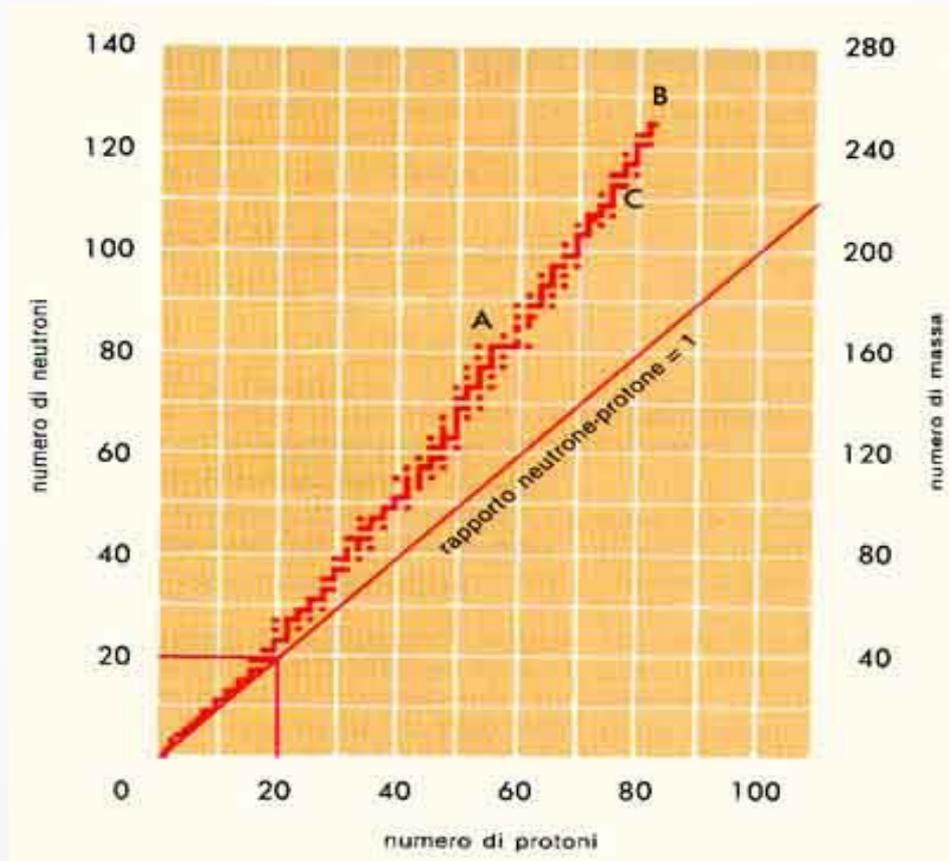


Il Nucleo

- Nucleo e' costituito da nucleoni (protoni e neutroni). Mentre i neutroni liberi sono abbastanza instabili tendono a decadere in un protone ed un elettrone ($t_{1/2}$ circa 900 s), i protoni sono stabili.
- La forza nucleare forte tiene assieme il nucleo vincendo la repulsione fra i protoni.
- Buona parte degli isotopi sono stabili, ma non tutti.

Stabilita' dei nuclei



Bilanciamento reazioni nucleari

Somma dei protoni e neutroni di reagenti e prodotti deve essere uguale, in pratica si conserva il numero di massa



$$235 + 1 = 138 + 96 + 2 \times 1$$

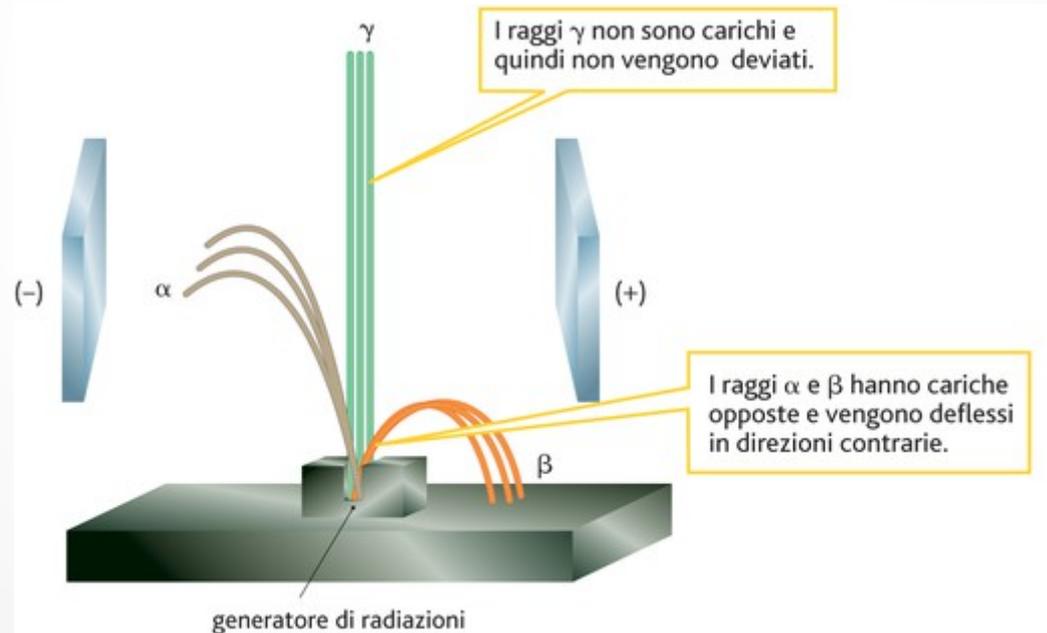
Conservazione del numero atomico, la somma delle cariche nucleare di reagenti e prodotti deve essere uguale



$$92 + 0 = 55 + 37 + 2 \times 0$$

Decadimenti radioattivi

- La radiativita' e' stata scoperta alla fine dell'800. Si e' successivamente riusciti a classificare la radiativita' sotto tre forme: raggi α , raggi β e raggi γ .

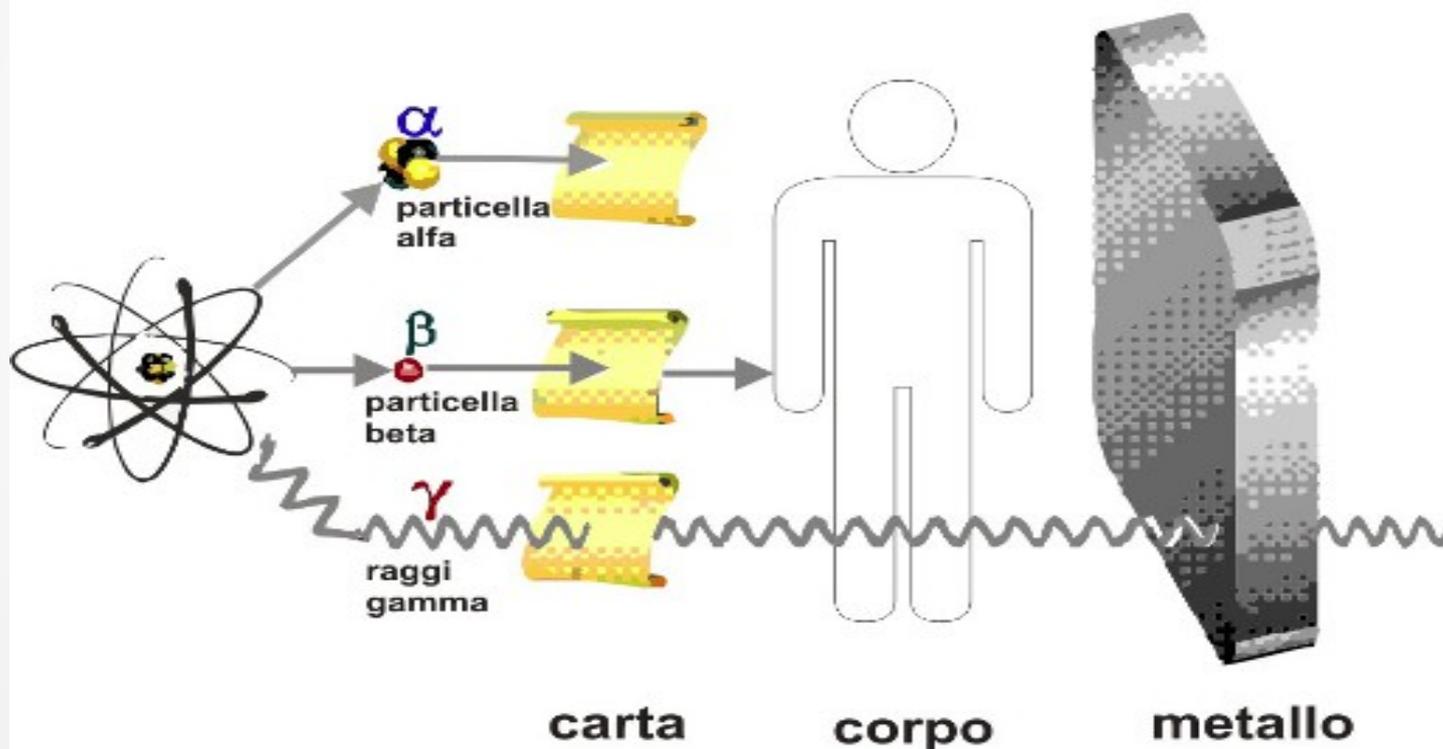


Potere di penetrazione

- Raggi alfa sono nuclei di elio, quindi atomi di elio con doppia carica positiva ${}^4\text{He}^{2+}$. Ed hanno un basso potere di penetrazione. Sono fermati da un semplice foglio di carta,
- Raggi beta sono invece elettroni veloci. Questi hanno un maggiore potere di penetrazione e sono comunque bloccati ad esempio da una lastra di alluminio.
- Raggi gamma sono radiazioni elettromagnetiche ad alta energia e quindi alta frequenza. Queste radiazioni hanno un elevato potere di penetrazione e sono assorbite solo da schermature di piombo.

Radiazioni

Radiazioni e il loro potere di penetrazione



Decadimento

- In generale l'emissione di radiazioni alfa o beta e' il risultato di una disintegrazione o decadimento nucleare. Parafrasando il risultato di un processo di parziale rottura del nucleo.
- Il risultato di un decadimento e' quello di trasformare un nucleo in un elemento diverso.
- Visto che il processo sopra descritto porta a formare nuclei in una situazione di elevato contenuto energetico, tali nuclei danno luogo ad un normale processo di rilassamento energetico che comporta l'emissioni di radiazioni gamma, quindi fotoni ad alta energia.

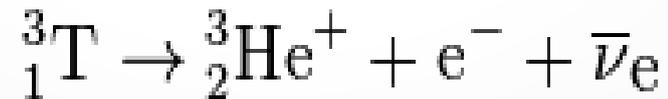
Decadimento alfa

- Nel caso di nuclidi con numero elevato sia di neutroni che di protoni, essi decadono emettendo principalmente particelle alfa.
- Ad esempio il Torio-232, uno dei piu' abbondanti elementi radioattivi decade emettendo una particella alfa e trasformando in Radio secondo la seguente reazione:



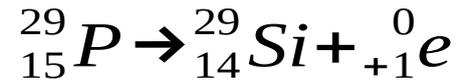
Decadimento beta

- Decadimento a cui vanno incontro nuclei con un soprannumero di neutroni. Come detto i neutroni liberi sono instabili e si trasformano in protoni emettendo particelle beta (elettroni veloci)
- Ad esempio il trizio decade formando elio ed emettendo particelle beta oltre che un antineutrino (particelle con massa trascurabile senza carica, poco interagenti con la materia, portatori di energia, non dannosi) :



Decadimento beta+

- Quando ad essere troppo elevato e' il numero di protoni si puo' avere un decadimento con emissione di positroni (anti elettrone, elettrone con carica positiva), un protone si trasforma in neutrone. Ad esempio il Potassio 29:

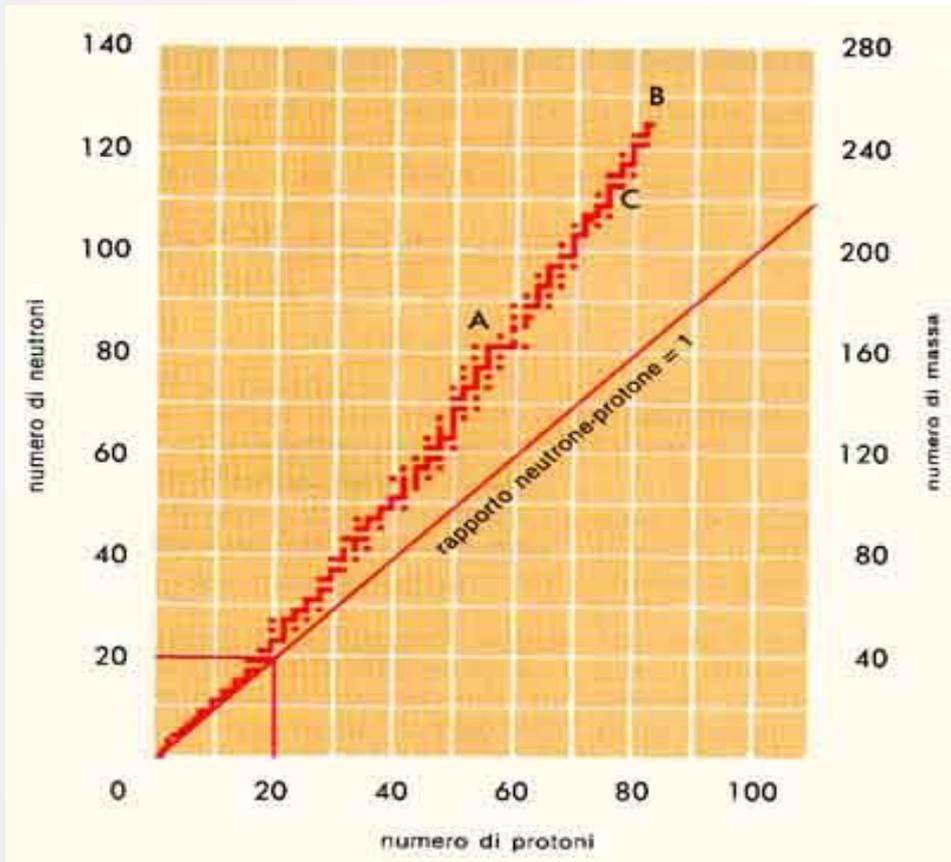


- Si puo' un decadimento simile a seguito della cattura da parte del nucleo di un elettrone, ad esempio il Potassio-40 si trasforma in Argo-40. In questo caso si assiste alla sola emissione di un neutrino e non di un positrone

Decadimento gamma

- Il decadimento gamma e' il risultato di energia liberata a seguito del decadimento alfa o beta. Ad esempio quando un positrone incontra un elettrone questi si annichilano, cioe' la materia si trasforma in energia.
- Altro esempio quando un atomo di cobalto-60 decade in nichel-60 attraverso decadimento beta, questo emette quindi un elettrone ed un antineutrino. L'atomo di nichel-60 si trova in uno stato eccitato e passa al suo stato fondamentale emettendo energia sotto forma di radiazione gamma.

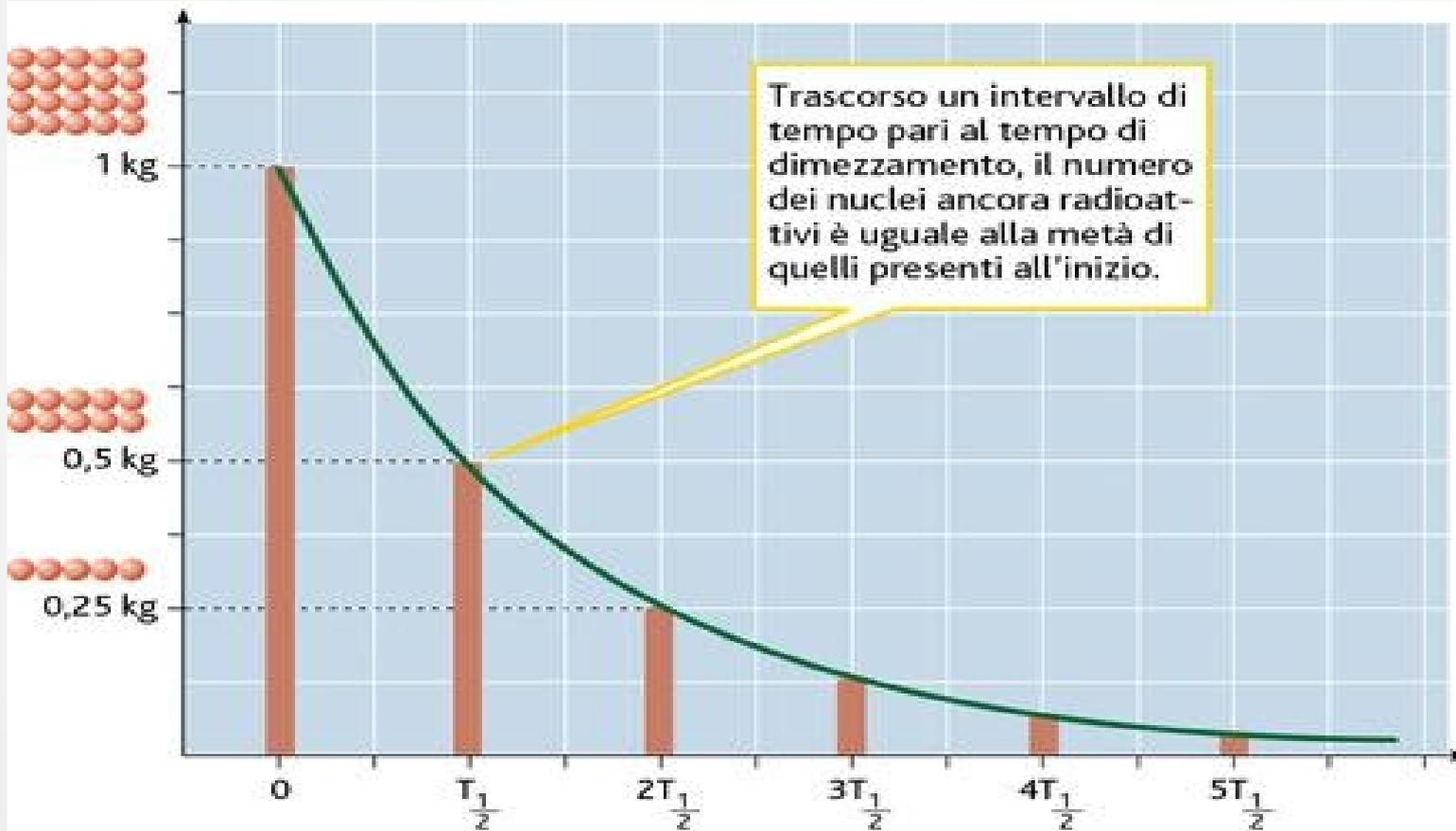
Stabilita' dei nuclei



I nuclei sopra la banda di stabilita' sono ricchi di neutroni quindi decadono emettendo particelle beta-

In nucleo sotto la banda di stabilita' sono caratterizzati invece da un eccesso di protoni, quindi per spostarsi verso la banda di stabilita' devono „trasformare“ protoni in neutroni, emettendo positroni oppure catturando elettroni

Tempi di dimezzamento



Cinetica del primo ordine come reazioni uni-molecolari

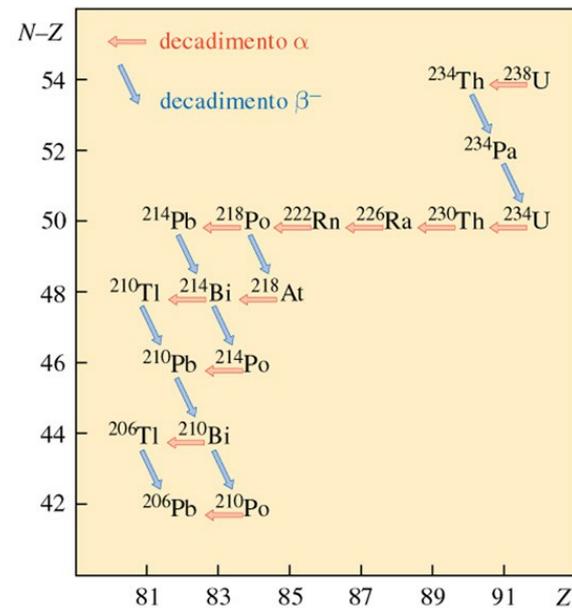
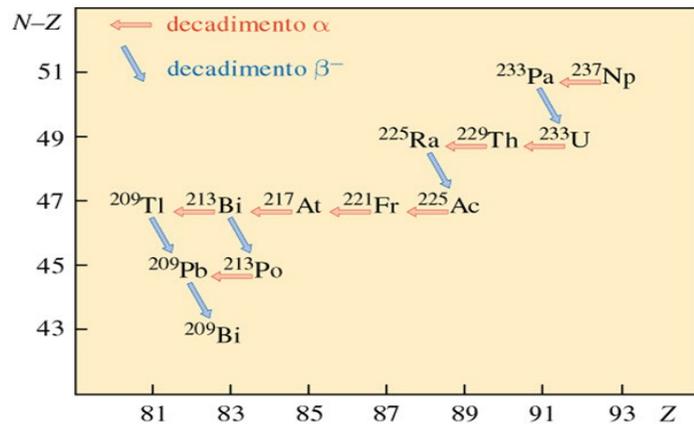
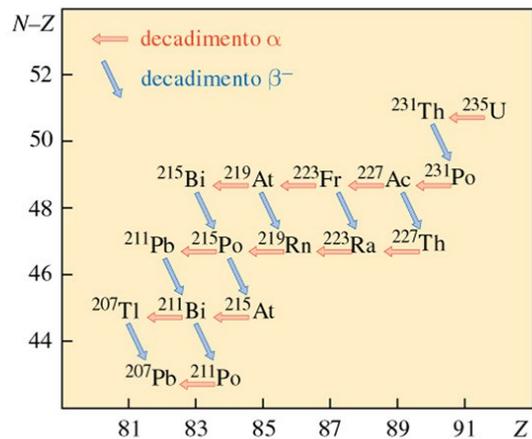
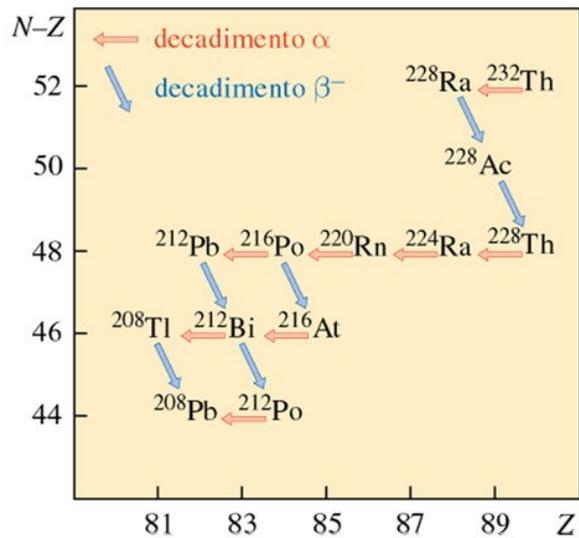
Tempi di dimezzamento

Elemento progenitore	Tempo di dimezzamento (in anni)	Presenza dell'isotopo %	Elemento figlio	Materiali datati
Carbonio-14	5730	-	Azoto-14	Materiali organici
Uranio-235	723 milioni	0.72	Piombo-207	Zircone, Uraninite, Pechblenda
Potassio-40	1.300 milioni	0.012	Argon-40	Muscovite, Biotite, Orneblenda, Feldspato potassico, Rocce vulcaniche
Uranio-238	4.510 milioni	99.27	Piombo-206	Zircone, Uraninite, Pechblenda
Torio-232	13.900 milioni	100	Piombo-208	Rocce vulcaniche
Rubidio-87	47.000 milioni	27.87	Stronzio-87	Miche, Feldspati potassici, Rocce metamorfiche

Tabella 1: Isotopi radioattivi per la datazione di reperti.

Famiglie radioattive

- L'insieme degli elementi ottenuti per un serie di decadimenti successivi costituisce una famiglia radioattiva. Esistono in sostanza tre diverse famiglie principali, quella dell'uranio, del torio e dell'attinio.
- Esistono in natura isotopi con tempi di vita molto lunghi che generano altri isotopi e questo garantisce la presenza in natura di isotopi meno stabili in quantità sostanzialmente costante. Questo giustifica appunto la presenza in natura di isotopi con tempi di vita brevi.



Difetto di massa

Energia di legame e difetto di massa

- L'energia di legame e' l'energia necessaria a scomporre un sistema nelle sue parti. Di fatto un sistema ha un'energia potenziale negativa cioe' inferiore a quella delle parti che lo sostituiscono.
- Nel caso del nucleo l'energia di legame e' quella necessaria a scomporre il nucleo stesso nei protoni e neutroni che lo costituiscono.
- La famosa equazione di Einstein $E = m c^2$ stabilisce un'equivalenza fra massa ed energia.
- La massa in pratica e' una delle tante forme di energia
- L'energia nucleare e' l'energia necessaria rompere tutti i legami fra protoni e neutroni
- In un qualsiasi nucleo la massa del nucleo stesso e' inferiore alla somma delle masse di neutroni e protoni che lo costituiscono.

Difetto di massa

Ogni nucleo e' sostituito da numerose particelle, ma per quello che ci riguarda possiamo immaginarlo costituito da soli protoni e neutroni (a loro volta costituiti da quark).

Ad esempio il nucleo di un atomo di elio e' costituito da due protoni e due neutroni

Massa delle particelle (in u.m.a.): protone = 1,00728; neutrone = 1,00867;

Elettrone = 0,000598

Massa di un nucleo di ${}^4\text{He}$ = 4,0026 uma

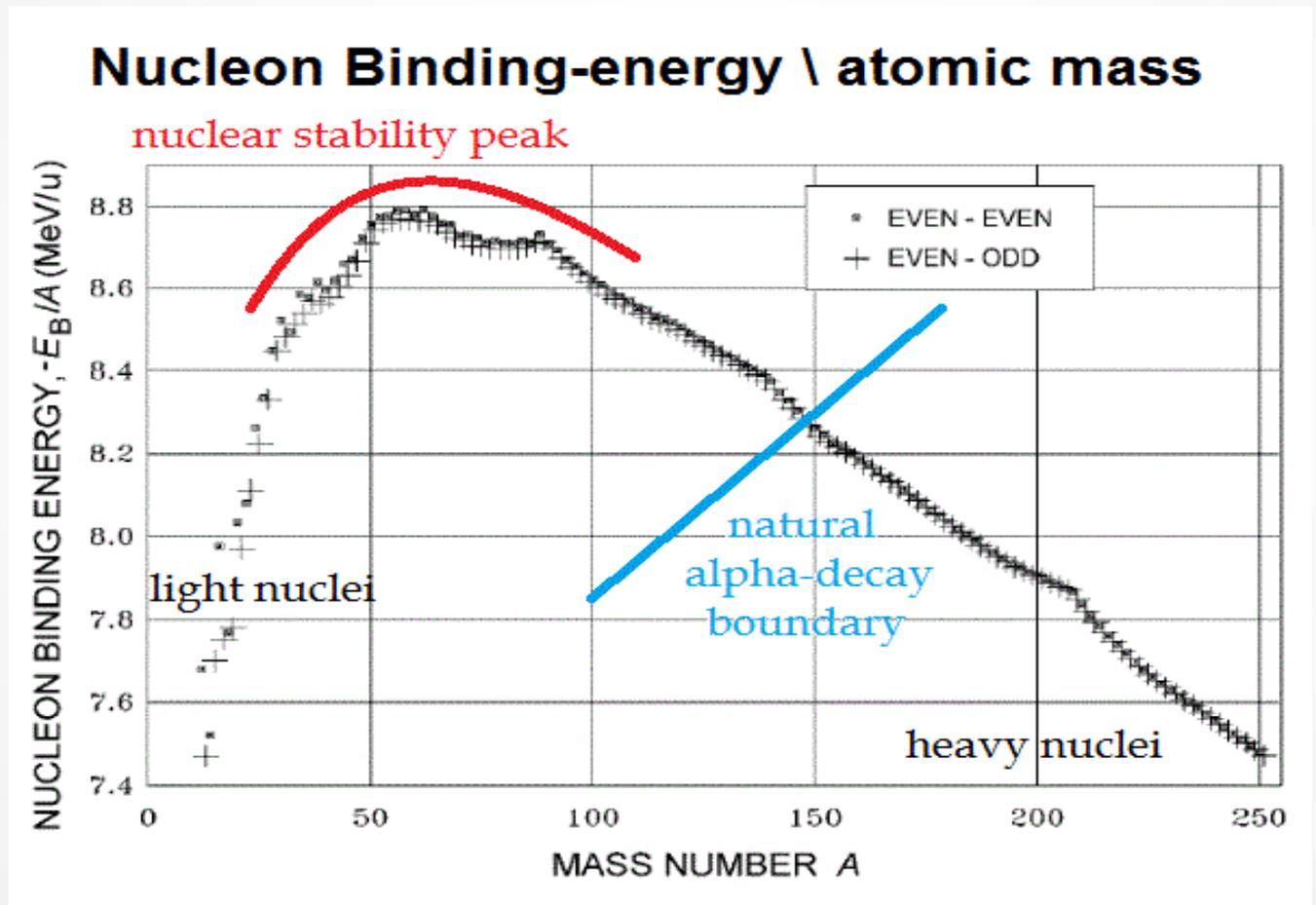
Somma delle masse di 2 protoni e 2 neutroni = 4,0319 uma

La differenza 0,0293 uma = $4,86 \cdot 10^{-29}$ kg

$E = mc^2 = 4,37 \cdot 10^{-12}$ J/nucleo

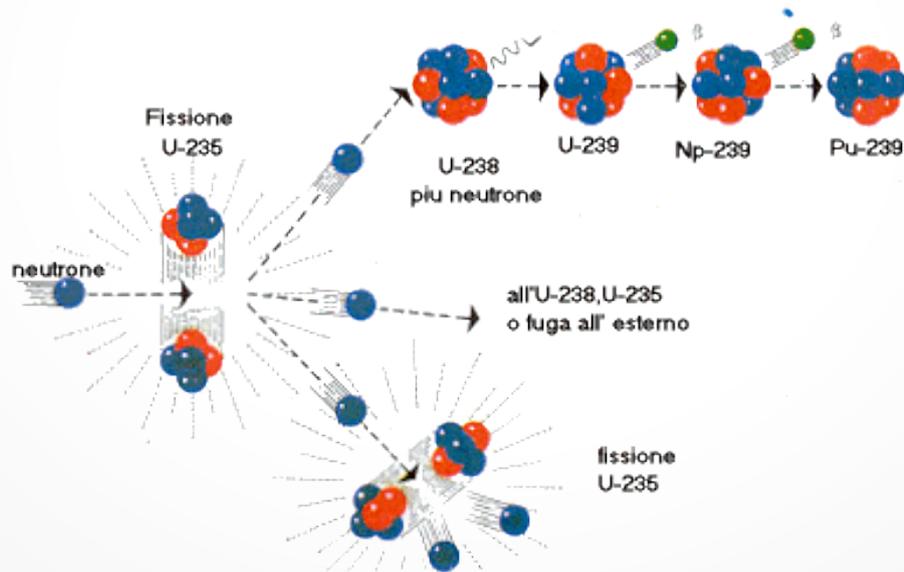
Questa e' l'energia emessa quando si forma un nucleo di elio a partire dalle particelle che lo costituiscono

Energia di legame per numero di nucleoni



Fissione nucleare

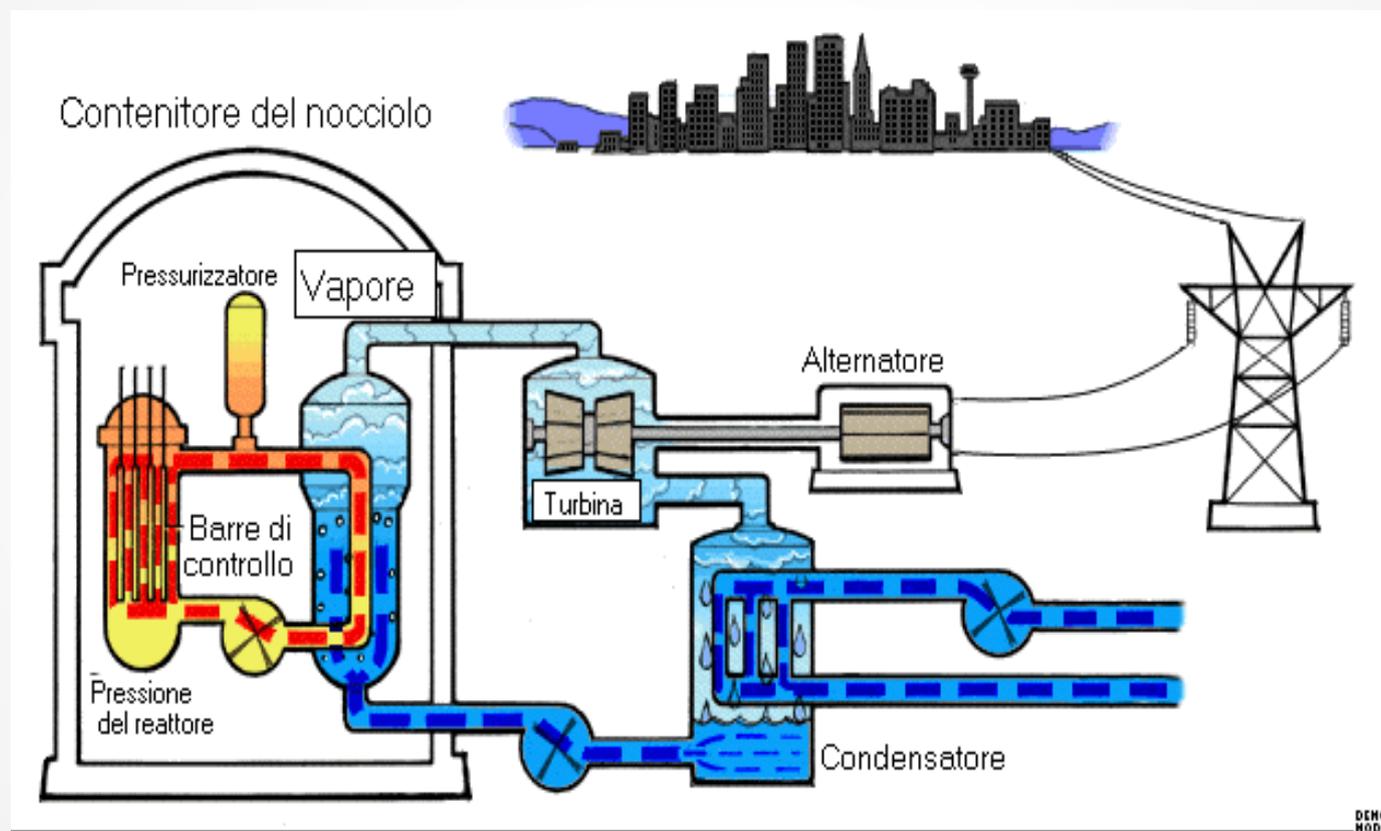
- La fissione nucleare porta ad un grosso guadagno di energia. Tuttavia ha elevata barriera di attivazione (massa critica, arricchimento uranio).



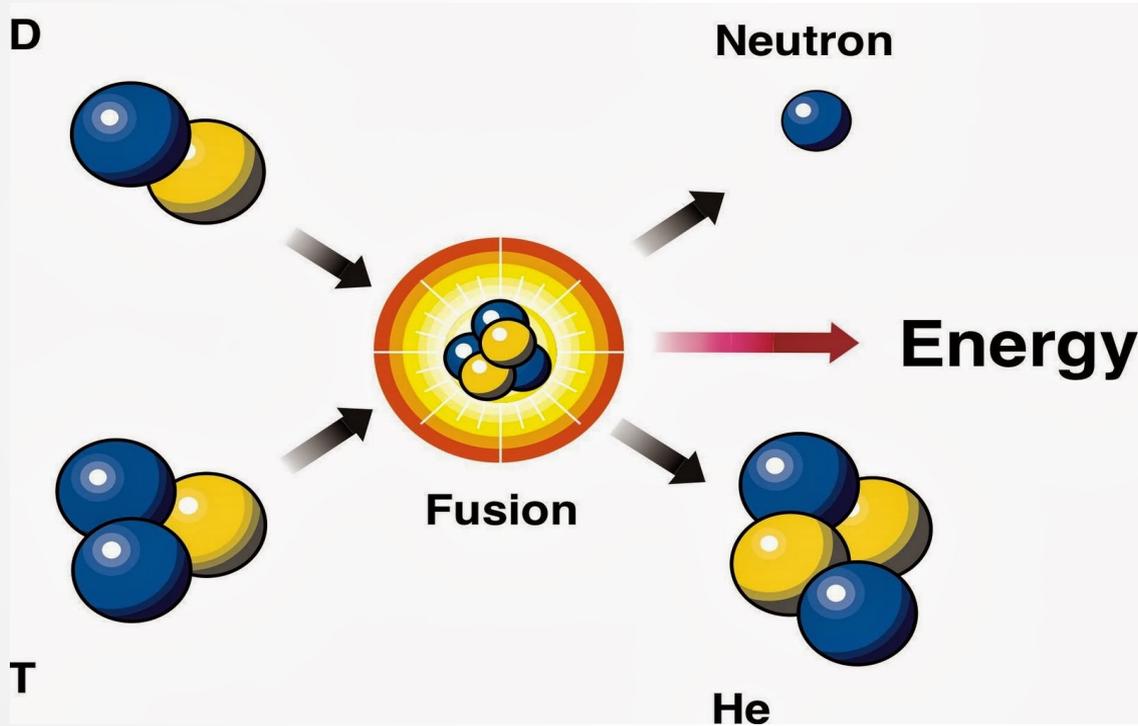
Fissione nucleare

- E' necessario avere una massa minima, definita MASSA CRITICA di uranio arricchito, in questo modo il numero di neutroni generati dalla fissione che incontra un altro nuclide fissile e' maggiore del numero di neutroni che viene dispersi verso l'esterno
- La velocita' della reazione a catena puo' essere controllata se si inseriscono, all'interno del materiale fissile, delle barre di grafite, sostanza capace di assorbire neutroni e quindi capace di rallentare ed, al limite, interrompere, il processo della reazione a catena

Centrale nucleare



Fusione nucleare



Energia prodotta
superiore all fissione

In pratica assenza di
scorie radioattive

Sole, stelle

ITER project

Fusione fredda

Radioisotopi in biologia e medicina

- Sono usati sia come tracciati nella diagnosi, ad esempio la PET
- Possono essere usati anche in funzione del loro potere di „distruggere“ tessuti, radiofarmaci o radioterapia.
- In generale devono avere tempi di vita dell'ordine di giorni e devono trasformarsi alla fine in isotopi stabili
- Potere penetrante delle radiazioni e potere ionizzate quindi effetti dannosi per la vita.

Datazione Carbonio-14

- I due isotopi del carbonio sono 13 e 14. La percentuale relativa è fissa. Visto che il carbonio 14 viene prodotto nelle parti alte dell'atmosfera per cattura di neutroni termici (prodotti secondari dei raggi cosmici).
- Ogni organismo vivente a causa della respirazione o della fotosintesi, ha una quantità di isotopo 14 fissa (decade poi in ^{14}N).
- Dopo la morte lo scambio di carbonio 14 con l'atmosfera non avviene più quindi la sua quantità decresce secondo la legge cinetica del primo ordine che governa il decadimento.

Unita' di misura

Di seguito daremo la definizione di alcune grandezze utili a descrivere il fenomeno della radioattivita'.

- La quantita' di un radionuclide non si specifica come massa su volume ad esempio, ma tendo conto dei tempi di decadimento. Intensita' della sorgente radioattiva puo' essere definito con il numero di disintegrazioni nell'unita' di tempo $A = dN/dt$. Nel S.I. si usa Becquerel (Bq) in precedenza si usava il Curie (Ci):

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps (disintegrazioni per secondo)}$$

$$1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$$

Unita' di misura

Onde andare incontro alla necessita' di quantificare in qualche modo il danno biologico delle radiazioni, sono state introdotte delle unita' di misura che tengono conto della Dose assorbita:

1 RAD = 100 erg/g dove 1 erg = unita' di misura dell'energia = 10^{-7} J
Nel S.I. si usa il GRAY (Gy) dove 1 Gy = 1 J/Kg = 100 RAD

Tuttavia l'effetto della radiazione, anche se siamo a parita' di energia, e' ovviamente dipendente dalla natura della radiazione. E' stato quindi introdotto un fattore di qualita' W, quindi l'equivalente di dose H:

$$H = D \times W$$

Dove D e' la dose assorbita e W e' il parametro di qualita' (o peso) della radiazione (W = 1 per raggi X gamma e beta, muoni, W = 20 per particelle alfa, W da 5 a 20 per protoni e neutroni ad esempio a seconda dell'energia).

Unita' di misura

Deve poi essere messo in gioco anche il diverso effetto su diversi tessuti della stessa radiazione, quindi piu' in generale (dose efficaci)::

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

H_T = e' la dose equivalente assorbita dal tessuto T

$D_{T,R}$ = e' la dose di radiazione R assorbita dal tessuto T

W_R = e' il fattore di peso , qualita' , relativo alla radiazione R

Nel S.I. l'unita' di misura per la dose equivalente e' il Sievert (Sv). Dove $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/Kg}$

Strumenti di misura

- Pellicola fotografica: l'intensita' della radiazione e' identificata dal grado di annerimento della pellicola sviluppata
- Contatore Geiger: gas a bassa pressione, gas ionizzato dalla radiazione genera una coppia elettrone / ione che "conduce" elettricita'.
- Scintillatori: il passaggio di una particella incidente eccita un elettrone che successivamente decadendo al livello fondamentale emette un fotone. Mediante un fotomoltiplicatore il segnale luminoso viene tradotto in segnale elettrico.