

Physica

Conceptos fundamentales de Física en 2º de Bachillerato

I.E.S. Aguilar y Cano

La Radiactividad

J.M.L.C.

Introducción

La *radiactividad* natural fue descubierta por A.H. **Becquerel** en 1896 (poco después del descubrimiento de los rayos X por Röntgen), cuando estudiaba los efectos de una sal de uranio sobre una placa fotográfica envuelta en papel negro.

La placa se ennegrecía por alguna radiación emitida por la sal. Al comprobar que el uranio puro poseía esta propiedad con mayor intensidad que la sal, Becquerel atribuyó la radiación a este elemento.

En 1898, los esposos **Curie** descubrieron otros dos elementos, el *polonio* (Z=84) y el *radio* (Z=88), que eran mucho más radiactivos que el uranio.

Más tarde se encontró que el *torio* tenía propiedades análogas, y hoy en día se conocen muchos elementos radiactivos de números atómicos comprendidos entre Z=83 y Z=92.

Los estudios realizados sobre estos elementos demuestran que las radiaciones que emiten están formadas por tres clases diferentes de rayos, llamados *alfa* (α), *beta* (β) y *gamma* (γ). Hoy sabemos que los rayos alfa son núcleos de helio (${}^4_2\text{He}$) y que los rayos beta son electrones rápidos. En cuanto a los rayos gamma, constituyen una radiación electromagnética de longitud de onda más corta que la de los rayos X (de 10^{-4}m a 1Å).

Las radiaciones α y β se corresponden con verdaderos cambios nucleares, ya que el núcleo modifica su naturaleza; sin embargo, la radiación γ está relacionada con la desexcitación del núcleo, que vuelve al estado estable, tras una perturbación.

Hay que tener en cuenta que los procesos de desintegración radiactiva, al igual que cualquier proceso físico o químico, cumplen las leyes de conservación siguientes:

- conservación de la energía,

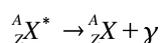
- conservación de la cantidad de movimiento,
- conservación de la carga,
- conservación del número de nucleones.

La emisión γ

Como ya hemos indicado, la radiación γ está formada por fotones de muy alta energía, del orden de algunos MeV.

Esta emisión supone la vuelta al estado fundamental de un núcleo, que previamente ha sido excitado. Es una emisión radiactiva, que generalmente acompaña a las emisiones α y β .

Un núcleo excitado se representa por el símbolo ${}^A_Z\text{X}^*$ de modo que el proceso de desexcitación γ puede reflejarse de la forma:

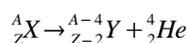


La energía que corresponde a cada uno de los fotones emitidos depende de la transición producida en el núcleo.

La emisión α

La desintegración radiactiva con emisión de partículas α es característica de los núcleos pesados (Z muy grande).

En este caso, el proceso que tiene lugar es el siguiente:



donde el núcleo Y es más estable que el núcleo X. Obsérvese que en el proceso se conserva la carga y el número de nucleones.

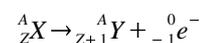
La desintegración α de un núcleo

pesado produce un núclido más próximo a la curva donde se encuentran los isótopos estables (curva de estabilidad). El desplazamiento que se realiza es paralelo a la bisectriz N=Z.

La emisión β

La desintegración radiactiva con emisión de partículas β es característica de núcleos muy ricos en neutrones.

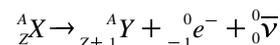
En este caso, el proceso que tiene lugar es el siguiente:



El núcleo que se desintegra emite un electrón. No existiendo electrones en el núcleo, hay que suponer que lo que ocurre es que un neutrón se transforma en protón. Se trata de una *desintegración neutrónica*, que tiene lugar en el interior del núcleo.

Sin embargo, el proceso que tiene lugar no es el que representa la ecuación anterior. Al estudiar la conservación de la cantidad de movimiento se observa que el núcleo formado y el electrón no presentan siempre cantidades de movimiento opuestas, como debía ocurrir para que se conservase esta magnitud. Debemos admitir que el resultado de la desintegración no son dos partículas, sino tres.

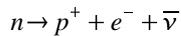
Fue Pauli quien en 1931 afirmó que en el proceso de desintegración β faltaba una partícula de masa en reposo nula y sin carga, a la que llamó *antineutrino* ($\bar{\nu}$). De ese modo el proceso anterior quedaba transformado en:



Contenido

Introducción.....	1
La emisión γ	1
La emisión α	1
La emisión β	1
Ley de la desintegración radiactiva.....	2
Reacciones nucleares.....	2

donde lo que en realidad ocurre es la desintegración de un neutrón en un protón, un electrón y un antineutrino:



Los núclidos situados a la izquierda de la curva de estabilidad se desintegran por emisión β . El desplazamiento que tiene lugar es ahora perpendicular a la bisectriz $N=Z$.

Ley de la desintegración radiactiva

La radiactividad es un fenómeno espontáneo que obedece leyes estadísticas. En un proceso de desintegración radiactiva el número de desintegraciones dN que tienen lugar en el tiempo dt , es directamente proporcional al número de núcleos radiactivos que existen en un momento determinado, N . Matemáticamente:

$$dN = -\lambda N dt$$

donde la constante de proporcionalidad λ es la *constante de desintegración* o *constante radiactiva*, y el signo menos indica la desaparición de la sustancia. La ecuación anterior puede escribirse en la forma:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \text{ e integrando:}$$

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1)$$

en donde N_0 representa el número de núcleos existentes en el instante inicial y N el número de núcleos sin desintegrar que existen en el instante t .

Esta ley se aplica a todas las sustancias radiactivas, pero la constante radiactiva λ varía ampliamente de unas a otras. Si λ es grande, la sustancia se desintegra rápidamente; si λ es pequeña, el proceso es lento; λ representa la probabilidad por unidad de tiempo de que un átomo se desintegre.

El cociente dN/dt , es decir, el número de desintegraciones por unidad de tiempo, se denomina *actividad* de la sustancia y se mide en curies. El *curie* se define como la actividad de una sustancia que presenta $3,7 \cdot 10^{10}$ desintegraciones por segundo. Fue

elegida de tal forma que 1 g de radio tenía la actividad de 1 curio. La unidad del S.I. Es el *becquerel* (Bq), igual a 1 desintegración por segundo.

El tiempo que tarda una sustancia radiactiva en reducirse a la mitad de su valor inicial se llama *periodo de semidesintegración* $T_{1/2}$, y su relación con λ es:

Haciendo $N=N_0/2$ para $t = T_{1/2}$, la

ecuación (1) queda: $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$ y tomando

$$\text{logaritmos neperianos, } T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

La presión, la temperatura, los tratamientos químicos, no tienen ninguna influencia sobre el valor de $T_{1/2}$. Cada vez que transcurre el tiempo $T_{1/2}$ se desintegran la mitad de los núcleos presentes.

Las desintegraciones radiactivas vienen regidas por leyes estadísticas. Esto significa que un núcleo radiactivo determinado puede desintegrarse en un instante o subsistir millones de años. Lo único que podemos asegurar es que si el periodo es $T_{1/2}$, cada núcleo del isótopo considerado posee una probabilidad del 50 por 100 de que se desintegre en ese tiempo; esto no significa que en un tiempo igual a $2T_{1/2}$ la probabilidad de desintegración sea del 100 por 100; los núcleos carecen de memoria y su probabilidad de desintegración es constante en cada intervalo $T_{1/2}$. A veces se utiliza el concepto de *vida media* de un radioisótopo, τ . Matemáticamente es el tiempo al cabo del cual el número de átomos que subsisten es N_0/e . Puede demostrarse que es igual a la inversa de su constante de desintegración, λ . Por tanto, entre la vida media y el periodo de semidesintegración existe la relación:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{0,693} = 1,44 T_{1/2}$$

Reacciones nucleares

La primera reacción nuclear producida artificialmente por el hombre se debe a **Rutherford**, quien al bombardear nitrógeno con partículas α

observó la presencia de partículas de gran alcance correspondientes a protones y la formación de un isótopo del oxígeno, ^{17}O . La reacción verificada se puede representar así: $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{17}_8\text{O} + ^1_1\text{p}$ o también $^{14}_7\text{N}(\alpha, p)^{17}_8\text{O}$, en donde el paréntesis encierra la partícula bombardeante y la partícula emitida.

A veces, las reacciones nucleares dan origen a isótopos radiactivos que no existen en la naturaleza (radiactividad artificial).

Una reacción nuclear puede ser *exoenergética* si en ella se libera energía o *endoenergética* cuando la energía se absorbe. Esta energía aparece en forma cinética en los productos de reacción, y para su cálculo hay que aplicar el principio de conservación de la masa-energía. Si la reacción es, por ejemplo, la de Rutherford: $^{14}_7\text{N}(\alpha, p)^{17}_8\text{O}$, el balance energético será:

$$E_\alpha + m_\alpha c^2 + m_N c^2 =$$

$$E_p + m_p c^2 + E_O + m_O c^2$$

en donde el símbolo E_α representa la energía cinética de la partícula α bombardeante, y E_p y E_O las energías cinéticas del protón y del oxígeno, respectivamente. Esta ecuación puede escribirse también en la forma:

$$Q = E_p + E_O - E_{\text{alpha}} =$$

$$(m_{\text{alpha}} + m_N - m_p - m_O) \cdot c^2 = \Delta m \cdot c^2$$

en donde se llama *valor Q* de la reacción nuclear a la variación de masa Δm que tiene lugar en la reacción expresada en unidades energéticas. Representa la energía mínima absorbida o liberada en la reacción.

Fisión nuclear

Recibe el nombre de *fisión* nuclear la ruptura o escisión de un núcleo pesado en dos fragmentos casi iguales con liberación de energía.

Fusión nuclear

La *fusión* nuclear es un proceso inverso al de la fisión, mediante el cual dos núcleos ligeros se funden en uno solo más pesado con liberación de energía.