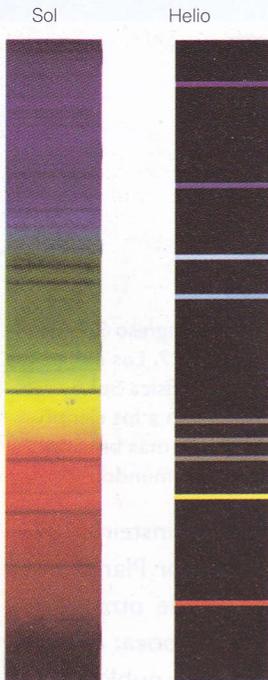


1. Radiación del cuerpo negro

Figura 1



El espectro de emisión de la luz solar es continuo: no hay un límite bien definido entre un color y otro; el del helio es discreto: las líneas están claramente separadas unas de otras.

Los sólidos calentados y los gases por lo que pasa una corriente eléctrica emiten luz (un tipo de radiación electromagnética). Cuando esa luz pasa a través de un prisma (o una red de difracción) se refracta formando un espectro (Figura 1). El espectro de emisión de un sólido calentado puede analizarse mediante un gráfico que muestra la intensidad de la radiación (la radiancia R_λ) para distintas longitudes de onda (λ) (Figura 2). Para cada material se obtiene un conjunto de curvas, una para cada temperatura. ¿Qué teoría física explica estas curvas?

Un sólido ideal: el cuerpo negro

Para estudiar la radiación de un cuerpo sólido necesitamos un cuerpo que sea una especie de radiador (emisor) puro, es decir, un cuerpo cuya radiación provenga sólo de sí mismo y no de reflejar la que existe en su entorno. Los objetos negros se aproximan a este modelo (pues son negros precisamente porque no reflejan las ondas de luz que llegan a ellos), sin embargo, ninguno absorbe toda la radiación que incide en él.

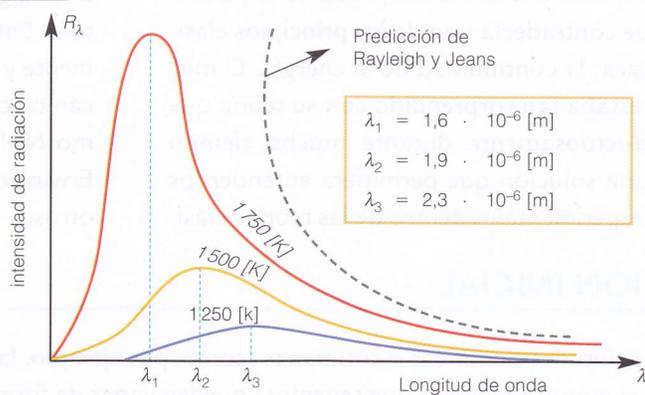
Un cuerpo negro más cercano a un modelo ideal lo proporciona una cavidad de paredes muy absorbentes con una pequeña abertura en una de ellas (figura 2). Cualquier radiación que entra en la cavidad es absorbida por las paredes antes de que pueda salir de ella. Así, la radiación que sale por la abertura tiene su origen en las paredes de la cavidad.

Predicciones teóricas y resultados experimentales

¿Cómo se comporta la radiación del cuerpo negro?

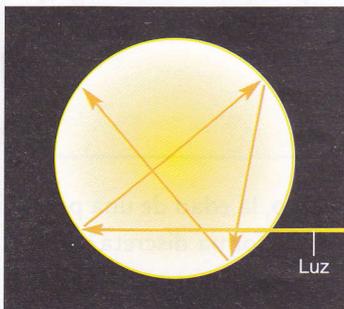
- Basándose en la física clásica, Rayleigh y Jeans predijeron que la radiancia en función de la longitud de onda (R_λ) debería seguir la línea punteada del gráfico. Sin embargo, experimentalmente, R_λ variaba según las líneas de color.

Figura 3



Hay una curva para cada temperatura, pero la curva es la misma cualquiera que sea el material de la cavidad.

Figura 2



La abertura tiene las propiedades de un cuerpo negro ideal y la radiación de la cavidad es muy aproximadamente la radiación de un cuerpo negro.

- Experimentalmente, la radiancia (R) –que equivale al área bajo la curva en la figura 3 varía con la temperatura de acuerdo con:

$$R_t = \sigma T^4 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad 1$$

esta es la ley de Stefan-Boltzman, donde T es la temperatura en [K] del sólido donde está la cavidad, y $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$ es la constante de Boltzman.

- Otro resultado experimental es la ley de Wien que relaciona la frecuencia ($f_{\text{máx}}$) para la cual la radiancia es máxima, con la temperatura del cuerpo:

$$\frac{f_{\text{máx}}}{T} = \text{cte.} = 1,035 \cdot 10^{11} \left[\frac{\text{Hz}}{\text{K}} \right] \quad 2$$

La teoría de Max Planck

El físico alemán Max Planck (1858-1947) supuso que los átomos de la cavidad se comportan como osciladores que emiten radiación electromagnética. Estos diminutos osciladores siguen dos principios que contradicen a la física clásica.

- La energía de un oscilador no puede tomar cualquier valor, sino sólo valores discretos dados por la ecuación:

$$E = nhf \quad 3$$

donde $h = 6,626068 \cdot 10^{-34}$ [Js] es la constante de Planck, f es la frecuencia con que oscila la partícula y n es un número entero que corresponde a distintos niveles de energía. Por tanto, la energía sólo puede tomar los valores $0, hf, 2hf, 3hf$, etc. Estas cantidades se llaman **cuantos de radiación** o **paquetes de energía**.

- La emisión de energía no es constante en el tiempo. Un oscilador emite energía sólo cuando pasa de un nivel energético a otro inferior, la energía perdida se emite como un pulso de radiación electromagnética:

$$\Delta E = \Delta nhf \quad 4$$

Las ideas de Planck sobre los cuantos de energía dieron origen a la física cuántica.

ANALIZA LOS EJEMPLOS

1. Si la energía de un cuanto es igual a $6,63 \cdot 10^{-34}$ [J], calcula la frecuencia de la radiación electromagnética.

$$E = hf \Rightarrow f = \frac{E}{h} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ [J]}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ [Js]}} = 10^{10} \left[\frac{1}{s} = \text{Hz} \right]$$

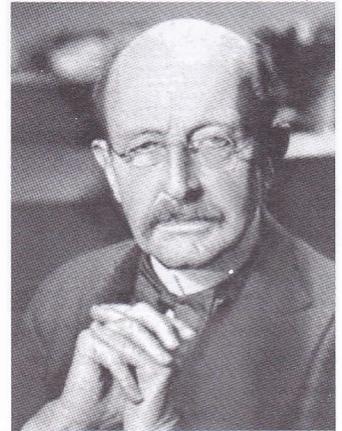
2. *Una aproximación a la temperatura superficial del Sol.* La longitud de onda correspondiente a la potencia máxima radiada por el Sol es de 5500 [Å]. ¿Cuál es la temperatura de la superficie del Sol?

Aplicamos al Sol los resultados hallados para el cuerpo negro, pues toda la radiación del Sol es propia. Según la ecuación de la velocidad de las ondas electromagnéticas, $c = \lambda f$, la frecuencia que corresponde a 5500 [Å] es:

$$c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}}{5500 \cdot 10^{-10} \text{ [m]}} = 5,45 \cdot 10^{14} \left[\frac{1}{s} = \text{Hz} \right]$$

Despejamos la temperatura de la ley de Wien, dada por la ecuación 2:

$$\frac{f_{\text{máx}}}{T} = 1,035 \cdot 10^{11} \left[\frac{\text{Hz}}{\text{K}} \right] \Rightarrow T = \frac{f_{\text{máx}}}{1,035 \cdot 10^{11} \text{ [Hz/K]}} \Rightarrow$$
$$T = \frac{5,45 \cdot 10^{14} \text{ [Hz]}}{1,035 \cdot 10^{11} \text{ [Hz/K]}} = 5266 \text{ [K]}$$



Max Planck (1858-1947).
“A los diecisiete años de edad, al entrar en la universidad, Planck buscó al jefe del departamento de física y expuso a este profesor sus ambiciones. La respuesta no fue animadora: —la física es una rama del conocimiento que casi está completa, dijo el profesor sobriamente. Todos los descubrimientos importantes han sido hechos. Ya casi no vale la pena dedicarse a la física. Esto era en 1875.”

Lovett Cline, B., *Los creadores de la nueva física.*

Comprueba que estás entendiendo

1. Considera una partícula que oscila con una frecuencia de $5 \cdot 10^{11}$ [Hz], a) indica tres valores que su energía asociada no podría tener; b) indica la energía que absorbe para pasar de su nivel 2 de energía a su nivel 5.
2. Calcula la energía de los niveles cuánticos 1, 5 y 7 de un oscilador cuya frecuencia tiene el valor de $103,7 \cdot 10^6$ [Hz].