

Física Cuántica: Selectividad

1. Un haz de luz monocromática de longitud de onda en el vacío 450 nm incide sobre un metal cuya longitud de onda umbral, para el efecto fotoeléctrico, es de 612 nm. Determine: a) La energía de extracción de los electrones del metal. b) La energía cinética máxima de los electrones que se arrancan del metal. Datos: Velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$. Constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ (Junio 2001, c)

$$\lambda = 450 \text{ nm} = 450 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda_0 = 612 \text{ nm} = 612 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

a) Energía de extracción o trabajo de extracción o ionización de trabajo

$$W_{\text{ext}} = h\nu_0 = h \frac{c}{\lambda_0} = 6,63 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{612 \cdot 10^{-9}} = 3,25 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$\boxed{W_{\text{ext}} = 3,25 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

b) $E_{\text{fotón}} = E_{e^-} + W_{\text{ext}}$

$$E_{\text{fotón}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{450 \cdot 10^{-9}} = 4,42 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$E_c = E_{\text{fotón}} - W_{\text{ext}} = 4,42 \cdot 10^{-19} - 3,25 \cdot 10^{-19} = 1,17 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$\boxed{E_c = 1,17 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

2. Un cierto haz luminoso provoca efecto fotovoltaico en un determinado metal. Explique cómo se modifica el número de fotoelectrones y su energía cinética si: a) aumenta la intensidad del haz luminoso; b) aumenta la frecuencia de la luz incidente c) disminuye la frecuencia de la luz por debajo de la frecuencia umbral del metal. d) ¿Cómo se define la magnitud trabajo de extracción? (Junio 2004, c)

a) Si aumenta la intensidad del haz luminoso, aumenta el n.º de fotones por unidad de tiempo y de área, por lo que aumenta el n.º de fotoelectrones, es decir el n.º de e⁻ emitidos. $I = \frac{P}{S} = \frac{E/t}{S}$

b) Si se aumenta la ν de la luz incidente, aumenta la energía que es proporcional $E = h\nu$

c) $\nu < \nu_0$, no se produce efecto fotoeléctrico y no se emiten fotoelectrones

d) W_{ext} es la energía mínima necesaria que tiene que tener la radiación incidente para que se produzca el efecto fotoeléctrico y es característica de cada metal.

3. La longitud de onda umbral de la luz utilizada para la emisión de electrones en un metal por efecto fotoeléctrico es la correspondiente al color amarillo. Explique si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones: a) Iluminando con la luz amarilla umbral, si duplicamos la intensidad de luz duplicaremos también la energía cinética de los electrones emitidos. b) Iluminando con luz ultravioleta no observaremos emisión de electrones. (Septiembre 2008, c)

a) Si se duplica la intensidad de la luz, se duplica el n.º de fotones incidentes, lo que produce un aumento del n.º e⁻ emitidos (cada fotón libera un electrón) pero no se duplica su energía cinética máxima.

$$b) \lambda_{UV} < \lambda_{amarillo} \Rightarrow \nu_{UV} > \nu_{amarillo} \Rightarrow E_{UV} > E_{amarillo}$$

Al ser mayor la Energía de la luz UV, se producirá efecto fotoeléctrico y por tanto emisión de e⁻. Además, como el metal tendrá su frecuencia umbral característica y por tanto un trabajo de extinción, la E_C de los e⁻ será mayor.

$$\left. \begin{array}{l} E_{amarillo} = E_{C_1} + W_e \\ E_{UV} = E_{C_2} + W_e \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} E_{amarillo} - E_{C_1} = W_e \\ E_{UV} - E_{C_2} = W_e \end{array} \right\}$$

$$E_{amarillo} - E_{C_1} = E_{UV} - E_{C_2} \Rightarrow E_{UV} - E_{amarillo} = E_{C_2} - E_{C_1} > 0$$

$$\boxed{E_{C_2} > E_{C_1} \Rightarrow \nu_2 > \nu_1}$$

4. Los foto electrones expulsados de la superficie de un metal por una luz de 400 nm de longitud de onda en el vacío son frenados por una diferencia de potencial de 0'8 V. a) Determine la función de trabajo del metal. b) ¿Qué diferencia de potencial se requiere para frenar los electrones expulsados de dicho metal por una luz de 300 nm de longitud de onda en el vacío? Datos: Valor absoluto de la carga del electrón e = 1'6.10⁻¹⁹ C Constante de Planck h = 6'63.10⁻³⁴ J.s Velocidad de la luz en el vacío c = 3.10⁸ m s⁻¹ (Septiembre 2002)

$$\lambda = 400 \text{ nm} = 400 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$

$$\Delta V = 0'8 \text{ V}$$

$$h = 6'63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$e = 1'6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

a) $E_{Freno} = E_C + W_{ext.}$

$$E_C = \frac{1}{2} mv^2 = q \Delta V = e \Delta V$$

$$E_C = 1'6 \cdot 10^{-19} \cdot 0'8 = 1'28 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$E_{foton} = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = 6'63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} = 4'9725 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$W_{ext} = E_{Freno} - E_C = 4'9725 \cdot 10^{-19} - 1'28 \cdot 10^{-19}$$

$$\boxed{W_{ext} = 4'84 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

$$\boxed{W_{ext} = 3'69 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

- b) $\lambda = 300 \text{ nm.}$ Calculamos la E_C a partir de W_{ext} que es característica del metal y E_{foton}

$$E_{foton} = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = 6'63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^{-9}} = 6'63 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$W_{ext} = 3'69 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$E_C = E_{foton} - W_{ext} = 6'63 \cdot 10^{-19} - 3'69 \cdot 10^{-19} = 2'94 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_C = q \Delta V$$

$$\Delta V = \frac{E_C}{e} = \frac{2'94 \cdot 10^{-19}}{1'6 \cdot 10^{-19}} = 1'84 \text{ V}$$

$$\boxed{\Delta V = 1'84 \text{ V}}$$

- 5 Un metal tiene una frecuencia umbral de $4 \cdot 5 \cdot 10^{14}$ Hz para el efecto fotoeléctrico. a) Si el metal se ilumina con una radiación de $4 \cdot 10^{-7}$ m de longitud de onda ¿cuál será la energía cinética y la velocidad de los electrones emitidos? b) Si el metal se ilumina con otra radiación distinta de forma que los electrones emitidos tengan una energía cinética el doble que en el caso anterior ¿cuál será la frecuencia de esta radiación? Datos: Valor absoluto de la carga del electrón $e = 1 \cdot 6 \cdot 10^{-19}$ C Masa del electrón en reposo $m_e = 9 \cdot 1 \cdot 10^{-31}$ kg Constante de Planck $h = 6 \cdot 63 \cdot 10^{-34}$ J.s Velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \cdot 10^8$ m s⁻¹ (Septiembre 2003)

$$\nu_0 = 4 \cdot 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$c) \lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$E_{\text{fotón}} = E_c + W_{\text{ext.}} \quad W_{\text{ext.}} = h\nu_0 = 6 \cdot 63 \cdot 10^{-34} \cdot 4 \cdot 5 \cdot 10^{14} = 2 \cdot 98 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{\text{fotón}} = h\nu = h\frac{c}{\lambda} = 6 \cdot 63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 4 \cdot 97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_c = E_{\text{fotón}} - W_{\text{ext.}} = 4 \cdot 97 \cdot 10^{-19} - 2 \cdot 98 \cdot 10^{-19} = 1 \cdot 99 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\boxed{\begin{array}{l} E_c = 1 \cdot 99 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ | \quad V = \frac{1}{2} mv^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot 99 \cdot 10^{-19}}{9 \cdot 1 \cdot 10^{-31}}} = 6 \cdot 62 \cdot 10^5 \text{ m/s} \end{array}}$$

b)

$$E'_c = 2E_c = 2 \cdot 1 \cdot 99 \cdot 10^{-19} = 3 \cdot 98 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$E'_{\text{fotón}} = E'_c + W_{\text{ext.}} = 3 \cdot 98 \cdot 10^{-19} + 2 \cdot 98 \cdot 10^{-19} = 6 \cdot 96 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E'_{\text{fotón}} = h\nu' \quad \nu' = \frac{E'}{h} = \frac{6 \cdot 96 \cdot 10^{-19}}{6 \cdot 63 \cdot 10^{-34}} = 1 \cdot 05 \cdot 10^{15} \text{ Hz} \quad \boxed{\nu' = 1 \cdot 05 \cdot 10^{15} \text{ Hz}}$$

6. La energía mínima necesaria para extraer un electrón del sodio es de 2,3 eV. Explique si se producirá el efecto fotoeléctrico cuando se ilumina una lámina de sodio con las siguientes radiaciones: a) Luz roja de longitud de onda 680 nm. b) Luz azul de longitud de onda 360 nm. Datos: Constante de Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J s; Velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \cdot 10^8$ m/s Valor absoluto de la carga del electrón $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

$W_{\text{ext.}}$ = energía mínima para extraer $1e^-$ de un metal

$$W_{\text{ext.}} = 2,3 \text{ eV} \quad 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$W_{\text{ext.}} = 2,3 \text{ eV} = 2,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad W_{\text{ext.}}(\text{sodio}) = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

a) Luz roja de 680 nm $\rightarrow \lambda = 680 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$

$$E_{\text{fotón}} = h\nu = h\frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{680 \cdot 10^{-9}} = 2,925 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

Como $E_p < W_{\text{ext.}}$ $2,925 \cdot 10^{-19} \text{ J} < 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ NO SE PRODUCE EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

b) Luz azul de 360 nm $\rightarrow \lambda = 360 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$

$$E_{\text{fotón}} = h\nu = h\frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{360 \cdot 10^{-9}} = 5,525 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 5,53 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

Como $E_p > W_{\text{ext.}}$ $5,53 \cdot 10^{-19} > 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ SI SE PRODUCE EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

7. El trabajo de extracción para el sodio es de 2,5 eV. Calcule: a) La longitud de onda de la radiación que debemos usar para que los electrones salgan del metal con una velocidad máxima de 10^7 m.s^{-1} . b) La longitud de onda de De Broglie asociada a los electrones que salen del metal con la velocidad de 10^7 ms^{-1} . Datos: Constante de Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$; Velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ Valor absoluto de la carga del electrón $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; masa del electrón $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ (Septiembre 2004, c)

$$W_{\text{ext}} = 2,5 \text{ eV} \quad 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$W_{\text{ext}} = 2,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{a)} \quad V = 10^7 \text{ m/s} \Rightarrow E_C = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (10^7)^2 = 4,55 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

$$E_{\text{fotón}} = E_C + W_{\text{ext}} \rightarrow E_{\text{fotón}} = 4,55 \cdot 10^{-17} + 4 \cdot 10^{-19} = 4,59 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

$$E_{\text{fotón}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_{\text{fotón}}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4,59 \cdot 10^{-17}} = 4,33 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\boxed{\lambda = 4,33 \cdot 10^{-9} \text{ m}} \quad 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} \rightarrow \boxed{\lambda = 4,33 \text{ nm}}$$

$$\text{b)} \quad \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^7} = 7,28 \cdot 10^{-11} \text{ m} \quad \boxed{\lambda = 7,28 \cdot 10^{-11} \text{ m}}$$

$$\text{c) brev } \lambda = 7,28 \cdot 10^{-11} \text{ nm}$$

8. El potencial de frenado de los electrones emitidos por la plata cuando se incide sobre ella con luz de longitud de onda de 200 nm es 1,48 V. Deduzca: a) La función de trabajo (o trabajo de extracción) de la plata, expresada en eV. b) La longitud de onda umbral en nm para que se produzca el efecto fotoeléctrico. Datos: Constante de Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$; Velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ Valor absoluto de la carga del electrón $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. (Junio 2008, c)

$$\text{a)} \quad \Delta V = 1,48 \text{ V} \quad \lambda = 200 \text{ nm} = 200 \cdot 10^{-9} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad E_{\text{fotón}} = E_C + W_{\text{ext}}$$

$$E_C = q \Delta V = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,48 = 2,368 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{\text{fotón}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-7}} = 9,945 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$W_{\text{ext}} = E_{\text{fotón}} - E_C = 9,945 \cdot 10^{-19} - 2,368 \cdot 10^{-19} = 7,577 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 7,58 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\boxed{W_{\text{ext}} = 7,58 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \quad \text{en eV} \rightarrow W_{\text{ext}} = 7,58 \cdot 10^{-19} \text{ J} \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

$$\boxed{W_{\text{ext}} = 4,74 \text{ eV}}$$

$$\text{b)} \quad W_{\text{ext}} = h\nu_0 = h \frac{c}{\lambda_0} \quad \lambda_0 = \frac{hc}{W_{\text{ext}}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{7,58 \cdot 10^{-19}} = 2,62 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_0 = 2,62 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ nm}}{10^{-9} \text{ m}} = 262 \text{ nm} \quad \boxed{\lambda = 262 \text{ nm}}$$

9. En un experimento de efecto fotoeléctrico un haz de luz de 500 nm de longitud de onda incide sobre un metal cuya función de trabajo (o trabajo de extracción) es de 2,1 eV. Analice la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones: a) Los electrones arrancados pueden tener longitudes de onda de De Broglie menores que 10^{-9} m. b) La frecuencia umbral del metal es mayor que 10^{14} Hz. Datos: Constante de Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js; Velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \cdot 10^8$ m/s Masa del electrón $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg; Valor absoluto de la carga del electrón $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C (Modelo 2008, c)

$$\lambda = 500 \text{ nm} \quad W_{ext} = 2,1 \text{ eV} = 2,1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,36 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Rightarrow \lambda = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$

a) $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ Tenemos que calcular la v. máxima con la que es emitida cada e⁻. Para ello, calcularemos la E_c máxima.

$$E_{FOTON} = E_c + W_{ext}$$

$$E_{FOTON} = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{500 \cdot 10^{-9}} = 3,978 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_c = E_{FOTON} - W_{ext} = 3,978 \cdot 10^{-19} - 3,36 \cdot 10^{-19} = 6,18 \cdot 10^{-20} \text{ J.}$$

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 \rightarrow 6,18 \cdot 10^{-20} = \frac{1}{2} 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2$$

$$\boxed{v = 3,68 \cdot 10^5 \text{ m/s}} \quad v_{max} = 3,68 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3,68 \cdot 10^5} = 1,97 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$

La λ mínima que pueden tener los e⁻ emitidas es $1,97 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

$$\boxed{\lambda = 1,97 \cdot 10^{-9} \text{ m} > 10^{-9} \text{ m}} \quad \text{FALSA} \quad \text{Cuanto menor sea } v, \text{ mayor es } \lambda$$

b) $W_{ext} = 3,36 \cdot 10^{-19} \text{ J} \rightarrow W_{ext} = hn_0 \quad n_0 = \frac{W_{ext}}{h} = \frac{3,36 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 5,067 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

$$\boxed{n_0 = 5,07 \cdot 10^{14} \text{ Hz} > 10^{14} \text{ Hz}} \Rightarrow \text{VERDADERA}$$

10. Un electrón de un átomo salta desde un nivel de energía de 5 eV a otro inferior de 3 e.V., emitiéndose un fotón en el proceso. Calcule la frecuencia y la longitud de onda de la radiación emitida, si ésta se propaga en el agua. Datos: Índice de refracción n agua = 1,33 Velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \cdot 10^8$ m/s Constante de Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js Valor absoluto de la carga del electrón $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C (Modelo 2007, c)

$$\Delta E = hn \rightarrow \Delta E = 5 - 3 = 2 \text{ eV} = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$n = \frac{\Delta E}{h} = \frac{3,2 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 4,826 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$n = 4,826 \cdot 10^{14} \approx 4,83 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

n en el aire y en el agua
pues n es característica

$$\left. \begin{array}{l} c = \lambda_0 n \\ v = \lambda_0 n \end{array} \right\}$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{4,83 \cdot 10^{14}} = 6,21 \cdot 10^{-7} \text{ m.}$$

no depende del medio,
y depende de la energía

$$\boxed{\lambda_0 = 6,21 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \quad \text{en el aire}$$

$$\rightarrow \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \rightarrow n = \frac{c}{v} \rightarrow n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{6,21 \cdot 10^{-7}}{1,33}$$

$$\boxed{\lambda = 4,67 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \quad \text{en el agua}$$

11. Una fuente de luz monocromática emite una radiación electromagnética con una longitud de onda de $4.8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, y una potencia de 20 W. ¿Cuál es la energía de cada fotón? ¿Cuántos fotones por segundo emite esta fuente? DATOS: h , c

$$\lambda = 4.8 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad P = 20 \text{ W}$$

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{4.8 \cdot 10^{-7}} = 4.14 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

| La energía de cada fotón es $4.14 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ |

$$P = 20 \text{ W} \Rightarrow P = \frac{W}{t} = 20 \text{ J/s} \Rightarrow \text{La fuente emite } 20 \text{ J cada segundo}$$

$$n = \frac{P}{E} = \frac{20 \text{ J/s}}{4.14 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 4.83 \cdot 10^{19} \text{ fotones/s}$$

| $n = 4.83 \cdot 10^{19} \text{ fotones/s}$ |

12. Un láser de longitud de onda 650 nm tiene una potencia de 12 mW y un diámetro de haz de 0,82 mm. Calcular: a) la intensidad del haz b) el número de fotones por segundo que viajan con el haz. DATOS: h , c

$$\lambda = 650 \text{ nm} = 650 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$P = 12 \text{ mW} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

$$d = 0.82 \text{ mm} \rightarrow r = 0.41 \text{ mm} = 0.41 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{a)} \quad I = \frac{P}{S} = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{\pi r^2} = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{\pi (0.41 \cdot 10^{-3})^2} = 2.27 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2 \quad | I = 2.27 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2 |$$

$$\text{b)} \quad n = \frac{P}{E} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \text{ J/s}}{E} \quad E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = 6.63 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{650 \cdot 10^{-9}} = 3.06 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$n = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{3.06 \cdot 10^{-19}} = 3.92 \cdot 10^{16} \text{ fotones/s} \quad | n = 3.92 \cdot 10^{16} \text{ fotones/s} |$$

13. Dos partículas poseen la misma energía cinética. Determine en los dos casos siguientes: a) La relación entre las longitudes de onda de De Broglie correspondientes a las dos partículas, si la relación entre sus masas es $m_1 = 50 m_2$. b) La relación que existe entre las velocidades, si la relación entre sus longitudes de onda de De Broglie es $\lambda_1 = 500 \lambda_2$. (Junio 2010, c)

$$E_{C_1} = E_{C_2} \quad m_1 = 50 m_2$$

$$\text{a)} \quad \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \rightarrow 50 m_2 v_1^2 = m_2 v_2^2 \rightarrow v_2 = \sqrt{50} v_1$$

$$\lambda_1 = \frac{h}{p_1} = \frac{h}{m_1 v_1} \quad \lambda_2 = \frac{h}{p_2} = \frac{h}{m_2 v_2} \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{h/m_1 v_1}{h/m_2 v_2} \rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{m_2 v_2}{m_1 v_1}$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{m_2 \sqrt{50} v_1}{50 m_2 v_1} \rightarrow \boxed{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\sqrt{50}}{50}} \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{5\sqrt{2}}{50} = \frac{\sqrt{2}}{10} \quad \boxed{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\sqrt{2}}{10}}$$

$$\text{b)} \quad \lambda_1 = 500 \lambda_2$$

$$\lambda_1 = \frac{h}{m_1 v_1} \quad \lambda_2 = \frac{h}{m_2 v_2} \rightarrow v_1 = \frac{h}{\lambda_1 m_1} \quad \text{y} \quad v_2 = \frac{h}{\lambda_2 m_2}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{h/\lambda_1 m_1}{h/\lambda_2 m_2} \rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_2 m_2}{\lambda_1 m_1} \rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_2 m_2}{500 \lambda_1 m_1} \rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{500 m_1} \quad (1)$$

$$E_{C_1} = E_{C_2} \rightarrow \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1^2}{v_2^2} \quad (2) \rightarrow \text{Con (1) y (2)} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1^2}{500 v_2^2}$$

$$3 = \frac{v_1}{500 v_2} \rightarrow \boxed{v_1 = 500 v_2}$$

14. Una partícula alfa y un protón tienen la misma energía cinética. Considerando que la masa de la partícula alfa es cuatro veces la masa del protón: a) ¿Qué relación existe entre los momentos lineales de estas partículas? b) ¿Qué relación existe entre las longitudes de onda de De Broglie correspondiente a estas partículas?

$$E_{\text{Ca}} = E_{\text{Cp}} \quad m_{\alpha} = 4m_p \quad \text{a)} \quad p_{\alpha} = m_{\alpha}v_{\alpha} \quad p_p = m_p v_p \quad \frac{p_{\alpha}}{p_p} = \frac{m_{\alpha}v_{\alpha}}{m_p v_p} \quad \boxed{\frac{p_{\alpha}}{p_p} = \frac{4m_p v_{\alpha}}{m_p v_p}}$$

$$\rightarrow \frac{1}{2}m_{\alpha}v_{\alpha}^2 = \frac{1}{2}m_p v_p^2 \rightarrow \frac{1}{2}(4m_p v_{\alpha}^2) = \frac{1}{2}m_p v_p^2 \rightarrow v_p = 2v_{\alpha} \rightarrow \frac{p_{\alpha}}{p_p} = \frac{4m_p v_{\alpha}}{m_p 2v_{\alpha}}$$

$$\boxed{\frac{p_{\alpha}}{p_p} = 2} \quad \boxed{p_{\alpha} = 2p_p}$$

$$\text{b)} \quad \lambda_{\alpha} = \frac{h}{p_{\alpha}} \quad \lambda_p = \frac{h}{p_p} \quad \left. \begin{array}{l} \lambda_{\alpha} = \frac{h}{p_{\alpha}} \\ \lambda_p = \frac{h}{p_p} \end{array} \right\} \quad \frac{\lambda_{\alpha}}{\lambda_p} = \frac{h/p_{\alpha}}{h/p_p} \rightarrow \frac{\lambda_{\alpha}}{\lambda_p} = \frac{p_p}{p_{\alpha}} = \frac{p_p}{2p_p} = \frac{1}{2} \rightarrow \boxed{\frac{\lambda_{\alpha}}{\lambda_p} = \frac{1}{2}} \quad \boxed{\lambda_p = 2\lambda_{\alpha}}$$

15. Calcule en los dos casos siguientes la diferencia de potencial con que debe ser acelerado un protón que parte del reposo para que después de atravesar dicho potencial: a) El momento lineal del protón sea 10^{-21} kg m s⁻¹. b) La longitud de onda de De Broglie asociada al protón sea $5 \cdot 10^{-13}$ m. Datos: Carga del protón $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C; Masa del protón $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ kg. Constante de Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s

$$\text{a)} \quad p_p = 10^{-21} \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad p_p = m_p \cdot v_p \quad m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$v_p = \frac{p_p}{m_p} = \frac{10^{-21}}{1,672 \cdot 10^{-27}} = 5,98 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

$$q_p \Delta V = \frac{1}{2}mv_p^2 \rightarrow 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot \Delta V = \frac{1}{2} \cdot 1,672 \cdot 10^{-27} \cdot (5,98 \cdot 10^5)^2$$

$$\boxed{\Delta V = 1869 \text{ V}}$$

$$\text{b)} \quad \lambda_p = 5 \cdot 10^{-13} \text{ m} \quad \lambda = \frac{h}{p} \rightarrow p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{5 \cdot 10^{-13}} = 1,326 \cdot 10^{-21} \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (*)$$

$$p = mv \quad v = \frac{p}{m} = \frac{1,326 \cdot 10^{-21}}{1,672 \cdot 10^{-27}} = 7,93 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

$$q \cdot \Delta V = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow \Delta V = \frac{mv^2}{2q} = \frac{1,672 \cdot 10^{-27} \cdot (7,93 \cdot 10^5)^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 3286 \text{ V}$$

$$\boxed{\Delta V = 3286 \text{ V}}$$

16. Un protón que parte del reposo es acelerado por una diferencia de potencial de 10 V. Determine: a) La energía que adquiere el protón expresada en e.V. y su velocidad en m/s; b) La longitud de onda de De Broglie asociada al protón moviéndose con la velocidad anterior. Datos: Constante de Planck = $6,63 \cdot 10^{-34}$ J s; Masa del protón = $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg; Carga del protón = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C (Septiembre 2005, c)

$$\Delta V = 10 \text{ V} \quad \text{a)} \quad E_c = \frac{1}{2}mv^2 = q\Delta V \rightarrow E_c = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 = 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ J} \quad \boxed{E_c = 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ J}}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad E_c = 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 10 \text{ eV} \quad \boxed{E_c = 10 \text{ eV}}$$

$$\text{También } E_c = q\Delta V = 1 \cdot 10 = 10 \text{ eV}$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-18}}{1,67 \cdot 10^{-27}}} = 4,38 \cdot 10^4 \text{ m/s} \quad \boxed{v = 4,38 \cdot 10^4 \text{ m/s}}$$

$$\text{b)} \quad \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad \lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 4,38 \cdot 10^4} = 9,07 \cdot 10^{-12} \text{ m} \quad \boxed{\lambda = 9,07 \cdot 10^{-12} \text{ m}}$$

17. Dos partículas no relativistas tienen asociada la misma longitud de onda de De Broglie. Sabiendo que la masa de una de ellas es el triple que la masa de la otra, determina: a. La relación entre sus momentos lineales. b. La relación entre sus velocidades. (Septiembre 2001, c)

$$\lambda_1 = \lambda_2 \quad m_1 = 3m_2$$

$$b) \quad \begin{cases} p_1 = m_1 v_1 \\ p_2 = m_2 v_2 \end{cases} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1 v_1}{m_2 v_2} \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{3m_2 v_1}{m_2 v_2} \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{3v_1}{v_2}$$

$$\text{Por otra parte} \quad \lambda_1 = \frac{h}{p_1} = \frac{h}{m_1 v_1} \quad \text{y} \quad \lambda_2 = \frac{h}{m_2 v_2}$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{h/m_1 v_1}{h/m_2 v_2} \rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{m_2 v_2}{m_1 v_1} = \frac{m_2 v_2}{3m_2 v_1} = \frac{v_2}{3v_1}$$

$$\text{Como} \quad \lambda_1 = \lambda_2 \rightarrow 1 = \frac{v_2}{3v_1} \rightarrow \boxed{v_2 = 3v_1}$$

$$c) \quad \lambda_1 = \frac{h}{p_1} \quad \lambda_2 = \frac{h}{p_2} \rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{h/p_1}{h/p_2} = \frac{p_2}{p_1} \rightarrow 1 = \frac{p_2}{p_1} \quad \boxed{p_1 = p_2}$$

18. Determine la longitud de onda de De Broglie y la energía cinética, expresada en eV, de: a) un electrón cuya longitud de onda de De Broglie es igual a la longitud de onda en el vacío de un fotón de energía 104 eV; b) una piedra de masa 80 g que se mueve con una velocidad de 2 m/s. Datos: Constante de Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$; Velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ Masa del electrón $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; Valor absoluto de la carga del electrón $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (Septiembre 2007, c)

$$a) \quad \lambda \rightarrow E = 104 \text{ eV} = 104 \text{ eV} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 1,664 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,664 \cdot 10^{-17}} = 1,195 \cdot 10^{-8} \text{ m.}$$

$$\boxed{\lambda = 1,195 \cdot 10^{-8} \text{ m}} \quad \lambda = \frac{h}{mv} \rightarrow v = \frac{h}{m\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,195 \cdot 10^{-8}}$$

$$v = 6,096 \cdot 10^4 \text{ m/s} \approx 6,1 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

$$\boxed{v = 6,1 \cdot 10^4 \text{ m/s}}$$

$$\boxed{E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (6,1 \cdot 10^4)^2 = 1,69 \cdot 10^{-21} \text{ J}}$$

$$b) \quad m = 0,08 \text{ kg} \quad v = 2 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{0,08 \cdot 2} \quad \boxed{\lambda = 6,66 \cdot 10^{-34} \text{ m}} \rightarrow \text{DESPRECIABLE por ser tan pequeña}$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,08 \cdot 2^2 = 0,16 \text{ J} \quad \boxed{E = 0,16 \text{ J}}$$

19. A una partícula material se le asocia la llamada longitud de onda de De Broglie. a) ¿Qué magnitudes físicas determinan el valor de la longitud de onda de De Broglie? ¿Pueden dos partículas distintas con diferente velocidad tener asociada la misma longitud de onda de De Broglie? b) ¿Qué relación existe entre las longitudes de onda de De Broglie de dos electrones cuyas energías cinéticas vienen dadas por 2 eV y 8 eV? (Septiembre 2003, c)

a) $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ Se le asocia la masa de la partícula y su velocidad.

$$\lambda = \frac{h}{m_1 v_1} = \frac{h}{m_2 v_2} \quad m_1 v_1 = m_2 v_2 \Rightarrow \boxed{p_1 = p_2} \quad \text{Que tengan el mismo momento lineal}$$

b) $E_{C_1} = 2 \text{ eV}$ $E = \frac{1}{2} mv^2 \Rightarrow E_{C_1} = 2 \text{ eV} \cdot \frac{1'6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 3'2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 $E_{C_2} = 8 \text{ eV}$ $E_{C_2} = 8 \text{ eV} \cdot \frac{1'6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 12'8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$m_1 = m_2 = m_e \quad E_{C_1} = \frac{1}{2} m_e v_1^2 \rightarrow \frac{E_{C_1}}{E_{C_2}} = \frac{\frac{1}{2} m_e v_1^2}{\frac{1}{2} m_e v_2^2} \rightarrow \frac{3'2 \cdot 10^{-19}}{12'8 \cdot 10^{-19}} = \frac{v_1^2}{v_2^2} \rightarrow \frac{v_1^2}{v_2^2} = 0'25$$

$$E_{C_2} = \frac{1}{2} m_e v_2^2 \rightarrow$$

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_1 = \frac{h}{m_e v_1} \\ \lambda_2 = \frac{h}{m_e v_2} \end{array} \right\} \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\frac{h}{m_e v_1}}{\frac{h}{m_e v_2}} \rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{m_e v_2}{m_e v_1} = \frac{v_2}{v_1} \quad \text{Como } \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 = 0'25$$

$$\frac{v_1}{v_2} = 0'5 \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_2}{0'5 v_2} \rightarrow \boxed{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 2} \quad \boxed{\lambda_1 = 2 \lambda_2}$$

20. Calcule en los dos casos siguientes la diferencia de potencial con que debe ser acelerado un protón que parte del reposo para que después de atravesar dicho potencial: a) El momento lineal del protón sea $10^{-21} \text{ kg.m.s}^{-1}$ b) La longitud de onda de De Broglie asociada al protón sea $5 \cdot 10^{-13} \text{ m}$ Datos: Carga del protón $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; Masa del protón $m = 1'67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ Constante de Planck $h = 6'63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ (Junio 2006, c)

a) $p = 10^{-21} \text{ kg m/s}$ $E = q \Delta V = \frac{1}{2} mv^2$

$$p = mv \rightarrow v = \frac{p}{m} = \frac{10^{-21}}{1'67 \cdot 10^{-27}} = 5'933 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

$$\Delta V = \frac{mv^2}{2q} = \frac{1'67 \cdot 10^{-21} \cdot (5'933 \cdot 10^5)^2}{2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19}} = 1871'25 \text{ V} \quad \boxed{\Delta V = 1871'25 \text{ V}}$$

b) $\lambda = 5 \cdot 10^{-13} \text{ m}$ $\lambda = \frac{h}{p} \quad p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6'63 \cdot 10^{-34}}{5 \cdot 10^{-13}} = 1'326 \cdot 10^{-21} \text{ kg m/s}$

$$v = \frac{p}{m} = \frac{1'326 \cdot 10^{-21}}{1'67 \cdot 10^{-27}} = 7'94 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

$$\Delta V = \frac{mv^2}{2q} = \frac{1'67 \cdot 10^{-21} \cdot (7'94 \cdot 10^5)^2}{2 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19}} = 3290'12 \text{ V}$$

$$\boxed{\Delta V = 3290'12 \text{ V}}$$

21. a) ¿Qué velocidad ha de tener un electrón para que su longitud de onda de De Broglie sea 200 veces la correspondiente a un neutrón de energía cinética 6 e.V? b) ¿Se puede considerar que el electrón a esta velocidad es no relativista? Datos: Masa del electrón = $9'1 \cdot 10^{-31}$ kg Masa del neutrón = $1'7 \cdot 10^{-27}$ kg Velocidad de la luz en el vacío = $3 \cdot 10^8$ m/s Carga del electrón = $1'6 \cdot 10^{-19}$ C (Junio 2002, c)

$$a) \lambda_e = 200 \lambda_n \quad E_{cn} = 6 \text{ eV} = 6 \cdot 1'6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 9'6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad \text{por ser } 1 \text{ eV} = 1'6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda \rightarrow \lambda_e = \frac{h}{m_e v_e} \quad \lambda_n = \frac{h}{m_n v_n} \rightarrow \frac{\lambda_e}{\lambda_n} = 200 \frac{m_n}{m_e v_n} \quad v_e = \frac{m_n v_n}{200 m_e}$$

$$v_e = \frac{1'7 \cdot 10^{-27} \cdot v_n}{200 \cdot 9'1 \cdot 10^{-31}} \quad v_e = 9'34 v_n \quad E_{cn} = \frac{1}{2} m_n v_n^2 \rightarrow 9'6 \cdot 10^{-19} = \frac{1}{2} \cdot 1'7 \cdot 10^{-27} \cdot v_n^2$$

$$v_n = \sqrt{\frac{2 \cdot 9'6 \cdot 10^{-19}}{1'7 \cdot 10^{-27}}} = 3'36 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

$$v_e = 9'34 v_n = 9'34 \cdot 3'36 \cdot 10^4 \quad \boxed{v_e = 3'138 \cdot 10^5 \text{ m/s}}$$

$$b) \text{ Si. } v_e \ll c \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9'1 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{1 - \frac{(3'138 \cdot 10^5)^2}{(3 \cdot 10^8)^2}}} = 9'1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

22. Justifique si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones, según la teoría de la relatividad especial:
 a) La masa de un cuerpo con velocidad v respecto de un observador es menor que su masa en reposo. b) La energía de enlace del núcleo atómico es proporcional al defecto de masa nuclear Δm . (Junio 2008, c)

a) FALSO. La masa de un cuerpo con velocidad v respecto de un observador aumenta según
 $m \rightarrow$ masa en movimiento
 $m_0 \rightarrow$ masa en reposo
 $c \rightarrow$ velocidad de la luz

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Como $v < c \quad 1 - \frac{v^2}{c^2} > 0 \quad \frac{v}{c} < 1$

b) VERDADERO. Ppt de conservación de la energía: La energía que se libera al formarse el atomo es: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \quad \Delta m = Z \cdot m_p + (A-Z) m_N - M_{atomo}$
 $\Delta m > 0$
 La defecto masivo

23. La energía en reposo de un electrón es 0,511 MeV. Si el electrón se mueve con una velocidad $v = 0,8 c$, siendo c la velocidad de la luz en el vacío: a) ¿Cuál es la masa relativista del electrón para esta velocidad? b) ¿Cuál es la energía relativista total? Datos: Valor absoluto de la carga del electrón $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C Velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \cdot 10^8$ m/s (Septiembre 2009, c)

$$a) m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad v = 0,8c \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{0,36}} = \frac{m_0}{0,6}$$

$$\boxed{m = 1'66 m_0}$$

$$E_0 = m_0 c^2 \rightarrow \text{Calculamos la masa en reposo} \rightarrow m_0 = \frac{E_0}{c^2} = \frac{0,511 \text{ MeV}}{c^2} \frac{10^6 \text{ eV}}{1 \text{ MeV}} \frac{1'6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{(3 \cdot 10^8)^2}$$

$$m_0 = 9'08 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$$

$$m = \frac{m_0}{0,6} \quad \boxed{m = 1'51 \cdot 10^{-30} \text{ Kg}}$$

$$b) E = mc^2 \rightarrow E = 1'51 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 1'362 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 1'362 \cdot 10^{-13} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1'6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \cdot \frac{1 \text{ MeV}}{10^6 \text{ eV}}$$

$$\boxed{E = 0'851 \text{ MeV}}$$