

14. Núcleos y partículas

PREPARACIÓN DE LA UNIDAD (pág. 343)

- Los elementos químicos correspondientes a los distintos números atómicos son: $Z = 2$: helio (He); $Z = 13$: aluminio (Al); $Z = 26$: hierro (Fe); $Z = 48$: cadmio (Cd); $Z = 62$: samario (Sm); $Z = 84$: polonio (Po); y $Z = 92$: uranio (U).
- Un megaelectronvoltio (MeV) es una unidad de energía igual a 10^6 electronvoltios (eV). A su vez, un electronvoltio es el valor absoluto de la energía que adquiere un electrón cuando es acelerado a lo largo de una diferencia de potencial eléctrico de un voltio. Es decir:

$$1 \text{ eV} = |-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V}| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Esto es, un electronvoltio equivale a $1,6 \cdot 10^{-19}$ julios (J).

Por tanto, un megaelectronvoltio equivale a:

$$10^6 \text{ eV} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}/1 \text{ eV}) = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J.}$$

1. RADIATIVIDAD (págs. 345 y 346)

1. Las sustancias radiactivas pueden emitir radiaciones capaces de penetrar en cuerpos opacos, ionizar el aire haciéndolo conductor, impresionar placas fotográficas y excitar la fluorescencia de ciertas sustancias. Las sustancias radiactivas, además, pueden producir cambios químicos en la materia orgánica.
2. Tanto la radiación α como la radiación β están asociadas a partículas materiales, mientras que la radiación γ es una forma de radiación electromagnética.
 - La radiación α está formada por núcleos de helio 4 (es decir, conjuntos de dos neutrones y dos protones que reciben el nombre de partículas alfa). Por tanto, cada partícula α posee la carga eléctrica correspondiente a dos protones, $Q = +2e = +3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, y la masa de un núcleo de helio 4, $m = 6,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.
 - La radiación β está formada por electrones rápidos procedentes de la desintegración de neutrones del núcleo. Así pues, cada partícula β posee la carga eléctrica y la masa de un electrón ($Q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$).
 - La radiación γ es una radiación electromagnética de mayor frecuencia (y menor longitud de onda) que los rayos X. Las partículas asociadas a la radiación γ son fotones con la correspondiente frecuencia. Por tanto, el valor de su masa y su carga eléctrica es nulo ($Q = 0$; $m = 0$).

3. Datos: $N = 7/8 N_0$; $t = 1,54$ días

a) Primero pasamos el tiempo de días a segundos:

$$t = 1,54 \text{ d} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 133\,056 \text{ s}$$

Ahora sustituimos los datos en la ley de emisión radiactiva:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{7}{8} N_0 = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot 133\,056 \text{ s}}$$

Y tomando logaritmos neperianos, resulta:

$$\ln \frac{7}{8} = -\lambda \cdot 133\,056 \text{ s} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{133\,056 \text{ s}} \ln \frac{8}{7}$$

$$\lambda = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

b) El período de semidesintegración T se relaciona con la constante radiactiva λ según:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \Rightarrow T = \frac{\ln 2}{1,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}} = 693\,147 \text{ s}$$

Su valor en días es:

$$T = 693\,147 \text{ s} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} = 8,0 \text{ d}$$

4. Para fuentes externas al organismo, la más peligrosa es la radiación γ , le sigue la radiación β , y la menos peligrosa de las tres es la radiación α .

Para fuentes internas al organismo, la más peligrosa es la radiación α , le sigue la radiación β , y la menos peligrosa de las tres es la radiación γ .

Para prevenir los peligros de la radiación hay que minimizar la exposición del organismo a la radiación. Esto se consigue aumentando la distancia de separación entre la fuente radiactiva y el organismo, reduciendo el tiempo de exposición a la radiación y utilizando pantallas o escudos protectores que eviten que la radiación penetre en el organismo.

5. Respuesta sugerida:

Los principales usos de las radiaciones ionizantes son:

- En el campo de la **medicina**, se utilizan en el tratamiento y la diagnosis del cáncer, el examen de órganos y la esterilización de material médico.
- En el campo de la **industria**, se emplean en radiografías para detectar fracturas y defectos en planchas de acero, en soldaduras y en materiales de construcción.

- En el campo de la **química**, se utilizan para fabricar productos químicos y para estudiar los mecanismos de reacción.
- En otros campos, se utilizan para esterilizar especies nocivas (**agricultura**), para datar muestras orgánicas (**paleontología**) y para la fabricación de relojes atómicos de precisión y generadores auxiliares para satélites artificiales (**ingeniería**).

6. Respuesta sugerida:

Los radicales libres son moléculas químicas neutras con un electrón desapareado que no forma parte de un enlace químico. Por esta razón son moléculas muy activas, ya que intentan aparear su electrón libre. Al atraer electrones de otras moléculas, provocan la oxidación de estas últimas.

Las partículas α provocan la formación de radicales libres procedentes de moléculas de agua del organismo; y estos radicales libres reaccionan con moléculas complejas de tejidos.

2. EL NÚCLEO ATÓMICO (pág. 348)

7. El núcleo atómico está formado por protones y neutrones. Ambos tipos de partículas reciben el nombre de nucleones.

| | Protones | Neutrones |
|-------|--------------------------------|---------------------------------|
| Masa | $1,673 \cdot 10^{-27}$ kg | $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ kg |
| Carga | $+e = +1,602 \cdot 10^{-19}$ C | 0 C |

8. La energía de enlace por nucleón es el cociente entre la energía de enlace del núcleo y el número total de nucleones que forman el núcleo (número másico).

El orden de magnitud de la energía de enlace por nucleón es de varios MeV. Su valor medio es aproximadamente de 8,3 MeV.

9. Datos: $A(\text{Ra}) = 226$; $A_r(\text{Ra}) = 226,0254$ u; $Z(\text{Ra}) = 88$; $m_p = 1,0073$ u; $m_n = 1,0087$ u

a) El defecto de masa Δm vale:

$$\Delta m = (Z m_p + (A - Z) m_n) - M_N$$

Sustituimos los valores para el radio 226, tomando como masa nuclear M_N , la masa atómica A_r :

$$\Delta m = [88 \cdot 1,0073 \text{ u} + (226 - 88) \cdot 1,0087 \text{ u}] - 226,0254 \text{ u}$$

$$\Delta m = 1,8176 \text{ u}$$

- b) Calculemos primero la energía de enlace ΔE , teniendo en cuenta que la energía asociada a una masa de 1 u es de 931 MeV:

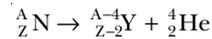
$$\Delta E = 1,8176 \text{ u} \cdot \frac{931 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} = 1 692,18 \text{ MeV}$$

El valor de la energía de enlace por nucleón es, por tanto:

$$\frac{\Delta E}{A} = \frac{1 692,18 \text{ MeV}}{226} = 7,5 \text{ MeV}$$

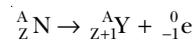
3. REACCIONES NUCLEARES (págs. 349 y 351)

10. La reacción nuclear asociada a la emisión de partículas α es:



Esta reacción indica que cuando un núcleo padre (de símbolo N) con número atómico Z y número másico A emite una partícula α (${}^4_2\text{He}$), se transforma en un núcleo hijo (de símbolo Y). El número atómico del núcleo hijo es dos unidades inferior al del núcleo padre; y el número másico del núcleo hijo es cuatro unidades inferior al del núcleo padre.

La reacción nuclear asociada a la emisión de partículas β es:

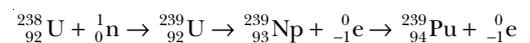


Esta reacción indica que cuando un núcleo padre (de símbolo N) con número atómico Z y número másico A emite una partícula β (${}^0_{-1}\text{e}$), se transforma en un núcleo hijo (de símbolo Y). El número atómico del núcleo hijo es una unidad superior al del núcleo padre; y el número másico del núcleo hijo es igual al del núcleo padre.

En ambos tipos de reacciones nucleares, la suma de los números atómicos y la suma de los números másicos son iguales en uno y otro miembro de la reacción.

11. Datos: $Z = 92$

Las reacciones sucesivas que tienen lugar son:



12. La fisión nuclear consiste en la división de un núcleo de gran masa en otros dos núcleos más ligeros cuando el núcleo pesado es bombardeado con neutrones. En este proceso se libera gran cantidad de energía y más neutrones. Los neutrones liberados pueden fisiónar otros núcleos pesados dando lugar a una reacción en cadena. En las centrales nucleares se produce fisión nuclear en cadena controlada. La explosión de las bombas atómicas de fisión es un ejemplo de fisión nuclear en cadena fuera de control.

La fusión nuclear consiste en la unión de dos núcleos ligeros para formar otro más pesado. En este proceso se libera gran cantidad de energía (superior a la reacción de fisión). Las reacciones de fusión en cadena se producen en las estrellas gracias a las altas temperaturas y presiones de su interior. El ser humano aún no ha conseguido producir de forma rentable la fusión nuclear en cadena controlada. La explosión de las bombas atómicas de hidrógeno es un ejemplo de fusión nuclear en cadena fuera de control.

13. Datos: $P = 1\,200\text{ MW}$; $t = 1\text{ año} = 3,1536 \cdot 10^7\text{ s}$;
 $A_r(\text{U}) = 235,0439\text{ u}$; $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$

Calculemos primero la energía E liberada en un año (suponiendo que el reactor funciona sin interrupciones):

$$E = P t = 1,2 \cdot 10^9\text{ W} \cdot 3,1536 \cdot 10^7\text{ s}$$

$$E = 3,7843 \cdot 10^{16}\text{ J}$$

El valor de esta energía en megaelectronvoltios es:

$$E = 3,7843 \cdot 10^{16}\text{ J} \frac{1\text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}}$$

$$E = 2,3652 \cdot 10^{35}\text{ eV} = 2,3652 \cdot 10^{29}\text{ MeV}$$

Calculamos la masa de uranio 235 que se precisa para obtener esta energía, teniendo en cuenta que en la fisión de un núcleo de uranio 235 se liberan 200 MeV:

$$m = 2,3652 \cdot 10^{29}\text{ MeV} \cdot \frac{1\text{ nucl.}}{200\text{ MeV}} \cdot \frac{235,0439\text{ g}}{6,022 \cdot 10^{23}\text{ nucl.}}$$

$$m = 4,616 \cdot 10^5\text{ g} = 461,6\text{ kg}$$

14. La principal dificultad técnica que presenta la fusión nuclear controlada es la del confinamiento del material que se debe fusionar. Este material ha de llevarse a muy altas temperaturas para conseguir la energía de activación necesaria para la fusión. El problema es que a estas temperaturas los reactivos se encuentran en estado de plasma y es difícil su confinamiento en un recipiente o espacio como el reactor de fusión.
15. Respuesta sugerida:

La fusión nuclear controlada, cuando se logre explotar de forma rentable, presentará frente a la fisión las ventajas de que sus productos de reacción no son contaminantes y, además, se dispone de enormes reservas de combustible para la fusión controlada (el hidrógeno del agua de los océanos). Además, en la fusión se obtiene (a partir de la misma cantidad de masa de reactivos) una energía más de tres veces superior que en la fisión.

4. PARTÍCULAS SUBATÓMICAS Y FUERZAS FUNDAMENTALES (pág. 353)

16. Respuesta sugerida:

Las partículas subatómicas más conocidas son el electrón (cuya antipartícula es el positrón), el protón (cuya antipartícula es el antiprotón), el neutrón (cuya antipartícula es el antineutrón) y el fotón (cuya antipartícula es el mismo fotón).

17. Los seis tipos de leptones que existen son: el electrón, el muón, el tauón, el neutrino del electrón, el neutrino del muón y el neutrino del tauón.

Los seis tipos de quarks que existen son: up, down, strange, charmed, bottom y top.

18. Datos: $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$; $h = 6,62 \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$;
 $c = 3 \cdot 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

La energía mínima que debe tener un fotón para generar un par protón-antiprotón es la energía asociada a la masa de las dos partículas. Teniendo en cuenta que las dos tienen la misma masa:

$$E_{\min} = 2 m_p c^2 = 2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}\text{ kg} (3 \cdot 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1})^2$$

$$E_{\min} = 3,01 \cdot 10^{-10}\text{ J}$$

Así pues, la frecuencia mínima del fotón es:

$$f_{\min} = \frac{E_{\min}}{h} = \frac{3,01 \cdot 10^{-10}\text{ J}}{6,62 \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}} = 4,5 \cdot 10^{23}\text{ Hz}$$

FÍSICA Y SOCIEDAD (pág. 354)

- a) El período de semidesintegración del carbono 14 es de 5 730 años. Así, en un período de tiempo mucho mayor, por ejemplo, de treinta mil años, transcurren: $30\,000/5\,730 = 5,24$ períodos de semidesintegración.

Es decir, treinta mil años equivale a más de cinco veces el período de semidesintegración. Al cabo de 5 períodos de semidesintegración, la cantidad de carbono 14 del resto orgánico se ha reducido a $(1/2)^5 = 1/32$ partes de su valor inicial, ya de por sí pequeño. En estas condiciones, la técnica del carbono 14 es poco recomendable por la poca cantidad de carbono 14 presente en la muestra y porque el error en la medida es comparable al valor medido.

- b) El cobalto 60 es una fuente de rayos γ . Dado que ésta es el tipo de radiación más penetrante, se usa como fuente externa para penetrar en el organismo y llegar hasta los tejidos y órganos afectados de cáncer.

El yodo 131 emite rayos β y rayos γ . En este caso debe usarse como fuente interna ya que los rayos β no tienen tanto poder de penetración como los rayos γ . Por tanto, la fuente de radiación β debe de situarse cerca del órgano o tejido que se va a tratar. Usando el yodo 131 como fuente interna, gran parte de la radiación γ emitida atraviesa el cuerpo humano sin interactuar, pero, a cambio, casi toda la radiación β puede actuar en las células cancerígenas.

- c) Respuesta sugerida:

Para organizar el debate, puede procederse de la siguiente manera:

— **Determinar** los encargados de las diferentes funciones:

- **Ponentes.** Defenderán una determinada postura exponiéndola y argumentándola.
- **Oponentes.** Rebatirán las opiniones de los ponentes con sus propios argumentos y opiniones.

Tanto los ponentes como los oponentes deben investigar y documentarse sobre el tema con anterioridad al debate.

- **Moderador.** Presentará el tema y las opiniones de ambos grupos. Además, concederá los turnos de

palabra para que el debate se desarrolle de forma ordenada. Guiará el debate para que no se produzcan desórdenes y todos tengan las mismas oportunidades de participar.

- **Secretario.** Tomará nota de las diversas opiniones expuestas y resumirá los argumentos presentados y las conclusiones al final del debate.
- **Público.** Atenderá a las diversas opiniones. Podrá intervenir al final del debate exponiendo sus propios argumentos y valorando qué grupo ha sido más convincente y cuál ha defendido mejor su postura.

Los ponentes defenderán la postura de que la radiactividad presenta más beneficios que peligros. Pueden apoyarse en las múltiples aplicaciones de la energía nuclear, principalmente como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. Gracias a su desarrollo, los países que no cuentan con reservas de carbón y petróleo no han tenido que depender de las demandas arbitrarias de los países productores de éstos. Además, con pocas excepciones, las centrales nucleares garantizan la seguridad de la población por la gran cantidad de medidas de seguridad y control que poseen.

Los oponentes rebatirán las opiniones anteriores afirmando que la radiactividad presenta más peligros que beneficios. Se pueden apoyar en los efectos de las explosiones de bombas atómicas y de los accidentes nucleares. También se opondrán a las centrales nucleares por los desechos radiactivos que producen, que conllevan un importante problema de almacenamiento. Además, la rápida proliferación de centrales de fisión a partir de la década de 1970 ha perjudicado al desarrollo e investigación de otras fuentes de energía alternativas.

El moderador del debate puede intentar un acercamiento de ponentes y oponentes introduciendo la discusión sobre la fusión nuclear. Se puede considerar tanto la fusión natural (es decir, la que tiene lugar en el Sol y permite la vida en la Tierra) como la fusión artificial controlada (aún no conseguida).

- **Iniciar** el debate. El moderador presentará el tema y dará la palabra en primer lugar a alguno de los ponentes.
- **Desarrollar y concluir** el debate. Los distintos ponentes y oponentes desarrollarán sus argumentos, conducidos por el moderador.

Al final del debate, el público podrá expresar sus opiniones. Por último, el secretario resumirá las conclusiones.

RESOLUCIÓN DE EJERCICIOS Y PROBLEMAS (pág. 356)

19. Datos: $M = 222,0175$; $m_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ g; $m = 2,5 \cdot 10^{-4}$ g

$$T = 3,82 \text{ d} \cdot \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ d}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 330\,048 \text{ s}$$

a) La ley de emisión radiactiva es:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Hallamos primero la constante radiactiva λ a partir del período de semidesintegración:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{\ln 2}{330\,048 \text{ s}} = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Teniendo en cuenta que las masas m y m_0 se relacionan con el número de núcleos en el instante t (N) y en el instante inicial (N_0) según:

$m = \frac{N M}{N_A}$; $m_0 = \frac{N_0 M}{N_A}$; donde M es la masa molar y N_A la constante de Avogadro, la ley de emisión radiactiva se puede escribir como:

$$m = m_0 e^{-\lambda t}$$

Sustituyendo valores y tomando logaritmos neperianos hallamos el valor de t :

$$\begin{aligned} 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ g} &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot e^{-2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \cdot t} \Rightarrow \\ \Rightarrow \ln \frac{0,25}{2} &= -2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \cdot t \Rightarrow \\ \Rightarrow t &= \frac{\ln \frac{2}{0,25}}{2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}} = 990\,210 \text{ s} \end{aligned}$$

Es decir, $t = 990\,210 \text{ s} = 11,46$ días.

En este caso concreto, se habría podido obtener el resultado de una manera más directa a partir del valor del cociente entre m_0 y m :

$$\frac{m_0}{m} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4} \text{ g}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ g}} = 0,125 = \left(\frac{1}{2}\right)^3$$

Esto significa que la masa se ha reducido a la mitad tres veces sucesivas. Por tanto, ha transcurrido un tiempo t que es tres veces el período de semidesintegración:

$$t = 3 T = 3 \cdot 3,82 \text{ d} = 11,46 \text{ d}$$

b) Calculamos el número de núcleos iniciales, N_0 , y finales, N .

$$\begin{aligned} N_0 &= \frac{m_0 N_A}{M} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{222,0175 \text{ g}} = 5,42 \cdot 10^{18} \\ N &= \frac{m N_A}{M} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4} \text{ g} \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{222,0175 \text{ g}} = 6,78 \cdot 10^{17} \end{aligned}$$

Calculamos ahora los valores de la actividad inicial, A_0 , y final A .

$$A_0 = \lambda N_0 = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \cdot 5,42 \cdot 10^{18}$$

$$A_0 = 1,14 \cdot 10^{13} \text{ Bq}$$

$$A = \lambda N = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \cdot 6,78 \cdot 10^{17} = 1,42 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$$

20. Datos: $M = 209,9829 \text{ u}$; $m_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ g}$; $m = 5 \cdot 10^{-4} \text{ g}$

$$t = 276 \text{ d} \cdot \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ d}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 2,38 \cdot 10^7 \text{ s}$$

a) Sustituimos los datos del enunciado en la ley de emisión radiactiva para hallar la constante radiactiva λ :

$$\begin{aligned} m &= m_0 e^{-\lambda t} \\ 5 \cdot 10^{-4} \text{ g} &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot e^{-\lambda \cdot 2,38 \cdot 10^7 \text{ s}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \ln \frac{5 \cdot 10^{-4} \text{ g}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ g}} &= -\lambda \cdot 2,38 \cdot 10^7 \text{ s} \\ \lambda &= 5,82 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

El período de semidesintegración vale:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{5,82 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}} = 1,19 \cdot 10^7 \text{ s}$$

$$T = 1,19 \cdot 10^7 \text{ s} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ horas}} = 138 \text{ d}$$

El resultado que obtenemos es muy similar al valor real del período de semidesintegración del polonio 210, que se puede consultar en las tablas y es de 139 días.

b) Calculamos el número de núcleos iniciales, N_0 , y finales, N .

$$N_0 = \frac{m_0 N_A}{M} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{209,9829 \text{ g}} = 5,73 \cdot 10^{18}$$

$$N = \frac{m N_A}{M} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \text{ g} \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{209,9829 \text{ g}} = 1,43 \cdot 10^{18}$$

Calculamos ahora los valores de la actividad inicial, A_0 , y final A .

$$A_0 = \lambda N_0 = 5,82 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1} \cdot 5,73 \cdot 10^{18} = 3,3 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$$

$$A = \lambda N = 5,82 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1} \cdot 1,43 \cdot 10^{18} = 8,3 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

21. a) ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_Z^AX + {}_0^1\text{n}$

Toda reacción nuclear debe cumplir que la suma de los números atómicos y la suma de los números másicos en ambos miembros de la reacción sean iguales. Esto es:

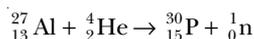
Suma de números atómicos:

$$13 + 2 = Z + 0 \Rightarrow Z = 15$$

Suma de números másicos:

$$27 + 4 = A + 1 \Rightarrow A = 30$$

El elemento de número atómico 15 es el fósforo. Además, como su número másico es 30, se trata del fósforo 30. La reacción es, pues:



Se trata de una reacción de emisión de neutrones inducida por el bombardeo de núcleos de aluminio con partículas α .

b) ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_Z^AX$

Análogamente al caso anterior, tenemos:

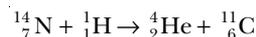
Suma de números atómicos:

$$7 + 1 = 2 + Z \Rightarrow Z = 6$$

Suma de números másicos:

$$14 + 1 = 4 + A \Rightarrow A = 11$$

El elemento de número atómico 6 es el carbono. Además, como su número másico es 11, se trata del carbono 11. La reacción es, pues:



Se trata de una reacción de emisión de partículas α inducida por el bombardeo de núcleos de nitrógeno con protio (hidrógeno 1).

22. Datos: $M({}_1^1\text{H}) = 1,0078 \text{ u}$; $M({}_1^3\text{H}) = 3,0160 \text{ u}$;

$$M({}_2^4\text{H}) = 4,0026 \text{ u}$$

a) La reacción nuclear dada: ${}_1^1\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He}$, es una reacción de fusión nuclear.

b) Hallamos el defecto de masa Δm asociado a la reacción nuclear anterior:

$$\Delta m = (M({}_1^1\text{H}) + M({}_1^3\text{H})) - M({}_2^4\text{He})$$

$$\Delta m = (1,0078 \text{ u} + 3,0160 \text{ u}) - 4,0026 \text{ u} = 0,0212 \text{ u}$$

Es decir, al producirse la reacción tiene lugar una pérdida de masa de 0,0212 u por cada átomo de $({}_1^1\text{H})$ reaccionante; por tanto, se libera una energía E de valor:

$$E = 0,0212 \text{ u} \cdot \frac{931 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} = 19,7 \text{ MeV}$$

EJERCICIOS Y PROBLEMAS

(págs. 357 y 358)

23. La radiactividad consiste en la emisión de radiaciones ionizantes procedentes de los núcleos atómicos inestables de ciertas sustancias denominadas radiactivas.

Las radiaciones ionizantes pueden ser de tres tipos: radiación α (son núcleos de helio), radiación β (son electrones de gran energía cinética, del orden del MeV, procedentes de la desintegración de neutrones del núcleo) y radiación γ (es una radiación electromagnética de frecuencia superior a la de los rayos X).

24. El individuo B corre mayor peligro que el individuo A porque, dentro del organismo, una fuente radiactiva emisora de radiación α es más peligrosa que una fuente radiactiva emisora de radiación γ .

25.

| | átomo | núcleo |
|---------------------|--|---|
| masa | $M_{\text{átomo}}$ La masa atómica es del orden de la unidad de masa atómica, u. $1 \text{ u} = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ | $M_{\text{núcleo}} \geq 0,99 M_{\text{átomo}}$ |
| volumen | $V_{\text{átomo}}$ El átomo tiene un radio aproximado de 10^{-10} m . | $V_{\text{núcleo}} \approx 10^{-5} V_{\text{átomo}}$ El núcleo tiene un radio aproximado de 10^{-15} m . |
| niveles energéticos | Son del orden del eV. | Son del orden del MeV. |

26. Existen dos tipos de fuerzas nucleares:

- La *fuerza nuclear fuerte* es una fuerza de atracción entre cualquier tipo de nucleones (ya sean protones o neutrones). Es la responsable de la cohesión del núcleo.
- La *fuerza nuclear débil* es una fuerza que actúa en todo tipo de partículas, aunque sus efectos son más apreciables en las partículas no sometidas a la interacción nuclear fuerte. Es la responsable de la emisión β .

Estas fuerzas son de muy corto alcance: la fuerza nuclear fuerte es nula para distancias superiores a 10^{-15} m , y la fuerza nuclear débil es nula para distancias superiores a 10^{-17} m .

A las distancias donde las fuerzas nucleares no se anulan, la fuerza nuclear fuerte es superior en intensidad a la fuerza electromagnética, mientras que la fuerza nuclear débil es inferior en intensidad a la fuerza electromagnética.

27. La masa de un núcleo es siempre inferior a la suma de las masas que tienen los protones y neutrones aislados que se unen para formar el núcleo. La diferencia de masas recibe el nombre de defecto de masa (Δm).

La energía liberada al formarse un núcleo se denomina energía de enlace y proviene del defecto de masa; es decir, de la masa que pierden sus nucleones al enlazarse para formar el núcleo. La energía de enlace ΔE se relaciona con el defecto de masa Δm mediante la fórmula de Einstein:

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

28. Una reacción nuclear es un proceso mediante el cual núcleos atómicos se transforman en otros distintos.

Las diferentes emisiones radiactivas que dan lugar al fenómeno de la radiactividad se deben a reacciones nucleares en núcleos atómicos que son inestables:

- En el caso de la emisión α , un núcleo atómico inestable (${}^A_Z\text{N}$) se transforma en otro más estable (${}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$) y emite una partícula α (${}^4_2\text{He}$).

— En el caso de la emisión β , un núcleo atómico inestable (${}^A_Z\text{N}$) se transforma en otro más estable (${}^A_{Z+1}\text{Y}$) y emite una partícula β (${}^0_{-1}\text{e}$).

— En el caso de la emisión γ , un núcleo que se halla en un nivel energético excitado pasa a otro nivel menos energético y emite la diferencia de energía en forma de radiación electromagnética.

29. La fisión nuclear es una reacción nuclear en la que un núcleo pesado se divide en dos núcleos más ligeros al ser bombardeado con neutrones. En el proceso se liberan más neutrones y gran cantidad de energía.

El ejemplo típico de reacción de fisión es la fisión del uranio 235:



En esta reacción se liberan 200 MeV por átomo de uranio 235.

En las centrales nucleares, la energía se obtiene mediante fisión nuclear en cadena controlada de uranio 235 o plutonio 239. En la fisión en cadena dentro del reactor de la central, los neutrones liberados en la fisión de un átomo pueden fisionar a más átomos. Todo el proceso se controla mediante un controlador que sirve para capturar el exceso de neutrones en caso de que la velocidad de reacción sea muy rápida y haya riesgo de explosión nuclear.

30. La fusión nuclear es una reacción nuclear en la que dos núcleos ligeros se unen para formar otro más pesado. En este proceso se libera gran cantidad de energía.

Un ejemplo de reacción de fusión es la fusión del protio y el tritio:



En esta reacción se liberan 19,8 MeV de energía por átomo de helio 4.

La fusión nuclear en cadena controlada aún no se utiliza como fuente de energía porque no se ha conseguido llevar a cabo de forma rentable, debido a la dificultad técnica que supone confinar los reactivos, que, a temperaturas tan elevadas, están en estado de plasma.

31. Las partículas elementales son aquellas que no pueden ser descompuestas en otras más simples. Algunas partículas elementales pueden unirse para formar partículas más complejas.

Las antipartículas se definen en relación con las partículas, de forma que la antipartícula de una partícula dada es otra partícula de masa y espín iguales que la primera pero con carga eléctrica y momento angular de signo contrario a los de la partícula.

Las partículas elementales se clasifican en leptones (no están sometidas a la interacción nuclear fuerte) y quarks (sí están sometidas a la fuerza nuclear fuerte). Los quarks no existen aislados, sino que se combinan para formar otras partículas, los hadrones.

Las antipartículas se clasifican en leptones (no sometidas a la fuerza nuclear fuerte) y en mesones (partículas sí sometidas a la fuerza nuclear fuerte).

32. Las fuerzas fundamentales de la naturaleza son: la fuerza gravitatoria, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil.

Tanto la fuerza gravitatoria como la fuerza electromagnética son de largo alcance (sus efectos se perciben a escalas astronómicas). En cambio, las fuerzas nucleares son de corto alcance (sus efectos se perciben sólo a escalas nucleares: a una distancia menor de 10^{-15} m para la nuclear fuerte y a una distancia menor de 10^{-17} m para la débil).

A distancias menores de 10^{-17} m donde la fuerza nuclear débil no es nula, la intensidad de los distintos tipos de fuerza decrece en este orden: fuerza nuclear fuerte, fuerza electromagnética, fuerza nuclear débil y fuerza gravitatoria.

33. Datos: $N = N_0 e^{-2,1 \cdot 10^{-6} t}$ en unidades SI

Comparando con la ley de emisión radiactiva: $N = N_0 e^{-\lambda t}$, se deduce el valor de la constante radiactiva λ de la muestra: $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

Por tanto, el período de semidesintegración T vale:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}} = 3,3 \cdot 10^5 \text{ s}$$

34. Datos: $m_0 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ g}$;

$$T = 8 \text{ d} \cdot \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ d}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 6,91 \cdot 10^5 \text{ s}$$

- a) Hallamos la constante radiactiva del yodo 131, λ , y conocida ésta, aplicamos la ley de emisión radiactiva para halla el tiempo t que tarda la muestra en reducirse a 0,5 g:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{6,91 \cdot 10^5 \text{ s}} = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

$$m = m_0 e^{-\lambda t}$$

$$5 \cdot 10^{-4} \text{ g} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot e^{-10^{-6} \text{ s}^{-1} t} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln \frac{5 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-3}} = -10^{-6} \text{ s}^{-1} t \Rightarrow t = 1,79 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$t = 1,79 \cdot 10^6 \text{ s} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ horas}} = 20,7 \text{ d}$$

- b) Para que la actividad A se reduzca a la cuarta parte de su valor inicial, el número de núcleos debe reducirse en la misma proporción:

$$A = \frac{A_0}{4} \Rightarrow N = \frac{N_0}{4}$$

puesto que la actividad y el número de núcleos se relacionan según: $A = \lambda N$.

El tiempo t necesario para que el número de núcleos se reduzca a la cuarta parte del valor inicial es, pues,

de dos períodos de semidesintegración T, ya que el número de núcleos ha de reducirse a la mitad dos veces sucesivas:

$$t = 2 T = 2 \cdot 8 \text{ d} = 16 \text{ d}$$

35. Datos: $m = (9/10) m_0$; $t_1 = 20 \text{ s}$

- a) Sustituimos los datos del enunciado en la ley de emisión radiactiva escrita en términos de las masas m y m_0 , para hallar la constante radiactiva λ de la muestra:

$$m = m_0 e^{-\lambda t_1} \Rightarrow \frac{9}{10} m_0 = m_0 e^{-\lambda \cdot 20 \text{ s}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln \frac{9}{10} = -\lambda \cdot 20 \text{ s} \Rightarrow \lambda = 5,27 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

Y ahora calculamos el período de semidesintegración T de la muestra radiactiva:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{5,27 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}} = 132 \text{ s}$$

- b) A partir de la ley de emisión radiactiva: $N = N_0 e^{-\lambda t}$, y teniendo en cuenta la relación entre actividad y número de núcleos en los distintos instantes de tiempo: $A_0 = \lambda N_0$; $A = \lambda N$, la ley de emisión radiactiva se puede escribir en términos de las actividades:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Y sustituyendo los datos del enunciado en la ecuación anterior, hallamos el tiempo t_2 necesario para que la actividad se reduzca a una tercera parte de su valor inicial:

$$\frac{A_0}{3} = A_0 \cdot e^{-5,27 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1} t_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln 3 = 5,27 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1} \cdot t_2 \Rightarrow t_2 = 208 \text{ s}$$

36. Datos: $A(t) = A_0/8$; $t = 7,5 \text{ min}$

- a) En nuestro caso, el cociente de actividades es un múltiplo entero de (1/2). Por tanto, el tiempo transcurrido es un múltiplo entero del período de semidesintegración T del radioisótopo:

$$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \Rightarrow t = 3T$$

$$T = \frac{t}{3} = \frac{7,5 \text{ min}}{3} = 2,5 \text{ min}$$

Se obtiene el mismo resultado si se sustituyen los datos del enunciado en la ley de emisión radiactiva escrita en términos de las actividades, aunque este último procedimiento es más largo.

- b) Calculamos la vida media τ del radioisótopo a partir de su relación con el período de semidesintegración T:

$$\tau = \frac{T}{\ln 2} = \frac{2,5 \text{ min}}{0,693} = 3,6 \text{ min}$$

37. Datos: $A_r(^{16}\text{O}) = 15,9949 \text{ u}$; $A = 16$; $Z = 8$;
 $m_p = 1,0073 \text{ u}$; $m_n = 1,0087 \text{ u}$

- a) Tomamos como valor de la masa nuclear del oxígeno 16 el valor de su masa atómica por el pequeño valor de la masa de los electrones: $M_N(^{16}\text{O}) \approx A_r(^{16}\text{O})$, y sustituimos los datos del enunciado en la expresión para el defecto de masa Δm :

$$\Delta m = (Zm_p + (A - Z)m_n) - M_N$$

$$\Delta m = (8 \cdot 1,0073 \text{ u} + (16 - 8) \cdot 1,0087 \text{ u}) - 15,9949 \text{ u}$$

$$\Delta m = 0,1331 \text{ u}$$

- b) La energía de enlace ΔE puede calcularse a partir de la relación $\Delta E = \Delta m c^2$, o bien de forma más directa a partir del equivalente energético de la unidad de masa atómica (1 u = 931 MeV):

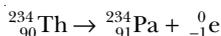
$$\Delta E = 0,1331 \text{ u} \cdot \frac{931 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} = 123,9 \text{ MeV}$$

- c) La energía de enlace por nucleón es:

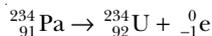
$$\frac{\Delta E}{A} = \frac{123,9 \text{ MeV}}{16} = 7,74 \text{ MeV}$$

38. Datos: A = 234; Z = 90

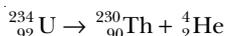
- a) Al emitirse la primera partícula β , el torio 234 se transforma en protactinio 234, ya que su número atómico Z se incrementa en una unidad y su número másico A no varía:



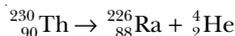
Análogamente, al emitirse la segunda partícula β , el protactinio 234 pasa a ser uranio 234:



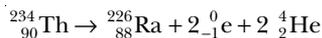
Al emitirse la primera partícula α , el uranio 234 se convierte en torio 230, ya que su número atómico Z = 92 se reduce en dos unidades y su número másico A = 234 se reduce en cuatro unidades:



Análogamente, al emitirse la segunda partícula α , el torio 230 se transforma en radio 226:



La reacción global es:



- b) El isótopo resultante es el radio 226.

39. Datos: ${}_{6}^{12}\text{C} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_1^1\text{H} + {}_6^{13}\text{C}$; E = 2,71 MeV;
 $A_r(^{12}\text{C}) = 12 \text{ u}$; $A_r(^1\text{H}) = 1,0078 \text{ u}$; $A_r(^2\text{H}) = 2,0141 \text{ u}$

Hallamos primero el defecto de masa Δm asociado a la reacción a partir de la energía liberada:

$$\Delta m = 2,71 \text{ MeV} \cdot \frac{1 \text{ u}}{931 \text{ MeV}} = 0,0029 \text{ u}$$

Calculamos ahora la masa atómica del carbono 13 a partir de la expresión del defecto de masa:

$$\Delta m = (M(^{12}\text{C}) + M(^2\text{H})) - (M(^1\text{H}) + M(^{13}\text{C}));$$

$$0,0029 \text{ u} = (12 \text{ u} + 2,0141 \text{ u}) - 1,0078 \text{ u} - M(^{13}\text{C}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M(^{13}\text{C}) = 13,0034 \text{ u}$$

El valor obtenido coincide con el valor real de la masa atómica del carbono 13, que podemos consultar en las tablas.

40. Datos: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

- a) La masa total del par electrón-positrón vale: $m = 2m_e = 2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 18,2 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

La energía E asociada a esta masa total es la energía total de los dos fotones:

$$E = m c^2 = 18,2 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})^2$$

$$E = 1,64 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Los dos fotones tienen la misma energía E_f de valor la mitad de la energía total E:

$$E_f = \frac{1,64 \cdot 10^{-13} \text{ J}}{2} = 8,2 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

Por tanto, la frecuencia f de cada fotón es:

$$f = \frac{E_f}{h} = \frac{8,2 \cdot 10^{-14} \text{ J}}{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}} = 1,24 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$$

41. Datos: T = 5 730 años = $1,807 \cdot 10^{11} \text{ s}$;

$$A_r(^{14}\text{C}) = 14,0032 \text{ u}; t = 10^{10} \text{ s};$$

$$A_0 = 4,93 \cdot 10^9 \frac{\text{desintegraciones}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 8,217 \cdot 10^7 \text{ Bq}$$

- a) Calculamos primero la constante radiactiva λ del carbono 14:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{1,807 \cdot 10^{11} \text{ s}} = 3,829 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}$$

Calculamos ahora la masa inicial de la muestra:

$$m_0 = \frac{N_0 M}{N_A}; \quad N_0 = \frac{A_0}{\lambda}$$

$$m_0 = \frac{M A_0}{N_A \lambda} = \frac{14,0032 \text{ g} \cdot 8,217 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \cdot 3,829 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}}$$

$$m_0 = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

- b) Hallamos la actividad A al cabo de 10^{10} s haciendo uso de la ley de emisión radiactiva en términos de las actividades:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = 8,217 \cdot 10^7 \text{ Bq} \cdot e^{-3,829 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1} \cdot 10^{10} \text{ s}}$$

$$A = 7,9 \cdot 10^7 \text{ Bq}$$

- c) Hallamos la masa m de carbono 14 al cabo de 10^{10} s haciendo uso de la ley de emisión radiactiva en términos de las masas:

$$m = m_0 e^{-\lambda t}$$

$$m = 5 \cdot 10^{-4} \text{ g} \cdot e^{-3,829 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1} \cdot 10^{10} \text{ s}} = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

42. Datos: $N_{A0} = N_{B0}$; t = 1 350 s; $N_A = 2 N_B$; $T_A = 150 \text{ s}$

Escribimos las leyes de emisión radiactiva de los dos radioisótopos A y B:

$$N_A = N_{A0} e^{-\lambda_A t}$$

$$N_B = N_{B0} e^{-\lambda_B t}$$

Ahora dividimos las dos ecuaciones:

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{N_{A0}}{N_{B0}} \cdot e^{-(\lambda_A - \lambda_B) t}$$

Y sustituimos los datos del enunciado en esta última expresión:

$$\frac{2N_B}{N_B} = \frac{N_{B0}}{N_{B0}} \cdot e^{(\lambda_B - \lambda_A) 1350 \text{ s}}$$

Tomando logaritmos neperianos, resulta:

$$\ln 2 = (\lambda_B - \lambda_A) \cdot 1350 \text{ s}$$

Teniendo en cuenta la relación entre la constante radiactiva λ y el período T para cada radioisótopo $\left(\lambda = \frac{\ln 2}{T}\right)$, la expresión anterior puede escribirse en términos de los períodos:

$$\ln 2 = \ln 2 \left(\frac{1}{T_B} - \frac{1}{T_A} \right) \cdot 1350 \text{ s}$$

$$1 = \left(\frac{1}{T_B} - \frac{1}{150 \text{ s}} \right) \cdot 1350 \text{ s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{1350 \text{ s}} + \frac{1}{150 \text{ s}} = \frac{1}{T_B} \Rightarrow T_B = 135 \text{ s}$$

43. Datos: ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb}$

En esta reacción nuclear el valor del número atómico pasa de $Z_0 = 92$ a $Z = 82$; mientras que el valor del número másico cambia de $A_0 = 238$ a $A = 206$.

Sabemos que cada partícula α emitida reduce en 2 unidades el valor de Z y reduce en 4 unidades el valor de A. A su vez, cada partícula β emitida aumenta el número atómico Z en una unidad y deja invariante el número másico A.

Así pues, el cambio global en el número másico es debido solamente a las partículas α emitidas. Sea x el número de partículas α emitidas, se cumple:

$$A - A_0 = -4x; \quad A_0 - A = 4x$$

En nuestro caso es: $A_0 - A = (238 - 206) = 32$

Por tanto, se tiene: $32 = 4x \Rightarrow x = 8$; es decir, se emiten 8 partículas α .

El cambio global en el número atómico se debe tanto a las partículas α emitidas como a las partículas β emitidas. Llamando y al número de partículas β emitidas, se cumple:

$$Z - Z_0 = -2x + 1y$$

$$Z_0 - Z = 2x - y$$

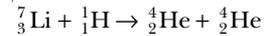
En nuestro caso es:

$$Z_0 - Z = (92 - 82) = 2 \cdot 8 - y$$

Por tanto, se tiene: $10 = 16 - y \Rightarrow y = 6$; es decir, se emiten 6 partículas β .

44. Datos: $E_c(\alpha) = 9,5 \text{ MeV}$; $A_r({}^4\text{He}) = 4,0026 \text{ u}$; $A_r({}^1\text{H}) = 1,0078 \text{ u}$

a) La reacción producida al bombardearse el litio 7 con un protón y emitirse una partícula α es:



b) De la reacción anterior, observamos que en realidad el litio 7 emite dos partículas α , cada una de ellas con una energía cinética de 9,5 MeV. Por tanto, la energía total E liberada en la reacción vale: $E = 2 \cdot 9,5 \text{ MeV} = 19 \text{ MeV}$

Hallamos ahora el defecto de masa Δm asociado a esta reacción:

$$\Delta m = 19 \text{ MeV} \cdot \frac{1 \text{ u}}{931 \text{ MeV}} = 0,0204 \text{ u}$$

Calculamos finalmente la masa atómica del litio 7 a partir de la expresión del defecto de masa de la reacción:

$$\Delta m = (M({}^7\text{Li}) + M({}^1\text{H})) - (M({}^4\text{He}) + M({}^4\text{He}));$$

$$0,0204 = M({}^7\text{Li}) + 1,0078 \text{ u} - (2 \cdot 4,0026 \text{ u}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M({}^7\text{Li}) = 7,0178 \text{ u}$$

El valor obtenido es muy similar al valor real de la masa atómica del litio 7, que se puede consultar en las tablas y es de 7,0160.

45. Datos: $E = 200 \text{ MeV}$; $A_r({}^{235}\text{U}) = 235,0439 \text{ u}$; $m = 100 \text{ g}$; Potencia = 700 MW = $7 \cdot 10^8 \text{ W}$

$$t = 1 \text{ d} \cdot \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ d}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$$

a) Calculamos el número de núcleos de uranio 235 fisionables, N, de una muestra de 100 g de uranio 235:

$$N = 100 \text{ g} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ nucl.}}{235,0439 \text{ g}} = 2,56 \cdot 10^{23}$$

Cada núcleo fisionable proporciona una energía de 200 MeV, por tanto, la energía total, E, que se puede obtener con 100 g de uranio 235 es:

$$E = 2,56 \cdot 10^{23} \text{ nucl.} \cdot \frac{200 \text{ MeV}}{1 \text{ nucl.}} = 5,12 \cdot 10^{25} \text{ MeV}$$

b) Calculamos la energía consumida en un día por una central nuclear de 700 MW de potencia, suponiendo que funciona ininterrumpidamente:

$$8,64 \cdot 10^4 \text{ s} \cdot 7 \cdot 10^8 \text{ W} = 6,048 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

Calculamos la masa de uranio necesaria para proporcionar esta energía, sabiendo que 100 g de uranio dan una energía de $5,12 \cdot 10^{31} \text{ eV}$ y que un electrón-voltio equivale a $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$:

$$6,048 \cdot 10^{13} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \cdot \frac{100 \text{ g}}{5,12 \cdot 10^{31} \text{ eV}} = 738 \text{ g}$$

46. Datos: $\lambda = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ m}$; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$;
 $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

La frecuencia f del fotón es:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{1,6 \cdot 10^{-13} \text{ m}} = 1,875 \cdot 10^{21} \text{ Hz}$$

Su energía asociada E_f vale:

$$E_f = h f = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \cdot 1,875 \cdot 10^{21} \text{ s}^{-1}$$

$$E_f = 1,24 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

La energía en reposo E_0 (asociada a la masa) del par electrón-positrón vale:

$$E_0 = 2 m_e c^2 = 2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})^2$$

$$E_0 = 1,64 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

La energía del fotón se convierte en la energía total del par electrón-positrón; esto es, en la suma de la energía en reposo E_0 y la energía cinética E_c :

$$E_f = E_0 + E_c \Rightarrow 1,24 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 1,64 \cdot 10^{-13} \text{ J} + E_c \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_c = 1,08 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

El valor de la energía cinética expresado en MeV es:

$$E_c = 1,08 \cdot 10^{-12} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \cdot \frac{1 \text{ MeV}}{10^6 \text{ eV}} = 6,75 \text{ MeV}$$

COMPRUEBA LO QUE HAS APRENDIDO (pág. 358)

1. La ley de emisión radiactiva establece que, en una muestra radiactiva, el número de emisiones radiactivas que se producen por unidad de tiempo es proporcional al número de núcleos N sin desintegrar presentes en la muestra.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \lambda = \text{constante radiactiva, característica de cada isótopo radiactivo.}$$

Como consecuencia, el número de núcleos N disminuye de forma exponencial con el tiempo.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad N_0 = \text{número de núcleos sin desintegrar en el instante inicial.}$$

El período de semidesintegración, T , de una sustancia radiactiva es el tiempo que debe transcurrir para que la masa de cualquier muestra de dicha sustancia se reduzca a la mitad.

La constante radiactiva, λ , es una característica de cada isótopo radiactivo igual a la constante de proporcionalidad entre el número de emisiones por unidad de tiempo y el número de núcleos presentes en la muestra.

La vida media, τ , de un radioisótopo es el tiempo medio que tarda en desintegrarse un núcleo de dicha sustancia tomado al azar.

2. La exposición a altas dosis de radiación en los seres vivos provoca un aumento de la tasa de cáncer y otros trastor-

nos de tipo genético que se manifiestan en las generaciones posteriores.

— Algunos de los radioisótopos más peligrosos para el ser humano son el estroncio 90, el potasio 40 y el carbono 14.

— La radiactividad no siempre es perjudicial. Utilizada en las dosis y forma correctas presenta muchos beneficios, como la detección y el tratamiento del cáncer y diversas aplicaciones tecnológicas e industriales.

3. Datos: $\lambda = 1,7 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$

a) La vida media τ del radioisótopo es:

$$\tau = 1/\lambda = 1/(1,7 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}) = 5,9 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

b) Si una muestra del radioisótopo se reduce a una cuarta parte de su masa inicial, se tiene:

$$m = \frac{m_0}{4} = m_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2$$

Para que esto ocurra debe transcurrir un tiempo t igual a dos veces el período de semidesintegración T . Por tanto:

$$t = 2T = 2 \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 0,693}{1,7 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

4. Los núcleos atómicos están formados por protones y neutrones. Los protones y neutrones tienen una masa similar, que es aproximadamente 10^4 veces la del electrón. Los protones tienen carga eléctrica positiva de igual valor absoluto que la del electrón; mientras que los neutrones no poseen carga eléctrica. Los protones y neutrones se mantienen unidos gracias a la fuerza nuclear fuerte.

El núcleo posee más del 99% de la masa del átomo, sin embargo, su volumen es de sólo 10^{-5} veces el volumen atómico.

El número atómico, Z , es el número de protones en un núcleo y es característico de cada elemento químico. El número másico, A , es el número de nucleones (protones y neutrones) de un núcleo, y varía para cada isótopo distinto de un mismo elemento.

Al emitir una partícula α , un núcleo atómico se transforma en otro distinto de número atómico dos unidades inferior y número másico cuatro unidades inferior. Esto es debido a que el núcleo padre emite un núcleo de helio 4 (pierde dos protones y dos neutrones).

Al emitir una partícula β , un núcleo atómico se transforma en otro distinto de número atómico una unidad superior y del mismo número másico. Esto es debido a que un neutrón del núcleo padre se desintegra dando lugar a un protón y un electrón.

Al emitir radiación γ , un núcleo atómico pierde energía y pasa de un estado excitado a otro menos energético. Sin embargo, sus números atómico y másico no se alteran.

5. Datos: $A_r(^{138}\text{Ba}) = 137,9050 \text{ u}$; $A = 138$; $Z = 56$;
 $m_p = 1,0073 \text{ u}$; $m_n = 1,0087 \text{ u}$

a) Tomamos como valor de la masa nuclear del bario 138 el valor de su masa atómica por el pequeño valor de la masa de los electrones: $M_N(^{138}\text{Ba}) \approx A_r(^{138}\text{Ba})$, y sustituimos los datos del enunciado en la expresión para el defecto de masa Δm :

$$\Delta m = (Z m_p + (A - Z) m_n) - M_N$$

$$\Delta m = (56 \cdot 1,0073 \text{ u} + (138 - 56) \cdot 1,0087 \text{ u}) - 137,9050 \text{ u}$$

$$\Delta m = 1,2172 \text{ u}$$

b) La energía de enlace ΔE puede calcularse a partir de la relación: $\Delta E = \Delta m c^2$, o bien de forma más directa a partir del equivalente energético de una unidad de masa atómica ($1 \text{ u} = 931 \text{ MeV}$):

$$\Delta E = 1,2172 \text{ u} \cdot \frac{931 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} = 1133,2 \text{ MeV}$$

c) La energía de enlace por nucleón es:

$$\frac{\Delta E}{A} = \frac{1133,2 \text{ MeV}}{138} = 8,21 \text{ MeV}$$

6. Datos: ${}_Z^A\text{X} + {}_1^1\text{H} \rightarrow 3{}_2^4\text{He}$; $E = 11,47 \text{ MeV}$;
 $A_r(^1\text{H}) = 1,0078 \text{ u}$; $A_r(^4\text{He}) = 4,0026 \text{ u}$

a) Toda reacción nuclear debe cumplir que la suma de los números atómicos y la suma de los números másicos en ambos miembros de la reacción sean iguales. Esto es:

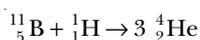
Suma de números atómicos:

$$Z + 1 = 3 \cdot 2 = 6 \Rightarrow Z = 5$$

Suma de números másicos:

$$A + 1 = 3 \cdot 4 = 12 \Rightarrow A = 11$$

El elemento de número atómico 5 es el boro. Además, como su número másico es 11, se trata del boro 11. La reacción es, pues:



b) Hallamos el defecto de masa Δm asociado a la reacción a partir de la energía liberada:

$$\Delta m = 11,47 \text{ MeV} \cdot \frac{1 \text{ u}}{931 \text{ MeV}} = 0,0123 \text{ u}$$

Calculamos ahora la masa atómica del boro 11 a partir de la expresión del defecto de masa:

$$\Delta m = (M(^{11}\text{B}) + M(^1\text{H})) - (3 M(^4\text{He}));$$

$$0,0123 \text{ u} = M(^{11}\text{B}) + 1,0078 \text{ u} - 3 \cdot 4,0026 \text{ u} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M(^{11}\text{B}) = 11,0123 \text{ u}$$

El valor obtenido es muy similar al valor real de la masa atómica de boro 11, que se puede consultar en las tablas y es de 11,0093.

7. Respuesta sugerida:

Las reacciones de fisión y fusión son reacciones nucleares en las que se libera gran cantidad de energía (del orden de 10 o 10^2 MeV por núcleo reaccionante). Esta energía proviene del defecto de masa asociado a la reacción. Ambas reacciones necesitan de una cierta energía de activación para producirse.

Las reacciones de fisión consisten en la rotura de un núcleo pesado para formar otros dos núcleos más ligeros de masa similar. La fisión se induce de forma artificial cuando se bombardean núcleos pesados con neutrones lentos. La captura del neutrón por parte del núcleo pesado le proporciona la energía de activación necesaria.

Las reacciones de fusión consisten en la unión de dos núcleos ligeros para formar otro núcleo más pesado. La fusión se produce de forma natural en las estrellas. Las altas temperaturas y presiones de su interior proporcionan la energía de activación necesaria.

Como fuentes de energía a gran escala, la fisión presenta la ventaja de que su uso es económicamente rentable y la técnica necesaria se conoce desde hace más de 50 años. En cambio, presenta el grave riesgo de un accidente nuclear. Otro inconveniente de la fisión es el problema del almacenamiento y eliminación de los residuos contaminantes que produce.

La fusión, en cambio, presenta el inconveniente de que su uso hoy en día no es aún económicamente rentable. Se requiere todavía una gran inversión para su estudio y desarrollo. No obstante, cuando se logre la fusión en cadena controlada y económicamente rentable, constituirá una fuente de energía limpia (no produce residuos contaminantes) y sin problemas de escasez de combustible.

8. Las cuatro fuerzas fundamentales son: la fuerza gravitatoria, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil.

La unificación de las fuerzas fundamentales consiste en suponer que los cuatro tipos de fuerzas fundamentales son distintas manifestaciones de un único campo de fuerzas. Hasta la fecha se ha conseguido la unificación de la fuerza electromagnética y la fuerza nuclear débil (campo electrodébil), y las predicciones han sido comprobadas.