

Teorías que explican el comportamiento de la luz

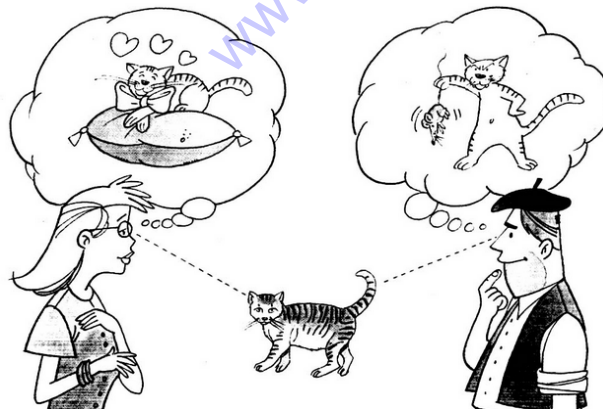
Preparado para Profísica por el profesor Hernán Verdugo Fabiani.

Por el siglo V antes de Cristo, los filósofos de la antigua Grecia discutían acerca del comportamiento de la luz. Por un lado estaba la llamada "Teoría de la Extramisión", según la cual desde los ojos emanaba la visión, ésta llegaba a los objetos y de ahí se devolvía hacia los ojos, informándole la forma y color de los objetos. Esta teoría era defendida, entre otros, por Empédocles.

Por otro lado estaba la Teoría de la "Intromisión", cuyo principal representante fue Leucipo. Según ésta, son los objetos los que envían algo a los ojos, ese algo lleva la información de la forma y el color.

Tanto Empédocles como Leucipo coincidían en que la luz viajaba en línea recta, por lo tanto pudieron (mucho tiempo después) estudiarse con la geometría euclidiana. Por entonces ya se conocía el fenómeno de la reflexión de la luz.

A fines del siglo X después de Cristo surge el científico islámico Alhazen, que postula que los objetos no tienen luz, sino que reciben luz del Sol y la esparcen en todas las direcciones. Es como se concibe hoy, pero faltan las explicaciones de la naturaleza de la luz.



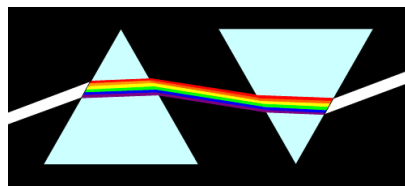
De todas las teorías clásicas que ha habido para explicar el comportamiento de la luz, solo dos encontraron fundamentos consistentes, ellas son las teorías: ondulatoria y corpuscular.

Modelo corpuscular de la luz

Esta teoría fue propuesta por Isaac Newton, que se conoció como **teoría de la emisión**. Él supone que la luz está compuesta por partículas luminosas que viajan en línea recta. Esas partículas pueden atravesar cuerpos transparentes y reflejarse en los opacos.

Con esta teoría, en esa época, se explicaba muy bien el fenómeno de la reflexión de la luz, también el de la refracción de la luz, pero no los de la interferencia y la difracción.

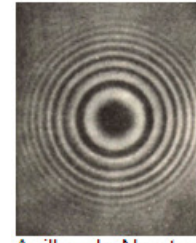
Newton demostró, entre otras cosas, que al hacer pasar luz blanca por un prisma ésta se descomponía en rayos de colores. Y si esos rayos de colores vuelven a pasar por otro prisma, invertido, volvían a "juntarse" y formar la luz blanca.



Newton supuso que la visión que tenemos las personas, y la mayoría de los animales, era debido a que las partículas de luz que emiten, o reflejan, los objetos chocan con nuestros ojos

Newton quiso demostrar la formación de los anillos de colores que se forman en láminas delgadas de vidrio. Son conocidos como "Anillos de Newton". Pero fracasó con sus ideas sobre la luz.

En la época en que Newton postula su incipiente teoría corpuscular, ya se había postulado la que hoy se conoce como Teoría Ondulatoria de la luz, por Christian Huygens, pero gracias al nombre y prestigio de Newton, las ideas de éste tuvieron vigencia hasta el siglo XVIII.



Anillos de Newton

Ya a mediados del siglo XIX la teoría propuesta por Newton cede ante la evidencia experimental que ofrece la teoría de Huygens.

Teoría Ondulatoria

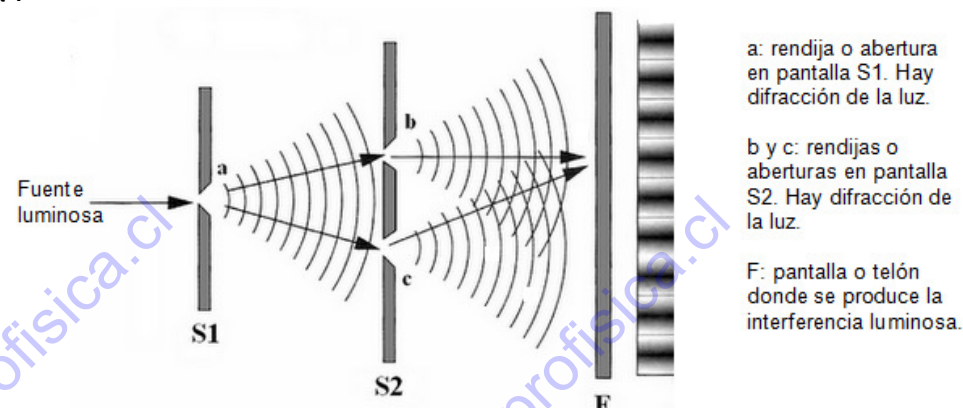
Fue propuesta por Christian Huygens, en 1678, y explicó con mucha claridad los fenómenos de la reflexión y el de la refracción.

Para Huygens, la luz tenía la misma forma ondulatoria que explica el comportamiento del sonido. Por lo tanto sostenía que existe una materia insustancial por la cual se propaga la luz. A esa materia se le llamó "éter". Esto resultaba imprescindible para explicar cómo la luz puede viajar, por ejemplo, entre el Sol y la Tierra.

Es, precisamente, la supuesta existencia del éter el principal obstáculo que enfrentaría, a futuro, la teoría ondulatoria.

Como ya se mencionó, ésta teoría fue prontamente eclipsada por la naciente teoría corpuscular, de Newton. Pero resurge a inicios del siglo XIX cuando el físico inglés Thomas Young, junto al físico francés Auguste Fresnel, realizan experimentos sobre interferencia de la luz.

Young demostró algo que resultó casi paradójico: cuando se interfieren dos haces de luz monocromática, puede ocurrir dos cosas, que la intensidad de la luz resultante aumente o que, aquí está lo paradójico, se produzca oscuridad. Esto es una prueba irrefutable del fenómeno de interferencia ondulatoria. El experimento que realizó Young para llegar a éstas conclusiones se conoce como "experimento de la doble rendija".



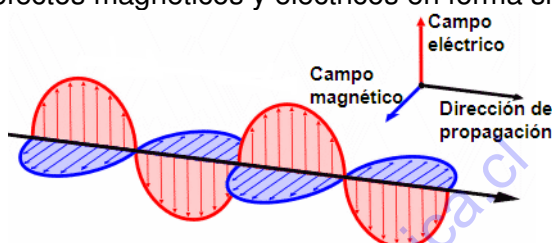
Fresnel con la intención de validar la teoría ondulatoria, quiso demostrar que la luz era una onda de tipo transversal y no longitudinal como pensaba Young, pero fracasó ya que entonces se pensaba que las ondas transversales solo viajaban en medios sólidos, y el éter – que ya había sido introducido como necesario - era insustancial, un medio no sólido.

Pero aún así, Fresnel estuvo convencido que la luz era una onda transversal. Se basaba en el fenómeno de la polarización. Él estudió con detención éste fenómeno y llegó a la conclusión que dos ondas de luz polarizadas en un mismo plano se pueden interferir, sin embargo si sus planos de propagación son perpendiculares no. Por lo tanto, concluye que la luz está constituida por ondas transversales.

A comienzos del siglo XIX surge la **teoría electromagnética** para explicar los fenómenos relacionados con la electricidad y el magnetismo.

Esta teoría, impulsada primero por el físico inglés Michael Faraday, es desarrollada en la segunda mitad de ese siglo con otro físico inglés, James Clerk Maxwell, quien logra combinar los efectos electromagnéticos y ópticos. Maxwell pronosticó la existencia de ondas electromagnéticas que se propagan en el vacío con igual velocidad que la luz.

Luego, un físico alemán, Heinrich Hertz, logró producir las ondas electromagnéticas y que muestran las mismas propiedades que las ondas luminosas. Esas ondas electromagnéticas, llamadas "hertzianas", son de tipo transversal y mezclan, perpendicularmente, efectos magnéticos y eléctricos en forma simultánea.



Aquí se encuentra el definitivo respaldo a la teoría ondulatoria.

Al concluir el siglo XIX no había duda que la luz está constituida por ondas electromagnéticas de altísima frecuencia, capaz de excitar la retina del ojo humano. Todas las propiedades físicas de la luz, conocidas hasta entonces, eran explicadas por esta teoría.

Albert Einstein y la teoría fotónica de la luz

Einstein, físico alemán nacionalizado suizo y luego norteamericano, es el autor de la famosa teoría de la relatividad restringida y general. En 1905 dio a conocer la teoría de la relatividad restringida y otros artículos. Uno de esos "otros" artículos se refería al llamado "efecto fotoeléctrico", recién descubierto pocos años antes, según el cual cuando la luz de cierta frecuencia incide sobre un metal salen electrones de éste generando una corriente eléctrica.

Al final, es sobre ese tema el motivo de su premio Nóbel, que la Academia sueca le otorga en 1921. Es un artículo sobre lo que hoy se conoce como "efecto fotoeléctrico".

En dicho artículo Einstein propone que la luz interacciona con la materia como si estuviese compuesta por "paquetes" (también llamados *cuantos*) de energía, los cuales transportan energía y momentum, y chocan con los electrones arrancándolos del metal.

Con Einstein, por primera vez se admite que la luz tiene naturaleza corpuscular y ondulatoria en forma simultánea. Los "corpúsculos" de luz, o partículas de luz, no son las partículas clásicas como lo imaginaba Newton. Por ejemplo, no pueden existir en reposo, sino que solo en movimiento a la velocidad de 300000 km/s. Además, esa velocidad es siempre la misma, en el vacío, cualquiera sea el movimiento del observador.

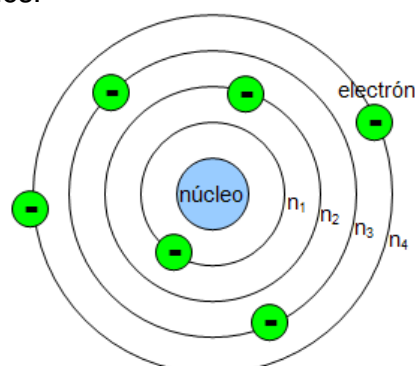
Surge, entonces, un nuevo concepto: la dualidad onda – partícula, que hoy en día se aplica no solo a la luz sino que a todas las partículas elementales que constituyen la materia.

Modelo atómico de Bohr

Ocho años después de publicada la ley de la relatividad restringida, en 1913, el danés Niels Bohr propuso su modelo atómico que se apoya en la teoría fotónica.

Como se sabe, un átomo está compuesto por electrones, protones y neutrones. En el modelo propuesto por Bohr, al centro está el núcleo positivo, formado por protones y neutrones, y alrededor del núcleo giran, en órbitas concéntricas, los electrones.

El número de electrones es igual al de protones, y la cantidad específica depende del elemento químico al que corresponde el átomo. Así, para el hidrógeno hay 1 electrón, en el helio hay dos electrones.

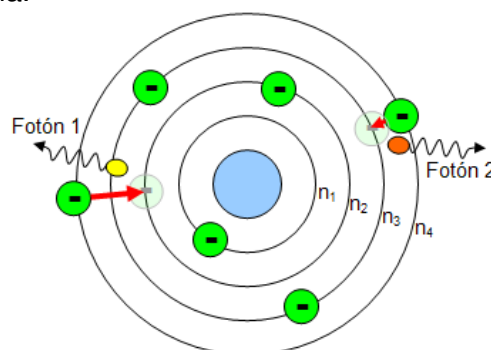


Átomo con 4 niveles de energía

Los electrones giran en órbitas fijas, y están en ellas debido a la atracción del núcleo. A cada órbita le corresponde una cierta energía. Los más alejados del núcleo tienen más energía que los más cercanos. Por lo tanto, si un electrón cambia de una órbita cercana al núcleo a otra más alejada, el electrón tendrá que absorber la energía que necesita para estar en esa nueva órbita.

Pero si el electrón salta a una orbital más cercano, entonces deberá perder energía. Esa energía que aparentemente le sobra, la libera o emitirá en forma de **fotón**.

La emisión de un fotón no solo ocurre naturalmente cuando un electrón cambia de orbital, también ocurre cuando una partícula cargada eléctricamente es acelerada en alguna región, o también cuando hay un proceso de aniquilamiento entre una partícula cargada y su antipartícula.



Emisión de fotones

Dependiendo de cuántas órbitas "salta" el electrón, es cuánta energía la que emite. Por lo tanto hay fotones con más energía que otros. Los fotones con más energía son aquellos que provienen de "saltos" más largos. En la figura anterior, por ejemplo, el fotón 1 tiene más energía que el fotón 2.

La teoría fotónica postula que la energía de los fotones es proporcional a la frecuencia de la luz, así los fotones con más energía constituyen luz de mayor frecuencia que los que tienen menos energía. Por lo tanto se puede afirmar, de la figura, que el fotón 1 tiene mayor frecuencia que el fotón 2.

De acuerdo a lo anterior se deduce que el fotón no puede tener cualquier valor de energía, sino que ella es una cantidad que depende del orbital en que se encuentre. El electrón no puede estar entre dos orbitales dados.

La energía de un fotón es directamente proporcional a su frecuencia de la radiación asociada a él.

Matemáticamente viene dada por la expresión:

$$E = hf$$

Donde f , expresada en hertz, es la frecuencia y h es la llamada constante de Planck. El valor de la constante h es $6,626 \times 10^{-34}$ Js. Si además se considera que la velocidad de la luz es

$$c = \lambda f$$

Siendo λ la longitud de onda. Se tiene que la energía de un fotón es

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Ondas electromagnéticas

Ocurren por la interacción, simultánea, de campos eléctricos y campos magnéticos.

Un campo eléctrico existe alrededor de cargas eléctricas. Cargas eléctricas son cuerpos que tienen exceso de un portador de carga, siendo éstos los electrones y los protones. Por ejemplo, un cuerpo con más electrones que protones tiene carga eléctrica negativa.

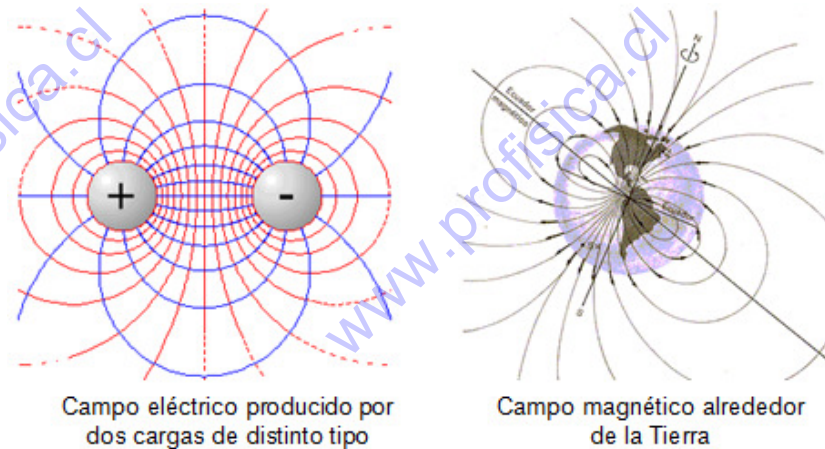
Un campo magnético existe alrededor de un imán permanente o cualquier otro objeto que haya sido magnetizado. También existe alrededor de una bobina por la cual circula corriente eléctrica.

Tanto el campo eléctrico como el magnético pueden coexistir en un medio material como en uno no material (vacío), ambos campos están íntimamente entrelazados. Toda variación de uno de ellos genera una variación en el otro y viceversa. Y la combinación de ambos constituye lo que se denomina campo electromagnético donde ocurren las ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas son "perturbaciones" en el campo electromagnético, al cual llena todo el espacio cósmico. Estas perturbaciones se propagan por el espacio a la velocidad de la luz y pueden divagar millones de años, desde su origen hasta que son absorbidas.

Se generan principalmente al interior de las estrellas, donde hay violentísimos procesos a nivel atómico.

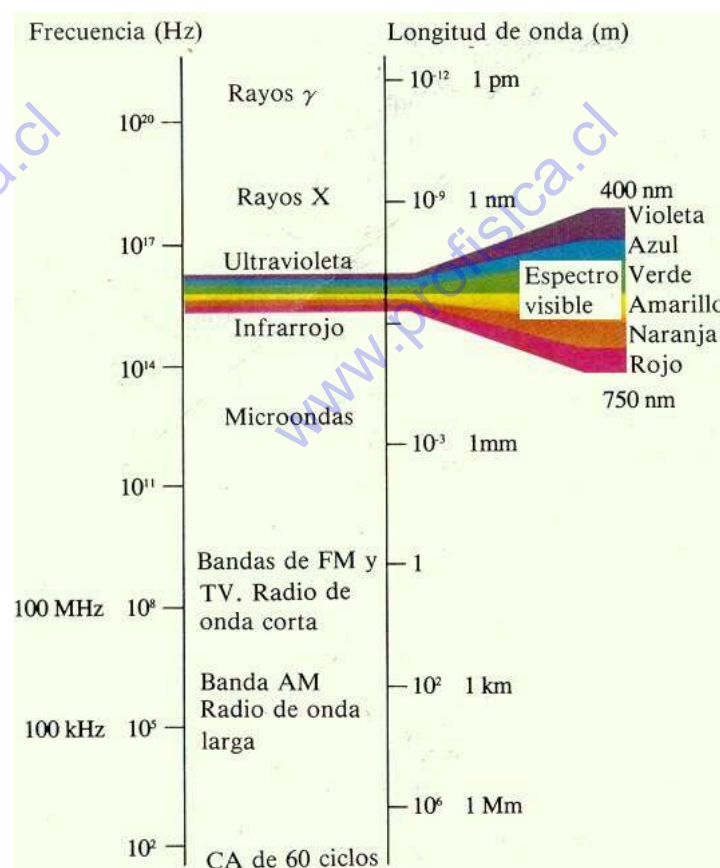
En general toda agitación de cargas eléctricas, ya sea por calor o por explosiones (químicas o nucleares) da origen a perturbaciones electromagnéticas, lo que es lo mismo, a la emisión de fotones.



En cursos superiores se estudia esos campos con mayor precisión y fundamentos. Ellos constituyen una propiedad intrínseca de la materia, así como el campo gravitatorio es una propiedad propia del espacio – tiempo. Sin el campo electromagnético (y la energía que él contiene) no existiría la materia, y si la materia (o energía) no existiera, no existiría el espacio – tiempo. ¡En la física, todo está relacionado!

Ahora bien, esa propiedad resulta ser muy importante para la vida de las personas. Ejemplos de ondas electromagnéticas son: las señales de televisión y de radio, los rayos X, los rayos de los microondas, la radiación solar, las señales de telefonía. Y, por cierto, la luz. Como se observa, los ejemplos están en la tecnología y en la naturaleza.

La luz ocupa un pequeño rango entre todas las ondas electromagnéticas. A grandes rasgos, con frecuencias comprendidas entre 10^{14} y 10^{15} Hz (o de longitudes de onda comprendidas entre 10^{-6} y 10^{-7} m).



Espectro de ondas electromagnéticas

Referencias:

¿QUÉ ES LA LUZ? : HISTORIA DE LAS TEORÍAS SOBRE LA NATURALEZA DE LA LUZ; Revista Universitaria- UABC No. 50, abril-junio 2005.

Física, Raymond Serway, V edición, Editorial Prentice Hall, 2001.

Física Conceptual, X edición, Paul Hewitt, Editorial Pearson, 2007.