

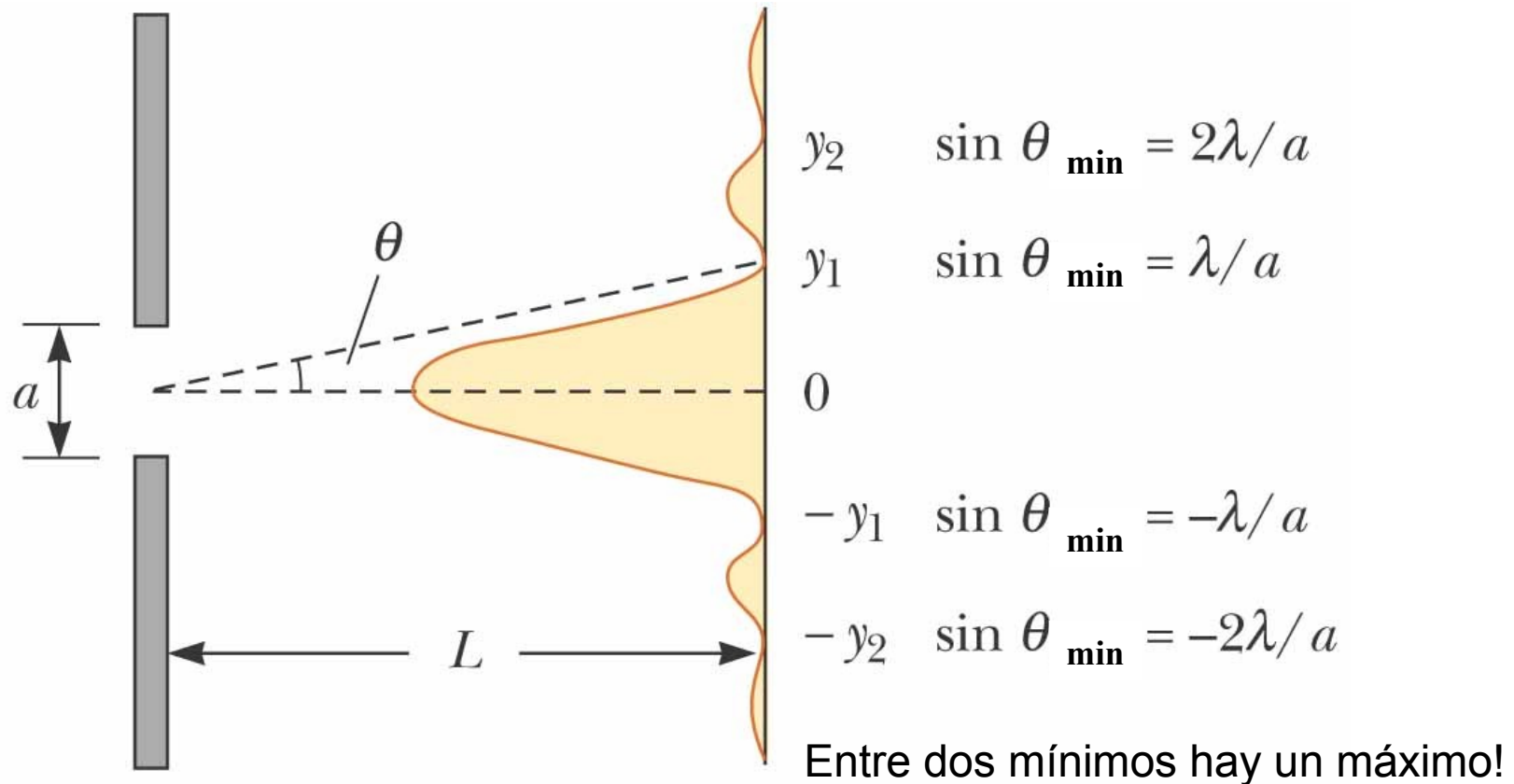


# Física III (sección 1) (230006-230010) Ondas, Óptica y Física Moderna

Profesor: M. Antonella Cid  
Departamento de Física, Facultad de Ciencias  
Universidad del Bío-Bío

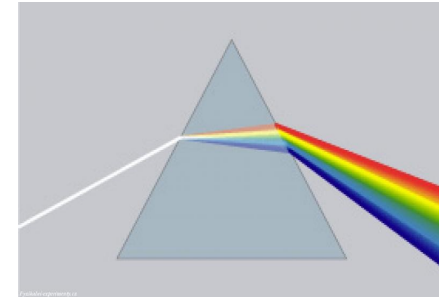
**Carreras:** Ingeniería Civil Civil, Ingeniería Civil  
Mecánica, Ingeniería Civil Industrial

# Patrón de difracción de una rendija

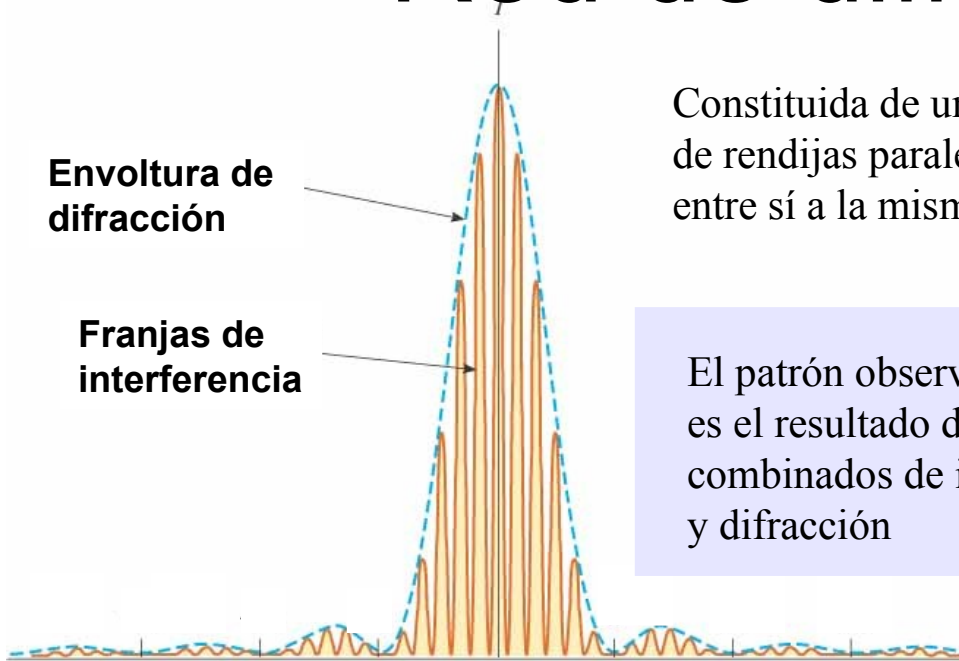


El ancho del máximo central es el doble que el ancho de los máximos secundarios

# Red de difracción



Descomposición de la luz por un prisma, en analogía con la red de difracción

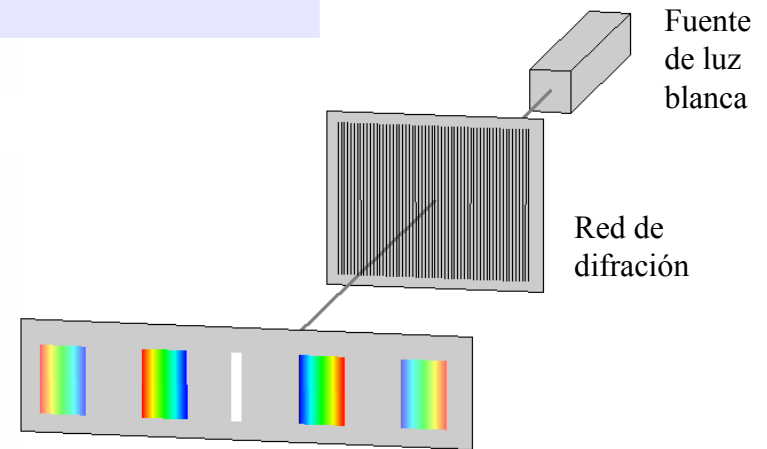
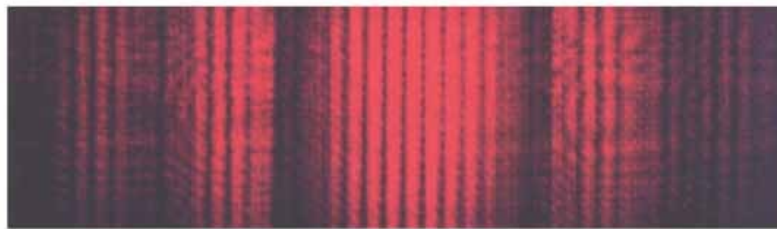


Envoltura de difracción

Franjas de interferencia

Constituida de un gran número de rendijas paralelas separadas entre sí a la misma distancia

El patrón observado en la pantalla es el resultado de los efectos combinados de interferencia y difracción

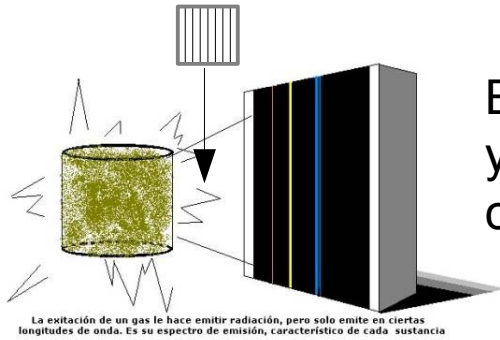


Fuente de luz blanca

Red de difracción



# Espectroscopía

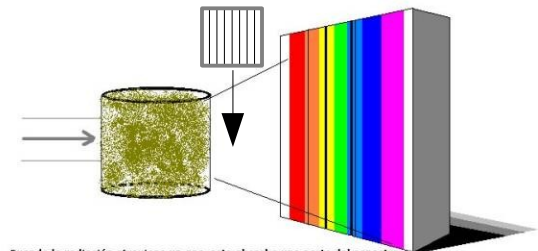


La excitación de un gas le hace emitir radiación, pero solo emite en ciertas longitudes de onda. Es su espectro de emisión, característico de cada sustancia

Espectro de emisión (visible): la sustancia se calienta y la luz que ésta emite tiene un espectro característico con líneas brillantes

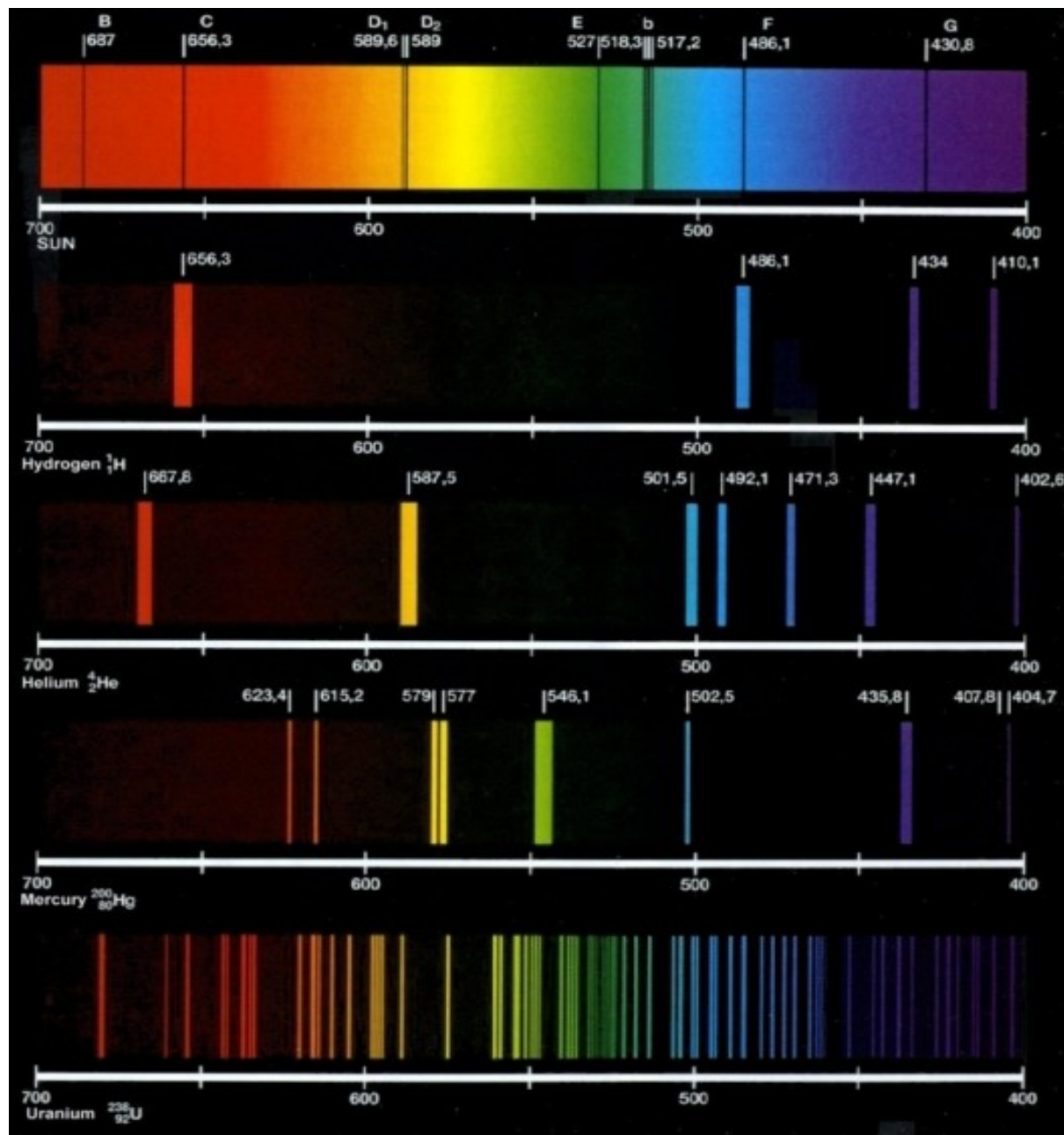


Espectro de absorción (visible): se hace incidir luz blanca en la sustancia, se observa un espectro característico con líneas oscuras



Cuando la radiación atraviesa un gas, este absorbe una parte del espectro. El resultado es su espectro característico de absorción, donde faltan las bandas absorbidas, apareciendo en su lugar líneas negras.





12/11/2013

Física III

MAC

II-2013

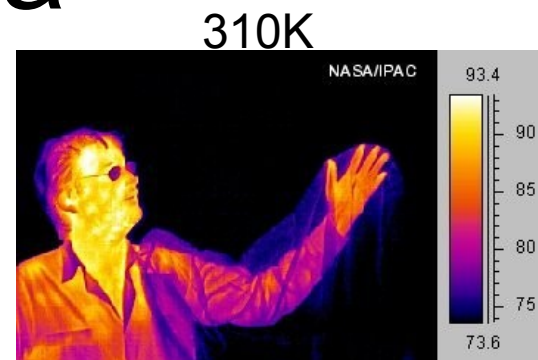


# Ejercicios

- Un rayo de luz verde es difractado por una rendija con un ancho de  $0.5$  [mm]. El patrón de difracción se forma sobre una pared que se encuentra a  $2.06$  [m] de las rendija. La distancia entre las posiciones de intensidad igual a cero a ambos lados de la franja brillante central es  $4.1$  [mm]. Calcule la longitud de onda.
- El espectro del hidrógeno tiene una línea roja de  $656$  [nm] y una línea azul de  $434$  [nm] ¿cuáles son las separaciones angulares entre estas dos líneas espectrales obtenidas mediante una red de difracción que tiene  $4500$  rendijas por [cm]?

# Radiación Térmica

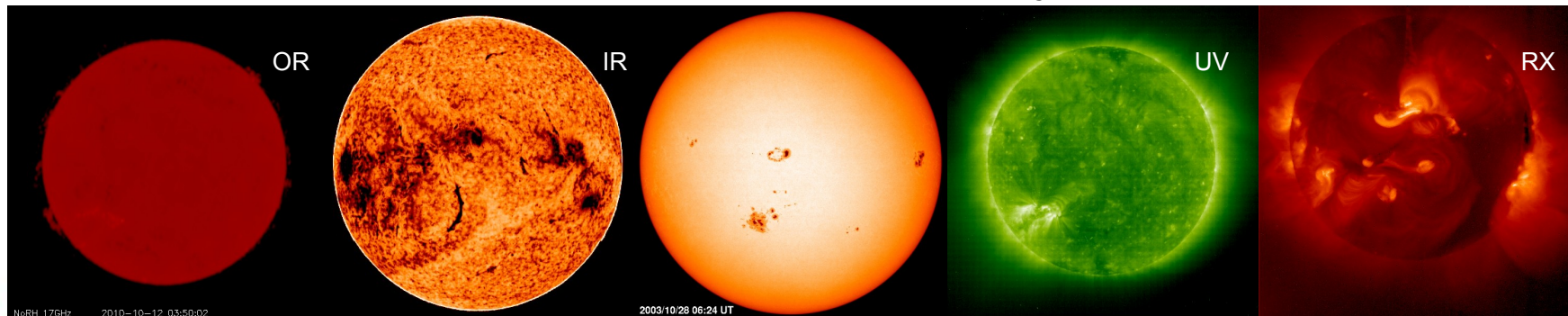
Gran parte de los objetos que podemos observar en la Tierra reflejan la luz, la parte visible del espectro electromagnético



Si la temperatura de un objeto es lo suficientemente elevada ( $T > 0K$ ), éste será capaz de emitir radiación

Los objetos a temperatura ambiente no emiten radiación en la parte visible del espectro electromagnético

La **radiación térmica** es la radiación que emite un objeto debido a su temperatura



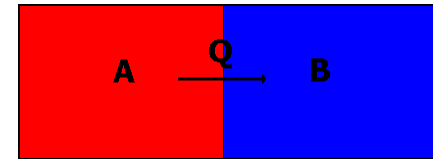
5800K

# Radiación Térmica

Los cuerpos no sólo emiten radiación térmica, sino que también son capaces de absorberla de su entorno

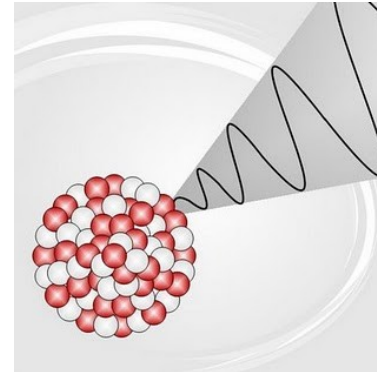
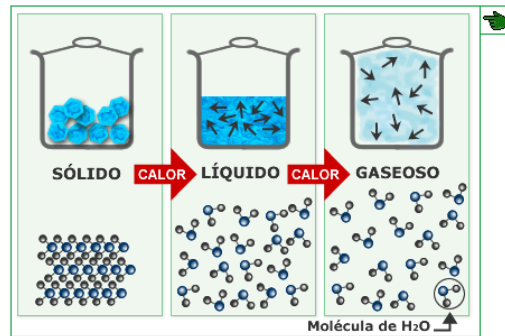


Si dos cuerpos están en contacto, el intercambio de radiación térmica continúa hasta que se alcanza el equilibrio térmico, esto es hasta que los cuerpos alcancen la misma Temperatura. Esto se conoce como ley cero de la termodinámica



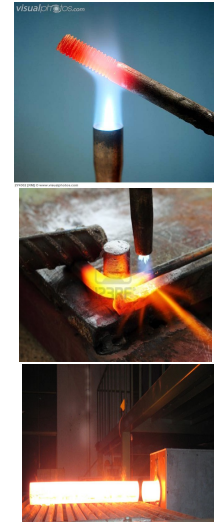
# Radiación Térmica

- Si se eleva la temperatura de un cuerpo, la energía cinética de las partículas que componen un el cuerpo aumenta.
- La radiación térmica tiene su origen en las partículas cargadas y aceleradas de los átomos que están cerca de la superficie del cuerpo, estas partículas cargadas emiten radiación como pequeñas antenas



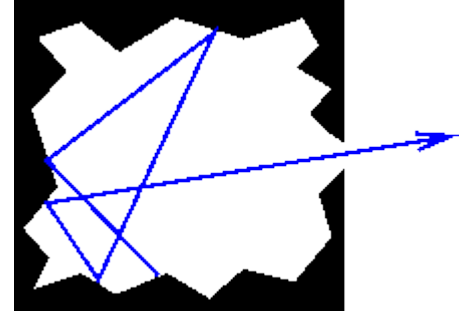
# Radiación Térmica

- Si quisiéramos elevar uniformemente la temperatura de un cuerpo notaríamos:
  - a mayor temperatura mayor radiación térmica emite el cuerpo (al principio se ve oscuro, luego resplandece)
  - a mayor temperatura más corta es la longitud de onda de la parte del espectro que irradia más intensamente (rojo a amarillo)
- Puesto que las características del espectro dependen de la temperatura, se puede calcular la temperatura a partir de la radiación que emite un cuerpo
- La radiación emitida depende en general del material, forma y naturaleza de la superficie



# Cuerpo Negro

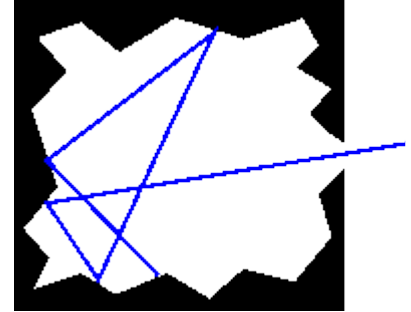
- Un objeto en equilibrio térmico con su ambiente, debe emitir tanta energía radiante como la que absorbe
- Como consecuencia un buen absorbente es también un buen emisor
- Un absorbente perfecto, que absorbe toda la energía que incide sobre él se denomina **cuerpo negro**
- Para simplificar el estudio de la radiación imaginamos un cuerpo idealizado cuyo espectro de radiación térmica sólo depende de la temperatura, un cuerpo negro.



Toda la radiación que incide en el agujero es absorbida.

# Radiación de cuerpo negro

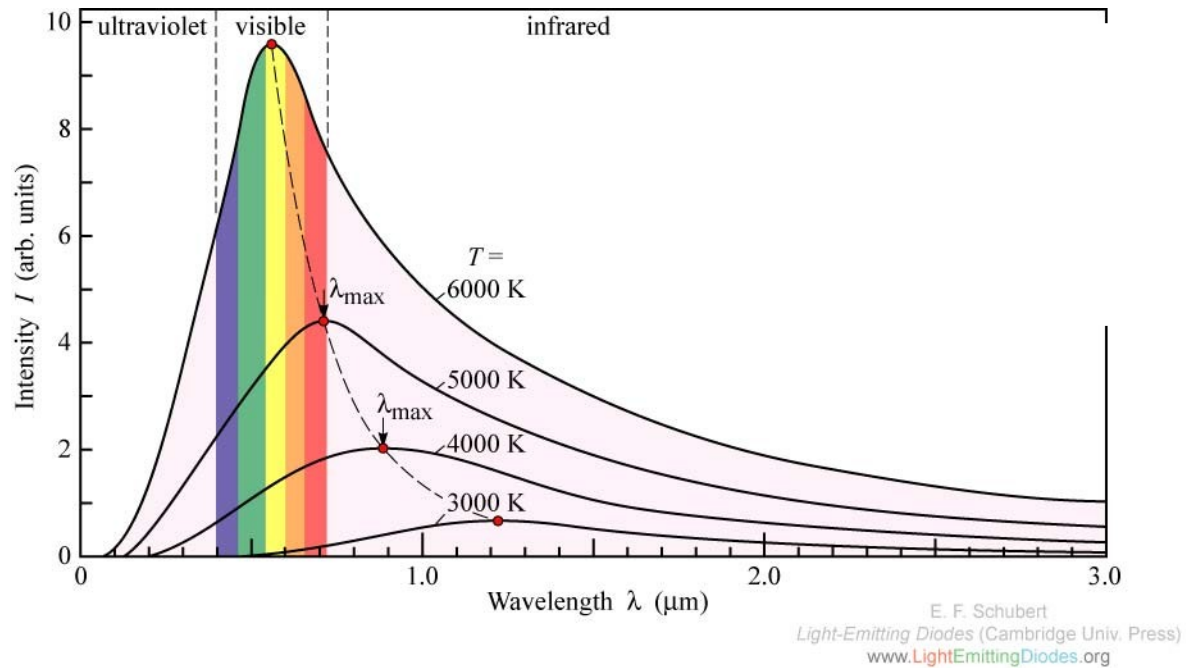
- Podemos fabricar un cuerpo negro en el laboratorio con una cavidad hueca aislada que contiene un agujero pequeño en una pared. La energía que entra al agujero tiene pocas probabilidades de reflejarse hacia afuera nuevamente, luego el objeto se comporta como un absorbente perfecto.
- Por otra parte, si el objeto se calienta, éste emitirá radiación a través del agujero.
- Esta radiación se conoce como *radiación de cuerpo negro* y únicamente depende de la temperatura



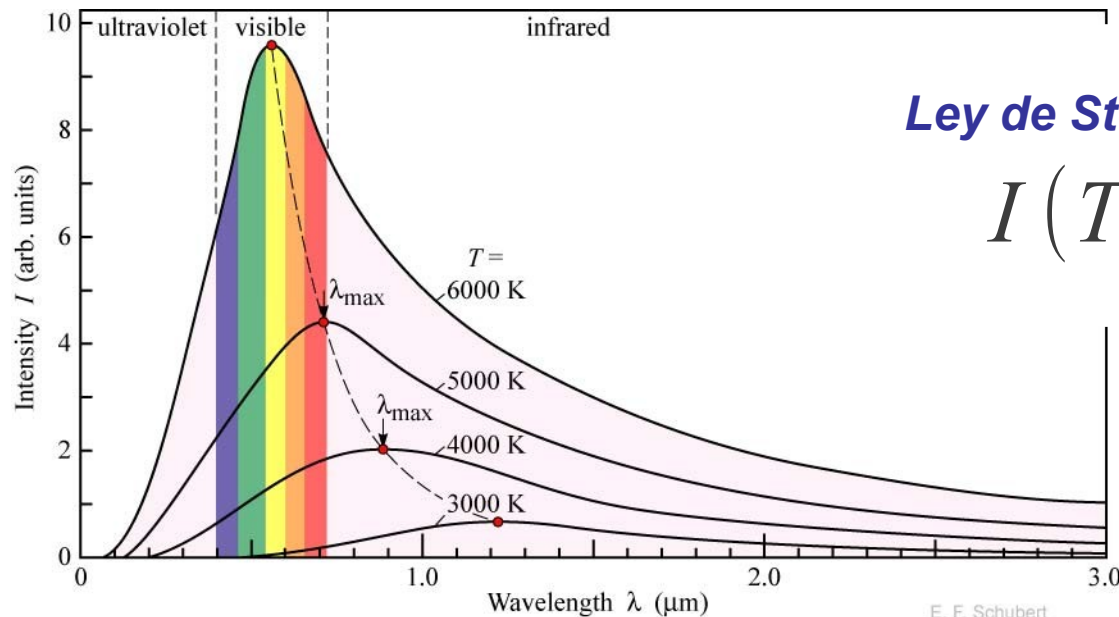
Toda la radiación que incide en el agujero es absorbida.

# Espectro de la radiación de cuerpo negro

Experimentalmente...



# Espectro de la radiación de cuerpo negro



**Ley de Stefan-Boltzmann:**

$$I(T) = \sigma T^4$$

**Ley de desplazamiento de Wien:**

$$\lambda_{\text{max}} T = 2,8978 \times 10^{-3} [mK]$$

constante de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = (5,6697 \pm 0,0029) \times 10^{-8} [W m^{-2} K^{-4}]$$

- Las propiedades anteriores son resultados experimentales para la radiación de cuerpo negro
- ¿Cuál es el fenómeno físico detrás de la emisión de esta radiación?
- Una teoría adecuada debe ser capaz de predecir la forma de las curvas y el comportamiento observado

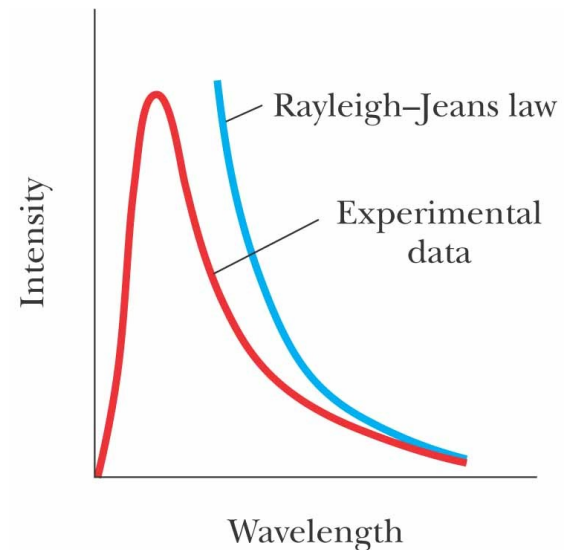
# Ley de Rayleigh-Jeans

- El cuerpo negro se representa como un orificio que conduce a una cavidad que contiene muchos modos de oscilación del campo electromagnético, causados por cargas aceleradas en las paredes de la cavidad, lo cual da como resultado la emisión de OEM en todas las longitudes de onda.
- La energía promedio de cada longitud de onda de los modos de ondas estacionarias se supone proporcional a  $k_B T$ , con base en el teorema de equipartición de la energía (equilibrio térmico)
- Esta ley falla para longitudes de onda pequeñas, se presenta la catástrofe ultravioleta

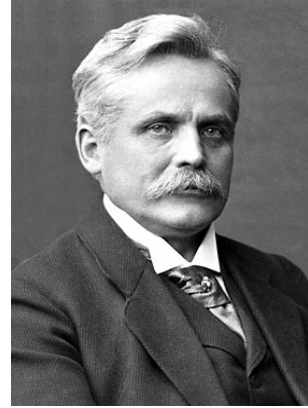
$$R(T) = \frac{2\pi c k_B T}{\lambda^4}$$

$k_B = 1.381 \times 10^{-23} [J/K]$   
constante de Boltzmann

$$I(T) = \int_0^{\infty} R(\lambda) d\lambda$$

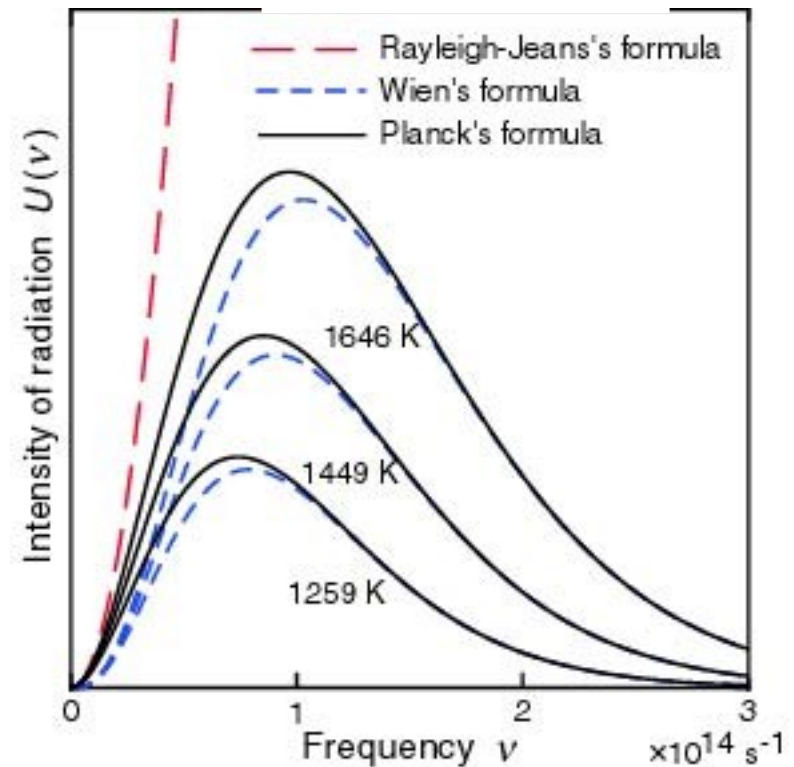


# Ley de Wien



Nobel de Física 1911

- Se basó en la conjetura de que existe una analogía entre las curvas de la radiancia espectral y las curvas de distribución de velocidades de las moléculas de un gas ideal
- Esta ley falla para longitudes de onda grandes o frecuencias pequeñas.



# Ley de Planck

- La radiación provenía de los osciladores atómicos en las paredes de la cavidad pero consideró hipótesis controversiales acerca de cómo radian los osciladores:

- La energía de un oscilador sólo puede tener ciertos valores discretos :

$$E_n = nhf$$

$n$  son enteros positivos,  $f$  es la frecuencia de oscilación y  $h$  es la constante de Planck  $h = (6.6256 \pm 0.0005) \times 10^{-34} [Js]$

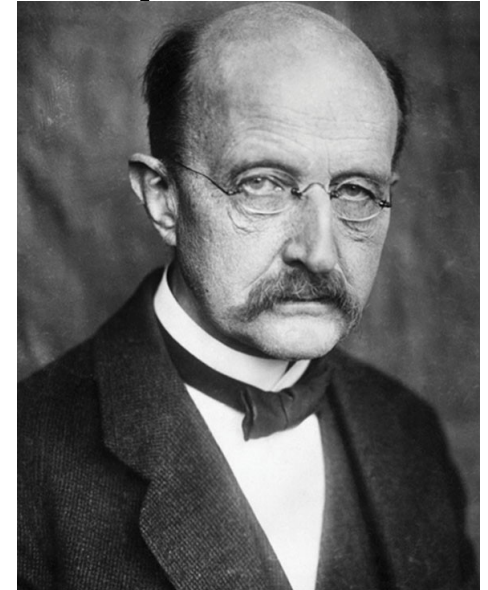
$$R(\lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda k_B T} - 1}$$

$n$  se denomina número cuántico y se dice que la **energía está cuantizada**

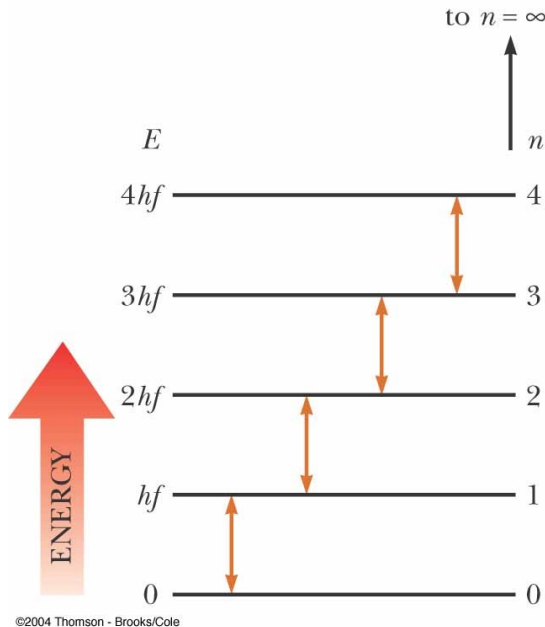


# Ley de Planck (1900)

Los osciladores emiten o absorben energía cuando realizan una transición de un estado cuántico a otro. Toda la diferencia de energía entre los estados inicial y final de la transición es emitida o absorbida como un **cuanto de radiación o un fotón** (una partícula sin masa!)



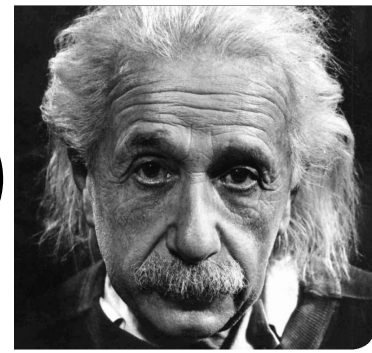
© 2004 Thomson - Brooks/Cole  
Nobel de Física 1918



©2004 Thomson - Brooks/Cole

$$R(\lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda k_B T} - 1}$$

# Relatividad Especial (1905)



Nobel de Física 1921

- Postulados de Einstein
  - Principio de relatividad: la física es la misma para todos los SRI
  - La rapidez de la luz es constante, para todos los observadores es  $c$
- Consecuencias (sin potenciales externos):
  - transformaciones de Lorentz

$$x'(t) = \gamma(x - vt); t' = \gamma(t - vx/c^2); \gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$$

- La energía y el momentum se redefinen:  $E = \gamma mc^2; p = \gamma mv$

Energía Cinética  $K = (\gamma - 1)mc^2 \approx \frac{1}{2}mv^2 (v \ll c)$

$$\Rightarrow E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 \left\{ \begin{array}{l} \text{Si } p = 0 \text{ obtenemos la energía en reposo} \\ \text{Si } m = 0 \text{ obtenemos el momento de los fotones} \end{array} \right.$$

# Longitud de onda de DeBroglie

Para **FOTONES**:

$$\text{Einstein: } E = pc$$

$$\text{Planck: } E = hf$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{h}{p}$$



Nobel de Física 1929

**HIPOTESIS:**

De Broglie sugirió que las partículas materiales que tengan una cantidad de movimiento  $p$  tienen una longitud de onda característica, la longitud de onda de De Broglie

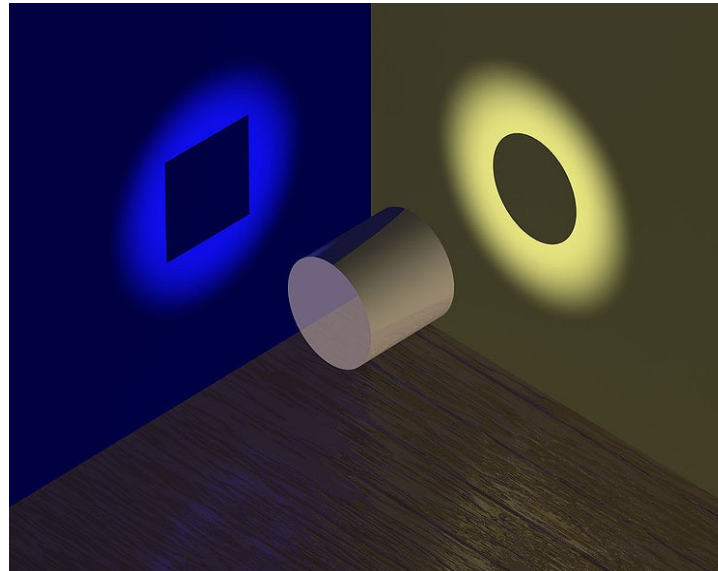
$$\lambda_{dB} = \frac{h}{p} \approx \frac{h}{mv}$$



# Dualidad onda-partícula

## Partícula

- ✓ Posición determinada
- ✓ Tiene masa



## Onda

- ✓ Viaja por el espacio
- ✓ No tiene masa

La hipótesis de De Broglie fue comprobada en 1927 con el experimento de Davisson-Germer

