



RADIATIVIDAD

El Carbono 14, ^{14}C , es un emisor β^- con un periodo de semidesintegración de 5760 años. Se pide: a) Describir todas las formas de desintegración radiactiva de los núcleos explicando los cambios en los mismos y los principios que se deben cumplir en todos los casos. b) Llegar razonadamente, a la ley de desintegración radiactiva que cumplen todos los núcleos en función de la constante característica de cada uno y del tiempo. c) La actividad del carbono encontrado en especímenes vivientes es de $0'007 \mu\text{Ci}$ por kilogramo, debido a la presencia de ^{14}C . El carbón procedente de un fogón situado en un campamento indio tiene una actividad de $0'0048 \mu\text{Ci} \cdot \text{kg}^{-1}$. Calcular el año en que este campamento fue usado por última vez.

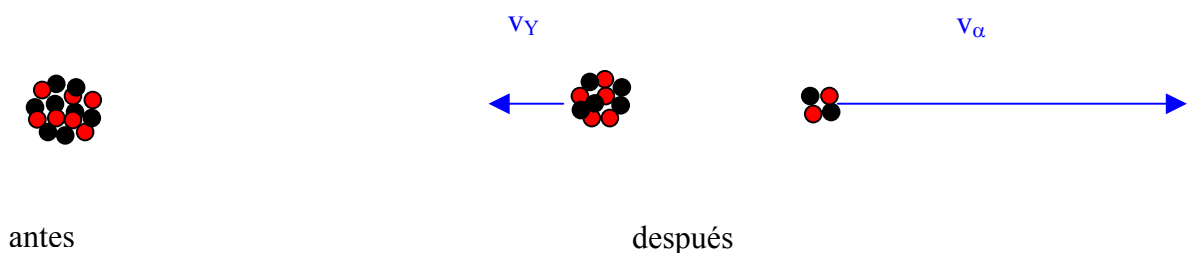
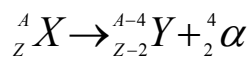
Datos: $1\text{Ci} = 3'7 \cdot 10^{10}$ desintegraciones/s.. Masa atómica del $^{14}\text{C} = 14'0077 \text{ uma}$.; $N_A = 6'023 \cdot 10^{23}$ partículas/mol.

En algunos núcleos, la combinación de protones y neutrones, no conduce a una configuración estable. Estos núcleos son por consiguiente, inestables o radiactivos. Los núcleos inestables tienden a aproximarse a configuraciones estables liberando ciertas partículas. Estas partículas, observadas por primera vez a finales del siglo pasado por Bequerel, Pierre y María Curie, fueron denominados partículas α y β .

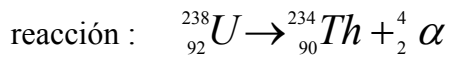
Hoy, sabemos que los tipos de desintegración de los núcleos son :

- a) Desintegración α
- b) Desintegración β^-
- c) Desintegración β^+
- d) Captura electrónica.

a) Desintegración α . - Las partículas alfa son núcleos de helio y se componen de dos protones y dos neutrones como podemos verificar midiendo su carga y su masa. Así, un núcleo que emite una partícula alfa, se convierte en **otro núcleo** cuyo número atómico Z es dos unidades menor, y su número másico A es cuatro unidades menor.

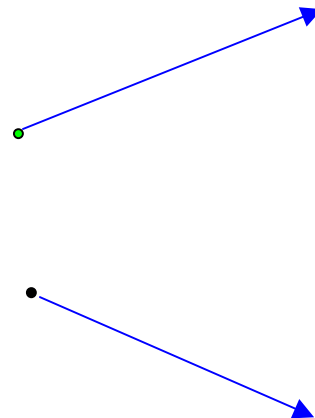
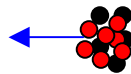
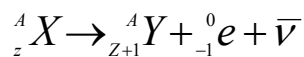


por ejemplo, el ${}_{92}^{238}\text{U}$ es un emisor α según la

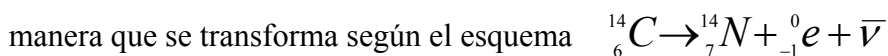


Esta desintegración nuclear suele ir acompañada de **emisión γ** (emisión de energía en forma de onda electromagnética). La desintegración α suele tener lugar en núcleos grandes de $A > 200$.

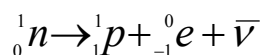
b) Desintegración β^- .- Las partículas β son electrones (carga $-e$) procedentes de núcleo radioactivo. Experimentalmente se demuestra que, el núcleo residual tiene el mismo número másico A , y, su número atómico Z es una unidad mayor que la del núcleo original. Esto es, se emite un electrón y un neutrón es reemplazado por un protón. El proceso podemos expresarlo de esta forma:



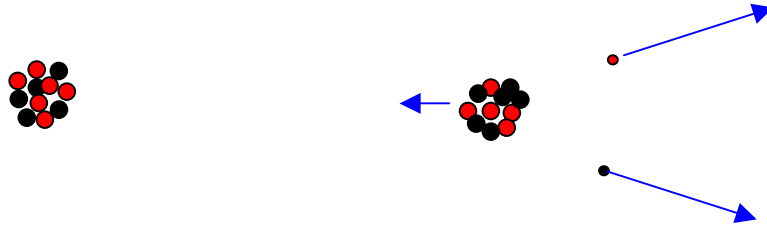
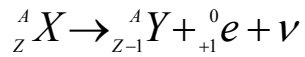
por ejemplo, el ${}_{6}^{14}\text{C}$ de nuestro problema, es un emisor β^- de



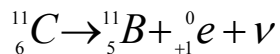
Como en los núcleos sólo existen neutrones y protones, cuando se emite un electrón (emisión β^-) **un neutrón se transforma en un protón**, emitiendo además una partícula llamada antineutrino (para que se cumplan todos los principios de conservación) o sea:



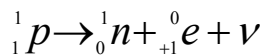
c) Desintegración β^+ .- Las partículas β^+ son **positrones** (carga $+e$) con la misma masa y spin que los electrones pero, con carga positiva. Cuando un núcleo emite una partícula β^+ **un protón es reemplazado por un neutrón** con lo que el n° atómico A permanece invariable y el n° atómico Z disminuye en una unidad.



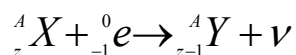
por ejemplo, el ${}^{11}_6 C$ es un emisor β^+ y se transforma según el esquema:



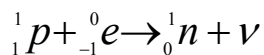
Esta emisión de positrón por parte de un núcleo, supone que **un protón se transforma en neutrón**, emitiendo además un neutrino (para que se cumplan todos los principios de conservación) o sea:



d) Captura electrónica.- Algunos núcleos pueden capturar electrones, que, con unas órbitas muy penetrantes, llegan muy cerca de mismo. Esta CE (captura electrónica) supone el reemplazo en el núcleo de un protón por un neutrón emitiendo un neutrino, según el esquema:



Las transformaciones en el núcleo son en este caso: un protón se une a un electrón para transformarse en neutrón emitiendo un neutrino:



Los principios de conservación que se deben cumplir son:

El principio de conservación de la cantidad de movimiento (momento lineal).

El principio de conservación del momento angular.

El principio de conservación del conjunto masa + energía.

Además, como vemos en las anteriores ecuaciones de transmutaciones nucleares:

Principio de conservación de la carga eléctrica
 Principio de conservación del n° másico total.
 Principio de conservación del n° atómico total.

Todos éstos procesos pueden ir acompañados de emisión γ o radiación electromagnética (que es una forma de acabar estabilizándose emitiendo energía). La necesidad de que se cumpla el principio de conservación del momento lineal y angular en éstos procesos, hizo que se postulase la necesidad de emisión de los neutrinos en la desintegración β antes de ser identificados como tales. La necesidad de que se cumpla el principio de conservación del momento angular, supone que los neutrinos y antineutrinos deben tener spin.

En el apartado b) del problema nos piden que lleguemos a la ley de desintegración radiactiva de manera razonada. Se trata de relacionar el n° de átomos radiactivos presentes, en función del tiempo.

Para ello, como la experiencia demuestra de unos núcleos radiactivos se desintegran mucho más rápidamente que otros, supondremos que hay una constante radiactiva (que llamaremos λ) característica de cada uno.

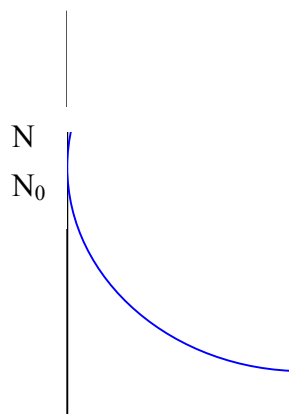
La cantidad de átomos radiactivos que se desintegran en el tiempo dt , debe ser proporcional al n° de átomos presentes y al intervalo de tiempo considerado, siendo la constante de proporcionalidad, la constante λ .

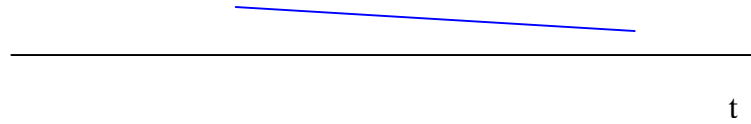
$$-dN = \lambda N \cdot dt \quad \text{de dónde} \quad \frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt \quad \text{integrado} \quad \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda \cdot dt$$

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda \cdot t \quad \text{o lo que es lo mismo} \quad \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda \cdot t$$

$$\text{que, también podemos escribir} \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{ó} \quad N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Como vemos, la cantidad de átomos radiactivos presentes, disminuye exponencialmente con el tiempo. Esta dependencia es característica de cada núcleo radiactivo a través de la constante λ . La gráfica que en donde se representa $N = f(t)$ será :





Se llama **Periodo de semidesintegración** , al tiempo en el cual el n° de átomos radiactivos se convierte en la mitad, es decir : $t = T$ cuando $N = N_0/2$

Substituyendo en la expresión $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ tenemos:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot T} \quad \text{de donde, simplificando y tomando logaritmos neperianos}$$

$-\ln 2 = -\lambda \cdot T$ con lo que, la relación entre las constantes λ y T (periodo de semidesintegración) será:

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

c) En el apartado c) de nuestro problema, con el dato del periodo de semidesintegración del ^{14}C , podemos calcular la constante radiactiva del mismo , que será:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{5760.365.24.3600} = 3'816.10^{-12} \text{ s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{5760} = 1'203.10^{-4} \text{ años}^{-1}$$

Como la **velocidad de desintegración o actividad de la muestra** , podemos obtenerla derivando la expresión $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ tenemos:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$$

Como la **actividad de la muestra de carbono** en la actualidad es de 0'0048 microcurios por Kg, y la que tuvo cuando la madera convertida en carbón acabó de cortarse debió ser de 0'007 microcurios por kg, tenemos.

$$v = \frac{dN}{dt} = -\lambda.N = 0'0048 \mu\text{Ci} / \text{kg}$$

$$v_0 = \frac{dN}{dt} = -\lambda.N_0 = 0'007 \mu\text{Ci} / \text{kg}$$

dividiendo una expresión por la otra:

$$\frac{0'0048}{0'007} = \frac{N}{N_0} = 0'6857 \quad \text{con lo que, utilizando la expresión } N = N_0 \cdot e^{-\lambda.t}$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda.t} = 0'6857 \quad , \text{ tomando logaritmos neperianos y substituyendo el valor}$$

de λ en años⁻¹ tenemos que:

$$\ln 0'6857 = -1'203 \cdot 10^{-4} \cdot t \quad \text{de donde el valor de "t" será } \mathbf{t = 3135 \text{ años}}$$

con lo que, el tiempo transcurrido desde que se utilizó el campamento indio por última vez fue hace 3135 años.

Sabiendo la relación entre la actividad de una muestra y el número de átomos presentes, podemos calcular cuál es el no inicial de átomos de ¹⁴C que hay en la muestra de 1 kg de cenizas de carbono, ya que:

$$v = \frac{dN}{dt} = -\lambda.N$$

Y, la actividad inicial de la muestra es 0'007μCi y la constante radiactiva es $\lambda = 3'816 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}$. con estos datos el no inicial de átomos de C 14 es de $N_0 = 6'7874 \cdot 10^{13}$ átomos.

En la escena interactiva (applet) puedes comprobar la cantidad de átomos de ¹⁴C y la actividad de la muestra, a medida que transcurre el tiempo.

En dicho applet puedes utilizar el mismo proceso de desintegración radiactiva para otros núcleos con sus respectivas constantes.