

EL TELESCOPIO: UNA PRIMERA VENTANA AL UNIVERSO

THE TELESCOPE: A FIRST WINDOW TO UNIVERSE

GABRIELA CONDE-SAAVEDRA[†]

Instituto de Investigaciones Físicas, Universidad Mayor de San Andrés
c. 27 Cota-Cota, Campus Universitario, Casilla de Correos 8635
La Paz - Bolivia

RESUMEN

El telescopio es un instrumento que permite observar objetos muy lejanos. Si queremos comprender su funcionamiento necesitamos algunos conceptos básicos de óptica, pero antes vamos a clasificar los principales tipos de telescopios. Posteriormente, describiremos los conceptos de óptica más relevantes, presentaremos algunos ejemplos y dejaremos algunos problemas propuestos.

Código(s) PACS: 95.55.Cs — 42.00.00 — 01.65.+g

Descriptores: Telescopios — óptica — historia de la ciencia

ABSTRACT

The telescope is an instrument that allows for the observation of very far objects. To understand how they work we need to classify the main types of telescopes and to understand some basic optical concepts. Finally, we describe the most relevant optical principles with examples and answer some frequently asked questions.

Subject headings: Telescopes — optics — history of science

1. INTRODUCCIÓN

Alrededor de 1608, Hans Lippershey, un inventor y fabricante de lentes holandés, construye lo que ahora conocemos como catalejo. Un instrumento compuesto por dos lentes, uno fijo y otro móvil, situados en un pequeño tubo que permiten observar objetos lejanos. Cuando este instrumento llega a manos de Galileo Galilei en 1609, él decide modificarlo mejorando el aumento y así observar el cielo. Con las observaciones de la Luna, de Júpiter, del Sol y de las estrellas, obtiene las pruebas irrefutables a favor de la teoría Copernicana, teoría que planteaba que el Sol era el centro del Universo, y no la Tierra como sugería Aristóteles y defendía ciegamente la Iglesia.

La evolución del telescopio es tan fascinante como la vida misma de Galileo Galilei. Desde entonces, este instrumento nos ha revelado las imágenes más sorprendentes del Universo.

2. TIPOS DE TELESCOPIO

Existen tres tipos principales de telescopios: el refractor (galileano), el reflector (newtoniano) y el catadióptrico. El telescopio Galileano utiliza lentes, el telescopio Newtoniano se compone de espejos y el catadióptrico combina espejos y lentes. A continuación describiremos un poco más cada uno de estos telescopios.

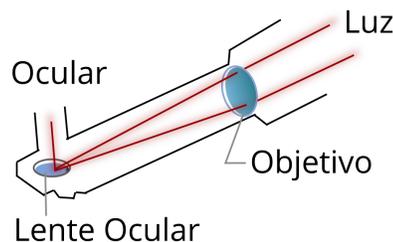


FIG. 1.— Partes generales de un telescopio refractor.

2.1. El Refractor

Denominado también como telescopio Galileano, es un sistema óptico compuesto por dos lentes situados en los extremos de un tubo. En el extremo del frente está una lente convergente llamada objetivo, por la cual ingresa la luz del objeto celeste y se refracta hasta concentrarse en el foco, donde se forma la imagen. Situado en el extremo opuesto del tubo, se coloca una lente divergente, denominada ocular, a través del cual los rayos que pasan por él incrementan en ángulo. Esto implica que el tamaño angular aparente es incrementado y la imagen del objeto es ampliada.

Desde 1600 hasta 1900 se ha utilizado el telescopio refractor para observar el cielo. Las variaciones en su diseño están caracterizadas por el diámetro del objetivo; a mayor apertura, mayor luz captada y esto permite tener mayor aumento, o una distancia focal corta. Es decir, los telescopios refractores

[†]gabrielacondesaavedra@gmail.com

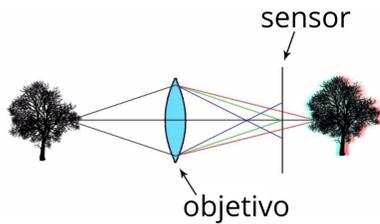


FIG. 2.— La aberración se presenta por la óptica de las lentes.

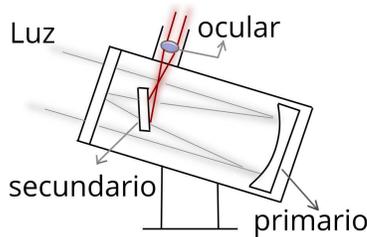


FIG. 3.— Partes generales de un telescopio reflector.

de poca abertura, necesitarán tubos largos y los de gran abertura necesitarán tubos cortos. Existe aquí un juego de costo y calidad en la imagen a observar. Fabricar lentes de grandes diámetros es costoso ya que estos lentes no deben tener ninguna irregularidad y por otro lado, construir tubos largos es también una tarea complicada.

Otro detalle importante en la observación a través de un telescopio refractor es el problema de la aberración cromática, causada por los rayos periféricos que ingresan por el objetivo y no llegan a concentrarse en el punto focal. Los rayos que llegan al foco son mayormente del centro del objeto, de modo que cuando observamos a través de un telescopio refractor, veremos que el borde del objeto no es nítido y presenta colores.

Los telescopios Galileanos son más apropiados para observación terrestre, o de la Luna, los planetas y algunas estrellas binarias. Son duraderos y casi no necesitan de mantenimiento porque las lentes están protegidas por el tubo.

2.2. El Reflector

Conocido también como telescopio Newtoniano, fue construido en 1668 por Isaac Newton. Está compuesto por un espejo primario (cóncavo) en el que la luz se refleja hacia el otro extremo del tubo, donde se sitúa un espejo secundario (plano) que direcciona los rayos hacia un lado del tubo, lugar del ocular. Como el objetivo (espejo primario) del reflector es parabólico, el problema de la aberración cromática se soluciona puesto que todos los rayos de luz se concentran en un solo punto del plano focal.

Isaac Newton sospechaba que la luz blanca se componía de un espectro de colores y que la aberración cromática era justamente resultado de esta sospecha. Las lentes de un telescopio refractor se comportan como un prisma que refracta la luz en diferentes longitudes de onda (colores). Así que, si en

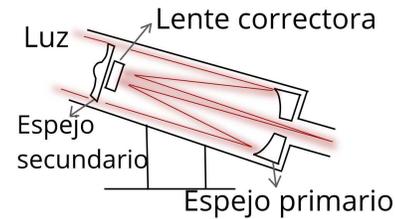


FIG. 4.— Partes generales de un telescopio catadióptrico.

vez de utilizar lentes se utiliza un espejo curvo, esta aberración cromática desaparece. Es de esta manera que Newton comprueba satisfactoriamente su idea. El telescopio Newtoniano le permitió observar las lunas Galileanas de Júpiter y la fase creciente de Venus.

Además de solucionar el problema de la aberración cromática, el telescopio Newtoniano es mucho más compacto y menos costoso. Se puede tener a la vez una abertura amplia y un tubo corto. Sin embargo, se presenta otro tipo de aberración que produce una imagen alargada, como un cometa, en los bordes del campo de visión. Además, debido al transporte del telescopio, los espejos puede quedar desalineados, por lo que conviene realizar una colimación cada vez que se lo monta. Por último, la posición del ocular puede no situarse en lugares cómodos para el observador, esto implicaría la necesidad de una escalera para observar a través del ocular.

Los telescopios Newtonianos son más apropiados para observar objetos de poca intensidad como galaxias, nebulosas y cúmulos estelares. Son instrumentos de mayor cuidado y mantenimiento.

2.3. El Catadióptrico

En un sistema catadióptrico, reflexión y refracción se combinan para formar una imagen con menos aberraciones. La luz ingresa a través de una lente correctora y se dirige hacia un espejo primario esférico, donde se refleja y llega a un espejo secundario. Por último, la luz o la imagen se refleja en el secundario y sale por el ocular, situado en la parte trasera del telescopio.

La ventaja de un catadióptrico es que permite observar planetas, así como objetos de cielo profundo e incluso realizar observación terrestre. A pesar de que su costo es mayor, el catadióptrico es más popular puesto que además de las ventajas en la observación, es un instrumento mucho más compacto y duradero.

3. ÓPTICA

La óptica es una rama de la física que estudia el comportamiento de la luz, sus características y manifestaciones como la reflexión, refracción, difracción, interferencias, la formación de imágenes y la interacción entre luz y materia. Al describir los telescopios hemos hablado de lentes cóncavas, aumento, plano focal o foco, espejos, reflexión y refracción. Vamos a describir brevemente cada uno de estos conceptos para entender mejor el funcionamiento del telescopio.

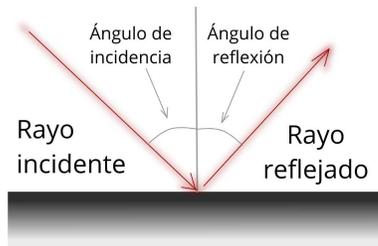


FIG. 5.— Reflexión de la luz.

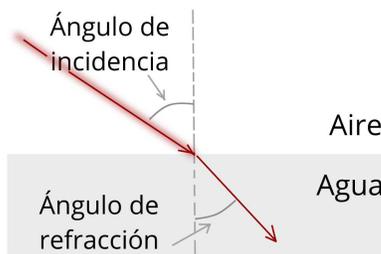


FIG. 6.— Refracción de la luz.

3.1. Manifestaciones

Reflexión. Cuando la luz llega a una superficie de un material, parte de la luz incidente se refleja y la otra parte se absorbe en el material. La Ley de Reflexión indica que el ángulo de incidencia de un rayo de luz es igual al ángulo de reflexión. Usualmente, el ángulo se mide respecto a una línea perpendicular a la superficie reflectora; como se observa en la figura 5. Si la superficie donde se refleja es opaca y está muy bien pulida, existe solamente reflexión y no absorción. Esta superficie es un **espejo**.

Refracción. Cuando un haz de luz incide sobre un material, puede pasar de un medio a otro desviándose con un ángulo dependiente de las propiedades de los medios y del ángulo incidente.

Se experimenta la refracción cuando observamos el lápiz torcido dentro de un vaso con agua, o cuando parece que un pez está más cerca de la superficie del agua e incluso, algo aumentado de tamaño.

Vamos a definir el índice de refracción de un medio como la razón entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio:

$$n = \frac{c}{v}$$

La Ley de Snell para la refracción entre dos medios en general tiene la siguiente expresión:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2,$$

donde los ángulos siempre se miden respecto a la vertical. El índice de refracción para el vacío es 1.

Los prismas o lentes refractan los rayos de luz que les llegan. Pueden tener diversas formas y hacer que los haces refractados converjan o diverjan en el nuevo medio.

3.2. Espejos

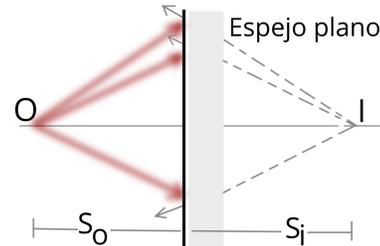


FIG. 7.— Espejo plano.

Espejo plano. Si extendemos los rayos reflejados hacia la parte posterior del espejo, todos coincidirán en un punto “detrás del espejo” donde se formará la imagen I. La distancia (S_i) de la imagen I es la misma distancia (S_o) del objeto O, que está delante del espejo.

Por la experiencia cotidiana sabemos que al mirarnos al espejo, nuestra imagen no se modifica en cuanto a altura. Esto quiere decir que el aumento del objeto es 1. Tenemos la ecuación general:

$$M \equiv \frac{\text{altura de la imagen}}{\text{altura del objeto}} = \frac{h'}{h}$$

Pero, lo que sí observamos es que si levantamos nuestro brazo derecho, la imagen levanta su brazo izquierdo, así que para espejos planos decimos que:

- la distancia de la imagen detrás del espejo es igual a la distancia del objeto delante del espejo.
- la imagen se forma detrás del espejo, es virtual y no se invierte.
- la imagen no se magnifica.
- la imagen se invierte de atrás hacia adelante.

Ejemplo 1. Se coloca un foco a 25 cm de un espejo plano. ¿A qué distancia del espejo se encuentra la imagen?

Solución. Como la condición es $s_o = -s_i$, la imagen se sitúa a $s_i = -25$ cm. Interpretando, la imagen está detrás del espejo por el signo negativo y a la misma distancia del objeto.

Magia en la clase 1. ¿Puede el profesor levitar? ¿Qué está sucediendo? ¿Puede Ud. mejorar estos trucos de “magia” y sorprender a sus estudiantes? Consiga un espejo y colóquese como en las imágenes, dará la impresión de estar flotando.

Magia en la clase 2. ¿De dónde vienen las imágenes? Junte dos espejos planos de modo que formen un ángulo recto y observe su reflejo...o reflejos?

Cuando un objeto se coloca frente a dos espejos perpendiculares entre sí, se forman tres imágenes. Como son dos espejos, se forman dos imágenes (I_1, I_2) detrás de cada uno, la tercera imagen I_3 corresponde a la imagen I_1 .

Los espejos pueden ser curvos también. Estos espejos se caracterizan por tener un radio de curvatura R y un centro de curvatura C situado en un punto sobre el eje principal que pasa perpendicular al espejo. En

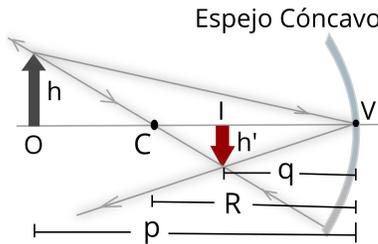


FIG. 8.— Espejo curvo cóncavo.

un espejo curvo, los tamaños y las distancias entre objeto e imagen ya no son iguales como en el espejo plano.

Espejo curvo cóncavo. Es un espejo donde la luz se refleja en la superficie cóncava interior. Cuando un objeto O de altura h está fuera del centro de curvatura C, la imagen I formada por el espejo cóncavo se ubica sobre el eje principal a distancia q del vértice V del espejo. Esta imagen puede tener una altura diferente h' . La magnificación está definida por la misma ecuación que presentamos en el espejo plano:

$$M \equiv \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p},$$

donde p es la distancia entre el vértice del espejo y la posición del objeto.

Si conocemos el radio de curvatura del espejo, podemos determinar el lugar donde se formará la imagen mediante la ecuación del espejo:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R}$$

Los rayos luminosos provenientes de un objeto distante que se reflejan en un espejo cóncavo pasan por el punto focal F . La longitud focal de un espejo está dada por: $f = R/2$.

Así, la ecuación del espejo puede expresarse en función de la longitud focal:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Ejemplo 2. Un objeto se coloca a 40 cm de un espejo esférico cóncavo de 30 cm de radio. ¿A qué distancia del espejo se forma la imagen?

Solución. Como datos tenemos $p = 40$ cm, $R = 30$ cm y queremos hallar q . De la ecuación del espejo, resolvemos para q .

$$q = \frac{120}{5} \text{ cm} = 24 \text{ cm}.$$

Interpretando, el signo positivo indica que la imagen es real, es decir está frente al espejo. Podemos obtener la magnificación mediante la ecuación: $M = -q/p$. Entonces, $M = -0.6$. El signo negativo indica que la imagen está invertida y el valor implica que la imagen se reduce al 60%.

Problema 1. Un objeto está a 25 cm de un espejo cóncavo. La imagen real está a 50 cm. ¿Qué radio tiene el espejo? **Resp.** 33.3 cm.

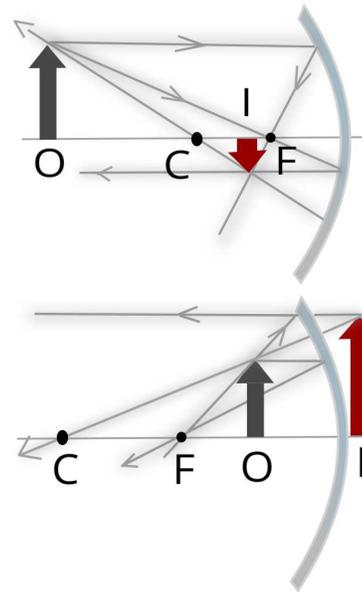


FIG. 9.— Rayos de luz que atraviesan un espejo cóncavo.

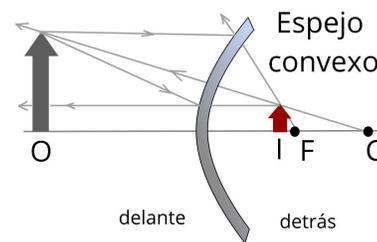


FIG. 10.— Rayos de luz que atraviesan un espejo convexo.

Problema 2. Suponga que un espejo cóncavo tiene una longitud focal de 10.0 cm. Encuentre la ubicación de la imagen para distancias al objeto de (a) 25.0 cm, (b) 10.0 cm y (c) 5.00 cm. Interprete el resultado calculando además el aumento. **Resp.** (a) 16.7 cm, (b) ∞ , (c) -10.0 cm.

Espejo curvo convexo. Es un espejo en el que la luz se refleja sobre la superficie convexa exterior. También se conoce como espejo divergente puesto que los rayos que inciden sobre él divergen después de la incidencia. Las ecuaciones son las mismas para el aumento, la longitud focal y la ecuación del espejo. La convención de signos es: negativa si la imagen está detrás del espejo, positiva si está delante, positivo el aumento para una imagen de pie y negativo el aumento para una imagen invertida. Además, la longitud focal de un espejo convexo es negativa.

Ejemplo 3. Un objeto se coloca a 35 cm de un espejo esférico convexo de 20 cm de radio. ¿A qué distancia se forma la imagen?

Solución. Si $p = 35$ cm, $R = -20$ cm, entonces resolvemos para q . Utilizando la ecuación del espejo, resolvemos para:

$$q = -\frac{70}{9} \text{ cm} = -7.7 \text{ cm}.$$

Interpretando, la imagen formada es virtual

porque está detrás del espejo y el aumento $M = -q/p = 0.22$ nos dice que la imagen está de pie y se reduce al 22%.

Problema 3. Un objeto de 3.00 cm de altura se sitúa a 20.0 cm de un espejo convexo que tiene una longitud focal de 8.00 cm. Encuentre (a) la posición de la imagen final, y (b) el aumento. **Resp.** -5.71 cm, 0.286.

3.3. Lentes

Una lente se puede considerar como un conjunto de bloques y prismas que refractan los rayos de luz. Claro que al fabricar una lente, no se utilizan diferentes piezas, sino que piezas de vidrio son talladas, generalmente de forma esférica.

Como una lente tiene dos superficies, tiene dos centros de curvatura, dos distancias focales o focos y un eje principal.

Se consideran dos tipos de lentes:

Lentes convergentes. Tienen dos superficies convexas y cuando los rayos paralelos de luz inciden sobre una lente convergente, los rayos refractados coinciden en un punto, denominado el punto focal o foco. Un telescopio refractor contiene estas lentes convergentes o biconvexas. Otro ejemplo es la lupa, con la que la imagen es aumentada, está derecha y se la ve más lejos que el objeto mismo, cuando éste está dentro del foco.

En cambio, si el objeto está muy lejos, mediante una lente convergente se observa una imagen invertida. Esto último puede aprovecharse para proyectar películas y transparencias en una pantalla o para observar objetos celestes mediante el telescopio.

Lentes divergentes. Tienen dos superficies cóncavas y cuando los rayos inciden sobre ella, se refractan sin coincidir en un punto, es decir, divergen. Una lente divergente forma una imagen virtual, derecha y más pequeña que el objeto real, por ejemplo las lentes “buscadoras” de las cámaras fotográficas. Otra aplicación se encuentra en las lentes para corregir la miopía. Las personas con miopía ven imágenes borrosas si los objetos están lejanos porque la imagen se forma antes de la retina, esto es corregido con las lentes divergentes.

Para lentes delgadas, la ecuación que se utiliza en lentes es la misma para espejos, de igual forma con el aumento. La convención de signos es que la distancia focal es negativa si se trata de una lente divergente y positiva para una lente convergente. La posición del objeto y de la imagen siguen la misma convención que de los espejos.

Ejemplo 4. Una lente convergente de 10.0 cm de longitud focal forma una imagen de un objeto situado a (a) 30.0 cm, (b) 20.0 cm, y (c) 5.00 cm de la lente. Encuentre la distancia a la imagen y su aumento.

Solución. Datos son: la distancia focal $f = 10.0$ cm, $p = 30.0$ cm, $p = 20.0$ cm, y $p = 5.00$ cm. Queremos calcular la posición de la imagen q y el aumento M . Aplicamos las ecuaciones de lentes delgadas y del aumento:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f},$$

$$M = -\frac{q}{p}.$$

(a) Resolviendo para q obtenemos: $q = 15.0$ cm. Su aumento es de $M = -0.5$. Interpretamos que la imagen se forma delante de la lente, es real, está invertida y se reduce a la mitad.

(b) Obtenemos: $q = \infty$ y un aumento de $M = \infty$. Interpretamos que como el objeto se sitúa en el foco de la lente convergente, entonces la imagen se forma en el infinito. No se ve.

(c) Obtenemos la distancia: $q = -10.0$ cm y un aumento de $M = 2.0$. El signo negativo de q indica que la imagen es virtual y por el aumento decimos que incrementa su tamaño al doble, además el signo del aumento nos indica que la imagen está de pie.

Ejemplo 5. Una lente divergente tiene una longitud focal de -20.0 cm. Un objeto de 2.00 cm de altura se pone a 30.0 cm frente al lente. Localice la posición de la imagen, el aumento y la altura de la imagen.

Solución. Nuestros datos son: $f = -20.0$ cm, $h = 2.0$ cm y $p = 30.0$ cm. Queremos calcular q , M y h' . Por la ecuación de lentes delgadas resolvemos para la posición de la imagen, obteniendo $q = -12.0$ cm, con un aumento de $M = 0.4$ y la altura $h' = 0.8$ cm. Interpretando los resultados, decimos que la imagen es virtual por $q < 0$, está invertida por $M < 0$ y de 2.0 cm de altura se reduce a 0.8 cm.

Problema 4. Una lente convergente tiene una distancia focal de 20 cm. Se coloca un objeto a 11 cm, a 30 cm, y a unos 60 cm de la lente. ¿Qué amplificación lateral tiene la imagen, en cada caso? Interprete los resultados. **Resp.** 2.2, -2, -0.5.

Problema 5. Resolver el problema 4 para una lente divergente. **Resp.** 0.64, 0.4, 0.25.

4. RESOLUCIÓN

La resolución óptica o el poder de resolución se refiere a la capacidad del telescopio de mostrarnos una imagen nítida cuando se observan dos objetos muy cercanos. Por ejemplo, si de noche vemos un automóvil a lo lejos, veríamos que sus luces frontales forman una sola fuente de luz y pensaríamos que es más bien una motocicleta. Solo a medida que se acerca, podremos distinguir dos fuentes de luz y que se trata de un automóvil. Lo mismo sucede con las estrellas, especialmente, con aquellas que están muy cerca entre sí. Si nuestro telescopio no tiene una buena resolución, veremos a las dos estrellas como una sola.

Entonces, a la hora de adquirir un telescopio, lo que queremos es que tenga un poder de resolución aceptable. Para lograr esto, se incrementa la abertura de la lente. En astronomía, es importante tener imágenes de alta resolución para estudiar los detalles, por ejemplo, de la superficie de un planeta, o los detalles de una galaxia distante, o como se había mencionado antes, distinguir entre una estrella simple de un sistema binario de estrellas.

La resolución de un telescopio se puede calcular utilizando una expresión matemática que proviene

de una aproximación en lo que se llaman las “funciones de Bessel” del criterio de Rayleigh. Este criterio especifica la mínima separación entre dos fuentes de luz. En óptica, las fuentes de luz que atraviesan una lente circular, están limitadas por la difracción de la luz. La difracción se caracteriza por un patrón de regiones claras y oscuras. La parte clara y central de este patrón se denomina “disco de Airy”, cuyo diámetro está relacionado con la longitud de onda de la luz λ y el diámetro de la abertura de la lente D . Esta separación angular o poder de resolución está definida así,

$$\theta_{min} \cong 1.22 \frac{\lambda}{D},$$

De esta manera, observamos que a mayor diámetro, menor el ángulo, lo que implica una mejor resolución. Por otro lado, si la longitud de onda es corta como el azul, entonces tenemos mejor resolución.

El poder de resolución se mide en radianes. A continuación, algunas conversiones:

$$1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57.3^\circ$$

$$1^\circ = 60' = 60 \text{ min de arco}$$

$$1 \text{ min} = 60'' = 60 \text{ seg de arco}$$

Ejemplo 6. El Gran Telescopio Canarias de 10.4 m de diámetro, opera en longitudes de onda ópticas (0.00006 cm). ¿Cuál es la máxima resolución en microradianes y en milisegundos de arco?

Solución. Necesitamos que las unidades de medida sean las mismas. Así que el diámetro es $D = 10.4 \text{ m} = 1040 \text{ cm}$. Mediante la ecuación para la resolución, hallamos

$$\theta_{min} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

$$\theta_{min} = 1.22 \frac{0.00006}{1040}$$

$$R = 0.00000007 \text{ rad}$$

Multiplicamos ($\times 10^6$) para que esté en microrads:

$$R = 0.07 \text{ microrads}$$

Multiplicando R en rads por

$$\times 57.3^\circ \times 3600'' \times 1000$$

obtenemos el resultado en:

$$R = 14 \text{ miliseg de arco}$$

Ejemplo 7. Para una longitud de onda en el visible de $\lambda = 530 \text{ nm}$, compare la resolución de un par de binoculares ($D = 50 \text{ mm}$) y de un telescopio pequeño ($D = 200 \text{ mm}$). Los resultados expréselos en segundos de arco.

Solución. Vamos a uniformizar las unidades a mm. Entonces, la longitud de onda en el visible es $\lambda =$

$530 \times 10^{-6} \text{ mm}$. El poder de resolución de los binoculares es $R = 2.7$ segundos de arco. Para el telescopio pequeño de $D = 200 \text{ mm}$ de diámetro, su resolución es de $R = 0.67$ segundos de arco. Se nota que el telescopio de mayor abertura ofrece mejor resolución.

Ejemplo 8. El telescopio espacial Hubble tiene un diámetro de 2.4 m. Para la misma longitud de onda del ejemplo anterior, ¿cuál es su máxima resolución?

Solución. Datos: $D = 2400 \text{ mm}$. Así, la resolución del telescopio espacial Hubble es $R = 0.06$ segundos de arco.

Problema 6. Un astrónomo quiere diseñar un sistema que le permitirá estudiar los cráteres en la Luna que tienen alrededor de 0.1 segundos de arco de diámetro vistos desde la Tierra. ¿Cuál es el tamaño mínimo de la abertura que necesita para realizar su estudio, si la longitud de onda es 535 nm? **Resp.** 1346 mm

Problema 7. Una astrónoma quiere diseñar un telescopio infrarrojo con una resolución de 1 segundo de arco para una longitud de onda de 20 μm . ¿Cuál debería ser el diámetro del espejo? **Resp.** 5.1 m

5. GANANCIA DE LUZ Y AUMENTO

Un telescopio suele estar equipado con un juego de lentes de aumento. Con estas lentes, el telescopio tiene mayor potencia, es decir, que nos acerca más al objeto. Por ejemplo, si queremos ver un objeto que está a 100 m como si estuviera a 10 m, utilizaríamos la lente de 10x de aumento. Lo que se hace es dividir la distancia del objeto entre el aumento de la lente (100/10). El aumento es el incremento aparente del tamaño angular. Está dado por

$$M = -\frac{q}{p},$$

ecuación que habíamos visto anteriormente en la Sec. 3.

Por otra parte, una característica del telescopio es la ganancia de luz. La ecuación de la ganancia de luz está dada por:

$$g.a. = \left(\frac{D_{\text{objetivo}}}{D_{\text{pupila}}} \right)^2$$

Por ejemplo, un telescopio con 70 mm de abertura sobre la abertura del ojo humano de más o menos 7 mm, ofrece una ganancia de 100. Esto permitiría observar estrellas que se ven muy tenues a simple vista. Evidentemente, existen otros factores que afectan a esta ganancia como los efectos de reflexión, de dispersión y de absorción de la luz. Además de la longitud de onda de la luz incidente. Normalmente, los telescopios tienen una transmisión de luz del 80%.

6. GALILEO

Galileo Galilei fue el primer científico italiano que desarrolló las bases del abordaje científico que se utiliza en cualquier proyecto de investigación actual. Mediante los experimentos que realizó y la aplicación de la matemática, estudió las leyes del movimiento y realizó varios descubrimientos que

pusieron en duda el dogma impuesto sobre la geocentricidad.

Galileo nació un 15 de febrero de 1564, en Pisa, Italia. Su padre, Vincenzo Galilei, fue músico y obligó a su hijo a estudiar medicina. Si bien Galileo, en realidad, quería ser sacerdote, ingresó a la Universidad de Pisa, en 1581, para estudiar medicina y matemáticas. Después de cuatro años de estudio en la universidad, Galileo, a sus 21 años, dejó la universidad y trabajó dando clases de matemática, de manera particular primero, y luego en la Universidad de Pisa. Cuando su padre falleció, en 1591, Galileo se convirtió en el principal proveedor de la familia.

Debido a su innata curiosidad como científico, realizó estudios sobre la balanza hidrostática, los planos inclinados, la caída libre, el movimiento parabólico y el péndulo para medir incrementos de tiempo. En 1609, Galileo se enteró de la invención de un instrumento que permitía observar objetos lejanos y en el transcurso de un mes, lo convirtió en un instrumento para observar los cielos. De esa manera, Galileo observó que Júpiter tenía lunas que giraban a su alrededor, que la Luna tenía montañas, que el Sol presentaba manchas y que Venus tenía fases como nuestra Luna. Incluso, observó que Saturno parecía ser un planeta con “orejas”.

1609 es el año en que Galileo revolucionó la astronomía, abriendo una nueva ventana hacia el estudio del Universo, mediante “dos pedacitos de vidrio” ajustados en un tubo. Posteriormente, el telescopio fue evolucionando. Al darle mayor longitud se obtenían mejores imágenes. Por ejemplo, Saturno ya no era un planeta con orejas, sino un planeta con anillos. Todas las observaciones iniciales de Galileo, sirvieron de sustento para el modelo heliocéntrico, ganándose enemistades en la Iglesia y finalmente, siendo víctima de las injusticias de los prejuicios santificados. Murió bajo arresto domiciliario en 1642, en Toscana.

Todos los estudios de Galileo, su producción bibliográfica y su actitud como científico son dignos de admiración. No por nada, es denominado como el “padre” del método científico.

7. CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son los principales tipos de telescopio?

El refractor, el reflector, y el catadióptrico.

2. ¿Cuál es la diferencia entre reflexión y refracción?

En la reflexión, el haz de luz incidente sobre una superficie es reflejado, como en un espejo.

En la refracción, el haz de luz pasa de un medio a otro sufriendo una desviación, como un lápiz que se ve aparentemente “torcido” en un vaso con agua.

3. ¿En qué se diferencia un telescopio refractor y reflector?

El telescopio refractor utiliza lentes, normalmente es largo y sirve para realizar observaciones terrestres, planetas, la Luna y algunas estrellas binarias.

El reflector utiliza espejos, es más compacto y sirve

para observar objetos de poca intensidad como galaxias, nebulosas y cúmulos estelares.

4. ¿En qué consiste el aumento en un telescopio?

El aumento del telescopio es una razón entre la altura de la imagen y la altura del objeto, o la razón entre la longitud focal de la imagen y la longitud focal del objeto. Las lentes adicionales que tiene un telescopio se caracterizan por su aumento, que está representado, por ejemplo, por 10x. Esto significa que si el objeto está a 100 m y utilizamos esta lente, observaríamos al objeto como si estuviera a 10 m.

5. ¿Qué es la resolución de un telescopio?

Es la capacidad de distinguir dos objetos muy cercanos. Si el telescopio no tiene un poder de resolución aceptable y apuntamos hacia una estrella binaria, la veríamos como una sola. Incrementando el poder de resolución podemos distinguir los detalles del objeto.

8. CONCLUSIONES

El telescopio permite observar los objetos celestes gracias a las leyes básicas de óptica. En esta rama de la física, se estudian las características de lentes y espejos. Las lentes refractan la luz así como un prisma lo hace y los espejos reflejan las imágenes. Dependiendo de la forma de las lentes y los espejos, las imágenes pueden aumentar de tamaño, reducirse, invertirse o formarse en el infinito.

En un telescopio, las dos lentes se sitúan de modo que se forma una imagen real e invertida cerca del punto focal del ocular. Las dos lentes, que normalmente son biconvexas, están separados por una distancia $f_{obj} + f_{ocular}$ que corresponde a la longitud del tubo del telescopio. Luego, el ocular forma una imagen invertida y más grande que la primera imagen.

El aumento tiene importancia para observar objetos como el Sol, la Luna o planetas, pero las estrellas lejanas seguirán viéndose como simples puntos de luz. A menos que se construyan telescopios de gran abertura que permitan el ingreso de una mayor cantidad de luz. La desventaja es que construir espejos o lentes de diámetros grandes es muy costoso y complicado. Por lo tanto, la elección de un telescopio depende de lo que se quiere observar y el presupuesto con el que se cuenta.

Desde las observaciones de astrónomos aficionados hasta las obtenidas por los grandes telescopios del mundo, todas han resultado de estos conceptos de óptica. La necesidad de conocer aún más el Universo ha llevado incluso a posicionar telescopios fuera de la Tierra, como el Hubble, que en 1995 obtuvo por vez primera la imagen de un Universo joven de hace 1300 millones de años.

Nuestra fascinación por los cielos y nuestra curiosidad nos llevará a desarrollar la tecnología necesaria para colmar nuestras inquietudes sobre el Universo en el que vivimos. Es solamente cuestión de tiempo.

El contenido de esta revisión bibliográfica ha sido obtenida de las referencias que se citan a continuación. Se pueden revisar las páginas web: Gil (2016), Navarro (2016),

Exploratorium (2018), Science Facts (2018), Hernáez (2017), Berner (2015), School bag (2014), American Association of Physics Teachers (2012), Terratec S.R.L. (2018), Spacemath NASA: Equation (2018), Spacemath NASA: Resolution (2018), TelescopeOptics: Resolution (2018), TelescopeOptics: Functions (2018), Nagler (2018), PBS & WGBH Educational Foundation (2018).

Si desea un estudio más formal de la óptica referirse a Young & Freedman (2009), Serway (1997), Resnick (1994), Beltrán & Braun (1977).

Un excelente complemento conceptual es Hewitt (2007) y las guías de astronomía: Ridpath (2007), Atlas de Astronomía (1994).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dr. Martín Subieta, Lic. Gonzalo Pereira, Daniela Ochoa, Dr. Santiago Conde, Lic. Rubber Muñoz y al Dr. Diego Sanjinés por la revisión detallada y las pertinentes observaciones para mejorar el texto.

Además, reconocer la colaboración y el auspicio de la empresa Terratec S.R.L.: Astronomía y Ciencia Experimental para concretar este proyecto.

REFERENCIAS

- Gil Andani, I. (2016), *Astronomylab*. <http://www.astronomylab.net>.
- Navarro Díaz, I. (2016), *Tipos de telescopios, accesorios ópticos e instrumentación*. <https://neudron.blogspot.com>.
- Exploratorium. (2018), *Science Snacks*. <https://www.exploratorium.edu>.
- Science Facts. (2018), *Diverging Lens*. <https://www.sciencefacts.net>.
- Hernáez, S. (2017), *Cómo funciona un telescopio*. <https://www.aboutespanol.com>.
- Berner, B. (2015), *The Laboratory for Research on the Structure of Matter. It's all smoke and mirrors: The Physics of Images*. <https://www.lrsm.upenn.edu>.
- School Bag. Ministry of Education, Singapore. (2014), *Magic or Science? The classroom comes alive!*. <https://www.schoolbag.sg>.
- American Association of Physics Teachers. (2012), *High School Photo Contest Top 100 Gallery*. <https://www.aapt.org>.
- Terratec S.R.L. (2018), *Astronomía y Cs. Experimental*. <http://www.terratec.com.bo>.
- Spacemath NASA (2018), *The most important equation in astronomy*. <http://www.spacemath.gsfc.nasa.gov>.
- Spacemath NASA (2018), *Telescope Resolution*. <http://www.spacemath.gsfc.nasa.gov>.
- TelescopeOptics.net (2018), *Telescope Resolution*. www.telescope-optics.net.
- TelescopeOptics.net (2018), *Telescope Functions*. www.telescope-optics.net.
- Nagler, A. (2018), *How to choose your telescope magnification*. www.skyandtelescope.com.
- PBS & WGBH Educational Foundation. (2018), *Galileo: Timeline of his life*. www.pbslearningmedia.org.
- Young, H. D. & Freedman R. A. (2009), *Física Universitaria, con física moderna 2*, Pearson Educación.
- Serway, R. A. (1997), *Física Tomo II*, McGraw-Hill Interamerican Editores, S.A. de C.V.
- Resnick, R. Halliday, D. Kenneth, S. K. (1994), *Física Vol 2*, Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
- Beltrán, V. & Braun, E. (1977), *Principios de Física* Curso de Introducción, Editorial Trillas.
- Hewitt, P. G. (2007), *Física Conceptual*, Pearson Educación.
- Ridpath, I. (2007), *Guía Ilustrada: Astronomía*, Jorge Zahar Editor Ltda.
- V. V. A. A. (1994), *Atlas de Astronomía: Descubrir el Universo*, Cultural S.A. de Ediciones.