

Radioattività

Questo fenomeno consiste nella emissione spontanea e del tutto casuale da parte di alcune sostanze di alcune radiazioni denominate a suo tempo α (cariche positivamente), β (cariche negativamente) e γ (elettricamente neutre)

Questo fenomeno è stato scoperto in modo casuale nel 1896 da Henry BECQUEREL – fisico francese, figlio e nipote di altri illustri fisici – che si accorse che alcune sostanze (URANIO e altre) erano in grado di impressionare le lastre fotografiche

↳ al fenomeno si diede il nome di RADIOATTIVITA'

Nei mesi successivi BECQUEREL a Parigi e Ernest RUTHERFORD a Cambridge, si misero ad analizzare la radiazione prodotta dall'URANIO e scoprirono che, in presenza di un campo magnetico, essa si divideva in 3 componenti aventi proprietà differenti e che vennero indicati con le lettere α , β , γ dell'alfabeto greco.

Contemporaneamente Maria SKLODOWSKA (1867-1934) – fisica polacca – e Pierre CURIE (1859-1906) – fisico francese – studiando l'intensità dell'emissione radioattiva di vari campioni di materiali ipotizzarono l'esistenza di altri elementi radioattivi:

↳ 1898 isolarono il POLONIO e il RADIO (PREMIO NOBEL DELLA FISICA insieme a Becquerel nel 1906 e PREMIO NOBEL DELLA CHIMICA a Maria Curie nel 1911)

Proprietà	Particelle α	Particelle β	Particelle γ
Natura	Nuclei di elio 1906-08 Rutherford	Elettroni 1900 Becquerel	Onde elettromagnetiche 1900 Villard
Carica	Positiva	Negativa	Elettricamente neutre
Deviazione in campi magnetici	Poca = massa elevata ($\approx 10^{-26}$ kg)	Molta = piccola massa ($\approx 10^{-30}$ kg)	Non deviati (massa nulla)
Potere penetrante	≈ 5 cm nell'aria (anche fogli di carta)	≈ 5 m nell'aria e 0,1 cm nell'alluminio	≈ 5 cm nel piombo
Potere ionizzante	$\approx 10^8$ ioni per cm^3 di aria	$\approx 10^3$ ioni per cm^3 di aria	≈ 10 ioni per cm^3 di aria
Velocità e energia	$\approx 0,06$ c ; 6 MeV	$\approx 0,98$ c ; ≈ 1 MeV	c ; 0,01 ÷ 1 MeV

Ricordiamo che la radioattività è un fenomeno che riguarda il nucleo:
cioè è il nucleo che emette particelle e in questo modo si scinde in due frammenti:

- 1) particella alfa o beta,
- 2) parte rimanente

(il processo si chiama *decadimento, trasmutazione, disintegrazione*)

↪ l'emissione di raggi gamma è un fenomeno secondario che accompagna l'emissione corpuscolare: in seguito all'emissione della particella il nucleo si porta in uno stato di eccitazione e nel ritornare allo stato iniziale emette la radiazione

↪ l'atomo subisce una trasmutazione: cioè cambia posto nella tavola degli elementi

↪ se il numero atomico e il numero di massa sono Z e A

↪ per l'emissione della particella alfa si ha
$$\begin{cases} Z \rightarrow Z - 2 & (-2 \text{ posti}) \\ A \rightarrow A - 4 \end{cases}$$

↪ per l'emissione della particella beta (*decadimento β*) si ha:

$$\begin{cases} Z \rightarrow Z + 1 & (+1 \text{ posto}) \\ A \rightarrow A \end{cases} \quad \text{se è emessa una particella } e^- \text{ (elettrone)}$$
$$\begin{cases} Z \rightarrow Z - 1 & (-1 \text{ posto}) \\ A \rightarrow A \end{cases} \quad \text{se è emessa una particella } e^+ \text{ (positrone)}$$

La disintegrazione naturale è un fenomeno puramente casuale (non c'è regolarità)

↪ è possibile calcolare una legge del decadimento radioattivo (relazione che esprime l'attività di una sostanza radioattiva in funzione del tempo)

↪ si calcola (metodo probabilistico) il periodo di dimezzamento di un isotopo radioattivo: tempo necessario affinché una quantità N di sostanza si riduca della metà

↪ tempi variabili da vari miliardi di anni a qualche millesimo di secondo, vedi tabella

Quattro serie radioattive naturali

1. torio	da TORIO (Th 232-90)	a PIOMBO (Pb 208-82)
2. attinio	da URANIO (U 235-92)	a PIOMBO (Pb 207-82)
3. uranio	da URANIO (U 238-92)	a PIOMBO (Pb 206-82)
4. nettunio	da NETTUNIO (Np 237-93)	a BISMUTO (Bi 209-83)

ENERGIA DI LEGAME

↪ La massa del nucleo è minore della massa dei protoni e neutroni che lo compongono, cioè

$$M_{\text{NUCLEO}} < M_{\text{PROTONI}} + M_{\text{NEUTRONI}} \Rightarrow M < Z \cdot M_p + (A-Z) M_n$$

$\Delta m = \text{DIFETTO DI MASSA} = \text{l'energia che si libera all'atto della formazione del nucleo} = \text{l'energia necessaria per disintegrare il nucleo}$

$$\Delta m = Z \cdot M_p + (A-Z) M_n - M \quad \text{e poi} \quad \Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

$\Delta E/A = \text{ENERGIA DI LEGAME PER NUCLEONE} = \text{l'energia media richiesta per strappare un nucleone dal nucleo.}$

$\Delta E/A$ assume un valore medio di circa $8 \text{ MeV} = 1,28 \cdot 10^{-12} \text{ J}$
per idrogeno e elio è circa $6,5 \text{ MeV} = 1,04 \cdot 10^{-12} \text{ J}$

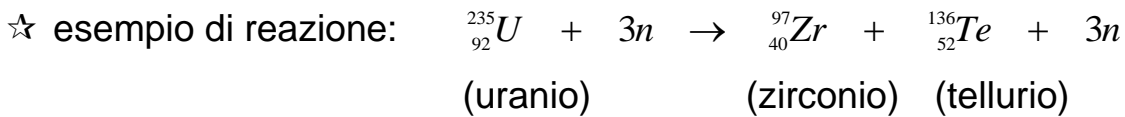
Il valore di tale energia determina la stabilità del nucleo

- ↪ Con $1 < A < 60$ l'energia cresce rapidamente, gli atomi con A più basso sono instabili e soggetti a fusione nucleare
- ↪ Con $60 < A < 80$ energia molto alta, atomi stabili
- ↪ Con $A > 80$ l'energia decresce, gli atomi con A più alto sono instabili e soggetti a decadimento radioattivo e fissione nucleare

FISSIONE NUCLEARE

- ☆ Fenomeno sperimentato da FERMI e dagli scienziati del laboratorio di Via Panisperna nel 1938
- ☆ Consiste nella separazione di un nucleo di URANIO in due frammenti quasi uguali con la liberazione di neutroni ed energia.
- ☆ E' provocata fornendo al nucleo energia mediante il bombardamento con neutroni (meglio se lenti): le particelle cominciano a vibrare rapidamente, il tempo di dimezzamento diminuisce fino a 10^{-21} s e il nucleo fissiona in due frammenti di masse A e B con

$$130 < A < 149, \quad 105 > B > 86$$



calcolo dell'energia liberata:

$$\leftarrow 390,06 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 391,734 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\uparrow 160,81 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 225,5 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 3 \cdot 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 391,332 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{difetto di massa} = 0,402 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{Energia} = E = mc^2 = 0,402 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 3,618 \cdot 10^{-11} \text{ J per atomo}$$

$$\text{In un kg di sostanza: } \text{numero di atomi} = 1 : 390,06 \cdot 10^{-27} = 2,56 \cdot 10^{24}$$

$$\text{energia liberata} = 2,56 \cdot 10^{24} \cdot 3,618 \cdot 10^{-11} = 9,3 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

Se la massa dell'idrogeno è pari o superiore alla massa critica allora ogni neutrone liberato diventa proiettile e fissiona un altro nucleo: la reazione diventa incontrollata.

La reazione può essere controllata utilizzando sbarre di URANIO-238 al posto dell'URANIO-235 (l'uranio-238 è 150 volte più presente in natura dell'uranio-235) poiché, essendo più stabile, è in grado di assorbire "neutroni lenti" senza fissionare (ha bisogno di "neutroni termici")

FUSIONE NUCLEARE

- ☆ Fenomeno interpretato da BETHE nel 1938
- ☆ Consente nella unione di due nuclei in uno più pesante la cui massa è minore della somma della massa dei due nuclei
- ☆ Perché avvenga è necessario che i nuclei abbiano molta energia e quindi necessitano temperature dell'ordine di $10^7 K$.
- ☆ E' la fonte di energia delle stelle.
- ☆ Le reazioni che avvengono nelle stelle sono:
 - ← Ciclo dell'idrogeno: l'IDROGENO si combina formando l'ELIO
 - ↑ Ciclo del carbonio: l'ELIO si combina per formare CARBONIO
 - Ciclo carbonio-azoto: il CARBONIO si combina con l'IDROGENO per produrre ELIO e energia
 - ↓ Combustione dell'elio: l'ELIO si combina per formare gli atomi più pesanti

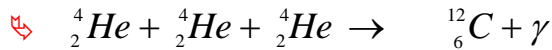
← Ciclo dell'idrogeno:

- ↻ Dura circa il 90% della vita della stella
- ↻ Si innesca quando la temperatura della stella raggiunge il valore di $10^7 K$: la forza gravitazionale fa contrarre la stella e aumentare la sua densità e la temperatura
- ↻ Consiste nella trasformazione di 4 atomi di idrogeno in 1 atomo di elio
- ↻ ${}_1^1H + {}_1^1H \rightarrow {}_1^2H + e^+ + \nu$
 ${}_1^2H + {}_1^1H \rightarrow {}_2^3He + \gamma$
 ${}_2^3He + {}_2^3He \rightarrow {}_2^4He + {}_1^1H + {}_1^1H$
- ↻ Si ha una perdita di massa di $26,3 MeV$ e, poiché i neutrini si allontanano portando via un po' di energia, rimane in media una energia di $26,3 MeV$ per atomo di elio ($6,5 MeV$ per nucleone)
 - I raggi γ e i positroni e^+ prodotti vengono assorbiti dal gas interno della stella e contribuiscono a riscaldarla,
 - i neutrini si allontanano nello spazio,
 - l'energia si irraggia sotto forma di fotoni all'interno e esercita sul gas una pressione di radiazione che contrasta la pressione gravitazionale

↑ Ciclo del carbonio:

↻ Si innesca quando il nocciolo della stella raggiunge la temperatura di $2 \cdot 10^7 K$

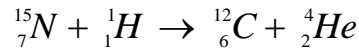
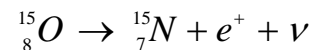
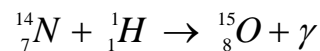
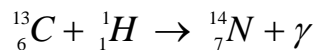
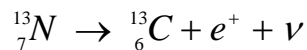
↻ Consiste nella trasformazione di 3 atomi di elio in un atomo di carbonio



→ Ciclo carbonio-azoto:

↻ Si innesca se quando il nocciolo della stella raggiunge la temperatura di $2 \cdot 10^7 K$, nel nucleo della stella c'è ancora idrogeno

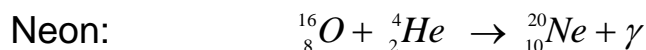
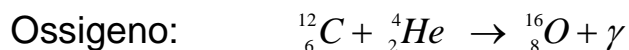
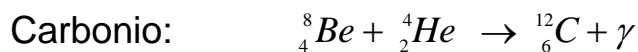
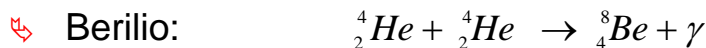
↻ In questa fase il carbonio si combina con l'idrogeno producendo ancora elio ed energia



↓ Combustione dell'elio:

↻ E' l'ultima fase della vita della stella e si innesca quando nel nocciolo della stella si esaurisce l'idrogeno e quindi, mancando la pressione di radiazione, la stella si contrae raggiungendo la temperatura di $10^8 K$

↻ In questa fase l'elio si combina formando gli elementi più pesanti.



..... ecc.

↻ Man mano che Z cresce la formazione di elementi pesanti avviene per decadimento β (emissione di elettroni e trasformazione $p \rightarrow n$)