

# FISICA NUCLEARE (1)

## Organizzazione del corso

- Lezioni: ogni mercoledì e ogni venerdì dalle 9:00 alle 11:00 in aula C
- Docenti: Margagliotti Giacomo (40 h)  
Zaccolo Valentina (8 h, da venerdì 28/04 a mercoledì 10/05)
- Seminario su Fisica neutroni: Milazzo Paolo Maria (2 h, mercoledì 19 aprile)

Esami: orali

Verranno fornite dispense sugli argomenti trattati

# FISICA NUCLEARE (1)

- Costituenti fondamentali della materia
- Elementarità
- Nucleo atomico
- Tabella dei nuclidi
- Unità di misura e scale dimensionali
- Proprietà del nucleo atomico: masse dei nuclei

## • Costituenti fondamentali della materia

Fine 19° secolo: esistenza elementi diversi con proprietà periodicamente ricorrenti → chiara indicazione di una struttura interna per atomi.

- Atomo: **nucleo** denso circondato da una *nuvola* di **elettroni**.
- **Nucleo** decomponibile in costituenti più piccoli, **nucleoni**: **protoni** e **neutroni**.
- Prima della scoperta del **neutrone** (Chadwick 1932) si pensava nuclei composti da **protoni** ed **elettroni**.

## • Elementarità

Sistema **elementare** se privo di struttura interna e si comporta come un punto materiale → non può assorbire energia dall'esterno trasformandola in energia interna

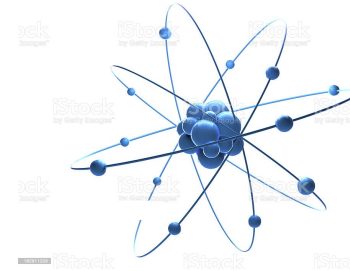
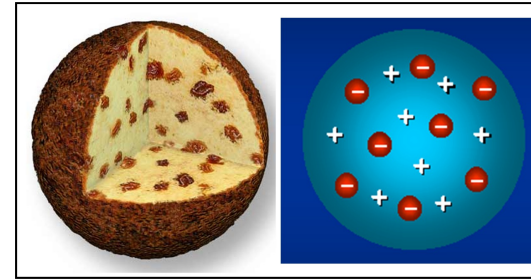
Tutta l'energia trasferita a una particella elementare si trasforma in sua energia cinetica

Energia di gradi di libertà interni d'una particella non ha distribuzione continua, ma **discreta**,  $E_0, E_1, E_2, \dots$  → si evidenzia natura composita della particella trasferendo almeno energia pari alla **soglia**:  $E_s = E_1 - E_0$

Con energie  $< E_s$ , particella sembra elementare → studio struttura interna richiede energie sempre maggiori

# Nucleo atomico

- 1896 → Bequerel: Radioattività
- 1904 → Thomson: Atomo a panettone
- 1909 → Rutherford: Nucleo atomico

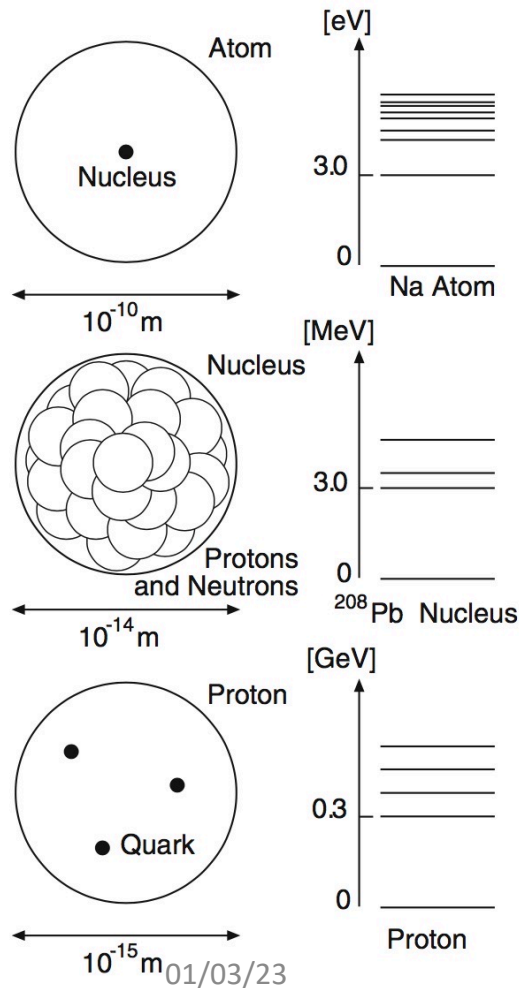


Atomo di Bohr: nucleo circondato da  $Z e^-$

**Atomo praticamente vuoto !**

**Nucleo** →  $A$  sferette ~ rigide (nucleoni), a massimo impacchettamento ⇒ forma tende a sfera al crescere di  $A$ ; **volume  $\propto A$** , raggio  $R \propto \sqrt[3]{A}$ :  **$R = r_0 A^{1/3}$**

- $A$  (nucleoni) =  $Z$  (protoni) +  $N$  (neutroni)
- Specie caratterizzata da carica  $Ze$  e da massa  $M(A,Z)$
- Masse:  $m_p \approx m_n \approx 2000 m_e$  (⇒ spesso trascurabile contributo  $e^-$ )
- $A$  intero più vicino al rapporto fra la massa d'un nucleo e quella di un  $p$
- Per nuclei oltre l'idrogeno ⇒  $A > Z$  e  **$(A-Z)$  cresce con  $A$**
- Per nuclei oltre il Ne anche  **$(A-Z)/A = N/A$  cresce con  $A$**



- Si pensò massa del nucleo  $\sim$  tutta dovuta a  $p^+$ , con  $(A - Z)e^-$  per bilanciare la carica

Ma  $e^-$  non può essere componente strutturale d'un nucleo !

- Forza attrattiva  $p-e$  nel nucleo dovrebbe essere  $\gg$  coulombiana  $\Rightarrow$  perché dunque non coinvolge anche  $e$  atomici ?
- Incertezza  $\Delta x$  su posizione  $e^-$  nel nucleo è  $\approx 10^{-14} \text{ m}$   $\Rightarrow$  incertezza su impulso  $e^-$  nel nucleo

$$\Delta p \sim h/\Delta x \sim 4.14 \times 10^{-7} \text{ MeV s m}^{-1}$$

da cui grezza stima energia tot.  $e^-$  nel nucleo:

$$E_{tot}^2 = p_e^2 c^2 + m_e^2 c^4 \quad \text{assumendo } p_e \text{ nel nucleo dell'ordine di } \Delta p$$

Con  $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,  $m_e \approx 0.51 \text{ MeV}/c^2$ , si ha:

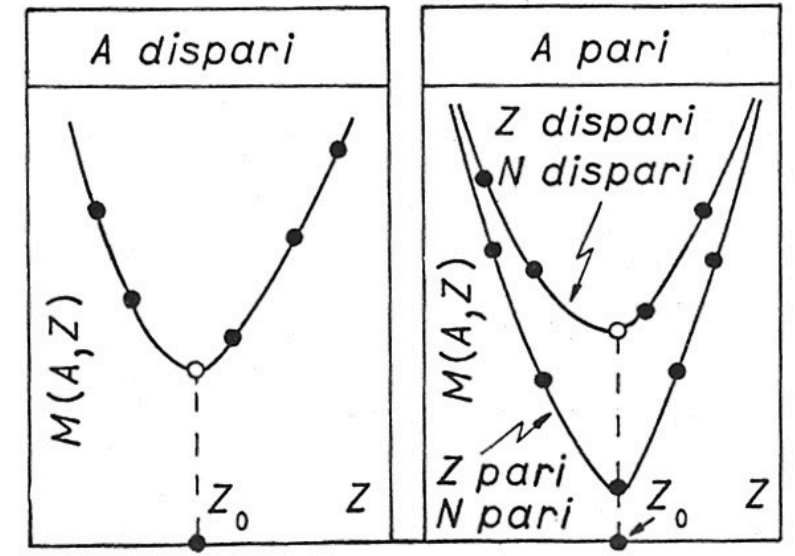
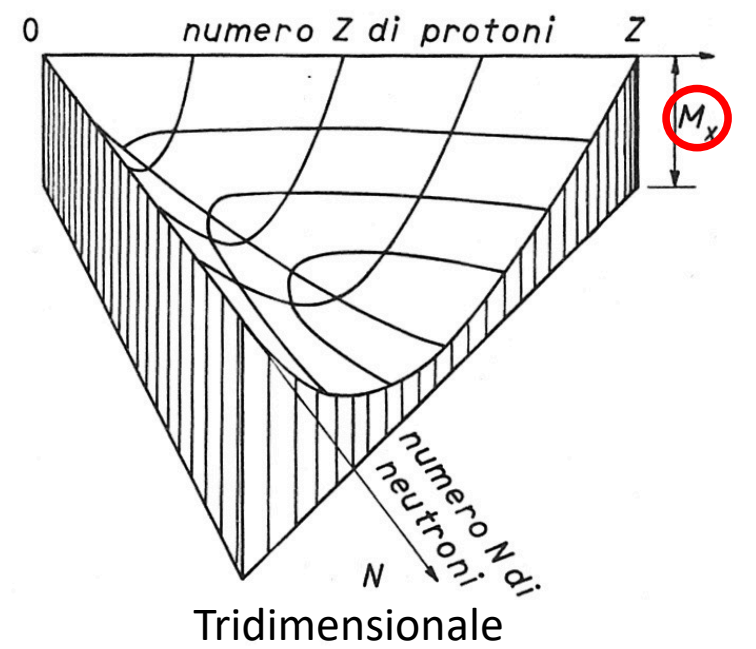
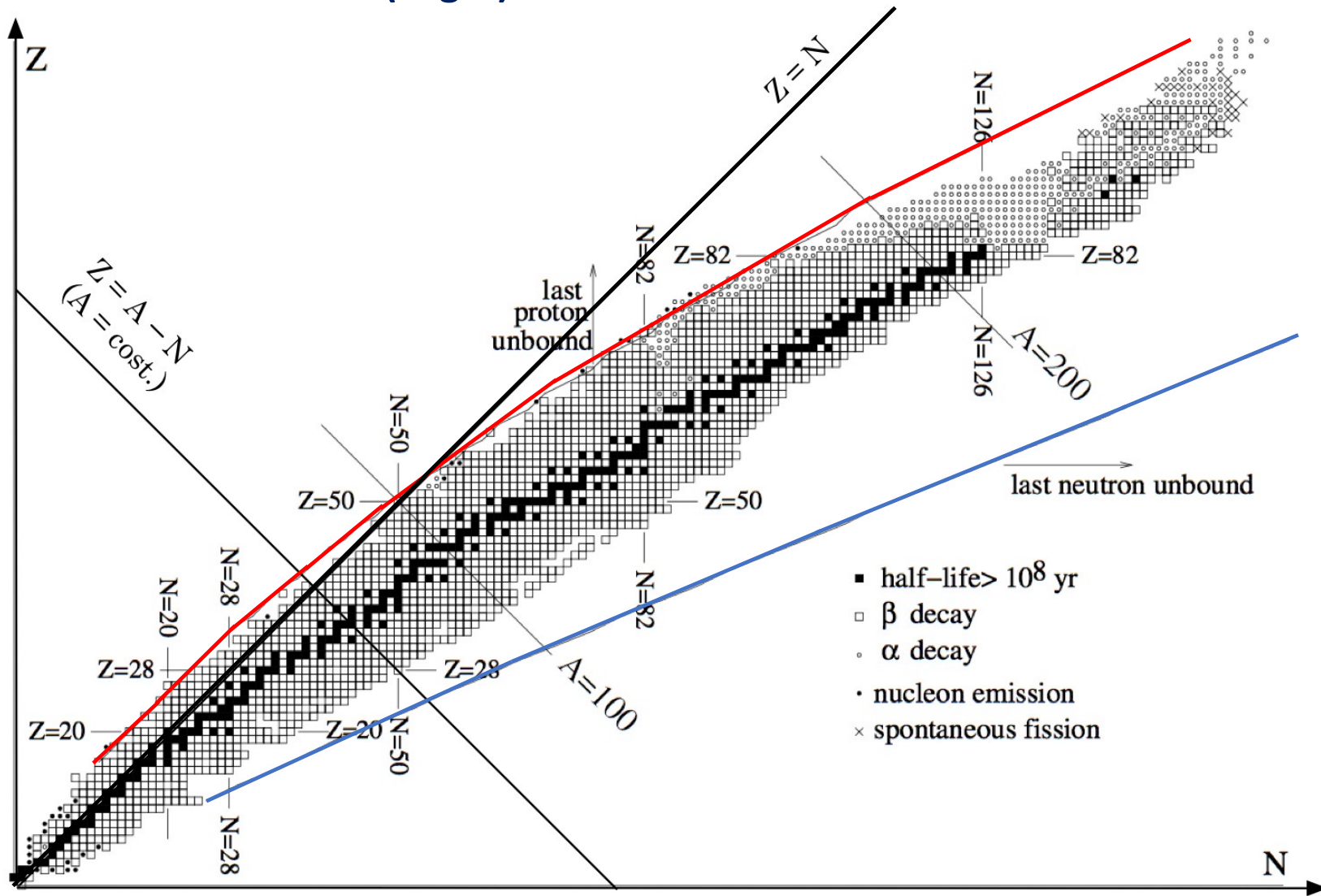
$$E_{k,e} \approx 124 \text{ MeV}$$

valore **non compatibile** con energie del decadimento  $\beta$  (massimo alcuni MeV), e con l'essere il nucleo una struttura legato ( $\approx 8 \text{ MeV}$  en. media di legame per nucleone)

- Violato principio di conservazione del momento angolare totale per sistema isolato

- ▶ Nuclei con  $e$  disaccoppiati avrebbero momenti magnetici  $\gg$  di quelli osservati:  
se nucleo di **deuterio** contenesse un  $e$ , suo mom. dip. magnetico sarebbe  $\sim 2000$  volte maggiore
- Scoperta  $n$  risolse problema:  $n$  ha carica nulla e  $m_n > m_p$  dello 0.14% circa
- Il  $n$  ha mom. magnetico intrinseco  $\neq 0$ , pari in modulo  $\sim$  al 68% di quello del  $p$ , **indizio di una struttura interna!**
- Densità media di nucleoni in un nucleo:  $\rho_0 \simeq 0.17$  nucleoni  $\times$  fm $^{-3}$
- Specie nucleare (nuclide)  $X$  si indica:  ${}^A_Z X_N$ , talvolta si omette  $N$
- Nuclei con ugual n. atomico  $Z$  e diverso n. di massa  $A$ , e quindi  $N$ , sono detti **isotopi**
- Nuclei con ugual n. di massa  $A$  e diversi n. atomici  $Z$  ed  $N$ , sono detti **iobari**
- Nuclei con ugual n. di neutroni  $N$  e diverso n. di massa  $A$  e quindi  $Z$ , sono detti **isotoni**
- Un **nucleo in uno stato eccitato è detto isomero** del proprio stato fondamentale

# Tabella dei nuclidi (Segrè)



Sezioni ad  $A$  costante  
(sequenze isobariche)

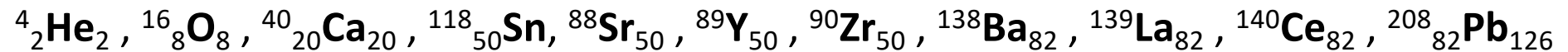
Nucleo  ${}^A_ZX$  **stabile** se sopravvive indefinitamente, **instabile** se si trasforma **spontaneamente** in  ${}^{A'}_{Z'}X$

$Z_0$  sul minimo di  $M(A,Z)$  individua isobaro più stabile della particolare sequenza

Sperimentalmente alcune **quasi-regolarità**:

- nuclei con  $A$  **pari** da uno a tre **isotopi** stabili;
- nuclei con  $A$  **dispari** un solo **isotopo** stabile;
- nuclei con  $Z$  ( $N$ ) **pari** hanno almeno due **isotopi (isotoni)** stabili; con  $Z$  ( $N$ ) **dispari** mai più di due

**Abbondanze isotopiche relative** dei nuclei nei materiali che compongono **Terra, meteoriti, Sole** e le altre **stelle** hanno massimi in corrispondenza a



Specie nucleari con  $Z$  o  $N$  appartenenti alla sequenza:  $Z, N = 2, 8, 20, 50, 82, 126$  (#)

hanno quindi proprietà che ne giustificano la grande abbondanza nell'Universo

- Nuclei della sequenza (#) hanno il massimo numero di **isotopi** stabili
- I numeri della sequenza (#) sono detti **numeri magici** ( $Z^*, N^*$ ) (... ricorda ruolo gas nobili ...)

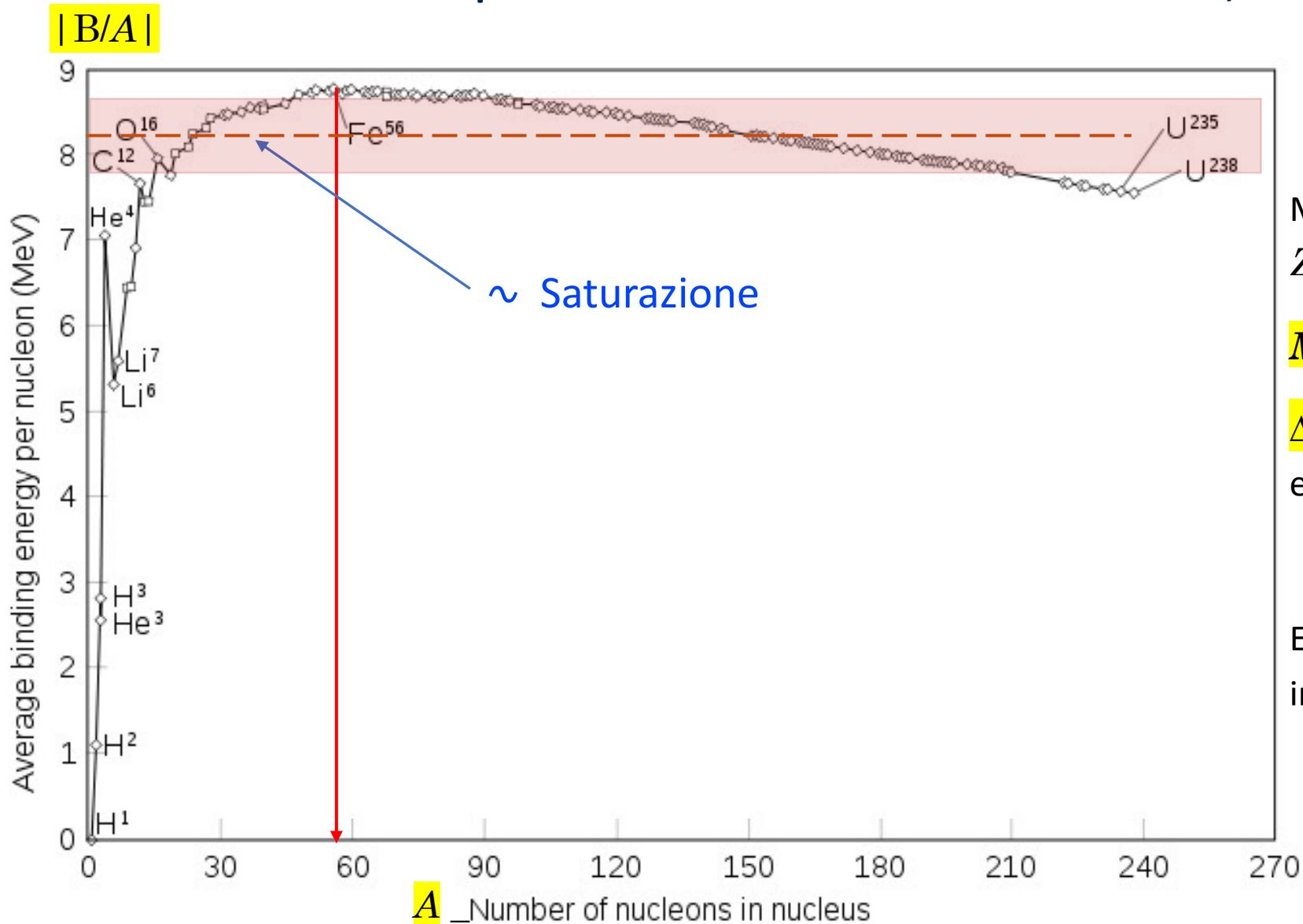


## Unità di misura e scale dimensionali

- Carica elementare:  $e \simeq 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- $1 \text{ eV} \simeq 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Cost. di Boltzmann:  $k_B = 1.38064852(79) \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} = 8.61673324(78) \times 10^{-5} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}$
- Velocità luce nel vuoto:  $c = 299792458 \text{ m/s}$
- $1 \text{ kg} \simeq 5.62 \cdot 10^{35} \text{ eV}/c^2$
- Unità massa atomica:  $1 \text{ u} = 1 \text{ M}_{12\text{C}} = 931.494 \text{ MeV}/c^2 = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- Costante di Plank:  $\hbar = h/2\pi \simeq 1.055 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \simeq 6.582 \cdot 10^{-22} \text{ MeV} \cdot \text{s}$
- Magnetone elementare:  $\mu = q\hbar/2M$  ( $\mu \simeq \mu_B/2000$ )

$$c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} \simeq \frac{1}{137.036}$$

## Proprietà del nucleo atomico: masse dei nuclei; dimensioni dei nuclei



Massa  $M(A, Z)$  d'un nucleo  ${}^A_ZX$  con  $Z$  protoni e  $(A - Z)$  neutroni:

$$M(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n - \Delta M(A, Z)$$

$\Delta M(A, Z) \rightarrow$  **difetto di massa**, negativo e  $\propto$  energia di legame  $B$  del nucleo:

$$B = c^2 \Delta M(A, Z)$$

Energia media di legame per un nucleone in un nucleo:

$$|B/A| = -B/A$$

## Misura di masse nucleari

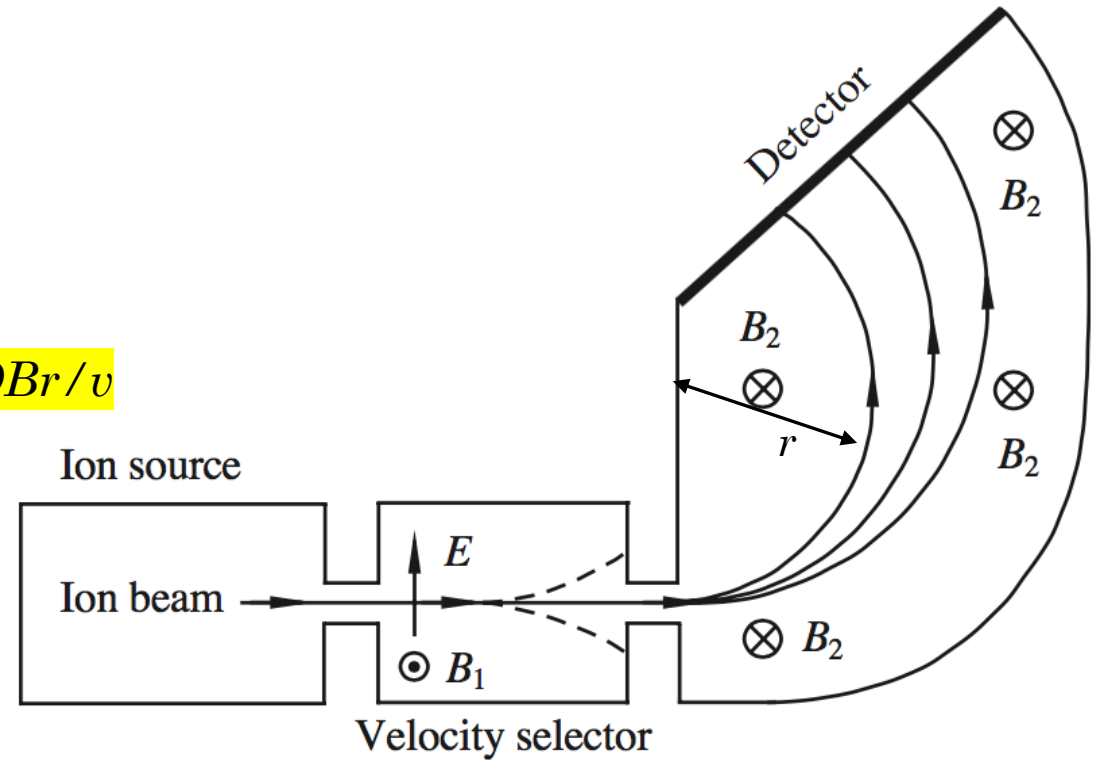
### Spettrometro di massa:

- **selettore velocità**  $\Rightarrow QE + QvB = 0 \Rightarrow |v| = E/B$

- **spettrometro magnetico**  $\Rightarrow QvB = Mv^2/r \Rightarrow M = QBr/v$

ed essendo  $E_k = mv^2/2$ , da cui

$$v = (2E/m)^{1/2} \Rightarrow M = (QBr)^2 / 2E$$



**Se nucleo vive per tempo troppo breve  $\Rightarrow$  altre tecniche:** bilancio energetico dettagliato di **reazioni nucleari** contenenti quel nucleo e nuclei di cui è nota la massa per vie spettroscopiche.

Esempio trattando reazioni nucleari