

De donde viene el nombre Mecánica Cuántica (Quantum mechanics)?

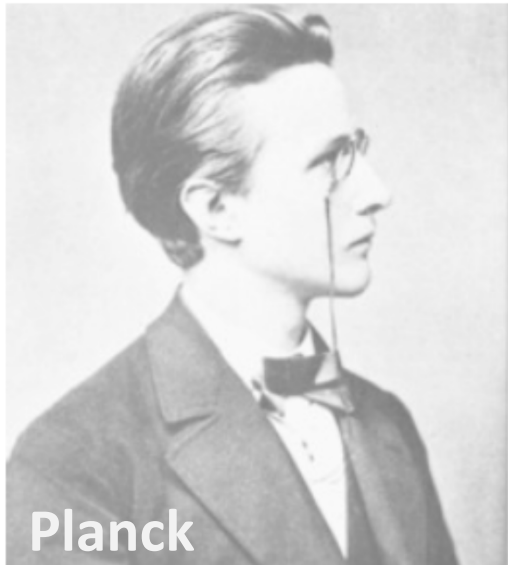
Quantum (quanta en plural) viene del latín Quantus, que significa cuanta cantidad...

En esta materia vamos a ver que hay muchas cantidades que pueden estar cuantizadas, es decir que **vienen en una mínima cantidad** que se denomina **quantum** (ejemplo: un foton es un cuanto de luz).

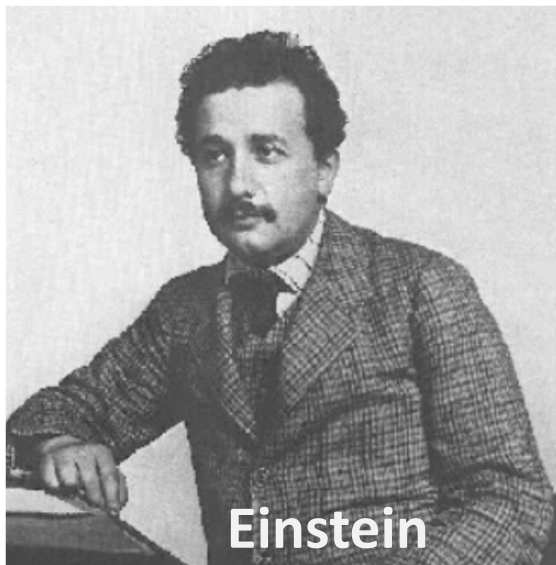
Problemas que conducen a la formación de la MC

La mecánica Cuántica se origina al estudiar distintos problemas relacionados a la **interacción de la luz con la materia**.

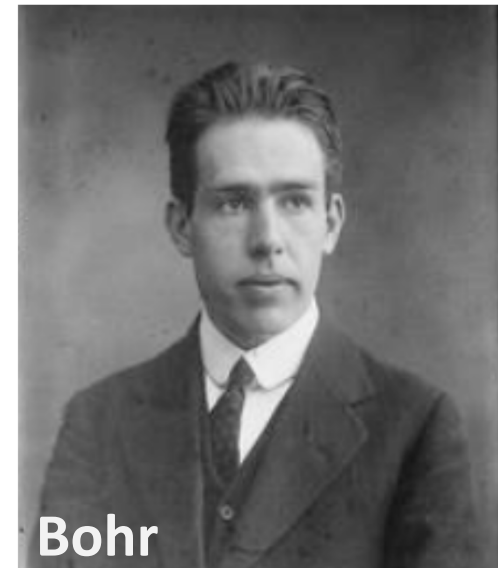
Radiación de Cuerpo Negro



Efecto fotoeléctrico



Espectro del Hidrógeno



Radiación Térmica

- **Todos los cuerpos** con cierta temperatura **emiten luz** (radiación térmica).

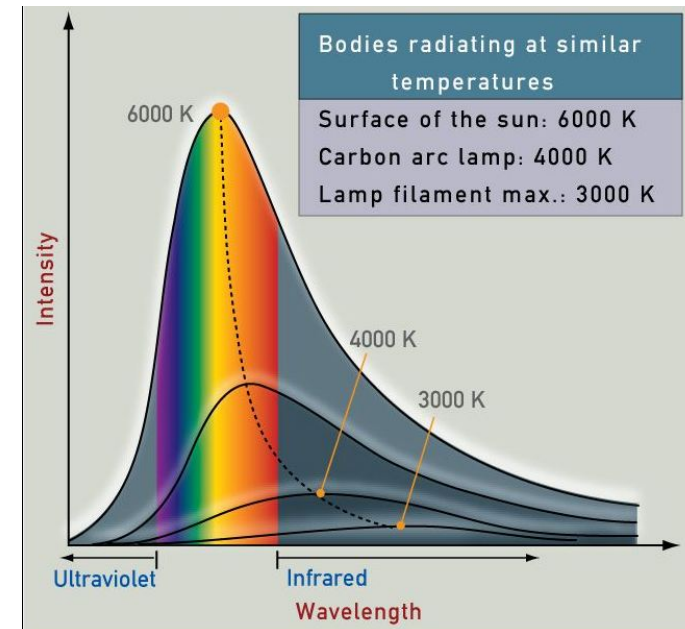
- Esto se debe a el “movimiento” de carga en los átomos.

- Por qué no podemos ver esta radiación?

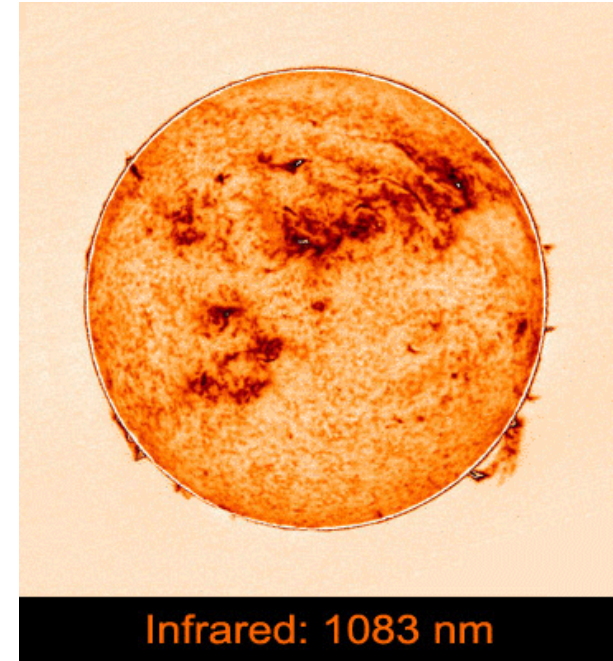
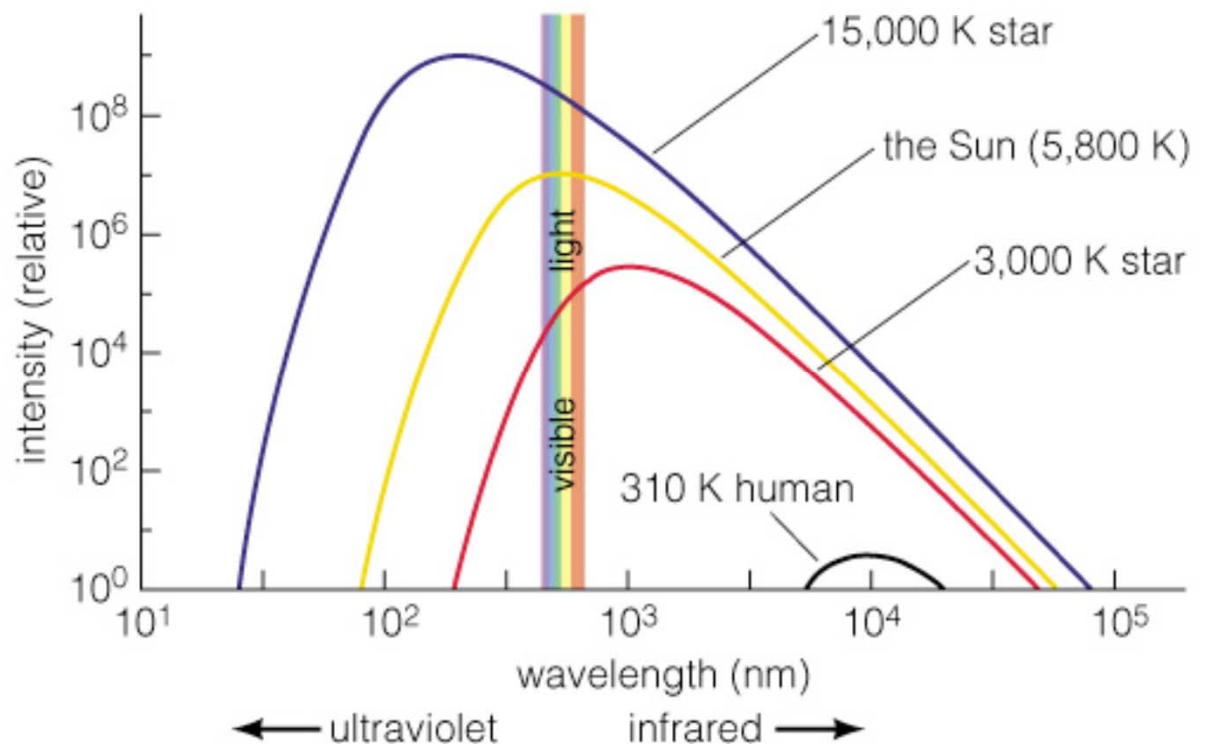
- En general los cuerpos sólo emiten en el espectro visible cuando están a muy alta temperature.

- Los líquidos y sólidos generalmente emiten radiación en todo un espectro de frecuencias.

Espectro típico de radiación térmica



Radiación Térmica

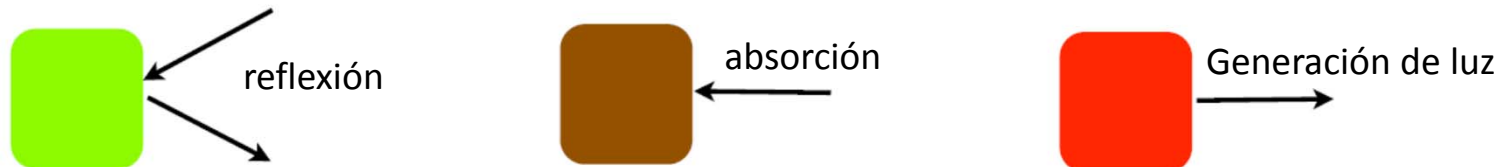


Termografia



Radiación de Cuerpo Negro

La luz interactúa con la material de tres formas

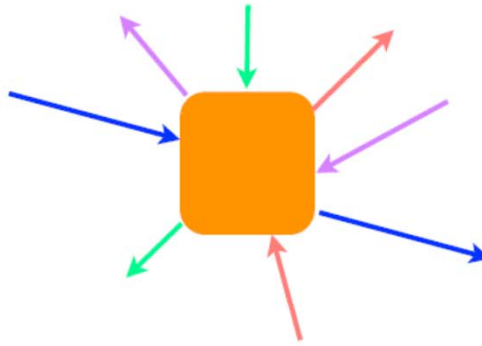


En principio, estos tres mecanismos pueden ocurrir en simultáneo. Sin embargo nosotros vemos la mayoría de las cosas por medio de la reflexión de luz.

Si un cuerpo no refleja luz, entonces en la ausencia de generación de luz, aparecería como completamente negro. **Es lo que se denomina cuerpo negro.** En los cuerpos negros **la luz incidente es completamente absorbida por el cuerpo**



Sin embargo un cuerpo negro debe generar luz, en orden de mantener un equilibrio termodinámico.



Según la ley de Kirchhoff, en un cuerpo negro la cantidad de luz absorbida a una frecuencia debe ser igual a la luz emitida en la misma frecuencia.

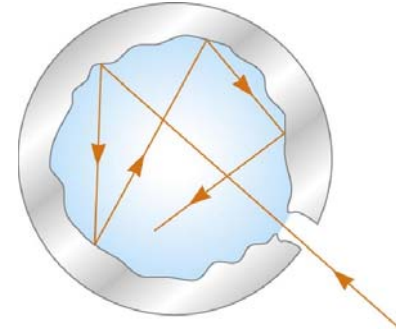
De esta forma un absorbedor perfecto de luz, también es un emisor perfecto.

Debido a que un cuerpo negro es un emisor perfecto, **todo cuerpo negro debería tener el mismo espectro de emisión** (sería un espectro universal). Cuando un cuerpo negro se calienta a una temperatura dada, radía energía con un espectro característico de la temperatura. De esta forma, los cuerpos negros serían muy útiles como estándares en experimentos de óptica. A finales del 11800 el estudio de los cuerpos negros era importante en óptica y física.

Hacer un cuerpo negro puede ser complicado... Pintarlo de negro ayuda, pero no lo hace un cuerpo negro perfecto...

The usual approach is to make a metallic cavity with a small hole. Any light from the outside hitting the hole will go inside and probably bounce around many times, eventually being absorbed by the walls of the cavity. The chances of the incident light being reflected directly back out the hole are very slim, assuming that some care was taken in the design of the cavity.

Cuerpo negro ideal (absorbe toda la radiación incidente)



Any light being generated by the motion of the electrons in the walls of the cavity will bounce around many times before it may escape through the hole. (In fact, most of the internal light will simply be re-absorbed.)

In this way the hole acts like a black-body, and the cavity is filled with BB radiation.

So by heating the cavity structure up to a uniform temperature, you can observe black-body radiation coming from the hole.

De esta forma, un horno es una buena aproximación a un cuerpo negro



Dos propiedades fundamentales de los cuerpos negros

Estas leyes fueron determinadas experimentalmente:

- Ley de Stefan-Boltzmann

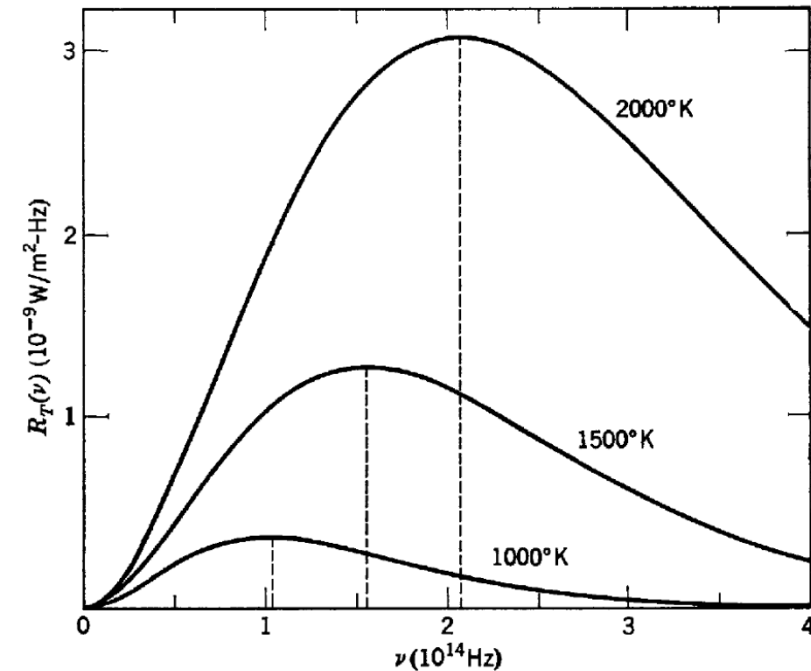
$$R_T = \int_0^{\infty} R_T(\nu) d\nu$$

$$R_T = \sigma T^4 \quad \text{Toda la radiación emitida es proporcional a } T^4$$

- Ley de Wien

$$\nu_{\max} \propto T \quad \text{La frecuencia de emisión máxima es proporcional a } T$$

Radiación emitida como función de la frecuencia, para distintas T

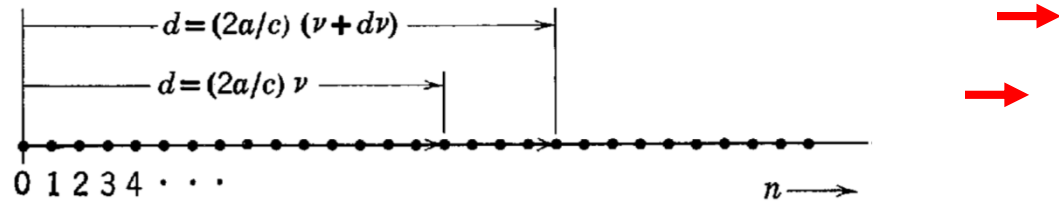
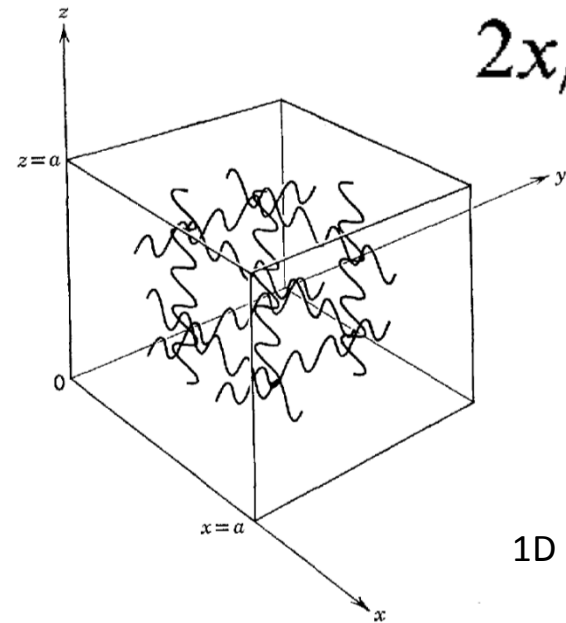


Determinación clásica del Espectro de un Cuerpo Negro

- Dentro de la cavidad del cuerpo negro se forman ondas electromagnéticas estacionarias.
- Idea del cálculo: para determinar la densidad espectral primero hay que contar cuántas ondas estacionarias hay entre ν y $\nu + d\nu$. Luego hay que ver cómo es la energía de estas ondas cuando el Sistema está en equilibrio térmico

$$E(x,t) = E_0 \sin(2\pi x/\lambda) \sin(2\pi \nu t) \quad \nu = c/\lambda$$

$$2x/\lambda = 0, 1, 2, 3, \dots \quad \nu = cn/2a$$



$$1D \quad N(\nu) d\nu = \frac{4a}{c} d\nu$$

$$3D \quad N(\nu) d\nu = \frac{8\pi V}{c^3} \nu^2 d\nu$$

Radiación del cuerpo negro: teoría clásica vs experimentos

Equipartición de la energía

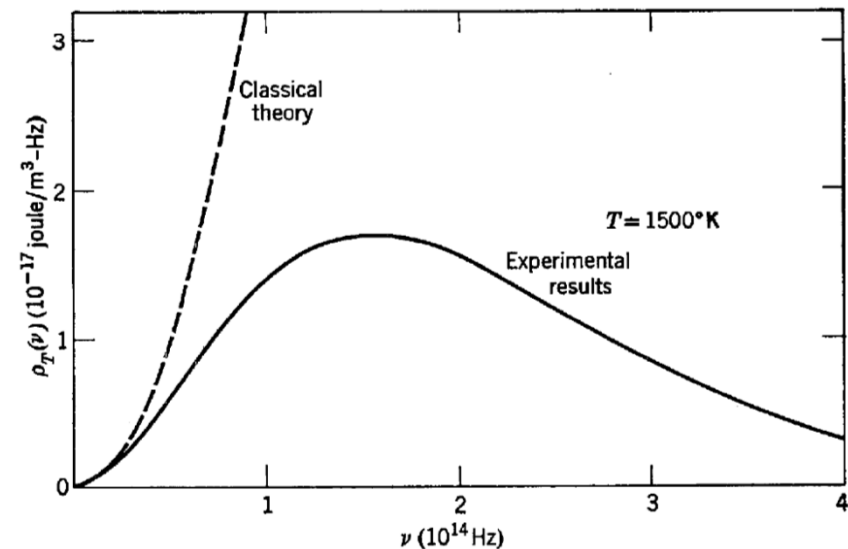
$$\bar{\mathcal{E}} = kT$$

Expresión final del espectro del cuerpo negro

$$\rho_T(\nu) d\nu = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3} d\nu$$

Catastrofe ultravioleta!

La teoría falla completamente a altas frecuencias...
si el calculo fuera correcto no se podría ver el fuego
de una chimenea porque nos quemaríamos...

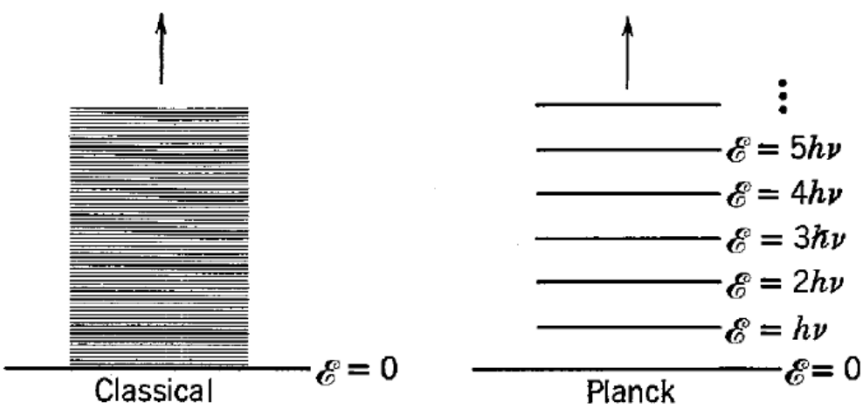


Distribución de Planck (primer cálculo cuántico)

- Planck supuso que el cálculo erróneo era el de la distribución de energía de los modos de la cavidad.

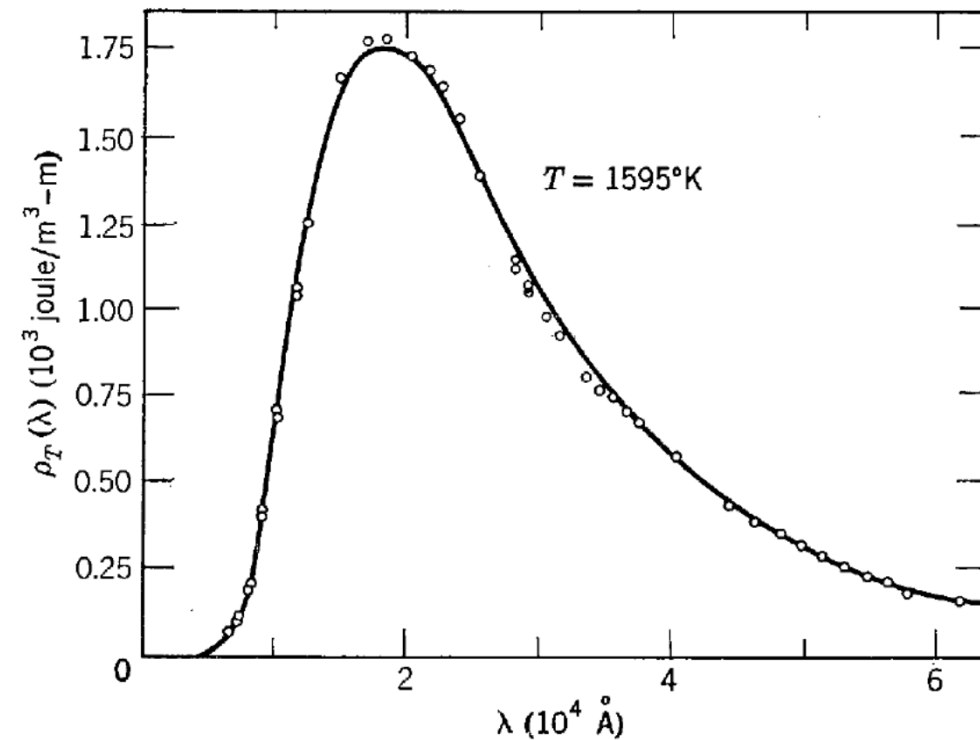
- Según la formula de Planck, la material solo puede absorber o emitir energía (luz) en cuantos, proporcionales a $h\nu$ (múltiplos de $h\nu$).

- Tiene sentido físico esta discretización de la energía?



- Planck obtuvo el valor de la constant h hacienda un fit de los datos experimentales.

$$\rho_T(\nu) d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$



Distribución de Planck

- El cálculo de la energía media de forma discreta (sumas en lugar de integrales) conduce a la expresión:

$$\bar{\epsilon}(v) = \frac{hv}{e^{hv/kT} - 1}$$

- Combinando con el cálculo electromagnético de la clase anterior, se obtiene la distribución de Planck:

$$\rho_T(v) dv = \frac{8\pi v^2}{c^3} \frac{hv}{e^{hv/kT} - 1} dv$$

- Esta distribución describe bien los resultados experimentales utilizando la constante como:

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ joule-sec } \text{ constante de Planck}$$

