

LA LUZ Y LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.

PRIMERAS TEORÍAS SOBRE LA NATURALEZA DE LA LUZ.

Tal vez sea el fecundo mundo intelectual griego al que se deban las primeras preguntas sobre los fundamentos del fenómeno de la visión, aunque sus respuestas no son nada científicas. No vuelve a plantearse la cuestión hasta trece siglos después en que Alhazen, árabe que vivió entre el año 965 y el 1039, estudia el problema aportando la idea de que la luz procede del sol y llega al ojo después de chocar con los objetos, produciéndose así la visión de los mismos.

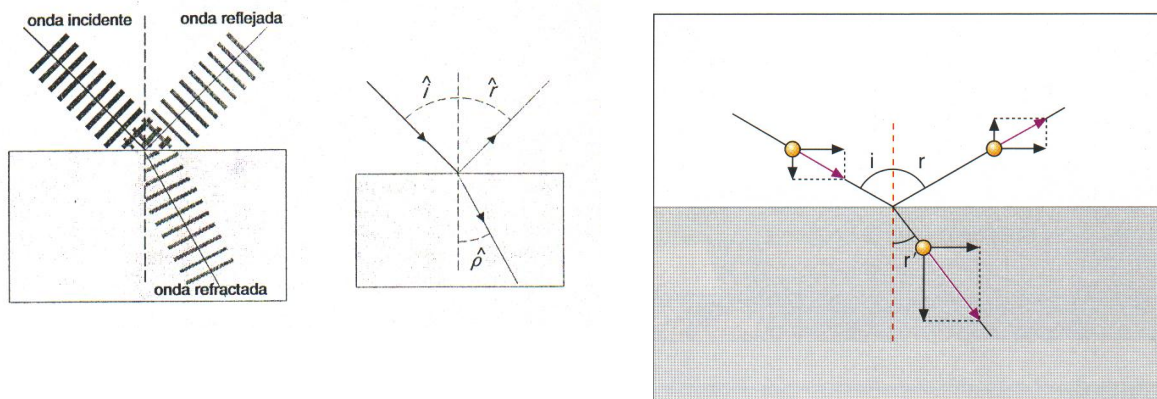
No obstante, parece ser Descartes quien en 1638 expone, por primera vez, una teoría científica basada en un modelo corpuscular de la luz. Esta teoría es recogida y completada por Newton dando lugar a **la teoría corpuscular de la luz**.

TEORÍA CORPUSCULAR DE LA LUZ

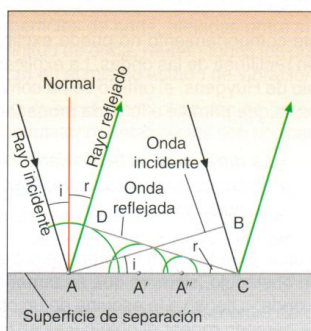
Debido al gran prestigio de Newton y a la sencillez de sus ideas, la teoría corpuscular contó con el apoyo de la mayor parte de los científicos de la época. Explicaba la propagación rectilínea de la luz, la formación de sombras bien definidas, la propagación en el vacío y los fenómenos de reflexión y refracción.

LA REFLEXIÓN Y LA REFRACCIÓN.

Estos fenómenos ocurren cuando una onda llega a una superficie que separa dos medios con propiedades diferentes para la propagación de esa onda.



En la **reflexión** la onda choca con un obstáculo y prosigue su avance en el mismo medio, cambiando su dirección: se cumple en este fenómeno que el ángulo de incidencia i , es igual al ángulo de reflexión r .



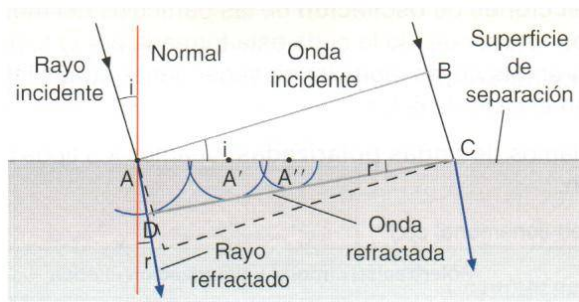
Los fenómenos de reflexión son los causantes de numerosos efectos: los sonidos que se perciben incluyen el emitido directamente por la fuente sonora junto al que se refleja en las paredes y objetos próximos; los locales en los que el sonido juega un papel importante, teatros, auditorios, etc., han de ser construidos teniendo en cuenta las reflexiones y procurando evitar efectos desagradables, como los ecos y reverberaciones. Como aplicaciones tecnológicas de la reflexión del sonido o de los

ultrasonidos podemos mencionar el sonar o las ecografías. En éstas se utilizan sonidos cuyas frecuencias son muy elevadas (ultrasonidos), entre 1 y 10 MHz, cuyas longitudes de onda son muy pequeñas, menores de 0,3 mm, lo que permite la observación de cuerpos de pequeño tamaño. También en la luz es muy importante la reflexión, no sólo por la formación de imágenes en espejos, sino por algo tan importante como es que podamos ver todos los cuerpos, ya que como sabemos la reflexión difusa es la que nos permite la visión de casi todo lo que podemos ver.

En la **refracción**, la onda pasa a propagarse por el segundo medio, pero sufre una desviación en su dirección. En este fenómeno se cumple la llamada ley de Snell:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } \rho} = \frac{v_1}{v_2}$$

donde i representa al ángulo de incidencia, ρ al ángulo de refracción y v_1 y v_2 las velocidades de propagación de la onda en los dos medios. Precisamente el cambio de velocidad es lo que origina el cambio de dirección.



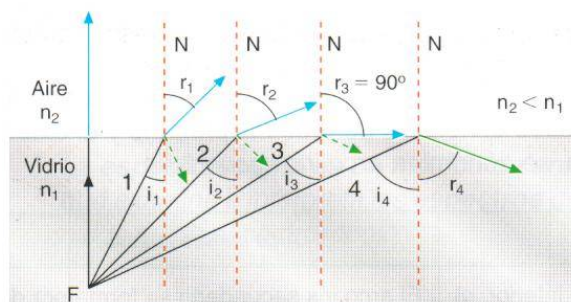
En la propagación de ondas luminosas se utilizan los **índices de refracción** (n) de ambos medios en lugar de la velocidad de propagación de la luz en cada uno. El índice de refracción se define como el cociente de la velocidad de la luz en el vacío (c) y la velocidad de la luz en ese medio (v):

La Ley de Snell se puede escribir utilizando los índices de refracción de la siguiente manera:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } \rho} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/v_2}{c/v_1} = \frac{n_2}{n_1} \qquad n_1 \text{ sen } i = n_2 \text{ sen } \rho$$

ÁNGULO LÍMITE O ÁNGULO DE REFLEXIÓN TOTAL.

Cuando una onda pasa de un medio de menor índice a otro de mayor índice de refracción el rayo refractado se acerca a la normal, $i > \rho$. Ejemplo: cuando la luz pasa del aire al vidrio. Si el paso es de un medio de mayor índice a otro de índice menor el rayo refractado se aleja de la normal, $\rho > i$. Esto ocurre cuando la luz pasa del vidrio al aire.



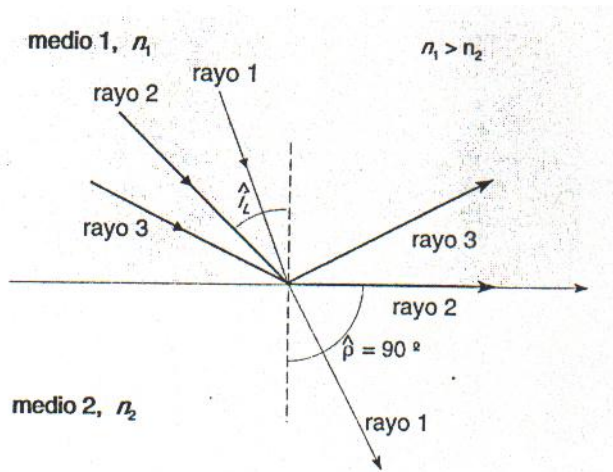
En este caso, hay un valor límite para el ángulo de incidencia i , por encima del cual el rayo no sale de ese medio pues ρ pasaría de 90° .

En el dibujo adjunto se puede observar lo que ocurre cuando una onda pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro de menor índice:

El rayo 1 pasa al otro medio alejándose de la normal.

El rayo 2, cuyo ángulo de incidencia es igual al ángulo límite, tiene un ángulo de refracción de 90°.

El rayo 3, cuyo ángulo de incidencia es mayor que el ángulo límite se refleja totalmente y no se refracta.



El valor del ángulo límite se puede calcular aplicando la ley de Snell:

$$n_1 \sin i_L = n_2 \sin 90 \qquad i_L = \arcsen \frac{n_2}{n_1}$$

Normalmente se produce reflexión y refracción cuando la onda cambia de medio material: parte de la onda se refleja y parte se refracta. Cuando el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo **límite** no hay rayo refractado, por lo que se dice que hay reflexión total. La reflexión total se utiliza en las fibras ópticas que son medios transparentes en los que se transmite la luz de forma que incide sobre la superficie con ángulos mayores al ángulo límite, permitiendo así que la luz no se disperse y “viaje dentro de la **fibra**”.

Los fenómenos de refracción luminosos son frecuentes e importantes. Además de ser responsables de fenómenos curiosos como la aparente doblez de un cuerpo introducido en el agua, o de los espejismos, debemos mencionar también fenómenos naturales como el arco iris. Por último tenemos que decir que es necesario tener en cuenta la refracción cuando se quiere explicar la formación de imágenes en las lentes, y sus numerosas aplicaciones, gafas y otros aparatos ópticos como telescopio, microscopio, etc. También en el cristalino y en la córnea del ojo se produce la refracción de la luz que da lugar a la formación de imágenes en la retina.

Sabiendo que el índice de refracción del metacrilato es 1,6, ¿cuál es la velocidad de la luz en el metacrilato?

Un rayo luminoso pasa del agua (índice de refracción 1,33) al metacrilato, siendo el ángulo de incidencia de 30°. ¿Cuál será el ángulo de refracción? ¿Cuál será el ángulo límite para los rayos luminosos que se dirijan desde el agua hacia el metacrilato? ¿Cuál será el ángulo límite para los rayos luminosos que se dirijan desde el metacrilato hacia el agua?

La velocidad de la luz en el agua es $0,75c$ (siendo c la velocidad de la luz en el aire) a) Si un rayo de luz pasa del aire al agua formando un ángulo de 30° con la normal ¿cuál será el ángulo que forma con la normal el rayo que se propaga en el agua? b) Si el rayo pasa del agua al aire, siendo el ángulo que forma el rayo con la normal en el agua de 30° , ¿cuál será el ángulo que forme con la normal el rayo que se propaga en el aire? c) Calcula el ángulo límite en el paso de la luz del agua al aire.

TEORIA CORPÚSCULAR DE LA LUZ (CONTINUACIÓN)

Según esta teoría, los corpúsculos luminosos al chocar con la retina del ojo producen la visión y debido a su pequeña masa y a su gran velocidad se propagan en línea recta.

Los distintos colores de la luz se deben a la existencia de corpúsculos luminosos de diferentes masas.

La reflexión se produce como consecuencia de los choques elásticos de las partículas de la luz con la superficie de los objetos iluminados. Si no existen rozamientos, la componente horizontal de la velocidad de la partícula no varía, pero la componente normal a la superficie se invierte debido a la enorme diferencia de masa entre las partículas de la luz y el objeto, siendo el ángulo de incidencia igual al ángulo de reflexión.

Supuestos básicos:

- La luz está constituida por diminutas partículas materiales llamadas corpúsculos que son emitidas a gran velocidad por un foco emisor. La trayectoria de estas partículas constituye los rayos de luz.
- Las leyes de la reflexión pueden explicarse considerando el fenómeno como un choque elástico de los corpúsculos luminosos con los objetos materiales.
- Las leyes de la refracción pueden explicarse considerando que, al pasar la luz de un medio menos denso a otro más denso, los corpúsculos luminosos son atraídos por la superficie de separación de ambos, mientras que son frenados en el caso contrario.

Esta suposición permite explicar cuantitativamente la ley de Snell, pero crea una grave dificultad conceptual, pues, como consecuencia, los corpúsculos luminosos deben moverse más rápidamente en un medio más denso que en otro de menor densidad.

- La propagación rectilínea de la luz puede explicarse pensando que los corpúsculos luminosos no se ven prácticamente afectados por la acción de la gravedad, debido a la gran velocidad con que son emitidos.

Sin embargo, esta teoría no podía dar respuesta a ciertas cuestiones. ¿Cómo se pueden cruzar los rayos de luz sin que colisionen sus partículas? ¿Cómo se explican los fenómenos de interferencia?

TEORÍA ONDULATORIA DE LA LUZ.

El matemático y astrónomo holandés Christian Huygens, contemporáneo de Newton, basándose en los trabajos previos de Robert Hooke, propone que la luz se compone de minúsculas ondas del mismo tipo que el sonido. Como necesitan un medio material para propagarse, supone la existencia de un medio ideal, el éter lumínico, que llena todo, incluso el vacío.

Explicó las leyes de la reflexión y de la refracción de la luz y las interferencias luminosas. Al explicar la refracción de la luz llega a una fuerte discrepancia con la teoría corpuscular: por aplicación del principio de Huygens se deduce que la velocidad de la luz es menor en el agua o en el vidrio que en el aire.

Foucault midió la velocidad de la luz en el agua, en el año 1860, y comprobó que era menor que en el aire.

Sin duda Huygens estaba en lo cierto, pero habían transcurrido casi doscientos años.

Newton rechazó la teoría ondulatoria de la luz al no existir pruebas de la difracción, y debido a su gran prestigio y al rechazo dogmático de sus discípulos, esta teoría fue olvidada durante más de cien años, incluso cuando la propagación rectilínea de la luz y los fenómenos de difracción quedaron plenamente justificados por la pequeña longitud de onda de las ondas luminosas.

Sin embargo, en la primera mitad del siglo XIX se producen varios hechos que propician el resurgir de la teoría ondulatoria. Los experimentos de Thomas Young, en 1801, sobre interferencias luminosas y los de Agustín Fresnel, en 1815, sobre fenómenos de difracción, demuestran la naturaleza ondulatoria de la luz. Fresnel explica también la polarización de la luz considerando que las ondas luminosas son transversales y por fin, en 1850, Foucault demuestra que la velocidad de la luz es menor en el agua que en el aire. Después de estos hechos, la teoría ondulatoria de la luz fue aceptada universalmente.

Persistía, sin embargo, una importante contradicción, la necesidad de suponer la existencia del éter lumínico, que debía ser sólido para transmitir las ondas transversales de la luz y enormemente rígido para hacerlo a tan gran velocidad, y al mismo tiempo debería ser muy tenue para no oponer resistencia alguna al movimiento de los cuerpos.

Esta dificultad fue definitivamente superada cuando Maxwell, en el año 1865, demuestra que la luz es una onda electromagnética que se propaga en el vacío sin necesidad de un soporte material a $3 \cdot 10^8$ m/s, como el resto de las ondas electromagnéticas. La teoría ondulatoria parece triunfar definitivamente.

Supuestos básicos:

- La luz se propaga mediante ondas mecánicas en un medio llamado éter que todo lo llena.
- Cuando un punto del espacio es alcanzado por una onda, se convierte en un nuevo foco emisor de ondas secundarias (principio de Huygens), las cuales sólo tienen efectividad en los puntos de contacto con el frente de ondas.
- Frente de onda es el lugar geométrico de todos los puntos alcanzados por la onda en el mismo instante.
- La energía luminosa se encuentra repartida uniformemente por todo el frente de onda.
- Se llama rayo a la perpendicular, en cualquier punto, desde el foco luminoso al frente de ondas.
- Las ondas luminosas son transversales.

ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.

Como ya hemos dicho la teoría ondulatoria de la luz alcanza su culminación cuando Maxwell logra resumir en cuatro ecuaciones las leyes de Coulomb y Ohm, la ecuación de Laplace y los descubrimientos de Oersted, Ampère, Faraday y el propio Maxwell.

A partir de estas ecuaciones fundamentales, Maxwell obtiene otras dos; una correspondiente al campo eléctrico y otra, al campo magnético, que, para un espacio unidimensional y en el S.I. se expresan:

$$\frac{d^2 E}{dt^2} = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \frac{d^2 E}{dx^2}$$

$$\frac{d^2 B}{dt^2} = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \frac{d^2 B}{dx^2}$$

Comparando estas ecuaciones con la ecuación general de propagación de una onda en una dimensión:

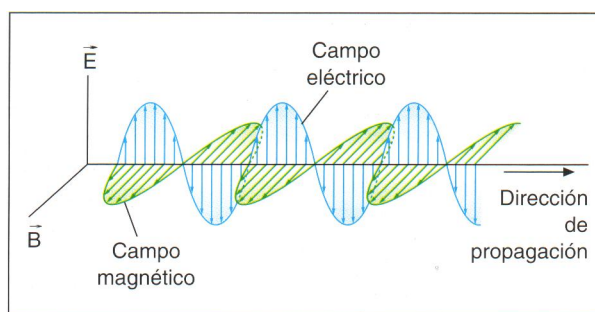
$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \frac{d^2 y}{dx^2}$$

resulta que el campo eléctrico variable \vec{E} y el campo magnético \vec{B} , se propagan con movimiento ondulatorio de velocidad:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

De las ecuaciones de Maxwell se deduce, además, que **todo campo eléctrico variable produce un campo magnético perpendicular al mismo, y recíprocamente**. Por tanto, la producción en un punto del espacio de un campo eléctrico origina la propagación en forma de ondas de dos campos perpendiculares entre sí, uno eléctrico y otro magnético. De las citadas ecuaciones resulta que ambos campos son normales a la dirección de propagación; de donde se sigue que las ondas electromagnéticas son transversales.

por otro lado, la velocidad con que se propagan estas ondas en el vacío es:



$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

en la que sustituyendo $\epsilon_0 = 8,8544 \cdot 10^{-12} \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ C}^2$ y $\mu_0 = 1,2466 \cdot 10^{-6} \text{ mKgC}^{-2}$ resulta:
 $v = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, es decir, la velocidad de la luz.

Por consiguiente, teniendo en cuenta que las ondas electromagnéticas poseen la misma velocidad que las luminosas, Maxwell afirma que la **luz es una perturbación electromagnética que se propaga en el éter**.

En 1887, unos ocho años después de la muerte de Maxwell, Hertz (1857-1894) demuestra experimentalmente que la teoría de Maxwell era cierta, pues con un dispositivo capaz de producir un campo eléctrico oscilante produce un campo electromagnético que se propaga en forma de ondas.

En este momento histórico, cuando aún no han aparecido el efecto fotoeléctrico ni el efecto Compton, parece imponerse la teoría ondulatoria sobre la corpuscular.

Recordemos, a modo de resumen, que los problemas básicos que presentaba la teoría corpuscular eran:

La necesidad de que la luz se propagara a mayor velocidad en los medios más densos.

Que no fuera capaz de explicar los fenómenos de interferencia y difracción.

ORIGEN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.

En el apartado anterior hemos visto cómo se propaga el campo electromagnético, en forma de onda electromagnética (o.e.m.). Sin embargo, no hemos hecho mención a la forma en que se producen dichas ondas. En este apartado nos ocuparemos de ello.

Una carga eléctrica en movimiento crea a su alrededor un campo electromagnético, cuyas componentes eléctrica y magnética son perpendiculares entre sí.

Si el movimiento de la carga es uniforme, el campo electromagnético decrece por detrás de ella al moverse, mientras que aumenta por delante en la misma proporción. Puede demostrarse que no existe un flujo neto de energía en la dirección en que se mueve la carga; la carga transporta consigo el campo y por tanto su energía permanece constante. Una carga en movimiento uniforme no irradia energía y no genera ondas electromagnéticas.

Ahora bien, si el movimiento de la carga es acelerado, el campo decrece por detrás de la carga en una cantidad menor de lo que aumenta por delante de ella, ya que la velocidad con que la carga se mueve está aumentando. En ese caso es necesario transferir al espacio cierta cantidad de energía, de modo que pueda establecerse el campo. Las cargas eléctricas al ser aceleradas irradian constantemente energía a su alrededor; la transmisión de esta energía constituye la onda electromagnética.

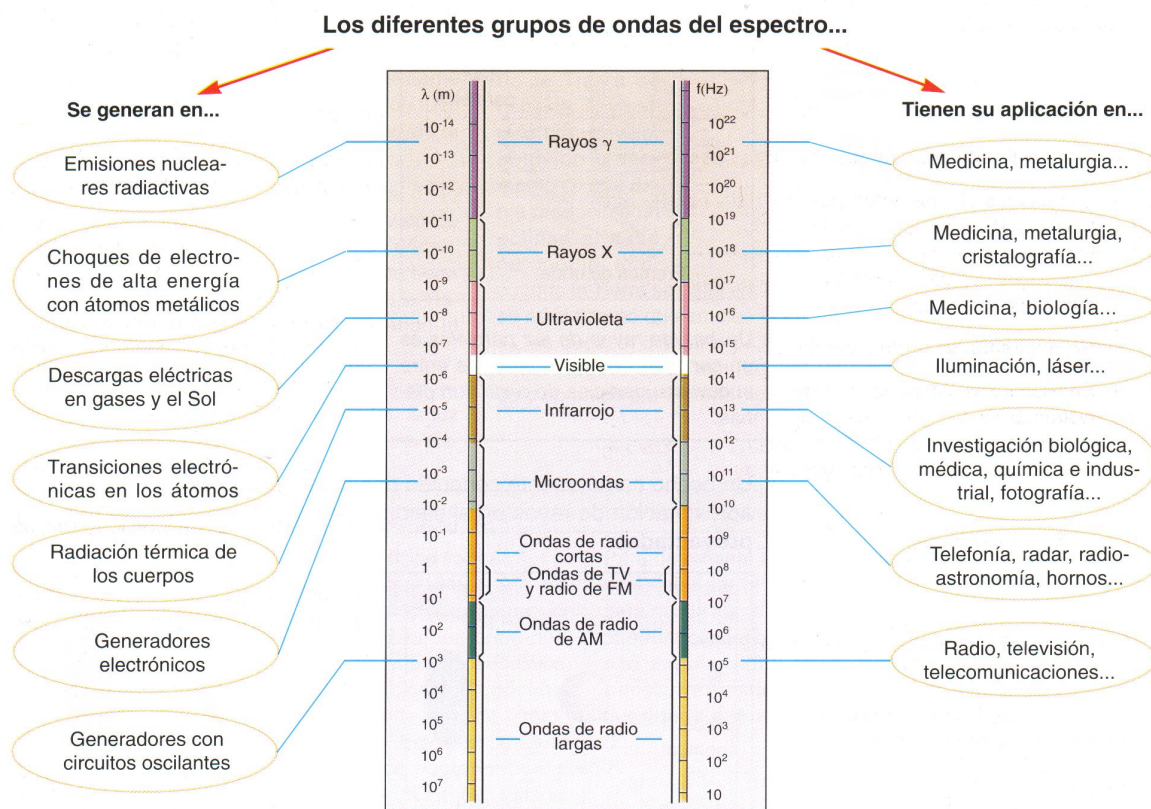
Podemos afirmar, pues, que **las cargas eléctricas al ser aceleradas originan o.e.m., siendo por tanto el origen de la radiación electromagnética.**

EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

Ahora que conocemos el origen de la radiación electromagnética vamos a ver que son múltiples los fenómenos que pueden producir o.e.m., ondas que vendrán caracterizadas en cada caso por su frecuencia y su longitud de onda, dado que su velocidad de propagación en el vacío es siempre c .

Debido a ello, las ondas electromagnéticas suelen clasificarse, atendiendo a su frecuencia, en diferentes grupos, aunque esta clasificación no permite establecer unos límites precisos para cada grupo, al existir fuentes que generan simultáneamente o.e.m. de frecuencias muy diferentes. Al conjunto de todos los tipos de o.e.m., se le denomina espectro electromagnético.

En el espectro electromagnético suelen diferenciarse las siguientes zonas:



- **Radioondas:** Son las ondas electromagnéticas que se utilizan generalmente en telecomunicaciones como las ondas de radio y televisión. Son generadas en circuitos electrónicos. Su rango de frecuencias comprende desde unos pocos hercios hasta $1,0 \cdot 10^9$ Hz, distinguiéndose en esta zona diferentes bandas.
- **Microondas:** Se utilizan en sistemas de comunicaciones como el radar o la banda UHF de televisión (Ultra High Frequency) e incluso en los hornos de microondas. Se generan también en circuitos electrónicos. Su rango de frecuencias comprende desde $1,0 \cdot 10^9$ Hz hasta $1,0 \cdot 10^{11}$ Hz.
- **Infrarrojos:** Son las ondas que producen los cuerpos calientes y tienen diferentes aplicaciones en la industria, medicina, etc. Comprenden la zona incluida entre $1,0 \cdot 10^{11}$ Hz y $4,0 \cdot 10^{14}$ Hz.
- **Luz visible:** Incluye una estrecha franja de ondas electromagnéticas entre $4,0 \cdot 10^{14}$ Hz y $8,0 \cdot 10^{14}$ Hz. Estas o.e.m. son capaces de impresionar nuestra retina, permitiéndonos la visión. Dentro de esta zona, podemos definir los diferentes colores, a los que les corresponden diferentes frecuencias.
- **Ultravioleta:** Comprende el rango de frecuencias incluido entre $8,0 \cdot 10^{14}$ Hz y $1,0 \cdot 10^{17}$ Hz. Su origen se debe a los electrones acelerados que se encuentran en los átomos y moléculas excitados. La energía de estas ondas es del mismo orden de magnitud de la que interviene en las reacciones químicas, lo que explica en gran parte sus efectos.

El Sol es una poderosa fuente de radiación ultravioleta, que al interaccionar con los gases de la atmósfera exterior produce gran cantidad de iones, lo que da lugar a la ionosfera. En medicina se utiliza la radiación ultravioleta por su poder destructor sobre algunos microbios. Los rayos ultravioletas son, asimismo, los responsables del bronceado de la piel.

- **Rayos X:** Esta radiación fue descubierta por Roentgen al estudiar las emisiones producidas por un metal cuando frenaba electrones acelerados previamente. Comprende una gama de frecuencias que incluye desde $1,0 \cdot 10^{17}$ Hz hasta $1,0 \cdot 10^{19}$ Hz. Son originados por los electrones más fuertemente ligados al átomo.

Se utilizan en medicina para diagnósticos, por ser absorbidos mejor por los huesos que por los tejidos, lo que permite fotografías nítidas del interior del cuerpo.

Debido a su gran energía, los rayos X producen graves daños en tejidos y organismos vivos, por lo que deben ser utilizados con muchísima precaución.

- **Rayos gamma:** Estas ondas electromagnéticas comprenden las frecuencias incluidas entre $1,0 \cdot 10^{19}$ Hz y más de $1,0 \cdot 10^{22}$ Hz. Tienen su origen en el núcleo atómico. Son producidas por muchas sustancias radioactivas y son muy abundantes en los reactores nucleares.

Al ser absorbidos por los seres vivos producen graves efectos, por lo que su manipulación requiere blindajes de protección.

DOBLE NATURALEZA DE LA LUZ.

En el año 1900, Lenard observó que cuando un haz de luz de frecuencia adecuada incide sobre algunas superficies metálicas se expulsan electrones, este hecho se conoce como efecto fotoeléctrico y lo estudiaremos con detalle en el tema siguiente.

En el año 1905, Einstein explica el efecto fotoeléctrico suponiendo que la energía de las ondas luminosas se concentra en pequeños paquetes, cuantos de energía, llamados fotones, que según Planck tienen una energía que viene dada por la expresión: $E = hf$, siendo h la constante de Planck ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s) y f la frecuencia de la onda luminosa.

Pero este hecho significa, en cierta medida, una vuelta a la teoría corpuscular y desde luego no puede explicarse otorgando a la luz una naturaleza ondulatoria. A principios del siglo XX vuelve a plantearse el viejo dilema: ¿La luz es de naturaleza ondulatorio o corpuscular?

Parece fuera de toda duda que ciertos fenómenos, los que implican una interacción entre la luz y la materia (efecto fotoeléctrico y efecto Compton), sólo pueden explicarse a base de una teoría corpuscular (cuántica) de la luz; por otra parte, los fenómenos de interferencia, difracción, polarización, etc., sólo pueden describirse aceptando la teoría ondulatoria. Hay que admitir, por tanto, que la luz se comporta como si tuviese una doble naturaleza, aunque en ningún fenómeno concreto manifieste simultáneamente este carácter dual. En un fenómeno dado se comporta bien como onda o bien como partícula.

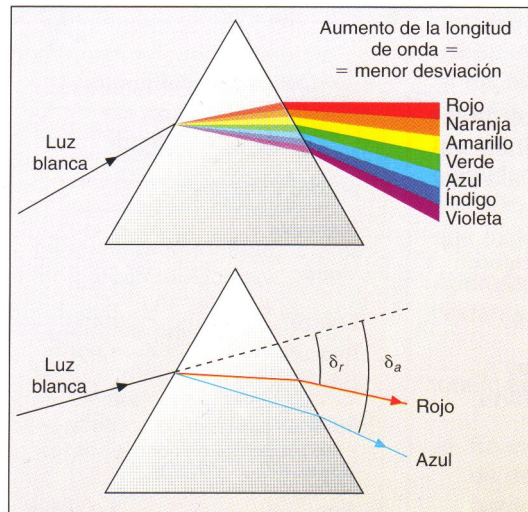
El carácter dual de la luz no es un hecho extraordinario. La mente humana para entender las cosas necesita una visión intuitiva de los hechos, le es imprescindible un modelo.

Pues bien, tratándose de la luz, y no sólo para ella, un modelo único no es suficiente para interpretar su comportamiento total y necesitamos dos modelos absolutamente diferentes.

DISPERSIÓN DE LA LUZ.

La luz blanca es realmente una mezcla de luces de diferentes colores: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil, y violeta. La mayor parte de los haces de luz son policromáticos, es decir, están formados por una mezcla de luces de distintas longitudes de onda y diferentes colores.

La dispersión es la descomposición de la luz más compleja en otras luces más simples, la separación de la luz en las longitudes de onda que la componen. Se puede conseguir usando un prisma de vidrio. Al pasar la luz blanca, las distintas luces se separan por presentar diferentes velocidades en el vidrio del prisma: la luz roja se propaga con mayor velocidad, por lo que es menos desviada; el haz de luz violeta es el más desviado porque tiene la menor velocidad.



Las luces de diferentes colores se propagan en los medios materiales con velocidades diferentes, sólo en el vacío se propagan con la misma velocidad.

El índice de refracción de un medio transparente depende de la longitud de onda:

$$n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_0 / \lambda_2}{\lambda_0 / \lambda_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

siendo λ_0 la longitud de onda de la radiación luminosa en el vacío y λ la longitud de onda de la misma radiación en el medio material. Por tanto, la ley de Snell de la refracción se puede escribir así:

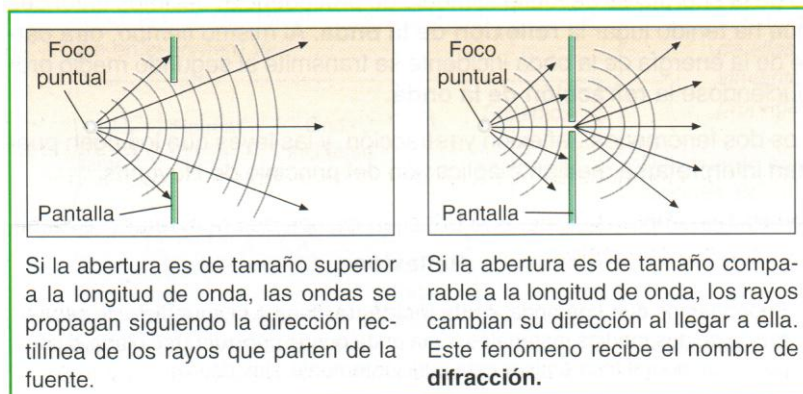
$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

La luz roja tiene mayor longitud de onda, para ella el índice de refracción es menor, se refracta menos y el ángulo de refracción es ligeramente mayor. La luz violeta tiene menor longitud de onda, para ella el índice de refracción es mayor, se refracta más y su ángulo de refracción es el más pequeño, desviándose un ángulo mayor que las otras luces visibles.

Al conjunto de luces que aparecen en el haz dispersado se le llama **espectro visible**.

DIFRACCIÓN.

Cuando una onda se encuentra con un obstáculo agujereado (rendija en un muro) o un cuerpo aislado, el resultado depende de la relación entre la anchura de la rendija (o la dimensión del cuerpo) y la longitud de onda del movimiento ondulatorio.



Si la longitud de onda es mayor que el tamaño de la rendija, la onda pasa al otro lado ocupando prácticamente la totalidad del espacio. Da la impresión de que la onda supera el obstáculo como si no estuviera o bien que la rendija es un nuevo foco de la onda. Se produce lo que se conoce como **difracción** de la onda.

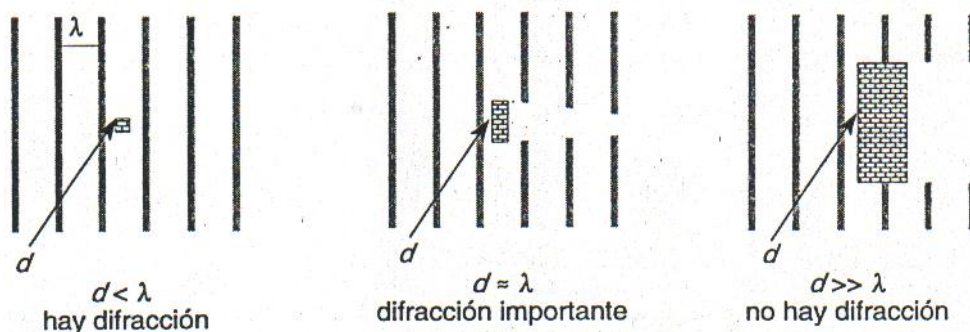
Si la longitud de onda es del orden del tamaño de la rendija, también se produce la difracción, pero el efecto es menos intenso, ocupando sólo parte del espacio posterior al muro.

Si la longitud de onda es bastante menor que el tamaño de la rendija, la onda pasa prácticamente sin difracción, es decir sólo se transmite al otro lado del muro por la parte correspondiente al frente del agujero. Es decir, la onda no puede bordear el obstáculo.



Si en lugar de una rendija, lo que hacemos es poner un obstáculo al paso de las ondas, pensar en un tubo fino, un poste o un muro de varios metros de ancho colocados como obstáculo al paso de las olas del mar, los fenómenos de difracción también están relacionados con la relación entre la longitud de onda y el tamaño del obstáculo.

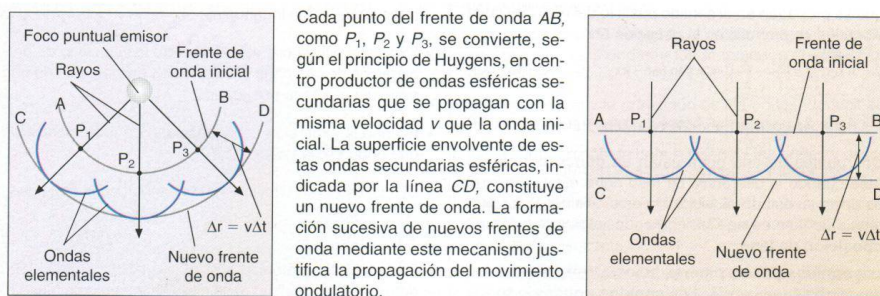
Si la longitud de onda es bastante mayor que el obstáculo, la difracción es total y la onda parece bordear perfectamente el obstáculo. Si la longitud de onda es del mismo orden que el tamaño del obstáculo la difracción es parcial, y cuando el obstáculo es mayor que la longitud de onda se convierte en un impedimento insalvable, produciéndose detrás de él una zona a la que no llega el movimiento ondulatorio.



PRINCIPIO DE HUYGENS-FRESNEL.

Para explicar el comportamiento de las ondas en la difracción y en general, en su propagación, se formuló en el siglo XVII el Principio de Huygens, desarrollado matemáticamente por Fresnel a finales del siglo XVIII.

Todo punto de un frente de onda se convierte en emisor de una serie de ondas elementales que se propagan en todas direcciones. El nuevo frente de ondas es la superficie envolvente de las ondas elementales.



Haciendo uso de este principio es posible explicar perfectamente el fenómeno de la difracción. El tratamiento cuantitativo es bastante complicado, pues se trata de calcular las interferencias producidas por las ondas creadas por cada uno de los puntos de la rendija. Sin embargo, el resultado de esas interferencias es que las ondas elementales se anulan en todos los puntos excepto en la superficie que forma el frente de ondas, que podemos considerar como la envolvente de todas las ondas elementales.

ALGUNAS APLICACIONES DE LA DIFRACCIÓN.

El estudio cuantitativo de los fenómenos de difracción relaciona claramente la longitud de onda de la onda difractada con el tamaño de la rendija por el que ha sido difractada. Eso permite calcular las longitudes de onda, en aquellos casos que son muy difíciles de medir, conociendo el tamaño de las rendijas. Éste fue el sistema utilizado por Young para medir por primera vez las longitudes de onda de luz de diversos colores.

El procedimiento inverso, inferir el tamaño y forma de objetos extremadamente pequeños a partir de las figuras de difracción que producen, es muy utilizado en el estudio de los fenómenos atómicos y para el conocimiento de la estructura interna de la materia. Para conseguir analizar elementos cada vez más pequeños se necesitan ondas cuya longitud de onda sea cada vez más pequeña, empleándose la difracción de rayos X en lugar de la difracción de la luz visible para esos casos.

LA DIFRACCIÓN, CARACTERÍSTICA EXCLUSIVA DE LAS ONDAS.

El fenómeno de la difracción, el hecho de que una propagación de energía pueda rodear un obstáculo ocupando todo el espacio detrás del mismo, es algo que no puede ser explicado suponiendo que esa energía es transportada por unos corpúsculos que se desplazan en el mismo sentido que la energía. No es válido por lo tanto un modelo corpuscular.

Piensa en lo siguiente: si nos colocamos detrás de un muro de hormigón de 4 metros de ancho por 4 metros de alto y de 50 centímetros de espesor estaremos a cubierto de las balas que nos disparen desde el otro lado del muro. Es imposible transmitir energía a esa zona utilizando para ello el desplazamiento de un cuerpo que se desplace en el sentido de la energía.

Pero, cosa curiosa, detrás del muro sí podemos oír un sonido producido al otro lado del mismo. El sonido se difracta en los bordes del obstáculo, de forma que pasa al otro lado ocupando todo el espacio. Hay que hacer uso de un modelo ondulatorio para poder explicar eso. La difracción pone de manifiesto la diferencia fundamental entre el modelo ondulatorio y el modelo corpuscular, de tal manera que podemos estar seguros que si observamos la difracción debemos suponer que está involucrado algo que debe ser explicado con el modelo ondulatorio.