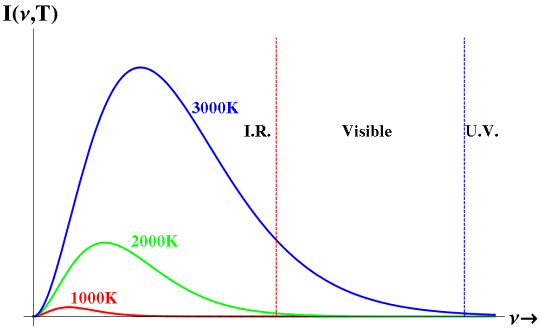
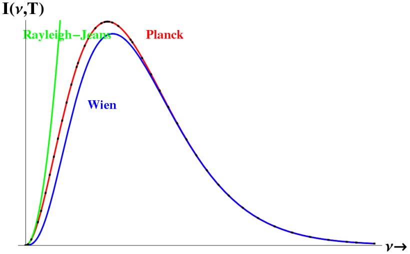
La caída de la Mecánica Clásica II

El problema de la radiación del cuerpo negro

- **Cuerpo negro**: sistema ideal capaz de absorber toda la radiación electromagnética.
- El cuerpo negro emite radiación electromagnética característica de su temperatura.
- A finales del siglo XIX se intentaba buscar una interpretación teórica a la ley de distribución que permitiese predecir la curva de emisión a partir del comportamiento de la radiación electromagnética y de las partículas que forman las paredes del cuerpo negro.



Interpretación de la radiación del cuerpo negro



En su interpretación, Planck llegó a la conclusión que los sistemas que formaban las paredes del cuerpo negro se comportaban como osciladores que sólo podían aceptar o ceder energías en paquetes (o *cuantos*) tales que:

$$E = n\, h\, \nu$$

donde n es un número entero y h es una constante universal conocida como *constante de Planck*, cuyo valor es:

$$h = 6.62606896(33) \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$$

- W. Wien intentó en 1893 explicar las curvas a partir de argumentos termodinámicos:

$$I(\nu, T) = \frac{8\pi\, k_B\, \beta\, \nu^2}{c^3}\, e^{-\beta\,\nu/T}$$

- J.W. Strutt (lord Rayleigh) y J. Jeans lo intentaron en 1900 a partir de la mecánica estadística clásica:

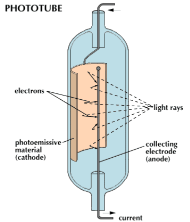
$$I(\nu, T) = \frac{8\pi\, \nu^2}{c^3}\, k_B\, T$$

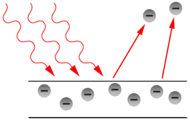
- Max Planck en 1900 ajustó los datos experimentales mediante:

$$I(\nu, T) = \frac{8\pi\, \nu^2}{c^3}\, \frac{h\,\nu}{e^{h\,\nu/k_B\,T} - 1}$$

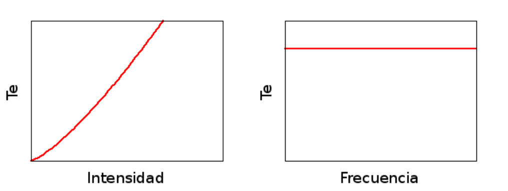
El efecto fotoeléctrico

El experimento de H. Hertz en 1887 consistió en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta).

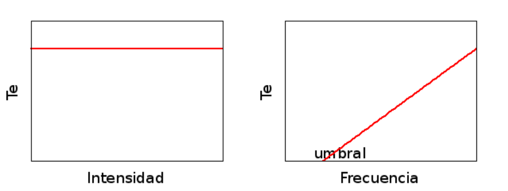




Lo esperado por la Mecánica Clásica

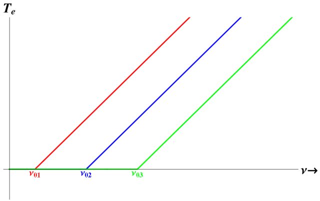


Lo que se obtiene experimentalmente



Interpretación del efecto fotoeléctrico

Albert Einstein, en 1905 explicó el efecto fotoeléctrico extendiendo la idea cuántica de Planck a la cuantización de la energía de la luz.



- La energía de un fotón de luz:

$$E_f = h\,\nu$$

- La energía del fotón se reparte en extraer el electrón a la superficie del metal y el resto en suministrar una energía cinética al mismo:

$$E_f = \phi_0 + T_e = h\,\nu_0 + \frac{1}{2} m_e v_e^2$$

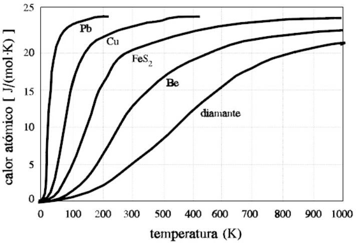
- de donde la energía cinética será:

$$T_e = E_f - \phi = h\,(\nu - \nu_0)$$

La radiación electromagnética está formada por paquetes (cuantos) de luz, los fotones, cuya energía es proporcional a su frecuencia.

Capacidad calorífica de los sólidos

En 1819, P.L. Dulong y A.T. Petit establecieron la ley que lleva sus nombres: El calor específico de todos los elementos en estado sólido presenta valores próximos a 25 $J \cdot mol^{-1}K^{-1}$ cuando aumenta considerablemente su temperatura (ó $3R$, siendo $R \approx 8.31\, J \cdot mol^{-1}K^{-1}$ la constante de los gases).



- según la mecánica clásica la energía de un oscilador lineal es kT. Cada átomo de un cristal vibra en tres dimensiones con una energía $\epsilon = 3kT$.
- Energía molar promedio:

$$E = N_A\epsilon = 3N_AkT = 3RT$$

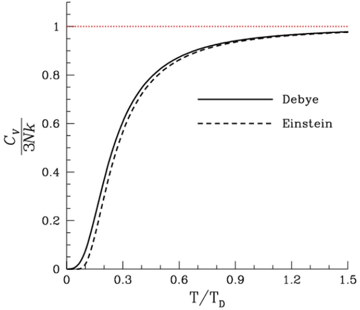
- Capacidad Calorífica molar a volumen constante:

$$C_V = \left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_V = 3R$$

por tanto predice un valor constante para C_V que difiere del valor experimental a bajas temperaturas, aproximándose al valor clásico a temperaturas a partir de $1000K$

Capacidad calorífica de los sólidos

Einstein en 1907 explicó el comportamiento de la capacidad calorífica de los sólidos (suponiendo que cada átomo del cristal tiene la misma frecuencia de vibración ν). Debye mejoró el modelo de Einstein en 1912, reproduciendo los resultados experimentales.



- Einstein obtuvo la energía promedio de un átomo formado por tres osciladores lineales:

$$\epsilon = \frac{3h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

- la energía molar promedio será:

$$E = N_A \epsilon = \frac{3RTx}{e^x - 1} \quad \text{con} \quad x = \frac{h\nu}{kT}$$

- y derivando respecto la temperatura se obtiene:

$$C_V = \frac{3Rx^2 e^x}{(e^x - 1)^2}$$

T altas => $x << 1$ y $C_V \approx 3R$
T bajas => $x >> 1$ y $C_V = 3Rx^2 e^{-x}$