

TEMA N° 7

Estudio de la Luz

Contenido Temático

- 1.- Naturaleza Dual de la Luz
 - 1.1.- Características de las ondas Electromagnéticas
- 2.- La Sombra
- 3.- Velocidad de la Luz
- 4.- Índice de Refracción Absoluto y Relativo
- 5.- Reflexión de la Luz
- 6.- Refracción de la Luz
 - 6.1.- Leyes de la Refracción
- 7.- Contaminación Lumínica

1.- Naturaleza dual de la Luz

Video: El amanecer

<http://www.youtube.com/watch?v=vKKSET91EPM&feature=related>

Video: El amanecer

<http://www.youtube.com/watch?v=kfQzaa-IoJo&feature=related>

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Naturaleza de la Luz

http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_ccnn_2/tema5/index.htm

La Luz

<http://www.educaplus.org/luz/index.html>

Estudio de la Luz

<http://www.monografias.com/trabajos5/natlu/natlu.shtml#modo>

Naturaleza de la Luz

<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Luz.htm>

Es difícil llegar a definir la **Luz**. Empezaron los griegos con su estudio y posteriormente los egipcios. Con la intervención de matemáticos y filósofos en los siglos XV-XVII los avances fueron muy importantes.

Hoy día existen dos modelos sobre la **naturaleza de la Luz**:

- a) **Modelo corpuscular.** - Según Newton la luz consiste en la **proyección o emisión** de pequeños **corpúsculos materiales** a partir del foco radiante, los cuales se propagaban a **gran velocidad** y **rectilíneamente** en todo medio **transparente** y **homogéneo**. Estos corpúsculos fueron, más tarde, llamados **Fotones** (no tienen masa).

Fenómenos perfectamente estudiados como:

TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

- 1.- La propagación de la luz.
- 2.- La reflexión de la luz.
- 3.- El efecto fotoeléctrico.

Avalan la validez del **modelo corpuscular**.

Sin embargo este modelo no es capaz de explicarnos otros fenómenos luminosos como:

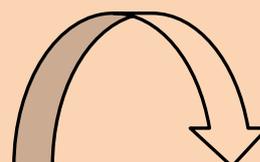
- 1.- La refracción de la luz.
- 2.- La Difracción de la luz.
- 3.- Las interferencias.

b) **Modelo ondulatorio**.- La luz se propaga en el vacío (no necesita un soporte material para su propagación) por lo que el Sr. **Maxwel** establece un modelo **ondulatorio** que tiene su origen en **vibraciones eléctricas**, las cuales producen **ondas electromagnéticas** (no implican medio material para su propagación). Más tarde **Hertz** demostró que las **ondas luminosas** tienen las mismas características que las **ondas electromagnéticas** (explican los fenómenos luminosos que el modelo corpuscular no podía hacerlo).

De momento podemos establecer:

a) La **luz** es una **radiación** que se propaga en forma de **onda** sin necesidad de un **soporte material**. Se puede propagar en el vacío

b) Las **ondas** que se pueden propagar en el vacío se llaman **Ondas Electromagnéticas**



En consecuencia:

La **luz** utiliza para su propagación **ondas electromagnéticas** y está constituida por partículas elementales, carentes de masa, y que se conocen como "**Fotones**".

Hasta el momento hemos establecido dos modelos para la naturaleza de la **Luz** (**corpúscular** y **ondulatorio**) y los dos explican fenómenos luminosos, es decir, los dos modelos son **válidos**.

Louis de Broglie y **Schrödinger** en 1926 logran unificar los dos modelos iniciales (onda y corpúsculo), aparentemente contradictorios, aceptando el hecho de que la **Luz** parece tener una doble naturaleza: **Corpúscular** y **Ondulatoria**.

1.1.- Características de las ondas electromagnéticas

- Las **ondas electromagnéticas** se propagan en el vacío a la velocidad de **300000 km/s** ($c = 300000 \text{ km/s}$).

TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

- La velocidad de la luz en el vacío **no puede ser superada** por de ningún otro movimiento existente en la naturaleza. En cualquier otro medio, la velocidad de la luz es inferior.

- La **energía transportada por las ondas** es proporcional a su **frecuencia**, de modo que **cuanto mayor** es la frecuencia de la onda, **mayor es su energía**.

Ejercicio resuelto

Una radiación emitida por una lámpara de vapor de sodio tiene una longitud de onda, en el vacío, de 589 nm (nanómetros). Calcula la frecuencia de esta radiación.

Dato: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

Resolución

Datos:

$c =$ Velocidad de la Luz

$$\lambda = 589 \text{ nm} \cdot (10^{-9} \text{ m} / 1 \text{ nm}) = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Recordemos:

$$\lambda = c / f \rightarrow f = c / \lambda$$

$$f = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} / 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 0,50 \text{ 1/s} = 0,50 \text{ Hz}$$

Ejercicio resuelto

¿Cuál es la longitud de onda de una emisora de radio que emite con una frecuencia de 100 MHz. ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

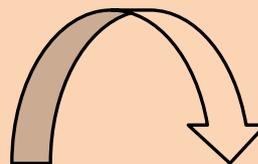
AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Resolución:

$$f = 100 \text{ MHz} \cdot (10^6 \text{ Hz} / 1 \text{ MHz}) = 10^8 \text{ Hz}$$

$$\lambda = c / f$$

$$\lambda = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} / 10^8 \text{ (1/s)} = 3 \text{ m}$$



2.- La Sombra

¿Quién Soy?

Nunca podrás alcanzarme,
aunque corras tras de mí,
y por más que quieras irte,
siempre estaré junto a ti

Solución:¿ ?

Una **sombra** es una región de **oscuridad** donde la **luz** es obstaculizada. Una sombra ocupa todo el **espacio** detrás de un objeto **opaco** (no deja pasar la luz) con una fuente de luz frente a él.

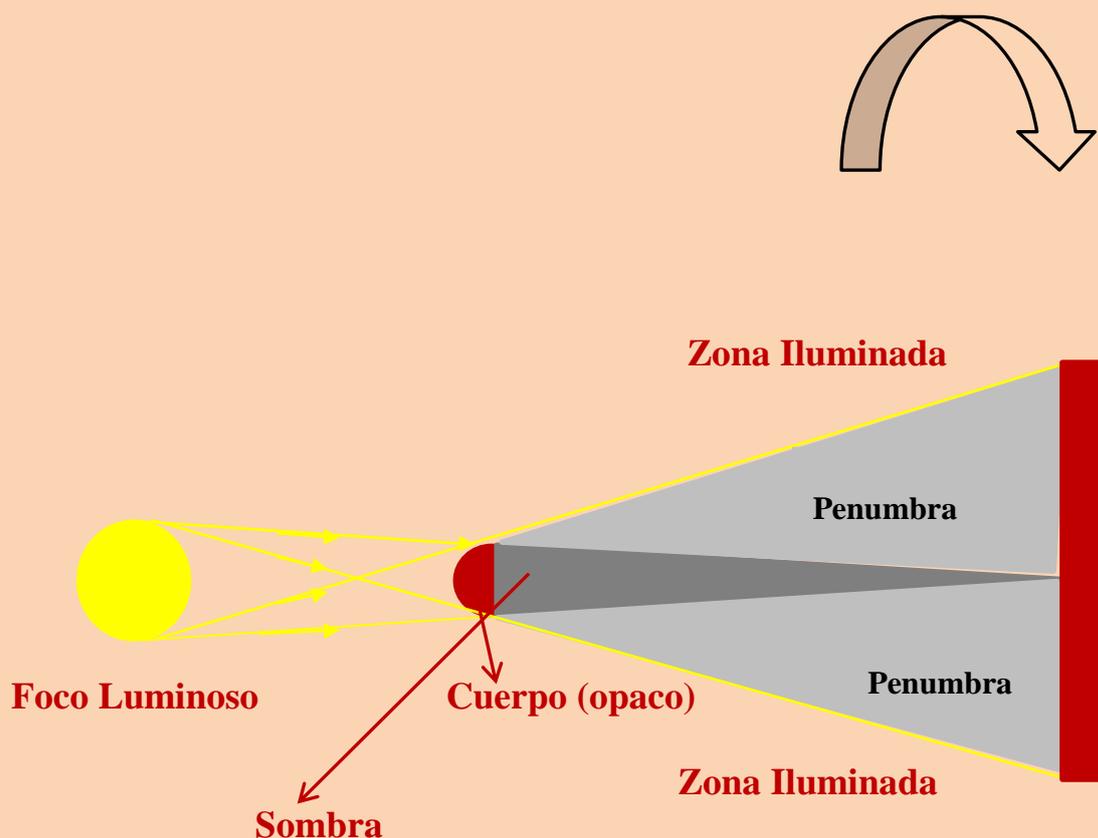
La **sombra** es **consecuencia** de la **propagación rectilínea** de la **Luz**.

Supongamos la siguiente experiencia: Tenemos un **foco luminoso** y delante de él colocamos un cuerpo que no deje

TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

pasar la luz (opaco), colocamos una pantalla y observamos que detrás del cuerpo aparecen diferentes zonas: **Dibujo (1)**



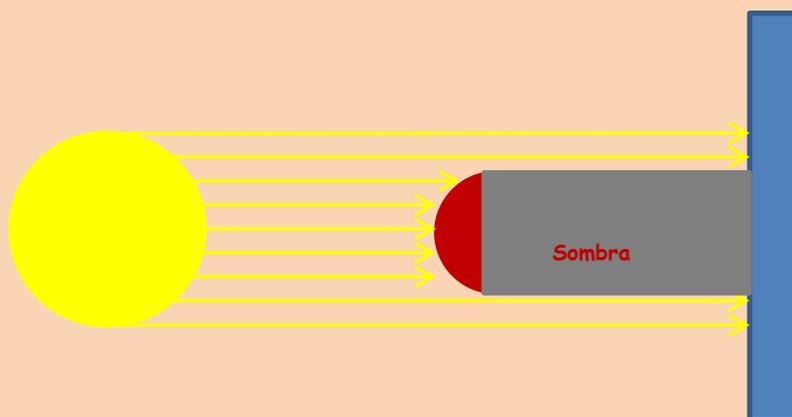
La **línea recta** que representa la **dirección** y el **sentido** de la propagación de la luz se denomina **rayo de luz**. Se trata de una línea **sin grosor**. No debemos confundir el **rayo de luz** con un **haz de luz** que sí tiene grosor.

En base a la distancia entre el foco luminoso y el objeto nos podemos encontrar con las siguientes situaciones:

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

- a) Si un foco, grande o pequeño, de luz se encuentra muy lejos de un objeto produce sombras nítidas



- b) Si un foco grande se encuentra cercano al objeto, se formará sombra donde no lleguen los rayos procedentes de los extremos del foco y penumbra donde no lleguen los rayos procedentes de un extremo pero sí del otro
[Dibujo (1)]

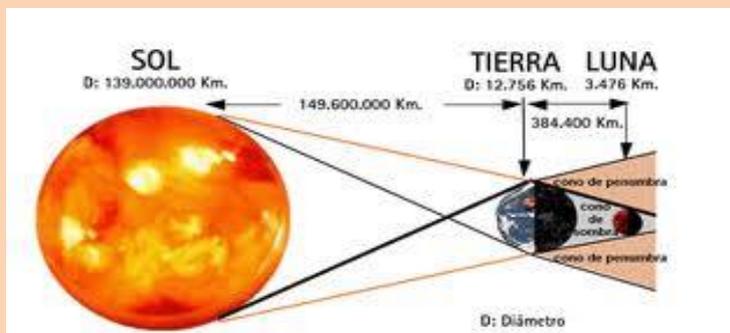
Un **eclipse**, por ejemplo de Sol, también nos demostraría que la Luz se propaga en línea recta. También aparece la zona de **Sombra** y de **Penumbra**.

Video: Eclipse Solar

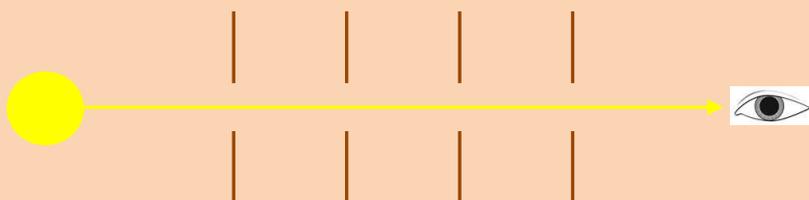
m.youtube.com/watch?v=or_txDXrUg

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

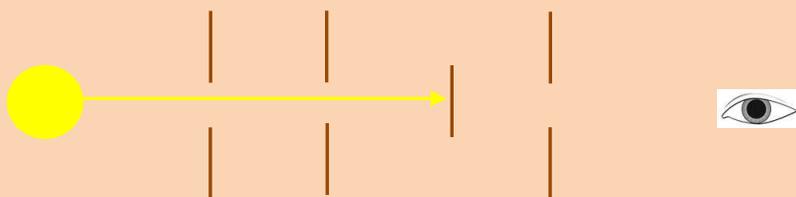
AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es



Otra experiencia consiste en poner un foco luminoso y varios cartones con un orificio en su parte central. Si los orificios se encuentran alineados un observador podrá ver la Luz:



Si uno de los cartones no está alineado, el observador no podrá ver la Luz:



3.- Velocidad de la Luz

Batallita:

Año: 1975

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Ciudad: Cartagena

Localización: Cuartel de Artillería de Campaña N° 32

Sitio: Garita de vigilancia

Turno de Guardia: 6:00 - 8:00 h

Soldado de Guardia: A. Zaragoza López

Noto que me tocan en el hombro, estando en el camastro durmiendo, y el Cabo de Guardia me comunica que era mi turno. Me levanto y formo, con el resto de soldados que entrabamos de guardia, en la puerta del Cuerpo de Guardia. Todos en fila y conducidos por el Cabo vamos siendo depositados en las garitas correspondientes. Cuando estaba ya depositado me puse cómodo y miré hacia el cielo, negro y con muchas estrellas. Era un momento de paz dentro de ese mundo del juego de la guerra. Iba pasando el tiempo, hacía frio, se estaba bien a pesar de la hora. Fui observando como esa oscuridad intensa iba cambiando, aparecían los primeros claros del día, y hablando para mí dije: **esa claridad ha llegado a la Tierra con una velocidad de 300.000 Km/s y ha recorrido 149.600.000 Km en un tiempo de 8 minutos 30 s.**

Daros cuenta, **velocidad de la Luz 300.000 Km/s**. Es un número inmenso, se escapa a mi poca inteligencia, pero ahí está, ese es el valor de la velocidad de la Luz ($c = 300000$ Km/s).

Video: Experimento de Michelson y Morley para determinar la velocidad de la Luz (1ª Parte)

http://www.youtube.com/watch?v=axBQOZt_3Ww

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Video: Experimento de Michelson y Morley para determinar la velocidad de la Luz (2ª Parte)

<http://www.youtube.com/watch?v=6-2HcBtIM-U&feature=related>

Video: Experimento de Michelson y Morley para la determinación de la velocidad de la Luz (Parte final)

<http://www.youtube.com/watch?v=CkvzleK5sBw&feature=related>

En el cuadro siguiente se establecen los científicos que trabajaron en el cálculo de la velocidad de la luz:

AÑO	INVESTIGADOR	RESULTADO
1675	Roemer	300.000 Km/s
1728	Bradley	Ídem
1849	Fizeau	Ídem
1862	Focault	Ídem
1926	Michelson y Morley	299.796 Km/s

Actualmente se acepta como valor más exacto para la velocidad de la Luz, en el aire y en el vacío de:

$$c = 299.776 \pm 4 \text{ Km/s (Error Absoluto } \pm 4 \text{ Km/s)}$$

La interpretación de este dato es la siguiente: La velocidad de la Luz en el vacío y en el aire es de 299.776 Km/s pero puede ser aumentado o disminuido en 4 Km/s.

El valor de la velocidad de la Luz queda más aceptado teniendo presente las conclusiones de Einstein y reflejadas en

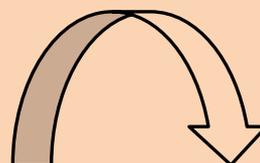
TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

su **Teoría de la Relatividad**: postuló la necesidad de suponer **constante la velocidad de la Luz de 300.000 Km/s en el vacío**, independientemente de que el foco luminoso o el observador estén en **reposo** o en **movimiento**. Además estableció que esta velocidad, 300.000 Km/s, es el valor **Máximo de Velocidad en nuestro Universo**.

La velocidad de la Luz en diferentes medios en m/s:

$$c = 300.000 \text{ Km/s} = 300000 \text{ Km/s} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ Km}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$
$$= 300000000 \text{ m/s}$$



<u>MEDIO</u>	<u>VELOCIDAD (m/s)</u>
Vacío	299.792.458
Aire	299.705.543
CO ₂	299.672.589
Hielo	228.849.205
Agua	244.844.349
Alcohol	220.435.631
Cuarzo	194.166.099
Diamante	124.034.94

Ejercicio resuelto

¿Qué tiempo tardaría la luz en ir de la Tierra a la Luna, si la distancia entre ambos cuerpos celestes es 380.000 km?

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Resolución

Datos:

$$V_{\text{luz}} = 300000 \text{ Km/s}$$

$$e = 380000 \text{ Km}$$

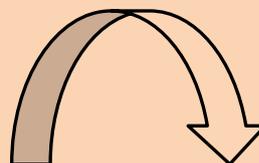
Seguimos trabajando en Km como unidad de longitud y segundo como unidad de tiempo.

$$c = e / t$$

Despejando "t":

$$t = e / c$$

$$t = 380000 \text{ Km} / 300000 \text{ (Km/s)} = 1,27 \text{ s}$$



Ejercicio resuelto

La luz amarilla tiene una longitud de onda de unos 580 nm.
Calcula su frecuencia y su período.

DATO: $V_{\text{luzamarilla}} = 299700 \text{ Km/s}$

Resolución

$$\lambda = 580 \text{ nm} = 580 \text{ nm} \cdot \frac{10^{-9} \text{ m}}{1 \text{ nm}} = 580 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

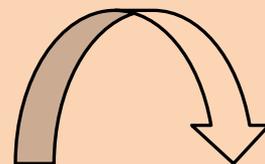
$$V_{\text{luzamarrilla}} = 299700 \frac{\cancel{\text{Km}}}{\text{s}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \cancel{\text{Km}}} = 2,997 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$V = \lambda / T \rightarrow T = \lambda / V$$

$$T = (580 \cdot 10^{-9} \cancel{\text{m}}) / (2,997 \cdot 10^8 \cancel{\text{m/s}}) = 193,53 \cdot 10^{-17} \text{ s}$$

$$f = 1 / T$$

$$f = 1 / (193,53 \cdot 10^{-17} \text{ s}) = 0,0052 \cdot 10^{17} (1/\text{s}) = \\ = 5,2 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$$



Ejercicio resuelto

¿A qué frecuencias corresponden las longitudes de onda que marcan los límites para la luz visible?

(Recuerda que $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

DATOS: $\lambda_1 = 380 \text{ nm}$; $\lambda_2 = 780 \text{ nm}$

Resolución

Para λ_1 :

$$\lambda_1 = 380 \cancel{\text{nm}} \cdot \frac{10^{-9} \text{ m}}{1 \cancel{\text{nm}}} = 380 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$V_{\text{luz}} = \lambda_1 \cdot f_1$$

$$f_1 = V_{\text{luz}} / \lambda_1 = (3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (380 \cdot 10^{-9} \text{ m}) = \\ = 7,8 \cdot 10^{14} \text{ 1/s} = 7,8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Para λ_2 :

$$\lambda_2 = 780 \text{ nm} \cdot \frac{10^{-9} \text{ m}}{1 \text{ nm}} = 780 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$f_2 = V_{\text{luz}} / \lambda_2 = (3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / 780 \cdot 10^{-9} \text{ m} = \\ = 3,8 \cdot 10^{14} \text{ 1/s} = 3,8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Ejercicio resuelto

Un trueno se oye 5,2 segundos después de producirse el relámpago. ¿A qué distancia se ha producido esta descarga eléctrica?

Resolución

Tiempo en verse el relámpago = $t = 5,2 \text{ s}$

$$V_{\text{luz}} = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)}$$

$$e = V_{\text{luz}} \cdot t$$

$$e = (3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) \cdot (5,2 \text{ s}) = 15,6 \cdot 10^8 \text{ m}$$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$e = 15,6 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ Km}}{1000 \text{ m}} = 15,62 \cdot 10^5 \text{ Km}$$

Problema resuelto

Si ves un relámpago y a los 15 segundos oyes el trueno deduces que, aproximadamente, la tormenta se encuentra a:

- a) 5100 m c) 22,6 km
b) 5,1 km d) 0,044 km

Resolución

Los 15 s es el tiempo que tarda en oírse el sonido. Respecto al tiempo que se tarda en verse la luz, el problema no dice nada. Resolveremos el problema atendiendo solamente al sonido.

Para el sonido:

$$V_{\text{sonido}} = 340 \text{ m/s}$$

$$t = 15 \text{ s}$$

$$e = V_{\text{sonido}} \cdot t = 340 \text{ m/s} \cdot 15 \text{ s} = 5100 \text{ m}$$

Solución: apartado a)

4.- Índice de Refracción Absoluto y Relativo

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Sabemos que la Luz se propaga con **Movimiento Rectilíneo y Uniforme** no sólo en el vacío, sino también en cualquier medio transparente **Isótropo** (las propiedades físicas del medio son idénticas en todas las direcciones) y **Homogéneo** (un medio en que sus propiedades son constantes en cualquier lugar del mismo).

Os habéis dado cuenta lo **feos** que estamos al levantarnos y mirarnos en el espejo. El espejo **no engaña** y además confirma que todas las **chicas son muy Guapas**. Bromas aparte, tenemos que estudiar el **hecho de vernos en el espejo**. Se trata de un fenómeno que realiza la Luz. Para estudiar este fenómeno necesitamos establecer lo que se llama **Índice de Refracción Absoluto e Índice de Refracción Relativo**.

El **Índice de Refracción Absoluto "n"** de un medio transparente es la **relación entre la velocidad de la luz en el vacío "c" y la velocidad "v" que tiene en ese medio**.

Matemáticamente:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

c = velocidad de la luz en el vacío

v = velocidad de la luz en el medio considerado

El valor de **"n"** siempre es **superior a la unidad y no tiene unidades**:

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$n = \frac{\cancel{\text{(Km/s)}}}{\cancel{\text{(Km/s)}}} = \text{Las unidades se eliminan mutuamente}$$

El índice de **Refracción Absoluto**, "n", nos determina el número de veces que es **mayor la velocidad de la Luz en el vacío** que la **velocidad en el medio considerado**.

Podemos establecer una tabla para valores de Índice de Refracción Absoluto, para diferentes medios:

<u>Material</u>	<u>Índice de Refracción</u>
Vacío	1
Aire	1,0002926
Agua	1,3330
Cuarzo	1,544
Vidrio	1,52
Diamante	2,42

Si tenemos tabulados los Índices de refracción Absoluto de un medio en concreto siempre podremos conocer la velocidad de la Luz en ese medio:

Con la ecuación (1):

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Despajamos "c":

TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$c = n \cdot V_{\text{medio}}$$

Supongamos como medio el vidrio, su "n" es de 1,52:

$$n = c / V_{\text{vidrio}}$$

$$1,52 = c / V_{\text{vidrio}} \rightarrow c = 1,52 \cdot V_{\text{vidrio}}$$

El **Índice de Refracción Relativo** de un medio respecto a otro es el **cociente entre sus respectivos Índices de Refracción Absoluto**. Matemáticamente:

$$\text{Medio 1} : n_1 ; v_1$$

$$\text{Medio 2} : n_2 ; v_2$$

$$n_1 = c/v_1 \quad (1)$$

$$n_2 = c/v_2 \quad (2)$$

El **Índice de Refracción Relativo del Medio 1** con respecto al **Medio 2**:

$$n_{1,2} = n_1 / n_2 \quad (3)$$

Llevando a la ecuación (3) los valores de de las ecuaciones (1) y (2):

$$n_{1,2} = (\cancel{c}/v_1) / (\cancel{c}/v_2)$$

$$n_{1,2} = v_2/v_1$$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Ejercicio resuelto

Siendo las velocidades de la luz: 300.000 km/s en el vacío; 225.000 km/s en el agua, y 199.000 km/s en el vidrio, calcular:

- El índice de refracción absoluto del vidrio y del agua.
- El índice de refracción relativo del vidrio respecto al agua.

Resolución

a)

Para el agua

Recordar:

$$n_1 = c / V_{\text{agua}}$$

$$n_1 = (300000 \text{ Km/s}) / (225000 \text{ Km/s}) = 1,33$$

Para el vidrio

$$n_2 = c / V_{\text{vidrio}}$$

$$n_2 = 300000 \text{ Km/s} / 199000 \text{ Km/s} = 1,507$$

b)

El índice de refracción del vidrio respecto al agua valdrá:

$$n_{21} = n_2 / n_1$$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$n_{21} = 1,507 / 1,33 = 1,13$$

Ejercicio resuelto

El índice de refracción del agua respecto al aire es 4/3. ¿Con qué velocidad se propaga la luz en el agua?

Dato: $V_{\text{luzaire}} = 299705,54 \text{ Km/s}$

Resolución

Recordar que:

$$n_{\text{agua}} = c/v_{\text{luzagua}} \quad (1)$$

$$n_{\text{aire}} = c/v_{\text{luzaire}} \quad (2)$$

Por otra parte:

$$n_{\text{agua,aire}} = n_{\text{agua}} / n_{\text{aire}} \quad (3)$$

Llevando a la ecuación (3) los valores de de las ecuaciones (1) y (2):

$$n_{\text{agua,aire}} = (\cancel{c}/v_{\text{luzagua}}) / (\cancel{c}/v_{\text{luzaire}})$$

$$n_{\text{agua,aire}} = v_{\text{luzaire}}/v_{\text{luzagua}}$$

Según datos:

$$4/3 = v_{\text{luzaire}}/v_{\text{luzagua}}$$

$$v_{\text{luzagua}} = v_{\text{luzaire}} / (4/3)$$

$$v_{\text{luzagua}} = 3 \cdot v_{\text{luzaire}} / 4 = (3 \cdot 299705,54 \text{ km/s}) / 4 =$$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$= 224778,75 \text{ Km/s}$$

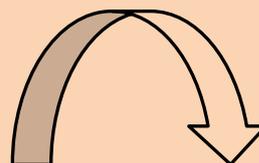
Ejercicio resuelto

Un rayo de luz de 5.000 angstrom (10^{-10} m) de longitud de onda en el aire penetra en el agua ($n = 1,333$). ¿Cuál es su frecuencia en el agua? ¿Y su longitud de onda?

Resolución

$$\lambda_0 = 5000 \text{ Angs} \cdot \frac{10^{-10} \text{ m}}{1 \text{ Angs}} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$f = c/\lambda_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} / 5 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 6 \cdot 10^{14} \text{ 1/s (Hz)}$$



La longitud de onda en el agua será:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{agua}} &= c/f = (c/n) / (c/\lambda_0) = \lambda_0 / n = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m} / 1,333 = \\ &= 3,75 \cdot 10^{-7} \text{ m} \end{aligned}$$

Ejercicio resuelto:

TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

¿Qué distancia recorrería un automóvil que lleva una velocidad de 90 km/h mientras la luz recorre una distancia igual a la circunferencia de la Tierra?

DATO: Longitud de la circunferencia de la Tierra = 40000 Km

Resolución

El tiempo que tarda la luz en recorrer la longitud de la circunferencia de la tierra lo calcularemos mediante Cinemática:

$$e = V \cdot t$$

$$t = e/c$$

$$t = 4 \cdot 10^7 \text{ m} / 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} = 0,133 \text{ s}$$

Cambio de unidades:

$$V = 90 \text{ Km/h} \cdot (1000 \text{ m} / 1 \text{ Km}) \cdot \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) = 25 \text{ m/s}$$

En este tiempo el coche recorre una distancia:

$$e = V \cdot t = 25 \text{ m/s} \cdot 0,133 \text{ s} = 3,325 \text{ m}$$

Ejercicio resuelto

¿Cuál es la velocidad de la luz en un medio de índice de refracción 1,36?

Resolución

$$n = c / V$$

TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$V = c / n$$

$$V = (3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / 1,36 = 2,2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Ejercicio resuelto

La velocidad de la luz a través de un medio transparente es 150 000 km/s. ¿Cuánto vale el índice de refracción de ese medio?

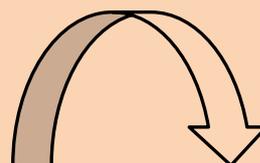
Resolución

Cambio de unidades:

$$V = 150000 \text{ Km/s} \cdot (1000 \text{ m} / 1 \text{ Km}) = 15 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

$$n = c / V$$

$$n = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} / 15 \cdot 10^7 \text{ (m/s)} = 0,2 \cdot 10 = 2$$



Ejercicio resuelto

Si un medio transparente tiene índice de refracción 2, la luz se propaga en él con una velocidad:

- a) Doble que en el vacío
- b) Mitad que la del vacío
- c) Igual que en el vacío pero con la mitad de longitud de onda
- d) Doble que en el vacío y con doble longitud de onda.

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Resolución

Recordemos:

$$n = c/V \rightarrow V = c/n$$

$$V = (30000 \text{ Km/s}) / 2 = 150000 \text{ Km/s}$$

Apartado correcto: **b)**

Ejercicio resuelto

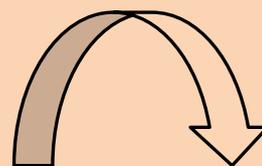
Determine la velocidad de propagación y en el interior de una fibra de cuarzo cuyo índice de refracción es $n = 3/2$.

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

Resolución

$$n = c/V \rightarrow V = c/n$$

$$V = (300000000 \text{ m/s}) / (3/2) = 600000000/3 \text{ m/s} = \\ = 200000000 \text{ m/s}$$



Ejercicio resuelto:

El espectro visible contiene frecuencias entre $4 \cdot 10^{14}$ y $7 \cdot 10^{14}$ Hz. a) Determine las longitudes de onda correspondientes a dichas frecuencias en el vacío. b) Determinar la velocidad de la luz en el agua cuyo Índice de Refracción $n = 4/3$.

a)

TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Vacío

$$f_1 = 4 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \rightarrow$$

$$\lambda_1 = c/f$$

$$\lambda_1 = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} / 4 \cdot 10^{14} \text{ (1/s)} = 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$f_2 = 7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\lambda_2 = c/f$$

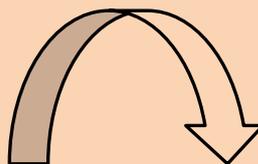
$$\lambda_2 = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} / 7 \cdot 10^{14} \text{ (1/s)} = 0,43 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

b)

Agua

$$n = c / V_{\text{agua}}$$

$$V_{\text{agua}} = c / n = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} / (4/3) = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



5.- Reflexión de la Luz. Leyes

Video: Reflexión de la Luz

<http://www.youtube.com/watch?v=6THGpyuhFK4>

Reflexión de la Luz

<http://www.educaplus.org/luz/reflexion.html>

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Reflexión de la Luz

<http://www.educar.org/enlared/planes/optica/reflexion.htm>

Reflexión de la Luz

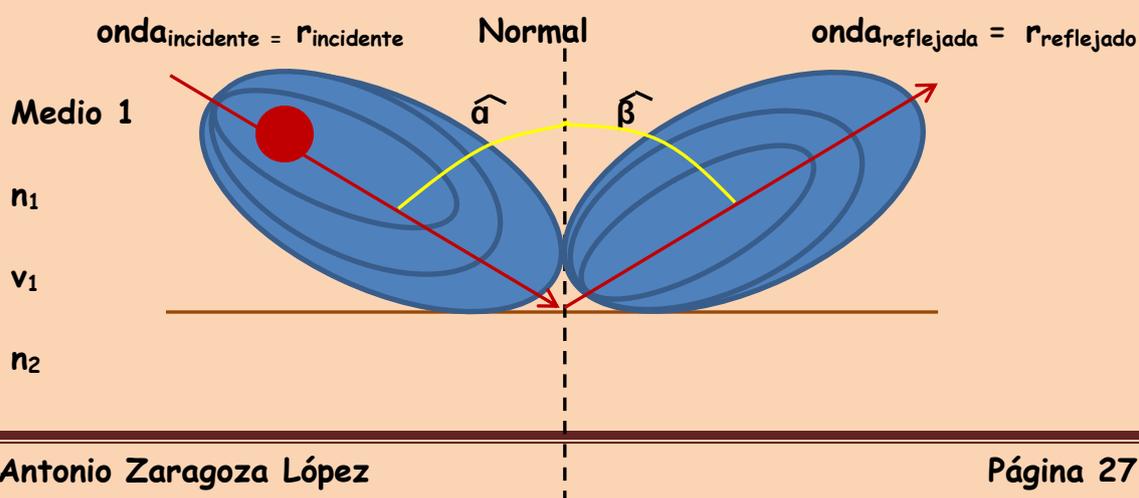
<http://definicion.de/reflexion-de-la-luz/>

Según visto y leído podemos decir:

La **reflexión** (en el ámbito de la Física) es el **cambio de dirección** de un **rayo** o **una onda** que ocurre en la **superficie de separación entre dos medios**, de modo que regresa al medio inicial.

En el fenómeno de la Reflexión nos encontramos con:

- Dos medios de transmisión de la onda (rayo de luz)
- Una superficie de separación de los dos medios
- Una onda incidente
- Una onda reflejada
- Un ángulo de incidencia α
- Un ángulo de reflexión β
- La Normal



TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

v_2

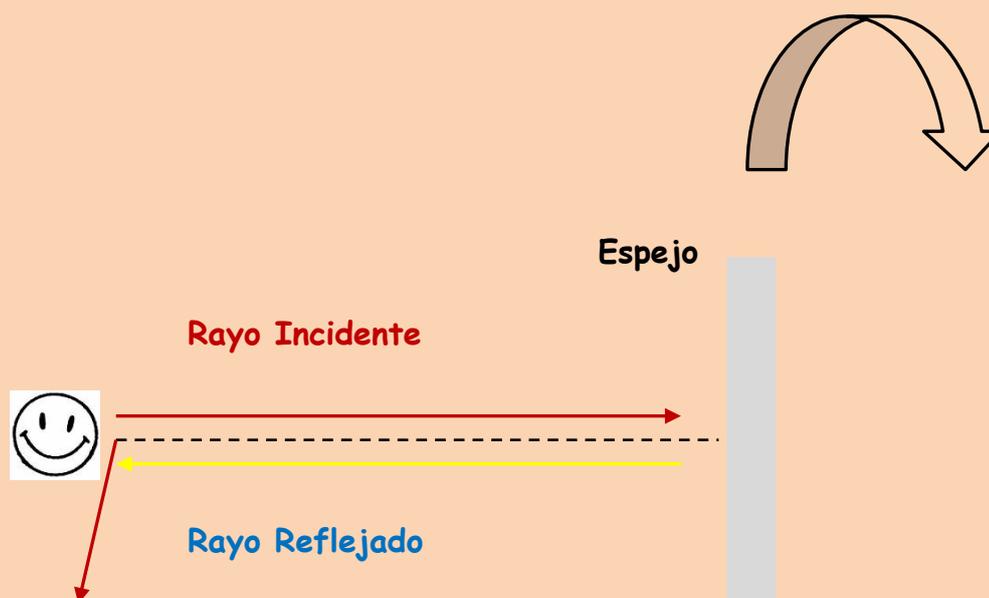
Medio 2

Podemos observar que la reflexión se está realizando en un **mismo medio** (Medio 1), teniendo dicho medio, un Índice de Refracción Absoluta, " n_1 ", que determina que la velocidad de la luz permanece constante, " v_1 ", en dicho medio.

El ángulo de **incidencia**, " α ", y de reflexión, " β ", **son iguales**.

Dependiendo de la naturaleza de la superficie de separación, existen dos tipos de reflexión de la luz:

- La reflexión especular.**- Es aquella que se produce cuando la superficie reflejante es lisa, los rayos reflejados son paralelos a los rayos incidentes, por lo que regresa mostrando la imagen:



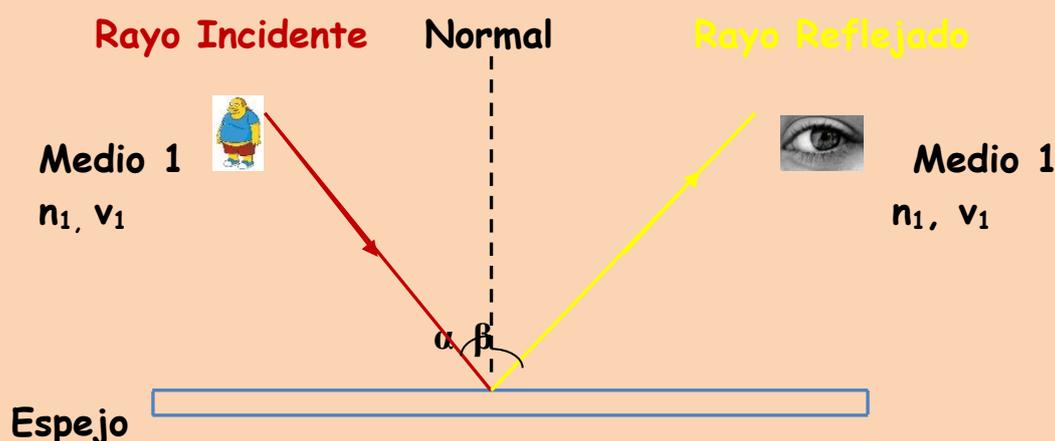
TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Normal

Cuando el rayo incidente **no es perpendicular al espejo** Las leyes de la **reflexión especular** exigen:

- El **rayo (onda) que incide, el rayo reflejado y la normal** con relación a la superficie de reflexión en el punto de incidencia, **deben estar en el mismo plano**
- El ángulo formado entre el **rayo incidente** y la **normal es igual** al ángulo que existe entre el **rayo reflejado** y la misma **normal**.



Cuando la **onda incidente** se refleja en una superficie **no lisa**, es decir, **áspera** o **irregular**, la **onda incidente** y la **reflejada** **no son paralelas** y solo se puede ver la superficie iluminada.

Las experiencias explicadas hasta el momento constituyen las Leyes de la Reflexión que se pueden resumir en:

- El **rayo incidente**, el **reflejado** y la **normal** están en un mismo plano

TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

b) El **ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión**

Matemáticamente:

$$\text{Si } \alpha = \beta \rightarrow \text{sen } \alpha = \text{sen } \beta$$

6.- Refracción de la Luz. Leyes

Para poder seguir con el Tema quiero que hagáis en casa la siguiente experiencia: Medio llenar de agua el lavabo del cuarto de aseo e introducir en el agua hasta la mitad de un peine. **¿Qué observáis?**

La longitud del peine se ha reducido

¿El agua tiene la propiedad de cortar objetos?

NO

Lo que ha ocurrido es que el **rayo incidente** ha pasado al segundo medio. En este segundo miembro hay un **Índice de Refracción** distinto y una velocidad **distinta** a la que **existía en el primer medio**. Se ha producido el fenómeno de la **Refracción de la Luz**.

Video: Refracción de la Luz

[http://www.youtube.com/watch?v= MVvkcOmHC4](http://www.youtube.com/watch?v=MVvkcOmHC4)

Refracción de la Luz

<http://www.educaplus.org/luz/refraccion.html>

TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

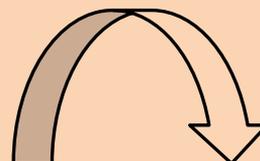
Refracción de la Luz

http://edison.upc.edu/curs/llum/luz_vision/luz.html#refraccio
[n](http://www.quimiziencia.es)

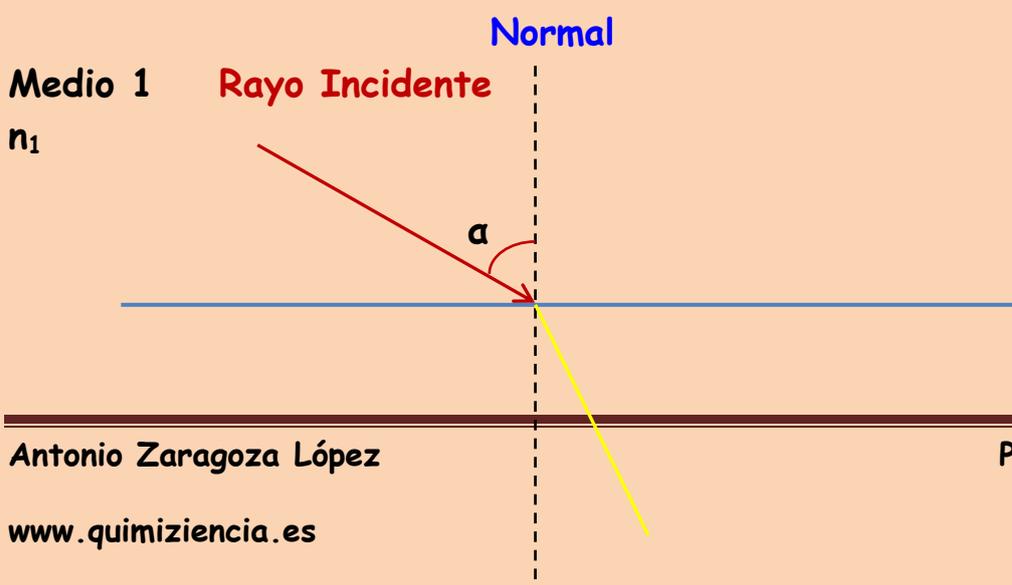
La **refracción** es el cambio de dirección y sentido que experimenta una **onda** (la Luz) al pasar de un **medio material** a **otro**. Sólo se produce si:

- La onda incide **oblicuamente** sobre la superficie de separación de los dos medios
- Los medios tienen **índices de refracción** distintos

La refracción se origina en el cambio de **velocidad** de propagación de la onda.



Esquema de la refracción:



TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

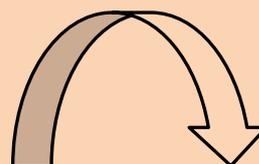


α = Ángulo de Incidencia

β = Ángulo de Refracción

De **forma cualitativa** podemos concluir:

- Si un rayo pasa de un **medio de menor índice** (mayor velocidad) de refracción a otro medio de **mayor índice de refracción** (menor velocidad), **se acerca a la Normal**
- Si el rayo pasa de un medio de **mayor (menor velocidad) índice** a otro de **menor índice** (mayor velocidad), **se aleja de la Normal**



Como ejemplos del fenómeno de la refracción de la Luz tenemos:

- Al introducir una varilla o un bastón en el agua aparenta estar quebrado
- La profundidad de una piscina aparece menor de lo que es realmente

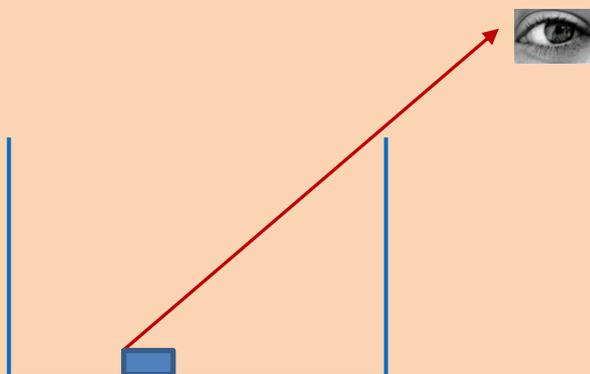
TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

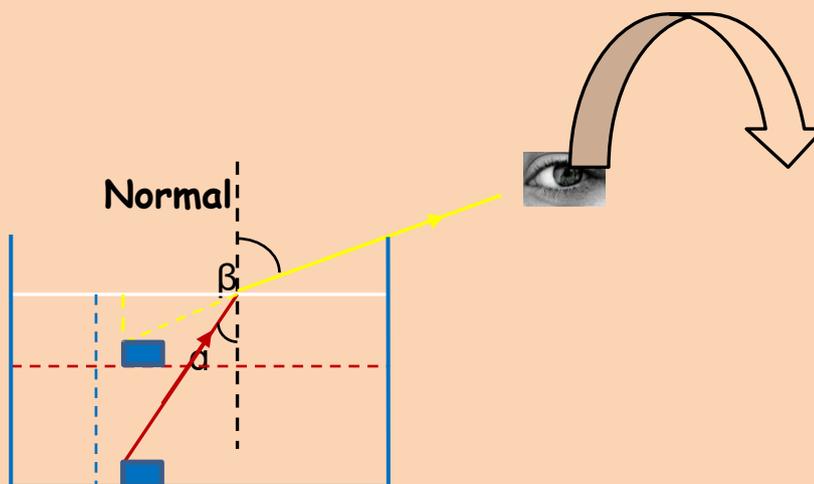
- Una moneda colocada en el fondo de un recipiente se observa **más cerca** de la superficie del agua.

Supongamos la siguiente experiencia:

Pongamos en el fondo de un recipiente vacío una moneda. La moneda manda su imagen mediante la luz al ojo de un observador:



Si añadimos agua al recipiente el rayo que sale de la moneda va a pasar de un medio acuoso al aire. Los índices de Refracción Absolutos son distintos y se produce:



Se ha producido el fenómeno de la **refracción de la luz** y la moneda **aparenta estar más cerca** de la superficie del líquido.

Cuando la luz se refracta cambia de dirección porque se propaga con distinta **velocidad** en el nuevo medio. La **frecuencia de la vibración no varía al pasar de un medio a otro**, lo que **cambia es la longitud de onda** de la luz como consecuencia del **cambio de velocidad**.

Un **rayo incidente** cambia **más o menos de dirección** según el **ángulo con que incide** y según la relación de los **índices de refracción** de los medios por los que se mueve.

6.1.- Leyes de la Refracción

1.- El **rayo incidente**, el **refractado** y la **normal** están en un mismo plano

2.- La **relación entre los senos** de los ángulos de incidencia y de refracción es igual a la **relación entre los respectivos valores de la velocidad de la Luz** en ambos medios:

Matemáticas:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1)$$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Como:

$$v_1 = c/n_1 \quad ; \quad v_2 = c/n_2$$

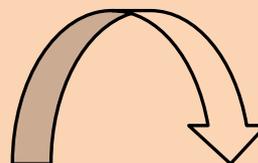
Nos vamos a la ecuación (1):

$$\frac{\cancel{c}}{\text{sen } \alpha} = \frac{\cancel{c}}{\text{sen } \beta} \cdot \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

Quitamos denominadores:

$$n_1 \cdot \text{sen } \alpha = n_2 \cdot \text{sen } \beta \quad \text{Ecuación de Snell}$$



Problema resuelto

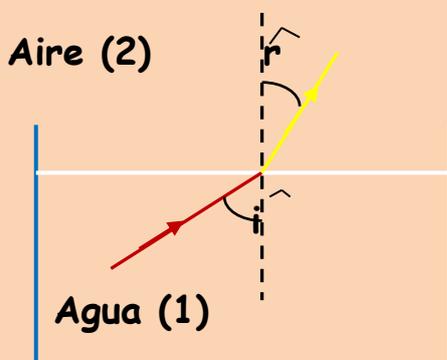
Un rayo pasa del agua al aire con un ángulo de incidencia de 30° respecto a la normal. Dibuje en un esquema los rayos incidente y refractado y calcule el ángulo de refracción.

DATOS: $n_{\text{agua}} = 1,333$; $n_{\text{aire}} = 1$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Resolución



$$i = 30^\circ$$

$$n_{\text{agua}} = 1,333$$

$$n_{\text{aire}} = 1$$

Mediante la ley de Snell:

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$$

$$n_{\text{agua}} \cdot \text{sen } i = n_{\text{aire}} \cdot \text{sen } r$$

$$1,333 \cdot \text{sen } 30^\circ = 1 \cdot \text{sen } r$$

$$1,333 \cdot 0,5 = 1 \cdot \text{sen } r$$

$$\text{sen } r = (1,333 \cdot 0,5) / 1 = 0,665$$

$$r = 41,8^\circ$$

Ejercicio resuelto

Una onda electromagnética tiene en el vacío una longitud de onda de $5 \cdot 10^{-7}$ m. a) Determine la frecuencia. b) Si dicha onda entra en un determinado medio, su velocidad se reduce

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

a $3c/4$. Calcule el índice de refracción del medio. c) Determine la frecuencia y la longitud de onda del nuevo medio. $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

Resolución

a)

$$\lambda_{\text{vacío}} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = c / f ;$$

$$f = c / \lambda = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} / 5 \cdot 10^{-7} \text{ (m)} = 6 \cdot 10^{14} \text{ 1/s} = \\ = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

b)

$$V_{\text{medio}} = 3 c / 4$$

$$n = c / V_{\text{medio}}$$

$$n = c / (3 \cdot c / 4) = 4/3 = 1,333$$

c)

La frecuencia no cambia con respecto al primer medio, luego:

$$f = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\lambda = V_{\text{medio}} / f \quad (1)$$

Debemos conocer antes la V_{medio} :

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$n = c / V_{\text{medio}}$$

$$V_{\text{medio}} = c / n$$

$$V_{\text{medio}} = (3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / 1,333 = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Volviendo a (1):

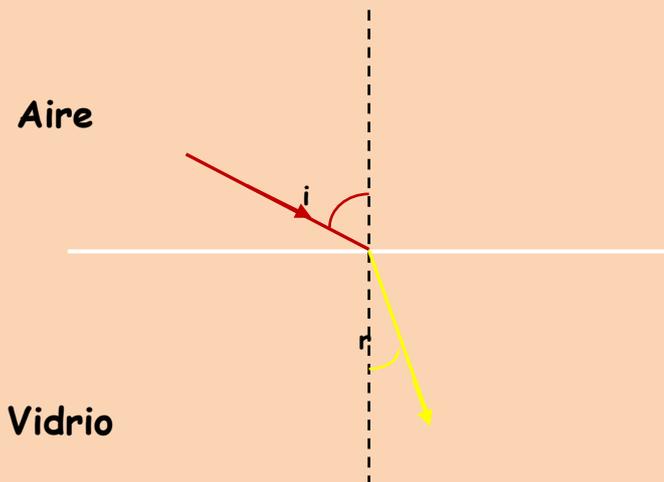
$$\begin{aligned} \lambda &= 2,25 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} / 6 \cdot 10^{14} \text{ (1/s)} = 0,375 \cdot 10^{-6} \text{ m} = \\ &= 3,75 \cdot 10^{-7} \text{ m} \end{aligned}$$

Ejercicio resuelto

Un haz de luz roja penetra en una lámina de vidrio con un ángulo de incidencia de 45° . Determine el ángulo de refracción.

$$n_{\text{vidrio}} = 1.3 \quad ; \quad n_{\text{aire}} = 1$$

Resolución



$$n_{\text{aire}} \cdot \text{sen } i = n_{\text{vidrio}} \cdot \text{sen } r$$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$1 \cdot \text{sen } 45^\circ = 1,3 \text{ sen } r$$

$$\text{sen } r = 1 \cdot \text{sen } 45^\circ / 1,3 = 0,7 / 1,3 = 0,54$$

$$r = 32,7^\circ$$

Ejercicio resuelto

Un rayo de luz monocromática emerge desde el interior de un bloque de vidrio hacia el aire. Si el ángulo de incidencia es de $19,5^\circ$, y el de refracción de 30° .

Determine el índice de refracción y la velocidad de propagación de la luz en el vidrio.

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

Resolución

a)

$$i = 19,5^\circ$$

$$r = 30^\circ$$

$$n_{\text{aire}} = 1$$

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \text{ sen } r$$

$$n_{\text{vidrio}} \cdot \text{sen } 19,5^\circ = 1 \cdot \text{sen } 30^\circ$$

$$n_{\text{vidrio}} \cdot 0,33 = 1 \cdot 0,5$$

$$n_{\text{vidrio}} = 1 \cdot 0,5 / 0,33 = 1,51 \text{ (no tiene unidades)}$$

b)

$$n_{\text{vidrio}} = c / V_{\text{vidrio}}$$

$$V_{\text{vidrio}} = c / n_{\text{vidrio}}$$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$V_{\text{vidrio}} = 3 \cdot 10^8 \text{ (m/s)} / 1,51 = 1,98 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Ejercicio resuelto

Un rayo de luz que se propaga por un medio a una velocidad de 165 km/s penetra en otro medio en el que la velocidad de propagación es de 230 km/s. Dibuje la trayectoria que sigue el rayo en el segundo medio y calcule el ángulo que forma con la normal si el ángulo de incidencia es de 30° . ¿En qué medio es mayor el índice de refracción? Justifique la respuesta.

Resolución

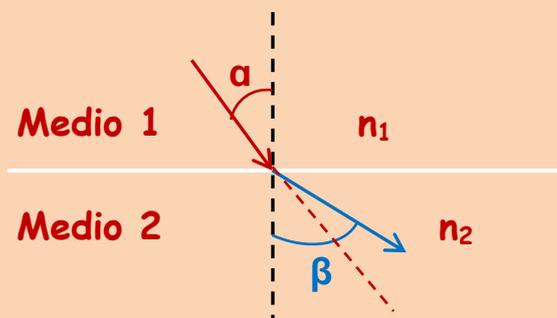
Datos:

$$V_1 = 165 \text{ Km/s}$$

$$V_2 = 230 \text{ Km/s}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

Teóricamente sabemos que cuando una **onda (rayo)** pasa de un medio de **menor velocidad** a otro de **mayor velocidad** la onda refractada **se aleja de la normal**. Según esto el esquema de la refracción quedaría de la forma:



TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Demostraremos el esquema anterior mediante las ecuaciones correspondientes:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1)$$

Sustituyendo datos en (1):

$$\frac{\text{sen } 30^\circ}{\text{sen } \beta} = \frac{165 \text{ Km/s}}{230 \text{ Km/s}}$$

$$\frac{0,5}{\text{sen } \beta} = 0,717$$

$$0,717 \cdot \text{sen } \beta = 0,5$$

$$\text{Sen } \beta = 0,5/0,717 = 0,67 \quad \rightarrow \quad \beta = 42,06^\circ$$

El ángulo de **refracción** es **mayor** que el ángulo de **incidencia**.

Por otra parte sabemos que:

$$n_1 \cdot \text{sen } \alpha = n_2 \text{ sen } \beta$$

De donde:

$$\text{sen } \alpha / \text{sen } \beta = n_2 / n_1$$

Sustituimos datos en la ecuación anterior:

$$\text{Sen } 30^\circ / \text{sen } 42,06^\circ = n_2/n_1$$

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

$$0,5 / 0,717 = n_2/n_1$$

Operamos:

$$0,697 = n_2/n_1$$

Quitamos denominadores:

$$n_2 = 0,697 \cdot n_1$$

Cómo: $0,697 < 1$

$$n_2 < n_1$$

7.- Contaminación Lumínica

Los focos de **luz artificial** pueden producir lo que se conoce como **Contaminación Lumínica**.

Video: Contaminación Visual

<http://www.youtube.com/watch?v=kYb7LypSC40>

Video: Contaminación Visual y Sonora

<http://www.youtube.com/watch?v=O0ebd5QHHR8>

Contaminación Lumínica

<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/ContamVis.htm>

Contaminación Visual

http://www.argchile.cl/contaminacion_visual.htm

TEMA Nº 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

Todo aquello que perturbe o afecte la visualización de todo lo que nos rodea e incluso afecte a nuestra salud constituye la **Contaminación Lumínica**.

El "Todo aquello" se refiere al **abuso** de ciertos elementos "no arquitectónicos" que **alteran** la **estética**, la **imagen** del paisaje tanto rural como urbano, y que generan, a menudo, una **sobreestimulación visual agresiva e invasiva**.

Dichos elementos pueden ser:

- Farolas
- Carteles luminosos
- Cables
- Chimeneas
- Antenas
- Postes

Los elementos mencionados y algunos más **NO** provocan contaminación de por sí; pero mediante la **manipulación indiscriminada** del hombre se convierten en **agentes contaminantes**.

La **manipulación indiscriminada** de una sociedad de consumo en cambio permanente que actúa sin **conciencia social**, **ni ambiental** es la que provoca la sobresaturación de estos contaminantes haciendo posible una **disminución de nuestra calidad de vida**.

Los **sentidos** son los encargados de transmitir al **cerebro** toda información que perciben del entorno. Entre ellos, el **sentido de la vista** es uno de los más complejos y de los que mayor

TEMA N° 7. ESTUDIO DE LA LUZ

AUTOR: ANTONIO ZARAGOZA LÓPEZ www.quimiziencia.es

incidencia tiene en la percepción global del entorno y, por lo tanto, en las reacciones psicofísicas del hombre. El hombre percibe un **ambiente caótico** y de **confusión** que lo **excita** y **estimula**, provocándole una **ansiedad momentánea** mientras dura el estímulo.

Los **automovilistas**, pueden llegar a transformarse en **disparadores de accidentes de circulación** debido a que estos estímulos pueden llegar a generar **distracción**, e incluso a imposibilitar la **percepción** de las **señales indicadoras** de circulación.

