

# Alla scoperta della radioattività

STAGE ESTIVO

14 giugno 2018

Susanna Bertelli

# QUANTUM THEORY

Principali caratteristiche degli atomi (dimensioni, massa, costituenti)

Descrizione di alcune proprietà *puzzling* dei sistemi microscopici: luce e atomi

Nuova teoria: meccanica quantistica 1900-1930

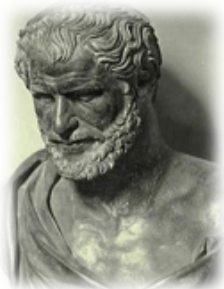
*Tavola periodica degli elementi*

*Molecole*

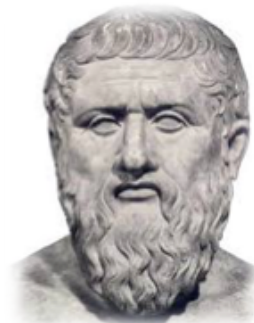
*Particelle subatomiche*



# ATOMI E COSTITUENTI



*Democrito*  
460 a.C. – 370 a.C.



*Platone*

*360 a.C. Timeo, la prima teoria degli elementi*

Proust 1799 Legge delle proporzioni definite

*quando due o più elementi reagiscono per formare un determinato composto, si combinano sempre secondo proporzioni in massa definite e costanti*



*John Dalton*  
1766-1844

*Interpreta la legge delle proporzioni definite come l'evidenza dell'esistenza degli atomi*

# ATOMI E COSTITUENTI

Teoria cinetica dei gas: assume che un gas è fatto di molecole in rapido movimento

Applicando le leggi di Newton al moto delle molecole si possono spiegare diverse proprietà dei gas  
Legge di Boyle, viscosità, moto browniano.

Chimica e Fisica

Teoria cinetica dei gas fornisce informazioni sulle dimensioni e le masse delle molecole.

1885 Loschmidt da considerazioni relative al libero cammino medio arriva a determinare dimensioni delle molecole ottenendo  $10^{-7}$  cm

Inizio 1900: la materia è fatta di elementi la cui unità più piccola sono gli atomi. Gli atomi possono raggrupparsi in molecole. Non abbiamo evidenze che gli atomi possano essere divisi.

# ATOMI E COSTITUENTI

1897 J.J. Thomson scopre la prima particella subatomica: l'elettrone.  
Per Thomson l'elettrone deve essere contenuto negli atomi e quindi  
l'atomo è divisibile.





# LE SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI

Tubi a vuoto di Geissler e tubi di Crookes



L'interesse per i tubi a scarica nasce in seguito ad un episodio del tutto accidentale osservato nel 1676 dall'abate **Jean Picard** (1620-1682). Trasportando un barometro aveva notato che ad ogni brusco movimento del mercurio il barometro si illuminava di una luce bluastra. Quali fossero le cause di questa luminescenza non era chiaro. Egli cercò così di spiegare il motivo di tale fenomeno ma riuscì solo a formulare ipotesi confuse .



**Francis Hauksbee** dal 1705 al 1709 studiò il cosiddetto "fosforo mercuriale" che talvolta emetteva luce, nel vuoto torricelliano, quando un barometro veniva agitato. Nei suoi studi giunse alla conclusione che causa della luminescenza non era il mercurio o il vetro ma l'attrito tra i due. Senza rendersene conto egli fece le prime ricerche sulle scariche elettriche nei gas rarefatti.

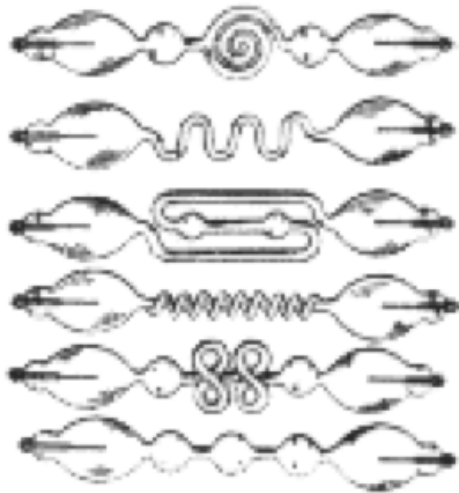


# LE SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI

Tubi a vuoto di Geissler e tubi di Crookes



Nel 1857 **Heinrich Geissler** studiò le scariche elettriche nei gas rarefatti. Costruì a tale scopo il primo tubo a vuoto (tubo di Geissler). Era un tubo di vetro in cui era stato ottenuto il vuoto tramite una pompa al mercurio e al cui interno erano stati posti due elettrodi. Questi ultimi venivano poi collegati ad un rocchetto di Ruhmkorff. Geissler osservò che il tubo assumeva una colorazione azzurrognola.



Per capire l'origine di questo fenomeno costruì negli anni successivi una svariata molteplicità di tubi con forme molto particolari. Geissler osservò che con tali tubi la scarica elettrica non dipendeva dal gas utilizzato, da questo dipendeva solamente il colore della luce emessa. I tubi di Geissler sono considerati i predecessori dei tubi fluorescenti e al neon.



# LE SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI

Tubi a vuoto di Geissler e tubi di Crookes



Uno strumento simile era stato creato qualche anno prima (poco prima del 1850) da **Auguste De La Rive** (1801-1873) per spiegare le analogie tra le aurore boreali e australi e le scariche elettriche. A questo scopo costruì uno strumento costituito da un tubo di vetro, al cui interno veniva fatto il vuoto, di forma ovoidale contenente due elettrodi sferici di ottone. Lo strumento veniva poi collegato ad un rocchetto di Ruhmkorff. Con questo dispositivo (uovo elettrico) De La Rive dimostrò la rotazione delle scariche elettriche nel vuoto a causa di un campo magnetico e quindi affermare che i movimenti rotatori osservati nelle aurore boreali sono dovuti al magnetismo terrestre.



**Julius Plucker** (1801-1868) osservò che avvicinando un magnete al tubo di scarica la posizione del bagliore sulle pareti cambiava, deducendo così che la scarica veniva deviata dai campi magnetici. Egli osservò inoltre che la luminescenza che si produceva cambiava a seconda del vuoto che era stato fatto. Diminuendo la pressione del gas all'interno del tubo aveva osservato che la luminescenza del tubo diminuiva mentre il vetro opposto al catodo emanava una luce verdastra. Era cioè come se il catodo emettesse qualcosa e questa emissione raggiungesse la parte opposta al catodo.

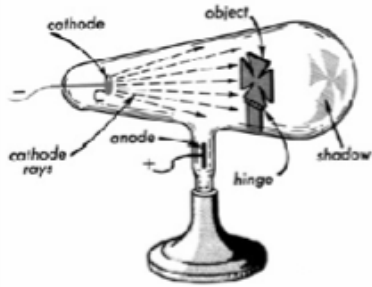




# LE SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI

Tubi a vuoto di Geissler e tubi di Crookes

1865-1869 Per studiare le scariche nei gas era necessario ottenere vuoti più spinti. Questo fu possibile negli anni sessanta del diciannovesimo secolo grazie ai miglioramenti apportati alla pompa di Geissler da Torpler e soprattutto da Sprengel. Gli studi di Plucker sulle scariche elettriche nei gas rarefatti furono continuati da un suo allievo **J.W. Hittorf** (1824-1914) Egli nei suoi esperimenti pose all'interno dei tubi a vuoto, nelle vicinanze del catodo, degli ostacoli costituiti da dei corpi solidi. Quello che osservò fu che questi corpi gettavano un'ombra nella parete del tubo opposta al catodo.



Egli concluse che ciò che il catodo emetteva si comportava in modo del tutto simile ai raggi luminosi e si propagava in linea retta. Si cominciano così ad affermare tra gli studiosi della radiazione catodica due diverse interpretazioni dei fenomeni osservati: una interpretazione corpuscolare e una ondulatoria.

Tubo a Croce di Malta.



# LE SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI

Tubi a vuoto di Geissler e tubi di Crookes



1875 Sostenitore della teoria corpuscolare della radiazione catodica fu anche l'inglese **William Crookes**. Egli si occupò di determinare la natura della radiazione catodica nelle scariche elettriche nei gas rarefatti. A questo scopo ideò una molteplicità di tubi a vuoto, tra questi va ricordato il tubo di Crookes con mulinello che sembrò fornire un'ulteriore conferma alla teoria corpuscolare.



All'interno di un tubo a vuoto si trova posto un mulinello a pale libero di muoversi lungo due rotaie. Applicando una differenza di potenziale agli elettrodi si notava che il mulinello cominciava a girare quando colpito dalla radiazione catodica.



# LE SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI

Tubi a vuoto di Geissler e tubi di Crookes

Nel 1886 **Eugene Goldstein** (1850-1930) scoprì i raggi canale. Con questo nome Goldstein volle indicare quei raggi luminosi che egli aveva osservato dietro a un catodo perforato in un tubo a vuoto quando avveniva una scarica elettrica. Anche essi però venivano deflessi da un campo magnetico.

**Joseph John Thomson** (1856-1940) condusse esperimenti sui raggi catodici generati all'interno dei tubi di Crookes. Questi vennero precedentemente utilizzati da Arthur Schuster a cui risultò che la massa delle particelle, che componevano i raggi generati, era molto inferiore rispetto a quella dell'idrogeno, e J. Perrin che dimostrò la negatività delle particelle che componevano questi raggi. In un primo esperimento utilizzò un tubo di Crookes con l'aggiunta di due piastre caricate in maniera opposta. Successivamente notò che il raggio formato subiva una deviazione verso la piastra positiva. Trasse così la conclusione che le particelle che formano questi raggi catodici sono cariche negativamente e, in seguito ad ulteriori prove, che sono uguali a prescindere dal gas utilizzato.

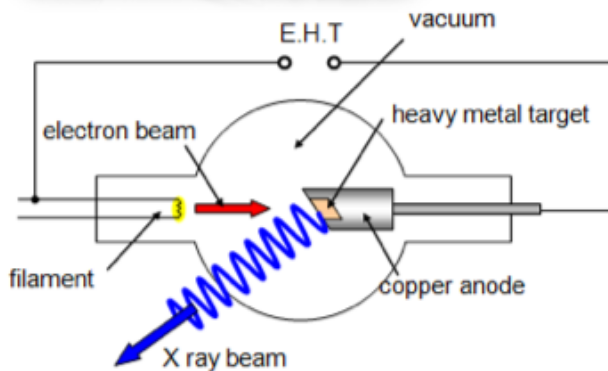


# LE SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI

Tubi a vuoto di Geissler e tubi di Crookes



Moltissimi fisici di fine Ottocento tra cui Roentgen si interessarono alla natura dei *raggi catodici* (1) ed effettuarono esperimenti di vario tipo per investigarla. La scoperta dei raggi X fu casuale. Il suo artefice, Wilhelm Conrad Roentgen, durante i suoi esperimenti era solito annotare le sue osservazioni su un quaderno per appunti, utilizzando come segnalibro la chiave di un cassetto della scrivania.



Un giorno, nella primavera del 1895, aveva distrattamente appoggiato il quaderno con la chiave su alcune lastre fotografiche mentre effettuava degli esperimenti con i raggi catodici. Dopo aver fatto qualche esperimento, era sceso nel cortile dell'Istituto a fotografare alcuni fiori. Il giorno seguente trovò, tra le fotografie dei fiori che aveva sviluppato, una foto che raffigurava la chiave della sua scrivania. Cercò per lungo tempo di spiegare questo fatto ma non vi riuscì.

Nell'autunno dello stesso anno eseguì un esperimento con un tubo di Crookes. Roentgen stava studiando elettroni accelerati da una differenza di potenziale che colpiscono un bersaglio metallico.



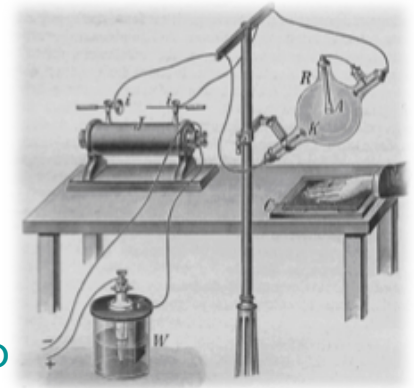
# LE SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI

Tubi a vuoto di Geissler e tubi di Crookes



Egli osservò una luce verde proveniente da un pezzo di cartone ricoperto da una sostanza luminescente se colpita da luce, ma la stanza era buia e non capì quale fosse la sorgente luminosa responsabile, intuì però che doveva essere in rapporto all'esperimento che stava facendo, poiché la luminescenza scompariva o appariva a seconda se nel tubo a vuoto veniva o meno fatta passare corrente. Roentgen ripeté l'esperimento numerose volte e arrivò alla conclusione che doveva trattarsi

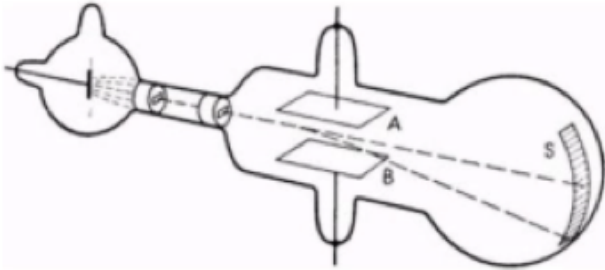
di raggi nuovi originatisi dall'interazione dei raggi catodici, all'interno del tubo. Poiché questi raggi erano sconosciuti li chiamò raggi X. Per prima cosa cercò di stabilire "quanto" quei raggi fossero penetranti. Inizialmente pose tra il tubo e la lastra vari oggetti di diverso spessore e i raggi sembravano oltrepassare Tutti questi fino a che non mise una scatoletta di pesi di piombo e sulla lastra fotografica comparve chiaramente la loro sagoma. Quasi istintivamente Roentgen mise la propria mano davanti ai raggi e si accorse che sullo schermo si delineavano nitide le ossa della mano: ciò significava che i raggi X attraversavano i tessuti molli ma non le ossa. Roentgen intuì così l'importante uso che si poteva fare dei raggi X nella diagnosi medica. La prima vera radiografia della storia fu effettuata dallo scienziato che immortalò la mano sinistra della moglie Anna Bertha.





## LE SCARICHE ELETTRICHE NEI GAS RAREFATTI

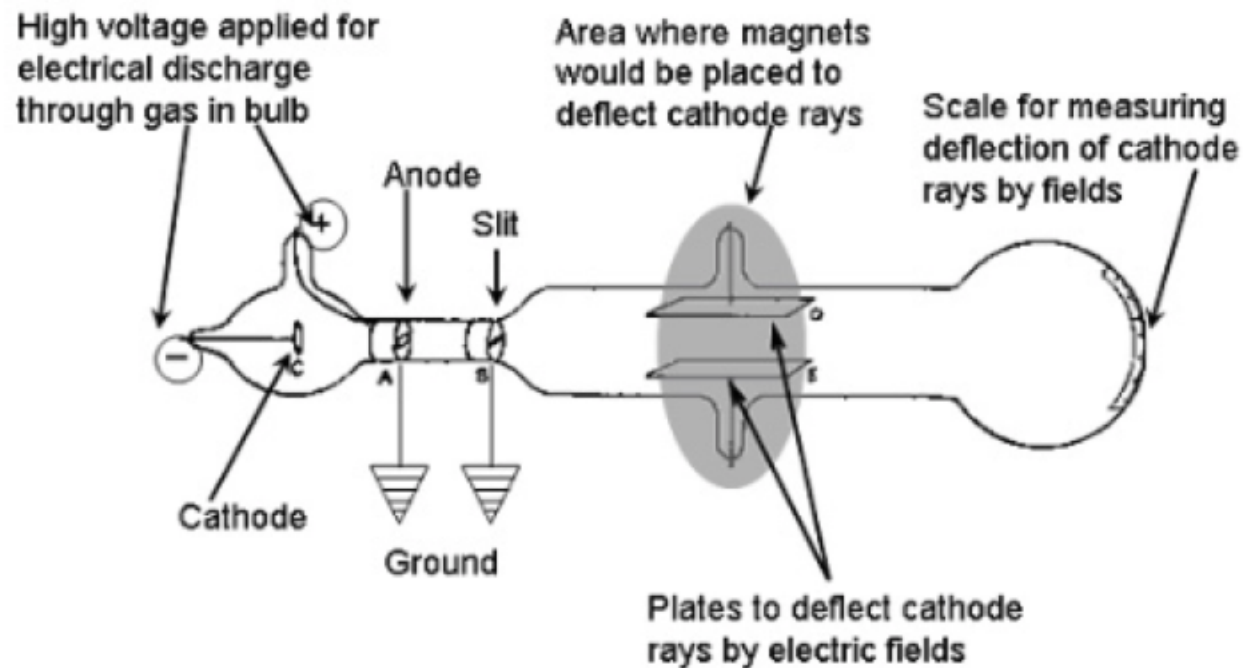
Tubi a vuoto di Geissler e tubi di Crookes



Thomson poi effettuò un altro esperimento per determinare il rapporto tra carica e massa (velocità): sottopose, contemporaneamente, i raggi catodici a due campi uno elettrico ed uno magnetico. Riuscì così a misurare questo rapporto.

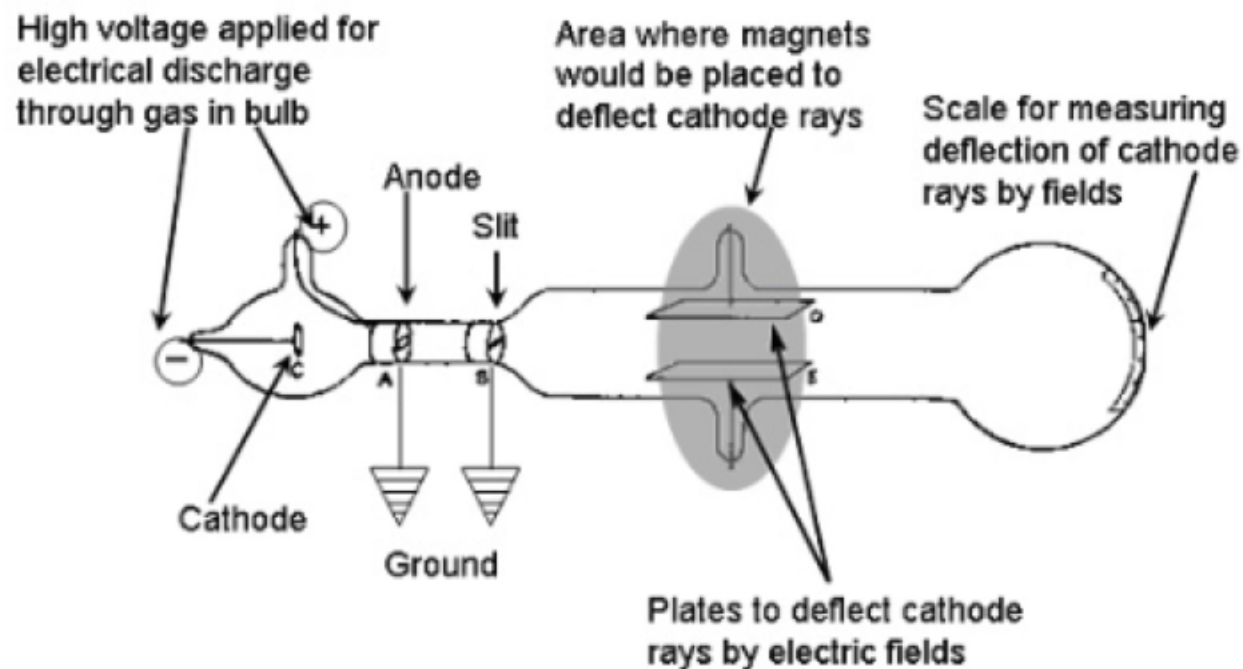
Successivamente osservando la migrazione di gocce di nebbia cariche in campo elettrico determinò la carica dell'elettrone (la massa). Nacque così l'elettrone come caratteristica intrinseca della materia. Per la scoperta dell'elettrone vinse il premio Nobel nel 1906

# ATOMI E COSTITUENTI



Quando viene applicato un elevato potenziale tra catodo e anodo, alcuni atomi del gas ionizzano e si verifica una scarica. Gli ioni positivi che colpiscono il catodo emettono elettroni che vengono accelerati verso l'anodo.

# ATOMI E COSTITUENTI



Thomson misurò la velocità dei raggi catodici applicando  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{B}$ . La forza che agisce su ogni elettrone è:

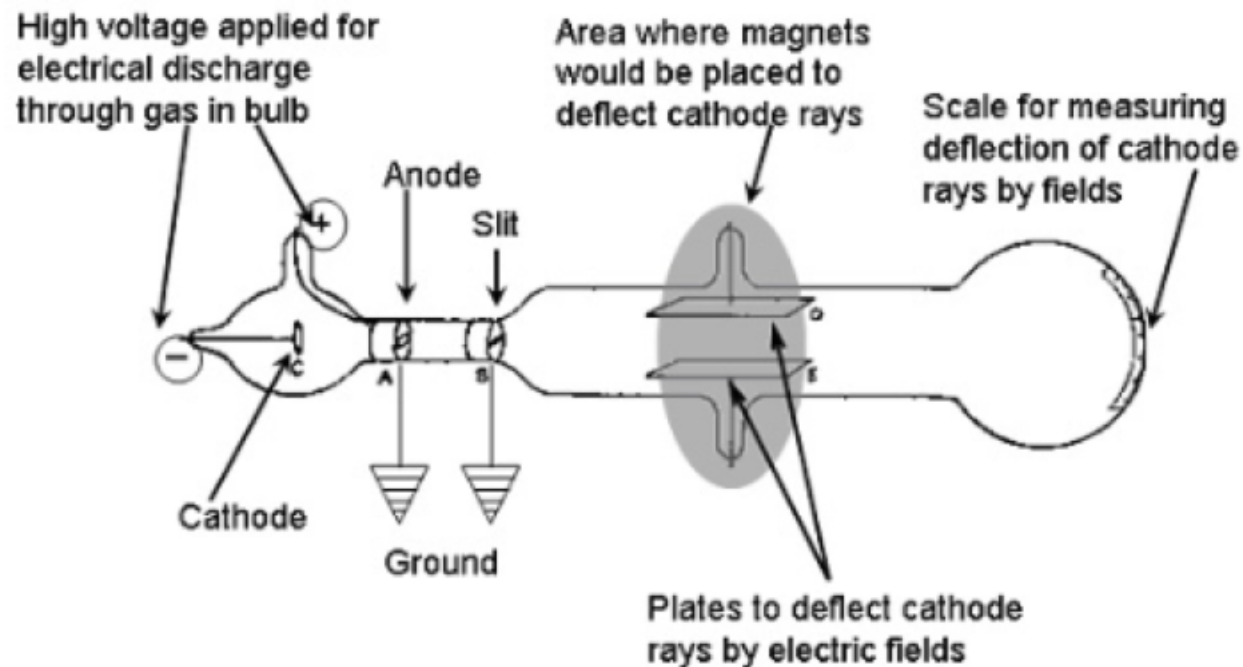
$$\mathbf{F} = q (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

- 1) Prima applicò solo  $\mathbf{E}$  misurando la deflessione degli elettroni
- 2) Rimuove  $\mathbf{E}$  e applica un campo trasversale  $\mathbf{B}$  finché la deflessione dovuta a  $\mathbf{B}$  non uguaglia quella dovuta a  $\mathbf{E}$ , condizione  $\mathbf{E} = \mathbf{v} \times \mathbf{B}$

Modo alternativo compensazione, accendo  $\mathbf{E}$  e configuro  $\mathbf{B}$  per compensare i rispettivi effetti sul moto delle cariche per farle emergere lungo la stessa direzione di entrata.



# ATOMI E COSTITUENTI



Applicando **B** gli elettroni si muovono in un'orbita circolare,  $F_B$  forza centripeta

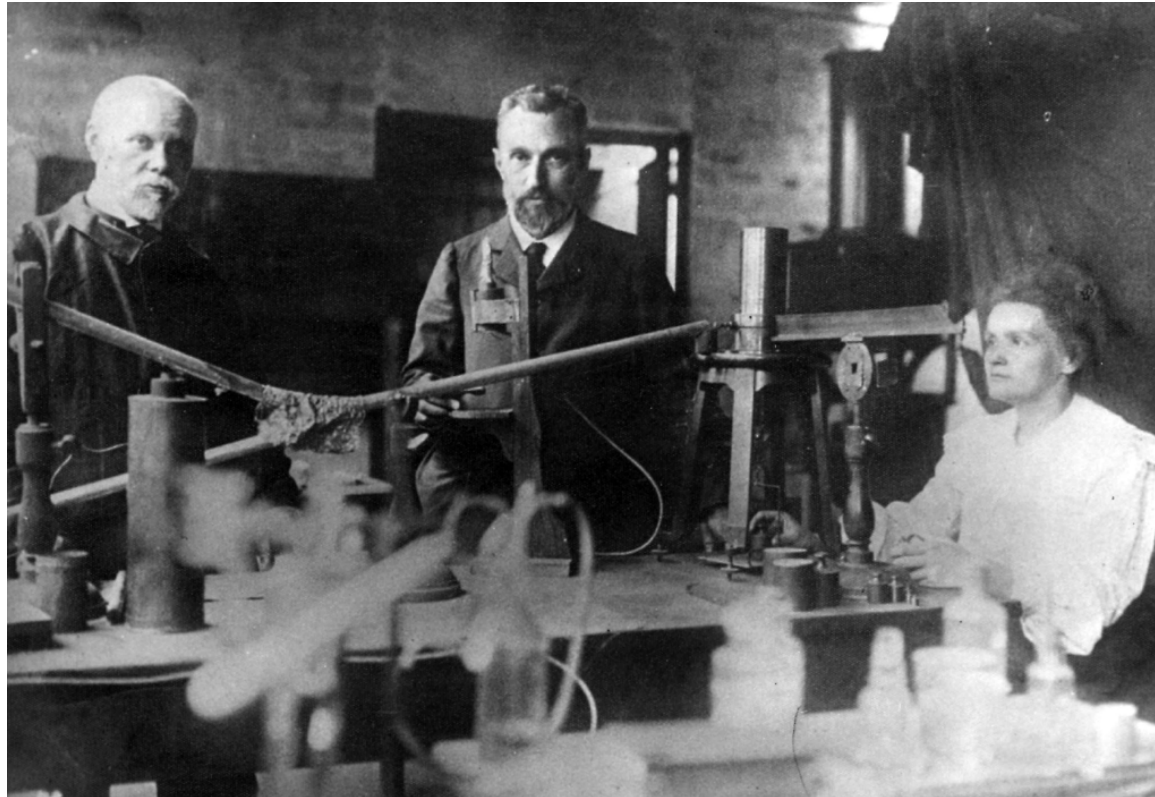
$$evB = mv^2 / R, \quad R = mv / (eB) \rightarrow m/e = BR / v$$

Thomson eseguì le stesse misure con gas diversi ed elettrodi di materiali diversi e il rapporto mass-to-charge era sempre lo stesso, si trattava di particelle uguali contenute in tutti gli atomi.  $m/e$  per gli elettroni è 2000 volte più piccolo di  $m/e$  per ioni idrogeno. Da qui dedusse che gli elettroni dovessero avere una massa più piccola o una carica più grande.

# RADIOATTIVITA'

La radioattività è un fenomeno fisico naturale che si verifica quando il nucleo di un atomo instabile raggiunge un nuovo stato di equilibrio emettendo radiazioni.

1896



# ATOMI E COSTITUENTI

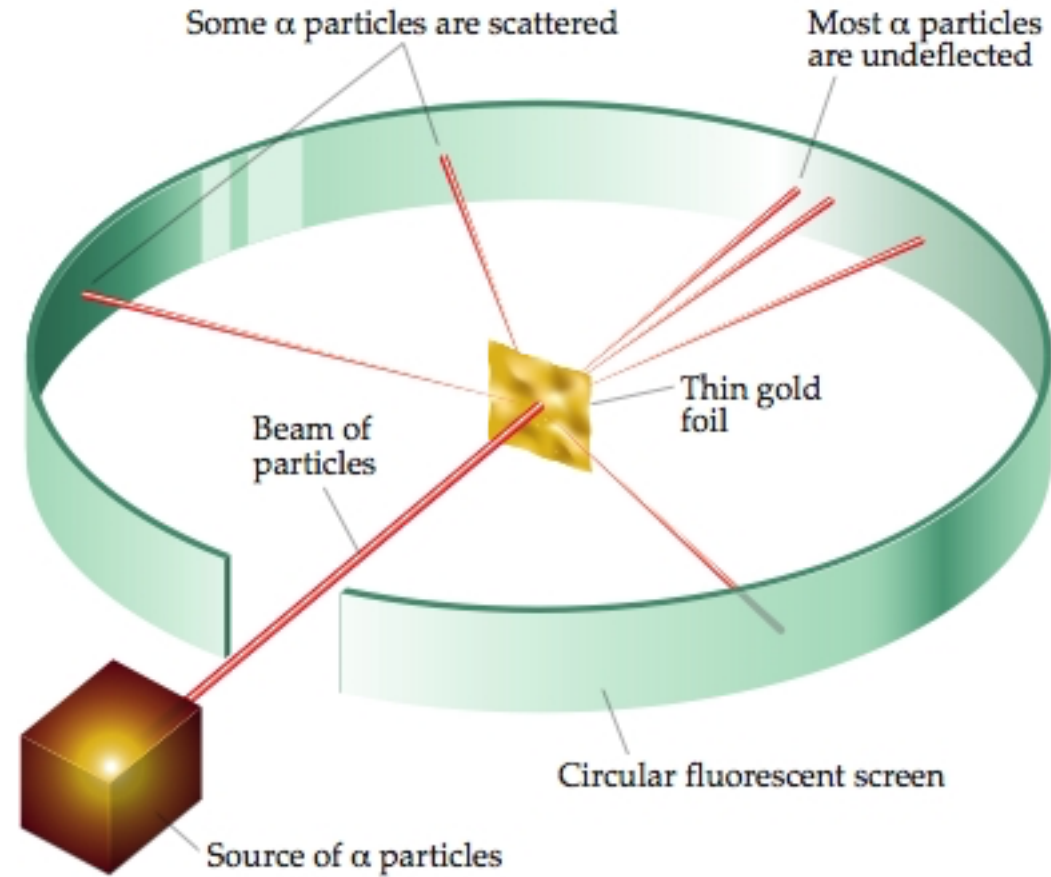


Si determinò la massa dell'elettrone  
 $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

# ATOMI E COSTITUENTI



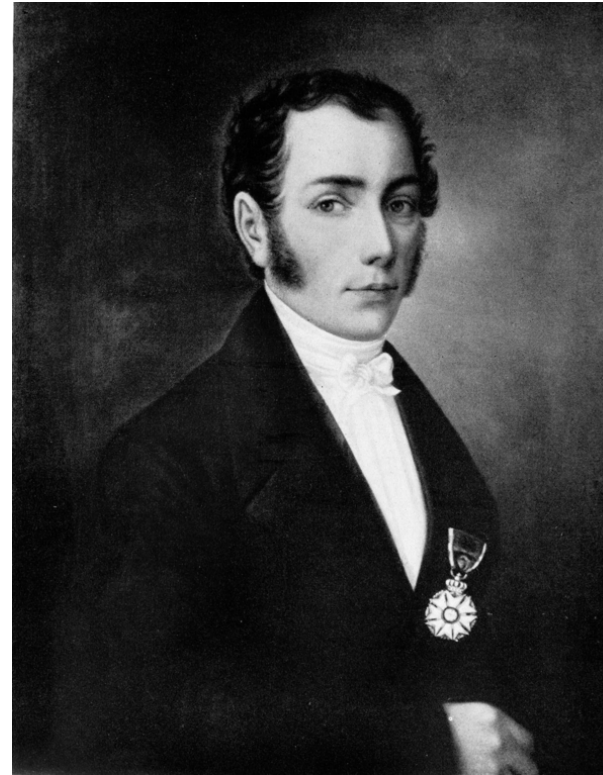
Ernest Rutherford



# SPETTRI ATOMICI



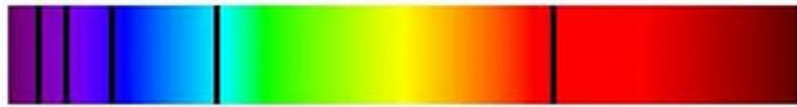
Newton, 1666



Fraunhofer, 1814

# SPETTRI ATOMICI

Hydrogen Absorption Spectrum



Hydrogen Emission Spectrum



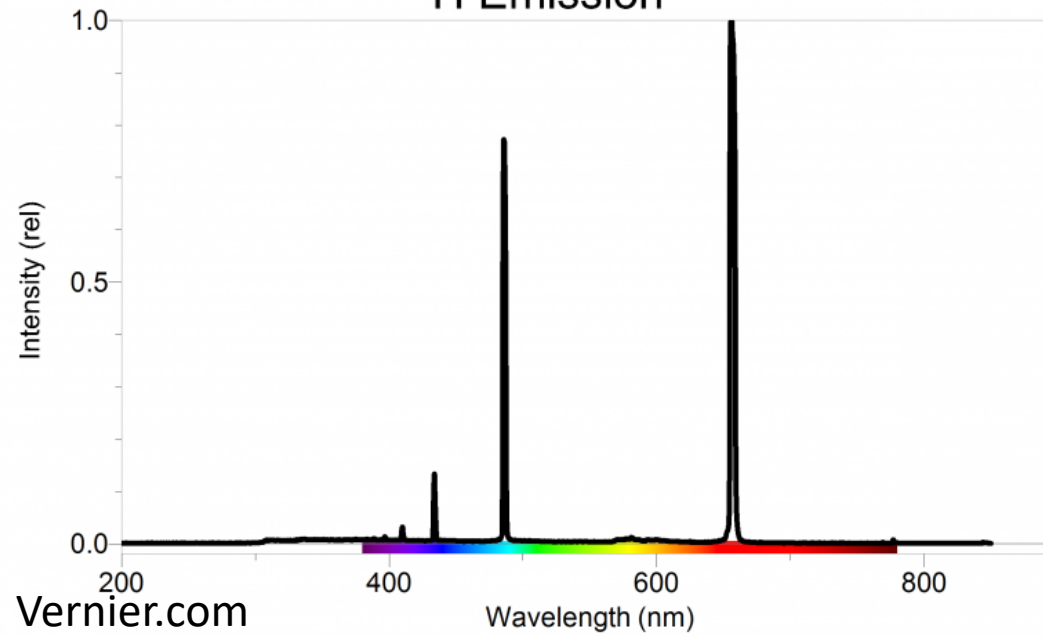
400nm

700nm

H Alpha Line  
656nm  
Transition N=3 to N=2

Khanacademy

H Emission



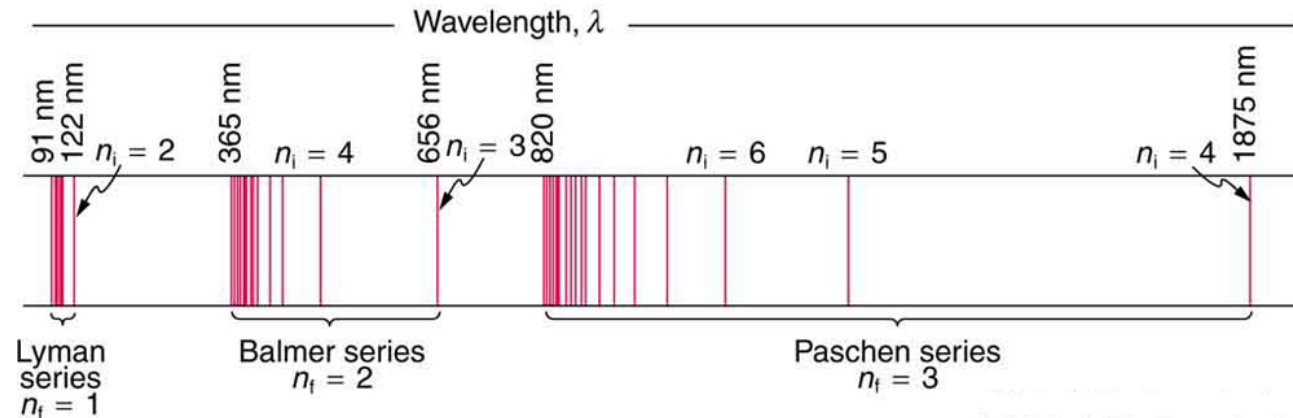
Vernier.com

# SPETTRI ATOMICI

Serie di Balmer

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$n=3,4,5$  con  $R = 1.097 \cdot 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$



Tutte sintetizzate da:

Formula di Rydberg

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

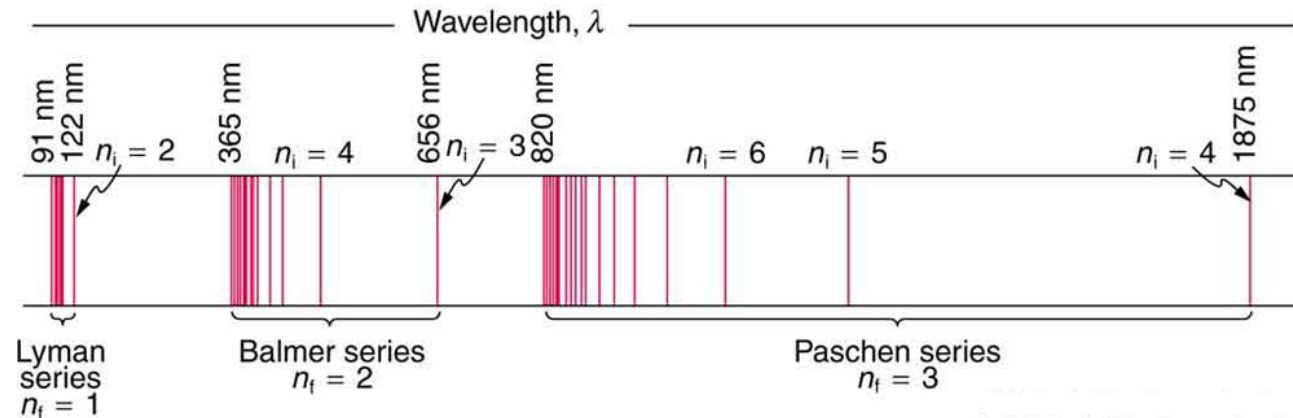
$n_f$  numero caratteristico per ogni serie e  
 $n_i$  numero intero con valori  $n_f+1, n_f+2, \dots$

# SPETTRI ATOMICI

Serie di Balmer

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$n=3,4,5$  con  $R = 1.097 \cdot 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$



Tutte sintetizzate da:

Formula di Rydberg

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$n_f$  numero caratteristico per ogni serie e  
 $n_i$  numero intero con valori  $n_f+1, n_f+2, \dots$

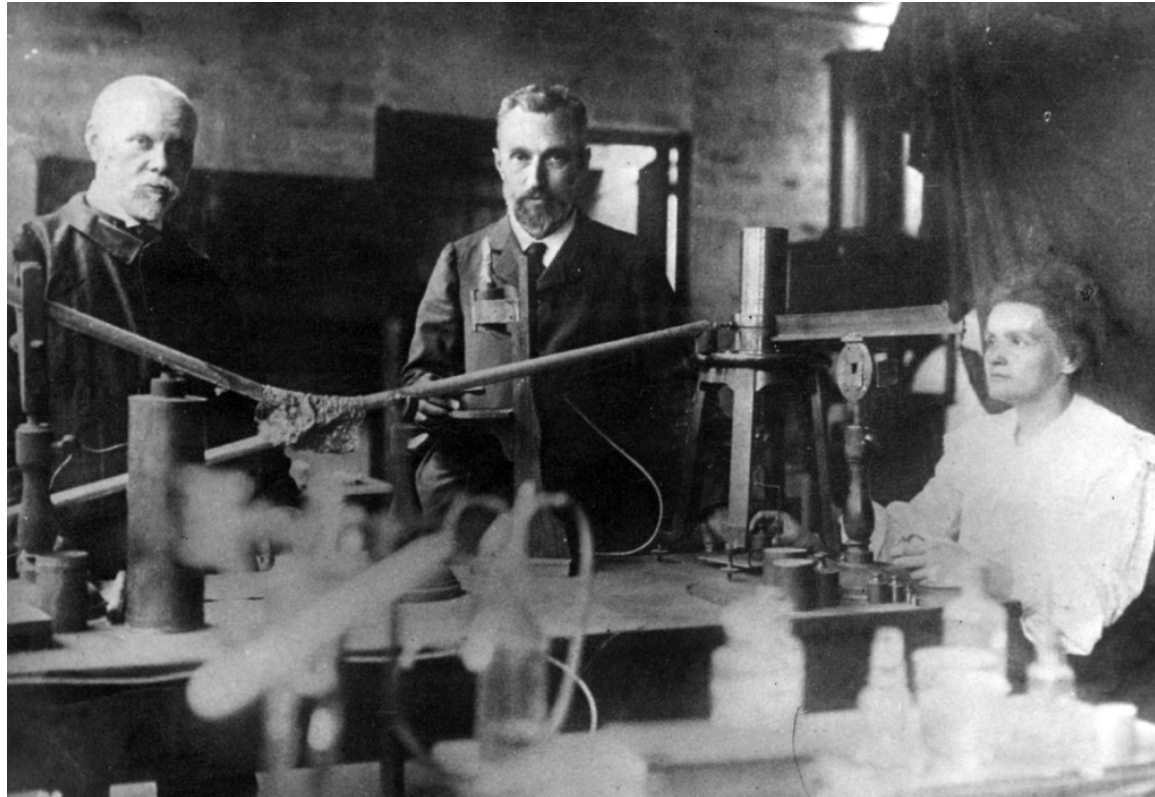


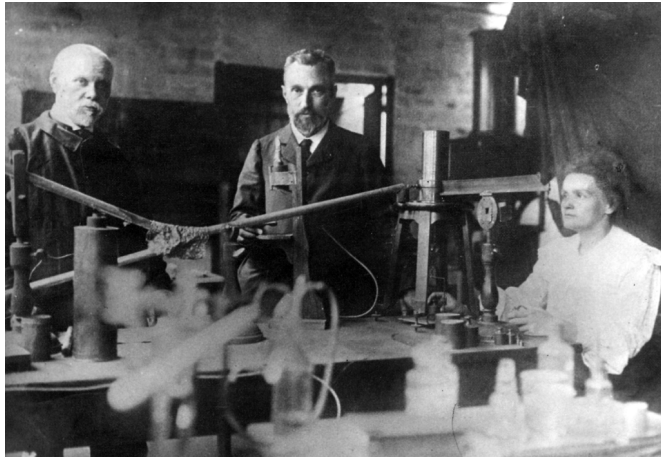


# RADIOATTIVITA'

La radioattività è un fenomeno fisico naturale che si verifica quando il nucleo di un atomo instabile raggiunge un nuovo stato di equilibrio emettendo radiazioni.

1896





- Per verificare eventuali legami tra i raggi X e la fluorescenza, Becquerel decise di studiare il comportamento di alcuni cristalli di minerali di uranio che presentavano proprio il fenomeno della fluorescenza. Il giorno programmato da Becquerel per l'esperimento, però, pioveva e non era quindi possibile esporre i cristalli alla luce del sole per provocarne la fluorescenza. Il fisico allora ripose i cristalli e la lastra fotografica su cui avrebbe voluto rivelare i raggi X in un cassetto. Poiché continuava a

piovere, qualche giorno dopo Becquerel decise comunque di sviluppare la lastra fotografica inutilizzata, come esperimento di controllo. Con sua grande sorpresa, si accorse che le lastre erano state impressionate anche senza fluorescenza e concluse che nuove radiazioni venivano emesse spontaneamente dall'uranio, senza necessità di eccitazione. Becquerel continuò a studiare il fenomeno e scoprì che le radiazioni emesse dall'uranio erano in grado di ionizzare i gas e quindi renderli conduttori.

I raggi emessi dall'uranio vennero inizialmente chiamati raggi Becquerel in onore di colui che li aveva scoperti. Fu il fisico Ernest Rutherford a scoprire che in realtà i raggi Becquerel erano costituiti da diversi tipi di radiazioni: Rutherford stesso individuò i raggi  $\alpha$  e  $\beta$ , a cui poi si aggiunsero i raggi  $\gamma$ .

- Proprio in quel periodo, Marie Curie stava cercando un argomento per la sua tesi di dottorato e decise quindi di approfondire le scoperte di Becquerel attraverso un accurato lavoro sperimentale su alcuni campioni di minerali di uranio. In alcuni casi, si accorse che le radiazioni emesse dai minerali erano molto maggiori di quanto prevedibile sulla base del contenuto di uranio e ipotizzò quindi l'esistenza di altri elementi radioattivi.
- Il maggiore merito dei coniugi Curie, e di Marie in particolare, nel campo della radioattività è stato proprio quello di scoprire nuovi elementi, radio e polonio, molto più radioattivi rispetto all'uranio e di sviluppare metodi efficaci per separare il radio dai residui radioattivi dei minerali di uranio.

# RADIOATTIVITA'

I nuclei possono essere soggetti ad una serie di processi:

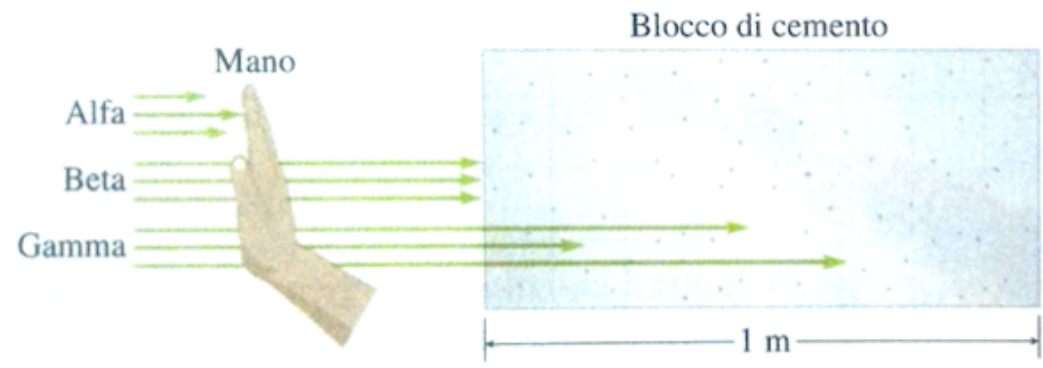
Radioattività → il nucleo si disintegra spontaneamente con emissione di radiazione

Reazioni nucleari → il nucleo interagisce con un'altra particella con emissione di radiazione

Ogni radiazione emessa è caratterizzata da uno spettro energetico correlato al processo nucleare

Studiando la radioattività si sono identificati 3 diversi tipi di radiazione emessa dai nuclei radioattivi:

Radiazione alfa, beta e gamma



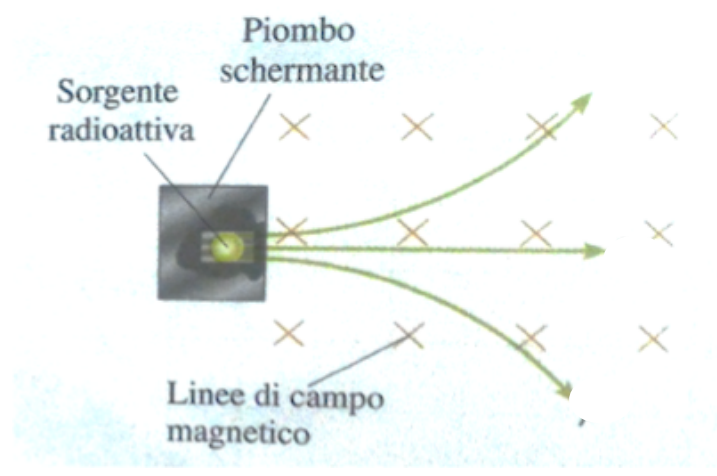
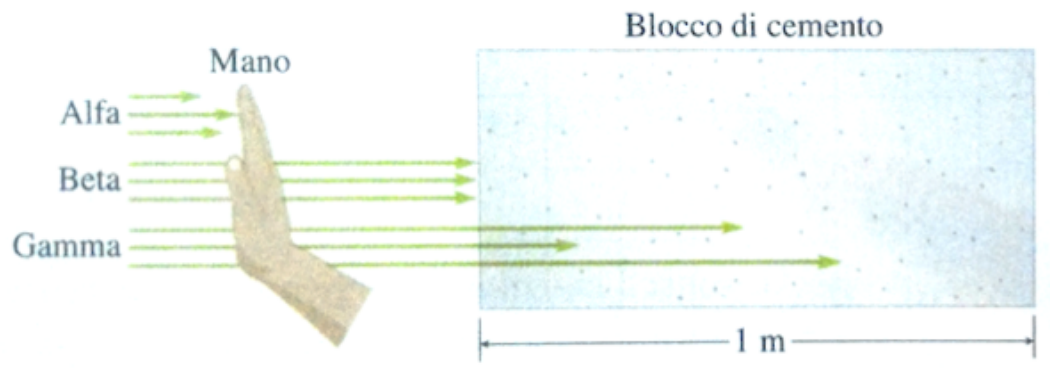
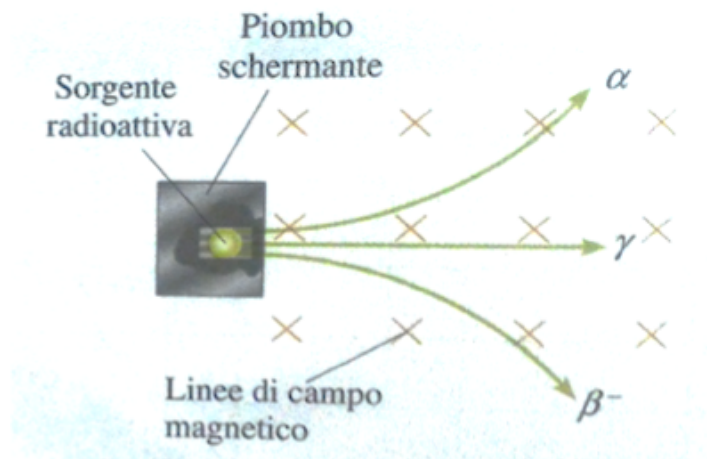
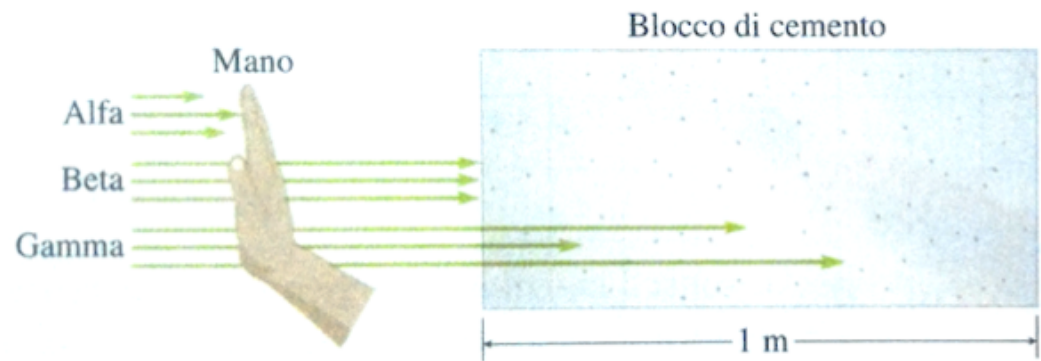


Immagine tratta da Walker



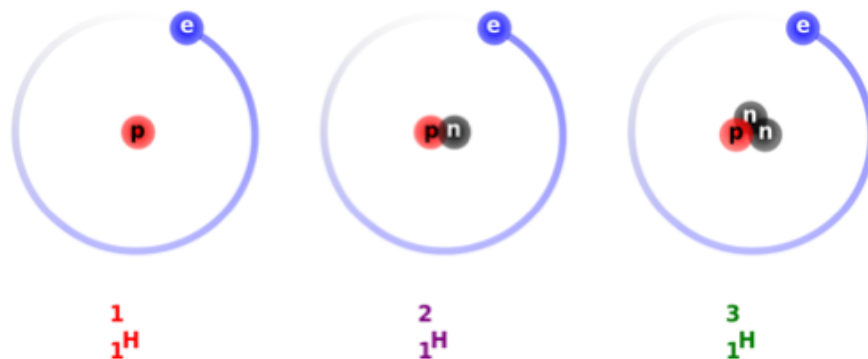
# STRUTTURA NUCLEARE

[https://www.youtube.com/watch?v=7WhRJV\\_bAiE](https://www.youtube.com/watch?v=7WhRJV_bAiE)

Il nucleo è l'insieme di protoni e neutroni (nucleoni).

**Z numero atomico** : numero di protoni nel nucleo → carica  $+Ze$

**Isotopi**: hanno stesso numero di protoni ma diverso numero di neutroni → hanno masse diverse



**Numero di nucleoni**  $A = Z + N$

Il nucleo di un determinato elemento è chiamato **nuclide** e ha precisi valori di A e Z. A numero di nucleoni è chiamato **numero di massa**



# STRUTTURA NUCLEARE

Massa e volume del nucleo producono effetti trascurabili sulla configurazione elettronica e sulle proprietà chimiche degli atomi.

Il numero di neutroni presenti influisce su quanto saldamente i nucleoni sono legati –dividendo atomi stabili da quelli instabili.

I livelli energetici nucleari, le vite medie e decadimento radioattivo caratterizzano nuclidi

$$m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} // 9,3828 \times 10^2 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg} // 0,511 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_n = 1,68 \times 10^{-27} \text{ kg} // 9,3957 \times 10^2 \text{ MeV}/c^2$$

L'unità di misura dell'energia è elettronvolt : energia acquistata da un elettrone libero quando passa attraverso una differenza di potenziale di 1 Volt nel vuoto pari a  $1\text{eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

## DIMENSIONI NUCLEI

Rutherford stimò le dimensioni dell'atomo di oro dal numero di particelle alfa deviate ai vari angoli. Diversi esperimenti hanno dimostrato che volume di un nucleo è proporzionale alla sua massa

# STRUTTURA NUCLEARE

Sia  $m$  massa del nucleo e  $V$  volume del nucleo sono proporzionali al numero di nucleoni

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{non dipende da } A$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \propto A. \quad \rightarrow r \propto A^{1/3}.$$

Il raggio di un nucleo è  $r=r_0 A^{1/3}$ . con  $r_0=1.2$  fm

# STRUTTURA NUCLEARE

## ENERGIA DI LEGAME

Massa di una particella è misura della sua energia a riposo  $E=mc^2$

L'energia di legame di un nucleo è l'energia che deve fornita per separare un nucleo nei suoi costituenti.

$$E_b = E_{\text{tot}}(\text{protoni e neutroni}) - E_{\text{tot}}(\text{nucleo})$$

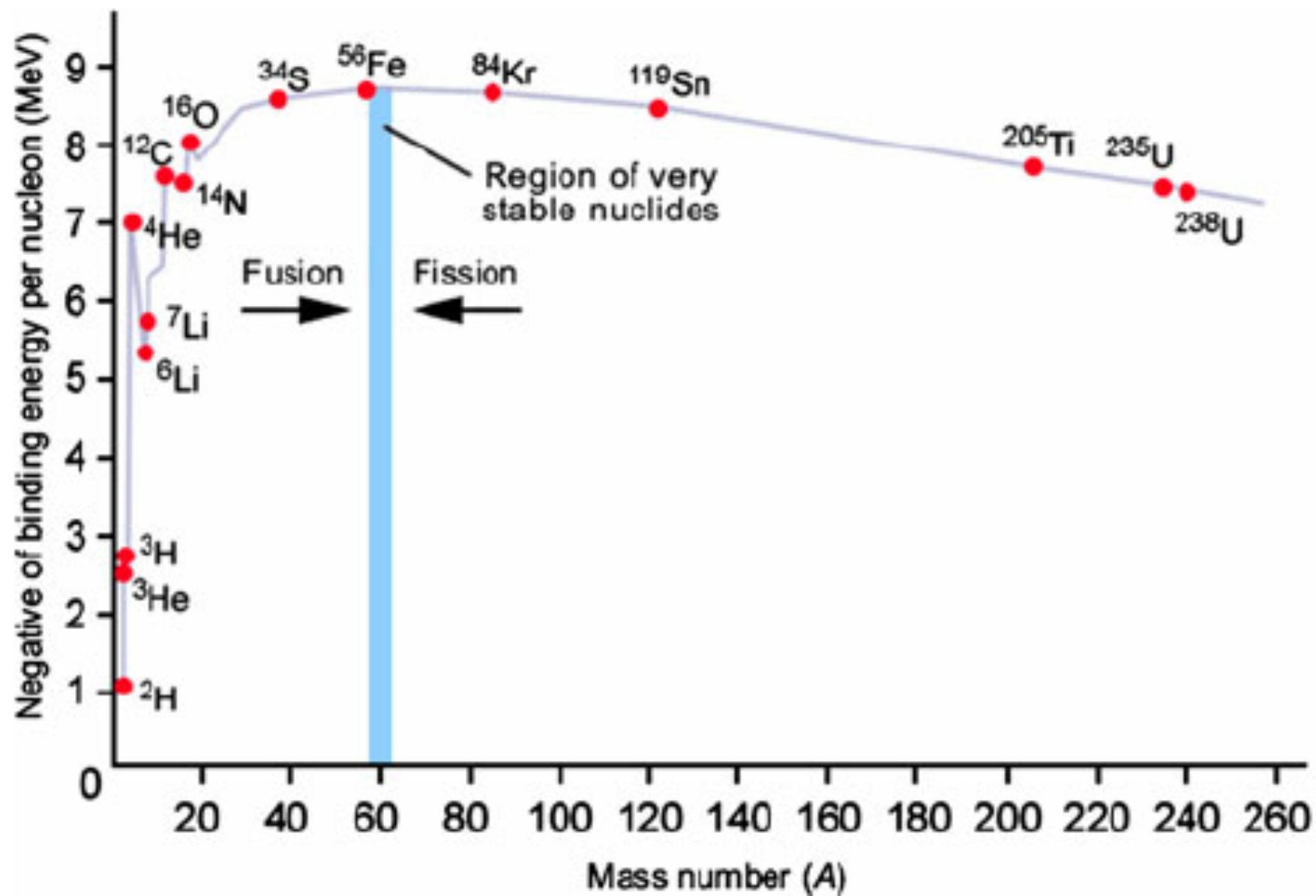
La massa del nucleo è minore della somma delle masse dei protoni e neutroni che lo costituiscono, la differenza si chiama difetto di massa  $\Delta m$

Energia a riposo di un nucleo è minore dell'energia a riposo di protoni e neutroni in esso contenuti. La differenza in energia è l'energia di legame del nucleo → energia necessaria per frantumare un nucleo nei suoi costituenti.

## DIFETTO DI MASSA E ENERGIA DI LEGAME

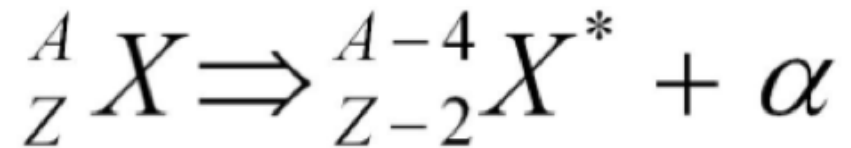
$\Delta m =$  massa di Z protoni e N neutroni – massa del nucleo

$$E_b = \Delta m c^2$$



# DECADIMENTO ALFA

Nel decadimento alfa il nuclide originario (padre) si trasforma in un altro nuclide (figlio) con emissione di un alfa



Numero atomico diminuisce di 2  
Numero di massa diminuisce di 4

Numero totale di protoni e neutroni prima e dopo la reazione è lo stesso

# DECADIMENTO ALFA

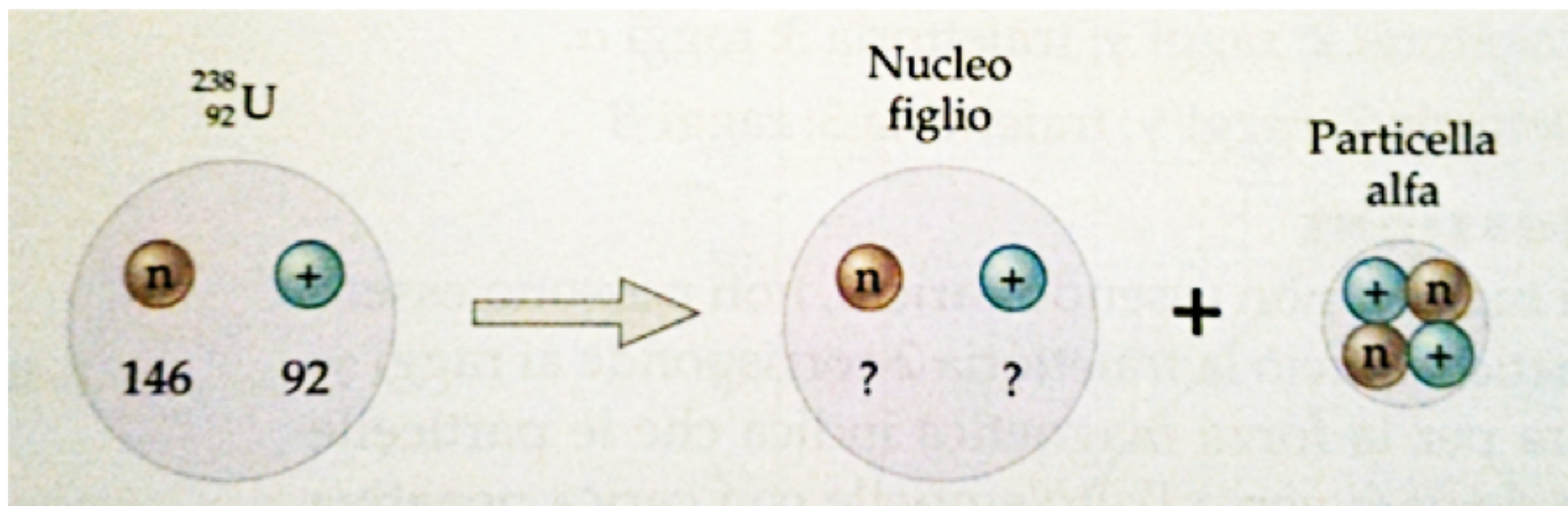
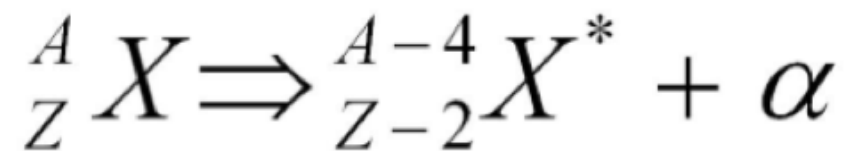


Immagine tratta da Walker

# DECADIMENTO ALFA

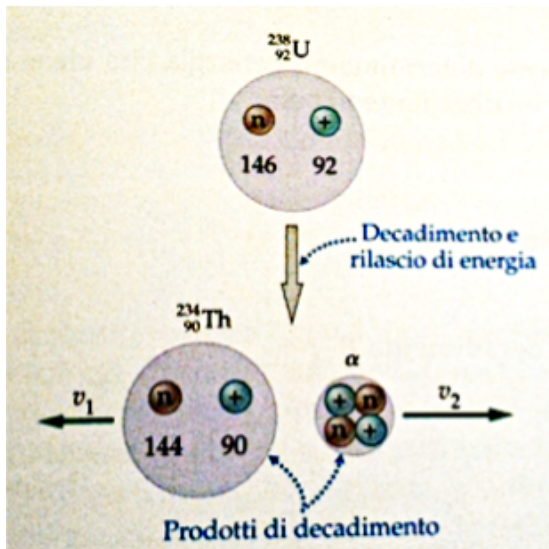


Immagine tratta da Walker

Calcolo l'energia liberata =  $|\Delta m| c^2$

$$E = 4,27 \text{ MeV}$$

# DECADIMENTO BETA

Le particelle beta sono elettroni o positroni.

Nel decadimento **beta-** un elettrone viene emesso e un neutrone si trasforma in protone.





# DECADIMENTO BETA

Le particelle beta sono elettroni o positroni.

Nel decadimento **beta-** un elettrone viene emesso e un neutrone si trasforma in protone.



# DECADIMENTO BETA

Le particelle beta sono elettroni o positroni.

Nel decadimento **beta-** un elettrone viene emesso e un neutrone si trasforma in protone.



Nel decadimento **beta+** un positrone viene emesso e un protone del nucleo si trasforma in neutrone.



# DECADIMENTO GAMMA

Un atomo in uno stato eccitato può emettere un fotone quando uno dei suoi elettroni scende a un livello di energia minore. Anche il nucleo è caratterizzato da livelli energetici discreti.

Le transizioni tra questi livelli possono avvenire tramite emissione o assorbimento di radiazione elettromagnetica di data energia i.e. energia uguale alla differenza energetica dei livelli coinvolti nella transizione. Le energie dei fotoni vanno da qualche centinaia di keV all'ordine del MeV e questi fotoni sono chiamati raggi  $\gamma$

Esempio di produzione raggi gamma



# RADIOATTIVITA' NATURALE

La maggior parte degli elementi presenti in natura è stabile ma esistono degli isotopi che hanno un surplus di energia che li rende instabili. Questi isotopi tendono a disintegrarsi per raggiungere uno stato di maggiore stabilità. I nuclidi con queste caratteristiche sono chiamati radionuclidi. Il decadimento radioattivo è un processo esoenergetico con energia liberata:

- con emissione di particelle
- con radiazione elettromagnetica

# RADIOATTIVITA' NATURALE

La maggior parte degli elementi presenti in natura è stabile ma esistono degli isotopi che hanno un surplus di energia che li rende instabili. Questi isotopi tendono a disintegrarsi per raggiungere uno stato di maggiore stabilità. I nuclidi con queste caratteristiche sono chiamati radionuclidi. Il decadimento radioattivo è un processo esoenergetico con energia liberata:

- con emissione di particelle
- con radiazione elettromagnetica

Il decadimento radioattivo spesso si verifica in una serie o catena di decadimento in cui vengono prodotti isotopi radioattivi, la catena si conclude quando viene raggiunto un isotopo stabile.

# RADIOATTIVITA' NATURALE

La maggior parte degli elementi presenti in natura è stabile ma esistono degli isotopi che hanno un surplus di energia che li rende instabili. Questi isotopi tendono a disintegrarsi per raggiungere uno stato di maggiore stabilità. I nuclidi con queste caratteristiche sono chiamati radionuclidi. Il decadimento radioattivo è un processo esoenergetico con energia liberata:

- con emissione di particelle
- con radiazione elettromagnetica

Il decadimento radioattivo spesso si verifica in una serie o catena di decadimento in cui vengono prodotti isotopi radioattivi, la catena si conclude quando viene raggiunto un isotopo stabile.

Il decadimento radioattivo è un processo statistico: è impossibile prevedere in quale istante un certo nucleo si trasformerà ma si può prevedere quanti nuclei saranno decaduti in media dopo un certo intervallo di tempo  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ .

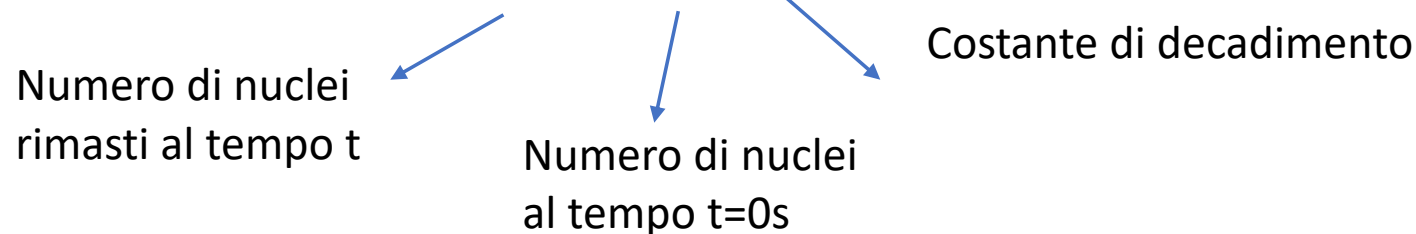
# RADIOATTIVITA' NATURALE

La maggior parte degli elementi presenti in natura è stabile ma esistono degli isotopi che hanno un surplus di energia che li rende instabili. Questi isotopi tendono a disintegrarsi per raggiungere uno stato di maggiore stabilità. I nuclidi con queste caratteristiche sono chiamati radionuclidi. Il decadimento radioattivo è un processo esoenergetico con energia liberata:

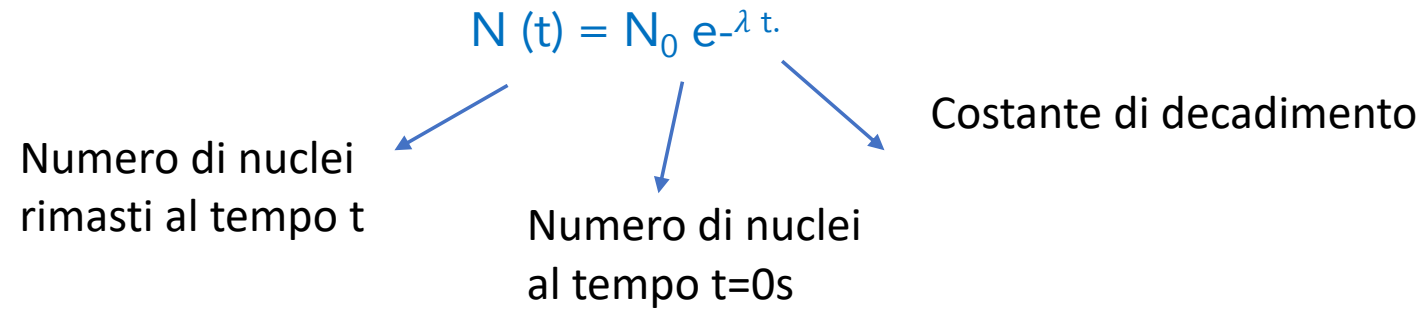
- con emissione di particelle
- con radiazione elettromagnetica

Il decadimento radioattivo spesso si verifica in una serie o catena di decadimento in cui vengono prodotti isotopi radioattivi, la catena si conclude quando viene raggiunto un isotopo stabile.

Il decadimento radioattivo è un processo statistico: è impossibile prevedere in quale istante un certo nucleo si trasformerà ma si può prevedere quanti nuclei saranno decaduti in media dopo un certo intervallo di tempo  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ .



# RADIOATTIVITA' NATURALE



$\tau = 1/\lambda$  vita media del nucleo       $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$

Posto  $t = \tau$  si ottiene che la vita media è l'intervallo di tempo dopo il quale il numero di nuclei instabili decresce di un fattore 2.718.

Tempo di dimezzamento  $t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$



# RADIOATTIVITA' NATURALE

Attività : numero di decadimenti al secondo SI bequerel (Bq)

1 Bq= 1 decadimento / s

# RADIOATTIVITA' NATURALE

Attività : numero di decadimenti al secondo SI bequerel (Bq)

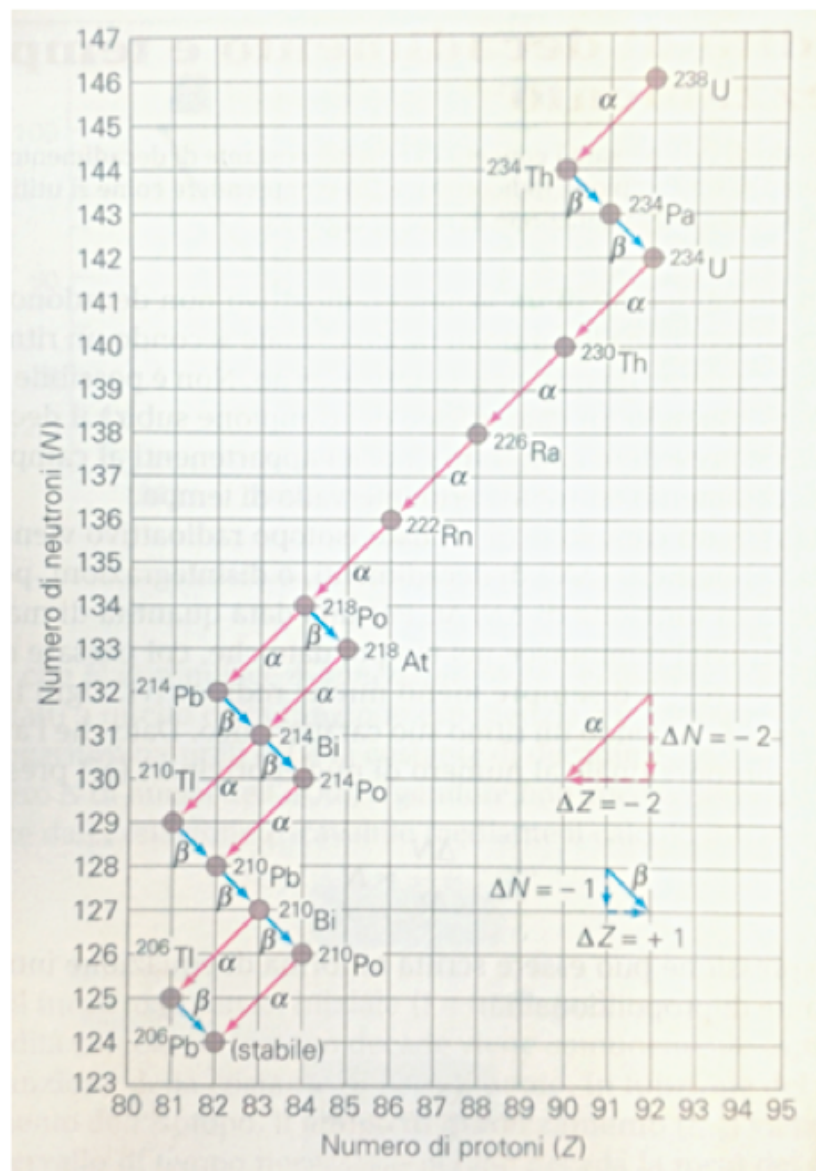
1 Bq= 1 decadimento / s

La radiazione terrestre deriva da quegli elementi radioattivi che sono stati sintetizzati durante la formazione del Sistema Solare tra cui  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$

$^{238}\text{U}$  origina una serie di decadimenti attraverso raggiunge l'isotopo stabile  $^{206}\text{Pb}$

Il tempo di dimezzamento dell'  $^{238}\text{U}$  è  $4.47 \cdot 10^9$  anni

# RADIOATTIVITA' NATURALE



# EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

Radiazioni ionizzanti: radiazione con energia sufficiente per estrarre uno o più elettroni da un atomo o molecola. Ogni giorno siamo esposti alle radiazioni ionizzanti (radioattività naturale, cosmica e artificiale).

Gli effetti delle radiazioni sugli esseri viventi dipendono da:  
Tipo di radiazione, dose assorbita e tempo di esposizione

Gli effetti biologici sono causati dalle ionizzazioni delle molecole all'interno delle cellule

Dose assorbita: quantità di energia depositata dalle radiazioni ionizzanti nell'unità di massa di tessuto  $1 \text{ Gy (gray)} = 1 \text{ J} / 1 \text{ kg}$

Ma a parità di dose le radiazioni alfa sono più dannose delle gamma.  
Alfa creano densi sciame di ionizzazione.

Si introduce RBE (Efficacia Biologica Relativa)

# EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

Si introduce RBE (Efficacia Biologica Relativa) rapporto tra una dose di riferimento  $D_r$  e la dose di radiazione in esame  $D$  necessaria a produrre lo stesso effetto biologico (es morte cellulare)

$$RBE = D_r/D$$

Nota l'efficacia biologica relativa dei vari tipi di radiazione è possibile introdurre il fattore di qualità che quantifica il livello di pericolosità della radiazione.

Moltiplicando dose assorbita per fattore di qualità si ottiene stima del danno causato dall'esposizione della radiazione: dose equivalente (sievert) 1 Sv

# EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

Si introduce RBE (Efficacia Biologica Relativa) rapporto tra una dose di riferimento  $D_r$  e la dose di radiazione in esame  $D$  necessaria a produrre lo stesso effetto biologico (es morte cellulare)

$$RBE = D_r/D$$

Nota l'efficacia biologica relativa dei vari tipi di radiazione è possibile introdurre il fattore di qualità che quantifica il livello di pericolosità della radiazione.

Moltiplicando dose assorbita per fattore di qualità si ottiene stima del danno causato dall'esposizione della radiazione: dose equivalente (sievert) 1 Sv

Dose equivalente media in un anno 3 mSv di cui:

2mSv per inalazione radon-222

0.7 mSv cibo e acqua  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$

0.3 mSv raggi cosmici

# RADIOATTIVITA' NATURALE

APPROFONDIMENTO:

<https://www.scientificast.it/2013/11/19/radioattivo-una-banana/>

Wilson Buffa *Fisica volume 2*

Walker *Dalla meccanica alla fisica moderna, volume 3*

Giambattista Richardson Richardson *Fisica generale*