

# Unità didattica 10

•Radioattività.....	2
•L'atomo.....	3
•Emissione di raggi x.....	4
•Decadimenti nucleari.....	6
•Il decadimento alfa.....	7
•Il decadimento beta.....	8
•Il decadimento gamma.....	9
•Interazione dei fotoni con la materia .....	10
•La legge di attenuazione esponenziale.....	12
•Interazione delle particelle con la materia.....	13

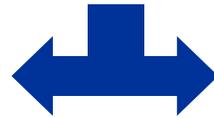
# Radioattività

*Si è in presenza di radiazione tutte le volte che si ha propagazione di energia, da un punto all'altro dello spazio, senza che vi sia né trasporto di quantità macroscopiche di materia né necessità della presenza di un substrato materiale per la propagazione*

Esistono due tipi fondamentali di radiazione

## ELETTROMAGNETICA

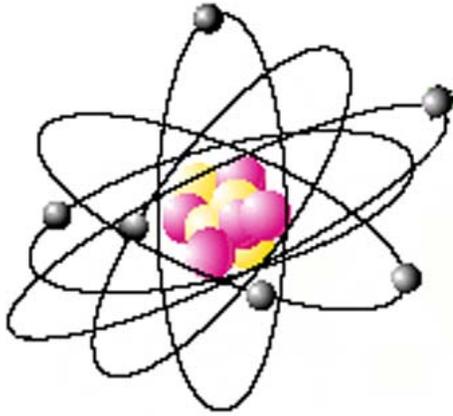
- raggi x
- raggi  $\gamma$



## CORPUSCOLARE

- elettroni
- protoni
- neutroni
- particelle pesanti

Poiché l'emissione di radiazione avviene negli atomi della materia, è necessario conoscere la struttura atomica.



# L'atomo

Ogni atomo è costituito da elettroni, protoni e neutroni.

Protoni e neutroni costituiscono il nucleo (di dimensioni dell'ordine di  $10^{-13}$  cm), mentre gli elettroni si muovono attorno al nucleo seguendo orbite prefissate.

Le dimensioni di un atomo sono dell'ordine di  $10^{-8}$  cm.

Ogni atomo si indica con la notazione



**Z** = numero atomico (numero di protoni)

**A** = numero di massa (numero di protoni + neutroni)

Normalmente l'atomo è elettricamente neutro, quindi **Z** indica anche il numero di elettroni.

	carica elettrica (e)	massa a riposo (kg)	energia a riposo (MeV)
elettroni	-1	$9.11 \times 10^{-31}$	0.511
protoni	+1	$1.67 \times 10^{-27}$	938.2
neutroni	0	$1.68 \times 10^{-27}$	939.5

*Si dice elettronvolt (eV) l'energia acquistata da un elettrone che si sposta tra due punti tra i quali c'è una differenza di potenziale di 1 volt. L'elettronvolt viene usato in fisica atomica e nucleare, in quanto è indicato per misurare valori molto piccoli di energia*

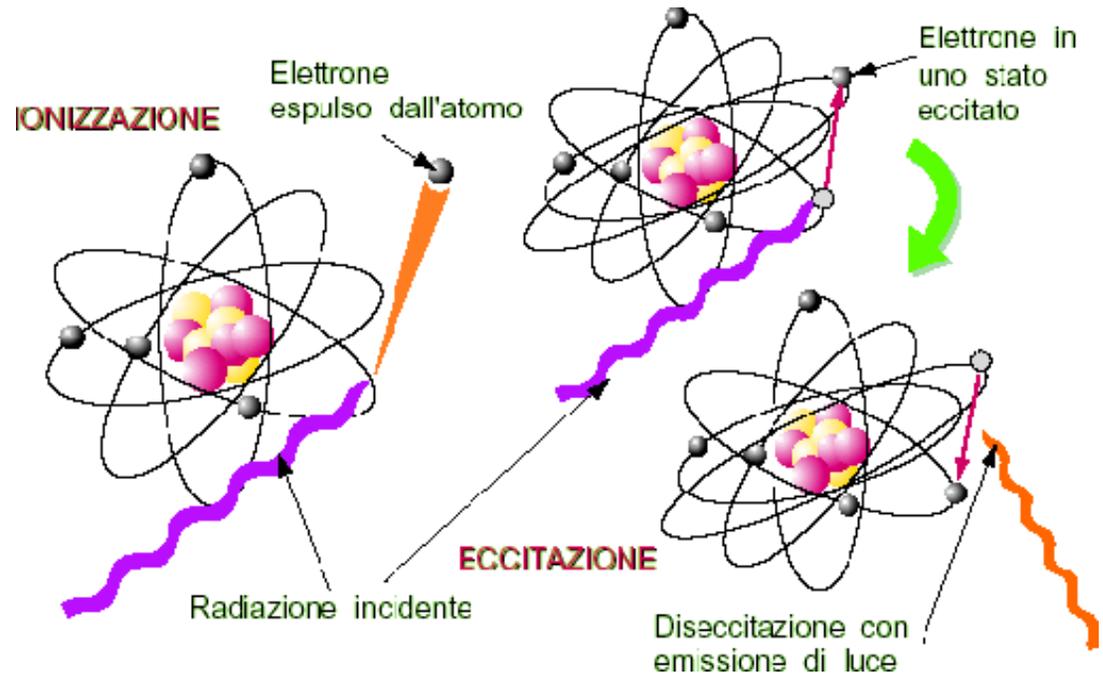
$$1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

# Emissione di raggi x (1)

Quando una radiazione incide su di un atomo può avvenire l'espulsione di un elettrone da un orbitale. Questo fenomeno però è piuttosto raro. Nel 90% dei casi l'elettrone interessato assorbirà l'energia della radiazione e passerà ad un diverso orbitale restando in uno stato eccitato. Successivamente l'elettrone si disecciterà ritornando ad occupare un orbita più interna e rilascerà l'energia in eccesso sotto forma di fotone.

Questo è uno dei due meccanismi di produzione di raggi x, e cioè di fotoni aventi energia dell'ordine di alcune decine di keV.

Questo processo non coinvolge il nucleo atomico ma solo gli elettroni orbitali.



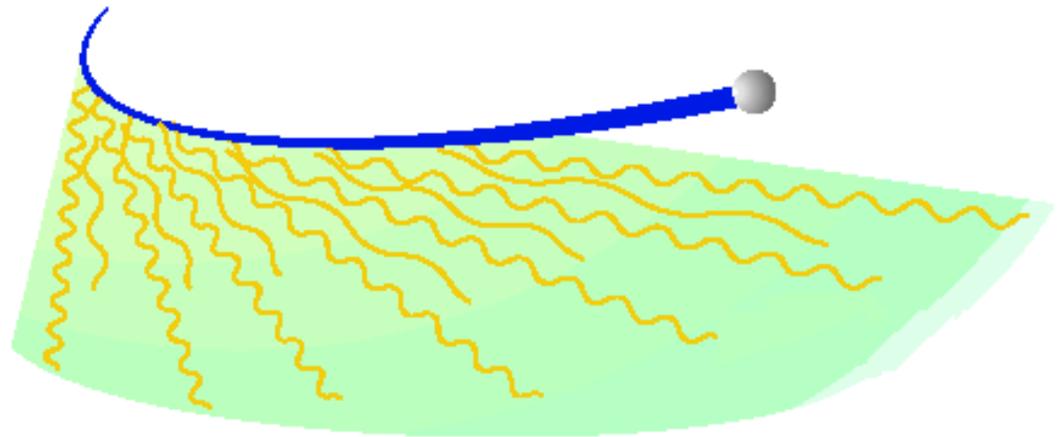
## Emissione di raggi x (2)

Un'altra modalità di emissione di raggi x è la *bremsstrahlung* o radiazione di frenamento. Quando un fascio di elettroni che si propaga a velocità relativistiche (prossime a quelle della luce) viene accelerato o decelerato, emette energia sotto forma di fotoni x.

Ciò accade ad esempio quando un fascio di elettroni incide su uno strato di materiale. Gli elettroni vengono frenati subendo numerose collisioni con gli elettroni del materiale e nel corso del loro moto si ha la produzione di raggi x. Questo fenomeno fisico viene utilizzato dai tubi a raggi x.

Un'altro esempio di emissione di raggi x tramite *bremsstrahlung* si ha negli acceleratori di particelle. Qui le particelle vengono mantenute ad alta velocità su traiettorie circolari utilizzando magneti curvanti molto potenti. Nel cambiare la

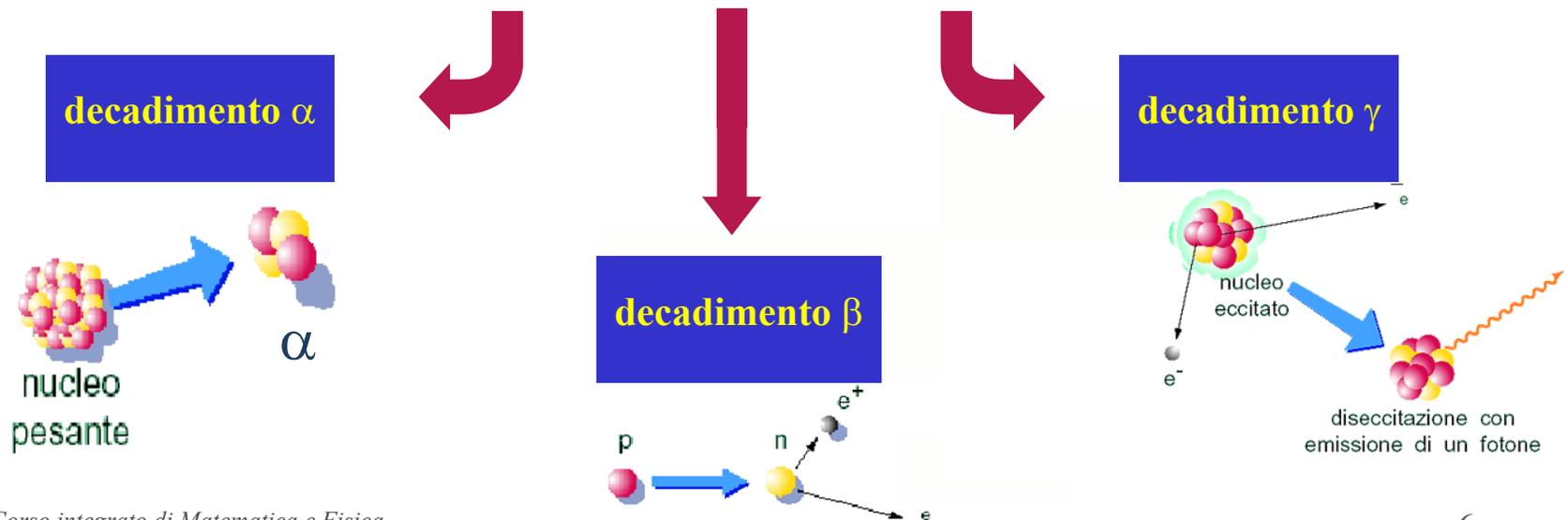
loro traiettoria le particelle subiscono forti accelerazioni, che causano l'emissione di fotoni x.



# Decadimenti nucleari

In natura esistono, o possono essere prodotti artificialmente, nuclei instabili, il cui numero di neutroni e protoni non rimane costante nel tempo. Tali nuclei emettono radiazione e si trasformano in nuclei, più leggeri, di un altro elemento chimico.

Le radiazioni emesse dai nuclei sono dette prodotti del decadimento e sono di vari tipi



# Il decadimento alfa

Nel decadimento  $\alpha$  un nucleo padre emette un nucleo di elio ( $2p + 2n$ ) trasformandosi in un nucleo figlio che, contenendo due protoni e due neutroni di meno ha un numero atomico inferiore di due unità rispetto al nucleo padre e un numero di massa ridotto di 4 unità.

La disintegrazione alfa di un generico nucleo si scrive nella forma



Il simbolo chimico dell'elemento cambia perché il numero atomico diminuisce di due unità.

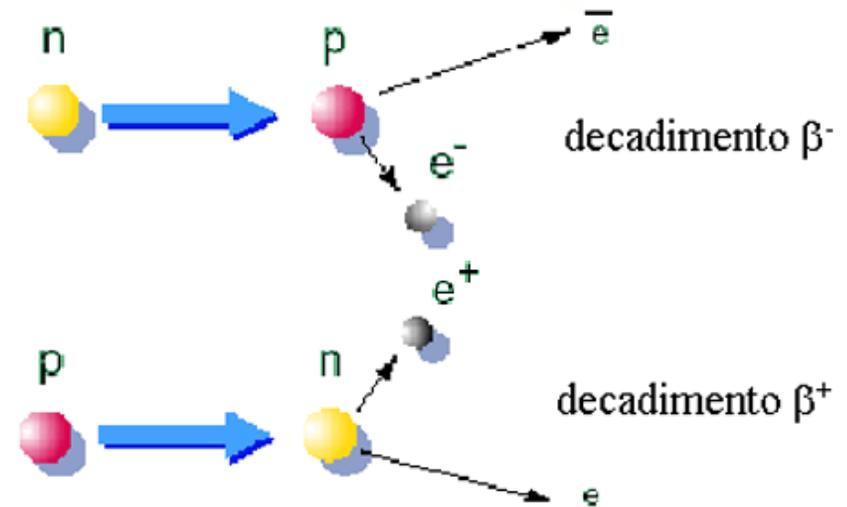
Perché tale reazione possa avvenire è necessario che la massa del nucleo padre sia maggiore della somma delle masse dei due nuclei figli. Per la conservazione dell'energia la differenza tra la massa del nucleo padre e la somma delle masse dei due nuclei figli si libera nella reazione sotto forma di energia cinetica, necessaria affinché i due nuclei figli si allontanino tra di loro.



# Il decadimento beta

Il più semplice decadimento beta è quello di un neutrone che si trasforma in un protone emettendo un elettrone ed un neutrino (particella a massa nulla che si muove alla velocità della luce).

Il decadimento  $\beta^-$  di un nucleo si scrive nella forma



Analogamente, nel decadimento  $\beta^+$  un protone decade in un neutrone emettendo un positrone (particella avente la stessa massa dell'elettrone e carica positiva) ed un neutrino.



# Il decadimento gamma

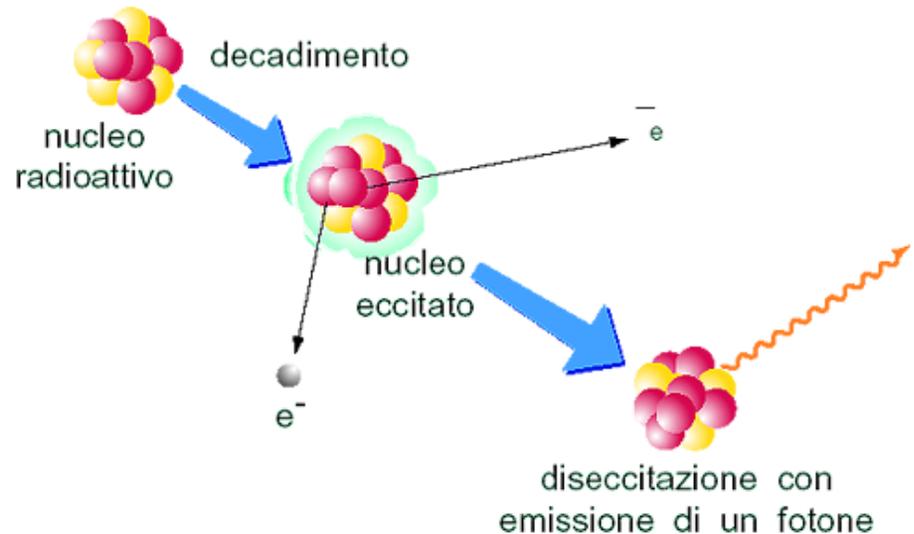
Quando ha luogo un decadimento alfa o beta, o comunque una disintegrazione del nucleo, viene prodotto un nucleo figlio che si trova in uno stato eccitato (cioè possiede un eccesso di energia).

Diseccitandosi egli emette l'energia in eccesso sotto forma di fotone. La radioattività gamma non è quindi altro che un riassetto dei nuclei dopo l'emissione di particelle.

L'emissione gamma si indica con la notazione



dove l'asterisco posto sul nucleo padre indica lo stato eccitato.



# Interazione dei fotoni con la materia (1)

Quando un fotone ( $x$  o  $\gamma$ ) incide su un materiale esso può interagire con uno degli atomi o proseguire il suo cammino. In caso di interazione tutta l'energia del fotone viene assorbita dall'atomo.

L'interazione della radiazione con la materia può avvenire con tre diverse modalità:

## 1. Effetto Fotoelettrico.

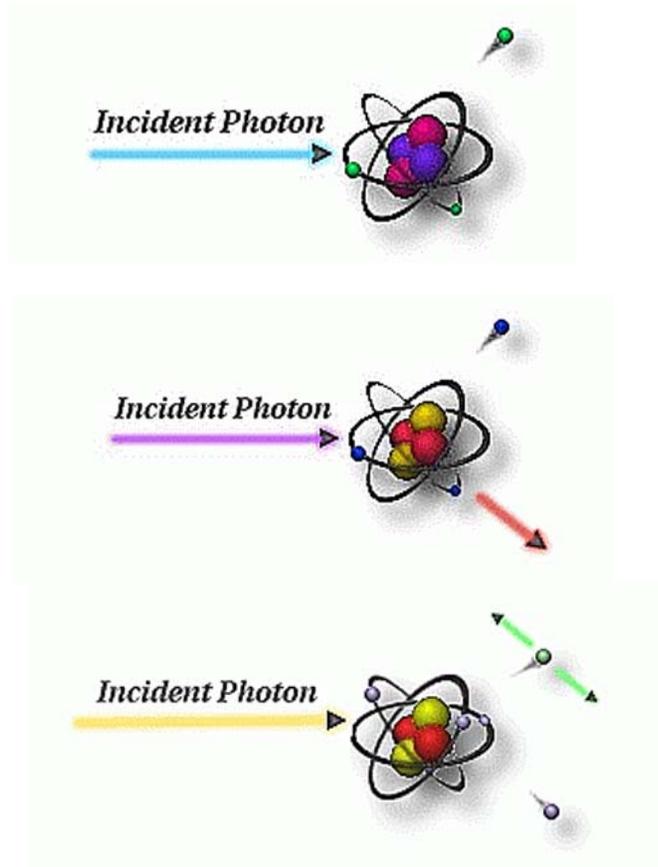
Il fotone viene assorbito dall'atomo che espelle un elettrone da uno dei propri orbitali.

## 2. Scattering Compton.

Il fotone interagisce con un elettrone, che viene espulso dal proprio orbitale. L'energia in eccesso del fotone incidente viene rilasciata sotto forma di fotone diffuso.

## 3. Produzione di coppie.

Il fotone (di energia superiore a 1.022 MeV) interagendo con il campo dell'atomo (o con quello del nucleo) si annichila e si crea una coppia elettrone-positrone.



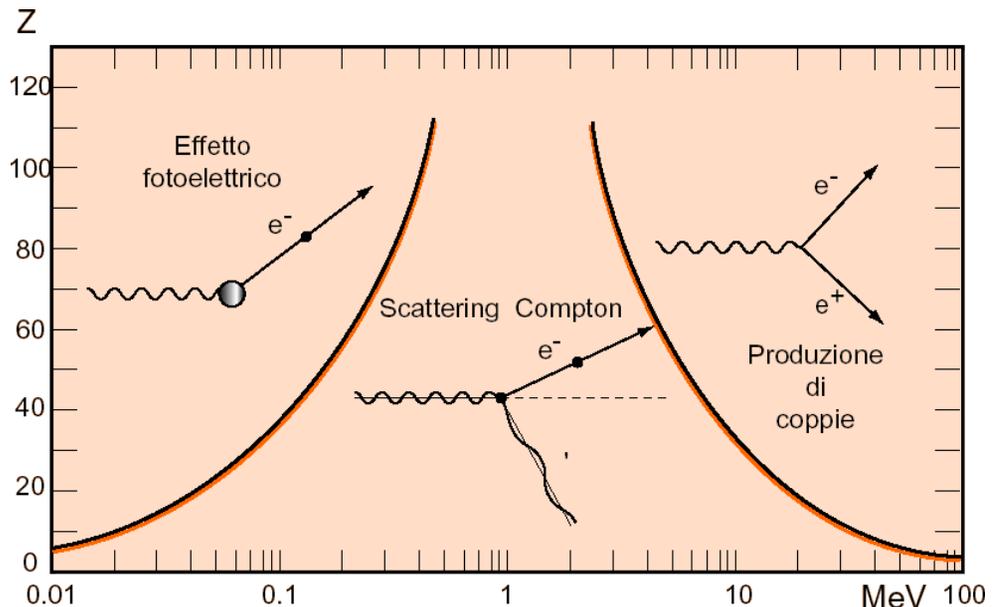
## Interazione dei fotoni con la materia (2)

Quando un fotone interagisce con la materia la probabilità che avvenga un tipo di effetto piuttosto che uno degli altri due dipende dal numero atomico del materiale e dall'energia del fotone.

Come si può notare dal grafico l'effetto fotoelettrico è, dei tre, il più probabile per fotoni a bassa energia (raggi x di pochi keV).

Nel caso in cui l'interazione coinvolga fotoni gamma molto energetici la produzione di coppie è il meccanismo più frequente.

Quando invece i fotoni hanno energie intermedie si verifica con maggiore probabilità lo scattering Compton.



# La legge di attenuazione esponenziale

Quando un fascio di fotoni monoenergetici incide su un materiale una parte di esso viene assorbita (mediante i tre meccanismi fondamentali visti in precedenza), mentre i fotoni che non subiscono un'interazione con gli atomi del mezzo proseguono il loro cammino indisturbati.

Quindi nell'interazione con la materia un fascio  $x$  (o gamma) non viene ridotto in energia, ma solo in intensità, poiché il numero di fotoni che restano nel fascio è minore di quello iniziale.

Si dice quindi che il fascio di fotoni viene attenuato nel passaggio attraverso un mezzo. In particolare vale la *legge di attenuazione esponenziale*

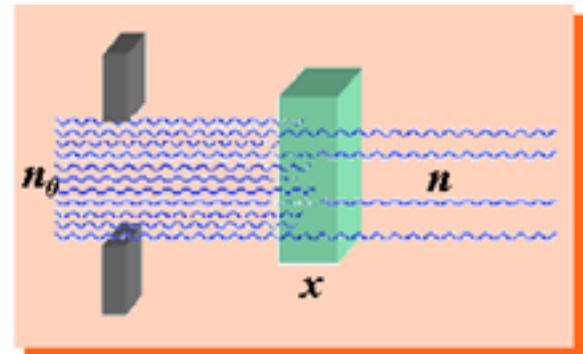
$$n = n_0 e^{-\mu x}$$

$n_0$  = numero di fotoni incidenti

$n$  = numero di fotoni trasmessi

$x$  = spessore del materiale

$\mu$  = coefficiente di attenuazione lineare (è una proprietà del materiale che dipende dall'energia)



# Interazione delle particelle con la materia

A differenza dei fotoni, che o interagiscono con gli atomi del materiale venendo completamente assorbiti o non interagiscono affatto, le particelle che penetrano in un materiale possono subire numerose collisioni con gli elementi del mezzo prima di perdere completamente la propria energia ed arrestarsi. Il modo in cui ogni particella interagisce con quelle del mezzo dipende, oltre che dalla sua energia, anche dalla carica elettrica e dalla massa.

I neutroni non trasportano carica elettrica, quindi penetrano molto nel mezzo prima di interagire. Quando però l'interazione avviene, essa libera e mette in movimento alcune particelle cariche del mezzo che interagiscono a loro volta con quelle vicine, dando luogo ad una lunga serie di ionizzazioni.

Anche le particelle cariche pesanti ionizzano il materiale ma, essendo cariche, sono immediatamente soggette ai campi elettrici degli atomi che le circondano. Quindi il loro cammino è breve e rilasciano tutta la loro energia in un piccolo intorno.

Gli elettroni essendo molto leggeri compiono cammini più lunghi delle alte particelle cariche. Durante questo cammino hanno un elevato numero di interazioni con gli elettroni del mezzo, a cui rilasciano man mano la loro energia, fino a fermarsi. Ad ogni collisione cambiano direzione del moto, quindi le loro traiettorie sono molto lunghe e complesse.

