

ELEMENTI DI CHIMICA NUCLEARE

NUCLEONI = le particelle nucleari (protoni e neutroni)

A = n° totale dei nucleoni (numero di massa)

Z = n° dei protoni (numero atomico) = n° degli elettroni

N = n° dei neutroni

$$N = A - Z$$

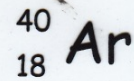


ISOTOPI = atomi aventi lo stesso valore di Z ma diverso valore di N e quindi diverso valore di A



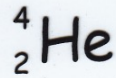
NUCLIDE = termine più generico per indicare una qualsiasi specie nucleare.

ISOBARI = nuclidi aventi lo stesso valore di A



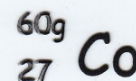
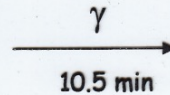
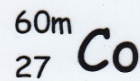
Isobari

ISOTONI = nuclidi aventi lo stesso valore di N ma diverso valore di Z e quindi diverso valore di A



Isotoni

ISOMERI = aventi lo stesso valore di N, lo stesso valore di Z e lo stesso valore di A ma che esistono in uno stato eccitato e decadono spontaneamente



ELEMENTI DI CHIMICA NUCLEARE

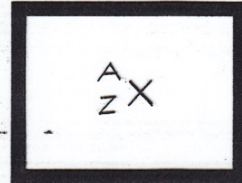
Nucleoni = le particelle nucleari (protoni ed i neutroni)

A = n° totale dei nucleoni (numero di massa)

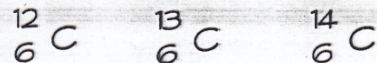
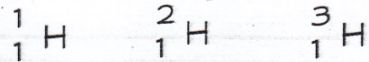
Z = n° dei protoni (numero atomico) = n° degli elettroni

N = n° dei neutroni

$$N = A - Z$$



- Isotopi = atomi aventi lo stesso valore di Z ma diverso valore di N e quindi diverso valore di A



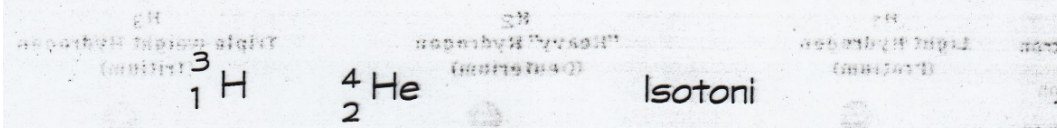
- Nuclide : termine più generico per indicare una qualsiasi specie nucleare

RADIONUCLIDE

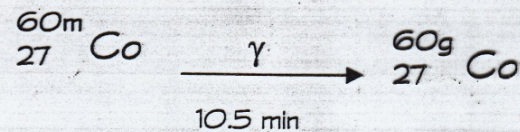
- Isobari = nuclidi aventi lo stesso valore di A



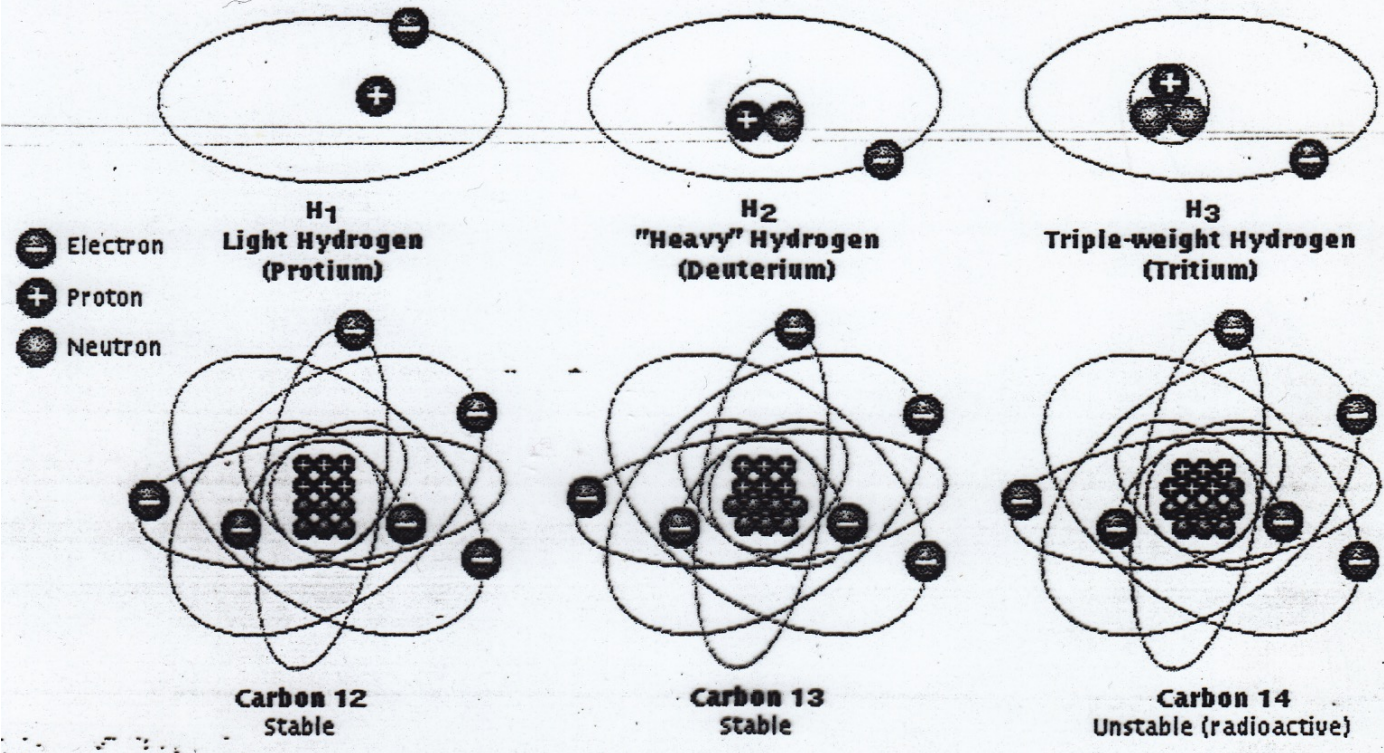
- Isotoni = atomi aventi lo stesso valore di N ma diverso valore di Z e quindi diverso valore di A



- Isomeri = atomi aventi lo stesso valore di N, lo stesso valore di Z e lo stesso valore di A ma che esistono in uno stato eccitato e decadono spontaneamente



Isotopes of Hydrogen and Carbon



Masse e Pesi Atomici

$$\text{amu (u)} = \frac{\text{massa } ^{12}\text{C}}{12} = \frac{1.99268 \times 10^{-23} \text{ g}}{12} = 1.66057 \times 10^{-24} \text{ g}$$

M = massa in amu

$$m = \text{massa in Kg} = M / 10^3 N_A$$

Non a riposo

$$\text{massa di un elettrone} = 9.1165 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 0.000549 \text{ amu}$$

$$\text{massa di un neutrone} = 1.6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1.008665 \text{ amu}$$

protone

$$\text{massa dell'atomo di } ^1\text{H} = 1.007825 \text{ amu}$$

- Non si usano le masse nucleari ma le masse atomiche

La massa di un nucleo può essere approssimativamente ottenuta sottraendo alla massa del nucleo la massa degli elettroni:

per ^{12}C :

$$1.99268 \times 10^{-23} - 6 (9.1165 \times 10^{-28}) = 1.99213 \times 10^{-23} \text{ g}$$

.....

Se un elemento è costituito da n_1 atomi dell' isotopo 1, n_2 atomi dell' isotopo 2.....

$$\text{Frazione isotopica } (x_1) = n_1 / (n_1 + n_2 + n_3) = n_1 / \sum n_i$$

$$\text{Rapporto isotopico } (\xi_1) = x_1 / x_2 = n_1 / n_2 \quad (\xi_2) = x_2 / x_1 = n_2 / n_1$$

Massa Atomica o Peso Atomico:

$$(M) = x_1 M_1 + x_2 M_2 + x_3 M_3 \dots = \sum x_i M_i$$

$$E = mc^2$$

per 1 g di materia :

$$E = 1 \text{ g} \times (3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s})^2 = 9 \cdot 10^{20} \text{ g cm}^2/\text{s}^2 = 9 \cdot 10^{20} \text{ erg}$$

se $m = 10^{-3} \text{ Kg}$ e $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$:

$$E = 9 \cdot 10^{13} \text{ J} = 9 \cdot 10^{10} \text{ kJ}$$

: 10^{-7} erg/J

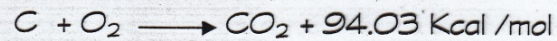
Poichè $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$:

$$E = \frac{9 \cdot 10^{13} \text{ J}}{4.184} = 2.1 \cdot 10^{13} \text{ cal} = 2.1 \cdot 10^{10} \text{ kcal}$$

Poichè $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$:

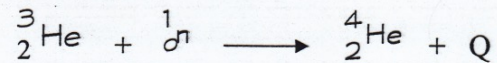
$$E = \frac{9 \cdot 10^{13} \text{ J}}{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} = 5.62 \cdot 10^{32} \text{ eV} = 5.62 \cdot 10^{26} \text{ MeV}$$

per esempio:



(Il calore di formazione di un composto è una misura della sua stabilità)

$$\frac{2.1 \cdot 10^{10} \text{ kcal}}{1 \text{ g}} = \frac{94.03 \text{ kcal}}{x \text{ (g)}} \quad x \text{ (g)} = 4.4 \cdot 10^{-9} \text{ g}$$



$$Q = 20.5 \text{ MeV}$$

Nelle reazioni nucleari le variazioni di energia hanno valori molto più elevati

1 eV : l'energia acquistata da una carica elettronica unitaria quando essa è accelerata da una differenza di potenziale di 1 volt

$$10^3 \text{ eV} = 1 \text{ KeV} \quad 10^6 \text{ eV} = 1 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ eV} = 3.8268 \cdot 10^{-20} \text{ cal}$$

$$1 \text{ eV} = \frac{3.8268 \cdot 10^{-20} \text{ cal} \times 6.0220 \cdot 10^{23}}{1000} = 23.06 \text{ kcal/mol}$$

$$1 \text{ eV} = \frac{1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ J} \times 6.0220 \cdot 10^{23}}{1000} = 96.48 \text{ kJ/mol}$$

Inoltre, dalla relazione $E = mc^2$

$$1 \text{ amu} = 1.66057 \times 10^{-24} \text{ g} = 931.5 \text{ MeV}$$

Quindi:

$$20.5 \cdot 10^6 \text{ eV} : x \text{ (kcal/mol)} = 1 \text{ eV} : 23.06 \text{ kcal/mol}$$

$$x = 4.7 \cdot 10^8 \text{ kcal/mol}$$

$$20.5 \text{ MeV} : x \text{ (amu)} = 931.5 \text{ MeV} : 1 \text{ amu}$$

$$x = 0.022 \text{ amu}$$

AS X

Difetto di Massa

$$M_A \approx Z M_H + N M_n$$

TEORICO

$$\text{Difetto di Massa } (\Delta M_A) = M_{\text{Exp}} - Z M_H - N M_n$$

per il deuterio:

$$M_H + M_n = 1.007825 + 1.008665 = 2.016490 \text{ amu}$$

La massa misurata sperimentalmente è 2.014102 amu

$$\Delta M_A = 2.016490 - 2.014102 = -0.002388 \text{ amu}$$

$$0.002388 \text{ amu} \times 931.5 \text{ MeV / amu} = 2.224 \text{ MeV}$$

per il $^{11}_5\text{B}$:

$$Z M_H = 5 \times 1.007825 = 5.039125 +$$

$$N M_n = 6 \times 1.008665 = 6.051992$$

$$11.091112 -$$

massa dell'atomo - massa $5 e^- = 11.00657$

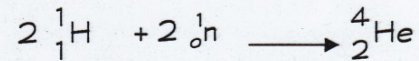
$$\Delta M_A = 0.084542 \text{ amu} \longrightarrow 78.76 \text{ MeV}$$

↓ / 11

7.16 MeV / nucleone

Energia di legame

E' l'energia liberata nella formazione del nucleo a partire dai suoi nucleoni componenti



$$\Delta M_{\text{He}} = M_{\text{He}} - 2 M_{\text{H}} - 2 M_{\text{n}} = 4.002604 - (2 \times 1.007825) - (2 \times 1.008665) = -0.030376 \text{ amu}$$

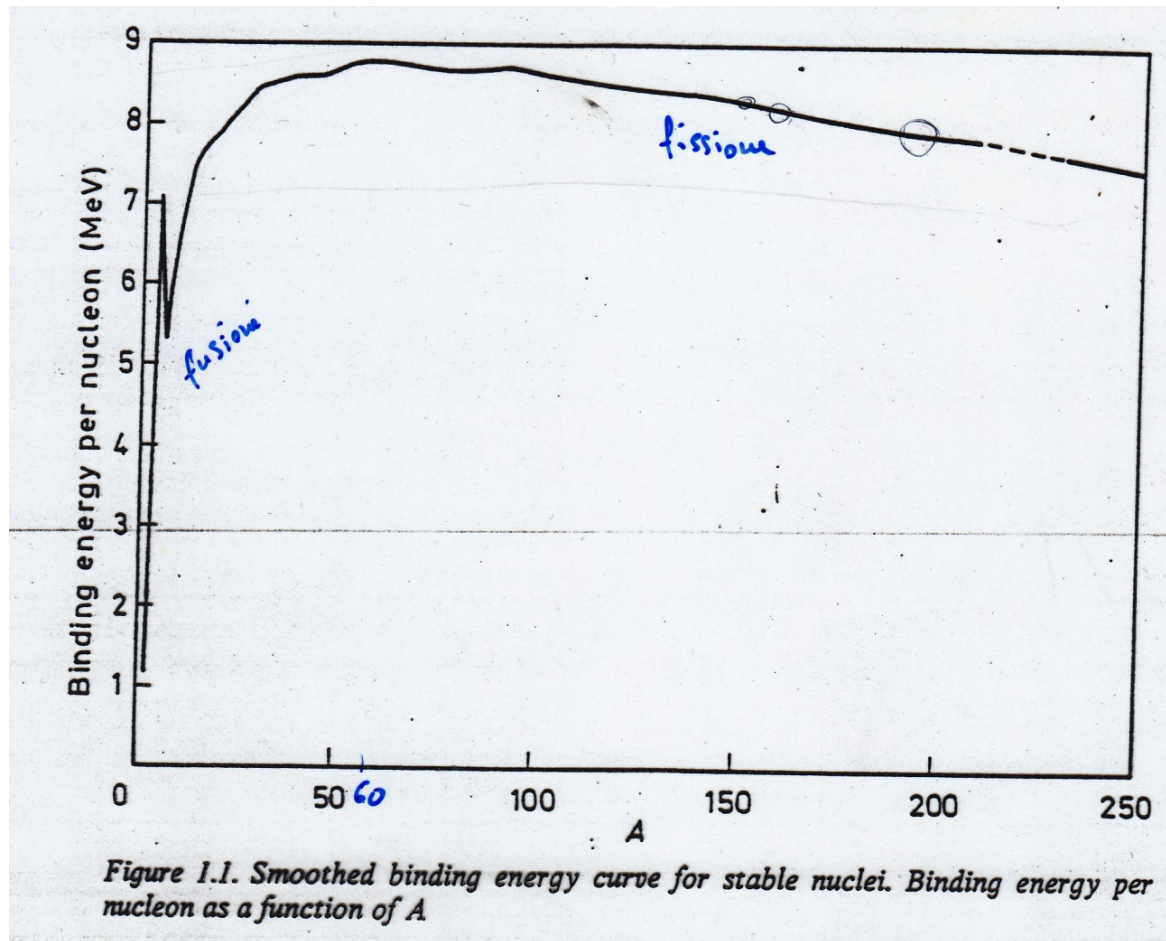
$$E_B(\text{MeV}) = -931.5 \Delta M_A \text{ amu}$$

$$E_B = 28.3 \text{ MeV}$$

energia nucleare per nucleone : BE/A

Si può paragonare la stabilità dei vari nuclei.

^2H	^3He	^4He	^6Li	^7Li	^9Be	^{10}B	^{11}B	^{12}C
1.11	2.57	7.07	5.33	5.60	6.46	6.47	7.11	7.68
	^5Li	^6Li	^7Li	^8Li				
	5.26	5.33	5.60	5.16				
	radioattivo	stabile	stabile	radioattivo				



Energia di Legame

$$BE / A \sim \text{costante}$$
$$BE \sim \text{costante} \cdot A$$

$$BE \propto A$$

Raggio Nucleare

unità:

per l'atomo: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

per il nucleo 1 Fermi = 10^{-15} m

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

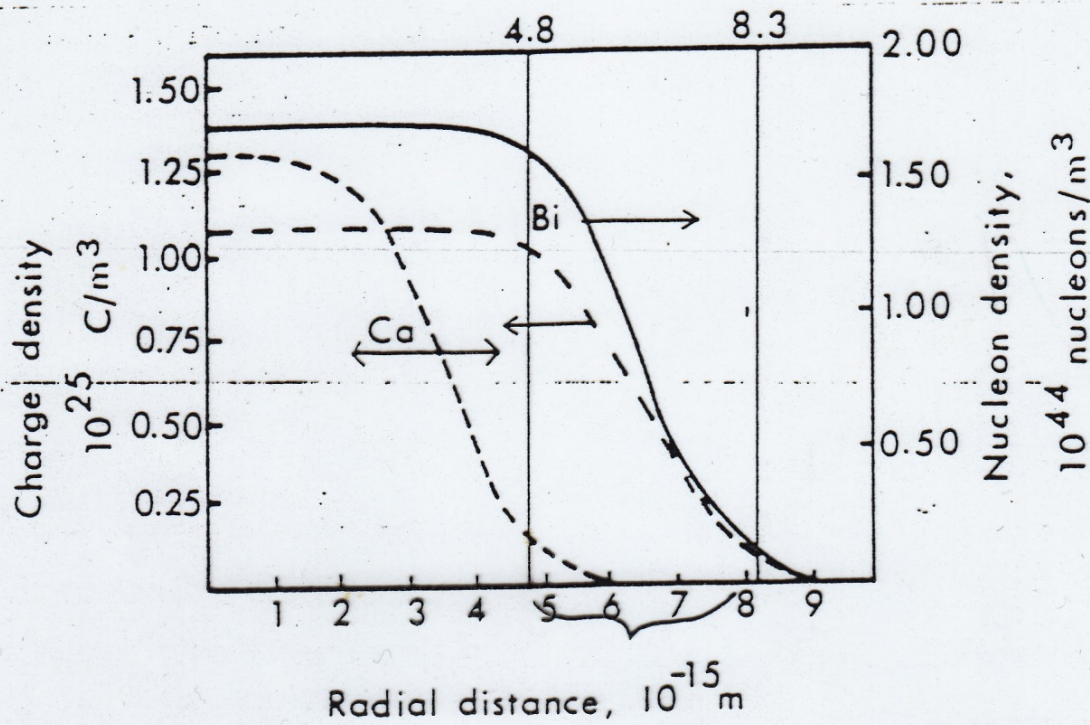
$$V \propto A$$

$$V \propto r^3$$

$$r^3 \propto A$$

$$r \propto A^{1/3}$$

$$r = r_0 \cdot A^{1/3}$$



Experimentally measured charge and nuclear density values for ^{40}Ca and ^{209}Bi as a function of the nuclear radius.

Se applichiamo $r = r_0 A^{1/3}$ $r_0 = 1,4 \cdot 10^{-15}$

$$r_{\text{Ca}} = 1,4 \cdot 10^{-15} \times 40^{1/3} = 4,79 \cdot 10^{-15}$$

$$r_{\text{Bi}} = 1,4 \cdot 10^{-15} \times 209^{1/3} = 8,31 \cdot 10^{-15}$$

Barriera Nucleare Coulombiana

$$V(\text{erg}) = \frac{(Z e)_1 (Z e)_2}{D(\text{cm})}$$

$$e = 4.8 \cdot 10^{-10} \text{ esu}$$

unità di carica elettrostatica nel sistema CGS (esu o statcoulomb)

per il bombardamento dell' ^{238}U con particelle α :

$$V(\text{erg}) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{R_U + R_{\text{He}}} = \frac{(92 \times 2) (4.8 \cdot 10^{-10} \text{ esu})^2}{(1.4 \cdot 10^{-13}) (238^{1/3} + 4^{1/3})}$$

$$= 3.88 \cdot 10^{-5} \text{ erg} \quad \xrightarrow{\times 6,241 \cdot 10^{11} \text{ eV}} \quad 24.2 \text{ MeV}$$

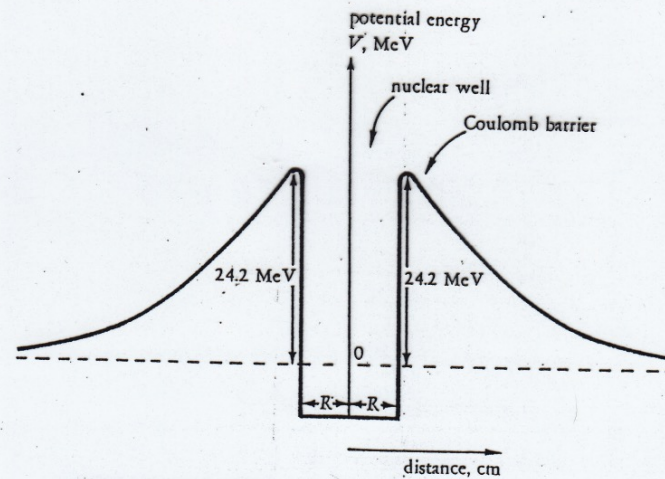


Figure 1-4 Nuclear coulomb barrier and potential well for U^{238} and He^4 .

Forze Nucleari

1. Sono forze a corto raggio
2. Sono indipendenti dalla carica

1) Deboli a grandi distanze molto forti a piccole distanze
Si esercitano solo tra nuclei adiacenti.
 $B_E/A \approx \text{cost}$

2) Attrazione tra protone e neutrone è uguale a quella
protone-protone e neutrone-neutrone

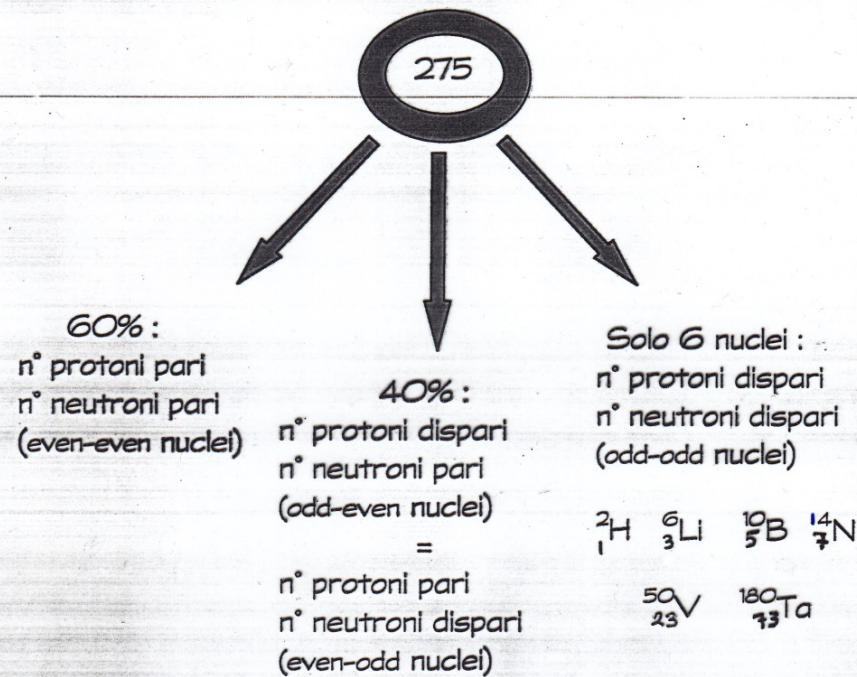
IPOTESI DI "FORZE DI SCAMBIO" di YUKAWA

Nucleoni condividono particelle (mesoni) analoghe
alla condivisione degli elettroni nei legami che uniscono
gli atomi nella molecola

POWELL scopre i pioni o pi-mesoni con una
massa 273 volte quella degli elettroni (+, - o neutri)

Stabilità Nucleare

I nuclei stabili al decadimento radioattivo sono circa:



La stabilità nucleare è favorita da un numero pari di protoni e di neutroni

TABLE 3.1. Number of stable nuclides for some different proton (Z) and neutron (N) numbers

Number of protons or neutrons	Number of stable nuclei with number of	
	Protons (isotopes)	Neutrons (isotones)
19	2 (K)	0
20	6 (Ca)	5
21	1 (Sc)	0
27 ←	1 (Co)	1
28	5 (Ni)	5
29	2 (Cu)	1
→ 48	8 (Cd)	4
49 ←	1 (In)	1
→ 50	10 (Sn)	5
51 ←	2 (Sb)	1
→ 52	8 (Te)	4
81	2 (Tl)	1
82	4 (Pb)	8
83	1 (Bi)	1

Handwritten notes:
 - An arrow points from the handwritten text "2 even-even" to the entry for 48 protons (Cd) and 48 neutrons (Cd).
 - An arrow points from the handwritten text "3 even-odd" to the entries for 50 protons (Sn) and 51 neutrons (Sb).

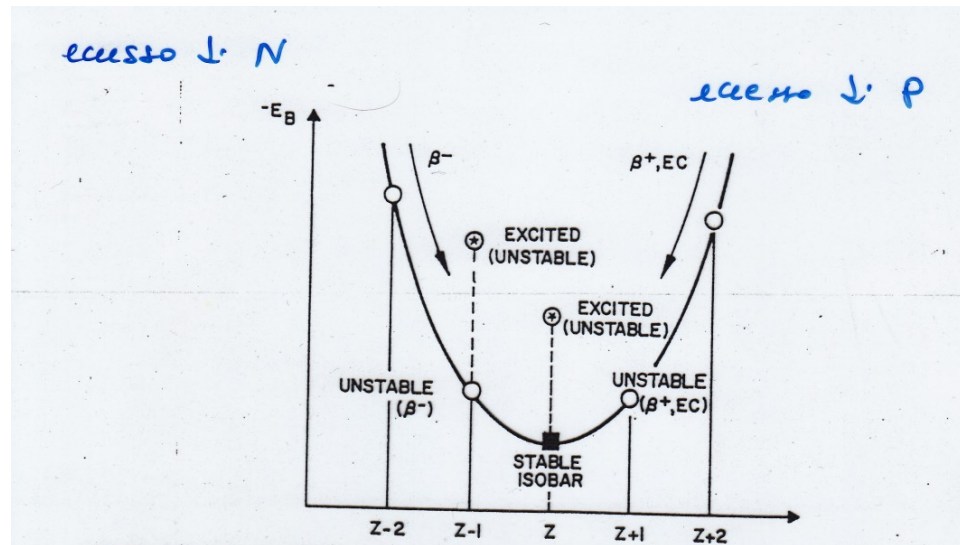
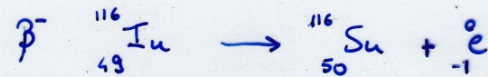


FIG. 3.6. Isobar cut across the stability valley showing schematically the position of different kinds of nuclei.



$$N = 67 \text{ dis}$$

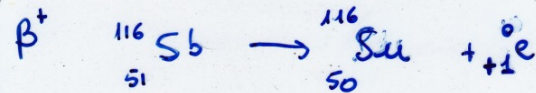
$$Z = 49 \text{ dis}$$

$$N/Z = 1.36$$

$$N = 66 \text{ pari}$$

$$Z = 50 \text{ pari}$$

$$N/Z = 1.30$$



$$N = 65 \text{ dis}$$

$$Z = 51 \text{ dis}$$

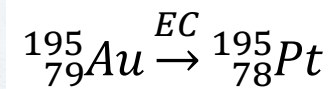
$$N/Z = 1.27$$

$$N = 66 \text{ pari}$$

$$Z = 50 \text{ pari}$$

$$N/Z = 1.32$$

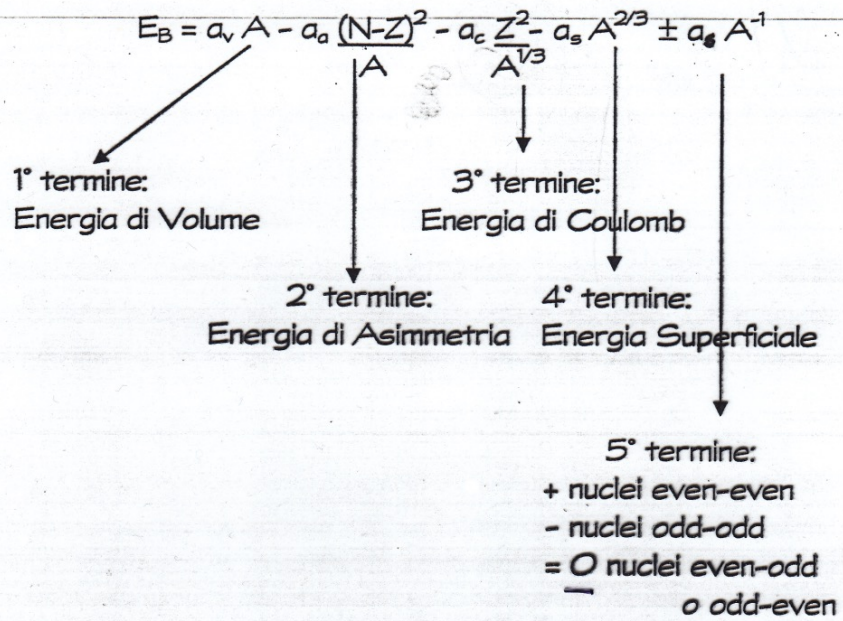
Cattura elettronica (EC)



EQUAZIONE DI MASSA SEMIEMPIRICA

Equazione di Weizsacker (1935):

-modello a goccia di liquido

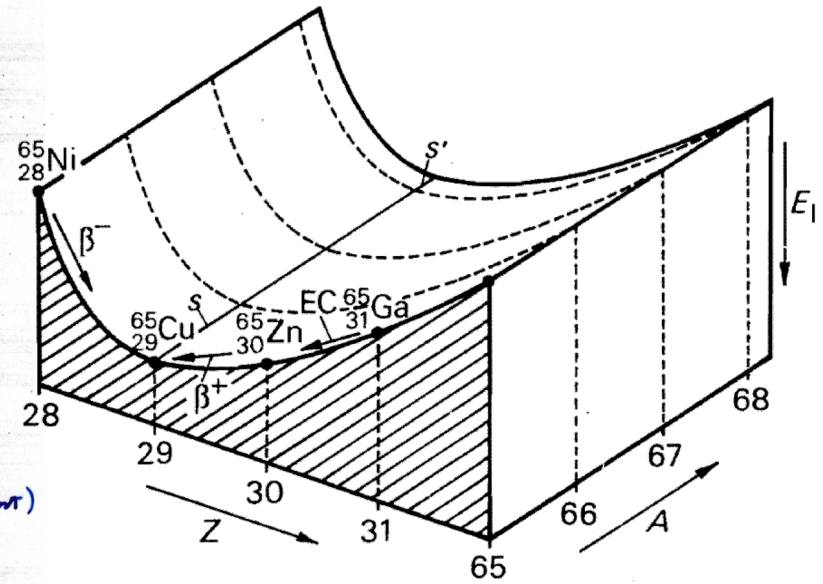


E_B in funzione di Z

$$E_B = aZ^2 + bZ + c \pm dA^{-1} \quad (\text{curve isobara } A = \text{cost})$$

Massime Stabilità dei nuclei

$$Z = A \left(2 + \frac{a_c}{2 a_a} A^{2/3} \right)^{-1}$$



Valle dei nuclei

MODELLO NUCLEARE "A GUSCI"

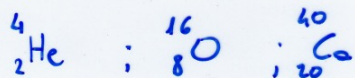
Proposto per spiegare la stabilità dei nuclei "magici".

Nel nucleo protoni e neutroni si trovano su orbitali nucleari analoghi agli orbitali atomici occupati dagli elettroni.

I numeri magici corrispondono al completamento dei gusci da parte di neutroni o di protoni con strutture particolarmente stabili come avviene per il riempimento totale degli orbitali da parte degli elettroni.

Questo modello spiega anche la maggiore stabilità dei nuclei con protoni o neutroni pari (accoppiati con spin opposti) rispetto a quelli in cui c'è un protone o un neutrone non accoppiato (dispari).

Energia del decadimento relativo normalizzata.



Sono elementi doppiamente magici: $N = Z = 2$

" 8

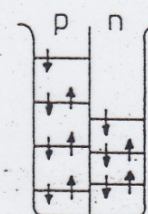
" 20

Serie Isobare

$^{12}_5\text{B}$

$^{12}_6\text{C}$

$^{12}_7\text{N}$



UNSTABLE

STABLE

UNSTABLE

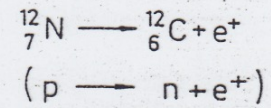
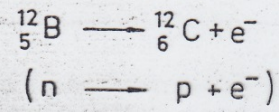


FIG. 3.2. The separation and pairing of nucleons in assumed energy levels within the isobar $A = 12$. Half-life for the unstable ^{12}B is 0.02 s, and for ^{12}N 0.01 s.

