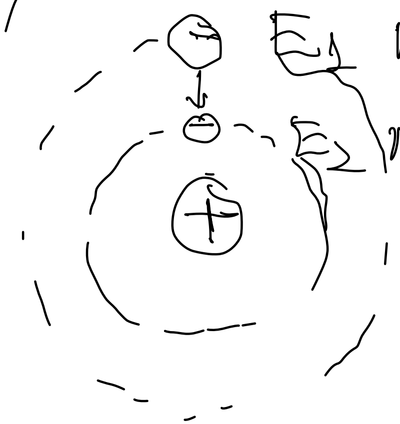
(32)

a) Falso, aumentar la intensidad de la luz que incide significa aumentar el número de fotones, pero no su energía que viene dada por la hipótesis de Planck, $E_{fotón} = h \cdot f$. Por ello, según la ecuación de Einstein $E_{fotón} = W_e + E_c$ los electrones se emitirían con la misma $E_c = \frac{1}{2} m v_e^2$ y por ello con la misma velocidad.

b) Falso, el que se emitan electrones en el efecto fotoeléctrico sólo depende de que $E_{fotón} > W_e$, y para ello es irrelevante la intensidad, que sólo afectaría al número de fotones pero no a la energía de cada uno de ellos que seguiría siendo la misma según la hipótesis de Planck ($E_{fotón} = h \cdot f$)

36) a) Falso, cuando un electrón pasa de un estado más energético (estado excitado) a otro menos energético emite energía, pero no puede tomar cualquier valor, sino solo la diferencia de energía entre los dos niveles, los cuales están cuantizados.



$E_2 - E_1 = h \cdot f$ (fotón emitido)

b) Verdadero, según la Hipótesis de De Broglie,

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$, y de acuerdo a esa expresión, la longitud de onda asociada a la partícula es inversamente proporcional a su masa.

b) La teoría clásica (u ondulatoria) de la luz supone que la luz (las o.e.m, en general) consiste en la trasmisión de una vibración de campos eléctricos y magnéticos a través de un medio que puede ser el vacío. La energía transmitida por esta onda electromagnética se realiza, pues, de forma continua (las partículas, por el contrario, transmiten energía de forma discreta, transportada por la propia partícula).
Suponiendo una transmisión continua de energía, al incidir la radiación sobre el metal, los electrones superficiales del mismo irían absorbiendo continuamente energía, independientemente de la frecuencia de la radiación. Así, más tarde o más temprano el electrón adquiriría energía suficiente para vencerla atracción del núcleo, produciéndose siempre la emisión de electrones.
Sin embargo, lo observado en las experiencias es que existe una frecuencia umbral, una frecuencia mínima por debajo de la cual la radiación no puede provocar la emisión de electrones, por mucho tiempo que esté incidiendo sobre el metal. Este hecho sólo puede explicarse suponiendo que en la interacción radiación-materia, la luz se comporta como partículas (ver el apartado anterior).

Otro aspecto experimental que no puede explicar la teoría ondulatoria de la luz es el hecho de que al suministrar más energía aumentando la intensidad de la luz pero sin variar su frecuencia, consigamos extraer un mayor número de electrones, pero no aumentar la energía cinética de los que se extraen.

b) En la ordenación en el espectro electromagnético, $f_{verde} < f_{azul}$, y por ello, según la hipótesis de Planck ($E = h \cdot f$), $E_{fotón\ verde} < E_{fotón\ azul}$. Según la ecuación de Einstein, $E_{fotón} = W_e + E_{c\,e^-}$, si los fotones de luz verde emiten electrones, fotones de luz azul de energía superior también lo harán, dando como resultado para una misma superficie metálica (igual trabajo de extracción), fotoelectrones emitidos con mayor E_c y por tanto con mayor velocidad.

49 a)

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por parte de un metal al incidir sobre él radiación electromagnética. La teoría ondulatoria clásica de Maxwell sobre la luz no podía explicar las características de este fenómeno, como la existencia de una frecuencia umbral, al suponer una transmisión continua de la energía.

Einstein aplicó las hipótesis cuánticas de Planck para explicar el efecto fotoeléctrico. Pero llegó aún más allá en su ruptura con las teorías clásicas. Supuso que no sólo los intercambios de energía están cuantizados, sino que *la propia radiación está constituida por "partículas" (posteriormente llamadas* ***fotones****) que transportan la energía de forma discreta, concentrada en cuantos de energía*. Es decir, supuso un comportamiento corpuscular para la luz, al menos en este fenómeno. La energía de un fotón viene dada por la expresión de Planck $E_f = h \cdot \upsilon$

Suponiendo que la luz se comporta como una partícula, al chocar ésta con un electrón, le transmite instantáneamente toda su energía. Evidentemente, esta energía que cede al electrón dependerá de la frecuencia de la radiación.

Así, la energía de un fotón se emplea, en primer lugar, en arrancar al electrón del metal. Esta energía necesaria, que depende del tipo de metal, se denomina **trabajo de extracción** o **función trabajo** (W_{extr}, o Φ_o). También puede definirse como la energía mínima que debe tener el fotón para extraer un electrón del metal. Así, tendremos que $W_{extr} = h \cdot \upsilon_0$, donde υ_0 es la frecuencia umbral característica del metal.

Si el fotón no posee energía (frecuencia) suficiente, no podrá arrancar al electrón, y el fotón será emitido de nuevo. Esto explica la existencia de la frecuencia umbral.

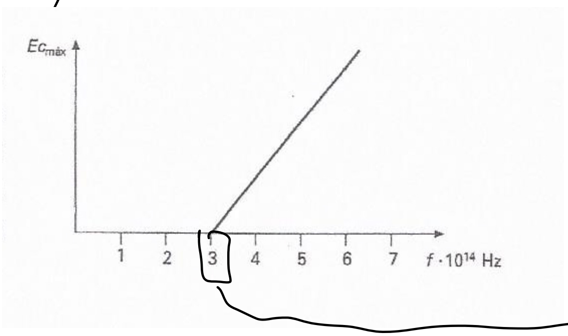
Si la energía es superior al trabajo de extracción, la energía sobrante se emplea en darle energía cinética (velocidad) a los electrones emitidos. De este modo, llegamos a la expresión:

$$E_f = W_{extr} + Ec_e \quad \rightarrow \quad h \cdot \upsilon = h \cdot \upsilon_0 + \tfrac{1}{2} m \cdot v^2$$

Así, una mayor frecuencia de la radiación significará una mayor energía cinética de los electrones, pero no un mayor nº de electrones emitidos. Y una mayor intensidad de la radiación (mayor nº de fotones) significará un mayor nº de electrones emitidos, pero no una mayor energía cinética.

(Si expresáis la frecuencia como f en vez de la letra griega ν, no la confundiréis con la velocidad v, es una recomendación).

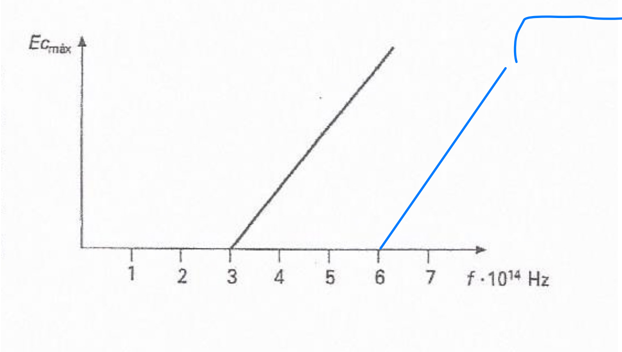
b)



i) Con una frecuencia f inferior a $f_0 = 3 \cdot 10^{14}$ Hz, se observa que no se emiten electrones ya que la energía del fotón incidente $E_{fotón} = h \cdot f$, será menor que el trabajo de extracción $W_e = h \cdot f_0$. ($E_{fotón} < W_e$)

ii) $f = 3 \cdot 10^{14}$ Hz . Se observa en la gráfica que estamos ante la frecuencia umbral $f_0 = 3 \cdot 10^{14}$ Hz, es decir, aquella frecuencia en la que $E_{fotón} = h \cdot f_0 = W_e$, y por lo tanto $E_c = 0$ (no se emiten electrones), sin embargo estaríamos ante el umbral de frecuencia a partir de la cual sí se daría el efecto fotoeléctrico

iii) Si $f > 3 \cdot 10^{14}$ Hz, se observa en la gráfica que se emiten electrones con una cierta E_c, ya que en este caso $E_{fotón} > W_e$, por lo que se daría el efecto fotoeléctrico según la ecuación de Einstein $E_{fotón} = W_e + E_{c e^-}$.



En otro metal que requiriese el doble de energía para extraer sus electrones, teniendo en cuenta que $W_e = h \cdot f_0$, al duplicar W_e, f_0 sería también el doble como se ve en la gráfica.

5

a) Einstein aplicó las hipótesis de Planck sobre la cuantización de la energía para explicar el efecto fotoeléctrico, es decir, la emisión de electrones por parte de un metal al incidir sobre él radiación electromagnética de una determinada frecuencia (frecuencia umbral) o superior. Pero llegó aún más allá en su ruptura con las teorías clásicas. Supuso que no sólo los intercambios de energía están cuantizados, sino que *la propia radiación está constituida por "partículas", llamadas **fotones**, que transportan la energía de forma discreta, concentrada en cuantos de energía*. Es decir, supuso un comportamiento corpuscular para la luz, al menos en este fenómeno. El fotón sería, pues, la partícula asociada a la onda electromagnética.

Su masa en reposo es nula y su velocidad en el vacío es $c = 3 \cdot 10^8$ ms^{-1}

La energía de un fotón viene dada por la expresión de Planck $E_f = h \cdot \upsilon$

Si se escribe f se ve más claro que con la letra griega ν, que se confunde con la velocidad v

Su cantidad de movimiento (a partir de la hipótesis de De Broglie) $p = \dfrac{E_f}{c}$

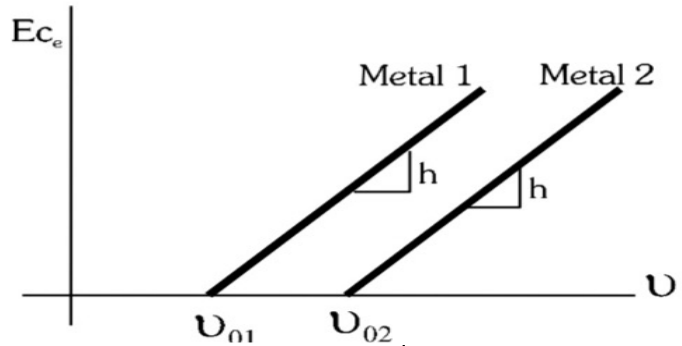
Suponiendo que la luz se comporta como una partícula, al chocar ésta con un electrón, le transmite instantáneamente toda su energía. Evidentemente, esta energía que cede al electrón dependerá de la frecuencia de la radiación.
Así, la energía de un fotón se emplea, en primer lugar, en arrancar al electrón del metal. Esta energía necesaria, que depende del tipo de metal, se denomina **trabajo de extracción** o **función trabajo** (W_{extr}, o Φ_o). También puede definirse como la energía mínima que debe tener el fotón para extraer un electrón del metal. Así, tendremos que $W_{extr} = h \cdot \upsilon_0$, donde υ_0 es la frecuencia umbral característica del metal. (También existe la longitud de onda umbral $\lambda_0 = \dfrac{c}{\upsilon_0}$).
La energía sobrante se emplea en darle energía cinética (velocidad) a los electrones emitidos. De este modo, llegamos a la expresión:

$$E_f = W_{extr} + Ec_e \quad \rightarrow \quad h \cdot \upsilon = h \cdot \upsilon_0 + \tfrac{1}{2} m \cdot v^2$$

También se usa en la forma $Ec_e = h \cdot (\upsilon - \upsilon_0)$

La gráfica de la figura se corresponde con esta última fórmula.

La pendiente de las rectas obtenidas (una distinta para cada metal) es igual a la constante de Planck.



Concepto de fotón: el fotón es una partícula portadora de la radiación electromagnética, posee masa nula y viaja en el vacío con la velocidad de la luz, siendo su energía $E = h \cdot f$,

51

b) No, para demostrarlo obtenemos una expresión de la E_c de los fotoelectrones en función de la frecuencia de la luz incidente.

$E_{fotón} = W_e + E_{ce^-}$ ⇒ Ecuación de Einstein.

$h \cdot f = W_e + E_{ce^-}$

$E_{ce^-} = h \cdot f - W_e$

$E'_{ce^-} = h \cdot \overset{\to 3f}{\boxed{f}} - W_e$

$E'_{ce} = 3hf - W_e$ ⇒ La E_c no se triplica, ya que para que se triplicase deberíamos tener $E'_{ce} = 3 \cdot (hf - W_e)$, y al incidir la radiación de frecuencia triple sobre el mismo metal, el trabajo de extracción W_e no ha cambiado

61 a)

$$E_c = 10^7 \cancel{eV} \cdot \frac{1'6 \cdot 10^{-19} J}{1 \cancel{eV}} = 1'6 \cdot 10^{-12} J.$$

Hipótesis de De Broglie $\Rightarrow \lambda = \dfrac{h}{m v}$.

Es preferible escribir la expresión de λ en función de la Ec sustituyendo v, sobre todo de cara al segundo apartado

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}}$$

En el valor de la de hay una errata

Si habéis tomado la h del ejercicio, es un valor un poco alejado, pero no pasa nada, saldrá un resultado ligeramente distinto

$$\lambda = \frac{h}{m\sqrt{\frac{2E_c}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{\frac{2E_c m^{\cancel{2}}}{\cancel{m}}}} = \frac{h}{\sqrt{2E_c m}} = \frac{\boxed{6'6 \cdot 10^{-34}}}{\sqrt{2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-12} \cdot 3'44 \cdot 10^{-25}}} = \boxed{6'28 \cdot 10^{-16} m}$$

Cambiamos la u a Kg según el valor que nos ha dado el ejercicio, utilizando factores de conversión

$$M_p = 207 \cancel{u} \cdot \frac{1'66 \cdot 10^{-27} Kg}{1 \cancel{u}} = 3'44 \cdot 10^{-25} Kg$$

61 b) Del apartado anterior sabemos que $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2E_c \cdot m}}$

$$\left.\begin{array}{l} \lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2E_c \cdot m}} \\[2ex] \lambda' = \dfrac{h}{\sqrt{2E_c' \, m}} \end{array}\right\} \dfrac{\lambda'}{\lambda} = \dfrac{\dfrac{h}{\sqrt{2E_c' \cdot m}}}{\dfrac{h}{\sqrt{2E_c \cdot m}}} \Rightarrow \dfrac{\lambda'}{\lambda} = \sqrt{\dfrac{\cancel{2}E_c \cdot \cancel{m}}{\cancel{2}E_c' \cdot \cancel{m}}} \Rightarrow \boxed{\lambda' = \sqrt{\dfrac{E_c}{E_c'}} \cdot \lambda}$$

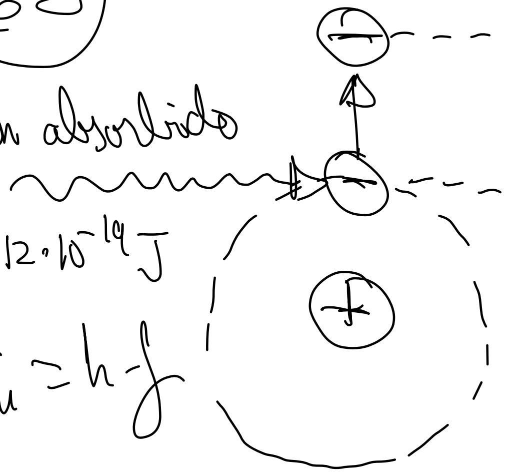
Igual m y distinta $E_c \Rightarrow \lambda'$ distinto

$$\left.\begin{array}{l} \lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2E_c \cdot m}} \\[2ex] \lambda' = \dfrac{h}{\sqrt{2\,E_c \cdot m'}} \end{array}\right\} \dfrac{\lambda'}{\lambda} = \dfrac{\dfrac{h}{\sqrt{2E_c m'}}}{\dfrac{h}{\sqrt{2E_c \cdot m}}} \Rightarrow \dfrac{\lambda}{\lambda} = \dfrac{\sqrt{\cancel{2E_c} m}}{\sqrt{\cancel{2E_c} \cdot m'}} \Rightarrow \boxed{\lambda' = \sqrt{\dfrac{m}{m'}} \cdot \lambda}$$

Igual E_c y distinta m $\Rightarrow \lambda'$ distinto

62

Fotón absorbido



$E_{fotón} = 12\cdot10^{-19}\ J$

$E_{fotón} = h\cdot f$

E_2 mayor — Estado excitado

E_1 menor — estado fundamental

La energía del fotón absorbido coincidirá con la diferencia de energía entre los dos niveles (estado fundamental y estado excitado)

$$\boxed{E_2 - E_1 = h\cdot f}$$

a) Si sobre un átomo incide un fotón, la energía de este último es absorbida por uno de los electrones, de manera que se producirá un tránsito entre dos estados electrónicos E_1 y E_2. El nuevo estado E_2 del electrón será un estado excitado, inestable, con lo que, espontáneamente, el electrón regresará a su estado fundamental, reemitiendo la energía captada al absorber la energía del cuanto.

E_2 mayor — Estado excitado

E_1 menor — Estado fundamental

fotón emitido

$E_2 - E_1 = h\cdot f$

b)

$E_{fotón} = 12\cdot10^{-19}\ J$

$W_e = 3\,\cancel{eV}\cdot\dfrac{1'6\cdot10^{-19}\ J}{1\,\cancel{eV}} = 4'8\cdot10^{-19}\ J$

$E_{fotón} > W_e$

$12\cdot10^{-19}\ J > 4'8\cdot10^{-19}\ J$

Se produce emisión fotoeléctrica

Es conveniente leer lo de abajo para adquirir mayor destreza en el vocabulario a la hora de expresar este ejercicio 62

La emisión y absorción de fotones por parte de los átomos fue explicada por Niels Bohr en 1913, a partir de sus postulados, y completada por la Teoría Cuántica. Resumiendo brevemente:

- Los estados permitidos para el electrón en el átomo están cuantizados. Sólo están permitidos ciertos estados (orbitales) a los que corresponde una energía concreta.
- Mientras un electrón permanece en un estado permitido, su energía permanece constante.
- El estado de mínima energía de un átomo, en el que los electrones ocupan los estados con menor energía posible, se denomina estado fundamental.
- Cuando uno o más electrones están ocupando estados con mayor energía que el estado fundamental, dejando vacíos niveles inferiores, se habla de que el átomo está en un estado excitado.

Emisión de fotones:

Un electrón que se encuentra en un estado excitado, volverá al cabo de cierto tiempo a ocupar un nivel vacío inferior. Para ello realiza una transición electrónica desde un orbital de mayor energía hasta otro orbital de menor energía. La diferencia de energía se desprende en forma de radiación, emitiéndose un fotón cuya energía es igual a la diferencia entre ambos niveles. Por lo tanto, sólo se emitirán fotones con energías muy concretas, a los que corresponden frecuencias muy concretas ($E_{fotón} = h \cdot \upsilon$)

Absorción de fotones:

La absorción de fotones es el proceso inverso a la emisión. Al interaccionar un fotón con un electrón, le transmite su energía. Sólo si la energía del fotón se corresponde con la diferencia de energía entre dos niveles del átomo, el electrón saltará (realizará una transición) a un estado superior. En caso contrario, el fotón será nuevamente emitido, con lo que el átomo no lo absorberá. Como consecuencia, sólo serán absorbidos fotones con energías muy concretas, lo que implica que sus frecuencias también serán muy concretas ($E_{fotón} = h \cdot \upsilon$)

(Consecuencia: Esto explica la discontinuidad de los espectros atómicos de absorción y emisión, así como el hecho de que cada elemento químico tenga su espectro característico)

69 a) $\oplus \longrightarrow \oplus \rightarrow v$ $\quad \lambda_p = \frac{h}{m \cdot v}$

$(V_A - V_B)$

a) $W_{A \to B} = \Delta E_{c_{A \to B}}$

$$e \cdot (V_A - V_B) = \frac{1}{2} m_p \cdot v_p^2 - \frac{1}{2} m_p \cancel{v_0^2}^{\,0} \Rightarrow e(V_A - V_B) = \frac{1}{2} m_p \cdot v_p^2.$$

$$v_p = \sqrt{\frac{2e(V_A - V_B)}{m_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} \cdot 3000}{1'7 \cdot 10^{-27}}} = 7'52 \cdot 10^5 \, m/s$$

$$\lambda_p = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_p \cdot v_p} = \frac{6'6 \cdot 10^{-34}}{1'7 \cdot 10^{-27} \cdot 7'52 \cdot 10^5} = 5'16 \cdot 10^{-13} \, m$$

b) $W_{A \to B} = \Delta E_{c_{A \to B}}$ → poseería la misma energía cinética. (el valor absoluto de la carga y la diferencia de potencial que lo acelera serían las mismas.)

$$e(V_A - V_B) = \boxed{E_{c_B}} - \cancel{E_{c_A}}^{\,0}$$

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e \cdot v_e} \qquad v_e = \sqrt{\frac{2e(V_A - V_B)}{m_e}}$$

$$\lambda_{e^-} = \frac{h}{m_e \cdot \sqrt{\frac{2e(V_A - V_B)}{m_e}}} \qquad \lambda_e = \frac{h}{\sqrt{\frac{m_e^2 \, 2e(V_A - V_B)}{\cancel{m_e}}}}$$

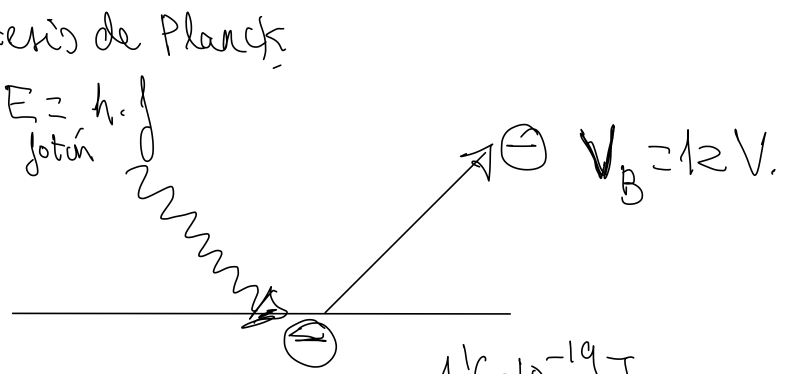
Nos conviene tener la expresión de λ_e en función de $(V_A - V_B)$ para comparar

$$\lambda_{e^-} = \frac{h}{\sqrt{m_e \, 2e(V_A - V_B)}}$$

$m_p > m_e$ → $\boxed{\lambda_p < \lambda_{e^-}}$

NO POSEEN LA MISMA λ asociada

70 a)



$\boxed{\text{MUESTRA B}}$

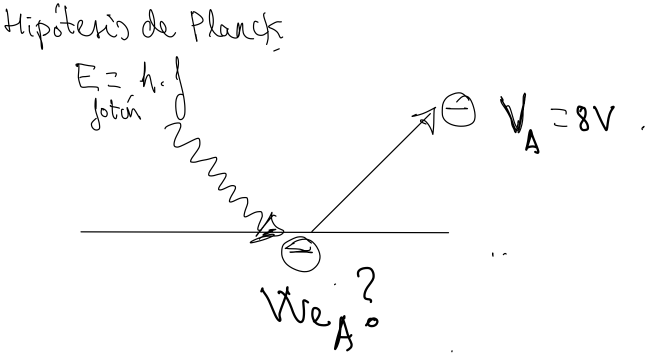
$$W_{eB} = 5\,eV \cdot \frac{1'6\cdot 10^{-19}\,J}{1\,eV} = 8\cdot 10^{-19}\,J.$$

Ecuación de Einstein $\Rightarrow$ $E_{fotón} = W_{eB} + E_{cB}$.

$$h\cdot f = W_{eB} + e\,V_B$$

$$f = \frac{W_{eB} + eV_B}{h} = \frac{8\cdot 10^{-19} + 1'6\cdot 10^{-19}\cdot 12}{6'6\cdot 10^{-34}} = 4'12\cdot 10^{15}\,Hz.$$

b)



$\boxed{\text{MUESTRA A}}$

Ecuación de Einstein.

$$E_{fotón} = W_{eA} + E_{cA}.$$

$$h\cdot f = W_{eA} + e\cdot V_A.$$

$$W_{eA} = h\cdot f - eV_A.$$

$$W_{eA} = 6'63\cdot 10^{-34}\cdot 4'12\cdot 10^{15} - 1'6\cdot 10^{-19}\cdot 8$$

$$W_{eA} = 1'45\cdot 10^{-18}\,J$$

71 a) Aunque la pregunta viene explicada en el ejercicio 44 a), considero conveniente que sigáis leyendo otra explicación diferente y así seguir adquiriendo los términos de la parte de física cuántica necesarios para explicarla.

a) Se observó que el efecto fotoeléctrico obedecía a una serie de fenómenos para los que no se encontraba explicación en los modelos clásicos, algunos de los más importantes eran:

- Solo se emiten electrones cuando la frecuencia incidente supera cierto valor f_0 llamado frecuencia umbral que es característico de cada metal.
- Por debajo de la frecuencia umbral no hay emisión, aunque se aumente la intensidad de la luz incidente.

Estas observaciones entran en contradicción con la naturaleza ondulatoria de la luz, según la cual el efecto fotoeléctrico debería producirse para cualquier frecuencia siempre que la intensidad fuese lo suficientemente elevada.

a.1) **EFECTO FOTOELÉCTRICO:** Se produce la emisión de electrones de la superficie de un meta, cuando la frecuencia de la radiación incidente (f_i) supera a una frecuencia mínima propia de cada metal, denominada frecuencia umbral (f_0).

TEORÍA ONDULATORIA: El efecto fotoeléctrico se produciría para cualquier frecuencia de la luz suficientemente intensa.

a.2) **EFECTO FOTOELÉCTRICO:** Cuando $f_i > f_0$, el número de electrones emitidos de la superficie del metal es proporcional a la intensidad de la radiación incidente.

TEORÍA ONDULATORIA: No explica que la energía cinética máxima sea independiente de la intensidad de la luz incidente.

a.3) **EFECTO FOTOELÉCTRICO:** Nunca ha sido posible medir un tiempo de retraso entre la iluminación del metal y la emisión de fotoelectrones.

TEORÍA ONDULATORIA: Si la intensidad de la luz es muy débil, debe de existir un tiempo de retraso entre el instante en que la luz incide sobre el metal y la emisión de fotoelectrones.

71 b)

Ecuación de Einstein

$$E_{fotón} = W_e + E_{c\,max}$$

$$h \cdot f = W_e + E_{c\,max}$$

$$E_{c\,max} = 2'5\,\cancel{eV} \cdot \frac{1'6 \cdot 10^{-19}\,J}{1\,\cancel{eV}} = 4 \cdot 10^{-19}\,J$$

$$W_e = h \cdot f - E_{c\,max} = 6'63 \cdot 10^{-34} \cdot 2'1 \cdot 10^{15} - 4 \cdot 10^{-19} = \boxed{9'9 \cdot 10^{-19}\,J}$$

$$W_e = h \cdot f_0$$

$$f_0 = \frac{W_e}{h} = \frac{9'9 \cdot 10^{-19}}{6'63 \cdot 10^{-34}} = 1'49 \cdot 10^{15}\,s^{-1} = 1'49 \cdot 10^{15}\,Hz.$$

78 a)

$$W_{A\to B} = \Delta E_c$$

$$e(V_A - V_B) = \frac{1}{2}mv^2 - \cancel{\frac{1}{2}mv_1^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2e(V_A-V_B)}{m}}$$

$$\lambda = \frac{h}{m\,v} = \frac{h}{m\sqrt{\frac{2e(V_A-V_B)}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{\frac{2e(V_A-V_B)\cdot m^{\cancel{2}}}{\cancel{m}}}}$$

$$\lambda_{e^-} = \frac{h}{\sqrt{2e(V_A-V_B)\cdot m_e}} \to \frac{6'6\cdot10^{-34}}{\sqrt{2\cdot1'6\cdot10^{-19}(30\cdot10^3)\cdot9'1\cdot10^{-31}}} = \boxed{7'06\cdot10^{-12}\,m}$$

b)

$$\uparrow\lambda = \frac{h}{\sqrt{\boxed{2e(V_A-V_B)}\,m\downarrow}} \xrightarrow{m_e < m_p} \boxed{\lambda_{e^-} > \lambda_p}$$

↳ mismo valor absoluto de la carga y diferencia de potencial.

$$\uparrow\lambda = \frac{h}{\downarrow m\cdot\boxed{v}} \xrightarrow[m_e<m_p]{} \boxed{\lambda_{e^-} > \lambda_p}$$

(Adapto la expresión) → misma velocidad

88 a)

La hipótesis cuántica, presentada por Max Karl Ernst Ludwig Planck, catedrático de Física teórica en la Universidad de Berlín desde 1899, el 14 de diciembre de 1900 en una reunión de la Sociedad Alemana de Física, en Berlín, trata de explicar el espectro de la radiación de un cuerpo negro -aquél que absorbe cualquier radiación que incide sobre sus paredes-, superando los resultados fallidos de la Física clásica -catástrofe ultravioleta de la ley de Rayleigh-Jeans-.

Planck supone que los átomos de las paredes del cuerpo negro se comportan como osciladores que intercambian energía con la radiación, pero, al suponer que la energía de los osciladores es discreta, y sólo puede tomar valores múltiplos del "cuanto" fundamental: $E = h\nu$ -h: constante de Planck $= 6{,}63 \times 10^{-34}$ Js; ν: frecuencia-, el intercambio de energía átomo (oscilador)/radiación sólo puede verificarse de forma discreta -cuantizada-, por múltiplos enteros de "$h\nu$". Premio Nobel en 1919.

88 (Continuación)

a)

Hipótesis de Planck $\Rightarrow$ $E_{\substack{fotón\\violeta}} = h \cdot f_{violeta} = h \cdot \dfrac{c}{\lambda_{violeta}} = 6'63 \cdot 10^{-34} \cdot \dfrac{3 \cdot 10^{8}}{3'8 \cdot 10^{-7}} = \boxed{5'23 \cdot 10^{-19} J}$

Hipótesis de Planck $\Rightarrow$ $E_{\substack{fotón\\rojo}} = h \cdot f_{rojo} = h \cdot \dfrac{c}{\lambda_{rojo}} = 6'63 \cdot 10^{-34} \cdot \dfrac{3 \cdot 10^{8}}{7'8 \cdot 10^{-7}} = \boxed{2'55 \cdot 10^{-19} J}$

b)

$$n \cdot E_{\substack{fotón\\rojo}} = E_{total}$$

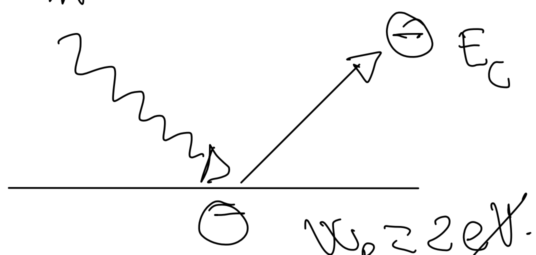
$$n \cdot h \cdot f_{rojo} = E_{total}$$

$$n = \frac{E_{total}}{h \cdot f_{rojo}} = \frac{3 J}{2'55 \cdot 10^{-19} J/fotón} = \boxed{1'18 \cdot 10^{19} \text{ fotones rojos}}$$

89

a) $E = h\cdot f = h\cdot\frac{c}{\lambda}$

$\lambda = 3\cdot10^{-7}\,m$



$W_e = 2\,\cancel{eV}\cdot\frac{1{,}6\cdot10^{-19}\,J}{1\,\cancel{eV}} = 3{,}2\cdot10^{-19}\,J$

Ecuación de Einstein $E_{fotón} = W_e + E_{c\,e^-}$

$$h\cdot\frac{c}{\lambda} = W_e + E_{c\,e^-}$$

$$E_{c\,e^-} = h\cdot\frac{c}{\lambda} - W_e = 6{,}6\cdot10^{-34}\cdot\frac{3\cdot10^{8}}{3\cdot10^{-7}} - 3{,}2\cdot10^{-19} = 3{,}4\cdot10^{-19}\,J$$

b) $\lambda_e = \frac{h}{m_e\cdot v_e} \Rightarrow \lambda_e = \frac{h}{m_e\cdot\sqrt{\frac{2E_c}{m_e}}} \Rightarrow \lambda_e = \frac{h}{\sqrt{\frac{m_e^{\cancel{2}}\cdot 2E_c}{\cancel{m_e}}}} \Rightarrow \boxed{\lambda_e = \frac{h}{\sqrt{2\,m_e E_c}}}$

$E_c = \frac{1}{2}m_e\cdot v_e^2$ $\quad v_e = \sqrt{\frac{2E_c}{m_e}}$

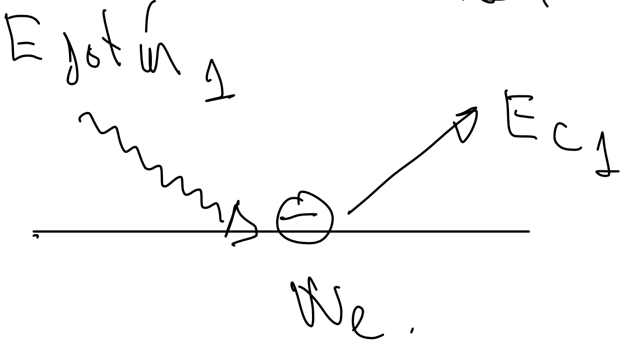
$$\lambda_{e^-} = \frac{h}{\sqrt{2m_e\cdot E_c}} = \frac{6{,}6\cdot10^{-34}}{\sqrt{2\cdot9{,}1\cdot10^{-31}\cdot3{,}4\cdot10^{-19}}} = 8{,}39\cdot10^{-10}\,m$$

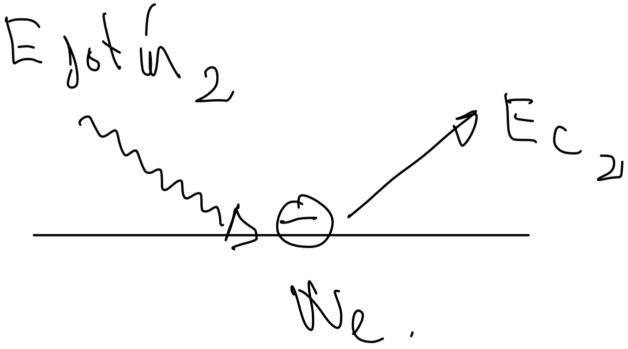
92

a) $Ec_1 = 1'85\,\cancel{eV} \cdot \dfrac{1'6\cdot 10^{-19}\,J}{1\,\cancel{eV}} = 2'96\cdot 10^{-19}\,J$

$Ec_1 = \dfrac{1}{2} m_e \cdot v_{e_1}^2 \Rightarrow v_{e_1} = \sqrt{\dfrac{2 Ec}{m_e}} = \sqrt{\dfrac{2\cdot 2'96\cdot 10^{-19}}{9'1\cdot 10^{-31}}} = 8'06\cdot 10^5\ m/s.$

b)





Igualo ambos trabajos de extracción We al tratarse del mismo material, y bajo esta suposición despejaré h

$h\cdot f_1 = W_e + Ec_1.$

$h\cdot \dfrac{c}{\lambda_1} = W_e + Ec_1.$

$W_e = h\cdot \dfrac{c}{\lambda_1} - Ec_1$

$h\cdot f_2 = W_e + Ec_2.$

$h\cdot \dfrac{c}{\lambda_2} = W_e + Ec_2.$

$W_e = h\cdot \dfrac{c}{\lambda_2} - Ec_2$

SE IGUALAN

$h\cdot \dfrac{c}{\lambda_1} - Ec_1 = h\cdot \dfrac{c}{\lambda_2} - Ec_2$

$h\cdot \dfrac{c}{\lambda_1} - h\dfrac{c}{\lambda_2} = Ec_1 - Ec_2$

$h\cdot c\left(\dfrac{1}{\lambda_1} - \dfrac{1}{\lambda_2}\right) = Ec_1 - Ec_2$

$h = \dfrac{Ec_1 - Ec_2}{c\left(\dfrac{1}{\lambda_1} - \dfrac{1}{\lambda_2}\right)} = \dfrac{2'96\cdot 10^{-19} - 1'31\cdot 10^{-19}}{3\cdot 10^{8}\left(\dfrac{1}{300\cdot 10^{-9}} - \dfrac{1}{400\cdot 10^{-9}}\right)} = 6'6\cdot 10^{-34}\ \boxed{J\cdot s}$

No olvidar sus unidades se pueden razonar por la hipótesis de Planck $E = h\cdot f$ $J : s^{-1}$

92) b) El trabajo de extracción W_e se puede calcular por cualquiera de las dos ecuaciones.

$$W_e = h \cdot \frac{c}{\lambda_1} - E_{c_1} = 6'6 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^{-9}} - 2'96 \cdot 10^{-19} = \boxed{6'6 \cdot 10^{-19} J}$$

94

a) $W_{A\to B} = \Delta E_{c_{A\to B}}$

$e\cdot(V_A - V_B) = E_{c_B} - \cancel{E_{c_A}}^{\,0}$

$E_{c_B} = e\cdot(V_A - V_B) = 1'6\cdot10^{-19}\cdot 50 = \boxed{8\cdot10^{-18}\,J.}$ $\quad \boxed{E_c = 8\cdot10^{-18}\,J}$

$E_c = \frac{1}{2} m\, v_e^2 \Rightarrow v_e = \sqrt{\frac{2E_c}{m_e}}$

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e\cdot v_e} = \frac{h}{m_e\cdot\sqrt{\frac{2E_c}{m_e}}} = \boxed{\frac{h}{\sqrt{2E_c\cdot m_e}}} = \frac{6'63\cdot10^{-34}}{\sqrt{2\cdot8\cdot10^{-18}\cdot9'1\cdot10^{-31}}} = \boxed{1'73\cdot10^{-10}\,m}$$

$(1'73\,\text{Å})$

b)

$$\boxed{\lambda_e = \frac{h}{\sqrt{2E_c m_e}}}$$

$E_c = e\cdot(V_A - V_B)$

$$\left.\begin{aligned} \lambda_e &= \frac{h}{\sqrt{2e(V_A - V_B)\cdot m_e}} \\ \lambda'_e &= \frac{h}{\sqrt{2e\,\frac{(V_A - V_B)}{2}\,m_e}} \end{aligned}\right\} \quad \frac{\lambda'_e}{\lambda_e} = \sqrt{2}$$

$\lambda'_e = \sqrt{2}\,\lambda_e.$

$\lambda'_e = \sqrt{2}\cdot 1'73\cdot10^{-10}\,m$

$\lambda'_e = 2'45\cdot10^{-10}\,m \quad (2'45\,\text{Å})$

95 a) $q\,(V_A - V_B) = \frac{1}{2} m_e \cdot v_e^2$

$$e \cdot V = \frac{1}{2} m_e v_e^2$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2eV}{m_e}}$$

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e \cdot v_e} = \frac{h}{m_e \sqrt{\frac{2eV}{m_e}}} = \frac{h}{\sqrt{2eVm_e}} = \frac{6'62 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} \cdot 20000 \cdot 9'1 \cdot 10^{-31}}} = \boxed{8'67 \cdot 10^{-12}\,m}$$

b) $\lambda_{bala} = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6'62 \cdot 10^{-34}}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 1000} = \boxed{6'62 \cdot 10^{-35}\,m}$

Como resultado hemos obtenido una longitud de onda de un valor extremadamente bajo, no medible, y ello se debe a que el valor de la masa de la bala es muy alto en comparación con el bajo valor de la constante de Planck, de ahí que el fenómeno de la dualidad onda-corpúsculo sea irrelevante en el mundo macroscópico, y por ello en este caso la bala tendrá comportamiento de partícula.

(106) a) Según la hipótesis de De Broglie, se podría asociar una longitud de onda $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$ a cualquier partícula de masa m y velocidad v

Sin embargo, este comportamiento dual onda-partícula no sería observable en cualquier partícula en movimiento, ya que partículas de masa m con valores elevados en relación con el bajo valor de la constante de Planck, $\left(\lambda = \frac{h \downarrow}{m \uparrow \cdot v}\right)$ nos darían como resultado longitudes de onda tan bajas que serían inapreciables. (completo abajo la explicación de la hipótesis de De Broglie).

a)

La dualidad onda-corpúsculo fue planteada por Louis de Broglie en 1924. Establece que, al igual que la luz tiene comportamiento corpuscular en determinadas experiencias, también las partículas (protones, electrones…) pueden comportarse como ondas. Es decir, la naturaleza tiene carácter dual, y se manifestarán las propiedades de onda o de corpúsculo, dependiendo del experimento y del proceso de medida. La onda asociada a la partícula se denomina onda de materia.

La longitud de onda de la onda de materia asociada a la partícula se calcula con la expresión

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ donde h es la constante de Planck, m la masa y v la velocidad de la partícula.

100 b) Primeramente hallamos la velocidad del electrón en función de su longitud de onda asociada:

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e \cdot v_e} \Rightarrow v_e = \frac{h}{m_e \cdot \lambda_{e^-}} = \frac{h}{m_e \cdot 100\,\lambda_n} = \frac{\cancel{h}}{m_e \cdot 100 \cdot \frac{\cancel{h}}{\sqrt{2E_c \cdot m_n}}} = \frac{\sqrt{2E_c\, m_n}}{m_e \cdot 100}$$

Nos dicen que ha de ser 100 veces mayor que la λ_n, la cual vendrá a su vez en función de su Ec.

$$\lambda_n = \frac{h}{m_n \cdot v_n} \Rightarrow \lambda_n = \frac{h}{m_n \cdot \sqrt{\frac{2E_c}{m_n}}} ; \quad \boxed{\lambda_n = \frac{h}{\sqrt{2E_c \cdot m_n}}}$$

$$E_{c_n} = \frac{1}{2} m_n \cdot v_n^2$$

$$v_n = \sqrt{\frac{2E_c}{m_n}}$$

$$\boxed{v_e = \frac{\sqrt{2E_c m_n}}{m_e \cdot 100} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9'6\cdot10^{-19} \cdot 1'69\cdot10^{-27}}}{9'11\cdot10^{-31} \cdot 100} = 624588'36\ \frac{m}{s}}$$

$$E_{c_e} = 6\,\cancel{eV} \cdot \frac{1'6\cdot10^{-19}\,J}{1\,\cancel{eV}} = 9'6\cdot10^{-19}\,J$$

$$\left(6'25\cdot10^{5}\ m/s\right)$$