

Facultad de Matemática, Astronomía y Física

Universidad Nacional de Córdoba

Física General IV: Óptica

Práctico de Laboratorio N^{ro} 5

Instrumentos Ópticos Simples

Objetivo: Estudiar las características de diferentes instrumentos ópticos que se construyen con lentes delgadas y estudiar las propiedades de las imágenes que forman mediante el trazado de los rayos principales y su visualización experimental. En particular, implementar la lupa, el microscopio, dos tipos de telescopios y el proyector.

Introducción:

La Lupa: Para examinar un objeto en detalle, el observador puede acercarse al objeto a su ojo para que luzca más grande. Mientras más cerca se encuentre el objeto del ojo mayor será la imagen del cristalino en la retina, la cual permanecerá en foco hasta que el cristalino ya no pueda proveer de la adecuada acomodación. Esto ocurre a la mínima distancia de acomodación del ojo o distancia mínima de visión distinta, la cual es de aproximadamente 25cm, pero que varía con las personas y la edad en el rango de 10 a 100 cm. Adicionando frente al ojo una simple lente positiva, para sumar poder refractivo, se puede aproximar aún más el objeto y todavía mantenerlo en foco de forma que la imagen en la retina sea mayor que la correspondiente al ojo desnudo. Ésta es la función de la lupa.

El Microscopio: Su función es la de proporcionar aumento mayor que el de la lupa, el cual se encuentra limitado por la potencia con la que se puede construir una lente sin que las aberraciones deformen seriamente la imagen. El microscopio está formado por dos lentes convergentes (positivas), una es el objetivo (de distancia focal f_1), que se coloca cerca del objeto, y la otra el ocular (de distancia focal f_2), a través de la cual se mira la imagen del objeto formada por el objetivo. El ocular es de menor potencia que el objetivo ($f_1 < f_2$). El objeto se coloca a una distancia del objetivo levemente mayor que la distancia focal f_1 del mismo, de modo de formar una imagen real, invertida y mayor que el objeto. Esta imagen se observa a través del ocular que actúa como lupa, para lo que el ocular debe ubicarse de modo que la imagen se encuentre entre el foco f_2 y la lente ocular. Usualmente se trabaja colocando la imagen que forma el objetivo directamente en el foco del ocular (¿por qué?).

Telescopios: La función de los telescopios es aumentar la imagen en la retina de un objeto lejano. Entre los telescopios refractores se distinguen:

- a) El telescopio de Kepler o astronómico, el cual consta de dos lentes convergentes formando un par objetivo y ocular, pero en este caso el objetivo es de gran distancia focal y gran diámetro para captar la mayor cantidad de luz proveniente del objeto. Como la distancia de los objetos al instrumento son muy grandes, las imágenes formadas por el objetivo están en el foco de la lente, y se dispone del ocular de forma que la distancia entre lentes es la suma de las distancias focales de ambas, lo que se conoce como longitud de tubo del telescopio.
- b) El telescopio de Galileo o terrestre posee un objetivo convergente similar al telescopio kepleriano, pero el ocular es una lente divergente (negativa) para formar imágenes derechas. Nuevamente la distancia entre las lentes es la suma de sus distancias focales, pero al ser el ocular negativo, la longitud del telescopio es menor.

El Proyector: El punto a considerar en este instrumento es la formación de la imagen aumentada de un objeto traslúcido mediante una lente convergente, sobre una pantalla distante. Como la proyección se recoge en una pantalla, la imagen formada debe ser real.

Desarrollo Experimental:

Para cada uno de los instrumentos descritos, construir el trazado de rayos principales (a escala en la medida de lo posible) para las condiciones de uso del instrumento, señalando en el mismo los parámetros que caracterizan su funcionamiento.

Experiencia 1: Distancia de Acomodación: Proceder a la determinación de la distancia mínima de acomodación del ojo desnudo (d_0), mediante la visualización de un texto bien iluminado a la mínima distancia que permita ver con nitidez las letras. Utilizar un ojo a la vez y notar las diferencias entre ambos ojos. Comparar entre los distintos integrantes del grupo, individualizando las observaciones de quienes utilizan regularmente lentes para corregir defectos de visión (señalar cuáles). Presentar una tabla con los resultados.

Experiencia 2: La Lupa: Es deseable formar una imagen magnificada y derecha, por lo que el objeto se coloca entre el vértice y el foco de la lente. El poder de magnificación o magnificación angular, definida como el cociente entre los tamaños de las imágenes en retina del objeto con y sin ayuda de la lupa, resulta:

$$M_a = \frac{d_0}{L} (1 + \mathcal{D}(L - l))$$

donde d_0 es la distancia mínima de visión distinta, L es la distancia entre la imagen virtual de la lente y el ojo, D es la potencia de la lente en dioptrías y l es la distancia entre la lente y el ojo. En el práctico se estimará el aumento de la lupa para distintas configuraciones de observación:

i) $l = f$, donde $M_a = d_0 D$.

ii) $l = 0$, donde $M_{\max} = d_0 D + 1$ y corresponde para el mínimo valor de $L = d_0$.

iii) $s_0 = f$, en cuyo caso $L = \infty$ y $M_a = d_0 D$. Ésta es la situación de uso más frecuente de la lupa porque permite al

Atención! Trabajar relajado (visión en el infinito), aunque no corresponde a la de mayor aumento. Analizar que ocurre cuando se varía l .

Experiencia 3: El Microscopio: Construir un modelo de microscopio, colocando primero un objeto justo por delante del foco del objetivo y recogiendo sobre una pantalla la imagen. Luego disponer el ocular de manera que su foco se ubique en la posición de la imagen del objetivo. Debe ser cuidada la alineación de todo el conjunto para poder observar nítidamente la imagen por el ocular. Analizar la magnificación angular del microscopio que viene dada por el producto de la magnificación transversal del objetivo y la magnificación angular del ocular.

Experiencia 4: Telescopios: Construir un modelo de telescopio de Kepler y otro de Galileo y analizar la magnificación angular que queda descrita por $M_a = -f_1/f_2$, donde f_1 es la distancia focal del objetivo, f_2 es la distancia focal del ocular y el signo determina la inversión o no de la imagen final.

Experiencia 5: El Proyector: Utilizar dos lentes positivas, la primera como condensadora para iluminar mejor el objeto, y la otra (lente objetivo) para formar la imagen en la pantalla. El problema a resolver es como disponer las lentes para tener una imagen nítida del objeto y no tener imagen (ni aún desenfocada) del filamento de la lámpara, logrando una iluminación uniforme en la pantalla. Describa el proyector construido especificando todos los componentes utilizados y sus distancias relativas.

Aberraciones en Lentes Esféricas

Objetivo: Caracterizar, individualizar y poner de manifiesto experimentalmente los distintos defectos en la formación de las imágenes por lentes esféricas conocidas como aberraciones: cromática, esférica, de coma y distorsión.

Introducción:

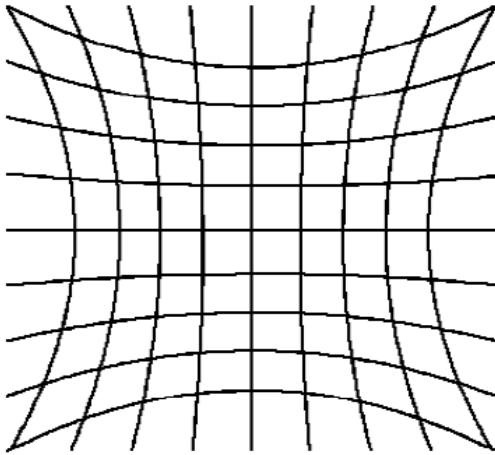
Aberración Cromática: La aberración cromática tiene lugar porque los medios refringentes poseen distintos índices de refracción en función de la longitud de onda de la luz empleada. En

general, el índice de refracción disminuye con la longitud de onda en la región visible del espectro. Así, un haz colimado de luz azul tendrá foco sobre el eje óptico a menor distancia del vértice de la lente que un haz de luz roja. La distancia entre los focos extremos para un haz cromático en un dado rango de frecuencia cuantifica la llamada aberración cromática longitudinal. La dependencia en frecuencia del foco de la lente genera una dependencia en frecuencia de la magnificación transversal. La distancia perpendicular al eje entre los puntos extremos de la imagen del rojo y el violeta cuantifica la llamada aberración cromática transversal.

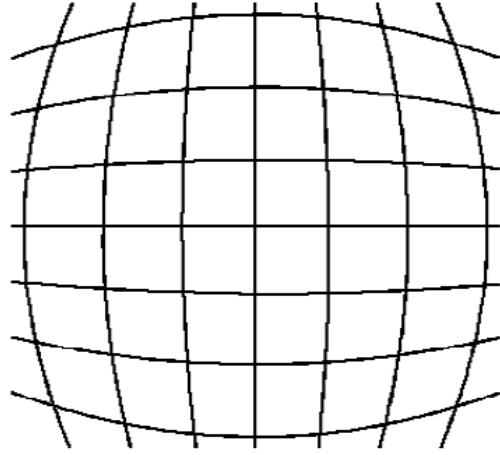
Aberración Esférica: Esta aberración tiene lugar porque los haces no paraxiales, paralelos al eje óptico, mientras mayor distancia tienen de éste, menor es la distancia a la que son focalizados del vértice de la lente.

Aberración de Coma: Aparece porque los “planos” principales de la teoría paraxial son en realidad superficies curvas. Esto genera que haces de rayos que ingresan oblicuos respecto al eje óptico formen imagen más cerca (lejos) del eje óptico cuanto más alejados están de los rayos paraxiales si la coma es negativa (positiva). Si se tiene perfectamente focalizado un haz paralelo y se rota ligeramente la lente sobre un eje perpendicular al eje óptico que pase por el centro de la lente, la aberración de coma se pone de manifiesto inmediatamente porque en el foco aparece una mancha de luz con la característica forma de coma o cometa.

Distorsión: Esta aberración tiene lugar porque la magnificación transversal MT es función de la distancia del punto imagen considerado al eje óptico (y_i). Se manifiesta porque la imagen está deformada como un todo, aunque cada uno de sus puntos este claramente enfocado. Si MT aumenta con y_i , la distorsión se llama positiva o de tipo corsé y se caracteriza porque la imagen aparece “estirada”, dado que cada punto imagen es desplazado radialmente hacia afuera (ver Figura). Si MT disminuye con y_i , la distorsión se conoce como negativa o de tipo barril y se visualiza cuando la imagen aparece “comprimida”, dado que cada punto de la imagen está desplazado radialmente hacia adentro (ver Figura 1).



Distorsión tipo corsé.



Distorsión tipo barril.

Desarrollo Experimental:

Experiencia 1: Aberración Cromática: Diferenciar los focos para haces monocromáticos de distintos colores generados mediante la utilización de filtros.

Experiencia 2: Aberración Esférica: Diferenciar los focos para haces que ingresan paralelos al eje óptico a distintas distancias de éste. Seleccionar los rayos mediante máscaras delante de la lente.

Experiencia 3: Aberración de Coma: Diferenciar los focos para haces paralelos que ingresan formando distintos ángulos con el eje óptico.

Experiencia 4: Distorsión: Observarla mediante la proyección de una cuadrícula y cuantificar porcentualmente la deformación de la imagen.

Bibliografía:

E. Hecht, Optics, Addison Wesley, Reading, MA (1998), 3ed.

J. S. Fernández y E. Galloni, Trabajos Prácticos de Física, "La Línea Recta", Buenos Aires (1963).

• E. Hecht, Optics, Addison Wesley, Reading, MA (1998), 3ed.