

Física del Siglo XX: Cuántica y Nuclear

Crisis de la Física clásica

A finales del siglo XIX la mayor parte de los científicos tenían la impresión de que el cuadro de la Física estaba básicamente completo:

- Las **partículas** y las **ondas**, como elementos distintos de la realidad, parecían suficientes para explicar todos los fenómenos físicos.
- La **mecánica clásica**, la **teoría ondulatoria**, la **teoría electromagnética** y la **termodinámica** parecían poder explicar definitivamente todos los fenómenos naturales.

En 1898, Lord Kelvin resumía este sentimiento en un famoso discurso en el que afirmaba que la Física estaba acabada:

“Sólo faltan unas pocas constantes por medir, pero todas las grandes ideas ya han sido formuladas. Quedan, dos pequeños problemas para que los jóvenes físicos los resuelvan en los años próximos: la radiación del cuerpo negro y los extraños resultados de los experimentos de Michelson sobre el éter”.



Crisis de la Física clásica

A finales del siglo XIX y principios del XX varios hechos que no tenían explicación con las leyes de la Física conocida, propiciaron el nacimiento de nuevas teorías, demostrando que la Física no se encontraba terminada o cerrada:

- Radiación térmica del cuerpo negro

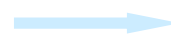
- Efecto fotoeléctrico

- Espectros atómicos

- Experimentos de Michelson



Física cuántica



Teoría de la relatividad

Radiación térmica del cuerpo negro

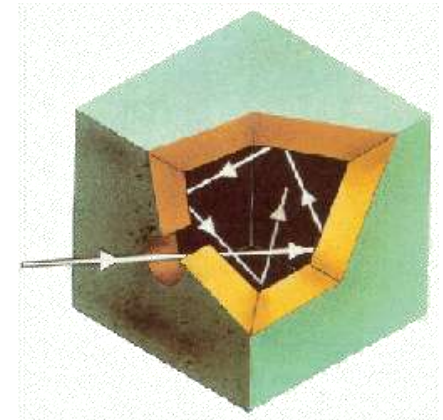
RADIACIÓN TÉRMICA es la energía electromagnética que emiten todos los cuerpos materiales debido a su temperatura.

La radiación de la mayoría de los objetos calientes o templados es IR, pero puede hacerse visible si la temperatura es suficientemente alta.

CUERPO NEGRO es un material ideal que absorbe toda la radiación que le llega (no refleja radiación).

También es el mejor emisor posible; emite la máxima cantidad de radiación para cada longitud de onda y en todas las longitudes de onda, formando un **espectro continuo de emisión**.

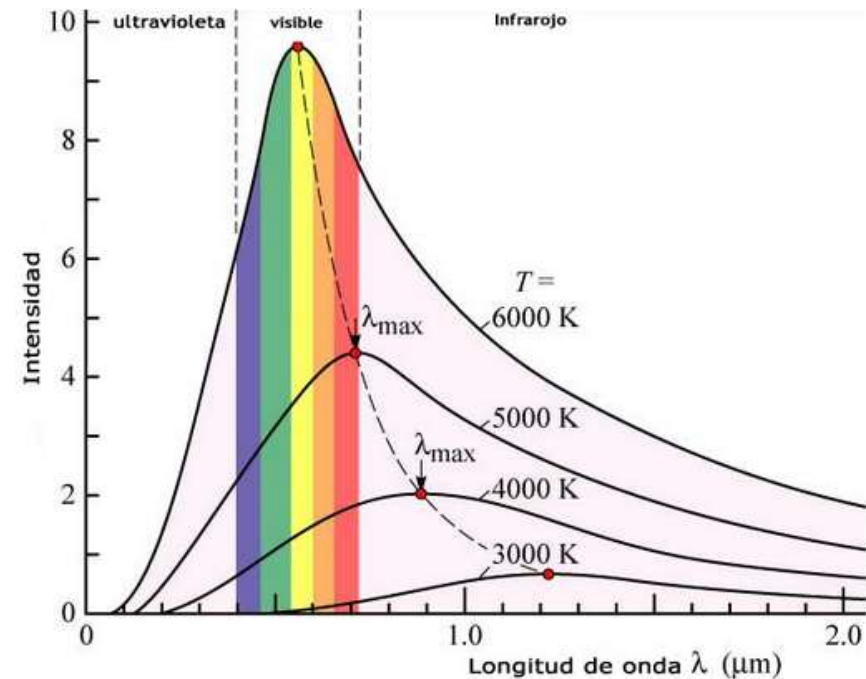
EL espectro de emisión de un cuerpo negro depende sólo de la temperatura.



Radiación térmica del cuerpo negro

Las curvas de emisión de energía son experimentales.

Al aumentar la temperatura de un cuerpo negro se observan cambios en la **potencia emisiva** (energía emitida por unidad de tiempo y superficie):



- La potencia emisiva se incrementa para cada longitud de onda.
- Aumenta la cantidad relativa de energía emitida a longitudes de onda cortas.
- La posición del máximo de potencia emisiva se desplaza hacia longitudes de onda más cortas.

Radiación térmica del cuerpo negro

Los resultados experimentales fueron interpretados matemáticamente mediante dos leyes:

Ley de Stefan-Boltzmann: La potencia emisiva total de un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura

$$E = \sigma \cdot T^4$$

Constante de Stefan-Boltzmann: $\sigma = 5,69 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

Ley de desplazamiento de Wien: La longitud de onda correspondiente al máximo de emisión es inversamente proporcional a la temperatura

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2,897 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

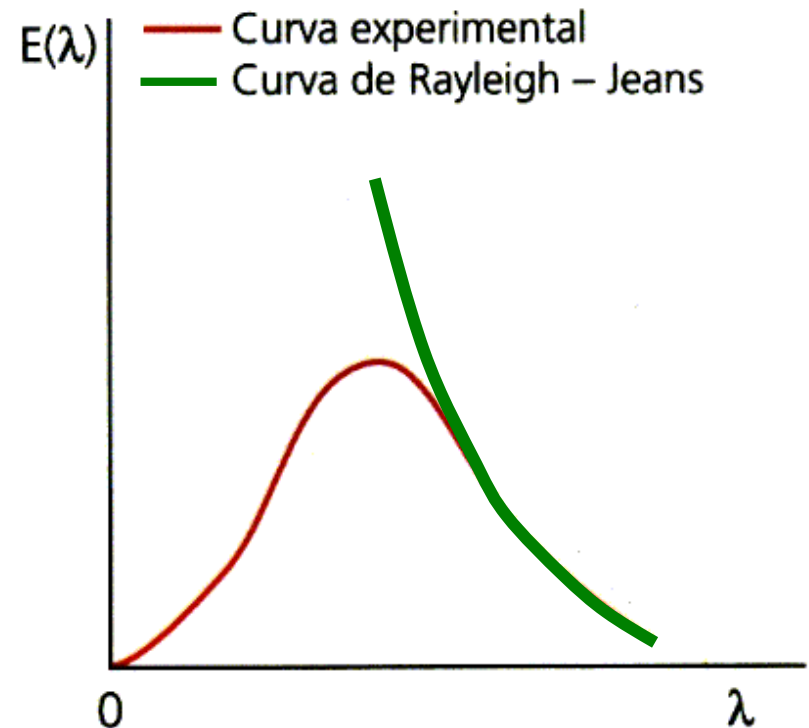
Radiación térmica del cuerpo negro

Rayleigh y Jeans explicaron la radiación de un cuerpo negro utilizando la teoría electromagnética clásica, suponiendo que la emisión se debía a la vibración de osciladores moleculares.

Su teoría se ajusta muy bien para λ grandes, pero la intensidad de la radiación debería aumentar de forma continua al disminuir λ .

En cambio, según los datos experimentales, para λ pequeñas la intensidad tiende a cero.

Este hecho recibe el nombre de **catástrofe del ultravioleta**.



Hipótesis de Planck

Max Planck consiguió elaborar otra teoría que reproducía la curva experimental completa.

HIPÓTESIS DE PLANCK:

En 1900, Planck supuso que los osciladores microscópicos de los cuerpos emiten la energía no de forma continua, sino discreta, mediante paquetes o “*cuantos*” de energía de valor:

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

f es la frecuencia de la radiación

Constante de Planck: **h** = $6,625 \cdot 10^{-34}$ J·s

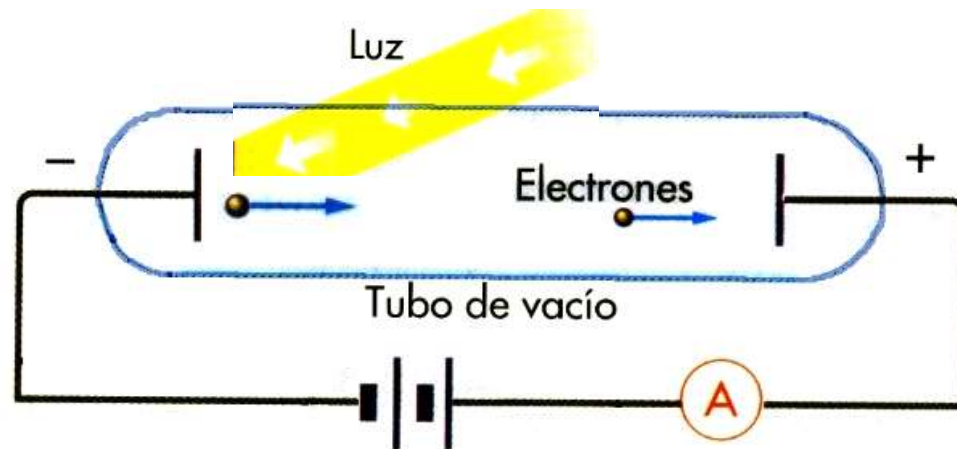


Efecto fotoeléctrico

EFFECTO FOTOELÉCTRICO: consiste en la emisión de electrones, de la superficie de un metal, cuando incide sobre él luz de frecuencia suficientemente elevada.

El fenómeno fue observado inicialmente por **Hertz** en 1887.

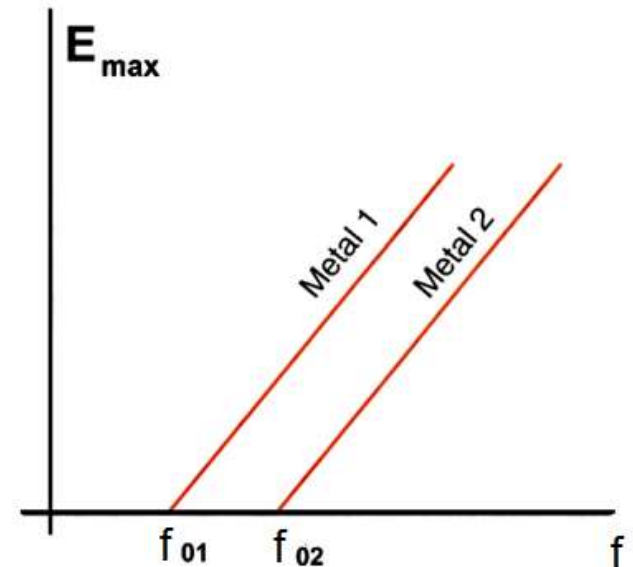
La luz que incide sobre el cátodo provoca la emisión de electrones, algunos de los cuales llegan al ánodo y contribuyen a la corriente detectada en el amperímetro.



Efecto fotoeléctrico

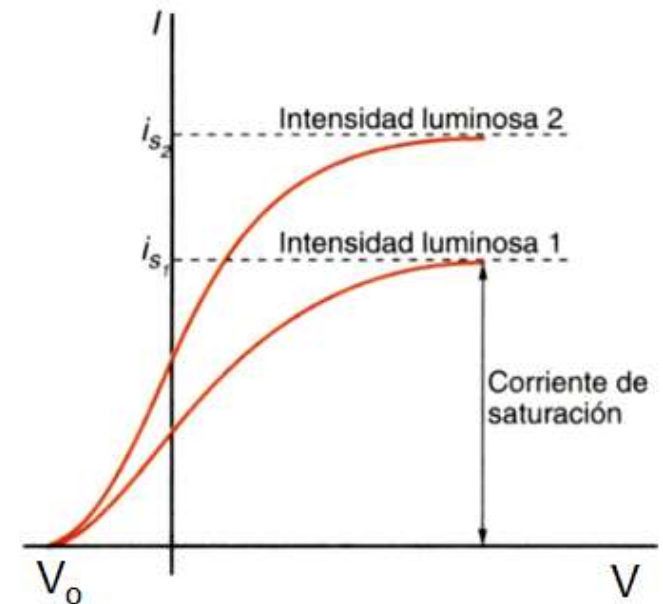
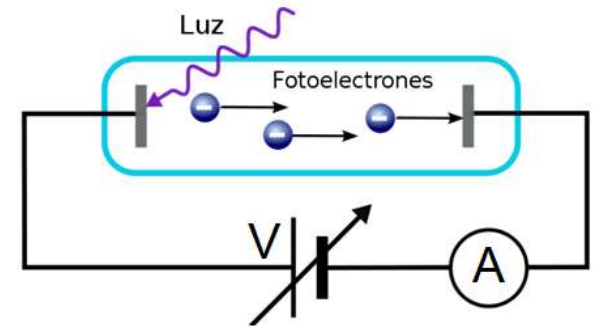
Los hechos experimentales indican:

- El efecto es **instantáneo**.
- Existe una frecuencia mínima (**frecuencia umbral**), f_0 , por debajo de la cual no es posible la fotoemisión, ni siquiera con una intensidad luminosa elevada.
- Cada metal posee una **frecuencia umbral característica**.
- La **energía cinética máxima de emisión**, depende sólo de la frecuencia de la radiación incidente.
- Al representar la energía cinética de los fotoelectrones en función de la frecuencia de la radiación incidente, obtenemos para cada metal una recta, todas con la misma pendiente



Efecto fotoeléctrico

- La **intensidad de corriente** que circula varía al variar la ddp aplicada, V . Al aumentar V , la intensidad crece hasta que alcanza un valor máximo, denominado **corriente de saturación**, i_s .
- La intensidad de corriente de saturación es proporcional a la **intensidad luminosa** de la radiación incidente.
- Para cada radiación, hay un potencial negativo, V_o , **potencial de corte o de frenado**, por debajo del cual no es posible la emisión.



Efecto fotoeléctrico

De acuerdo con la teoría ondulatoria de la luz y la electrodinámica clásica, las previsiones teóricas indican que:

- El efecto no debía de ser instantáneo.
- Cualquier radiación debía producir el efecto fotoeléctrico.
- La energía de los electrones debía depender de la intensidad luminosa incidente.

Teoría de Einstein

En 1905, **Albert Einstein** propuso una explicación para el efecto fotoeléctrico:

- *La luz se propaga por el espacio, transportando la energía en cuantos de luz, llamados **fotones**, cuya energía viene dada por:*

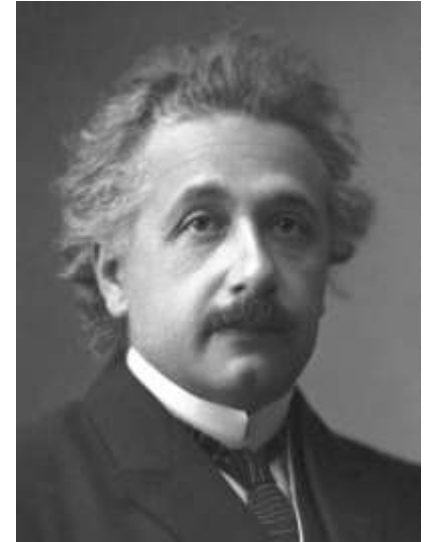
$$E_{\text{fotón}} = h \cdot f$$

(**h** es la cte. de Planck, y **f** la frecuencia de la radiación)

- Un fotón es absorbido completamente por un electrón.
- La energía del fotón incidente sirve para arrancar el electrón del metal y, si sobra energía, para comunicar al electrón energía cinética:

$$h \cdot f = W_0 + E_c$$

- El **trabajo de extracción** o **función trabajo**, **W_0** , es la energía necesaria para liberar un electrón del metal. Tiene un valor fijo para cada metal.

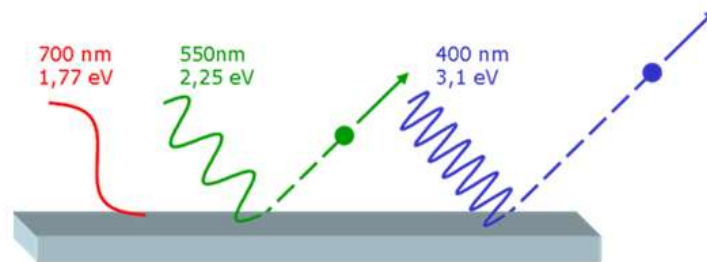


Teoría de Einstein

- El efecto fotoeléctrico se explica como un choque entre partículas, fotón y electrón, por eso es **instantáneo**.
- La **frecuencia umbral**, f_0 , se corresponde con la relación:

$$W_0 = h \cdot f_0$$

- Por debajo de la frecuencia umbral no se produce efecto fotoeléctrico porque el fotón no tiene energía suficiente para arrancar al electrón.



- Por encima de la frecuencia umbral, al aumentar la frecuencia de la radiación aumenta la **energía cinética** de los fotoelectrones:

$$E_c = h \cdot f - W_0 = h (f - f_0)$$

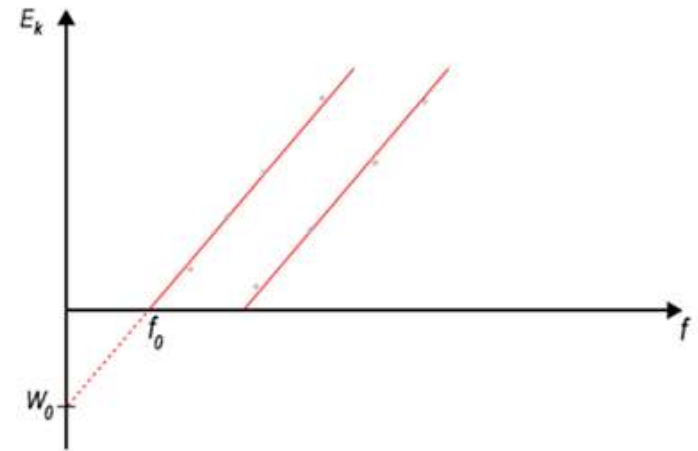
Teoría de Einstein

- La **intensidad luminosa** es proporcional al número de fotones incidentes, y por tanto afecta al **número de fotoelectrones**, pero no a la energía cinética de estos.
- La **energía cinética** de los electrones puede determinarse midiendo el **potencial de frenado, V_0** :

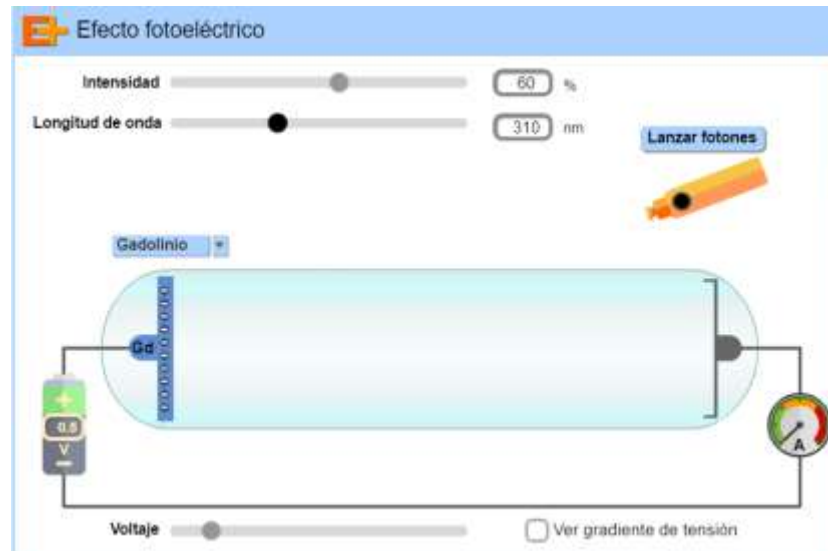
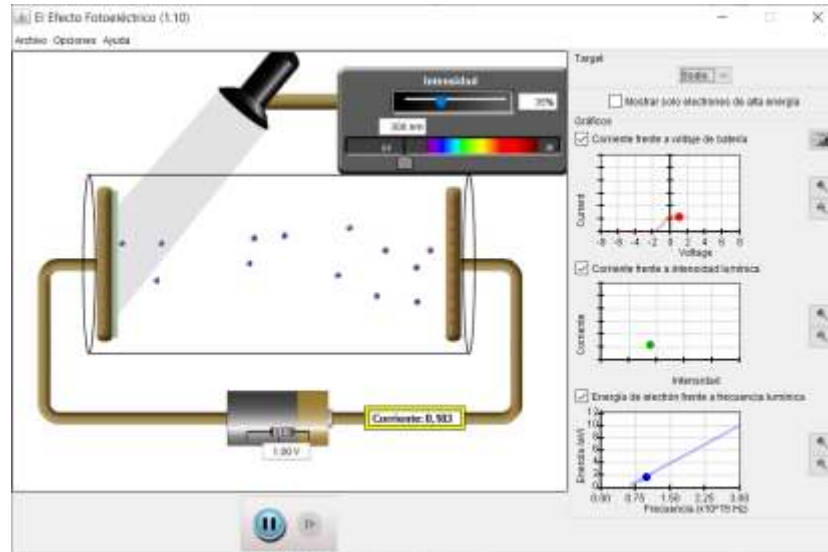
$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = e \cdot V_0$$

- En 1915, **R. Millikan**, halló el valor de la **constante de Planck, h** , midiendo la energía cinética de los fotoelectrones emitidos con una frecuencia

$$E_c = h \cdot f - W_0 = h (f - f_0)$$



Teoría de Einstein



Dualidad onda-partícula

En 1924, **Louis de Broglie** amplió el comportamiento dual de la luz a la materia. Postuló que la materia tiene características ondulatorias.

Según esto, cualquier partícula de masa m y velocidad v tiene una onda asociada de longitud de onda λ .

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



Estas ondas son **ondas de materia**, no tiene naturaleza mecánica, ni electromagnética, ni se originan en ningún fenómeno físico.

En 1927, **Davisson y Germer** comprobaron experimentalmente la validez de la hipótesis de de Broglie al observar la difracción de un haz de electrones.

Principio de indeterminación

En 1927, **Werner Heisenberg** enunció el principio de indeterminación:

No es posible determinar simultáneamente el valor exacto de la posición x y del momento lineal p de una partícula.



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

Δx : Imprecisión en la posición

Δp : Imprecisión en el momento lineal

La indeterminación es una consecuencia de la dualidad onda-partícula de la radiación y la materia, es un hecho inherente a la naturaleza de los entes cuánticos y no depende del proceso de medida.

En 1927, **Neils Bohr** enunció el **Principio de complementariedad**:

Un objeto cuántico actúa como onda o como partícula pero nunca exhibirá los dos aspectos de forma simultánea: son aspectos complementarios.