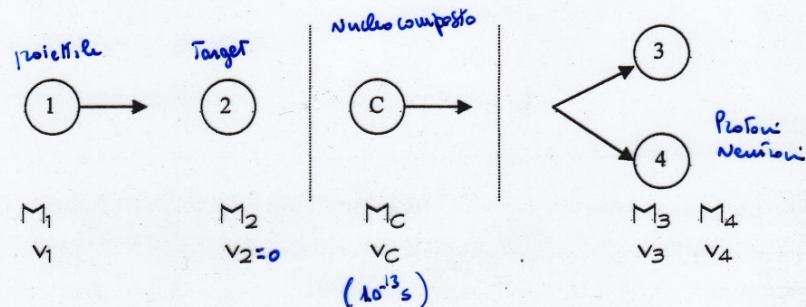


# Reazioni Nucleari

Reazioni Nucleari Indotte:

- 1) Transmutazioni Nucleari (formazione di nuovi nuclei)
- 2) Scattering Inelastico (nucleo eccitato)
- 3) Scattering Elastico



- $\Delta E = 0$  ( $E_{\text{Prodotti}} - E_{\text{Reagenti}} = 0$ )
- $\Delta p = 0$  *cons. momento*
- $\Delta Z = 0$  *cons. carica*
- $\Delta A = 0$  *cons. massa (non sempre)*
- $\Delta I = 0$  *cons. spin*

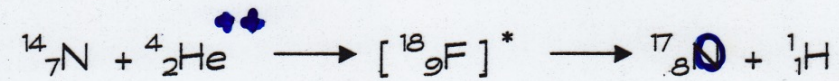
$$Q \text{ (MeV)} = -931.5 \Delta M^{\circ}(\text{u})$$

$M$  massa relativistica  
 $M^{\circ}$  massa a riposo

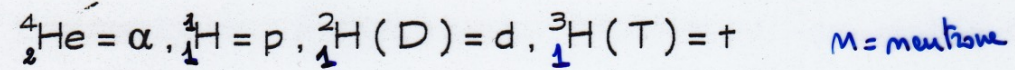
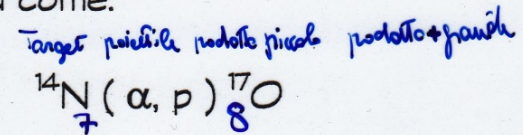
$$\Delta M^{\circ} = M_3^{\circ} + M_4^{\circ} - M_1^{\circ} - M_2^{\circ}$$

$\Delta M^{\circ} < 0$ ;  $Q$  è positivo - Reazione EXOERGICA <sup>ONICA</sup> Rilascio di energia

$\Delta M^{\circ} > 0$ ;  $Q$  è negativo - Reazione ENDOERGICA <sup>ONICA</sup> Fornire energia



che può essere scritta come:



é una reazione di tipo ( $\alpha, p$ )

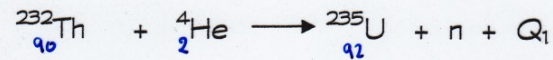
Per questa reazione:

$$\begin{aligned} \Delta M^\circ &= M^\circ_3 + M^\circ_4 - M^\circ_1 - M^\circ_2 = \\ &= (16.999133 + 1.007825 - 14.003074 - 4.002604) = \\ &= 0.001280u \end{aligned}$$



$$Q = 1.19 \text{ MeV}$$

- 1)  $^{232}\text{Th} (\alpha, n) ^{235}\text{U}$
- 2)  $^{232}\text{Th} (\alpha, 2n) ^{234}\text{U}$
- 3)  $^{232}\text{Th} (\alpha, 3n) ^{233}\text{U}$
- 4)  $^{232}\text{Th} (\alpha, 4n) ^{232}\text{U}$



$$Q_1 = 11.1 \text{ MeV} \quad \text{SOGLIA MINIMA}$$

$$Q_2 = 16.4 \text{ MeV}$$

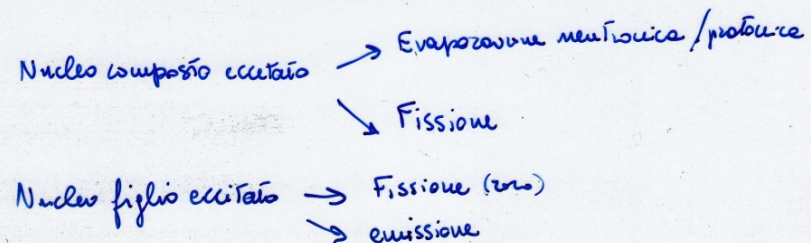
$$Q_3 = 23.2 \text{ MeV}$$

$$Q_4 = 29.0 \text{ MeV}$$

Che energia deve avere la particella  $\alpha$  affinché la reazione avvenga?

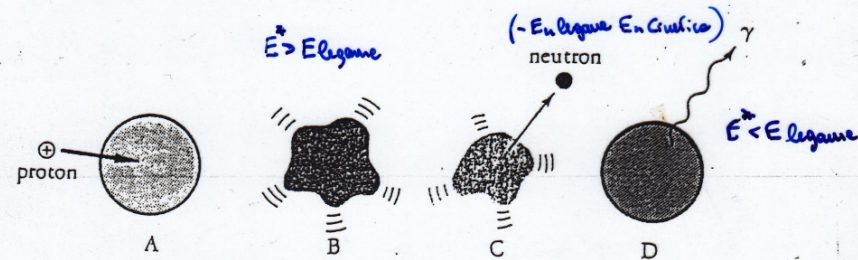
- I)  $(KE)_\alpha = 11.1 \times 236/232 = 11.3 \text{ MeV}$  *Energia cinetica perso nella formazione del nucleo composto*
- II) Energia sufficiente a superare la barriera Coulombiana

> 20 MeV

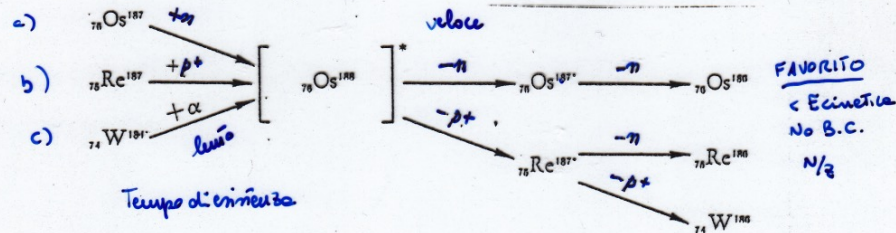
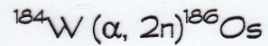


- Modello della goccia di Liquido (Energie cinetica 10-50 MeV)

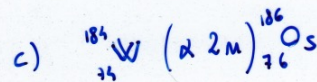
Teoria del Nucleo Composto (BOHR)



- A simple representation of the formation of an excited compound nucleus B and its subsequent de-excitation by neutron evaporation C and gamma-ray emission D.



Nuclear reactions involved in the formation and subsequent decay of the  $\text{Os}^{186}$  compound nucleus.

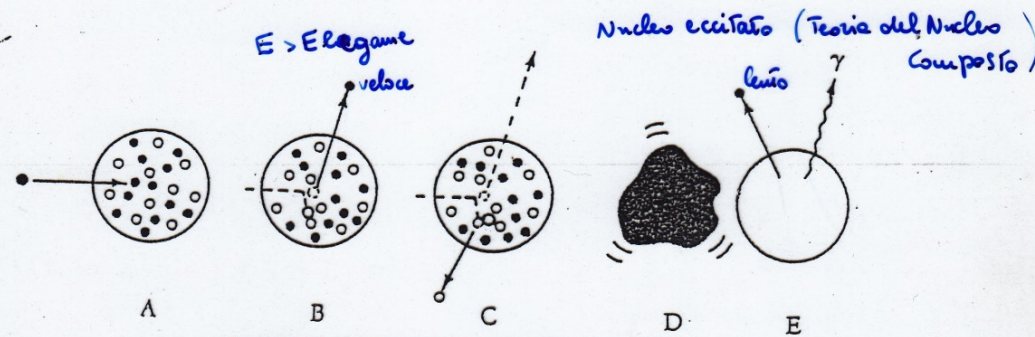


Evaporazione neutroni  $\approx 8 \text{ MeV}$   
 protoni  $\approx 12 \text{ MeV}$

- Modello dell' Interazione Diretta  $E > 50 \text{ MeV}$   
 spiega l'emissione di neutroni e protoni ad alta energia

Knock-on Cascade Process

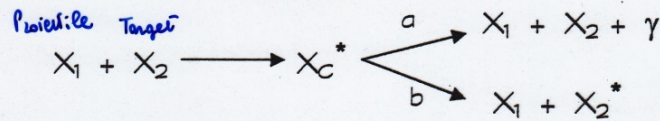
PROCESSO A CASCATI INDOTTO DA URTO;



A simple representation of a high-energy reaction in which a neutron (B) and a proton (C) are directly knocked out before formation of the compound nucleus D and subsequent de-excitation by evaporation and gamma-ray emission E.

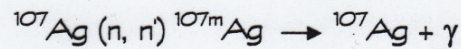
NEUTRONI TERMICI (LENTI): Neutrone che ha la stessa energia cinetica che avrebbe una molecola di gas a quella temperatura

2) Scattering Inelastico *Energia cinetica trasformata in Energia nucleare*



$$Q < 0$$

Es:



3) Scattering Elastico *(Non si forma il nucleo composto)*  
*Il nucleo bersaglio acquista energia cinetica*



$$Q = 0$$

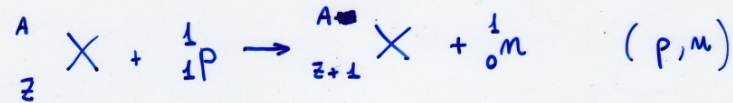
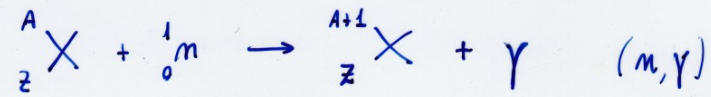
Se le particelle bombardanti sono ~~positroni~~ neutroni ad alta energia questa viene ridotta a Energia Termica da 1 collisione

La diminuzione di en. cinetica del neutrone è detta "MODERAZIONE",  
 Atomi leggeri sono migliori moderatori di quelli pesanti;

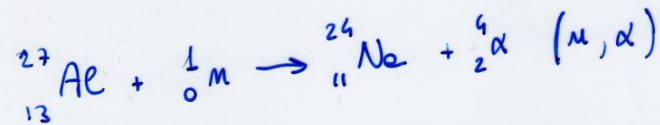
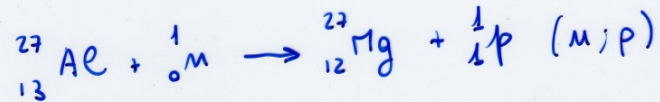
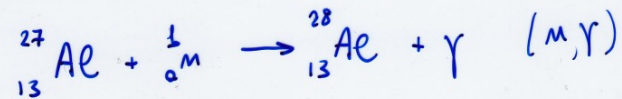
$^{12}\text{C}$  vel neutrone diminuisce 15%

$^{238}\text{U}$  vel " " " 1%

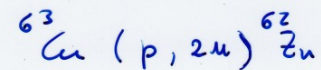
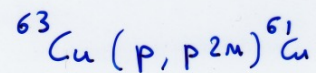
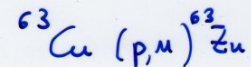
Reazioni nucleari (Esempi)



ecc; ecc



Esempi



## Radioelementi Naturali

Possono essere suddivisi in 3 gruppi:

1. Nuclidi Radioattivi con  $t_{1/2}$  paragonabili all'età della terra:

a) Famiglia dell'  $^{238}\text{U}$  (serie  $4n + 2$ ): A  $\rightarrow$   $^{206}\text{Pb}$

b) Famiglia del  $^{232}\text{Th}$  (serie  $4n$ )  $\rightarrow$   $^{208}\text{Pb}$  ( $n=6$ )

c) Famiglia del  $^{235}\text{U}$  (serie  $4n + 3$ )  $\rightarrow$   $^{207}\text{Pb}$

d) Famiglia del  $^{237}\text{Np}$  (serie  $4n + 1$ )  $\rightarrow$   $^{209}\text{Bi}$  *Np non è presente in natura ma nuclei stabili (si era già esaurito)*

2. Nuclidi Radioattivi formati da radiazioni cosmiche *(si era già esaurito)*

3. Nuclidi Radioattivi parte delle catene di decadimento naturale  $^{2,2 \cdot 10^6}$  ANNI

## Radioelementi Artificiali

1. Il Tecnezio (Tc)  $Z = 43$

2. Il Promezio (Pm)  $Z = 61$

3. L'Astato (At)  $Z = 85$

4. Gli Elementi Transuranici con  $Z$  compreso fra 93 e 109

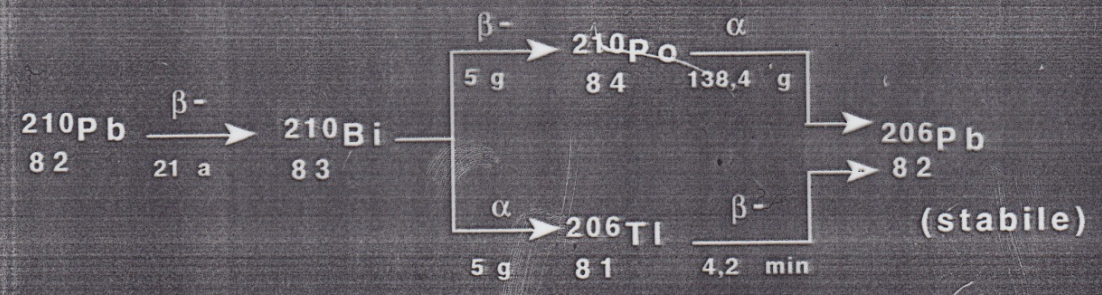
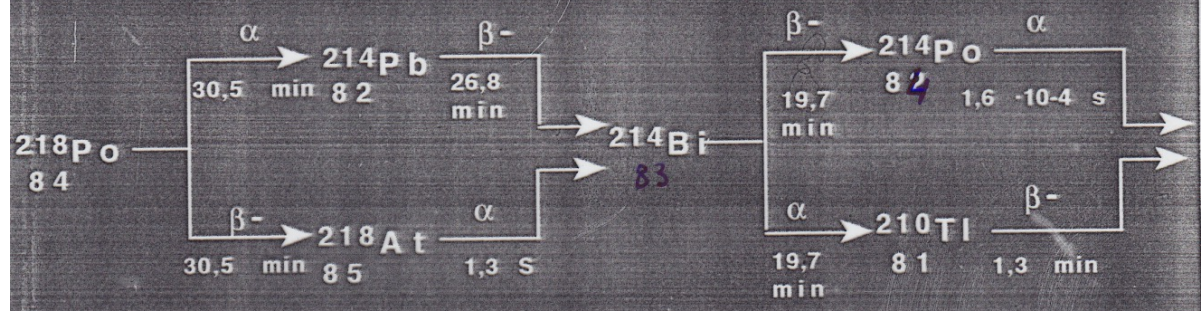
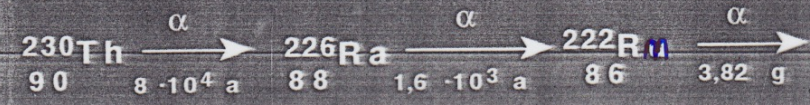
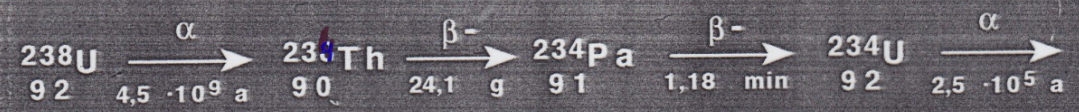
*Il loro tempo di vita va sempre diminuendo*

$^{257}_{100}\text{Fm}$   $t_{1/2} = 85$  giorni

$^{263}_{106}\text{Uuh}$   $t_{1/2} = 1$  secondo



$^{238}\text{U}$      $^{235}\text{U}$      $^{232}\text{Th}$   
 92        92        90



## Elementi transuranici

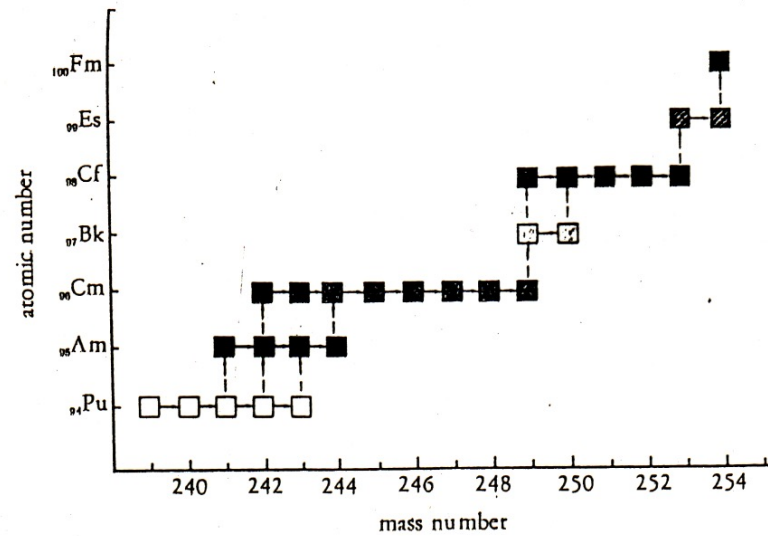
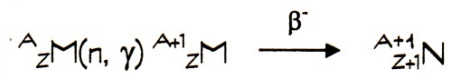
Z	Simbolo	Isotopo più stabile	Config. elettr.
93	Np	237	[Rn] 5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
94	Pu	244	[Rn] 5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup>
95	Am	243	[Rn] 5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup>
96	Cm	247	[Rn] 5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
97	Bk	247	[Rn] 5f <sup>8</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
98	Cf	251	[Rn] 5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup>
99	Es	254	[Rn] 5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup>
100	Fm	253	[Rn] 5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup>
101	Md	256	[Rn] 5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup>
102	No	253	[Rn] 5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup>
103	Lw	257	[Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
104	Kc	260	[Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>

Numero atomico dell'elemento	Nome temporaneo	Berkeley	Dubna	Darmstadt	IUPAC	Nome scelto
104	Unnilquadio	Rutherfordio	Kurchatovio	—	Dubnio	Rutherfordio
105	Unnilpentio	Hahnio	Nielsbohrio	—	Joliotio	Dubnio
106	Unnilhexio	Seaborgio	—	—	Rutherfordio	Seaborgio
107	Unnilseptio	—	—	Nielsbohrio	Bohrio	Bohrio
108	Unniloctio	—	—	Hassio	Hahnio	Hassio
109	Unnilennio	—	—	Meitnerio	Meitnerio	Meitnerio

## Sintesi di Nuclidi

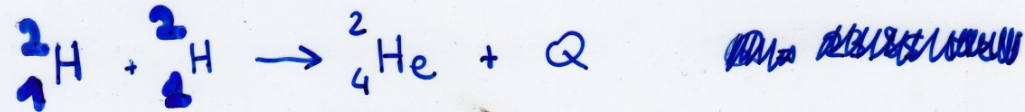
a) per bombardamento con particelle  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ ....  
seguito da dec  $\beta^+$  o EC

b) per cattura neutronica  
seguito da emissione di raggi  $\gamma$  o dec  $\beta^-$



**Reaction and decay sequence for production of the actinide elements by irradiation of  $\text{Pu}^{239}$  in a nuclear reactor.**

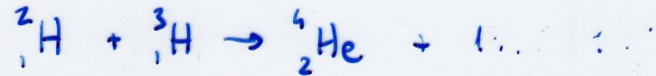
## FUSIONE NUCLEARE



L'energia <sup>cinetica</sup> richiesta è di 0.48 MeV  $\rightarrow T = 10^8 \text{ K}$   
(energia per avvicinare i due nuclei di deuterio)

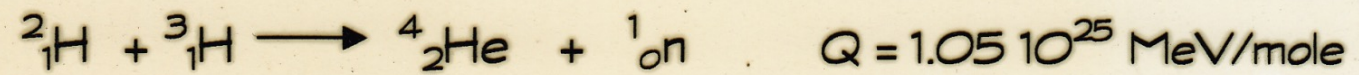
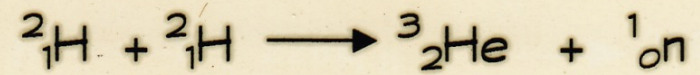
È un processo lento (molti effluvi devono avere energie  $> 0.48 \text{ MeV}$ )

BOMBA ALL' IDROGENO (il processo è inverso da una bomba atomica)



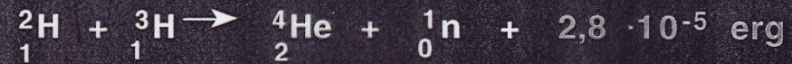
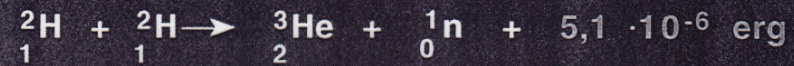
- Vantaggi
  - Energia + pulita di quella per fissione
  - Maggiori risorse naturali
- Svantaggio
  - Elevata energia di attivazione

## Fusione



## Fusione

Un nucleo con  $A < 60$  formato dalla fusione di due nuclei leggeri ha un difetto di massa maggiore del difetto di massa totale dei nuclei di partenza.



$$2,8 \cdot 10^{-5} \text{ erg /nucleo} = 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} =$$

$$1,68 \cdot 10^{19} \text{ erg /mole} = 1,68 \cdot 10^{12} \text{ J/mole} =$$

$$1,05 \cdot 10^{31} \text{ eV} = 1,05 \cdot 10^{25} \text{ MeV/ mole}$$

## Fissione Spontanea

$^{232}\text{Th}$ $t_{1/2} = 10^{21}$ anni	$Z = 90$
$^{238}\text{U}$ $t_{1/2} = 6 \cdot 10^{15}$ anni	$Z = 92$
$^{244}\text{Cm}$ $t_{1/2} = 1.4 \cdot 10^7$ anni	$Z = 96$
$^{254}\text{Fm}$ $t_{1/2} = 200$ anni	$Z = 100$

Forza di repulsione  $\propto Z(Z-1)/dpp$

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

Forza di repulsione  $\propto Z(Z-1)/A^{1/3}$

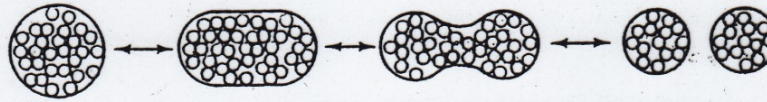
Forza di repulsione  $\propto Z^2/A^{1/3}$

Forza attrattive  $\propto A^{2/3}$

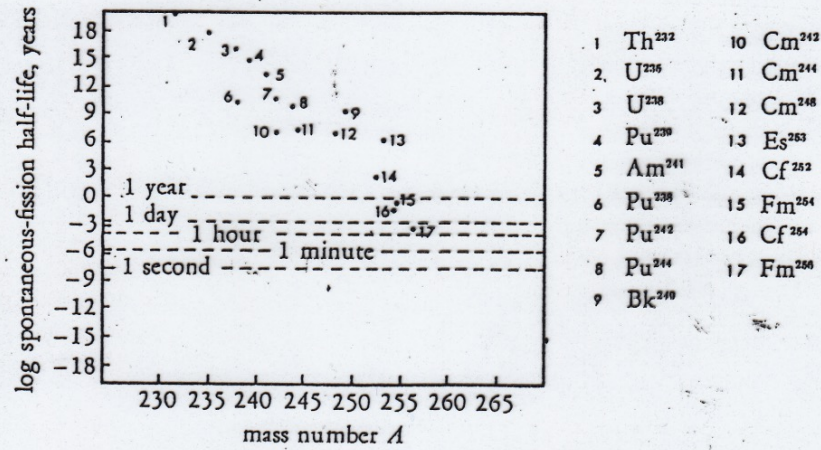
$$\text{INSTABILITA' } = Z^2/A^{1/3} / A^{2/3} \approx Z^2/A$$

$$\text{Fissione } \frac{Z^2}{A} > 35$$

# Modello di Bohr-Wheeler



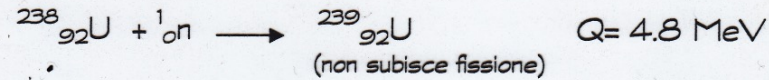
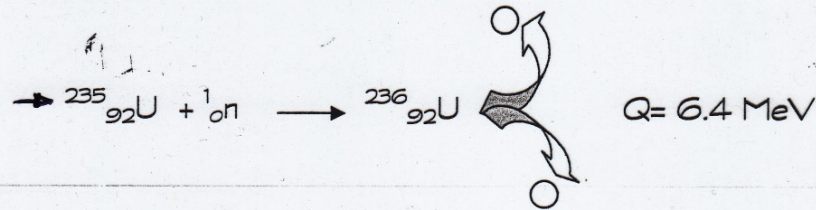
Liquid-drop model oscillations leading to fission.



The half-life (partial) of spontaneous decay as a function of mass number  $A$  for some isotopes between  $Z = 90$  and  $Z = 100$ .



## Fissione Indotta



Sono necessari dai 5 ai 6 MeV di energia

$n$  = neutroni termici o lenti (bassa energia)

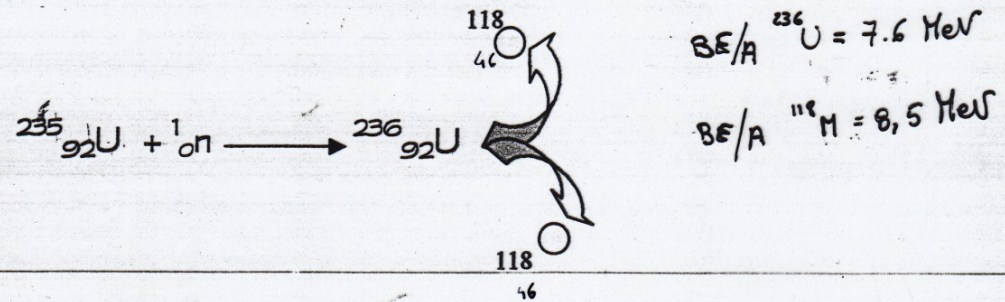
Hanno alto tempo di permanenza nel nucleo

I protoni per provocare fissione devono invece avere alta energia  
per superare la barriera nucleare coulombiana.

La fissione è accompagnata dall'emissione di molti neutroni  
e raggi  $\gamma$ .

I prodotti della fissione non sono stabili  $N/Z$  alto ( $\beta^-$ )

## Energia della Fissione



$$E_f = \text{tot BE}({}^{236}\text{U}) - 2 \times \text{tot BE}({}^{118}\text{M})$$

$$E_f = (236)(-7.6) - 2(118)(-8.5) = 210 \text{ MeV}$$

$$E_f = (236)(-7.6) - 2(118)(-8.5) = 210 \text{ MeV}$$

*I nuclei derivanti dalla fissione sono meno instabili ed emettono  $\beta^-$ ,  $\gamma$ , neutroni, ecc.*

Hanno meno di neutroni.  $\frac{118+46}{46} > 1.5 \quad \frac{N}{Z} > 1.5$

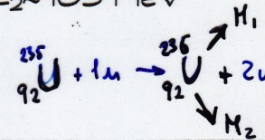
# Distribuzione della Massa

$$E_1 \neq E_2 \quad M_1 \neq M_2$$

$$E_1 \approx 75 \text{ MeV} \quad E_2 \approx 105 \text{ MeV}$$

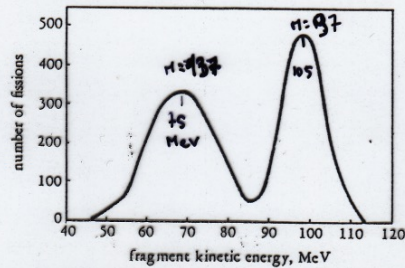
$$M_2/M_1 = 0.7$$

$$M_2 + M_1 = 234$$

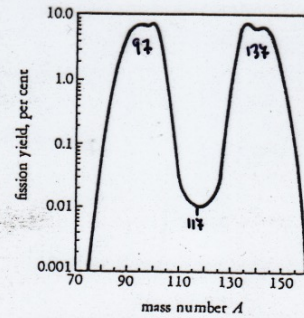


$$M_2 \approx 97$$

$$M_1 \approx 137$$

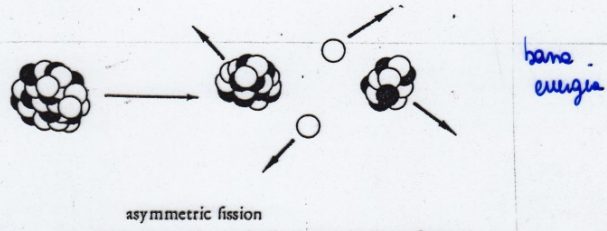
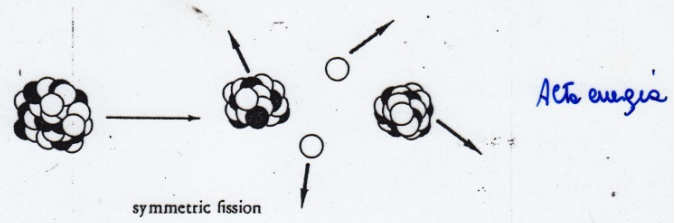


Kinetic-energy distribution of the fission fragments from the thermal neutron fission of  $\text{U}^{235}$ .

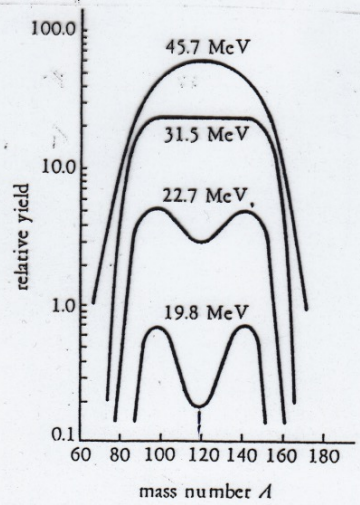


Mass distribution of the fission fragments from the thermal neutron fission of  $\text{U}^{235}$ .

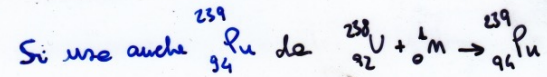
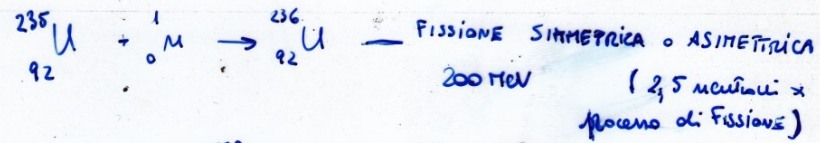
- Fissione Simmetrica / Fissione Asimmetrica



Representations of the symmetric and asymmetric modes of fission. In both cases, two neutrons are shown being emitted during fission.



Mass distribution of the fission products from the bombardment of  $Np^{237}$  with alpha particles of 19.8, 22.7, 31.5, and 45.7 MeV. <sup>43</sup>



Svantaggi: Energia non pulita, scarse riserve naturali ( ${}^{235}\text{U} \approx 0,7\%$ )

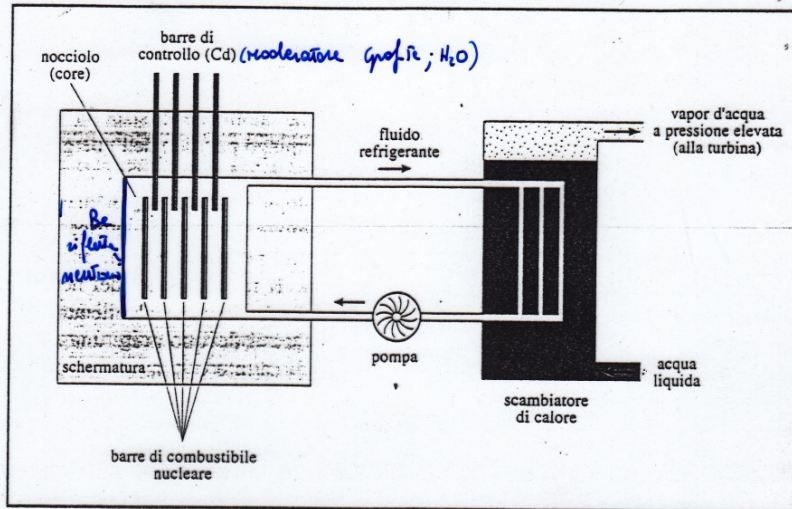
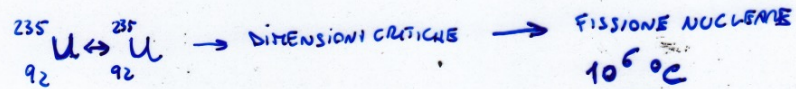


Figura B5.3 - Disegno schematico delle parti essenziali di un reattore nucleare.

### BOMBA ATOMICA



(bomba convenzionale)

## Legge del decadimento

$$A = -dN/dT$$

$A = \text{n}^\circ \text{ disintegrations / } t$

$N = \text{n}^\circ \text{ di atomi che decadono}$

$$A \propto N$$

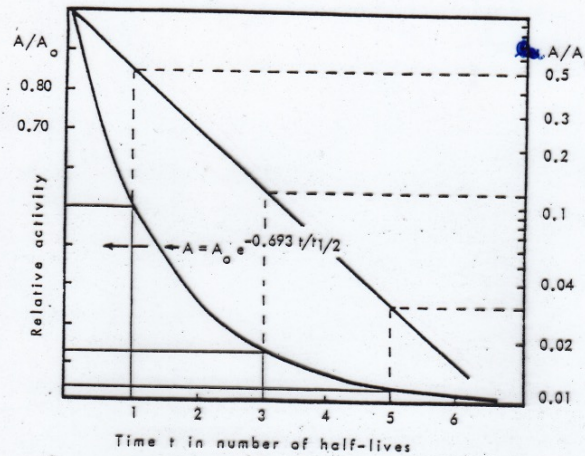
$$\boxed{A} = -dN/dT = \boxed{\lambda N}$$

$\lambda = \text{costante di decadimento}$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

*Sperimentalmente  
si misura  
A + accuratamente  
di N*



Linear and logarithm plots of simple radioactive decay.

$t_{1/2} = \text{tempo di semivita}$  : *identifica il nucleo radioattivo*

$$A_t/A_0 = 1/2 = e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$t_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$$

$$\tau = 1/\lambda = \text{tempo di vita medio}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

## Unità del decadimento radioattivo

Curie (Ci) = n° di decadimenti per secondo da un grammo di  $^{226}\text{Ra}$  (all'epoca  $t_{1/2} = 1580 \text{ y}$ ) (ora 1600)

Per un grammo di  $^{226}\text{Ra}$ :

$$A = N \lambda = N \times 0.693/t_{1/2} = \frac{0.693 \times 6.02 \cdot 10^{23}}{226.1 \times 1580 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} = 3.70 \cdot 10^{10} \text{ dps}$$

Nel sistema SI l'unità di radiazione è:

Becquerel (Bq) = 1 (disintegrazione)  $\text{s}^{-1}$

1 Curie (Ci) =  $3.7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$  (Bq)

pari a  $222 \cdot 10^{10} \text{ dpm}$

## Radioattività Specifica o (Attività specifica)

$$(S) = A / W = (\text{Bq Kg}^{-1}, \text{dpm g}^{-1}, \text{dpm mole}^{-1})$$

Es.:

Per 1 g di  $^{32}\text{P}$   $t_{1/2} = 14.2$  giorni

$$S = \frac{0.693 \times 6.02 \cdot 10^{23}}{32 \times 14.2 \times 24 \times 60 \times 60} = 1.06 \cdot 10^{16} \text{ dps per grammo } \text{Bq/g}$$

$$1.06 \cdot 10^{16} / 3.7 \cdot 10^{10} = 2.88 \cdot 10^5 \text{ Ci/g}$$

$^{226}\text{Ra}$ :  $0.988 \text{ Ci/g}$ ,  $3.65 \cdot 10^{10} \text{ Bq/g}$ ,  $2.19 \cdot 10^{12} \text{ dpm/g}$ ;

K:  $1.85 \cdot 10^3 \text{ dpm/g}$ ;  $^{232}\text{Th}$ :  $0.243 \cdot 10^6 \text{ dpm/g}$ ;  $^{238}\text{U}$ :  $0.746 \cdot 10^6 \text{ dpm/g}$ .

il n° di nuclei radioattivi che rimangono in un dato istante è:

$$N = N_0 / 2^n \quad n = \text{n° di semivite} \\ \text{passate}$$

A è in genere espressa in n° di disintegrazioni per secondo (dps) o disintegrazioni per minuto (dpm)

Per un dato Sistema di Rivelazione :

$$R = \psi A$$

$\psi = \text{cost} = \text{efficienza di conteggio}$

*dipende dallo numero e dal tipo di radiazione  
 $0,1 \leq \psi \leq 0,5$*

poichè  $A = -dN/dt$  e  $t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$

$$R = \psi N \lambda = \psi N \ln 2 / t_{1/2}$$

Es:

Da un campione di 1,27 mg di  $^{232}\text{Th}$  in un sistema di conteggio per le particelle  $\alpha$  avente  $\psi = 0,515$  sono state osservate 159 cpm

$N = (\text{mg} / \text{PM}) \times N_A = 1,27 \cdot 10^{-3} \times 6,02 \cdot 10^{23} / 232 = 3,295 \cdot 10^{18}$  atomi di  $^{232}\text{Th}$ .

$$t_{1/2} = \psi N \ln 2 / R = 0,515 \times 0,693 \times 3,295 \cdot 10^{18} / 159 = 7,40 \cdot 10^{15} \text{ min} \\ = 1,41 \cdot 10^{10} \text{ y}$$

### Decadimento Misto

*Campione con nuclei radioattivi diversi*

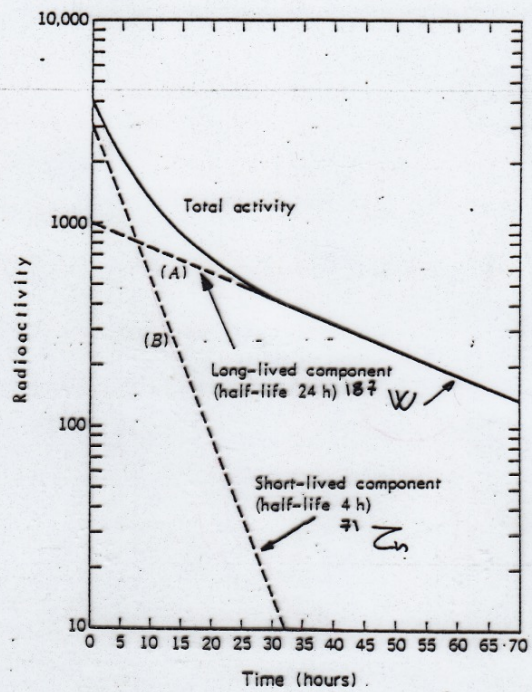
$$R = R' + R''$$

$$R = \psi' A'_0 \times e^{-\lambda' t} + \psi'' A''_0 \times e^{-\lambda'' t}$$

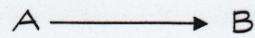
- Se emettono particelle diverse si può misurare separatamente



- Se  $t_{1/2}$  sono sufficientemente diversi:



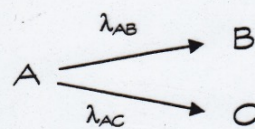
### DECADIMENTO SEMPLICE



$$dN_B/dt = -dN_A/dt = \lambda_A N_A$$

$$N_A = N_A^0 e^{-\lambda_A t}$$

### DECADIMENTO COMPETITIVO

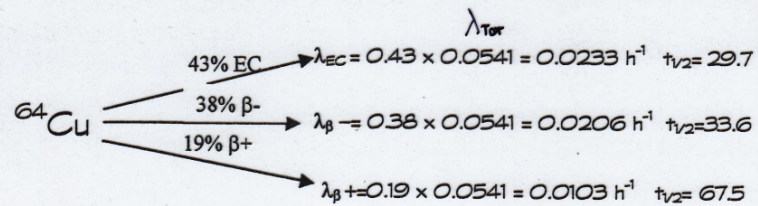


$\lambda_{AB}$   $\lambda_{AC}$  costanti:  
parziali  
di decadimento

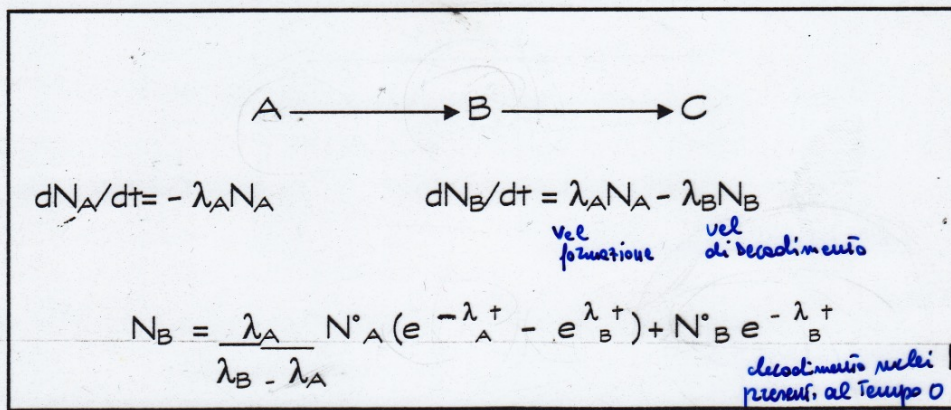
$$-dN_A/dt = \lambda_A N_A = \lambda_{AB} N_A + \lambda_{AC} N_A$$

$$N_A = N_A^0 e^{-(\lambda_{AB} + \lambda_{AC}) t}$$

$\lambda_{\text{tot}} = \lambda_{AB} + \lambda_{AC}$  costante globale di decadimento



## REAZIONI DI DECADIMENTO SUCCESSIVE



1)  $\lambda_B \gg \lambda_A$   *$t_{1/2}$  padre  $\gg$   $t_{1/2}$  figlio*

$$N_B = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} N_A (1 - e^{-\lambda_B t})$$

Il max valore di  $N_B$  per  $t$  sufficientemente grandi:  $e^{-\lambda_B t}$  tende a 0

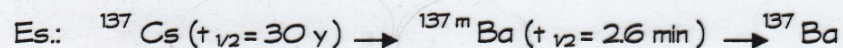
$$N_A \lambda_A = N_B \lambda_B$$

*grande*
*piccolo*

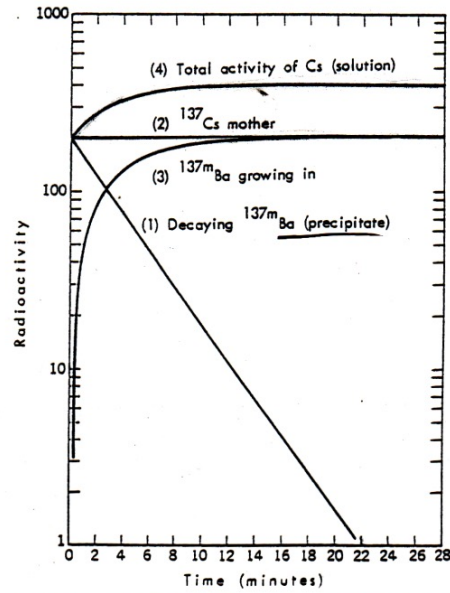
$$A_A = A_B$$

(equilibrio radioattivo)  
(in realtà è uno stato stazionario)

Se  $t \ll t_{1/2}$  non si osservano variazioni nella  $v$  di  $t$ : tempo di osservazione  
decadimento del nucleo padre  $N_A^0 = N_A$  (equilibrio secolare)

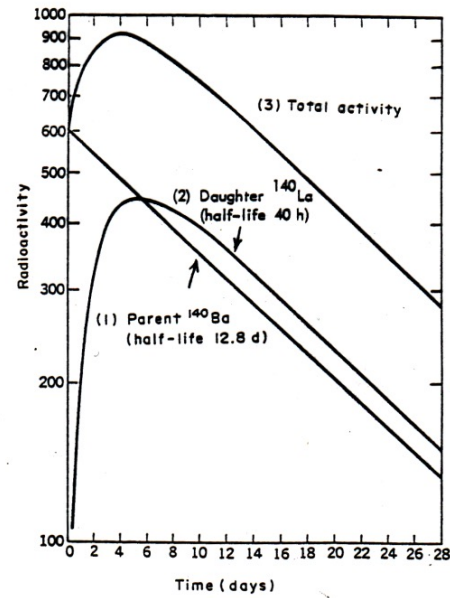


Se si separa per precipitazione il Bario dal Cesio



eq radioativo (secolore)

Case of radioactive equilibrium: successive decay chain  $^{137}\text{Cs} (t_{1/2} 30 \text{ y}) \rightarrow ^{137\text{m}}\text{Ba} (t_{1/2} 2.6 \text{ min}) \rightarrow \text{stable}$ .



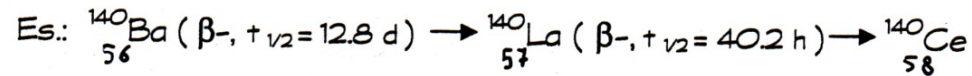
equilibrio transiente

Case of transient equilibrium: successive decay chain  $^{140}\text{Ba} (t_{1/2} 12.8 \text{ d}) \rightarrow ^{140}\text{La} (t_{1/2} 40 \text{ h}) \rightarrow \text{stable}$ .

2)

$$\lambda_A \ll \lambda_B$$

In molte catene di decadimento radioattivo  $t_{1/2}$  del padre  $\gg t_{1/2}$  del figlio ma è sufficientemente corto da rendere osservabile la  $\lambda$  di decadimento del nucleo padre (equilibrio transiente)  $t \gg t_{1/2}$  padre



$$A_B = \frac{t_{1/2A}}{t_{1/2A} - t_{1/2B}} A_A^0 (e^{-0.693t/t_{1/2A}} - e^{-0.693t/t_{1/2B}})$$

$\Rightarrow$  Per  $t \ll t_{1/2A}$  ( $t \ll 12.8 \text{ d}$ ),  $A_B$  cresce proporzionalmente a  $(1 - e^{-0.693t/t_{1/2B}})$  e si avvicina nel caso di prima. All'aumentare di  $t$  il termine fra parentesi tende a 1

$\Rightarrow$  Per  $t \gg t_{1/2B}$  ( $t \gg 40.2 \text{ h}$ ),  $A_B$  decresce proporzionalmente a  $(e^{-0.693t/t_{1/2A}})$

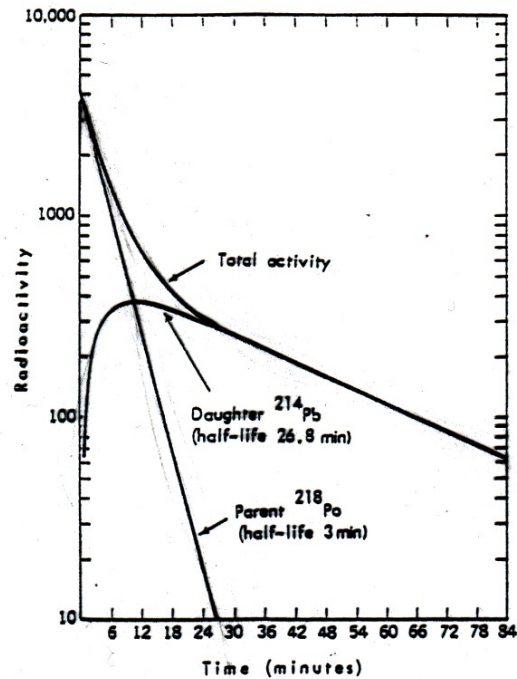
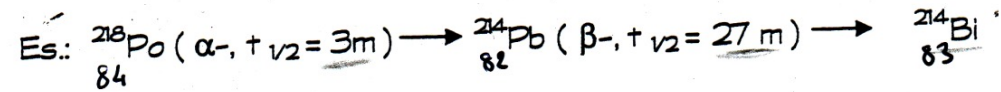
$\downarrow$   
 $t \gg t_{1/2}$  padre

$$N_B = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A$$

$N_B$  varia in funzione di  $N_A$  che varia anch'esso.

3)  $\lambda_A \gg \lambda_B$

Se  $t_{1/2}$  del padre  $\ll t_{1/2}$  del figlio l'attività di quest'ultimo cresce fino a un max e poi decade con il proprio  $t_{1/2}$



Case of no equilibrium: successive decay chain  ${}^{218}\text{Po} (t_{1/2} 3\text{m}) \rightarrow {}^{214}\text{Pb} (26.8\text{min}) \rightarrow$  stable.

## Età della Terra

$${}^{238}\text{U} (t_{1/2} = 4.5 \cdot 10^9 \text{ y}) \quad 99.28\%$$

$${}^{235}\text{U} (t_{1/2} = 7.1 \cdot 10^8 \text{ y}) \quad 0.72\%$$

$$N_{235} = N^{\circ}_{235} e^{-\lambda_{235} t}$$

$$N_{238} = N^{\circ}_{238} e^{-\lambda_{238} t}$$

$$N^{\circ}_{235} = N^{\circ}_{238}$$

$$e^{-\lambda_{238} t} / e^{-\lambda_{235} t} = N_{238} / N_{235} = 99.28 / 0.72 = 138$$

$$-(\lambda_{238} - \lambda_{235}) \cdot t = 2.303 \log 138 = 4.91$$

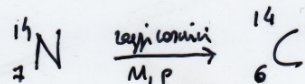
$$\lambda_{238} = 0.693 / t_{1/2} = 1.54 \cdot 10^{-10} \text{ y}^{-1}$$

$$\lambda_{235} = 0.693 / t_{1/2} = 9.76 \cdot 10^{-10} \text{ y}^{-1}$$

$$t = 4.91 / 8.22 \cdot 10^{-10} = 6 \cdot 10^9 \text{ y}$$

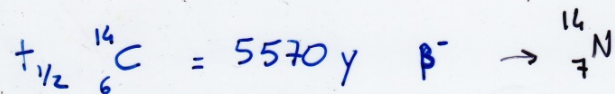
vita max della Terra.

## DATAZIONE MATERIALI ORGANICI CON IL $^{14}\text{C}$



Dopo la morte del materiale organico cessa lo scambio di atomi di carbonio con l'esterno.

Se  $N$  di atomi di  ${}^6_6\text{C}$  contenuti nel materiale inizierà allora a decadere



$$c = c_0 e^{-\Delta t/\tau}$$

$$\Delta t = -\tau \ln\left(\frac{c}{c_0}\right)$$

$$t(\text{y}) = \frac{(\log 15 - \log S) 5570}{0.301}$$

$S$  = attività specifica del campione da datare.

Problemi.

- Variazione del contenuto di  $^{14}\text{C}$  nell'atmosfera nei millenni.
- Continuazione dello scambio di C da parte del materiale anche dopo la morte.