

Capítulo 2

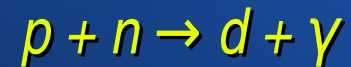
Energía de Ligadura
Modelos Nucleares

Continuación

M.C. Edgar Salazar S.

ENERGÍA DE LIGADURA

Cuando se forma Deuterio se emite un rayo gamma de 2.23 Mev y el Deuterio es rechazado con una energía de 1.3 Kev



En términos de átomos neutros:



La masa del Deuterio en energía es aproximadamente 2.23 Mev menos que la suma del neutrón y el protón, lo cual cumple con la conservación de la energía.

Esta diferencia es llamada el defecto másico del Deuterio.

ENERGÍA DE LIGADURA

En forma similar, la masa de todos los núcleos es mas pequeña que la suma de los protones y neutrones que lo forman.

$$\Delta = ZM_p + NM_n - M_A$$

Donde M_A es la masa del núcleo:

$$\Delta = Z(M_p + m_e) + NM_n - (M_A + Zm_e)$$

Donde m_e es la masa del electrón. Como $M_p + M_e = {}^1\text{H}$

$$\Delta = ZM({}^1\text{H}) + NM_n - M$$

Donde M es la masa del átomo neutro.

ENERGÍA DE LIGADURA

Cuando Δ es expresada en unidades de energía:

$$\Delta = \text{Energía romper núcleo en sus nucleones}$$

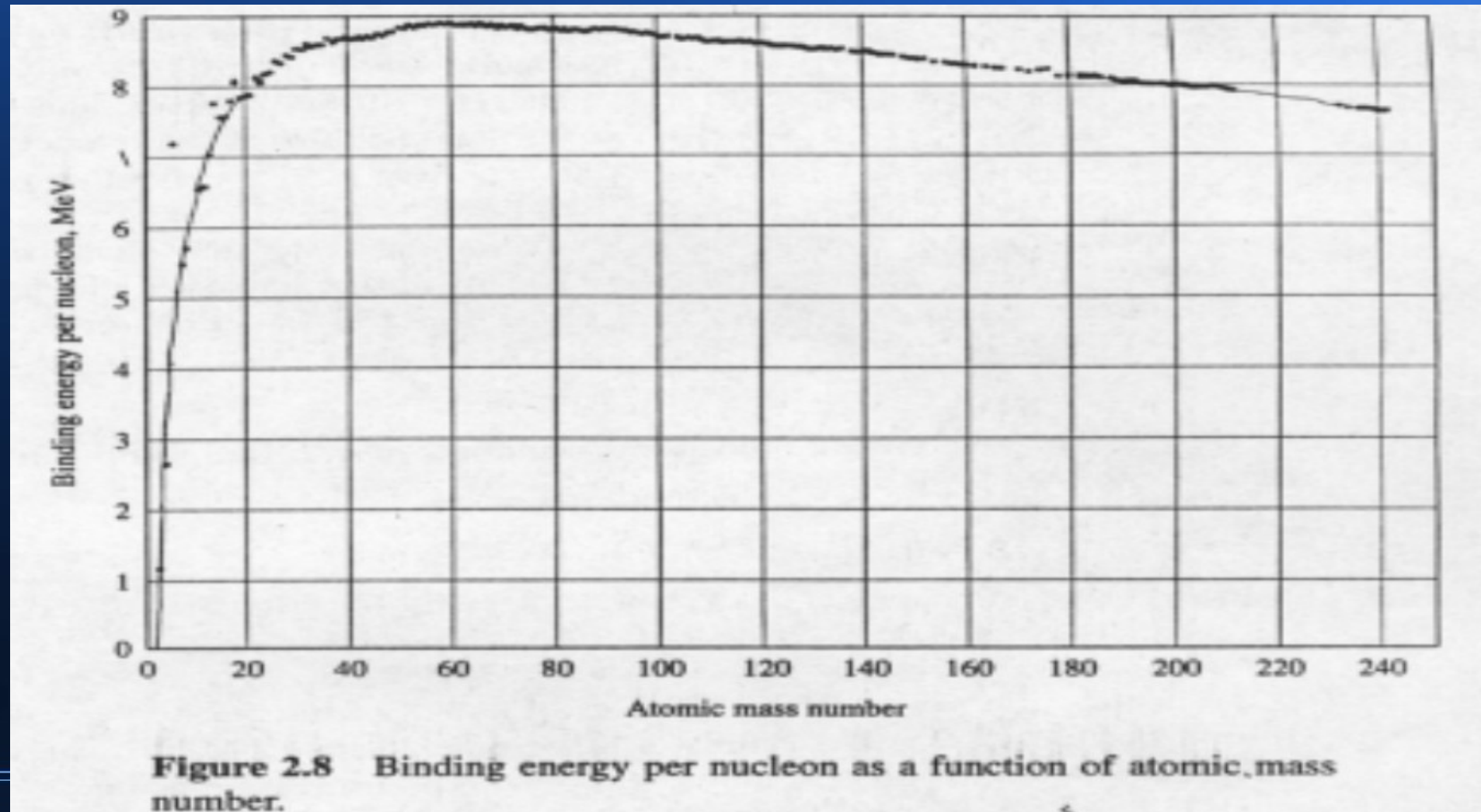
Esta energía es llamada, Energía de Ligadura.

Cuando un núcleo es producido de A nucleones, Δ es igual a la energía liberada en el proceso.

En el Deuterio, la energía de ligadura es $\Delta = 2.23 \text{ MeV}$, que es la energía liberada cuando se forma el Deuterio.

ENERGÍA DE LIGADURA

La energía de ligadura se incrementa en función de su número másico A , pero no se incrementa constantemente.



ENERGÍA DE LIGADURA

El valor de Q puede ser expresado en términos de energía de ligadura.

$$BE(a) = Z_a M(^1H) + N_a M_n - M_a$$

La masa también puede ser expresada como:

$$M_a = Z_a M(^1H) + N_a M_n - BE(a)$$

$$M_b = Z_b M(^1H) + N_b M_n - BE(b)$$

Sustituyendo las ec. de M_a y M_b en la ecuación

$Q = [(M_a + M_b) - (M_c + M_d)] c^2$ y tomando en cuenta que:

$$Z_a + Z_b = Z_c + Z_d$$

$$N_a + N_b = N_c + N_d$$

ENERGÍA DE LIGADURA

Resultando en:

$$Q = [BE(c) + BE(d)] - [BE(a) + BE(b)]$$

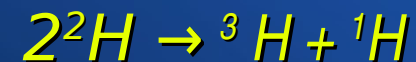
Q es positivo (Reacción exotérmica) cuando la energía de ligadura total de los núcleos producidos es mayor que la energía de ligadura de los núcleos iniciales.

Dicho de otra forma: Cuando es posible producir una configuración mas estable al combinar dos nucleos menos estables, se liberará energía en el proceso.

Estas reacciones son posibles con muchos pares de núcleos.

ENERGÍA DE LIGADURA

Por ejemplo: Cuando dos Deuterios (2.23 MeV de ligadura) interactúan para formar Tritio, se obtiene una energía total de ligadura de 8.48 MeV acorde a:



Hay una ganancia neta en la energía de ligadura del sistema de $8.48 - 2 \times 2.23 = 4.02$ MeV. En este caso la energía aparece como una energía cinética del producto del ^3H e ^1H . Comprobar lo anterior.

Cuando se produce un núcleo pesado más estable a partir de dos núcleos de átomos ligeros menos estables se conoce como fusión nuclear.

ENERGÍA DE LIGADURA

En la gráfica 2.8 podemos observar que configuraciones mas estables se forman cuando partimos núcleos pesados en dos partes. Por ejemplo: El ^{238}U tiene una energía de ligadura de 7.5 MeV, sin embargo un núcleo de $A = 119$ ($238/2$) tiene una energía de ligadura de 8.4 MeV.

Si dividimos núcleos de uranio en dos núcleos mas ligeros, cada uno con la mitad de la masa del uranio, tendremos una ganancia aprox. de 0.9 MeV por nucleón, liberando una energía de $238 \times 0.9 = 214$ MeV

A este proceso se le conoce como fisión nuclear.

ENERGÍA DE LIGADURA

Ejercicio:

- a) Calcule la energía en retroceso del núcleo residual, seguido de una emisión de una partícula α de 4.782 MeV por el ^{226}Ra .
- b) Cuál es la energía total de desintegración para este proceso de decaimiento.

ENERGÍA DE LIGADURA

Ejercicio: Calcule la energía en retroceso del núcleo residual, seguido de una emisión de una partícula α de 4.782 MeV por el ^{226}Ra .



$$\text{BE}(\text{Ra}) = 88(1.00782) + 138(1.00866) - (226.02540)$$

$$\text{BE}(\text{Rn}) = 86(1.00782) + 136(1.00866) - (222.01757)$$

$$\text{BE}(\text{He}) = 2(1.00782) + 2(1.00866) - (4.00260)$$

$$\text{BE}(\text{Ra}) = 1.72965 \text{ MeV}, \text{BE}(\text{Rn}) = 1.70625 \text{ MeV}, \text{BE}(\text{He}) = 28.26516 \text{ MeV}$$

$$\text{BE}(\text{Rn}) + \text{BE}(\text{He}) - \text{BE}(\text{Ra}) = 28.24176 \text{ MeV}$$

a) Energía en retroceso del Rn = 23.45976 MeV

b) Energía de ligadura = 28.24176 MeV

ENERGÍA DE LIGADURA

Se debe tomar en cuenta que la energía por nucleón obtenida es un promedio de la energía de ligadura de todos los nucleones. Ocasionalmente es necesario conocer la energía de ligadura de un nucleón particular en el núcleo, es decir, la energía necesaria para extraer el nucleón del núcleo. Esta energía de enlace es también llamada energía de separación y es totalmente análogo a la energía de ionización de un electrón en un átomo. La energía de separación para un neutrón (conocido como el último neutrón) está dada por:

$$Es = [M_n + M(^{A-1}Z) - M(^AZ)] 931 \text{ MeV/uma}$$

ENERGÍA DE LIGADURA

$$E_s = [M_n + M(^{A-1}Z) - M(^AZ)] 931 \text{ MeV/uma}$$

La energía de separación E_s es solo la suficiente para remover el último neutrón del núcleo sin proveerle energía cinética alguna. Si el proceso fuera al revés, y un neutrón sin energía cinética es absorbido por el núcleo, la energía E_s es liberada.

Ejemplo: Calcule la energía de ligadura del último neutrón en el ^{13}C .

ENERGÍA DE LIGADURA

$$E_s = [M_n + M(^{A-1}Z) - M(^AZ)] 931 \text{ MeV/uma}$$

Ejemplo: Calcule la energía de ligadura del último neutrón en el ^{13}C .

Utilizando la ecuación anterior:

$$M(^{12}\text{C}) = 12.000000$$

$$M_n = 1.00866$$

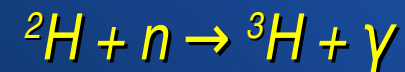
$$M_n + M(^{12}\text{C}) = 13.00866$$

$$-M(^{13}\text{C}) = 13.00335$$

$$E_s = 0.00531 \text{ uma} \times 931 \text{ MeV} = 4.95 \text{ MeV}$$

ENERGÍA DE LIGADURA

Ejercicio: El Tritio (^3H) puede producirse a través de la absorción de neutrones de baja energía por el Deuterio (^2H), la reacción es:



Donde los rayos gamma tienen una energía de 6.250 MeV.

- a) Muestre que la energía en retroceso del núcleo de ^3H es aprox. 7 KeV.
- b) Cuál es el valor Q de la reacción?
- c) Calcule la energía de separación del último neutron del Tritio.
- d) Utilizando la energía de ligadura del ^2H como 2.23 MeV y el resultado del inciso c), calcule la energía de ligadura total del ^3H .

ENERGÍA DE LIGADURA

Debemos notar que los núcleos que contienen 2, 6, 8, 14, 20, 28, 50, 82 ó 126 neutrones o protones son especialmente estables.

Estos núcleos se dice que son mágicos y el número de nucleones asociados se dicen que son números mágicos. Estos números corresponden a los neutrones o protones que son requeridos para llenar las capas (orbitas) o sub-capas de nucleones en el núcleo de la misma manera que los electrones llenan las capas u orbitas del átomo.

La existencia de los números mágicos tienen consecuencias prácticas en ingeniería nuclear. Por ejemplo, núcleos con números mágicos de neutrones, pueden absorber muy pocos neutrones y pueden ser utilizados como materiales transparentes a los neutrones, el Zirconium, cuyo isotopo mas abundante tiene 50 neutrones, es ampliamente utilizado como material de estructura en los reactores por esta razón.

MODELOS NUCLEARES

Dos modelos de el núcleo son útiles para explicar varios de los fenómenos vistos en física nuclear, sin embargo, no pueden explicar completamente el comportamiento observado del núcleo.

El modelo de Capas (Orbitas)

El modelo de la gota líquida

MODELOS NUCLEARES

El modelo de Capas

El modelo de capas puede verse como la analogía de los electrones del átomo en el núcleo. En este modelo la interacción de los nucleones en el núcleo generan huecos, podemos pensar que un simple nucleón se mueve en el hueco generado por el efecto de los otros nucleones.

Como en el átomo, hay un máximo de nucleones que pueden ocupar los huecos, cuando este número se alcanza, una capa u orbita se cierra. Los nucleos pueden ser extremadamente estables cuando se cierran las capas tanto de neutrones como de protones. Dándose el fenómeno de los números mágicos.

MODELOS NUCLEARES

El modelo de la gota líquida

La energía de ligadura es el defecto másico expresado en unidades de energía.

El modelo de la gota líquida del núcleo busca explicar el defecto másico en términos del balance entre las fuerzas de ligadura de los nucleones en el núcleo y la repulsión coulombiana entre los protones.

El núcleo puede ser tratado como una gota de líquido nuclear.

