FÍSICA NUCLEAR

Z = protones
n = neutrones
A = número másico $= Z + n$

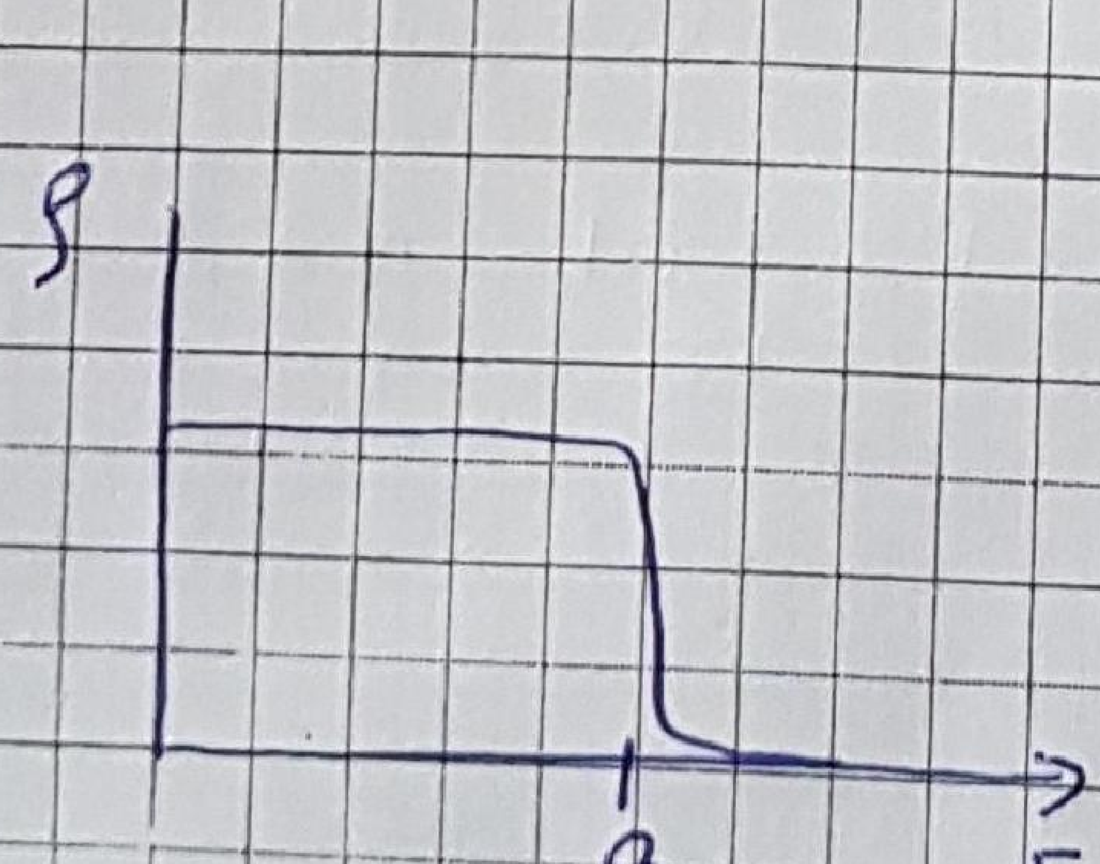
A primer orden un núcleo se caracteriza por

$$(Z, n) \equiv (A, Z) \equiv {}^{A}_{Z}X$$

A = cte ISOBARO
Z = cte ISOTOPO
n = cte ISOTONO

Núcleos similares
→ Física nuclear → A = cte
→ Química → Z = cte

Núcleos estables
→ Estables
→ $T_{1/2}$ > Edad de la Tierra ($\sim 5 \cdot 10^{6}$ y)



$$R = 1{,}07\, A^{1/3}\ \text{Fm} \qquad \text{Fm} = 10^{-15}\ \text{m}$$

$$V = (1{,}07\ \text{Fm})^3\, A$$

$$\Rightarrow \boxed{V \propto A}$$

p y n no se comprimen!

- OBS 1

$\exists$ núcleo $\Rightarrow$ $\exists$ fuerza nuclear (opuesta a la repulsión electrostática)

Masa atómica y nuclear

$M_{AT}(A,Z) = M_{NUC}(A,Z) + Z\ m_e$

Si p y n estuvieran en el ∞

$M_{NUC}(A,Z) = Z\ m_p + (A-Z)\ m_n$

En el núcleo $\exists$ una energía de ligadura B

$\Rightarrow \quad M_{NUC}(A,Z) = Z\ m_p + (A-Z)\ m_n - B(A,Z)$

$M_{NUC} \propto -B \quad , \quad B \sim 8\ MeV\ A$ a primer orden

La masa atómica también se define de otra manera

$$
\begin{aligned}
M_{AT} &= M_{NUC} + Z\ m_e \\
&= Z\ m_p + (A-Z)\ m_n - B(A,Z) + Z\ m_e \\
&\simeq A\ m_n - B(A,Z) + Z\ m_e \\
&= A\ (m_n - B/A + Z/A\ m_e) \\
&\sim A\ 931\ MeV
\end{aligned}
$$

(en MeV)
$m_p = 938{,}272$
$m_n = 939{,}565$
$m_e = 0{,}511$

$\Rightarrow \quad M_{AT}(A,Z) = A\ UMA + \Delta(A,Z)$

UMA = Unidad de masa atómica

$$
\begin{aligned}
&= 931{,}494\ MeV \\
&= \frac{M_{AT}(^{12}_{6}C)}{12}
\end{aligned}
$$

$\Delta(A,Z)$ = Defecto de masa / $\Delta(^{12}_{6}C) = 0$

$\Delta > 0 \Rightarrow$ núcleos menos enlazados que el $^{12}_{6}C$

Fecha: / / Hoja N°

L M M J V S D

- OBS 2

La f. nuclear trata igual a n y p $\Rightarrow$ ISOSPIN

- OBS 3

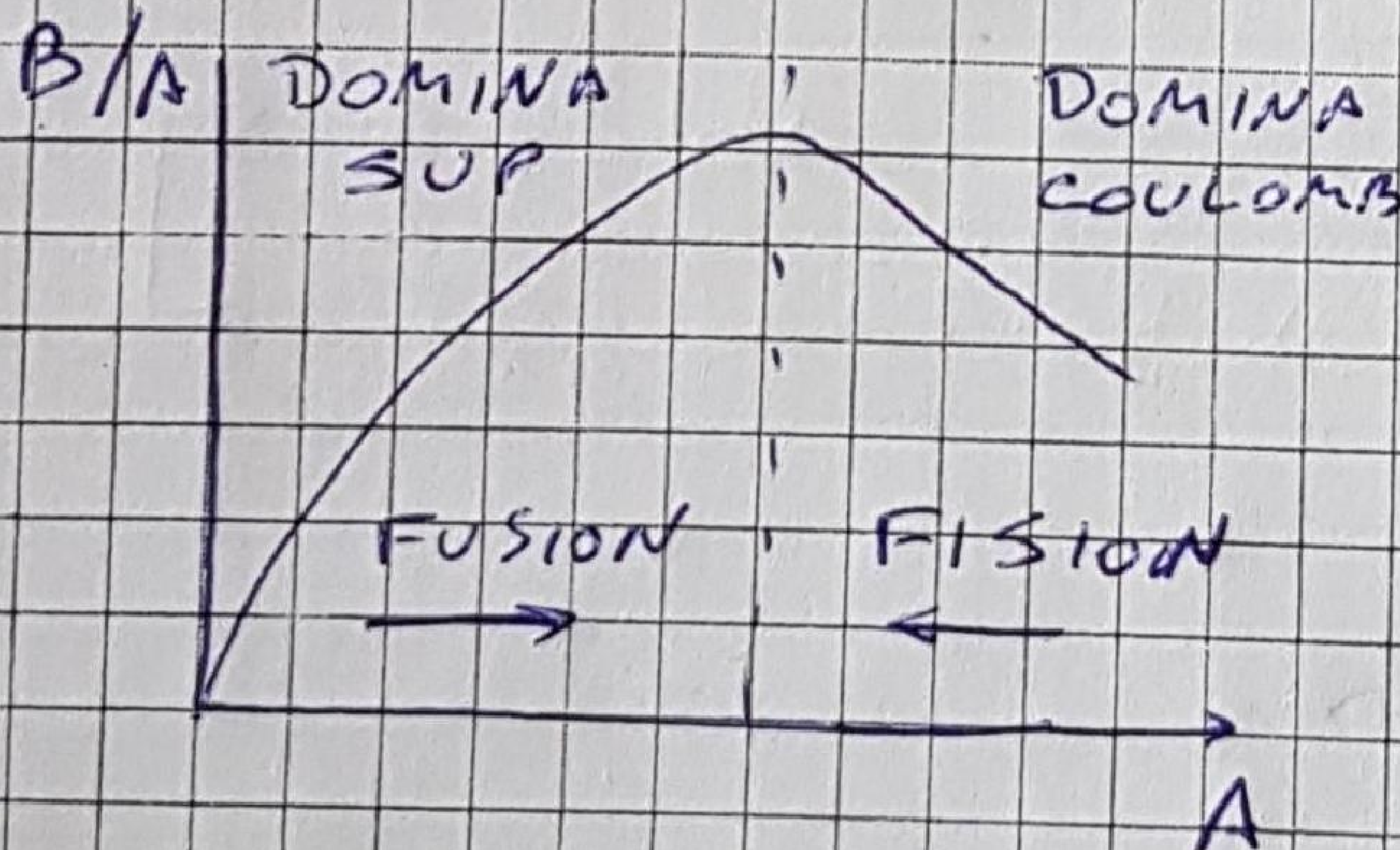
La f. nuclear es de corto alcance

MODELO SEMIEMPIRICO

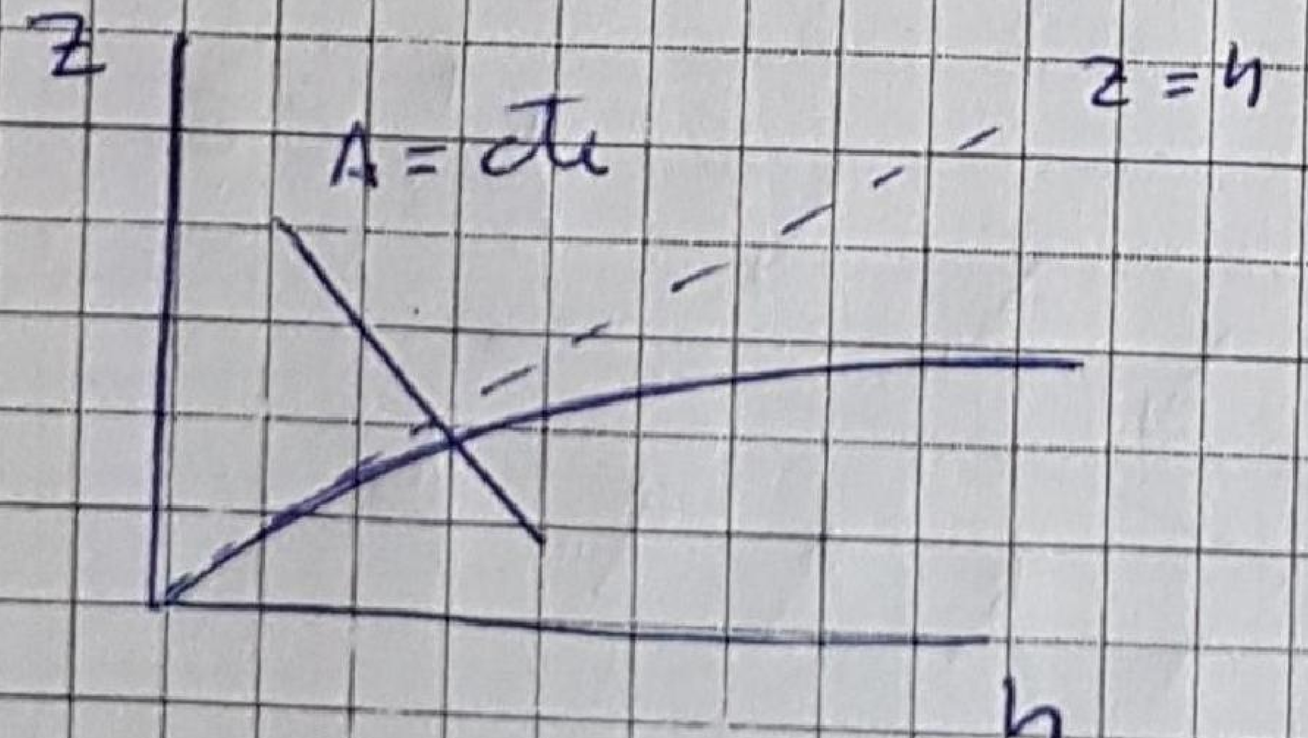
$$B(A,Z) = \underbrace{a_v A - a_s A^{2/3}}_{\text{NUCLEAR}} \underbrace{- a_c Z^2 A^{-1/3}}_{\text{COULOMB}} \underbrace{- a_a (2Z-A)^2 A^{-1}}_{\text{CINETICO}} + \underbrace{\delta A^{-1/2}}_{\text{APAREAMIENTO (SPIN COUPLING)}}$$

$$\delta = \begin{cases} \Delta & \text{PAR - PAR} \\ 0 & \text{PAR - IMPAR} \\ -\Delta & \text{IMPAR - IMPAR} \end{cases}$$

Este Δ no es el "defecto de masa" tiene un valor fijo $\Delta = 12$ MeV

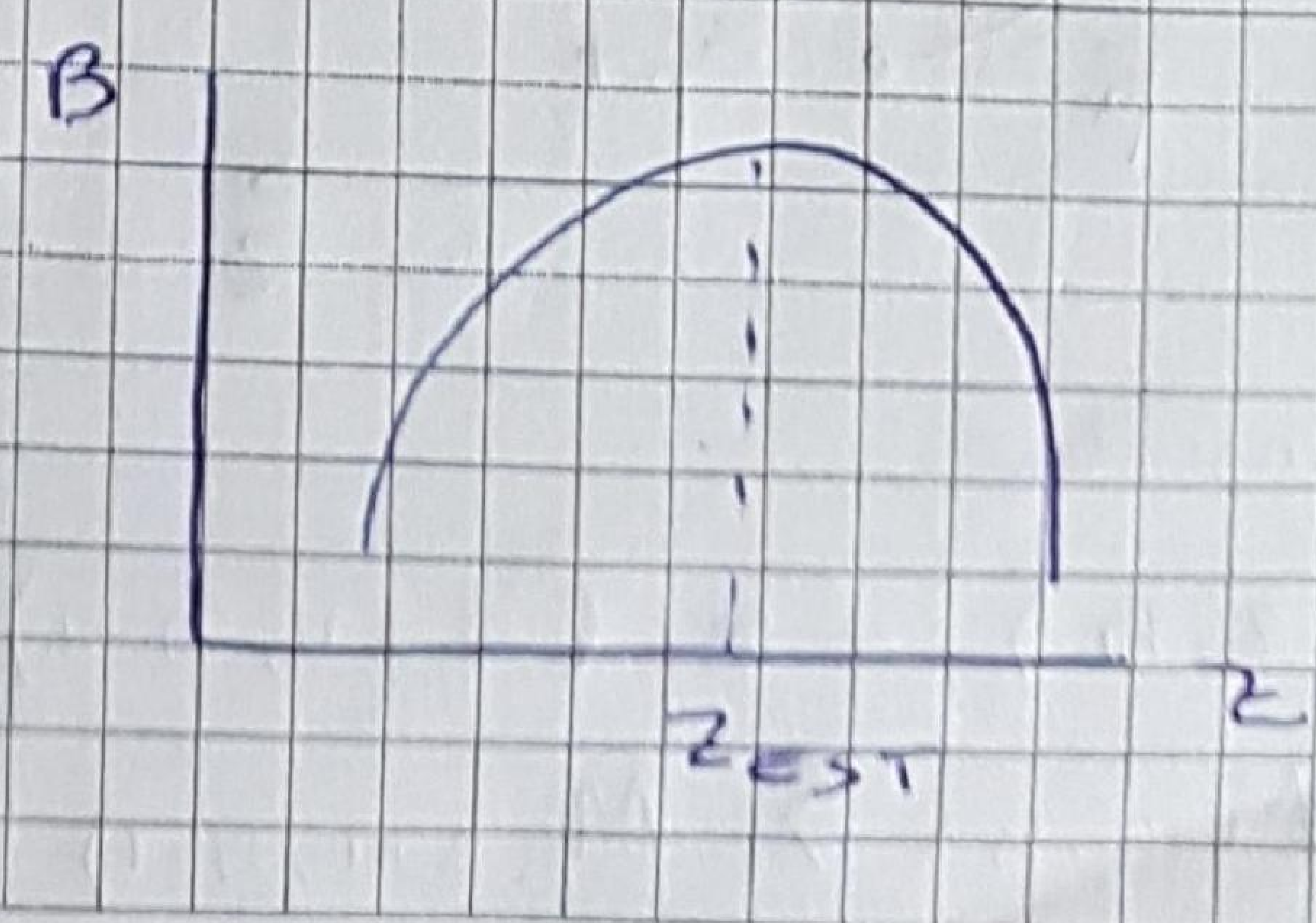


Fusión y fisión no ocurren de forma espontánea porque $\exists$ barreras de potencial

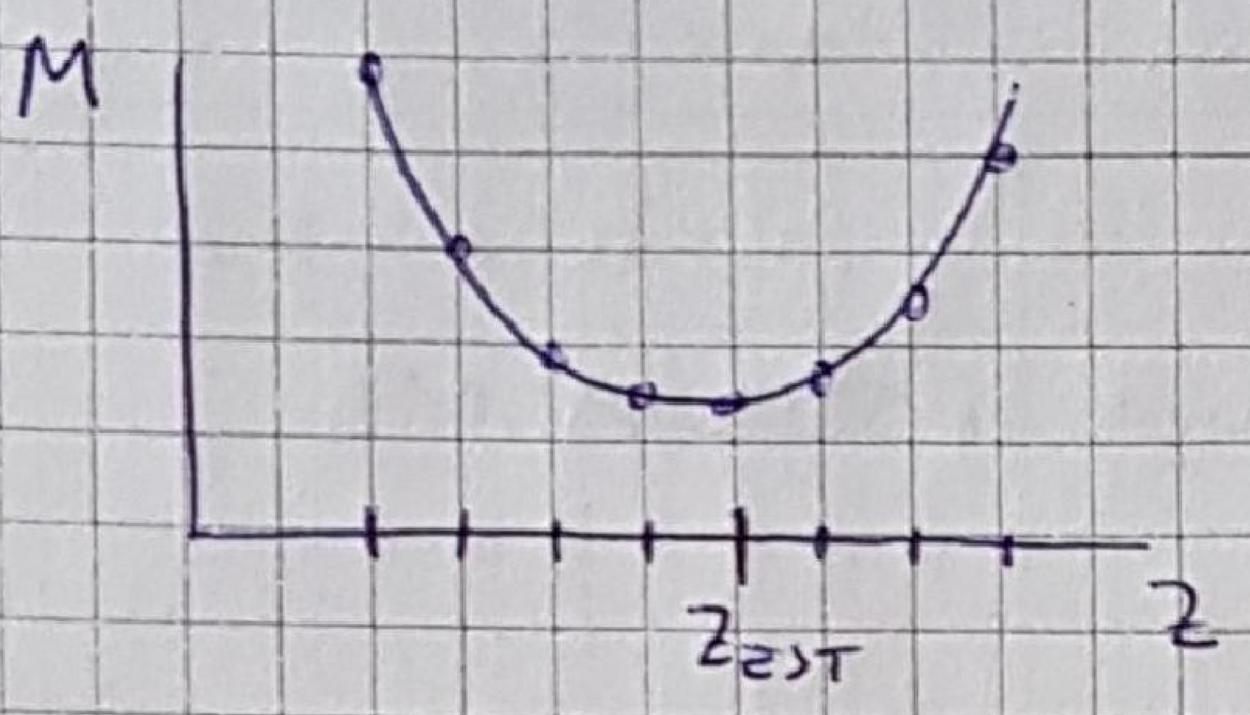


Si $A = cte$

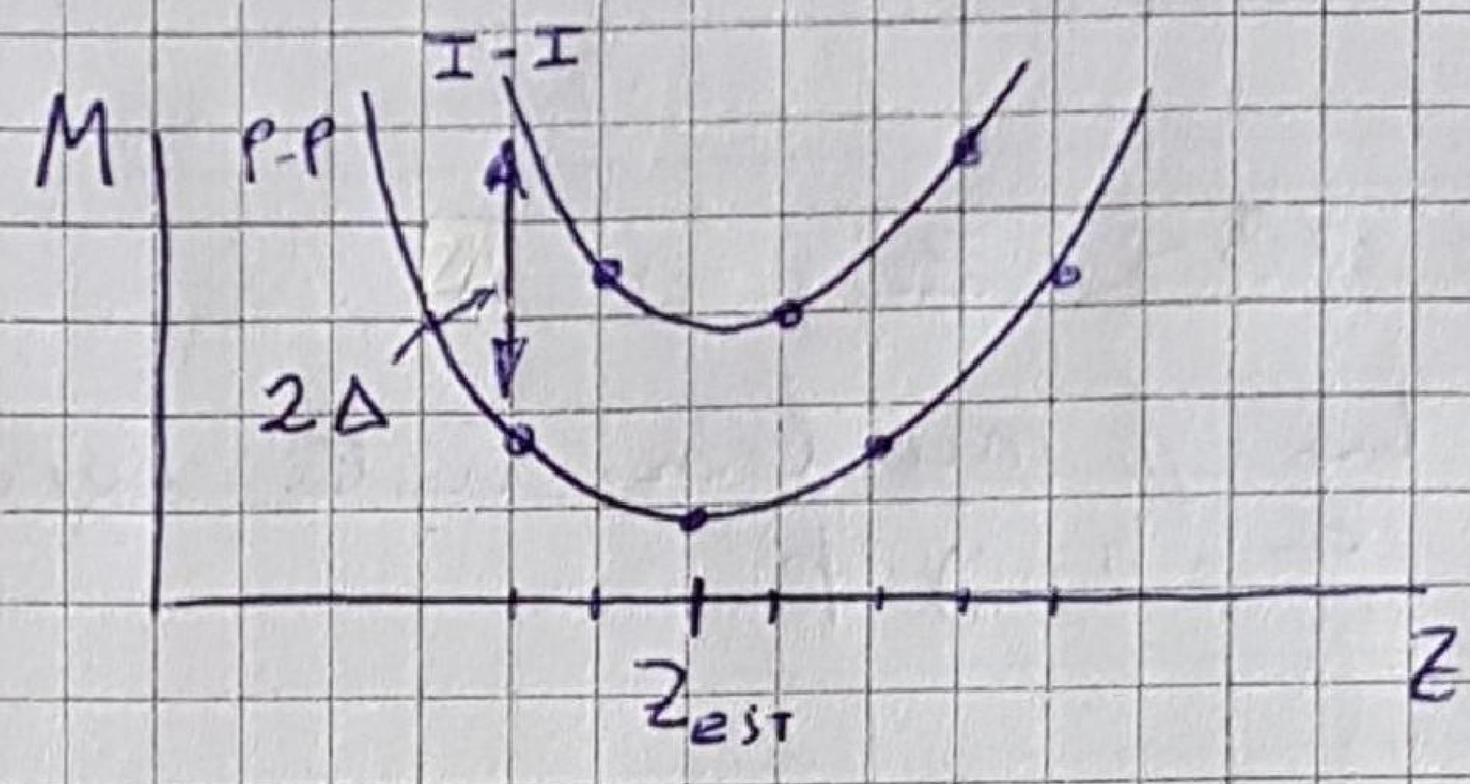
$\Rightarrow$ B es cuadrático en Z



A IMPAR ($\delta = 0$)



A PAR ($\delta = \begin{cases} \Delta & P\text{-}P \\ -\Delta & I\text{-}I \end{cases}$)



Transiciones Nucleares (DECAY MODE en NUDAT)

- Decaimiento γ o transición isomérica (IT)

  Emisión de un fotón $(A, Z) = cte$

  Un nivel excitado decae vía un proceso EM

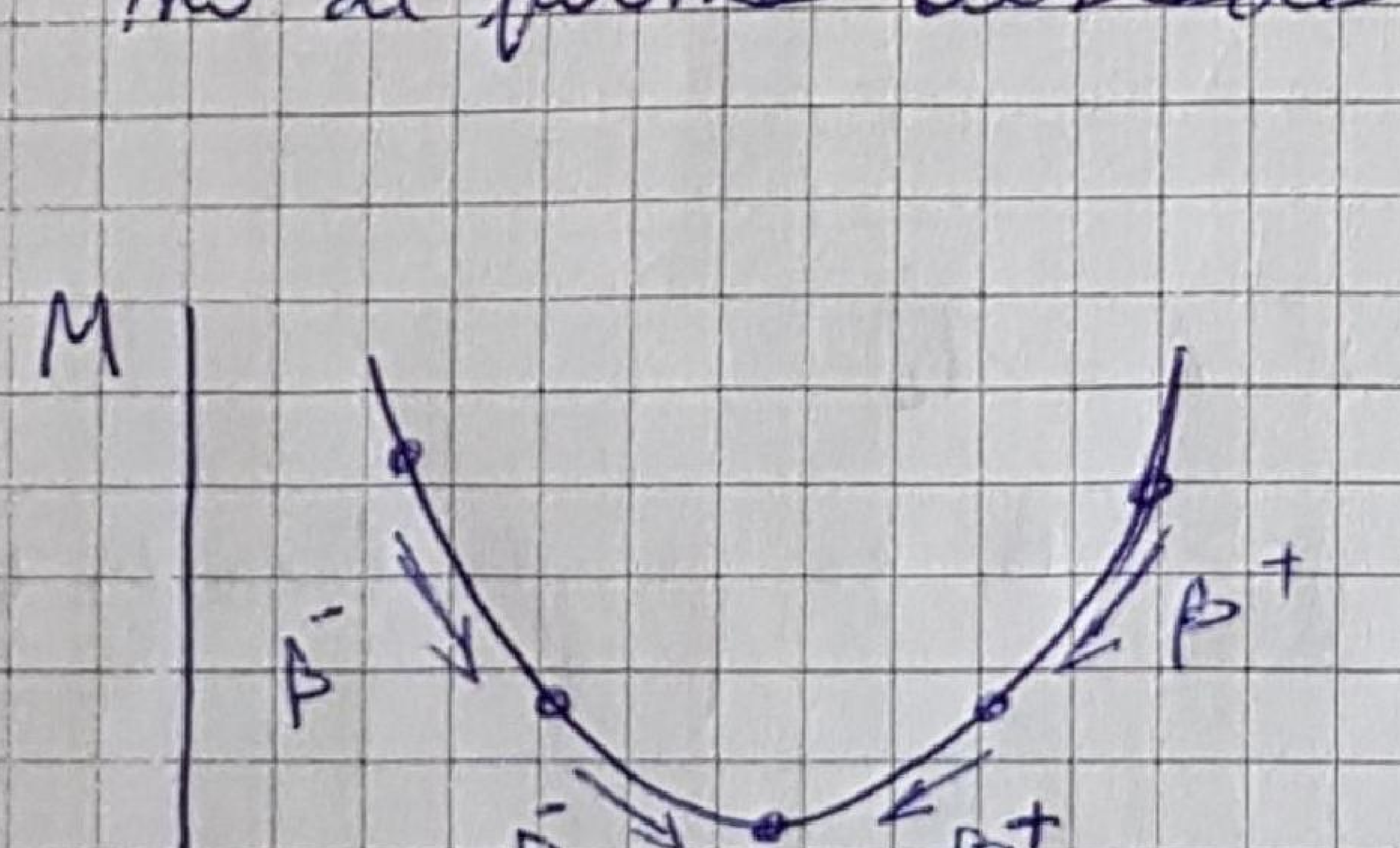
- Decaimiento β

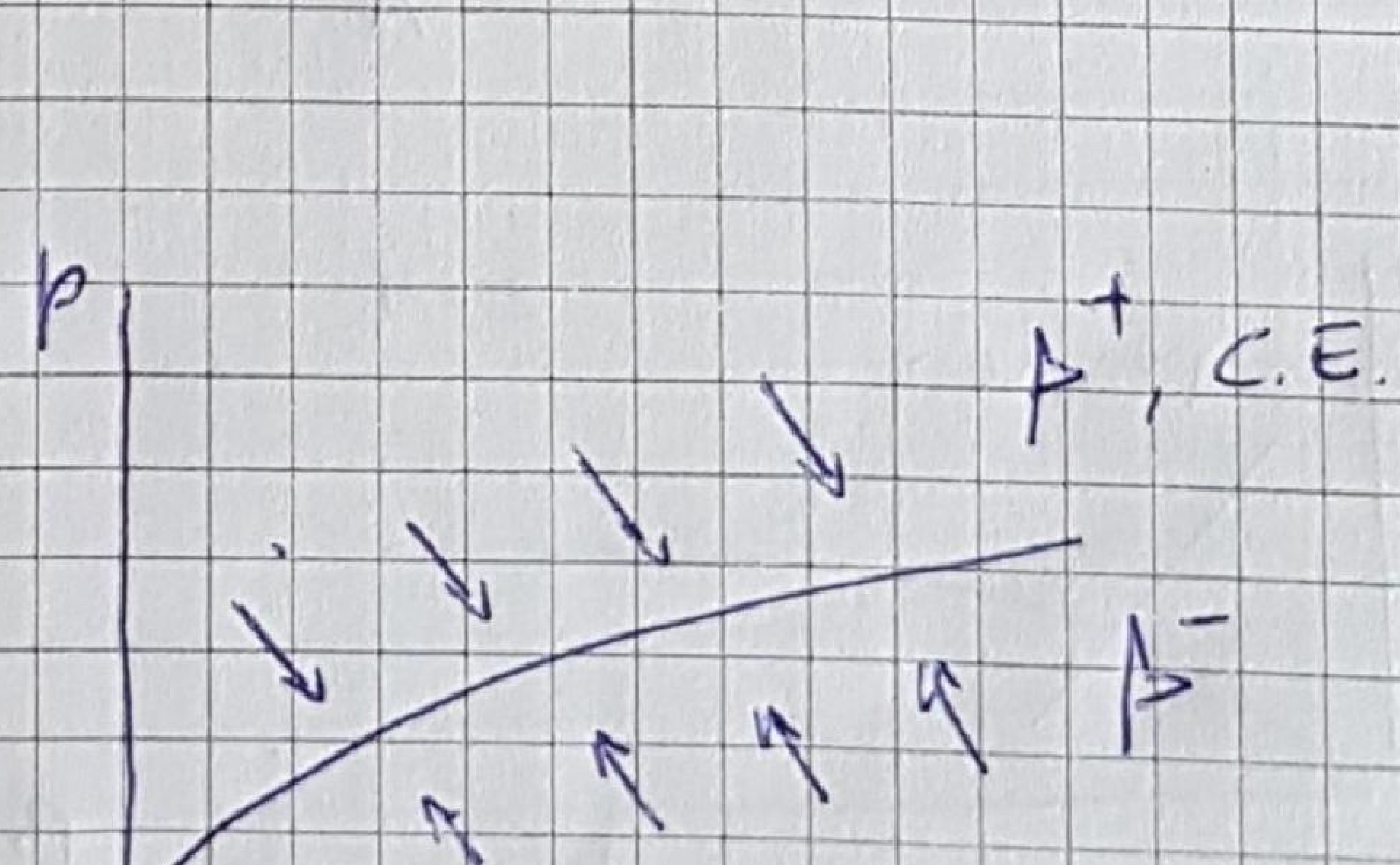
$$\left.\begin{array}{lll} n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e & & \beta^- \\ p \rightarrow n + e^+ + \nu_e & & \beta^+ \\ p + e^- \rightarrow n + \nu_e & & \text{CAPTURA ELECTRONICA} \end{array}\right\} A = cte$$

Núcleos livianos $\rightarrow \beta^+$

Núcleos pesados $\rightarrow$ C.E.

β^+ sólo ocurre en los núcleos, no de forma aislada





En el núcleo

$$(Z, N) \longrightarrow (Z+1, N-1) + e + \bar{\nu}_e \qquad \beta^-$$

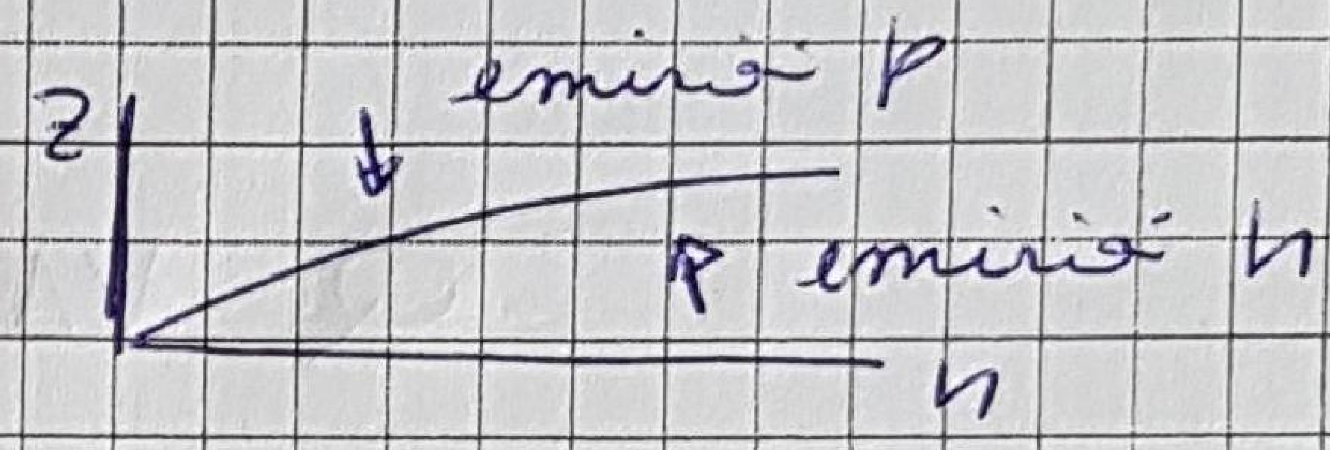
$$\Rightarrow M_{(Z,N)} > M_{(Z+1,N-1)} + m_e \qquad \text{CONDICION } \beta^-$$

- Decaimiento α

$\alpha = {}^{4}_{2}He = (\overset{Z}{2}, \overset{n}{2})$

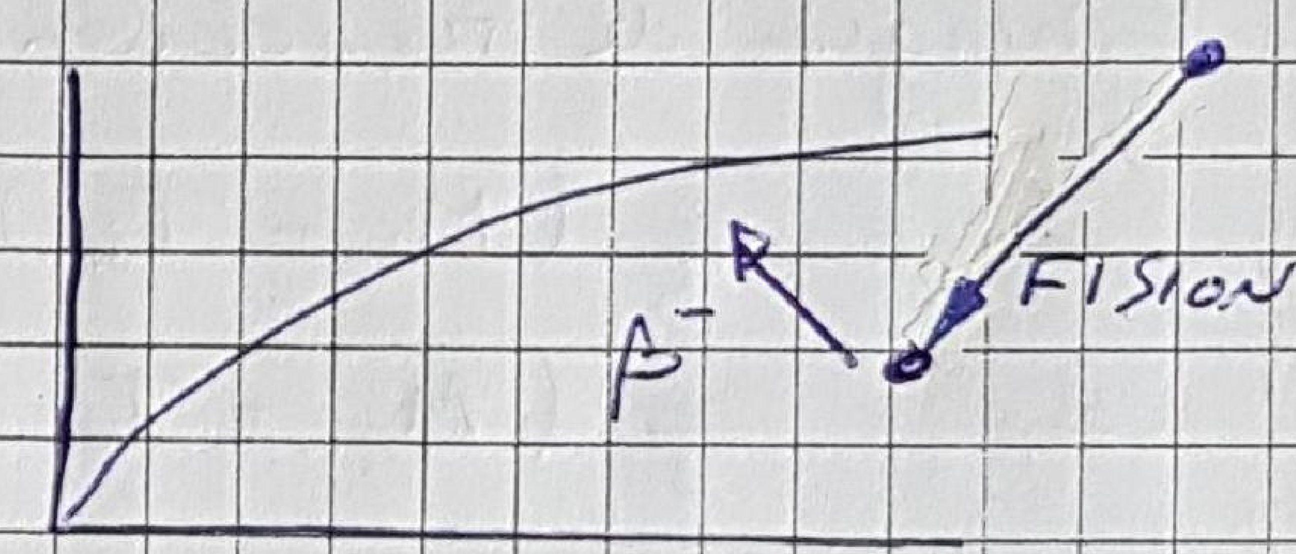
$(Z,n) \longrightarrow (Z-2, n-2) + \alpha$

- Emisión de p o n



- Fisión espontánea

$\exists$ barrera de potencial



REACTORES NUCLEARES

	Abundancia	B/A (MeV)
$^{238}_{92}U$	99,28 %	7,59
$^{235}_{92}U$	0,71 %	7,57

Veamos la energía E_n que liberan al absorber un n

$^{235}U + n \longrightarrow {}^{236}U$

$$E_n(^{235}U) = M^{NUC}_{(235,92)} + M^{NUC}_{(1,0)} - M^{NUC}_{(236,92)}$$
$$= \Delta(235,92) + \Delta(1,0) - \Delta(236,92)$$
$$= 40,9188 + 8,0713 - 42,4446 = 6,55 \text{ MeV}$$

$^{238}U + n \longrightarrow {}^{239}U$ $\qquad E_n(^{238}U) = 4,8$ MeV

Dato: La barrera de potencial para fisionar U es 5,7 MeV

$\Rightarrow$ { ^{235}U fisiona con n de $E_c = 0$ $\rightarrow$ n lentos (VER 235U FY y $\sigma(n,F)$ en NUDAT)
^{238}U necesita n con $E_c \geq 1$ MeV $\rightarrow$ n rápidos

^{235}U único elemento fisil en la naturaleza

^{235}U ~ 4-5 % en reactores nucleares

- Fusión

∃ barrera de potencial debido a la repulsión coulombiana

La menor barrera es en p-p a $T = 5 \cdot 10^7 K$ (estrellas)

$$p + p \rightarrow p + n + e^+ + \nu_e$$

Q VALUE

Energía de reacción o liberada

$$E_i = \sum_i (M_i + T_i)$$

$$E_F = \sum_F (M_F + T_F)$$

cons E

$$\Delta E = E_i - E_F = \sum M_i - \sum M_F - (\sum T_F - \sum T_i) = 0$$

$$\Rightarrow \quad \sum M_i - \sum M_F = \sum T_F - \sum T_i = Q$$

En las reacciones nucleares la carga y # de n y p se conserva ($p^\pm$ son decaimientos, se considera que no ocurren en las reacciones nucleares)

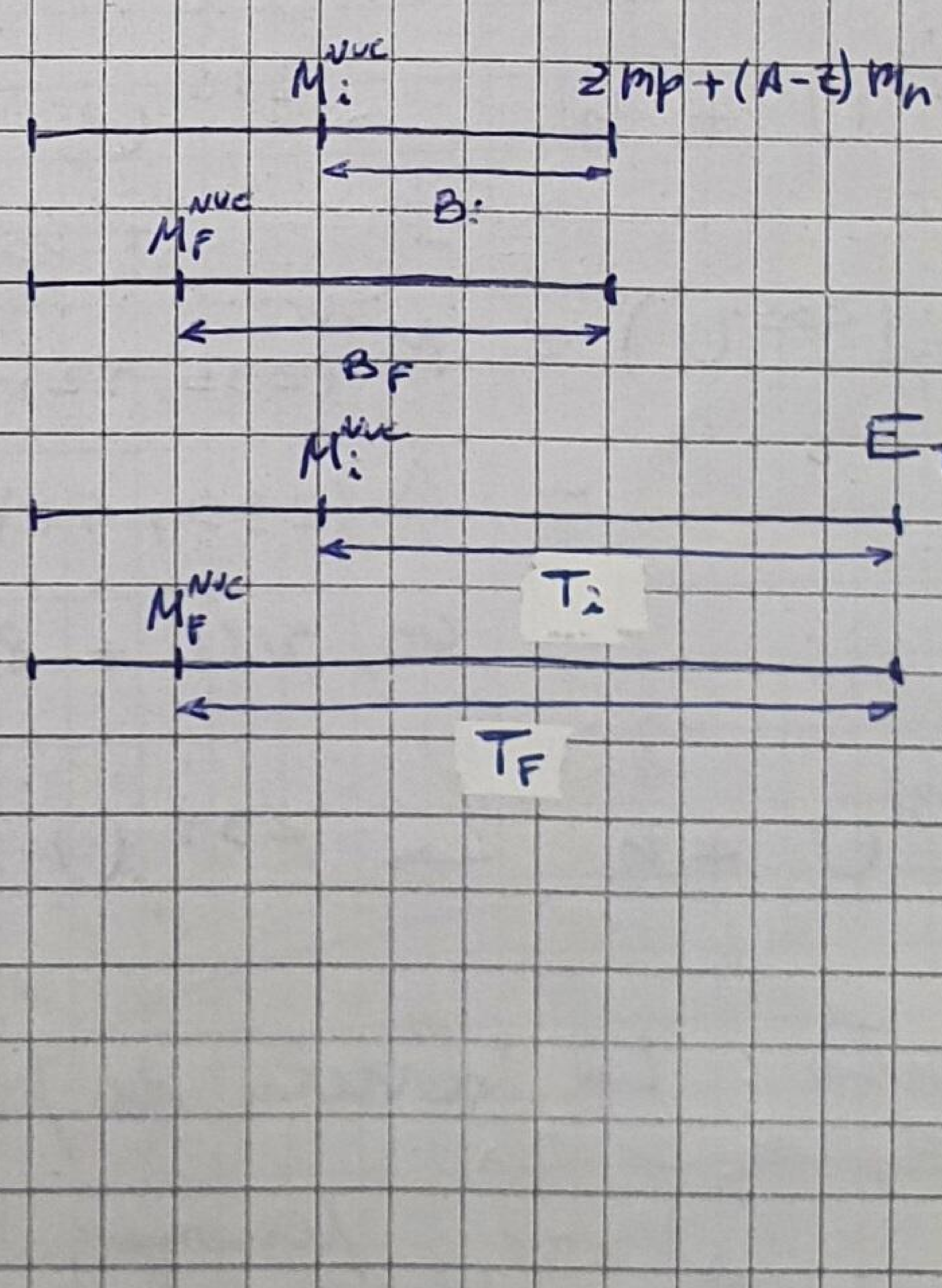
$$Q = \sum M_i^{NUC} - \sum M_F^{NUC}$$

$$= \sum T_F - \sum T_i$$

$$= \sum B_F - \sum B_i$$

$$= \sum \Delta_i - \sum \Delta_F$$

$$= \sum M_i^{AT} - \sum M_F^{AT}$$



$$Q > 0 \Rightarrow \begin{cases} M_i > M_F \\ T_F > T_i \\ B_F > B_i \end{cases}$$

$Q>0$ implica que hay una energía liberada que se manifiesta en la energía cinética de los productos

3)

$$B(A,Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3} - a_a \frac{(2Z-A)^2}{A} + \delta A^{-1/2}$$

$$\frac{\partial B}{\partial Z} = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{Z^{B}_{EST} = 2 a_a \left(a_c A^{-1/3} + 4 a_a A^{-1}\right)^{-1}}$$ MAXIMO DE B

Pero

$$M_{NUC}(A,Z) = Z m_p + (A-Z) m_n - B(A,Z)$$

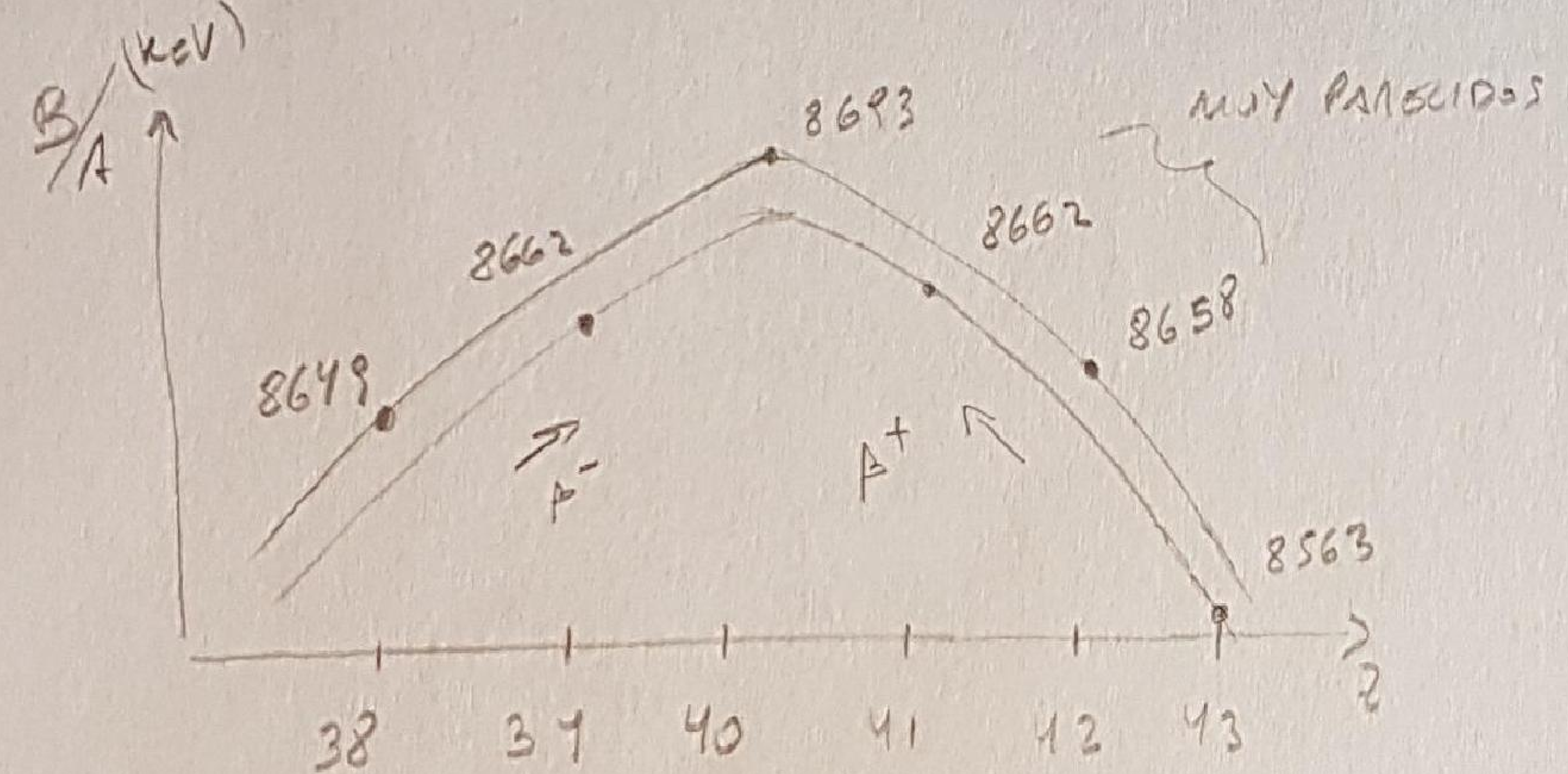
$$\frac{\partial M}{\partial Z} = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{Z^{M}_{EST} = \left(\frac{m_n - m_p}{2} + 2 a_a\right)\left(a_c A^{-1/3} + 4 a_a A^{-1}\right)^{-1}}$$ MINIMO DE M_{NUC}

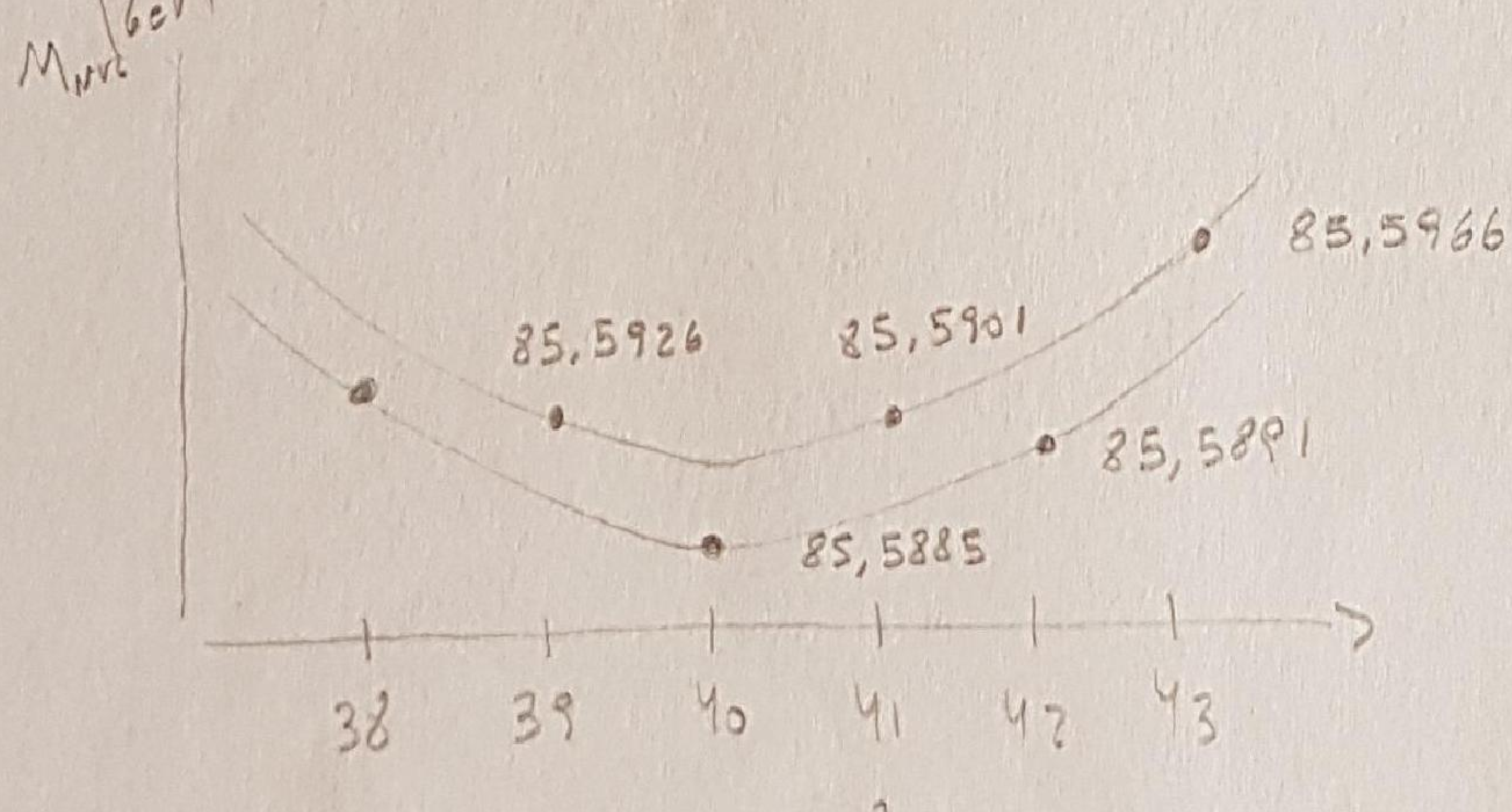
a- $A = 92$

$Z^{B}_{EST} = 39,9$

$Z^{M}_{EST} = 40,5$



→ 1 EST



→ 2 EST

$T_{1/2}$ ST $10^7 y$ ST

Zr Nb Mo

c) $^{92}_{41}Nb$ $\Delta = -86{,}453$ MeV

$M_{AT}(92,41) = 92$ uma $+ \Delta = 85610{,}995$ MeV

$M_{NUC}(92,41) = M_{AT}(92,41) - 41\, m_e = 85590{,}044$ MeV

$B(92,41) = 41\, m_p + (92-41)\, m_n - M_{NUC}(92,41) = 796{,}923$ MeV

$\Rightarrow \dfrac{B(92,41)}{92} = 8{,}662$ MeV

Energía de separación

Si planteamos

$^{92}_{41}Nb \rightarrow {}^{91}_{40}Zr + p$ Nuclear

$Q = M^{AT}(92,41) - (M^{AT}(91,40) + m_p)$ X

entonces mal ya que nos olvidamos un e^-

$^{92}_{41}Nb \rightarrow {}^{91}_{40}Zr + p + e^-$ Atómico

$Q = M^{AT}(92,41) - (M^{AT}(91,40) + m_p + m_e)$ ✓

$\Rightarrow Q = M^{NUC}(92,41) - (M^{NUC}(91,40) + m_p)$

Esto queda más fácil si usamos la notación correcta

$p + e^- \equiv {}^1_1H$

$^{92}_{41}Nb \rightarrow {}^{91}_{40}Zr + {}^1_1H$

$Q = M^{AT}(92,41) - (M^{AT}(91,40) - M^{AT}(1,1))$

$= M^{NUC}(92,41) - (M^{NUC}(91,40) - M^{NUC}(1,1))$

$\boxed{Q = \Delta(92,41) - \Delta(91,40) - \Delta(1,1)}$ + FACIL

$= -5{,}846$ MeV $\equiv S_p$

$${}^{92}_{41}Nb \rightarrow {}^{91}_{41}Nb + n$$ núcleo neutrón = (1, 0)

$$Q = \Delta(92,41) - \Delta(91,41) - \Delta(1,0)$$
$$= -7,886 \text{ MeV} \equiv S_n$$

Energía de separación $\beta^{\pm}$

$$p \rightarrow n + \bar{e} + \nu_e \qquad \beta^+$$

A nivel nuclear

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z-1) + e^+ + \nu_e$$

$$Q^{\beta^+} = M^{NUC}(A,Z) - \left(M^{NUC}_{(A,Z-1)} + m_e\right)$$
$$= M^{AT}_{(A,Z)} - \cancel{Z} m_e - \left(M^{AT}_{(A,Z-1)} - (\cancel{Z}-1) m_e + m_e\right)$$

$$\left[Q^{\beta^+} = M^{AT}_{(A,Z)} - M^{AT}_{(A,Z-1)} - 2m_e = \Delta(A,Z) - \Delta(A,Z-1) - 2m_e \right]$$

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e \qquad \beta^-$$

A nivel nuclear

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z+1) + e + \bar{\nu}_e$$

$$Q^{\beta^-} = M^{NUC}(A,Z) - \left(M^{NUC}_{(A,Z+1)} + m_e\right)$$
$$= M^{AT}_{(A,Z)} - \cancel{Z} m_e - \left(M^{AT}_{(A,Z+1)} - (\cancel{Z}+1) m_e + \cancel{m_e}\right)$$

$$\left[Q^{\beta^-} = M^{AT}_{(A,Z)} - M^{AT}_{(A,Z+1)} = \Delta(A,Z) - \Delta(A,Z+1) \right]$$

$$Q^{\beta^+}_{(92,41)} = 0,984 \text{ MeV}$$

$$Q^{\beta^-}_{(92,41)} = 0,3555 \text{ MeV}$$

TAREA

¿ $Q^{C.E.}$?