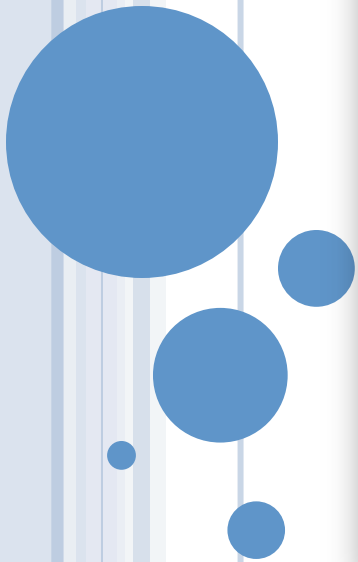


TEMA 9.- FÍSICA CUÁNTICA.

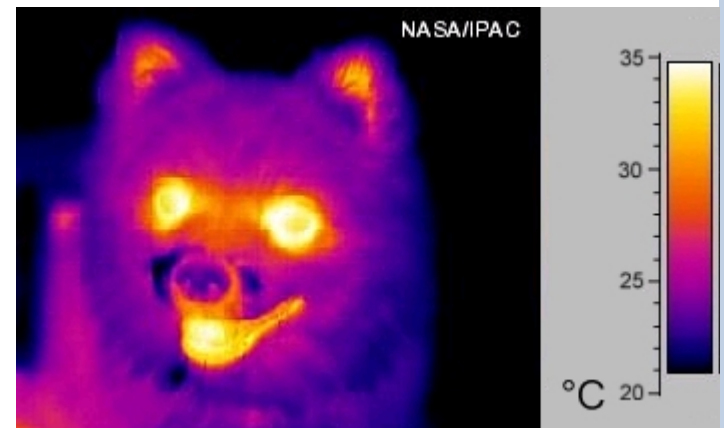


9.1.- Limitaciones de la física clásica.

- ✚ Se denomina **física clásica** a la física basada en los principios previos a la aparición de la mecánica cuántica. Incluye los estudios de la mecánica, el electromagnetismo, la óptica, la termodinámica, la dinámica de fluidos, entre otras.
- ✚ A finales del siglo XIX y principios del S. XX aparecieron una serie de fenómenos que no se pueden explicar con estas teorías.
- ✚ Tres de estos fenómenos son claves en la aparición de la física cuántica:
 - ❖ La radiación térmica del cuerpo negro.
 - ❖ El efecto fotoeléctrico.
 - ❖ Los espectros atómicos.

9.1.1.- Radiación térmica del cuerpo negro.

- ✚ La **energía electromagnética** que emite un cuerpo debido a su temperatura se denomina **radiación térmica**.



VIDEO 1: La radiación térmica del cuerpo negro.

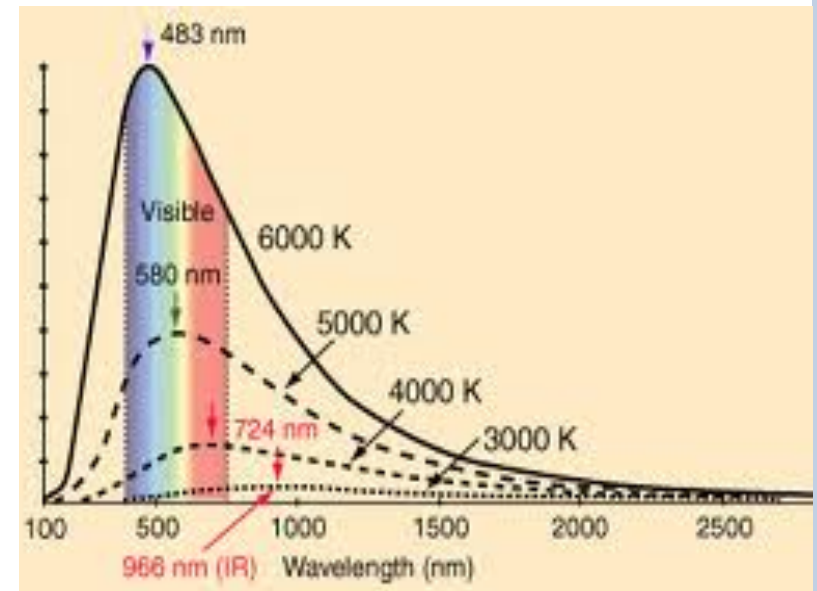
- ✚ **Ley de Stefan - Boltzmann:** la potencia emitida por un cuerpo negro a una cierta temperatura T viene dada por la siguiente expresión:

$$P = \sigma ST^4 \quad [SI]$$

- ❖ P: potencia emitida [W]
 - ❖ $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/ m}^2\text{K}^4\text{]}$, cte. de Stefan - Boltzmann.
 - ❖ S: superficie del cuerpo negro [m²].
 - ❖ T: temperatura absoluta [K].
- ✚ **Ley de desplazamiento de Wien:** al aumentar la temperatura del cuerpo negro, aumenta la frecuencia y disminuye la longitud de onda a la que se emite la máxima potencia de radiación térmica. Esta relación viene dada por:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,897755 \cdot 10^{-3} \quad [mK]$$

- ❖ λ_{\max} : longitud de onda a la que se emite la máxima radiación [m].
- ❖ T: temperatura absoluta [K].



✚ **Hipótesis de Planck.** Para poder explicar la radiación térmica del cuerpo negro, el físico alemán Max Planck formuló las siguientes hipótesis:

❖ Los átomos que emiten la radiación térmica se comportan como osciladores armónicos.

❖ Cada oscilador absorbe o emite energía de la radiación E_0 en una cantidad proporcional a su frecuencia:

$$E_0 = h \cdot f$$

❖ $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ [J·S], cte. de Planck.

❖ f : frecuencia de la oscilación [Hz].

❖ Así, la energía total emitida o absorbida sólo puede tener un número entero “ n ” de ese valor E_0 , de manera que:

$$E = nE_0 = n \cdot h \cdot f \quad n=1, 2, 3...$$

❖ Cada paquete de energía $h \cdot f$ se denomina **cuantos**, de manera que la **energía total está cuantizada** y “ n ” es un número cuántico.

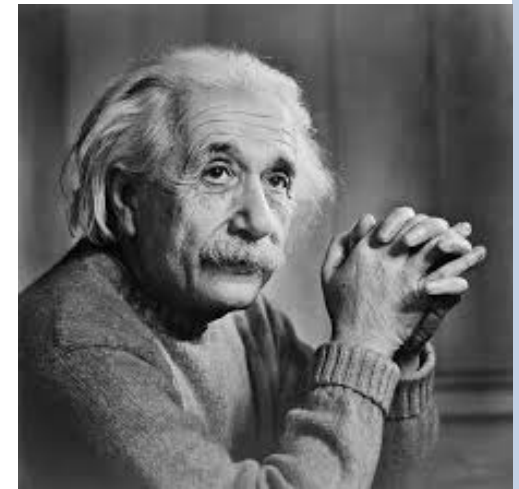


9.1.2- El efecto fotoeléctrico.

- ✚ El efecto fotoeléctrico consiste en que determinadas superficies metálicas son capaces de emitir electrones al ser sometidas a la acción de la luz. Estos electrones emitidos se denominaron **fotoelectrones**.
- ✚ Varios hechos de este fenómeno **no pueden explicarse con la física clásica**:
 - ❖ La emisión de electrones se produce solamente cuando la frecuencia de la radiación es superior a un valor llamado **frecuencia umbral**. Esa frecuencia umbral es característica de cada metal.
 - ❖ Si la frecuencia de la radiación es menor que la frecuencia umbral, el efecto fotoeléctrico NO se produce aunque aumentemos la intensidad de la luz.
 - ❖ Si la frecuencia de la radiación es mayor que la frecuencia umbral, el **nº de electrones** emitidos es **proporcional a la intensidad de la luz**.
 - ❖ Si la frecuencia de la radiación es mayor que la frecuencia umbral, la **energía cinética** de los electrones emitidos es **independiente de la intensidad de la luz**.
 - ❖ El efecto fotoeléctrico, si se produce, es inmediato. **No existe retraso** entre la incidencia de la radiación y la emisión de fotoelectrones.

✚ Teoría cuántica de Einstein.

- ✚ En el año 1905, el físico alemán A. Einstein cuestiona la naturaleza ondulatoria de la luz. Propuso un nuevo modelo corpuscular con el que consigue explicar el efecto fotoeléctrico.



- ✚ Modelo de Einstein para la luz: la luz está cuantizada en pequeños paquetes de energía a los que llamó fotones. La energía de cada fotón viene dada por:

$$E_f = h \cdot f$$

- $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ [J·S], cte. de Planck.
- f : frecuencia de la radiación[Hz].

- ✚ Función trabajo del metal o trabajo de extracción W_0 : mínima energía necesaria para arrancar un e- de la superficie del metal.

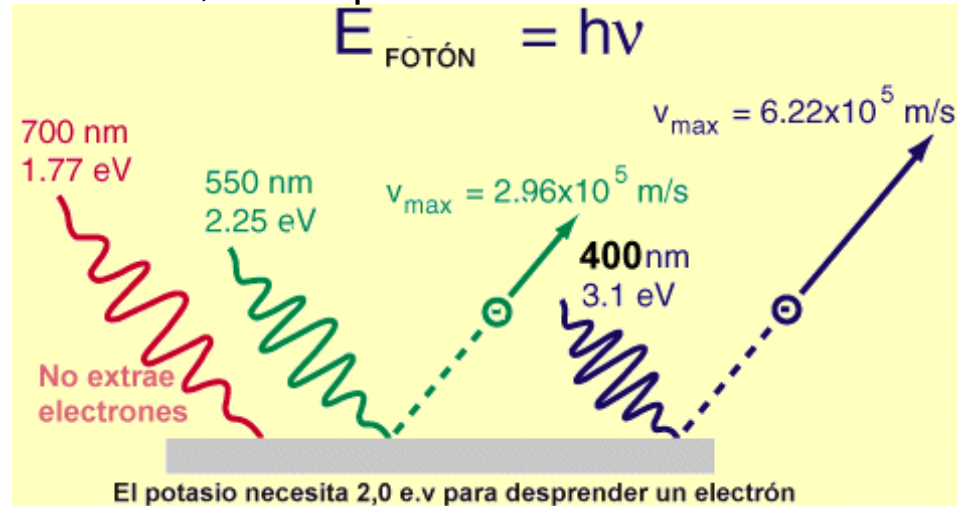
$$W_0 = h \cdot f_u$$

- ✚ El efecto fotoeléctrico es un fenómeno de interacción fotón-electrón.

VIDEO 2: El efecto fotoeléctrico.



- Einstein explica el efecto fotoeléctrico como un **fenómeno de interacción fotón-electrón**: el fotón incide sobre la superficie metálica y transfiere toda su energía a un electrón.
- Si el fotón tiene la suficiente energía para arrancar el e- se produce el efecto fotoeléctrico y, si no es así, no se produce.



- ❖ Si $E_f < W_0 \rightarrow h \cdot f < h \cdot f_u \rightarrow f < f_u \rightarrow$ No existe efecto fotoeléctrico.
- ❖ Al aumentar la intensidad de la luz aumentamos el nº de fotones que llegan al metal, pero ninguno tiene la suficiente energía para producir el efecto fotoeléctrico.
- ❖ Si $E_f > W_0 \rightarrow h \cdot f > h \cdot f_u \rightarrow f > f_u \rightarrow$ Si existe efecto fotoeléctrico.
- ❖ La transferencia de energía del fotón al e- es inmediata: no existe retraso.

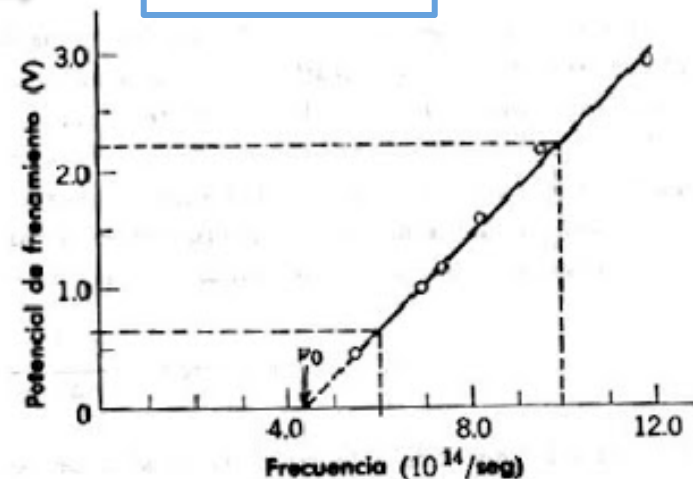
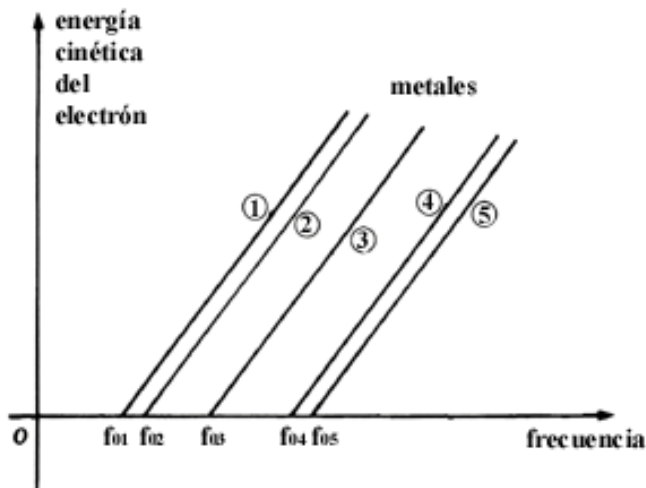
- ❖ Los electrones emitidos lo hacen con una energía cinética máxima que viene dada por la ec. De Einstein para el efecto fotoeléctrico:

$$E_{c_{\max}} = hf - W_0 \quad \longrightarrow \quad \frac{1}{2}mV^2 = hf - hf_u$$

- ❖ Al aumentar la frecuencia de la luz, aumenta la energía cinéticas de los emitidos.
- ❖ La aumenta la intensidad de la luz, aumenta el nº de fotones y el nº de electrones emitidos, aunque todos lo hacen con la misma energía cinética.
- ❖ Para determinar experimentalmente la E_c de los e- emitidos levantamos una barrera de potencial V_D que los detenga totalmente (exp. de Millikan).

$$E_{c_{\max}} = qV_D$$

$$qV_D = hf - hf_u$$



9.2.- Mecánica cuántica.

9.2.1.- Dualidad onda-partícula.

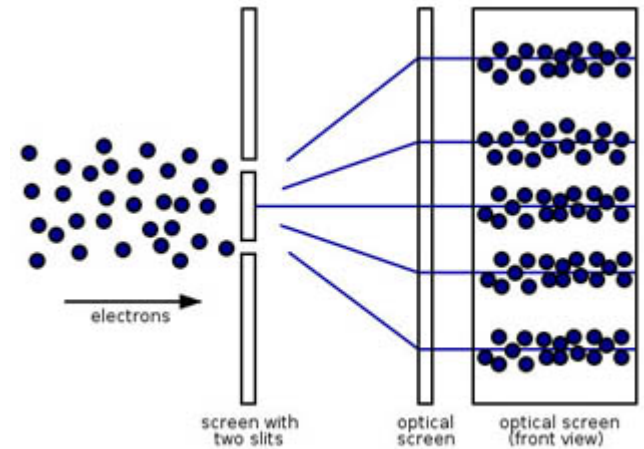
- ✚ **Hipótesis de De Broglie:** hemos visto en el tema anterior como el físico francés Luis V. de Broglie propone un comportamiento dual para la luz:
 - ❖ Se comporta como onda en la reflexión, refracción, interferencia, difracción, dispersión,...
 - ❖ Se comporta como partícula en el efecto fotoeléctrico.
- ✚ No se queda ahí y sugirió que ese comportamiento dual es extensible a partículas material elementales: electrones, protones y neutrones.
- ✚ Mantiene que la energía de estas partículas está relacionada con la frecuencia f de una onda asociada, de manera que:
$$E = h \cdot f$$
- ✚ El momento lineal de estas partículas también se relaciona con la longitud de onda asociada:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$



🚩 Experimento de Davisson y Germer:

- ❖ Consideremos una fuente de electrones de baja intensidad que emite e- poco a poco con la misma longitud de onda.
- ❖ Se hacen pasar por una doble rendija hasta llegar a una placa fotográfica.
- ❖ Cada e- deja una pequeña marca en la placa.
- ❖ Cuando se esperaba encontrar dos manchas (una por cada rendija), aparece un patrón de interferencia.
- ❖ Si tapamos una de las dos rendijas sólo aparece la mancha correspondiente a la otra rendija: NO aparece el patrón de interferencia.
- ❖ Si colocamos una célula fotoeléctrica en una rendija para detectar por donde pasa el e-, tampoco se genera el patrón de interferencia. La propia observación altera el experimento.
- ❖ Este experimento pone de manifiesto el carácter ondulatorio asociado a las partículas subatómicas.
- ❖ Este carácter dual de las partículas subatómicas constituye el fundamento de los microscopios electrónicos.



VIDEO 3: El experimento de Davisson y Germer.

9.2.3.- Principio de incertidumbre de Heisember.

- ✚ **Principio de Incertidumbre:** en el mundo cuántico no es posible conocer con total precisión dos magnitudes físicas simultáneamente.
- ✚ El error que cometemos al medir una variable es inversamente proporcional al que cometemos con la otra, de manera que tenemos siempre una cota mínima de error.
- ✚ Este principio se puede formular matemáticamente de dos formas:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

❖ Δx : error cometido al medir la posición.

❖ Δp : error cometido al medir el momento lineal.

- ❖ Cuanto más preciso seamos al medir una magnitud, mayor error cometeremos con la otra magnitud.

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

❖ ΔE : error cometido al medir la energía.

❖ Δt : tiempo empleado en la medición de la E.

- ❖ Cuanto más preciso queramos ser al determinar la energía de un sistema cuántico (menor error ΔE) mayor será el tiempo que necesitaremos en la observación Δt .