

Estructura de la Materia
Radiación del cuerpo negro

Martha M. Flores Leonar
FQ UNAM

13 de febrero de 2018

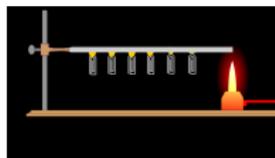
FENÓMENO DE LA RADIACIÓN TÉRMICA

Consiste en la transferencia de energía por medio de radiación.
La energía térmica se puede transferir por:

FENÓMENO DE LA RADIACIÓN TÉRMICA

Consiste en la transferencia de energía por medio de radiación.
La energía térmica se puede transferir por:

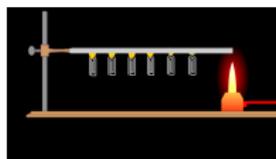
- Conducción → sólidos



FENÓMENO DE LA RADIACIÓN TÉRMICA

Consiste en la transferencia de energía por medio de radiación.
La energía térmica se puede transferir por:

- Conducción → sólidos



- Convección → líquidos, gases

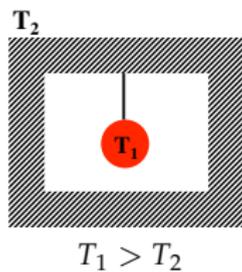


Existe una tercer manera:

- Radiación

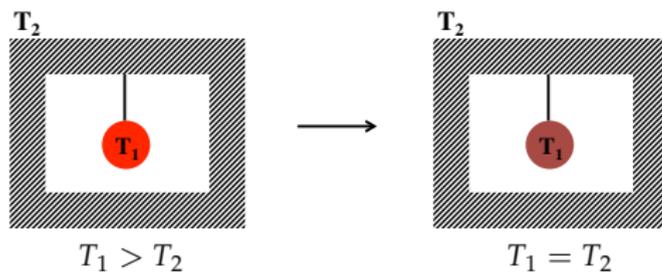
Existe una tercer manera:

- Radiación



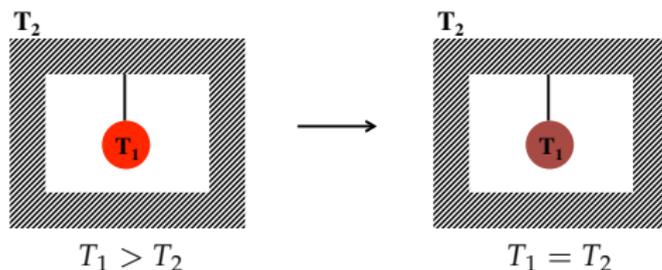
Existe una tercer manera:

- Radiación



Existe una tercer manera:

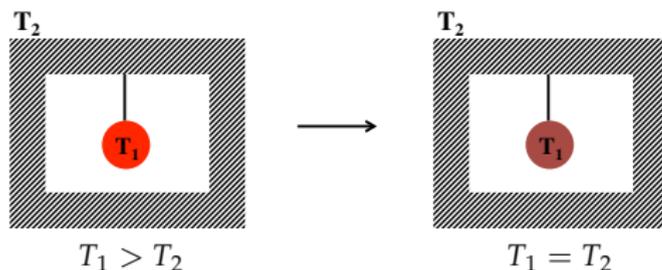
- Radiación



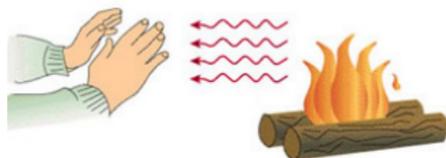
La transferencia de energía se lleva a cabo por medio de *emisión* y *absorción* de radiación electromagnética

Existe una tercer manera:

- Radiación



La transferencia de energía se lleva a cabo por medio de *emisión* y *absorción* de radiación electromagnética



TEOREMA DE KIRCHHOFF

- 1860, Gustav Kirchhoff → Estaba interesado en el estudio de sistemas en equilibrio térmico mediante radiación.
- Los sólidos absorben cierta fracción de radiación → a_λ

$$a_\lambda = \frac{\text{Rad absorbida}}{\text{Rad incidente}}$$

a_λ = Coeficiente de absorción del sólido (a cierta λ)

TEOREMA DE KIRCHHOFF

- 1860, Gustav Kirchhoff → Estaba interesado en el estudio de sistemas en equilibrio térmico mediante radiación.
- Los sólidos absorben cierta fracción de radiación → a_λ

$$a_\lambda = \frac{\text{Rad absorbida}}{\text{Rad incidente}}$$

a_λ = Coeficiente de absorción del sólido (a cierta λ)

$$\text{Si } a_\lambda = 1$$

$$\text{Rad abs} = \text{Rad inc}$$

Un material con esta característica se conoce como **cuerpo negro**

Un material cuando se calienta emite radiación:

- $E_\lambda \rightarrow$ Energía radiante emitida por unidad de área y tiempo, en un intervalo de λ .
- La energía radiante emitida (E_λ), se relaciona con la temperatura



Un material cuando se calienta emite radiación:

- $E_\lambda \rightarrow$ Energía radiante emitida por unidad de área y tiempo, en un intervalo de λ .
- La energía radiante emitida (E_λ), se relaciona con la temperatura



Kirchhoff estableció que:

Teorema de Kirchhoff

$$\frac{E_\lambda}{a_\lambda} = J(\lambda, T) \quad (1)$$

- $J(\lambda, T)$ = Potencia emisiva de la longitud de onda λ a la temperatura T
- No depende de las características del cuerpo emisor

Kirchhoff estableció que:

Teorema de Kirchhoff

$$\frac{E_\lambda}{a_\lambda} = J(\lambda, T) \quad (1)$$

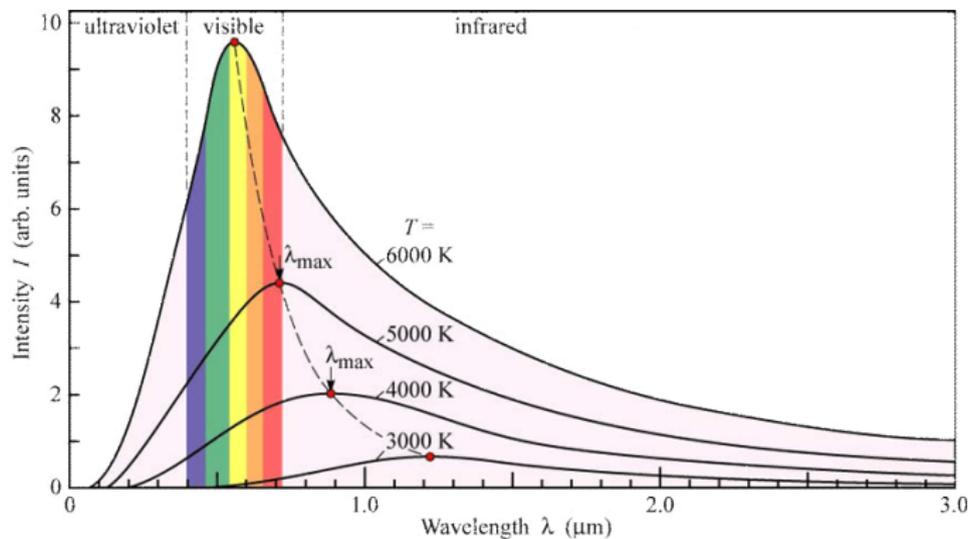
- $J(\lambda, T)$ = Potencia emisiva de la longitud de onda λ a la temperatura T
- No depende de las características del cuerpo emisor

¿Cuál es la forma de $J(\lambda, T)$?

Para un cuerpo negro ($a_\lambda = 1$):

$$E_\lambda = J(\lambda, T) \quad (2)$$

Experimentalmente...



LEY DE STEFAN-BOLTZMANN

Josef Stefan y Ludwig Boltzmann (1879), establecieron que:

$$J(\lambda, T) = E_\lambda$$

$$J_T = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda \quad (3)$$

$$J_T = \sigma T^4 \quad (4)$$

SOLUCIÓN AL PROBLEMA DEL CUERPO NEGRO

- Wilhelm Wien (1893)

$$\lambda_{max} = \frac{\beta}{T} \quad (6)$$

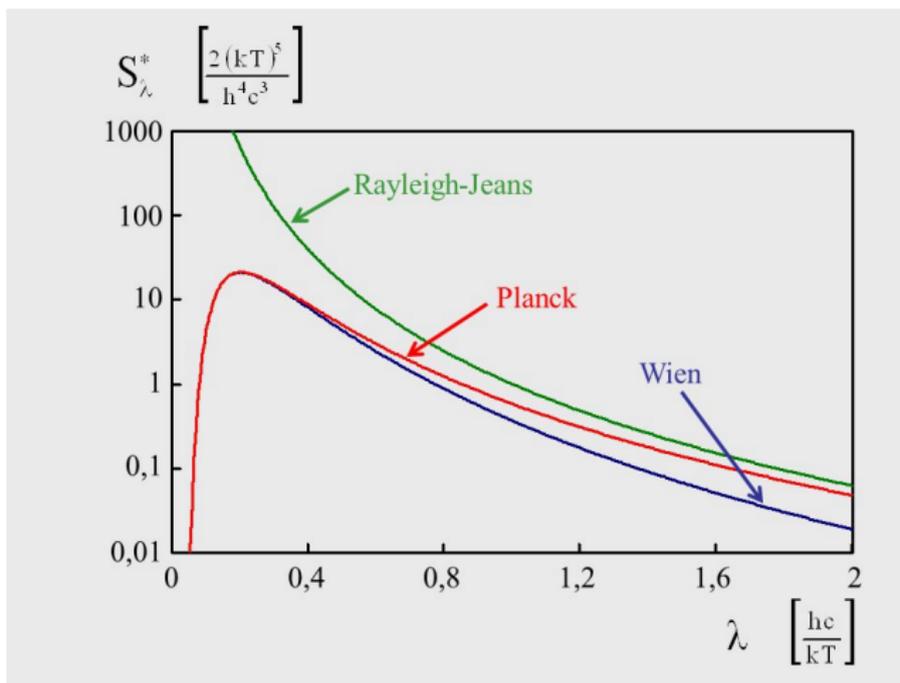
$$U_{\lambda}^W = C_1 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{C_2/\lambda T}} \quad (7)$$

- Rayleigh (1900) - Jeans (1905)

$$U_{\lambda}^{RJ} = \frac{8\pi kT}{\lambda^4} \quad (8)$$

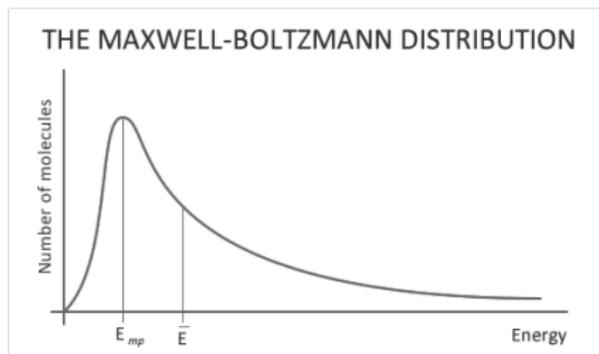
- Max Planck (1900)

$$U_{\lambda}^P = C_1 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{C_2/\lambda T} - 1} \quad (9)$$



LEY DE PLANCK

- Consideró la interacción entre la radiación electromagnética y los osciladores del cuerpo negro.
- Un conjunto de osciladores tiene una energía interna U con una distribución de Boltzmann:



$$U(\varepsilon) = \frac{\varepsilon}{e^{\varepsilon/kT} - 1} \quad (10)$$

- Planck encontró una relación entre U y U_λ :

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} U \quad (11)$$

- Planck encontró una relación entre U y U_λ :

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} U \quad (11)$$

- Sustituyendo (10) en (11):

- Planck encontró una relación entre U y U_λ :

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} U \quad (11)$$

- Sustituyendo (10) en (11):

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} \frac{\varepsilon}{e^{\varepsilon/kT} - 1} \quad (12)$$

- Planck encontró una relación entre U y U_λ :

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} U \quad (11)$$

- Sustituyendo (10) en (11):

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} \frac{\varepsilon}{e^{\varepsilon/kT} - 1} \quad (12)$$

- Escribimos la ecuación original (9), en términos de ν :

- Planck encontró una relación entre U y U_λ :

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} U \quad (11)$$

- Sustituyendo (10) en (11):

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} \frac{\varepsilon}{e^{\varepsilon/kT} - 1} \quad (12)$$

- Escribimos la ecuación original (9), en términos de ν :

$$U_\lambda^P = C_1 \frac{\nu^5}{c^5} \frac{1}{e^{C_2\nu/cT} - 1} \quad (13)$$

- Planck encontró una relación entre U y U_λ :

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} U \quad (11)$$

- Sustituyendo (10) en (11):

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} \frac{\varepsilon}{e^{\varepsilon/kT} - 1} \quad (12)$$

- Escribimos la ecuación original (9), en términos de ν :

$$U_\lambda^P = C_1 \frac{\nu^5}{c^5} \frac{1}{e^{C_2\nu/cT} - 1} \quad (13)$$

- Para llegar de (12) a (13):

$$\varepsilon = h\nu \quad (14)$$

- Planck encontró una relación entre U y U_λ :

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} U \quad (11)$$

- Sustituyendo (10) en (11):

$$U_\lambda = \frac{8\pi\nu^4}{c^4} \frac{\varepsilon}{e^{\varepsilon/kT} - 1} \quad (12)$$

- Escribimos la ecuación original (9), en términos de ν :

$$U_\lambda^P = C_1 \frac{\nu^5}{c^5} \frac{1}{e^{C_2\nu/cT} - 1} \quad (13)$$

- Para llegar de (12) a (13):

$$\varepsilon = h\nu \quad (14)$$

La energía está cuantizada!!!

$$C_1 = 8\pi hc$$

$$C_2 = \frac{hc}{k}$$

$$h = \text{Constante de Planck} = 6.6262 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$k = \text{Constante de Boltzmann} = 1.3806 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

Solar Radiation Spectrum

