

Trabajo Práctico N°1 (Continuación)

Lentes Delgadas

TOMÁS CORTI (*tomascorti@fibertel.com.ar*)
RAMIRO OLIVERA (*ramaolivera@hotmail.com*)
FABIÁN SHALÓM (*fabianshalom@hotmail.com*)

MARZO DE 2004

CÁTEDRA DE FÍSICA II - ESCUELA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

Objetivo

El objetivo de este trabajo es el estudio de sistemas ópticos simples y asimismo analizar la formación de imágenes por lentes convergentes y divergentes (tamaño, posición, orientación, etc.). También se pretende caracterizar imágenes virtuales y reales y determinar las distancias focales de lentes convergentes y divergentes.

Primera Parte: Lentes Convergentes, observaciones cualitativas

Materiales y Métodos

- Fuente de luz
- Lente convergente
- Filtro color rojo
- Filtro color verde

Desarrollo

- a) Se utilizó una lente convergente para observar un determinado objeto. La imagen percibida al utilizar este instrumento óptico es de mayor tamaño y derecha. Al aumentar la distancia entre la lupa (o lente convergente) y el ojo, esta imagen se invierte, pero el tamaño de la misma es mucho mayor incluso que la imagen vista anteriormente. En la Figura 1 se puede observar la marcha de rayos que representa la utilización de la lente convergente.

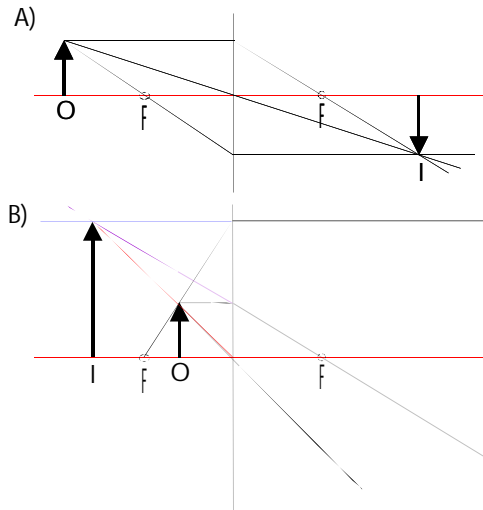


Figura 1: Representación de la marcha de rayos de una lente convergente, cuando el objeto se ubica entre la lente y el foco (A) y cuando se ubica entre el foco y el infinito (B)

- b) En este segundo experimento de laboratorio se utilizó una lente convergente para formar una imagen real sobre una pantalla, esta imagen se forma con una orientación invertida. Sobre la mitad superior de la lente se colocó un papel que no dejaba pasar los rayos y se observó la imagen nuevamente. Se encontró que la imagen se observaba en tamaño completo, pero con una menor intensidad lumínica, incluso ocurría lo mismo cuando se tapaban tres cuartas partes de la lente.
- c) Luego se tapó parte de la lente con un filtro color rojo y parte con un filtro verde, según lo describe el Experimento de Hechtorn (1999)[1]. La imagen formada sobre la pantalla era de color más amarillento que en los casos anteriores y la intensidad era menor que la original.
- d) La diferencia básica entre la imagen real y la virtual es que la primera de las dos está formada por rayos reales y la segunda por prolongaciones de rayos reales, es decir por rayos virtuales. La imagen real se forma en la zona virtual y la imagen virtual se forma en la zona real. La orientación de la imagen real está invertida en relación al objeto, mientras que la imagen virtual conserva la orientación del objeto.
- e) La imagen real puede ser proyectada sobre una pantalla, mientras que la imagen virtual no puede ser proyectada, ya que no está formada por rayos reales, sino por prolongaciones. El objeto debe ubicarse a una distancia mayor que la distancia focal, para que esta pueda ser observada sobre una pantalla, de lo contrario si el objeto se coloca entre la lente y el foco, la imagen que se formará será virtual.

Segunda Parte:

Materiales y Métodos

- Fuente de luz
- Banco Óptico
- Lente convergente

Desarrollo

- f) Sobre el banco óptico se tomaron varias distancias entre el objeto y la pantalla (imagen), para las cuales se varió la posición de la lente a fin de observar una imagen nítida. Para cada posición del objeto y de la pantalla, se encontraron dos posiciones para las cuales la imagen se veía nítida. En la Figura 2 se representa la relación que existe entre la posición del objeto y la posición de la imagen. Y a partir de los mismos datos se confeccionó la Figura 3 en la cual se grafican las inversas de la posición del objeto y de la imagen. Todas estas posiciones fueron medidas desde la lente, la cual se tomó como origen.

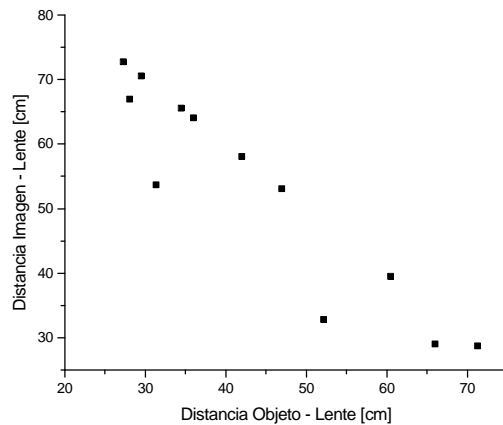


Figura 2: Relación entre la posición del objeto y la posición de la imagen.

- g) Un método sencillo para medir el aumento del tamaño entre la imagen y el objeto es a partir de la relación:

$$m = \frac{-i}{o} \quad (1)$$

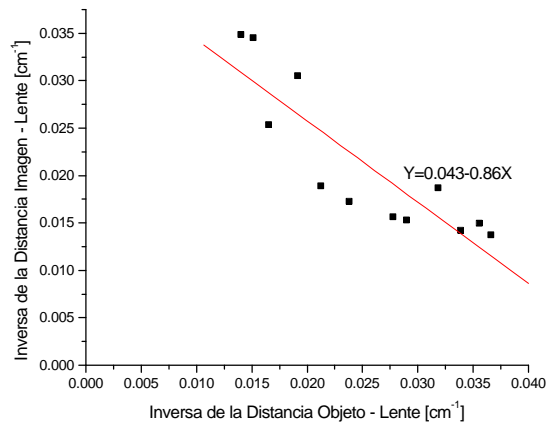


Figura 3: Relación entre la inversa de la posición del objeto y la inversa de la posición de la imagen.

donde m corresponde a la magnitud del aumento lateral, i corresponde a la posición de la imagen (pantalla) y o a la posición del objeto. Con los datos obtenidos anteriormente se puede calcular el aumento para cada posición del objeto y la imagen. Por otro lado también se puede calcular el aumento directamente midiendo el tamaño de la imagen reflejada sobre la pantalla y el tamaño original del objeto, y se calcula el aumento a partir de:

$$m = \frac{h_i}{h_o} \quad (2)$$

donde h_i y h_o corresponden a la altura de la imagen y el objeto respectivamente.

Resultados

A partir de la Figura 3 se puede calcular el valor de la distancia focal utilizando la ecuación del fabricante de lentes. La relación entre la inversa de la posición del objeto y la inversa de la posición de la imagen, obtenida a partir de la figura es: $1/i = -0,86/o + 0,0043$, donde "o" e "i" son las posiciones del objeto y la imagen respectivamente. La pendiente de la recta ajustada es de $-0,86 \pm 0,15$, este valor se condice con la magnitud esperada, que es de -1 . Por otro lado, según la ecuación del fabricante de lentes, la relación entre estas variables es: $1/i = -1/o + 1/f[2]$, en donde f corresponde a la distancia focal. Por lo tanto a partir de la relación alcanzada en la Figura 3 se puede calcular

la distancia focal. La ordenada al origen de la recta (0,043) es igual a la inversa de la distancia focal. Por lo tanto:

$$1/f = 0,043 \pm 0,004 \quad (3)$$

$$f = 23 \pm 2\text{cm} \quad (4)$$

La distancia focal es igual a $23 \pm 2\text{cm}$. Esta magnitud fue calculada a partir de las mediciones de las distancias objeto-lente e imagen-lente, por lo tanto el error en la medición de estas se arrastra en el error del cálculo de la distancia focal. La distancia focal de la lente utilizada es de 20cm . Las distancias de la imagen y el objeto fueron medidas con un error aproximado de $0,4\text{cm}$, por ejemplo la imagen se observaba nítida cuando la distancia objeto imagen era de $29,5\text{cm}$, pero se encontraba nítida aún cuando esta distancia era de $29,9\text{cm}$.

Propagación de Errores

$$\begin{aligned} 1/f &= a \\ f &= 1/a \end{aligned} \quad (5)$$

donde a es la ordenada al origen de la Figura 3.

$$\begin{aligned} \Delta(f)^2 &= \left(\frac{\partial f}{\partial 1/a} * \Delta(1/a) \right)^2 \\ &= \left(\frac{-1}{a^2} * 0,004 \right)^2 \\ &= (2,17)^2 \\ &= 4,71 \end{aligned} \quad (6)$$

$$f = 23 \pm 2 \quad (7)$$

Tercera Parte: Lentes Divergentes

Materiales y Métodos

- Lente divergente
- Lente convergente
- Banco óptico
- Fuente de Luz

Desarrollo

- h) Con el objetivo de calcular la distancia focal de una lente divergente se utilizó el método descrito por Dudley (1999)[2]. Este método consiste en observar tres líneas paralelas y equiespaciadas, con un ojo se observa a través de la lente, mientras que con el otro ojo se observa directamente (sin lente alguna de por medio); hasta que el aumento es de 0,5.
- i) El segundo método utilizado para medir la distancia focal de la lente divergente, descrito en el punto g consiste en la utilización de la imagen de una lente convergente como objeto virtual
- j) A partir de los datos del punto anterior se procedió a calcular la magnitud de la distancia focal. También se describió cualitativamente (tamaño, orientación, etc.) la variación en la imagen al desplazar la lente de izquierda a derecha (alejándola y acercándola a las lentes respectivamente).

Resultados

Los resultados obtenidos de la distancia focal, medidos según el método de las tres líneas[2], fueron de $28,5cm$ y $27,5cm$ ($28,0 \pm 0,5$). Por lo tanto el aumento de la lente en dioptrías es de $2,5 \pm 0,5$ dioptrías, ya que es la inversa de la distancia focal medida en metros. La lente utilizada con este fin tenía una distancia focal de $250mm$.

El segundo método utilizado para calcular la distancia focal fue el de los objetos virtuales. Con este se llegó a los siguientes resultados:

$$o' = (-12,5cm) \quad (8)$$

$$i' = 71,5cm \quad (9)$$

Por lo tanto a partir de la ecuación del fabricante de lentes se procedió a calcular la distancia focal.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o'} + \frac{1}{i'} \quad (10)$$

$$\frac{1}{f} = \frac{-1}{12,5cm} + \frac{1}{71,5cm} = (-0,66cm^{-1}) \quad (11)$$

$$f = \frac{-1}{(0,066cm)} = (-15,15cm) \quad (12)$$

La lente que se estaba utilizando tenía una distancia focal de $-150mm$, lo cual concide con el valor alcanzado. Asimismo se utilizó la misma disposición de las lentes y la pantalla para hacer algunas observaciones cualitativas, cuando la pantalla se alejaba de la lente divergente, la imagen aumentaba de tamaño. Esto se debe a que la imagen que se está reflejando sobre la pantalla está formada por

lo rayos que atraviesan la lente divergente. Esta lente desvía los rayos alejándolos del eje óptico (al revés que una lente convergente), lo cual al alejar la pantalla de la lente, los rayos alcanzan la lente cuando se encuentran a mayor distancia de la lente, y como se estaban alejando de la misma, la imagen que se observa es de mayor tamaño.

Propagación de Errores

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o} + \frac{1}{i} \quad (13)$$

$$\left(\Delta \frac{1}{f}\right)^2 = \left(\frac{\partial 1/f}{\partial o} * \Delta o\right)^2 + \left(\frac{\partial 1/f}{\partial i} * \Delta i\right)^2 \quad (14)$$

$$(15)$$

$$\left(\Delta \frac{1}{f}\right)^2 = \left(\frac{-1 * \Delta o}{o^2}\right)^2 + \left(\frac{-1 * \Delta i}{i^2}\right)^2 \quad (16)$$

$$\left(\Delta \frac{1}{f}\right)^2 = \left(\frac{-1 * 0,2}{(-12,5)^2}\right)^2 + \left(\frac{-1 * 0,2}{71,5^2}\right)^2 \quad (17)$$

$$\left(\Delta \frac{1}{f}\right)^2 = 1,6 * 10^{-6} + 1,5 * 10^{-9} = 1,6 * 10^{-6} \quad (18)$$

$$\left(\Delta \frac{1}{f}\right) = 1,3 * 10^{-3} \quad (19)$$

$$(20)$$

$$\frac{1}{f} = (-0,066) \pm 1,3 * 10^{-3} cm^{-1} \quad (21)$$

$$f = (-15,15) \pm 0,3cm \quad (22)$$

Conclusiones

En la primer parte del trabajo experimental, a partir de la Figura 1 se puede comprender que cuando se coloca un objeto real entre el foco y el infinito, la imagen es real y de tamaño mayor que el del objeto. En cambio cuando se acerca la lente y se ubica el objeto entre la lente y el foco, la imagen es virtual y el tamaño es mucho mayor.

La experiencia en la cual se tapa la mitad de la lente con un papel, y se sigue observando la imagen completa puede ser explicada a partir del principio de Fermat[4]. Este principio explica que una imagen esta formada por infinitos rayos, que a su vez cruzan la lente por infinitos puntos. Por lo tanto si se tapa solamente la mitad de la lente, la mitad de los rayos que pasan por la parte destapada de la lente forman la imagen sobre la pantalla. Pero al ser menor la cantidad de rayos que forman la imagen, la misma tiene una intensidad menor. En el experimento descrito por Heckatorn (1999)[1] se tapan la mitad superior con filtro rojo y la mitad inferior con filtro verde. La imagen formada sobre la pantalla, es de color amarillento. La razón por la cual la imagen se ve de este color es porque la misma está formada por rayos principalmente de la longitud de onda correspondiente a verde y rojo, que son los unicos que lograron pasar a través de los filtros. Los rayos de longitud de onda correspondiente al rojo atravesaron por el filtro rojo, mientras que los rayos de longitud de onda verde, atravesaron por el fitro verde. Si la lente hubiese sido tapada con tres filtros uno rojo, uno azul y uno verde, la imagen que se vería sería de color blanco ya que llegaría a la pantalla, luz de todo el espectro; rojos a través del filtro rojo, verdes a través del filtro verde y azules a través del filtro azul. Y por la suma de estos tres colores se forma una imagen de su color original, como si no estuviese actuando ningún filtro.

En la segunda parte del trabajo, en la Figura 3 se observa que la pendiente es igual a $-0,86 \pm 0,15$. La distancia focal calculada fue de $23 \pm 2cm$, mientras que el valor real es de $20cm$. Los valores alcanzados se corresponden a las magnitudes esperadas. En el caso del cálculo de la distancia focal, se podría aumentar el número de mediciones o aumentar la presición de manera de disminuir el error.

Referencias

- [1] **Heckatorn D.** (1999) *Figuring Physics* - Phys. Teach. - Vol.37 - P.104
- [2] **Dudley S.C.** (1999) *How to quickly estimate the focal length of a divergind lens* - Phys. Teach. - Vol.37 - P.94
- [3] **Halliday, Resnik y Krane** (1994) *Física para estudiantes de Ciencia y Tecnología* - 4^{ta} Ed. - Vol. 1 - México.
- [4] **Luetich J.J.** (2002) *Ley de Snell, formalización de Descartes y principio de Fermat* - Academia de Ciencias Luventicus <http://www.luventicus.org/articulos/02A033/>