

Universidad Nacional de Río Negro

Física Moderna A - 2017

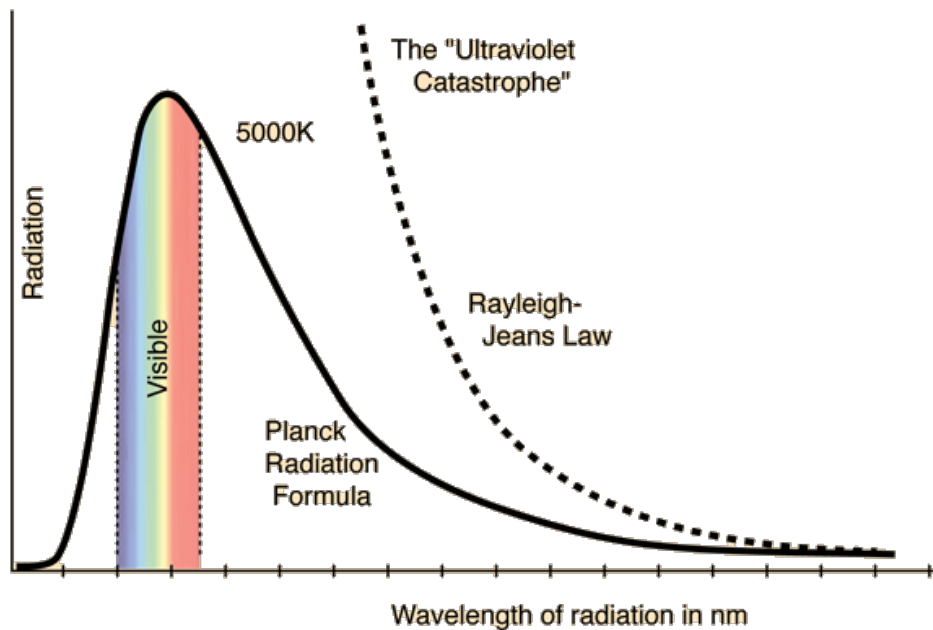
- **Unidad** 01 – La crisis del Siglo XX
- **Clase** 3/27 (U01C03) Foto-Compton
- **Fecha** 14 Marzo 2017
- **Cont** Efectos fotoeléctrico y Compton
- **Cátedra** Asorey
- **Web**

<https://github.com/asoreyh/unrn-moderna-a>



Unidad 1: La crisis de principios del Siglo XX

Martes 07 de Marzo al Jueves 16 de Marzo



- **Introducción.** Nuestra comprensión, la interacción con el mundo y el gap sensorial. El cuerpo negro. Ejemplos y propiedades. Emisividad, reflectividad, absorcividad. La catástrofe del ultravioleta y la hipótesis de Planck. El campo electromagnético. El efecto fotoeléctrico y los fotones. Aportes de Albert Einstein. El efecto Compton.

Terminó nuestro experimento....





Una crisis que produjo una revolución

- El Universo cuántico

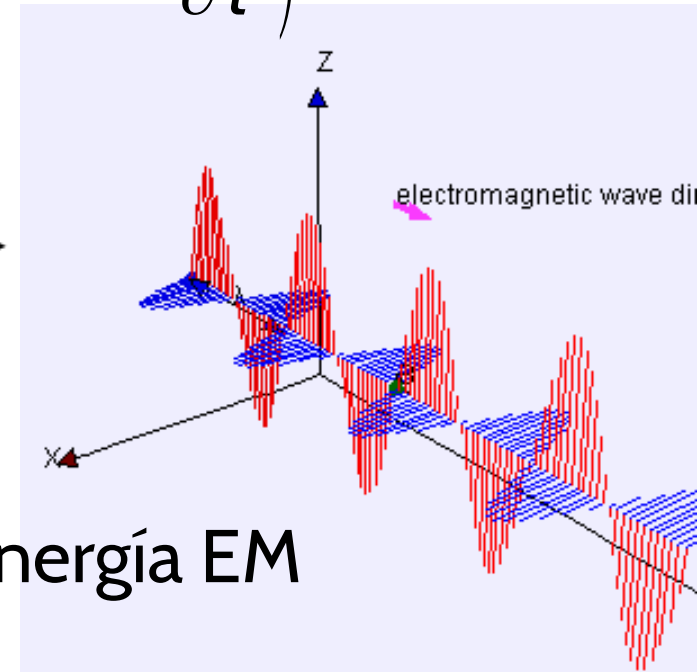
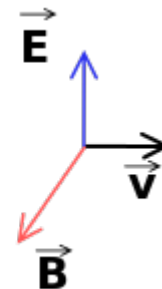
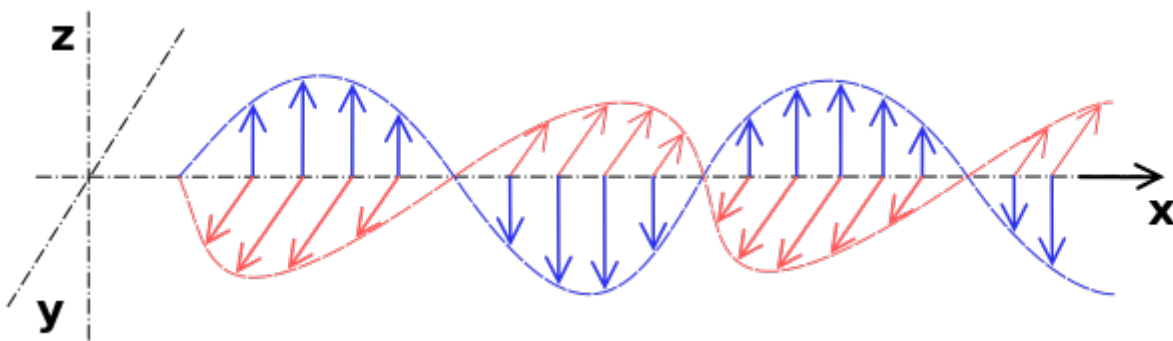
“Los átomos se comportan como átomos, nada más”.

John Gribbin

El espectro electromagnético

- Radiación electromagnética → ondas electromagnéticas: oscilaciones acopladas del campo eléctrico y magnético
- El acoplamiento está dado por las Ec. de Maxwell:

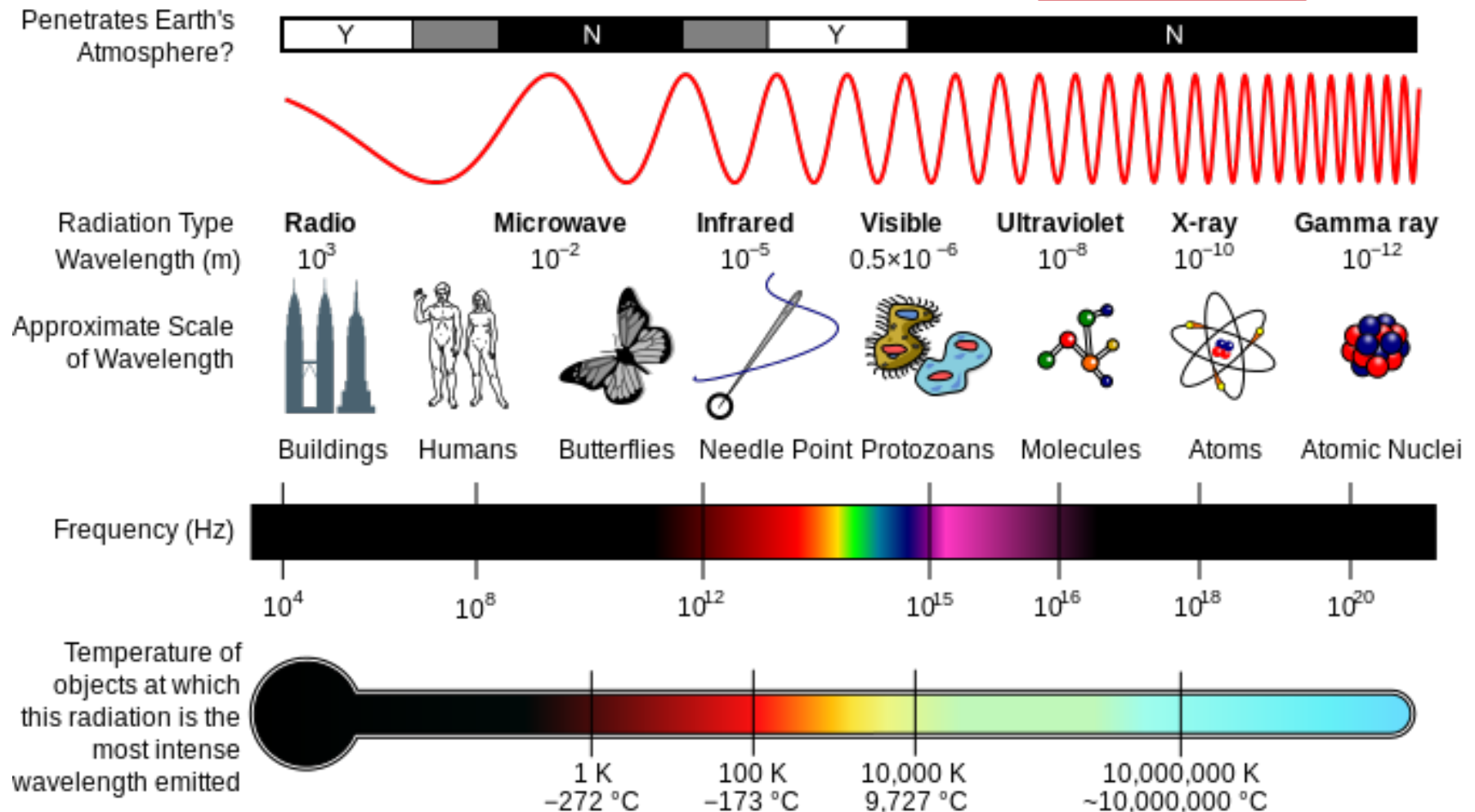
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{y} \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$



$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}, \text{ Poynting, flujo direccional de energía EM}$$

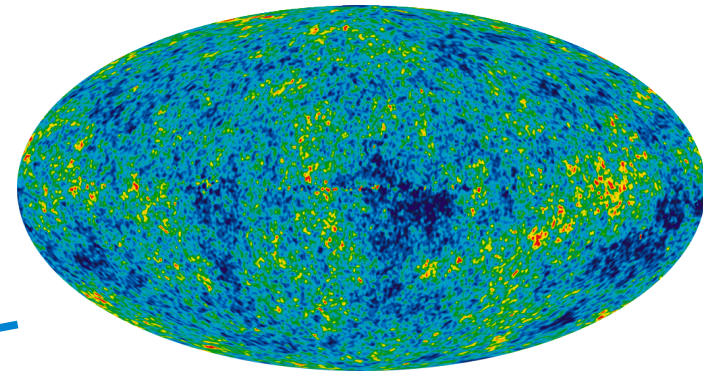
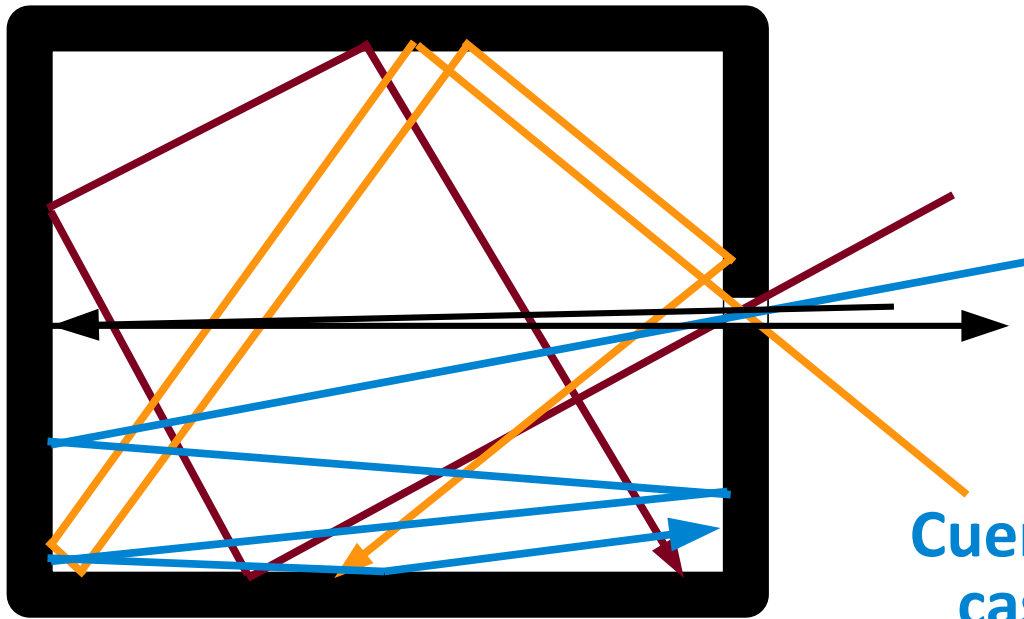
La luz → Espectro Electromagnético

y como es una onda: $c = f \lambda$



Un cuerpo negro es...

- Un **cuerpo negro** es un sistema físico ideal que absorbe toda la radiación electromagnética incidente sin importar su longitud de onda: **es un absorbente perfecto de radiación electromagnética**

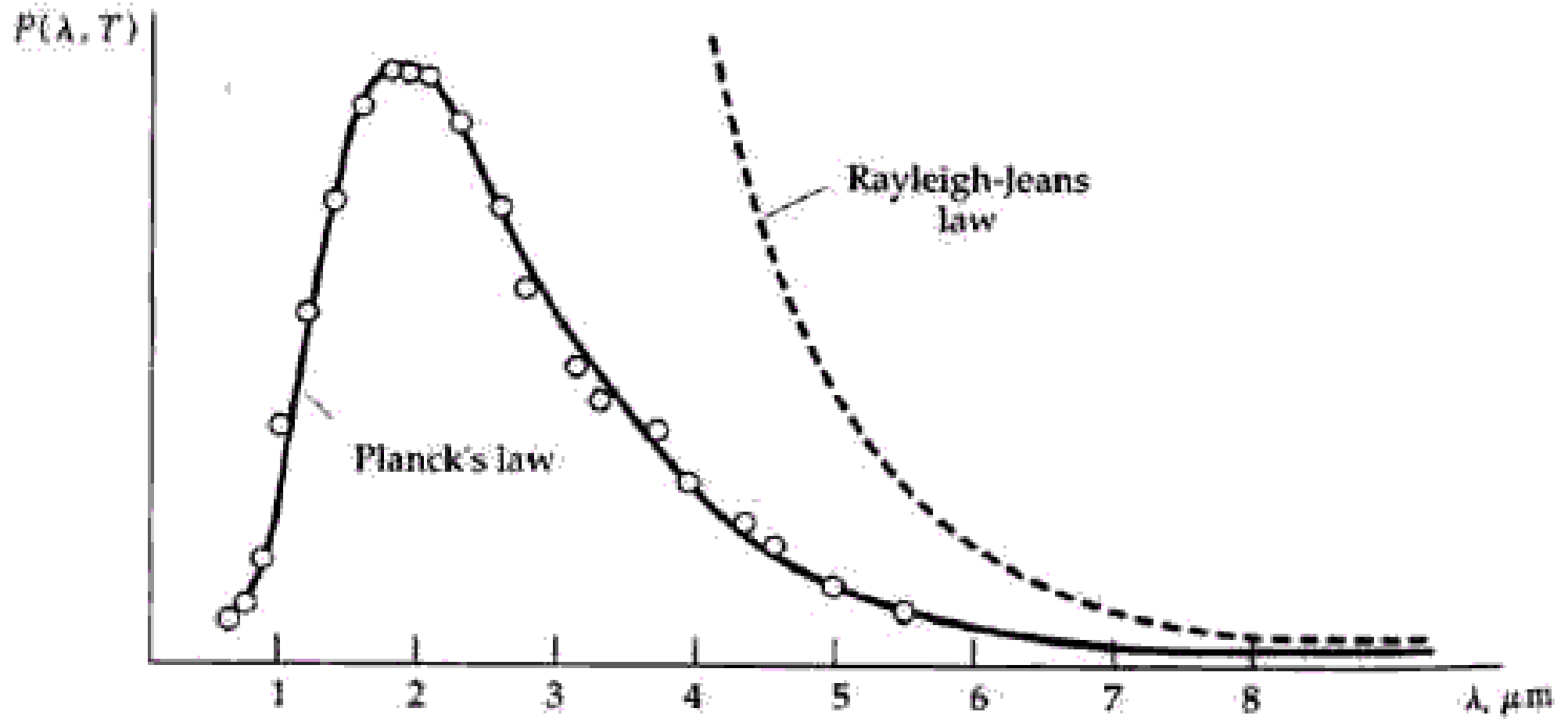


Cuerpos negros
casi ideales

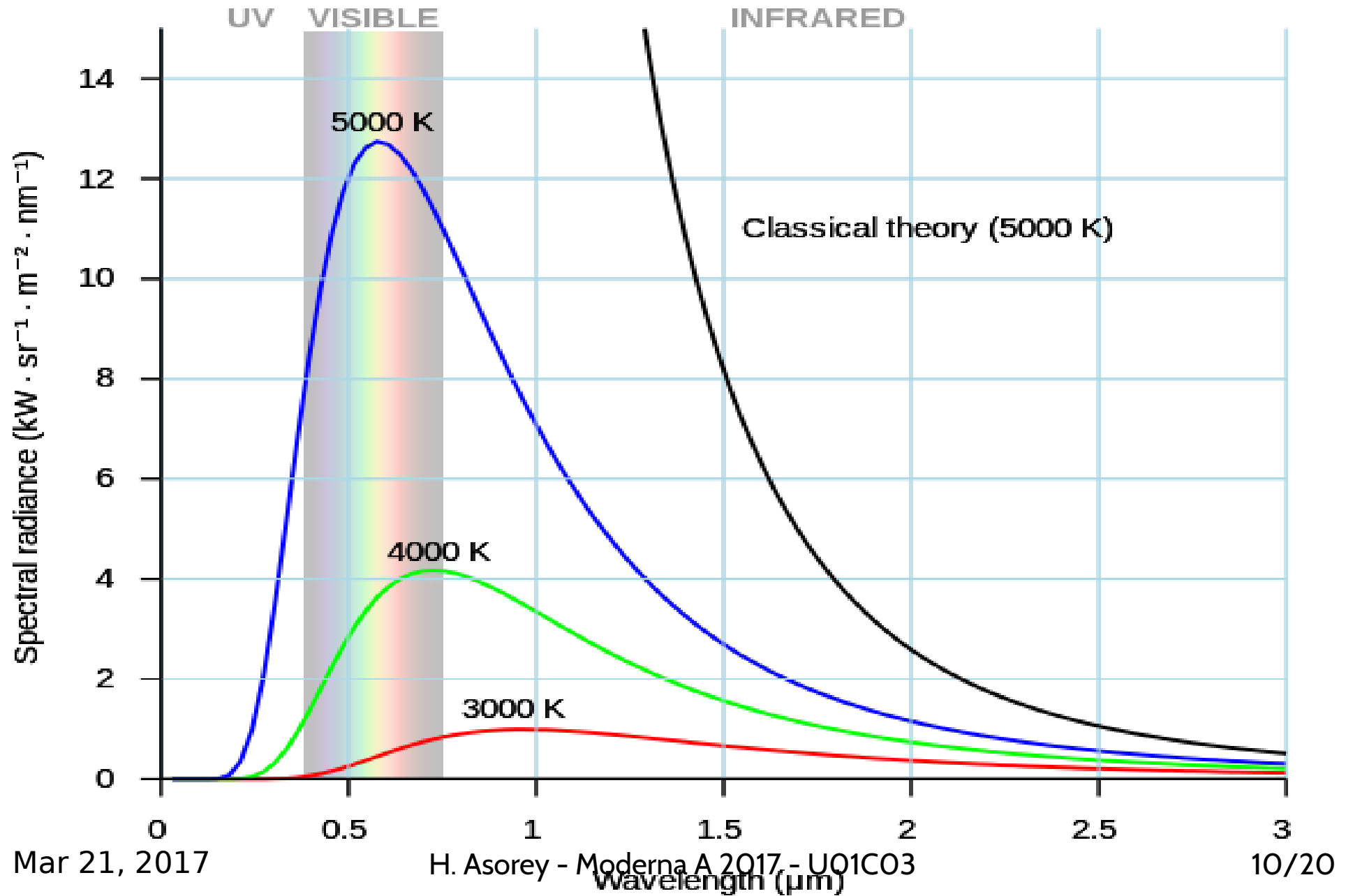


- ¿Se acuerdan de la equipartición de la energía?
- En Física 1B, la energía interna de un gas ideal es:
$$U = g \left(\frac{1}{2} k T \right) N$$
, donde g es el número de grados de libertad
- Si tengo un gas en una cavidad, aumento T , ¿qué pasa con U ?
- La cavidad está llena de ondas electromagnéticas
- “Clásicamente”, la potencia radiada es proporcional a f^2
- Al aumentar T , aumenta la frecuencia sin límite → potencia infinita

Teoría versus experimento



Otra imagen





La solución de Planck

- La radiación electromagnética puede ser emitida o absorbida en cantidades discretas de energía:

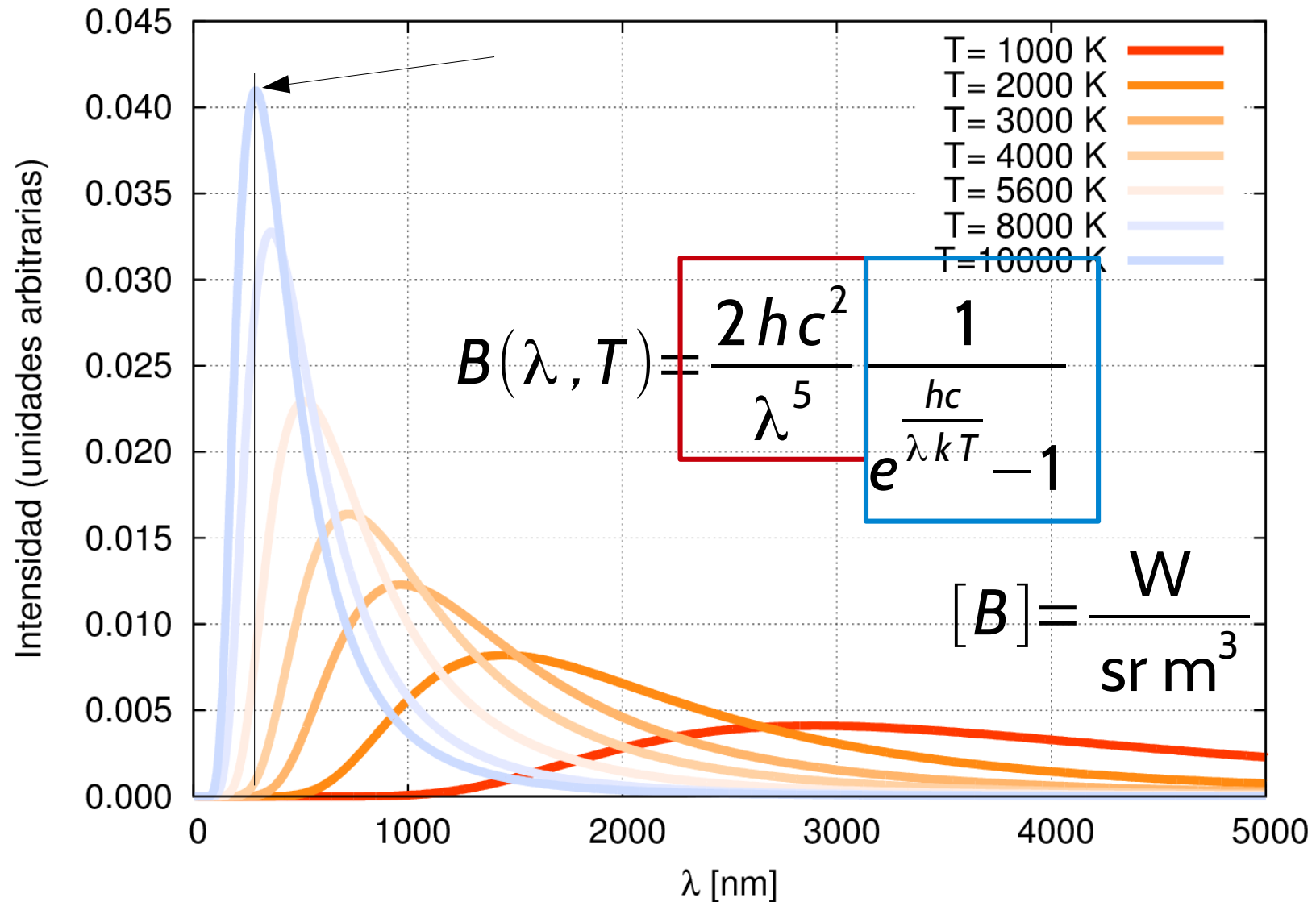
$$E_{\text{EM}} = hf \quad \text{ó también} \quad E_{\text{EM}} = \frac{hc}{\lambda}$$

- h es la constante de Planck:

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} \quad \text{ó también} \quad h = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV s}$$

- La energía EM llega en forma de “paquetes” de energía llamados “**cuantos**” (*quanta* en inglés).

¿Qué ruido hace un fotón al caer? ¡Planck!



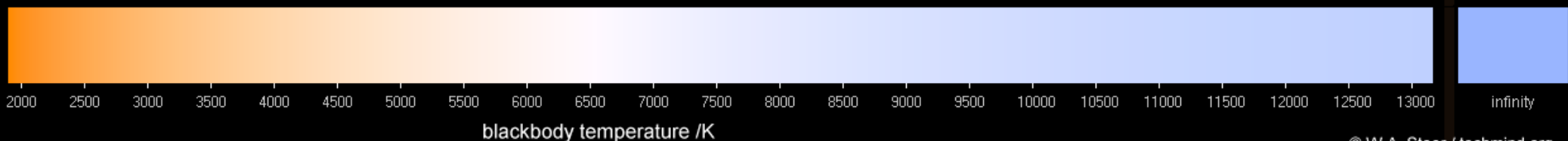
Ley de desplazamiento de Wien, $dB/dT = 0$

- Valor de λ donde la emisión es máxima, receta usual:

$$\frac{dB}{d\lambda} = 0 \Rightarrow \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right) = 0$$

$$\Rightarrow \left(\frac{hc}{\lambda kT} \right) \left(\frac{e^{\frac{hc}{\lambda kT}}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right) - 5 = 0 \Rightarrow \frac{x e^x}{e^x - 1} = 5, x = \frac{hc}{\lambda kT} = 4.9651$$

$$\lambda_{max} = \frac{\zeta}{T}, \quad \zeta = \frac{hc}{4,965k}, \quad \zeta = 2,898 \text{ mmK}$$



Emisión de energía total

- B es el flujo espectral de energía, es decir a la energía emitida por un cuerpo negro a temperatura T, por unidad de superficie y unidad de ángulo sólido para cada longitud de onda del espectro electromagnético.
- Para calcular la emisión total → ¡integración!

• Esfera:
$$L = \int_0^R dr \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi/2} \cos\theta \sin\theta d\theta \int_0^\infty d\lambda \left(\frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right)$$

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

$$\left(\frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} \right)$$

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

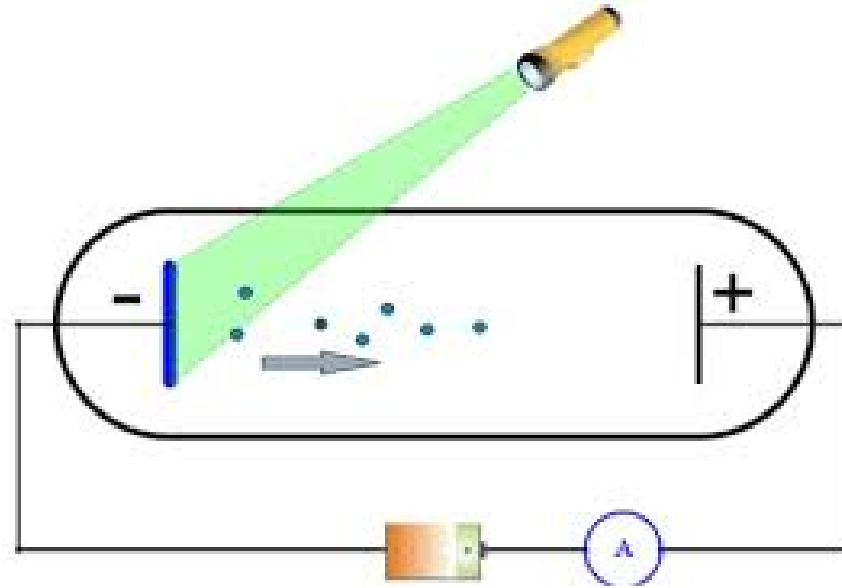
Area del Cuerpo Negro

Mar

σ : Constante de Stefan-Boltzmann

Temperatura Cuerpo Negro

Efecto fotoeléctrico



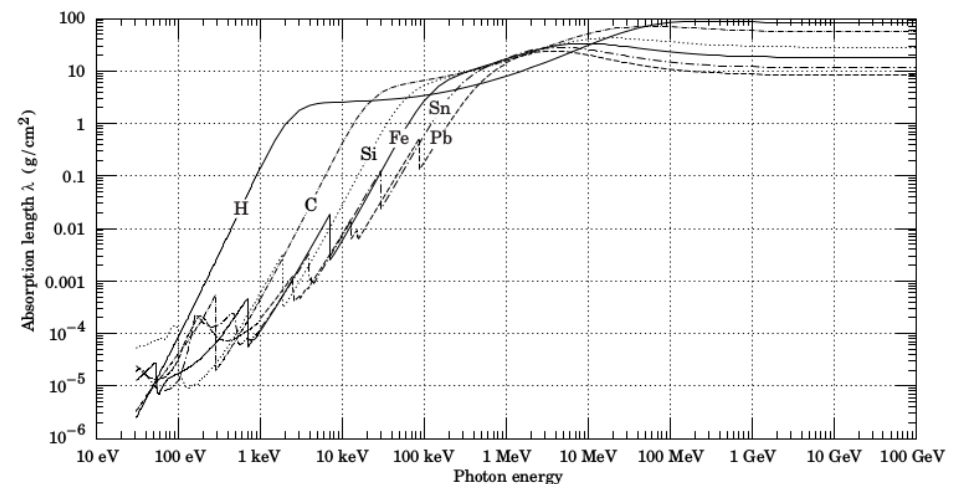
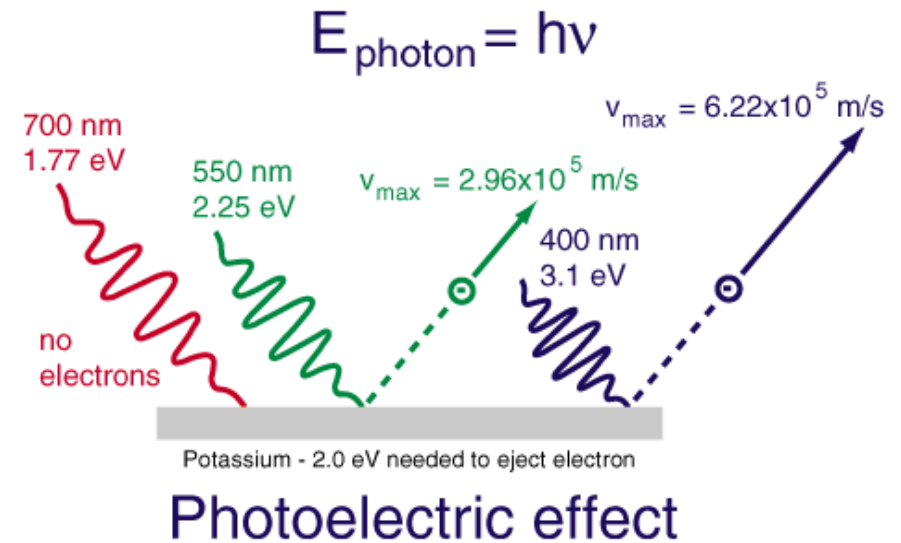
- Observación experimental:
 - Si aumenta la intensidad de la luz, aumenta la corriente
 - Si aumenta la energía del haz de luz, aumenta la energía de los electrones liberados
 - Hay una energía umbral para la liberación de electrones

Efecto fotoeléctrico

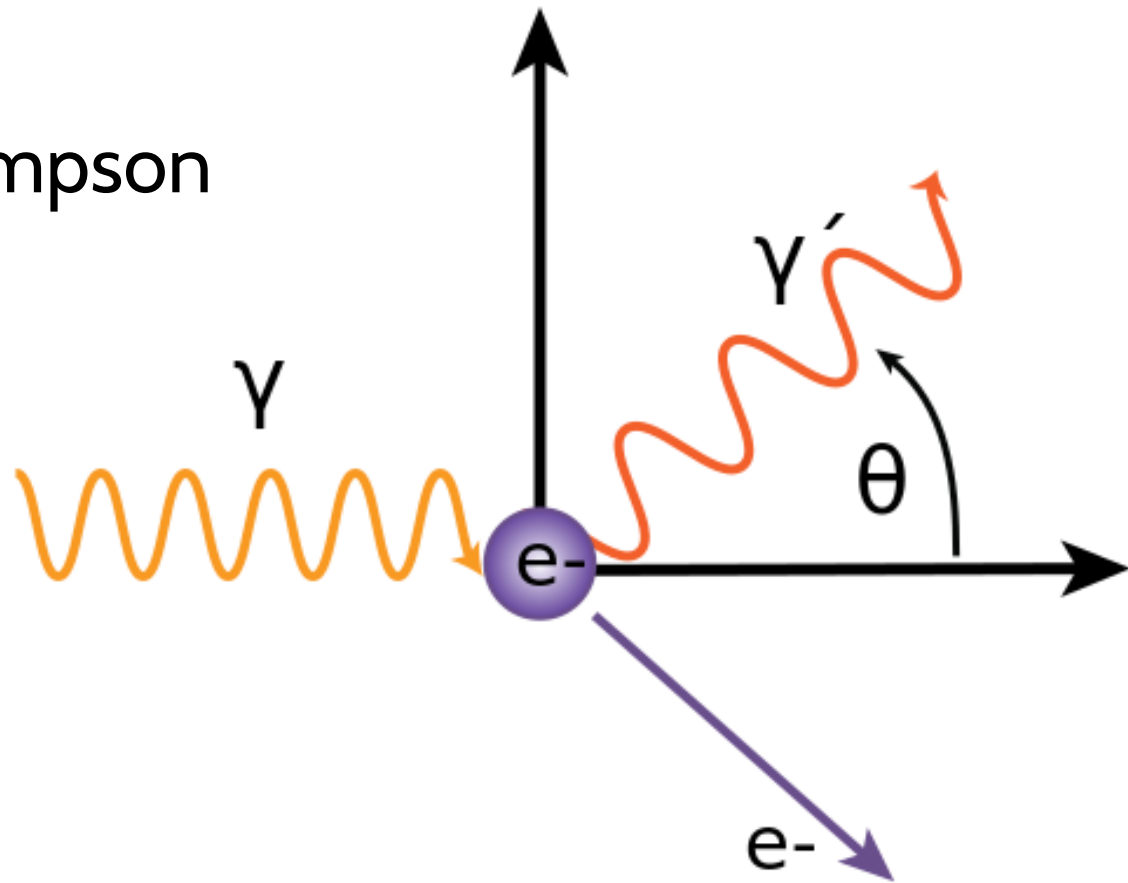
- Interacción de baja energía
- La energía máxima del electrón emitido es:

$$K_{\max} = \frac{1}{2} m_e v_{\max}^2 = \frac{hc}{\lambda} - \varphi$$

- La función trabajo depende del material
- Es posible identificar la energía de ligadura de las capas atómicas



- **Dispersión inelástica de fotones con partículas cargadas libres** (la dispersión de Thompson es elástica):
- Observación experimental:
 - $\gamma' > \gamma \rightarrow E_{\gamma}' < E_{\gamma}$
 - $E_e' > E_e^0$

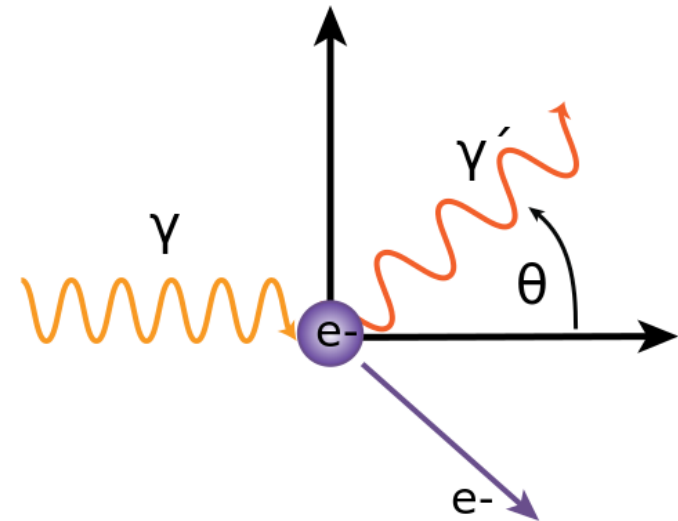


Efecto Compton

- **Dispersión inelástica de fotones con partículas cargadas libres** (la dispersión de Thompson es elástica):

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

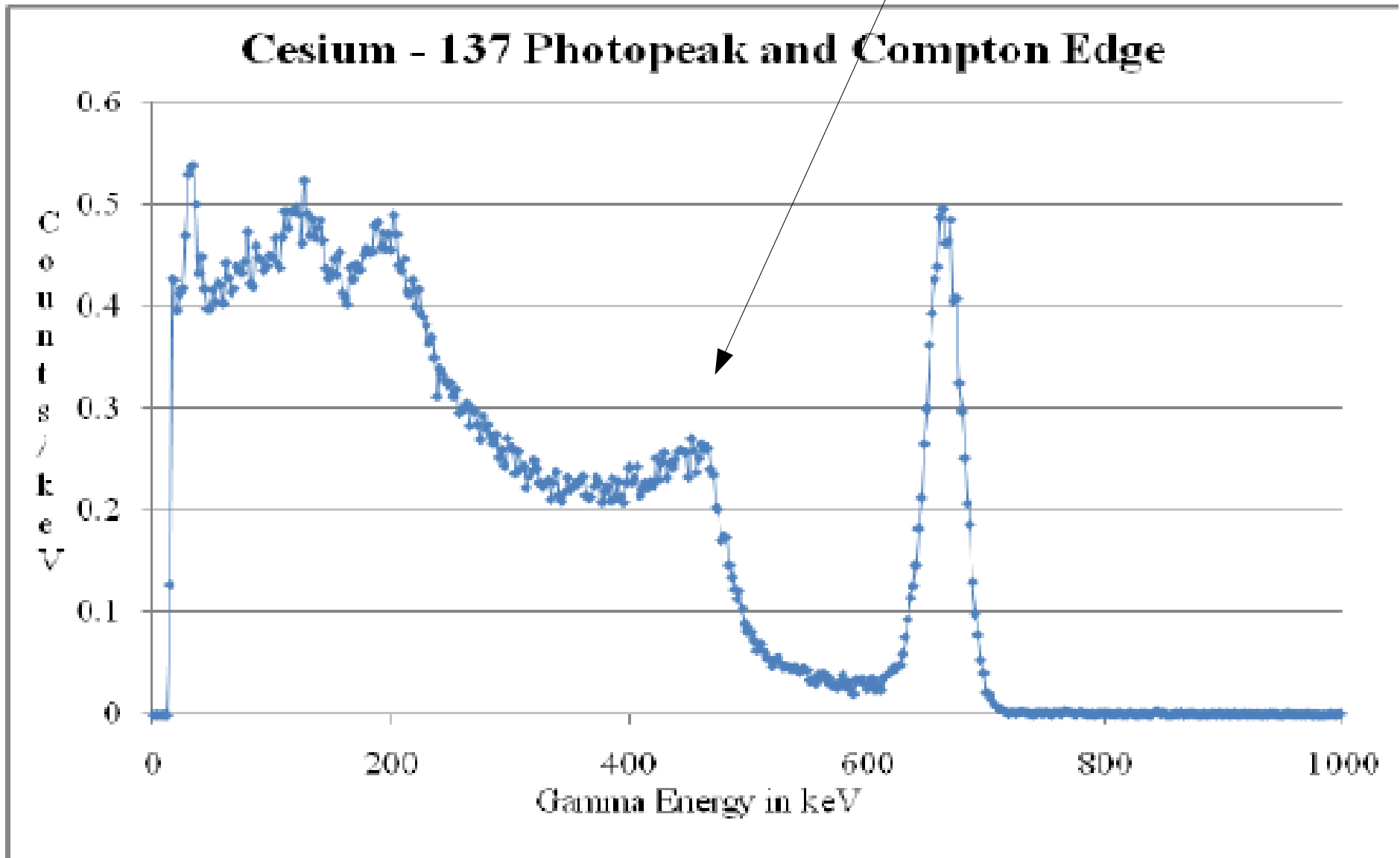
$$E'_{\gamma} = \frac{E_{\gamma}}{1 + (1 - \cos \theta) \left(\frac{E_{\gamma}}{m_e c^2} \right)}$$



- La energía transferida depende de θ , máximo:

$$E'_{\gamma} = \frac{E_{\gamma}}{1 + \left(\frac{2 E_{\gamma}}{m_e c^2} \right)}, \text{ si } \theta = \pi$$

Talón de Compton (*Compton edge*)



¡Importante!
Para poner como fondo de pantalla

