

Resumen de radioactividad y aplicaciones.

¿Qué es la radioactividad?

♣ **Radioactividad.** Es un *fenómeno* por el cual los núcleos de los átomos de ciertos elementos pueden emitir partículas transformándose en otros núcleos, y, por lo tanto, *se transmutan* en otros elementos químicos distintos. ☺

Todo elemento químico (isótopo) capaz de emitir radioactividad de algún tipo se denomina **radioelemento (radioisótopo)**. Hay varios tipos de radioactividad. Los principales tres tipos de radioactividad se denominan alfa α , beta β y gamma γ . En ocasiones, también se habla de *desintegración* de los elementos químicos, pero esta palabra suele estar reservada para aquellos fenómenos radioactivos en los que un radioisótopo “grande”, se descompone en uno o varios más ligeros. También se habla de desintegración o radiación de partículas elementales cuando algunas se transforman en otras. Por ejemplo, tal como conté en clase, un neutrón “suelto”, o “libre”, se desintegra según la reacción

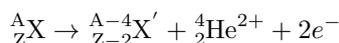
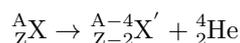


en unos 15 minutos (para ser más precisos unos 880 segundos), y donde $\bar{\nu}$ es un antineutrino (antipartícula del neutrino, una de las partículas fundamentales conocidas, aunque muchas veces ignoradas en los libros de texto).

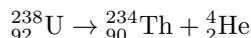
Tenemos pues los siguientes tipos de radioactividad:

$$\text{Radioactividad} \begin{cases} \text{alfa, } \alpha - \text{decay} \\ \text{beta, } \beta - \text{decay} \\ \text{gamma, } \gamma - \text{decay} \end{cases}$$

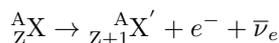
Radiactividad α . Consiste en la emisión de un núcleo de helio (o un núcleo de helio ionizado más electrones). Genéricamente, un radionúcleo o radioelemento que sufre este tipo de transmutación sigue la regla:



Ejemplo:



Radiactividad β . Este tipo de transmutación es muy simple y consiste esencialmente en la transformación de un protón en neutrón o viceversa en un núcleo o isótopo, siguiente un esquema similar a lo que le pasaba al neutrón, pero a escala nuclear y atómica. Hay esencialmente 2 tipos clásicos de desintegración beta, llamados β^- y β^+ . Para la desintegración β^- , en la que un neutrón se transforma en protón dentro del núcleo, se tiene el esquema general

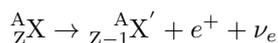


En los libros de texto y en muchos lugares de la Física Nuclear se ignora al pobre neutrino, simplemente por el hecho de ser “pequeño”, y no jugar un papel “activo” en la interacción nuclear, de la que él es un simple “producto”.

No obstante, debe tenerse en cuenta para “sutiles detalles” no totalmente aprehendidos de la Física Nuclear. Para la desintegración β^+ , en la que un protón se transforma en neutrón, mediante el subproceso

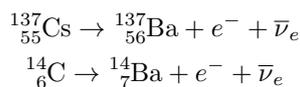
$$p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$$

el esquema o reacción resulta ser

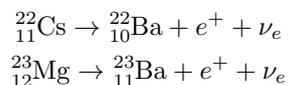


Comentario: Afortunadamente para el Universo, el subproceso en el que un protón se desintegra en neutrón, positrón y neutrino parece ser muy, muy, pero que muy lento. A diferencia del neutrón, el protón es muy estable y no se desintegra “suelto” o “libre”. Actualmente, se sabe que si ese proceso existe, su tiempo típico (llamado tiempo o período de semidesintegración) es mayor de 10^{33} años (por comparación, el tiempo de transcurrido en el Universo desde el denominado Big Bang es de 13800 millones de años, $1.38 \cdot 10^{10}$ años.). Sin embargo, como puede verse, la transformación de protón en neutrón es posible en los núcleos en tiempos mucho más cortos.

Ejemplos (desintegración β^-):

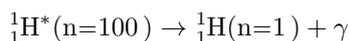


Ejemplos (desintegración β^+):

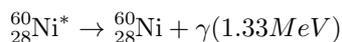


Interesante: en la desintegración beta permanece constante el número másico. Eso lleva a introducir el concepto de isóbaro nuclear, átomos de diferentes elementos que tienen el mismo número de nucleones (átomos en los que coincide el número másico A). También está la idea de átomos (núcleos) isótonos, que son aquellos que poseen igual número de neutrones pero distinto Z .

Radiactividad γ . La radiactividad gamma consiste esencialmente en la emisión de fotones (partículas que integran las ondas electromagnéticas) de alta o muy alta energía por los núcleos. Este tipo de radiación puede producirse también de diferentes formas. Si un núcleo o átomo está altamente excitado (en un nivel de energía alto) puede emitir un fotón o cascada de fotones altamente energético/s. Estos elementos o núcleos excitados se suelen llamar isómeros nucleares. Por ejemplo



Otro ejemplo podría ser



y donde el paréntesis indica en este caso la energía particular del fotón emitido en unidades de megaelectrones-voltio ($1 \text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{J}$).

Aplicaciones de la radiactividad y los elementos radioactivos. Los radioisótopos y las propiedades de los núcleos tienen en la actualidad muchas aplicaciones, entre las que destacan:

- Aplicaciones médicas: rayos X (radiografías), radioterapia, la gammagrafía, PET (tomografía de emisión de positrones), radiodiagnósticos, NMR (resonancia magnética nuclear),...
- Relojes atómicos.
- Propulsión nuclear de submarinos, barcos, sondas y naves espaciales.
- Producción de energía mediante fisión o fusión.
- Datación radiactiva.
- Detectores de partículas, sensores antincendios.

Se llama energía nuclear a la energía que se desprende en la desintegración de los núcleos de ciertos átomos o núcleos. La *fisión nuclear* consiste en la ruptura de un núcleo atómico de gran masa en dos o más con masas similares. Generalmente se usan neutrones para la fisión. El proceso contrario, la unión de núcleos ligeros en otros más masivos tiene lugar en las estrellas y se espera tenga lugar en reactores nucleares de fusión (como ITER).

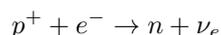
Un problema con el uso de radioisótopos es su almacenaje. Los residuos nucleares sólidos, líquidos o gases deben almacenarse o aislarse debidamente, porque en algunos casos su radiación durará miles de años.

Otros conceptos vistos en clase:

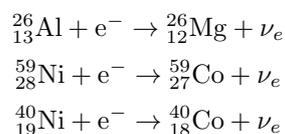
- **Orbital:** es la región del espacio donde es más probable encontrar a un electrón en un átomo, porque no sólo es una partícula sino también una onda. Debido a esto, carece de sentido hablar del concepto de órbita para un electrón. Los orbitales se indican con la notación espectroscópica *nl*. Por ejemplo: *1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, ...*
- **La Tabla Periódica** recibe su nombre porque las propiedades de los elementos químicos son función periódica de su número atómico y sus masas atómicas. Se llaman elementos representativos, a los elementos de los grupos 1 y 2, junto a los grupos del 13 al 18. En un grupo el tamaño crece según nos movemos hacia abajo. En un período, aumenta hacia la izquierda y disminuye hacia la derecha. El carácter metálico aumenta hacia la izquierda. Bioelementos primarios son *C, H, O, N, P, S*, y secundarios *Na, K, Ca, Cl, Mg*. Los oligoelementos indispensables *Fe, Co, Cu, Mn, Zn*, y los oligoelementos variables *F, I, Mo, Si, B, Al, V*.
- **Espectros atómicos:** son el resultado de la descomposición de la luz que emiten los elementos al calentarse, enfriarse, o ser sometidos a una corriente eléctrica. El resultado es un fondo negro con líneas (espectro de emisión), o un fondo de colores y unas líneas oscuras (espectro de absorción). La denominada "Física Clásica" no puede explicar los espectros ni por qué los electrones giran de forma estable alrededor de los núcleos sin precipitarse hacia éstos perdiendo energía. Ése fue el origen de la "Física Cuántica".

Curiosidad (otros tipos de radiactividades):

Es importante primero destacar, que los procesos anteriores de desintegraciones α, β, γ no tienen por qué ocurrir separadamente y pueden darse en ocasiones en reacciones en cadena o (casi) simultáneamente. Dicho esto, hay algunos otros tipos de radiactividad que son estudiadas por los físicos. En primer lugar, la denominada *captura electrónica* (o proceso K, K-captura, . . .) corresponde a un subproceso de transformación

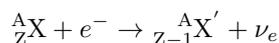


y que lleva a reacciones de transmutación nuclear del tipo de los siguientes ejemplos

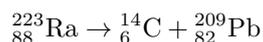


Por tanto, en este tipo de transmutación un protón absorbe un electrón y se transforma en un neutrón emitiendo un neutrino. En términos de radionúcleos, un elemento que sufre captura electrónica “pierde” un protón que se transforma en neutrón, manteniendo constante A , y emitiendo ese neutrino. ¡Asombroso!

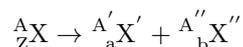
El esquema general de una transmutación de este tipo es



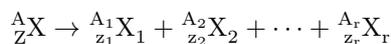
Otro tipo de desintegración o radiación es la llamada *radioactividad de iones pesados* o *radioactividad de partículas pesadas*, también conocida como descomposición o desintegración “cluster” (o de cúmulos). En este tipo de radiación, un elemento generalmente pesado se descompone en 2 ó más elementos. Por ejemplo:



y donde se sigue un esquema de tipo



y donde como resulta lógico y evidente $Z = a + b$, y $A = A' + A''$. Esto podría generalizarse a algo del tipo siguiente:

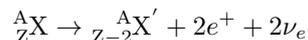
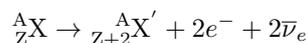


donde habría r -sumandos o elementos/núcleos a la derecha de la flecha, de forma que

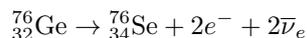
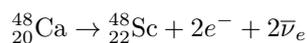
$$\begin{aligned} Z &= \sum_{j=1}^r z_j = z_1 + z_2 + \cdots + z_r \\ A &= \sum_{j=1}^r A_j = A_1 + A_2 + \cdots + A_r \end{aligned}$$

Para terminar, hay dos desintegraciones beta adicionales que son interesantes en sí mismas. En primer lugar, dejadme que os presente a la desintegración beta

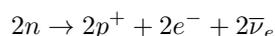
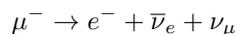
doble, donde un núcleo con (Z, A) pasa a $(Z + 2, A)$ (ó a $(Z - 2, A)$ si fuera una doble β^+) emitiendo dos electrones (positrones) y dos antineutrinos (neutrinos):



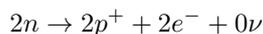
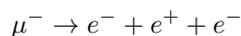
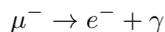
Ejemplos: este tipo de desintegración es muy “rara” o muy poco frecuente en núcleos/radioisótopos. Pero algunos han sido observados. En particular,



Y ahora viene la estrella actual de las desintegraciones (no descubiertas porque es hipotética). Si el neutrino fuera igual que el antineutrino (es decir serían su propia “antipartícula”, o lo que los físicos teóricos llaman una partícula de Majorana), los dos neutrinos de arriba se aniquilarían y no “aparecerían” en los resultados finales (no serían detectados a diferencia de lo que ocurre una beta doble normal). Las desintegraciones beta dobles SIN neutrinos ($0\nu\beta\beta$) representan la frontera final en la interconexión de Física Nuclear y de Física de partículas. Mientras que los procesos:



son “conocidos”, los de tipo



no han sido observados y deben ser extraordinariamente poco frecuentes (muy infrecuentes) en el Universo conocido.