LFIS223

Astronomía General

Patricia Arévalo
transparencias de Yara Jaffé

Tema 3
Espectro electromagnético parte I

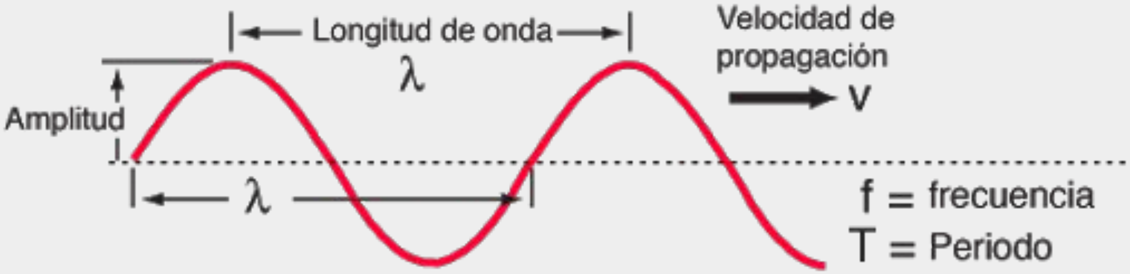
(Cap. 3 Carroll & Ostlie)

31/08

¿Qué son las ondas electromagnéticas?

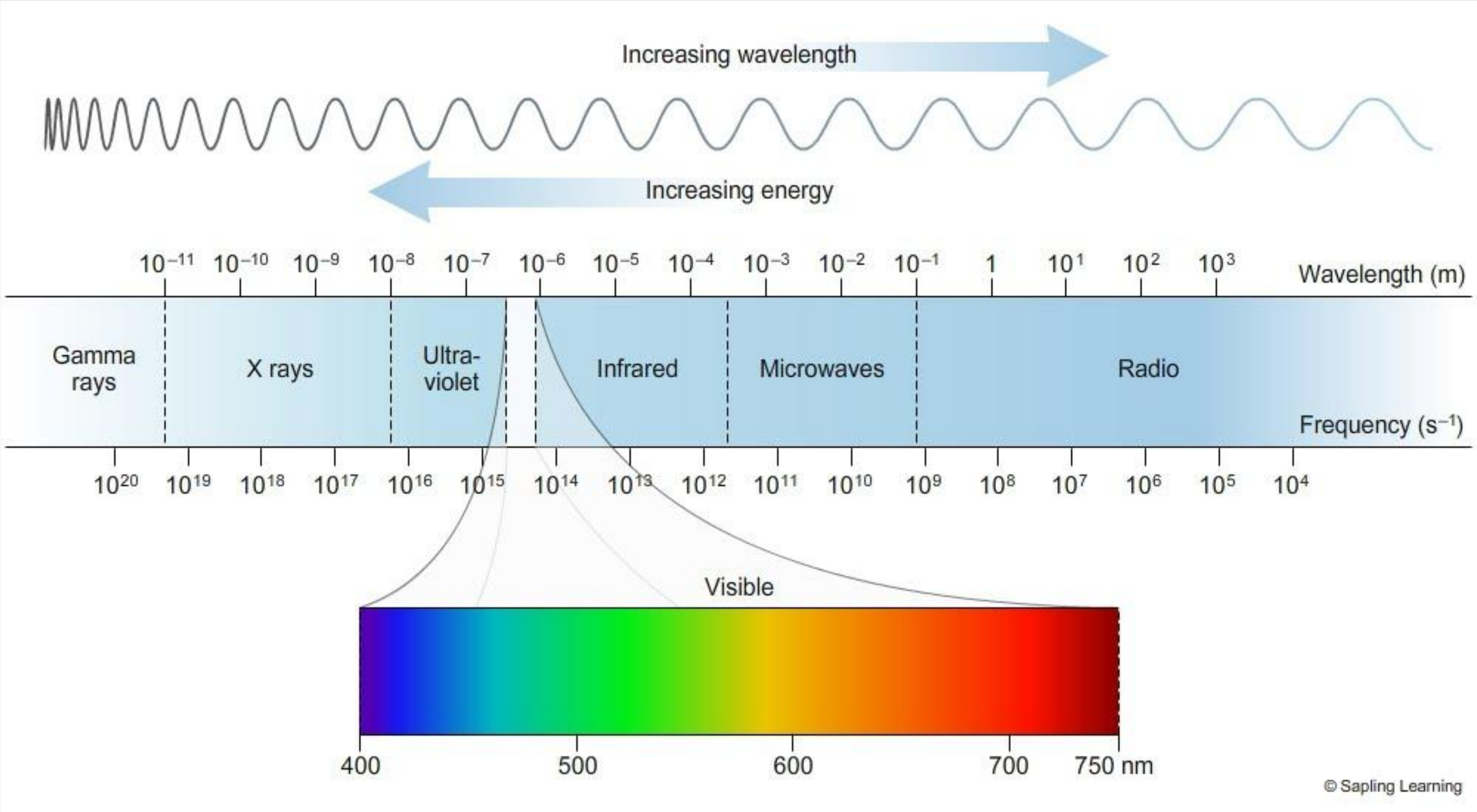
Una onda viajera clásica es una perturbación autónoma de un medio, que se mueve en el espacio transportando energía e impulso

- Ondas mecánicas: necesitan de un medio elástico para propagarse (onda en una cuerda, agua, sonido)
- Ondas electromagnéticas: no necesitan de un medio elástico para propagarse (luz, radio, TV, rayos-X)



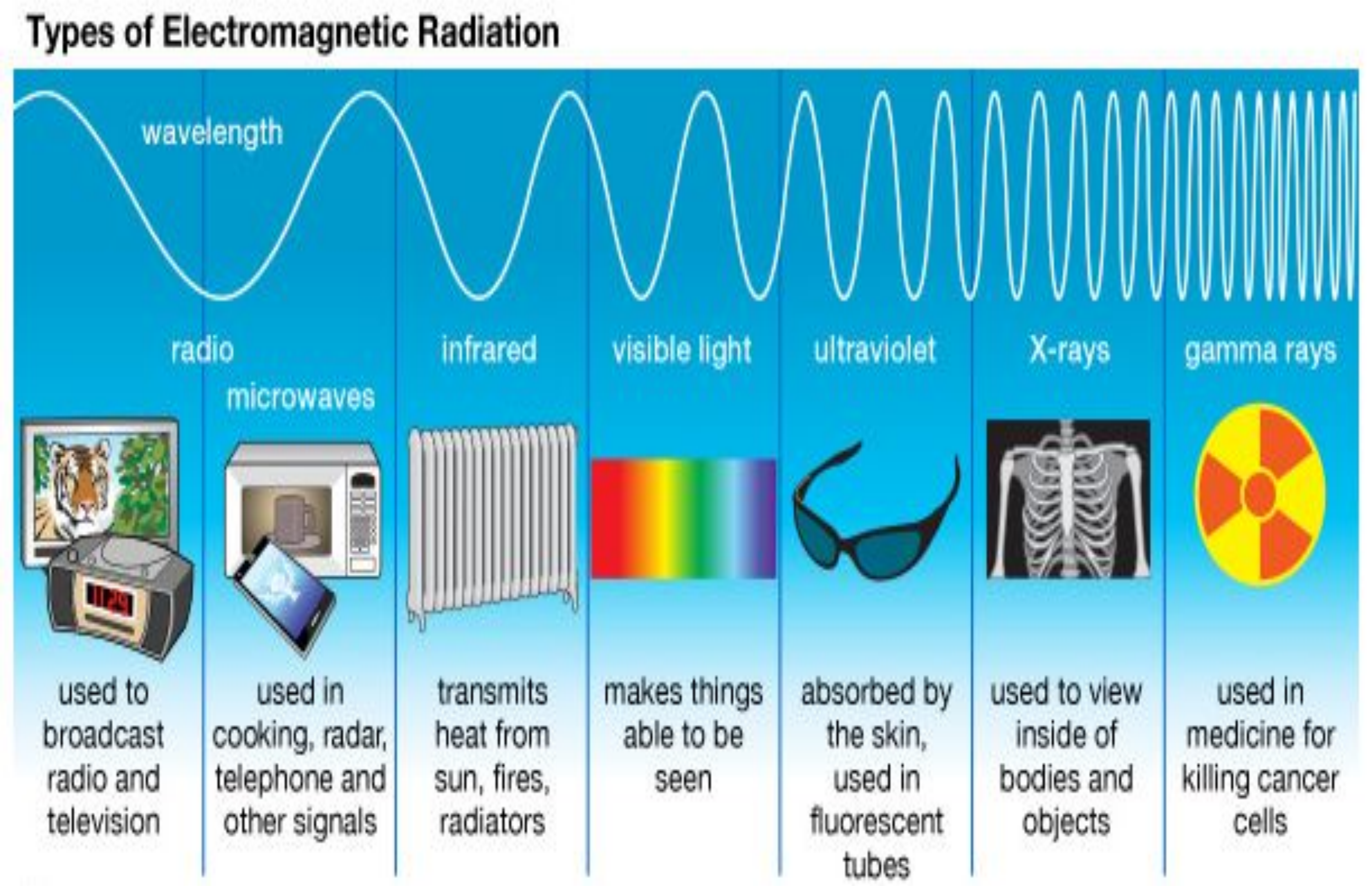
$$\lambda = \frac{v}{f} = v \cdot T$$

Espectro electromagnético
Frecuencia y longitud de onda



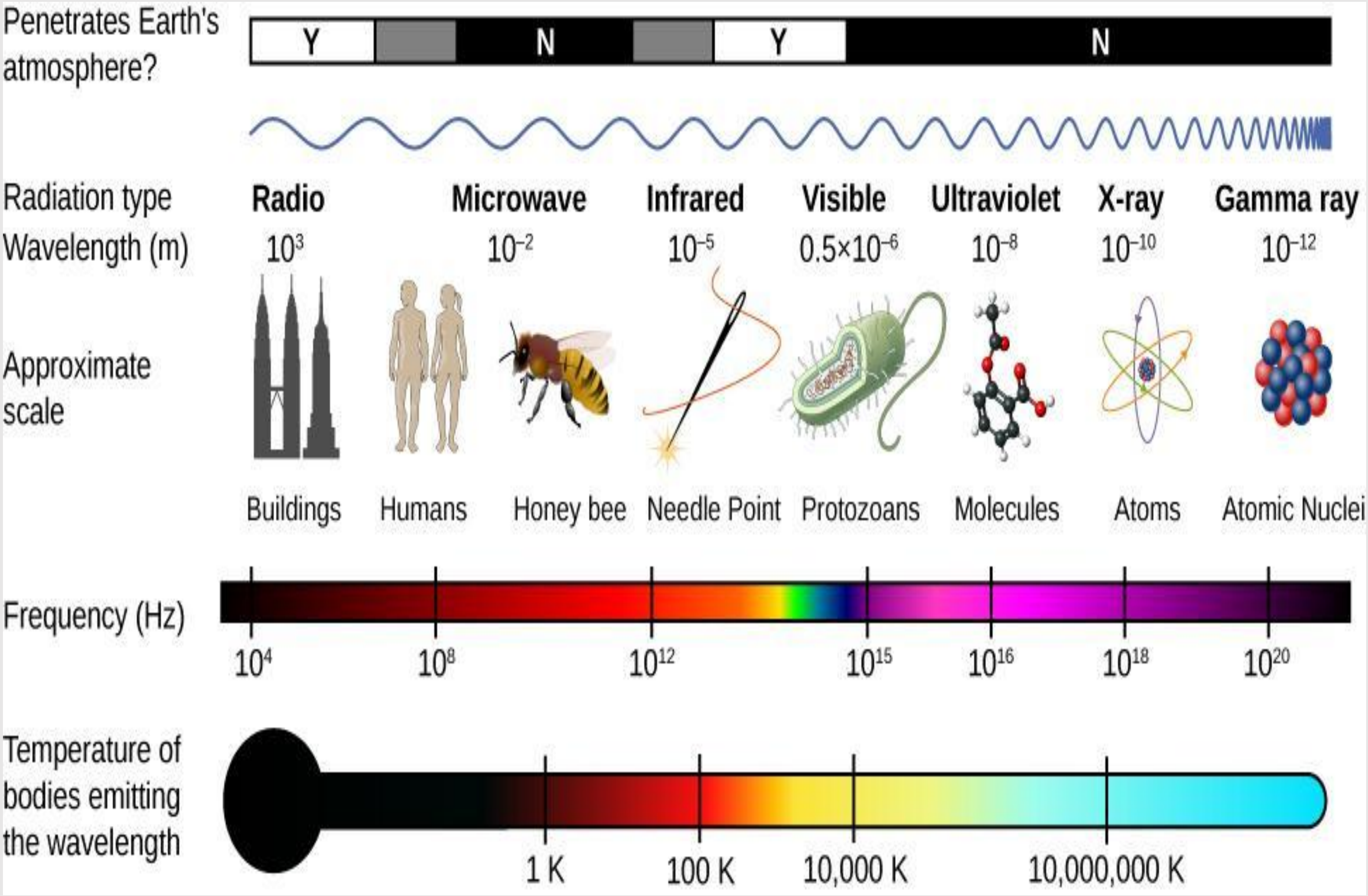
Espectro electromagnético

Tipos de radiación



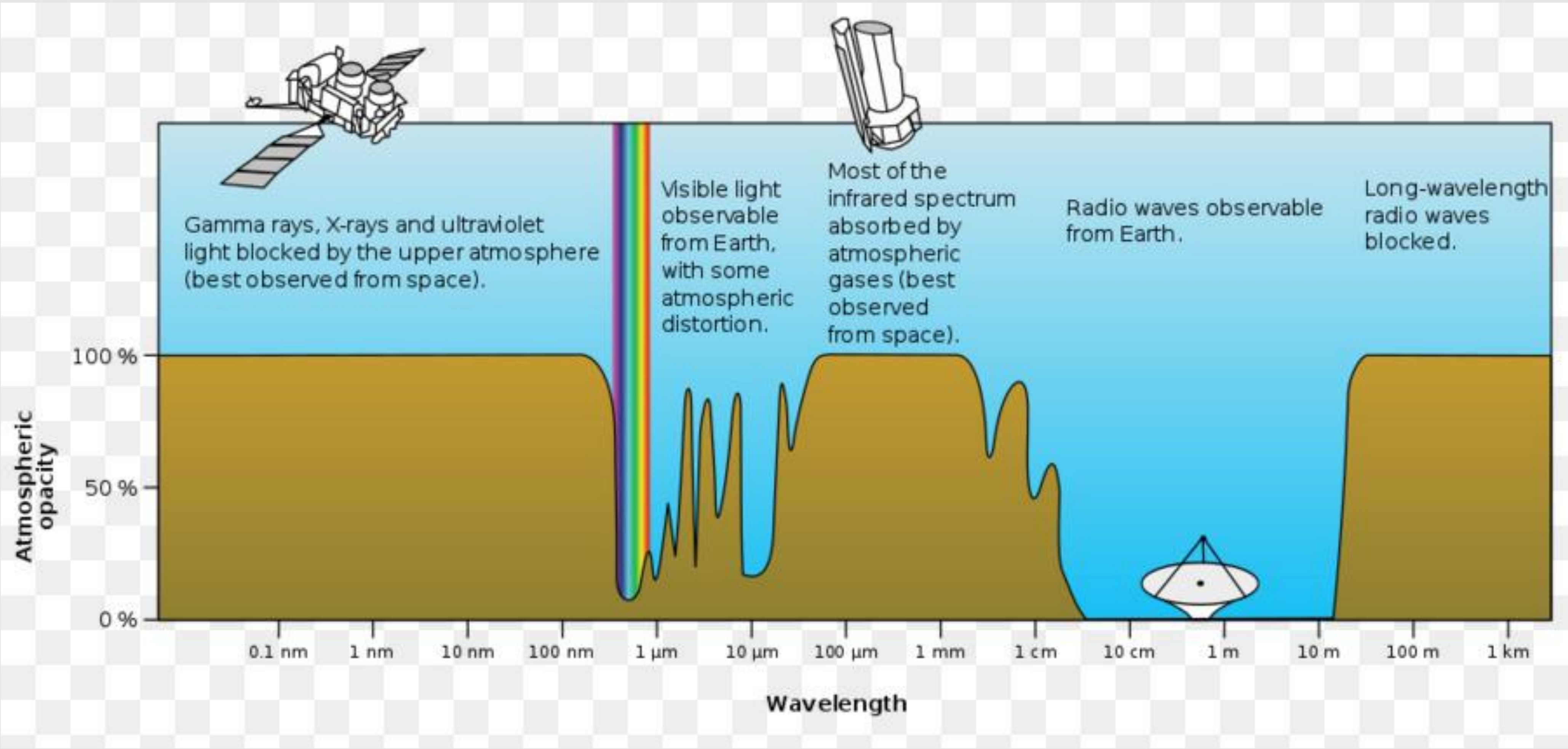
Espectro electromagnético

tamaños comparativos



Espectro electromagnético

Opacidad de la atmósfera terrestre

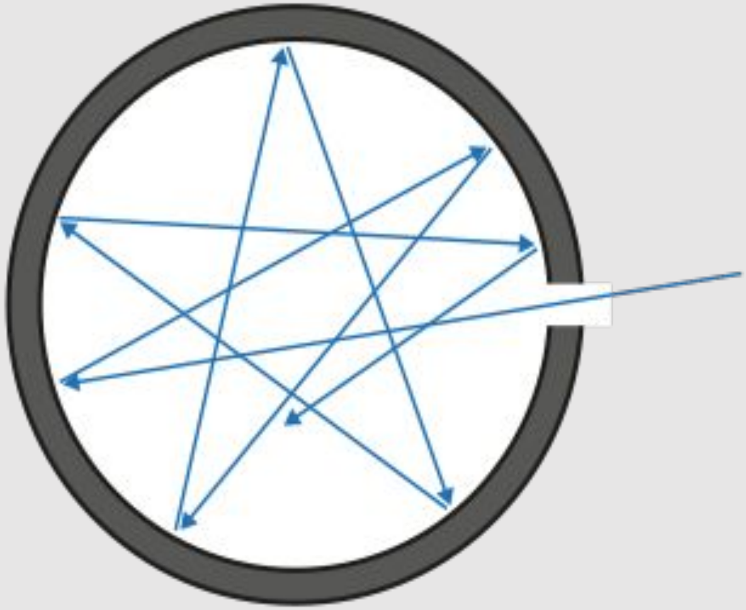


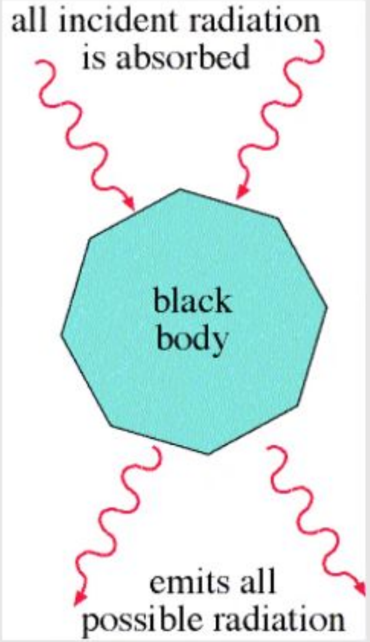
Radiación de Cuerpo Negro

Un **cuerpo negro** es un cuerpo físico idealizado que absorbe toda la radiación electromagnética incidente, sin importar la frecuencia o el ángulo de incidencia.

Nada atraviesa y nada se refleja.

► Sólo emite radiación térmica





La **radiación de cuerpo negro** es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico (a Temp. constante).

Ley de Stefan-Boltzmann

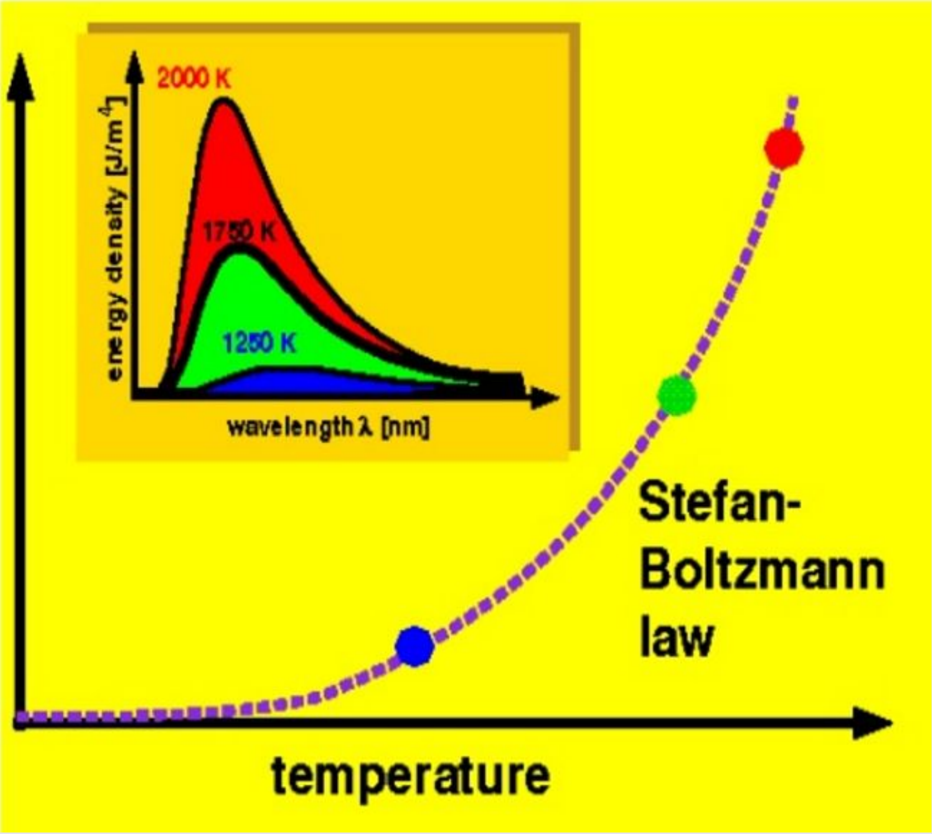
Observada empíricamente (Stefan) y derivada (Boltzmann) a partir de las leyes de la termodinámica y las leyes de Maxwell.

→ Un cuerpo negro emite **radiación térmica** con una **potencia emisiva hemisférica total (W/m²)** proporcional a la cuarta potencia de su **temperatura**.

$$\frac{P}{A} = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.67\times10^{-8}\ \text{Watts/m}^2\text{K}^4$$

NOTA: Si el cuerpo no es un cuerpo negro ideal, la potencia debe ir escalada por un factor ε (**emisividad**, entre 0 y 1). En un cuerpo negro ideal, ε = 1

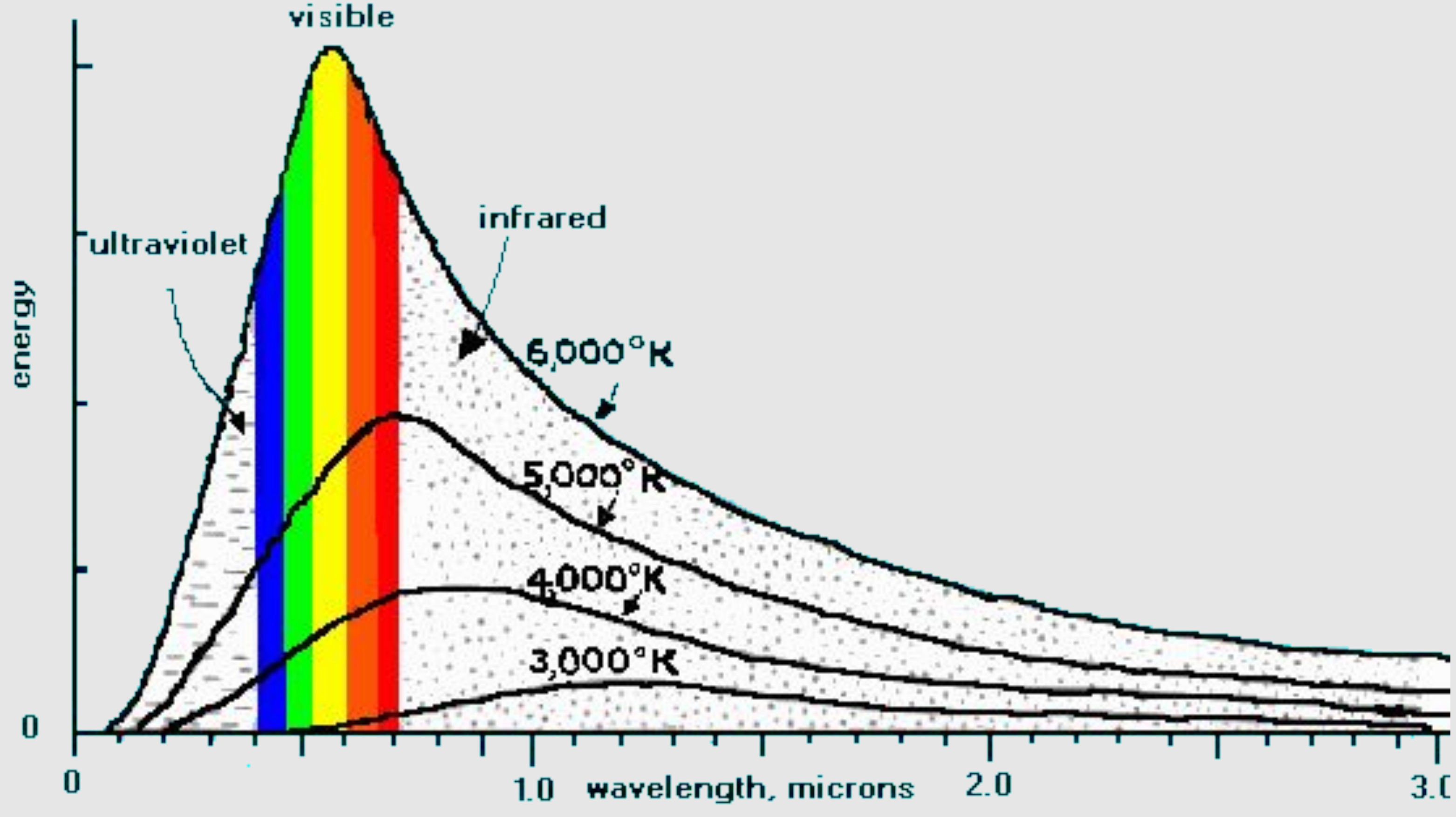


A medida que aumenta la T, el cuerpo negro emite más E por segundo a toda λ

Curva de radiación de cuerpo negro

Es la curva que muestra la radiación electromagnética de un cuerpo negro en todas las longitudes de onda (o frecuencias) a una temperatura dada.

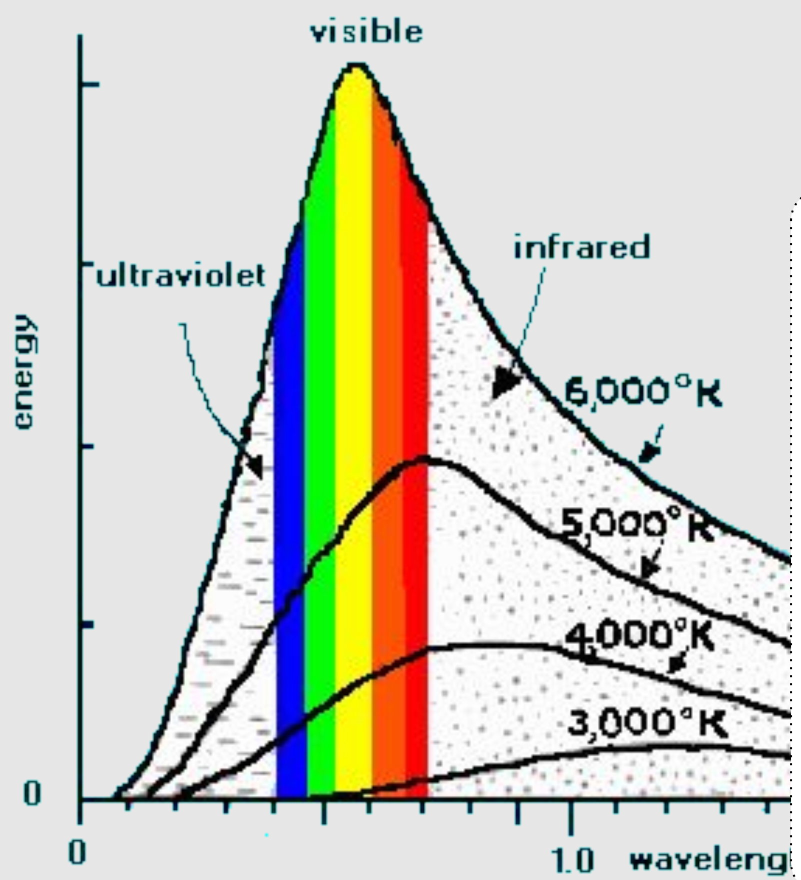
→ La forma de la curva depende solamente de la temperatura del cuerpo.



Curva de radiación de cuerpo negro

Es la curva que muestra la radiación electromagnética de un cuerpo negro en todas las longitudes de onda (o frecuencias) a una temperatura dada.

→ La forma de la curva depende solamente de la temperatura del cuerpo.



No puede explicarse usando física clásica!

→ Uno de los problemas más grandes de la física en el S. XIX

Aproximación de Rayleigh-Jeans

Lord Rayleigh combinó la **teoría electromagnética clásica** (ec. de Maxwell) con **física térmica,** y obtuvo la radiación de un cuerpo negro de temperatura T para cada frecuencia:

$$\boxed{B_\nu(T) = \frac{2\nu^2 kT}{c^2}}$$

donde *c* es la velocidad de la luz y *k* es la constante de Boltzmann.

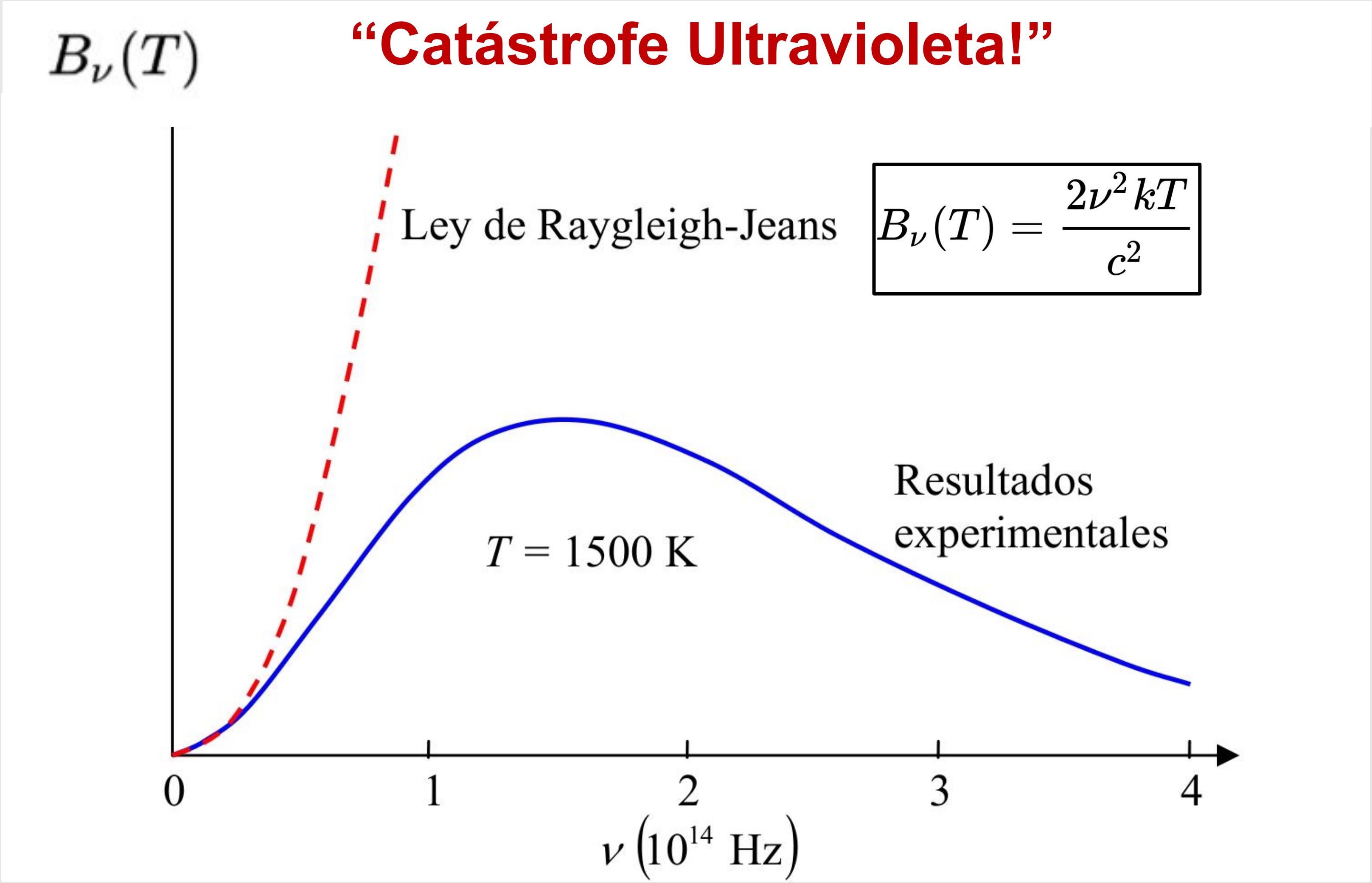
En términos de la longitud de onda:

$$B_\lambda(T) = B_\nu(T) \times \frac{d\nu}{d\lambda} \qquad \frac{d\nu}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda}\left(\frac{c}{\lambda}\right) = -\frac{c}{\lambda^2}$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2ckT}{\lambda^4}$$

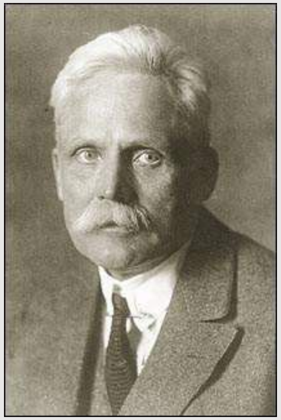
Aproximación de Rayleigh-Jeans

Es una buena aproximación a λs largas (frecuencias bajas) pero predice una producción de energía infinita cuando λ tiende a 0 (a frecuencias altas).



Aproximación de Wien

Wien derivó una ley **empírica**, basándose en la **ley de Stefan-Boltzmann** y en **física térmica clásica**:



$$\frac{P}{A} = \sigma T^4$$

$$B_\lambda(T) \simeq a\lambda^{-5} e^{-b/\lambda T},$$

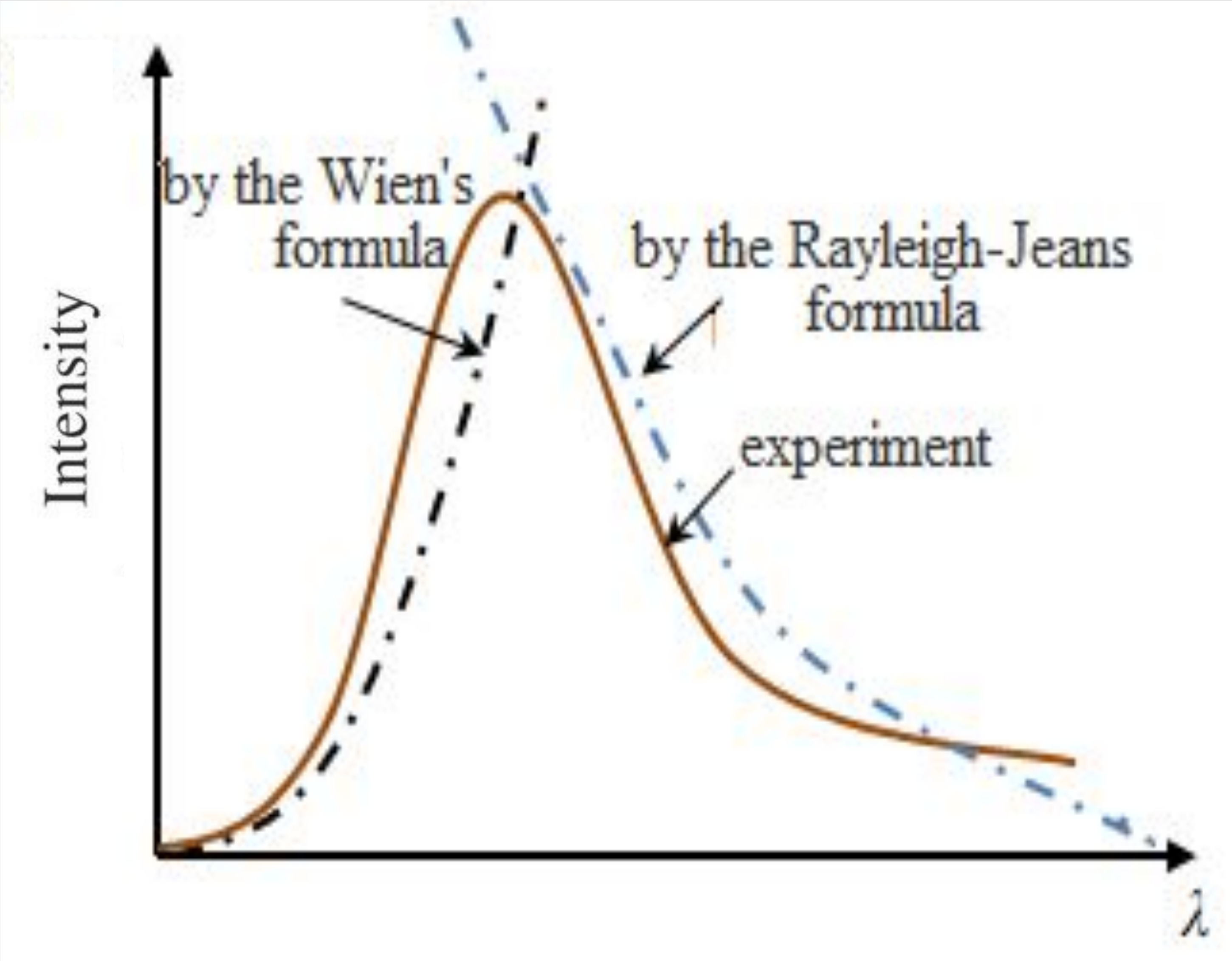
Donde a, b son constantes escogidas para ajustar los datos experimentales.

→ Buena aproximación a λs cortas pero falla en λs largas.

Curva de radiación de cuerpo negro

Aproximaciones clásicas

$B_\lambda(T)$

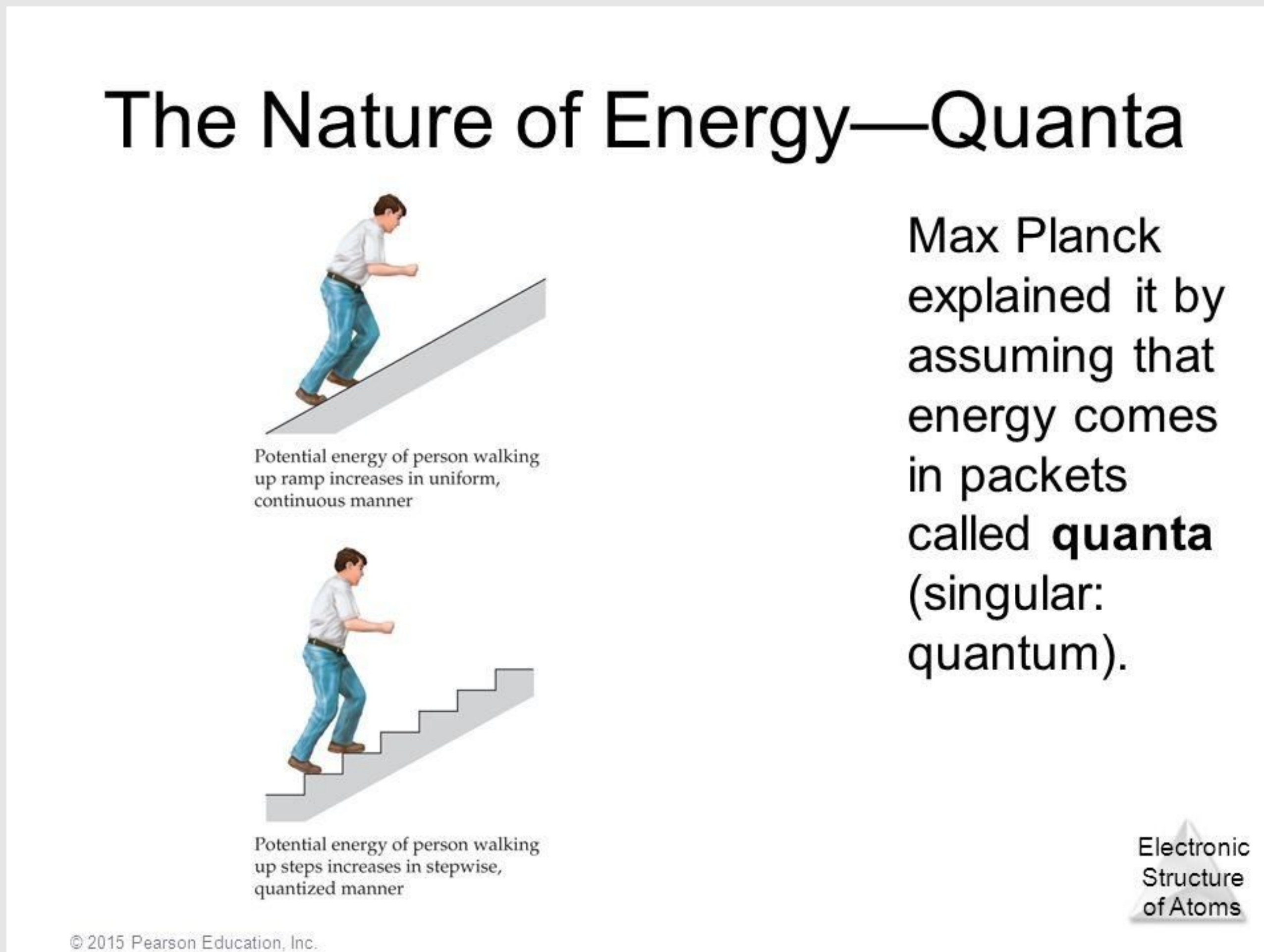


Planck y el quantum

Max Planck derivó la distribución correcta modificando las aproximaciones anteriores, y asumiendo que la radiación electromagnética sólo se puede emitir o absorber en paquetes discretos de energía, llamados **quanta**

$$E_{\text{quanta}} = h\nu$$

$$\mathbf{E = hc/}\lambda$$

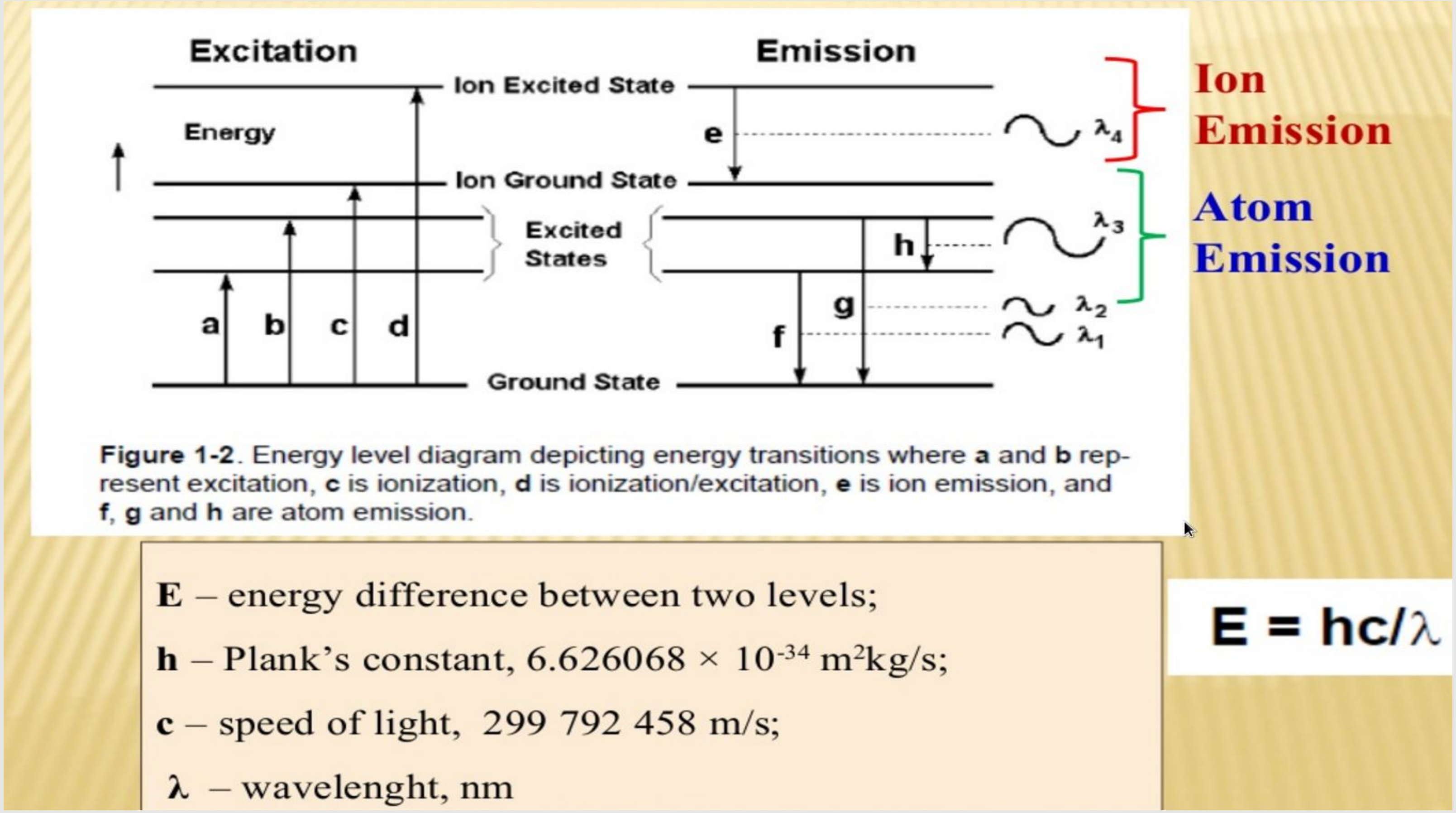


Planck y el quantum

- La energía viene en paquetes llamados “quanta” (singular: quantum).
- Así nace la física cuántica, por lo que Planck fue galardonado con el Nobel de física en 1918.

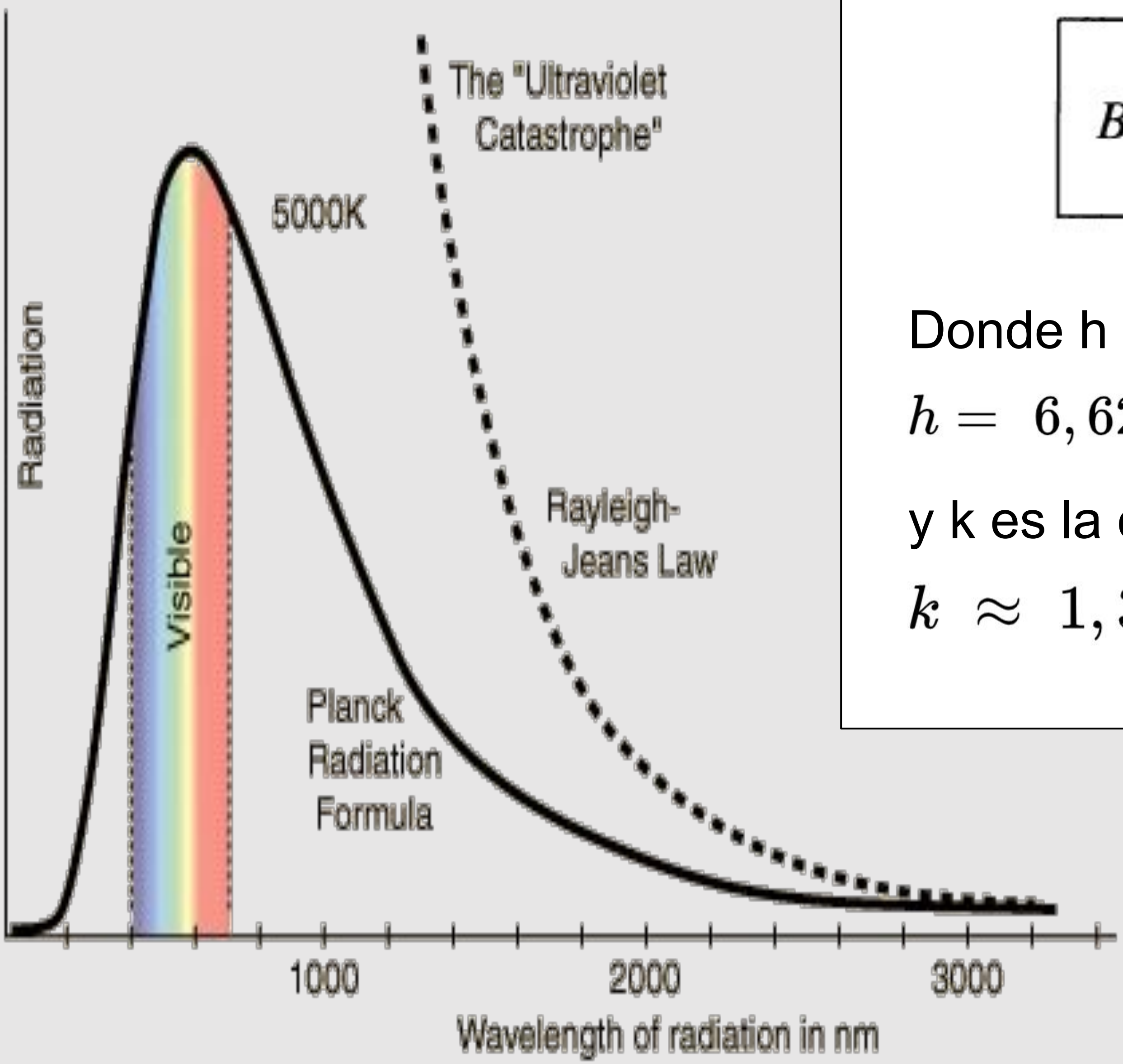
$$\boxed{E_{\text{quanta}} = h\nu}$$

$$\boxed{E = hc/\lambda}$$



Ley de Plank

La energía emitida por un cuerpo negro ideal es:



$$\boxed{B_\lambda(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{e^{hc/\lambda kT} - 1}.}$$

Donde h es la constante de Planck

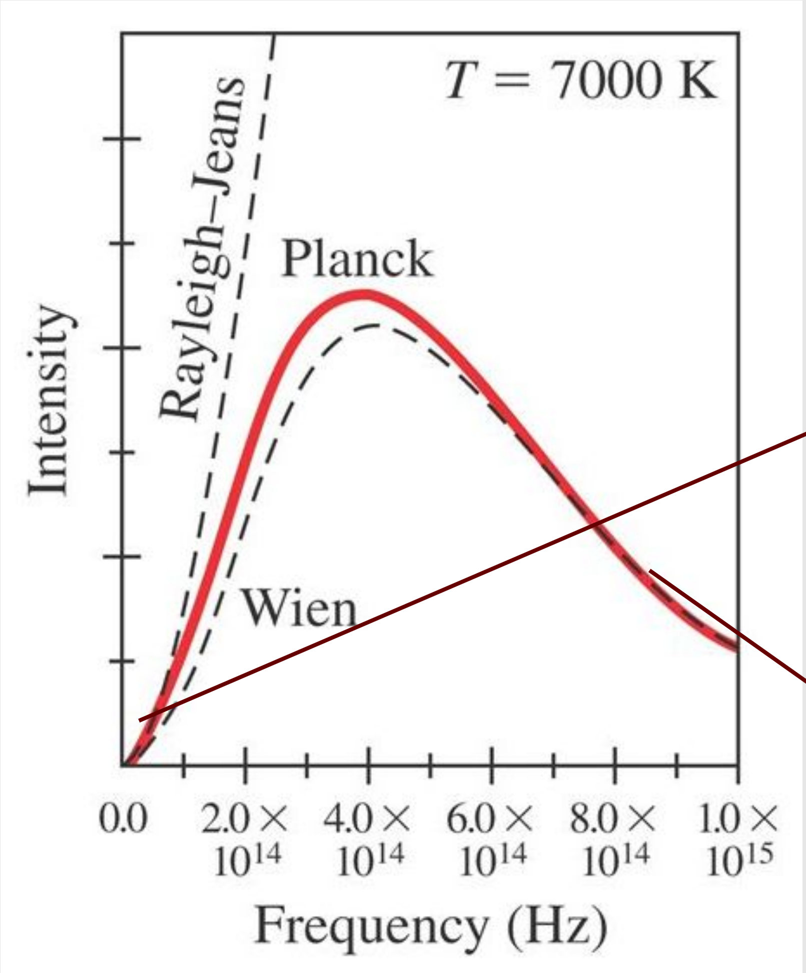
$$h = \ 6,626\,069\,57(29) \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$$

y k es la constante de Boltzmann

$$k \ \approx \ 1,38064852(79) \times 10^{-23}$$

Ley de Plank

La energía emitida por un cuerpo negro ideal es:



$$\boxed{B_\lambda(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{e^{hc/\lambda kT} - 1}.}$$

Si $\lambda \rightarrow \infty$ se llega a la aproximación de Rayleigh-Jeans:

$$\boxed{B_\lambda(T) = \frac{2ckT}{\lambda^4}}$$

Si $\lambda \rightarrow 0$ se llega a la aproximación de Wien:

$$B_\lambda(T) \simeq a\lambda^{-5} e^{-b/\lambda T},$$

Ley de Plank

Para demostrar estas aproximaciones usamos la expansión de la exponencial

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \ldots$$

$$\boxed{B_\lambda(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{e^{hc/\lambda kT} - 1}.}$$

Si $\lambda \rightarrow \infty$ se llega a la aproximación de Rayleigh-Jeans:

$$\boxed{B_\lambda(T) = \frac{2ckT}{\lambda^4}}$$

Realice ambas demostraciones y encuentre *a* y *b* para la aprox. de Wien

Si $\lambda \rightarrow 0$ se llega a la aproximación de Wien:

$$B_\lambda(T) \simeq a\lambda^{-5} e^{-b/\lambda T},$$

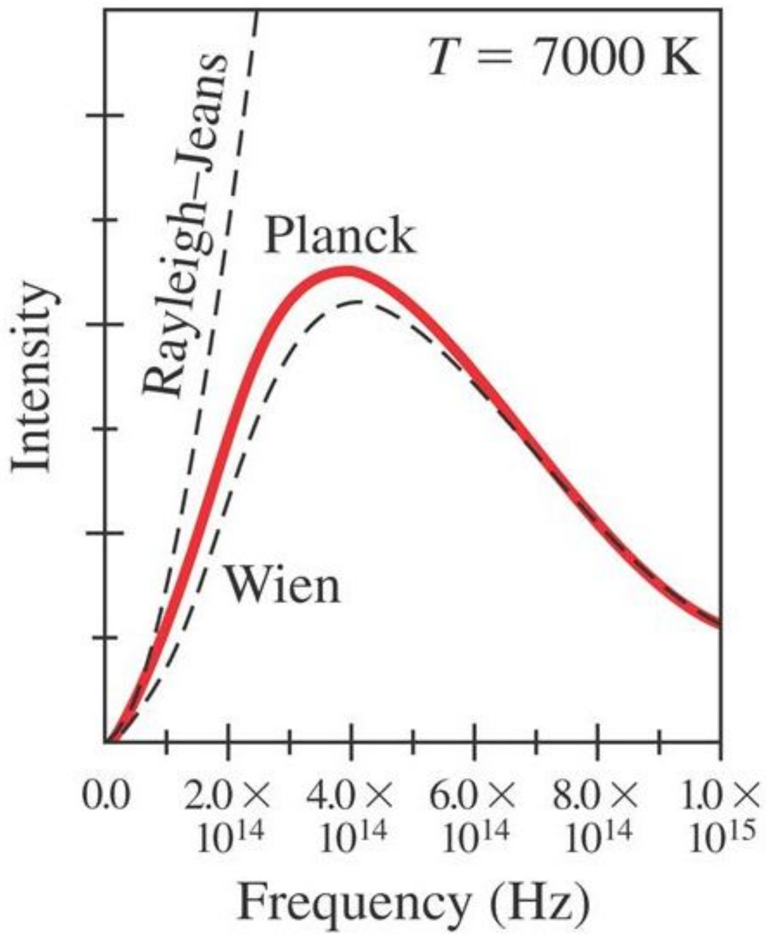
Hint, use la expansión a primer orden.

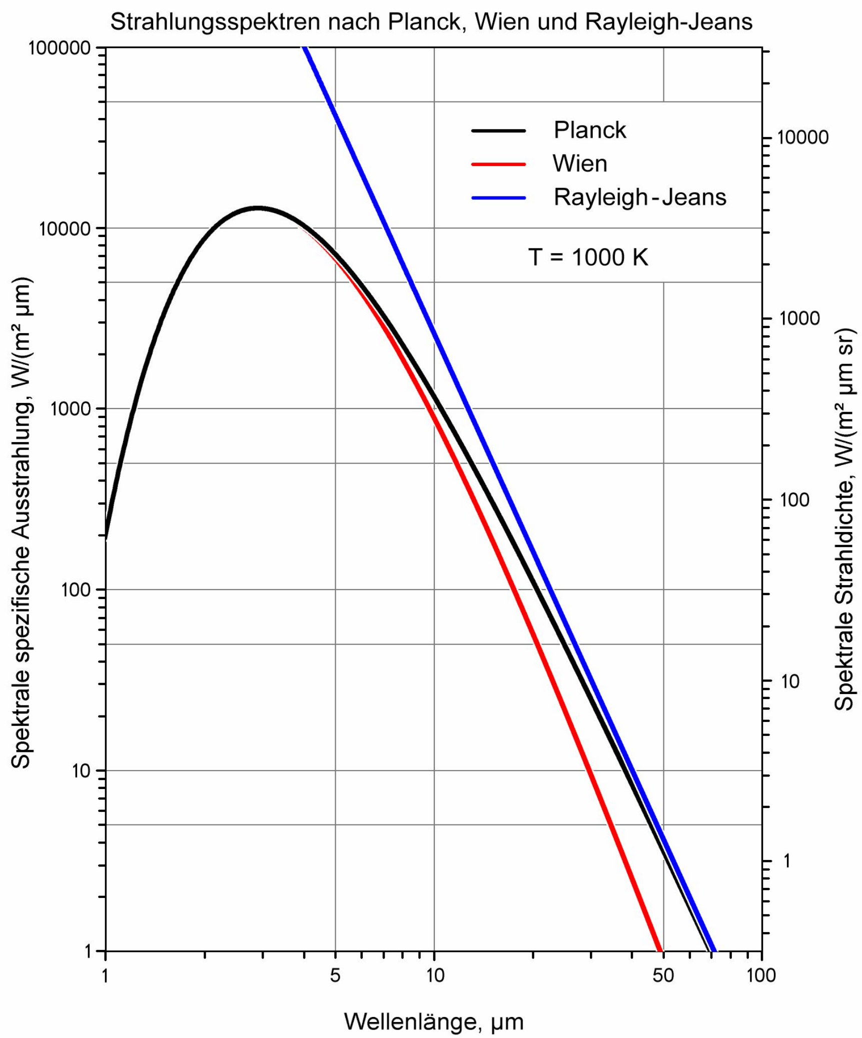
Wien, Rayleigh-Jeans & Plank

$$B_\lambda(T) \simeq a\lambda^{-5}e^{-b/\lambda T}$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2ckT}{\lambda^4}$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{e^{hc/\lambda kT} - 1}.$$



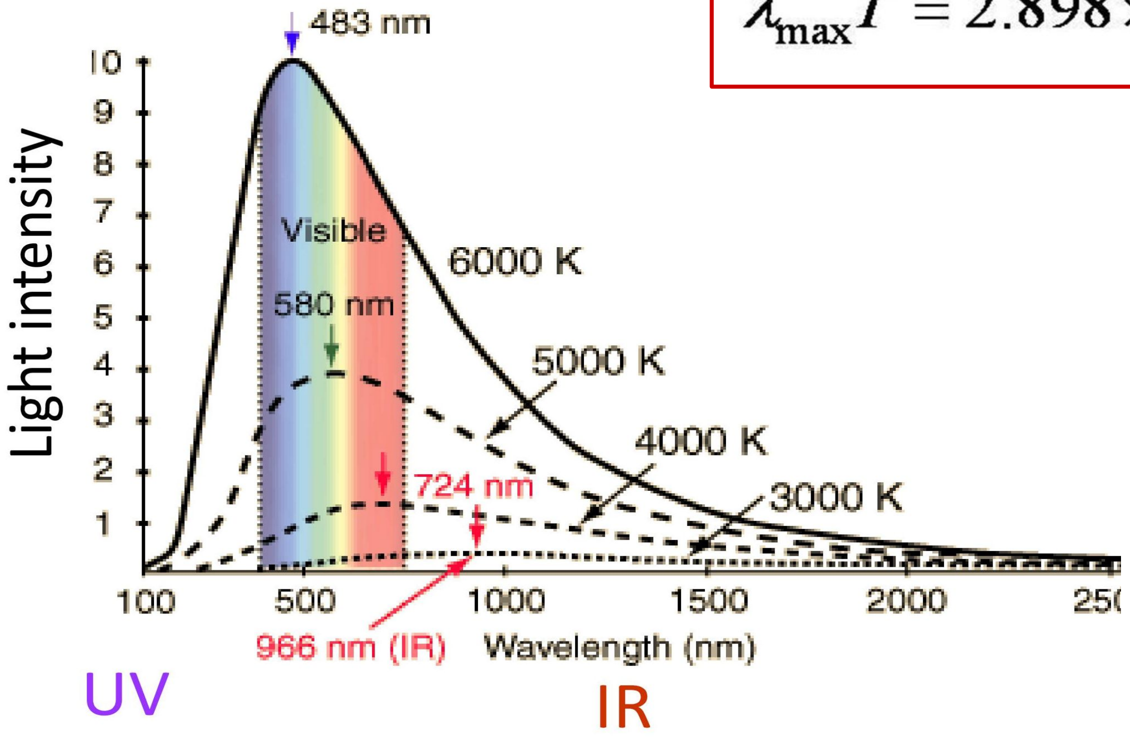


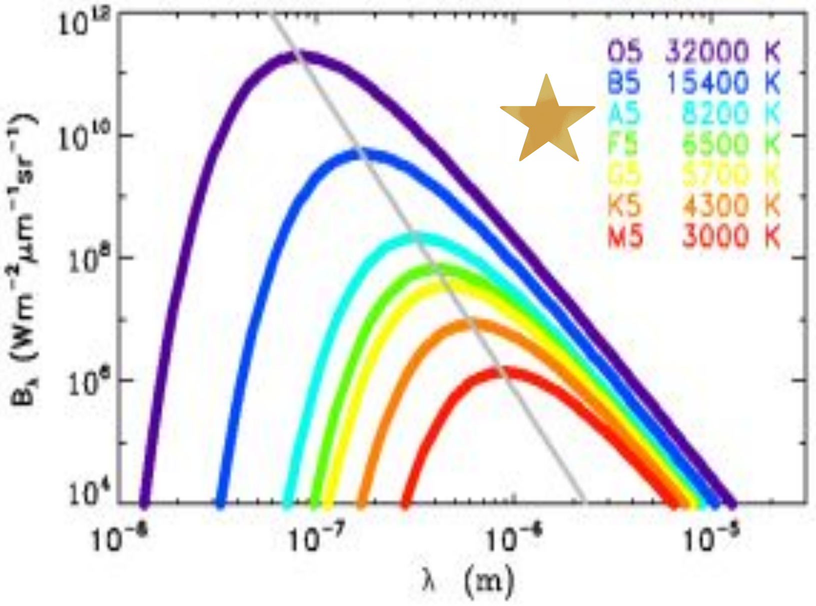
Ley de desplazamiento de Wien

Relación entre color y temperatura

A temperaturas más altas, el máximo de la distribución de radiación de cuerpo negro se corre hacia longitudes de onda menores.

$$\lambda_{max} T = 2.898 \times 10^{-3}\ \mathrm{m \cdot K}$$





Temperatura efectiva

Temperatura de un objeto calculada a partir de la radiación que emite, asumiendo cuerpo negro ideal.

$$T_{\mathrm{eff}} = \left(\frac{L}{4\pi R^2 \sigma} \right)^{1/4}$$

Se puede derivar usando la ley de desplazamiento de Wien, al observar la longitud de onda donde se obtiene el máximo de radiación.

$$\lambda_{\max} T = 2.898 \times 10^{-3}\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{K}$$

Ley de desplazamiento de Wien

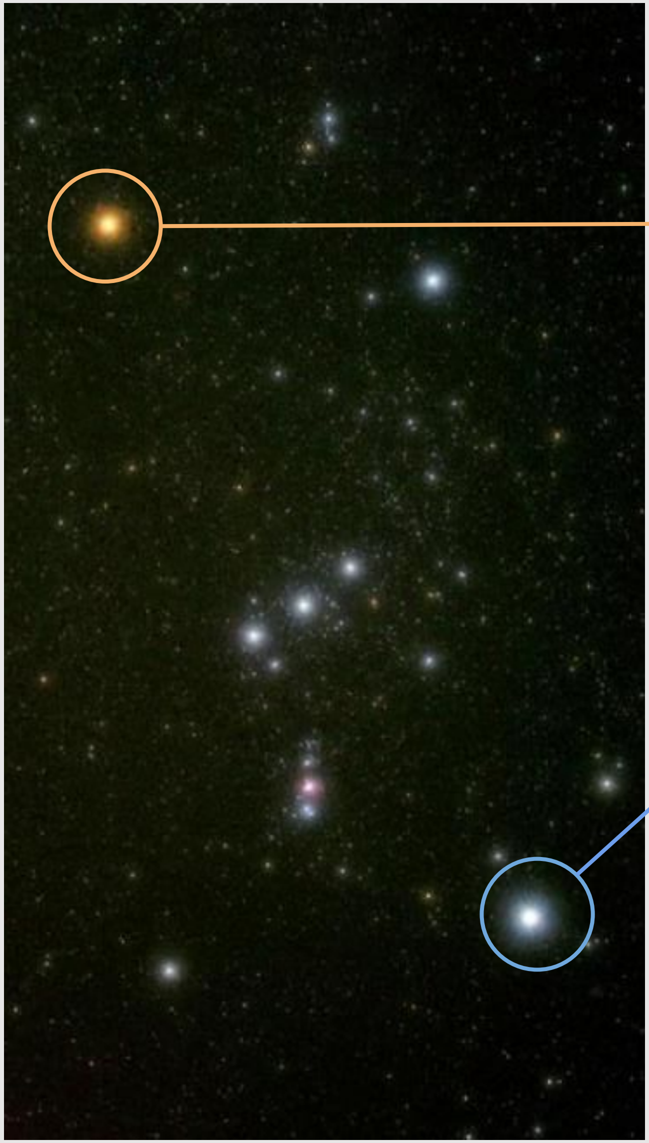
Relación entre color y temperatura

Veamos las estrellas de la constelación de Orión:

Betelgeuse tiene una Teff = 3600 K.
Si la tratamos como un cuerpo negro, por la ley de desplazamiento de Wien tenemos que su espectro continuo tiene un peak a una longitud de onda de **805nm → IR** (infrarrojo).
De hecho es una supergigante roja

Ley de desplazamiento de Wien

Relación entre color y temperatura



Veamos las estrellas de la constelación de Orión:

Betelgeuse tiene una Teff = 3600 K.
Si la tratamos como un cuerpo negro, por la ley de desplazamiento de Wien tenemos que su espectro continuo tiene un peak a una longitud de onda de **805nm** → **IR** (infrarrojo).
De hecho es una supergigante roja

Mientras que **Rigel** tendría su peak a **223nm** → **UV** (ultravioleta).
Es una supergigante azul

Ley de Stefan-Boltzmann $\frac{P}{A} = \sigma T^4$

Podemos expresar esta ley en términos de la luminosidad y el flujo.

Flujo: Energía emitida por la estrella, por unidad de tiempo y de área.

$$F = P/A = \sigma T^4$$

Luminosidad: Energía total emitida por una estrella (o cualquier objeto astronómico), por unidad de tiempo, a través de TODA su superficie.

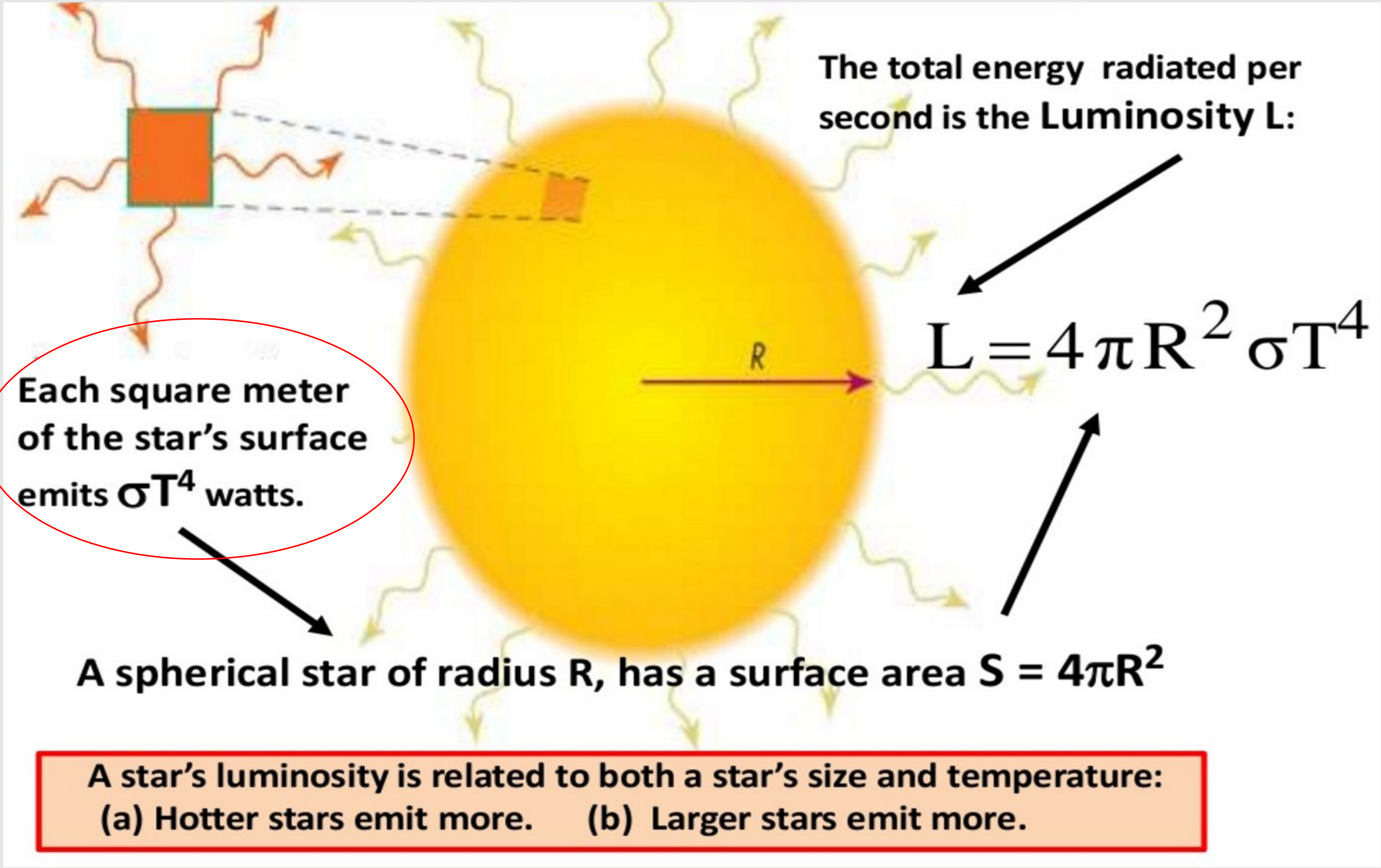
Por Stefan-Boltzmann: $$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

- F y L son propiedades físicas del objeto, que dependen sólo de la temperatura (y del radio del objeto que emite en el caso de L).

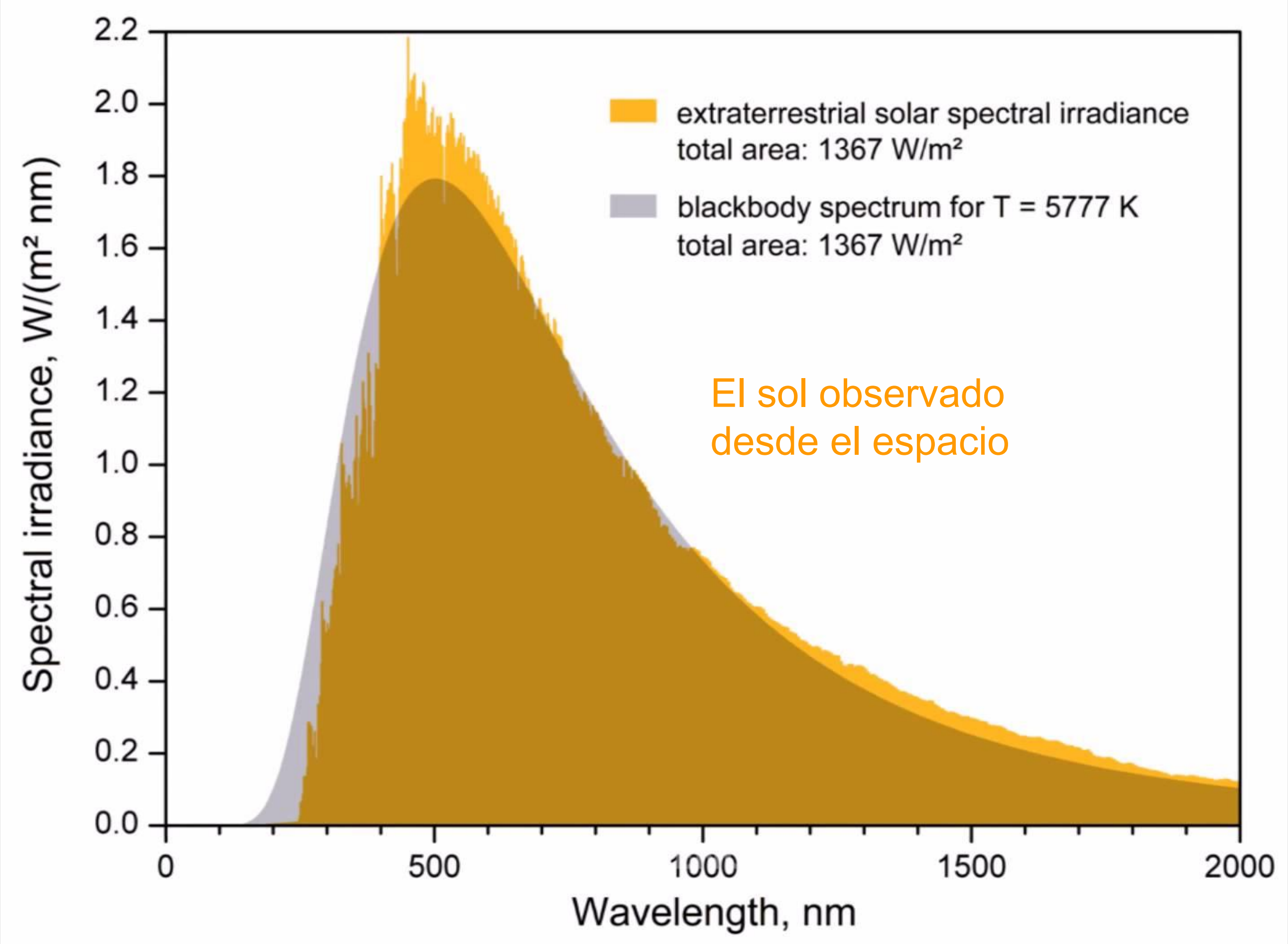
- El **brillo** se diferencia de la luminosidad porque la luminosidad es intrínseca y el brillo depende de la distancia a la que se observe.

Ley de Stefan-Boltzmann

$$\frac{P}{A} = \sigma T^4$$

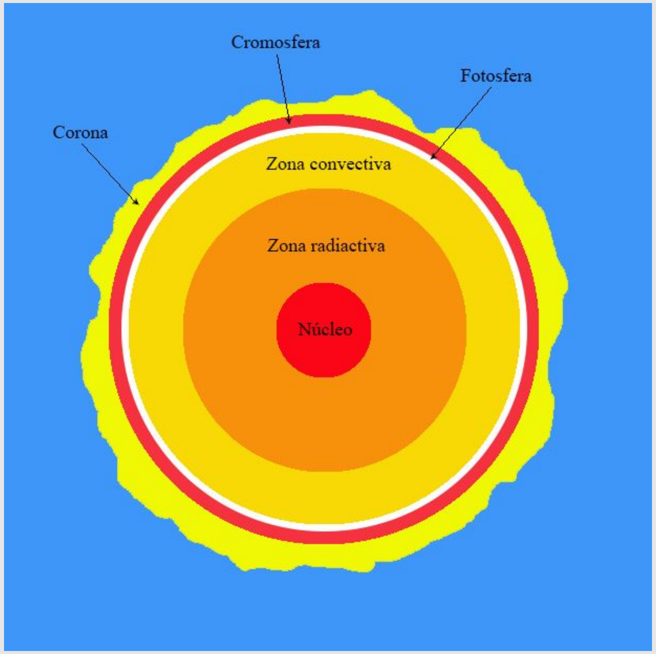


¿Es el cuerpo negro una buena aproximación para las estrellas?



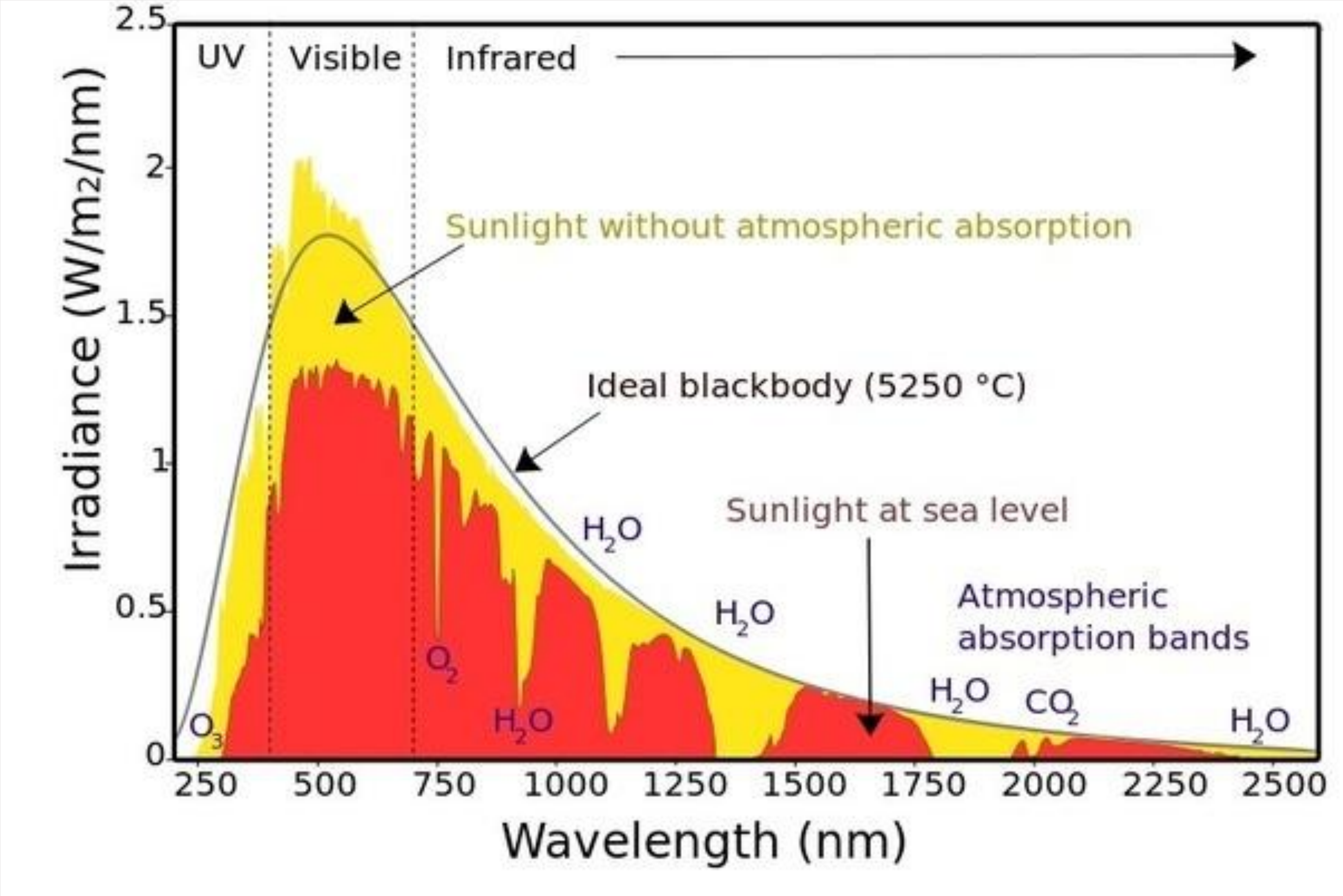
En general si para la mayor parte de la estrella, donde es ópticamente gruesa, pero no para la parte más externa de la estrella.

No es una buena aproximación para el estudio de sus fotósferas

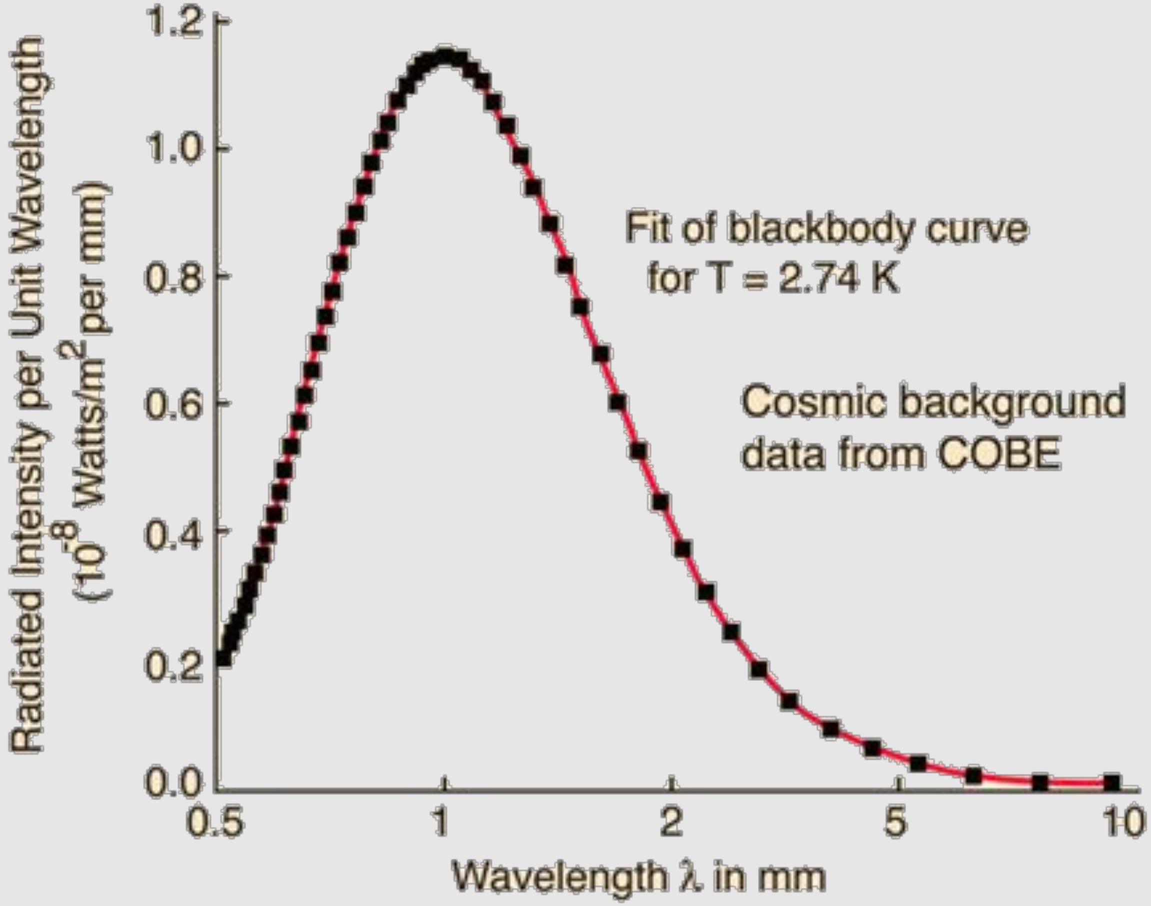


¿Es el cuerpo negro una buena aproximación para las estrellas?

Nuestra atmósfera también afecta mucho lo que observamos cuando observamos desde la tierra
(más sobre esto la próxima clase)



La aproximación del cuerpo negro



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