

8.19 Cuestiones y Problemas resueltos de «Interacción nuclear»**Cuestiones**

1) a) La masa de un núcleo atómico no coincide con la suma de las masas de las partículas que lo 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.

Problemas

Datos: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $1 \cdot u = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,49 \text{ MeV}/c^2$

1) El cloro tiene dos isótopos naturales, el cloro-35 ($^{35}_{17}\text{Cl}$) y el cloro-37 ($^{37}_{17}\text{Cl}$). El 75,53% de los átomos son de cloro-35, cuya masa atómica es de $34,96885 \cdot u$, y el 24,47% restante de cloro-37, de masa atómica $36,96590 \cdot u$. Calcule la masa atómica del elemento químico cloro y el peso atómico. [$35,457 \cdot u$; $35,457$]

Solución:

$$M_a(\text{Cl}) = m_{(^{35}_{17}\text{Cl})} \times \frac{75,53}{100} + m_{(^{37}_{17}\text{Cl})} \times \frac{24,47}{100}$$

$$M_a(\text{Cl}) = 34,96885 \cdot u \times \frac{75,53}{100} + 36,96590 \cdot u \times \frac{24,47}{100} = 35,457 \cdot u \quad \left\{ \text{Pa}(\text{Cl}) = \frac{M_a(\text{Cl})}{1u} = 35,457 \right.$$

2) Determine la energía de enlace del núcleo $^{56}_{26}\text{Fe}$. Datos: $m_{\text{atómica}}(^{56}_{26}\text{Fe}) = 55,9349 \cdot u$; $m_H = 1,00783 \cdot u$; $m_n = 1,00866 \cdot u$.

Solución:

El isótopo tiene 26 protones, $Z = 26$ y $N = 30$. La masa atómica del isótopo es $55,9349 \cdot u$

$$E_{\text{enlace}} = [Z m_H + (A - Z) m_n - m_{\text{atómica}}] \times \frac{931,49 \text{ MeV}}{u}$$

$$E_{\text{enlace}} = [(26 \times 1,00783 \cdot u + 30 \times 1,00866 \cdot u) - (55,9349 \cdot u)] \times \frac{931,49 \text{ MeV}}{u} = 492,3 \text{ MeV}$$

La energía de enlace es muy grande, la energía equivale a más de la mitad de la masa de un protón o de un neutrón.

3) Determine el defecto de masa y la energía de enlace por nucleón del isótopo helio-4: ^4_2He . Datos: $m(^4_2\text{He}) = 4,0026033$; $m_p = 1,00728 \cdot u$; $m(^1_1\text{H}) = 1,007825 \cdot u$; $m_n = 1,00866 \cdot u$. [$0,0303667 \cdot u$; $7,07 \text{ MeV}$]

Solución:

$$^4_2\text{He} \rightarrow 2 ^1_1\text{H} + 2 ^1_0\text{n} \quad \left\{ E_{\text{enlace}} = \Delta m \cdot c^2 \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta m = 2(m_p + m_e) + 2m_n - (m_{\text{núcleo}} + 2m_e) \\ \Delta m = 2m_{\text{H(atómica)}} + 2m_n - m_{\text{He(atómica)}} \end{array} \right.$$

$$\Delta m = 2 m_H + 2 m_n - m_{He} = 2 \times 1,007825 \cdot u + 2 \times 1,00866 \cdot u - 4,0026033 \cdot u = 0,0303667 \cdot u$$

$$E_{\text{enlace}} = \Delta m \cdot c^2 J = \Delta m \cdot \frac{931,49 \text{ MeV}}{u} = 0,0303667 \cdot u \times \frac{931,49 \text{ MeV}}{u} = 28,286 \text{ MeV}$$

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{enlace}}}{A} = \frac{28,286 \text{ MeV}}{4} = 7,07 \text{ MeV}$$

4) El isótopo cesio-137, $^{137}_{55}\text{Cs}$, es una fuente de rayos gamma en los laboratorios. La vida media es de 30 años. Determine: a) los átomos de cesio-137 que hay en una fuente de actividad 5,0 μCi y la masa del isótopo cesio-137; b) la actividad de la fuente al cabo de 10 años. Dato: $M_a(^{137}_{55}\text{Cs}) = 136,907078 \cdot u$; $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. [a) $2,525 \cdot 10^{14}$ átomos; 0,057 μg ; b) 4,0 μCi]

Solución:

Un becquerel es igual a una desintegración por segundo: $1 \text{ Ci} = 3,70 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.

$$\text{Actividad: } 5,0 \mu\text{Ci} = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ Ci} \times \frac{3,70 \cdot 10^{10} \text{ Bq}}{1 \text{ Ci}} = 1,85 \cdot 10^5 \text{ Bq}$$

$$\text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = kN = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N \quad \left\{ k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{30 \text{ años}} = \frac{\ln 2}{9,4608 \cdot 10^8 \text{ s}} = 7,3265 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1} \right.$$

$$N = \frac{-\frac{dN}{dt}}{k} = \frac{1,85 \cdot 10^5 \text{ Bq}}{7,3265 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}} = \frac{1,85 \cdot 10^5 \frac{\text{desintegraciones}}{\text{s}}}{7,3265 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}} = 2,525 \cdot 10^{14} \text{ núcleos}$$

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{2,525 \cdot 10^{14} \text{ átomos}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 4,193 \cdot 10^{-10} \text{ mol}$$

$$m(^{137}_{55}\text{Cs}) = n \times M_a = 4,193 \cdot 10^{-10} \text{ mol} \times 136,907078 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 5,74046 \cdot 10^{-8} \text{ g} = 0,057 \mu\text{g}$$

$$N = N_0 e^{-kt} = 2,525 \cdot 10^{14} \text{ núcleos} \times e^{-\frac{\ln 2}{30 \text{ años}} \times 10 \text{ años}} = 2,0041 \cdot 10^{14} \text{ núcleos}$$

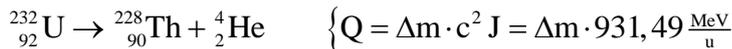
$$\text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = kN = 7,3265 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1} \times 2,0041 \cdot 10^{14} \text{ núcleos} = 146.829,9 \text{ Bq}$$

$$\text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = 146.829,9 \text{ Bq} \times \frac{1 \text{ Ci}}{3,70 \cdot 10^{10} \text{ Bq}} = 3,968 \cdot 10^{-6} \text{ Ci} = 4,0 \mu\text{Ci}$$

5) Calcula la energía cinética de la partícula- α emitida y la del isótopo torio-228, desde el isótopo de uranio-232. El proceso de desintegración es: $^{232}_{92}\text{U} \rightarrow ^{228}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$, siendo las masas: $m(^{232}_{92}\text{U}) = 232,1095 \cdot u$; $m(^{228}_{90}\text{Th}) = 228,0998 \cdot u$; $m(^4_2\text{He}) = 4,0039 \cdot u$. [$E_c(\text{Th}) = 92,8 \text{ keV}$; $E_c(\text{alfa}) = 5,288 \text{ MeV}$]

Solución:

A partir de la ecuación



$$\Delta m = m_{{}_{90}^{228}\text{Th}} + m_{{}_2^4\text{He}} - m_{{}_{92}^{232}\text{U}} = 228,0998 \cdot \text{u} + 4,003923 \cdot \text{u} - 232,1095 \cdot \text{u} = -5,777 \cdot 10^{-3} \cdot \text{u}$$

$$Q = \Delta m \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{\text{u}} = (-5,777 \cdot 10^{-3} \cdot \text{u}) \times 931,49 \frac{\text{MeV}}{\text{u}} = -5,3812 \text{ MeV}$$

Al ser $Q < 0$ el proceso es espontáneo. La energía se distribuye entre la partícula alfa y el núcleo hijo en proporción inversa a sus masas.

$$E'_c(\text{Th}) = \frac{p'_{\text{Th}}}{2m_{\text{Th}}} = \frac{Qm_{\alpha}}{m_{\text{Th}} + m_{\alpha}} = \frac{5,3812 \text{ MeV} \times 4,003923 \cdot \text{u}}{228,0998 \cdot \text{u} + 4,003923 \cdot \text{u}} = 0,09283 \text{ MeV}$$

$$E'_c(\alpha) = \frac{p'_{\alpha}}{2m_{\alpha}} = \frac{Qm_{\text{Th}}}{m_{\text{Th}} + m_{\alpha}} = \frac{5,3812 \text{ MeV} \times 228,0998 \cdot \text{u}}{228,0998 \cdot \text{u} + 4,003923 \cdot \text{u}} = 5,28837 \text{ MeV}$$

Las energías de los fragmentos de un cuerpo, inicialmente en reposo en el sistema-L, que explota en dos fragmentos de masas m_1 y m_2 . Si el cuerpo está inicialmente en reposo, su momento lineal total es cero, después de la explosión los dos fragmentos separados en dirección opuesta con momentos lineales iguales en módulo y sentido opuesto:

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f \quad \left\{ 0 = \vec{p}'_{\alpha} + \vec{p}'_{\text{Th}} \right\} \quad \left\{ \vec{p}'_{\alpha} = -\vec{p}'_{\text{Th}} \right\} \quad \left\{ |\vec{p}'_{\alpha}| = |\vec{p}'_{\text{Th}}| \right\}$$

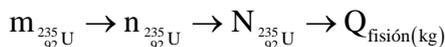
$$W_{\text{neto}} = |Q| = \Delta E_c = E'_{c(f)} - E_{c(i)} = E'_{c(f)} - 0$$

$$|Q| = E'_{c(f)} = E'_{c(\alpha)} + E'_{c(\text{Th})} \quad \left\{ |Q| = E'_{c(\alpha)} + E'_{c(\text{Th})} = \frac{p'^2_{\alpha}}{2m_{\alpha}} + \frac{p'^2_{\text{Th}}}{2m_{\text{Th}}} = \frac{p'^2_{\alpha}}{2} \left(\frac{1}{m_{\alpha}} + \frac{1}{m_{\text{Th}}} \right) = \frac{p'^2_{\alpha}}{2} \left(\frac{m_{\alpha} + m_{\text{Th}}}{m_{\alpha} m_{\text{Th}}} \right) \right.$$

$$p'^2_{\alpha} = p'^2_{\text{Th}} = \frac{2|Q|}{\left(\frac{m_{\alpha} + m_{\text{Th}}}{m_{\alpha} m_{\text{Th}}} \right)} = \frac{2|Q|m_{\alpha} m_{\text{Th}}}{m_{\alpha} + m_{\text{Th}}} \quad \left\{ E'_{c(\alpha)} = \frac{p'^2_{\alpha}}{2m_{\alpha}} = \frac{|Q|m_{\text{Th}}}{m_{\alpha} + m_{\text{Th}}} \right\} \quad \left\{ E'_{c(\text{Th})} = \frac{p'^2_{\text{Th}}}{2m_{\text{Th}}} = \frac{|Q|m_{\alpha}}{m_{\alpha} + m_{\text{Th}}} \right.$$

6) Calcule: a) la energía liberada en la fisión de 1 kg de uranio-235, si la fisión de un núcleo de este isótopo libera 200 MeV; b) la cantidad de carbón para liberar la energía del apartado anterior si sabemos que 1 g de carbón, al arder, produce 29,29 kJ. Datos: $m({}_{92}^{235}\text{U}) = 235,043924 \cdot \text{u}$ [a) $5,12 \cdot 10^{26}$ MeV; b) $2,8 \cdot 10^6$ kg]

Solución:



$$1.000 \text{ g } {}_{92}^{235}\text{U} \times \frac{1 \text{ mol } {}_{92}^{235}\text{U}}{235,043924 \text{ g}} \times \frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ átomos } {}_{92}^{235}\text{U}}{1 \text{ mol } {}_{92}^{235}\text{U}} \times \frac{200 \text{ MeV}}{1 \text{ átomo } {}_{92}^{235}\text{U}} = 5,1241 \cdot 10^{26} \text{ MeV}$$

$$5,1241 \cdot 10^{26} \text{ MeV} \times \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ MJ}}{1 \text{ MeV}} \times \frac{1 \text{ kg C}}{29,29 \text{ MJ}} = 2,80 \cdot 10^6 \text{ kg C}$$

7) El período de semidesintegración del carbono-14 es de 5.730 años, ${}^1_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$. ¿Qué fracción de una muestra de carbono-14 permanecerá inalterada después de transcurrir un tiempo equivalente a cinco veces el período de semidesintegración?. [0,03125]

Solución:

$$-\frac{dN}{dt} = kN \quad \left\{ \ln \frac{N}{N_0} = -kt \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} \ln 2 = kt_{1/2} \\ k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{5.730 \text{ años}} = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ años}^{-1} \end{array} \right.$$

$$t = 5t_{1/2} \quad \left\{ \ln \frac{N}{N_0} = -kt = -\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot 5t_{1/2} = -\ln 2 \times 5 = -3,4657 \right\} \quad \left\{ \frac{N}{N_0} = e^{-3,4657} = 0,03125 \right.$$

8) En una mezcla encontrada, en la actualidad, de isótopos de uranio hay un 99,28% de uranio-238 y un 0,72% de uranio-235. Los períodos de semidesintegración son $4,47 \cdot 10^9$ años y $7,04 \cdot 10^8$ años, respectivamente. Calcule: a) el tiempo transcurrido desde que se formó la Tierra, suponiendo que eran igualmente abundantes en ese momento el uranio-238 y el uranio-235; b) actividad de un gramo de uranio-238. Datos: $\text{Ma}({}^{238}_{92}\text{U}) = 238,050784 \cdot \text{u}$. [a) $5,939 \cdot 10^9$ años; b) $33,63 \mu\text{Ci} = 12.443 \text{ Bq}$]

Solución:

$$-\frac{dN}{dt} = kN \quad \left\{ \begin{array}{l} \ln \frac{N}{N_0} = -kt \\ \ln \frac{N_0}{N} = kt \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} N = \frac{1}{2} N_0 \\ t = t_{1/2} \end{array} \right\} \quad \ln 2 = kt_{1/2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{238} = \frac{\ln 2}{t_{1/2(238)}} = \frac{\ln 2}{4,47 \cdot 10^9 \text{ años}} = 1,551 \cdot 10^{-10} \text{ años}^{-1} \\ k_{235} = \frac{\ln 2}{t_{1/2(235)}} = \frac{\ln 2}{7,04 \cdot 10^8 \text{ años}} = 9,846 \cdot 10^{-10} \text{ años}^{-1} \end{array} \right.$$

$$N_{0(238)} = N_{0(235)} \quad \left\{ \begin{array}{l} \ln \frac{N_{238}}{N_{0(238)}} = \ln \frac{0,9928 N_{0(238+235)}}{N_{0(238)}} = -k_{238} t \\ \ln \frac{N_{235}}{N_{0(235)}} = \ln \frac{0,0072 N_{0(238+235)}}{N_{0(235)}} = -k_{235} t \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} N_{238} = 0,9928 N_{0(238+235)} \\ N_{235} = 0,0072 N_{0(238+235)} \end{array} \right.$$

$$\ln \frac{N_{238}}{N_{0(238)}} - \ln \frac{N_{235}}{N_{0(235)}} = -k_{238} t + k_{235} t$$

$$\left(\ln N_{238} - \ln N_{0(238)} \right) - \left(\ln N_{235} - \ln N_{0(235)} \right) = (-k_{238} + k_{235}) t$$

$$\ln N_{238} - \ln N_{235} = \ln \frac{N_{238}}{N_{235}} = (-k_{238} + k_{235}) t$$

$$t = \frac{\ln \frac{N_{238}}{N_{235}}}{-k_{238} + k_{235}} = \frac{\ln \frac{0,9928 N_{0(238+235)}}{0,0072 N_{0(238+235)}}}{-k_{238} + k_{235}} = \frac{\ln \frac{0,9928}{0,0072}}{(-1,551 \cdot 10^{-10} + 9,846 \cdot 10^{-10}) \text{ años}^{-1}} = 5.939.057.514 \text{ años}$$

$$\text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = kN = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N$$

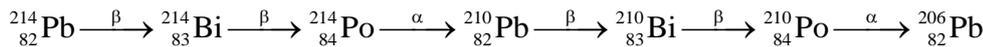
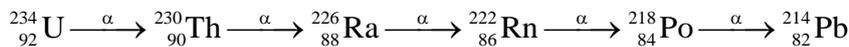
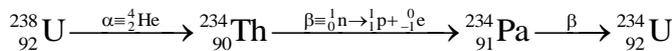
$$N_{238} = nN_A = \frac{m}{Ma} N_A = \frac{1\text{g } {}^{238}_{92}\text{U}}{238,050784 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \times 6,022 \cdot 10^{23} \frac{\text{átomos}}{\text{mol}} = 2,530 \cdot 10^{21} \text{ átomos } {}^{238}_{92}\text{U}$$

$$\text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = kN = 4,9182 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1} \times 2,530 \cdot 10^{21} \text{ átomos } {}^{238}_{92}\text{U} = 12.443 \text{ Bq}$$

$$\text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = 12.443 \text{ Bq} \times \frac{1 \text{ Ci}}{3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}} = 3,363 \cdot 10^{-7} \text{ Ci} = 33,63 \mu\text{Ci}$$

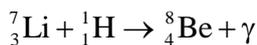
9) El uranio-238 se desintegra emitiendo, sucesivamente, las siguientes partículas antes de alcanzar su forma estable: $\alpha, \beta, \beta, \alpha, \alpha, \alpha, \alpha, \alpha, \beta, \beta, \alpha, \beta, \beta, \alpha$. ¿Cuál es el núcleo final estable? [${}^{206}_{82}\text{Pb}$]

Solución:



10) Formula la siguiente reacción nuclear ${}^7_3\text{Li}(p, \gamma){}^8_4\text{Be}$, y calcula la frecuencia de la radiación emitida y la longitud de onda. Datos: $Ma({}^8_4\text{Be}) = 8,022486 \cdot u$; $Ma({}^7_3\text{Li}) = 7,016003 \cdot u$; $Ma({}^1_1\text{H}) = 1,007825 \cdot u$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. [$3,025 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$ y $9,917 \cdot 10^{-13} \text{ m}$]

Solución:



$${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + \gamma \quad \left\{ \begin{array}{l} E = \Delta m \cdot c^2 \text{ J} = \Delta m \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{u} = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \end{array} \right.$$

$$\Delta m = m_{{}^8_4\text{Be}} - m_{{}^7_3\text{Li}} - m_{{}^1_1\text{H}} = 8,022486 \cdot u - 7,016003 \cdot u - 1,007825 \cdot u = -1,342 \cdot 10^{-3} \cdot u$$

$$E = \Delta m \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{u} = (-1,342 \cdot 10^{-3} \cdot u) \times 931,49 \frac{\text{MeV}}{u} = -1,25006 \text{ MeV}$$

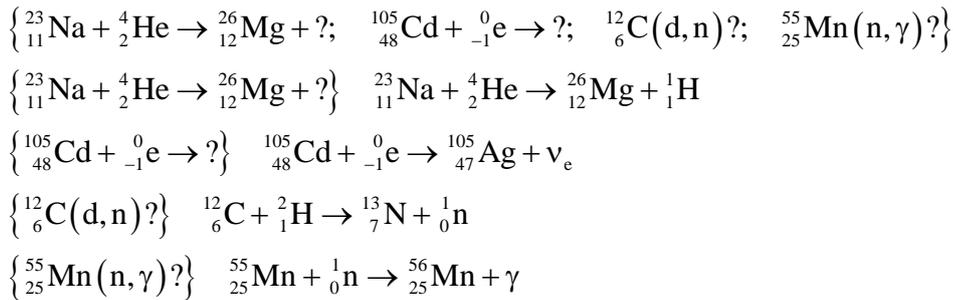
$$E = \Delta m \cdot c^2 \text{ J} = (-1,342 \cdot 10^{-3} \times 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}) \times (3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = -2,0055 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{2,0055 \cdot 10^{-13} \text{ J}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 3,025 \cdot 10^{20} \text{ s}^{-1} = 3,025 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,025 \cdot 10^{20} \text{ s}^{-1}} = 9,917 \cdot 10^{-13} \text{ m} = 9,917 \cdot 10^{-4} \text{ nm}$$

11) Completa las siguientes reacciones nucleares: a) ${}^{23}_{11}\text{Na} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{26}_{12}\text{Mg} + ?$; b) ${}^{105}_{48}\text{Cd} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow ?$; c) ${}^{12}_6\text{C}(d, n)?$; d) ${}^{55}_{25}\text{Mn}(n, \gamma)?$.

Solución:



12) Una de las reacciones posibles de la fisión del plutonio-239 cuando capta un neutrón es la formación de cerio-141 y molibdeno-96, liberándose tres neutrones. Formula la reacción y calcular la energía liberada por cada núcleo fisionado. Datos: $M_a({}^{239}_{94}\text{Pu}) = 239,052157 \cdot u$; $M_a({}^{141}_{58}\text{Ce}) = 140,908570 \cdot u$; $M_a({}^{96}_{42}\text{Mo}) = 95,90499 \cdot u$; $m({}^1_0\text{n}) = 1,008665 \cdot u$; $m({}^0_{-1}\text{e}) = 0,00055 \cdot u$. [-206,1 MeV]

Solución:



Balance de protones: $(58+42) - 94 = 100 - 94 = +6$

Balance de electrones: $(58+42) - 94 = 100 - 94 = +6$

Balance de neutrones: $(141-58) + (96-42) + 3 - (239-94) - 1 = 83 + 54 + 3 - 145 - 1 = -6$

Por lo que los neutrones se transforman en protones y electrones.



$$\Delta m = \left(m_{{}^{141}_{58}\text{Ce}} + m_{{}^{96}_{42}\text{Mo}} + 3 m_{{}^1_0\text{n}} \right) - \left(m_{{}^{239}_{94}\text{Pu}} - m_{{}^1_0\text{n}} \right) = m_{{}^{141}_{58}\text{Ce}} + m_{{}^{96}_{42}\text{Mo}} + 2 m_{{}^1_0\text{n}} - m_{{}^{239}_{94}\text{Pu}}$$

$$\Delta m = 140,908570 \cdot u + 95,90499 \cdot u + 2 \times 1,008665 \cdot u - 239,052157 \cdot u = -0,221267 \cdot u$$

$$Q_{\text{fisión}} = E_{\text{fisión}} = \Delta m \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{u} = (-0,221267 \cdot u) \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{u} = -206,10 \text{ MeV}$$

13) Una muestra de cromo-51 contiene $4,1 \cdot 10^{20}$ átomos. El período de semidesintegración del citado isótopo es de 27 días. Calcule: a) la vida media del emisor radiactivo; b) número de átomos que habrá al cabo de un año y actividad de la muestra en ese momento. [a) 38,95 días; b) $3,5 \cdot 10^{16}$ átomos y 0,28 Ci]

Solución:

$$dN = -Nkdt \quad \left\{ dN_{(t)} = N_0 e^{-kt} kdt \right.$$

El tiempo de vida promedio $\tau = k^{-1}$ de un determinado núcleo radiactivo calculando el valor promedio de tiempo t:

$$\tau = \bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t dN}{\int_0^{\infty} dN} = \frac{\int_0^{\infty} t (N_0 e^{-kt} kdt)}{N_0} = \int_0^{\infty} t e^{-kt} kdt = \left[t(-e^{-kt}) \right]_0^{\infty} - \int_0^{\infty} (-e^{-kt}) dt = 0 - \left[\frac{1}{k} e^{-kt} \right]_0^{\infty} = \frac{1}{k}$$

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{27 \text{ días}} = 0,02567 \text{ días}^{-1} \quad \left\{ \begin{array}{l} \tau = \bar{t} = \frac{1}{k} = 38,95 \text{ días} \end{array} \right.$$

$$N = N_0 e^{-kt} = 4,1 \cdot 10^{20} \times e^{-\frac{\ln 2}{27 \text{ días}} \times 365 \text{ días}} = 3,49 \cdot 10^{16} \text{ átomos}$$

$$\text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = kN = \frac{\ln 2}{27 \times 24 \times 3.600 \text{ s}} \times 3,49 \cdot 10^{16} \text{ átomos} = 1,038 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

$$\text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = 1,038 \cdot 10^{10} \text{ Bq} \times \frac{1 \text{ Ci}}{3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}} = 0,28 \text{ Ci}$$

14) Calcula la masa del isótopo ^{14}C cuya actividad es de 1,0 Ci si el período de semidesintegración del mismo es de 5.730 años, $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\text{e}$. Dato: $\text{Ma}(^{14}_6\text{C}) = 14,003242 \cdot \text{u}$. [$2,14 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$]

Solución:

$$\text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = 1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = kN$$

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{5.730 \text{ años}} = \frac{\ln 2}{1,807 \cdot 10^{11} \text{ s}} = 3,8359 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}$$

$$N = \frac{-\frac{dN}{dt}}{k} = \frac{3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}}{3,8359 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}} = 9,646 \cdot 10^{21} \text{ átomos } ^{14}_6\text{C}$$

$$m = N \cdot \text{Ma} = 9,646 \cdot 10^{21} \text{ átomos } ^{14}_6\text{C} \times 14,003242 \times 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m = 2,2428 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = 0,22428 \text{ g } ^{14}_6\text{C}$$

15) Calcula la energía cinética de las partículas-alfa emitidas desde el $^{211}_{83}\text{Bi}$. El proceso de desintegración: $^{211}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{207}_{81}\text{Tl} + ^4_2\text{He}$. Datos: $m(^{211}_{83}\text{Bi}) = 210,987254 \cdot \text{u}$; $m(^{207}_{81}\text{Tl}) = 206,977403 \cdot \text{u}$; $m(^4_2\text{He}) = 4,0039 \cdot \text{u}$. [$E_c(\text{Tl}) = 0,1048 \text{ MeV}$; $E_c(\text{alfa}) = 5,4171 \text{ MeV}$]

Solución:

A partir de la ecuación

$$^{211}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{207}_{81}\text{Tl} + ^4_2\text{He} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q = \Delta m \cdot c^2 \text{ J} = \Delta m \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{\text{u}} \end{array} \right.$$

$$\Delta m = m_{^{207}_{81}\text{Tl}} + m_{^4_2\text{He}} - m_{^{211}_{83}\text{Bi}} = 206,977403 \cdot \text{u} + 4,003923 \cdot \text{u} - 210,987254 \cdot \text{u} = -5,928 \cdot 10^{-3} \cdot \text{u}$$

$$Q = \Delta m \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{\text{u}} = (-5,928 \cdot 10^{-3} \cdot \text{u}) \times 931,49 \frac{\text{MeV}}{\text{u}} = -5,52187 \text{ MeV}$$

Al ser $Q < 0$ el proceso es espontáneo. La energía se distribuye entre la partícula alfa y el núcleo hijo en proporción inversa a sus masas.

$$E'_c(\text{Tl}) = \frac{p'_{\text{Tl}}}{2m_{\text{Tl}}} = \frac{Qm_\alpha}{m_{\text{Tl}} + m_\alpha} = \frac{5,52187 \text{ MeV} \times 4,003923 \cdot u}{206,977403 \cdot u + 4,003923 \cdot u} = 0,1048 \text{ MeV}$$

$$E'_c(\alpha) = \frac{p'_\alpha}{2m_\alpha} = \frac{Qm_{\text{Tl}}}{m_{\text{Tl}} + m_\alpha} = \frac{5,52187 \text{ MeV} \times 206,977403 \cdot u}{206,977403 \cdot u + 4,003923 \cdot u} = 5,4171 \text{ MeV}$$

Las energías de los fragmentos de un cuerpo, inicialmente en reposo en el sistema-L, que explota en dos fragmentos de masas m_1 y m_2 . Si el cuerpo está inicialmente en reposo, su momento lineal total es cero, después de la explosión los dos fragmentos separados en dirección opuesta con momentos lineales iguales en módulo y sentido opuesto:

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f \quad \{0 = \vec{p}'_\alpha + \vec{p}'_{\text{Tl}}\} \quad \{\vec{p}'_\alpha = -\vec{p}'_{\text{Tl}}\} \quad \{|\vec{p}'_\alpha| = |\vec{p}'_{\text{Tl}}|\}$$

$$W_{\text{neto}} = |Q| = \Delta E_c = E'_{c(f)} - E_{c(i)} = E'_{c(f)} - 0$$

$$|Q| = E'_{c(f)} = E'_{c(\alpha)} + E'_{c(\text{Tl})} \quad \left\{ |Q| = E'_{c(\alpha)} + E'_{c(\text{Tl})} = \frac{p'^2_\alpha}{2m_\alpha} + \frac{p'^2_{\text{Tl}}}{2m_{\text{Tl}}} = \frac{p'^2_\alpha}{2} \left(\frac{1}{m_\alpha} + \frac{1}{m_{\text{Tl}}} \right) = \frac{p'^2_\alpha}{2} \left(\frac{m_\alpha + m_{\text{Tl}}}{m_\alpha m_{\text{Tl}}} \right) \right.$$

$$p'^2_\alpha = p'^2_{\text{Tl}} = \frac{2|Q|}{\left(\frac{m_\alpha + m_{\text{Tl}}}{m_\alpha m_{\text{Tl}}} \right)} = \frac{2|Q|m_\alpha m_{\text{Tl}}}{m_\alpha + m_{\text{Tl}}} \quad \left\{ E'_{c(\alpha)} = \frac{p'^2_\alpha}{2m_\alpha} = \frac{|Q|m_{\text{Tl}}}{m_\alpha + m_{\text{Tl}}} \right\} \left\{ E'_{c(\text{Tl})} = \frac{p'^2_{\text{Tl}}}{2m_{\text{Tl}}} = \frac{|Q|m_\alpha}{m_\alpha + m_{\text{Tl}}} \right.$$

16) Calcula la energía eliminada en la fisión del isótopo $^{235}_{92}\text{U}$, por neutrones lentos. Considera el caso particular $^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow [^{236}_{92}\text{U}] \rightarrow {}^{95}_{42}\text{Mo} + {}^{139}_{57}\text{La} + 2 {}^1_0\text{n}$. Como los neutrones entrantes son lentos, podemos ignorar su energía cinética en el balance de energía y considerar sólo las masas. Datos: $\text{Ma}({}^{235}_{92}\text{U}) = 235,043924 \cdot u$; $\text{Ma}({}^{236}_{92}\text{U}) = 236,045562 \cdot u$; $\text{Ma}({}^{95}_{42}\text{Mo}) = 94,9058 \cdot u$; $\text{Ma}({}^{139}_{57}\text{La}) = 138,9061 \cdot u$; $m({}^1_0\text{n}) = 1,008665 \cdot u$; $m({}^0_{-1}\text{e}) = 0,00055 \cdot u$. [-208,1 MeV]

Solución:

$$^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow [^{236}_{92}\text{U}] \rightarrow {}^{95}_{42}\text{Mo} + {}^{139}_{57}\text{La} + 2 {}^1_0\text{n} \quad \{Q_{\text{fisión}} = E = \Delta m \cdot c^2 \text{ J} = \Delta m \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{u}$$

$$\Delta m = (m_{^{95}_{42}\text{Mo}} + m_{^{139}_{57}\text{La}} + m_{2 {}^1_0\text{n}}) - (m_{^{235}_{92}\text{U}})$$

$$\Delta m = (94,9058 \cdot u + 138,9061 \cdot u + 1,008665 \cdot u) - (235,043924 \cdot u) = -0,223359 \cdot u$$

$$Q_{\text{fisión}} = E_{\text{fisión}} = \Delta m \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{u} = (-0,223359 \cdot u) \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{u} = -208,05667 \text{ MeV}$$

17) El $^{131}_{53}\text{I}$ es un isótopo radiactivo que se utiliza en medicina para el tratamiento del hipertiroidismo, ya que se concentra en la glándula tiroides. Su período de semidesintegración es de 8 días. Calcule: a) la masa que queda del $^{131}_{53}\text{I}$ si una muestra de 20 mg ha estado almacenada en un hospital durante 48 días; b) la actividad de un microgramo de ^{131}I . Dato: $\text{Ma}({}^{131}_{53}\text{I}) = 130,906124 \cdot u$; $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. [a) 0,31 mg; b) 0,124 Ci]

Solución:

$$\frac{dN}{dt} = -kN \quad \left\{ \begin{array}{l} \ln \frac{N}{N_0} = -kt \\ N = N_0 e^{-kt} \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} t = t_{1/2} \\ N = \frac{N_0}{2} \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} \ln 2 = kt_{1/2} \\ \text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = kN = kN_0 e^{-kt} \end{array} \right.$$

$$N_0 = n \cdot N_A = \frac{m}{M_A} \cdot N_A = \frac{0,020 \text{ g}}{130,906124 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \times 6,022 \cdot 10^{23} \frac{\text{átomos } ^{131}\text{I}}{\text{mol}} = 9,200 \cdot 10^{19} \text{ átomos } ^{131}\text{I}$$

$$N = N_0 e^{-kt} = 9,200 \cdot 10^{19} \times e^{-\frac{\ln 2}{8 \text{ días}} \times 48 \text{ días}} = 1,4375 \cdot 10^{18} \text{ átomos } ^{131}\text{I}$$

$$m' = \frac{M_A \cdot N}{N_A} = \frac{130,906124 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 1,4375 \cdot 10^{18} \text{ átomos } ^{131}\text{I}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{\text{átomos } ^{131}\text{I}}{\text{mol}}} = 3,1248 \cdot 10^{-4} \text{ g} = 0,31 \text{ mg } ^{131}\text{I}$$

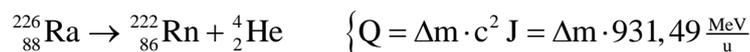
$$\text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = kN \quad \left\{ k = \frac{\ln 2}{8 \text{ días}} = \frac{\ln 2}{691.200 \text{ s}} = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \right\}$$

$$N = n \cdot N_A = \frac{m}{M_A} \cdot N_A = \frac{1,0 \cdot 10^{-6} \text{ g}}{130,906124 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \times 6,022 \cdot 10^{23} \frac{\text{átomos } ^{131}\text{I}}{\text{mol}} = 4,60 \cdot 10^{15} \text{ átomos } ^{131}\text{I}$$

$$-\frac{dN}{dt} = kN = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \times 4,60 \cdot 10^{15} \text{ átomos } ^{131}\text{I} = 4,60 \cdot 10^9 \text{ Bq} \times \frac{1 \text{ Ci}}{3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}} = 0,124 \text{ Ci}$$

18) El $^{226}_{88}\text{Ra}$ se desintegra para dar $^{222}_{86}\text{Rn}$. Indique el tipo de emisión radiactiva y escriba la ecuación de dicha reacción nuclear. Calcule la energía liberada en el proceso. Datos: $M_A(^{226}_{88}\text{Ra}) = 226,025402 \cdot u$; $M_A(^{222}_{86}\text{Rn}) = 222,017571 \cdot u$; $M_A(^4_2\text{He}) = 4,002602 \cdot u$. [Radiactividad alfa; 4,87 MeV]

Solución:



$$\Delta m = m_{^{222}_{86}\text{Rn}} + m_{^4_2\text{He}} - m_{^{226}_{88}\text{Ra}} = 222,017571 \cdot u + 4,002602 \cdot u - 226,025402 \cdot u = -5,229 \cdot 10^{-3} \cdot u$$

$$Q = \Delta m \cdot 931,49 \frac{\text{MeV}}{u} = (-5,229 \cdot 10^{-3} \cdot u) \times 931,49 \frac{\text{MeV}}{u} = -4,87076 \text{ MeV}$$

19) a) La masa de un núcleo atómico no coincide con la suma de las masas de las partículas que lo 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?.

Solución:

La energía de enlace de un núcleo de masa $m_{\text{núcleo}}$, compuesto de A nucleones, de los que Z son protones y $N = A - Z$ neutrones, podemos escribir:

$$^A_Z\text{X} \rightarrow Z \text{ } ^1_1\text{p} + (A - Z) \text{ } ^1_0\text{n} \quad \left\{ E_{\text{enlace}} = \sum_{i=1}^A m_i c^2 - m_{\text{núcleo}} c^2 = \left(\sum_{i=1}^A m_i - m_{\text{núcleo}} \right) c^2 \right.$$

$$E_{\text{enlace}} = \left[Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{núcleo}} \right] c^2 \text{ J} = \left[Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{núcleo}} \right] \times \frac{931,49 \text{ MeV}}{u}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E_0 = m_0 c^2 = 1 \text{ u} \times c^2 = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \times \left(2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 1,4924 \cdot 10^{-10} \text{ J} \\ E_0 = 1,4924 \cdot 10^{-10} \text{ J} \times \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 931,49 \text{ MeV} \end{array} \right\}$$

La dificultad práctica es que para determinar la masa de las partículas atómicas se usa el espectrómetro de masas, que nos mide las masas atómicas y no las masas nucleares. La masa atómica es la masa del núcleo más la masa de los electrones orbitando.

$$E_{\text{enlace}} = \left[Z m_p + Z m_e + (A - Z) m_n - (m_{\text{núcleo}} + Z m_e) \right] c^2 \text{ J}$$

$$\left\{ Z(m_p + m_e) = Z m_H \right\} \quad \left\{ m_{\text{núcleo}} + Z m_e = m_{\text{atómica}} \right\}$$

$$E_{\text{enlace}} = \left[Z m_H + (A - Z) m_n - m_{\text{atómica}} \right] c^2 \text{ J}$$

$$E_{\text{enlace}} = \left[Z m_H + (A - Z) m_n - m_{\text{atómica}} \right] \times \frac{931,49 \text{ MeV}}{\text{u}}$$

La masa nuclear es distinta de la masa atómica en una cantidad que es igual a la masa de los Z electrones:

$$E_{\text{enlace}} = \left[Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{nuclear}}(A, Z) \right] c^2 = \left[Z m_{\text{atómica}} \left({}^1_1\text{H} \right) + (A - Z) m_n - m_{\text{atómica}}(A, Z) \right] c^2 \text{ J}$$

La masa atómica difiere de la masa nuclear por una cantidad igual a la masa de Z electrones.

La energía de enlace de un núcleo (A nucleones y Z protones) relativa a todos los nucleones constituyentes será:

$$E_{\text{enlace}} = \varepsilon A = \left[Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{nuclear}}(A, Z) \right] c^2 = \left[Z m_H + (A - Z) m_n - m_{\text{atómica}} \right] c^2 \text{ J}$$

20) El período de semidesintegración de un nucleido radiactivo, de masa atómica $200 \cdot \text{u}$, que emite partículas beta es de 50 s . Una muestra, cuya masa inicial era 50 g , contiene en la actualidad 30 g del nucleido original. Indique las diferencias entre el nucleido original y el resultante y represente gráficamente la variación con el tiempo de la masa del nucleido original. Calcule la antigüedad de la muestra y su actividad actual. Dato: N_A . [Ecuación gráfica: $\ln m = \ln 50 - 0,01386 \cdot t$; $36,85 \text{ s}$; $3,38 \cdot 10^{10} \text{ Ci}$]

Solución:



$$\frac{dN}{dt} = -kN \quad \left\{ \begin{array}{l} \ln \frac{N}{N_0} = -kt \\ N = N_0 e^{-kt} \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} t = t_{1/2} \\ N = \frac{N_0}{2} \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} \ln 2 = kt_{1/2} \\ \text{Actividad: } -\frac{dN}{dt} = kN = kN_0 e^{-kt} \end{array} \right.$$

$$N_0 = n_0 \cdot N_A = \frac{m_0}{M_a} \cdot N_A = \frac{50 \text{ g}}{200 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \times 6,022 \cdot 10^{23} \frac{\text{átomos}}{\text{mol}} = 1,5055 \cdot 10^{23} \text{ átomos}$$

$$N = n \cdot N_A = \frac{m}{M_a} \cdot N_A = \frac{30 \text{ g}}{200 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \times 6,022 \cdot 10^{23} \frac{\text{átomos}}{\text{mol}} = 9,033 \cdot 10^{22} \text{ átomos}$$

$$\ln N = \ln N_0 - kt \quad \left\{ \ln \frac{N}{N_0} = -kt = -\frac{\ln 2}{50s} \cdot t = -0,01386 \cdot t \right.$$

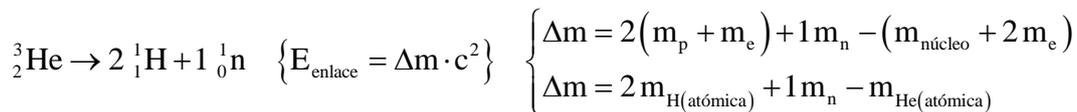
$$\ln \frac{N}{N_0} = \ln \frac{\frac{m}{Ma} \cdot N_A}{\frac{m_0}{Ma} \cdot N_A} = \ln \frac{m}{m_0} = \ln \frac{m}{50} = -0,01386 \cdot t \quad \left\{ \ln m = \ln 50 - 0,01386 \cdot t \right.$$

$$t = \frac{-\ln \frac{N}{N_0}}{k} = \frac{-\ln \frac{9,033 \cdot 10^{22}}{1,5055 \cdot 10^{23}}}{\frac{\ln 2}{50s}} = 36,85s$$

$$-\frac{dN}{dt} = kN = \frac{\ln 2}{50s} \times 9,033 \cdot 10^{22} \text{ núcleos} = 1,25224 \cdot 10^{21} \text{ Bq} \times \frac{1\text{Ci}}{3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}} = 3,38 \cdot 10^{10} \text{ Ci}$$

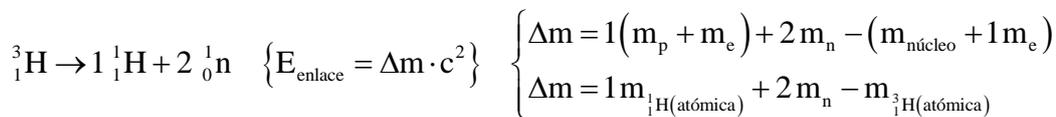
21) Indique las partículas constituyentes de los dos nucleidos ${}^3_1\text{H}$ y ${}^3_2\text{He}$ y explique qué tipo de emisión radiactiva permitiría pasar de uno al otro. Calcule la energía de enlace para cada uno de los nucleidos e indique cuál de ellos es más estable. Datos: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $Ma({}^3_1\text{H}) = 3,016049 \cdot u$; $Ma({}^3_2\text{He}) = 3,016029 \cdot u$; $Ma({}^1_1\text{H}) = 1,007825 \cdot u$; $m_n = 1,00866u$; $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. [Emisión beta; $E({}^3_1\text{H}) = 8,47 \text{ MeV}$; $E({}^3_2\text{He}) = 7,71 \text{ MeV}$]

Solución:



$$\Delta m = 2m_{\text{H}} + 1m_n - m_{\text{He}} = 2 \times 1,007825 \cdot u + 1 \times 1,00866 \cdot u - 3,016029 \cdot u = 0,008281 \cdot u$$

$$E_{\text{enlace}} = \Delta m \cdot \frac{931,49 \text{ MeV}}{u} = 0,008281 \cdot u \times \frac{931,49 \text{ MeV}}{u} = 7,71367 \text{ MeV}$$



$$\Delta m = 1m_{\text{H}} + 2m_n - m_{\text{H}} = 1 \times 1,007825 \cdot u + 2 \times 1,00866 \cdot u - 3,016049 \cdot u = 0,009096 \cdot u$$

$$E_{\text{enlace}} = \Delta m \cdot \frac{931,49 \text{ MeV}}{u} = 0,009096 \cdot u \times \frac{931,49 \text{ MeV}}{u} = 8,47283 \text{ MeV}$$

22) a) Analice el origen de la energía liberada en una reacción nuclear de fisión. b) En la reacción de fisión del uranio-235 ($Z = 92$), éste captura un neutrón y se produce un isótopo de Kr ($A = 92$), un isótopo de Ba ($Z = 56$) y 3 neutrones. Escriba la reacción nuclear y determine razonadamente el número atómico del Kr y el número másico del Ba.

23) Todas las fuerzas que existen en la naturaleza se explican como manifestaciones de cuatro interacciones básicas; gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil. a) Explique las

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

24) a) Calcule el defecto de masa de los núclidos ${}^{11}_5\text{B}$ y ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ y 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. $m_{\text{B}} = 11,009305 \cdot \text{u}$; $m_{\text{Rn}} = 222,017574 \cdot \text{u}$; $m_{\text{p}} = 1,007825 \cdot \text{u}$; $m_{\text{n}} = 1,008665 \cdot \text{u}$.

25) Imagine una central nuclear en la que se produjera energía a partir de la siguiente reacción nuclear: $4 {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{16}_8\text{O}$. 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. Datos: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $1 \text{ u} = 1/N_0 \text{ g}$; $m({}^4\text{He}) = 4,0026 \text{ u}$; $m({}^{16}\text{O}) = 15,9950 \text{ u}$; $m_{\text{p}} = 1,007825 \text{ u}$; $m_{\text{n}} = 1,008665 \text{ u}$.

26) 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 5.700 años. a) Explique a qué se debe dicha diferencia y calcule la antigüedad de la muestra arqueológica. b) ¿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.

27) 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.

28) Una sustancia radiactiva se desintegra según la ecuación: $N = N_0 \cdot e^{-0,005 \cdot t}$ (SI). a) Explique el significado de las magnitudes que intervienen en la ecuación y determine razonadamente el periodo de semidesintegración. b) Si una muestra contiene en un momento dado 1.026 núcleos de dicha sustancia, ¿cuál será la actividad de la muestra al cabo de 3 horas?

29) La masa atómica del isótopo ${}^{14}_7\text{N}$ es 14,0001089 u. a) Indique los nucleones de este isótopo y calcule su defecto de masa. b) Calcule su energía de enlace. Datos: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $1 \text{ u} = 1/N_0 \text{ g}$; $m_{\text{p}} = 1,007825 \text{ u}$; $m_{\text{n}} = 1,008665 \text{ u}$.

30) El ${}^{126}_{55}\text{Cs}$ tiene un periodo de semidesintegración de 1,64 minutos. a) ¿Cuántos núcleos hay en una muestra de 0,7 μg ?. b) Explique qué se entiende por actividad de una muestra y calcule su valor para la muestra del apartado a) al cabo de 2 minutos. Datos: $N_{\text{A}} = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $m(\text{Cs}) = 132,905 \text{ u}$.

31) Un núcleo de tritio ${}^3_1\text{H}$ se desintegra por emisión β dando lugar a un núcleo de helio. a) Escriba la reacción de desintegración nuclear y explique en qué consiste la emisión β . b) Determine razonadamente la cantidad de tritio que quedará de una muestra inicial de 0,1 g al cabo de tres años sabiendo que el periodo de semidesintegración del tritio es 12,3 años.

32) La actividad de ${}^{14}\text{C}$ de un resto arqueológico es de 150 desintegraciones por segundo. La misma masa de una muestra actual de idéntico tipo posee una actividad de 450 desintegraciones por segundo. El periodo de semidesintegración del ${}^{14}\text{C}$ es de 5.730 años. a) Explique qué se entiende por actividad de una muestra radiactiva y calcule la antigüedad de la muestra arqueológica. b) ¿Cuántos átomos de ${}^{14}\text{C}$ tiene la muestra arqueológica indicada en la actualidad?. Explique por qué ha cambiado con el tiempo el número de átomos de ${}^{14}\text{C}$ de la muestra.

33) La fisión de un átomo de ${}^{235}_{92}\text{U}$ se produce por captura de un neutrón, siendo los productos principales de este proceso ${}^{144}_{56}\text{Ba}$ y ${}^{90}_{36}\text{Kr}$. a) Escriba y ajuste la reacción nuclear correspondiente y calcule la energía desprendida por cada átomo que se fisiona. b) En una determinada central nuclear se liberan mediante fisión $45 \cdot 10^8 \text{ W}$. Determine la masa de material fisionable que se consume cada día. Datos: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $m(\text{U}) = 235,12 \text{ u}$; $m(\text{Ba}) = 143,92 \text{ u}$; $m(\text{Kr}) = 89,94 \text{ u}$; $m_n = 1,008665 \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

34) Un núcleo de ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ emite una partícula alfa y se convierte en un núcleo de ${}^A_Z\text{Rn}$. a) Escriba la reacción nuclear correspondiente y calcule la energía liberada en el proceso. b) Si la constante de desintegración del ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ es de $1,37 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$, calcule el tiempo que debe transcurrir para que una muestra reduzca su actividad a la quinta parte. Datos: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $m(\text{Ra}) = 226,025406 \text{ u}$; $m(\text{Rn}) = 222,017574 \text{ u}$; $m(\text{He}) = 4,002603 \text{ u}$.

35) Entre unos restos arqueológicos de edad desconocida se encuentra una muestra de carbono en la que sólo queda una octava parte del carbono ${}^{14}\text{C}$ que contenía originalmente. El periodo de semidesintegración del ${}^{14}\text{C}$ es de 5.730 años. a) Calcule la edad de dichos restos. b) Si en la actualidad hay 1.012 átomos de ${}^{14}\text{C}$ en la muestra, ¿cuál es su actividad?

36) En la explosión de una bomba de hidrógeno se produce la reacción: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$. a) Defina defecto de masa y calcule la energía de enlace por nucleón del helio-4. b) Determine la energía liberada en la formación de un átomo de helio. Datos: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $m(\text{hidrógeno-2}) = 2,01474 \text{ u}$; $m(\text{hidrógeno-3}) = 3,01700 \text{ u}$; $m(\text{helio-4}) = 4,002603 \text{ u}$; $m(\text{neutrón}) = 1,008665 \text{ u}$; $m(\text{protón}) = 1,007825 \text{ u}$.