

1. a) Comente la siguiente frase: “debido a la desintegración del  $^{14}\text{C}$ , cuando un ser vivo muere se pone en marcha un reloj...” ¿En qué consiste la determinación de la antigüedad de los yacimientos arqueológicos mediante el  $^{14}\text{C}$ ?

b) ¿Qué es la actividad de una muestra radiactiva? ¿De qué depende?

2. Cuando se ilumina un metal con un haz de luz monocromática se observa emisión fotoeléctrica.

a) Explique, en términos energéticos, dicho proceso.

b) Si se varía la intensidad del haz de luz que incide en el metal, manteniéndose constante su longitud de onda, ¿variará la velocidad máxima de los electrones emitidos? ¿Y el número de electrones emitidos en un segundo? Razone las respuestas.

3. a) Calcule el defecto de masa de los núclidos  $^{11}_5\text{B}$  y  $^{222}_{86}\text{Rn}$  razone cuál de ellos es más estable.

b) En la desintegración del núcleo  $^{222}_{86}\text{Rn}$  se emiten dos partículas alfa y una beta, obteniéndose un nuevo núcleo. Indique las características del núcleo resultante.

$m_{\text{B}} = 11,009305 \text{ u}$ ;  $m_{\text{Rn}} = 222,017574 \text{ u}$ ;  $m_{\text{p}} = 1,007825 \text{ u}$ ;  $m_{\text{n}} = 1,008665 \text{ u}$

4. Un haz de electrones se acelera con una diferencia de potencial de 30 kV.

a) Determine la longitud de onda asociada a los electrones.

b) Se utiliza la misma diferencia de potencial para acelerar electrones y protones. Razone si la longitud de onda asociada a los electrones es mayor, menor o igual a la de los protones. ¿Y si los electrones y los protones tuvieran la misma velocidad?

$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $m_{\text{e}} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

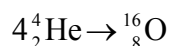
5. Sobre una superficie de sodio metálico inciden simultáneamente dos radiaciones monocromáticas de longitudes de onda  $\lambda_1 = 500 \text{ nm}$  y  $\lambda_2 = 560 \text{ nm}$ . El trabajo de extracción del sodio es 2,3 eV.

a) Determine la frecuencia umbral de efecto fotoeléctrico y razone si habría emisión fotoeléctrica para las dos radiaciones indicadas.

b) Explique las transformaciones energéticas en el proceso de fotoemisión y calcule la velocidad máxima de los electrones emitidos.

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ;  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $m_{\text{e}} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

6. Imagine una central nuclear en la que se produjera energía a partir de la siguiente reacción nuclear:



a) Determine la energía que se produciría por cada kilogramo de helio que se fusionase.

b) Razone en cuál de los dos núcleos anteriores es mayor la energía de enlace por nucleón.  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ;  $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  $m(\text{}^4_2\text{He}) = 4,0026 \text{ u}$ ;

$m(\text{}^{16}_8\text{O}) = 15,9950 \text{ u}$ ;  $m_{\text{p}} = 1,007825 \text{ u}$ ;  $m_{\text{n}} = 1,008665 \text{ u}$

7. Todas las fuerzas que existen en la naturaleza se explican como manifestaciones de cuatro interacciones básicas: gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil.

- Explique las características de cada una de ellas.
- Razone por qué los núcleos son estables a pesar de la repulsión eléctrica entre sus protones.

8. Razone si la longitud de onda de de Broglie de los protones es mayor o menor que la de los electrones en los siguientes casos:

- ambos tienen la misma velocidad.
- ambos tienen la misma energía cinética.

9. La actividad de  $^{14}\text{C}$  de un resto arqueológico es de 60 desintegraciones por segundo. Una muestra actual de idéntica composición e igual masa posee una actividad de 360 desintegraciones por segundo. El periodo de semidesintegración del  $^{14}\text{C}$  es 5700 años.

- Explique a qué se debe dicha diferencia y calcule la antigüedad de la muestra arqueológica.
- ¿Cuántos núcleos  $^{14}\text{C}$  tiene la muestra arqueológica en la actualidad?  
¿Tienen las dos muestras el mismo número de átomos de carbono? Razone las respuestas.

10. Un fotón incide sobre un metal cuyo trabajo de extracción es 2 eV. La energía cinética máxima de los electrones emitidos por ese metal es 0,47 eV.

a) Explique las transformaciones energéticas que tienen lugar en el proceso de fotoemisión y calcule la energía del fotón incidente y la frecuencia umbral de efecto fotoeléctrico del metal.

b) Razone cuál sería la velocidad de los electrones emitidos si la energía del fotón incidente fuera 2 eV.

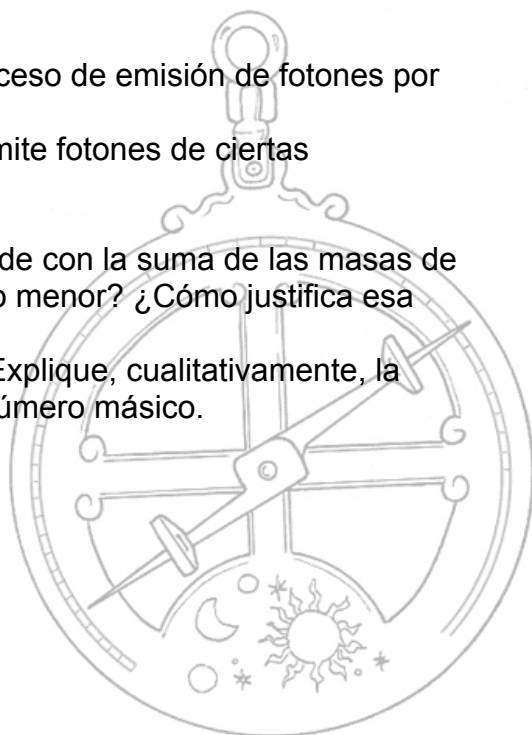
$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J s} ; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

11. a) Explique, en términos de energía, el proceso de emisión de fotones por los átomos en un estado excitado.

b) Razone por qué un átomo sólo absorbe y emite fotones de ciertas frecuencias.

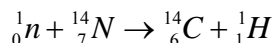
12. a) La masa de un núcleo atómico no coincide con la suma de las masas de las partículas que los constituyen. ¿Es mayor o menor? ¿Cómo justifica esa diferencia?

b) ¿Qué se entiende por estabilidad nuclear? Explique, cualitativamente, la dependencia de la estabilidad nuclear con el número másico.

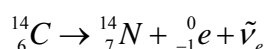


1.- a) Esta técnica es muy utilizada para datar objetos que contengan restos humanos, animales o vegetales.

El C-14 se forma por la acción de los rayos cósmicos, que al interactuar con las capas altas de la atmósfera, producen neutrones que colisionan con núcleos de N-14 y originan el C-14 según la reacción:



El isótopo formado se mezcla con el isótopo estable C-12 en el medio ambiente y a través del proceso de intercambio, es ingerido por los seres vivos. Una vez que el ser vivo fallece, el proceso de intercambio cesa y la proporción de C-14 comienza a disminuir por desintegración beta, según el siguiente proceso:



Así pues, midiendo la proporción residual de C-14 en la muestra y teniendo en cuenta que el periodo de semidesintegración es de 5730 años, puede determinarse la antigüedad de un resto arqueológico.

b) La actividad de una sustancia radiactiva es el número de desintegraciones que se producen en un segundo, depende de dos factores, del tipo de sustancia, que introducimos a través de la constante de desintegración radiactiva de la muestra ( $\lambda$ ) y del número de átomos que contenga la muestra (N). La podemos representar de la siguiente forma:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N$$

el signo negativo se debe a que el número de átomos de la muestra va disminuyendo.

2.- a) Si al iluminar la superficie metálica con luz de una determinada longitud de onda se produce fotoemisión, significa que esta tiene una frecuencia mayor que cierto valor  $f_0$  que se denomina **frecuencia umbral**, y que es característico de cada metal. Por debajo de este valor no hay fotoemisión.

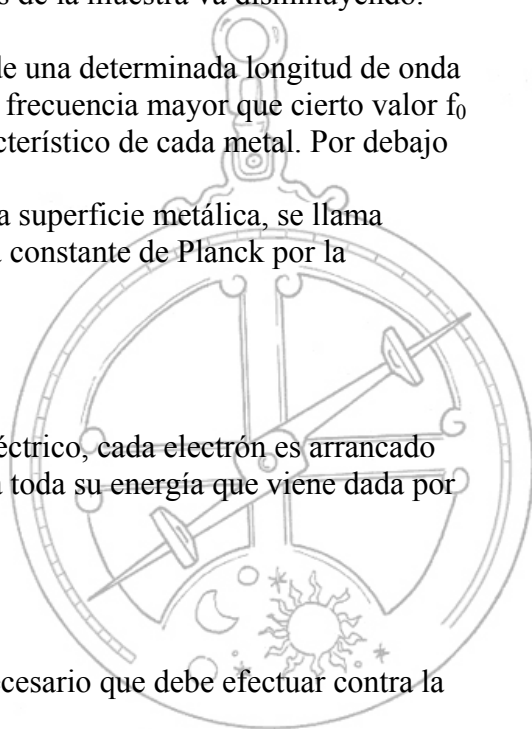
El trabajo necesario para arrancar un electrón de la superficie metálica, se llama **trabajo de extracción** y se calcula multiplicando la constante de Planck por la frecuencia umbral

$$W_{ext} = h \cdot f_0$$

Según la explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico, cada electrón es arrancado del átomo por el choque con un fotón que le entrega toda su energía que viene dada por la expresión

$$E_{fotón} = h \cdot f$$

el electrón transforma dicha energía en el trabajo necesario que debe efectuar contra la



2.- a) (continuación) fuerza de atracción electrostática que lo liga al átomo ( $W_{\text{ext}}$ ). La energía restante es la energía cinética que adquiere el electrón una vez extraído de la superficie metálica, es decir

$$E_{\text{fotón}} = W_{\text{ext}} + E_{\text{electrón}}$$

o bien

$$h \cdot f = h \cdot f_0 + \frac{1}{2} m_e \cdot v^2$$

b) Al variar la intensidad de la luz incidente, varía el número de fotones pero no la energía de cada uno, que sólo depende de la frecuencia, por lo tanto, variará el número de electrones emitidos en un segundo, pero lo harán con la misma energía cinética y en consecuencia, con la misma velocidad.

3.- a) El defecto de masa se calcula mediante la expresión:

$$\Delta m = \sum m_{\text{nucleones}} - m_{\text{núcleo}}$$

aplicando esta ecuación al caso del isótopo  $^{11}_5\text{B}$  nos quedaría

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_N - m(^{11}_5\text{B}) = 5 \cdot 1,007825u + 6 \cdot 1,008665u - 11,009305u = 0,08181u$$

como el boro tiene 11 nucleones, el defecto de masa por nucleón es

$$\frac{\Delta m}{\text{nucleón}} = \frac{0,08181u}{11 \text{ nucleones}} = 7,44 \cdot 10^{-3} \frac{u}{\text{nucleón}}$$

Hacemos el mismo cálculo para el  $^{222}_{86}\text{Rn}$

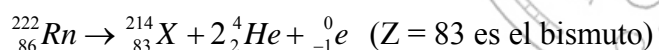
$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_N - m(^{222}_{86}\text{Rn}) = 86 \cdot 1,007825u + 136 \cdot 1,008665u - 222,017825u = 1,83357u$$

como el radón tiene 222 nucleones, el defecto de masa por nucleón es

$$\frac{\Delta m}{\text{nucleón}} = \frac{1,83357u}{222 \text{ nucleones}} = 8,26 \cdot 10^{-3} \frac{u}{\text{nucleón}}$$

Es más estable el radón, al tener mayor defecto de masa por nucleón.

b) Cada emisión alfa disminuye el número másico en 4 unidades y el número atómico en 2 unidades. Cada emisión beta no cambia el número másico y aumenta el atómico en 1 unidad, en consecuencia el nuevo núcleo será:



4.- a) El trabajo eléctrico se transforma en energía cinética

$$E_c = W_{elec} \quad \frac{1}{2} m_e v_e^2 = e \cdot V \quad v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m_e}}$$

sustituimos la velocidad en la expresión de De Broglie

$$\lambda = \frac{h}{m_e v_e} = \frac{h}{m_e \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m_e}}} = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m_e \cdot e \cdot V}} = 7,06 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

b) Tanto el protón como el electrón tienen la misma carga (e), por lo tanto, la expresión que relaciona la longitud de onda asociada es la que hemos deducido en el apartado anterior

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot e \cdot V}}$$

El potencial de aceleración es el mismo para las dos partículas y la masa del protón es mayor que la del electrón, en consecuencia la longitud de onda asociada al electrón será mayor que la del protón

$$\lambda_e > \lambda_p$$

Si los electrones y los protones tuvieran la misma velocidad, solo hemos de fijarnos en la expresión de De Broglie y en la relación de masas de ambas partículas, para llegar a igual conclusión que en el caso anterior

$$\lambda_e > \lambda_p$$

5.- a) Calculamos la frecuencia umbral  $W_{ext} = 2,3 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

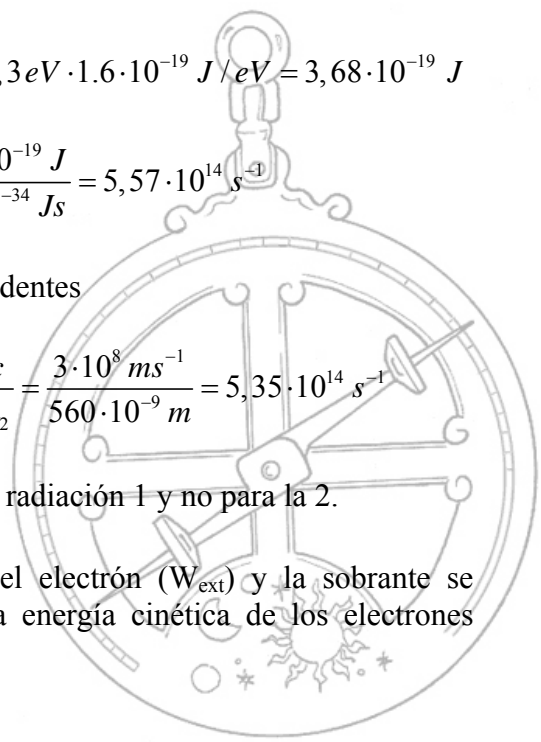
$$W_{ext} = h \cdot f_0 \quad f_0 = \frac{W_{ext}}{h} = \frac{3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}} = 5,57 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

calculamos la frecuencia de las dos radiaciones incidentes

$$f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{500 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} \quad f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{560 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 5,35 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

como  $f_1 > f_0$  y  $f_2 < f_0$  habrá fotoemisión para la radiación 1 y no para la 2.

b) La energía del fotón se emplea en arrancar el electrón ( $W_{ext}$ ) y la sobrante se convierte en energía cinética. Solo calculamos la energía cinética de los electrones emitidos con la radiación 1



5.- b) (continuación)

$$E_C = E_{\text{fotón1}} - W_{\text{ext}} = h \cdot f_1 - W_{\text{ext}}$$

$$E_C = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 6 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} - 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,8 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

calculamos la velocidad de los electrones  $E_C = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2$

$$v = \sqrt{\frac{2E_C}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,8 \cdot 10^{-20} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 248069 \text{ ms}^{-1}$$

6.- a) Calculamos el defecto de masa de la reacción  $4 {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_8^{16}\text{O}$

$$\Delta m = 4m({}_2^4\text{He}) - m({}_8^{16}\text{O}) = 0,0154 u$$

lo transformamos a unidades del S. I.

$$\Delta m = 0,0154 u \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} / u = 2,56 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

calculamos la energía liberada en la fusión de cuatro átomos de helio, aplicando la ecuación de Einstein

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 2,3 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

calculamos la masa en kg de cuatro átomos de helio

$$m = 4 \cdot 4,0026 u \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} / u = 2,66 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

establecemos la proporción

$$\frac{2,66 \cdot 10^{-26} \text{ kg He}}{2,3 \cdot 10^{-12} \text{ J}} = \frac{1 \text{ kg He}}{x} \quad x = 8,65 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

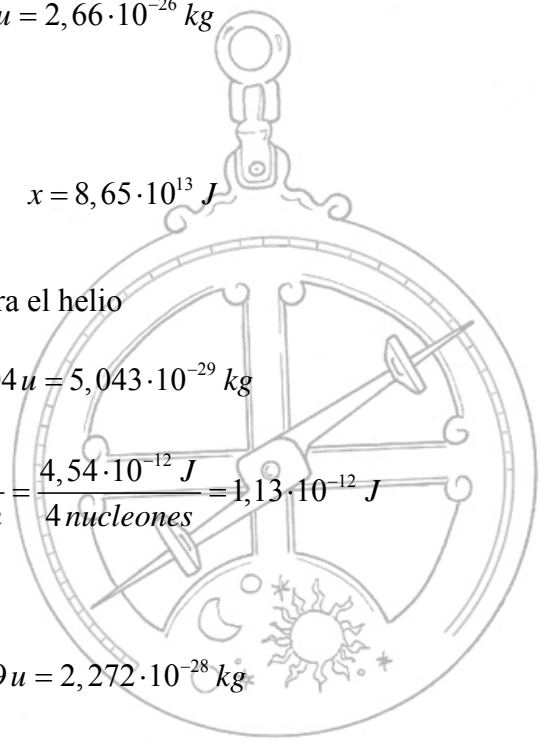
b) Calculamos la energía de enlace por nucleón para el helio

$$\Delta m = 2m_p + 2m_n - m({}_2^4\text{He}) = 0,0304 u = 5,043 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

$$E_{\text{ent}} = \Delta m \cdot c^2 = 4,54 \cdot 10^{-12} \text{ J} \quad \frac{E_{\text{ent}}}{\text{nucleón}} = \frac{4,54 \cdot 10^{-12} \text{ J}}{4 \text{ nucleones}} = 1,13 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

y para el oxígeno

$$\Delta m = 8m_p + 8m_n - m({}_8^{16}\text{O}) = 0,1369 u = 2,272 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$$



6.- b) (continuación)

$$E_{ent} = \Delta m \cdot c^2 = 2,04 \cdot 10^{-11} \text{ J} \quad \frac{E_{ent}}{\text{nucleón}} = \frac{2,04 \cdot 10^{-11} \text{ J}}{16 \text{ nucleones}} = 1,27 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

vemos que es mayor la energía de enlace por nucleón en el oxígeno, como era de suponer, en caso contrario no se produciría la fusión.

7.- VER TEORÍA

8.- a) Si los electrones y los protones tuvieran la misma velocidad, solo hemos de fijarnos en la expresión de De Broglie

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

y en la relación de masas de ambas partículas ( $m_p > m_e$ ), para llegar a la siguiente conclusión

$$\lambda_p < \lambda_e$$

b) Partiendo de la ecuación de la energía cinética despejamos el momento lineal

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad p = m v = \frac{2 E_c}{v}$$

sustituimos en la ecuación de De Broglie  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h \cdot v}{2 E_c}$

como tienen la misma energía cinética

$$\lambda_e = \frac{h \cdot v_e}{2 E_c} \quad \lambda_p = \frac{h \cdot v_p}{2 E_c}$$

dividiendo ambas expresiones  $\frac{\lambda_e}{\lambda_p} = \frac{v_e}{v_p}$

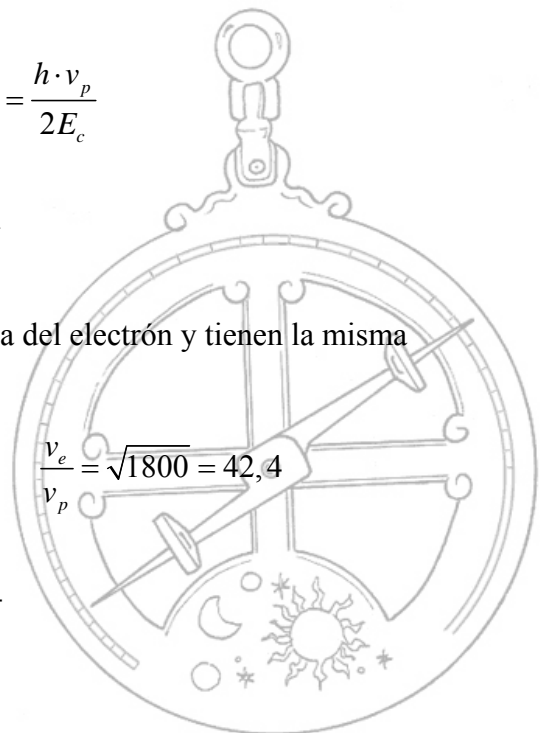
como la masa del protón es 1800 veces mayor que la del electrón y tienen la misma energía cinética podemos escribir

$$\frac{1}{2} 1800 m_e v_p^2 = \frac{1}{2} m_e v_e^2 \quad \text{con lo que}$$

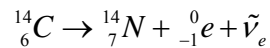
por lo tanto

$$\frac{\lambda_e}{\lambda_p} = \frac{v_e}{v_p} = 42,4$$

es decir  $\lambda_p < \lambda_e$



9.- a) El isótopo C-14, formado en las capas altas de la atmósfera, se mezcla con el isótopo estable C-12 en el medio ambiente y a través del proceso de intercambio, es ingerido por los seres vivos. Una vez que el ser vivo fallece, el proceso de intercambio cesa y la proporción de C-14 comienza a disminuir por desintegración beta, según el siguiente proceso:



La actividad de una muestra radiactiva se puede expresar de la siguiente manera

$$Act = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N$$

dividiendo ambas actividades entre sí y aplicando la ley de desintegración radiactiva, obtenemos

$$\frac{Act}{Act_0} = \frac{\lambda \cdot N}{\lambda \cdot N_0} = \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

sustituyendo los valores de las actividades y la constante de desintegración por su relación con el periodo de semidesintegración

$$\frac{60}{360} = \frac{1}{6} = e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$$

aplicamos logaritmos neperianos

$$-\ln 6 = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t \quad t = \frac{\ln 6}{\ln 2} \cdot 5700 \text{ años} = 14734 \text{ años}$$

b) Aplicando la ecuación de la actividad (60 desintegraciones/s) y teniendo cuidado de expresar el periodo de semidesintegración en segundos (S.I.), obtenemos

$$N = \frac{Act}{\lambda} = \frac{Act \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{60 \text{ des/s} \cdot 1,8 \cdot 10^{11} \text{ s}}{\ln 2} = 1,56 \cdot 10^{13} \text{ átomos C-14}$$

En cuanto al número de átomos de carbono (de todos los isótopos), es menor en el resto arqueológico que en la muestra moderna, ya que cuando el C-14 se desintegra por emisión  $\beta$ , da lugar a N-14 como hemos visto en el apartado anterior.

10.- a) Al chocar el fotón contra el electrón, la energía del fotón se emplea en arrancar el electrón ( $W_{ext}$ ) y la sobrante se convierte en energía cinética en el electrón.

Calculamos ambas energías en unidades del S. I.

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

$$E_c = 0,47 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 7,52 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$



10.- a) (continuación) Aplicamos el principio de conservación de la energía al choque fotón electrón

$$E_{\text{fotón}} = W_{\text{ext}} + E_c = 3,952 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Calculamos la frecuencia umbral

$$f_0 = \frac{W_{\text{ext}}}{h} = \frac{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}} = 4,85 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

b) Si la energía del fotón incidente fuera igual al trabajo de extracción del metal, el electrón sería arrancado del átomo pero no tendría energía cinética, en consecuencia su velocidad sería cero.

11.- a) Cuando el electrón de un átomo es excitado, absorbe energía y pasa a órbitas superiores. Cuando cesa la causa de la excitación, regresa al nivel fundamental y emite una energía en forma de fotones que es igual a la diferencia de energía de los niveles involucrados en dicha transición.

b) Los niveles de energía de un átomo están cuantizados, esto significa que solo son permitidos aquellos que contengan una energía que sea múltiplo del cuanto de acción de Planck. Los átomos solo emitirán o absorberán aquellas energías que corresponden a diferencias de energía entre los distintos niveles.

12.- a) Se ha medido la masa de muchos núcleos atómicos mediante técnicas de espectrometría de masas. Esto ha permitido comprobar que la masa de los núcleos es menor que la suma de las masas de los nucleones que los componen. Esta diferencia de masas es conocida como **defecto de masa**,  $\Delta m$ :

$$\Delta m = \sum m_{\text{nucleones}} - m_{\text{núcleo}}$$

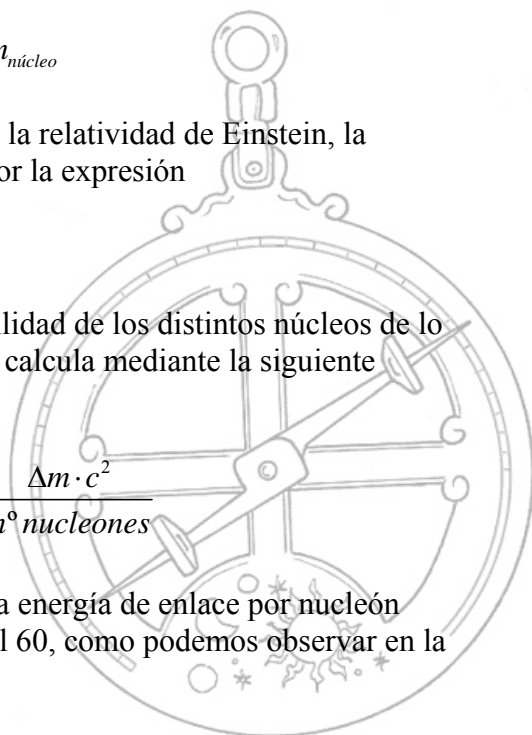
El defecto de masa explica, a la luz de la teoría de la relatividad de Einstein, la estabilidad que adquiere el núcleo que viene dada por la expresión

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

b) El parámetro que nos permite comparar la estabilidad de los distintos núcleos de los átomos es la **energía de enlace por nucleón** que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\frac{E_{\text{ent}}}{\text{nucleón}} = \frac{\Delta E}{\text{n}^\circ \text{ nucleones}} = \frac{\Delta m \cdot c^2}{\text{n}^\circ \text{ nucleones}}$$

los núcleos más estables son aquellos que tienen una energía de enlace por nucleón mayor, es decir aquellos que están en torno al níquel 60, como podemos observar en la siguiente gráfica



12.- b) (continuación)

