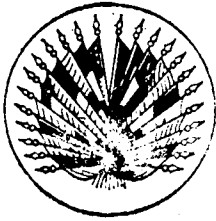


02.78.15



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA NUCLEAR
ORIENTADO A LA CAPACITACION BASICA PARA LA
IMPLEMENTACION DE PROGRAMAS NUCLEOELECTRICOS**

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
2	1978

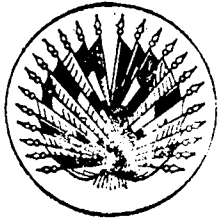
CNEA AC-55/78

ELEMENTOS BASICOS DE FISICA NUCLEAR

Prof.: Dr. NESTOR B. PIERONI

BUENOS AIRES - ARGENTINA

OCTUBRE - 1978



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA NUCLEAR
ORIENTADO A LA CAPACITACION BASICA PARA LA
IMPLEMENTACION DE PROGRAMAS NUCLEOELECTRICOS**

CNEA AC-55/78

ELEMENTOS BASICOS DE FISICA NUCLEAR

Prof.: Dr. NESTOR B. PIERONI

BUENOS AIRES - ARGENTINA

OCTUBRE - 1978

ELEMENTOS BASICOS DE FISICA NUCLEAR

SE PRESENTAN EN FORMA ESQUEMATICA LOS SIGUIENTES TEMAS DESARROLLADOS EN EL CURSO:

1. CONSTITUYENTES DEL NUCLEO
2. ENERGIA DE UNION
3. ESTADOS EXCITADOS DEL NUCLEO
4. REACCIONES NUCLEARES
5. SECCIONES EFICACES

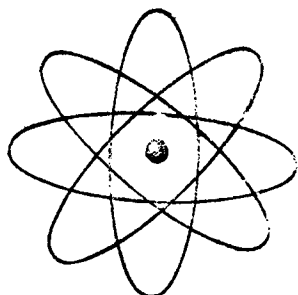
ELEMENTOS BASICOS DE FISICA NUCLEAR

=====

SE REPASARAN BREVEMENTE LOS ASPECTOS DE FISICA NUCLEAR QUE SERAN APLICADOS EN LA INTRODUCCION A FISICA DE REACTORES

1.- CONSTITUYENTES DEL NUCLEO

a) ELEMENTOS (TIPOS DE ATOMOS)



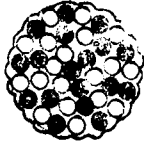
Z = NUMERO DE ELECTRONES
(= NUMERO DE PROTONES)

Z : NUMERO ATOMICO

{	1	ELECTRON	—————>	HIDROGENO	H
	8	ELECTRONES	—————>	OXIGENO	O
	92	ELECTRONES	—————>	URANIO	U

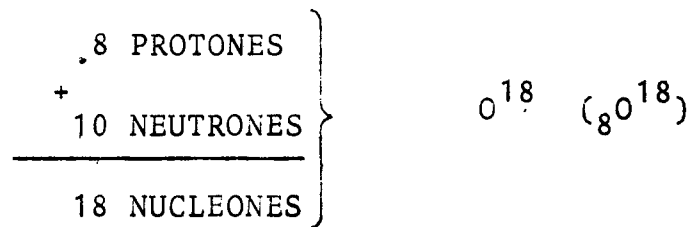
b) NUCLEIDOS (TIPOS DE NUCLEOS)

Z PROTONES + N NEUTRONES = A NUCLEONES



N = NUMERO NEUTRONICO

A = NUMERO MASICO



c) ISOTOPOS

{ IGUAL NUMERO PROTONES (Z) ————— MISMO ELEMENTO
DISTINTO NUMERO NEUTRONES (N) ————— DIFERENTE MASA (A)

EJEMPLO:

92 PROTONES + 146 NEUTRONES ————— U^{238} (NATURAL)

92 PROTONES + 141 NEUTRONES ————— U^{233} (ARTIFICIAL)

- ELEMENTOS NATURALES ——— 1 á 10 ISOTOPOS
- PORCENTAJE RELATIVO DE ISOTOPOS = CONSTANTE

EJEMPLO:

URANIO NATURAL (U_{NAT})	{	U^{238} ——— 99,27% ~ 99,3%
		U^{235} ——— 0,72% ~ 0,7%
		U^{234} ——— 0,0057% ~ 0 %

d) NUCLEONES

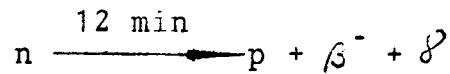
PROTON: p

$$\begin{cases} m_p = 1,67252 \times 10^{-24} \text{ g} \\ Q_p = 1,60210 \times 10^{-19} \text{ Coul} = - Q_e \end{cases}$$

p → ESTABLE

NEUTRON: n

$$\begin{cases} m_n = 1,67482 \times 10^{-24} \text{ g} \\ Q_n = 0 \end{cases}$$



n → INESTABLE

l_n : VIDA MEDIA DEL n EN EL REACTOR

$$l_n \sim 10^{-3} \text{ seg.}$$

∴ INESTABILIDAD DEL n NO IMPORTA EN LA FISICA DE REACTORES

RADIO NUCLEAR:

$$R \approx 1,25 \times 10^{-13} A^{1/3} \text{ cm}$$

(NO VALIDA PARA NUCLEOS LIVIANOS)

$$\text{VOLUMEN NUCLEAR } V \sim R^3 \implies V \sim A$$

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ PROMEDIO NUCLEONES}}{\text{UNIDAD VOLUMEN}} = \frac{A}{V} = \text{cte.}$$

DENSIDAD UNIFORME DE LA MATERIA NUCLEAR

∴ SIMILAR GOTAS LIQUIDAS (= DENSIDAD INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO) — "MODELO DE LA GOTA LIQUIDA"

amu = UNIDAD DE MASA ATOMICA

$$1 \text{ amu} = \frac{1}{12} C^{12} = 1,660438 \times 10^{-24} \text{ g}$$

CONVERSION MASA-ENERGIA (EINSTEIN)

$$E = m \cdot c^2$$

$$C = 3 \times 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

$$1 \text{ amu} \hat{=} 931,478 \text{ MeV}$$

$$m_p = 1,007277 \text{ amu}$$

$$m_n = 1,008665 \text{ amu}$$

$$(\text{ANTIGUA DEFINICION : } 1 \text{ amu} = \frac{1}{16} \text{ O}^{16})$$

2.- ENERGIA DE UNION

$$\text{DEFECTO MASICO : } \Delta m = Zm_p + Nm_n - m_A > 0$$

$$m_A = \text{MASA DEL NUCLEO (Z + N)}$$

$$\Delta m = Z(m_p + m_e) + Nm_n - (m_A + Zm_e)$$

$$m_e = \text{MASA DEL ELECTRON}$$

$$m_p + m_e \simeq m_H$$

$$m_H = \text{MASA DEL ATÓMO H}$$

$$m_A + Zm_e \simeq m$$

$$m = \text{MASA DEL ATOMO CONSIDERADO}$$

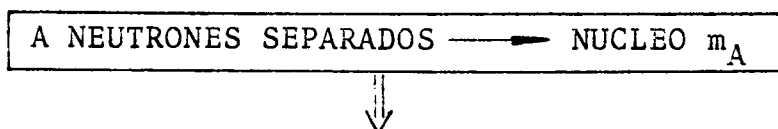
$$\therefore \Delta m \simeq Zm_H + Nm_n - m$$

$$\Delta m \hat{=} Eu$$

Eu : ENERGIA PARA SEPARAR EL NUCLEO (A NUCLEONES)

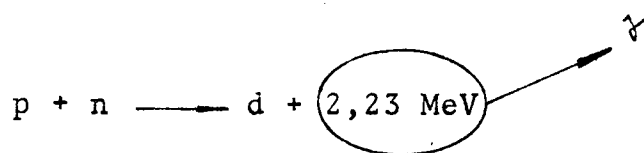
EN SUS NUCLEONES CONSTITUTIVOS (Z + N)

$$E_u = \begin{cases} \text{ENERGIA DE UNION DEL SISTEMA} \\ \delta \\ \text{ENERGIA PARA MANTENER EL NUCLEO UNIDO} \end{cases}$$



E_u ENERGIA LIBERADA

EJEMPLO:



\therefore

$$(m_p + m_n) - m_d = 2,23 \text{ MeV}$$

$$E_u (d) = 2,23 \text{ MeV}$$

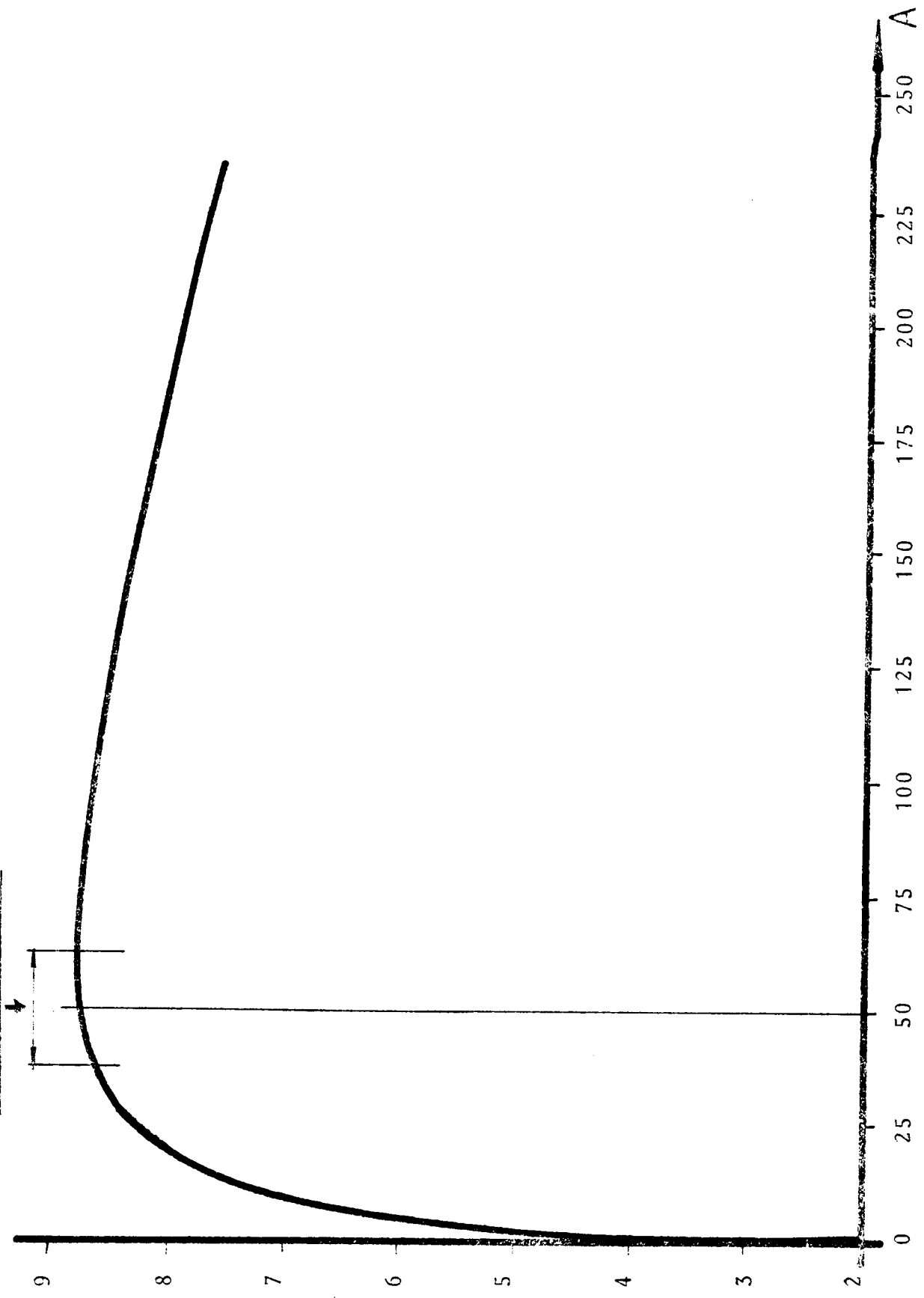
PARA PODER SEPARAR EL d, p.ej. BOMBARDEANDO CON γ :

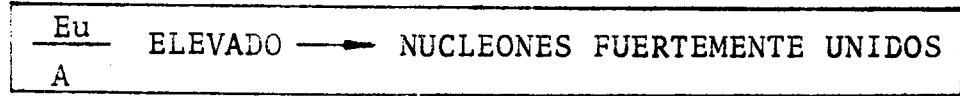


$\frac{Eu}{A}$

[MeV]

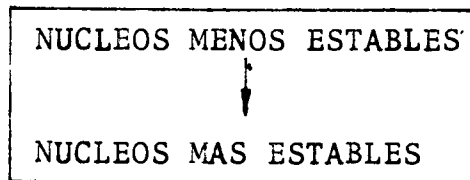
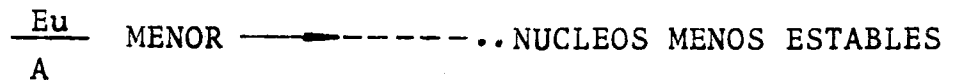
MAYOR ESTABILIDAD





MAYOR ENERGIA PARA SEPARARLOS

∴ NUCLEO MAS ESTABLE



LIBERACION DE ENERGIA

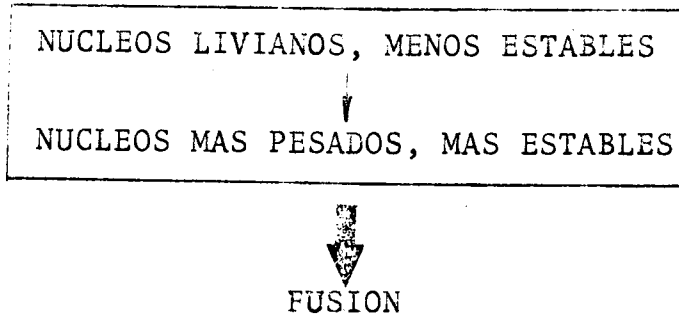
EJEMPLO:

a) NUCLEOS LIVIANOS

$$Eu (H^3) = 8,48 \text{ MeV}$$



$$(8,48 \text{ MeV} + 0) - (2,23 \text{ MeV} + 2,23 \text{ MeV}) = 4,02 \text{ MeV}$$

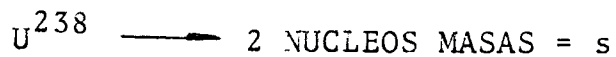


b) NUCLEOS PESADOS

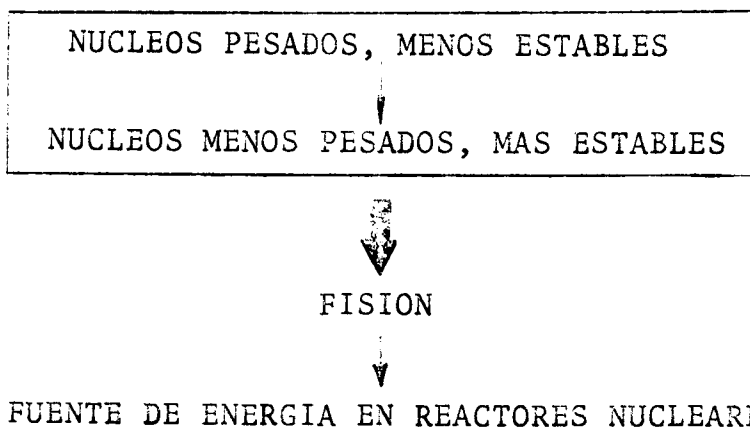
$$\frac{Eu}{A} (U^{238}) \simeq 7,5 \text{ MeV}$$

$$\frac{Eu}{A} (A = 119) \simeq 8,4 \text{ MeV}$$

SI:



$$\therefore \text{ENERGIA LIBERADA} \simeq 238 \times 0,9 = 214 \text{ MeV}$$



Z (ó N) = "NUMERO MAGICO" = 2, 6, 8, 14, 20, 28

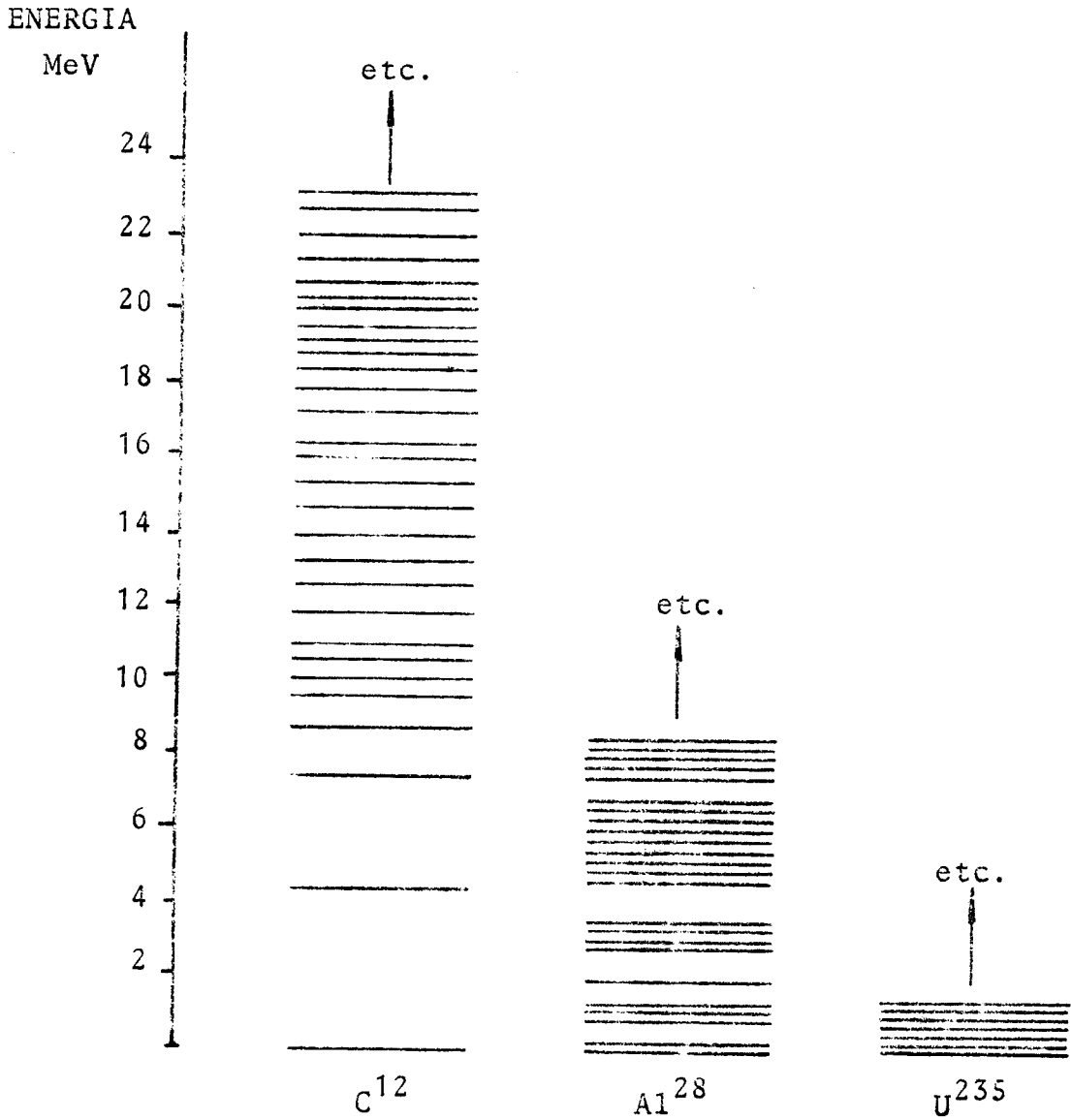
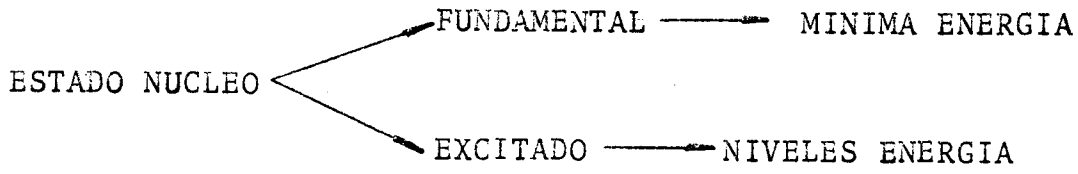
50, 82 ó 126 \Rightarrow NUCLEOS PARTICULARMENTE
ESTABLES (CAPAS CERRADAS)

N = NUMERO MAGICO \Rightarrow DEBIL ABSORCION DE n

EJEMPLO:

Zr (N=50) \longrightarrow UTIL COMO MATERIAL ESTRUCTURAL
(VAINAS E.C.)

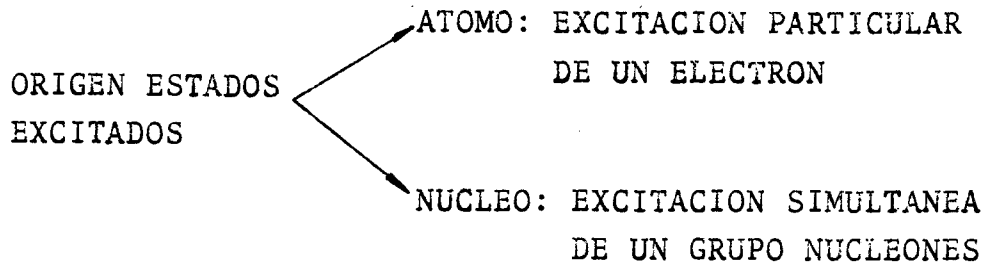
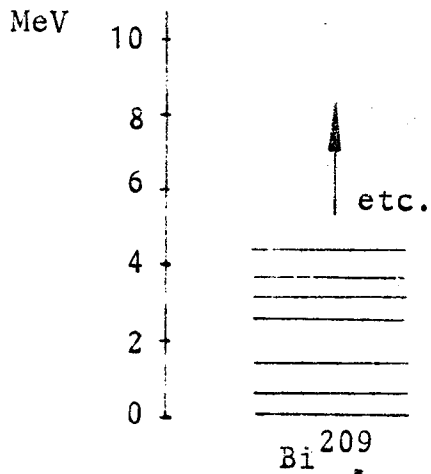
3.- ESTADOS EXCITADOS DEL NUCLEO



- 1.- DENSIDAD NIVELES AUMENTA CON LA ENERGIA DE EXCITACION
- 2.- DENSIDAD NIVELES PARA UNA DADA ENERGIA DE EXCITACION AUMENTA CON LA MASA DEL NUCLEO.

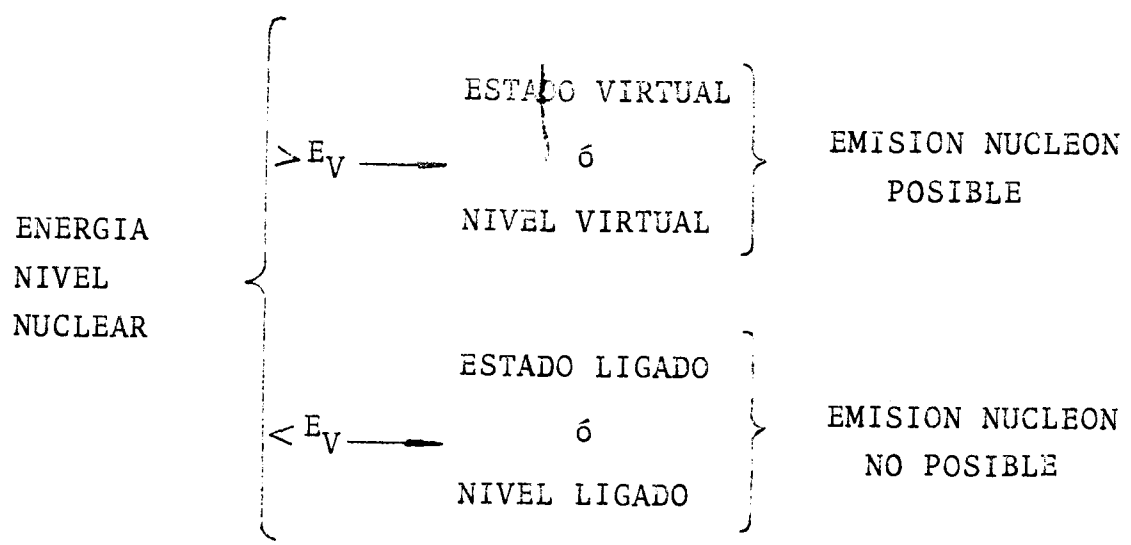
3.- EXCEPCION RESPECTO DEL PUNTO 1 SON LOS NUCLEOS CON NUMEROS MAGICOS N 6 Z.

⇒ NIVELES SEMEJANTES A NUCLEOS LIVIANOS

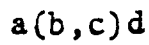
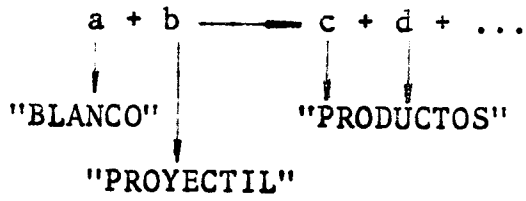


∴ NUCLEOS PUEDEN TENER NIVELES CON ENERGIA MAYOR QUE LA NECESARIA PARA SEPARAR UN NUCLEON

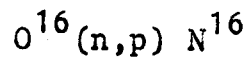
ENERGIA VIRTUAL E_V = MINIMA ENERGIA PARA SEPARAR UN NUCLEON



4.- REACCIONES NUCLEARES



EJEMPLO:

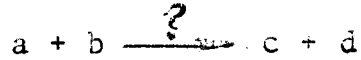


■ LEYES FUNDAMENTALES DE LAS REACCIONES NUCLEARES:

CONSERVACION {
DE NUCLEONES
DE CARGA
DEL MOMENTO LINEAL Y ANGULAR
DE ENERGIA

CONSERVACION DE ENERGIA \longrightarrow PERMITE PREDECIR SI LA REACCION ES ENERGETICAMENTE POSIBLE.

EJEMPLO:



$$E_{\text{INICIAL}} = \underbrace{E_a + E_b}_{\text{ENERGIAS CINÉTICAS}} + \underbrace{m_a \cdot c^2 + m_b \cdot c^2}_{\text{ENERGIAS EQUIVALENTES A MASAS EN REPOSO}}$$

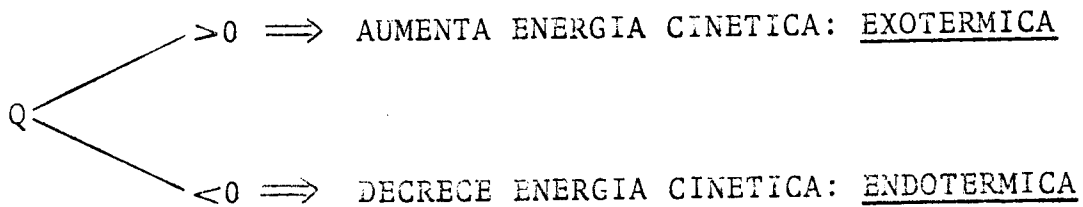
$$E_{\text{FINAL}} = E_c + E_d + m_c \cdot c^2 + m_d \cdot c^2$$

$$\text{CONSERVACION ENERGIA} \implies E_{\text{INICIAL}} = E_{\text{FINAL}}$$

$$E_a + E_b + m_a \cdot c^2 + m_b \cdot c^2 = E_c + E_d + m_c \cdot c^2 + m_d \cdot c^2$$

$$\underbrace{[(m_a + m_b) - (m_c + m_d)] \cdot c^2}_{\Delta m \text{ (REPOSO)}} = \underbrace{(E_c + E_d) - (E_a + E_b)}_{\Delta E \text{ (CINETICA)}}$$

$$Q = \Delta m \cdot c^2$$



EXOTERMICA: MASA NUCLEAR \longrightarrow ENERGIA CINETICA

ENDOTERMICA: ENERGIA CINETICA \longrightarrow MASA NUCLEAR

EJEMPLO:

H^3	(d,n)	He^4	NUCLEO EN ESTADO FUNDAMENTAL
↓		↓	
T		α	
$m_{H^3} = 3,016049$			amu
$m_{H^2} = 2,014102$			amu
$m_{H^3} + m_{H^2} = 5,030151$			amu
		$m_{He^4} = 4,002604$	amu
		$m_n = 1,008665$	amu
$m_{He^4} + m_n = 5,011269$			amu

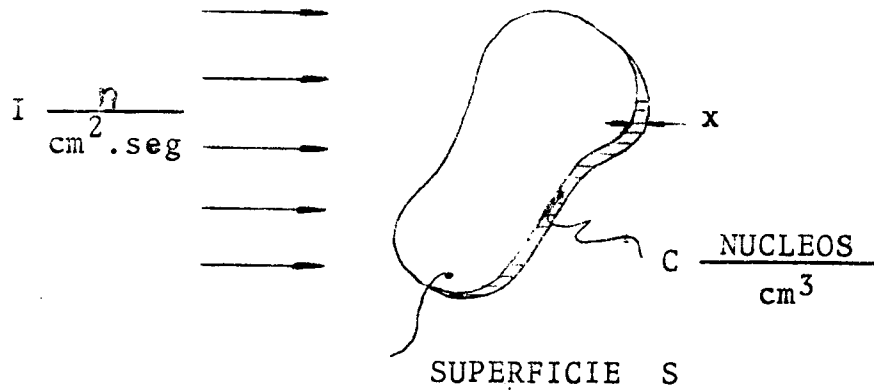
$$Q = 5,030151 - 5,011269 = 0,018882 \quad \text{amu}$$

$$\cong 17,6 \text{ MeV}$$

Si:

$$E_d = 1 \text{ MeV} \implies E_\alpha + E_n \cong 18,6 \text{ MeV}$$

5.- SECCIONES EFICACES



$$R \sim \underset{\delta}{I \cdot S \cdot X \cdot C} \quad \rightsquigarrow \quad R = \frac{\text{NUMERO REACCIONES}}{\text{UNIDAD DE TIEMPO}}$$

$$R = \sigma \cdot I \cdot S \cdot X \cdot C .$$

$$\sigma = \frac{R}{I \cdot S \cdot X \cdot C .}$$

S.X.C. = NUMERO TOTAL DE NUCLEOS EN EL BLANCO

$$\sigma = \frac{\text{VELOCIDAD DE INTERACCION}}{\text{NUCLEO x UNIDAD DE INTENSIDAD}}$$

$$[I \cdot S] = \left[\frac{n}{\text{cm}^2 \cdot \text{seg}} \right] \times [\text{cm}^2] = \left[\frac{n}{\text{seg}} \right]$$

I.S = NUMERO DE n QUE LLEGAN AL BLANCO POR SEG.

R = NUMERO DE n QUE INTERACCIONAN POR SEGUNDO.

∴ PROBABILIDAD RELATIVA DE INTERACCION :

$$\frac{R}{I.S} = \left(\frac{\sigma}{S} \right) \cdot (S \cdot X \cdot C.)$$

$$\therefore \frac{\sigma}{S} = \text{PROBABILIDAD DE INTERACCION POR NUCLEO BLANCO}$$

S — FIJO \Rightarrow PROBABILIDAD DE INTERACCION
DETERMINADA SOLO POR σ

$\sigma = \text{PROBABILIDAD INTERACCION} = \text{SECCION EFICAZ}$
--

$$[\sigma] = \text{cm}^2$$

$$1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$