

La chimica nucleare, aspetti energetici e strutturali.

Prof. Ersilia Conte

Scoperta della radioattività

- Nel **1896 H. A. Becquerel** (1852-1908) dimostrò che i sali di uranio emettono spontaneamente radiazioni.
- Becquerel avanzò l'ipotesi che questa energia provenisse dagli atomi.

La scoperta destò molto interesse tra gli scienziati e, mentre i fisici si dedicarono a chiarirne l'origine e la natura, i chimici si impegnarono a stabilire se e quali altre elementi, oltre all'uranio, erano in grado di emettere queste radiazioni.

Chimici: Elementi radioattivi

Maria Sklodowska Curie (1867-1934) eseguì per prima determinazioni quantitative della radioattività e dimostrò che:

1. Uranio e Torio erano i soli elementi conosciuti a presentare questo fenomeno;
2. l'entità della radioattività dipende soltanto dalla massa dell'elemento. Di conseguenza, essa è una proprietà atomica, caratteristica dell'elemento.
3. alcuni minerali (pechblenda, autunite, ecc.) hanno una radioattività superiore a quella compatibile con il loro contenuto in Uranio, è indizio della presenza di elementi sconosciuti molto radioattivi
4. isolò dalla pechblenda tre nuovi elementi, Polonio, Radio e Attinio.

Chimici: Elementi radioattivi bis

L'interesse suscitato dalla scoperta della radioattività e dall'isolamento di nuovi elementi, stimolarono le ricerche dei chimici.

Furono individuati una trentina di sostanze radioattive:

- **J. Elster e H. Geitel** scoprirono il Pb radioattivo,
- **Owens e Rutherford** un'emanazione di gas radioattivo,
- **Crookes** ottenne dall'U la specie instabile UX (1900)
- **Rutherford e Soddy** il Th-X (1902).
- **Ramsay e Soddy** confermarono sperimentalmente la previsione teorica che il radio dovesse continuamente produrre elio;
- **Hahn** scoprì il RadioTh, come prodotto della serie di disintegrazione del Th.

Fisici: studio delle radiazioni

Il problema fisico fu affrontato da **E.Rutherford** e **F.Soddy**, stabilirono l'esistenza di 2 tipi distinti di radiazioni:

- la radiazione α , che era assorbita con grande facilità, simile alla radiazione di Röntgen,
- la radiazione β , più penetrante. **Becquerel** si accorse che le radiazioni β presentavano analogie con i corpuscoli di Thomson: erano deviate nella stessa direzione e entità dai campi elettrici e magnetici. Poiché presentavano lo stesso valore di e/m , identificò i raggi β con gli elettroni

Poco dopo, **P.U. Villard** riuscì a isolare la radiazione β , identificandone una terza, chiamata γ , più penetrante dei raggi X, di natura elettromagnetica

Elementi instabili

Rutherford e Soddy attribuirono l'origine della radioattività all'instabilità degli atomi, che subivano un continuo processo di decomposizione con emissione radioattiva.

Gli atomi degli elementi radioattivi non sono né immutabili né indivisibili, perdono parti costituenti e si trasformano in elementi differenti.

Le trasformazioni degli elementi radioattivi l'uno nell'altro seguono serie di decadimento.

Fajas e le Pleiadi- Soddy e gli Isotopi

I risultati sperimentali e le ipotesi dei vari ricercatori, furono riordinate dal chimico **K. Fajans**. Partendo dal fatto che le particelle α sono ioni He^{2+} a peso atomico 4, mentre le particelle β hanno massa trascurabile, **formulò le due leggi degli spostamenti**:

- 1) L'emissione di particelle α è accompagnata da uno spostamento da destra a sinistra lungo una riga orizzontale nella tabella periodica;
- 2) Le disintegrazioni β causano una transizione al gruppo successivo, da sinistra a destra, lungo una riga orizzontale.

Fajans prevede il peso atomico dei radioelemento e dei prodotti di decadimento: molti radioelementi aventi pesi atomici differenti, condividevano lo stesso posto nella tabella periodica, costituendo quelle che Fajans più tardi chiamò **pleiadi**. Soddy giunse alle stesse conclusioni e propose di chiamarli **elementi isotopici**.

Isotopi sono elementi con uguale numero atomico Z e diverso numero di massa A

Es.: gli isotopi del **Calcio** hanno tutti 20 protoni nel nucleo ma il numero dei neutroni varia da 20 a 28

Z	N	A	simbolo
20	20	40	^{40}Ca
20	22	42	^{42}Ca
20	23	43	^{43}Ca
20	24	44	^{44}Ca
20	25	45	^{45}Ca
20	26	46	^{46}Ca
20	28	48	^{48}Ca

Z : numero atomico

N : numero di neutroni

A : numero di massa ($N+Z$)

Reazioni nucleari

Rutherford, studiando gli effetti delle radiazioni α su elementi leggeri, notò che, a seguito delle collisioni con l'azoto, esse venivano assorbite, mentre erano riemessi nuclei di idrogeno:



Era la dimostrazione che i nuclei di H (protoni) sono particelle elementari, come gli elettroni, e fanno parte dei nuclei di tutti gli altri elementi.

Dopo la scoperta del neutrone, **Fermi** ipotizzò che sarebbe stato il proiettile ideale. Si sarebbe potuta realizzare una **fusione nucleare**, ottenendo un nucleo più pesante di quello di partenza, per esempio di elementi più pesanti dell'Uranio.

Il primo tentativo di studiare il bombardamento con neutroni di quanti più elementi possibile fu intrapreso nel 1934 dal gruppo romano di Via Panisperna, erano stati ottenuti gli elementi **93 e 94**.

Che cos'è la radioattività?

La maggior parte degli atomi che costituiscono la materia sono stabili.

Alcuni tipi di atomi, invece, sono instabili, nel senso che si trasformano spontaneamente in atomi di altre specie, radioattivi nella trasformazione essi emettono radiazioni.

Queste diverse radiazioni si distinguono in base alla loro energia e al loro potere penetrante e sono chiamate **alfa** (nuclei di elio), **beta** (elettroni) e **gamma**, sono dette ionizzanti, perché la loro energia è tale da ionizzare gli atomi con cui possono interagire, cioè strappare da essi uno o più dei loro elettroni.

Le trasformazioni degli atomi radioattivi

Nelle trasformazioni degli atomi radioattivi una parte della loro massa (m) si converte in energia (E), secondo la famosa formula di Einstein:

$$E = mc^2$$

c = velocità della luce, m = massa

il risultato finale è lo sviluppo di calore.

Alcune di queste trasformazioni sono vere e proprie trasmutazioni, nelle quali, un atomo di un elemento chimico si trasforma in uno di un altro elemento.

Si realizza così il sogno degli alchimisti dei secoli passati. Peccato però che fra le trasformazioni possibili non rientri quella del piombo in oro.

Quando un atomo radioattivo si trasforma?

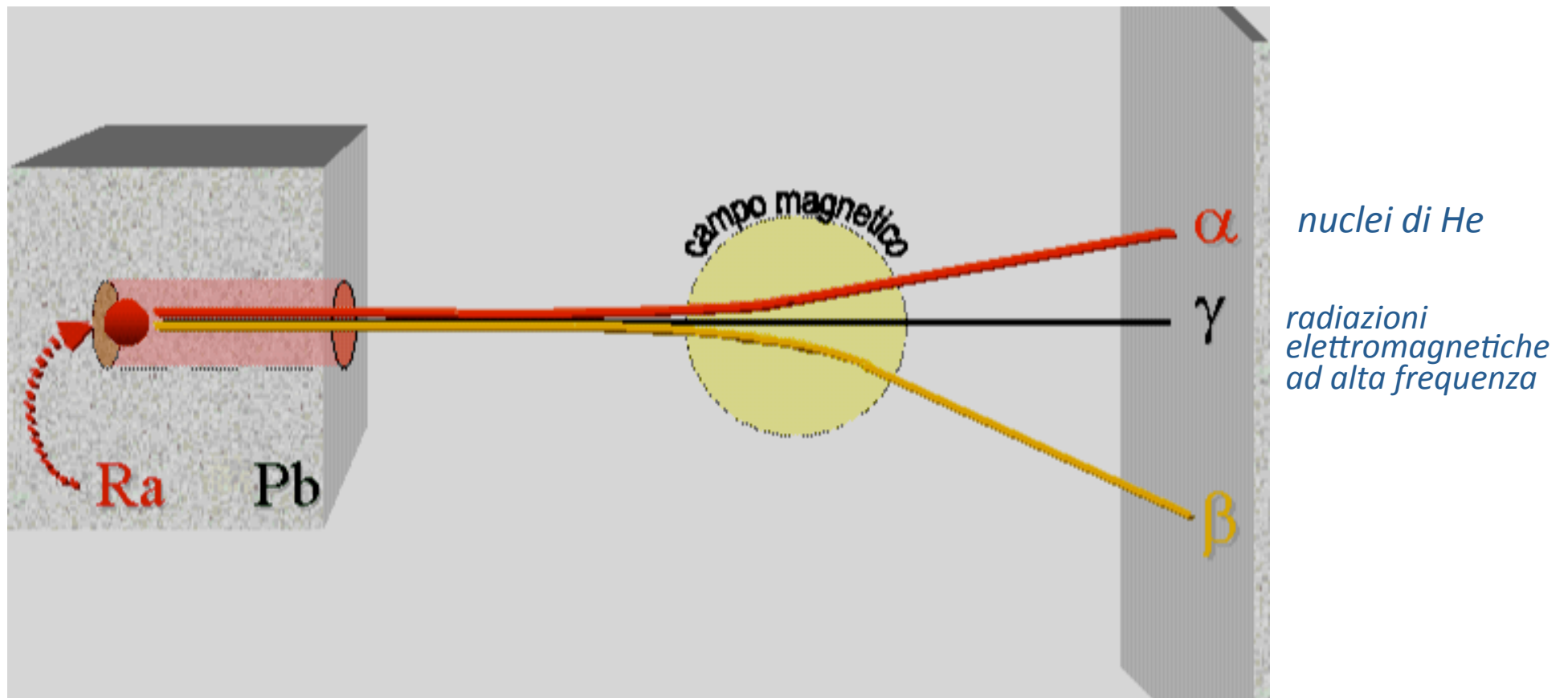
E' fenomeno che avviene spontaneamente e considerando

- un dato atomo radioattivo è impossibile stabilire il momento nel quale esso si trasformerà.
- un gran numero di atomi radioattivi di una specie, si può stabilire matematicamente quanti di essi, si trasformeranno durante un intervallo di tempo.

Ogni diversa specie di atomi radioattivi è caratterizzata da un tempo caratteristico, chiamato «**vita media**», il tempo vissuto mediamente da un atomo prima di trasformarsi, è collegato con il tempo necessario perché una popolazione si dimezzi «**tempo di dimezzamento**».

I valori di questo tempo sono diversissimi a seconda della specie, si estendono da piccolissime frazioni di secondo a miliardi di anni.

Esperimento di Rutherford



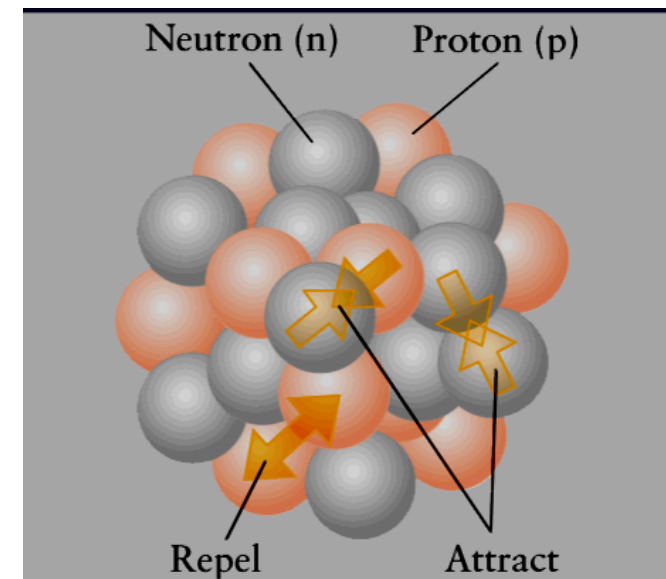
Nucleo

Il **Nucleo** è costituito da protoni ***p*** e neutroni ***n*** (nucleoni).

Il **Neutrone** libero, è una particella instabile e tende a decadere (t_d ca 9×10^2 s), liberando un elettrone ed un protone

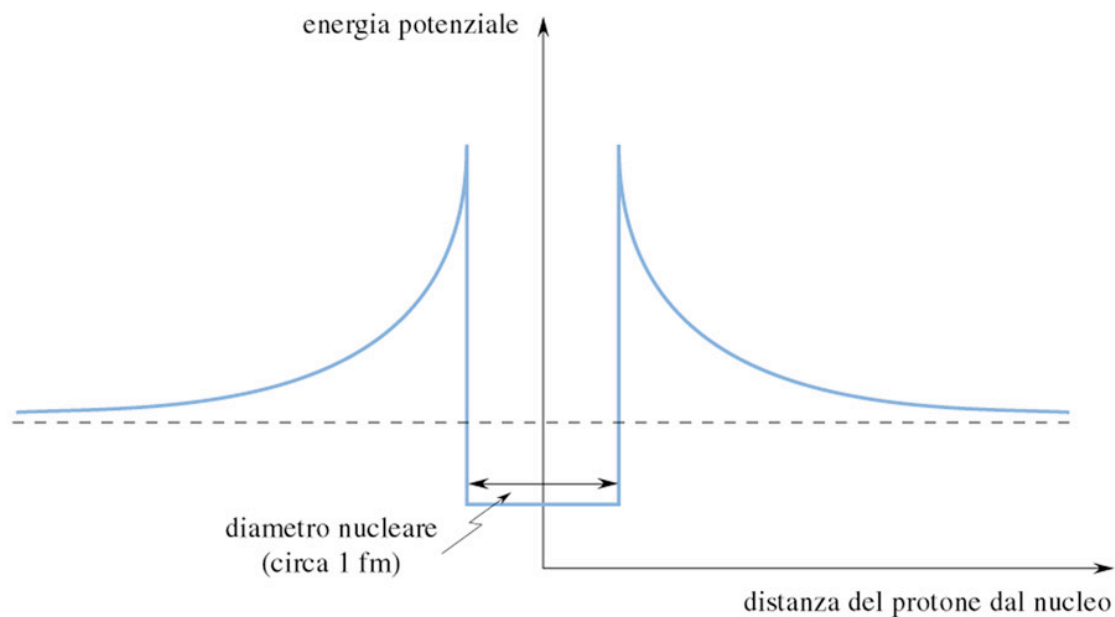
Il **Protone** libero, è una particella stabile (t_d ca 10^{32} s)

La maggior parte dei nuclidi sono **isotopi** stabili.



Interazioni nucleari

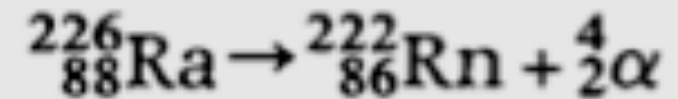
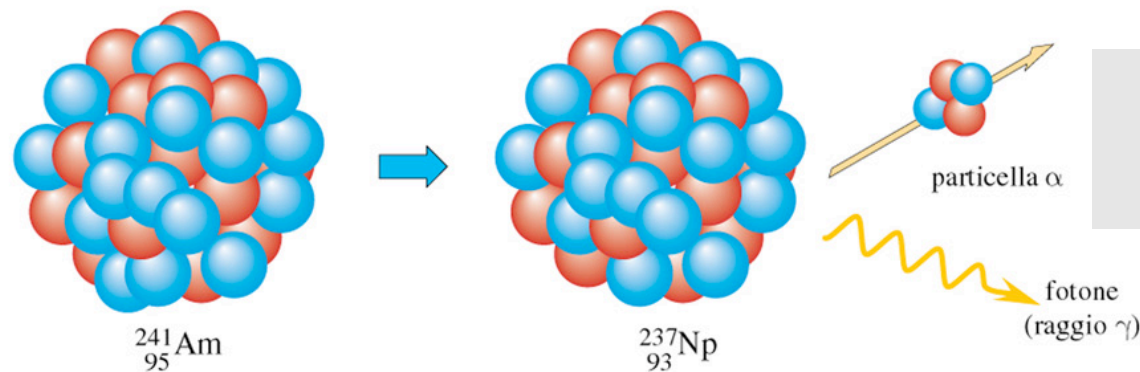
Una forza di attrazione fra i nucleoni vince la repulsione elettrostatica tra i protoni: Forza Forte



I **mesoni** sono particelle subatomiche, di massa circa $1/5$ dei nucleoni, e sono responsabili delle forze nucleari. Sono continuamente scambiate tra nucleoni.

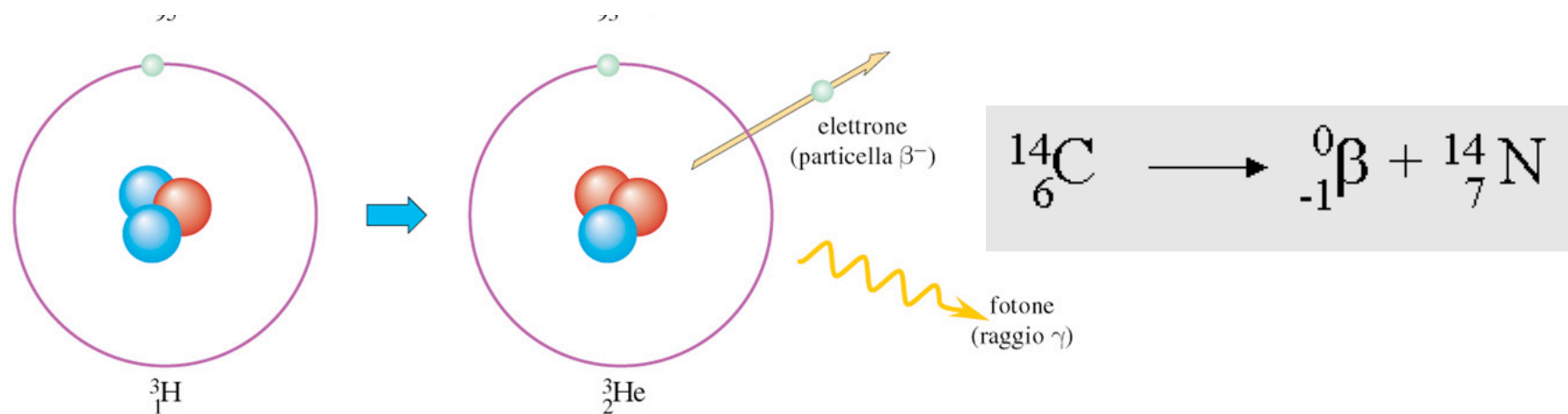
Disintegrazione α

- Quando un nucleo emette una *particella α* perde due unità di carica positiva e una massa equivalente a quella di quattro nucleoni.
- La perdita di due protoni causa una riduzione del numero atomico di due unità ($Z - 2$)



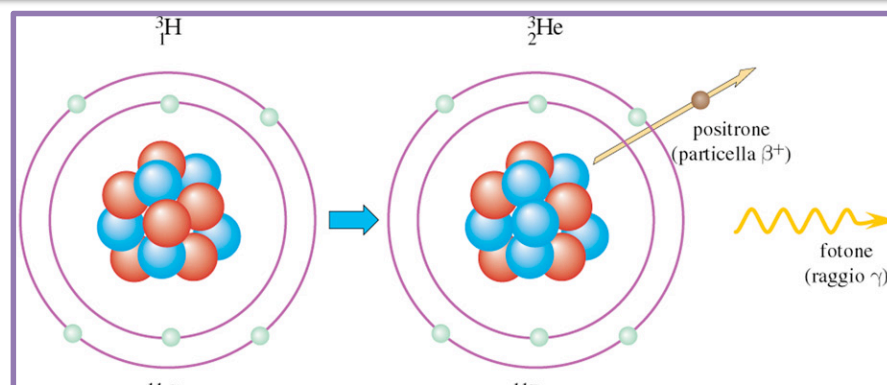
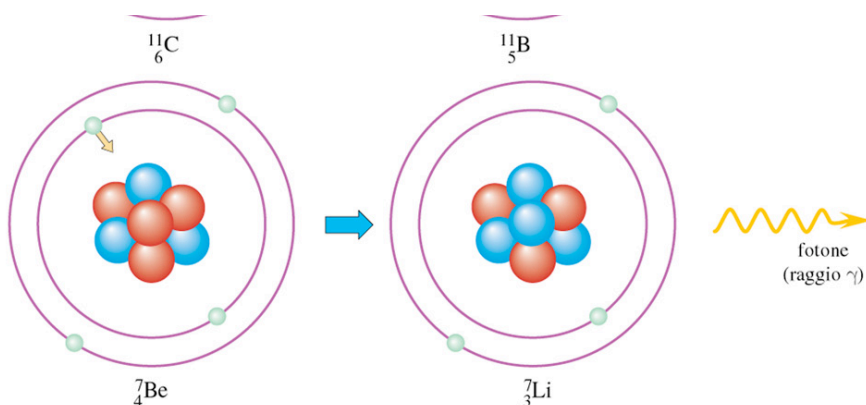
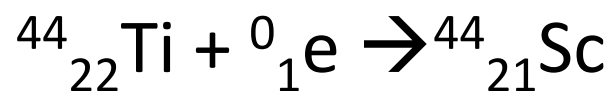
Disintegrazione β

- Quando dal nucleo di un atomo viene emessa una *particella β^-* , essa priva il nucleo di una carica negativa
- questa perdita può essere interpretata come la trasformazione di un neutrone in un protone
- il numero atomico del nuclide prodotto aumenta di 1 (Z +1)



Altre modalità di disintegrazione

Nella cattura elettronica un nucleo cattura uno dei propri elettroni e si ha la diminuzione del numero atomico di una unità (Z-1)



Nell'emissione di positroni, viene emesso un positrone (carica +1), ed il numero atomico si riduce di una unità (Z-1)



Disintegrazioni

- Decadimento α :

$Z - 2 ; A - 4 \quad \leftarrow$

- Decadimento β^- :

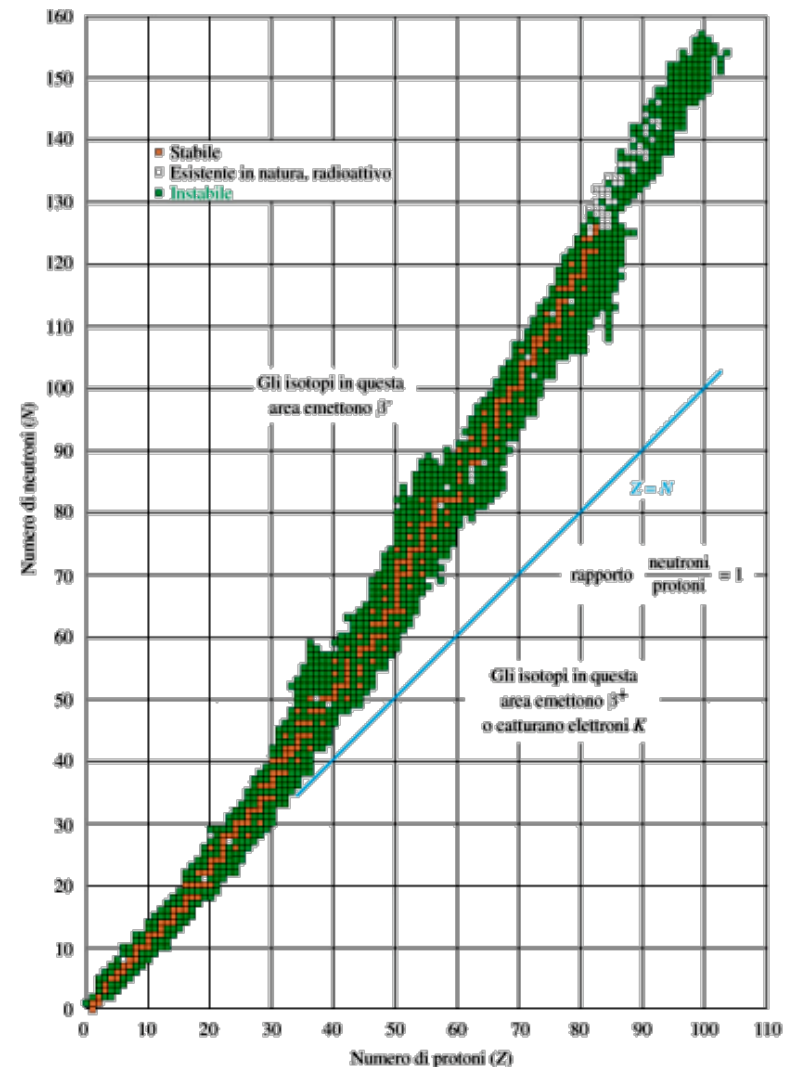
$Z + 1 ; - \quad \rightarrow$

- Decadimento β^+ :

$Z - 1 ; - \quad \leftarrow$

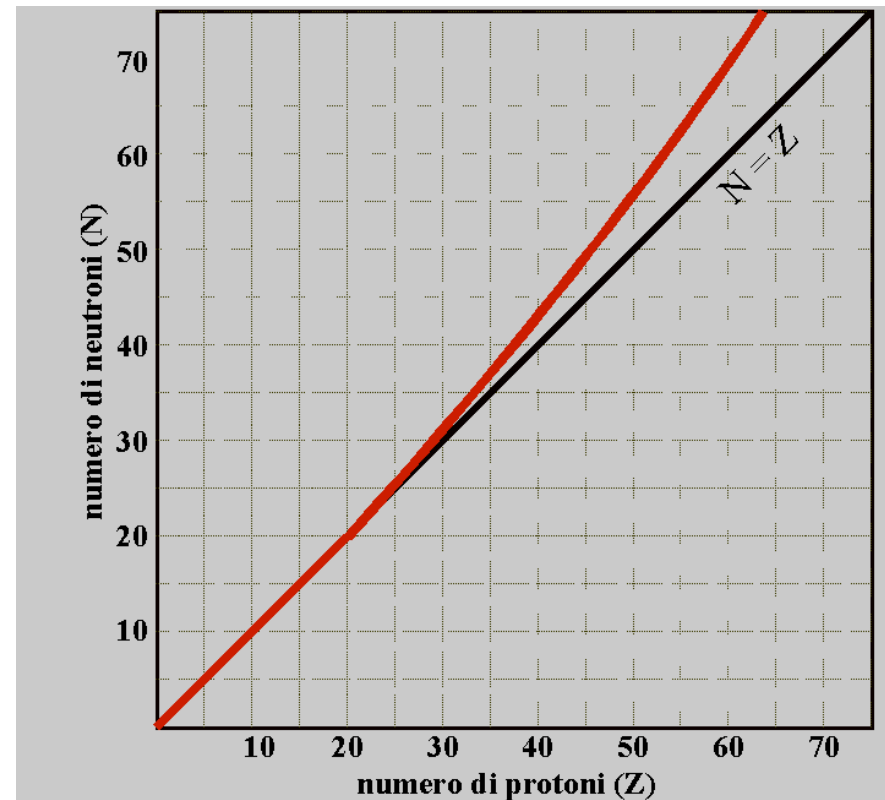
- Cattura e^-

$Z - 1 ; - \quad \leftarrow$



La stabilità dei nuclei

- Un grafico di Z verso N definisce la banda di stabilità, circondata dal mare di instabilità
- Per Z fino a 20 i nuclidi stabili possiedono uguale numero di protoni e neutroni.
- Per $Z > 20$ tutti i nuclidi conosciuti, sia stabili che instabili, possiedono più neutroni che protoni (quindi $A > 2Z$).



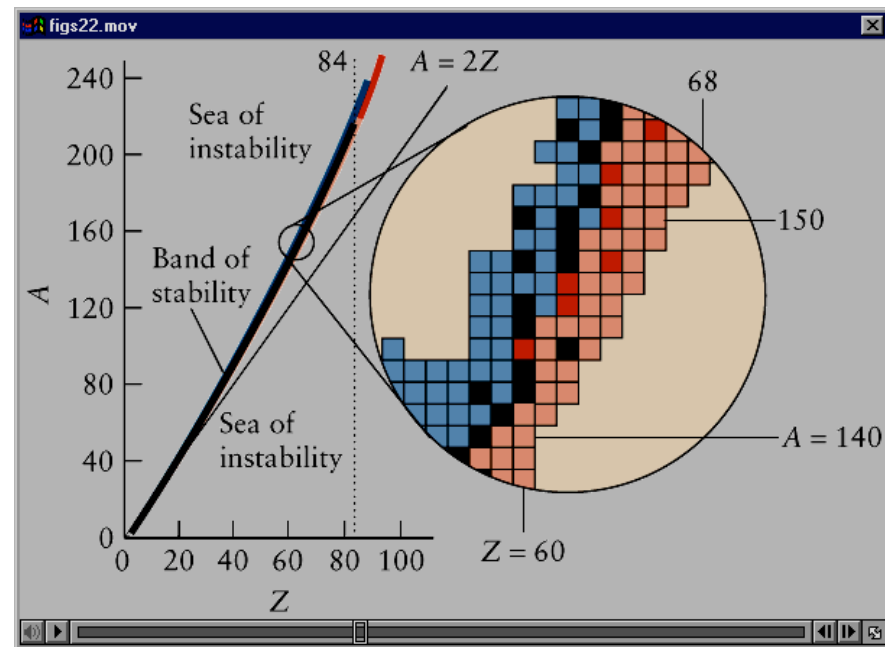
Previsione del tipo di disintegrazione

I nuclei sopra la banda di stabilità sono ricchi di neutroni e per rientrare nella banda di stabilità espellono una particella β^- ($Z+1$)

quelli sotto la banda di stabilità sono ricchi di protoni e per spostarsi verso la banda di stabilità

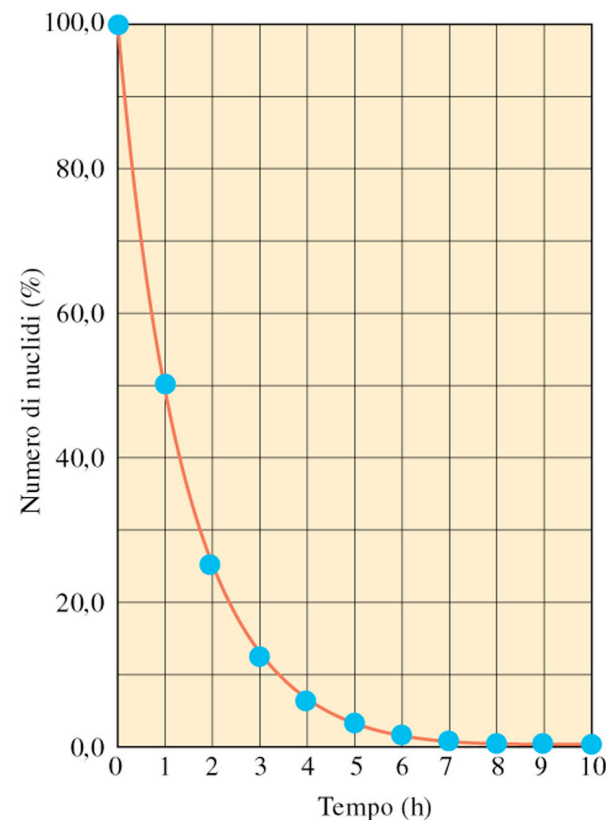
- espellono un positrone ($Z-1$)
- oppure catturando un elettrone ($Z-1$)

i nuclidi con $Z > 83$ devono alleggerirsi eliminando protoni e neutroni: disintegrazioni α



Velocità del decadimento nucleare

- nucleo precursore →
nucleo prodotto +
radiazione: decadimento
uni-molecolare
- Normalmente si parla di
decadimento radioattivo in
termini di **semivita $t_{1/2}$** il
tempo in cui si disintegra
la metà dei nuclei presenti
inizialmente nel campione



Chimica
I. Bertini, C. Luchinat, F. Mani
Copyright © 2004 Casa Editrice Ambrosiana



Famiglie radioattive

Tutti gli isotopi degli elementi dal Polonio all' Uranio sono radioattivi.

Molti di essi hanno tempi di dimezzamento corti, anche nell' ordine di alcune ore

Domanda: se alcuni nuclidi hanno tempi di dimezzamento corti, come fanno ad esistere in natura? Non dovrebbero essere già “esauriti” da milioni di anni?

NO, se essi sono prodotti da nuclidi con tempi di dimezzamento lunghi, che continuano a “rifornire” costantemente di quel determinato isotopo.

Esistono alcuni isotopi radioattivi con tempi di dimezzamento molto lunghi (ca 10^7 a) che garantiscono la presenza in natura di una quantità costante di tutta una serie di nuclidi con tempi di dimezzamento molto piu' brevi.

Si definisce una serie di famiglie di decadimento

Serie radioattiva

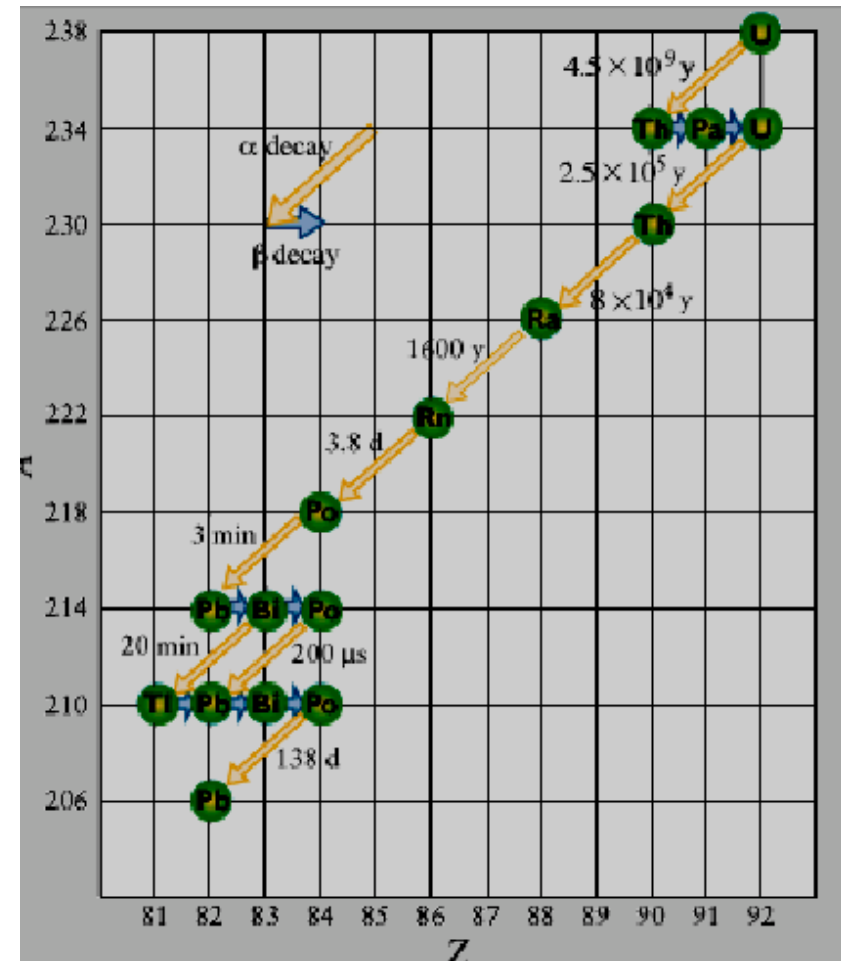
La disintegrazione del nucleo degli **atomi pesanti** ($Z > 83$) spesso procede a **tappe**: radiazione alfa seguita da beta o alfa... fino a raggiungere la stabilità (spesso piombo, $Z=82$)

Serie radioattive:

Uranio 238 $\rightarrow$ Pb-206

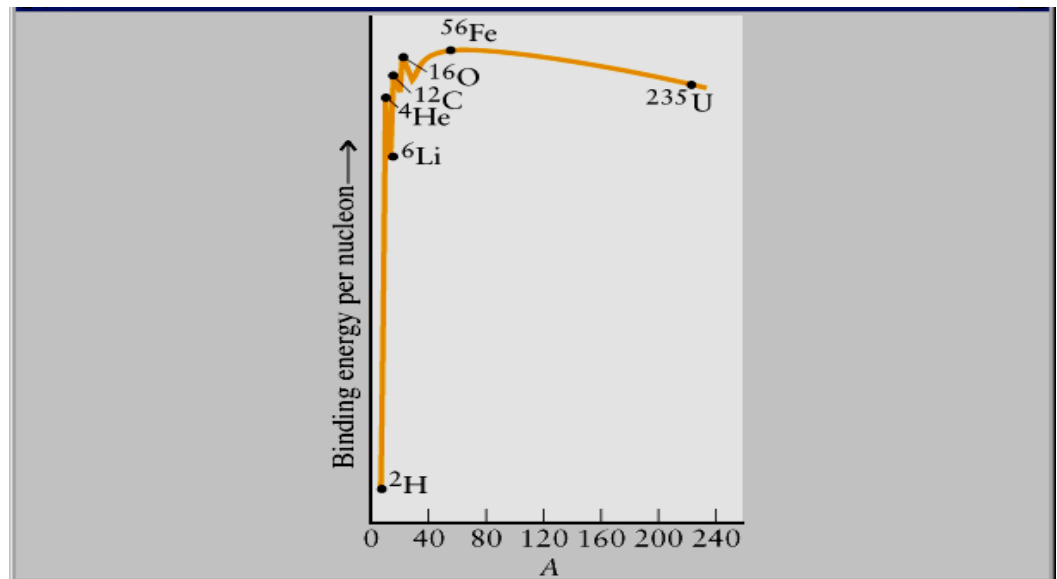
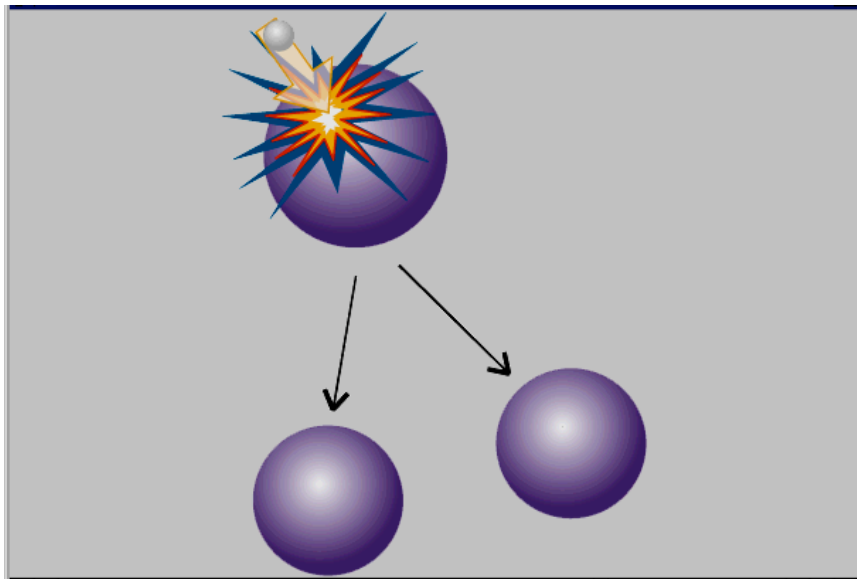
Uranio 235 $\rightarrow$ Pb-207

Torio 232 $\rightarrow$ Pb-208



Radioattività artificiale

- **Fissione nucleare:** cioè la rottura di un nucleo in due nuclei più piccoli di massa simile.
- **Fusione nucleare:** costringere nuclei di H a fondersi tra loro per formare nuclei di He o Li.



Conclusioni

- La stabilità dei nuclei sta in una fascia molto ristretta.
- Quelli instabili emettono alfa (se pesanti), beta e gamma con decadimenti monomolecolari.
- Le radiazioni sono molto energetiche e dannose
- L'attività è misurata in Bq