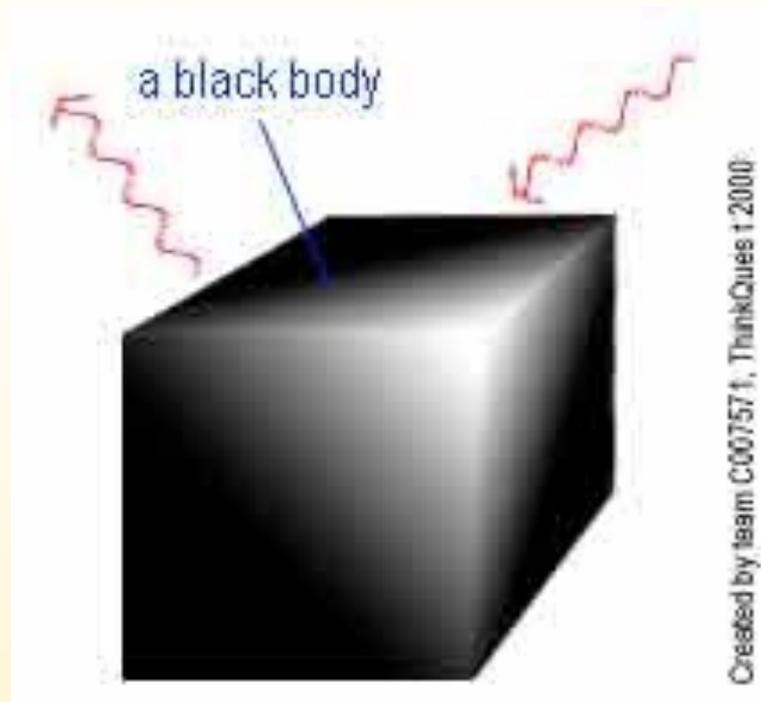


# 12 - Cuerpo Negro y la Ley de Stefan-Boltzmann



# Cuerpo Negro

Un cuerpo negro es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él. Nada de la radiación incidente se refleja o pasa a través del cuerpo negro.

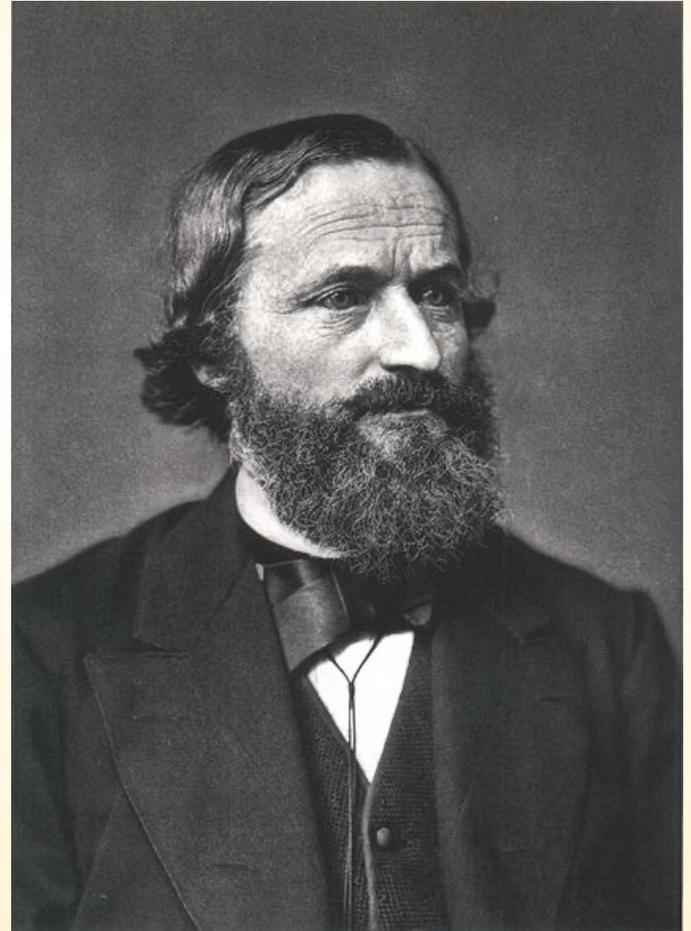
A pesar de su nombre, el cuerpo negro emite luz y constituye un modelo ideal físico para el estudio de la emisión de radiación electromagnética.

El nombre **cuerpo negro** fue introducido por Gustav Kirchhoff en 1862. La luz emitida por un cuerpo negro se denomina radiación de cuerpo negro.

# Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887)

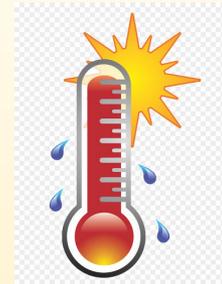
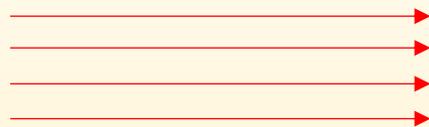
fue un físico prusiano cuyas principales contribuciones científicas estuvieron en el campo de los circuitos eléctricos, la teoría de placas, la óptica, la espectroscopia y la emisión de radiación de cuerpo negro.

Kirchhoff propuso el nombre de radiación de cuerpo negro en 1862. Es responsable de dos conjuntos de leyes fundamentales en la teoría clásica de circuitos eléctricos y en la emisión térmica.



Ahora imagine un objeto que absorbe toda la radiación electromagnética que recibe. Esto significa que este objeto tiene que absorber (ganar) mucha energía, cada segundo, cada minuto, todos los días.

¿Qué hace este objeto con toda la energía? Se convierte principalmente en el movimiento de los átomos dentro del objeto. Esto significa que el cuerpo está aumentando su temperatura, ya que el movimiento atómico en un cuerpo significa temperatura.



Entonces, como los objetos no pueden aumentar su temperatura cada vez más. Esto significaría que todo el Universo y todo tiene una temperatura infinita, (incluso más caliente que el infierno.). Por eso también tienen que emitir energía (fotones).

El caso ideal se llama cuerpo negro. Absorbe todo y luego tiene una emisión idealizada según su temperatura.

Pero el concepto es verdadero para todo - todos los cuerpos, todos los objetos.



Un objeto normal también absorbe fotones (no hay ningún objeto que pueda reflejar todos los fotones o dejar que todos los fotones atraviesen el objeto, ni siquiera los espejos ni los vidrios).

Y cada objeto normal emite fotones de acuerdo con su temperatura.

No de la misma manera ideal que un cuerpo negro, pero muy similar.

Todo cuerpo emite energía en forma de ondas electromagnéticas, siendo esta radiación, que se emite incluso en el vacío, tanto más intensa cuando más elevada es la temperatura del emisor.

La energía radiante emitida por un cuerpo a temperatura ambiente es escasa y corresponde a longitudes de onda superiores a las de la luz visible (es decir, de menor frecuencia).

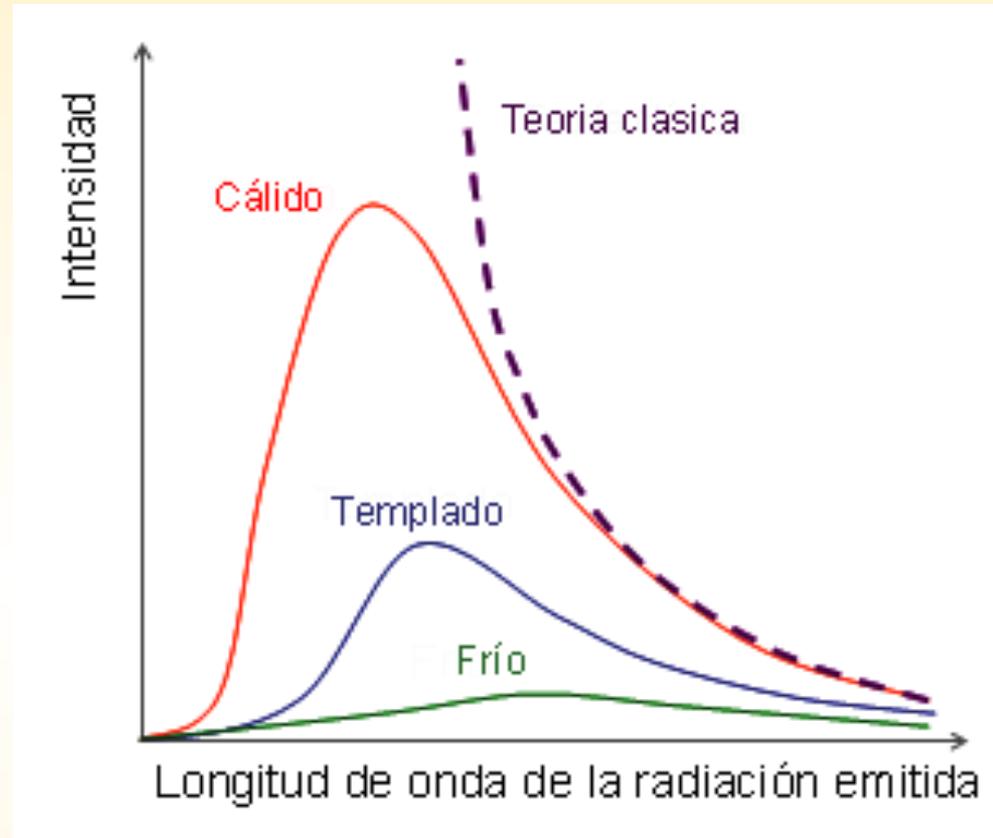


# Ley de Planck

Al elevar la temperatura no sólo aumenta la energía emitida sino que lo hace a longitudes de onda más cortas; a esto se debe el cambio de color de un cuerpo cuando se calienta.

Los cuerpos no emiten con igual intensidad a todas las frecuencias o longitudes de onda, sino que siguen la **ley de Planck**.

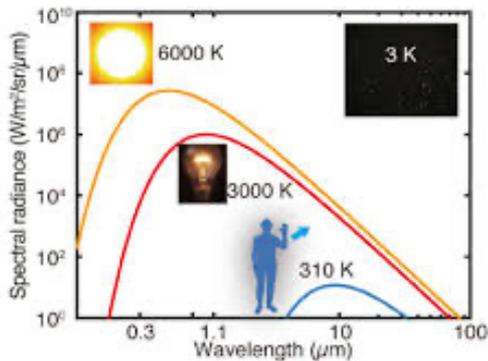
La ley de Planck nos da exactamente cuántos fotones (intensidad) emite un cuerpo negro para cualquier longitud de onda de los fotones. Estas cantidades son diferentes para cuerpos con diferentes temperaturas. → espectro de un cuerpo negro



$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp(h\nu / kT) - 1}$$

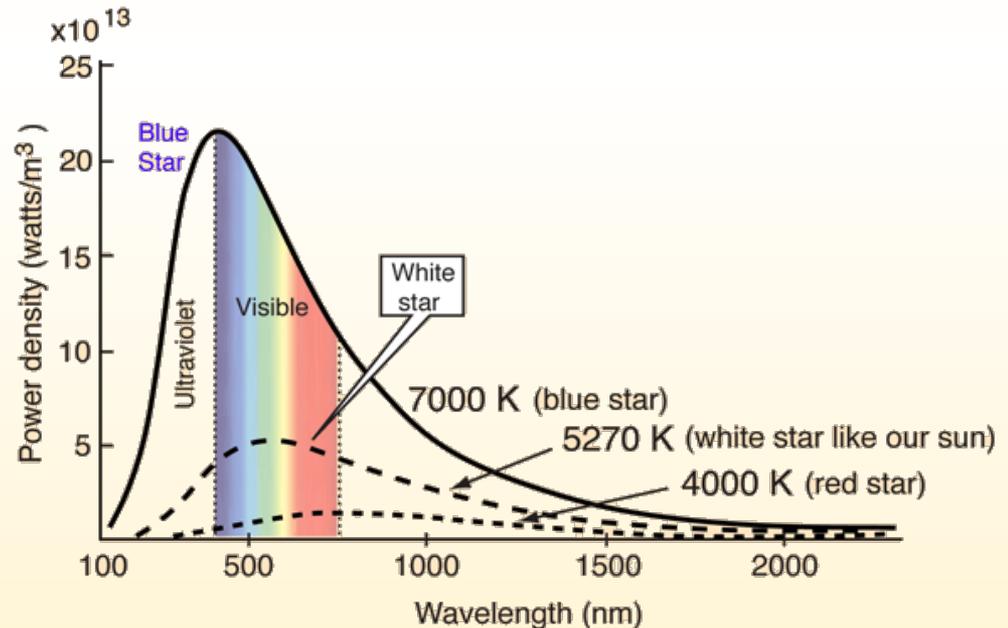
h: constante de Planck  
k: constante de Boltzmann

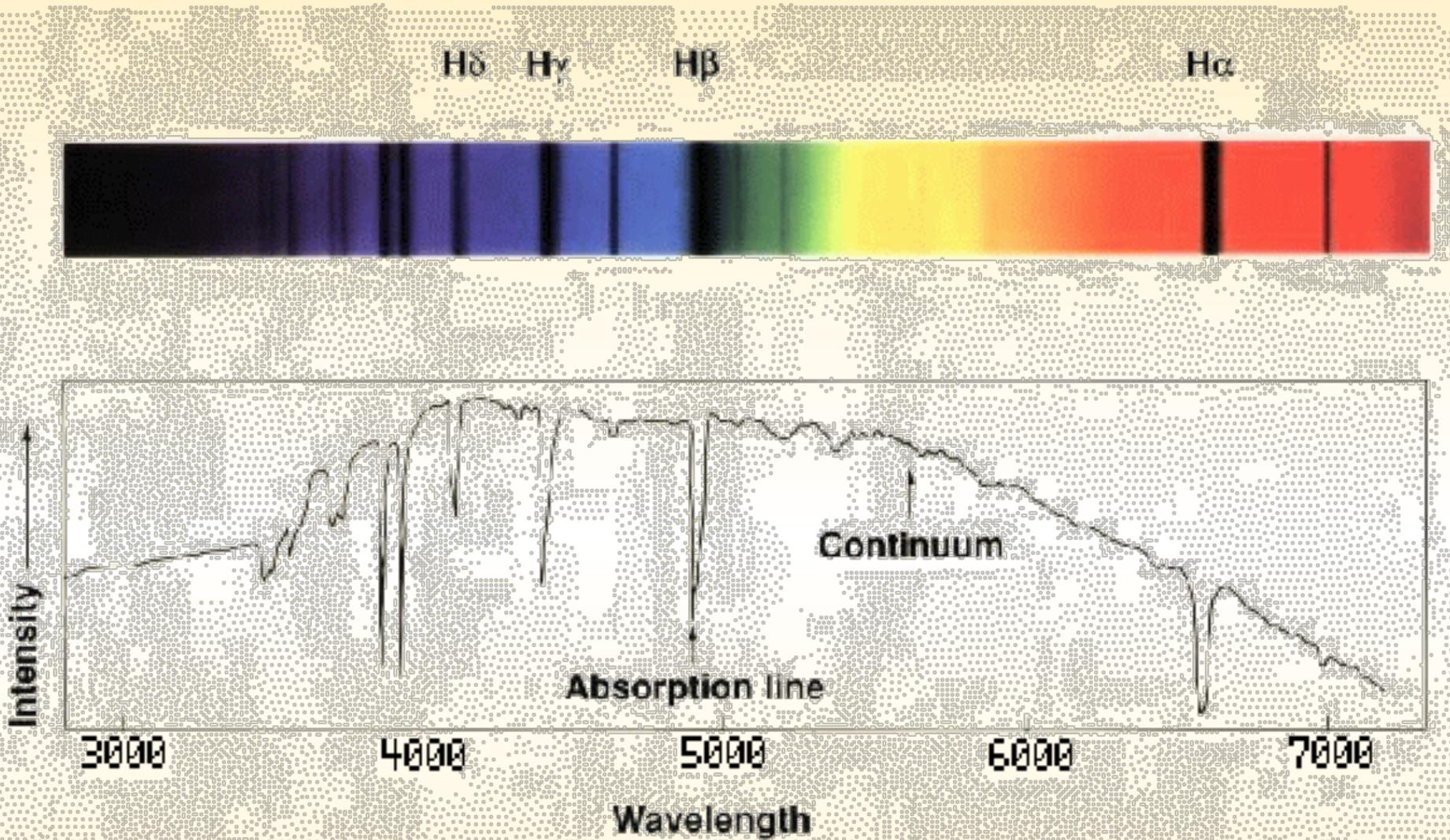
Un cuerpo humano (37 grados Celsius) también es un cuerpo negro y estamos emitiendo luz en el infrarrojo.



En astronomía, las estrellas se estudian en muchas ocasiones como cuerpos negros, aunque esta es una aproximación para el estudio de sus fotosferas.

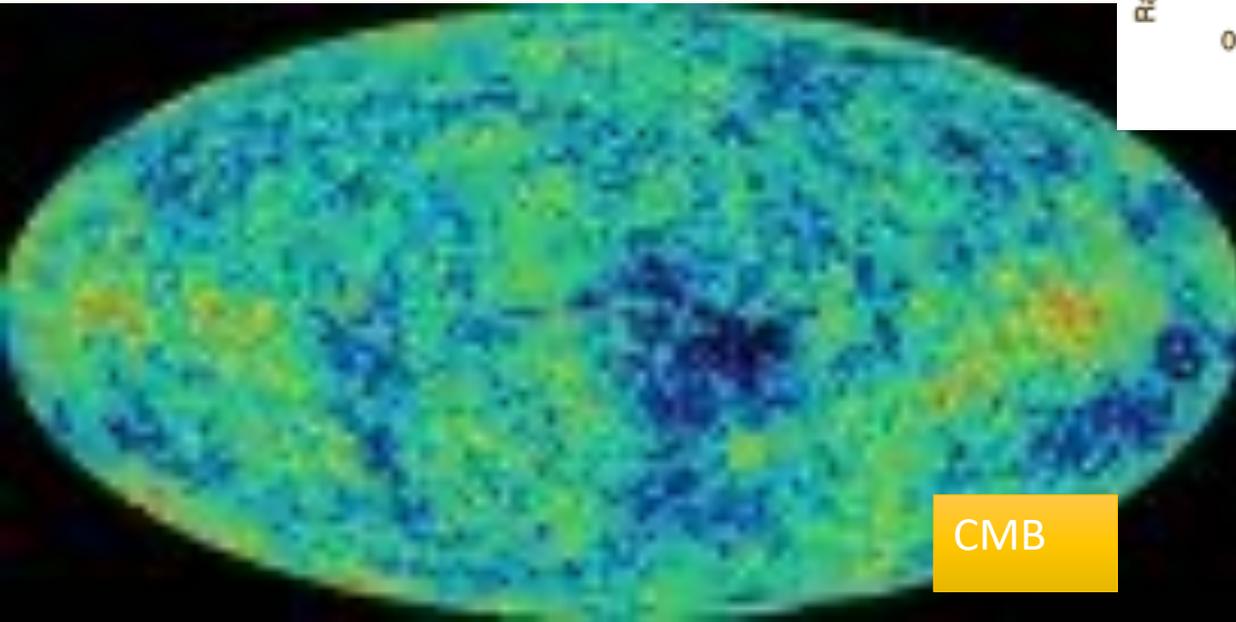
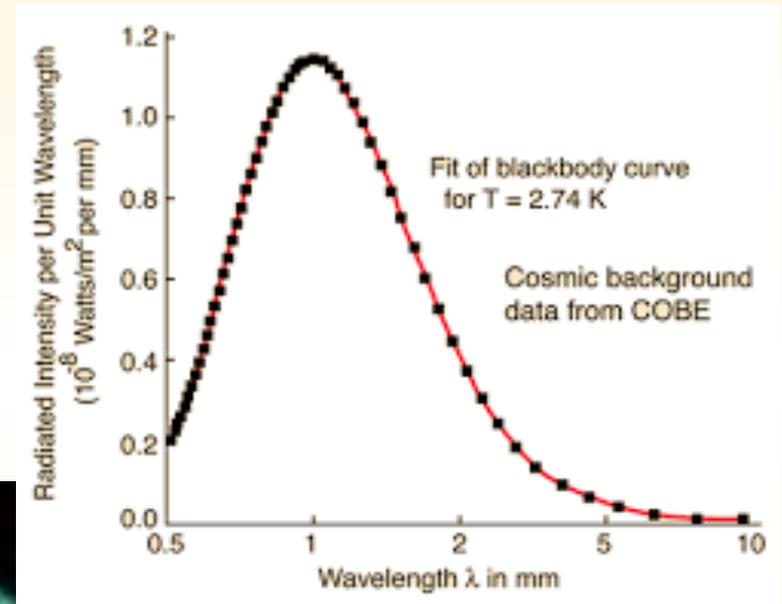
El Sol – una estrella





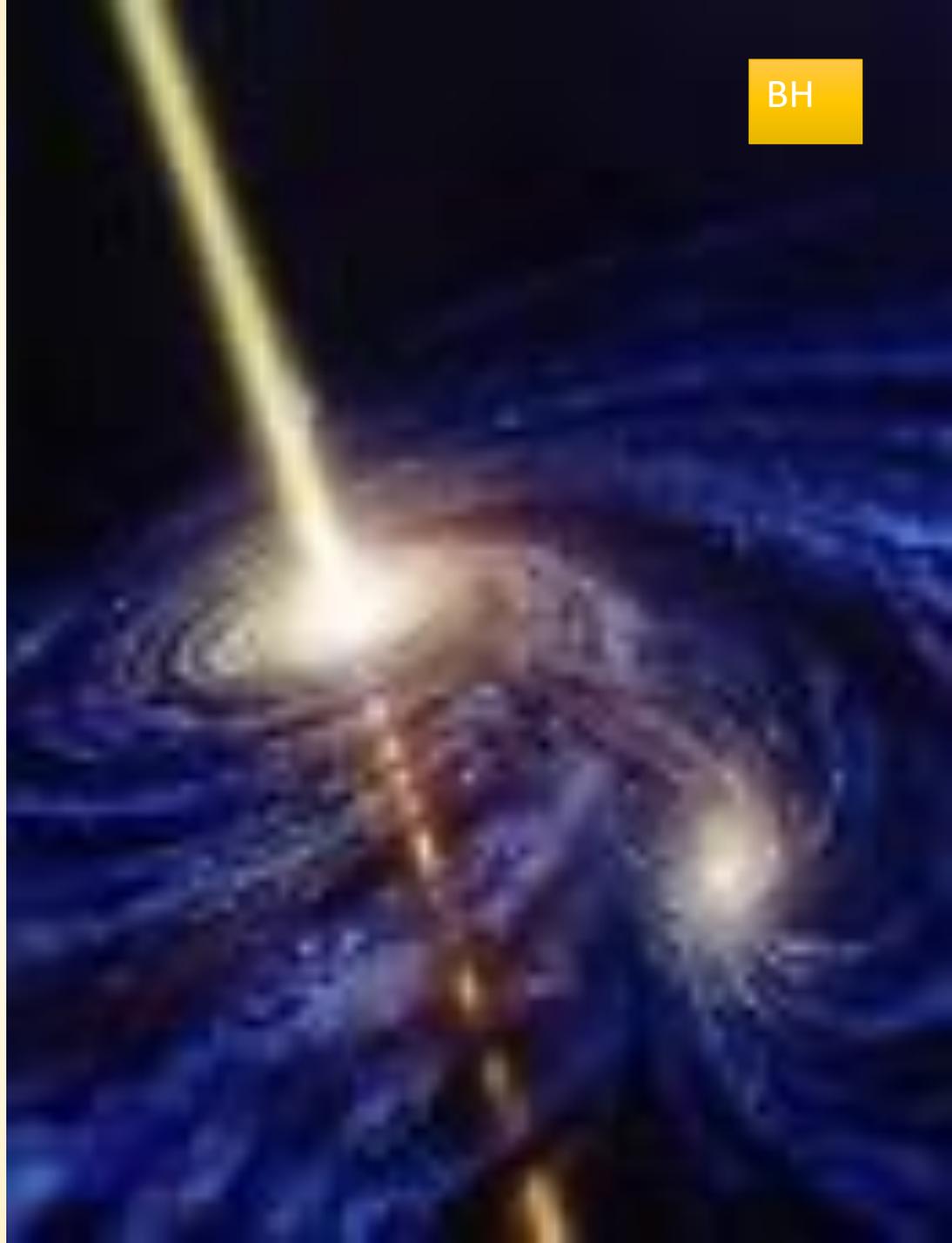
Ejemplo de un espectro de una estrella: se puede ver que no es exactamente como un cuerpo negro, sino muy similar.

La radiación cósmica de fondo de microondas proveniente del Big Bang se comporta como un cuerpo negro casi ideal.

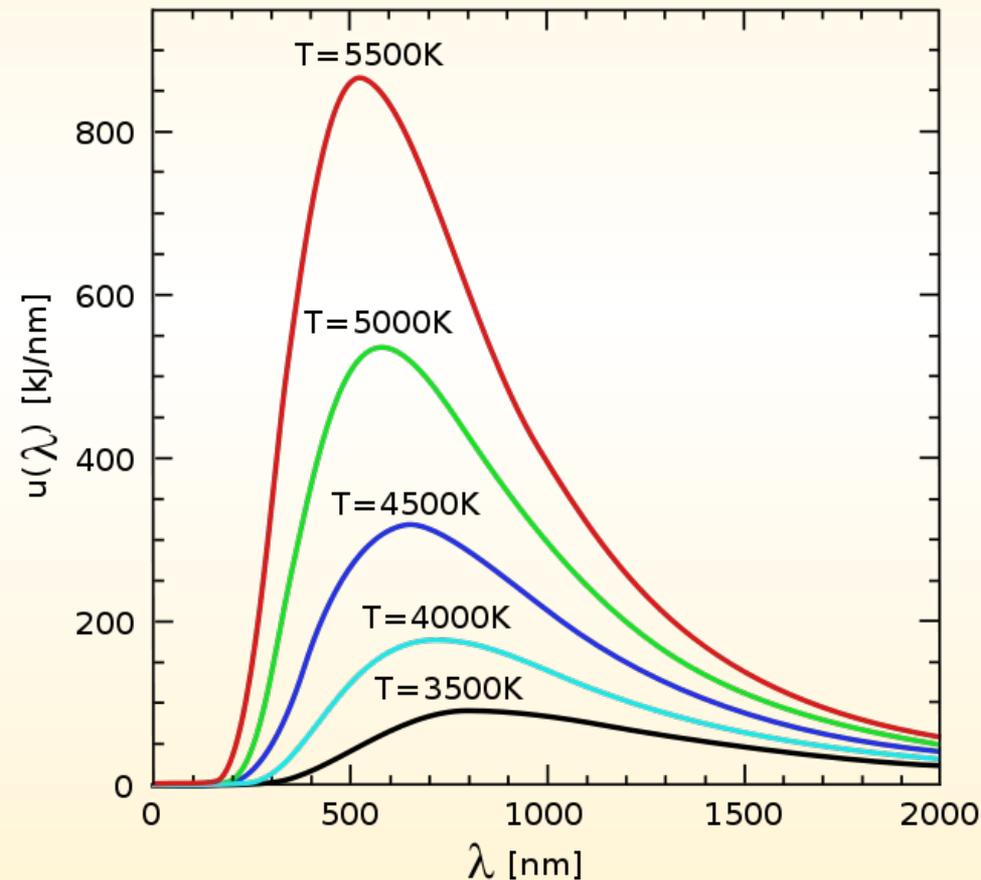


CMB

La radiación de Hawking es la radiación de cuerpo negro emitida por agujeros negros.



# Ley de Wien



Podemos ver en la figura que el espectro de un cuerpo negro no solo muestra más intensidad en todas las longitudes de onda (o frecuencias) si la temperatura es más alta, también vemos que los máximos de las curvas cambian con la temperatura a longitudes de onda más bajas (frecuencias más altas) con temperaturas más altas.

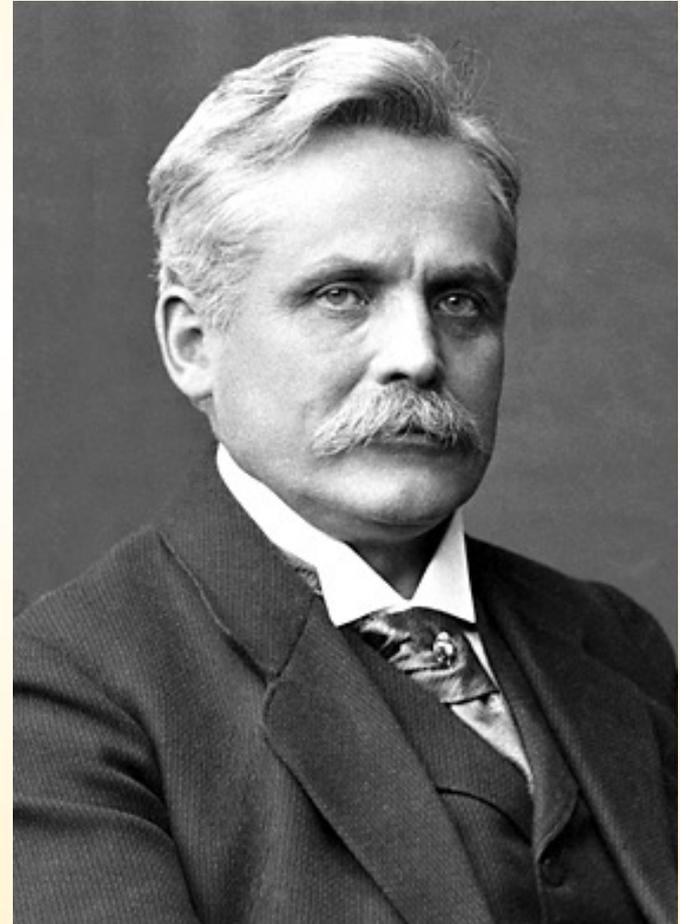
La **Ley de Wien** especifica que hay una relación inversa entre la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura.

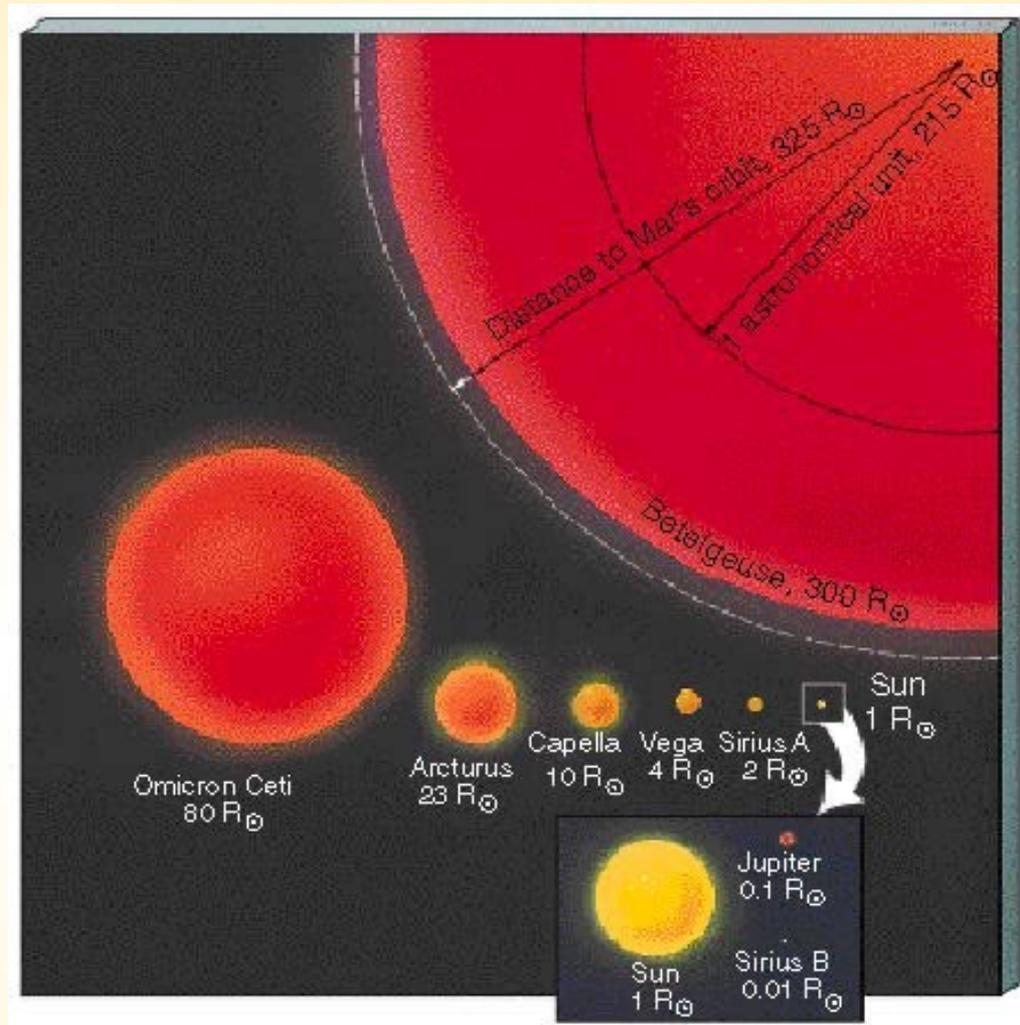
$$\lambda_{\max} = \frac{0.0028976 \cdot \text{m} \cdot \text{K}}{T}$$

# Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien (1864-1928)

fue un físico alemán.

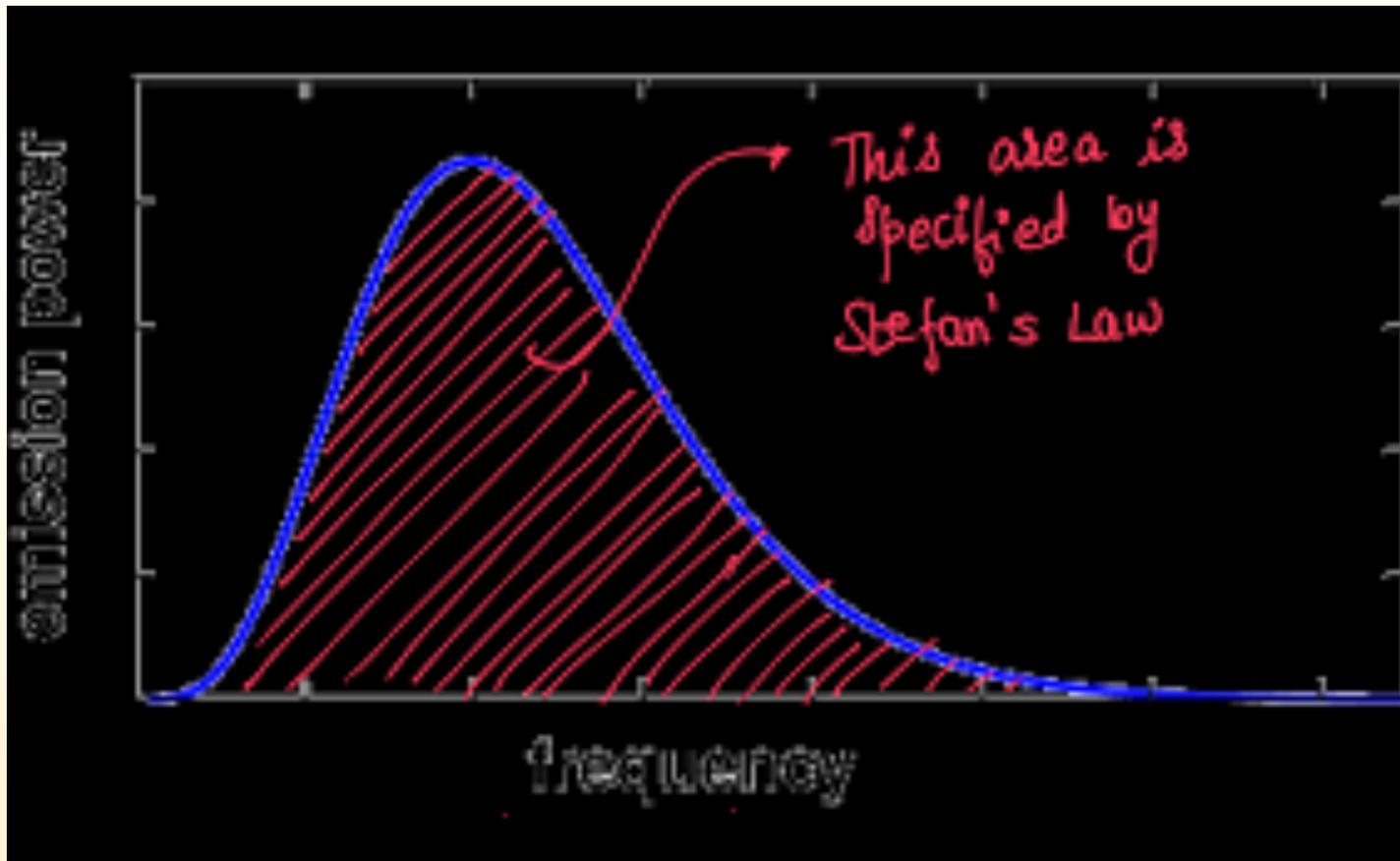
En 1911 recibió el Premio  
Nobel de Física por su  
trabajo sobre la radiación  
térmica.





Ley de Stefan-Boltzmann

La energía total que emite un cuerpo negro (por cada parte de su superficie) es igual al área total debajo de la curva de un espectro de cuerpo negro dada por la ley de Planck.



# Ley de Stefan-Boltzmann

La ley de Stefan-Boltzmann establece que un cuerpo negro emite radiación térmica con una **potencia emisiva superficial** ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) proporcional a la cuarta potencia de su temperatura:

$$E = \sigma T_{eff}^4$$

Donde  $T_{eff}$  es la temperatura efectiva o sea la temperatura absoluta de la superficie y  $\sigma$  es la **constante de Stefan-Boltzmann**:

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

Esta potencia emisiva de un cuerpo negro (o radiador ideal) supone un límite superior para la potencia emitida por los cuerpos reales.

La potencia emisiva superficial de una superficie real es menor que el de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dada por:

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

Donde  $\varepsilon$  es una propiedad radiactiva de la superficie denominada **emisividad**. Con valores en el rango  $0 = \varepsilon \leq 1$ , esta propiedad es la relación entre la radiación emitida por una superficie real y la emitida por el cuerpo negro a la misma temperatura. Esto depende marcadamente del material de la superficie y de su acabado, de la longitud de onda, y de la temperatura de la superficie.

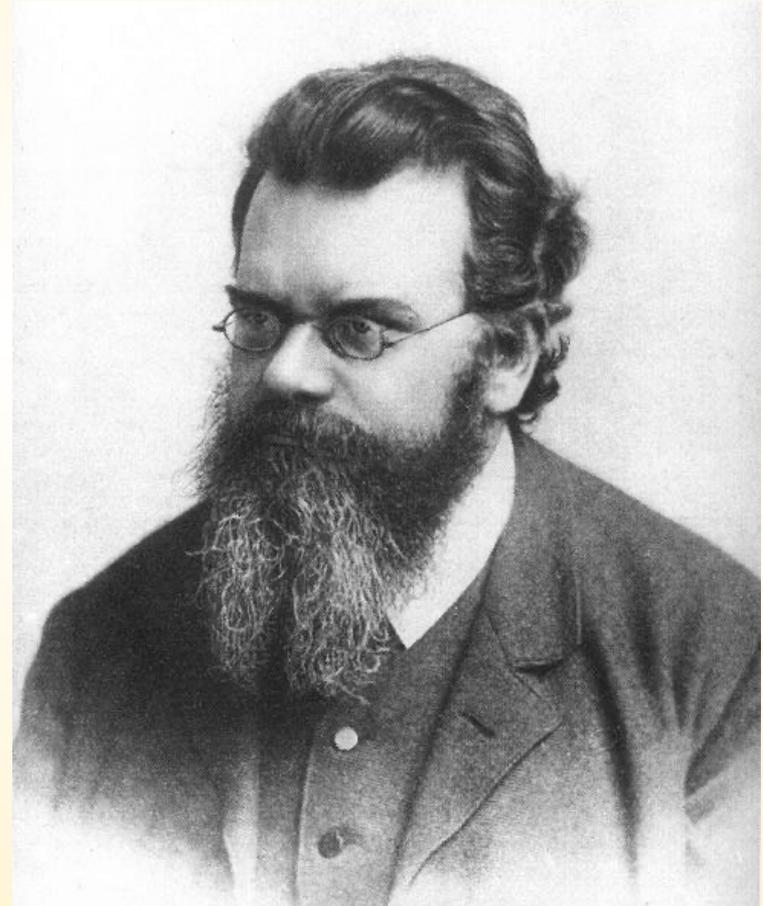
# Josef Stefan (1835-1893)

(en esloveno Jožef Stefan)  
fue un físico, matemático y  
poeta, esloveno-austríaco.  
Fue el profesor de  
Boltzmann.



# Ludwig Edward Boltzmann (1844-1906)

fue un físico austriaco pionero de la mecánica estadística, autor de la llamada constante de Boltzmann, concepto fundamental de la termodinámica.



# Ley de Stefan-Boltzmann en astronomía

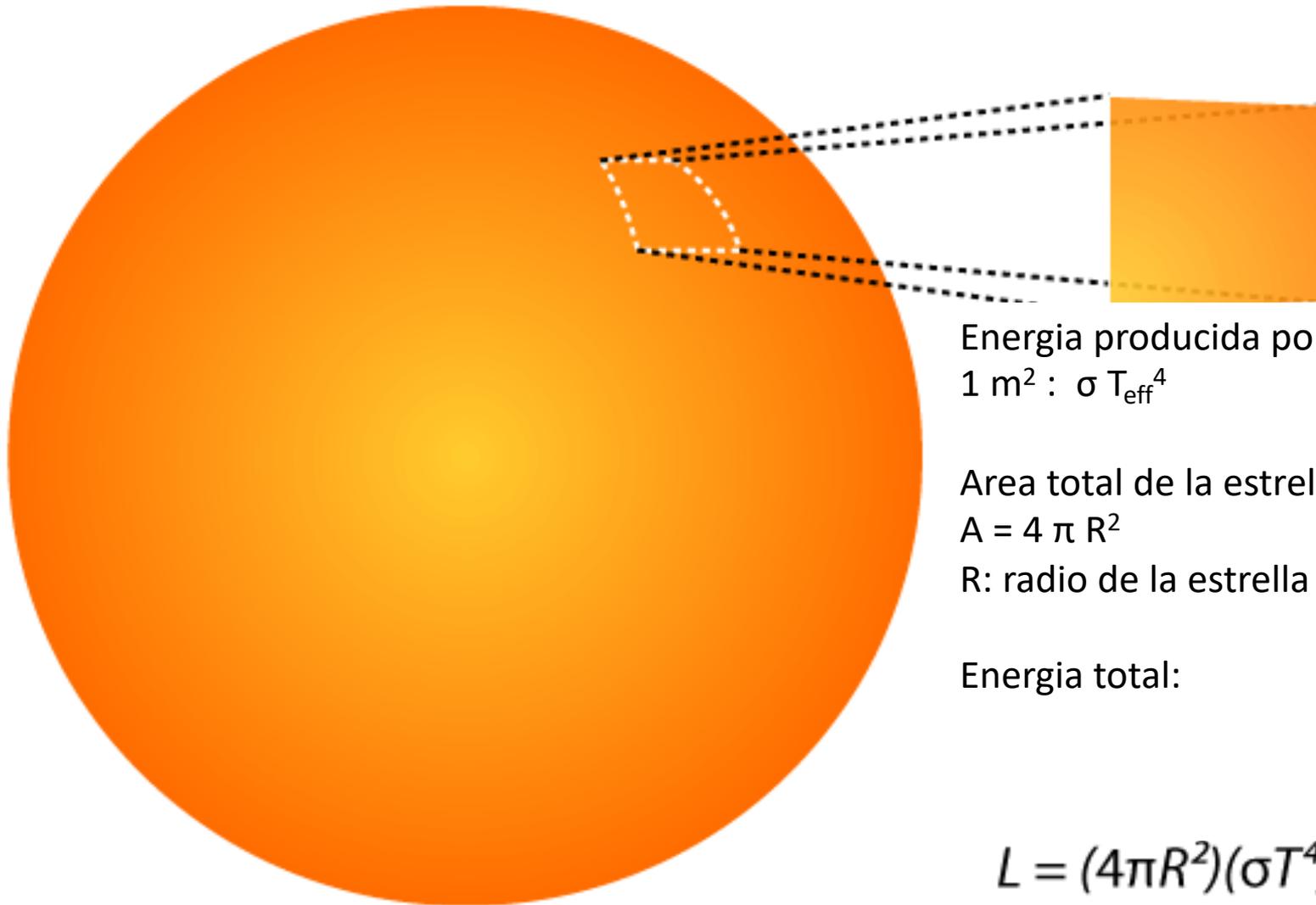
La temperatura de las estrellas puede obtenerse suponiendo que emiten radiación como un cuerpo negro de manera similar que nuestro Sol.

La Luminosidad  $L$  de la estrella vale :

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

donde  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ,  $R$  es el radio estelar y  $T$  es la temperatura de la estrella.

**Luminosidad** – la energía total radiada por una estrella al espacio.



Energía producida por  
1 m<sup>2</sup> :  $\sigma T_{\text{eff}}^4$

Área total de la estrella:

$$A = 4 \pi R^2$$

R: radio de la estrella

Energía total:

$$L = (4\pi R^2)(\sigma T^4)$$

Esta misma fórmula podemos usar para computar el radio aproximado de una estrella de la secuencia principal y por tanto similar al Sol:

$$L_* = 4\pi R_*^2 \sigma T_{eff,*}^4$$

$$L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{eff,\odot}^4 \quad \Rightarrow$$

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = \frac{R_*^2 T_{eff,*}^4}{R_{\odot}^2 T_{eff,\odot}^4} \quad \Rightarrow$$

$$\frac{R}{R_{sol}} \approx \left( \frac{T_{sol}}{T} \right)^2 \sqrt{\frac{L}{L_{sol}}}$$

Con la ley de Wien podemos medir la **temperatura** de una estrella distante

y

con la ley de Stefan-Boltzmann podemos, en principio, calcular el **radio** de una estrella distante (que aparece para nosotros como un punto sin extensión) si podemos medir la luminosidad total de la estrella.