

## RADIACIÓN TÉRMICA

La catástrofe ultravioleta, es un fallo de la teoría clásica del electromagnetismo y la resolución de este dio origen a una nueva rama de la física: la mecánica cuántica.

Todo cuerpo sólo por el hecho de estar a una temperatura, emite radiación térmica a temperaturas ordinarias, los cuerpos se ven por la luz que reflejan, no por la que emiten.

Casi independientemente del material con que está hecho el cuerpo, el color que toma depende sólo de su temperatura.

Este es un hecho sorprendente y fue objeto de la investigación científica tratando de encontrar una explicación simple en términos de las leyes conocidas de radiación y calor.



Se observa que a mayor temperatura, mayor radiación térmica emitida, a temperaturas ordinarias, la mayor parte de la energía que radian se emite en longitudes de onda propia del infrarrojo o más larga, es decir, no es visible.

Cuando un cuerpo emite radiación visible, lo hace en la forma de un espectro. En otras palabras, ellos emiten radiación electromagnética de diferentes frecuencias (colores) y, por tanto, de diferentes longitudes de onda. Nosotros los vemos "mezclados" y por tanto, solo vemos un color de luz. Si tuviéramos que separar la luz de acuerdo a su longitud de onda, o de acuerdo a su frecuencia, veríamos un espectro como el mostrado a continuación.



Cuando la luz incide sobre un cuerpo cualquiera, una parte es absorbida por él y otra parte o bien se refleja en la superficie o bien atraviesa el cuerpo.

Los detalles particulares de este proceso para cada cuerpo concreto se manifiestan por ejemplo en su color. Un objeto de color blanco refleja casi toda la radiación que recibe, mientras que uno de color negro absorbe casi toda ella.

La radiación que proviene de un cuerpo es la suma de la radiación propia y la que refleja. En Física, un cuerpo negro es un objeto ideal que es capaz de absorber o emitir cualquier cantidad de energía en forma de radiación electromagnética.

## ¿QUÉ ES UN CUERPO NEGRO?

Cuando se desea estudiar únicamente la emisión propia de un cuerpo es preciso aislar al cuerpo esto se logra si el cuerpo absorbe toda la radiación que recibe. No todas las superficies emiten o absorben la misma cantidad de energía radiante cuando se calientan a la misma temperatura.

Un cuerpo que absorba o emita a una temperatura determinada la máxima cantidad de energía se denomina superficie negra o simplemente cuerpo negro. Éste es el modelo de cuerpo negro ideal: una cavidad de paredes muy absorbentes con una pequeña abertura en una de sus paredes. Cualquier radiación que entre en la cavidad será, casi con toda certeza, absorbida por las paredes antes de que pueda salir de ella. De este modo, se puede asegurar que la radiación que salga por la abertura tiene su origen en las paredes de la cavidad, esto es, se trata de emisión propia.

A continuación se muestra la distribución para el espectro de emisión del cuerpo negro a diferentes temperaturas, que son las que nos dice qué tipo de radiación y con qué intensidad emite un cuerpo la cual tiene una forma característica, para el problema de la catástrofe ultravioleta lo que se buscaban era encontrar la expresión matemática que explicara ese comportamiento.

## TEORÍAS

En 1879 el Físico Josef Stefan estaba involucrado en la medición de emisividades y se dio cuenta que la emisividad del Pt a 1473 °K es aproximadamente 11.7 veces mayor que a 798 °K y con la deducción había hecho Kirchhoff de que  $E = A K(v, T)$  (donde A es el cociente entre la emisión y absorción donde para el cuerpo negro  $A=1$ ) Stefan se da cuenta de que  $(1473 / 798)^4 = 11.7$  y concluyó que la emisividad es proporcional a  $T^4$ .

Más tarde, Boltzmann aplicó los conceptos del ciclo de Carnot, considerando la energía radiante como medio operatorio, y obtuvo la relación por vía analítica, la emisividad total de una superficie está dada por:

$$K = (ca/4\pi) T^4 = \sigma T^4$$

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$  es la constante de Stefan-Boltzmann

Esto sirvió para exhibir que el área bajo la curva de las distribuciones de energía es proporcional a  $T^4$

$$u(T) = \int_0^{\infty} u(\lambda, T) d\lambda$$

Hasta este momento no se había propuesto ningún modelo satisfactorio.

Lord Rayleigh y Sir James Jeans encontraron una fórmula que intentaba explicar el comportamiento del cuerpo negro, ellos tomaron en cuenta teoremas

estadísticos sobre la distribución uniforme de la energía cinética por los grados de libertad, esta ley nos dice que la forma de emitir en el cuerpo negro es el producto de la frecuencia de la radiación al cuadrado por la temperatura del cuerpo  $(\nu^2 T)$

$$B_{\nu}(T) = \frac{2\nu^2 kT}{c^2}$$

El resultado indica que para frecuencias altas la emisión de energía se va a infinito, a este resultado se le conoce como Catástrofe Ultravioleta

Por otro lado W. Wien propone un modelo, La llamada ley del desplazamiento de Wien donde afirma que el máximo de la intensidad de la radiación térmica emitida por un cuerpo negro ideal se desplaza, con el aumento de la temperatura, hacia la región de longitudes de onda más corta. La ley de Wien dice: " El producto de la temperatura absoluta de un cuerpo negro por la longitud de onda para la cual la radiación emitida es máxima, es igual a una constante".

$$\lambda_{\max} T = 2,898 \times 10^{-3} m^0 K$$

Esta relación llama la atención por que satisface los principios mencionados por la ley de Stefan-Boltzmann, pero el caso es que lo que Wien encontró es que al bajar en frecuencias (subir en longitudes de onda) se producía una catástrofe y se encontraba una emisión infinita de energía de nuevo. A esta se la llamó Catástrofe Infrarroja.

## Planck, revolucionario de la ciencia

En el año 1900 el físico alemán Max Planck (1858-1947) en un trabajo que presenta a la Sociedad Alemana de Física de Berlín, anuncia haber hallado una ecuación empírica que se ajusta a las curvas experimentales.

$$R_{\nu} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2 \left( e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)}$$

Sin embargo, Planck no estaba muy satisfecho con su trabajo, ya que para deducir su ecuación había tenido que hacer algunas hipótesis que chocaban frontalmente con la concepción física de la realidad en vigor en esos momentos, se inicia aquí la física moderna.

Para conseguir las bases físicas de su fórmula, Planck hizo algunas propuestas que en su momento fueron calificadas de infundadas y extremadamente radicales. Estas propuestas pueden resumirse en los siguientes puntos:

Un oscilador de frecuencia  $\nu$ , sólo puede cambiar su energía en múltiplos de una cantidad discreta denominada cuanto de energía,  $\Delta E = h\nu$  donde  $h$  es la constante de Planck.

La energía de un oscilador está cuantizada, esto es, su energía está restringida a uno de los valores  $E_n = n \cdot h\nu$  donde el número cuántico  $n$  es un entero.

Cuando Planck presentó su teoría, la mayor parte de los científicos no consideró realista el concepto del cuanto, era más bien considerado un concepto matemático que por alguna razón coincidía con los resultados experimentales. Se continuó buscando una explicación más racional de la radiación del cuerpo negro. Pero los desarrollos posteriores mostraron que se necesitaba una teoría basada en el concepto del cuanto, en vez de conceptos clásicos, para poder explicar muchos otros fenómenos a nivel atómico.

La radiación del cuerpo negro fue históricamente el primer fenómeno en ser explicado con un modelo cuántico.

## Implicaciones de la ley de radiación de Planck, efecto fotoeléctrico.

Albert Einstein publicó en 1905 varios artículos entre los cuales uno trataba del efecto fotoeléctrico y por el cual recibió el premio Nobel de Física en 1922. Mucho antes, en 1900, Max Planck había explicado el fenómeno de la radiación del cuerpo negro sugiriendo que la energía estaba cuantizada, pero Einstein llegó aún más lejos explicando de acuerdo a los cuantos de Planck que no solo la energía sino también la materia son discontinuas.

El efecto fotoeléctrico es el fenómeno mediante el cual a una placa de zinc cargada negativamente se le expone a luz ultravioleta dichos fotones impactan con los electrones de la placa, dando origen a una corriente eléctrica.

Hacia finales del siglo diecinueve se probó que el efecto fotoeléctrico sucede también con otros materiales, pero el proceso de emisión depende de la frecuencia de la luz incidente y para cada metal existe una frecuencia crítica tal que la luz de frecuencia más alta siempre lo logra. De hecho, para frecuencias mayores que la crítica, conforme se aumenta la frecuencia, la energía cinética de los electrones emitidos aumenta en forma lineal. Por otra parte, el número de electrones emitidos es proporcional a la intensidad de la radiación incidente.

Si la frecuencia de la luz incidente es  $\nu$ , se tiene que:

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + \phi = E_c + \phi$$



Donde  $h$  es la constante de Planck,  $\nu$  la frecuencia de la luz incidente,  $E_k$  es la energía cinética de los electrones y  $\Phi$  es la función de trabajo del metal, esta es la energía de amarre de los electrones a la red.

En este experimento se mide la energía cinética de los fotoelectrones emitidos por el cátodo de un fototubo contra la frecuencia de la luz incidente, por el método de un potencial retardador. Se aplica una diferencia de potencial  $V$  para frenar el movimiento de los fotoelectrones emitidos, para un voltaje  $V_0$  determinado el amperímetro no marca el paso de corriente, lo que significa que ni aún los electrones más rápidos llegan a la placa C, en ese momento, la energía potencial de los electrones se hace igual a la energía cinética. De esta forma teniendo que  $E_k = eV_0$  y con la ecuación anterior obtenemos:

$$V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{\phi}{e}$$

Si graficamos  $V_0$  vs  $\nu$  tenemos que  $m = h/e$  y  $b = \Phi/e$  por lo que podemos obtener la constante de Planck a partir de graficar estos datos.