

FÍSICA NUCLEAR

CONCEPTOS

Nucleones: Son las partículas que forman el núcleo atómico (neutrones y protones).

El número másico (A): Número de nucleones.

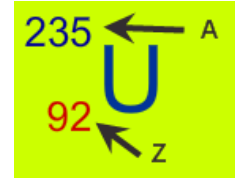
El número atómico (Z): Número de protones de un átomo.

Nucléidos o núclidos: Núcleos.

Isótopos: Átomos con igual número atómico (Z) pero distinto número másico (A).

Isótonos: Átomos con igual número de neutrones pero distinto número de protones.

Isóbaros: Tienen igual A pero distinto Z.



ENERGÍA DE ENLACE

Al medir con precisión la masa del núcleo de un átomo el valor que se obtiene es menor que la suma de los nucleones que lo forman.

Esa diferencia se denomina **defecto de masa**. Si suponemos que toda la masa de una partícula puede transformarse en energía ese defecto de masa tendrá un valor en energía igual a $E = \Delta m \cdot c^2$, que coincide con la energía con la que se unen las partículas del núcleo.

Por tanto, también podemos definirla como la energía liberada cuando se unen un conjunto de nucleones para formar un núcleo. Se trata de la **energía de enlace**. Esta energía de enlace es muy fuerte y da lugar al **campo nuclear fuerte** y explica porqué los nucleones, a pesar de la repulsión coulombiana que se produce entre los protones, forman un núcleo estable. Esa energía puede liberarse en las reacciones nucleares.

$$E = \Delta m \cdot c^2 = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - M_{\text{real}}) \cdot c^2$$

Energía de enlace

Las masas del protón, neutrón y electrón son:

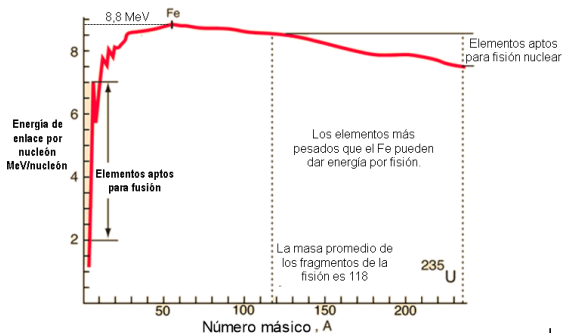
$$m_p = 1,007277 \text{ u}; m_n = 1,008665 \text{ u}; m_e = 0,000549 \text{ u}$$

Como la energía que equivale a una una es 931,48 MeV se tiene que:

$$E = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - M) \cdot 931,48 \text{ MeV}$$

La **energía de enlace por nucleón E/A** es lo que me sirve para comparar la estabilidad de dos núcleos:

$$\frac{E}{A} = \frac{(Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - M_{\text{real}}) \cdot 931}{A}$$



En la anterior figura se muestra la energía de enlace por nucleón en función del número másico.

Si se unen dos núcleos para formar otro más pesado se liberará energía, ya que éste está más ligado (FUSIÓN). Y si se rompe un núcleo pesado en dos más ligeros (FISIÓN), también se liberará energía, ya que estos están más ligados que aquel.

Ejemplo: Considere los núclidos ${}^3_1\text{H}$ y ${}^4_2\text{He}$. Calcule cuál de ellos es más estable y justifique la respuesta. $1\text{u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $m({}^3_1\text{H}) = 3,016049 \text{ u}$; $m({}^4_2\text{He}) = 4,002603 \text{ u}$; $m_n = 1,008665 \text{ u}$; $m_p = 1,007276 \text{ u}$

Solución: Calcularemos la energía de enlace por nucleón y compararemos:

Para el hidrógeno, ${}^3_1\text{H}$

$$\frac{E}{A} = \frac{(1 \cdot 1,007276 + (3 - 1) \cdot 1,008665 - 3,016049) \cdot 931}{3}$$

$$\frac{E}{A} = 2,655 \text{ MeV/nucleón}$$

Para el helio, ${}^4_2\text{He}$

$$\frac{E}{A} = \frac{(2 \cdot 1,007276 + (4 - 2) \cdot 1,008665 - 4,002603) \cdot 931}{4}$$

$$\frac{E}{A} = 6,815 \text{ MeV/nucleón}$$

Por lo tanto será más estable el núcleo de helio.

FÍSICA NUCLEAR

RADIATIVIDAD

Se define como el proceso mediante el cual un núcleo emite alguna partícula para pasar a un estado menos energético y por tanto más estable.

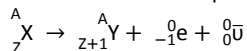
LEYES SODDY-FAJANS DE LA RADIATIVIDAD

Radiación alfa: Poco energética (un papel la detiene)

Se trata de la emisión de núcleos de ${}^4_2\text{He}$. ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$

Radiación β^- : Más energética (atraviesa papel).

Se trata de la emisión de un electrón. Un neutrón se convierte en un protón y un electrón con la emisión de un neutrino.



Radiación gamma, γ : La más energética (acero y hormigón para detener)

Es la energía emitida cuando un núcleo pasa a su estado fundamental ${}^8_4\text{Be}^* \rightarrow {}^8_4\text{Be} + \gamma$

LEY DE LA DESINTEGRACIÓN RADIATIVA

No es posible predecir cuándo un núcleo se va a desintegrar. Las leyes que lo rigen son de naturaleza estadística. No influyen factores como pueden ser de presión, temperatura, composición química, etc.

$$\begin{aligned} N &= N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \\ m &= m_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \\ n &= n_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \end{aligned}$$

Ley de la desintegración radiactiva

N= partículas, núclidos; m= masa; n= moles

$$\text{moles} = \frac{\text{masa}}{\text{masa atómica}} \quad \text{núcleos} = \text{moles} \times 6,022 \cdot 10^{23}$$

Ejemplo: Determine la cantidad de ${}^3_1\text{H}$ que quedará, tras una desintegración beta, de una muestra inicial de 0,1 g al cabo de 3 años sabiendo que el periodo de semidesintegración del ${}^3_1\text{H}$ es 12,3 años, así como la actividad de la muestra al cabo de 3 años. $m({}^3_1\text{H}) = 3,016049 \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Solución: ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^0_{-1}\beta$

$$m = 0,1 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{12,3} \cdot 3} = 0,0844 \text{ g}$$

$$A = \lambda \cdot N$$

$$A = \frac{\ln 2}{12,3 \text{ año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 0,0844 \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ u}}{1,63 \cdot 10^{-24} \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ núcleo}}{3,016049 \text{ u}}$$

$$A = 3,07 \cdot 10^{13} \text{ Bq}$$

Ejemplo: Uno de los isótopos que se suele utilizar en radioterapia es el ${}^{60}\text{Co}$. La actividad de una muestra se reduce a la milésima parte en 52,34 años. Si tenemos $2 \cdot 10^{15}$ núcleos inicialmente, determine la actividad de la muestra al cabo de dos años.

$$\begin{aligned} A_0 &= \lambda \cdot N_0 \\ A_0/1000 &= \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot 52,34} \end{aligned}$$

$$\text{Dividiendo} \rightarrow 1000 = e^{\lambda \cdot 52,34}$$

$$\text{Tomamos logaritmos} \rightarrow \ln 1000 = \lambda \cdot 52,34$$

$$\text{Despejamos } \lambda \rightarrow \lambda = 0,132 \text{ años}^{-1}$$

$$\text{La actividad será} \rightarrow A = \lambda \cdot N = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$A = 0,132 \text{ año}^{-1} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 2 \cdot 10^{15} \text{ núcleos} \cdot e^{-0,132 \cdot 2}$$

$$A = 6,4 \cdot 10^6 \text{ Bq}$$

Período de semidesintegración: Es el tiempo en reducirse "N₀", a la mitad. $N_0/2 = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

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

Vida media: Tiempo promedio que permanece un núcleo hasta desintegrarse. $\tau = 1/\lambda$

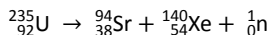
ACTIVIDAD

Es la velocidad con la que se desintegra una muestra radiactiva. Se mide en desintegraciones (núclidos desintegrados) por segundo (Becquerel=Bq)

$$A = \lambda \cdot N = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

ENERGÍA EN LAS REACCIONES NUCLEARES

Sea la reacción



Balance de energía:

$$\Delta E = (\text{masa núcleos iniciales} - \text{masa núcleos finales}) \cdot 931$$

$$\Delta E = (234,9943 - 93,9754 - 139,9196 - 1,0086) \cdot 931,48 = 84,48 \text{ MeV}$$

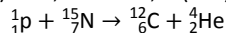
Esta sería la energía liberada por un solo núcleo (átomo) de uranio.

Recuerda: Potencia, $P = \frac{\text{Energía}}{\text{Tiempo}}$ Recuerda: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Su unidad es el vatio, W (equivale a Julio/s)

Ejemplo: Un protón se fusiona con ${}^{15}_7\text{N}$ para dar ${}^{12}_6\text{C}$ y un núcleo de helio. Escriba la reacción nuclear y determine la energía necesaria para formar 1 kg de ${}^{12}\text{C}$.

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $u = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $m({}^1_1\text{H}) = 1,007825 \text{ u}$; $m({}^{15}_7\text{N}) = 15,000109 \text{ u}$; $m({}^{12}_6\text{C}) = 12,000000 \text{ u}$; $m({}^4_2\text{He}) = 4,002603 \text{ u}$

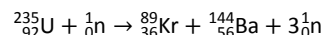


$$\Delta E = (1,007825 + 15,000109 - 12,000 - 4,002603) \cdot 931 = 4,96 \text{ MeV}$$

$$E = \frac{4,96 \text{ MeV}}{12 \text{ u}} \cdot \frac{1 \text{ u}}{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 2,48 \cdot 10^{26} \text{ MeV}$$

Ejemplo: Cuando se bombardea un núcleo de ${}^{235}_{92}\text{U}$ con un neutrón se produce ${}^{89}_{36}\text{Kr}$ y ${}^{144}_{56}\text{Ba}$, y liberando 200 MeV de energía. Escriba la reacción de fisión correspondiente y calcule la masa de ${}^{235}\text{U}$ que consume en un día una central nuclear de 700 MW de potencia.

$$m({}^{235}\text{U}) = 235,0439 \text{ u}; 1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}; e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$



$$m = \frac{1 \text{ núcleo}}{200 \cdot 10^6 \text{ eV}} \cdot \frac{235,0439 \text{ u}}{1 \text{ núcleo}} \cdot \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{1 \text{ u}} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \cdot \frac{700 \cdot 10^6 \text{ J}}{1 \text{ s}} \cdot 24 \text{ h} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$m = 0,742 \text{ kg}$$

FÍSICA NUCLEAR

FUERZAS FUNDAMENTALES DE LA NATURALEZA				
	GRAVITATORIA	ELECTROMAGNÉTICA	FUERTE	DÉBIL
Partículas sobre las que actúa	Todas	Con carga eléctrica	Protones y neutrones	Protones, neutrones, electrones, neutrinos
Carácter	Atractivo	Atractivo-Repulsivo	Atractivo	Atractivo
Intensidad relativa	1	10^{38}	10^{40}	10^{25}
Alcance	Infinito	Infinito	10^{-15} m	10^{-17} m
Región de predominio	Universo	Átomo-escala humana	Núcleo	Nucleones