# ALGUNOS EJERCICIOS DEL TEMA 7: FÍSICA NUCLEAR.

**3. a) Indicar las partículas constituyentes de los dos nucleidos $^{3}_{1}H$ y $^{3}_{2}He$ y explicar qué tipo de emisión radiactiva permitiría pasar de uno a otro.**
**b) Calcular la energía de enlace para cada uno de los nucleidos e indicar cuál de ellos es más estable.**
**($m_{He\text{-}3}$ = 3,016029 u ; $m_{H\text{-}3}$ = 3,016049 u ; $m_n$ = 1,0086 u ; $m_p$ = 1,0073 u ; 1 u = $1{,}66\cdot10^{-27}$ kg ; c = $3\cdot10^{8}$ m $s^{-1}$)**

**a)** el número de partículas que componen un determinado nucleido viene indicado por los números:
Z (Nº atómico) = Nº de protones
A (Nº másico) = Número de nucleones = nº protones + nº neutrones = Z + N $\qquad ^{A}_{Z}X$

$^{3}_{1}H$: Tiene Z = 1, A = 3, N = A-Z = 2 — Este isótopo del H (tritio) posee 1 protón y dos neutrones.
$^{3}_{2}He$: Tiene Z = 2, A = 3, N = A-Z = 1 — Este isótopo del helio posee 2 protones y 1 neutrón.

Mediante la emisión radiactiva, un núcleo inestable desprende una o varias partículas, transformándose en otro nucleido más estable.
En este caso, al transformarse $^{3}_{1}H$ en $^{3}_{2}He$, vemos que Z aumenta en una unidad, mientras que A permanece constante. Esto es posible mediante la emisión de radiación β, que consiste en la desintegración de un neutrón por acción de la fuerza nuclear débil, produciendo un protón, un electrón y un neutrino. La reacción queda

$$^{3}_{1}H \rightarrow \, ^{3}_{2}He + \, ^{0}_{-1}\beta^{-} + \, ^{0}_{0}\overline{\nu}_e$$

b) Se entiende por energía de enlace nuclear ( $E_e$ ) la energía desprendida al formarse el núcleo a partir de sus partículas por separado. Esta energía se debe a la pérdida de masa que sufren los nucleones al unirse, y se calcula con la expresión de Einstein $E_e = \left|\Delta m \cdot c^2\right|$, donde $\Delta m$ es el defecto másico $\Delta m = m_{NÚCLEO} - \sum m_{PARTÍCULAS}$ , y c la velocidad de la luz en el vacío.
Así, aplicando estas expresiones a cada nucleido

$^{3}_{1}H$: $\Delta m = m(^{3}_{1}H) - m(^{1}_{1}p) - 2\, m(^{1}_{0}n) = -0{,}008451$ u. $= -1{,}403\cdot10^{-29}$ kg $\rightarrow E_e = 1{,}263\cdot10^{-12}$ J

$^{3}_{2}He$ $\Delta m = m(^{3}_{2}He) - 2\, m(^{1}_{1}p) - m(^{1}_{0}n) = -0{,}007171$ u. $= -1{,}190\cdot10^{-29}$ kg $\rightarrow E_e = 1{,}071\cdot10^{-12}$ J

La estabilidad de un núcleo nos lo indica la energía de enlace por nucleón, $E_n = \dfrac{E_e}{A}$, la energía promedio desprendida por cada partícula. Así:

$$^{3}_{1}H: \quad E_n = \frac{1{,}263\cdot10^{-12}\ J}{3} = 4{,}21\cdot10^{-13}\ J \quad ; \qquad ^{3}_{2}He: \quad E_n = \frac{1{,}071\cdot10^{-12}\ J}{3} = 3{,}57\cdot10^{-13}\ J$$

Vemos que el $^{3}_{1}H$ es más estable que el $^{3}_{2}He$, al desprender una mayor energía de enlace por nucleón.

---

**4.- Un gramo de carbón, al arder, produce 7 kcal. Calcular la cantidad de carbón necesaria para producir la misma energía que 1 kg de $^{235}_{92}U$, si la fisión de un núcleo de este elemento libera 200 Mev.**

El uranio es un elemento pesado (de masa atómica superior a la del hierro) que desprende energía al fisionarse. Para resolver este ejercicio debemos usar las siguientes relaciones entre unidades.
Mat ( $^{235}_{92}U$ ) = 235 → 1 mol U = 235 g U — 1 mol U = $6{,}02\cdot10^{23}$ átomos U

1 MeV = $10^6$ eV = $10^6\cdot1{,}6\cdot10^{-19}$ J = $1{,}6\cdot10^{-13}$ J — 1 kcal = 1000 cal = 1000 · 4,18 J = 4180 J

Así, partiendo de 1000 g de U-235

$$1000\,g\,U\cdot\frac{1\,mol\,U}{235\,g\,U}\cdot\frac{6{,}02\cdot10^{23}\ át.U}{1\,mol\,U}\cdot\frac{200\,MeV}{1\,át.U}\cdot\frac{1{,}6\cdot10^{-13}\,J}{1\,MeV}\cdot\frac{1\,kcal}{4180\,J}\cdot\frac{1\,g\,Carbón}{7\,kcal} = 2{,}8\cdot10^{9}\ g\,carbón$$

Son necesarias 2800 toneladas de carbón

**5.- El $^{238}_{92}U$ se desintegra emitiendo, sucesivamente, las siguientes partículas antes de alcanzar su forma estable: α, β, β, α, α, α, α, α, β, β, α, β, β, α. ¿Cuál es el nucleido estable que se alcanza?**

Mediante la emisión radiactiva, un núcleo inestable, como en este caso el $^{238}_{92}U$ , desprende una o varias partículas, transformándose en otro nucleido más estable. Este proceso puede continuar en lo que se denomina una serie radiactiva, hasta que se produzca un núcleo completamente estable.
Radiación α: Se emite un núcleo de He-2. ($^{4}_{2}\alpha$) $\quad ^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$
Radiación β: Debido a la interacción nuclear débil, un neutrón se descompone en un protón, una electrón y un neutrino. El protón se queda en el núcleo, y el electrón y el neutrino son desprendidos. $^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p^{+} + {}^{0}_{-1}e^{-} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}_{e}$

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}\beta^{-} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}_{e}$$

En cada desintegración alfa: Z disminuye en dos unidades y A en 4 unidades.
En cada desintegración beta: Z aumenta en una unidad, y A permanece constante.

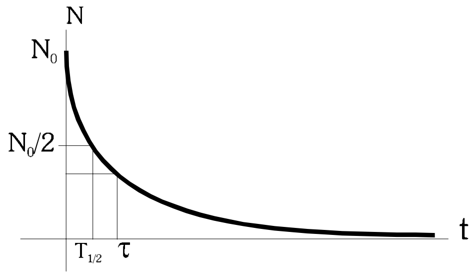
Como en total se producen 8 desintegraciones alfa y 6 desintegraciones beta:
$Z_{final} = 92 - 8 \cdot 2 + 6 \cdot 1 = 82$ $\qquad A_{final} = 238 - 8 \cdot 4 = 206$

Se trata de un isótopo del plomo $^{206}_{82}Pb$

---

**9.- La vida media del $^{234}_{90}Th$ es de 24 días. ¿Qué proporción de Torio permanecerá sin desintegrarse el cabo de 96 días?**

Nos encontramos ante una cuestión de radiactividad, emisión de partículas por parte de núcleos inestables, que se transforman en otros núcleos distintos.




El ritmo de desintegración de los núcleos de $^{234}_{90}Th$ depende de la cantidad de núcleos que queden sin desintegrar, N, de forma que el número de átomos inicial disminuye según la ley de desintegración radiactiva:

$$N = N_o \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

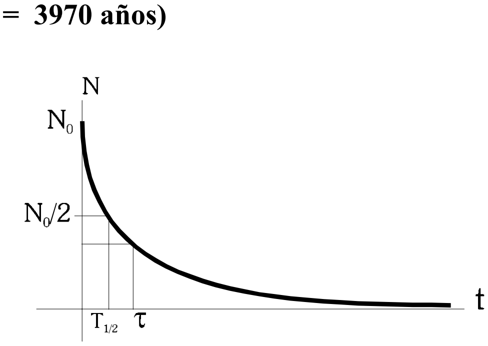
donde $N_0$ es el nº inicial de átomos, t el tiempo transcurrido y τ la vida media de la sustancia radiactiva (tiempo promedio de desintegración de un núcleo).

La fracción sin desintegrar se calcula $\dfrac{N}{N_0} = e^{-\frac{t}{\tau}} = e^{-\frac{96\,días}{24\,días}} = e^{-4} = 0{,}0183 = 1{,}83\,\%$ *sin desintegrar*

---

**17.- El análisis de $^{14}_{6}C$ de una momia egipcia revela que presenta 2/3 de la cantidad habitual en un ser vivo. ¿Cuándo murió el egipcio momificado? (T de semidesintegración = 3970 años)**

Nos encontramos ante una cuestión de radiactividad, emisión de partículas por parte de núcleos inestables, que se transforman en otros núcleos distintos.




Cuando un ser vivo muere, la cantidad de C-14 que posee disminuye por desintegración. El ritmo de desintegración de los núcleos de $^{14}_{6}C$ depende de la cantidad de núcleos que queden sin desintegrar, N, de forma que el número de átomos inicial disminuye según la ley de desintegración radiactiva:

$$N = N_o \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

donde $N_0$ es el nº inicial de átomos, t el tiempo transcurrido y τ la vida media de la sustancia radiactiva (tiempo promedio de desintegración de un núcleo).

La fracción sin desintegrar se calcula $\frac{N}{N_0} = e^{-\frac{t}{\tau}} \rightarrow t = -\tau \cdot ln\frac{N}{N_0}$

El periodo de semidesintegración ( $T_{\frac{1}{2}}$ ) es el tiempo que transcurre hasta que la cantidad de átomos inicial se reduce a la mitad. $T_{1/2} = ln\,2 \cdot \tau \rightarrow \tau = \frac{T_{½}}{ln\,2} \approx 5727\,años$

Nos dicen que la fracción sin desintegrar es de 2/3, así que $\frac{2}{3} = e^{-\frac{t}{5727}} \rightarrow t = -5727 \cdot ln\frac{2}{3} = 2322\ años$

Hace aproximadamente 2300 años que murió el egipcio momificado.

---

**(Selectividad junio 06. Opción A. 4.)**
**El período de semidesintegración del $^{226}Ra$ es de 1620 años.**
**a) Explique qué es la actividad y determine su valor para 1 g de $^{226}Ra$.**
**b) Calcule el tiempo necesario para que la actividad de una muestra de $^{226}Ra$ quede reducida a un dieciseisavo de su valor original.**
**$N_A = 6{,}02.10^{23}\ mol^{-1}$**

Nos encontramos ante una cuestión de radiactividad, emisión de partículas por parte de núcleos inestables, que se transforman en otros núcleos distintos.

**a)** Por actividad de una muestra radiactiva entendemos el número de desintegraciones que tienen lugar en la unidad de tiempo. Mide el ritmo de desintegración de la sustancia. En el S.I. se mide en Becquerel (Bq). 1 Bq = 1 desintegración por segundo.
La actividad depende del tipo de sustancia y de la cantidad (el nº de átomos) que tengamos en un instante determinado. Se calcula con la expresión: $\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$

Calculamos $\lambda$, la constante radiactiva del radio, a partir del periodo de semidesintegración $T_{½}$ = 1620 años = $5{,}1 \cdot 10^{10}$ s.

$\lambda$ y $T_{½}$ están relacionados a través de la vida media $\tau$. $\tau = \frac{1}{\lambda}$ $T_{\frac{1}{2}} = \tau \cdot ln\,2$

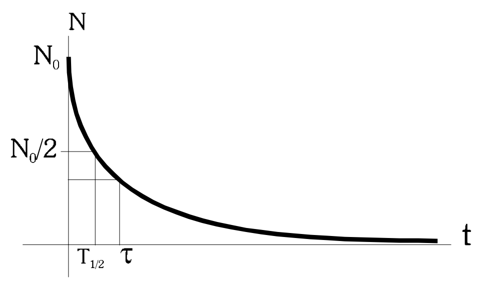
Por tanto $\lambda = \frac{ln\,2}{T_{\frac{1}{2}}} = 1{,}36 \cdot 10^{-11}\ s^{-1}$

Calculamos ahora N, el nº de átomos de Ra contenidos en 1 g
La masa atómica del $^{226}Ra$ es de 226 u aproximadamente, con lo que 1 mol de $^{226}Ra$ tiene 226 g de masa. Así:

$$1\ g\ {}^{226}Ra \cdot \frac{1\,mol\ {}^{226}Ra}{226\ g\ {}^{226}Ra} \cdot \frac{6{,}02 \cdot 10^{23}\ átomos\ {}^{226}Ra}{1\,mol\ {}^{226}Ra} = 2{,}66 \cdot 10^{21}\ átomos\ {}^{226}Ra$$

Sustituyendo en la expresión de la actividad $\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N = -3{,}62 \cdot 10^{10}\ Bq$

Es decir, la cantidad de $^{226}Ra$ presente en la muestra se reduce actualmente a un ritmo de $3{,}62 \cdot 10^{10}$ desintegraciones por segundo.




**b)** El periodo de semidesintegración, $T_{½}$ , indica el tiempo que tarda una cierta cantidad de sustancia radiactiva en reducirse a la mitad, es decir, el tiempo que transcurre hasta la desintegración de la mitad de núcleos que teníamos inicialmente. De este modo, al cabo de un periodo de semidesintegración, quedará la mitad de la muestra original, al cabo de dos veces el $T_{½}$ , quedará la cuarta parte, al cabo de tres $T_{½}$ , la octava parte, y quedará un dieciseisavo de la cantidad original transcurrido un tiempo igual a cuatro veces el periodo de semidesintegración.
Por lo tanto, el tiempo necesario que nos piden es de 4 · 1620 años = 6480 años = $2{,}04 \cdot 10^{11}$ s

**14.- En un proceso nuclear se bombardean núcleos de $^{7}_{3}Li$ con protones, produciéndose dos partículas α. Si la energía liberada en la reacción es exclusivamente cinética. ¿Qué energía cinética, en MeV, tendrá cada una de las partículas α? [m($^{7}_{3}Li$): 7,01818 uma; m($^{1}_{1}H$): 1,00813 uma; m($^{4}_{2}He$): 4,0026033 uma]**

Se trata en este problema de una reacción nuclear, en la que el litio, al captar un protón, se vuelve inestable y se descompone en dos partículas alfa.
La reacción que tiene lugar es: $^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \rightarrow 2\ ^{4}_{2}He$

La energía liberada en esta reacción (en forma de energía cinética de las dos partículas alfa, según nos dicen) proviene de la pérdida de masa, que se ha transformado en energía según la expresión de Einstein
$E_r = \Delta m \cdot c^2$, donde $\Delta m$ es el defecto másico $\Delta m = \sum m_{PRODUCTOS} - \sum m_{REACTIVOS}$, y c la velocidad de la luz en el vacío. Así:

$$\Delta m = 2 \cdot m(^{4}_{2}He) - m(^{7}_{3}Li) - m(^{1}_{1}H) = -0{,}0211034\ u = -3{,}0503 \cdot 10^{-29}\ kg$$

$$E_r = \Delta m \cdot c^2 = -3{,}153 \cdot 10^{-12}\ J$$

El signo es negativo al ser energía desprendida. Las partículas alfa se llevan esa energía, pero positiva.
Suponiendo que ambas partículas alfa llevan la misma energía cinética, a cada una corresponde la mitad de la energía desprendida, es decir $1{,}5765 \cdot 10^{-12}\ J$

En MeV: $1{,}5765 \cdot 10^{-12}\ J \cdot \dfrac{1\ eV}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J} = 9{,}853 \cdot 10^{6}\ eV = 9{,}853\ MeV$