el radio de curvatura es mucho más grande que la separación entre las dioptras. Si S es la distancia de un objeto a la lente y S' la distancia de la lente a la imagen ver Figura 2

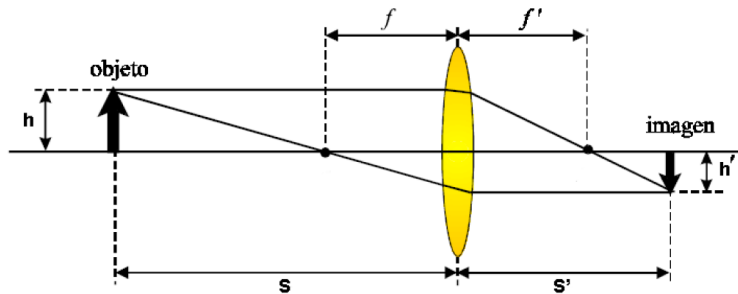


Figura 2: Esquema de la trayectoria de rayos a través de una lente convergente.

la ecuación que relaciona estas dos distancias con la lente es la ecuación de Gauss [2]

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f} \quad (4)$$

Se denomina f a la distancia focal de la lente, esta distancia es fija para cada lente y representa una característica importante de la misma. La distancia S' en cambio, corresponde a la distancia de enfoque (muy distinto que distancia focal) que significa que a esa distancia se ve nítida la imagen del objeto. Si cambio la posición S del objeto, dado que f es fijo, naturalmente debe cambiar S' , es decir, que la imagen se formará en otra posición. La distancia focal es relativamente fácil de estimar conociendo su definición:

1. Si el objeto está en el infinito, es decir que los rayos llegan paralelos al eje óptico, estos convergen luego de la lente en un plano cuya distancia a la lente es exactamente f .

2. Si la imagen se forma en el infinito, es decir que los rayos emergen de la lente paralelos al eje óptico, entonces el objeto se halla a una distancia de la lente $S = f$.

Por convención, al primer caso de lo llama foco imagen (porque está medido del lado del espacio imagen) y al segundo caso foco objeto (porque está medido del lado del espacio objeto), pero ambos valores son el mismo.

Convención de signos: la distancia S es positiva cuando se halla a la izquierda de la lente (objeto real) y negativa a la derecha (objeto virtual). La distancia S' es positiva cuando se halla a la derecha de la lente (imagen real) y negativa a la izquierda (imagen virtual)

1. Actividades

Refracción y reflexión: La venganza de los alfileres

Para la realización de este experimento se sugiere usar el dispositivo indicado esquemáticamente en la Figura 3 Tomamos el punto O como origen de coordenadas. Elegimos el eje x coincidiendo con la cara plana del mismo y tomamos la normal a dicha cara como el eje y, respecto del cual medimos los ángulos. El semicilindro se apoya sobre una superficie plana, sobre la que colocamos un papel milimetrado o un papel con una impresión de un transportador para determinar las coordenadas o el ángulo de cada punto.

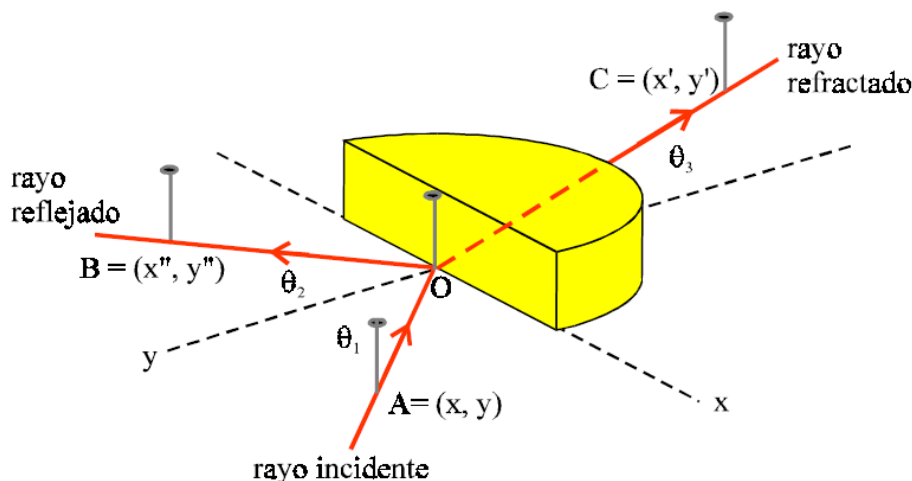


Figura 3: Esquema del dispositivo experimental empleado para estudiar la refracción y la reflexión de la luz. Reproducido de [1]

Un modo simple de determinar la dirección de los rayos de luz consiste en usar tres alfileres, uno de los cuales se mantiene fijo en el centro O: Para determinar la dirección de

los rayos incidentes y refractados, se coloca un alfiler en la posición A, cuyas coordenadas son (x,y) , otro en O (centro del semicilindro, justamente fuera del mismo) y el tercero en la posición C, cuyas coordenadas son (x',y') . La posición de este último alfiler se elige de modo tal que al observar horizontalmente los tres alfileres todos aparezcan alineados. Para facilitar el posicionamiento de los alfileres, puede colocarse el semicilindro encima de una tabla blanda, corcho o cartón blando, que permitan la penetración de alfileres fácilmente.

Refracción: Para realizar el experimento, es importante mantener fijo el alfiler del centro de semicilindro (O). El alfiler en la posición A define el ángulo de incidencia. Mirando desde el **lado curvo** del semicilindro, se procede a colocar el tercer alfiler en la posición C de modo de ver a los **tres alfileres** alineados (A, O y C). Cuando se haya logrado tal alineación, se registran los valores de las coordenadas (x,y) y (x',y') o ángulos. Es conveniente repetir este último experimento de modo que el ángulo de incidencia θ_1 varía desde 0° hasta 80° en pasos de aproximadamente 10° y registrar el ángulo refractado θ_3 .

Reflexión: Mirando desde ahora del lado plano del semicilindro, se procede a colocar el cuarto alfiler en la posición B de modo de ver nuevamente **tres alfileres** alineados (A, O y B). Para la reflexión este método es un poco más difícil. Es conveniente repetir este último experimento de modo que el ángulo de incidencia θ_1 varía desde 0° hasta 80° en pasos de aproximadamente 10° y registrar el ángulo reflejado θ_2 .

Refracción y reflexión: Láser y alfileres

Ahora estudiemos la refracción y reflexión de la luz con el mismo dispositivo experimental anterior pero usando un láser que nos provea el haz de luz incidente.

Coloque el láser de modo que el haz incida con cierto ángulo en la cara plana del semicilindro. Con un alfiler busque donde puede ubicar el rayo **refractado**, es decir mueva un alfiler en la zona que da al lado curvo del semicilindro hasta que vea que el haz impacta sobre el alfiler y fije la posición del mismo de modo de poder medir el ángulo refractado. Proceda del mismo modo en la zona donde supone que debe estar el rayo **reflejado** frente a la cara plana del semicilindro y así poder determinar el ángulo reflejado. Por último con un tercer alfiler detecte el ángulo de incidencia. Repita para al menos ocho ángulo de incidencia.

Para ambas actividades Represente gráficamente θ_3 en función de θ_1 y θ_2 en función θ_1 . También represente $\sin \theta_3$ en función de $\sin \theta_1$. Analice las distintas dependencias y discuta ventajas y diferencias entre los métodos

1.1. Reflexión total interna

Investigue el fenómeno de reflexión total interna. Para ello haga incidir un láser por el lado la superficie curva de la Figura 3 y que pase por el punto O (dirección radial). La luz llegará a la cara plana del semicilindro radialmente desde un medio que tiene índice de refracción mayor a otro de índice menor, el del aire. Observe la transmisión de la luz del semicilindro al aire mientras va cambiando el ángulo θ_3 de incidencia de la luz sobre la interfase acrílico–aire. ¿Encuentra algún ángulo para el cual la luz deja de transmitirse al aire? Si encuentra dicha condición, esto significa que para dicha incidencia, la reflexión es total en la superficie plana interna del semicilindro. *Sugerencias*

- Usando el puntero láser, estime en forma directa el valor del ángulo crítico (o límite) θ_{crit} , para el cual deja de existir el rayo transmitido.
- Otro modo de determinar el valor de θ_{crit} consiste en representar gráficamente $\sin \theta_3$ en función de $\sin \theta_1$. A partir de la recta que mejor ajusta los datos experimentales, determine el valor de θ_3 para el cual $\sin \theta_1 = 1$. En ese caso $\theta_3 = \theta_{crit}$
- Antes de llegar a θ_{crit} la refracción es tal que el rayo transmitido es casi paralelo a la cara plana del simicirculo

Experimento virtual

Estudiamos ahora “experimentalmente” la relación entre los haces incidente, reflejado y transmitido utilizando un simulador e interpretar los resultados con lo aprendido en la guía 4. El link al simulador es https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bendinglight_en.html

El funcionamiento del simulador es bastante sencillo, permite cambiar el ángulo de incidencia y ver como varían los ángulos y la intensidad de los rayos reflejado y transmitido. El simulador permite el uso de un transportador para medir los ángulos. Realice actividades similares a las actividades que hizo en la realidad. Note que en este caso puede controlar los índices de refracción de los medios.

Lentes convergentes

Como primera actividad, se les propone estimar la distancia focal de una lente convergente utilizando fuentes en el infinito o a distancia suficientemente lejana (¿cuánto?).

Para el siguiente desarrollo de la práctica disponemos de un banco óptico. El mismo consiste en un riel (con una escala graduada adosada a él) sobre el cual se pueden deslizar

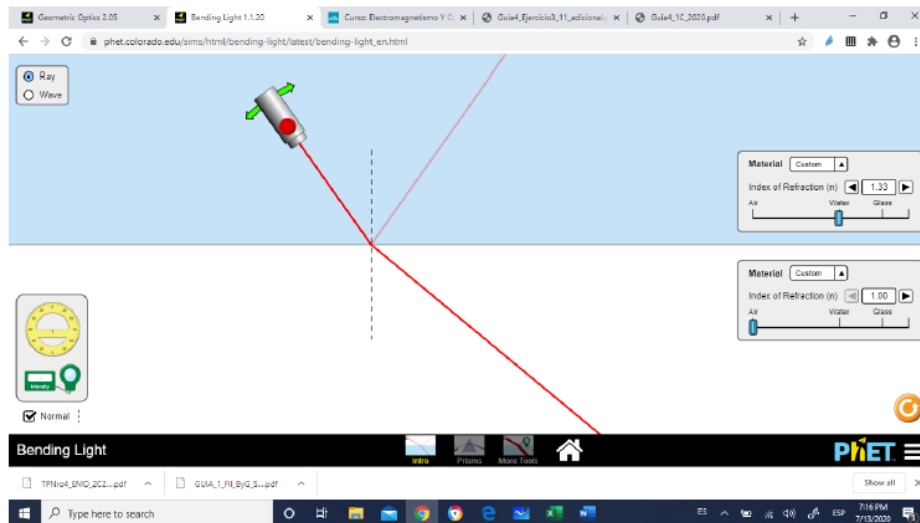


Fig. 1: Interface del simulador.

Figura 4: Esquema del dispositivo experimental empleado para estudiar la refracción y la reflexión de la luz mediante una simulación

soportes que sostienen los elementos a usar: lentes, pantallas, fuentes de luz (objetos), diafragmas, etc. Como objeto se puede utilizar una pantalla translúcida con una abertura en forma de cruz (preferentemente con flechas que indiquen sin ambigüedad su orientación y de dimensiones conocidas), detrás de la cual se coloca una fuente luminosa.

Estudio cualitativo

Estudiar en forma cualitativa las características de las lentes como sistema formador de imágenes:

- Analizar para que distancias objeto-lente se obtienen imágenes reales -virtuales, mayores - menores, derechas – invertidas
- Utilizando papel negro, tapar la mitad de la lente y evaluar el efecto en la imagen
- Repetir, pero tapando ahora la mitad del objeto

Estudio cuantitativo

- Obtener la distancia focal a través de diversas mediciones de S y S' .
- Obtener la distancia focal a través de diversas mediciones de S y S' y un ajuste lineal de los datos (ec. De Gauss). Graficar

- Graficar S' vs S . ¿Qué tipo de curva es? ¿Cuáles son los límites del gráfico?
- Analizar si es posible el aumento.

Referencias

- [1] Gil, Salvador and Rodriguez, Esteban. Física re-creativa, Prentice Hall Buenos Aires, 2001
- [2] E. Hecht Óptica Addison Wesley, 1998

Material recopilado de guías de trabajos prácticos de los laboratorio básicos de alumnos del Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.