

ÓPTICA



¿Qué es la óptica?

La óptica es una rama de la física que se dedica al estudio de la luz visible: sus propiedades y su comportamiento. También analiza sus eventuales aplicaciones en la vida del ser humano, como es la construcción de instrumentos para detectarla o valerse de ella.

La luz ha sido definida por la óptica como una franja de emisiones electromagnéticas, cuyo comportamiento es similar al de otras formas invisibles (para nosotros) del espectro electromagnético, como la radiación ultravioleta o infrarroja.

Esto significa que su comportamiento puede ser descrito según la mecánica de ondas (excepto en contextos muy específicos en los que la luz actúa como una partícula) y los planteamientos de la electrodinámica clásica de la luz.

La óptica es un campo de investigación muy importante y que nutre de herramientas a las demás ciencias, especialmente a la astronomía, la ingeniería, la fotografía y la medicina (oftalmología y optometría). A ella debemos la existencia de espejos, lentes, telescopios, microscopios, láseres y sistemas de fibra óptica.

La óptica estudia la luz y los fenómenos derivados del efecto luminoso. Para el estudio de la óptica es necesario dividirla en óptica geométrica, óptica física y óptica electrónica, las cuales buscan explicar los diferentes fenómenos producidos por la luz, como son la reflexión, refracción y difracción que se presentan en el efecto luminoso.

El campo de la óptica ha sido parte de las preocupaciones del ser humano desde tiempos antiguos. Los primeros intentos de lentes conocidos datan del antiguo Egipto o la antigua Mesopotamia, como el lente de Nirmud (700 a. C.) fabricado en Asiria.

Los antiguos griegos también se preocuparon por entender la naturaleza de la luz, que comprendían en base a dos perspectivas: su recepción o visión y su emisión, ya que los antiguos griegos pensaban que los objetos emitían copias de sí mismos mediante la luz (llamadas *eidola*). Filósofos como Demócrito, Epicuro, Platón y Aristóteles estudiaron profusamente la óptica.

Al relevo de estos estudiosos lo constituyeron los alquimistas y científicos islámicos durante la época medieval europea, como Al-Kindi (c. 801-873) y en especial Abu Ali-al-Hasan o Alhazén (965-1040), considerado el padre de la óptica por su *Libro de óptica* (siglo XI), donde explora los fenómenos de la refracción y reflexión.

El Renacimiento europeo llevó ese conocimiento a Occidente, en especial gracias a Roberto Grosseteste y Roger Bacón. Los primeros anteojos prácticos se fabricaron en Italia alrededor

de 1286. Desde entonces, la aplicación de lentes ópticos a distintos fines científicos no ha cesado.

Gracias a la óptica, genios de la talla de Copérnico, Galileo Galilei y Johannes Kepler pudieron llevar a cabo sus estudios astronómicos. Más adelante, los primeros microscopios permitieron el descubrimiento de la vida microbiana y el inicio de la biología y la medicina modernas. La Revolución Científica entera se debe, en gran medida, al aporte de la óptica.

Óptica física

La óptica física es aquella que considera la luz como una onda propagándose en el espacio. Es la rama de la óptica que se ocupa por estudiar fenómenos físicos como la interferencia, polarización o difracción. Además, propone modelos predictivos para saber cómo se comportará la luz ante determinadas situaciones o en determinados medios.

La óptica geométrica nace de la aplicación geométrica de las leyes fenomenológicas en torno a la refracción y la reflexión de Willebrord Snell van Royen (1580-1626), el científico holandés conocido como Snell.

Óptica geométrica es la parte de la física que estudia la trayectoria de la luz cuando experimenta reflexiones y refracciones en la superficie de separación entre medios

Óptica moderna

La rama contemporánea de la óptica surge con la física cuántica y los nuevos campos del saber que esta última hizo posible, así como sus eventuales aplicaciones de la mano de la ingeniería. De ese modo, la óptica moderna comprende una enorme variedad de campos nuevos de investigación respecto a la luz y sus aplicaciones, que incluyen:

- Los mecanismos de láser (amplificación de la luz por emisión simulada de radiación).
- Las células fotoeléctricas, luces LED y meta materiales.
- La optoelectrónica, de la mano de la informática, y el procesamiento digital de imágenes.
- La ingeniería de la iluminación, con aplicaciones en la fotografía, el cine y otros campos.
- La óptica cuántica y el estudio físico del fotón como partícula lumínica y onda lumínica a la vez.
- La óptica atmosférica y la comprensión de los procesos lumínicos atmosféricos.

La naturaleza de la luz

Ha sido un enigma muy atractivo e interesante para los hombres, desde la más remota antigüedad.

Los griegos pitagóricos, alrededor de 530 a.C., al igual que Aristóteles doscientos años más tarde, creían que la visión era causada por partículas que emitía el cuerpo luminoso, que llegaban después al ojo. Sin embargo, los filósofos Platón, Euclides y Claudio Tolomeo, creían

que era justo lo contrario, es decir, que las partículas salían del ojo para llegar después al objeto observado. Alhazen, en Arabia, estaba convencido de que el punto de vista de Aristóteles era el correcto, es decir, que la luz salía de los objetos y que al penetrar en el ojo producía la sensación visual.

Sin embargo, no se hacía todavía ninguna conjetura sobre la naturaleza de estas emanaciones de las fuentes luminosas.

La primera suposición más o menos razonada se hizo durante la Edad Media, en el sentido de que la luz era un flujo de partículas de naturaleza desconocida. Newton pensó con muy buenos argumentos científicos, adecuados a su tiempo, que la luz estaba formada por corpúsculos de diferentes tamaños y velocidades, los que inducían vibraciones en el medio en el cual se propagaba la luz, al que se llamaba éter, de acuerdo con su tamaño y velocidad. Sin embargo, siempre le quedó la duda de si la luz era en realidad una partícula o una onda, pues conocía los fenómenos de la difracción y de la doble refracción, que no podía explicar. Francesco María Grimaldi (1618-1663) ingresó a la Compañía de Jesús a la edad de catorce años. En 1648, siendo ya jesuita, se le ofreció la cátedra de matemáticas en Bolonia. En un experimento que realizó ahí, dejó que penetrara la luz del Sol a un cuarto oscuro a través de un pequeño agujero en una cartulina. Hizo después pasar esta luz a través de otra cartulina perforada, con dimensiones que midió muy cuidadosamente. Descubrió que la luz proyectaba una mancha mayor que la esperada si la propagación de la luz fuera rectilínea. En algunos otros experimentos observó que la orilla de la sombra en lugar de estar bien definida, mostraba algunas franjas claras y oscuras, Estos fenómenos los atribuyó Grimaldi a la presencia de la difracción, debida a la naturaleza ondulatoria de la luz.

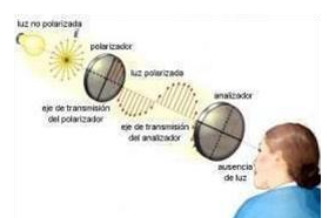
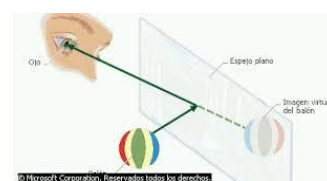
Óptica Física

Es la rama de la Física que estudia el comportamiento de la radiación electromagnética, sus características y sus manifestaciones. Abarca el estudio de la reflexión, la refracción, las interferencias, la difracción y la formación de imágenes y la interacción de la radiación con la materia.

Óptica Ondulatoria

La óptica ondulatoria estudia las propiedades ondulatorias de luz; dado que ella es la propagación de las ondas electromagnéticas. Se utiliza para el estudio de difracción e interferencia.

Sistema óptico es un conjunto de medios materiales limitados superficies de cualquier naturaleza Estigmático, Astigmático o Centrado



la

por

Modelo de rayo de luz es un modelo que supone que la luz no se difracta y consiste en una línea de avance perpendicular al frente de onda

Los rayos pueden ser

Reversibles en su propagación

Independientes de otros rayos

Las imágenes

Según su naturaleza :Reales Virtuales

Según su posición: Derechas Invertidas

La Luz Consiste en radiación electromagnética teniendo características de partícula y ondulatorias. La luz se genera como una forma de energía a partir de una transición electrónica en el átomo de una sustancia.

Propagación de la luz

La luz en un medio homogéneo se propaga en línea recta, constituyendo un haz de rayos luminosos.

La velocidad de propagación de la luz en el vacío es de 320.000 km/seg.

Fuentes luminosas Son todos aquellos cuerpos que emiten radiación luminosa.

Pueden ser naturales como el sol y las estrellas, o artificiales como las lámparas, velas, etc.

Fuente Puntual Es una fuente luminosa cuyas dimensiones son muy pequeñas respecto de la distancia que la separa de los objetos iluminados, como por ejemplo las estrellas.

El estudio de los fenómenos relacionados con la luz considera dos enfoques diferentes:

– óptica geométrica: la luz como un rayo (la trayectoria de una partícula de luz)

- Es útil para estudiar los fenómenos de reflexión y refracción
 - Es útil para describir la interacción de la luz con lentes y espejos
- óptica física: la luz como una onda
- Describe los fenómenos de interferencia difracción y polarización

Reflexión

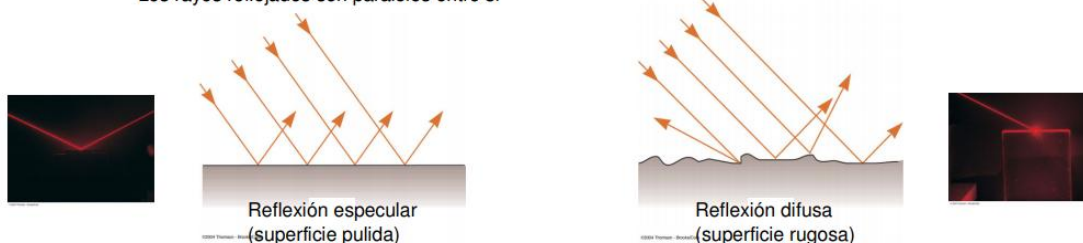
El fenómeno de reflexión se presenta cuando un haz de luz se encuentra con un obstáculo en su camino (una interfase entre medios diferentes)

Parte de la luz incidente es reflejada (cambia de dirección)

La dirección del rayo reflejado es en un plano perpendicular a la superficie reflectante que contiene al rayo incidente Los rayos reflejados son paralelos entre sí Reflexión especular (superficie pulida)

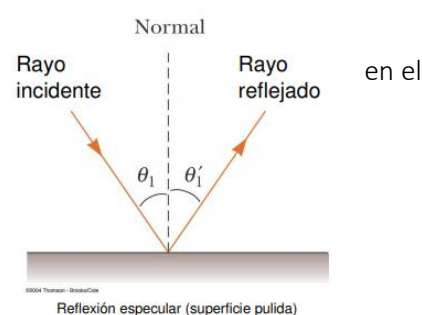
Reflexión difusa (superficie rugosa) Una superficie se comporta como especular cuando las imperfecciones en su superficie son más pequeñas que la longitud de onda de la luz inciden

Los rayos reflejados son paralelos entre sí



Leyes fundamentales de la reflexión

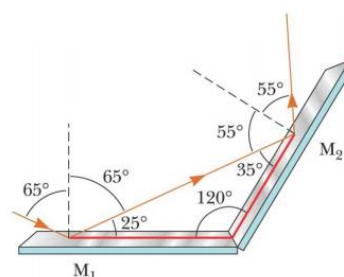
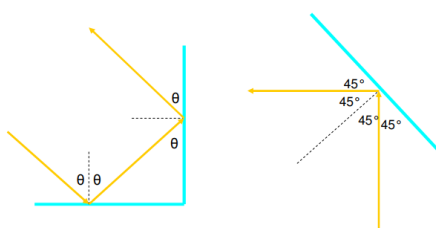
1. El rayo incidente, el reflejado y la normal (perpendicular punto en que incide el rayo) están en un mismo plano perpendicular a la superficie.
2. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.



$$\theta_1 = \theta'_1$$

Ejemplo.

Dos espejos forman un ángulo de 120° . Un rayo incide en el espejo M1 formando un ángulo de 65° con la normal, ¿qué ángulo forma el rayo reflejado por el espejo M2?



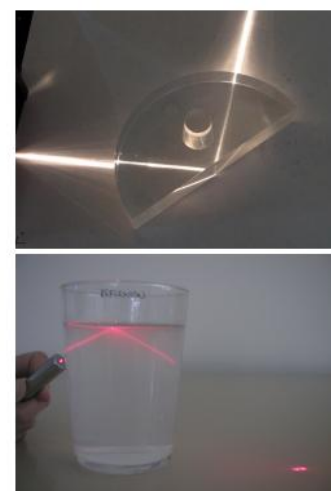
Otro ejemplo sería como indica la figura en caso que entre espejos se formen 90° y el ángulo de incidencia sea de 45°

Reflexión total interna

Este fenómeno se presenta sólo cuando un rayo de luz atraviesa desde un medio 1 a un medio 2 donde $n_1 > n_2$.

El rayo de luz se refracta de tal modo que no es capaz de atravesar la interfase entre ambos medios reflejándose completamente.

Este fenómeno se presenta para ángulos de incidencia mayores que un cierto valor crítico.



El Gran Paso – Física – 28 de Octubre

2020

Para determinar el ángulo crítico recurrimos a la ley de Snell:

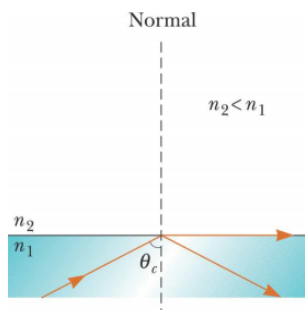
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_t}{\sin \theta_i} > 1$$

Dado que seno es una función creciente:

$$\theta_i < \theta_t \leq 90^\circ$$

$$\theta_t = 90^\circ \Rightarrow \theta_i = \theta_c$$



©2004 Thomson - Brooks/Cole

El caso:

$$n_2 > n_1 \Rightarrow \theta_i > \theta_t$$

II 2010 MAC Física III -- UEB

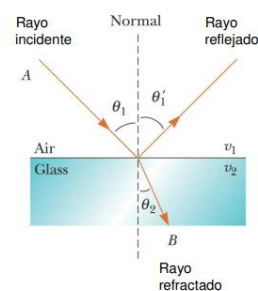
Refracción

Cuando un rayo de luz que viaja a través de un medio transparente y encuentra una interfase que lo lleva a otro medio transparente, parte la energía es reflejada y parte de la energía pasa al segundo medio.

El rayo en el segundo medio cambia de dirección, se dice que es refractado

El rayo incidente, el rayo reflejado y el rayo refractado pertenecen al mismo plano

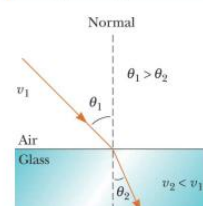
El camino entre A y B en la figura es reversible



©2004 Thomson - Brooks/Cole

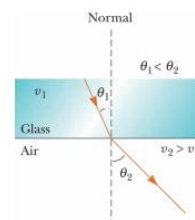
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \text{constante}$$

Si la luz se mueve desde un medio material en el cual la rapidez es a uno en la cual la rapidez es menor entonces el ángulo (respecto de normal) disminuye



mayor
la

Si la luz se mueve desde un medio material en el cual la rapidez es a uno en la cual la rapidez es mayor entonces el ángulo (respecto de normal) aumenta



menor
la

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \text{constante}$$

Leyes fundamentales de la refracción

Cuando la luz pasa de un medio a otro se desvía, es decir, se refracta. Definición: La refracción de la Luz es el cambio de dirección que experimentan los rayos luminosos al pasar de un medio a otro en el que se propagan a distinta velocidad.

1ª Ley: el rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en un mismo plano. El ángulo que forma el rayo refractado con la normal se denomina ángulo de refracción.

2ª Ley: el seno del ángulo de incidencia es inversamente proporcional al índice de refracción del medio incidente y el seno del ángulo de refracción es inversamente proporcional al índice de refracción del medio en que se refracta. Esto se conoce como Ley de Snell.

Índice de refracción es la relación que hay entre la velocidad de la luz en el vacío (c) y la velocidad de la luz en el medio en que se propaga (v). Su símbolo es (n):

El rayo refractado se acerca a la normal cuando pasa de un medio a otro en el que se propaga a mayor velocidad.

Y se aleja de la normal al pasar a un medio en el que se propaga a menor velocidad.

Índice de refracción

$$n = \frac{\text{rapidez de la luz en el vacío}}{\text{rapidez de la luz en un medio}} = \frac{c}{v}$$

$n > 1$ porque $c > v$

n es adimensional

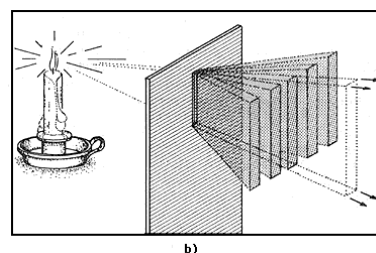
Indices of Refraction ^a			
Substance	Index of Refraction	Substance	Index of Refraction
<i>Solids at 20°C</i>		<i>Liquids at 20°C</i>	
Cubic zirconia	2.20	Benzene	1.501
Diamond (C)	2.419	Carbon disulfide	1.628
Fluorite (CaF ₂)	1.434	Carbon tetrachloride	1.461
Fused quartz (SiO ₂)	1.458	Ethyl alcohol	1.361
Gallium phosphide	3.50	Glycerin	1.473
Glass, crown	1.52	Water	1.333
Glass, flint	1.66	<i>Gases at 0°C, 1 atm</i>	
Ice (H ₂ O)	1.309	Air	1.000 293
Polystyrene	1.49	Carbon dioxide	1.000 45
Sodium chloride (NaCl)	1.544		

^a All values are for light having a wavelength of 589 nm in vacuum.

© 2004 Thomson - Brooks/Cole

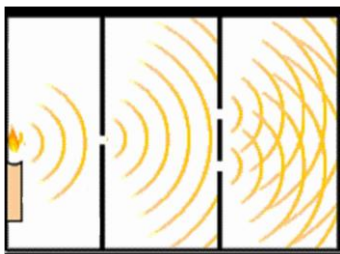
Difracción

Es un fenómeno característico del movimiento ondulatorio, el cual consiste en la aparición de ondas en lugares donde debería estar la sombra geométrica de obstáculos, cada punto alcanzado por la onda se comporta como un nuevo punto emisor, de esta se explica que las ondas logran bordear el obstáculo y propagarse detrás.



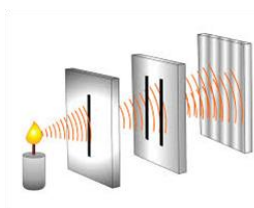
en los
forma

“Para que se aprecie bien este fenómeno el tamaño del obstáculo no debe ser muy superior a la longitud de onda.



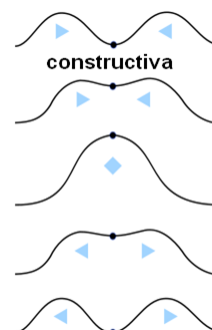
Interferencia

“La interferencia es la combinación por superposición de dos o más ondas que se encuentran en un punto del espacio. El resultado que se obtiene es otra onda, que es combinación de las ondas concurrentes, esta se divide en dos tipos, la interferencia constructiva y la interferencia destructiva.



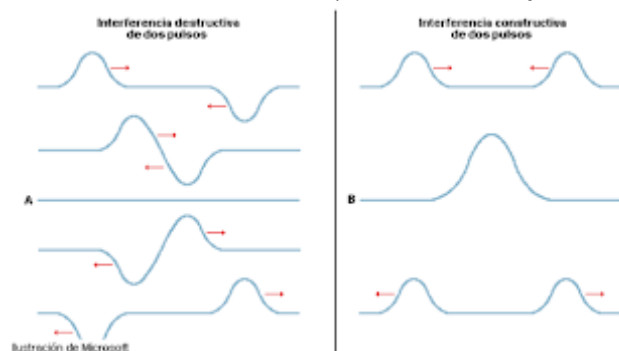
Interferencia constructiva

“Es una superposición de dos o más ondas de frecuencia iguales, que al interferir crean un nuevo patrón de ondas de mayor intensidad cuya cúspide es el antinodo; tras este punto, vuelven a ser las mismas ondas de antes.



Interferencia destructiva

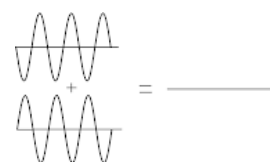
“Es una superposición de dos o más ondas de frecuencia idéntica o similar que, al interferirse crean un nuevo patrón de ondas de menor intensidad en un punto llamado nodo. Tras dicho punto, las ondas siguen siendo como eran antes de interferirse, aunque esta vez alejándose del nodo.



El Gran Paso – Física – 28 de Octubre

2020

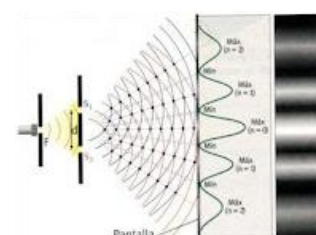
“En el caso más extremo, dos ondas de igual frecuencia y amplitud en contrafase (desfasadas 180°), que se interfieren, se anulan totalmente por un instante (como se ilustra en el primer gráfico de la derecha).



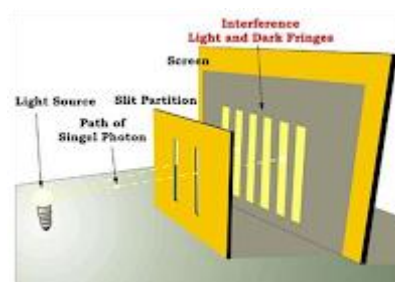
De igual manera, vuelven a ser las mismas después de traspasar el nodo, aunque esta vez alejándose del mismo

Experimento de Young

“Si se iluminan dos rendijas muy unidas y pequeñas con una fuente de luz monocromática, es posible observar en una pantalla, colocada a una distancia adecuada, un conjunto de franjas donde la luz presenta máximos y mínimos alternos de intensidad. Si se hace un gráfico de las intensidades de las franjas en la pantalla. La separación entre franjas está muy exagerada; usualmente el espesor de las franjas no es mayor de una fracción de mm.

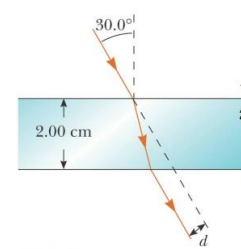


“El fenómeno mediante el cual aparecen las franjas alternas de luz y sombra se conoce como interferencia de la luz, y puede ser analizado a partir del principio de Huyghens, el concepto de coherencia y el modelo ondulatorio de la luz.



Ejemplos

- Un haz de luz de longitud de onda 550 [nm] que viaja en el aire incide en un material transparente. El haz incidente forma un ángulo de 40° con la normal y el ángulo refractado forma un ángulo de 26° con la normal. Encuentre el índice de refracción del material.
- Un haz de luz de 589 [nm] viaja por el aire cuando incide en una superficie suave de vidrio formando un ángulo de 30° con la normal. Encuentre el ángulo en el cual se refracta la luz ($n_{\text{vidrio}}=1.52$)
- Un láser en un lector de CD genera una luz con longitud de onda 780 [nm] en el aire. – Encuentre la rapidez de la luz en el plástico del CD ($n_{\text{CD}}=1.55$) – ¿Cuál es la longitud de onda de la luz en este plástico?
- Un haz de luz pasa de un medio 1 a un medio 2. Muestre que el rayo que emerge del medio 1 es paralelo al haz incidente
- Cuando el haz de luz pasa a través del bloque de vidrio ($n=1.5$) se desvía respecto de su dirección original una distancia d , encuentre esta distancia

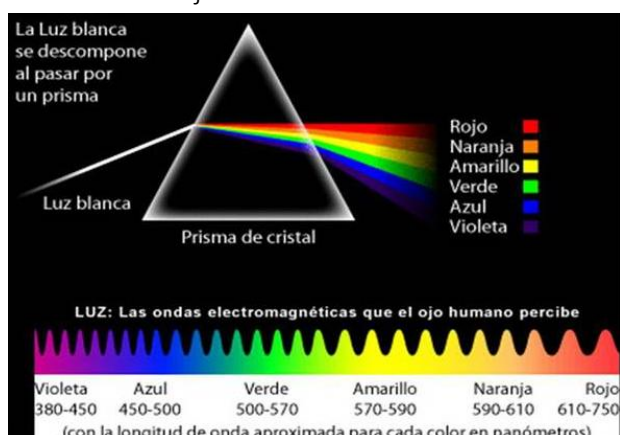


El Color de los Cuerpos

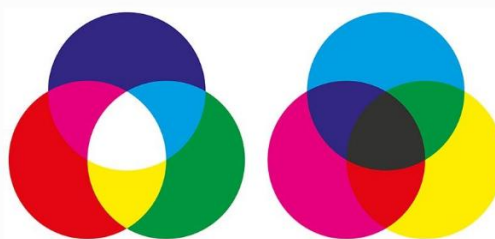
El ojo es una máquina de delicados engranajes que funciona de manera especial para captar los colores que nos rodean, pero esos colores ¿están realmente allí?

Hace poco las redes sociales explotaron por el caso del vestido que algunas personas veían de un color, y otras de un tono diferente. Pero la verdad es que: Los colores no existen. Suena extraño, pero es cierto!

Alrededor de 1666 Isaac Newton tuvo las primeras evidencias de que el color no existía, cuando, encerrado en una habitación oscura dejó pasar un haz de luz blanca a través de un orificio, e interceptó esa luz con un prisma de base triangular, y notó que al pasar por el cristal el rayo de luz se descomponía y aparecían los seis colores del espectro reflejados en la pared donde incidía el rayo de luz original: rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. De esta manera estableció que la luz blanca, que está presente en todas partes, está formada por haces de luz de 6 colores, y cuando esa luz choca con algún cuerpo u objeto, éste absorbe algunos de esos haces, y refleja otros. Los colores que refleja son los que captamos con nuestros ojos.



El modelo de color RGB



El modelo RGB es aditivo mientras que el modelo CMYK es sustractivo.

Espejos

Un espejo plano es una superficie plana muy pulimentada que puede reflejar la luz que le llega con una capacidad reflectora de la intensidad de la luz incidente del 95% (o superior). Los espejos planos se utilizan con mucha frecuencia. Son los que usamos cada mañana para mirarnos. En ellos vemos nuestro reflejo, una imagen que no está distorsionada.

¿Qué imágenes dan?

Una imagen en un espejo se ve como si el objeto estuviera detrás y no frente a éste ni en la superficie. (Ojo, es un error frecuente el pensar que la imagen la vemos en la superficie del espejo).

El sistema óptico del ojo recoge los rayos que salen divergentes del objeto y los hace converger en la retina.

El ojo identifica la posición que ocupa un objeto como el lugar donde convergen las prolongaciones del haz de rayos divergentes que le llegan. Esas prolongaciones no coinciden con la posición real del objeto. En ese punto se forma la imagen virtual del objeto.

La imagen obtenida en un espejo plano no se puede proyectar sobre una pantalla, colocando una pantalla donde parece estar la imagen no recogería nada. Es, por lo tanto virtual, una copia del objeto "que parece estar" detrás del espejo.

El espejo sí puede reflejar la luz de un objeto y recogerse esta sobre una pantalla, pero esto no es lo que queremos decir cuando afirmamos que la imagen virtual no se recoge sobre una pantalla. El sistema óptico del ojo es el que recoge los rayos divergentes del espejo y el cerebro interpreta como procedentes de detrás del espejo (justo donde se cortan sus prolongaciones)

La imagen formada es:

Simétrica, porque aparentemente está a la misma distancia del espejo

Virtual, porque se ve como si estuviera dentro del espejo, no se puede formar sobre una pantalla pero puede ser vista cuando la enfocamos con los ojos.

Del mismo tamaño que el objeto.

Derecha, porque conserva la misma orientación que el objeto.

Campo visual de un espejo

Según la orientación que tenga el espejo respecto al ojo y según la superficie del espejo, se alcanza diferente campo visual: el ojo puede ver distintas zonas según donde esté respecto al espejo.

Puedes "barrer" una zona situada detrás de ti con el campo visual de un espejo girándolo frente a tus ojos.

Todos los rayos procedentes de la zona azul se reflejan en el espejo y pueden ser captados por el sistema óptico del ojo.

No se pueden ver todos los objetos situados frente al espejo.

¿Aumenta el campo visual al acercar el espejo al ojo? ¿Y al alejarlo?

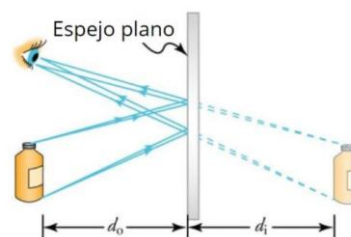
Un espejo esférico es aquel cuya superficie tiene un radio de curvatura (R) constante.

En función de si el objeto se refleja en el interior o el exterior de la esfera, es posible distinguir dos tipos de espejos esféricos:

Espejos cóncavos, que son aquellos cuya superficie reflectora está en su interior.

Espejos convexos, en los que la superficie reflectora está en su parte externa.

Imagen de un objeto formada en el espejo plano



Una característica especial de los espejos esféricos es que su distancia focal siempre es la mitad de su radio de curvatura:

$$f = \frac{R}{2}$$

Veamos ahora cómo calcular la ecuación general de los espejos. Para ello nos ayudaremos del esquema adjunto y aplicaremos el criterio de signos en óptica y la ley de la reflexión

El estudio general lo haremos con un espejo cóncavo, pero los resultados son válidos para cualquier tipo de espejo esférico. Para obtenerlos de nuevo trabajaremos en zona paraxial.

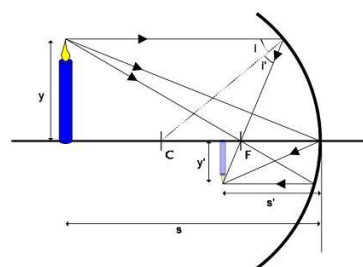


Imagen Adaptacion de Anyrie Creative Commons

Según la ley de la reflexión, aplicando el criterio de signos para los ángulos tenemos que, para los ángulos de incidencia de uno de los rayos:

$$i = -i'$$

Ecuación general de un espejo esférico

La posición de los puntos objeto e imagen en un espejo esférico viene dado por la ecuación:

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

Teniendo en cuenta que la distancia focal (f) es la mitad del radio de curvatura (R) esta expresión puede expresarse también como:

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

Observa que esta ecuación es independiente del medio donde se encuentre el espejo, ya que es independiente de su índice de refracción.

El aumento lateral de un espejo esférico es:

$$\beta = -\frac{p'}{p} = \frac{i}{o}$$

Ejemplo

- *Delante de un espejo esférico cóncavo de 40 cm de radio se coloca, a una distancia de 25 cm, un objeto de 4 cm de altura.*

Calcula:

- a) La distancia focal del espejo

Siguiendo el criterio de signos, los datos dados son: $R = -0.4$ m, $s = -0.25$, $y = 0.04$ m

El Gran Paso – Física – 28 de Octubre

2020

Por lo tanto, como para un espejo esférico el valor del foco viene dado por:

$$f = \frac{R}{2} = \frac{-0.4}{2} = -0.2 \text{ m}$$

Y el foco estará delante del espejo.

b) La posición de la imagen formada

Aplicando la expresión de la ecuación general para un espejo esférico:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R} \Rightarrow \frac{1}{s'} + \frac{1}{-0.25} = \frac{2}{-0.4} \Rightarrow \frac{1}{s'} = -1 \Rightarrow s' = -1 \text{ m}$$

La imagen se formará por tanto delante del espejo.

c) El tamaño aparente de la imagen

El aumento lateral del espejo esférico venía dado por:

$$\beta = -\frac{s'}{s} = \beta = -\frac{-1}{-0.25} = -4$$

Por lo tanto la imagen formada tendrá un tamaño

$$\beta = \frac{y'}{y} \Rightarrow y' = \beta \cdot y = -4 \cdot 0.04 = -0.16 \text{ m}$$

Observa que estará aumentada e invertida.

- *Responde a las cuestiones del ejercicio resuelto anterior si el espejo fuese convexo en vez de cóncavo.*

Siguiendo el criterio de signos, los datos dados son: $R = 0.4 \text{ m}$, $s = -0.25$, $y = 0.04 \text{ m}$

En este caso el valor del foco es:

$$f = \frac{R}{2} = \frac{0.4}{2} = 0.2 \text{ m}$$

Que se observa está detrás del espejo. En cuanto a la posición de la imagen:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R} \Rightarrow \frac{1}{s'} + \frac{1}{-0.25} = \frac{2}{0.4} \Rightarrow \frac{1}{s'} = 9 \Rightarrow s' = 0.11 \text{ m}$$

También detrás del espejo. Finalmente, el tamaño de la imagen será:

$$\beta = -\frac{s'}{s} = -\frac{0.11}{-0.25} = 0.44$$

$$\beta = \frac{y'}{y} \Rightarrow y' = \beta \cdot y = 0.44 \cdot 0.04 = 0.018 \text{ m}$$

Imagen por tanto menor y derecha.

- *Indica las características de la imagen de un lápiz de 10 cm de altura situado perpendicularmente 25 cm frente a un espejo plano.*

La imagen será virtual, simétrica (situada a 25 cm del espejo) y de tamaño igual (10 cm).

Construcción de imágenes

En el caso de los espejos, la formación de imágenes es debida a fenómenos de reflexión, en los que como recordarás los rayos incidente y reflejado se encuentran en el mismo plano y además forman similar ángulo con la normal.

Al igual que ocurría en el caso del dioptrio esférico, las imágenes pueden ser reales o virtuales, según se crucen los rayos o bien sus prolongaciones. El proceso para formar la imagen es también similar, debiéndose dibujar al menos tres rayos:

1. Se traza el rayo paralelo al eje desde el objeto hasta el espejo, reflejándose de forma que él o su prolongación pasen por el foco.
2. Se traza el rayo que une el objeto con el centro de curvatura. Este rayo incide siempre perpendicularmente sobre la superficie del espejo.
3. Se traza el rayo que sale del objeto y pasa por el foco y que, tras reflejarse en el espejo, sale paralelo al eje óptico.

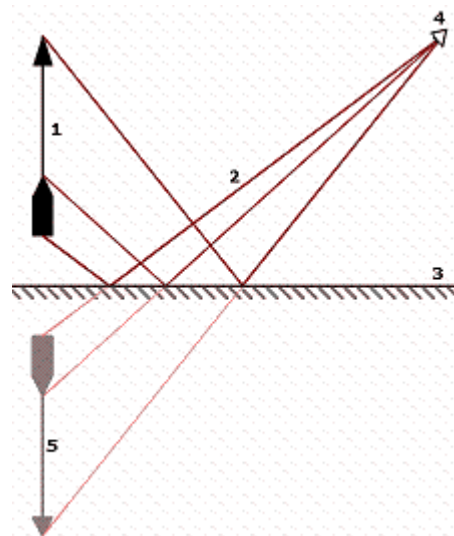


Imagen 27. [RJHall](#) Creative Commons

El punto donde se cruzan estos tres rayos (o sus prolongaciones) nos muestra la imagen del punto objeto.

En la imagen puedes observar la formación de la imagen en un espejo plano. El objeto (1) emite rayos luminosos (2) que se reflejan en el espejo (3), de forma que el observador (4) ve una imagen de tipo virtual (5).

Para los espejos esféricos es un poco más complicado. Observa en el siguiente applet la formación de imágenes en un espejo esférico. De nuevo puedes distinguir dos configuraciones, en función de si el radio de curvatura es positivo o negativo. Escoge una configuración y desplaza el objeto al igual que hacías en la sección de construcción de imágenes en un dioptrio plano para comprobar la naturaleza de la imagen formada. ¿Eres capaz de encontrar todas las configuraciones posibles para la formación de la imagen? Se denominan rayos principales a rayos de trayectoria conocida que nos permiten determinar la posición de la imagen de un objeto en un diagrama de rayos. En el espejo esférico son:

1. El rayo procedente del objeto y paralelo al eje óptico, que, tras reflejarse, pasará por el foco
2. El rayo que, procedente del objeto, pasa por el centro de curvatura del espejo. Tras reflejarse no modifica su dirección

- El rayo procedente del objeto que pase por el foco, que, tras reflejarse, saldrá paralelo al eje óptico

Para dibujar un diagrama de rayos de un espejo esférico:

- Comienza situando el eje óptico, el objeto y el espejo
- Identifica el foco F (y opcionalmente el centro C)
- Traza al menos 2 de los rayos principales de la punta P del objeto
- El punto de intersección de los rayos es P' , la imagen del punto P
- Proyecta P' sobre el eje óptico para obtener la base de la imagen del objeto, B'

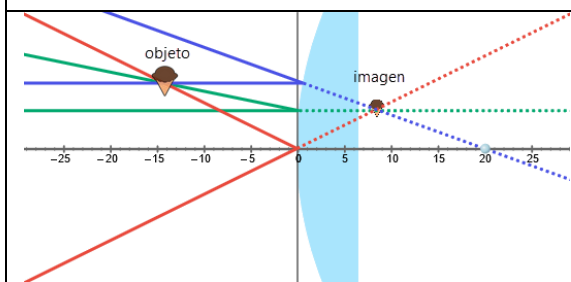
Consideraciones

- el espejo convexo siempre forma imágenes virtuales, derechas y de menor tamaño que el objeto
- el espejo cóncavo es el único capaz de formar imágenes de mayor tamaño que el objeto
- Cuando sitúas el objeto sobre el centro de curvatura en un espejo cóncavo la imagen que se forma es de igual tamaño que el objeto, en el mismo punto, pero invertida

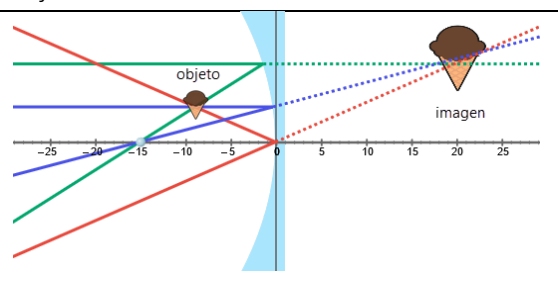
Si lo necesitas, ayúdate de la siguiente tabla para interpretar el *significado de los signos*:

$s' > 0$	Imagen virtual
$s' < 0$	Imagen real
$y'/y > 0$	Imagen virtual derecha
$y'/y < 0$	Imagen real invertida

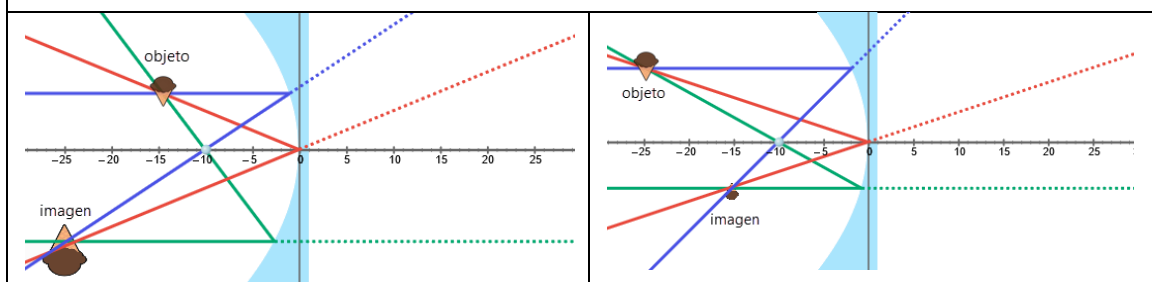
En los espejos convexos siempre se forma una imagen virtual y derecha con respecto al objeto:



Si el objeto se encuentra a una distancia inferior a la distancia focal, se forma una imagen virtual y derecha con respecto al objeto:



En los espejos cóncavos, si el objeto se encuentra a una distancia superior a la distancia focal se forma una imagen real e invertida que puede ser mayor o menor que el objeto :



- *Demuestra que la imagen formada por un espejo convexo es siempre virtual*

La expresión para un espejo esférico nos indica que:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R} \Rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} - \frac{1}{s} \Rightarrow \frac{1}{s'} = \frac{2 \cdot s - R}{R \cdot s} \Rightarrow s' = \frac{R \cdot s}{2 \cdot s - R}$$

Dado que la posición del objeto (s), tal y como se ha definido el convenio de signos será siempre negativa ($s < 0$). El radio de curvatura de un espejo convexo es siempre mayor que cero ($R > 0$), resulta que tanto $R \cdot s$ como $2 \cdot s - R$ son siempre negativas, de forma que s' será siempre positiva ($s' > 0$) y al encontrarse "detrás" del espejo, la imagen es virtual, como se quería demostrar.

- *Al situar un objeto a 40 cm de un espejo, este forma una imagen real, invertida y de doble tamaño.*

a) ¿Cuál es la posición de la imagen?

Si la imagen es real, el espejo ha de ser forzosamente cóncavo, pues los espejos convexos siempre dan lugar a imágenes virtuales. Por lo tanto, $R < 0$.

Por otra parte, a partir de los datos dados sabemos que el aumento lateral es $\beta = -2$, ya que la imagen es el doble que el original e invertida (de ahí el signo negativo).

La posición de la imagen vendrá dada por tanto por:

$$\beta = -\frac{s'}{s} \Rightarrow -2 = -\frac{s'}{-0.4} \Rightarrow s' = -2 \cdot 0.4 = -0.8 \text{ m}$$

b) ¿Y el radio de curvatura del espejo?

El radio de curvatura puede calcularse a partir de la relación entre las posiciones, según la relación:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R} \Rightarrow \frac{1}{-0.8} + \frac{1}{-0.4} = \frac{2}{R} \Rightarrow R = \frac{2}{-3.75} = -0.53 \text{ m}$$

Radio negativo, tal y como cabía esperar por tratarse de un espejo cóncavo.

El Gran Paso – Física – 28 de Octubre

2020

- Se sitúa 20 cm delante de un espejo esférico convexo con radio de curvatura 30 cm un clavo de 2 cm de altura.

Calcula la posición y las características de la imagen formada.

Siguiendo el convenio de signos: $s = -0.2$ m, $R = 0.3$ m, $y = 0.02$ m.

La posición de la imagen vendrá dada por:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R} \Rightarrow \frac{1}{s'} + \frac{1}{-0.2} = \frac{2}{0.3} \Rightarrow \frac{1}{s'} = 11.67 \Rightarrow s' = 0.086 \text{ m}$$

El tamaño de la imagen será:

$$\beta = -\frac{s'}{s} = -\frac{0.086}{-0.2} = 0.43$$

$$\beta = \frac{y'}{y} \Rightarrow y' = \beta \cdot y = 0.43 \cdot 0.02 = 0.009 \text{ m}$$

Por lo tanto la imagen será virtual (como en todos los espejos esféricos convexos), invertida y de menor tamaño que el objeto original.

- Sea un espejo cóncavo con una distancia focal $f = 12$ cm. Un objeto, cuya longitud es de 5 cm, se encuentra a una distancia $do = 20$ cm frente al espejo. Encuentre la posición de la imagen y su longitud, y explique las siguientes características: (1) Su tamaño, (2) Si está derecha o invertida, y (3) Si es real o virtual.

Solución: Conocemos los valores de dos de las tres variables de la ecuación de Gauss:

do y f . Necesitamos encontrar el valor de la única variable desconocida, di , así que la despejamos de la ecuación y sustituimos los valores = -7.5 cm.

(1) En cuanto a su tamaño, vemos que la amplificación tiene un valor absoluto mayor que la unidad, lo que significa que la imagen es mayor que el objeto.

(2) Por otro lado, en cuanto a si está derecha o invertida, vemos que m es menor que cero, lo cual significa que la imagen está invertida.

(3) Por lo que respecta a si la imagen es real o virtual, esto depende de si di es positiva o negativa. De ser positiva, la imagen es real. De lo contrario, virtual. En este ejemplo es real.

- Sea un espejo convexo con una distancia focal $f = -12$ cm. Un objeto, cuya longitud es de 5 cm, se encuentra a una distancia $do = 20$ cm frente al espejo. Encuentre la posición de la imagen y su longitud, y explique sus características: (1) Su tamaño, (2) Si está derecha o invertida, y (3) Si es real o virtual

Solución: Conocemos los valores de dos de las tres variables de la ecuación de Gauss. Note, sin embargo, que en este caso, por tratarse de un espejo convexo, la distancia focal es negativa. De cualquier forma, necesitamos encontrar el valor de la única variable desconocida, así que la despejamos de la ecuación y sustituimos los valores dados, = 1.875 cm.

(1) En cuanto a su tamaño, vemos que la amplificación tiene un valor absoluto menor que la unidad, lo que significa que la imagen es menor que el objeto.

(2) Por otro lado, en cuanto a si está derecha o invertida, vemos que m es mayor que cero, lo cual significa que la imagen está derecha.

(3) Por lo que respecta a si la imagen es real o virtual, vemos que la distancia di es negativa, por lo tanto, la imagen es virtual

El Gran Paso – Física – 28 de Octubre

2020

En la siguiente tabla tenemos algunos datos para un espejo cóncavo y uno convexo. Usted debe completar las celdas vacías de la tabla 1 usando los datos conocidos y las ecuaciones correspondientes. En cada caso haga los gráficos y compruebe que estos dibujos están de acuerdo con los resultados numéricos

Tabla 1.

Datos para espejos	Variables Cóncavo	Convexo
f	10 cm	-20 cm
do	30 cm	
di		-4 cm m

¿Imagen real o virtual?

¿Imagen derecha o invertida?

¿Imagen agrandada o reducida?

Respuestas: Espejo cóncavo, 15 cm, - ½, real, invertida, reducida. Espejo convexo, 5 cm, 0.8, virtual, derecha, reducida

Se coloca un objeto a 5 cm del vértice de un espejo cóncavo. Si el radio de curvatura del espejo es de 24 cm ¿a qué distancia del espejo se forma la imagen? ¿es real o virtual?

Respuesta: 8,57 cm virtual

La imagen obtenida mediante un espejo esférico cóncavo está a 8 cm del espejo. Si el objeto se encuentra a 24 cm del mismo, ¿cuál es el radio de curvatura del espejo?

Respuesta: 12 cm

Frente a un espejo esférico cóncavo de 25 cm de distancia focal se coloca un objeto, y la imagen obtenida es 3 veces mayor. ¿A qué distancia se halla el objeto?

Respuesta: 33,33 cm

A 10 cm del vértice de un espejo esférico convexo se coloca un objeto. Si la distancia focal es de 18 cm, indicar a qué distancia se forma la imagen.

Respuesta: 6,42 cm

La distancia focal de un espejo es de 18 cm, ¿a qué distancia del espejo estará la imagen de un objeto ubicado a 40 cm del foco? ¿será real o virtual?

Respuesta: 26 cm real (invertida, entre el foco y el centro de curvatura)

¿Cuál es el radio de curvatura de un espejo cóncavo si un objeto situado a 12 cm forma su imagen a 18 cm?

Respuesta: 14,4 cm

Mediante un espejo convexo un objeto situado a 15 cm da una imagen a 18 cm, ¿cuál es la distancia focal?

Respuesta: -90 cm

Un objeto se coloca frente a un espejo cóncavo y su imagen está al triple de la distancia objeto-espejo. Si el radio de curvatura es de 30 cm, ¿a qué distancia está el objeto y la imagen respecto del espejo?

Respuesta: 30 cm y 90 cm

Bibliografía

Sears, Zemansky. 2016. University Physics with Modern Physics. 14th. Ed. Volume 2.

Burbano de Ercilla, S., Burbano García, E., & Gracia Muñoz, C. (2003). Física General. Madrid: Tébar.

Malacara, D. (2015).

Óptica Básica. México: Ediciones Científicas Universitarias.

Pérez Montiel, H. (2014). Física General. México: Patria.

Fuentes consultadas

E-ducativa.catedu.es

<https://concepto.de/optica>

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2>

bibliotecadigital.ilce.edu.

<https://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas>

Responsables del contenido:	Prof. Lic. Clara Cristina Zarate Riveros
Coordinadores de área Física_ Química:	Prof. Lic. Clara Cristina Zarate Riveros Prof. Lic. Angel Dario Cabrera Pereira
Coordinadora de El Gran Paso:	Prof. Lic. Clara Cristina Zarate Riveros