

Physica

Conceptos fundamentales de Física en 2º de Bachillerato

I.E.S. Aguilar y Cano

La Física del siglo XX

J.M.L.C.

Radiación térmica

Todos los cuerpos calentados hasta alta temperatura emiten luz. Si, por ejemplo, se caldea un sólido, éste emitirá primero luz roja, si se sigue calentando (y no llega a evaporarse o descomponerse) pasará a emitir luz anaranjada, después amarilla y si llega a ser fuerte el calentamiento es capaz de emitir luz blanca. La radiación que emiten los cuerpos calentados se llama térmica. Todo cuerpo caliente es fuente de radiación térmica. Pero la radiación térmica no sólo se produce a altas temperaturas. También tiene lugar a la temperatura ambiente y a más bajas. La única diferencia consiste en que a medida que la temperatura desciende, disminuye la intensidad de la radiación y varía su composición espectral. A baja temperatura la radiación está compuesta principalmente de rayos infrarrojos.

Ahora bien, todo cuerpo calentado no sólo emite radiación térmica, sino que también la absorbe. Y la experiencia demuestra que cuanto más rayos emite un cuerpo a cierta temperatura, tanto mejor absorbe estos mismos rayos a igual temperatura. En otras palabras, los cuerpos que mejor emiten luz son los que mejor la absorben. Para estudiar cuantitativamente la capacidad de emisión de los cuerpos se idealiza al caso de un cuerpo negro, que es un cuerpo que a cualquier temperatura absorbe toda la energía de cualquier frecuencia que incida sobre él. Un buen modelo es el de un pequeño orificio practicado en una esfera hueca. Los rayos de luz que a través de este orificio penetran en la cavidad se reflejan muchas veces en sus paredes antes de poder salir al exterior. En cada reflexión el rayo de luz, independientemente del material de las paredes, es absorbido parcialmente. Como resultado de las múltiples reflexiones dentro de la esfera, el rayo es prácticamente absorbido en su totalidad y el orificio parece totalmente negro desde fuera. Pues bien se define el poder emisor (E) del cuerpo negro

a la cantidad de energía de la radiación electromagnética de frecuencia dada, ν que emite por unidad de tiempo la unidad de superficie de dicho cuerpo.

Leyes de la radiación del cuerpo negro

En 1884 L. Boltzmann demostró teóricamente que el poder emisor total del cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta:

$$E_T = \sigma T^4$$

Esta es la ley de Stefan-Boltzmann. El coeficiente de proporcionalidad σ se llama constante de Stefan, $\sigma = 5,672 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$. De esta ley se sigue que la radiación del cuerpo negro sólo depende de su temperatura.

La distribución de la energía de la radiación del cuerpo negro entre las longitudes de onda se representa en la figura, para distintas temperaturas. El área limitada por la curva da la energía total emitida por unidad de superficie en la unidad de tiempo. Este área crece rápidamente al elevarse la temperatura, ya que aumenta proporcionalmente a T^4 .

Todas las curvas tienen un máximo, con la particularidad de que, al aumentar la temperatura, la longitud de onda $\lambda_{\text{máx}}$ se hace cada vez más corta. Precisamente por esto, un cuerpo calentado, al irse elevando la temperatura, se pone primero rojo, después anaranjado, y, finalmente, amarillo-blanco.

Estos máximos son, pues, inversamente proporcionales a la temperatura:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{b}{T}$$

Esta fórmula expresa matemáticamente la ley de desplazamiento de Wien: la longitud de onda a la cual corresponde el máximo de la energía de radiación del cuerpo negro es inversamente proporcional a la temperatura absoluta. El valor de la constante b es $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$.

Los físicos Rayleigh y J. Jeans elaboraron una ecuación que describía la distribución de energía en la zona roja del espectro (altas λ), pero fallaba estrepitosamente en la zona del ultravioleta (pequeñas λ), pronosticando que a estas longitudes de onda el cuerpo debería emitir una cantidad de energía ¡infinita! “*catástrofe del ultravioleta*”.

Solución de Planck

La salida a estas dificultades vino de la mente de Max **Planck** en 1900. Planck propuso una hipótesis según la cual la energía de los átomos del cuerpo negro varía en porciones aisladas. A consecuencia de esto el cuerpo negro no emite ni absorbe la luz continuamente, sino en determinadas porciones finitas de energía llamadas cuantos. La energía de un cuanto debe ser:

$$\varepsilon = h\nu$$

donde ν es la frecuencia de la luz y h la denominada constante de Planck, su valor es $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. Según Planck, el cuerpo radiante emite siempre la energía

$E = n \cdot \varepsilon$ en la que n es cualquier número entero positivo.

Basándose en esta idea, Planck obtuvo una fórmula que estaba en perfecto acuerdo con los resultados de las mediciones de la distribución de la energía de los espectros de emisión del cuerpo negro a diferentes temperaturas.

Contenido

Radiación térmica.....	1
Efecto fotoeléctrico.....	2

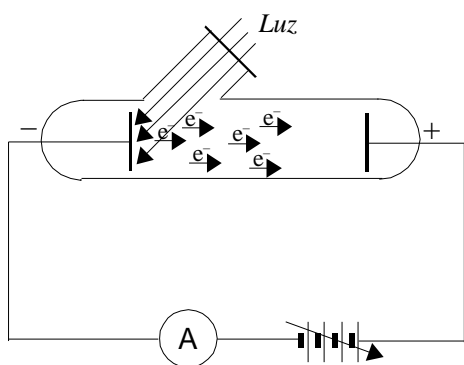
La idea de Planck sobre el carácter discontinuo de los procesos de emisión y absorción de la luz sentó las bases de la denominada Mecánica Cuántica.

Efecto fotoeléctrico

En 1887 H. Hertz descubrió que si se ilumina el electrodo negativo de un descargador de chispas con rayos ultravioleta, la descarga eléctrica se produce con menor tensión entre los electrodos que en ausencia de ella. Experimentos posteriores demostraron que, bajo la acción de la luz, el metal pierde partículas cargadas negativamente, confirmándose como electrones. Este fenómeno se denomina efecto fotoeléctrico; y a la corriente originada en el circuito corriente fotoeléctrica.

Desde el punto de vista de la teoría electromagnética de la luz se puede considerar que la onda electromagnética, al incidir sobre el metal, "sacude" sus electrones, los cuales acaban desprendiéndose del metal. Pero en este caso cuanto mayor sea la amplitud de la onda luminosa, tanto mayor debe ser la velocidad del electrón emitido. A expensas de esta energía el electrón puede vencer las fuerzas que lo retienen dentro del metal y salir de él. Entonces, la velocidad y energía cinética de los electrones que abandonan el metal debe depender de la amplitud de las oscilaciones del vector intensidad del campo eléctrico de la onda electromagnética, es decir, de la intensidad de la onda. Pero los experimentos no confirmaron eso.

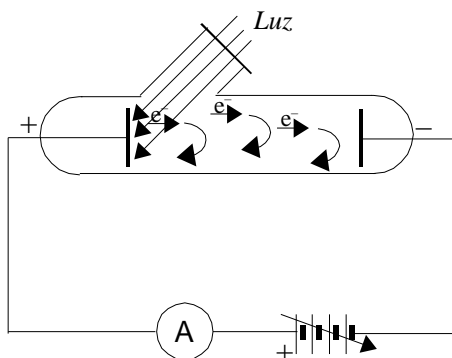
Leyes del efecto fotoeléctrico



Si iluminamos sucesivamente el cátodo de la célula fotoeléctrica de la figura con luces

monocromáticas de distinta frecuencia ν se observa que el amperímetro deja de indicar paso de corriente cuando ν es inferior a cierto valor umbral ν_0 característico del metal del cátodo. Es decir, *si ν_0 es la frecuencia umbral de un metal puro, el efecto fotoeléctrico sólo se presenta si $\nu > \nu_0$, o sea, $\lambda < \lambda_0$.*

Incrementando el voltaje establecido entre los electrones, la corriente electrónica, medida por el amperímetro, aumenta hasta alcanzar un valor de *saturación*, a partir del cual nuevos incrementos de V no alteran la intensidad, lo cual significa que todos los electrones emitidos por el cátodo son captados por el ánodo. Si se duplica la intensidad de la radiación que incide sobre el cátodo, se duplica también el número de fotoelectrones, por tanto, *la intensidad de la corriente de saturación electrónica es proporcional a la intensidad de la radiación.*



Intentemos ahora anular el efecto fotoeléctrico. Para ello, basta invertir la polaridad de los electrodos, conectando el terminal positivo a la placa fotosensible. Este voltaje crea un campo eléctrico que atrae a los fotoelectrones. Se observa que la corriente se anula para un valor V_0 llamado *potencial de detención* o *potencial retardador*, que no depende para nada de la intensidad del haz monocromático, sino únicamente de la frecuencia ν de esta radiación. Al incrementar la frecuencia de la radiación, crece también el potencial retardador. Esta relación es lineal, y la pendiente es la misma para cualquier metal fotosensible. En cambio, cada metal posee una frecuencia ν_0 (frecuencia de corte), por debajo de la cual no se produce efecto fotoeléctrico, independiente de la intensidad

de la radiación.

La interpretación física del potencial retardador es simple: los electrones son emitidos por el cátodo con cierta velocidad ν y poseen la energía cinética $\frac{1}{2}m\nu^2$. Al invertir el voltaje, los

electrones están sometidos a una fuerza que los rechaza, cuyo trabajo en valor absoluto es eV_0 (función trabajo); su velocidad se anulará cuando

$$eV_0 = \frac{1}{2}m\nu_{max}^2 = E_{cmax} \quad \text{siendo } \nu_{max} \text{ la}$$

máxima velocidad con que se emiten los fotoelectrones y $E_{cmax} = eV_0$ la máxima energía cinética del electrón más rápido emitido.

Así, *la energía cinética máxima de los fotoelectrones es independiente de la intensidad del haz monocromático recibido por el cátodo y crece con la frecuencia ν de la radiación incidente.*

Interpretación de Einstein

Un fotón choca contra el metal y es absorbido completamente. Desaparece y cede su energía $h\nu$ a uno de los electrones libres. Para extraer este electrón del metal es preciso comunicarle cierta energía E superior a cierto valor umbral E_0 que depende del material de que se trate. El excedente de energía $E - E_0$ constituye la energía cinética máxima del electrón, que, como hemos visto, es igual al trabajo eV_0 necesario para su detención. Por tanto, podemos escribir:

$$E - E_0 = \left(\frac{1}{2}m\nu^2 \right)_{max}$$

La energía E se suministra por medio del fotón, portador del cuanto de energía h . Por

tanto, $E = E_0 + \frac{1}{2}m\nu_{max}^2$ que es la

ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico. E_0 representa la energía mínima necesaria para liberar el electrón del material y se llama también *trabajo de extracción* o *función trabajo*.