

(resumen)

6

FÍSICA NUCLEAR

6.1 RADIATIVIDAD α y β : LEY EXPONENCIAL

• Sustancia radiactiva: emite "radiación α " (o "radiación β "), y sus átomos van desapareciendo (se "desintegran"):



«LEY EXPONENCIAL de DESINTEGRACIÓN RADIATIVA»:

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

N_0 : nº de núcleos iniciales (en $t=0$)
 N : nº de núcleos actuales (en $t \geq 0$)

λ : constante radiactiva (o "de desintegración") [S.I.: s^{-1}]

$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$: periodo de semidesintegración [S.I.: s] (2)

→ dependen de la sustancia estudiada.

→ tiempo en que $N_0 \rightarrow \frac{N_0}{2}$.

$A(t) = \lambda N(t)$: actividad de la muestra en el instante t . [S.I.: Bq] (3)

1 Bq ("becquerel") = 1 desint./s

$\tau = \frac{1}{\lambda}$: vida media de un núcleo. (4)

NOTA: a partir de la ley [1], se puede demostrar fácilmente que la misma exponencial $e^{-\lambda t}$ sirve también para estudiar como se van reduciendo, respectivamente, la masa, el número de moles y la actividad:

$m(t) = m_0 e^{-\lambda t}$; $n(t) = n_0 e^{-\lambda t}$; $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$ (5)

6.2 MOLES y NÚMERO de AVOGADRO $(N_A = 6,022 \cdot 10^{23})$

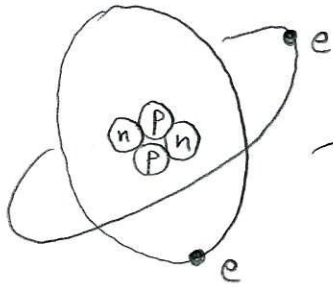
• 1 mol (de átomos, núcleos o moléculas) = N_A átomos (ó nucl., molec.)

• masa de un átomo de H: $m(H) = \frac{1}{N_A}$ gramos

• unidad de masa atómica: $1 \text{ u} = \frac{1}{N_A}$ gramos (es la masa de un átomo de H).

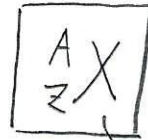
6.3 ÁTOMOS y NÚCLEOS: los elementos químicos están formados por átomos, y cada átomo está formado por:

{ NÚCLEO: protones (p) y neutrones (n), juntos.
 { CORTEZA: electrones (e), que dan vueltas.



Átomo de He

notación para núcleos:



simbolos químicos del elemento.

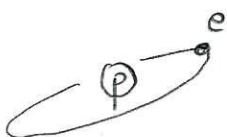
{ Z protones ("n.º atómico")
 { N neutrones
 { A = Z + N nucleones (n.º másico)

ejemplo: $\begin{matrix} 4 & \text{He} \\ 2 & \end{matrix}$
 ("Helio-4")

• características de los constituyentes del átomo:

- e \rightsquigarrow carga negativa, ligero
- p \rightsquigarrow carga positiva, pesado
- n \rightsquigarrow sin carga, pesado

• isótopos: todos los núcleos de los átomos de un mismo elemento tienen igual Z (mismo n.º de p), pero no necesariamente igual N \Rightarrow no igual A = Z + N. Dado un elemento químico, al conjunto de átomos con igual N (\neq igual A) se dice que es un isótopo de ese elemento (es como una variedad).



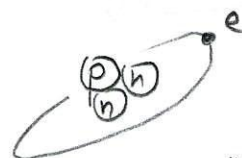
H-1

• núcleo: $\begin{matrix} 1 & \text{H} \\ 1 & \end{matrix}$



H-2, o "deuterio"

• núcleo: $\begin{matrix} 2 & \text{H} \\ 1 & \end{matrix}$









H-3, o "tritio"


• núcleo: $\begin{matrix} 3 & \text{H} \\ 1 & \end{matrix}$

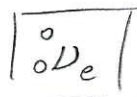
Los 3 isótopos MAS COMUNES del HIDRÓGENO.

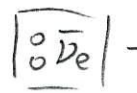
6.4 CATÁLOGO de ALGUNAS PARTICULAS que aparecen en REACCIONES NUC.

- partículas α : ${}^4_2\text{He}$  (núcleos de helio-4)
 - protones p: ${}^1_1\text{H}$  (núcleos de hidrógeno-1)
 - deuterones d: ${}^2_1\text{H}$  (núcleos de deuterio, o hidrógeno-2)
 - neutrones n: ${}^1_0\text{n}$  (no pueden nunca ser núcleos)
 - partículas β^- : ${}^0_{-1}\text{e}$  (" " " " " ")
 - partículas β^+ : ${}^0_1\text{e}$  (" " " " " ")
- ↑ también llamados "positrones".

• ADEMÁS de estos seis partículas, a veces aparecen otras tres, que no son tan importantes porque no entran en los balances de A_T y Z_T para ajustar reacciones ni en los balances de masa para calcular energías liberadas, pero conviene conocerlas:

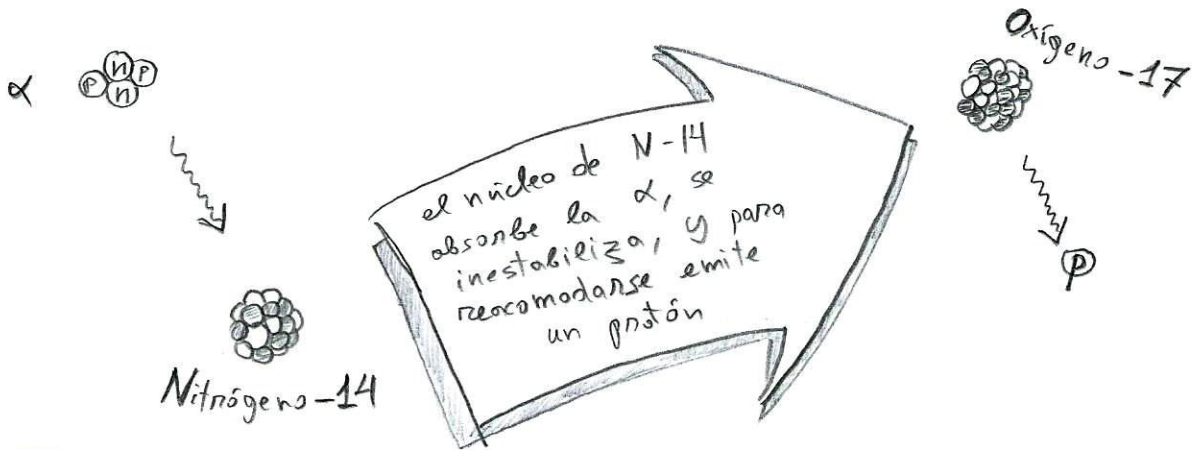
 → fotón: partículas que forman la luz. No tienen masa, pero sí tienen energía, frecuencia, velocidad y cantidad de movimiento.
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ $p = \frac{E}{c}$ $E = h \cdot f$ (7)
 constante de Planck:

 → neutrino electrónico: solo en las emisiones β^+ . Su masa se desconoce, pero es nula o muy, muy pequeña. No tiene carga.

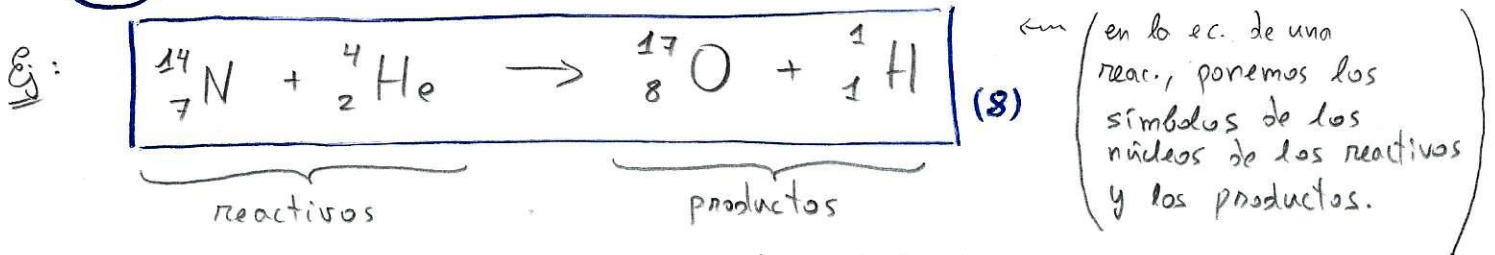
 → antineutrino electrónico: solo en las emisiones β^- .
 Misma carga y masa que el $\bar{\nu}_e$.

6.5 REACCIONES NUCLEARES: procesos en los cuales un conjunto de núcleos y partículas iniciales ("reactivos") se transforman en otros ("productos"), conservándose siempre el Z_{TOT} y el A_{TOT} :

EJEMPLO - "Bombardeo de núcleos de nitrógeno con partículas α "



6.6 ECUACIONES de REACCIÓN. LEYES de CONSERVACIÓN



• $A_{TOT} = \left\{ \begin{array}{l} \text{suma de los} \\ A \text{ de los react} \end{array} \right\} = 14 + 4 = 18$

• $A'_{TOT} = \left\{ \begin{array}{l} \text{suma de los} \\ A \text{ de los prod} \end{array} \right\} = 17 + 1 = 18$

• $Z_{TOT} = \left\{ \begin{array}{l} \text{suma de los} \\ Z \text{ de los react} \end{array} \right\} = 7 + 2 = 9$

• $Z'_{TOT} = \left\{ \begin{array}{l} \text{suma de los} \\ Z \text{ de los prod} \end{array} \right\} = 8 + 1 = 9$

• $m_{TOT} = \left\{ \begin{array}{l} \text{suma de los} \\ \text{masas de los react} \end{array} \right\} = m({}^{14}\text{N}) + m({}^4\text{He})$

• $m'_{TOT} = \left\{ \begin{array}{l} \text{suma de los masas} \\ \text{de los productos} \end{array} \right\} = m({}^{17}\text{O}) + m({}^1\text{H})$

LEYES de CONSERVACIÓN: $A_{TOT} = A'_{TOT} \quad (9)$ ("etiquetas superiores") $Z_{TOT} = Z'_{TOT} \quad (10)$ ("etiquetas inferiores")

ENERGÍA LIBERADA: la m_{TOT} no se conserva. La que se pierde, o "defecto de masa": $m_{TOT} - m'_{TOT} = -\Delta m_{TOT}$, se convierte en la energía liberada (o calor de reacción, Q):

$$E_{lib} = -\Delta m_{TOT} \cdot c^2 \quad (11)$$
 ← $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ (velocidad de la luz en el vacío)

[dj; 16-IV-15]

FÍSICA (2º BACH)

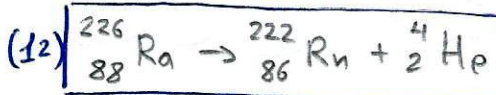
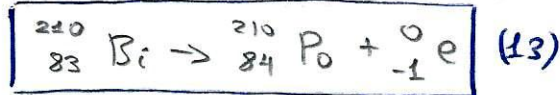
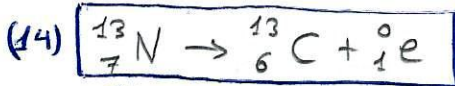
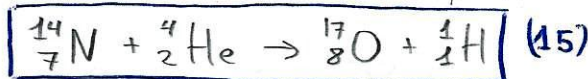
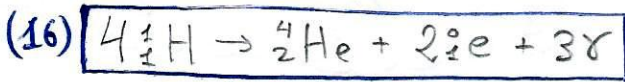
 ${}^4_2\text{He}$ 4/12/2015
3/4

(resumen)

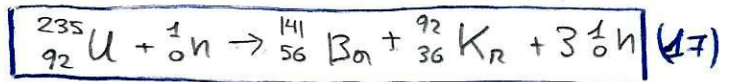
FÍSICA NUCLEAR

6.7 ALGUNAS REACCIONES IMPORTANTES

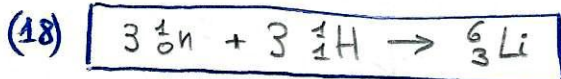
6.7.1. - EJEMPLOS de REACCIONES

«DESINTEGRACIÓN α »«DESINTEGRACIÓN β^- »«DESINTEGRACIÓN β^+ »«BOMBARDEO con partículas α »

«FUSIÓN»



«FISIÓN»



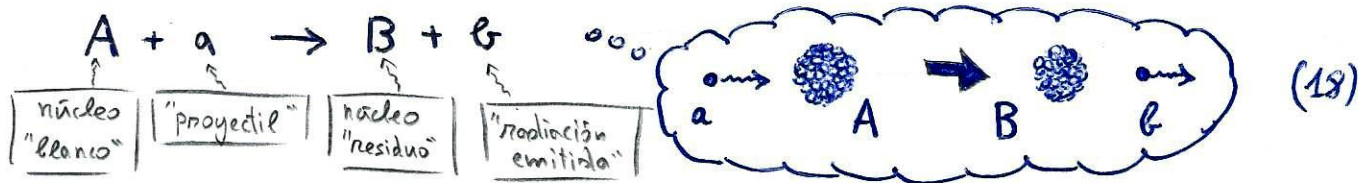
«REACCIÓN de SÍNTESIS»

► En los apartados siguientes, vamos a detallar algunos aspectos sobre estos siete tipos de procesos nucleares. De manera genérica, nos referiremos con

- letras mayúsculas: A, B, C, X, Y... \rightarrow a los núcleos

- letras minúsculas: a, b, c... \rightarrow otras partículas más ligeras que, a menudo, no podrán considerarse estrictamente núcleos.

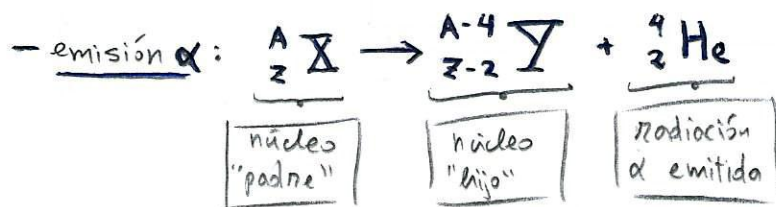
6.7.2. - REACCIONES NUCLEARES de BOMBARDEO. PROCESOS EXO/ENDOTÉRMICOS.



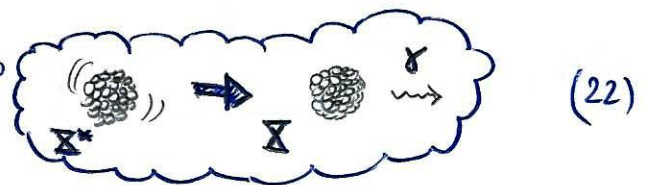
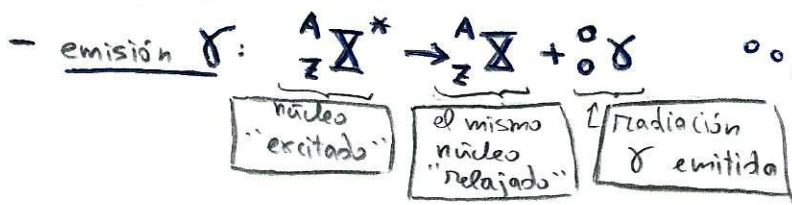
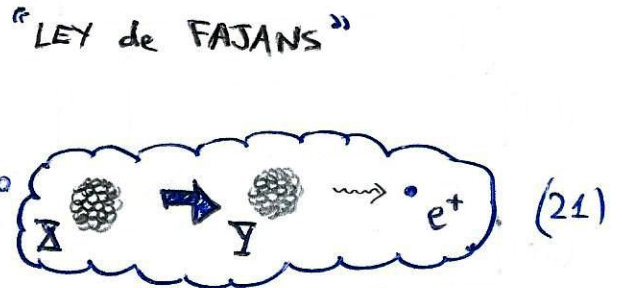
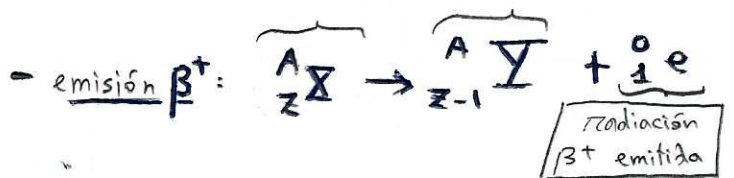
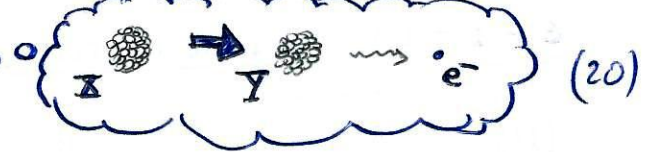
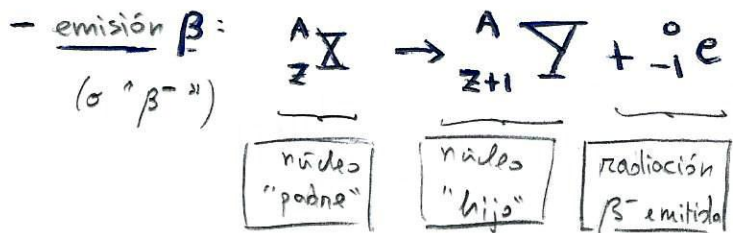
- Si la energía liberada o "calor de reacción", $Q = (m_A + m_a - m_B - m_b) \cdot c^2$, es positiva, quiere decir que la masa de los productos es menor, y la masa perdida se ha transformado en energía cinética y/o energía de fotones emitidos. Diremos, entonces, que el proceso es EXOTÉRMICO.
- Si, contrariamente, $Q < 0$, entonces se ha ganado masa. Eso significa que ha habido que suministrar una energía $|Q|$ que se ha consumido —convirtiéndose en la masa "extra" de los productos—, y decimos que el proceso es ENDOTÉRMICO.

(Podemos visualizarlo pensando que, en un proceso endotérmico, la suma de las energías cinéticas de los reactivos y la energía de los fotones absorbidos es menor que la de los productos y los fotones emitidos: la diferencia, se ha convertido en masa).

6.7.3.- RADIATIVIDAD NATURAL.



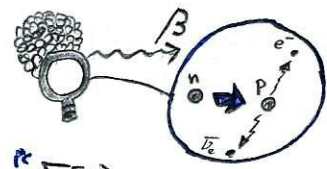
"LEY de SODDY"



► Los cuatro procesos α , β^\pm y γ se presentan en la naturaleza, y consisten en transformaciones nucleares en busca de reacomodo energético (mayor estabilidad), lo cual se lleva a cabo emitiendo partículas alfa, beta o fotones de gran energía. Los tres tipos de proceso se llaman "emisiones"; el fenómeno en general recibe el nombre de "radiactividad", y las partículas energéticas emitidas se llaman "radiación" (α , β o γ , en cada caso).

► En los procesos α y β^\pm , por cada reacción nuclear desaparece un núcleo "padre" y aparece uno "hijo". Por eso estos procesos se llaman también "desintegraciones" (α o β). Cada sustancia radiactiva α o β tiene una constante radiactiva λ , que nos mide el ritmo al que una muestra inicial de núcleos se va desintegrando (con la ley $N = N_0 e^{-\lambda t}$).

► En los procesos γ , en cambio, un núcleo con un exceso de energía interna (sus nucleones se encuentran en estados de alta energía, no fundamentales) se "relaja" o "desexcita" emitiendo un fotón. Como el tipo de núcleo en sí no cambia, no se trata propiamente de una desintegración. La $m(\gamma)$ es menor que la $m(\gamma^*)$: la diferencia es la energía que se pierde al emitir el fotón. Además, las radiaciones γ no tienen lugar por separado, sino normalmente asociadas a otras desintegraciones, tras las cuales uno de los núcleos queda excitado, y debe emitir γ para relajarse.



(resumen)

"FÍSICA NUCLEAR"

► Se llama capacidad de penetración de una radiación a cuan lejos llega esta radiación a través de un obstáculo (como por ejemplo una pared de hormigón). Por ejemplo, la radiación α es muy poco penetrante porque se puede atenuar muy eficazmente con una simple hoja de papel; la radiación γ , por ejemplo, ni siquiera con un blindaje de plomo de varios centímetros se atenúa satisfactoriamente. La peligrosidad de la radiación, en cambio (es decir: su poder destructivo al atravesar materiales, lo cual se llama técnicamente su poder ionizante), va al REVER: α es la más "ionizante" y γ la menos:

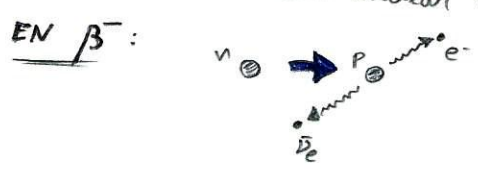
	PODER IONIZANTE	CAPACIDAD de PENETRACIÓN
α	MAYOR	MENOR
β	↑	↓
γ		

(23)

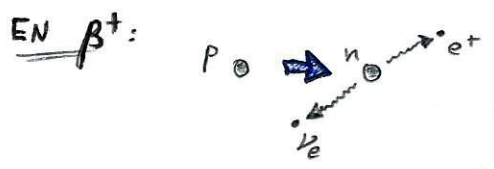
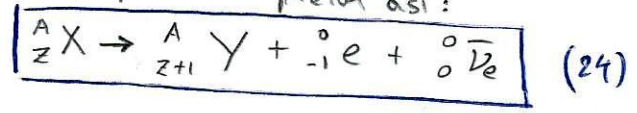
► Artificialmente, también se producen (por bombardeo) procesos radiactivos, es decir: de emisión de partículas ligeras muy energéticas o fotones (es decir: "emisión de radiaciones") como consecuencia de transformaciones en el núcleo. En estos procesos de radiactividad artificial se pueden emitir, como en los naturales, radiaciones α , β o γ , pero también otros tipos de radiación no naturales — es el caso de la reacc [15]—.

6.7.4.- DESINTEGRACIONES β Y EMISIÓN DE NEUTRINOS

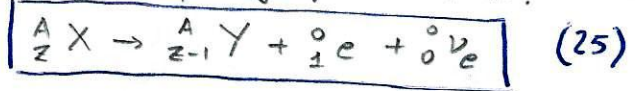
► Si miramos la ecuación de una reacción β^- , como la [13], podemos darnos cuenta de que parece que un neutrón del núcleo de Bismuto se haya convertido en protón. (En β^+ es al revés, p pasa a n). Efectivamente, eso es lo que sucede dentro del núcleo: una reacción entre partículas llamada "interacción nuclear débil":



$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$, por eso la ecuación de reacción [20] queda completada así:



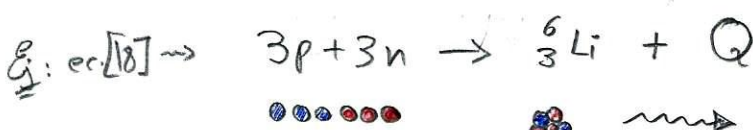
$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$, y por lo tanto:



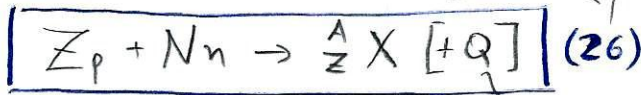
► En la práctica casi nunca incluimos los neutrinos/antineutrinos en las ecuaciones porque sus A y Z son cero — así que no ayudan a ajustar reacciones — y su masa es cero o casi — así que no sirven para calcular Q—.

6.7.5.- NUCLEOSÍNTESIS: ENERGÍA de ENLACE y ESTABILIDAD NUCLEAR.

▶ Los núcleos son estables porque en la reacción en que se formaron - hace muchos años en una explosión de supernova - se liberó una gran cantidad de energía, que es la que hoy que suministran para hacer el proceso inverso, esto es: romper el núcleo:



ESQUEMA GENERAL:



podemos imaginar que la energía que se libera, $Q = [3m_p + 3m_n - m({}^6\text{Li})] \cdot c^2$, se emite en forma de fotones, por ejemplo.

En general, $Q = -\Delta m \cdot c^2 = (*)$

$$(*) = \left(\begin{matrix} \text{masa de todos} \\ \text{los nucleones} \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} \text{masa del} \\ \text{núcleo} \end{matrix} \right) \cdot c^2 = [(Zm_p + Nm_n) - M_{\text{nud}}] \cdot c^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{\text{en}} = \left([Zm_p + (A-Z)m_n] - M_{\text{nud}} \right) \cdot c^2 \quad (27)$$

↑ "energía de enlace": energía que hay que suministrar para romper el núcleo en todos sus nucleones por separado, igual a la Q de la reacción de síntesis.

▶ "Energía de enlace por nucleón", E_1 : para un núcleo ${}^A_Z X$ de energía de enlace E_{en} , definimos:

$$(28) \quad E_1 = \frac{E_{\text{en}}}{A}$$

interpretación: nos da una idea aproximada de la energía que deberíamos suministrar al núcleo para liberar un nucleón, que es la forma más sencilla de romper el núcleo.

⇒ por tanto, «núcleos con más alta E_1 , son más estables»

▶ FUERZAS dentro del NÚCLEO:

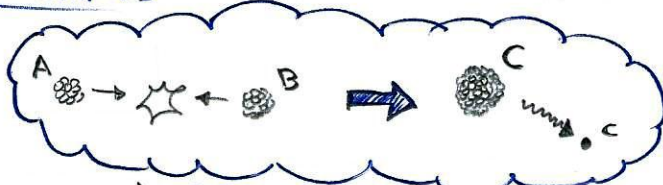
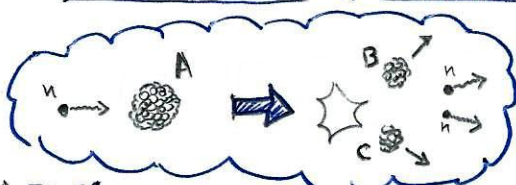


La estabilidad del núcleo, también se llama "hadrónica".

se va acumulando conforme $Z \uparrow$, y por eso los n son necesarios para vencer, con la fuerza nuclear fuerte, la repulsión entre protones.

El hecho de que la fuerte sea de corto alcance, aunque más intensa, frente a que la eléctrica se va acumulando, explica por qué en núcleos ligeros $Z \approx N$ y en pesados $N \approx 2Z$ (e incluso más).

6.7.6.- FISIÓN y FUSIÓN NUCLEARES



▶ **FISIÓN**: un núcleo pesado se fisiona y deja dos núcleos más ligeros.

▶ **FUSIÓN**: dos o más núcleos ligeros se fusionan para formar uno más pesado.