

# DECADIMENTO RADIOATTIVO

Emissione di una o più particelle da parte di un nucleo.

Tutti i decadimenti (tranne il decad.  $\gamma$ ) **cambiano**  $Z$  e/o  $N$  del nucleo.

**Radionuclidi** = Nuclidi radioattivi

- presenti in natura:
  - primordiali ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , ...)  $T_{1/2} \gtrsim 10^9$  anni
  - cosmogenici (es.:  $^{14}\text{C}$ ,  $T_{1/2} = 5730$  anni)
- artificiali (es.:  $\alpha + ^{27}\text{Al} \rightarrow ^{30}\text{P} + n$ ;  $T_{1/2} (^{30}\text{P}) = 2.5$  min)

Il decadimento ha natura probabilistica (M.Q.)

La probabilità di decadimento per unità di tempo  $\lambda = \frac{2\pi}{h} |H'_{fi}|^2 \rho(E_f)$  di un nucleo è **costante**. In particolare, **non** dipende:

- dallo **stato** fisico o chimico del materiale
- da **campi** elettrici o magnetici
- dall'**età** del nucleo

# LEGGE DI SODDY

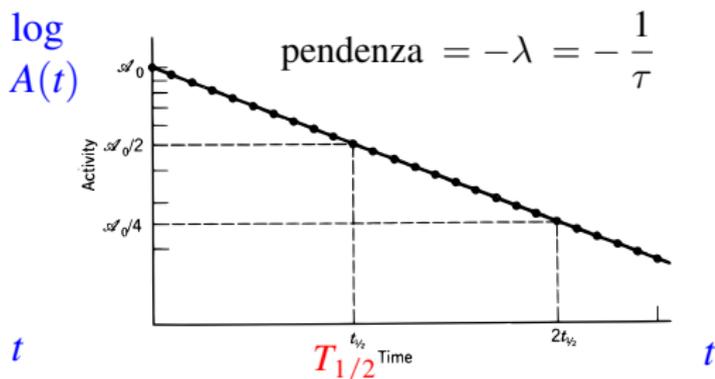
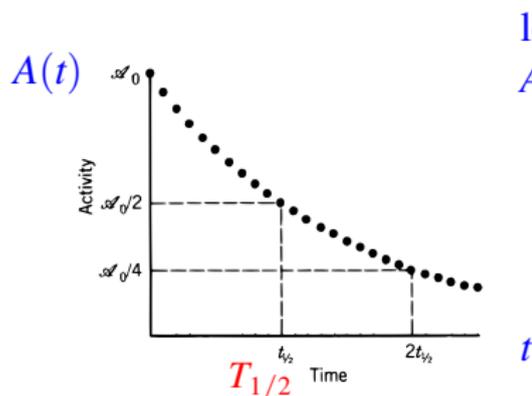
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-t/T_{1/2}} = N_0 e^{-t/\tau}$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 2^{-t/T_{1/2}} = A_0 e^{-t/\tau}$$

$\lambda$  = costante di decadimento ( $s^{-1}$ )

$T_{1/2} = (\ln 2)/\lambda$  = tempo di dimezzamento (s)

$\tau = 1/\lambda$  = vita media (s)



$A(t)$  = attività (Bq): 1 Bq = 1 decadimento al secondo;

u.d.m. tradizionale (non-S.I.): 1 Ci =  $3.7 \cdot 10^{10}$  Bq

# INTERAZIONE PARTICELLE - MATERIA

## Particelle direttamente ionizzanti

- **$p$ ,  $\alpha$ , nuclei** = particelle cariche pesanti:
  - $E_c \approx \text{MeV} \Rightarrow \beta\gamma \lesssim 0.1 \Rightarrow$  elevata densità di ionizzazione
  - poco penetranti (range  $\lesssim 0.1$  mm in  $H_2O$ )
- **$e^\pm$**  = particelle cariche leggere:
  - $E_c \approx \text{MeV} \Rightarrow \beta\gamma \approx 1$  (bassa densità di ionizzazione);
  - più penetranti (range  $\approx$  cm in  $H_2O$ )
  - traiettoria con molte deviazioni

## Particelle indirettamente ionizzanti

- **fotoni ( $\gamma$ ,  $X$ )**: producono **elettroni veloci**
  - effetto fotoelettrico ( $\gamma$  assorbito)
  - diffusione Compton ( $\gamma$  diffuso)
  - creazione di coppie  $e^+e^-$  ( $E_\gamma > 2m_e c^2$ )
- **neutroni**: producono **particelle cariche pesanti**
  - diffusione  $n$ -nucleo (in particolare  $n-p$ )
  - reazioni nucleari

# EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

Le radiazioni (particelle) **ionizzanti** provocano:

- effetti **diretti**: rottura o alterazione dei legami molecolari
- effetti **indiretti**: radicali liberi ( $\text{OH}^\bullet$ ,  $\text{H}^\bullet$ ,  $\text{HO}_2^\bullet$ )

**Danni somatici** (deterministici):

lesioni biochimiche → lesioni cellulari → morte cellulare → morte organismo

**Danni genetici** (stocastici):

mutazioni → effetti tardivi (malattie ereditarie, tumori)

**Meccanismi di difesa**:

riparazione chimica; riparazione enzimatica; sostituzione cellulare.

Gli **effetti biologici** delle radiazioni ionizzanti dipendono da:

- la quantità di energia depositata per unità di massa (dose)
- la densità di ionizzazione (piccola per  $e^\pm$ ,  $\gamma$ ; grande per  $p$ ,  $\alpha$ ,  $n$ , nuclei)
- il tempo di esposizione

# DOSIMETRIA

## Grandezze fisiche:

- **Dose assorbita**  $D =$  energia depositata per unità di massa  
[u.d.m.: **Gray** (Gy);  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg}$ ]

Si utilizza anche la **Dose equivalente**, che tiene conto del maggiore o minore effetto biologico dovuto alle caratteristiche della radiazione (alta o bassa densità di ionizzazione) e la **Dose efficace** che tiene conto della diversa sensibilità alle radiazioni da parte degli organi e tessuti del corpo.

L'unità di misura di Dose equivalente e Dose efficace è il **Sievert** (Sv):

- $1 \text{ Gy} \rightarrow 1 \text{ Sv}$  per radiazione  $\beta$  e  $\gamma$
- $1 \text{ Gt} = 2 \div 20 \text{ Sv}$  per radiazione  $\alpha$ , protoni e neutroni

# DANNI BIOLOGICI prodotti dalle radiazioni

## 1) Danni deterministici:

- solo ad alte dosi ( $D \gtrsim \text{Gy}$ ) [ soglia ]
- gravità dipendente dalla dose
- dose “full-body” letale (50%) senza cure mediche =  $(2.5 \div 3) \text{Gy}$

## 2) Danni stocastici (probabilistici):

- anche a basse dosi
- l'esposizione determina la probabilità  $P$  dell'insorgenza di una patologia (es.: tumore), non la sua gravità
- $P$  bassa per dosi  $\approx$  fondo naturale
- ipotesi (prudente):  $P \propto D$ , assenza di soglia  $\Rightarrow \frac{P}{D} \simeq 5\% / \text{Sv}$ .  
Es.:  $D = 1 \text{ mSv} \rightarrow P = 0.005\%$

# RADIOPROTEZIONE

- 1) Evitare alte dosi:  $D \ll$  soglia (effetti deterministici)
- 2) a. Giustificazione (benefici > danni)  
b. Ottimizzazione della protezione (max benefici/danni)  
“A.L.A.R.A.” = as low as reasonably achievable  
c. Limiti di dose (da non superare)

## Tipi di esposizione:

- lavorativa: **lavoratori** professionalmente esposti (cat. A, cat. B)
- medica (diagnostica, terapeutica) per il **paziente**
- per la **popolazione** (tutti gli altri)

## Limiti di dose:

- lavoratori professionalmente esposti **cat. A**: 100 mSv/5 anni, 50 mSv/anno
- lavoratori professionalmente esposti **cat. B**: 6 mSv/anno
- **popolazione** (e lavoratori non professionalmente esposti): **1 mSv/anno**

Da confrontare con il **fondo naturale** =  $1 \div 10$  mSv/anno (dipende dal luogo)

# Stima approssimativa della dose

prodotta da una sorgente radioattiva

- Consideriamo una sorgente di cui possiamo trascurare le dimensioni rispetto alla distanza alla quale effettuiamo le misure con il contatore Geiger.
- A una distanza alla quale il numero di conteggi del Geiger raddoppia rispetto al fondo naturale la dose prodotta dalla sorgente corrisponde circa a quella del fondo naturale.
- In queste condizioni la dose assorbita in un'ora è pari a circa  $1/8766^1$  volte quella del fondo naturale annuale (circa 2.4 mSv) e quindi a circa lo 0,03% del limite di dose per la popolazione.
- All'aumentare della distanza la dose diminuisce (almeno) come  $1/r^2$ .

---

<sup>1</sup>Il numero di ore in un anno è  $24 \times 365.25 = 8766$