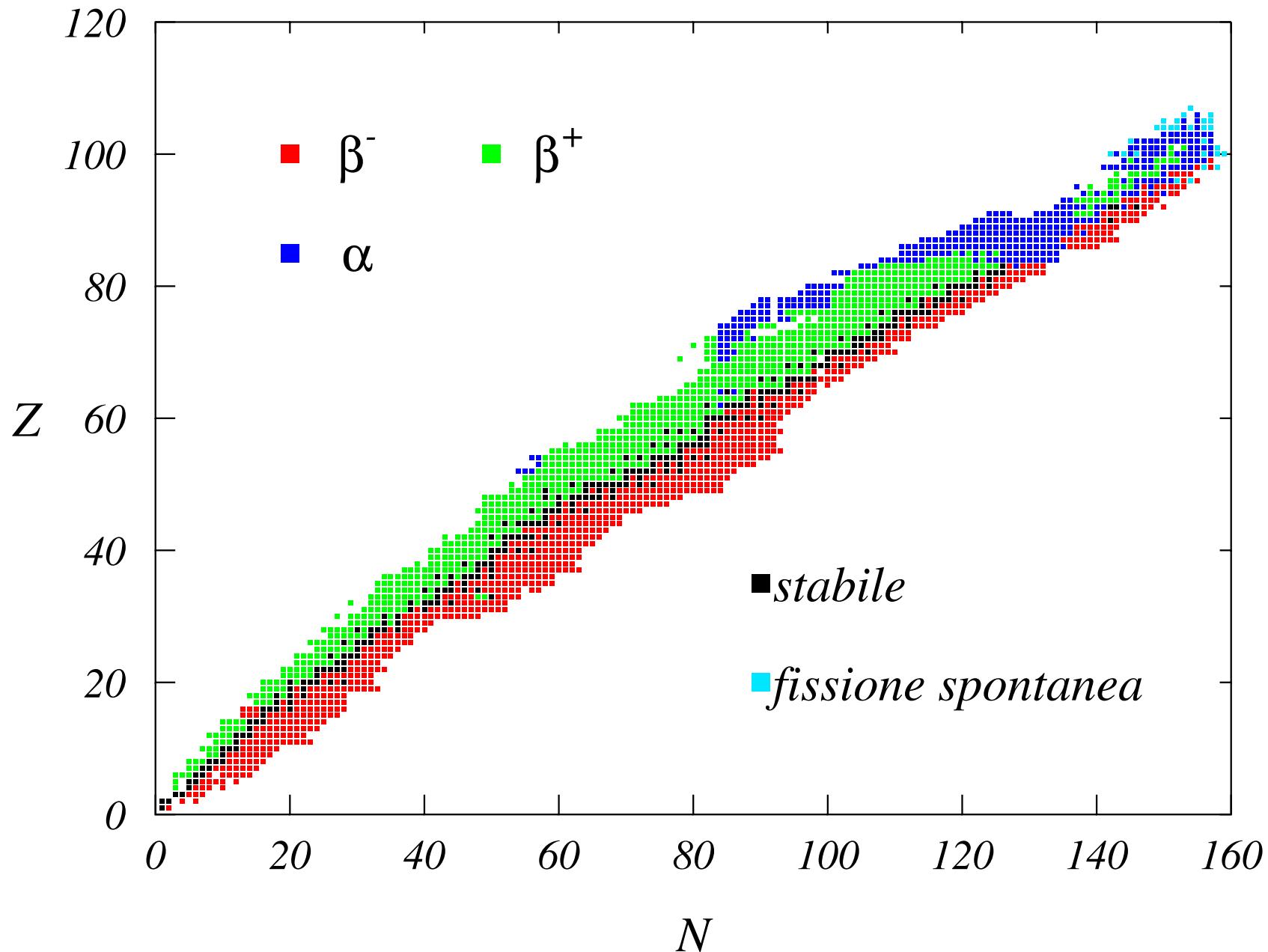
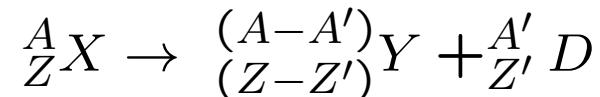


Lezione 6

# **Stabilità nucleare**



## Reazioni nucleari



Q-valore

$$Q = M(A, Z) - M(A - A', Z - Z') - M(A', Z')$$

$Q > 0$  avviene spontaneamente (esotermica)

$Q < 0$  avviene solo dando energia al sistema (endotermica)

Per il decadimento radioattivo  $Q > 0$ .

Esempio decadimento  $\beta$ .

$$M(A, Z) > M(A, Z + 1) + m_e$$

$Q > 0$  indica la **possibilità** che il decadimento possa avvenire **NON** la **probabilità**.

## Decadimenti radioattivi

$\alpha$  emissione di nuclei di  ${}^4\text{He}$ .

$\beta$  emissione di  $e^\pm$  elettroni, positroni, neutrini, antineutrini.

$\gamma$  emissione di radiazione elettromagnetica ad altissima frequenza.

fissione spontanea il nucleo si divide in due, o più, frammenti.

Costante di decadimento  $\lambda$ , definita come:

$$-dN = N\lambda dt \quad ; \quad N(t) = N(0)e^{-\lambda t}$$

$N(0)$  numero di nuclei presenti all'istante  $t = 0$ .

Vita media  $\tau$

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{1}{N(0)} \int_0^{N(0)} t dN = \frac{1}{N(0)} \int_{\infty}^0 t \frac{dN}{dt} dt \\ &= \frac{1}{N(0)} \int_{\infty}^0 t [-\lambda N(0)e^{-\lambda t}] dt \\ &= [t e^{-\lambda t}]_{\infty}^0 - \int_{\infty}^0 e^{-\lambda t} dt \\ &= 0 - [\frac{-1}{\lambda} e^{-\lambda t}]_{\infty}^0 = \frac{1}{\lambda}\end{aligned}$$

Tempo di dimezzamento  $T$

$$N = \frac{1}{2}N(0) = N(0)e^{-\lambda T} \quad ; \quad T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Il prodotto di un nucleo radioattivo è a sua volta radioattivo. La variazione del numero dei nuclidi del secondo tipo è

$$\frac{dN_B(t)}{dt} = -\lambda_B N_B(t) + \lambda_A N_A(t)$$

Riarrangiando l'equazione e moltiplicando entrambi i membri per  $\exp(\lambda_B t)$

$$\left[ \frac{dN_B(t)}{dt} + \lambda_B N_B(t) \right] e^{\lambda_B t} = \lambda_A N_A(t) e^{\lambda_B t} = \lambda_A N_A(0) e^{(\lambda_B - \lambda_A)t}$$

Per  $t \leq 0$  non ci sono nuclei di tipo B. Integriamo l'equazione precedente da  $t = 0$  ad un generico valore del tempo.

$$\int_0^t \frac{d}{d\tau} \left[ N_B(\tau) e^{\lambda_B \tau} \right] d\tau = \lambda_A N_A(0) \int_0^t e^{(\lambda_B - \lambda_A)\tau} d\tau$$

$$N_B(t) e^{\lambda_B t} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A(0) \left[ e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} - 1 \right]$$

da cui

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A(0) \left[ e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t} \right]$$

## Alcune unità di misura in radioattività

- **Curie, Ci**  $3.7 \cdot 10^{10}$  disintegrazioni al secondo.  
**SI bequerel (Bq)** una disintegrazione al secondo.
- **Röngten, R** Misura l'azione ionizzante di una sorgente radioattiva. Il Röngten è quella quantità di radiazione elettromagnetica (raggi  $X$  o  $\gamma$ ) che passando attraverso  $1\text{cm}^3$  di aria secca a zero gradi centigradi, ad 1 atm (corrispondente a 0.001293 g di aria) produce una quantità di elettricità pari a 1 u.e.s di entrambi i segni. Ovviamente il potere ionizzante dei raggi  $X$  o  $\gamma$  dipende dall'energia dei fotoni.  
Nel SI il R è stato sostituito con la misura di C per kg.

- **rad** misura la dose di radiazione assorbita. 1 rad corrisponde all'assorbimento di 100 erg per grammo di sostanza in esame.  
Nel SI si utilizza il gray (Gy) che corrisponde a 1 J per kg.

- **rem** Per la misura dei danni biologici della radiazione si utilizzano i *rem*. L'efficacia biologica relativa (EBR) di una radiazione è il rapporto tra la dose assorbita della radiazione in esame e quella di una radiazione di riferimento (solitamente raggi  $X$  generati da un tubo alimentato a 200kV). Il prodotto tra la dose assorbita e la (EBR) è detto dose equivalente e si misura in *rem*. Ai fini della protezione dalla radiazione il rischio da radiazione viene quantificato utilizzando il *rem*.

Nel SI si utilizza il Sievert (Sv).

$$H = QD$$

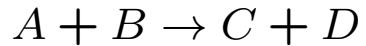
$D$  dose assorbita,  $Q$  fattore di qualità

radiazione	$Q$
$\gamma$	1
$e$	1
$\alpha$	20
neutroni	3 - 11

vecchia	SI	
curie (Ci)	bequerel (Bq)	1 Bq = 27 pCi
Röntgen (R)	C/kg	1 C/kg = $3.876 \cdot 10^3$ R
rad	gray (Gy)	1 Gy = 100 rad
rem	sievert (Sv)	1 Sv = 100 rem

# Domande

[N1-2] Definisci il Q-valore della reazione:



[N1-9] Qual'è la legge che descrive il decadimento di N nuclei in funzione del tempo?

[N1-5] Quali sono i prodotti di decadimento  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ?

[N1-6] Qual'è la condizione necessaria perché un nucleo possa decadere?

[N2-5] Come sono legate vita media e costante di decadimento di un nucleo instabile? Dimostra la relazione tra le due quantità utilizzando le loro definizioni.

[N2-16] L'analisi di una roccia mostra che è composta da due isotopi dello stesso elemento. Un isotopo è stabile mentre l'altro decade con vita media  $\tau$ . Nota la percentuale degli isotopi radioattivi rispetto a quelli stabili, determinare l'età della roccia ipotizzando che, nel momento della sua formazione il numero di nuclei radioattivi fosse uguale a quello dei nuclei stabili.

[N2-17] Un nucleo può decadere in due maniere diverse con costanti di decadimento  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  rispettivamente. Qual è la legge di decadimento totale in funzione di  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ ?

[N3-2] La tavola degli isotopi mostra che la valle di stabilità si trova attorno alla linea  $Z=N$ , per nuclei con  $A \leq 40$ . Per nuclei più pesanti la stabilità si ottiene solo quando si ha  $N > Z$ . Qual' è l'origine fisica di questo comportamento?