

La luz

Óptica física

J.M.L.C. - Chena
chenalc@gmail.com
www.iesaguilarycano.com

Física 2º Bachillerato

Finales del s. XVI y principios del s. XVII generalización del uso de instrumentos ópticos (lentes y anteojos).

En 1621 W. Snell obtiene la ley matemática de la refracción.

En 1637 R. Descartes publica “Dióptrica”, donde supone que la luz es una perturbación que se propaga a velocidad infinita, comparándola con un proyectil. Nada dice sobre su naturaleza. Establece las leyes de reflexión y refracción.

Modelo corpuscular de Newton

I. Newton publica “Óptica” (1704) asentando su modelo corpuscular sobre las ideas de Descartes.

La luz está formada por **corpúsculos** lanzados a gran velocidad por los emisores de luz. Explica la propagación rectilínea de la luz, la reflexión y la refracción.

- Propagación rectilínea. Partículas de muy pequeña masa que viajan a gran velocidad de tal forma que su trayectoria es rectilínea (rayos luminosos).
- Reflexión. La luz choca y se refleja en una superficie lisa del mismo modo que una bola metálica contra una plancha de acero.
- Refracción. Las partículas de luz son atraídas por el medio más denso de tal forma que cambia la dirección del rayo al pasar al otro medio. Newton llegó a la conclusión errónea de que la velocidad en el agua debería ser mayor que en el aire.

C. Huygens publica “Tratado de la luz” (1690) con un punto de vista diferente al de Newton.

La luz es un fenómeno ondulatorio que se propaga en medio muy sutil que todo lo llena: el **éter**. Considera la luz como ondas longitudinales.

La propagación de la luz se explica mediante el principio de Huygens y a diferencia del modelo corpuscular, la energía se distribuye uniformemente por todo el frente de onda.

Este modelo explica satisfactoriamente los fenómenos de reflexión y refracción de la luz usando el principio de Huygens. Sin embargo no explicaba de forma satisfactoria la propagación rectilínea de la luz.

Controversia sobre la naturaleza de la luz

La disputa entre ambos modelos fue ganada en principio por Newton, dado su gran prestigio científico.

Hubo que esperar hasta principios del s. XIX cuando fenómenos como la **difracción** (observado por F. M. Grimaldi y más tarde por A. Fresnel), las **interferencias** (por T. Young) y la **polarización** solo podían explicarse por el modelo ondulatorio. Igualmente, a mediados del s. XIX se comprobó experimentalmente (por H. Fizeau y J.B.L. Foucault) que la luz se propaga más rápidamente en el aire que en el agua, demostrando incierta la suposición de Newton.

La luz como onda electromagnética

Maxwell llegó a la conclusión de que las cargas eléctricas oscilantes producen un campo eléctrico y otro magnético variables en el tiempo y perpendiculares entre sí, propagándose así en el espacio como ondas electromagnéticas.

Heinrich Hertz (1887) produjo y detectó estas ondas y estableció que la luz es un tipo de ellas.

Características de las ondas electromagnéticas

- Se originan por cargas eléctricas aceleradas.
- Consisten en la variación periódica de un campo eléctrico y otro magnético perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación.
- Los vectores \vec{E} y \vec{B} se describen por las mismas ecuaciones que las ondas armónicas.
- No necesitan un medio material para propagarse y su velocidad depende de las características eléctricas (ϵ) y magnéticas (μ) del medio. Para el vacío:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

- Las dos ondas se propagan en fase y sus elongaciones son proporcionales:

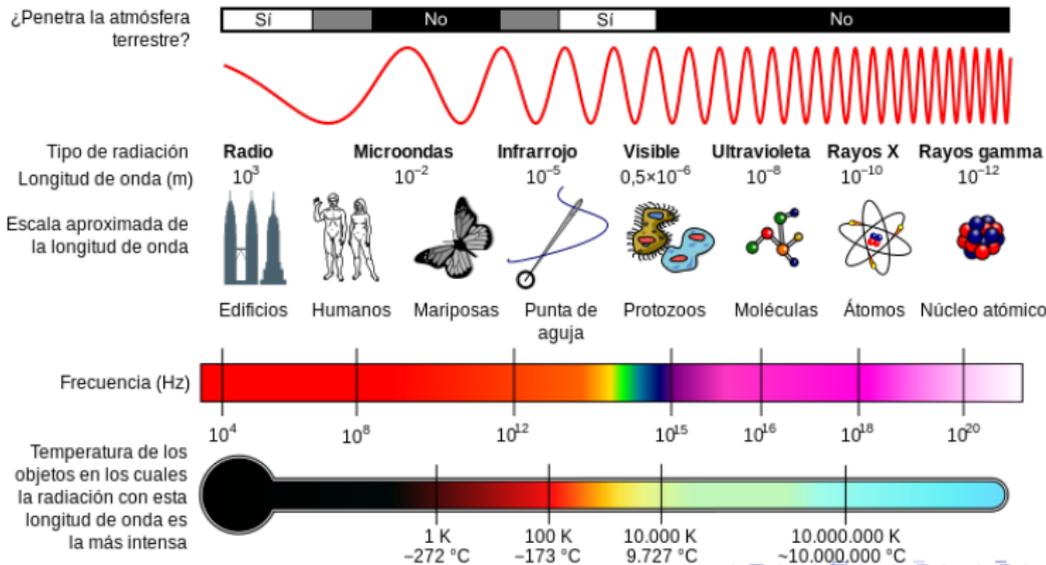
$$E = c \cdot B$$

- La energía que transportan es mayor cuanto mayor es su frecuencia.

Espectro electromagnético

Una onda electromagnética (OEM) transporta energía \implies **radiación electromagnética**.

Las OEM se clasifican según su frecuencia o longitud de onda en diferentes zonas cuyos límites no están claramente definidos. A esta clasificación se le denomina **espectro electromagnético**.



Principio de Fermat: La trayectoria de la luz es tal que el tiempo que invierte en ir de un lugar a otro es mínimo. Esto conduce a que la trayectoria de la luz es rectilínea y a la redefinición de rayo luminoso.

Definición

Un rayo luminoso es una línea imaginaria, perpendicular a los frentes de ondas, que indica la dirección de propagación de la luz.

Esto explica las **sombras**, las **penumbras**, los **eclipses** y el que no se pueda ver un objeto si se interpone un obstáculo en el camino del rayo.

Durante muchos siglos se creyó que la luz viajaba a velocidad infinita. Galileo hizo un intento de medirla pero fue incapaz de determinarla.

En 1676 O. Römer midió, con gran error, la velocidad de la luz, demostrando con ello que era una cantidad finita.

Casi doscientos años después, H. Fizeau y posteriormente L. Foucault hicieron una medida directa obteniendo un valor ligeramente superior al aceptado hoy día. Este es:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Índice de refracción

La velocidad de la luz es una magnitud finita que tiene distinto valor según el medio en el que se propague.

En el vacío es donde la luz viaja a mayor velocidad. En cualquier otro medio esta velocidad es menor.

Un medio por el que se pueda propagar una OEM se caracteriza por su **índice de refracción**, n , una magnitud adimensional que se define como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío, c y la velocidad en dicho medio, v .

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

De la definición se deduce que todos los medios, excepto el vacío, tienen un índice de refracción mayor que la unidad.

Igual que cualquier otra onda la luz, cuando llega a la superficie de separación de dos medios distintos, parte se refleja, volviendo al mismo medio aunque cambiando de dirección, y parte pasa al segundo medio donde se refracta y absorbe parcialmente.

Definición

La reflexión de la luz se produce cuando, al incidir contra un obstáculo, experimenta un cambio de dirección o de sentido volviendo por el mismo medio que se propagaba.

Si la superficie presenta irregularidades \implies **reflexión difusa**.

Si la superficie es lisa y pulimentada (espejo, metal) \implies **reflexión especular**.

Se cumplen las dos leyes de la reflexión.

Ley

El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran en el mismo plano.

Ley

*El ángulo que forma el rayo incidente con la normal (θ_i), **ángulo de incidencia**, es igual al ángulo que forma el rayo reflejado con la normal (θ_r), **ángulo de reflexión**.*

Parte de la onda incidente pasa al otro medio, refractándose.

Definición

La refracción es el cambio de dirección de propagación que experimenta la luz al pasar de un medio a otro en el que se modifica su velocidad de propagación.

Experimentalmente se comprueban las dos leyes de la refracción.

Leyes de la refracción

Ley

El rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en el mismo plano.

Ley

*La relación entre el seno del ángulo de incidencia (θ_i) y el seno del ángulo de refracción (θ_R) es la misma que la correspondiente a las respectivas velocidades de propagación en ambos medios. **ley de Snell.***

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_R} = \frac{v_i}{v_R}$$

Si expresamos la ley de Snell en función de los índices de refracción obtenemos:

$$n_i \cdot \text{sen } \theta_i = n_R \cdot \text{sen } \theta_R$$

Ángulo límite y reflexión total

De la ley de Snell se deduce que si un rayo pasa de un medio a otro de mayor índice de refracción el rayo refractado se acerca a la normal. Si lo hace a otro de menor índice de refracción se aleja de la normal, esto es, el ángulo de refracción es mayor que el de incidencia. Existirá por tanto un **ángulo límite** o crítico (θ_L) para el cual el rayo refractado salga tangente a la superficie de separación de los dos medios.

Cuando se da, a este fenómeno se le conoce como **reflexión total**, porque para ángulos de incidencia mayores al ángulo límite, el rayo no se refracta, produciéndose solo el fenómeno de la reflexión.

Dispersión de la luz

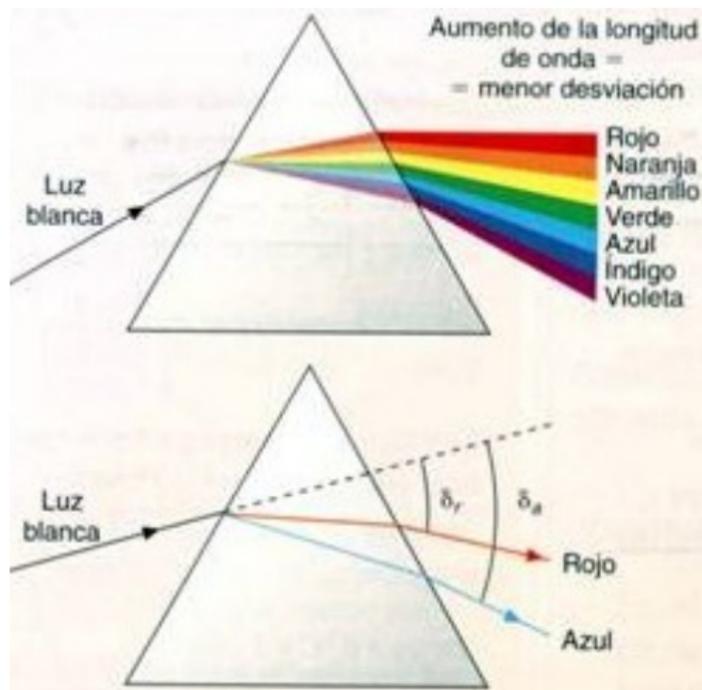
La luz es una mezcla de ondas electromagnéticas de frecuencias variables. En el vacío la velocidad de propagación es la misma, independientemente de la frecuencia. En determinados medios, sin embargo, la velocidad sí es función de la frecuencia. En general, el índice de refracción de un medio aumenta ligeramente con la frecuencia.

Cuando un medio tiene esta dependencia entre el índice de refracción y la frecuencia se dice que presenta **dispersión**.

La dispersión de la luz blanca es por tanto la separación de la luz incidente, al pasar por un medio en los distintos colores componentes que la forman, dando lugar a lo que se conoce como espectro visible de la luz blanca.

La forma más sencilla de producir el fenómeno de la dispersión es mediante un prisma óptico.

Dispersión de la luz



Vemos los objetos por la luz que refleja su superficie. El color que se percibe es el resultado que proporciona la medida que lleva a cabo el ojo y la interpretación que hace el cerebro de la luz que recibe por reflexión difusa o **difusión**.

El color de un objeto depende, pues, del tipo de luz que lo ilumine y de la naturaleza de su superficie.

Al iluminar con luz blanca un objeto que no absorbe luz, es de color blanco, ya que refleja todos los colores. Si absorbe todos los colores, es de color negro.

Dos ondas mecánicas idénticas que se superponen en el espacio producen un reagrupamiento de sus energías. Este fenómeno, conocido como **interferencia**, también se produce cuando se superponen dos ondas de luz (haces de luz) idénticas.

Para que se produzca una interferencia de forma permanente se debe cumplir que las ondas que se superpongan sean **coherentes**, (la diferencia de fase entre ellas debe ser constante), y deben poseer la misma amplitud, misma frecuencia o longitud de onda (ondas monocromáticas) y, además, las amplitudes deben tener direcciones paralelas.

Este fenómeno fue descubierto por F. M. Grimaldi y explicado mucho tiempo después por A. Fresnel. Es junto con las interferencias el fenómeno que confirmó la teoría ondulatoria de la luz.

La difracción es la desviación que sufre la propagación de la luz cuando se encuentra en su camino un obstáculo o una abertura de dimensiones comparables a las de su longitud de onda.

Polarización de la luz

El fenómeno de la polarización pone de manifiesto la naturaleza de onda transversal de la luz.

Como cualquier otra OEM la luz es una onda transversal en la que las oscilaciones del campo eléctrico y del campo magnético son perpendiculares entre sí y respecto a la dirección de propagación.

El responsable de la polarización es el campo eléctrico. Por lo general, la luz no está polarizada; el campo eléctrico vibra en infinitos planos. Si lo hiciera en una sola dirección, la luz estaría polarizada linealmente; en ese caso, vibraría en un solo plano, el plano de polarización.

La polarización se puede conseguir, generalmente, por absorción selectiva utilizando ciertas sustancias (polaroides), o mediante reflexión. En este caso, cuando el rayo reflejado y refractado en un medio forman entre sí un ángulo de 90° la luz que sale reflejada está polarizada.

La luz como cualquier otra OEM cuando incide y atraviesa un medio material, además de experimentar fenómenos como la reflexión o la refracción, parte de su energía se transforma en otros tipos de energía según diferentes procesos que dependen del tipo de radiación electromagnética y del medio material que atraviesa, denominándose **absorción** a este fenómeno.

Una de las formas en las que se puede manifestar la absorción de energía luminosa por un medio material es mediante el calentamiento que experimenta dicho medio material al ser atravesado por la luz.