

ZANICHELLI

James E. Brady
Neil D. Jespersen
Alison Hyslop
Maria Cristina Pignocchino

Chimica.blu

seconda edizione

ZANICHELLI

Capitolo 24

La chimica nucleare

ZANICHELLI

Sommario

1. La radioattività
2. Le serie di disintegrazione radioattiva e il tempo di dimezzamento
3. La conservazione della massa-energia
4. La fissione e la fusione dei nuclei

La radioattività

Nel nucleo è presente una **forza nucleare forte**, che lega insieme protoni e neutroni.

La stabilità di un nucleo dipende dal confronto tra le forze elettrostatiche repulsive tra i protoni e le forze nucleari attrattive tra protoni e neutroni.

Al fine di raggiungere una maggiore stabilità, i nuclei che non contengono un numero adeguato di protoni e neutroni vanno incontro a **decadimento radioattivo**.

Questo fenomeno si chiama **radioattività** e i nuclidi che ne sono interessati si dicono **radionuclidi**.

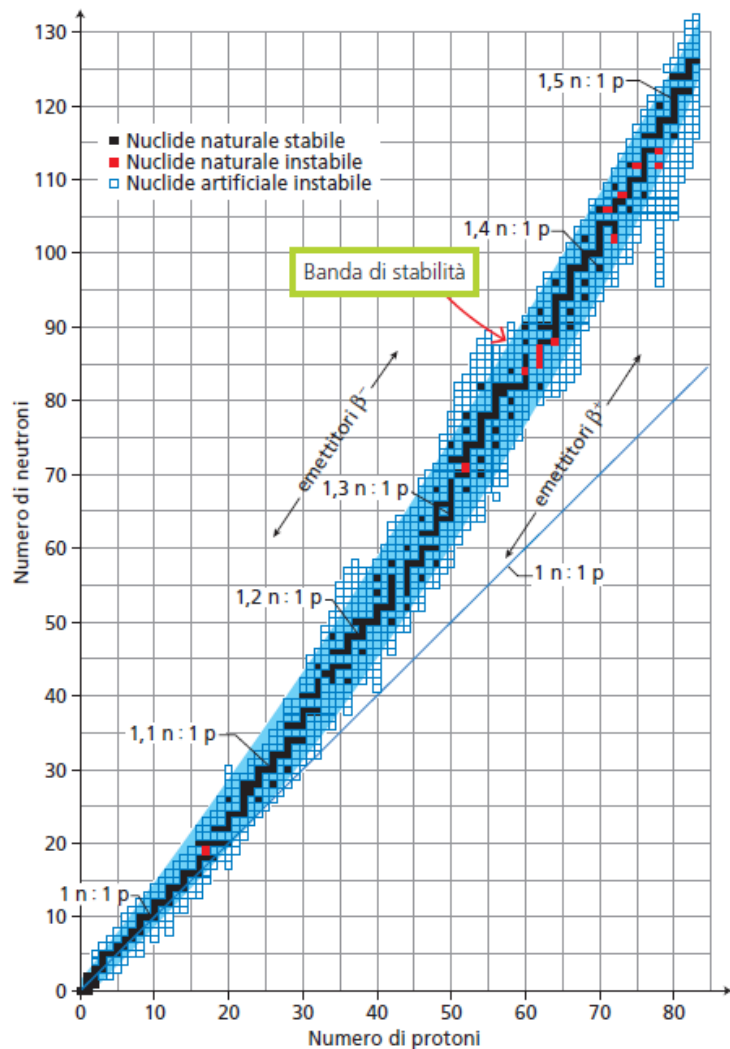
La radioattività

Riportando in grafico tutti isotopi stabili e instabili di ogni elemento, si evidenzia una regione chiamata **banda di stabilità**.

Con l'aumentare del numero di protoni, il numero dei neutroni deve crescere proporzionalmente di più, per generare una forza nucleare sufficiente a impedire la disintegrazione del nuclide.

I nuclei con più di 83 protoni non sono stabili.

La radioattività



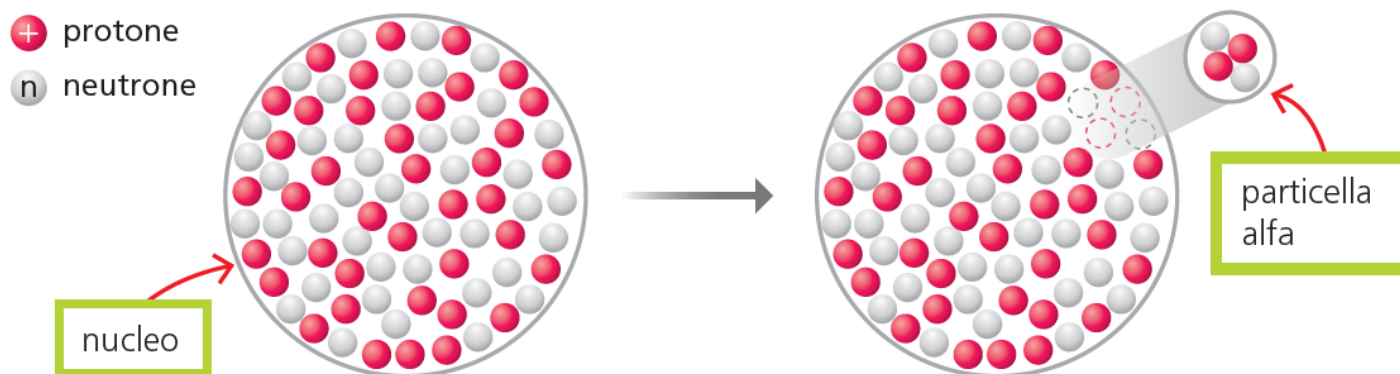
In generale, i nuclidi:

- che si trovano sopra e a sinistra della banda di stabilità emettono **radiazioni β^-** ;
- che si trovano sotto e a destra della banda di stabilità emettono **radiazioni β^+** ;
- con numero atomico maggiore di 83 tendono a emettere **radiazioni α** .

La radioattività

Nel **decadimento α** vengono emessi **nuclei di elio** (simbolo ${}^4_2\text{He}$).

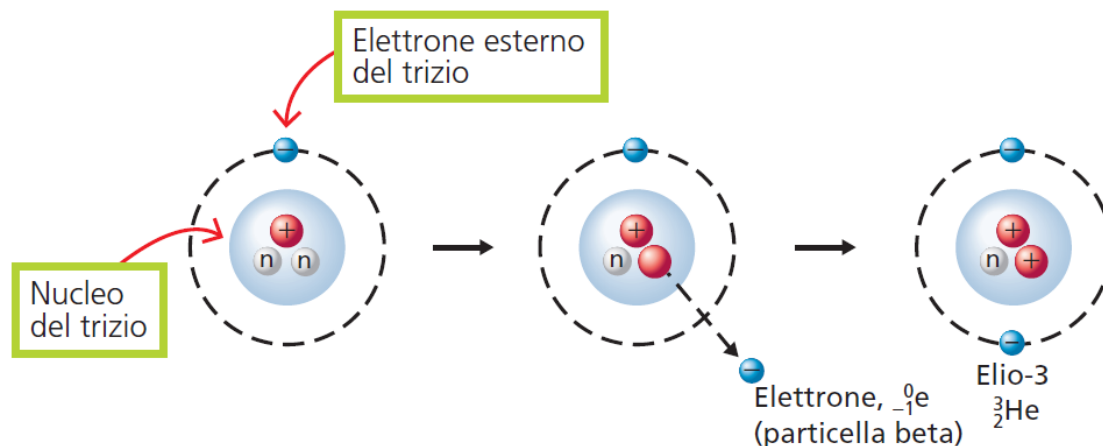
Con l'emissione di particelle α il numero di massa diminuisce di quattro unità e il numero atomico di due.



La radioattività

Nel **decadimento β^-** vengono emessi **elettroni** (simbolo ${}_{-1}^0e$).

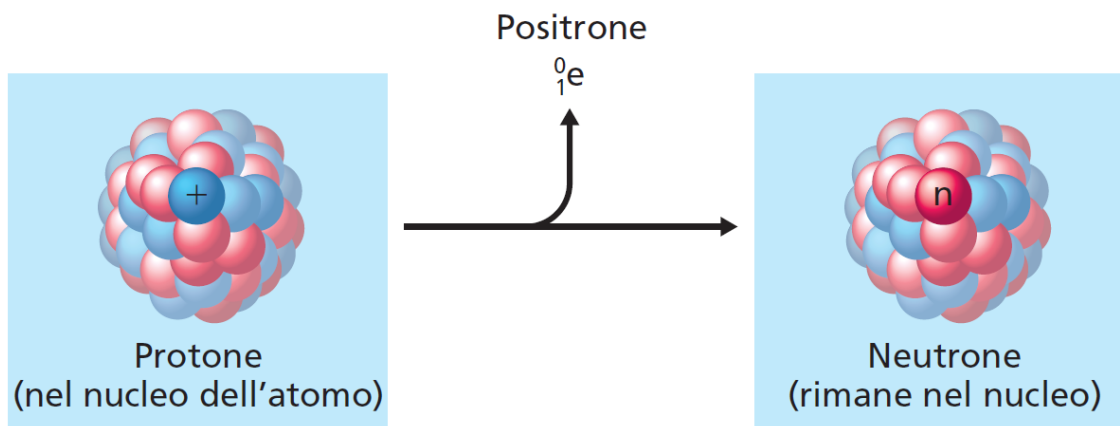
Con l'emissione di particelle β^- il numero di massa non cambia, mentre il numero atomico aumenta di un'unità.



La radioattività

Nel **decadimento β^+** vengono emessi **positroni** (simbolo 0_1e), antiparticelle degli elettroni.

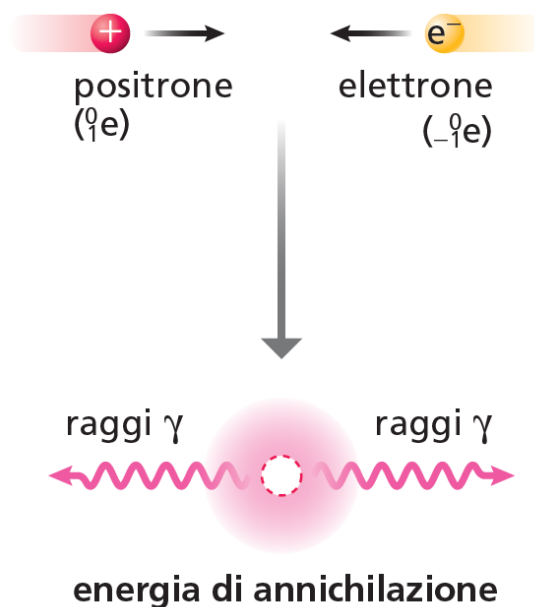
Con l'emissione di particelle β^+ il numero di massa non cambia, mentre il numero atomico diminuisce di un'unità.



La radioattività

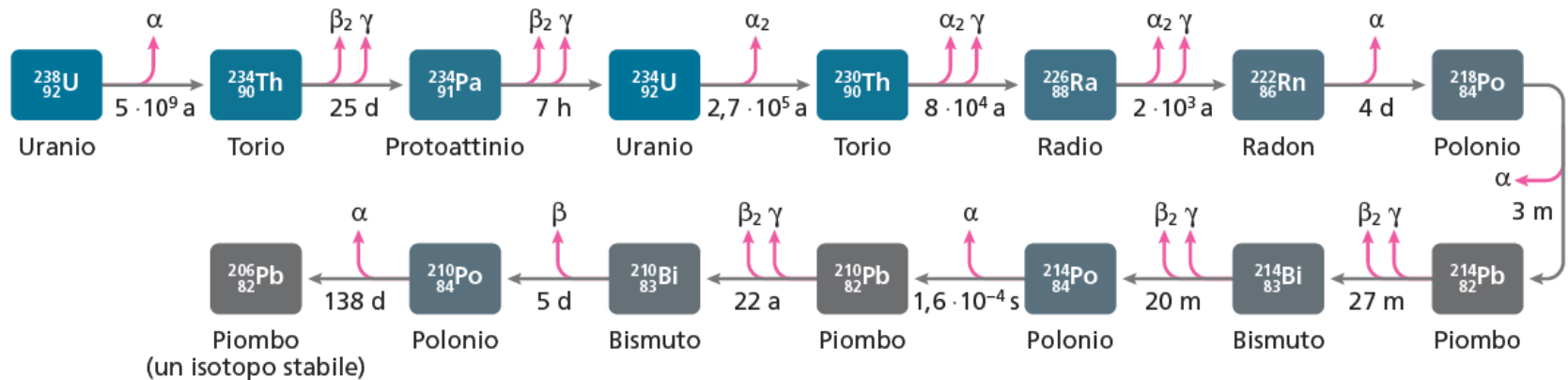
Nel **decadimento γ** vengono emessi **fotoni a energia elevata** (simbolo ${}^0_0\gamma$).

Con l'emissione di particelle γ il numero di massa e il numero atomico non cambiano.



Le serie di disintegrazione radioattiva e il tempo di dimezzamento

Serie di disintegrazione radioattiva → sequenza di decadimenti radioattivi fino al raggiungimento di un isotopo stabile.



La serie di disintegrazione radioattiva dell'uranio-238

Le serie di disintegrazione radioattiva e il tempo di dimezzamento

L'**attività** (R) di un dato materiale radioattivo è il numero di decadimenti che avvengono in un secondo.

La sua unità di misura nel SI è il **becquerel** (Bq), che corrisponde a un decadimento al secondo.

Legge del decadimento radioattivo:

$$R = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = kN$$

k → costante di decadimento caratteristica per ogni isotopo

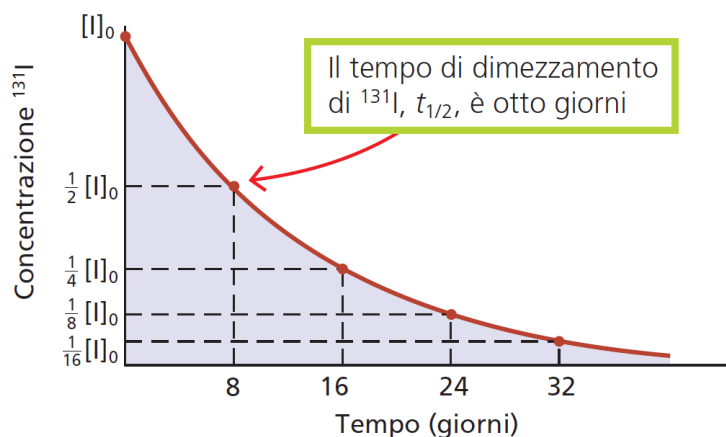
N → numero di nuclei radioattivi

Le serie di disintegrazione radioattiva e il tempo di dimezzamento

Il **tempo di dimezzamento** ($t_{1/2}$) è il tempo necessario per dimezzare la quantità iniziale di un radionuclide con il decadimento.

Il tempo di dimezzamento per una reazione del primo ordine e dato dalla seguente equazione:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$



Le serie di disintegrazione radioattiva e il tempo di dimezzamento

Elemento	Isotopo	Tempo di dimezzamento	Radiazioni o modo di decadimento
<i>Radionuclidi naturali</i>			
Potassio	$^{40}_{19}\text{K}$	$1,3 \cdot 10^9$ a	beta, gamma
Tellurio	$^{123}_{52}\text{Te}$	$1,2 \cdot 10^{13}$ a	cattura elettronica
Neodimio	$^{144}_{60}\text{Nd}$	$5 \cdot 10^{15}$ a	alfa
Samario	$^{149}_{62}\text{Sm}$	$4 \cdot 10^{14}$ a	alfa
Renio	$^{187}_{75}\text{Re}$	$7 \cdot 10^{10}$ a	beta
Radon	$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,82 d	alfa
Radio	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1590 a	alfa, gamma
Torio	$^{230}_{90}\text{Th}$	$8 \cdot 10^4$ a	alfa, gamma
Uranio	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,51 \cdot 10^9$ a	alfa

Il contatore Geiger indica ancora oggi un alto livello di radioattività nei dintorni di Chernobyl, la località ucraina in cui nel 1986 avvenne il più grave incidente nucleare di tutti i tempi.

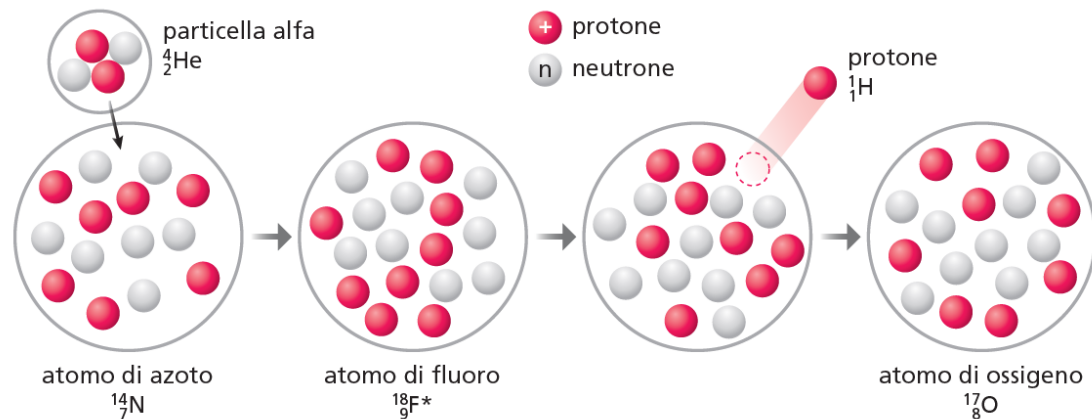


Le serie di disintegrazione radioattiva e il tempo di dimezzamento

La **trasmutazione** è la mutazione di un isotopo in un altro.

Si realizza per decadimento radioattivo ma anche per bombardamento dei nuclei con particelle ad alta energia:

il nucleo incorpora la particella e poi emette una particella altamente energetica (un neutrone, un protone o un elettrone), spesso accompagnata da radiazione γ .



LA CHIMICA CON METODO

- ▶ **Come si eseguono i calcoli sul tempo di dimezzamento?**

Lo iodio-131 è uno degli isotopi radioattivi più pericolosi che si liberano nelle esplosioni nucleari, perché si concentra nella ghiandola tiroide. Il tempo di dimezzamento dello ^{131}I è 8 giorni. Assumendo che l'isotopo non sia eliminato dall'organismo per via naturale, qual è la frazione di ^{131}I iniziale presente in un paziente dopo 24,0 giorni?

La conservazione della massa-energia

L'energia di un sistema si conserva solo se consideriamo *tutte* le forme di energia, compresa quella che corrisponde alla massa del sistema stesso.

Legge di conservazione della massa-energia: la somma di tutta l'energia e di tutta la massa (espressa in energia equivalente) presenti nell'universo è costante.

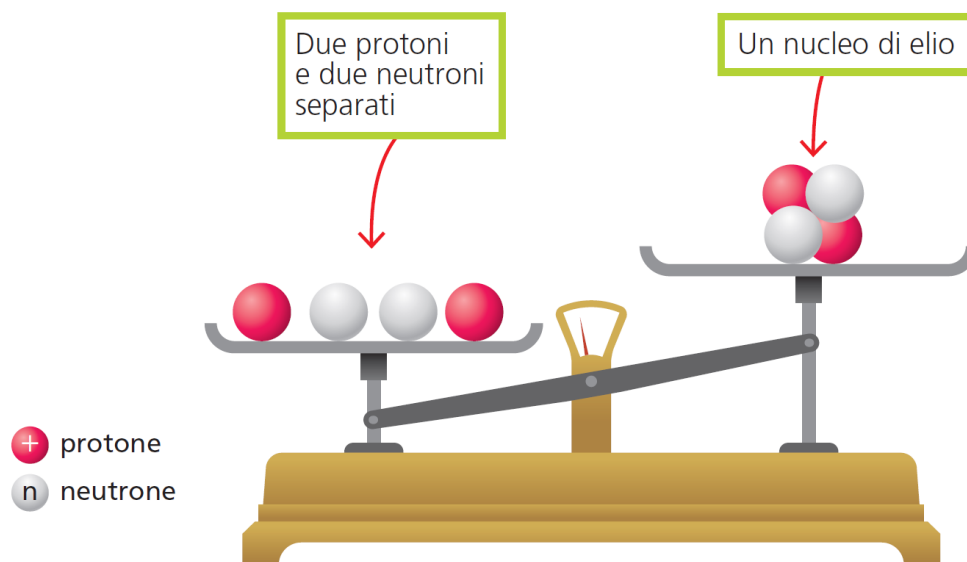
Equazione di Einstein:

$$\Delta E = \Delta m_0 c^2$$

dove c è la velocità della luce, $3,00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

La conservazione della massa-energia

Difetto di massa → differenza tra la massa reale di un nucleo atomico e la somma delle masse a riposo di tutti i suoi nucleoni; corrisponde all'**energia di legame del nucleo**, ovvero l'energia che il nucleo dovrebbe assorbire per potersi suddividere nei suoi nucleoni ($\Delta E = \Delta m_0 c^2$).



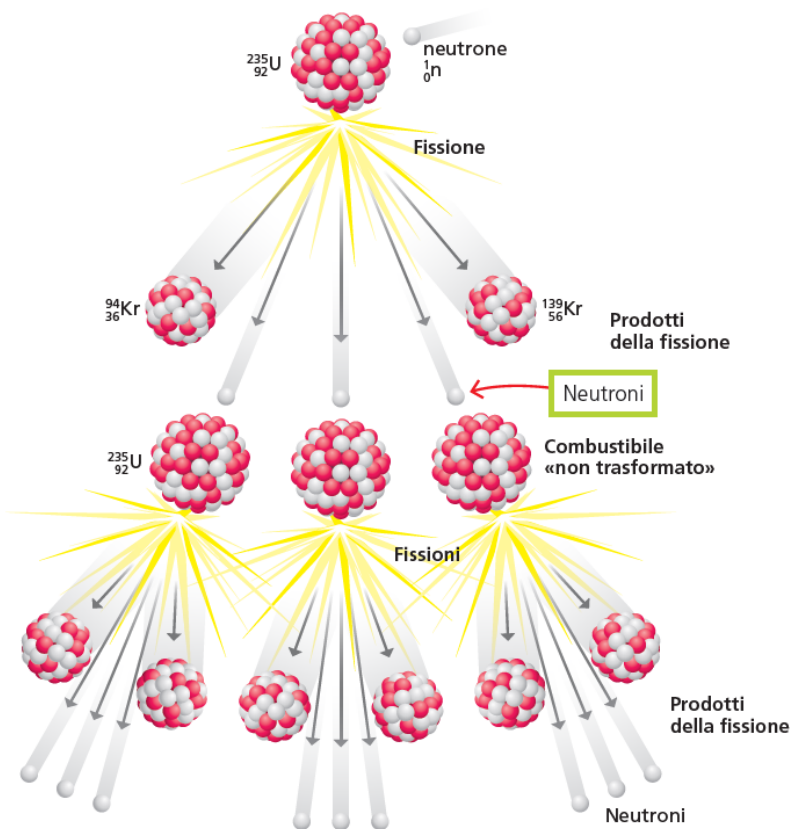
La fissione e la fusione dei nuclei

La **fissione nucleare** è la frammentazione di un nuclide pesante; può essere spontanea o indotta.

Un isotopo che va incontro a fissione dopo aver catturato un neutrone è chiamato **isotopo fissile**.

Dato che ogni evento di fissione genera in media più di due nuovi neutroni, si può innescare una **reazione nucleare a catena**, un processo in cui i prodotti di un evento ne causano la ripetizione una o più volte.

La fissione e la fusione dei nuclei



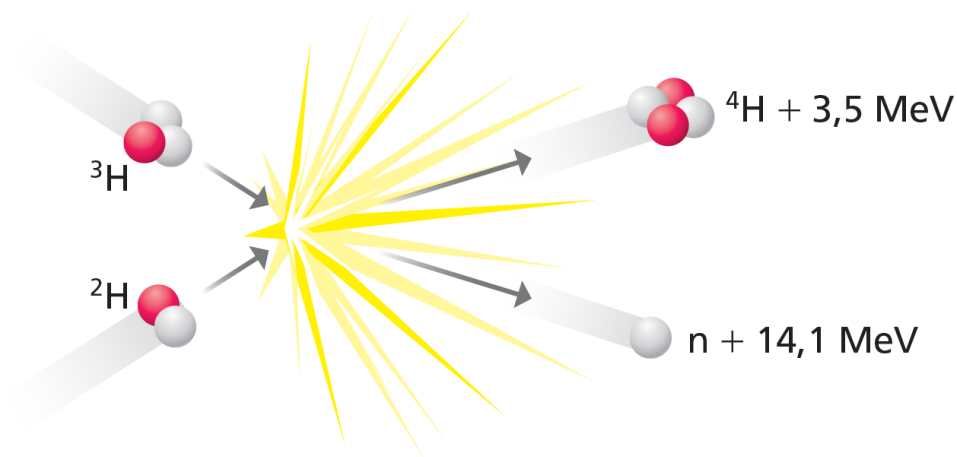
In presenza di una data **massa critica** di un isotopo fissile, i neutroni emessi da un evento di fissione possono essere catturati dai nuclei ancora «non trasformati» causando altri eventi di fissione.

L'innescò di una bomba atomica si realizza quando due masse di uranio-235 vengono unite insieme per formare una massa critica.

La fissione e la fusione dei nuclei

La **fusione nucleare** è la fusione di due nuclei leggeri in un nucleo più pesante.

La fusione nucleare, resa possibile dalle altissime temperature e dalle enormi pressioni presenti nel nucleo delle **stelle**, permette di fondere insieme quattro atomi di idrogeno per ottenere un nucleo di elio, liberando una quantità di energia enorme.



La chimica in Agenda

La radioterapia è una pratica medica consolidata che consiste nel dirigere un fascio di raggi X per trattare i tumori: i raggi X penetrano nei tessuti e provocano la ionizzazione diretta o indiretta del DNA delle cellule che vanno incontro alla morte. Tuttavia, è difficile dirigere il fascio esattamente sulla zona da trattare, quindi esiste il rischio di danneggiare i tessuti sani o addirittura di far insorgere tumori secondari.

Tecniche più recenti adoperano particelle cariche al posto dei raggi X. È il caso dei protoni usati nella *protonterapia*. Utilizzare particelle cariche permette di mirare meglio all'obiettivo da colpire perché un fascio di protoni diffonde meno rispetto ai raggi X ed è possibile stabilire in modo più accurato la profondità di penetrazione delle particelle.