

Decadimento radioattivo

Il decadimento radioattivo è un fenomeno naturale che interessa i nuclei atomici instabili. Alcuni atomi, infatti, non riescono a mantenere stabile il proprio nucleo e tendono quindi a trasformarsi spontaneamente in nuclei più stabili emettendo radiazioni. Durante questo processo vengono liberate particelle o energia sotto forma di radiazioni alfa, beta o gamma.

La diminuzione dei nuclei radioattivi nel tempo segue una legge matematica di tipo esponenziale. Questo significa che il numero di nuclei che decadono dipende dalla quantità di nuclei ancora presenti nel campione.

La legge del decadimento radioattivo è espressa dalla seguente equazione:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

dove:

- $N(t)$ rappresenta il numero di nuclei presenti al tempo t ;
- N_0 è il numero iniziale di nuclei radioattivi;
- λ è la costante di decadimento, caratteristica di ogni elemento;
- e è il numero di Nepero, pari circa a 2,718;
- t indica il tempo trascorso.

Questa formula mostra che il numero di nuclei radioattivi diminuisce progressivamente nel tempo senza annullarsi completamente.

Un'altra grandezza importante è l'attività radioattiva, cioè il numero di decadimenti che avvengono in un secondo. L'attività si misura in becquerel (Bq), dove:

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ decadimento al secondo}$$

L'attività è direttamente proporzionale al numero di nuclei radioattivi presenti e si calcola con la formula:

$$A = \lambda N$$

dove:

- A è l'attività;
- λ è la costante di decadimento;
- N è il numero di nuclei presenti.

Emivita

L'emivita, chiamata anche tempo di dimezzamento, rappresenta il tempo necessario affinché metà dei nuclei radioattivi iniziali decadano.

Si indica con il simbolo $T_{1/2}$ ed è collegata alla costante di decadimento dalla relazione:

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

Poiché $\ln 2 \approx 0,693$ si può capire che maggiore è la costante di decadimento, minore sarà l'emivita della sostanza.

Per comprendere meglio il concetto di emivita, si può considerare un esempio pratico. Se inizialmente un campione contiene 1000 nuclei radioattivi:

- dopo una emivita rimarranno 500 nuclei;
- dopo due emivite rimarranno 250 nuclei;
- dopo tre emivite rimarranno 125 nuclei.

Il decadimento continua quindi in modo progressivo ed esponenziale.

L'emivita è molto importante in numerosi campi scientifici e tecnologici. In medicina nucleare viene utilizzata per scegliere isotopi che decadano rapidamente senza danneggiare il paziente; in archeologia permette la datazione dei reperti tramite il carbonio-14; inoltre è fondamentale nello studio delle scorie nucleari e nella sicurezza delle centrali.

Statistica delle particelle e funzioni esponenziali

La **statistica delle particelle** studia come un enorme numero di particelle (atomi, molecole, elettroni, fotoni...) si distribuisce tra i vari stati energetici disponibili.

Poiché è impossibile seguire ogni particella singolarmente, si usano le **probabilità**. La matematica che descrive queste probabilità porta naturalmente alle **funzioni esponenziali**.

Il fattore di Boltzmann

Il risultato fondamentale della meccanica statistica è:

$$P(E) \propto e^{-E/(k_B T)}$$

- $P(E)$ = probabilità di avere energia E

- k_B = costante di Boltzmann

- T = temperatura assoluta

Questa formula dice che:

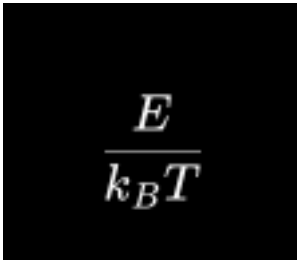
- gli stati a **bassa energia** sono più probabili;
- gli stati ad **alta energia** diventano rapidamente meno probabili. L'esponenziale decrescente descrive quindi come l'energia "penalizza" la probabilità.

Significato fisico della temperatura

La temperatura controlla quanto il sistema può occupare stati energetici elevati.

- **Temperatura bassa** → le particelle restano in stati poco energetici.
- **Temperatura alta** → anche stati energetici elevati diventano accessibili.

Infatti il termine:


$$\frac{E}{k_B T}$$

diventa più piccolo se
T aumenta, quindi il decadimento esponenziale è meno rapido.

Distribuzione Esponenziale (Probabilità):

In statistica, la distribuzione esponenziale negativa modella il tempo di attesa tra due eventi, come il decadimento di una particella radioattiva. Essa descrive la "durata di vita" di un fenomeno che non invecchia, essendo priva di memoria. Un classico esempio di funzione esponenziale in fisica è il decadimento di nuclei radioattivi, dove il numero di particelle sopravvissute nel tempo segue una legge esponenziale negativa. Sebbene le statistiche quantistiche differiscano da quella classica, le funzioni esponenziali sono alla base dei fattori di occupazione per i livelli energetici, in particolare nel limite.