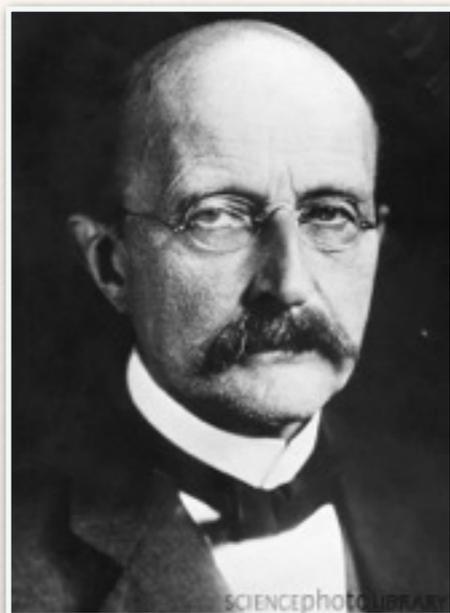


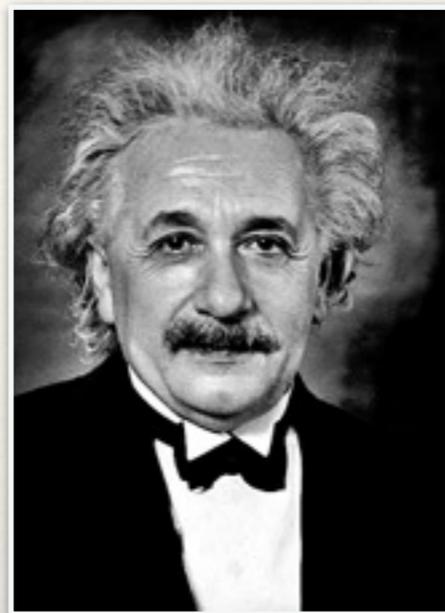
La física del siglo XX

Física cuántica

Física cuántica



Max Planck



Albert Einstein



Louis de Broglie



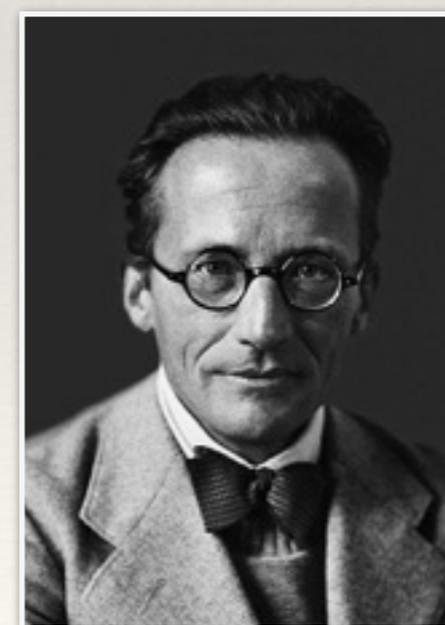
Werner Heisenberg



Niels Bohr



Max Born



Erwin Schrödinger

Física cuántica

Radiación del cuerpo negro

Todo cuerpo, no importa a la temperatura que se encuentre, es fuente de **radiación térmica**. (Emite energía en forma de radiación electromagnética).

Cuanto menor es la temperatura, menor es la intensidad de la radiación y varía la composición espectral.

Pero no solo emiten, sino que también absorben. Y cuanto mejor absorban una radiación mejor la emiten (y viceversa).

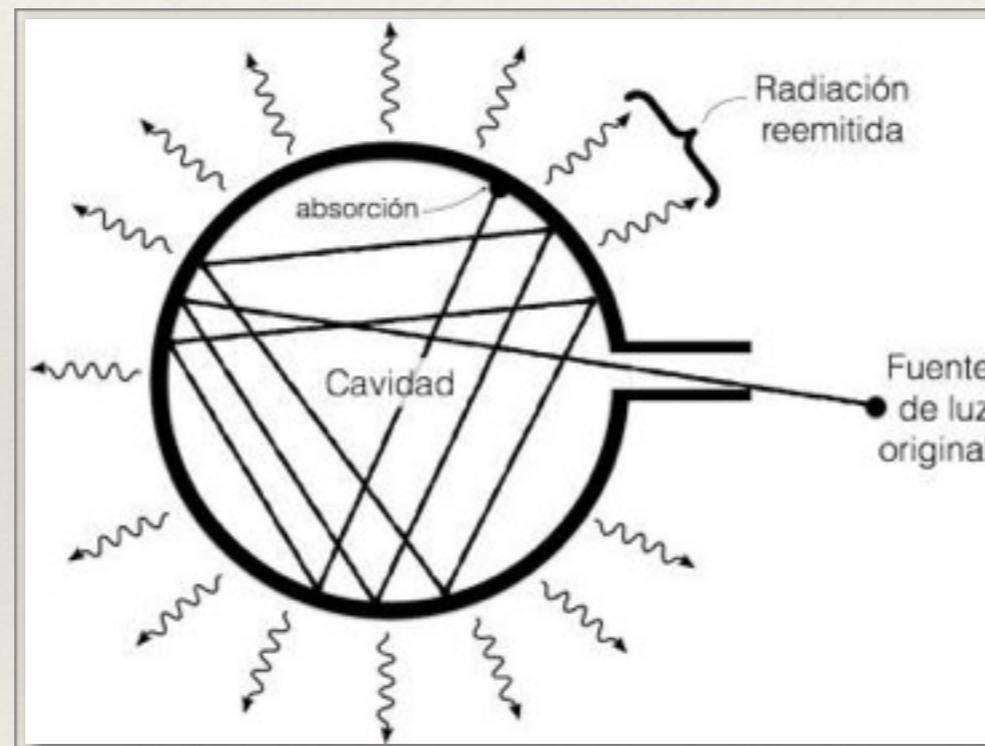
Idealización en el **cuerpo negro**.

Física cuántica

Cuerpo negro

Es un cuerpo que a cualquier temperatura absorbe toda la energía de cualquier frecuencia que incida sobre él.

Ejemplo: Un agujero practicado en una esfera hueca.



Poder emisor (E) del cuerpo negro es la cantidad de energía de la radiación electromagnética de frecuencia dada, f que emite por unidad de tiempo la unidad de superficie de dicho cuerpo.

Física cuántica

Leyes de la radiación del cuerpo negro

Ley de Stefan-Boltzmann: El poder emisor total del cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta:

$$E_T = \sigma T^4$$

σ es la constante de Stefan y su valor es $5,672 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

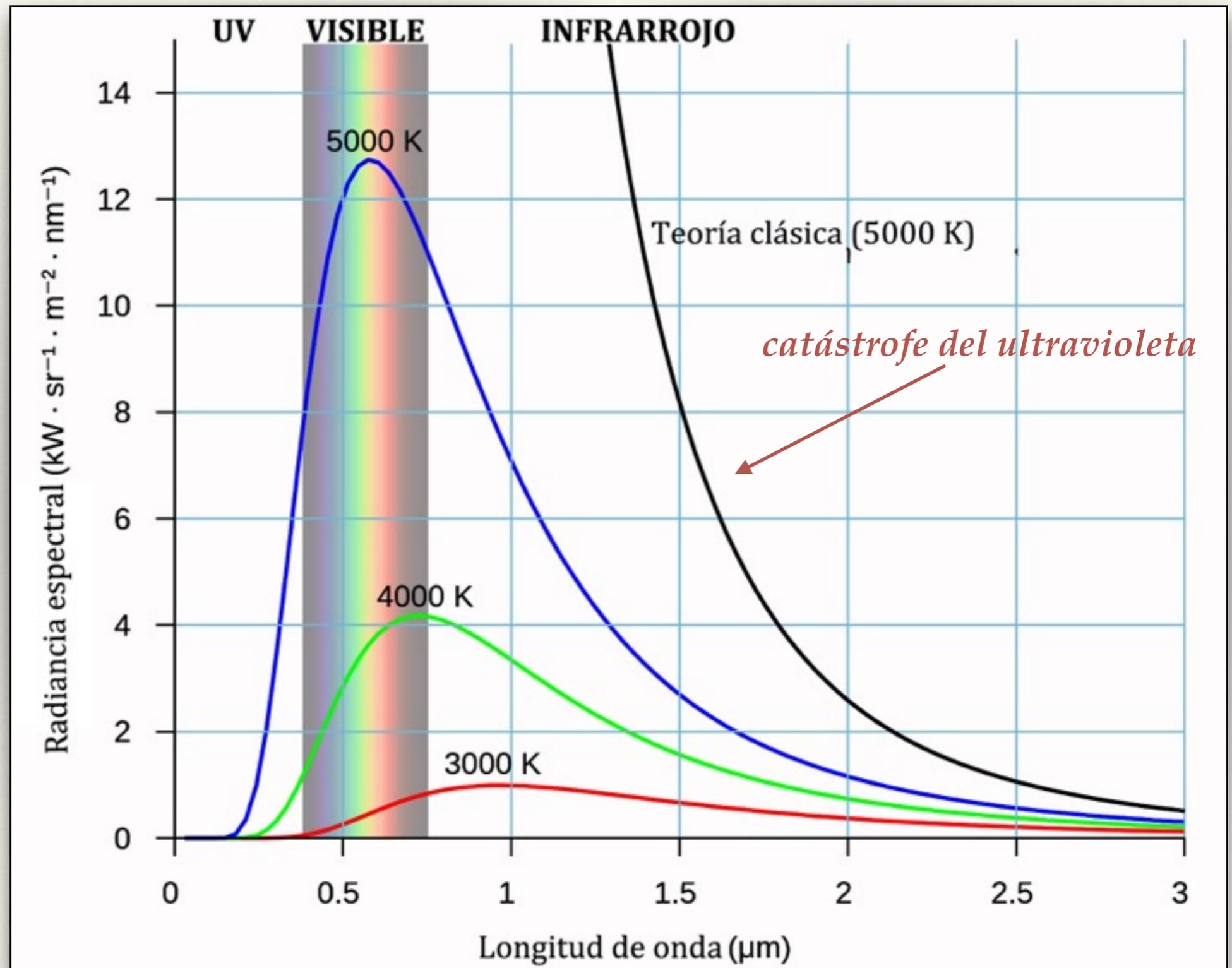
Ley de desplazamiento de Wien: La longitud de onda a la cual corresponde el máximo de la energía de radiación del cuerpo negro es inversamente proporcional a la temperatura absoluta:

$$\lambda = \frac{b}{T}$$

donde b es una constante cuyo valor es $2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$. Rayleigh y Jeans intentan explicar la gráfica → **catástrofe del ultravioleta**

Física cuántica

Distribución de la energía de la radiación emitida por un cuerpo en función de la longitud de onda



Física cuántica

Teoría de Planck

Para explicar la radiación emitida por los cuerpos calientes, **Max Planck**, en 1900, llegó a la conclusión de que la **radiación** sólo podía ser emitida o absorbida de forma **discontinua**, es decir, los átomos no podían absorber o emitir cualquier valor de energía, sino unos valores concretos. La energía de la radiación electromagnética se dispone en **paquetes** o **cuantos**. La energía de un cuanto de radiación es proporcional a la frecuencia de la radiación:

$$E = h f$$

donde h es la denominada constante de Planck, cuyo valor es $6,6256 \cdot 10^{-34}$ J·s, y f es la frecuencia de la radiación.

Un cuerpo radia siempre una energía $E_T = nE$ donde n es un número entero positivo.

Estas fueron las bases de la **Mecánica Cuántica**.

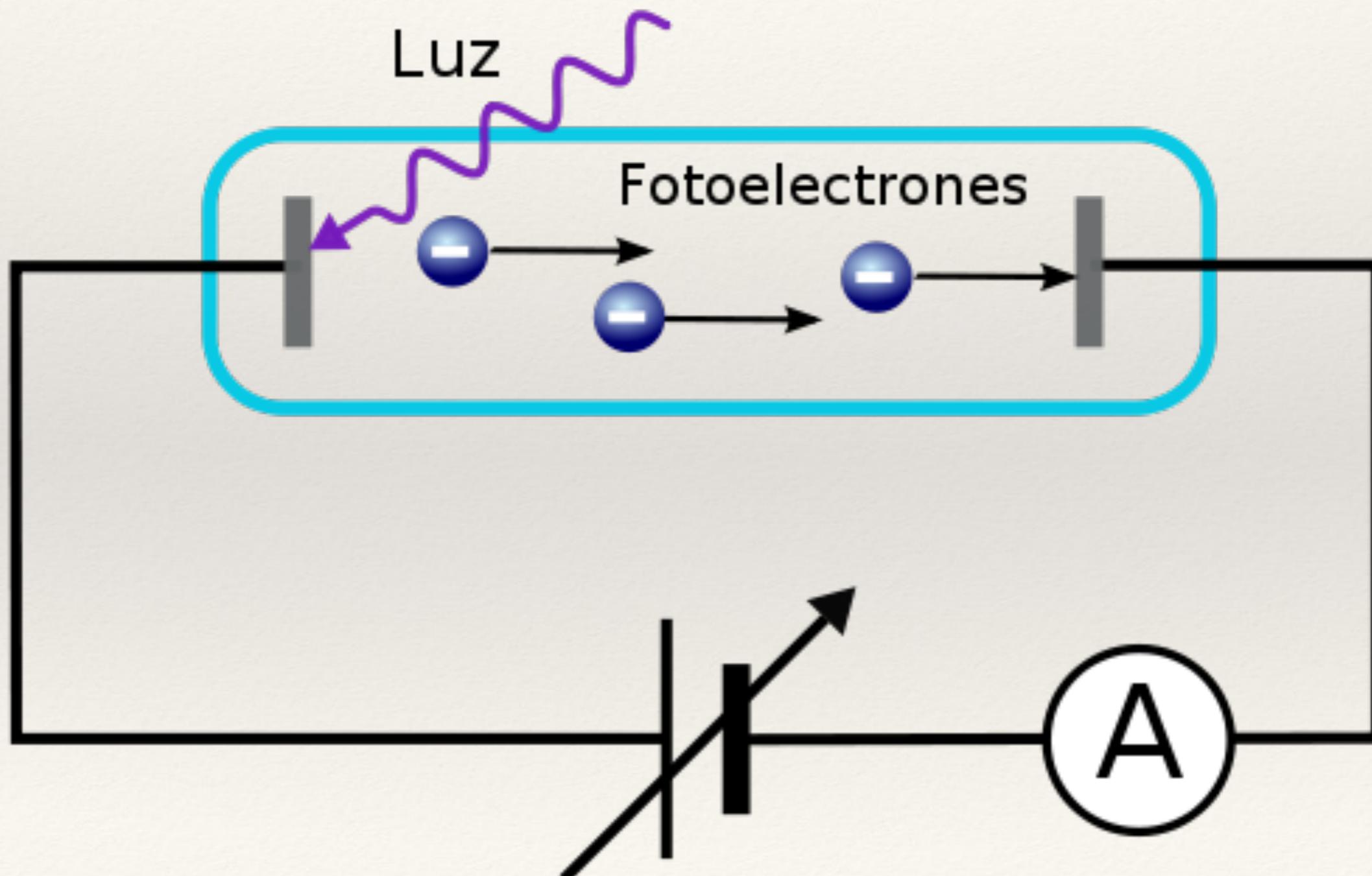
Física cuántica

Teoría de Planck. Aclaraciones

- ❖ Un **fotón** es un **cuanto** de radiación electromagnética, o **cuanto de energía**. Es una partícula sin masa.
- ❖ La **energía** de un **fotón** depende de su **frecuencia**: cuanto mayor sea esta (o menor su longitud de onda) mayor será la energía que transporta.
- ❖ La **energía** de una radiación es la energía de cada uno de sus fotones, mientras que la **intensidad** viene determinada por el número de fotones.

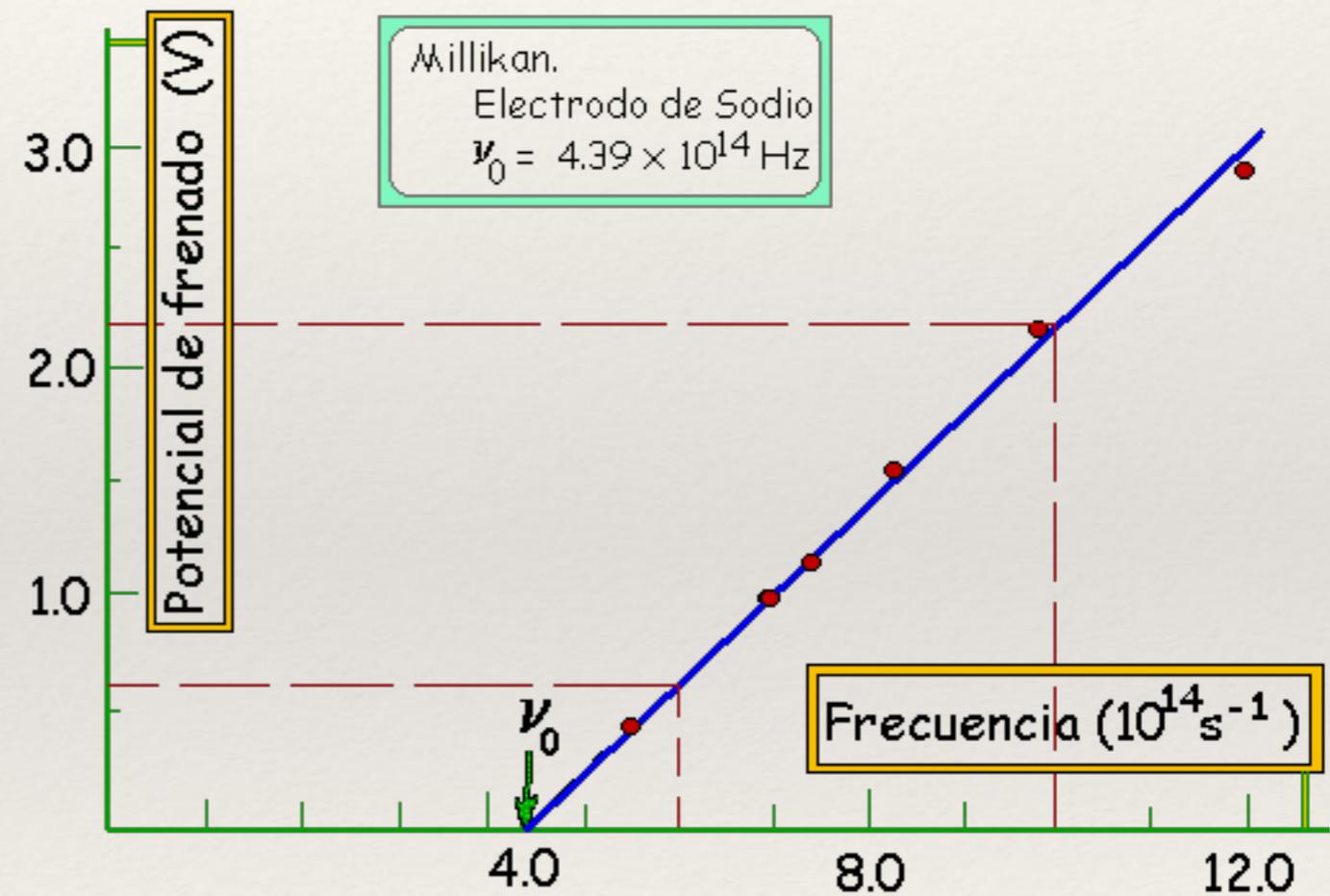
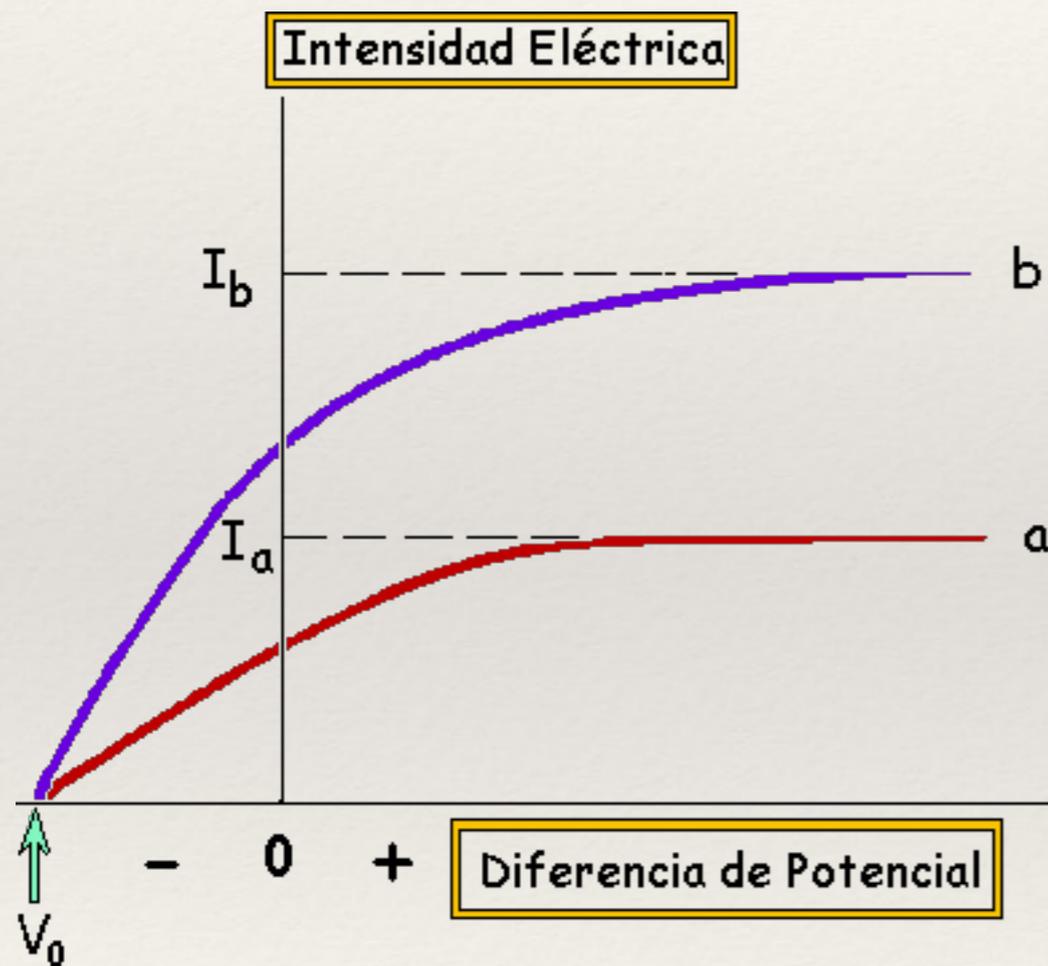
Física cuántica

Efecto fotoeléctrico



Física cuántica

Efecto fotoeléctrico



Física cuántica

Leyes del efecto fotoeléctrico

- ❖ El efecto fotoeléctrico solo se produce si la frecuencia de la radiación incidente f es mayor que la frecuencia umbral f_0 .

$$f > f_0$$

- ❖ La intensidad de la corriente de saturación es proporcional a la intensidad de la radiación.
- ❖ La energía cinética máxima de los fotoelectrones es independiente de la intensidad de la radiación incidente y crece con la frecuencia.

Física cuántica

Efecto fotoeléctrico. Problemas con la interpretación clásica

Teoría clásica de OEM: *la energía transportada por una onda es proporcional al cuadrado de la amplitud y por tanto a la intensidad de la onda.*

- ❖ La energía cinética máxima de los fotoelectrones (determinada por V_0) es independiente de la intensidad luminosa. –*El aumento de intensidad luminosa debería dar lugar a mayor energía de los fotoelectrones*–.
- ❖ Debería darse para cualquier frecuencia, con una intensidad luminosa suficientemente elevada.
- ❖ No se observa retraso entre la iluminación del electrodo y la emisión de los fotoelectrones.

Física cuántica

Explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico

$$hf = hf_0 + E_{c_{max}} = W_{ext} + E_{c_{max}}$$

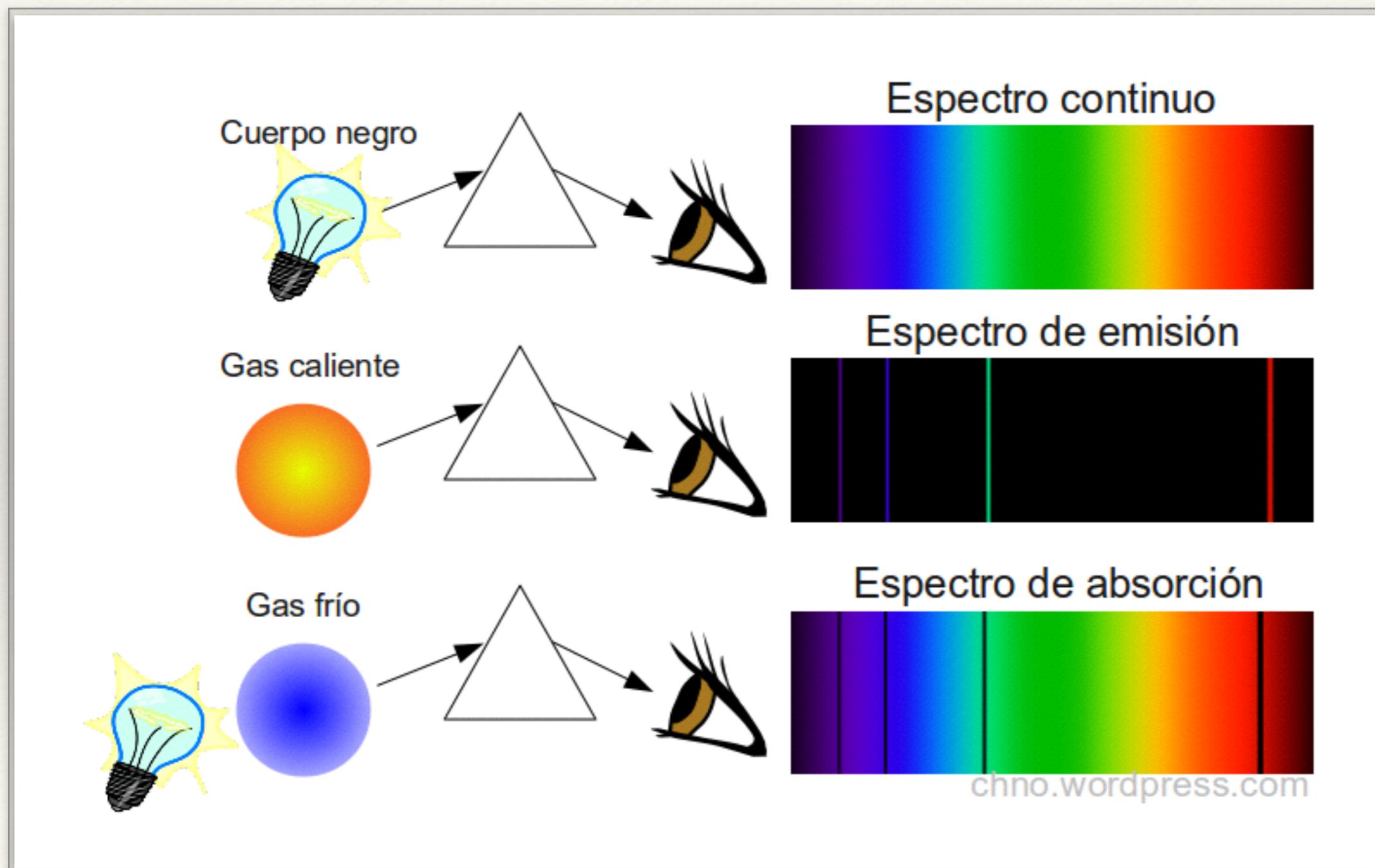
donde $W_{ext} = hf_0$ es la energía mínima necesaria para que se produzca la extracción de los electrones. Y f_0 es la frecuencia umbral del metal, es decir, la frecuencia mínima que debe tener el fotón incidente para que extraiga electrones del metal. Dicho de otra forma:

$$E = E_0 + \frac{1}{2}mv_{max}^2$$

La energía que suministra el fotón (E) se emplea en liberar al electrón del átomo (E_0), y la que sobra ($E - E_0$) en darle energía cinética del electrón.

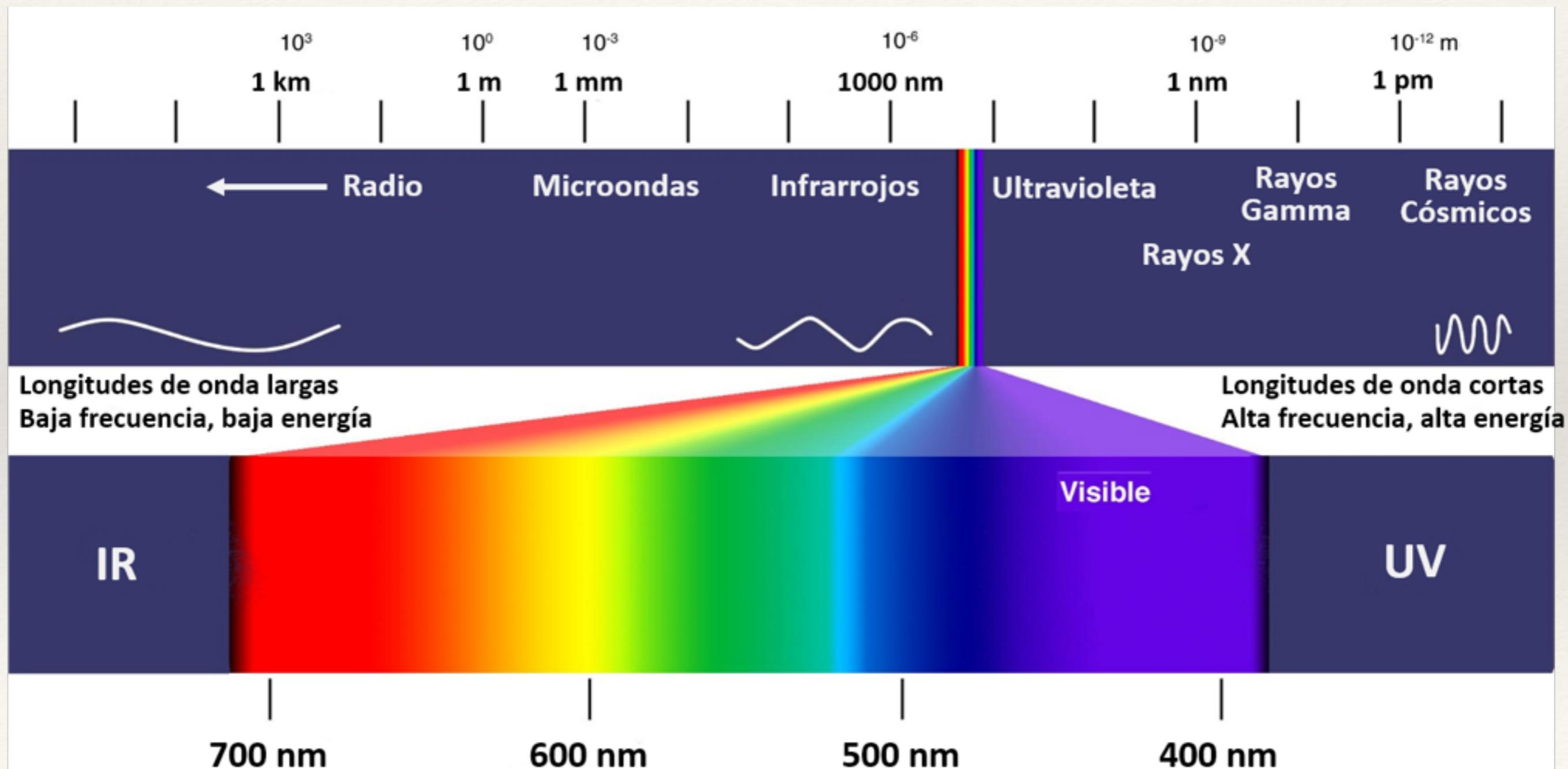
Física cuántica

Espectros atómicos



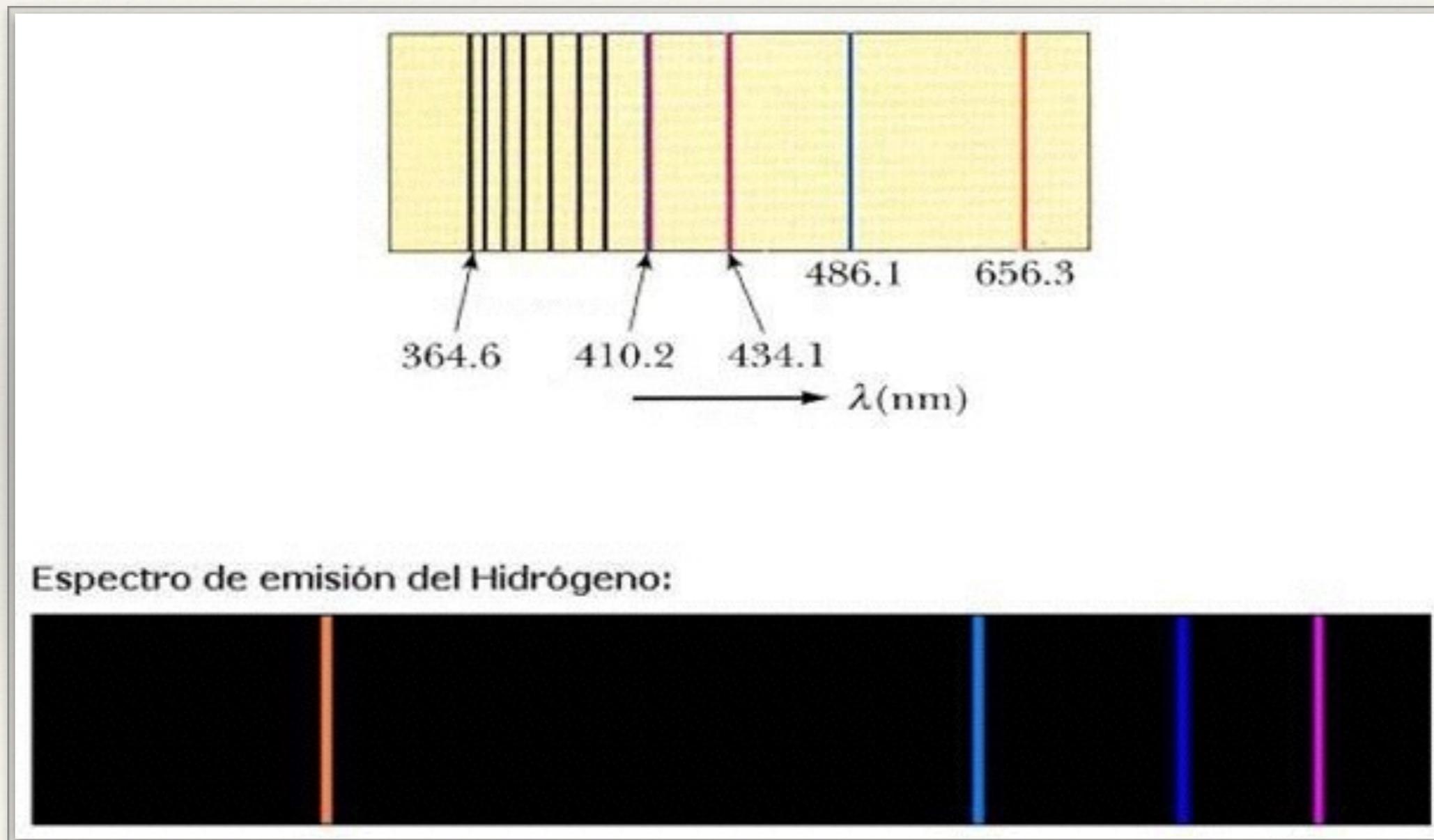
Física cuántica

Espectros atómicos



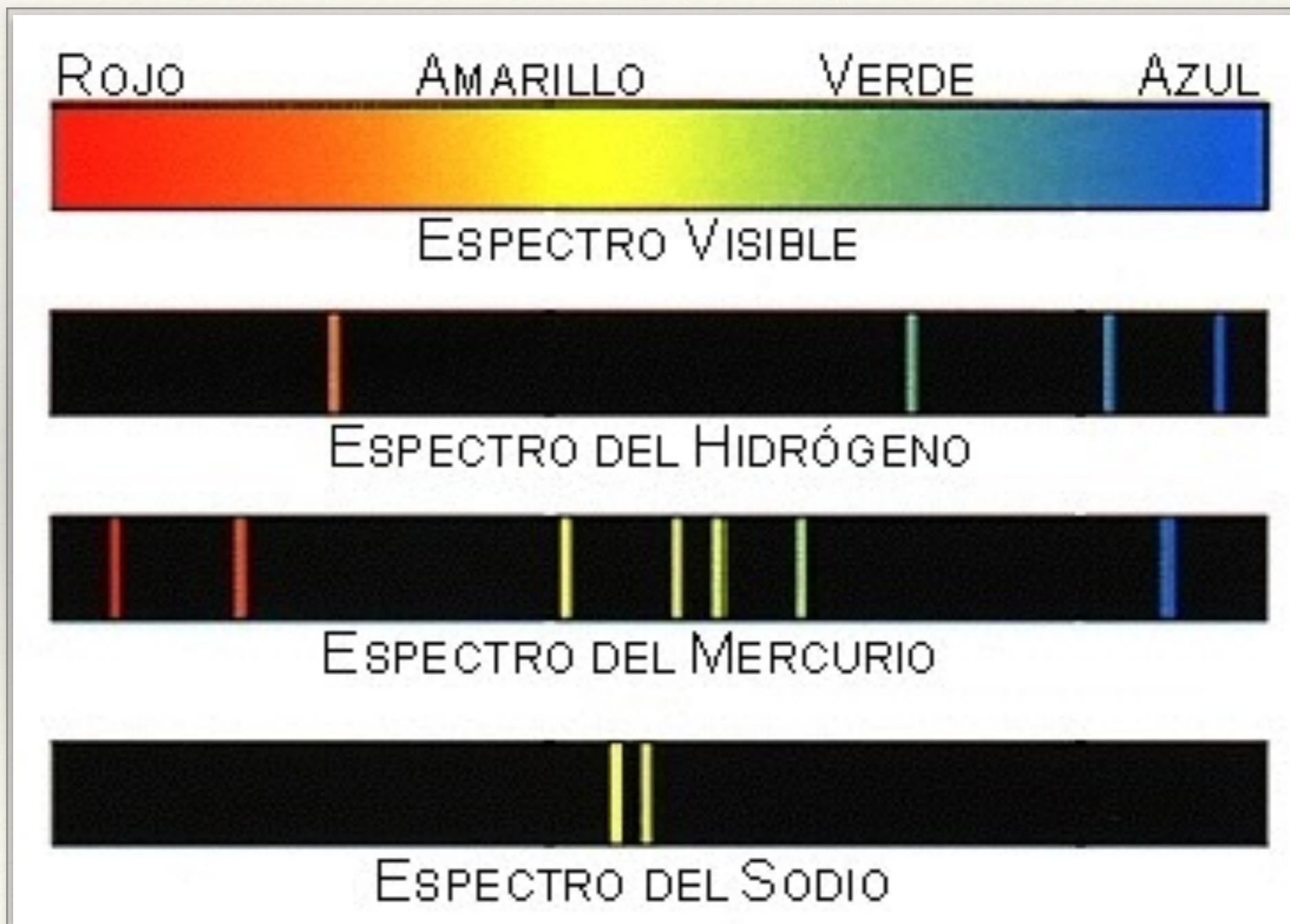
Física cuántica

Espectros atómicos



Física cuántica

Espectros atómicos



Física cuántica

Fórmula de Balmer

J.J. Balmer había descubierto en 1885 que las longitudes de onda correspondientes al espectro del hidrógeno respondían a la fórmula:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$$

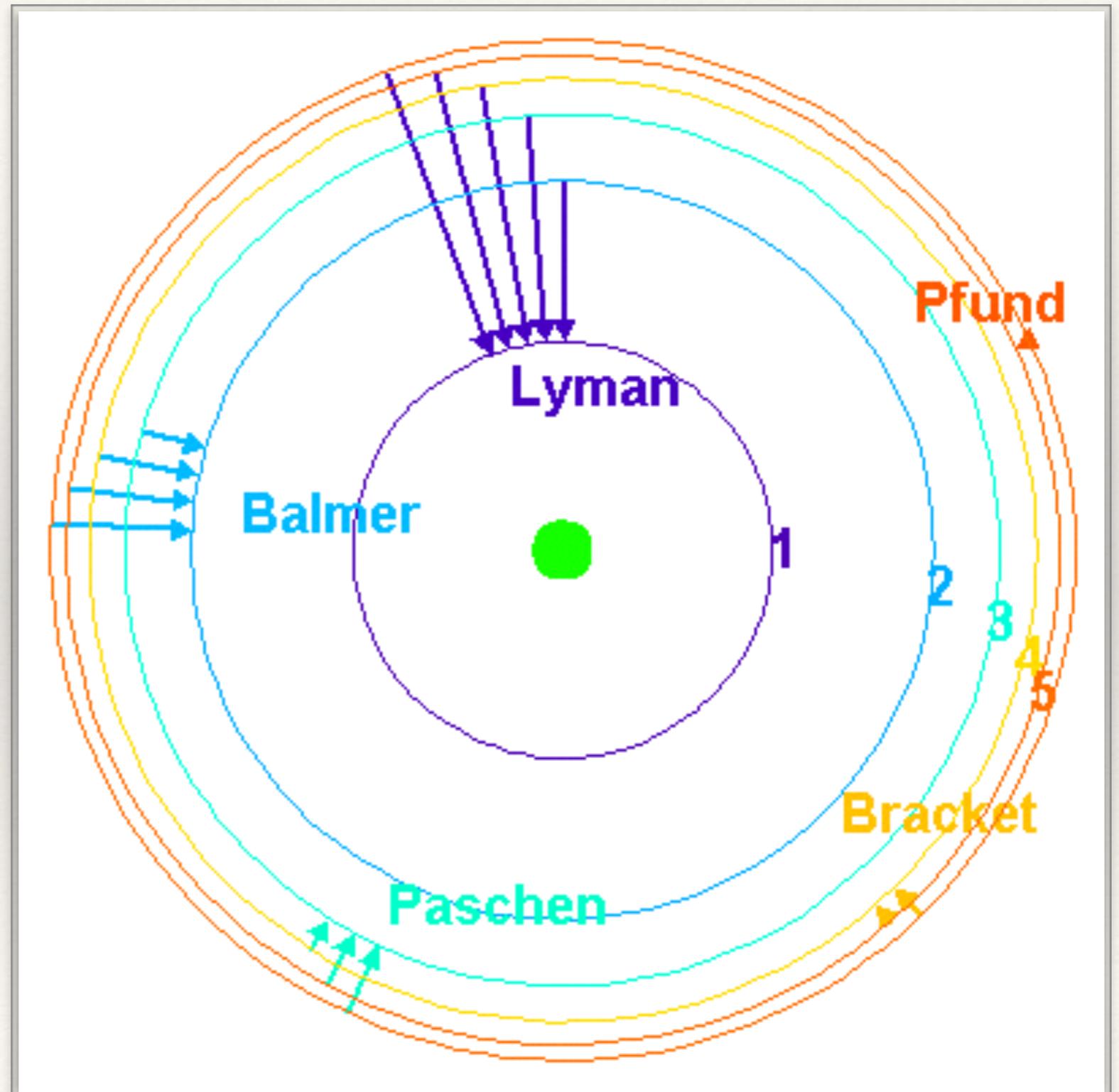
donde R es la constante de Rydberg, de valor $109677,6 \text{ cm}^{-1}$. Las distintas líneas del espectro se obtenían dando a n valores enteros a partir de 3.

Física cuántica

Series espectrales

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Para cada valor de m se obtiene una serie de rayas dándole a $n > m$ los sucesivos valores enteros.



Física cuántica

Modelo de Bohr

Niels Bohr dio en 1913 un modelo atómico basado en el de Rutherford pero salvando los inconvenientes de éste al aplicar la nueva hipótesis de Planck.

Postulados de Bohr

1^{er} postulado: Los electrones giran alrededor del núcleo en órbitas circulares estacionarias, sin emitir energía.

2^o postulado: Sólo son posibles aquellas órbitas en las que el electrón tiene un momento angular, \vec{L} , múltiplo entero de $h/2\pi$.

3^{er} postulado: La energía absorbida o emitida cuando un electrón pasa de una órbita a otra tiene una frecuencia que viene dada por la ecuación de Planck.

Física cuántica

Limitaciones del modelo de Bohr

1. Sólo es válido para especies monoeléctricas (H, He⁺, Li²⁺). Para multielectrónicas presenta dificultades insuperables.
2. Los espectros presentan más rayas que no explica el modelo.
3. No justifica por qué el electrón no emite energía en su movimiento en torno al núcleo: el electromagnetismo clásico no tiene respuestas para los fenómenos cuánticos.
4. La dualidad onda-corpúsculo y el principio de incertidumbre terminan con la idea de órbita como trayectoria definida por donde se mueve el electrón.

Física cuántica

Principio de dualidad onda-corpúsculo

Siglos XVII y XVIII controversia sobre la naturaleza de la luz:

Huygens → naturaleza **ondulatoria**.

Newton → naturaleza **corpúscular**.

En 1905 **Einstein** explica el **efecto fotoeléctrico** admitiendo que cualquier onda electromagnética está formada por partículas: **fotones**.

Así, todas las ondas electromagnéticas presentan una doble naturaleza **ondulatoria-corpúscular** y nunca se manifiestan simultáneamente ambas naturalezas.

Física cuántica

Principio de dualidad onda-corpúsculo

En 1924 **Louis de Broglie** halló la relación entre la cantidad de movimiento y la longitud de onda del fotón aplicando las ecuaciones de Planck y Einstein:

Según **Planck**: $E = hf = h\frac{c}{\lambda}$ Según **Einstein**: $E = mc^2$

Y despejando la longitud de onda de la igualación de ambas expresiones:

$$\lambda = \frac{h}{mc} = \frac{h}{p}$$

e hizo extensiva esta doble naturaleza a todas las partículas de materia. Las consideradas ordinariamente partículas (como los electrones) presentaban características ondulatorias. La **dualidad onda-corpúsculo** es una propiedad general de la materia.

Física cuántica

Deducción del 2º postulado

Los electrones al girar en torno al núcleo lo hacen en órbitas estacionarias estables, y para que esto se cumpla la distancia recorrida tiene que ser un múltiplo entero de su longitud de onda. Así que:

$$2\pi r = n\lambda$$

Su carácter ondulatorio le asocia un valor de longitud de onda dado por la ecuación de De Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

Sustituyendo λ en la primera ecuación:

$$2\pi r = n \frac{h}{mv}$$

y reordenando términos:

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad \text{iii El 2º postulado de Bohr !!!}$$

Física cuántica

Principio de incertidumbre de Heisenberg

Enunciado por **Werner Heisenberg** constituye uno de los principios más sorprendentes de la ciencia:

Es imposible medir simultáneamente y con exactitud la posición y la cantidad de movimiento de una partícula.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$$

- La precisión en la medida es limitada.
- La incertidumbre se deriva del propio hecho de medir.

Física cuántica

Mecánica Ondulatoria. Ecuación de Schrödinger

Ya que el electrón es una onda, su comportamiento puede ser descrito mediante una ecuación de onda. Es lo que propuso Erwin Schrödinger en 1926:

$$-\frac{h^2}{8\pi^2m} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) + U\psi = E\psi$$

donde los términos conocidos son m (masa de la partícula) y $U(x, y, z)$ (su energía potencial, dependiente de las coordenadas del espacio).

Física cuántica

Ecuación de Schrödinger. ψ^2

De forma abreviada la ecuación de Schrödinger se puede expresar:

$$\nabla^2\psi + \frac{8\pi^2m}{h^2}(E - U)\psi = 0$$

ψ : Es la **función de onda**, análoga a la elongación. Contiene información sobre la posición del electrón \rightarrow **orbital**, por analogía con las órbitas de Bohr. No tiene, sin embargo, significación física concreta.

$|\psi|^2$: **Densidad de probabilidad relativa del electrón.**

Multiplicada por el dV representa la probabilidad de encontrar al electrón en un elemento de volumen ($dx dy dz$) en el espacio.

Sugerencia postulada por Max Born.

Física cuántica

Ecuación de Schrödinger. ψ^2

E : Energía total del electrón. Sus valores vienen condicionados por las limitaciones, lógicas, que se imponen a ψ (realmente al cuadrado):

- Que sea función continua.
- Que no tenga valores diferentes en un mismo punto.
- Que no tome valores infinitos en ningún punto.

U : Energía potencial del electrón en un punto (x, y, z) .

Por tanto $(E - U)$ es la **energía cinética** del electrón cuando se encuentra en la posición dada.

Física cuántica

Consecuencias de la mecánica cuántica

Órbita y orbital

Para Bohr, los electrones se distribuyen en **órbitas**, que son lugares precisos donde se pueden encontrar dichas partículas. Los modelos mecánico-ondulatorios, por el contrario, hablan de **orbitales**, que son regiones del espacio donde hay una determinada probabilidad de encontrar al electrón. Por tanto, según los modelos mecánico-ondulatorios, no es posible concretar dónde se encuentra un electrón; tan solo se puede indicar la **probabilidad** estadística de que esté presente en una determinada región en torno al núcleo. Así, el orbital es la representación gráfica de dicha región.

Igualmente el concepto de electrón como *pequeña partícula cargada negativamente* carece de sentido.