

Modelo del átomo

La radiación ionizante proviene principalmente de los átomos y sus componentes, también sus efectos se dejan sentir en los átomos y en sus partes, por lo tanto partiremos describiendo un modelo apropiado del átomo. Aclaremos que la descripción sólo pretende ser útil para analizar la radiación. La descripción gráfica que se muestra es de gran ayuda para visualizar los fenómenos, aun cuando no se apega estrictamente al entendimiento actual de la física.

El radio atómico es del orden de $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

El radio nuclear esta entre $0.1 \text{ a } 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$

Con estos datos podemos darnos cuenta que cualquier objeto contiene un gran número de ellos: una moneda de un gramo tiene aproximadamente 10^{24}

El núcleo está formado por Z protones y N neutrones y el número de masa es $A = Z + N$. El número de protones Z determina de qué elemento químico se trata y puede tener varios isótopos los cuales son átomos con mismo número Z pero diferente N . Por ejemplo ^{12}C es el isótopo $A=12$ y $N=6$ del carbono con $Z=6$.

Generalmente se utiliza una (unidad de masa atómica) para expresar la masa de los átomos y es $1/12$ de la masa de $^{12}\text{C} = 1.66053 \times 10^{-27} \text{ Kg} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$

Las propiedades químicas de los elementos es decir, su capacidad de unir sus átomos a otros compartiendo electrones, están determinadas por la estructura de capas de los electrones en los átomos.

Los electrones que se encuentran más cercanos al núcleo (por ejemplo los de la capa K) están, por esta cercanía, fuertemente ligados a él. En términos técnicos, decimos que tienen una gran energía de amarre, lo que equivale a decir que para separarlos necesitamos mucha energía. Si por algún proceso físico un átomo pierde un electrón se dice que el átomo está ionizado y puede ser ionizado tantas veces como tantos electrones tenga ligados a él, de aquí proviene el nombre de radiación ionizante que son las que tienen suficiente energía para ionizar materia como lo son los rayos X, γ , electrones, protones, partículas α , etc.

En el siguiente diagrama podemos analizar las propiedades y valores del átomo de hidrógeno en términos del número cuántico principal n . Podemos ver que la energía de amarre del electrón en el hidrógeno es de 13.6 eV por lo que para ionizarlo debemos impartirle esta energía o más. En elementos más pesados (Z mayor) los electrones de la capa K tienen energías de amarre mayores.

Si el nivel inicial es más bajo que el final, se requiere ceder energía para lograr la transición y se llama excitación electrónica. Inversamente, el paso de un nivel alto a uno más bajo se llama desexcitación, y en este proceso sale energía.

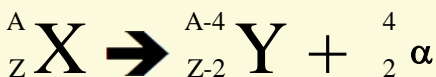
LAS FUENTES RADIATIVAS

Los núcleos son radiactivos cuando pueden transformarse unos en otros o pasar de un estado energético a otro, mediante la emisión de radiaciones. A este proceso se le llama decaimiento radiactivo el cual sucede de manera espontánea en cada núcleo sin que pueda impedirse y va acompañado por la emisión de por lo menos una radiación. Las características más importantes de estas radiaciones son el que puedan penetrar materia y poder depositar su energía en ella, además de que proviene del núcleo, siendo la fuerza nuclear la que proporciona dicha energía.

El decaimiento nuclear sólo sucede cuando hay un exceso de masa-energía en el núcleo por lo que no todos los núcleos son radiactivos es decir son estables y esto es lo que buscan los núcleos radiactivos. Cada núcleo radiactivo tiene diferente tipo de decaimiento y es notable en el tipo de emisión, su energía y la rapidez de decaimiento. A continuación describiremos sólo los decaimientos más importantes.

DECAIMIENTO ALFA (α).

La mayoría de núcleos radiactivos pesados emiten partículas alfa, las cuales son núcleos de Helio (^4He), doblemente ionizados es decir, constan de dos protones y dos neutrones por lo que su carga es $+2e$ y su número de masa es 4. Cuando un núcleo emite una partícula alfa, pierde 2 unidades de carga y 4 de masa, transformándose en otro núcleo:



Podemos darnos cuenta que los números atómicos y de masa deben sumar lo mismo antes y después de la emisión.

Ahora analizaremos el decaimiento α desde el punto de vista de la conservación de la energía y del momento, m es la masa, T es la energía cinética, Q la energía de liberación que proviene de la diferencia de masa antes y después de la transformación del núcleo, P se refiere al núcleo padre, D se refiere al núcleo hija y α a la partícula α .

La energía total antes de la transformación es $m_P c^2$, después de la transformación es $m_D c^2 + T_D + m_\alpha c^2 + T_\alpha$, por conservación de energía:

$$m_P c^2 = m_D c^2 + T_D + m_\alpha c^2 + T_\alpha$$

$$(m_P - m_D - m_\alpha) c^2 = T_D + T_\alpha$$

$$Q_\alpha = (m_P - m_D - m_\alpha) c^2 = T_D + T_\alpha$$

Ahora por conservación de momento tenemos que antes de la transformación $P_p=0$, y después de la transformación $P_\alpha=P_D$. Conocemos la relación entre momento y energía cinética que es $T=P^2/2m$, sustituimos los valores en la ecuación anterior y tenemos:

$$Q_\alpha = T_D + T_\alpha = (P_\alpha^2/2m_\alpha) + (P_D^2/2m_D)$$

Como $P_\alpha=P_D$ podemos factorizar y tomar $P=P_\alpha=P_D$

$$Q_\alpha = (P^2/2m_\alpha)(1+(m_\alpha/m_D)) = T_\alpha(1+(m_\alpha/m_D))$$

Finalmente podemos obtener la energía cinética de la partícula α :

$$T_\alpha = Q_\alpha / (1+(m_\alpha/m_D))$$

DECAIMIENTO BETA (β)

Existen dos tipos de decaimiento beta, el de la partícula negativa y el de la positiva. La partícula **beta negativa** es un electrón igual que los electrones de las capas atómicas con la única diferencia que provienen del núcleo atómico. El núcleo no contiene electrones, por lo que esta emisión se da cuando un neutrón del núcleo se convierte en un protón y un electrón; el protón se queda en el núcleo debido a la fuerza nuclear, y el electrón escapa como partícula beta. El número de masa del núcleo se conserva pero su número atómico aumenta en uno:



Debido a la conservación de leptones en los dos tipos de decaimiento beta se emite también un neutrino, esta partícula no tiene carga ni masa pero se lleva parte de la energía total disponible en el proceso, quedando la partícula beta con sólo una parte de ésta.

A continuación analizamos la energía Q de liberación:

$$Q_{\beta^-} = [M_P - (M_D + m_e)] c^2$$

Cambiamos masas atómicas y nos queda:

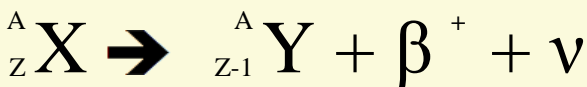
$$= [(M_P - Zm_e) - ((M_D - ((Z+1)m_e)) + m_e)] c^2$$

$$= [M_P - Zm_e - M_D + Zm_e + m_e - m_e] c^2$$

$$Q_{\beta^-} = [M_P - M_D] c^2$$

En el otro tipo de decaimiento beta el núcleo emiten partículas **beta positivas** (positrones), que tienen la misma masa que los electrones pero carga +e.

Estas partículas son las antipartículas de los electrones. Se crean en el núcleo cuando un protón se convierte en un neutrón. El nuevo neutrón permanece en el núcleo, el positrón junto con un neutrino son emitidos. En consecuencia, el núcleo pierde una carga positiva, como se muestra a continuación:



A continuación analizamos la energía Q de liberación:

$$Q_{\beta^+} = [M_P - (M_D + m_e)] c^2$$

Cambiamos masas atómicas y nos queda:

$$= [(M_P - Zm_e) - (M_D - ((Z-1)m_e) + m_e)] c^2$$

$$= [M_P - Zm_e - M_D + Zm_e - m_e - m_e] c^2$$

$$Q_{\beta^+} = [M_P - M_D - 2m_e] c^2$$

DECAIMIENTO GAMMA(γ)

Los rayos gamma son fotones, es decir radiación electromagnética, como la luz visible, la ultravioleta, la infrarroja, los rayos X, las microondas y las ondas de radio. No tienen masa ni carga, y solamente constituyen energía emitida en forma de onda. Cuando un núcleo emite un rayo gamma, no cambia la N del núcleo lo que significa que se conserva el tipo de núcleo pero en un estado de menor energía.

La energía del decaimiento γ esta dado como se muestra:

$$Q_{\gamma} = E_{\gamma} + K_D \quad \text{dado que } P_D = P_{\gamma} \text{ y } P_D = M_D V_D, \quad P_{\gamma} = E_{\gamma}/c$$

$$M_D V_D = E_{\gamma}/c, \quad E_{\gamma} = P_D c$$

$$K_D = M_D V_D^2/2 = E_{\gamma}^2/2M_D C^2$$

$$Q_{\gamma} = E_{\gamma}(1 + (E_{\gamma}/2M_D C^2))$$

LA CAPTURA ELECTRÓNICA

La captura electrónica es posible en ciertos núclidos. El núcleo captura un electrón orbital, y uno de sus protones se transforma en un neutrón, disminuyendo su número atómico. Generalmente el electrón atrapado por el núcleo proviene de la capa K, dejando una vacancia. Para llenar esta vacancia, cae un electrón de una capa exterior, emitiendo de manera simultánea un fotón de rayos X. El proceso total se identifica por los rayos X emitidos al final, que son característicos del nuevo átomo, se muestra:

