

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

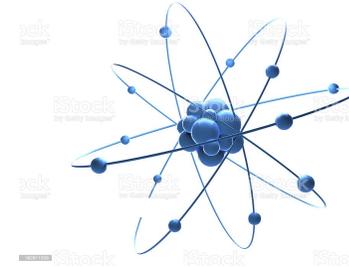
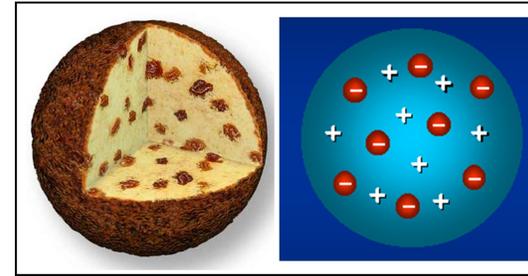
Tutta l'energia trasferita a una particella elementare si trasforma in sua energia cinetica

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

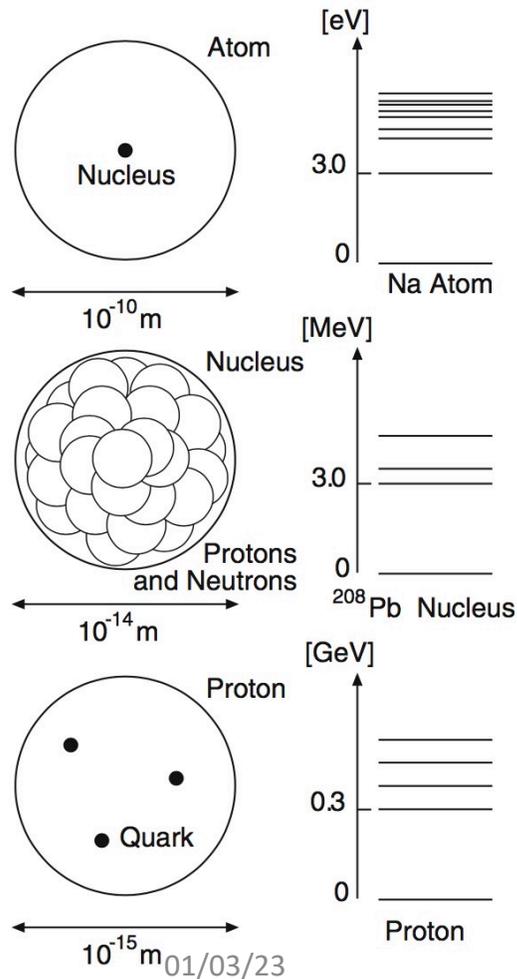


Atomo di Bohr: nucleo circondato da $Z e^-$

Atomo praticamente vuoto !

Nucleo → A sferette \sim rigide (nucleoni), a massimo impacchettamento \Rightarrow 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: $m_p \approx m_n \approx 2000 m_e$ (\Rightarrow 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 $\Rightarrow A > Z$ 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 Δx su posizione e^- nel nucleo è $\approx 10^{-14}$ 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 $c \approx 3 \times 10^8$ m/s, $m_e \approx 0.51$ MeV/c², si ha:

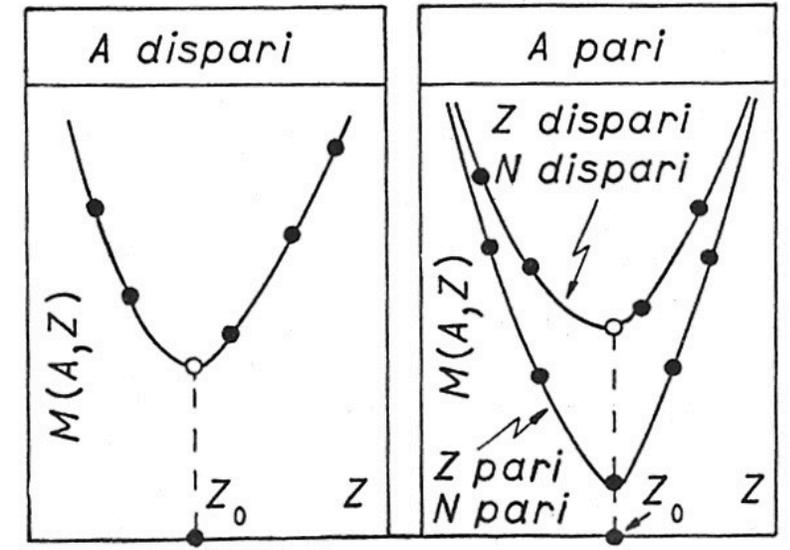
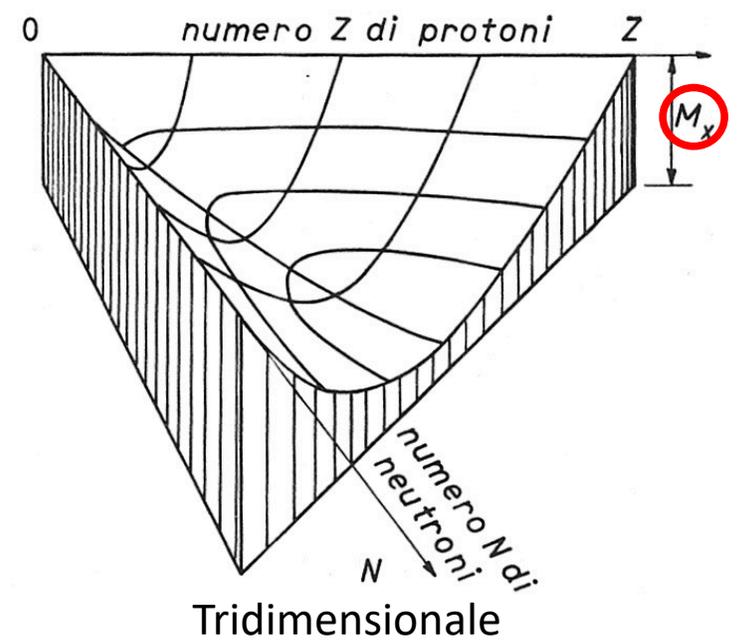
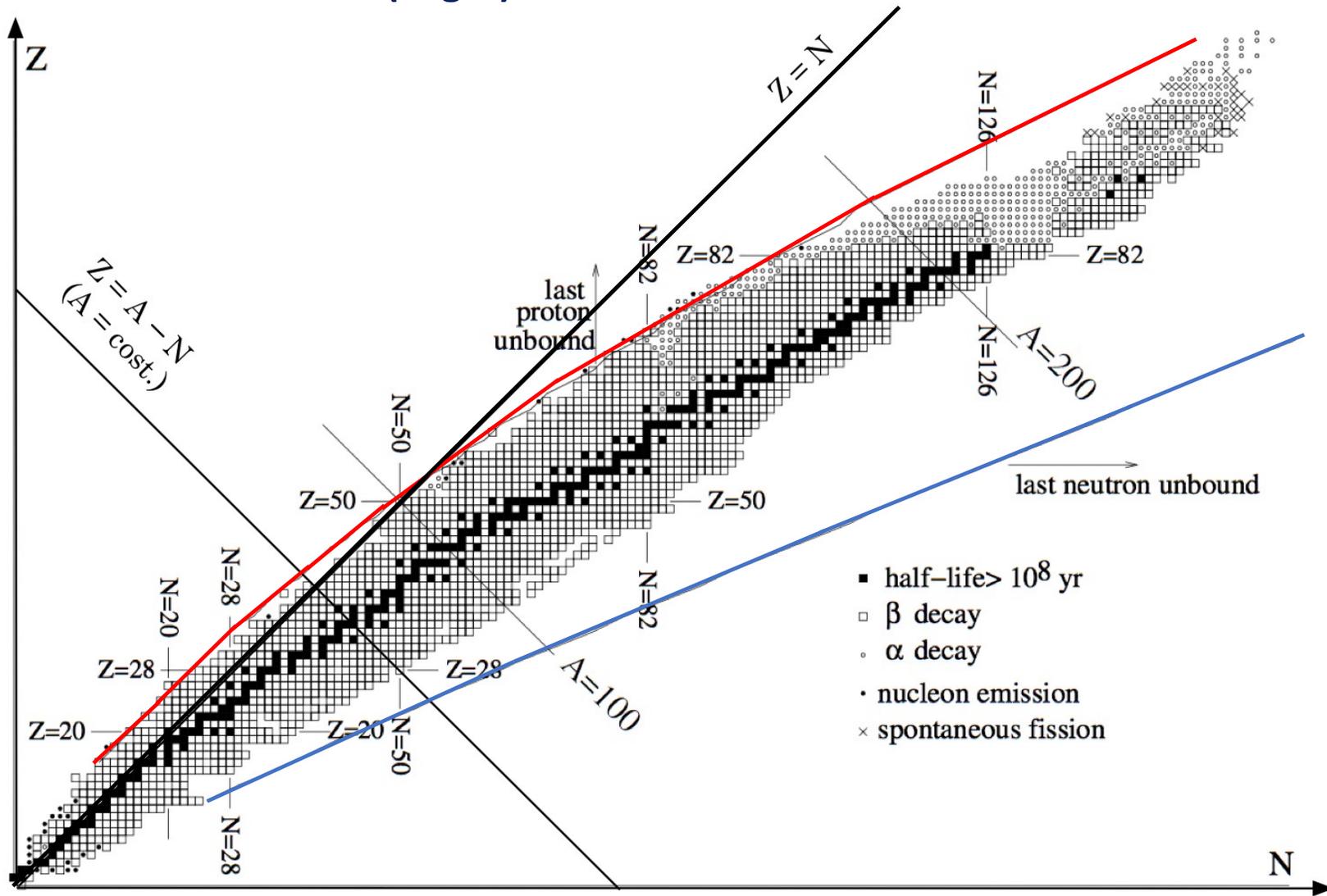
$$E_{k,e} \approx 124 \text{ MeV}$$

valore **non compatibile** con energie del decadimento β (massimo alcuni MeV), e con l'essere il nucleo una struttura legato (≈ 8 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 ~ 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)



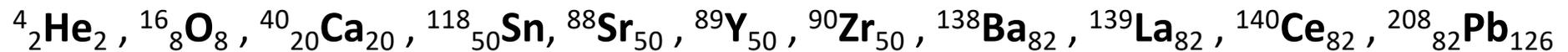
Nucleo A_ZX **stabile** se sopravvive indefinitamente, **instabile** se si trasforma **spontaneamente** in ${}^{A'}_{Z'}X$

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

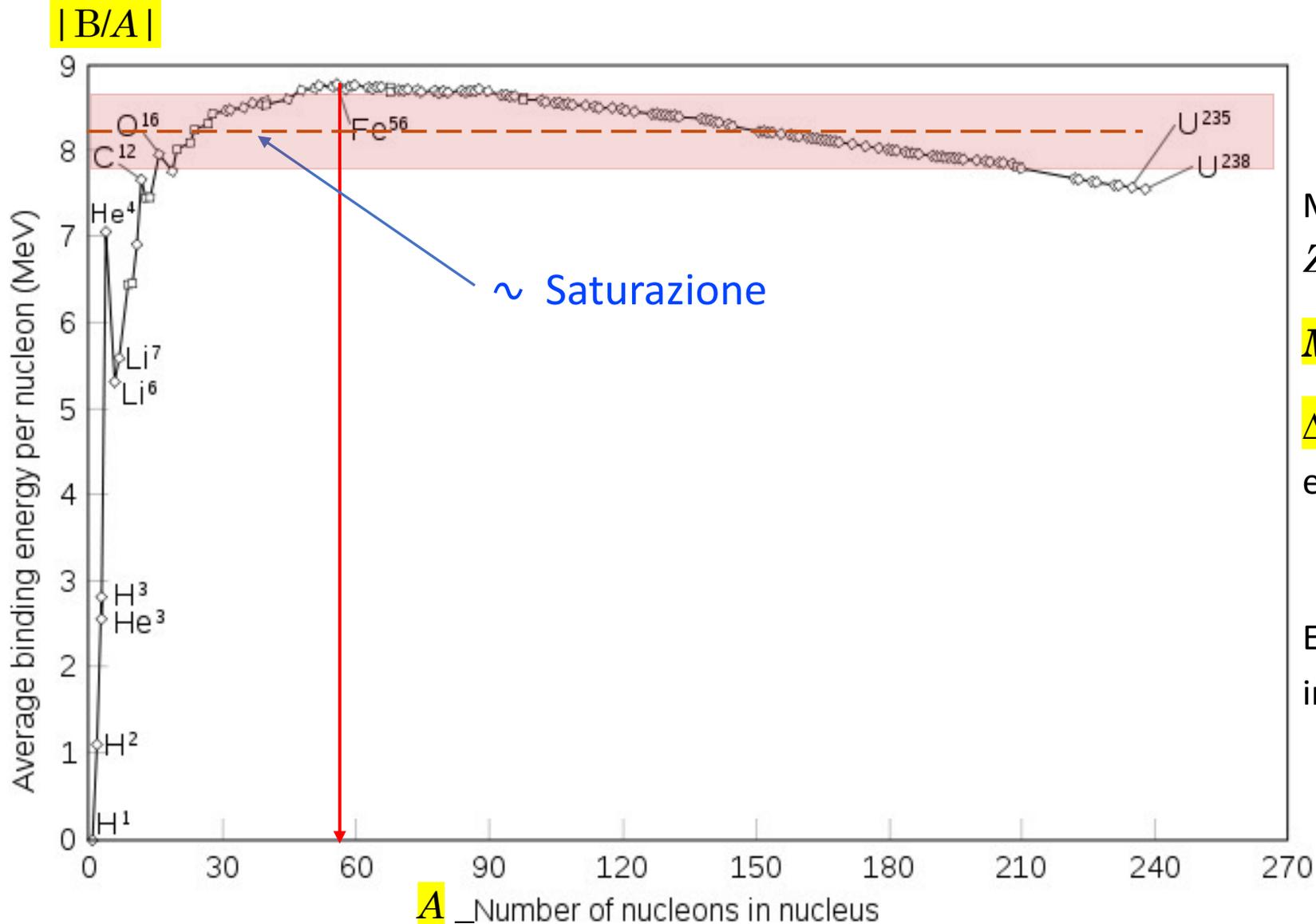
- Nuclei della sequenza (#) hanno il massimo numero di **isotopi** stabili
- I numeri della sequenza (#) sono detti **numeri magici** (Z^*, N^*) (... ricorda ruolo gas nobili ...)

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:

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

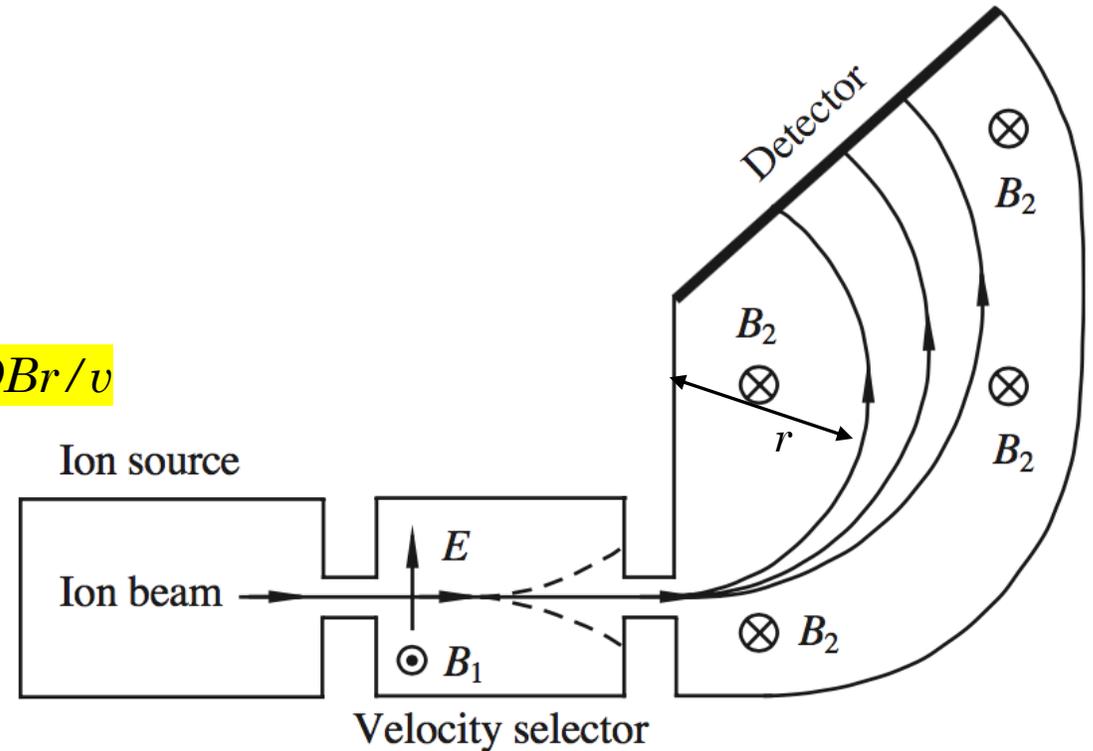
Energia media di legame per un nucleone in un nucleo:

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

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