

ATTIVITA'

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:

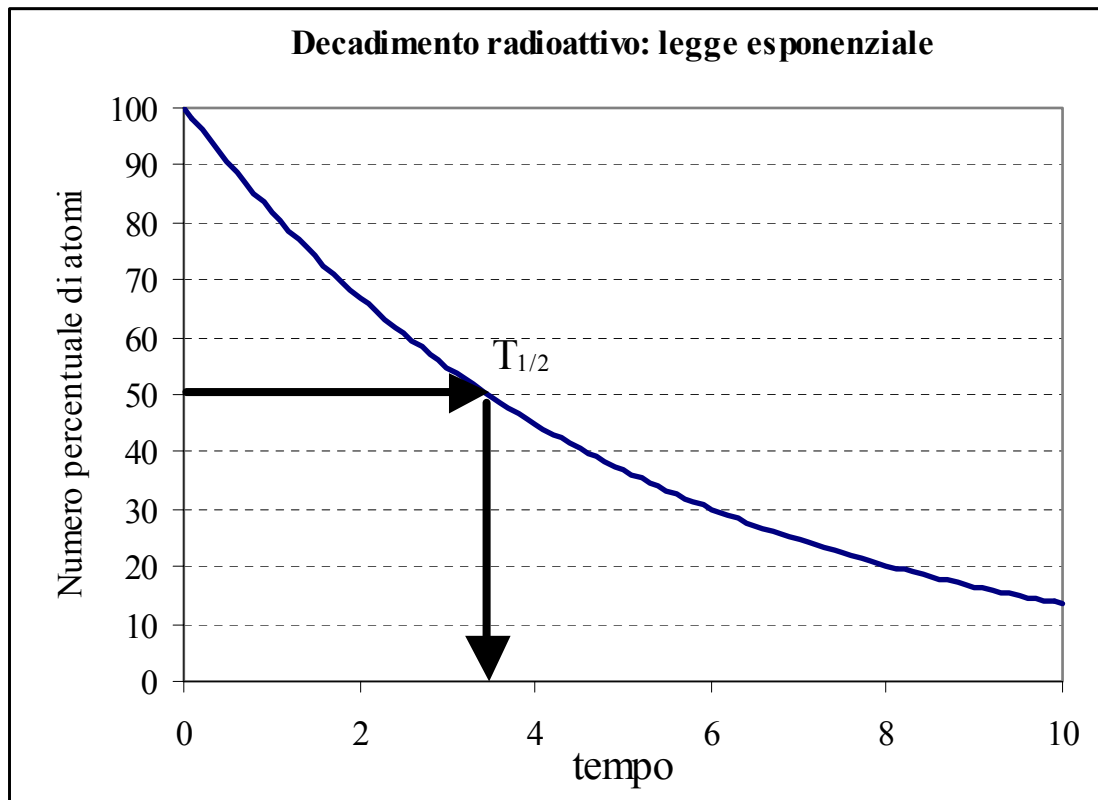
$$- \frac{dN}{dt} \propto N \quad \Rightarrow \quad \frac{dN}{dt} = - \lambda N$$

dove N è il numero di atomi rimasti e λ 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⁻¹, definito come Becquerel (Bq), pari ad una disintegrazione al secondo.

Tenendo conto della legge di decadimento ne 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 ed il suo valore è strettamente legato alla attività del radioisotopo:

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

Essendo il numero di atomi radioattivi presenti in kg di materiale, pari a $6.02 \cdot 10^{26} / A$, 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**.

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 $^{208}\text{Pb}_{82}$.

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.

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 α .

Le reazioni nucleari risultanti portano alla formazione di radioisotopi utili.

Metodi di produzione nei reattori nucleari

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*):



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)

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 **γ emettitori** (per i quali si utilizzano i rivelatori con contatori a scintillazione).

Tecnezio metastabile

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

I vantaggi del sono i seguenti:

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

Analisi di diluizione

In uno studio con tracciante dei fluidi in un corpo, si introduce una piccola quantità di tracciante che si mescolerà con il volume del fluido di interesse.

Se l'attività del tracciante è nota, $x(\text{Bq})$, ed il tracciante si mescola completamente con il volume $V(\text{m}^3)$, la concentrazione dell'attività (ovvero *attività per volume*) prodotta nella miscela è:

$$c = x \cdot V^{-1} \quad (\text{Bq m}^{-3})$$

Se il tracciante è aggiunto come piccolo volume v di soluzione di alta concentrazione di attività c' :

$$x = c' \cdot v \quad \Rightarrow \quad V = c' \cdot v \cdot c^{-1}$$

Possono esserci due possibili cause di errore:

- a) la miscela di tracciante e traccia può non avvenire completamente;
- b) ci possono essere delle perdite della traccia da qualche parte del sistema.

Esempi di diluizione

Misura della quantità totale di acqua contenuta nel corpo (si usa come radiotracciante il Trizio ^3H , caratterizzato da un tempo di dimezzamento pari a 12.2 anni ed emettitore β , di energia massima pari a 18 keV).

Misura del volume di plasma (le proteine del plasma si legano facilmente, e quindi sono facilmente contrassegnabili, con lo iodio radioattivo ^{125}I , ^{131}I e ^{132}I e le loro proprietà biologiche non ne risultano influenzate).

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

