FÍSICA NUCLEAR

Determinar la masa atómica del galio, sabiendo que existen dos isótopos ^{69}Ga y ^{71}Ga, cuyas abundancias relativas son, respectivamente, 60'2% y 39'8%.
Indicar la composición de los núcleos de ambos isótopos y el número de sus electrones.
Dato: Número atómico del galio = 31.

a) MASA ATÓMICA $= \sum$ (ABUNDANCIA RELATIVA × MASA DEL ISÓTOPO) =

$$= \frac{60'2}{100} \times 69 + \frac{39'8}{100} \times 71 = 41'538 + 28'258 = \underline{\underline{69'796\ u}}$$

b) $^{69}_{31}Ga \Rightarrow \begin{cases} A = 69 \Rightarrow A = N + Z \Rightarrow N = A - Z = 69 - 31 = 38 \Rightarrow \begin{cases} n^\circ = 68 \\ p^+ = 31 \end{cases} \\ Z = 31 \Rightarrow p^+ = e^- = 31 \end{cases}$

$^{71}_{31}Ga \Rightarrow \begin{cases} A = 71 = N + Z \Rightarrow N = A - Z = 71 - 31 = 40 \\ Z = 31 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} n^\circ = 40 \\ p^+ = 31 \\ e^- = 31 \end{cases}$

El nitrógeno es una mezcla de dos isótopos naturales de masas 14'003 (uma) y 15'000 (uma). Calcular las abundancias relativas de estos dos isótopos, sabiendo que el peso atómico del nitrógeno natural es de 14'007 (uma).

MASA ATÓMICA $= \sum$ (ABUNDANCIA RELATIVA × MASA DEL ISÓTOPO)

$$\left.\begin{matrix} 14'007 = \frac{x}{100} \times 14'003 + \frac{y}{100} \times 15'000 \\ x + y = 100 \end{matrix}\right\} \left.\begin{matrix} 1400'7 = 14'003\,x + 15'000\,y \\ x = 100 - y \end{matrix}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1400'7 = 14'003(100 - y) + 15\,y = 1400'3 - 14'003\,y + 15\,y \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1400'7 - 14'003 = (14'003 - 15)\,y \Rightarrow 0'4 = 0'997\,y \Rightarrow y = \frac{0'4}{0'997} \Rightarrow$$

$$\left.\begin{matrix} \Rightarrow y \simeq 0'4012\,\%\ \text{de}\ ^{15}_{7}N \\ x = 100 - y = 100 - 0'4012 = 99'5988\,\%\ \text{de}\ ^{14}_{7}N \end{matrix}\right\} \Rightarrow \begin{matrix} 0'4012\,\%\ \text{de}\ ^{15}_{7}N \\ 99'5988\,\%\ \text{de}\ ^{14}_{7}N \\ \hline \Sigma = 100\,\% \end{matrix}$$

Determina el número atómico y el número másico de cada uno de los isótopos que resultará del $^{238}_{92}U$ al emitir sucesivamente dos partículas alfa y tres partículas beta.

<u>LEYES DE RUTHERFORD y SODDY DEL DESPLAZAMIENTO O DECAIMIENTO RADIACTIVO</u>:

- Cuando un núcleo radiactivo <u>emite una partícula alfa</u> se transforma en otro cuyo número atómico (Z) es dos unidades menor y su número másico (A) es cuatro unidades menor.
- Cuando un núcleo radiactivo <u>emite un electrón beta</u>, se transforma en otro cuyo número atómico es una unidad mayor y su número másico no varía.

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

$$\hookrightarrow {}^{234}_{90}Th \rightarrow {}^{230}_{90}Ra + {}^{4}_{2}He$$

$$\hookrightarrow {}^{230}_{90}Ra \rightarrow {}^{230}_{89}Ac + {}^{0}_{-1}e$$

$$\hookrightarrow {}^{230}_{89}Ac \rightarrow {}^{230}_{90}Th + {}^{0}_{-1}e$$

$$\hookrightarrow {}^{230}_{90}Th \rightarrow {}^{230}_{91}Pa + {}^{0}_{-1}e$$

O bien:

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{\alpha} {}^{234}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{230}_{90}Ra \xrightarrow{\beta} {}^{230}_{89}Ac \xrightarrow{\beta} {}^{230}_{90}Th \xrightarrow{\beta} {}^{230}_{91}Pa$$

Se produce un núcleo de paladio, con número atómico 91 y número másico 230

Hallar el número atómico y el número másico del elemento producido a partir del Po (Z = 84, A = 218, después de emitir 4 partículas α y 2 partículas β .

<u>LEYES DE RUTHERFORD y SODDY DEL DESPLAZAMIENTO O DECAIMIENTO RADIACTIVO</u>:

- Cuando un núcleo radiactivo <u>emite una partícula alfa</u> se transforma en otro cuyo número atómico (Z) es dos unidades menor y su número másico (A) es cuatro unidades menor.
- Cuando un núcleo radiactivo <u>emite un electrón beta</u>, se transforma en otro cuyo número atómico es una unidad mayor y su número másico no varía.

$$^{218}_{84}Po \rightarrow {}^{214}_{82}X + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{210}_{80}X + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{206}_{78}X\ {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{202}_{76}X + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{202}_{77}X + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{202}_{78}X + {}^{0}_{-1}e$$

$$^{202}_{78}X \begin{cases} \text{Número másico = 2002} \\ \text{Número atómico = 78} \end{cases}$$

Se trata de un isótopo del platino

O bien:

$$^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{82}X \xrightarrow{\alpha} {}^{210}_{80}X \xrightarrow{\alpha} {}^{206}_{78}X \xrightarrow{\alpha} {}^{202}_{76}X \xrightarrow{\beta} {}^{202}_{77}X \xrightarrow{\beta} {}^{202}_{78}X$$

Completa la siguiente secuencia radiactiva (la letra situada encima de cada flecha indica la partícula emitida por el núcleo de la izquierda):

$$^{232}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} \ldots\ldots \xrightarrow{\beta} \ldots\ldots \xrightarrow{\beta} \ldots\ldots \xrightarrow{\alpha} \ldots\ldots$$

LEYES DE RUTHERFORD y SODDY DEL DESPLAZAMIENTO O DECAIMIENTO RADIACTIVO:

- Cuando un núcleo radiactivo emite una **partícula alfa** se transforma en otro cuyo número atómico (Z) es dos unidades menor y su número másico (A) es cuatro unidades menor.
- Cuando un núcleo radiactivo **emite un electrón beta**, se transforma en otro cuyo número atómico es una unidad mayor y su número másico no varía.

$$^{232}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{228}_{88}Ra \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{89}Ac \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{224}_{88}Ra$$

Torio (Natural)	Radio (Isótopo)	Actinio (Isótopo)	Torio (Isótopo)	Radio (Isótopo)

¿Cuál es el núclido que falta en las siguientes reacciones de desintegración?.

a) $^{215}_{84}Po \longrightarrow \ldots\ldots + {}^{4}_{2}He$

b) $\ldots\ldots \longrightarrow {}^{40}_{19}K + {}^{0}_{-1}e$

LEYES DE RUTHERFORD y SODDY DEL DESPLAZAMIENTO O DECAIMIENTO RADIACTIVO:

- Cuando un núcleo radiactivo emite una **partícula alfa** se transforma en otro cuyo número atómico (Z) es dos unidades menor y su número másico (A) es cuatro unidades menor.
- Cuando un núcleo radiactivo **emite un electrón beta**, se transforma en otro cuyo número atómico es una unidad mayor y su número másico no varía.

a) $^{215}_{84}Po \longrightarrow \mathbf{^{211}_{82}Pb} + {}^{4}_{2}He$, se emite una partícula alfa.

b) $\mathbf{^{40}_{18}Ar} \longrightarrow {}^{40}_{19}K + {}^{0}_{-1}e$, se emite un electrón beta.

Completa las siguientes reacciones nucleares:

a) ${}^{23}_{11}Na + {}^{2}_{1}H = {}^{24}_{11}Na + \ldots..$

b) ${}^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He = {}^{30}_{15}P + \ldots..$

c) ${}^{30}_{15}P = {}^{30}_{14}Si + \ldots..$

d) ${}^{9}_{4}Be + \ldots.. = {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$

a)

$${}^{23}_{11}Na + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{24}_{11}Na + {}^{A}_{Z}X$$

$$\left.\begin{array}{l} 23 + 2 = 24 + A \quad ; \quad A = 23 + 2 - 24 = 1 \\ 11 + 1 = 11 + Z \quad ; \quad Z = 11 + 1 - 11 = 1 \end{array}\right\} \quad {}^{1}_{1}H$$

La partícula que completa el segundo miembro es un **PROTÓN**

b)

$${}^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{A}_{Z}X$$

$$\left.\begin{array}{l} 27 + 4 = 30 + A \quad ; \quad A = 31 - 30 = 1 \\ 13 + 2 = 15 + Z \quad ; \quad Z = 15 - 15 = 0 \end{array}\right\} \quad {}^{1}_{0}n$$

La partícula que completa el segundo miembro es un **NEUTRÓN**

c)

$${}^{30}_{15}P \longrightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{A}_{Z}X$$

$$\left.\begin{array}{l} 30 = 30 + A \quad ; \quad A = 30 - 30 = 0 \\ 15 = 14 + Z \quad ; \quad Z = 15 - 14 = 1 \end{array}\right\} \quad {}^{0}_{1}p$$

La partícula que completa el segundo miembro es un **POSITRÓN**

d)

$${}^{9}_{4}Be + {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

$$\left.\begin{array}{l} 9 + A = 12 + 1 \quad ; \quad A = 13 - 0 = 4 \\ 9 + A = 12 + 1 \quad ; \quad A = 13 - 9 = 4 \end{array}\right\} \quad {}^{4}_{2}He$$

La partícula que completa el segundo miembro es la **PARTÍCULA ALFA**

Dados los átomos siguientes:

a) $^{39}_{19}K$, b) $^{197}_{79}Au$, c) $^{141}_{56}Ba$

Determinar:

a) Número de electrones, protones y electrones presentes en dicho núcleo.
b) Radio nuclear.
c) Volumen nuclear.

a) $^{39}_{19}K \Rightarrow \begin{cases} A = 39 = N + Z \Rightarrow N = 39 - Z = 39 - 19 = 20 \\ Z = 19 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} n^{\circ} = 20 \\ p^{+} = e^{-} = 19 \end{matrix}$

$^{197}_{79}Au \Rightarrow \begin{cases} A = 197 = N + Z \Rightarrow N = 197 - Z = 197 - 79 = 118 \\ Z = 79 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} n^{\circ} = 118 \\ p^{+} = e^{-} = 79 \end{matrix}$

$^{141}_{56}Ba \Rightarrow \begin{cases} A = 141 = N + Z \Rightarrow N = 141 - Z = 141 - 56 = 85 \\ Z = 56 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} n^{\circ} = 85 \\ p^{+} = e^{-} = 56 \end{matrix}$

b) Utilizando la fórmula empírica que relaciona el radio nuclear con el número másico:

Para el potasio: $r \simeq 1'3 \cdot \sqrt[3]{A} = 1'3 \sqrt[3]{39} \simeq 4'41$ fm.

Para el oro: $r \simeq 1'3 \cdot \sqrt[3]{A} = 1'3 \cdot \sqrt[3]{197} \simeq 7'56$ fm.

Para el bario: $r \simeq 1'3 \cdot \sqrt[3]{A} = 1'3 \cdot \sqrt[3]{141} \simeq 6'77$ fm.

c) Para el potasio:

$V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \times \pi \times 4'41^3 \simeq 359'26 \text{ fm}^3$

Para el oro:

$V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \times \pi \times 7'56^3 \simeq 1809'90 \text{ fm}^3$

Para el bario:

$V = \frac{4}{3}\pi \times r^3 = \frac{4}{3} \times \pi \times 6'77^3 \simeq 1299'73 \text{ fm}^3$

a) Determina el radio y volumen nuclear de una partícula alfa.
b) A partir de los datos obtenidos, determina el volumen de un nucleón.

RUTHERFORD reconoció la existencia de la radiación alfa, estando constituida por las llamadas partículas alfa que resultaron ser núcleos de helio:

$$\alpha = {}^{4}_{2}He$$

Por tanto, el número másico de la partícula α es $A=4$.

a) Utilizando la fórmula empírica que relaciona el radio nuclear con el número másico:

$$r \simeq 1'3 \cdot \sqrt[3]{A} = 1'3 \cdot \sqrt[3]{4} \simeq 2'06 \text{ femtómetros}.$$

b) Suponiendo que la partícula α es esférica, su volumen es:

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot 2'06^3 \simeq 36'62 \text{ fm}^3$$

Los nucleones son el conjunto de protones y neutrones:

$$\alpha = {}^{4}_{2}He \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A = 4 = N + Z \Rightarrow N = 4 - Z = 4 - 2 = 2 \Rightarrow \text{neutrones} = 2 \\ Z = 2 \Rightarrow \text{protones} = 2 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{nucleones} = 4$$

$$\text{Volumen de 1 nucleón} = \frac{V_{\text{NÚCLEO}}}{4 \text{ NUCLEONES}} = \frac{36'62 \text{ fm}^3}{4} = \underline{\underline{9'155 \text{ fm}^3}}$$

Cuando se bombardea con un protón un núcleo de $^{7}{}_{3}Li$, éste se descompone en dos partículas alfa.

a) Escribe y ajusta la reacción nuclear del proceso.

b) Calcula la energía liberada en dicha desintegración.

Datos:

Masa atómica del litio: 7'01601 u

Masa atómica del hidrógeno = 1'007276 u

Masa atómica del helio = 4'002603 u

a) $^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \longrightarrow 2\,^{4}_{2}He$, está ajustada

b) La ley de conservación de la energía indica que en el proceso debe existir un defecto de masa que se transforme en energía:

$$E = \Delta m \cdot c^2 = \Delta m \cdot 931'5\ (MeV) = 0'01808 \cdot 931'5\ (MeV) =$$

$$= \underline{\underline{16'84152\ (MeV)}}$$

Defecto de masa: $\Delta m = \sum m_{reactivos} - \sum m_{productos}$

$$\Delta m = (m_{litio} + m_{protón}) - 2\,m_{\alpha} =$$

$$= (7'01601 + 1'007276) - 2 \cdot 4'002603 =$$

$$= 8'023286 - 8'005206 = 0'01808\ u$$

La masa atómica del $^{23}{}_{11}Na$ es de 22'9898 u. Calcular la energía de enlace por nucleón (en MeV y en Joules).
Datos: Masa del protón: 1'0073 u
Masa del neutrón = 1'0087 u

$$^{23}_{11}Na \Rightarrow \begin{cases} A = 23 = N + Z \Rightarrow N = 23 - Z = 23 - 11 = 12 \\ Z = 11 \end{cases} \Rightarrow \left. \begin{matrix} n^{o} = 12 \\ p^{+} = 11 \end{matrix} \right\} 23 \text{ nucleones}$$

Energía nuclear de enlace:

$$\Delta E = \Delta m \times 931'5 \text{ (MeV)} = (\Sigma m_{nucleones} - m_{atómica}) \times 931'5 \text{ MeV} =$$

$$= [(11 \times 1'0073 + 12 \times 1'0087) - 22'9898] \times 931'5 =$$

$$= 0'1949 \times 931'5 \simeq 181'5494 \text{ (MeV)}$$

Energía de ENLACE POR NUCLEÓN:

$$\frac{\Delta E}{A} = \frac{181'5494 \text{ MeV}}{23 \text{ nucleones}} \simeq \underline{\underline{7'8935 \frac{\text{MeV}}{\text{nucleón}}}}$$

$$7'8935 \text{ MeV} \times \frac{10^{6} \text{ eV}}{1 \text{ MeV}} \times \frac{1'6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} \simeq \underline{\underline{1'2629 \times 10^{-12} \frac{\text{J}}{\text{nucleón}}}}$$

Sabiendo que la desintegración de un átomo de $^{235}{}_{92}U$ produce 200 MeV de energía, calcula la energía total liberada por cada gramo de dicho elemento.
Datos: Masa del protón: 1'673.10 $^{-27}$ kg
Masa del neutrón = 1'675.10 $^{-27}$ kg

$$^{235}_{92}U \Rightarrow \begin{cases} A = 235 = N + Z \Rightarrow N = 235 - Z = 235 - 92 = 143 \\ Z = 92 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} n^{o} = 143 \\ p^{+} = 92 \end{matrix}$$

Masa del núcleo de un átomo de $^{235}_{92}U$:

$$m = (92 \times 1'673 \times 10^{-27} + 143 \times 1'675 \times 10^{-27}) = 393'441 \times 10^{-24} \text{ Kg} \simeq 3'9 \times 10^{-22} \text{ g}$$

Energía liberada por cada gramo:

$$E = \frac{200 \text{ MeV}}{3'9 \times 10^{-22} \text{ g}} \simeq \underline{\underline{5'13 \times 10^{23} \frac{\text{MeV}}{\text{g}}}}$$

$$E = 5'13 \times 10^{23} \frac{\text{MeV}}{\text{g}} \times \frac{10^{6} \text{ eV}}{1 \text{ MeV}} \times \frac{1'6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = \underline{\underline{8'208 \times 10^{10} \frac{\text{J}}{\text{g}}}}$$

Define número atómico, número másico y energía de enlace. Explica por qué la masa de un núcleo atómico es un poco menor que la suma de las masas de las partículas que lo constituyen.

a) El **número atómico** (Z) determina el número de protones existentes en el núcleo del átomo.
Puesto que la carga de cada protón es igual a + e, la carga del núcleo es siempre un múltiplo de la carga elemental. Es decir:

$$\text{Carga nuclear} = + Z.e$$

b) El **número másico** (A) es el número de nucleones que constituyen que constituyen el núcleo del átomo. Es, por tanto, la suma de protones y neutrones presentes en el núcleo.

$$A = N + Z$$

c) **Energía de enlace nuclear o de ligadura** es la energía necesaria para separar de un núcleo algunos de sus nucleones, o la energía que se libera cuando se unen los nucleones para formar el núcleo.
El origen de esta energía reside en que la masa total en reposo de un núcleo es siempre menor que la suma de las masas en reposo de los nucleones que lo forman. Para separar los nucleones debe aplicarse energía. A este defecto másico le corresponde una energía dada por la ecuación de Einstein de equivalencia entre la masa y la energía:

$$\Delta E = \Delta m \,.\, c^2$$

d) La experiencia indica que la masa del núcleo es inferior a la suma de las masas de los protones y los neutrones que lo forman. A esta diferencia se denomina defecto másico, y se calcula mediante la expresión:

$$\Delta m = (N \,.\, m_{protón} + Z \,.\, m_{neutrón}) - m_{núcleo}$$

Experimentalmente, se ha comprobado que la energía de enlace coincide con la pérdida de masa que se produce al formarse un núcleo a partir de sus protones y neutrones en estado libre.

$$\Delta E = \Delta m \,.\, c^2 = \Delta E = \Delta m \,.\, 931'5 \ (MeV)$$

Las masas atómicas del ${}^{7}_{4}Be$ y del ${}^{9}_{4}Be$ son 7'016930 u y 9'012183 u, respectivamente. Determina cuál es el átomo más estable, razonando la respuesta.
Datos: Masa del protón = 1'007276 u
Masa del neutrón = 1'008665 u

La estabilidad de los núcleos queda determinada por la ENERGÍA NUCLEAR de enlace, en aplicación de la TEORÍA DE LA RELATIVIDAD DE EINSTEIN:

$$\Delta E = \Delta m \times c^2 = \Delta m \times 931'5\ (MeV) = (\Sigma m_{nucleones} - m_{atómica}) \times 931'5\ MeV$$

a) Para el ${}^{7}_{4}Be \Rightarrow \begin{cases} A = 7 = N + Z \Rightarrow N = 7 - Z = 7 - 4 = 3 \\ Z = 4 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} n^{o} = 3 \\ p^{+} = 4 \end{matrix}$

$$\Delta E = \Delta m \times 931'5 = 0'038169 \times 931'5 \simeq \underline{35'55\ MeV}$$

$\hookrightarrow \Delta m = (4 \times 1'007276 + 3 \times 1'008665) - 7'016930 = 0'038169\ u$

b) Para el ${}^{9}_{4}Be \Rightarrow \begin{cases} A = 9 = N + Z \Rightarrow N = 9 - Z = 9 - 4 = 5 \\ Z = 4 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} n^{o} = 5 \\ p^{+} = 4 \end{matrix}$

$$\Delta E = \Delta m \times 931'5 = 0'060246 \times 931'5 \simeq \underline{56'12\ MeV}$$

$\hookrightarrow \Delta m = (4 \times 1'007276 + 5 \times 1'008665) - 9'012183 = 0'060246\ u$

La ENERGÍA NUCLEAR DE ENLACE del ${}^{9}_{4}Be$ es MAYOR que la del ${}^{7}_{4}Be$, por tanto el núcleo MÁS ESTABLE es el del isótopo ${}^{9}_{4}Be$

¿Tendrá lugar de modo espontáneo el decaimiento alfa del $^{102}_{44}Ru$?
Datos: Masa atómica del Ru-102 = 101'904348 u
Masa atómica del Mo-98 = 97'905405 u
Masa atómica de la partícula alfa = 4'002603 u

Si ocurriera la desintegración: $^{102}_{44}Ru \longrightarrow {}^{98}_{42}Mo + {}^{4}_{2}He$

La energía liberada por defecto de masa sería:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = \Delta m \times 931'5 \ (MeV)$$

obteniéndose una energía cinética para la partícula alfa:

$$E_{c_\alpha} = \frac{\Delta E}{\left(1 + \frac{m_\alpha}{m_{Mo}}\right)} = \frac{1}{2} \times m_\alpha \times V_\alpha^2$$

que permitiría obtener la velocidad con que es emitida la partícula alfa: $V_\alpha = \sqrt{\frac{2 E_{c\alpha}}{m_\alpha}}$

Por tanto, para que el proceso se produzca espontáneamente es condición necesaria que el DECAIMIENTO DE MASA SEA POSITIVO:

$$\Delta m = m_{Ru} - (m_{Mo} + m_\alpha) = 101'904348 - (97'905405 + 4'002603) =$$
$$= 101'904348 - 101'908008 = -3'66 \times 10^{-3} \ u \Rightarrow$$

$\Rightarrow \boxed{\Delta m < 0 \Rightarrow \text{NO OCURRIRÁ DE MODO ESPONTÁNEO}}$

Calcula:

a) La energía media de enlace por nucleón de un átomo de $^{40}_{20}Ca$, expresada en MeV.

b) La cantidad de energía necesaria para disociar completamente 1 gramo de $^{40}_{20}Ca$, expresando dicha energía en Julios.

Datos: Masa atómica del $^{40}_{20}Ca$ = 39'97545u

Masa del neutrón = 1'0087 u

Masa del protón = 1'0073 u

Número de Avogadro: N_A = 6'023.10 ^{23} átomos/mol

1 (u) equivale a 931 MeV

a) Se calcula la ENERGÍA NUCLEAR DE ENLACE, mediante la ecuación de Einstein:

$$\Delta E = \Delta m \times c^2 = \Delta m \times 931'5\,(MeV) = 0'34455 \frac{u}{\text{átomo}} \times 931'5 \frac{MeV}{u} \simeq 320'776 \frac{MeV}{\text{átomo}}$$

$$\Delta m = \sum m_{nucleones} - m_{atómico} = (m_{protones} + m_{neutrones}) - m_{atómo} =$$

$$= (20 \times 1'0073 + 20 \times 1'0087) - 39'97545 = 0'3455 \frac{u}{\text{átomo}}$$

$$^{40}_{20}Ca \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} A = 40 = N + Z \Rightarrow N = 40 - Z = 40 - 20 = 20 \\ Z = 20 \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{array}{l} n^o = 20 \\ p^+ = 20 \end{array}$$

La ENERGÍA MEDIA DE ENLACE POR NUCLEÓN:

$$\frac{\Delta E}{A} = \frac{320'776 \frac{MeV}{\text{átomo}}}{40 \frac{\text{nucleones}}{\text{átomo}}} = \underline{\underline{8'0194 \frac{MeV}{\text{nucleón}}}}$$

b) Número de MOLES en 1 gramo de $^{40}_{20}Ca$: $n = \frac{m(\text{gramos})}{\text{masa atómica}} = \frac{1}{39'97545}$

$\simeq 0'025$ moles.

Número de ÁTOMOS en 1 gramo de $^{40}_{20}Ca$: $n \times N_A \Rightarrow$

$\Rightarrow$ número de átomos $= 0'025$ moles $\times 6'023 \times 10^{23} \frac{\text{átomos}}{\text{mol}} =$

$= 1'506 \times 10^{22}$ átomos.

Para disociar un átomo se precisa la misma energía que para formarlo, es decir idéntica a la energía nuclear de enlace: $\Delta E = 320'776 \frac{MeV}{\text{átomo}}$ (ya calculada).

$$\Delta E = 320'776 \frac{MeV}{\text{átomo}} \times 1'506 \times 10^{22} \text{ átomos} \simeq 4'83 \times 10^{24}\ MeV$$

$$\Delta E = 4'83 \times 10^{24}\ MeV \times \frac{10^6\ eV}{1\ MeV} \times \frac{1'6 \times 10^{-19}\ J}{1\ eV} \simeq \underline{\underline{7'73 \times 10^{11}\ J}}$$

Calcula la energía cinética y la velocidad de la partícula alfa emitida en la desintegración del $^{238}_{92}U$
Datos: Masa atómica del U-238 = 238'050786 u
Masa del atómica del Th-234 = 234'043583 u
Masa de la partícula alfa = 4'002603
1 (u) = 6.10^{26} kg

a) La transformación que se verifica cuando el núcleo radiactivo de U-238 se desintegra emitiendo una partícula alfa es:

$$^{238}_{92}U \longrightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$$

La ley de conservación de la energía indica que en el proceso debe existir un defecto de masa (Δm) que se transforme en energía.

ENERGÍA LIBERADA POR EL DEFECTO DE MASA:

$$E = \Delta m \cdot c^2 = (\Delta m \times 931'5)\,MeV = 4'6 \times 10^{-3} \times 931'5\,(MeV) \simeq 4'29\,(MeV)$$

$$\rightarrow \Delta m = m_U - (m_{Th} + m_\alpha) = 238'050786 - (234'043583 + 4'002603) = 4'6 \times 10^{-3}\,u$$

ENERGÍA CINÉTICA EMITIDA EN EL DECAIMIENTO ALFA =

$$E_{c_\alpha} = \frac{E}{\left(1 + \frac{m_\alpha}{m_{Th}}\right)} = \frac{4'29\,MeV}{\left(1 + \frac{4'002603}{234'043583}\right)} = \frac{4'29\,MeV}{1'017101956} \simeq 4'22\,(MeV)$$

Curiosidad: observamos que la E_c representa el 98'37% de la energía liberada.

b) VELOCIDAD DE LA PARTÍCULA ALFA $= E_{c_\alpha} = \frac{1}{2} \times m_\alpha \times V_\alpha^2 \Rightarrow$

$$\Rightarrow V_\alpha = \sqrt{\frac{2E_{c_\alpha}}{m_\alpha}} = \sqrt{\frac{2 \times 6'752 \times 10^{-13}\,J}{6'67 \times 10^{-27}\,Kg}} \simeq 14.228.843'94\,m/s \simeq 14.228'8\,\frac{Km}{s}$$

$$E_{c_\alpha} = 4'22\,MeV \times \frac{10^6\,eV}{1\,MeV} \times \frac{1'6 \times 10^{-19}\,J}{1\,eV} = 6'752 \times 10^{-13}\,J$$

$$m_\alpha = 4'002603\,u \times \frac{1\,Kg}{6 \times 10^{26}\,u} \simeq 6'67 \times 10^{-27}\,Kg$$

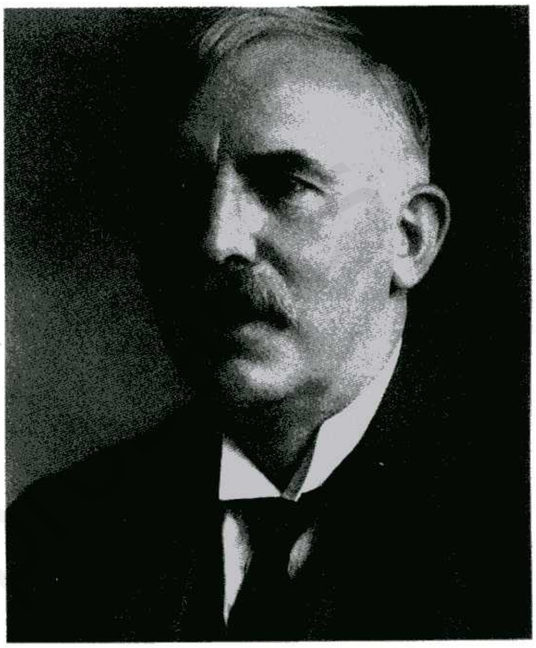
Una muestra radiactiva disminuye desde 10^{15} a 10^{9} núcleos en 8 días. Calcula:

a) La constante radiactiva λ, y el periodo de semidesintegración.

b) La actividad de la muestra una vez transcurridos 20 días desde que esta tenía 10^{15} núcleos.

a) En 1904 Rutherford dedujo que la actividad de una muestra radiactiva disminuía de forma exponencial con el tiempo.
La **LEY DE DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA** permite calcular el número de núcleos que quedan sin desintegrar (N) al cabo de cierto tiempo (t), o bien el tiempo transcurrido (t) hasta que la actividad se reduce en cierta fracción; mediante la expresión:

$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T}$$



RUTHERFORD, ERNEST
(1871-1937)

$$\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = \ln 2^{-\frac{t}{T}} = -\frac{t}{T} \times \ln 2$$

PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN

$$T = -\frac{t \times \ln 2}{\ln \frac{N}{N_0}} = -\frac{8\,días \times \ln 2}{\ln \frac{10^9\,núcleos}{10^{15}\,núcleos}} =$$

$$= -\frac{8\,días \times \ln 2}{\ln 10^{-6}} \simeq \underline{\underline{0'4\,días}}$$

CONSTANTE RADIACTIVA O DE DECAIMIENTO

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{\ln 2}{0'4\,días} \simeq \underline{\underline{1'73\,días^{-1}}}$$

b) ACTIVIDAD DE LA MUESTRA

$$A = \lambda \times N = 1'73\,(días^{-1}) \times 0'888\,(núcleos) \simeq \underline{\underline{1'536\,\frac{núcleos}{días}}} =$$

$$= 1'536\,\frac{núcleos}{días} \times \frac{1\,día}{24 \times 36 \times 10^2\,(s)} \simeq 1'78 \times 10^{-5}\,\frac{núcleos}{s} = \underline{\underline{1'78 \times 10^{-5}\,Bq}}$$

$$N = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}} = 10^{15} \times 2^{-\frac{20}{0'4}} = 10^{15} \times 2^{-50} \simeq 0'888\,núcleos.$$

$$1\,becquerel = 1\,Bq = 1\,\frac{núcleos}{s}$$

Un dispositivo utilizado en medicina para combatir, mediante radioterapia, ciertos tipos de tumor, contiene una muestra de 0,50 g de $^{60}_{27}Co$. El período de semidesintegración de este elemento es 5,27 años.
Determina la actividad, en desintegraciones por segundo, de la muestra de material radiactivo.
Dato:
Número de Avogadro: $N_A = 6'02.10^{23}$ átomos.mol $^{-1}$

Actividad de la muestra:

$$A = \lambda \times N = 4'17 \times 10^{-9} (s^{-1}) \times 5'01 \times 10^{21} (\text{átomos}) = 2'09 \times 10^{13} \frac{\text{átomos}}{s} = \underline{\underline{2'09 \times 10^{13}\ Bq}}$$

$$\rightarrow N = \frac{0'50}{60} (\text{moles}) \times 6'02 \times 10^{23} \frac{\text{átomos}}{\text{mol}} \simeq 5'01 \times 10^{21} \text{ átomos}.$$

→ Constante de decaimiento:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{\ln 2}{5'27 (\text{años}) \times 365 (\text{días}) \times 24 (h) \times 36 \times 10^{2} (s)} \simeq 4'17 \times 10^{-9} (s^{-1})$$

El período de semidesintegración del tritio es 12'5 años. ¿Qué tanto por ciento de tritio permanecerá sin desintegrar al cabo de 50 años?.

Aplicando la LEY DE LA DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA, podremos relacionar la cantidad inicial de tritio (N_0) con la de tritio que queda sin desintegrar.

$$N = N_0 \times 2^{-t/T} = N_0 \times 2^{-\frac{50 \text{ años}}{12'5 \text{ años}}} = 0'0625 \times N_0$$

$$\left.\begin{array}{l} N_0 \text{ (inicialmente)} \text{ ———— } 100\% \\ N \text{ (queda sin desintegrar)} \text{ ——— } x\% \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x = \frac{N \times 100}{N_0} = \frac{0'0625 \times N_0 \times 100}{N_0} = \underline{\underline{6'25\%}}$$

Una muestra de cierta sustancia radiactiva sufre 10200 desintegraciones por segundo en su instante inicial. Al cabo de 10 días, presenta una tasa de 510 desintegraciones por segundo.

a) ¿Cuál es su período de semidesintegración?.
b) ¿Y su vida media?

PERÍODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN O SEMIVIDA:
Es el tiempo que tarda en desintegrarse la mitad de los núcleos iniciales.

VIDA MEDIA:
Es el promedio de vida que se estima que tenga un átomo, semejante a la "*esperanza de vida*" para el ser humano.

a) Muestra inicial: N_0 — 10.200 desintegraciones
Muestra actual: N — 510 desintegraciones
$\Rightarrow 10200 \cdot N = 510 \cdot N_0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow N = \frac{510 \times N_0}{10200} = \frac{N_0}{20}$$

Aplicando la ley de la desintegración radiactiva:

$$N = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow \frac{N_0}{20} = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow \frac{1}{20} = 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow \ln\frac{1}{20} = \ln 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln\frac{1}{20} = -\frac{t}{T} \times \ln 2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = -\frac{t \times \ln 2}{\ln\frac{1}{20}} = -\frac{10(\text{días}) \times \ln 2}{\ln\frac{1}{20}} \simeq \frac{-6'9315 \text{ días}}{-2'9957} \simeq \underline{\underline{2'314 \text{ días}}}$$

b) Vida media:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\frac{\ln 2}{T}} = \frac{T}{\ln 2} = \frac{2'314 \text{ días}}{\ln 2} \simeq \underline{\underline{3'338 \text{ días}}}$$

En el año 1898 María Sklodowska (Marie Curie) y Pierre Curie aislaron 200 mg de radio. El período de semidesintegración del radio es 1620 años.
¿A qué cantidad de radio han quedado reducidos en el año 2009 los 200 mg aislados entonces?.

La **LEY DE LA DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA** permite calcular la **masa que queda sin desintegrar** al cabo de cierto tiempo, mediante la expresión:

$$N = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}} = 200\,(mg) \times 2^{-\frac{111\ años}{1620\ años}} \simeq 200\,(mg) \times 2^{-0'06852} \simeq 200(mg) \times 0'95362 \simeq$$

$$\simeq \underline{190'724\,(mg)}$$

→ N = masa sin desintegrar.
→ N_0 = masa inicial = 200 mg
→ t = tiempo transcurrido = 2009-1898 = 111 años.
→ T = período de semidesintegración o semivida = 1620 años.

Los 200 mg del año 1898 han quedado reducidos a 190'724 mg en el año 2009, únicamente se han desintegrado 9'276 mg. El resultado es lógico puesto que ha transcurrido poco tiempo, en comparación con el período de semidesintegración.

En una excavación arqueológica se ha encontrado una estatua de madera cuyo contenido de carbono-14 es el 58 % del que poseen las maderas actuales de la zona.
Sabiendo que el período de semidesintegración del carbono-14 es de 5570 años, determina la antigüedad de la estatua encontrada.

La **LEY DE LA DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA** permite calcular el número de núcleos que queda sin desintegrar (N) al cabo de cierto tiempo (t), o bien **el tiempo transcurrido** (t) hasta que la cantidad se reduce en cierta fracción.

$$N = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow 0'58 \times N_0 = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow 0'58 = 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow$$

→ $N = 58\%$ de $N_0 \Rightarrow N = 0'58 \times N_0$

$$\Rightarrow \ln 0'58 = \ln 2^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow \ln 0'58 = -\frac{t}{T} \times \ln 2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = -\frac{T \times \ln 0'58}{\ln 2} = -\frac{5570(años) \times \ln 0'58}{\ln 2} \simeq \underline{4377'32\ años}$$ es la antigüedad de la estatua encontrada.

a) Escribe y comenta la ley de desintegración exponencial radiactiva.
b) Una muestra radiactiva de ^{222}Rn contiene inicialmente 10^{12} átomos de este isótopo radiactivo, cuya semivida (o período de semidesintegración) es de 3'28 días. ¿Cuántos átomos quedan sin desintegrar al cabo de 10 días?. Calcula las actividades inicial y final (tras los 10 días) de esta muestra. Expresa tus resultados en Bq.

a) En 1904 Rutherford dedujo que la actividad de una muestra radiactiva disminuía de forma exponencial con el tiempo.
La **LEY DE DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA** permite calcular el número de núcleos que quedan sin desintegrar (N) al cabo de cierto tiempo (t), o bien el tiempo transcurrido (t) hasta que la actividad se reduce en cierta fracción; mediante la expresión:

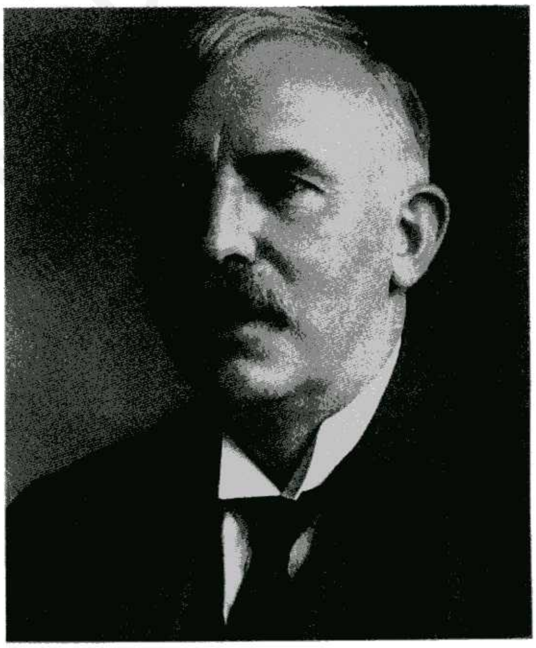
$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T}$$

El período de semidesintegración o semivida (T) es el tiempo que tardan en desintegrarse la mitad de los núcleos iniciales (N_0), el período de semidesintegración es característico de cada sustancia y varía dentro de unos límites muy amplios (desde millonésimas de segundo a billones de años).

b) Átomos que quedan sin desintegrar =

$$N = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}} = 10^{12} \text{ átomos} \times 2^{-\frac{10 \text{ días}}{3'28 \text{ días}}} =$$

$$= 10^{12} \text{ átomos} \times 2^{-3'049} \simeq 1'208 \times 10^{11} \text{ átomos}$$



RUTHERFORD, ERNEST
(1871-1937)

Actividad de la muestra:

$$A = \lambda \cdot N = \frac{\ln 2}{T} \times N$$

Constante de decaimiento:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

Actividad inicial:

$$A_0 = \frac{\ln 2}{T} \times N_0 = \frac{\ln 2}{283.392 (s)} \times 10^{12} \text{ átomos} =$$

$$= 2'45 \times 10^{6} \frac{\text{átomos}}{s} = 2'45 \times 10^{6} \text{ Bq}$$

$$T = 3'28 \text{ días} = 3'28 \times 24 \times 36 \times 10^{2} = 283.392 (s)$$

Actividad final:

$$A_f = \frac{\ln 2}{T} \times N = \frac{\ln 2}{283.392 (s)} \times 1'208 \times 10^{11} \text{ átomos} \simeq 0'295 \times 10^{6} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ becquerel} = 1 \text{ Bq} = 1 \frac{\text{átomo}}{\text{segundo}}$$

El bismuto-210 (Z = 83) emite una partícula beta y se transforma en polonio; éste, a su vez, emite una partícula alfa y se transforma en un isótopo del plomo.

a) Escribe las reacciones de desintegración.

b) Si la semivida del bismuto-210 es de 5 días, ¿cuántos núcleos se han desintegrado en 10 días si inicialmente se tenía 1 mol de átomos de este elemento?.

Dato: Número de Avogadro = $N_A = 6'022.10^{23}$ núcleos.mol $^{-1}$

a)

LEYES DE RUTHERFORD y SODDY DEL DESPLAZAMIENTO O DECAIMIENTO RADIACTIVO:

- Cuando un núcleo radiactivo emite una partícula alfa se transforma en otro cuyo número atómico (Z) es dos unidades menor y su número másico (A) es cuatro unidades menor.
- Cuando un núcleo radiactivo emite un electrón beta, se transforma en otro cuyo número atómico es una unidad mayor y su número másico no varía.

$$^{210}_{83}Bi \longrightarrow {}^{210}_{84}Po + {}^{0}_{-1}e$$

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

b)

LA LEY DE DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA DE RUTHERFORD permite calcular el número de núcleos que quedan sin desintegrar (N) al cabo de cierto tiempo (t), o bien el tiempo transcurrido (t) hasta que la actividad se reduce en cierta fracción; mediante la expresión:

$$N = N_0 \,.\, 2^{-t/T}$$

$$N = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}} = 6'022 \times 10^{23} (\text{núcleos}) \times 2^{-\frac{10\ \text{días}}{5\ \text{días}}} = 6'022 \times 10^{23} (\text{núcleos}) \times 2^{-2} \simeq$$

$$\simeq 1'5055 \times 10^{23}\ \text{núcleos}.$$

→ N = núcleos SIN desintegrar

→ $N_0 = N_A = 6'022 \times 10^{23} \frac{\text{núcleos}}{1\ \text{mol}}$, número de Avogadro.

→ t = 10 días, antigüedad.

→ T = 5 días, semivida o período de semidesintegración.

NÚCLEOS QUE SE HAN DESINTEGRADO:

$$N_0 - N = 6'022 \times 10^{23} - 1'5055 \times 10^{23} = \underline{\underline{4'5165 \times 10^{23}\ \text{núcleos}}}.$$