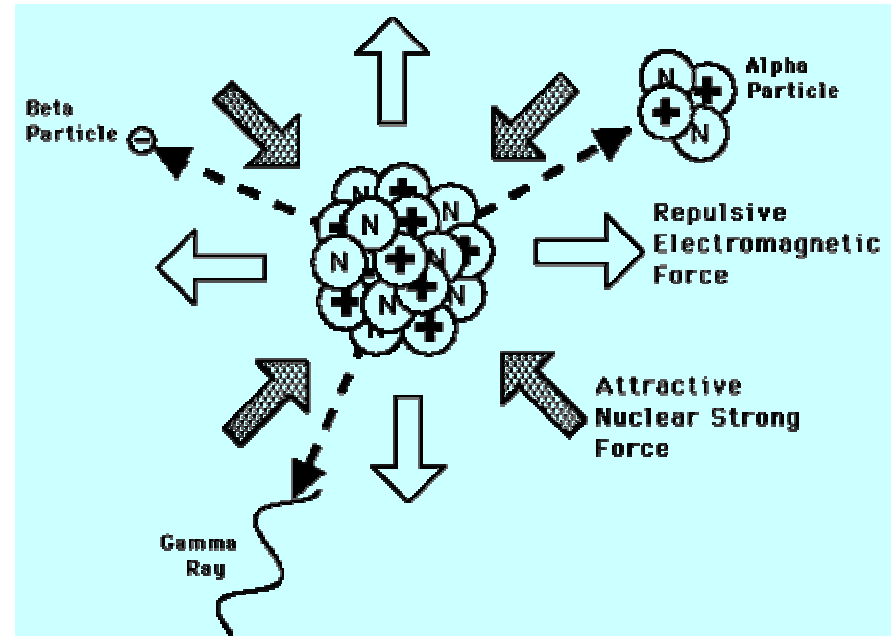


# Decadimento radioattivo

Alcuni elementi possiedono in natura degli isotopi instabili (**radioisotopi**).

Essi decadono spontaneamente (**emissione** o **disintegrazione**) emettendo particelle e fotoni per raggiungere lo stato energetico fondamentale.

Questo tipo di fenomeno può essere indotto anche artificialmente, bombardando nuclei pesanti stabili ad esempio con neutroni.



# Analisi matematica del decadimento radioattivo

La legge statistica che regola l'andamento nel tempo del decadimento radioattivo è di tipo esponenziale.

In un campione di un particolare radioisotopo, il numero di atomi **dN** che si disintegra nell'unità di tempo **dt** è direttamente proporzionale al numero **N** di atomi radioattivi presenti nel campione in quell'istante:

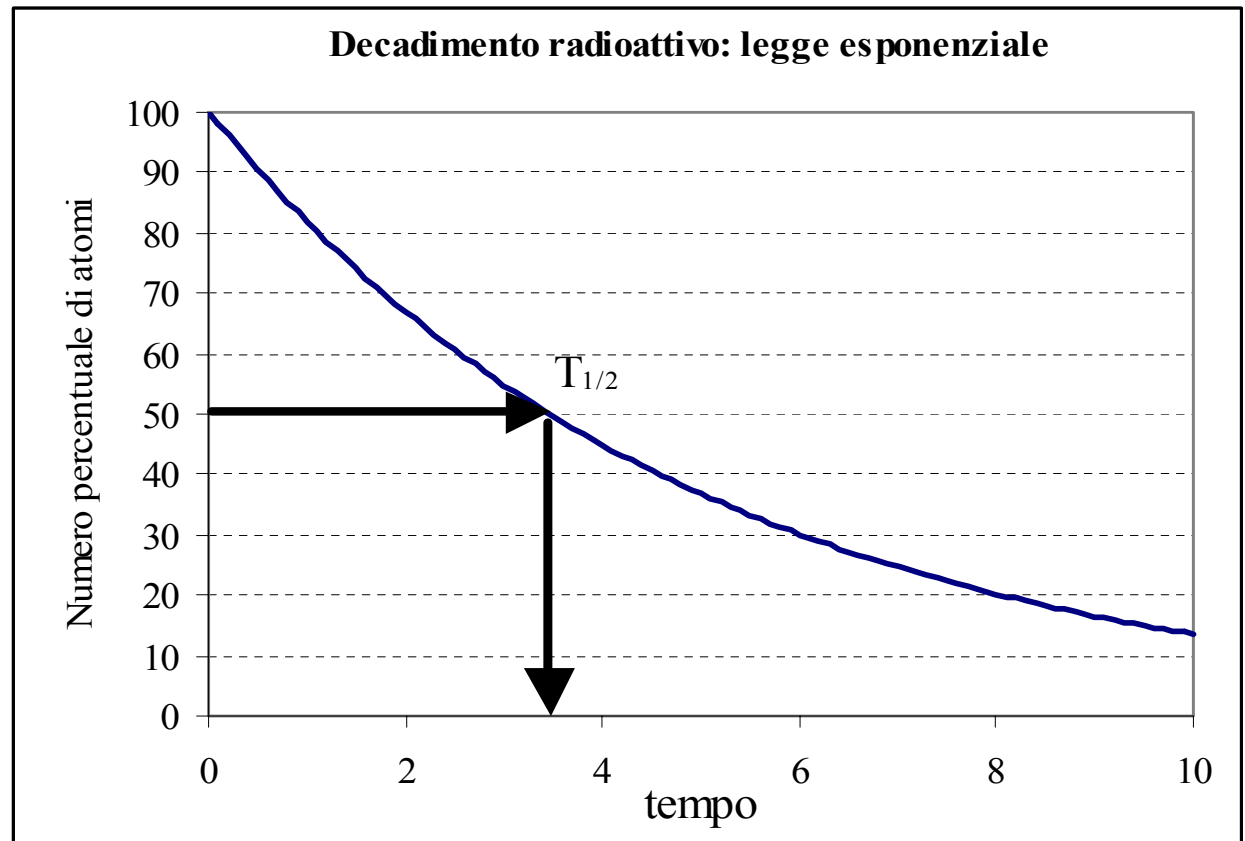
$$- \frac{dN}{dt} \propto N \Rightarrow \frac{dN}{dt} = - \lambda N$$

dove **N** è il numero di atomi rimasti e  $\lambda$  è la **costante di decadimento**, caratteristica del radioisotopo considerato.

# Analisi matematica del decadimento radioattivo

Integrando queste relazioni e definendo  $N_0$  il numero iniziale di atomi, in un qualsiasi istante  $t$  il numero di atomi sarà:

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



# Attività

*Si definisce come **attività** di una data quantità di radionuclide il rateo di disintegrazione del radionuclide.*

Se **dN** è il numero di trasformazioni nucleari che avvengono spontaneamente in un intervallo di tempo **dt**, allora l'attività **a** è definita come:

$$a = - \frac{dN}{dt}$$

L'unità di misura per l'attività è il secondo<sup>-1</sup>, definito come **Becquerel (Bq)**, pari ad una disintegrazione al secondo.

# Attività

Tenendo conto della legge di decadimento

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

Dalla definizione di attività segue che:

$$a_t = a_0 \exp^{-\lambda t}$$

# Tempo di dimezzamento

Si definisce come **tempo di dimezzamento**  $T_{1/2}$  il tempo necessario affinché l'attività del radionuclide si riduce a metà del valore iniziale:

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

**$T_{1/2}$  descrive quanto velocemente il materiale si disintegra.**

# Tempo di dimezzamento

Il valore del **tempo di dimezzamento**  $T_{1/2}$  è strettamente legato alla attività del radioisotopo, essendo:

$$N=N_0e^{-\lambda t} \Rightarrow a = -dN/dt = N_0 \lambda e^{-\lambda t} = N \lambda$$

$$a = N \lambda = N \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

Essendo  $N$  il numero di atomi radioattivi presenti in 1kg di materiale, pari a  $6.02 * 10^{26} / A$ , dove  $A$  è il numero di massa del radionuclide.

# Famiglie radioattive

In genere dalla disintegrazione di un elemento non stabile viene generato un *nuovo elemento* ancora non stabile che successivamente decadrà in un altro elemento, trasformandosi continuamente fino al raggiungimento di uno stato stabile.

La serie di tutti gli elementi che, a partire da un progenitore, si sono originati l'uno dall'altro, prende il nome di **famiglia radioattiva**.



# Famiglie radioattive

In natura esistono tre famiglie radioattive: l'elemento padre ha una vita lunghissima, mentre l'ultimo elemento è stabile.

**Famiglia dell' Uranio  $^{238}\text{U}_{92}$ :** l'uranio ha un tempo di dimezzamento di  $4.5 \cdot 10^9$  anni, l'isotopo stabile finale è il piombo  $^{206}\text{Pb}_{82}$ .















**Famiglia dell' Attinio  $^{235}\text{U}_{92}$ :** l'attinio ha un tempo di dimezzamento di  $7.1 \cdot 10^8$  anni, l'isotopo stabile finale è il piombo  $^{207}\text{Pb}_{82}$ .

**Famiglia del Torio  $^{232}\text{Th}_{90}$ :** il torio ha un tempo di dimezzamento di  $1.4 \cdot 10^{10}$  anni, l'isotopo stabile finale è il piombo  $^{208}\text{Pb}_{82}$ .

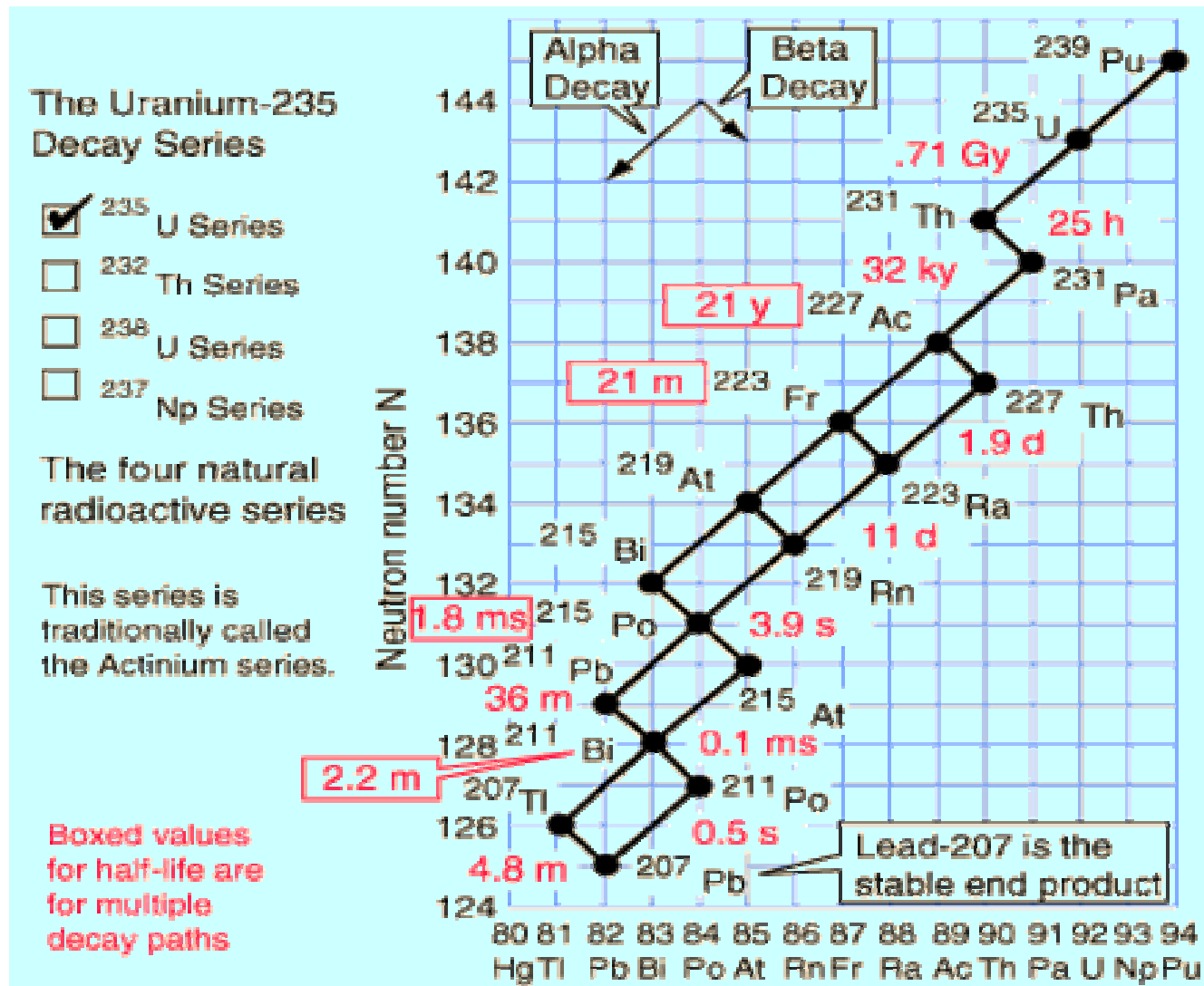
# Famiglia dell' Uranio $^{238}\text{U}_{92}$

L'uranio  $^{238}\text{U}_{92}$  ha un tempo di dimezzamento di  $4.5 \times 10^9$  anni.

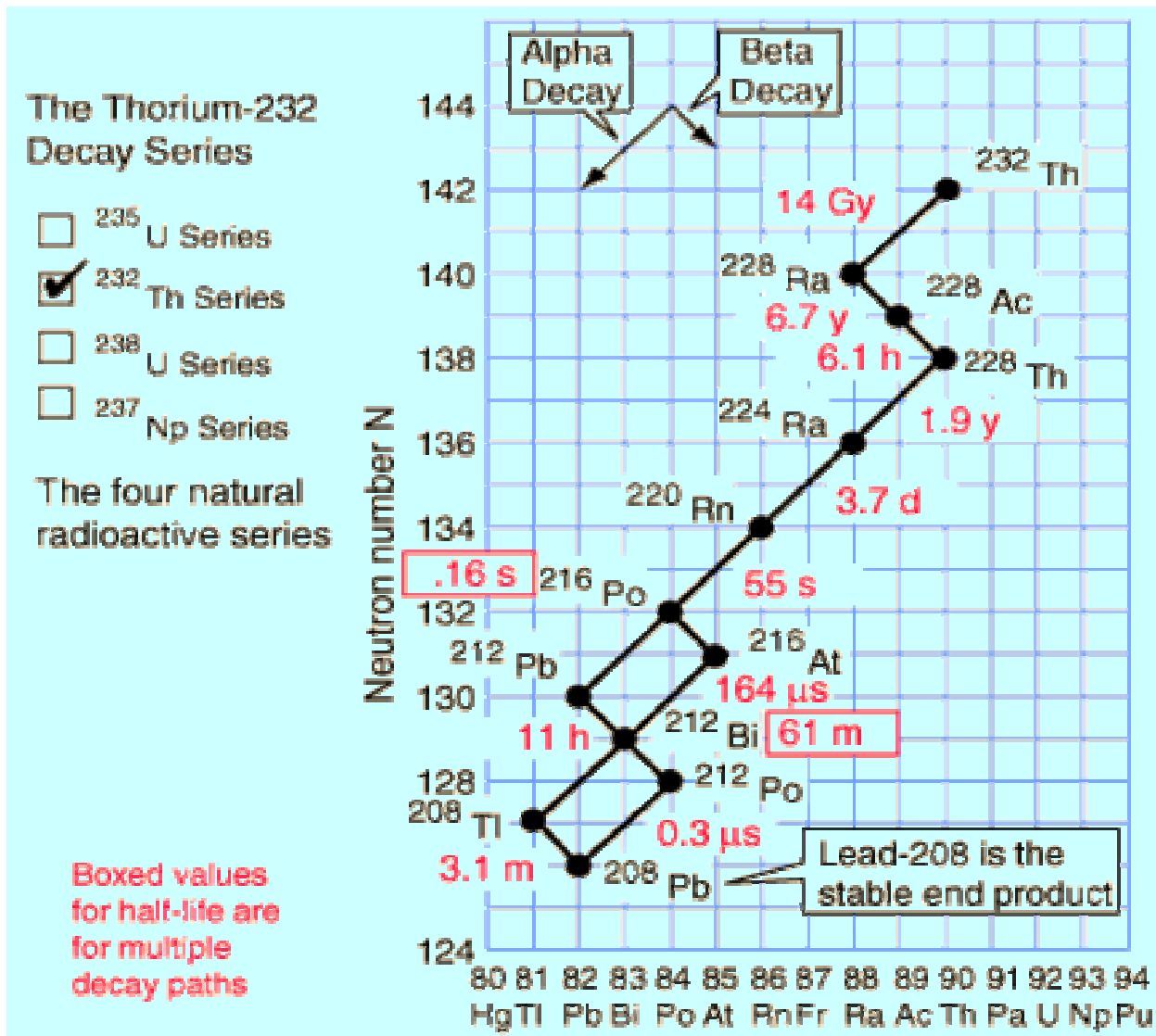
L'isotopo stabile finale è il piombo  $^{206}\text{Pb}_{82}$ .

URANIUM 238 (U238) RADIOACTIVE DECAY		
type of radiation	nuclide	half-life
	 uranium—238	$4.5 \times 10^9$ years
$\alpha$	 thorium—234	24.5 days
$\beta$	 protactinium—234	1.14 minutes
$\beta$	 uranium—234	$2.33 \times 10^5$ years
$\alpha$	 thorium—230	$8.3 \times 10^4$ years
$\alpha$	 radium—226	1590 years
$\alpha$	 radon—222	3.825 days
$\alpha$	 polonium—218	3.05 minutes
$\alpha$	 lead—214	26.8 minutes
$\beta$	 bismuth—214	19.7 minutes
$\beta$	 polonium—214	$1.5 \times 10^{-4}$ seconds
$\alpha$	 lead—210	22 years
$\beta$	 bismuth—210	5 days
$\beta$	 polonium—210	140 days
$\alpha$	 lead—206	stable

# Famiglia dell' Uranio $^{235}\text{U}_{92}$



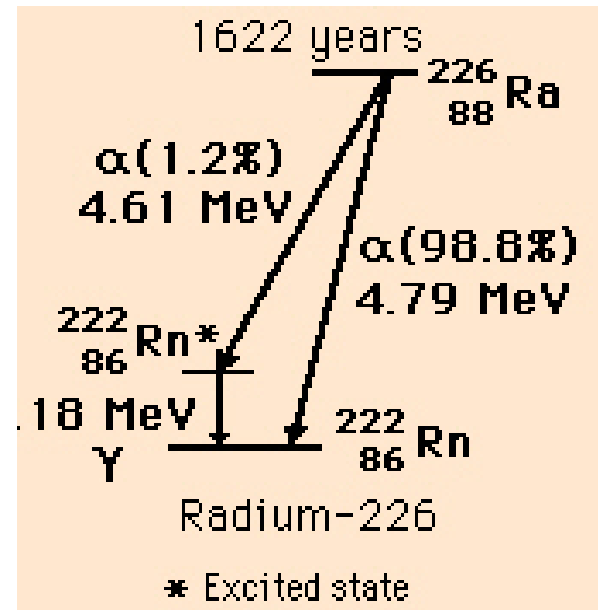
# Famiglia dell' Uranio $^{232}\text{Th}_{90}$



# Famiglie radioattive

In tutte e tre le catene, fra i vari elementi prodotti, è sempre presente un *isotopo del radio*.

Si osserva come dalla valutazione della quantità di piombo presente nei minerali di uranio e di torio è possibile stabilire *l'età dei minerali e di conseguenza l'età della terra*.

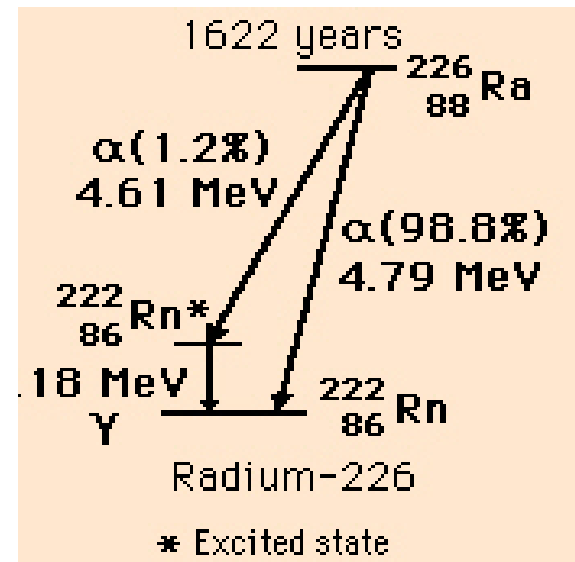


# Il Radon

Il Radon fa parte della serie di decadimento naturale che ha inizio con  $^{235}\text{U}_{92}$ .

***La vita media del radon è pari a 3.8 giorni con emissione di particelle  $\alpha$ .***

Il decadimento del Radon è seguito da 4 ulteriori decadimenti due dei quali con emissione  $\alpha$  (in polonio, piombo e bismuto: ***progenie del radon***)

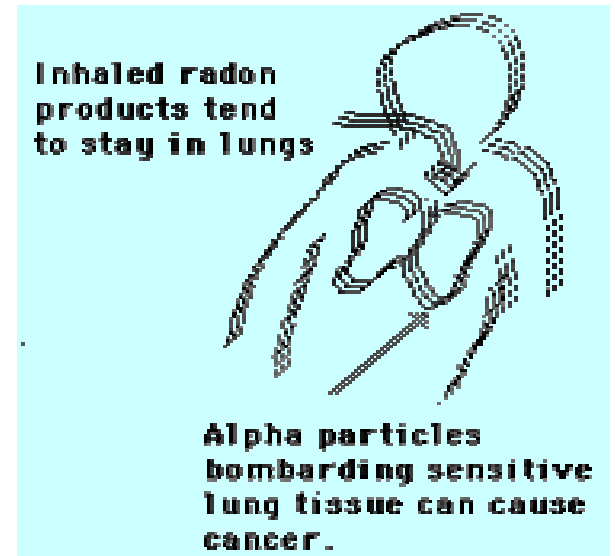
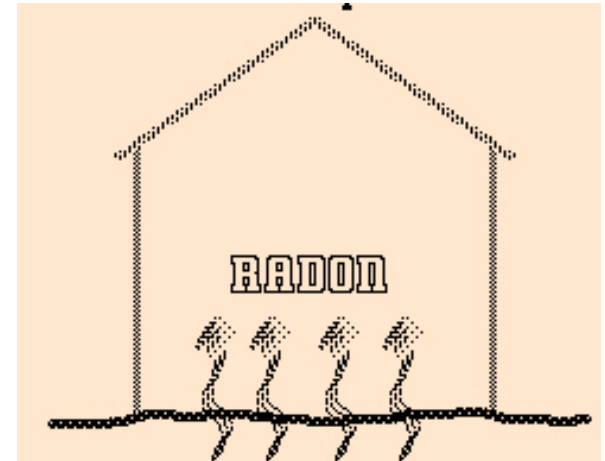


# Il Radon-222

*Il Radon è un gas senza colore, senza odore che si attacca alle molecole dell'acqua.*

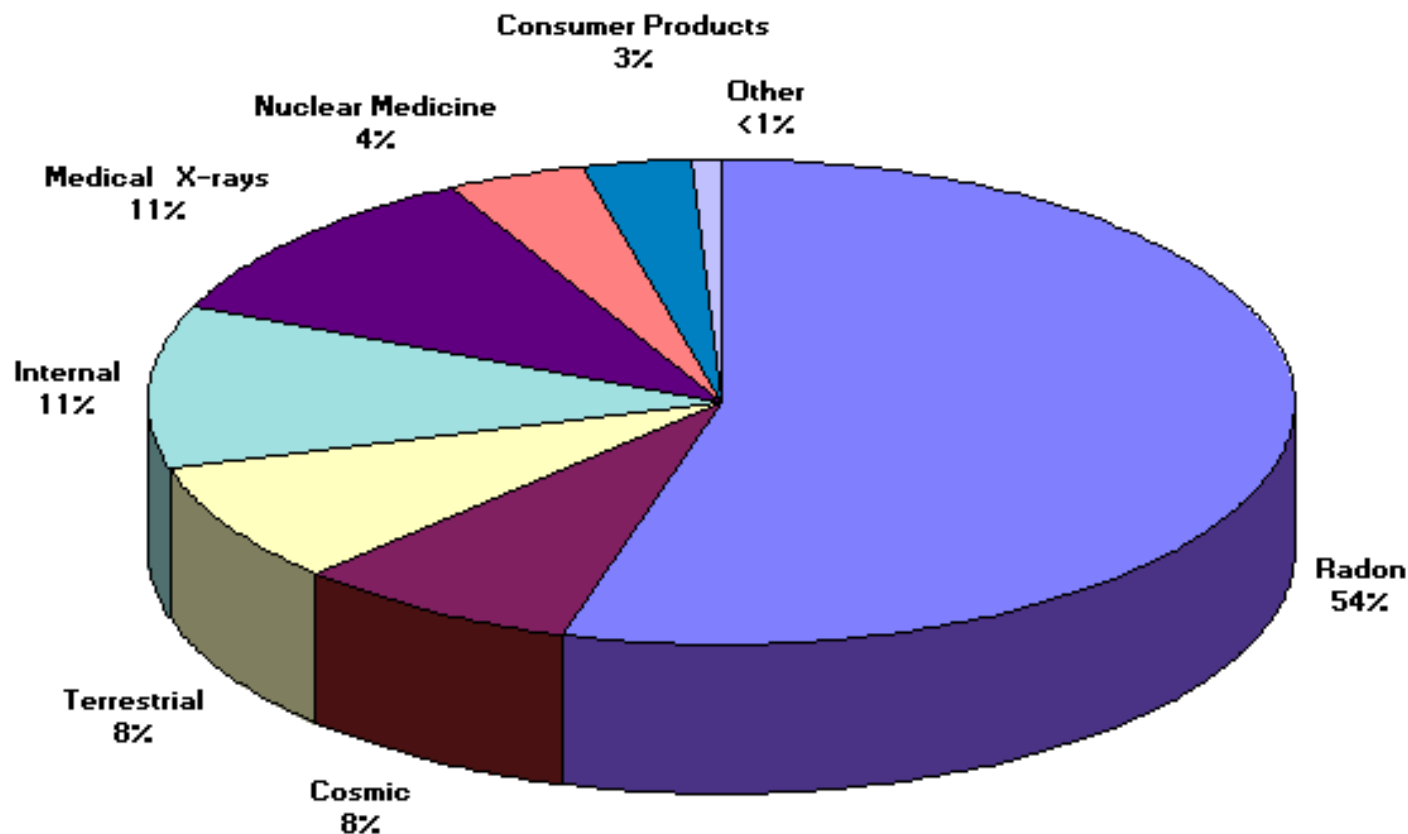
*Quindi come veicolo ha le falde acquifere sotterranee. Appena esce in una cavità si libera nell'aria, ma rimane tendenzialmente a bassa quota (scantinati, cantine, piano terra).*

*I figli del Radon-222 si liberano nell'aria nei pochi minuti della loro esistenza, attaccandosi spesso al pulviscolo respirato dalle persone.*



# Percentuale di esposizione alle sorgenti radioattive naturali e artificiali

Sources of Radiation Exposure to the US Population



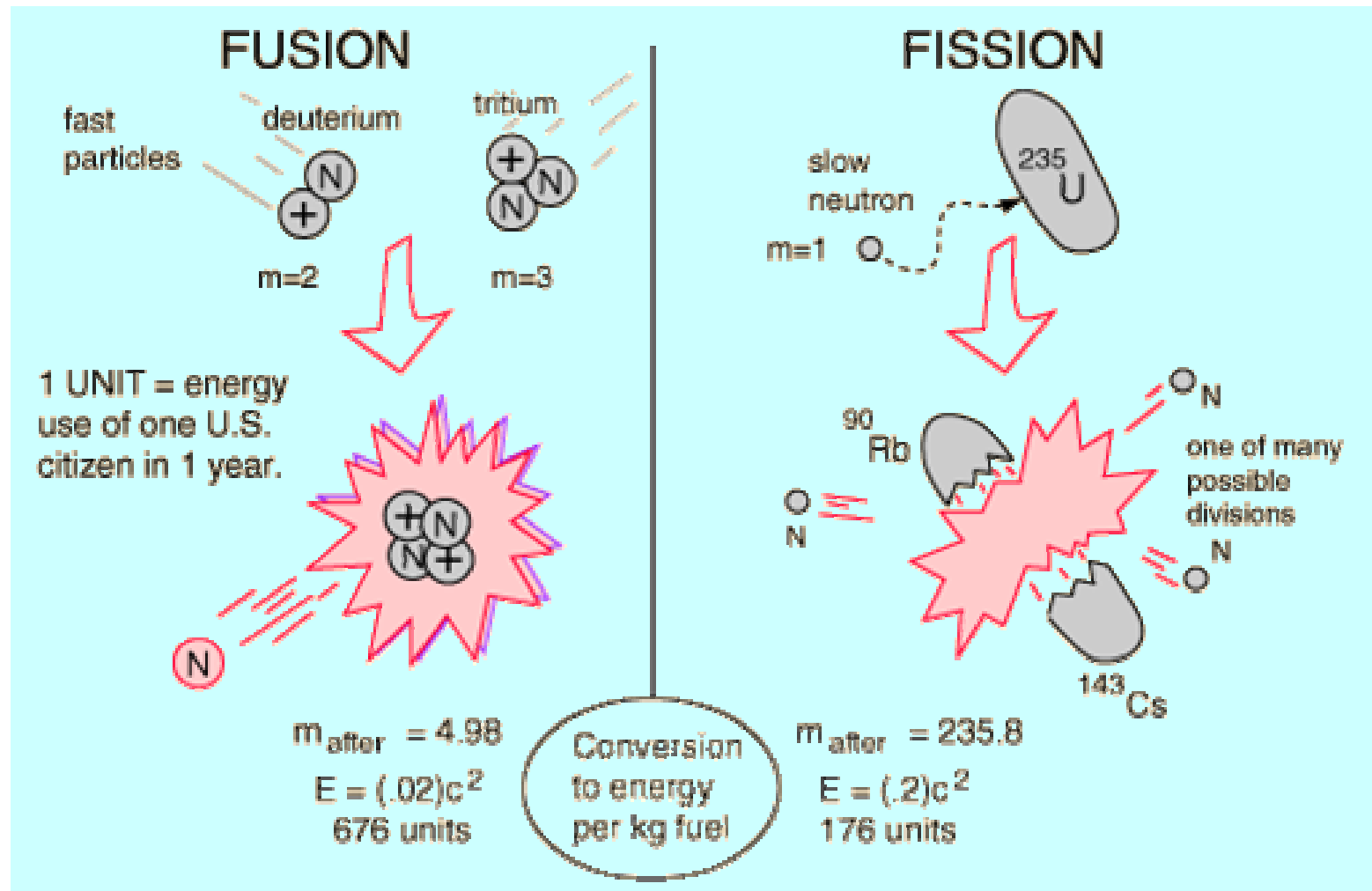


# Produzione di radioisotopi artificiali

Il metodo più diffuso di produzione di radioisotopi artificiali è il bombardamento di alcuni nuclei stabili con particelle ad alta energia quali i neutroni, i protoni, il deuterio e le particelle  $\alpha$ .

*L'eccesso di neutroni o di protoni produce un nucleo instabile che tenderà a raggiungere la sua condizione di equilibrio attraverso la **fissione** o rottura in due frammenti, accompagnata da emissione di particelle (neutroni) e da una grande quantità di energia.*

# Struttura del nucleo: *fusione e fissione del nucleo*



# Struttura del nucleo:

## ***fusione e fissione del nucleo***

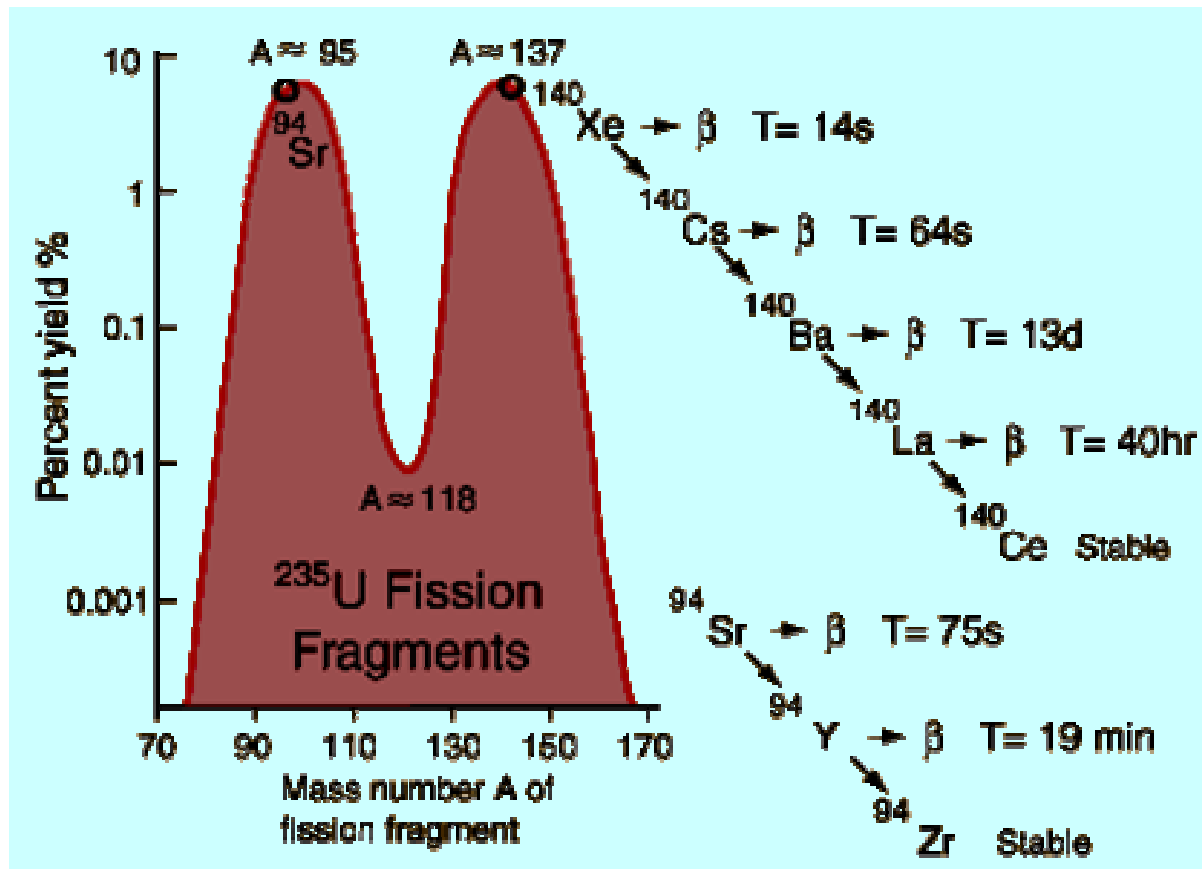
Un reattore per fissione dell'uranio naturale consiste di un reticolo di barre di uranio immerse in un materiale frenante.

Quando le barre di uranio vengono irradiate con neutroni, gli atomi di  $^{235}\text{U}_{92}$  catturano i neutroni per formare il nucleo instabile  $^{236}\text{U}_{92}$  che successivamente si disintegra in due frammenti pesanti di dimensioni paragonabili (*processo di fissione*):



# ***Fissione del nucleo di U-235***

I frammenti creati dalla fissione del nucleo in realtà non sono sempre gli stessi ma hanno diverse probabilità, come mostrato dalla seguente figura.



# ***Fissione del nucleo di U-235***

Un gran numero di radioisotopi utili si possono ottenere come prodotti della fissione e possono essere chimicamente separati dalle barre di uranio.

Fra i più utili ricordiamo:

**$^{90}\text{Sr}_{38}$** (Stronzio)

**$^{131}\text{I}_{53}$** (Iodio)

**$^{137}\text{Cs}_{55}$** (Cesio)

**$^{85}\text{Kr}_{36}$** (Kripton)

**$^{133}\text{Xe}_{54}$** (Xenon)

# ***Fissione del nucleo di U-235***

Nella fissione viene emessa molta **energia** e **neutroni rallentati dal materiale moderatore** (tipicamente carbonio-graffite).

I neutroni lenti successivamente possono essere catturati dai nuclei di uranio naturale dando inizio di nuovo alla catena di fissione con emissione di grandi quantità di energia e di neutroni.

Tali quantità sono in eccesso per l'***autosostentamento*** della catena di fissione, possono perciò venir utilizzate per irradiare altri target stabili e produrre altri radioisotopi.

# ***Traccianti radioattivi***

I traccianti radioattivi introdotti nel corpo umano possono dare utili informazioni su alcune parti del corpo, quali il sangue, l'urina o organi particolari.

La quantità del tracciante deve essere piccola in modo da non cambiare il sistema sotto esame, quindi il tracciante deve avere un alto valore di ***attività specifica***.

*Il tracciante deve comportarsi come la sostanza investigata.*

*Il tracciante deve essere rivelato facilmente ed accuratamente: per questo motivo vengono usati preferibilmente i  $\gamma$  **emettitori** (per i quali si utilizzano i rivelatori con contatori a scintillazione).*

# ***Tecnezio metastabile***

Il radionuclide più usato è il  $^{99m}\text{Tc}$ , soprattutto in medicina nucleare.

I vantaggi del sono i seguenti:

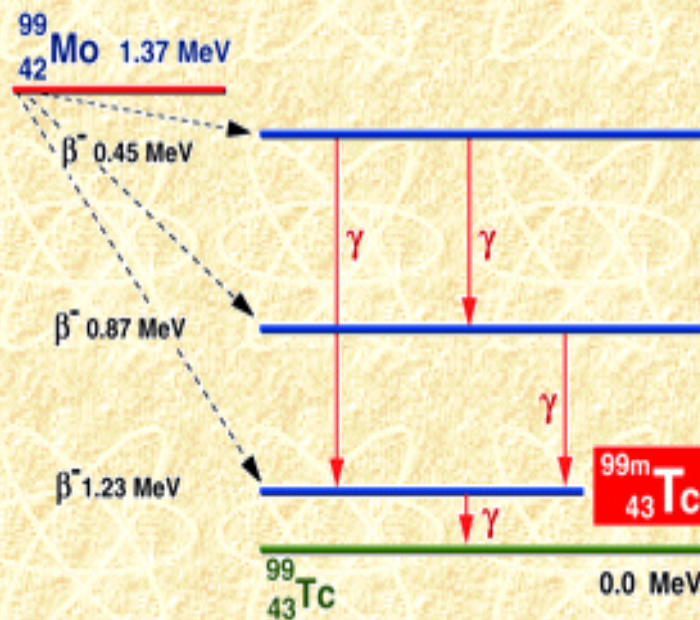
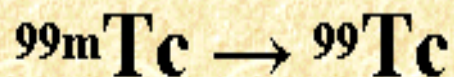
- 1) *il  $^{99m}\text{Tc}$  decade con un tempo di dimezzamento breve pari a circa ore;*
  - 2) *il  $^{99m}\text{Tc}$  emette solo radiazione  $\gamma$ ;*
  - 3) *la radiazione emessa, ad energia pari a 140 keV, è facilmente rivelata da un sistema detto camera;*
  - 4) *il  $^{99m}\text{Tc}$  si attacca facilmente a diversi composti chimici;*
- il  $^{99m}\text{Tc}$  si produce facilmente.*



# ***Tecnezio metastabile: origine***

*Il tecnezio-99m metastabile risulta dal decadimento  $\beta$  del molibdeno-99*

DECADIMENTO  $^{99}\text{Mo}$  ,  $^{99}\text{Tc}$   
CON TRANSIZIONE ISOMERICA



# Radiotraccianti in medicina

STUDIO	TRACCIANTE	DESCRIZIONE
<i>Tiroide</i>	$^{123}\text{I}$ $^{125}\text{I}$ $^{131}\text{I}$ $^{132}\text{I}$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$	Valutazione delle funzionalità della Tiroide; Lo $^{132}\text{I}$ è usato più nei bambini per il suo basso dosaggio.
<i>Cuore e polmoni</i>	$^{131}\text{I}$ $^{133}\text{Xe}$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$	Flusso cardiaco, volume sanguigno, frequenza della circolazione.
<i>Tumori metastasi</i>	$^{32}\text{P}$ $^{131}\text{I}$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$	Rivelazione, localizzazione e diagnosi differenziata.
<i>Terapia</i>	$^{32}\text{Cs}$ $^{131}\text{I}$ $^{32}\text{P}$ $^{192}\text{Ir}$	Lo $^{125}\text{I}$ viene usato per trattamenti della tiroide; Il $^{131}\text{I}$ viene usato per problemi ematologici; Il $^{32}\text{Cs}$ e l' $^{192}\text{Ir}$ viene usato per trattamenti ginecologici, su prostata, esofago, bronchi ( <i>brachiterapia</i> )