

# FÍSICA CUÁNTICA. EL EFECTO FOTOELÉCTRICO.

■ **Radiación térmica:** energía que emiten todos los cuerpos en forma de ondas electromagnéticas como consecuencia de su estado térmico.

■ **Cuerpo negro** es el que absorbe toda la radiación que le llega y, por tanto, no refleja nada.

1. Indica que hipótesis se hicieron para explicar los hechos experimentales siguientes y quien los hizo:

- a) la radiación del cuerpo negro;
- b) la discontinuidad de los espectros atómicos.

Plank.

Bohr..

■ **Ley del desplazamiento de Wien:** nos permite determinar la temperatura de cuerpos a los que no es posible acoplar un termómetro, bien por su elevada temperatura (horno), bien por estar lejos (sol, estrellas).  $T \cdot \lambda_{\text{máxima}} = 2'896 \cdot 10^{-3} \text{ m.K.}$

2. Si las estrellas se comportan como cuerpos negros ¿Dónde será mayor la temperatura, en la superficie del sol, que emite fundamentalmente luz amarilla, o en la superficie de una enana roja?

Según la ley de Wien  $T_{\text{enana roja}} \cdot \lambda_{\text{roja}} = T_{\text{sol}} \cdot \lambda_{\text{amarilla}}$  y como  $\lambda_{\text{roja}} > \lambda_{\text{amarilla}}$ , podemos concluir que  $T_{\text{enana roja}} < T_{\text{sol}}$

■ **Ley de Stefan-Boltzmann.**

$$R = \frac{P}{S} = \sigma \cdot T^4 \left\{ \begin{array}{l} R: \text{Intensidad radiante total o radiancia. Energía por m}^2 \text{ y por s. } \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \\ P: \text{potencia radiada o emitida. w.} \\ S: \text{superficie. m}^2 \\ \sigma: \text{cte. de Boltzmann} = 5'67 \cdot 10^{-8} \text{ W. m}^2 \cdot \text{K}^{-4} \\ T: \text{tempratura. Kelvin.} \end{array} \right.$$

3. Calcula la energía que emite una estrella azul por  $\text{m}^2$  y por segundo, sabiendo que su radiación espectral posee un máximo en el azul. ( $\lambda = 4750 \text{ \AA}$ )

Según la ley de Wien:  $T \cdot \lambda_{\text{máxima}} = 2'896 \cdot 10^{-3} \rightarrow T = 6097 \text{ K.}$

Según la ley de Boltzmann:  $R = \sigma \cdot T^4 = 5'67 \cdot 10^{-8} \cdot 6097^4 = 78351594 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$

■ **Hipótesis cuántica de Plank.** El intercambio de energía entre la radiación y la materia no tiene lugar de forma continua, sino por medio de cuantos o paquetes de energía cuyo valor depende de la frecuencia de la radiación.

$$E = n \cdot h \cdot f \left\{ \begin{array}{l} E: \text{energía intercambiada entre radiación y materia. J.} \\ n: \text{Número cuántico entero.} \\ h, f: \text{energía de un cuanto. } \left\{ \begin{array}{l} h: \text{cte de Plank} = 6'63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} \\ f: \text{frecuencia de la radiación. Hz.} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

■ **Efecto fotoeléctrico.** Cuando una superficie metálica pulida y limpia es iluminada con luz de la frecuencia adecuada, emite electrones.

## Ecuación del efecto fotoeléctrico. Ley de Einstein.

$$\underbrace{\underbrace{\hbar}_{\text{cte. Planck}} \cdot f}_{\text{energía radiación incidente.}} = \underbrace{h \cdot \underbrace{f_0}_{\text{frecuencia umbral}}}_{\text{trabajo de extracción}} + \underbrace{\frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_e^2}_{\text{energía cinética electrones.}}$$

$$\underbrace{V}_{\text{potencial de frenado}} \cdot \underbrace{q_e}_{\text{carga electrón}} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_e^2$$

En lugar de  $h \cdot f$  podemos poner  $h \cdot \frac{c}{\lambda} \rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda} = h \cdot \frac{c}{\lambda_0} + E_{\text{cinética del electrón}}$

**Frecuencia umbral** es la mínima frecuencia necesaria para que una radiación produzca efecto fotoeléctrico sobre un determinado metal.

**Longitud de onda umbral** es la máxima longitud de onda necesaria para que una radiación produzca efecto fotoeléctrico sobre un determinado metal.

### Ejemplo ley de Einstein.

a. Calcular la longitud de onda de una radiación incidente sobre una placa metálica que provoca el efecto fotoeléctrico con un trabajo de extracción de 2 eV y una velocidad máxima para los electrones de 501010 m/s.

b. Calcula la longitud de onda umbral de una placa metálica, sabiendo que con una radiación incidente de  $1,5 \cdot 10^{14}$  Hz posee un potencial de frenado de 2,8  $\mu$ V.

c. Calcula la energía cinética de los electrones que saltan de una placa metálica, por efecto fotoeléctrico, si la longitud de onda de la radiación incidente es  $6 \cdot 10^{-8}$  m y la frecuencia umbral  $4,5 \cdot 10^{15}$  Hz.

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{\text{ext}} = 2 \text{ eV} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ v_e = 501010 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{array} \right. \rightarrow h \frac{c}{\lambda} = W_{\text{ext.}} + \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_e^2$$

$$\lambda = 4,57 \cdot 10^{-7} \text{ m.}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{\text{inc.}} = 1,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz.} \\ V_{\text{frenado}} = 2,8 \mu\text{V} \end{array} \right. \rightarrow h \cdot f = h \frac{c}{\lambda_0} + V_f \cdot q_e \rightarrow \lambda_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_0 = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ Hz.} \\ \lambda_{\text{inc.}} = 6 \cdot 10^{-8} \text{ m.} \end{array} \right. \rightarrow h \frac{c}{\lambda} = h \cdot f_0 + E_{c(e)} \rightarrow E_{c(e)} = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

### 4. ¿El efecto fotoeléctrico es una prueba de que la luz es de naturaleza ondulatoria o de naturaleza corpuscular? ¿por qué?

El efecto fotoeléctrico es una prueba de la naturaleza corpuscular de la luz. Este efecto demostró que la energía que transporta la luz depende de la frecuencia (o longitud de onda) de la luz y no de la intensidad de la luz.

El efecto fotoeléctrico consiste en que cuando un metal se ilumina, algunos electrones del metal salen de éste. Esto no sucede con todos los tipos de luz, sólo la luz con longitud de onda menor de una dada tiene este efecto.

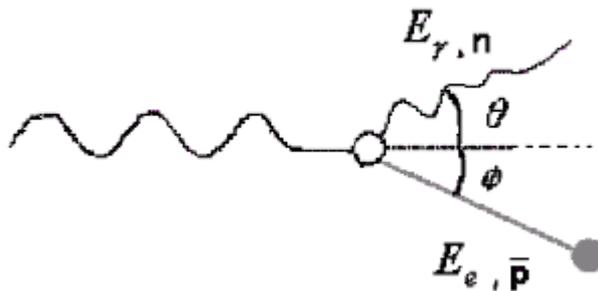
Según la teoría ondulatoria, si un metal se ilumina con luz, la energía suministrada a sus electrones es: Energía = Intensidad · área · tiempo. Por tanto, tras un tiempo de exposición los electrones saltarían, fenómeno que no sucede. La dependencia de este efecto con la longitud de onda de la luz y no con la intensidad de la luz llevó a considerar que la luz transporta energía en pequeñas unidades, conocidas como fotones, cuya energía depende de su longitud de onda.

5. Iluminamos un metal con una determinada radiación de cierta longitud de onda. Si el trabajo de extracción vale 3 eV y la diferencia de potencial que se debe aplicar para que los electrones no lleguen en el cátodo es de 2 V. ¿Qué longitud de onda tienes a la radiación?

1 e.v. =  $1'6 \cdot 10^{-19}$  J,  $e = 1'6 \cdot 10^{-19}$  C,  $m_e = 9'1 \cdot 10^{-34}$  Kg.,  $h = 6'62 \cdot 10^{-34}$  J.s,  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = W_{\text{extracción}} + V \cdot q_e \rightarrow 6'62 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda} = 3 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} + 2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} \rightarrow f = 2,48 \cdot 10^{-7}.$$

■ **Efecto Compton.**



Compton confirmó la existencia de los fotones. Para ello hizo incidir un haz de rayos X, de una longitud de onda determinada, sobre un cuerpo con electrones débilmente ligados (grafito). Compton observó que, además de la radiación dispersada, de la misma longitud de onda, aparecía otra radiación secundaria, cuya longitud de onda era siempre mayor que la de la radiación incidente. Compton supuso que la radiación secundaria era el resultado de un choque aproximadamente elástico entre un fotón y un electrón, confirmando la existencia de los fotones.

■ **Espectros atómicos.** Los átomos cuando emiten de forma individual, no colectiva, dan lugar a espectros discontinuos, que contienen un conjunto finito o discreto de longitudes de onda. Estos espectros son característicos de cada elemento.

6. ¿Por qué el modelo atómico de Rutherford no puede explicar la existencia de líneas espectrales?

El modelo atómico de Rutherford no podía explicar la existencia de líneas espectrales porque los electrones podían girar en órbitas de cualquier energía y, por tanto, eran posibles transiciones de cualquier diferencia de energía y el espectro resultante sería continuo.

■ **Dualidad onda-corpúsculo.** Afirma que la luz tiene una doble naturaleza, ondulatoria y corpuscular. La reflexión y la refracción de la luz (fenómenos ondulatorios) confirman la naturaleza ondulatoria de la luz. El efecto fotoeléctrico y el efecto Compton confirman su naturaleza corpuscular.

Magnitudes características de una onda son frecuencia y longitud de onda.

Magnitudes características de una partícula son energía y momento lineal.

Planck llegó a la relación entre las dos naturalezas de la luz:

$$\overset{\text{longitud}}{\underset{\text{onda}}{\lambda}} = \frac{h}{\underset{\text{momento lineal o cantidad de movimiento.}}{p}}$$

relacionando  $\lambda$ (magnitud ondulatoria) con  $p$  (magnitud corpuscular)

7. Un fotón posee una longitud de onda de 500 nm. Calcula:  
 a.- Su cantidad de movimiento.  
 b.- Su energía.

$$\lambda = \frac{h}{p} \rightarrow p = \frac{h}{\lambda} = 1'34 \cdot 10^{-27} \text{ Kg. m/s}$$

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 3'98 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

■ **Hipótesis de De Broglie:** Toda partícula en movimiento tiene una onda asociada cuya longitud de onda viene dada por la expresión:

$$\lambda = \frac{\overset{\text{cte Planck}}{\hbar}}{\underset{\text{masa}}{m} \cdot \underset{\text{velocidad}}{v}}$$

8. a. Menciona un comportamiento ondulatorio de los electrones.  
 b. ¿Qué física presentó la dualidad de onda - corpúsculo por primera vez?

- a) La difracción.  
 b) Louis de Broglie.

■ **Principio de incertidumbre de Heisenberg:** Es imposible medir de forma exacta y simultánea la posición y la velocidad de una partícula.

■ **Número de fotones en una onda electromagnética.**

$$\text{número de fotones} = \frac{E_{\text{total}}}{E_{\text{foton}}} = \frac{\overset{\text{potencia}}{\tilde{P}} \cdot t}{h \cdot f} = \frac{\overset{\text{intensidad}}{\tilde{I}} \cdot \overset{\text{superficie}}{\tilde{S}} \cdot t}{h \cdot f}$$

9. Calcular el número de fotones emitidos por segundo por una emisora de radio de las Islas Baleares, que emite una frecuencia media de 100 MHz con una potencia de 20 kW.  
 (Constante de Planck:  $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ )

$$\frac{\text{número de fotones}}{t} = \frac{P}{h \cdot f} = \frac{20000}{6'63 \cdot 10^{-34} \cdot 10^8} = \frac{3'017 \cdot 10^{29} \text{ fotones}}{s}$$

10. Una antena de telefonía móvil emite una radiación de 900 MHz. Con una potencia de 1500 W. Calcula:  
 a.- Longitud de onda de la radiación emitida.  
 b.- El número de fotones emitidos durante un segundo.  
 c.- La intensidad de la radiación a una distancia de 50 m de la antena.

a)

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{900 \cdot 10^6} = 0'3 \text{ m.}$$

b)

$$\frac{\text{número de fotones}}{s} = \frac{P}{h \cdot f} = \frac{1500}{6'63 \cdot 10^{-34} \cdot 900 \cdot 10^6} = \frac{2'52 \cdot 10^{27} \text{ fotones}}{s}$$

c)

$$I = \frac{P}{S} = \frac{1500}{4 \cdot \pi \cdot 50^2} = \frac{0'048 \text{ W}}{\text{m}^2}$$

11. Se ilumina una placa de sodio con luz monocromática en 470 nm. Calcula la velocidad máxima de los electrones emitidos por efecto fotoeléctrico.  $W_{\text{extracción Na}} = 2,28 \text{ eV}$ .  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$   
 $m_{\text{electrón}} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$   $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

356 km/s.

12. Una placa de sodio, una de silicio y una de aluminio se iluminan con luz monocromática de 538 nm.  
a. Determina cuál de las placas emite electrones por efecto fotoeléctrico.  
b. Calcula en cada caso la velocidad máxima de los electrones.  
c. Si la intensidad de la luz se duplica, ¿cuál es el cambio de la velocidad máxima de los electrones emitidos?  
Datos  $W_{\text{ext}}(\text{Na}) = 2,28 \text{ eV}$ .  $W_{\text{ext}}(\text{Si}) = 3,59 \text{ eV}$ .  $W_{\text{ext}}(\text{Al}) = 4,08 \text{ eV}$ .

a. Solo emite el Na.  
b.  $V_{\text{máx.}} = 95,9 \text{ Km/s}$ .  
c. Al duplicar la intensidad se duplican el número de electrones que saltan de la superficie del metal, pero no varía la energía cinética de los electrones emitidos. No varía pues la velocidad máxima.

13. Un material posee un sistema de tres niveles energéticos electrónicos (nivel fundamental, primer nivel, y segundo nivel). Para que un electrón pase desde el nivel fundamental al segundo nivel, el material absorbe radiación de 450 nm; tras lo cual el material emite radiación de 600 nm debido al decaimiento del primer nivel hasta el fundamental.  
a. Determine las diferencias de energía entre el primer nivel y el nivel fundamental, y entre el segundo nivel y el nivel fundamental, expresadas en electrón-voltios.  
b. Calcule la energía por unidad de tiempo que produce la emisión si el material emite  $4 \cdot 10^{15}$  fotones  $\text{s}^{-1}$ .  
Datos: Valor absoluto de la carga del electrón,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ; Constante de Planck,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ; Velocidad de la luz en el vacío,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

a.  $\Delta E = 2,76 \text{ eV}$ ,  $\Delta E = 2,07 \text{ eV}$ .  
b.  $P = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ W}$ .

14. a. La velocidad máxima de los electrones emitidos por efecto fotoeléctrico cuando el cátodo metálico de una célula fotoeléctrica se ilumina con una luz de 572 nm es de  $1,19 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ . Calcula el trabajo de extracción del cátodo metálico de esta célula en eV.  
b. Escribe el nombre de dos hechos experimentales de gran interés que la física clásica del siglo XIX no podía explicar.  
 $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .

a.

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = w_{\text{ext.}} + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow v = 3,413 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,13 \text{ eV}.$$

b. El efecto fotoeléctrico, la radiación del cuerpo negro, la discontinuidad de los espectros atómicos y el experimento de Michelson – Morley.

15. Tiene una célula fotoeléctrica con una placa de sodio. El potencial de trabajo del sodio es de 2,28 eV ( $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ ). ¿Cuál es la energía cinética máxima de los electrones emitidos por el efecto fotoeléctrico cuando la placa se ilumina con luz de 295 nm? Expresa la respuesta en electrón-voltios. La constante de Planck es  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ .

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = w_{\text{extracción}} + E_{\text{cinética de los electrones}}; E = 3,094 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,93 \text{ eV.}$$

16. Cuando incide luz de longitud de onda  $\lambda = 621,5 \text{ nm}$ . sobre una célula fotoeléctrica, esta emite electrones con una energía cinética de 0,14 eV. Calcule:

- El trabajo de extracción de la célula fotoeléctrica.
- La frecuencia umbral.

(Constante de Planck  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js} = 4,135 \times 10^{-15} \text{ Ev-s}$ )

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = w_{\text{extracción}} + E_{\text{cinética de los electrones}}; w = 2,98 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,86 \text{ eV.}$$

$$w_{\text{extracción}} = h \cdot f_0; f_0 = 4,49 \cdot 10^{14} \text{ Hz.}$$

17. Un puntero láser de luz verde de longitud de onda 532 nm tiene una potencia de 200 mW ¿cuántos fotones emite por segundo?

$$\frac{n^{\circ} \text{ de fotones}}{t} = \frac{P}{h \cdot f} = \frac{P}{h \cdot \frac{c}{\lambda}} = 5,35 \cdot \frac{10^{17} \text{ fotones}}{\text{s}}$$

18. La frecuencia umbral de la radiación que puede extraer electrones de una placa metálica es de  $5,5 \text{ por } 10^{14} \text{ hercios}$ . Determina si una radiación de longitud de onda 550 nm puede provocar el efecto fotoeléctrico.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{550 \cdot 10^{-9}} = 5,45 \cdot 10^{14} \text{ Hz} < f_{\text{umbral}}, \text{ no arranca electrones.}$$

19. ¿Qué se quería medir con el experimento de Michelson - Morley? ¿qué resultados se obtuvieron y actualmente cómo se explican estos resultados?

Se quería detectar el movimiento de la tierra a través del éter, considerando el soporte de las ondas electromagnéticas. Este movimiento resultó ser indetectable. Actualmente este resultado se explica dentro de la teoría de la relatividad especial de Albert Einstein, según la cual la velocidad de las ondas electromagnéticas, y por tanto de la luz, es la misma para todos los observadores independientes de su movimiento.

20. La velocidad máxima de los electrones extraídos de un metal por efecto fotoeléctrico con luz de 320 nm es de 319 km/s. Calcula el trabajo de extracción en electronvoltios.

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = w_{\text{extracción}} + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_e^2 \rightarrow w_{\text{extracción}} = 3,59 \text{ eV.}$$

**21. ¿Con qué hipótesis se explicó la radiación del cuerpo negro? ¿Quién hizo dicha hipótesis?**

Max Planck a principios del siglo veinte, para explicarla radiación del cuerpo negro, supuso que la energía de la radiación electromagnética es emitida o absorbida por la materia en cantidades discretas de energía, múltiplos de  $E = h \cdot f$ , donde  $h$  es la constante de Planck y  $f$  la frecuencia de la radiación.

**22. El Premio Nobel de física de 1921 fue otorgado a Albert Einstein, y 1922, en Niels Bohr. ¿Por qué contribución a la física le dieron el premio a cada uno?**

Albert Einstein por explicar el efecto fotoeléctrico.

Niels Bohr por sus investigaciones sobre la estructura del átomo y los espectros de radiación.

**23. El trabajo de extracción de un material es de 3,59 eV. ¿Cuál es la energía máxima de los electrones extraídos en eV con una luz de 295 nm?**

$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ ,  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ .

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = W_{\text{extracción}} + E_{\text{cin } e^-} \rightarrow E_{\text{cin } e^-} = \frac{h \cdot c}{\lambda} - W_{\text{extracción}} = 9'87 \cdot 10^{-20} \text{ J} = 0'616 \text{ eV}.$$

**24. El trabajo de extracción de electrones por efecto fotoeléctrico en un determinado metal vale 4,1 eV. ¿Cuál es el umbral de longitud de onda para producir el efecto fotoeléctrico con este metal? Da el resultado en nm.**

$(1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ ,  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s})$ .

$$W_{\text{extracción}} = h \cdot f_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0} \rightarrow \lambda_0 = \frac{h \cdot c}{W_{\text{extracción}}} = 3'028 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 302'8 \text{ nm}.$$

**25. ¿Qué aportó Einstein a la física relacionada con el resultado del experimento de Michelson y Morley? Da una respuesta concreta y concisa.**

Einstein supone que la velocidad de la luz era una constante universal y estudia sus implicaciones.

**26. ¿Qué hipótesis se hicieron para explicar el efecto fotoeléctrico y quién las hizo?**

Einstein postuló:

i) La luz está formada por paquetes discretos o fotones con energía:

$$E_{\text{fotón}} = h \cdot f$$

ii) Los electrones de un metal pueden absorber la energía de un fotón.

iii) Si esta energía es suficiente los electrones pueden escapar con una energía cinética  $= h \cdot f - W$ , siendo  $W$  característico de cada metal.

**27. ¿Cuál es la energía cinética máxima en eV de los electrones emitidos por un metal con una radiación  $2,0 \times 10^{15} \text{ Hz}$ , si la frecuencia de la radiación para extraer electrones debe ser mayor que  $5,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ? ( $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ ;  $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ .)**

$$h \cdot f = h \cdot f_0 + E_{\text{cin } e^-} \rightarrow E_{\text{cin } e^-} = h \cdot f - h \cdot f_0 = 6 \text{ eV}.$$

28. a. ¿Cuáles son las conclusiones extraídas del análisis experimental del efecto fotoeléctrico antes de que Einstein proponga su teoría?

b. el cátodo metálico de una célula fotoeléctrica se ilumina con radiación de longitud de onda decreciente y se observa que la corriente eléctrica comienza cuando la radiación tiene una longitud de onda de 4600 angstroms. ¿Qué vale el potencial o trabajo de extracción para arrancar fotoelectrones del metal? (Expresar el resultado en eV.)

c. Si el cátodo se ilumina con 4500 angstroms, ¿Cuál será la energía cinética de los electrones emitidos? (Expresar el resultado en eV.)

Constante de Planck,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  J s masa de un electrón =  $9,11 \cdot 10^{-31}$  Kg

1 Angstrom =  $10^{-10}$  m. 1 eV =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  J

a. I: la frecuencia de la luz es necesaria que sea menor que un cierto valor para producir el efecto.

II: Por debajo de esta frecuencia, la energía cinética de los electrones emitidos depende de la frecuencia de la luz, pero es independiente de la intensidad.

III: El número de electrones emitidos por segundo es una función lineal de la intensidad de la luz.

IV: La emisión comienza y finaliza al mismo tiempo que la iluminación metálica comienza y termina.

b.

$$W_{\text{extracción}} = h \cdot f_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0} = 6'63 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{4600 \cdot 10^{-10}} = 4'324 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2'7 \text{ e. v.}$$

$$c) E_{\text{cinética máxima}} = h \cdot f - h \cdot f_0 = 0'060 \text{ e. V.}$$

29. La frecuencia de radiación mínima capaz de extraer electrones de un determinado metal es de  $5,5 \cdot 10^{14}$  Hz.

a. ¿Cuál es el trabajo de extracción de este metal en J y eV?

b. ¿Cuál será la energía cinética máxima (en electronvoltios) de los electrones emitido con una radiación de  $2,48 \cdot 10^{15}$  Hz?

c. El color de la luz visible está relacionado con su frecuencia. Si se da efecto fotoeléctrico con luz roja, se dará con luz azul? Constante de Planck:  $6,63 \cdot 10^{-34}$  J.s. 1 e.V. =  $1,60 \cdot 10^{-19}$  J

a.

$$W_{\text{extracción}} = h \cdot f_0 = 6'63 \cdot 10^{-34} \cdot 5'5 \cdot 10^{14} = 3'64 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2'27 \text{ eV.}$$

b.

$$E_{\text{cinética máxima}} = h \cdot f - h \cdot f_0 = 1'28 \cdot 10^{-18} \text{ J.} = 8 \text{ e. V.}$$

c.

La luz azul es de mayor frecuencia que la luz roja, por tanto, será de mayor energía. Si la luz roja consigue el efecto fotoeléctrico sobre un metal la luz azul, al ser más energética, también lo conseguiría.

30. La frecuencia de la radiación mínima capaz de extraer electrones de un determinado metal es de  $5,5 \times 10^{14}$  Hz. calcular:

a. El trabajo de extracción para este metal.

b. La energía cinética de los electrones emitidos con una radiación incidente de  $1,5 \cdot 10^{15}$  Hz.

c. La longitud de onda de de Broglie asociada con los electrones emitidos por el

$1,5 \times 10$  de radiación<sup>15</sup> Hz..

(Masa de electrones:  $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg. Carga de electrones:  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C Constante de Planck:  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  J · s)

$$a) W_{\text{extracción}} = h \cdot f_0 = 6'63 \cdot 10^{-34} \cdot 5'5 \cdot 10^{14} = 3'65 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$b) E_c = h \cdot f - h \cdot f_0 = 6'3 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$c) E_c = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_e^2 \rightarrow v_e = 1176697 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6'63 \cdot 10^{-34}}{9'1 \cdot 10^{-31} \cdot 1176697} = 6'19 \cdot 10^{-10} \text{ m.}$$

**31. El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones cuando se iluminan ciertos metales. ¿Qué se puede ver en la emisión de electrones cuando aumentamos la intensidad de la luz incidente sin modificar la frecuencia? ¿Y si se mantiene la misma intensidad y aumenta la frecuencia?**

Si aumenta la intensidad sin variar la frecuencia, aumenta el número de electrones emitidos y su energía cinética no varía.

Si aumenta la frecuencia sin variar la intensidad, aumenta la energía cinética de los electrones emitidos y el número de electrones emitidos es el mismo.

**32. ¿Cuál es la longitud de onda máxima que puede tener una radiación para poder extraer electrones de un metal para el cual el trabajo de extracción es de 3,7 eV? (Datos: 1eV = 1,6 × 10<sup>-19</sup> J)**

$$W_{\text{extracción}} = h \cdot f_0, \text{ por tanto } f_0 = \frac{3'7 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19}}{6'63 \cdot 10^{-34}} = 8'93 \cdot 10^{14} \text{ Hz.}$$

**33. Cuando se ilumina con luz monocromática de  $N = 5,46 \cdot 10^{14}$  Hz. un cierto metal, emite electrones con una energía cinética máxima de  $E = 1,02$  eV. Cuando se ilumina con una lámpara monocromática de  $N' = 4,62 \cdot 10^{14}$  Hz, emite electrones con una energía cinética máxima de  $E' = 0,67$  eV. Con estos datos, calcule el valor de la constante de Planck,  $h$ , en eV. s**

$$h \cdot f = h \cdot f_0 + E_{\text{cinética}} \quad \left\{ \begin{array}{l} h \cdot 5'46 \cdot 10^{14} = h \cdot f_0 + 1'02 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} \\ h \cdot 4'62 \cdot 10^{14} = h \cdot f_0 + 0'67 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} \end{array} \right\} h = 6'63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$h = 6'63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 4,1437 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}.$$