Cuestiones y problemas sobre Física Nuclear

2022. Junio.

D.2. a) Defina defecto de masa y energía de enlace de un núcleo. ii) Indique razonadamente cómo están relacionadas entre sí ambas magnitudes.

b) El $^{235}_{92}U$ se puede desintegrar, por absorción de un neutrón, mediante diversos procesos de fisión. Uno de estos procesos consiste en la producción de $^{95}_{38}Sr$, dos neutrones y un tercer núcleo $^{A}_{Z}Q$. i) Escriba la reacción nuclear correspondiente y determine el número de protones y el número total de nucleones del tercer núcleo. ii) Calcule la energía producida por la fisión de un núcleo de uranio en la reacción anterior.

m($^{235}_{92}U$) = 235,043930 u; m($^{95}_{38}Sr$) = 94, 919359 u; m($^{A}_{Z}Q$) = 138,918793 u; m_n = 1,008665 u; 1 u = $1,66\cdot10^{-27}$ kg; c = $3\cdot10^{8}$ m s^{-1}

a) El defecto de masa de un núcleo es la diferencia entre la masa de sus partículas (protones + neutrones) por separado y la masa del núcleo $\Delta m = \sum m_{Partículas} - m_{Núcleo}$. Esta diferencia se debe a que parte de la masa de los nucleones se transforma en energía al formarse el núcleo a partir de sus partículas por separado.

La energía de enlace de un núcleo E_e (*Ojo: no confundir con energía de enlace por nucleón, E_n*) es la energía desprendida al formarse el núcleo a partir de sus partículas por separado. También puede definirse como la energía que es necesario suministrar al núcleo para separar sus partículas. Esta energía se debe a la transformación de materia en energía (o viceversa) según la relación de Einstein $E_e = \Delta m \cdot c^2$

ii) La relación entre ambas magnitudes es precisamente la expresión antes vista $E_e = \Delta m \cdot c^2$. El defecto másico se debe a la transformación en energía de parte de la masa de las partículas al unirse mediante la interacción nuclear fuerte.

b) i) En una reacción de fisión, un núcleo pesado, al captar un neutrón, se vuelve inestable y se descompone (fisión) en varios núcleos más ligeros, desprendiéndose también varios neutrones y energía.

La reacción del enunciado es $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{95}_{38}Sr + ^{A}_{Z}Q + 2\,^{1}_{0}n$

Para calcular A y Z, tenemos en cuenta que en toda reacción nuclear se cumple el principio de conservación de la carga (la suma de números atómicos Z debe coincidir en ambos miembros de la reacción) y la conservación del número de nucleones (la suma de números másicos A debe coincidir en ambos miembros de la reacción).

Así: 235 +1 = 95 + A + 2 → A = 139   92 + 0 = 38 + Z + 0 → Z = 54 es xenón (Xe)

El tercer núcleo es un isótopo de xenón $^{139}_{54}Xe$ *(No es necesario saber de qué elemento químico se trata)*

Y la reacción: $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{95}_{38}Sr + ^{139}_{54}Xe + 2\,^{1}_{0}n$

ii) La energía que nos piden es la energía de reacción $E_r = \Delta m \cdot c^2$

Donde Δm es el defecto másico $\Delta m = \sum m_{reactivos} - \sum m_{productos}$

Calculamos $\Delta m = m(^{235}_{92}U) + m(^{1}_{0}n) - m(^{95}_{38}Sr) - m(^{139}_{54}Xe) - 2\cdot m(^{1}_{0}n) = 0{,}197113\,u$

Pasamos a kg. $0{,}197113\,u \cdot \frac{1{,}66\cdot10^{-27}kg}{1\,u} = 3{,}2721\cdot10^{-28}kg$

Y la energía de reacción: $E_r = \Delta m \cdot c^2 = 3{,}2721\cdot10^{-28}\cdot(3\cdot10^{8})^2 = 2{,}94489\cdot10^{-11}\,J$

Se desprenden $2{,}94489\cdot10^{-11}\,J$ por cada núcleo de $^{235}_{92}U$ fisionado.

2022. Julio.

D2. a) Razone cuáles de los siguientes productos podrían ser el resultado de la fisión de ${}^{235}_{92}U$ tras absorber un neutrón:

i) ${}^{209}_{82}Pb + 5\alpha + 2p + 5n$; ii) ${}^{90}_{38}Sr + {}^{140}_{54}Xe + 6n$

b) Considere la siguiente reacción nuclear de fusión:

$${}^{A}_{Z}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow 2\,{}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

i) Determine de manera razonada el número másico y el número atómico del núcleo de Litio. ii) Calcule la energía liberada en la reacción por cada núcleo de Litio.

$m({}^{1}_{1}\mathrm{H})$ = 1,007825 u; $m({}^{4}_{2}\mathrm{He})$ = 4,002603 u; $m({}^{A}_{Z}\mathrm{Li})$ = 7,016003 u; 1u = $1{,}66\cdot10^{-27}$ kg; c = $3\cdot10^{8}$ m s^{-1}

a) En toda reacción nuclear se cumple:

Ppio conservación de la carga $\Sigma Z_{react} = \Sigma Z_{productos}$

Ppio conservación del nº de nucleones $\Sigma A_{react} = \Sigma A_{productos}$

Reactivos ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n$ $\Sigma Z = 92$ $\Sigma A = 236$

i) ${}^{209}_{82}Pb + 5\,{}^{4}_{2}\alpha + 2\,{}^{1}_{1}p + 5\,{}^{1}_{0}n$ $\Sigma Z = 82 + 5\cdot 2 + 2 = 94$

$\Sigma A = 209 + 5\cdot 4 + 2 + 5 = 236$

No puede ser, no coincide ΣZ_{react} y ΣZ_{prod}.

ii) ${}^{90}_{38}Sr + {}^{140}_{54}Xe + 6\,{}^{1}_{0}n$ $\Sigma Z = 38 + 54 = 92$

$\Sigma A = 90 + 140 + 6 = 236$

$\Sigma Z_{react} = \Sigma Z_{prod}$ $\Sigma A_{react} = \Sigma A_{prod} \rightarrow$ Sí es posible

b) ${}^{A}_{Z}Li + {}^{1}_{1}H \rightarrow 2\,{}^{4}_{2}He$ Explicación en apdo a)

i) $\Sigma Z_{react} = \Sigma Z_{prod} \rightarrow Z + 1 = 2\cdot 2 \rightarrow Z = 3$ nº atómico ${}^{7}_{3}Li$

$\Sigma A_{react} = \Sigma A_{prod} \rightarrow A + 1 = 2\cdot 4 \rightarrow A = 7$ nº másico

ii) Energía liberada debida a transformación de materia en energía $E_r = \Delta m \cdot c^2$

$\Delta m = \Sigma m_{react} - \Sigma m_{prod} = m(Li) + m(H) - 2\cdot m(He) =$

$= 7'016003\,u + 1'007825\,u - 2\cdot 4'002603\,u = 0'018622\,u$

Pasamos a Kg $0'018622\,u \cdot \dfrac{1'66\cdot 10^{-27}\,Kg}{1u} = 3'091\cdot 10^{-29}\,Kg$

La energía de reacción

$E_r = \Delta m \cdot c^2 = 3'091\cdot 10^{-29}\,kg \cdot (3\cdot 10^{8}\,m/s)^2 = 2'782\cdot 10^{-12}\,J$

(17'39 MeV)

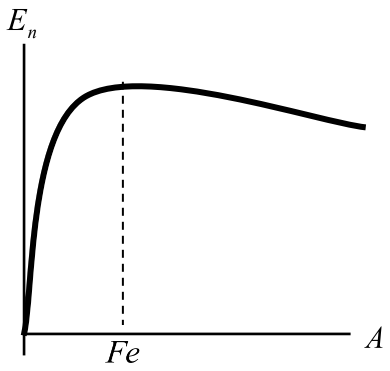
2021. Junio

D.1. a) Represente gráficamente la energía de enlace por nucleón frente al número másico y justifique, a partir de la gráfica, los procesos de fusión y fisión nuclear.

b) En el proceso de desintegración de un núcleo de $^{218}_{84}Po$, se emiten sucesivamente una partícula alfa y dos partículas beta, dando lugar finalmente a un núcleo de masa 213,995201 u. i) Escriba la reacción nuclear correspondiente. ii) Justifique razonadamente, cuál de los isótopos radioactivos (el $^{218}_{84}Po$ o el núcleo que resulta tras los decaimientos) es más estable.

m($^{218}_{84}Po$) = 218,009007 u; m$_p$ = 1,007276 u; m$_n$ = 1,008665 u; 1 u = 1,66·10^{-27} kg; c = 3·10^8 m s^{-1}

a) La energía de enlace por nucleón es la energía promedio desprendida por partícula al formarse el núcleo a partir de sus nucleones por separado. $E_n = \frac{E_e}{A}$. Esta magnitud nos indica la estabilidad del núcleo. Vemos en la gráfica que para núcleos ligeros, con pocas partículas, E$_n$ aumenta rápidamente con A, alcanzando un máximo en el hierro, y disminuyendo suavemente para núcleos más pesados.



La fusión nuclear (unión de dos núcleos para formar uno mayor) es viable energéticamente para núcleos ligeros, ya que el núcleo formado se encuentra más arriba en la gráfica que los núcleos iniciales, desprendiendo una mayor energía por partícula que estos. La fusión de núcleos ligeros desprende energía.

La fisión nuclear (rotura de un núcleo en otros más pequeños) es viable energéticamente en la zona de los núcleos muy pesados, ya que al romperse produce otros núcleos que se encuentran más arriba en la gráfica que el inicial, desprendiendo por tanto más energía por cada partícula. La fisión de núcleos pesados desprende energía.

b) i) En la desintegración alfa un núcleo inestable emite una partícula formada por dos protones y dos neutrones (núcleo de ^4_2He), con lo que su número atómico disminuye en dos unidades y su número másico disminuye en cuatro unidades.

La reacción es: $^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$

En la desintegración beta, debido a la interacción nuclear débil, un neutrón del núcleo de transforma en un protón, un electrón y un antineutrino. $^1_0n \rightarrow {}^1_1H + {}^{\ 0}_{-1}e^- + {}^0_0\bar{v}_e$ El protón se queda en el núcleo por la interacción nuclear fuerte, pero el electrón y el antineutrino son desprendidos. El número atómico del núcleo inicial aumenta en una unidad, y su número másico no cambia. La reacción es $^A_ZX \rightarrow {}_{Z-1}^{\ \ A}Y + {}^{\ 0}_{-1}e^- + {}^0_0\bar{v}_e$

Como se dan una desintegración alfa y dos desintegraciones beta $^{218}_{84}Po \rightarrow {}^A_ZX + {}^4_2He + 2\ {}^{\ 0}_{-1}e^- + 2\ {}^0_0\bar{v}_e$

Como en toda reacción nuclear, se cumple que tanto la suma de número atómicos (carga) como la suma de números másicos se mantienen constantes. Aplicando esto, vemos que

218 = A+4 → *A = 214 ;* *84 = Z + 2 + 2 ·(-1)* → *Z = 84,* se trata también del elemento polonio.

La reacción total es: $^{218}_{84}Po \rightarrow {}^{214}_{84}Po + {}^4_2He + 2\ {}^{\ 0}_{-1}e^- + 2\ {}^0_0\bar{v}_e$

ii) Será más estable el núclido que desprenda una mayor energía de enlace por nucleón $E_n = \frac{E_e}{A}$, donde A es el número másico y E$_e$ es la energía de enlace, calculada a partir del defecto másico con la expresión de Einstein. $E_e = \Delta m \cdot c^2$, donde el defecto másico $\Delta m = \sum m_{Partículas} - m_{Núcleo}$, expresado en kg,

$^{218}_{84}Po$: Z = 84, A = 218. N=A-Z = 134 Tiene 84 protones y 134 neutrones

Defecto másico $\Delta m = 84 \cdot m(^1_1H) + 134 \cdot m(^1_0n) - m(^{218}_{84}Po) = 1{,}763287\ u.$

Pasamos a kg: $1{,}763287\ u \cdot \frac{1{,}66 \cdot 10^{-27} kg}{1\ u} = 2{,}9271 \cdot 10^{-27} kg$

La energía de enlace: $E_e = \Delta m \cdot c^2 = 2{,}9271 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 2{,}63439 \cdot 10^{-10}\ J$

Y la energía de enlace por nucleón $E_n = \frac{E_e}{A} = \frac{2{,}63439 \cdot 10^{-10}\ J}{218} = 1{,}208 \cdot 10^{-12}\ J$

$^{214}_{84}Po$: Z = 84, A = 214. N=A-Z = 130 Tiene 84 protones y 130 neutrones

Defecto másico $\Delta m = 84 \cdot m(^1_1H) + 130 \cdot m(^1_0n) - m(^{214}_{84}Po) = 1{,}742433\ u.$

Pasamos a kg: $1{,}742433\ u \cdot \frac{1{,}66 \cdot 10^{-27} kg}{1\ u} = 2{,}8924 \cdot 10^{-27} kg$

La energía de enlace: $E_e = \Delta m \cdot c^2 = 2{,}8924 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 2{,}60316 \cdot 10^{-10}\ J$

Y la energía de enlace por nucleón $E_n = \frac{E_e}{A} = \frac{2{,}60316 \cdot 10^{-10}\ J}{214} = 1{,}2164 \cdot 10^{-12}\ J$

Vemos que la energía de enlace por nucleón del nuevo núclido, ${}^{214}_{84}Po$ es mayor que la del inicial (${}^{218}_{84}Po$), por lo que es más estable el ${}^{214}_{84}Po$

2021. Julio

D.1. a) Discuta razonadamente la veracidad de las siguientes afirmaciones: i) La masa de un núcleo es siempre menor que la suma de las masas de los protones y neutrones que lo forman. ii) En una emisión alfa el número másico decrece en dos unidades y el número atómico en una.

b) En la bomba de Hidrógeno (o bomba de fusión) intervienen dos núcleos, uno de deuterio (${}^{2}_{1}H$) y otro de tritio (${}^{3}_{1}H$) que dan lugar a uno de helio (${}^{4}_{2}He$). i) Escriba la reacción nuclear correspondiente. ii) Obtenga la energía liberada en el proceso por cada átomo de helio obtenido.

m(${}^{4}_{2}He$)= 4,002603 u; m(${}^{2}_{1}H$)= 2,014102 u; m(${}^{3}_{1}H$)= 3,016049 u; m_n= 1,008665 u; 1 u= $1,66\cdot10^{-27}$ kg; c= $3\cdot10^{8}$ ms^{-1}

a)

i) La afirmación es correcta. Al formarse el núcleo a partir de sus partículas, se pierde masa, que se transforma en energía según la expresión de Einstein $E_e = \Delta m \cdot c^2$, donde E_e es la energía de enlace, c la velocidad de la luz en el vacío y Δm el defecto másico $\Delta m = \sum m_{Partículas} - m_{Núcleo}$

ii) En la desintegración alfa un núcleo inestable emite una partícula formada por dos protones y dos neutrones (núcleo de ${}^{4}_{2}He$), con lo que su número atómico disminuye en dos unidades y su número másico disminuye en cuatro unidades.
La reacción es: ${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$
Por lo tanto, la afirmación es falsa.

b) i) En toda reacción nuclear, se cumple que la suma de número atómicos se mantiene constante (conservación de la carga) y que la suma de números másicos se mantiene constante.
La reacción es: ${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$ Se desprende un neutrón.

ii) La energía liberada por cada núcleo de ${}^{4}_{2}He$ formado es la energía de reacción $E_r = \Delta m \cdot c^2$
donde c es la velocidad de la luz en el vacío y Δm el defecto másico $\Delta m = \sum m_{Reactivos} - m_{Productos}$

Calculamos el defecto másico: $\Delta m = m({}^{2}_{1}H) + m({}^{3}_{1}H) - m({}^{4}_{2}He) - m({}^{1}_{0}n) = 0{,}018883\ u.$

Pasamos a kg: $0{,}018883\ u \cdot \frac{1{,}66\cdot 10^{-27} kg}{1\ u} = 3{,}1346 \cdot 10^{-29} kg$

Y la energía de reacción: $E_r = \Delta m \cdot c^2 = 2{,}821 \cdot 10^{-12}\ J$ (17,6 MeV)

Julio 2020. 8

8. a) El ${}^{214}_{82}Pb$ emite una partícula alfa y se transforma en mercurio (Hg) que, a su vez, emite una partícula beta y se transforma en talio (Tl). Escriba, razonadamente, las reacciones de desintegración descritas.

b) Se dispone inicialmente de una muestra radiactiva que contiene 6.10^{21} átomos de un isótopo de Co, cuyo periodo de semidesintegración es de 77,27 días. Calcule: i) La constante de desintegración radiactiva del isótopo de Co, ii) La actividad inicial de la muestra. iii) El número de átomos que se han desintegrado al cabo de 180 días.

a)

En la desintegración alfa un núcleo inestable emite una partícula formada por dos protones y dos neutrones (núcleo de ${}^{4}_{2}He$), con lo que su número atómico disminuye en dos unidades y su número másico disminuye en cuatro unidades. La reacción es: ${}^{214}_{82}Pb \rightarrow {}^{210}_{80}Hg + {}^{4}_{2}He$
Como en toda reacción nuclear, se cumple que tanto la suma de número atómicos como la suma de números másicos se mantienen constantes.
En la desintegración beta, debido a la interacción nuclear débil, un neutrón del núcleo de transforma en un protón, un electrón y un antineutrino. ${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}H + {}^{0}_{-1}e^- + {}^{0}_{0}\bar{\upsilon}_e$
El protón se queda en el núcleo por la interacción nuclear fuerte, pero el electrón y el antineutrino son desprendidos. El número atómico del núcleo inicial aumenta en una unidad, y su número másico permanece. La reacción es
${}^{210}_{80}Hg \rightarrow {}^{210}_{81}Tl + {}^{0}_{-1}e^- + {}^{0}_{0}\bar{\upsilon}_e$

b)

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

i) La constante de desintegración, λ, es característica de cada núclido radiactivo, y está relacionada con la probabilidad de que un núcleo se desintegre en la unidad de tiempo.
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 (transmutación) de la mitad de núcleos que teníamos inicialmente. En el problema $T_{½} = 77{,}27$ días $= 6{,}676 \cdot 10^6$ s

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

Por tanto, $T_{\frac{1}{2}} = \frac{ln2}{\lambda}$ → $\lambda = \frac{ln2}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{ln2}{6{,}676 \cdot 10^6\ s} = 1{,}038 \cdot 10^{-7}\ s^{-1}$ *(también $8{,}97 \cdot 10^{-3}$ días^{-1})*

ii) 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: $A = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda \cdot N$
La actividad $A = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda \cdot N = 1{,}038 \cdot 10^{-7}\ s^{-1} \cdot 6 \cdot 10^{21}\ núcleos = 6{,}23 \cdot 10^{14}$ Bq *($5{,}38 \cdot 10^{19}$ desint./día)*

iii) Para calcular el número de átomos que se han desintegrado, calculamos primero la cantidad sin desintegrar aplicando la ley de desintegración radiactiva. El tiempo transcurrido es de 180 días = $1{,}555 \cdot 10^7$ s

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = 6 \cdot 10^{21} \cdot e^{-1{,}038 \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}555 \cdot 10^{7}} = 1{,}19 \cdot 10^{21}\ átomos\ \text{sin}\ desintegrar$$

Por tanto, el número de átomos desintegrados es de $6 \cdot 10^{21} - 1{,}19 \cdot 10^{21} = 4{,}81 \cdot 10^{21}\ átomos\ desintegrados$

Junio 2019. A. 4.

4. a) El $^{210}_{83}Bi$ se desintegra mediante un proceso beta y el $^{222}_{86}Rn$ mediante radiación alfa. Escriba y explique el proceso radiactivo de cada isótopo, determinando los números atómico y másico del nucleido resultante.
b) Los periodos de semidesintegración del $^{210}_{83}Bi$ y del $^{222}_{86}Rn$ son de 5 y 3,8 días, respectivamente. Disponemos de una muestra de 3 mg del $^{210}_{83}Bi$ y otra de 10 mg del $^{222}_{86}Rn$. Determine en cuál de ellos quedará más masa por desintegrarse al cabo de 15,2 días.

a) Nos encontramos ante dos nucleidos radiactivos, núcleos inestables que desprenden partículas, transformándose en otros nucleidos con diferentes Z, A o ambos.

La emisión beta es ocasionada por la interacción nuclear débil, responsable de la transformación de un neutrón (^1_0n) del núcleo en un protón (^1_1H), un electrón ($^{\;0}_{-1}\text{e}^-$) y un antineutrino ($^0_0\bar{\nu}_e$). El protón queda ligado al núcleo, atraído por la fuerza nuclear fuerte, y tanto el electrón como el antineutrino salen del núcleo.

$$^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^{\;0}_{-1}\text{e}^- + {}^0_0\bar{\nu}_e$$

Como resultado de esto, el núcleo final tendrá un protón más y un neutrón menos que el original, por lo que Z aumenta en una unidad y A permanece igual.

$^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84}\text{Po} + {}^{\;0}_{-1}\text{e}^- + {}^0_0\bar{\nu}_e$ El nuevo núcleo es de polonio-210, con Z = 84 y A = 210

La emisión alfa consiste en la emisión de partículas α ($^4_2\text{He}^{2+}$), quedando el núcleo resultante con dos protones y dos neutrones menos que el original, con lo que Z disminuye en 2 unidades y A en 4 unidades.

$^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^{218}_{84}\text{Po} + {}^4_2\text{He}$ El nuevo núcleo es de polonio-218, con Z = 84 y A = 218

b) Al emitir radiación, los núcleos iniciales se van transmutando en los núcleos finales, con lo que la cantidad de núcleos iniciales que quedan sin desintegrar va disminuyendo según la ley de desintegración radiactiva

$m = m_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ donde *m* es la masa del nucleido inicial que queda sin desintegrar en la actualidad, *m₀* es la masa que había inicialmente sin desintegrar, *t* el tiempo transcurrido, y τ la vida media del isótopo radiactivo.

La vida media está relacionada con el periodo de semidesintegración $T_{\frac{1}{2}} = \tau \cdot ln2$ $\tau = \frac{T_{\frac{1}{2}}}{ln2}$

Calcularemos la masa m sin desintegrar de cada isótopo pasado un tiempo t = 15,2 días.

Bismuto: $m_0 = 3$ mg $T_{1/2} = 5$ días → $\tau = \frac{T_{\frac{1}{2}}}{ln2} = 7{,}21\ días$

$m = m_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 3\ mg \cdot e^{-\frac{15{,}2\ días}{7{,}21\ días}} = 0{,}36\ mg$ quedan sin desintegrar.

Radón: $m_0 = 10$ mg $T_{1/2} = 3{,}8$ días → $\tau = \frac{T_{\frac{1}{2}}}{ln2} = 5{,}48\ días$

$m = m_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 10\ mg \cdot e^{-\frac{15{,}2\ días}{5{,}48\ días}} = 0{,}624\ mg$ quedan sin desintegrar.

Vemos que, pasados 15,2 días, queda más cantidad sin desintegrar de $^{222}_{86}\text{Rn}$ que de $^{210}_{83}\text{Bi}$.

Junio 2017. A.4

4. a) Describa brevemente las interacciones fundamentales de la naturaleza. Compare su alcance e intensidad.
b) El periodo de semidesintegración de un núclido radiactivo de masa atómica 109 u, que emite partículas beta, es de 462,6 días. Una muestra cuya masa inicial era de 100 g, tiene en la actualidad 20 g del núclido original. Calcule la constante de desintegración y la actividad actual de la muestra. 1 u = $1{,}67\cdot10^{-27}$ kg

Interacción Gravitatoria: Afecta a cuerpos con masa. Es, por tanto, una interacción universal. Es siempre atractiva (tiende a acercar ambos cuerpos). Es de largo alcance (alcance infinito), disminuyendo su intensidad con el cuadrado de la distancia. Es la más débil de las cuatro interacciones. Su constante característica, $G = 6{,}67\cdot10^{-11}\ \mathrm{N\ m^2\ kg^{-2}}$
Su intensidad es independiente del medio en el que estén ambos cuerpos (aire, agua, vacío...).
Esta interacción es debida a la curvatura del espacio-tiempo producida por los cuerpos con masa.
Explica: Peso, caída de los cuerpos, movimiento de planetas, galaxias...

Interacción Electromagnética: Afecta a cuerpos con carga eléctrica. La carga puede ser positiva o negativa.
La interacción depende del signo de las cargas y del movimiento relativo entre ellas. Es de largo alcance (infinito)
Es una interacción relativamente fuerte. Su intensidad depende del medio en el que estén ambos cuerpos.
Las partículas mediadoras en esta interacción son los fotones.
Explica: Fuerzas por contacto, estructura de átomos y moléculas, reacciones químicas, fenómenos eléctricos y magnéticos.

Interacción Nuclear Fuerte: Afecta a partículas nucleares constituidas por quarks (protones, neutrones...). No afecta a los leptones (electrones, muones, neutrinos…). Es atractiva. Es de muy corto alcance (aprox. 10^{-15} m, el tamaño del núcleo atómico). Es la más fuerte de las interacciones (con mucha diferencia).
Las partículas mediadoras en esta interacción son los gluones.
Explica: Estructura del núcleo atómico, reacciones nucleares, algunas desintegraciones radiactivas...

Interacción nuclear débil: Afecta a quarks y leptones (electrón, neutrinos...)
No es propiamente atractiva ni repulsiva. Es responsable de la transformación de unas partículas en otras.
Es de muy corto alcance (aprox 10^{-16} m). Es una interacción débil, aunque más fuerte que la gravitatoria.
Las partículas mediadoras en esta interacción son los bosones vectoriales W y Z.
Explica: Radiactividad beta, cambios en partículas subatómicas, supernovas...

- Las interacciones gravitatoria y electromagnética tienen alcance infinito. Las interacciones nucleares fuerte y débil son de muy corto alcance (el tamaño del núcleo atómico o inferior).
- Orden de intensidad: Nuclear fuerte > Electromagnética > Nuclear débil > Gravitatoria

b) Nos encontramos ante una cuestión de radiactividad, emisión de partículas por parte de núcleos inestables, que se transforman en otros núcleos distintos.
La constante de desintegración, λ, es característica de cada núclido radiactivo, y está relacionada con la probabilidad de que un núcleo se desintegre en la unidad de tiempo.
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 (transmutación) de la mitad de núcleos que teniamos inicialmente. En el problema $T_{½} = 462{,}6$ días $= 3{,}997\cdot10^{7}$ s

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

Por tanto, $T_{\frac{1}{2}} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$ → $\lambda = \dfrac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = \dfrac{\ln 2}{3{,}997\cdot10^{7}\,s} = 1{,}73\cdot10^{-8}\,s^{-1}$

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: $Ac = \left|\dfrac{dN}{dt}\right| = \lambda\cdot N$
Calculamos el número de núcleos a partir de la masa actual (20 g) y de la masa atómica del núclido (109 u)

$$N = 0{,}02\ kg\cdot\frac{1u}{1{,}67\cdot10^{-27}kg}\cdot\frac{1\ núcleo}{109\ u} = 1{,}1\cdot10^{23}\ núcleos$$

La actividad $Ac = \left|\dfrac{dN}{dt}\right| = \lambda\cdot N = 1{,}73\cdot10^{-8}\,s^{-1}\cdot 1{,}1\cdot10^{23}\ núcleos = 1{,}9\cdot10^{15}$ Bq

(Nota: hemos usado el valor de la unidad de masa atómica que aparece en el enunciado, aunque es incorrecto. El valor de la unidad de masa atómica es 1 u =$1{,}660\,538\,921\cdot10^{-27}$ kg. El redondeo correcto es 1 u = $1{,}66\cdot10^{-27}$ kg)

Junio 2016. A. 4

4. El $^{210}_{82}Pb$ emite dos partículas beta y se transforma en Polonio y, posteriormente, por emisión de una partícula alfa se obtiene plomo.
a) Escriba las reacciones nucleares descritas.
b) El periodo de semidesintegración del $^{210}_{82}Pb$ es de 22,3 años. Si teníamos inicialmente 3 moles de átomos de ese elemento y han transcurrido 100 años. ¿Cuántos núcleos radiactivos quedan sin desintegrar?
$N_A = 6{,}02\cdot10^{23}$ mol^{-1}

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

La radiactividad beta consiste en la emisión de electrones por parte del núcleo. La responsable de esta desintegración es la interacción nuclear débil, que provoca que un neutrón del núcleo se transforme en un protón (que se queda en el núcleo) un electrón y un antineutrino, según la reacción.

$^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p^{+} + {}^{0}_{-1}e^{-} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}_e$ Y el núcleo se transforma en otro del elemento situado un lugar a la derecha en la tabla periódica $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e^{-} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}_e$

Así, si el Plomo sufre dos desintegraciones beta, se transforma en Polonio, situado dos lugares a la derecha

$$\boxed{^{210}_{82}Pb \rightarrow {}^{210}_{84}Po + 2\,{}^{0}_{-1}e^{-} + 2\,{}^{0}_{0}\overline{\nu}_e}$$

La radiactividad alfa consiste en la emisión de núcleos de helio (2 protones y 2 neutrones). El elemento se transforma en el situado dos lugares a su izquierda en la tabla periódica $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$

$$\boxed{^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He}$$

b) Conforme se van desintegrando los átomos, la muestra inicial de 3 moles sin desintegrar se irá reduciendo, de acuerdo con la ley de desintegración radiactiva.

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

donde N_0 es el nº de núcleos inicial, t el tiempo transcurrido , τ la vida media de la sustancia radiactiva (tiempo promedio de desintegración de un núcleo), y N el nº de átomos sin desintegrar que quedan transcurrido el tiempo t.

Calculamos N_0 a partir del número de moles

$$3\,mol\ {}^{210}Pb \cdot \frac{6{,}02\cdot10^{23}\ átomos\ {}^{210}Pb}{1\,mol\ {}^{210}Pb} = 1{,}806\cdot10^{24}\ átomos\ {}^{210}Pb$$

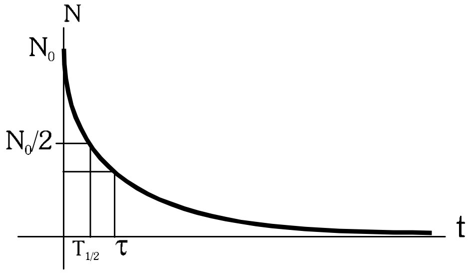
Calculamos la vida media a partir del periodo de semidesintegración ($T_{\frac{1}{2}}$), tiempo que transcurre hasta que la cantidad de átomos inicial se reduce a la mitad. $T_{1/2} = ln2\cdot\tau \rightarrow \tau = \frac{T_{1/2}}{ln2} = 32{,}172\,años$

Por lo tanto, la cantidad N sin desintegrar pasados 100 años será

$$N = N_o \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 1{,}806\cdot10^{24}\cdot e^{-\frac{100\,años}{32{,}172\,años}}\ átomos = 8{,}07\cdot10^{22}$$ átomos sin desintegrar

Junio 2015. A. 4.

4. Disponemos de una muestra de 3 mg de ^{226}Ra. Sabiendo que dicho núclido tiene un periodo de semidesintegración de 1600 años y una masa atómica de 226,025 u, determine razonadamente:
a) El tiempo necesario para que la masa de dicho isótopo se reduzca a 1 mg.
b) Los valores de la actividad inicial y la actividad final de la muestra.
u = 1,67·10^{-27} kg



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

Conforme se van desintegrando los átomos, la muestra inicial de 3 mg sin desintegrar, se irá reduciendo, de acuerdo con la ley de desintegración radiactiva.

$N = N_o \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$, o $m = m_o \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ donde m_0 es la masa inicial, t el tiempo transcurrido y τ la vida media de la sustancia radiactiva (tiempo promedio de desintegración de un núcleo).

Si finalmente se reduce a 1 mg (la tercera parte), podemos despejar el tiempo de la ley de desintegración

$$\frac{m}{m_0} = e^{-\frac{t}{\tau}} \rightarrow t = -\tau \cdot \ln\frac{m}{m_0}$$

Calculamos la vida media a partir del periodo de semidesintegración ($T_{\frac{1}{2}}$), tiempo que transcurre hasta que la cantidad de átomos inicial se reduce a la mitad. $T_{1/2} = \ln 2 \cdot \tau \rightarrow \tau = \frac{T_{½}}{\ln 2} \approx 2308{,}31\,años$

Por lo tanto, el tiempo necesario $t = -\tau \cdot \ln\frac{m}{m_0} = -2308{,}31\,años \cdot \ln\frac{1\,mg}{3\,mg} = 2535{,}94\,años$

b) 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: $Ac = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda \cdot N$

Calculamos λ, la constante radiactiva del radio, a partir del periodo de semidesintegración
$T_{½}$ = 1600 años = 5,046· 10^{10} s.

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

Por tanto $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = 1{,}374 \cdot 10^{-11}\,s^{-1}$

Para calcular las actividades inicial y final, necesitamos conocer el número de átomos en cada momento.

Inicial (N_0) : $3\,mg = 3 \cdot 10^{-6}\,kg \cdot \frac{1\,u}{1{,}67 \cdot 10^{-27} kg} \cdot \frac{1\,átomo\,Ra}{226{,}025\,u} = 7{,}95 \cdot 10^{18}\,átomos\,{}^{226}Ra$

Final (N) : $1\,mg = 10^{-6}\,kg \cdot \frac{1\,u}{1{,}67 \cdot 10^{-27} kg} \cdot \frac{1\,átomo\,Ra}{226{,}025\,u} = 2{,}65 \cdot 10^{18}\,átomos\,{}^{226}Ra$

Así

Actividad inicial $Ac_0 = \lambda \cdot N_0 = 1{,}374 \cdot 10^{-11}\,s^{-1} \cdot 7{,}95 \cdot 10^{18}\,átomos = 1{,}092 \cdot 10^{8}\,Bq$

Actividad final $Ac = \lambda \cdot N = 1{,}374 \cdot 10^{-11}\,s^{-1} \cdot 2{,}65 \cdot 10^{18}\,átomos = 3{,}641 \cdot 10^{7}\,Bq$

Vemos que la actividad de la muestra también se reduce a la tercera parte.

Junio 2013. A. 4

4. En las estrellas de núcleos calientes predominan las fusiones del denominado ciclo del carbono, cuyo último paso consiste en la fusión de un protón con $^{15}_{7}N$ para dar $^{12}_{6}C$ y un núcleo de helio.

a) Escriba la reacción nuclear.

b) Determine la energía necesaria para formar 1 kg de $^{12}_{6}C$.

c = 3 ·10⁸ m s⁻¹ ; m($^{1}_{1}H$) = 1,007825 u ; m($^{15}_{7}N$) = 15,000108 u ; m($^{12}_{6}C$) = 12,000000 u ; m($^{4}_{2}He$) = 4,002603 u ; u = 1,7 ·10⁻²⁷ kg

a) La reacción nuclear de fusión entre un protón ($^{1}_{1}H$) y un núcleo de nitrógeno-15 ($^{15}_{7}N$) es:

$$^{1}_{1}H + ^{15}_{7}N \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{4}_{2}He$$

Se cumple, como en toda reacción nuclear, que la suma de números atómicos y másicos se mantiene constante, al principio y al final de la reacción, así como la carga eléctrica.

b) Para calcular la energía necesaria para producir 1 kg de C-12, debemos calcular en primer lugar la energía de reacción en la formación de un núcleo de C-12.

La energía de reacción absorbida o desprendida se debe a la transformación de masa en energía o viceversa, dada por la fórmula de Einstein $E_r = \Delta m \cdot c^2$, donde *Δm* es el defecto másico $\Delta m = \sum m_{Reactivos} - \sum m_{Productos}$, y c la velocidad de la luz en el vacío. Así:

Defecto másico: $\Delta m = m(^{15}_{7}N) + m(^{1}_{1}H) - m(^{12}_{6}C) - m(^{4}_{2}He) = 0{,}00533\, u$

Pasamos a kg: $0{,}00533\ u \cdot \frac{1{,}7\cdot 10^{-27} kg}{1\, u} = 9{,}061 \cdot 10^{-30} kg$

La energía de reacción: $E_r = \Delta m \cdot c^2 = 9{,}061 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 8{,}15 \cdot 10^{-13}\, J$

Obtenemos un valor positivo, que corresponde a energía desprendida. En este caso, se ha transformado materia en energía.

Teniendo en cuenta el signo que obtenemos, no tiene mucho sentido el que nos hablen de « energía necesaria », que sería lógico en el caso de que la energía de reacción saliese negativa. Estoy seguro de que no se refieren a la energía cinética mínima que deben llevar los protones para vencer la repulsión electrostática y acercarse lo suficiente al núcleo de nitrógeno de forma que actúe la fuerza nuclear fuerte, ya que su cálculo excede el nivel de este curso. Será un error « leve » del enunciado (o no tan leve, porque puede hacer perder tiempo comprobando una y otra vez la cuenta, con el nerviosismo que conlleva).

Calculamos ahora la energía « necesariamente desprendida » por cada kg (1000 g) de C-12 obtenido. Pasamos la masa de kg a u, posteriormente sabemos que q átomo de C-12 tiene 12 u, y finalmente, hemos calculado que por cada átomo de C-12 formado se desprenden 8,15 ·10⁻¹³ J,

$$1\, kg\ ^{12}C \cdot \frac{1\, u}{1{,}7 \cdot 10^{-27}\, kg\ ^{12}C} \cdot \frac{1\, átomo\ ^{12}C}{12\, u} \cdot \frac{8{,}15 \cdot 10^{-13}\ J}{1\, átomo\ ^{12}C} = 3{,}995 \cdot 10^{13}\ J\ desprendidos$$

Si como dato, en lugar del valor de 1 u, nos hubieran dado el número de Avogadro, la conversión sería:

1 mol de C-12 tiene una masa de 12 g y contiene 6,022 ·10²³ átomos. Y hemos calculado que al formarse cada átomo de C-12 se desprenden 8,15 ·10⁻¹³ J.

$$1000\, g\ ^{12}C \cdot \frac{1\, mol\ ^{12}C}{12\, g\ ^{12}C} \cdot \frac{6{,}02 \cdot 10^{23}\ átomos\ ^{12}C}{1\, mol\ ^{12}C} \cdot \frac{8{,}15 \cdot 10^{-13}\ J}{1\, átomo\ ^{12}C} = 4{,}089 \cdot 10^{13}\ J\ desprendidos$$

(Nota: La pequeña diferencia observada entre ambos resultados se debe únicamente a la poca precisión en el valor de u (1,7·10⁻²⁷ kg, en lugar de 1,66·10⁻²⁷ kg) que aparece en el enunciado del problema)

Junio 2013. B.2

2. a) Enuncie la ley de desintegración radiactiva y enumere las magnitudes que intervienen en su expresión.
b) Considere dos muestras de dos isótopos radiactivos. Si el periodo de semidesintegración de una es el doble que el de la otra, razone cómo cambia la relación entre las actividades de ambas muestras en función del tiempo.

a) Al emitir radiación, la sustancia se va transformando en otra diferente. Esta transformación no es instantánea, ya que no todas las desintegraciones se producen a la vez. Además, es un proceso aleatorio, no sabemos en qué instante exacto se desintegrará un átomo en concreto. Pero, con mayor o menor rapidez, el número de átomos de la sustancia inicial va disminuyendo (y aumentando el de la sustancia final). La rapidez de esta disminución depende de dos factores:

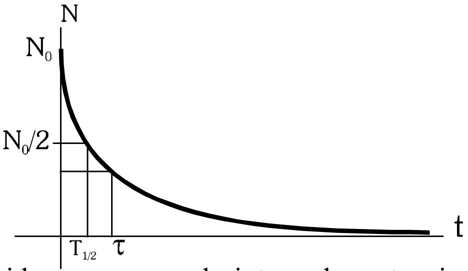
Naturaleza de la sustancia: Esta influencia viene marcada por la llamada **constante de desintegración (λ)**. Se mide en s^{-1}. Cada sustancia radiactiva tendrá su λ. Indica la probabilidad de que un núcleo se desintegre en la unidad de tiempo. La magnitud inversa es la **vida media** ($\tau = 1/\lambda$), tiempo medio que tarda un núcleo en sufrir la desintegración radiactiva.

Número de átomos que tengamos en cada instante: N. En el instante inicial, ese nº será N_0.

La ley de desintegración, en su forma diferencial es $\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$

En forma exponencial : $N = N_o \cdot e^{-\lambda \cdot t}$, o $\frac{N}{N_o} = e^{-\lambda \cdot t}$

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



La magnitud $Ac = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda \cdot N$ se denomina **actividad**, e indica la rapidez con que se desintegra la sustancia (es decir, el número de desintegraciones por segundo que ocurren en un instante).

Se mide, en el S.I., en *desintegraciones / s* (*bequerel*, Bq).

La cantidad N/N_0 se denomina **fracción sin desintegrar**, y suele medirse en %.

b) El periodo de semidesintegración es el tiempo que tardan en desintegrarse la mitad de los núcleos de una muestra radiactiva. Está relacionado con la vida media por $T_{1/2} = ln\,2 \cdot \tau$

De este modo, si el periodo de semidesintegración de una es el doble que el de la otra ($T_2 = 2 \cdot T_1$), también su vida media será el doble ($\tau_2 = 2 \cdot \tau_1$), y la constante radiactiva, la mitad ($\lambda_2 = \lambda_1/2 \rightarrow \lambda_1 = 2 \cdot \lambda_2$)

La relación entre las actividades será

$$\frac{Ac_1}{Ac_2} = \frac{\lambda_1 \cdot N_1}{\lambda_2 \cdot N_2} = 2 \cdot \frac{N_1}{N_2} = 2 \cdot \frac{N_{01} \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t}}{N_{02} \cdot e^{-\lambda_2 \cdot t}} = 2 \cdot \frac{N_{01}}{N_{02}} \cdot e^{(\lambda_2 - \lambda_1) \cdot t}$$

Como la muestra 1 se desintegra más rápidamente que la 2, su actividad se reduce más rápidamente. La relación actividad1/actividad2 disminuye exponencialmente con el tiempo hasta hacerse cero.

Junio 2012. B. 4

4. Entre unos restos arqueológicos de edad desconocida se encuentra una muestra de carbono en la que sólo queda una octava parte del carbono ^{14}C que contenía originalmente. El periodo de semidesintegración del ^{14}C es de 5730 años.

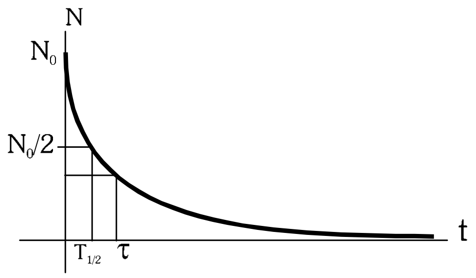
a) Calcule la edad de dichos restos.

b) Si en la actualidad hay 10^{12} átomos de ^{14}C en la muestra, ¿cuál es su actividad?

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

(Nota, no necesaria pero sí útil: El ^{14}C es un isótopo radiactivo del carbono presente en la naturaleza en una proporción muy pequeña, aunque medible. En los restos arqueológicos, normalmente este ^{14}C proviene de restos de seres vivos. Durante su vida, el ser vivo intercambia carbono con el medio, con lo que la proporción de ^{14}C se mantiene constante. Al morir, ya no incorpora más carbono, con lo que esta cantidad disminuye con el tiempo. Sufre desintegración beta, transformándose en ^{14}N y desprendiendo un electrón y un antineutrino)

a) 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 (transmutación) de la mitad de núcleos que teniamos 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, que es la situación que nos dice el problema.



Por lo tanto, el tiempo transcurrido para que quede la octava parte de los núcleos iniciales (y por tanto, la edad de los restos) es de 3 · 5730 años = <u>17190 años = 5,42 ·10^{11} s</u>

b) 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: $Ac = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda \cdot N$

Calculamos λ, la constante radiactiva del radio, a partir del periodo de semidesintegración

$T_{½}$ = 5730 años = 1,807· 10^{11} s.

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

Por tanto $\lambda = \frac{ln\,2}{T_{\frac{1}{2}}} = 3,836 \cdot 10^{-12}\ s^{-1}$

Como el número de átomos es de 10^{12}, sustituyendo en la expresión de la actividad

$Ac = \lambda \cdot N = 3,836\ Bq$

Es decir, la cantidad de ^{14}C presente en la muestra se reduce actualmente a un ritmo de <u>3,836 desintegraciones por segundo.</u>

Junio 2011. A.4

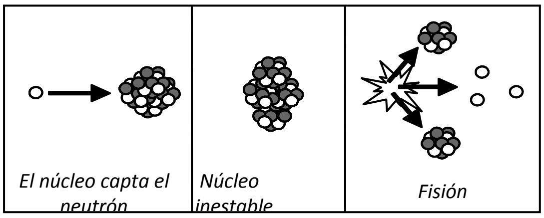
4. La fisión de un átomo de $^{235}_{92}U$ se produce por captura de un neutrón, siendo los productos principales de este proceso $^{144}_{56}Ba$ y $^{90}_{36}Kr$.

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 $\cdot 10^8$ W. Determine la masa del material fisionable que se consume cada día.

$c = 3 \cdot 10^8$ m·s^{-1} ; $m_U = 235{,}12$ u ; $m_{Ba} = 143{,}92$ u ; $m_{Kr} = 89{,}94$ u ; $m_n = 1{,}008665$ u ; 1 u = $1{,}7 \cdot 10^{-27}$ kg.

a) La fisión nuclear consiste en la ruptura de un núcleo de un elemento pesado (por número másico por encima del hierro) en otros más ligeros, normalmente al ser bombardeado con neutrones. Al captar el neutrón, el núcleo se vuelve inestable y se descompone en dos núcleos, desprendiéndose además uno o varios neutrones. En los núcleos pesados, como es el caso del uranio, este proceso desprende energía.



La reacción nuclear correspondiente, teniendo en cuenta que debe cumplirse la conservación de la suma de los números atómicos (Z) y másicos (A) al principio y al final de la reacción, queda.

$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{144}_{56}Ba + ^{90}_{36}Kr + 2\,^{1}_{0}n$ En este caso, se desprenden dos neutrones.

La energía liberada en este proceso se debe a la transformación de masa en energía. En una reacción nuclear, la energía total se conserva, pero no así la masa. Parte de la masa se transforma en energía (o viceversa), de acuerdo con la teoría de la Relatividad de Einstein (1905). La energía absorbida o desprendida en la reacción viene dada por la expresión $E_r = \Delta m \cdot c^2$, donde Δm es el defecto másico $\Delta m = \sum m_{Reactivos} - \sum m_{Productos}$, y c la velocidad de la luz en el vacío. Así:

Defecto másico: $\Delta m = m(U) + m(n) - m(Ba) - m(Kr) - 2 \cdot m(n) = 0{,}251335\, u$

Pasamos a kg: $0{,}251335\ u \cdot \frac{1{,}7 \cdot 10^{-27} kg}{1\, u} = 4{,}272695 \cdot 10^{-28} kg$

La energía de reacción: $E_r = \Delta m \cdot c^2 = 4{,}272695 \cdot 10^{-28} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 3{,}845 \cdot 10^{-11}\, J$

Obtenemos un valor positivo, que corresponde a energía desprendida. En este caso energía cinética de los núcleos y partículas producidas.

Por cada núcleo de uranio fisionado se desprenden (redondeando) $3{,}845 \cdot 10^{-11}$ J.

b) Si en la central se liberan 45 $\cdot 10^8$ W, significa que se desprenden 45 $\cdot 10^8$ J por segundo. En un día se desprenderán

$$\frac{45 \cdot 10^8\ J}{1 s} \cdot \frac{86400 s}{1 día} = 3{,}888 \cdot 10^{14}\ J\ por\ día$$

Por lo tanto, sabiendo que La fisión de un núcleo de uranio desprende $3{,}845 \cdot 10^{-11}$ J
Masa de un núcleo de U-235 = 235,12 u
1 u = $1{,}7 \cdot 10^{-27}$ kg.
Usando factores de conversión:

$$3{,}888 \cdot 10^{14}\ J \cdot \frac{1 núcleo U}{3{,}845 \cdot 10^{-11}\ J} \cdot \frac{235{,}12 u}{1 núcleo U} \cdot \frac{1{,}7 \cdot 10^{-27}\ kg}{1 u} = 4{,}0417 kg$$ de U-235 se consumen cada día.

Si en lugar del dato del valor de 1 u, nos hubieran dado el número de Avogadro, la conversión se haría de esta forma:
Mat(U-235) = 235,12 → 1 mol U-235 = 235,12 g U-235 = 0,23512 kg U-235
1 mol U-235 = $6{,}022 \cdot 10^{23}$ núcleos U-235

$$3{,}888 \cdot 10^{14}\ J \cdot \frac{1 núcleo U}{3{,}845 \cdot 10^{-11}\ J} \cdot \frac{1 mol U}{6{,}022 \cdot 10^{23}\ núcleos U} \cdot \frac{0{,}23512 kg U}{1 mol U} = 3{,}948 \approx 4\, kg\ U235$$

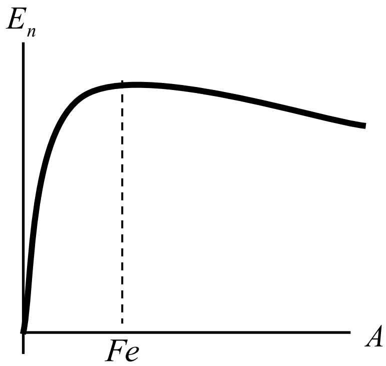
Junio 2010. B.2

2. a) Estabilidad nuclear.

b) Explique el origen de la energía liberada en los procesos de fisión y fusión nucleares.

a) La estabilidad nuclear es la tendencia que tiene un núcleo atómico a mantenerse inalterado. Es decir, un núcleo es estable si no se descompone, si no se transforma en otro núcleo mediante desintegraciones radiactivas. De hecho, se considera que un núcleo es estable si su vida media es mayor que la edad del universo.

Es la interacción nuclear fuerte (varios órdenes de magnitud más intensa que la repulsión electrostática) la responsable de mantener unidas las partículas que componen el núcleo. Es una interacción de muy corto alcance, lo que hace que núcleos que muchas partículas (más de 200) tiendan a ser inestables. En otras ocasiones es la interacción nuclear débil la que produce inestabilidad en el núcleo, produciendo desintegraciones radiactivas.



La mayor o menor estabilidad de un núcleo depende de la energía desprendida en su formación. Concretamente, del promedio de energía desprendido por cada partícula. Esto se conoce como energía de enlace por nucleón. $E_n = \frac{E_e}{A}$, siendo E_e la energía de enlace ($E_e = \Delta m \cdot c^2$) y A el número másico. Las partículas del núcleo se mantendrán unidas mientras no se les suministre esa energía.

Representando la energía de enlace por nucleón en función del número másico, se obtiene una gráfica como la de la figura, en la que se observa que la E_n (y, por tanto, la estabilidad nuclear) aumenta con A para los elementos más ligeros y tiene un máximo para el elemento Hierro (A = 56), decreciendo suavemente para elementos más pesados. Los elementos más ligeros que el hierro desprenden energía al fusionarse, mientras que para los elementos pesados es la fisión, o rotura, lo que produce desprendimiento de energía.

Para elementos ligeros, la estabilidad se da para isótopos con aproximadamente el mismo número de protones que neutrones. Sin embargo, en los elementos muy pesados, la proporción entre neutrones y protones es de aproximadamente 1,5.

b) El origen de la energía desprendida en los procesos de fusión y fisión nucleares, así como en cualquier otro tipo de reacción nuclear, está en la trasformación de masa en energía. En un proceso nuclear que libere energía, la masa total de los productos (núcleos y partículas resultantes) es menor que la suma de las masas de los reactivos (núcleos y partículas iniciales). Esto se conoce como defecto másico, y se explica a partir de la teoría de la relatividad de Einstein. Una de sus consecuencias es la de la equivalencia masa-energía, $E = m \cdot c^2$.

La energía desprendida de este modo se conoce como energía de reacción (E_r).

$E_r = \Delta m \cdot c^2$, siendo el defecto másico $\Delta m = \sum m_{Reactivos} - \sum m_{Productos}$

(Recordemos:

Fusión nuclear: Unión de dos núcleos ligeros para dar lugar a un núcleo más pesado, normalmente acompañado de desprendimiento de neutrones y energía. Ejemplo: ${}_1^2H + {}_1^3H \rightarrow {}_2^4He + {}_0^1n$

Fisión nuclear: Rotura de un núcleo pesado al ser bombardeado con neutrones. Esta reacción da lugar a dos núcleos más ligeros, varios neutrones y el desprendimiento de energía.

Ejemplo: ${}_{92}^{235}U + {}_0^1n \rightarrow {}_{56}^{144}Ba + {}_{36}^{89}Kr + 3\,{}_0^1n$)

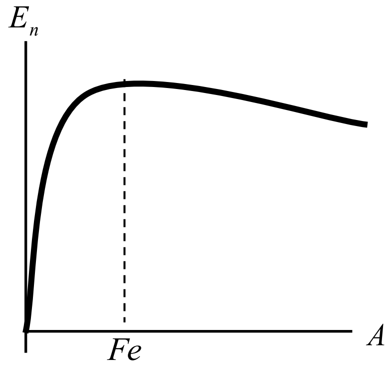
Junio 2009. B.2

2. a) Explique el origen de la energía liberada en una reacción nuclear basándose en el balance masa-energía.
b) Dibuje aproximadamente la gráfica que relaciona la energía de enlace por nucleón con el número másico y, a partir de ella, justifique por qué en una reacción de fisión se desprende energía.

a) En una reacción nuclear, núcleos de un determinado elemento químico se transforman en núclidos diferentes (uno o varios), normalmente al chocar con otros núcleos o partículas subatómicas, pudiéndose desprender más partículas.
En estas reacciones, se observa que no se cumple la conservación de la masa. La masa total de los productos (núcleos y partículas finales) es distinta de la masa total de los reactivos (núcleos y partículas iniciales). La teoría de la relatividad de Einstein explica este hecho razonando que masa y energía pueden transformarse una en la otra. La cantidad de energía equivalente a una masa m viene dada por la expresión $E = m \cdot c^2$, donde la constante c es la velocidad de la luz en el vacío.
Así, en una reacción nuclear, la Energía absorbida o desprendida en la reacción se calcula como.

$$\Delta m = \sum m_{Reactivos} - \sum m_{Productos}$$

Si se pierde masa en la reacción (Δm positivo), se libera energía, que es el caso que nos planteaban.



b) La energía de enlace por nucleón (E_n) indica el promedio de energía desprendido por cada partícula (protón o neutrón) en la formación de un núcleo a partir de sus nucleones. También puede entenderse como la energía que es necesario suministrar a cada partícula para descomponer el núcleo. Es un buen indicador de la estabilidad del núcleo. Se calcula con la $E_n = \frac{E_e}{A}$, siendo E_e la energía de enlace y A el número másico.
Representando la energía de enlace por nucleón en función del número másico, se obtiene una gráfica como la de la figura, en la que se observa que la E_n (y, por tanto, la estabilidad nuclear) aumenta con A para los elementos más ligeros y tiene un máximo para el elemento Hierro (A = 56), decreciendo suavemente para elementos más pesados.
La variación de energía en un proceso nuclear puede calcularse mediante un mecanismo sencillo: en primer lugar tendremos que suministrar energía (E_n) a las partículas de los núcleos iniciales para descomponerlos, y luego, al formarse los núcleos finales, cada partícula desprenderá una energía igual a su E_n correspondiente. Para que este proceso desprenda energía, la E_n de los productos debe ser mayor que la de los núcleos iniciales.
En una reacción de fisión, un núcleo se descompone en dos o más núcleos más pequeños (menor A) que el original, al ser bombardeado con partículas, normalmente neutrones.
Vemos en la gráfica que este proceso desprenderá energía sólo para núcleos pesados, de A elevado, ya que los núcleos resultantes estarán más arriba en la gráfica (tendrán mayor E_n). Es el caso del uranio, o el plutonio, usados en las centrales nucleares.
La fisión de elementos más ligeros no producirá desprendimiento de energía, ya que los núcleos resultantes tienen menor E_n que el núcleo inicial.

Junio 2008.A.4

4. La masa atómica del isótopo $^{14}_{7}N$ es 14,0001089 u.

a) Indique los nucleones de este isótopo y calcule su defecto de masa.

b) Calcule su energía de enlace.

c = 3,0 ·10^{8} m·s^{-1} ; 1 u = 1,67 ·10^{-27} kg ; m$_p$ = 1,007276 u ; m$_n$ = 1,008665 u

a) El número de nucleones (protones o neutrones) de un determinado isótopo vienen determinados por su número atómico (Z = nº de protones = 7 en este caso) y su número másico (A = nº de protones + nº de neutrones). Así

A = Z + N → 14 = 7 + N → N = 7

Este isótopo posee en su núcleo 7 protones y 7 neutrones.

El defecto másico de un núcleo es la diferencia entre la masa del núcleo y la suma de las masas de sus partículas por separado.

$$\Delta m = \Sigma m_{Partículas} - m_{Núcleo} = 7 \cdot 1{,}007276\,u + 7 \cdot 1{,}008665\,u - 14{,}001089\,u = 0{,}110498\,u$$

En unidades del S.I, pasamos a kg: $\Delta m = 0{,}110498\,u \cdot \frac{1{,}67\cdot 10^{-27} kg}{1\,u} = 1{,}845 \cdot 10^{-28}\,kg$

b) Cuando se forma un núcleo mediante la unión de los protones y neutrones que lo componen, se observa que *la masa nuclear es menor que la suma de las masas de las partículas por separado*. Es decir, se ha perdido masa en el proceso de formación (sin embargo, las partículas siguen siendo las mismas). A esa masa perdida se le denomina **defecto másico (Δm)** . Se calcula con la expresión $\Delta m = \sum m_{Partículas} - m_{Núcleo}$.

¿Que ha ocurrido con esta masa? Pues se ha transformado en energía, la cual es desprendida en forma de radiación. *La cantidad de energía desprendida al formarse el núcleo a partir de sus partículas* se denomina **energía de enlace (E_e),** y se calcula mediante $E_e = \Delta m \cdot c^2$

También puede entenderse la energía de enlace como la *energía que hay que suministrar al núcleo para descomponerlo en sus partículas*. (entonces cobra sentido el signo positivo)

Para el $^{14}_{7}N$, la energía de enlace queda

$$E_e = \Delta m \cdot c^2 = 1{,}845 \cdot 10^{-28} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 1{,}66 \cdot 10^{-11}\,J$$

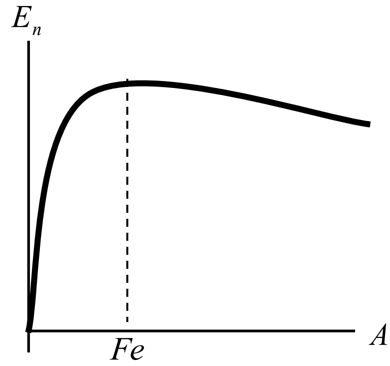
Junio 2007. B.2

2. 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.

a) La masa de un núcleo atómico es <u>menor</u> que la suma de las masas de las partículas que lo componen. Esto se conoce como defecto másico, y se debe a la transformación de masa en energía al formarse el núcleo a partir de sus partículas. Este fenómeno se explica a partir de la teoría de la relatividad de Einstein. Una de sus consecuencias es la de la equivalencia masa-energía, $E = m \cdot c^2$. La energía desprendida de este modo al formarse el núcleo a partir de sus partículas se conoce como energía de enlace (E_e) y es la responsable, en términos energéticos, de la estabilidad nuclear, ya que para volver a separar las partículas habría que suministrar al núcleo esa energía que ha desprendido. $E_e = \Delta m \cdot c^2$, siendo el defecto másico $\Delta m = \sum m_{Partículas} - m_{Núcleo}$

b) La estabilidad nuclear es la tendencia que tiene un núcleo atómico a mantenerse inalterado. Es decir, un núcleo es estable si no se descompone, si no se transforma en otro núcleo mediante desintegraciones radiactivas. La mayor o menor estabilidad de un núcleo depende de la energía desprendida en su formación. Concretamente, del promedio de energía desprendido por cada partícula. Esto se conoce como energía de enlace por nucleón. $E_n = \frac{E_e}{A}$, siendo E_e la energía de enlace (ver apartado anterior) y A el número másico.



Representando la energía de enlace por nucleón en función del número másico, se obtiene una gráfica como la de la figura, en la que se observa que la E_n (y, por tanto, la estabilidad nuclear) aumenta con A para los elementos más ligeros y tiene un máximo para el elemento Hierro (A = 56), decreciendo suavemente para elementos más pesados. Los elementos más ligeros que el hierro desprenden energía al fusionarse, mientras que para los elementos pesados es la fisión lo que produce desprendimiento de energía.

Junio 2006. A.4

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: $Ac = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda \cdot N$

Calculamos l, la constante radiactiva del radio, a partir del periodo de semidesintegración

$T_{½}$ = 1620 años = $5{,}1 \cdot 10^{10}$ s.

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

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

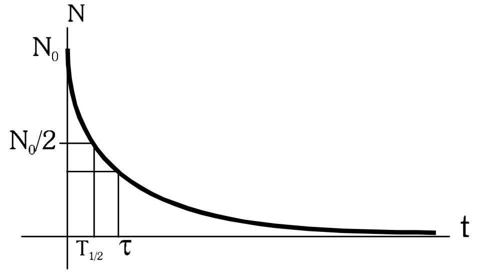
La masa atómica del ^{226}Ra es de 226 u aproximadamente, con lo que 1 mol de ^{226}Ra tiene 226 g de masa. Así:

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

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

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

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. Si el número de átomos sin desintegrar, se reduce a un dieciseisavo, también la actividad lo hará, ya que ambas magnitudes son proporcionales.



$Ac = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda \cdot N$

Por lo tanto, el tiempo necesario que nos piden es de 4 · 1620 años = <u>6480 años = $2{,}04 \cdot 10^{11}$ s</u>

Junio 2005. A.4

4. El $^{226}_{88}Ra$ se desintegra radiactivamente para dar $^{222}_{86}Rn$.

a) Indique el tipo de emisión radiactiva y escriba la correspondiente ecuación.

b) Calcule la energía liberada en el proceso.

c = 3 108 m s^{-1} ; m $_{Ra}$ = 225,9771 u ; m $_{Rn}$ = 221,9703 u ; m $_{He}$ = 4,0026 u . 1 u = 1,67·10^{-27} kg

a) La radiactividad natural consiste en la emisión espontánea de partículas por parte de núcleos inestables, transformándose en otros núclidos distintos. En este caso se trata de una emisión a, ya que el núclido inicial se transforma en otro con 2 unidades menos de número atómico y 4 unidades menos de número másico. El núcleo de radio ha desprendido una particula α ($^{4}_{2}He$).

La reacción que tiene lugar es: $^{226}_{88}Ra \rightarrow \ ^{222}_{86}Rn + \ ^{4}_{2}He$

b) En el proceso de emisión radiactiva se libera energía debido a la pérdida de masa (defecto másico) que tiene lugar en la reacción. La masa total de los productos es menor que la masa del núcleo inicial. La cantidad de masa que se transforma en energía (energía liberada) se calcula mediante la relación de Einstein $E_r = \Delta m \cdot c^2$, donde Δm es el defecto másico $\Delta m = \sum m_{Reactivos} - \sum m_{Productos}$, y c la velocidad de la luz en el vacío. Así:

Defecto másico: $\Delta m = m(^{226}_{88}Ra) - m(^{222}_{86}Rn) - m(^{4}_{2}He) = 0{,}0042\, u$

Pasamos a kg: $0{,}0042 \ u \cdot \frac{1{,}67 \cdot 10^{-27} kg}{1\, u} = 7{,}014 \cdot 10^{-30} kg$

La energía de reacción: $E_r = \Delta m \cdot c^2 = 7{,}014 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 6{,}31 \cdot 10^{-13}\, J$

Obtenemos un valor positivo, que corresponde a energía desprendida.

(Nota: hemos usado en los cálculos el valor que nos dan de u, aunque es incorrecto, es un fallo del enunciado. El valor correcto es 1 u = 1,66 ·10^{-27} kg)