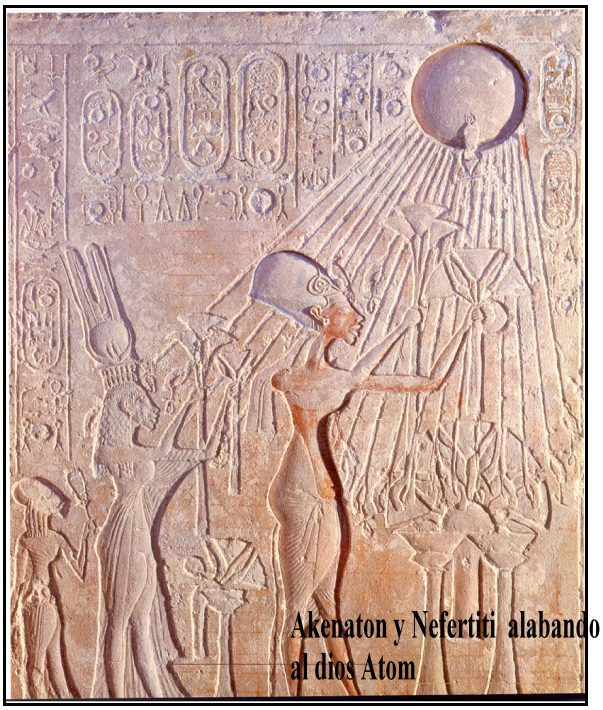
PROHIBIDA SU PUBLICACIÓN

TEMA 46

LA LUZ: LEYES DE LA RADIACIÓN

46.1 NATURALEZA DE LA LUZ.


Akenaton y Nefertiti alabando al dios Atom

Recibe el nombre de *luz* toda radiación capaz de afectar al órgano visual humano.

Desde la antigüedad los hombres han estudiado la luz.

Según la hipótesis de Newton[1], emitida a finales del siglo XVII, los cuerpos luminosos emiten partículas de tamaño pequeñísimo, que se propagan en línea recta y que impresionan el ojo humano al chocar con su retina, de esta forma se produce la sensación luminosa. Así quedaba perfectamente explicada la propagación en línea recta de la luz y el fenómeno de reflexión, ya que en este último las partículas luminosas al chocar con un cuerpo seguían las leyes que rigen el comportamiento de los cuerpos perfectamente elásticos. Sin embargo, no explicaba tan bien la refracción. Esta dificultad se superó basándose en hipótesis complementarias. Es de resaltar que en la época en que Newton emite su hipótesis, ya eran conocidos los fenómenos de interferencia, pero no pudieron ser explicados por él.

[1] Isaac Newton, matemático, físico y astrónomo británico (1643-1727). Fue el padre de la Física clásica, enunciando las tres leyes fundamentales del movimiento; fue el padre de la Astronomía moderna, con la teoría de la gravitación universal; el padre de la óptica con el descubrimiento de la descomposición de la luz; unos de los padres de las Matemáticas, con el desarrollo del cálculo infinitesimal. Dio el nombre de *espectro* (del latín spectrum=fantasma) a la sucesión de los colores obtenida por descomposición de la luz blanca. También propuso una de las primeras teorías corpusculares de la luz. Entre sus obras destacan *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Principios matemáticos de la Filosofía natural, 1687), *Opticks* (1704), *Arithmetica universalis* (1707)

En pleno siglo XVII Huygens[2] consideró que todo foco luminoso era el origen de movimientos ondulatorios, y que estos movimientos se transmitían por una sustancia que llenaba todo el espacio a la que denominó *eter*. Las ondas que se originaban se suponían que eran longitudinales. Con esta teoría se explicaba perfectamente los fenómenos de interferencia y difracción, pero para poder explicar los de polarización se tuvo que considerar la luz como un movimiento vibratorio que originaba ondas transversales.

Para poder explicar los fenómenos luminosos, al *eter* se le consideró un fluido muy tenue, pero rígido como el acero, conceptos que se hermanan difícilmente.

En el siglo XIX, Maxwell[3], supuso que la luz era un fenómeno electromagnético. De acuerdo con esta hipótesis, un cuerpo luminoso se considera como el centro de propagación de las ondas electromagnéticas, es decir, de campo eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí. Al demostrar Hertz[4] la reflexión, refracción, interferencias y polarización de las ondas electromagnéticas se dio base experimental a esta teoría.

A principios del siglo XX cuando parecía que la teoría de la luz estaba completamente estabilizada, aparecieron varios hechos, como son los fenómenos de radiación, las series espectrales, el fenómeno fotoeléctrico, y otros, que no pudieron ser explicados por la teoría electromagnética de la luz.

Planck[5] en 1900 emitió la hipótesis, que la emisión o absorción de energía del cuerpo negro, no podía ser de naturaleza continua y sólo tenía lugar por múltiplos enteros de una cierta cantidad elemental, representada por el producto de una constante **h** por la frecuencia **v** de radiación. De esta forma se establece que la energía que emite o absorbe un cuerpo sólo tiene lugar por múltiplos enteros **h.v**.

---

[2] Christian Huygens, astrónomo, matemático y físico holandés (1629-1695). En física estudió la fuerza centrífuga, enunció las leyes del choque elástico y las del péndulo, e inventó el reloj de péndulo. Enunció la teoría ondulatoria de la luz. A él se debe avances notables en Matemáticas, como el estudio de las curvaturas y los fundamentos del cálculo de probabilidades. Entre su obras destacan: *De circuli magnitudine inventa* (Descubrimientos sobre la magnitud de los círculos, 1654), *Horologium* (Relojes, 1673), *Discours de la cause de la pasenteur* (Discurso sobre la causa de la gravedad, 1690), *Traité de la lumière* (Tratado sobre la luz, 1690).

[3] James Clerk Maxwell, físico escocés (1831-1879), considerado el físico más brillante del s. XIX. Su principal aportación fue establecer un vínculo entre la luz y el electromagnetismo. Gracias a sus investigaciones el físico alemán Heinrich Hertz (1857-1894) concibió el primer transmisor de ondas de radio.

[4] Heinrich Hertz, físico alemán (1857-1894). Basándose en las teorías de Maxwell postuló la existencia de ondas electromagnéticas. Diseñó y construyó un equipo para demostrar la existencia de dichas ondas y su detección a distancia.

[5] Max Planck, físico alemán (1858-1947), es considerado el padre de la teoría cuántica. Sus descubrimientos le valieron el premio Nobel de física en 1918. La teoría cuántica fue desarrollada inicialmente por Max Planck para interpretar el espectro del cuerpo negro. Posteriormente fue elaborara por Niels Bohr (1885-1963) para interpretar los espectros de los átomos. La teoría de Bohr de la emisión y absorción de la luz se presenta atendiendo a transiciones entre niveles de energía estacionarios. El modelo atómico de Bohr suministra un medio útil de visualizar las estructuras electrónicas de los átomos, aunque dicho modelo se encuentre en la actualidad superado.

Einstein[6], en 1905, para explicar el *fenómeno fotoeléctrico*, emitió la hipótesis, que la radiación luminosa estaba constituida por un conjunto de partículas aisladas, llamadas *fotones*, que tenían una energía **W = h.ν**, es decir la energía elemental que había establecido Planck.

La luz en los fenómenos de difracción, interferencia y polarización se nos presenta como ondas que se propagan en el *eter*. En cambio en los fenómenos de absorción hay que admitir una estructura diferente, la que establece su constitución basándose en corpúsculos llamados *fotones*.

La luz tiene una apariencia *camaleónica*, con dos aspectos contrapuestos; si se propaga por el espacio lo hace en forma de ondas; si está en contacto con la materia, se emite y absorbe como corpúsculos.

En 1925 de Broglie[7] emitió la teoría del *doble aspecto de la materia*. Según esta teoría, los átomos y los electrones libres en determinadas condiciones experimentales, se comportan no como partículas, sino como ondas.

El valor de la energía de cada fotón es:

$$e = h.\nu \qquad (46.1)$$

siendo:

ν : La frecuencia a la que se emite la radiación.

h : La constante de Planck ($6{,}6256.10^{-34}$ J.s)

La luz tiene propiedades ondulatorias como la difracción y la interferencia y tiene también propiedades corpusculares ya que su energía se transporta en paquetes de energía **h.ν** .

$$\left.\begin{aligned} m &= \frac{W}{c^2} = \frac{h.\nu}{c^2} \\ p &= \frac{h}{\lambda} = \frac{h.\nu}{c} \end{aligned}\right\} \qquad (46.2)$$

[6] Albert Einstein (1879-1955), físico alemán. Uno de los científicos más famosos de la historia. Introdujo nuevas teorías acerca de la naturaleza del tiempo, el espacio, la energía y la gravedad. Estudió la teoría de los cuantos de Planck, aplicó la estadística de Bose(1894-1974) al movimiento browniano y desarrolló una hipótesis que le permitió determinar el número de Avogadro. Aplicando la teoría de las discontinuidades cuánticas a las ondas electromagnéticas supuso la existencia de los fotones, y pudo así explicar el fenómeno fotoeléctrico. En un artículo publicado en 1905, sentó la base de la teoría de la relatividad. En 1921 obtuvo el premio Nobel de física por su explicación del fenómeno fotoeléctrico.

[7] Príncipe Louis Victor de Broglie (1892-1987). Físico francés. En 1924 obtuvo el grado de doctor con su tesis sobre *Recherches sur la Théorie des Quanta,* en la cual sugería que al tener la luz mucho de corpuscular, se podría esperar que las partículas elementales, debido a la simetría de la naturaleza mostraran propiedades ondulatorias. Descubrió el carácter ondulatorio del electrón. Fue el creador de la mecánica ondulatoria. Premio Nobel de física en 1929.

Ahora bien, la teoría de la relatividad obliga a asociar una masa y un momento (46.2).

La naturaleza dual de la luz fue comprobada mediante observaciones experimentales, y fue incorporada dentro de la física teórica como la electrodinámica cuántica.

En 1927 Davisson[8] y Germer demostraron experimentalmente que existe un patrón de difracción cuando una corriente rápida de electrones cae sobre la superficie de un cristal.

El concepto de Broglie de una longitud de onda $\lambda = h/p$ asociada con un electrón de momento **p** probó su utilidad, al discutir los estados de energía y el momento de los electrones en los átomos.

La dualidad ondulatorio-corpuscular de las partículas y la radiación no presentan ningún conflicto como originariamente se supuso: en la actualidad se conciben ambas formas de comportamiento como manifestaciones de la materia.

Otra confirmación de la *teoría de los "cuantos"* la tenemos en la luz fluorescente. La Ley de Stokes[9] dice que "*la luz emitida por un cuerpo fluorescente es siempre de menor frecuencia que la luz incidente*".

La teoría de los cuantos permite explicar este fenómeno. En efecto, al recibir una pantalla fluorescente energía luminosa en forma de cuantos luminosos, parte de la energía recibida es absorbida y parte reflejada, el cuanto luminoso reflejado, **h.v**, tendrá por tanto menor energía que el recibido, y como **h** es constante, la frecuencia **v** tendrá que ser menor que la correspondiente a la radiación incidente.

La luz, como se ha apuntado más arriba, tiene doble naturaleza:

- Ondulatoria.
- Corpuscular.

La primera definida por el tren de ondas electromagnéticas, y la segunda por los fotones o cuantos de energía.

Si designamos **c** como velocidad de propagación y λ a la longitud de onda, se verifica:

$$c = \frac{\lambda}{T} \qquad (46.3)$$

Siendo **T** el período.

[8] Clinton Joseph Davisson (1881-1958). Físico norteamericano. Descubrió la difracción del electrón y puso de manifiesto la dualidad onda-corpúsculo de la materia. Premio Nobel de física en 1937.

[9] George Gabriel Stokes (1819-1903). Físico y matemático británico, autor de estudios sobre la fluorescencia y la mecánica de fluidos.

La frecuencia de la vibración es **ν**, por tanto verifica:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Luego:

$$c = \lambda.\nu \qquad (46.4)$$

La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío es[10]:

$$c = 300\ 000\ km.s^{-1}$$

46.2 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

Las ondas, propagándose en el vacío con velocidad constante, tienen diferentes frecuencias y por tanto diferentes longitudes de onda. Está última magnitud es la que caracteriza a la onda electromagnética.

El espectro electromagnético, es el conjunto de ondas electromagnéticas que corresponden a las diferentes longitudes de onda.

En la Fig.46.1 se representa el espectro electromagnético, indicando los tipos de radiación correspondientes a cada longitud de onda. La radiación visible, ocupa el espacio entre los **380** y los **760** nm.

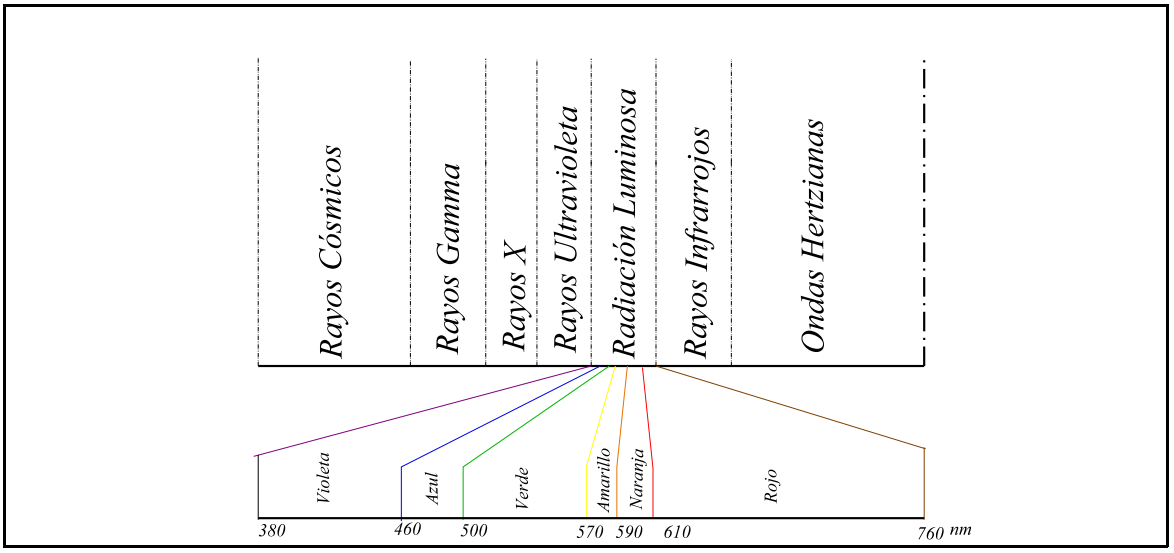
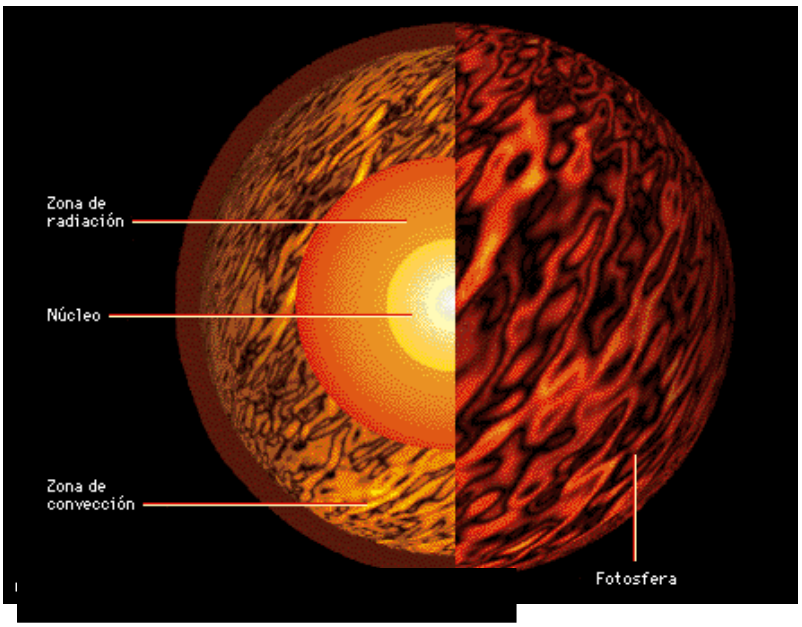


Fig.46.1

[10]El primero en medir la velocidad de la luz en un experimento de laboratorio fue el físico francés Armand Hippolyte Louis Fizeau, aunque observaciones astronómicas anteriores habían proporcionado una velocidad aproximadamente correcta. En la actualidad, la velocidad de la luz en el vacío se toma como 299.792.458 $m.s^{-1}$, y este valor se emplea para medir grandes distancias a partir del tiempo que emplea un pulso de luz o de ondas de radio para alcanzar un objetivo y volver



La fuente luminosa por excelencia es el Sol[11]. El Sol es una gigantesca esfera incandescente, con una masa 334.000 veces superior a la de la Tierra y un diámetro de casi 1.400.000 km, aproximadamente 3,6 veces la distancia entre la Tierra y la Luna. El núcleo del Sol tiene un diámetro de 320.000 km, formado por hidrógeno y helio. En el núcleo es donde se obtiene el 90% de la energía del Sol.

La energía se produce mediante reacciones de fusión, que son capaces de elevar la temperatura a 60 millones de grados.

La transmisión de la energía, que se origina en el núcleo, se realiza a través de la corona cuya superficie está a 130.000 ºC.

11

La cantidad total de energía emitida por el Sol en forma de radiación es bastante constante, y no varía más que unas pocas décimas de un 1% en varios días. Esta energía se genera en las profundidades del Sol. Al igual que la mayoría de las estrellas, el Sol se compone sobre todo de hidrógeno (71%); también contiene helio (27%) y otros elementos más pesados (2%). Cerca del centro del Sol, la temperatura es de casi 16.000.000 ºK y la densidad es 150 veces la del agua. Bajo estas condiciones, los núcleos de los átomos de hidrógeno individuales actúan entre sí, experimentando la fusión nuclear. El resultado neto de estos procesos es que cuatro núcleos de hidrógeno se combinan para formar un núcleo de helio, y la energía surge en forma de radiaciones gamma. Una enorme cantidad de núcleos reacciona cada segundo, generando una energía equivalente a la que se produciría por la explosión de 100.000 millones de bombas de hidrógeno de un megatón por segundo. La 'combustión' nuclear del hidrógeno en el centro del Sol se extiende a un 25% del radio solar.
La energía producida de esta forma es transportada a la mayor parte de la superficie solar por radiación. Sin embargo, más cerca de la superficie, en la zona de convección que ocupa el último tercio del radio solar, la energía es transportada por la mezcla turbulenta de gases. La fotosfera es la superficie superior de la zona de convección. Se pueden ver pruebas de la turbulencia en la zona de convección observando la fotosfera y la atmósfera situada encima de ella.
Las células turbulentas de la fotosfera le confieren una apariencia irregular y heterogénea. Este modelo, conocido como granulación solar, lo provoca la turbulencia en los niveles más altos de la zona de convección. Cada gránulo mide unos 2.000 km de ancho. Aunque el modelo de granulación siempre está presente, los gránulos individuales solamente duran unos 10 minutos. También se presenta un modelo de convección mucho mayor, provocado por la turbulencia que se extiende en las profundidades de la zona de convección. Este modelo de sobregranulación contiene células que duran un día y tienen 30.000 km de ancho como media.

La luz que emite el Sol es la correspondiente a un espectro continuo de un gas a una gran presión, pero esta luz experimenta una absorción atómica selectiva al atravesar los gases más fríos que se encuentran en la superficie del sol. La mayor parte de la estructura del espectro solar, si no fuese por lo dicho anteriormente sería continuo, se originara en este proceso, pero aparecen además bandas oscuras debidas a la absorción ejercidas por moléculas de la atmósfera terrestre

46.3 LEY DE KIRCHHOFF. CUERPO NEGRO.

Kirchhoff [12]emitió la ley que dice: "*La relación* ***E/A*** *entre el poder emisor* ***E*** *y el absorbente* ***A*** *es la misma para todos los cuerpos, pues no depende más que de la longitud de onda y de la temperatura*".

$$\frac{E}{A} = \Psi(\lambda,T) = Cte \qquad (46.5)$$

Esta ley indica que, cuanto mayor es el poder absorbente de un cuerpo, mayor será el poder emisor del mismo.

Cuando un cuerpo absorbe todas las radiaciones que recibe, es decir si tiene **A = 1**, se llama "*cuerpo negro*". No existe en la naturaleza cuerpo que cumpla exactamente esta condición, los más próximos son *el negro de humo* que absorbe el 96 %, y el *negro de platino*, que absorbe el 98 %.

Mediante la *Ley de Kirchhoff* se deduce que si **A= 1,** la emisión **E** tiene que ser máxima. El cuerpo negro emitirá pues a igualdad de temperatura mayor radiación que otro cuerpo cualquiera. La radiación emitida no depende de la naturaleza del cuerpo, sino de su temperatura. Como a una temperatura suficientemente elevada el cuerpo negro emite radiación luminosa, debería llamarse, más bien, "**radiador integral**"

46.4. LEY DE RAYLEIGH-JEANS.

La *Ley de Rayleigh*[13]*-Jeans*[14] establece que el espectro de la radiación luminosa del cuerpo negro tiene una distribución de energía definida por la expresión:

$$\rho_\lambda d\lambda = 8\pi.k.T.\frac{d\lambda}{\lambda^4} \qquad (46.6)$$

[12]Gustav Kichhoff. Físico alemán (1824-1887), descubrió algunas importantes leyes de la electricidad y fundó con Bunsen el análisis espectral. Estudió también las propiedades sobre la emisión y absorción de las radiaciones electromagnéticas. Junto con Hertz y Mach influyó en la difusión del positivismo en la física.

[13]John William Strutt Rayleigh (1842-1919). Físico británico, en colaboración con Ramsay, descubrió en argón (1895). Premio Nobel de física en 1904.

[14] James Jeans (1877-1946). Astrónomo y físico británico, estudió sobre dinámica, radiación, física atómica y mecánica estadística.

Donde:

ρ_λ : Densidad de energía por unidad de longitud de la radiación en el rango dλ.
dλ : Rango de longitudes de onda centrado en la longitud de onda λ.
k : Constante de Boltzmann ($1{,}3805.10^{-23}$ J. $^oK^{-1}$).
T : Temperatura absoluta del cuerpo negro radiante.

La expresión (46.6) describe el espectro de radiación del cuerpo negro de forma muy precisa para grandes valores de **λ**, pero **ρ_λ** se hace casi infinito para longitudes de onda muy cortas. Esto no es posible, ya que solamente una cantidad finita de energía es radiada en la unidad de tiempo por el cuerpo negro, el cual sólo posee una cantidad finita y fija de energía.

En resumen, sólo es válida para valores de la longitud de onda por encima del que produce el máximo de la curva. Para pequeños valores de la misma, se produciría la denominada "*catástrofe ultravioleta*", consistente en que la energía radiada en ondas muy cortas (u-v), sería extremadamente grande, de cumplirse la anterior expresión para estos valores.

46.5 LEY DE RADIACIÓN DE PLANCK.

En la encrucijada que se había producido en el desarrollo de la física, Max Planck hizo las siguientes suposiciones:

1ª.- Los osciladores en el cuerpo negro emiten radiación luminosa en el proceso de cambio de amplitudes; una transición de una amplitud mayor a otra más pequeña da como resultado la emisión de luz, mientras que una transición a una amplitud mayor constituye el proceso de absorción de luz por el oscilador.

2ª.- Un oscilador puede emitir energía al campo de radiación u absorberla de él en unidades de energía llamadas *cuantos*, cuya magnitud es **h.v**, donde **h** es una constante (ahora se llama constante de Planck) y **v** es la frecuencia del oscilador.

Con estas suposiciones, Planck dio la siguiente formulación a la distribución de energía[15]:

$$\rho_\lambda d\lambda = \frac{c_1 . d\lambda}{\lambda^5 . (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)} \qquad (46.7)$$

[15] Esta *ley de distribución de energía* fue presentada ante la Sociedad Física de Berlín por Planck el día 19 de octubre de 1900

Donde:
ρ_λ = Densidad de energía por unidad de longitud de la radiación en el rango dλ.
dλ = Rango de longitudes de onda centrado en la longitud de onda λ.
T = Temperatura absoluta del cuerpo negro (º K).
$\mathbf{c_1} = 2.\pi.c^2.h$ $(h = 6{,}6256.10^{-34}$ J.s)
$\mathbf{c_2} = hc/k$ $(k = 1{,}3805.10^{-23}$ J.ºK$^{-1})$

En (46.7) el término exponencial en el denominador hace que la densidad de energía tienda a cero para longitudes de onda muy cortas. Esta suposición de Planck, fue usada por Einstein en 1905 para explicar el efecto fotoeléctrico.

La Fig.46.2 muestra los comportamientos de las leyes de Rayleigh-Jeans y Planck. Según la temperatura que alcance el cuerpo negro se obtiene una curva característica, según la expresión (46.7).

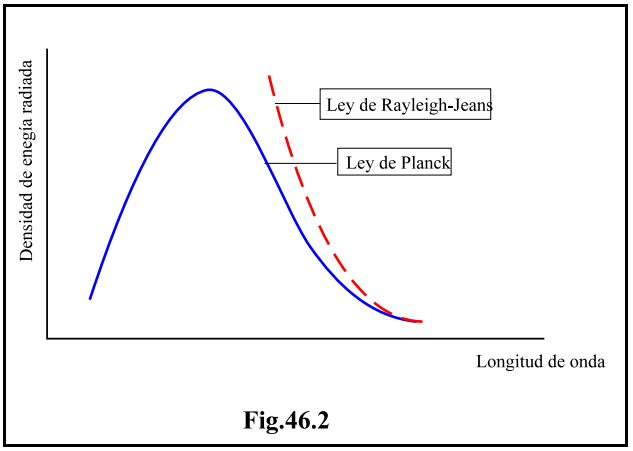


Fig.46.2

46.6 LEY DE RADIACIÓN DE WIEN.

La ley de Wien es válida, por el contrario, para longitudes de onda corta. Se obtiene de la Ley de Planck para una temperatura baja.

$$\rho_\lambda d\lambda = \frac{c_1.d\lambda}{\lambda^5.e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}} \qquad (46.7)$$

Esta Ley es exacta en la región visible del espectro por debajo de los 3.000 ºK.

46.7 LEY DE DESPLAZAMIENTO DE WIEN.

La ley del desplazamiento de Wien[16] establece que el cuerpo negro emite un conjunto de

[16]Wilhelm Wien (1864-1928), físico y premio Nobel alemán, célebre por su trabajo sobre la radiación del cuerpo negro . Nació en Gaffken y estudió en las universidades de Gotinga, Heidelberg y Berlín. En 1890 fue ayudante del físico alemán Hermann Ludwig von Helmholtz en el Instituto Imperial de Técnica Física de Charlottenburg. En diversas ocasiones desde 1900 hasta su muerte, fue profesor de física en las universidades de Giessen, Würzburg y Munich.
Wien desarrolló una fórmula que relaciona la longitud de onda para la cual la emisión de energía es máxima con la temperatura absoluta del cuerpo emisor de radiación. Sus aportaciones en el campo de la radiación sentaron las bases del desarrollo de la teoría cuántica. Dirigió investigaciones en otros campos, tales como la óptica y los rayos X. Por su descubrimiento de las leyes de la radiación del calor fue galardonado en 1911 con el Premio Nobel de Física.

radiaciones de distinta longitud de onda.

Cuando se aumenta la temperatura del cuerpo negro, el máximo de energía radiada se desplaza hacia las ondas cortas, de tal forma que al aumentar al doble la temperatura, la longitud de onda λ_m correspondiente al máximo de energía se hace la mitad. Es decir, que el máximo de la longitud de onda es inversamente proporcional a la temperatura absoluta **T**, por tanto resulta,

$$\lambda_m.T = 0{,}288\ cm.^{\circ}K \qquad (46.8)$$

En la Fig.46.3 se ve este desplazamiento del valor máximo.

Este hecho se manifiesta también en los demás cuerpos, en los que, a medida que se aumenta la temperatura, el espectro que emiten se va corriendo del rojo oscuro al rojo claro hasta llegar al rojo blanco.

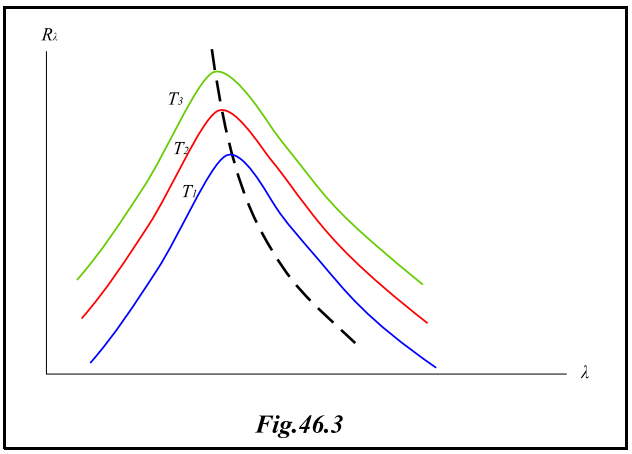


Fig.46.3

46.8 LEY DE STEFAN-BOLTSZMANN.

Es un hecho conocido que los cuerpos calientes pierden calor más rápidamente que los cuerpos fríos, así como el proceso inverso, los cuerpos fríos absorben calor más rápidamente que los cuerpos calientes.

Stefan[17] y Boltzmann[18] formularon la siguiente Ley: *La radiación total emitida por el cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta*. Es decir:

$$R_T = 5{,}669.10^{-12}.T^4\ (W.cm^{-2}) \qquad (46.9)$$

Basándose en esta fórmula se ha medido la temperatura del Sol. Para ello se ha medido la energía que recibe por minuto un centímetro cuadrado de un cuerpo negro, colocado en la Tierra perpendicularmente a los rayos solares. A partir de este dato se calcula la energía total emitida por el astro, y de ella, por la fórmula (46.9), se calcula la temperatura del Sol. Naturalmente que la Ley supone que el cuerpo emisor es un cuerpo negro, y como el Sol no lo es, su temperatura deberá ser un poco mayor.

[17] Joseph Stefan (1835-1889). Físico austriaco, estudió la cinética de los gases y emitió la ley de radiación del cuerpo negro.

[18] Ludwig Boltzmann (1844-1906) Físico austriaco, demostró la ley de emisión de energía radiante de los cuerpos negros que había sido establecida empíricamente por Joseh Stefan. Su aportación más importante es el establecimiento de la relación entre entropía y probabilidad.

46.9 EL EFECTO FOTOELÉCTRICO.

Los electrones pueden adquirir energía suficiente para escapar de un metal frío, si éste se ilumina con luz que posea energía cuántica suficiente, esto es, con una frecuencia suficientemente grande, en consecuencia con longitud de onda suficientemente corta. En este proceso, la energía necesaria para que se produzca este escape es suministrada por la energía de un único *cuanto* de luz. Este fenómeno se conoce como efecto fotoeléctrico y fue descubierto por Heinrich Hertz en 1887, al observar como una chispa podía saltar fácilmente entre dos esferas cargadas, cuando sus superficies estaban iluminadas por la luz procedente de otra chispa.

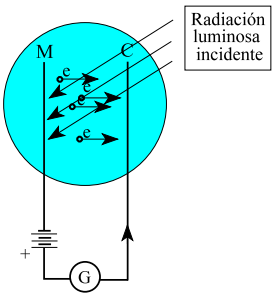


Fig. 46.4

En la Fig.46.4 se muestra de una forma esquemática un dispositivo empleado para observar el efecto fotoeléctrico.

Una radiación luminosa incide sobre una superficie metálica **M** que se encuentra situada en el interior de un tubo en el que existe el vacío. Los electrones se emiten por la superficie y se dirigen hacia el colector **C**, manteniendo un voltaje positivo respecto a **M**. La intensidad producida por la corriente se puede medir mediante un galvanómetro **G**. Se comprueba que para cada metal que se ha utilizado para construir la superficie **M**, se tiene que dar una frecuencia umbral de la radiación luminosa para que empiecen a emitirse electrones.

La velocidad de los electrones emitidos solamente depende de la frecuencia de la radiación luminosa incidente. El número de electrones emitidos por unidad de tiempo depende de la intensidad de la radiación luminosa incidente, pero la máxima velocidad de los electrones es independiente de la intensidad de la radiación y solamente depende de la frecuencia de esta.

La explicación del efecto fotoeléctrico se debe a Einstein en una publicación del año 1905. De acuerdo con Einstein, cuando se absorbe un fotón, su energía total **h.ν** es comunicada a un solo electrón del metal **M**. La energía que adquiere este electrón le permite atravesar la barrera de potencial que existe en la superficie del metal y escapar a ésta (siempre que adquiera una velocidad suficiente). Al atravesar la barrera, el electrón pierde una energía denominada *energía de extracción* **Φ** de la superficie del metal. Debido a que los electrones absorben fotones a distintas profundidades dentro del metal y adquieren velocidades en diferentes direcciones, existe una distribución de energía de los electrones que atraviesan la superficie. La energía cinética máxima de los electrones emitidos por el metal debido a la radiación luminosa incidente está definida por la *ecuación fotoeléctrica de Einstein*:

$$\tfrac{1}{2}mv^2_{máx} = h\nu - \Phi = h\left(\nu - \frac{\Phi}{h}\right) \qquad (46.10)$$

Para un determinado metal la representación gráfica de la energía máxima en función de la frecuencia de la radiación luminosa es una línea recta cuya pendiente determina el valor de la constante cuántica ***h***, Fig.46.5.

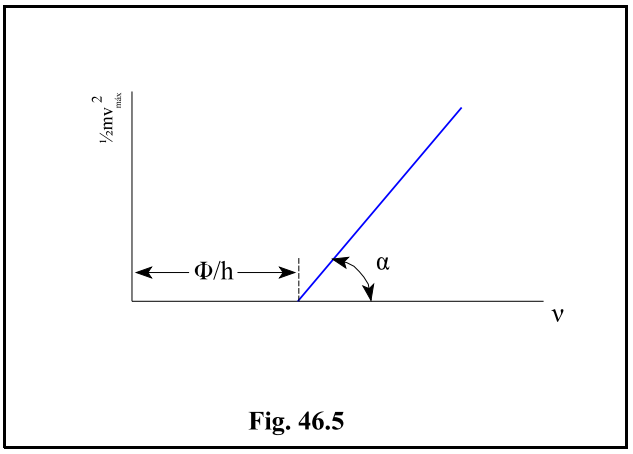
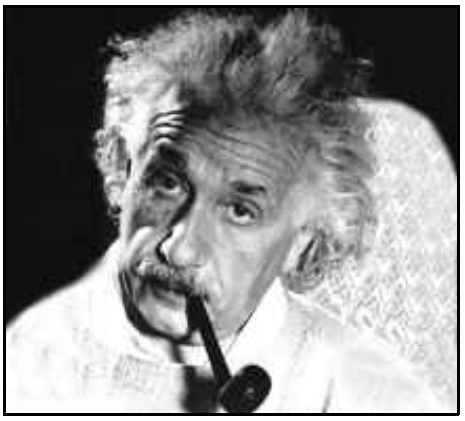


Fig. 46.5

La energía máxima se anula a la frecuencia umbral **h.ν = Φ**. Es decir, por debajo de la frecuencia umbral no existe emisión de electrones, debido a que la absorción del fotón no tiene la suficiente energía para romper la barrera de potencial que existe en la superficie del metal[19]. Se puede decir que *el efecto fotoeléctrico proporciona la primera prueba directa del principio cuántico.*



Albert Einstein

[19] La energía de extracción de los metales oscila entre los 2 y los 5 electrón-voltios.