

FÍSICA NUCLEAR.

RADIATIVIDAD NATURAL. LEY DE DESINTEGRACIÓN RADIATIVA. INTERACCIONES FUNDAMENTALES DE LA NATURALEZA. DEFECTO DE MASA. FUSIÓN Y FISIÓN NUCLEAR. REACCIONES NUCLEARES.

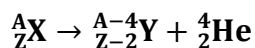
1. RADIATIVIDAD NATURAL.

■ **Radiactividad** es el fenómeno por el cual ciertas sustancias llamadas radiactivas emiten espontáneamente radiaciones penetrantes que son partículas materiales o radiaciones electromagnéticas de altas energía.

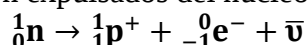
■ **Radiactividad natural.** Debida sobre todo a elementos con número atómico elevado. $Z > 83$. Se produce de forma espontánea en sustancias que se encuentran en la naturaleza.

Emisión alfa, α . Está compuesta por núcleos de helio-4. Su velocidad es el 5% de la luz. Su poder de penetración es escaso. Sin embargo, por su elevada masa, tiene gran capacidad de ionizar.

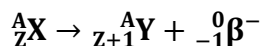
Cuando un núcleo emite una partícula α se transforma en otro núcleo diferente cuyo número másico es 4 unidades menor y cuyo número atómico es 2 unidades menor que el núcleo de partida.



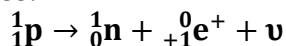
Emisión beta, β^- . Emisión β^- : Está constituida por electrones. Su velocidad puede llegar al 99'95% de la luz. Poder de penetración mayor que las partículas α y menos ionizantes que éstas últimas. En el núcleo no hay electrones, la emisión β^- tiene lugar cuando un neutrón se transforma en un protón, un electrón y un antineutrino. Tanto el electrón como el antineutrino son expulsados del núcleo.



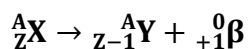
Cuando un núcleo emite un e^- su número másico no varía y su número atómico aumenta una unidad.



Emisión β^+ : Está constituida por positrones e^+ . La emisión β^+ tiene lugar cuando un protón se transforma en un neutrón, un positrón y un neutrino. Tanto el positrón como el neutrino son expulsados del núcleo.



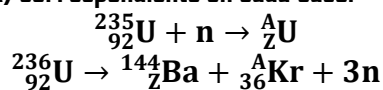
Cuando un núcleo emite un e^+ su número másico no varía y su número atómico disminuye una unidad.



Emisión gamma, γ . Es radiación electromagnética constituida por fotones muy energéticos. La de mayor poder de penetración y menor poder de ionización. Un átomo excitado emite el exceso de energía, para estabilizarse, en forma de radiación γ .

1. Una central nuclear produce una potencia de 3 GW. Su funcionamiento se basa en las reacciones de fisión nuclear del ${}^{235}\text{U}$ con neutrones. La fisión de cada átomo de ${}^{235}\text{U}$ libera 200 MeV.

a. Complete el siguiente proceso que tiene lugar en la central sustituyendo con el número atómico (Z) y el número másico (A) correspondiente en cada caso:



b. Sabiendo que la vida media del ${}^{235}\text{U}$ es de 7.04×10^8 años, calcule su constante de desintegración radiactiva y su periodo de semidesintegración.

$$\begin{aligned} {}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0n &\rightarrow {}^{236}_{92}\text{U} \\ {}^{236}_{92}\text{U} &\rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3n \\ \lambda &= 0,45 \cdot 10^{-16} \text{ s}^{-1} \text{ y } T_{1/2} = 1,54 \cdot 10^{16} \text{ s.} \end{aligned}$$

2. a. Calcula el número atómico y el número de neutrones del isótopo $^{234}_{92}\text{U}$ después de emitir dos partículas α .
 b. calcula el número atómico y el número de neutrones del isótopo $^{228}_{88}\text{Ra}$ después de emitir dos partículas β^- .

- a. $Z = 88, n = 138$.
 b. $Z = 90, n = 138$.

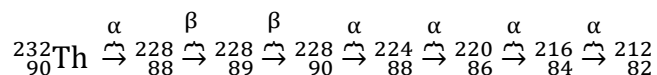
3. a. Una muestra contiene carbono 14. Calcula ¿cuántos años han de transcurrir para que la actividad de esta muestra se reduzca a 1/7 de la actividad inicial. $T_{1/2} = 5730$ años?
 b. ¿Qué tipos de desintegración radiactiva se producen en el carbono 14?
 c. Las constantes de desintegración radiactiva de los elementos E_1 y E_2 son $0,02305 \text{ años}^{-1}$ y $0,02197 \text{ años}^{-1}$, respectivamente. Una muestra que contiene uno de estos elementos dará la misma actividad radiactiva que una muestra que contiene el otro elemento. Razona que muestra tenía más actividad en el pasado. Calcula cuánto tiempo hace que una de las muestras tenía una actividad 1,2 veces la actividad de la otra. Indica claramente el origen de tiempos usado para hacer los cálculos.

- a. $t = 16086$ años.
 b. β^- .
 c. 169 años.

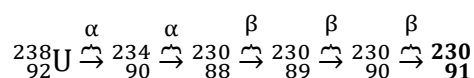
4. Un isótopo de una muestra radiactiva posee un periodo de semidesintegración de 5730 años.
 a. btenga la vida media y la constante radiactiva del isótopo.
 b. Si una muestra tiene $5 \cdot 10^{20}$ átomos radiactivos en el momento inicial, calcule la actividad inicial y el tiempo que debe trascurrir para que dicha actividad se reduzca a la décima parte.

- a. $\tau = 8266,64$ años y $\lambda = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ años}^{-1}$
 b. $A_0 = 1,92 \cdot 10^9 \text{ Bq}$ y $t = 19000$ años.

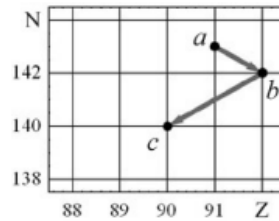
5. Hay isótopos radioactivos que cuando emiten una partícula α o una partícula β dan un isótopo que también es radioactivo, y puede haber una cadena de desintegraciones hasta que se alcanza un átomo estable. Este es el caso del torio, con un número 232 de masa y un número atómico 90. La cadena de desintegraciones es: $\alpha, \beta^-, \beta^-, \alpha, \alpha, \alpha, \alpha$. Después de la cadena de desintegraciones del isótopo del torio, ¿cuáles son los números de masa y atómico del elemento resultante? Especifica cómo se hace el cálculo.



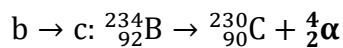
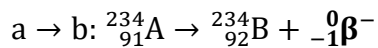
6. Determine el número atómico y el número masico del isótopo que resultará de $^{92}_{238}\text{U}$ después de emitir dos alfa y 3 partículas de beta.



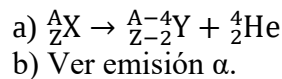
7. Los puntos en el gráfico representan isótopos de Z protones y N neutrones y las flechas, tipos de desintegración. ¿Cuáles son los números atómicos y másicos de los isótopos a, b y c? ¿Y los tipos de desintegraciones en $a \rightarrow b$ y $b \rightarrow c$?



$$91+143=234A; {}^{234}_{91}A; {}^{234}_{92}B \text{ y } {}^{230}_{90}C$$



8. a. Representar con una reacción de tipo nuclear la emisión de una partícula α por un núcleo.
b. Indicar algunas características de las partículas alfa.



9. ¿Podría darse el caso de que el mismo e idéntico núcleo emitiría una partícula alfa, luego una beta, y luego una gamma? Razonar la respuesta.

No pues al emitir, un átomo, una partícula alfa o beta varía su número de protones transformándose en un átomo de un elemento distinto.

2. LEY DE DESINTEGRACIÓN RADIATIVA.

El número de núcleos radiactivos que quedan en una muestra decae exponencialmente con el tiempo.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \begin{cases} N \text{ es el número final de núcleos.} \\ N_0 \text{ es el número inicial de núcleos.} \\ \lambda \text{ es la cte. radiactiva. (s}^{-1}\text{)} \\ t \text{ es el tiempo transcurrido (s.).} \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{Despejando} \\ \Rightarrow \end{matrix} \quad \lambda \cdot t = \ln \frac{N_0}{N}$$

En estas fórmulas las N y N_0 también pueden ser moles o masas.

Periodo de semidesintegración, $T_{1/2}$. Tiempo que debe transcurrir para que el número de núcleos presentes en una muestra se reduzca a la mitad.

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Vida media, τ , de un núcleo radiactivo es el tiempo medio necesario para que se produzca su desintegración.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{\frac{1}{2}}}{\ln 2}$$

Actividad o tasa de desintegración, A, es el número de desintegraciones por unidad de tiempo. $A = \lambda \cdot N$. En el S.I. se mide en Becquerel, Bq, o desintegraciones por segundo.

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda \cdot t = \ln \frac{A_0}{A}$$

10. Si la semivida del elemento radiactivo de una muestra es de 5 ms., calcula el tiempo qué habría de pasar para que la actividad de la muestra fuese la parte del valor inicial igual a:

- a. La mitad.
- b. La octava parte.
- c. La tercera parte.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{5 \cdot 10^{-3}} = 138,63 \text{ s}^{-1}.$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \rightarrow t = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{\lambda} \rightarrow \begin{cases} t = \frac{\ln \frac{A_0}{\frac{1}{2} A_0}}{138,63} = \frac{\ln 2}{138,63} = 0,005 \text{ s. (a)} \\ t = \frac{\ln \frac{A_0}{\frac{1}{8} A_0}}{138,63} = \frac{\ln 8}{138,63} = 0,015 \text{ s. (b)} \\ t = \frac{\ln \frac{A_0}{\frac{1}{3} A_0}}{138,63} = \frac{\ln 3}{138,63} = 0,00792 \text{ s. (c)} \end{cases}$$

11. La actividad radiactiva de una muestra pasa de 1000 desintegraciones por hora a 500 desintegraciones por hora en 463 días, debida a un único elemento radiactivo. Determina la vida media (en años) y calcula la constante de desintegración de este elemento radiactivo.

b. Calcula el número de protones y el número de neutrones del núcleo ${}^{238}_{92}\text{U}$ después de que haya emitido una partícula α .

a. De 1000 desintegraciones/hora a 500 desintegraciones/hora, la actividad se está reduciendo a la mitad, siendo, por tanto, los 463 días el llamado período de semidesintegración.

$$\tau = \frac{T_{\frac{1}{2}}}{\ln 2} = 668 \text{ días.} = 1,83 \text{ años. } \lambda = \frac{1}{\tau} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ días}^{-1}.$$

$$\text{b. } {}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{X} + {}^4_2\alpha; \begin{cases} 90 \text{ protones.} \\ 234 - 90 = 144 \text{ neutrones.} \end{cases}$$

12. El período de semidesintegración de oxígeno-15 es $T_{1/2} = 122 \text{ S}$.

a. ¿Cuál es la constante de desintegración de oxígeno-15?

b. La constante de desintegración de carbono-14 es $1,210 \times 10^{-4} \text{ año}^{-1}$. La madera de una mesa antigua da 14500 desintegraciones por día. La misma masa de madera actual da 890 desintegraciones por hora. ¿Cuál es la datación de la antigüedad de la mesa?

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = 5,68 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda \cdot t} \rightarrow \lambda \cdot t = \ln \frac{A_0}{A} \rightarrow t = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{\lambda} = 3201 \text{ años}$$

13. Una muestra radioactiva da $4,77 \times 10^7$ Bq y hace 25 días dio $3,80 \times 10^8$ Bq.

a. ¿Cuál es la constante de desintegración?

b. ¿Qué vale el período de semidesintegración en horas?

c. Si una muestra diera $3,80 \times 10^8$ Bq y el período de semidesintegración fue de 240 h, ¿qué actividad se mediría 10 días después? ¿Y 14 días después?

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda \cdot t = \ln \frac{A_0}{A} \rightarrow \lambda = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{t} = 9,61 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}.$$

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = 721277 \text{ s.} = 200 \text{ h.}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \begin{cases} A = 3,8 \cdot 10^8 e^{-9,61 \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,66 \cdot 10^8 \text{ Bq} \\ A = 3,8 \cdot 10^8 e^{-9,61 \cdot 10^{-7} \cdot 14 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,19 \cdot 10^8 \text{ Bq} \end{cases}$$

14. a) Explique el concepto de periodo de semidesintegración.

b) El tritio ^3H se utiliza para la datación de vinos. Tiene un periodo de semidesintegración de 12,33 años. Calcule cuánto tiempo ha estado envasado un vino si su actividad actual es un 10 % de la inicial.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = 0,0562 \text{ años}^{-1}.$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda \cdot t = \ln \frac{A_0}{A} \rightarrow t = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{\lambda} = \frac{\ln \frac{A_0}{0,1 \cdot A_0}}{0,0562} = 40,96 \text{ años.}$$

15. a) Calcule la actividad de una muestra de 5,0 mg de un nucleido que tiene una constante radiactiva $\lambda = 3,0 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ y masa atómica de 200 u. ($1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

b) ¿Cuántos años deberán transcurrir para que la actividad de esta muestra sea un 60 % de la inicial?

$$5 \mu\text{g} \cdot \frac{1 \text{ g.}}{1000 \mu\text{g.}} \cdot \frac{1 \text{ u. m. a.}}{1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}} \frac{1 \text{ átomo.}}{200 \text{ u. m. a.}} = 1,51 \cdot 10^{19} \text{ núcleos.}$$

$$A = \lambda \cdot N = 3 \cdot 10^{-9} \cdot 1,51 \cdot 10^{19} = 4,52 \cdot 10^{10} \text{ Bq.}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda \cdot t = \ln \frac{A_0}{A} \rightarrow t = \frac{\ln \frac{A_0}{0,6 \cdot A_0}}{3 \cdot 10^{-9}} = 170275207 \text{ s.} = 5,4 \text{ años}$$

$$5 \mu\text{g} \cdot \frac{1 \text{ g.}}{1000 \mu\text{g.}} \cdot \frac{1 \text{ u. m. a.}}{1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}} \frac{1 \text{ átomo.}}{200 \text{ u. m. a.}} = 1,51 \cdot 10^{19} \text{ núcleos.}$$

$$A = \lambda \cdot N = 3 \cdot 10^{-9} \cdot 1,51 \cdot 10^{19} = 4,52 \cdot 10^{10} \text{ Bq.}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda \cdot t = \ln \frac{A_0}{A} \rightarrow t = \frac{\ln \frac{A_0}{0,6 \cdot A_0}}{3 \cdot 10^{-9}} = 170275207 \text{ s.} = 5,4 \text{ años}$$

16. Considere dos muestras de dos isótopos radioactivos diferentes con el mismo número de núcleos inestables en un momento determinado t_0 . Si el período de semidesintegración del primer isótopo es el doble que el del otro, ¿cuál es la relación entre las actividades de ambas muestras en el momento t_0 ?

$$A = \lambda \cdot N \quad \left. \begin{array}{l} \lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \end{array} \right\} A = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \cdot N \rightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{\frac{\ln 2}{T_{1\frac{1}{2}}}}{\frac{\ln 2}{T_{2\frac{1}{2}}}} = \frac{T_{2\frac{1}{2}}}{T_{1\frac{1}{2}}} = \frac{T_{2\frac{1}{2}}}{2 \cdot T_{2\frac{1}{2}}} = \frac{1}{2} \rightarrow A_1 = \frac{1}{2} A_2$$

17. La actividad radioactiva de una persona adulta normal es, en promedio, de 10^4 BQ (1 Becquerel = 1 desintegración por segundo). El 50% de esta radioactividad se debe al ^{40}K , que es radioactivo. En su esquema de desintegración y en el 10% de los casos, emite fotones, o rayos γ de 1,5 MeV. Calcular, en promedio, cuál es la energía, en joules, de estos fotones que emite una persona durante una hora. (Carga electrón: $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

En un segundo tenemos 10^4 desintegraciones. Debidas al ^{40}K hay la mitad (50%), es decir 5000 desintegraciones. El 10%, es decir, 500, son debidas a fotones.

En un segundo emite $E = 500 \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ J}$

En una hora $E = 1,2 \cdot 10^{-10} \cdot 3600 = 4,32 \cdot 10^{-7} \text{ J}$.

18. Calcula la estimación en años de la antigüedad de una herramienta de madera que presenta una actividad de 14000 desintegraciones por día, sabiendo que la misma masa de una muestra actual tiene una actividad de 1200 desintegraciones por hora. $T_{1/2}({}^{14}\text{C}) = 5730$ años.

$$\left. \begin{array}{l} A_0 = 1200 \frac{\text{desint.}}{\text{hora}} \cdot \frac{24 \text{ h.}}{1 \text{ día}} = 28800 \frac{\text{desint.}}{\text{día}} \\ A = 14000 \frac{\text{desint.}}{\text{día}} \\ T_{\frac{1}{2}} = 5730 \text{ años} \rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ años}^{-1} \end{array} \right\} t = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{\lambda} = 5961 \text{ años.}$$

19. La actividad radioactiva de una muestra en un momento dado es de $2,041 \cdot 10^8$ BQ y disminuye a $1,957 \cdot 10^8$ BQ en 28 días.

a. ¿Cuál es la constante de desintegración del elemento radioactivo?

b. ¿Cuál es el período de semidesintegración?

a.

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{t} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ días}^{-1}$$

b.

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} \rightarrow \lambda = 461,8 \text{ años}^{-1}$$

20. a. ¿Cuál es la relación entre la constante de desintegración y el período de semidesintegración de una muestra radioactiva?

b. ¿Cuál es la constante de desintegración de una muestra con un período de semidesintegración de 122 segundos?

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{122} = 3'02 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}.$$

21. Una figura de madera presenta una actividad de 52700 desintegraciones por día. La misma masa de una muestra actual presenta una actividad de 1200 desintegraciones por hora. Calcula la edad de la figura tallada. ($T_{1/2} (^{14}\text{C}) = 5730$ años.)

$$\left. \begin{array}{l} A_0 = 1200 \frac{\text{desint.}}{\text{hora}} \cdot \frac{24 \text{ h.}}{1 \text{ día}} = 28800 \frac{\text{desint.}}{\text{día}} \\ A = 52700 \frac{\text{desint.}}{\text{día}} \\ T_{\frac{1}{2}} = 5730 \text{ años} \rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = 1'21 \cdot 10^{-4} \text{ años} \end{array} \right\} \text{La } A_{\text{actual}} < A_{\text{fig.}} \cdot \text{No es posible.}$$

22. La actividad de una muestra radioactiva acaba de medirse y ha sido de $3,02 \times 10^8$ Bq, y hace exactamente una semana fue de $1,08 \times 10^9$ Bq. ¿Cuál será la actividad de la muestra en siete días?

$$\lambda = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{t} = \frac{\ln \frac{1'08 \cdot 10^9}{3'02 \cdot 10^8}}{7} = 0'182 \text{ días}^{-1}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow A = 3'02 \cdot 10^8 e^{-0'182 \cdot 7} = 8'45 \cdot 10^7 \text{ Bq.}$$

23. Consideramos una muestra de material de un elemento radioactivo que en un momento dado tiene una actividad de $3 \cdot 10^8$ Bq.

a. ¿Cuál es el período de semidesintegración del elemento radioactivo si en un período de 61 días la actividad de la muestra disminuye a $9 \cdot 10^7$ Bq?

b. Partiendo de cuando la actividad es de $9 \cdot 10^7$ Bq, ¿cuál será la actividad de la muestra después de 300 días?

c. ¿Qué tiempo transcurre mientras la actividad de la muestra disminuye de $9 \cdot 10^7$ Bq a $9 \cdot 10^6$ Bq?

$$\left\{ \begin{array}{l} A_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ Bq.} \\ A = 9 \cdot 10^7 \text{ Bq.} \\ t = 61 \text{ días.} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda \cdot t = \ln \frac{A_0}{A} \\ \lambda = 0,0197 \text{ días}^{-1} \\ T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = 35,2 \text{ días.} \end{array} \right.$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow A = 244096 \text{ Bq.}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow t = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{\lambda} = 117 \text{ días.}$$

24. En los restos orgánicos recientes, la concentración de $^{14}_6\text{C}$ es mayor que en la más antigua. ¿A qué se debe esta diferencia de concentración y qué información se puede obtener?

La diferencia de concentración de $^{14}_6\text{C}$ que presenta la materia orgánica más antigua con respecto a la más moderna, se debe a que el $^{14}_6\text{C}$ mantiene su proporción en la materia viva, pero se desintegra en los cuerpos sin vida.

La velocidad de desintegración del carbono-14 es un dato conocido a partir del cual se puede conocer el valor del periodo de semidesintegración. Conociendo la proporción que hay en un resto de materia orgánica entre el carbono-14 y el carbono-12 se puede saber que parte del carbono-14 se ha desintegrado y por tanto se puede hacer una estimación de la edad de los restos.

25. ¿Qué es la actividad radiactiva y en qué unidades se mide? ¿Cuál es la relación entre la actividad radiactiva y constante radiactiva?

Actividad o tasa de desintegración, A , es el número de desintegraciones por unidad de tiempo. $A = \lambda \cdot N$. En el S.I. se mide en Becquerel, Bq, o desintegraciones por segundo.

26. ¿Qué magnitud se mide para determinar los efectos de la radiación en los seres vivos? ¿Con qué unidades se da la dosis de radiación recibida?

La magnitud que mide los efectos de la radiación sobre los seres vivos es la dosis de la radiación recibida. La unidad en el S.I. de dosis de radiación es el sievert (Sv). Un sievert es la cantidad de cualquier radiación que produce el mismo efecto biológico que el producido por la absorción de un joule de rayos X o rayos gamma por Kg. de materia. Un sievert equivale a 100 rem, que es una unidad anterior muy utilizada.

27. Considerar una muestra de 120 g de ^{60}Co , que tiene una constante de desintegración de $2 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$. (Datos: $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$, $m_{\text{Co}} = 59,93 \text{ u}$)

- a. Determina el período de semidesintegración de este núcleo.
- b) Determine el tiempo que se debe pasar para que esta muestra se reduzca a 40 g.
- c) Determine la actividad inicial de la muestra.

$$\text{a) } T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = 3'47 \cdot 10^{-7} \text{ s.}$$

$$\text{b) } t = \frac{\ln \frac{N_0}{N}}{\lambda} = \frac{\ln \frac{120}{40}}{2 \cdot 10^6} = 5'49 \cdot 10^{-7} \text{ s.}$$

$$\text{c) } A = \lambda \cdot N_0 = 2 \cdot 10^6 \cdot 120 \frac{1 \text{ mol de Co}}{59'93 \text{ g. Co}} \cdot \frac{6'023 \cdot 10^{23} \text{ átomos}}{1 \text{ mol de Co}} = 2'412 \cdot 10^{30} \text{ Bq.}$$

28. En una excavación se ha encontrado una herramienta de madera de roble. Sometida a la prueba del C - 14 se observa que se desintegran 100 átomos cada hora, mientras que una muestra de madera de roble actual presenta una tasa de desintegración de 600 átomos/hora. Sabiendo que el período de semidesintegración del carbono - 14 es de 5570 años, calcula la antigüedad de la herramienta.

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} \rightarrow \lambda = 1'24 \cdot 10^{24} \text{ años}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda \cdot t} \rightarrow \lambda \cdot t = \ln \frac{A_0}{A} \rightarrow t = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{\lambda} = 14449'67 \text{ años.}$$

3. INTERACCIONES FUNDAMENTALES DE LA NATURALEZA.

29. a. ¿Cuáles son las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza?
b. ¿Cuál es la interacción que mantiene los protones cerca uno del otro dentro del núcleo atómico?

Las 4 fuerzas fundamentales de la naturaleza, ordenadas en función de su intensidad, son las siguientes:

La interacción nuclear fuerte: es la más intensa, y tiene un alcance muy corto, 10^{-15} m. Es la responsable de la estabilidad del núcleo, ya que afecta a los quarks que componen los protones y neutrones del núcleo. Sin ella, los protones se repelerían, y el núcleo no sería estable. De carácter atractivo.

La fuerza electromagnética: es 100 veces menor que la interacción nuclear fuerte, y su alcance es infinito. Es la responsable de que los átomos, las moléculas y la materia en general se mantengan unidos. De carácter atractivo o repulsivo.

La interacción nuclear débil: tiene una intensidad que es 10^{-13} veces la de la interacción nuclear fuerte; también su alcance es menor, 10^{-17} m. Es la responsable de la desintegración de los núcleos atómicos. De carácter atractivo.

La fuerza gravitatoria: es la más débil, 10^{-39} veces la de la interacción nuclear fuerte, y su alcance es infinito. Es una fuerza de atracción entre todas las masas, y es la responsable de la estructura del universo. De carácter atractivo.

4. DEFECTO DE MASA.

Defecto de masa. La masa de todos los núcleos, excepto el de ${}^1_1\text{H}$, es siempre menor que la suma de las masas de sus nucleones correspondientes. Experimentalmente se ha comprobado que la energía de enlace entre nucleones coincide con la pérdida de masa que se produce al formarse un núcleo a partir de protones y neutrones en estado libre. La ecuación de Einstein nos da la relación entre masa y energía: $E = m \cdot c^2$.

$$\Delta m = Z \cdot m_{\text{protón}} + (A - Z) \cdot m_{\text{neutrón}} - \underbrace{m_{\text{átomo}} - Z \cdot m_{\text{e}^-}}_{m_{\text{nuclear}}}.$$

Equivalencia u.m.a. julios: $1 \text{ u.m.a.} = 1'66054 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$. Según la ecuación de Einstein, $E = 1'66054 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 1'4924 \cdot 10^{-10} \text{ julios}$.

Sabiendo que $1 \text{ e.V.} = 1'6 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$, resulta:

$$1 \text{ u.m.a.} = 1'4924 \cdot 10^{-10} \text{ Julios} = 931'5 \text{ Me.V.}$$

30. Define defecto de masa indicando la relación con la energía de ligadura.

La masa de todos los núcleos, excepto el de ${}^1_1\text{H}$, es siempre menor que la suma de las masas de sus nucleones correspondientes. Experimentalmente se ha comprobado que la energía de enlace entre nucleones coincide con la pérdida de masa que se produce al formarse un núcleo a partir de protones y neutrones en estado libre. La ecuación de Einstein nos da la relación entre masa y energía: $E = m \cdot c^2$.

31. ¿Cuál es el defecto de masa del núcleo de helio ${}^4_2\text{He}$? Deje el resultado en unidades de masa atómica. Masas atómicas: núcleo de helio: 4,00262 u; Neutrón: 1,00866 u; Protón: 1,00728 u.

$$\Delta m = 2 \cdot m_{\text{neutrón}} + 2 \cdot m_{\text{protón}} - m_{\text{He}} = 0'029 \text{ u.}$$

32. a. Calcular la energía, Q, de la desintegración de la fisión de ^{98}Mo en dos partes iguales. Datos: masa del $^{98}\text{Mo} = 97,90541 \text{ u. a. m.}$; Masa del $^{49}\text{Sc} = 48,95002 \text{ u. a. m.}$; $1 \text{ u. a. m.} = 935 \text{ MeV}/c^2$.
b. Si Q es positivo, razonar por qué el proceso no se produce espontáneamente.

$$a. \Delta m = 97,90541 - 2 \cdot 48,95002 = 0,00537 \text{ u.m.a.} \rightarrow E = 5,02 \text{ Me.V.}$$

b. Porque el molibdeno es estable. Debemos bombardearlo con un neutrón para que ocurra el proceso.

33. Calcula el defecto de masa, así como la energía de enlace por nucleón, al formarse los núcleos de helio-4 e hidrógeno-3. Datos: $m_p = 1,007276 \text{ u.}$ $m_n = 1,008665 \text{ u.}$ $m_{\text{He-4}} = 4,001506 \text{ u.}$ $m_{\text{H-3}} = 3,015501 \text{ u.}$

$$\Delta m_{(\text{He-4})} = 2 \cdot 1,007276 + 2 \cdot 1,008665 - 4,001506 = 0,030376 \text{ u.}$$

$$E_{n(\text{He-4})} = \frac{0,030376 \cdot 931,5}{4} = 7,074 \text{ Me. V.}$$

$$\Delta m_{(\text{H-3})} = 1 \cdot 1,007276 + 2 \cdot 1,008665 - 3,015501 = 0,009105 \text{ u.}$$

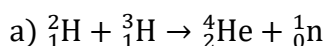
$$E_{n(\text{H-3})} = \frac{0,009105 \cdot 931,5}{3} = 2,827 \text{ Me. V.}$$

34. El proyecto ITER investiga la fusión de deuterio y tritio para dar helio-4 y un neutrón.

a.- Escribe la ecuación de la reacción nuclear.

b.- Calcula la energía liberada por núcleo de helio.

Deuterio: $2,0136 \text{ u.}$ Tritio: $3,0155 \text{ u.}$ Helio-4: $4,0015 \text{ u.}$ Neutrón: $1,0087 \text{ u.}$



$$b) \Delta m = m_{\text{deuterio}} + m_{\text{tritio}} - m_{\text{helio}} - m_{\text{neutrón}} = 0,0189 \text{ u.} = 3,138 \cdot 10^{-29} \text{ Kg.}$$

$$\text{Según } E = m \cdot c^2 = 2,824 \cdot 10^{-12} \text{ Julios} = 17,6 \text{ Me.V.}$$

5. FUSIÓN Y FISIÓN NUCLEAR.

35. Respuesta concisa:

a. ¿Qué son la fusión y la fisión nuclear?

b. ¿De dónde proviene la energía liberada en estos procesos?

Las reacciones de **fusión nuclear** consisten en la unión de núcleos pequeños para dar otros más pesados que ellos, más estables, como la fusión del hidrogeno para dar helio. La energía desprendida en la fusión es la diferencia entre la energía de enlace de los núcleos que se forman y la energía de enlace de los núcleos iniciales que se funden. Las reacciones de **fisión nuclear** consisten en la ruptura de núcleos grandes para dar otros núcleos más pequeños, más estables. La energía desprendida en la fisión es la diferencia entre la energía de enlace de los núcleos que se forman y la energía de enlace del núcleo que se fisiona.

36. Definir con una frase:

a. Fusión nuclear,

b. Fisión nuclear

c. ¿Se utiliza la fusión o fisión en las centrales nucleares actuales?

d. ¿Qué elemento se utiliza habitualmente?

a) La fusión nuclear es el proceso de unión de dos núcleos atómicos.

b) La fisión nuclear es el proceso de división de un núcleo atómico.

c) La fisión.

d) Uranio / plutonio.

6. REACCIONES NUCLEARES.

${}^4_2\alpha$: ${}^4_2\text{He}$: partícula α	${}^0_{-1}\beta^{-1}$: electrón	${}^0_{+1}\beta^{+1}$: positrón	${}^1_1\text{p}$: protón
${}^1_0\text{n}$: neutrón	${}^1_1\text{H}$: protón, núcleo de protio	${}^2_1\text{D}$: núcleo de deuterio	${}^3_1\text{D}$: núcleo de tritio

37. Hallar X en cada reacción.

- ${}^{23}_{11}\text{Na} + \text{p} \rightarrow \text{X} + {}^{20}_{10}\text{Ne}$
- ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow \text{X} + {}^{17}_8\text{O}$
- ${}^{17}_8\text{O} + {}^2_1\text{D} \rightarrow \text{n} + \text{X}$
- $\text{X} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^{37}_{18}\text{Ar}$
- ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + \text{X}$

- ${}^{23}_{11}\text{Na} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^4_2\text{X} + {}^{20}_{10}\text{Ne}$; X es una partícula α .
- ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{X} + {}^{17}_8\text{O}$; X es un protón.
- ${}^{17}_8\text{O} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^{18}_9\text{X}$; X es el F.
- ${}^{37}_{17}\text{X} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^{37}_{18}\text{Ar}$; X es el Cl.
- ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{X}$; X es un neutrón.

38. Un núcleo de ${}^{118}_{49}\text{In}$ absorbe un neutrón y se transforma en el isótopo ${}^{119}_{50}\text{Sn}$ y partículas adicionales.

- Indique cuáles son las partículas adicionales.
- Escriba la reacción ajustada.

