

Particles of the Standard Model

# **La Teoria del... quasi Tutto!**

Un viaggio nel  
Modello Standard

# Introduzione alla fisica delle particelle elementari

- *Un po' di storia*
- *Le particelle elementari*
- *Le forze*
- *Il Modello Standard*
- *Bosone di Higgs, LHC ed oltre ...*

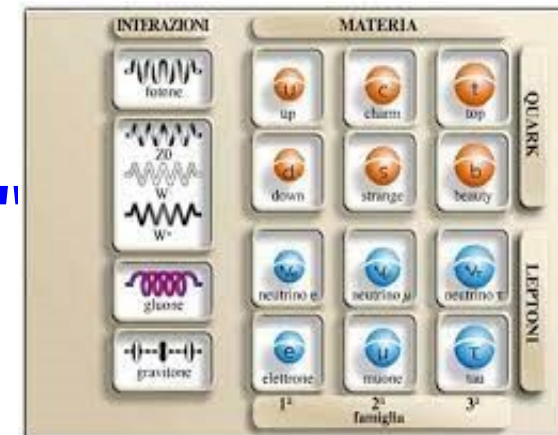
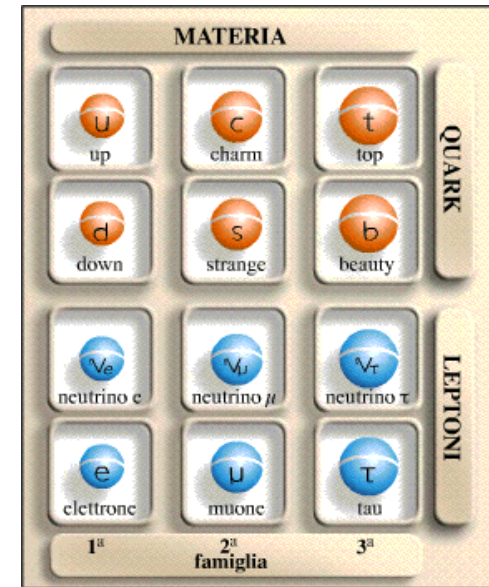


# Il modello Standard (1964)

Idea chiave:

Ci sono due generi di particelle:

- **particelle che sono materia**  
**(i quark ed i leptoni)**
- **particelle che mediano le forze**  
**(ogni tipo di interazione  
fondamentale agisce "mediante"  
una particella mediatrice  
di forza)**



In seguito la gravita` viene inclusa nella discussione anche se in realta' non appartiene al modello standard.

## Particelle mediatrici nel modello standard

Riassumendo, dunque, esistono tre famiglie di particelle elementari: **i mediatori, gli adroni, i leptoni**

Secondo la teoria fisica Modello Standard, le quattro interazioni fondamentali della fisica

- nucleare forte,
- nucleare debole
- Elettromagnetica
- gravitazionale

sono realizzate tramite lo scambio di alcune **particelle dedicate o portatrici.**

Queste **particelle mediatrici** sono molto più piccole rispetto agli adroni e ai leptoni.

La categoria dei mediatori comprende tutte le particelle che sono considerate mediatrici con le forze di interazione. Sono anche dette particelle portatrici o vettori di forza.

# Le forze ed i messaggeri

E' importante sottolineare che nel Modello Standard le forze agiscono perche' sono trasmesse da una particella.

Non esistono forze "a distanza" ma affinche' una forza agisca il suo messaggero deve andare da una particella ad un'altra.



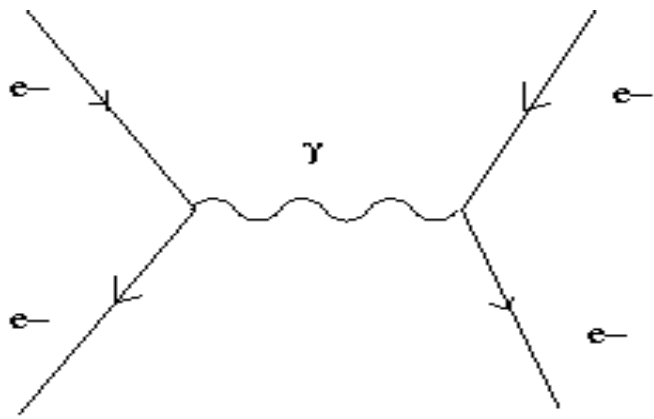
L'americano **Richard P. Feynman** (1918-1988) aveva proposto già nel 1958 la sua teoria secondo cui le quattro forze della natura (gravitazionale, elettromagnetica, nucleare forte e nucleare debole) agiscono A DISTANZA, cioè senza contatto tra gli oggetti, tramite lo scambio di particelle dette vettori di campo.

Quando due giocatori di basket si passano una palla, con essa si scambiano energia e quantità di moto.

Così fanno due elettroni che si scambiano un vettore di campo. In seguito allo scambio, entrambi mutano di direzione, come mostrano questi **Diagramma di Feynman...**







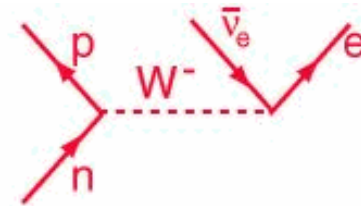
Come si vede, il mutamento di direzione dovuto allo scambio del vettore di campo  $\gamma$  viene da noi percepito come la repulsione elettrostatica tra due particelle entrambe negative! Il vettore di campo della forza elettromagnetica è

un FOTONE (la stessa particella di cui è composta la luce), qui indicata con  $\gamma$ , di massa nulla.

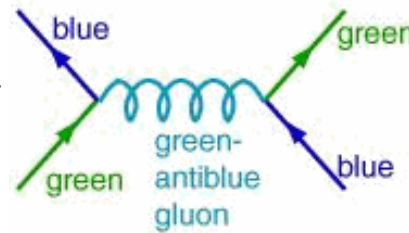
Invece le particelle vettori della forza nucleare forte sono dette **GLUONI** (dall'inglese glue = colla), quelle della forza nucleare debole sono i **BOSONI W** scoperti dall'italiano **Carlo Rubbia** (1934-vivente), mentre la forza gravitazionale dovrebbe essere portata da particelle chiamate **GRAVITONI**, che non sono state ancora rivelate.



Interazione Elettromagnetica

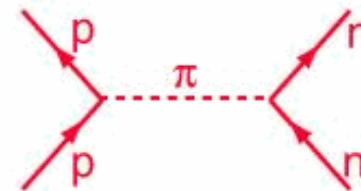


Interazione Debole



tra quark

Interazione Forte



tra nucleoni



# PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Property \ Interaction	Gravitational	Weak		Electromagnetic	Strong	
		(Electroweak)			Fundamental	Residual
Acts on:	Mass – Energy	Flavor		Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons		Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	$W^+$	$W^-$ $Z^0$	$\gamma$	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:	$10^{-41}$	0.8	1	1	25	Not applicable to quarks
for two protons in nucleus	$10^{-41}$ $10^{-36}$	$10^{-4}$ $10^{-7}$	1	1	60 Not applicable to hadrons	20

- classicamente, le forze sono dovute a campi
- quantisticamente, le forze agiscono per mezzo di “**mediatori**”, ogni forza ha il proprio (o i propri) mediatori

## BOSONS

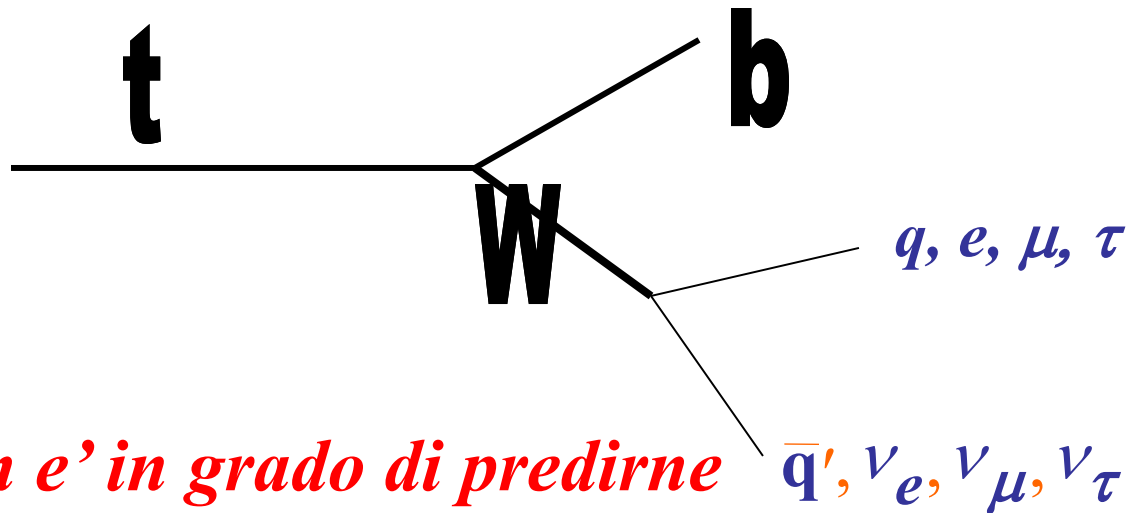
force carriers  
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge	Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\gamma$ photon	0	0	<b>g</b> gluon	0	0
$W^-$	80.4	-1			
$W^+$	80.4	+1			
$Z^0$	91.187	0			

protoni e neutroni si “parlano” tramite i mesoni, composti di 2 quark; questi ultimi a loro volta si parlano coi gluoni .  
I mediatori della forza forte sono i gluoni.

# alla ricerca del quark Top

- Dopo la scoperta del quark bottom (Fermilab 1977) il Modello Standard prevedeva un ultimo quark ,il **top** per completare la coppia della terza generazione
- Il Modello Standard inoltre era in grado di predire esattamente il decadimento del quark top:

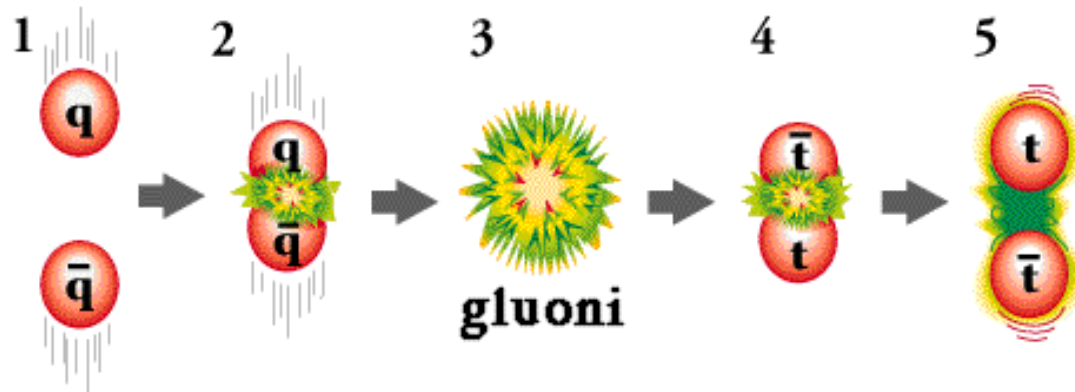


*Ma non e' in grado di predirne la massa....*

# La produzione di quark top protone + antiprotone --> top + anti-top



Un quark (di un protone) e un antiquark (di un antiprotone) collidendo ad alta energia possono annichilarsi e produrre un quark top e un anti-top, che poi decadono in altre particelle.



- 1: Un quark di un protone e un antiquark di un antiprotone corrono uno contro l'altro.
- 2: I quark collidono e si annichilano....
- 3: ...producendo gluoni virtuali.
- 4: Un quark top e un anti-top emergono dalla nube di gluoni.
- 5: Questi quark iniziano ad allontanarsi, allungando il campo di forza di colore (campo di gluoni) che li lega



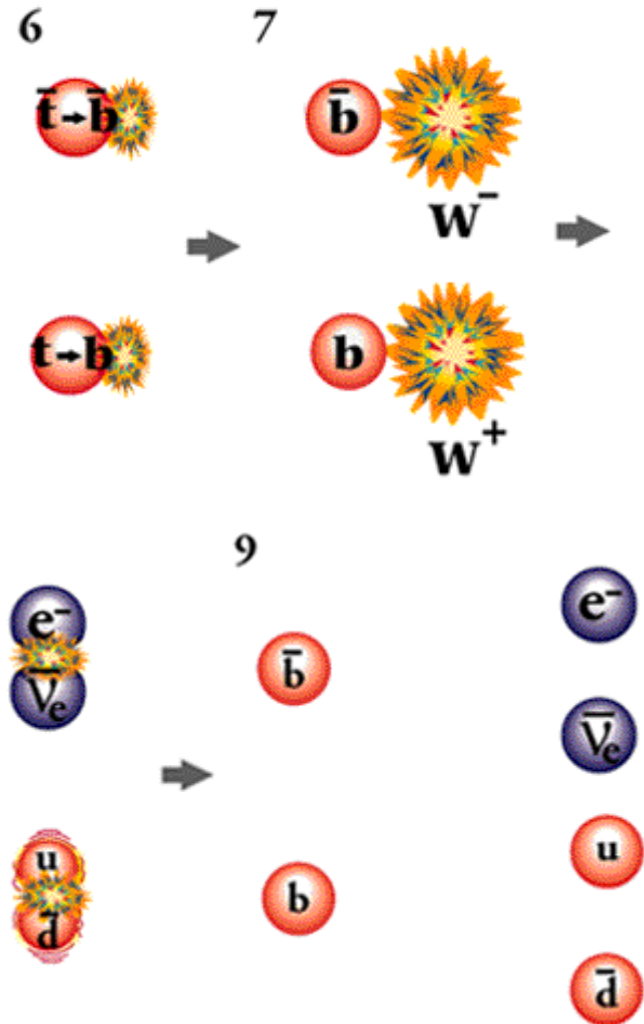
# La produzione di quark top protone + antiprotone --> top + anti-top

6: Senza andare molto lontano, il quark top e l'anti-top decadono rispettivamente in un bottom e un anti-bottom, emettendo particelle W, mediatori di forza.

7: I nuovi quark bottom e anti-bottom rimbalzano via dalle W

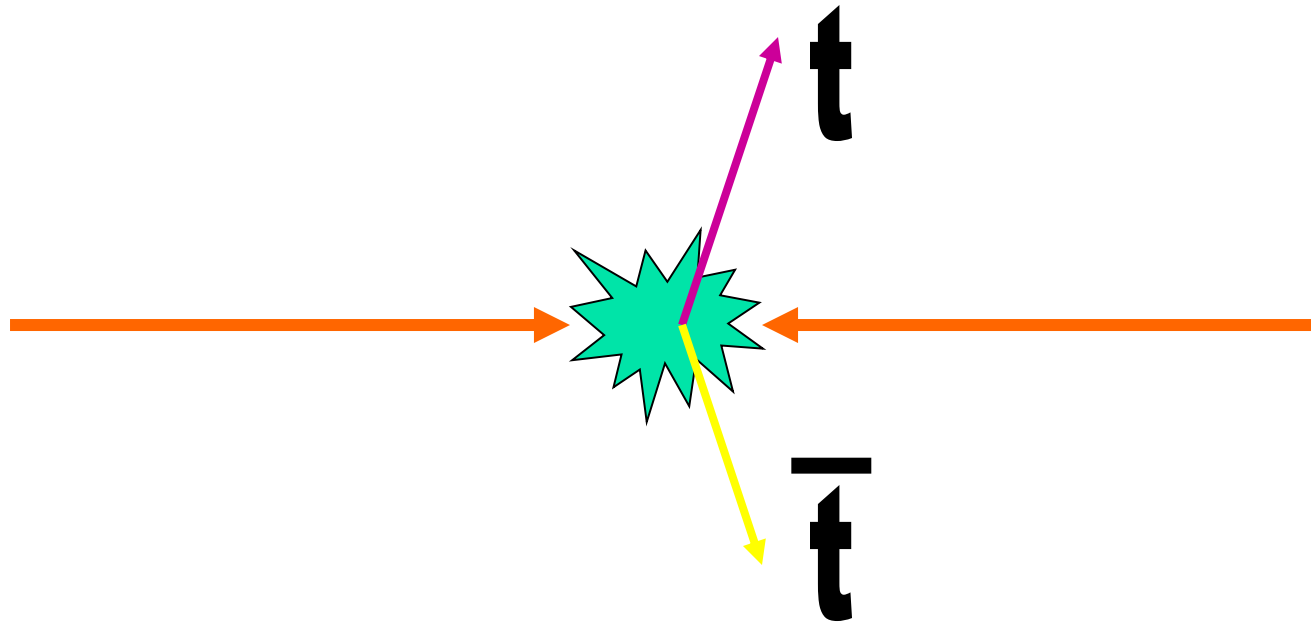
8: Un elettrone e un neutrino si creano dal bosone virtuale W-, e un quark up e un anti-down si creano dal bosone virtuale W+.

9: Il quark bottom e l'anti-bottom, l'elettrone, il neutrino, il quark up e l'anti-down si allontanano gli uni dagli altri



# Produzione di Top a Batavia, IL

- Il Tevatron di Fermilab era l'acceleratore di piu' alta energia esistente all'inizio del 2000
- Protoni e antiprotoni si scontravano con una energia di 1.8 TeV (1.800.000.000.000 electron volts)



# Trovato!

- Nel 1994, dopo 17 anni di ricerche a vari acceleratori e circa 10 anni allo stesso Tevatron, sono stati trovati 12 eventi che sembravano provenire dalla produzione di una coppia top-antitop
- Ora ce ne sono piu' di 100...
- Perché e' stato cosi' difficile?

$$M_{\text{TOP}} c^2 = 175 \text{ GeV!!}$$

- E solo 1 in  $10^{10}$  collisioni puo' produrre una coppia top-antitop

Trovato!

$$M_{\text{TOP}} c^2 = 175 \text{ GeV}!!$$

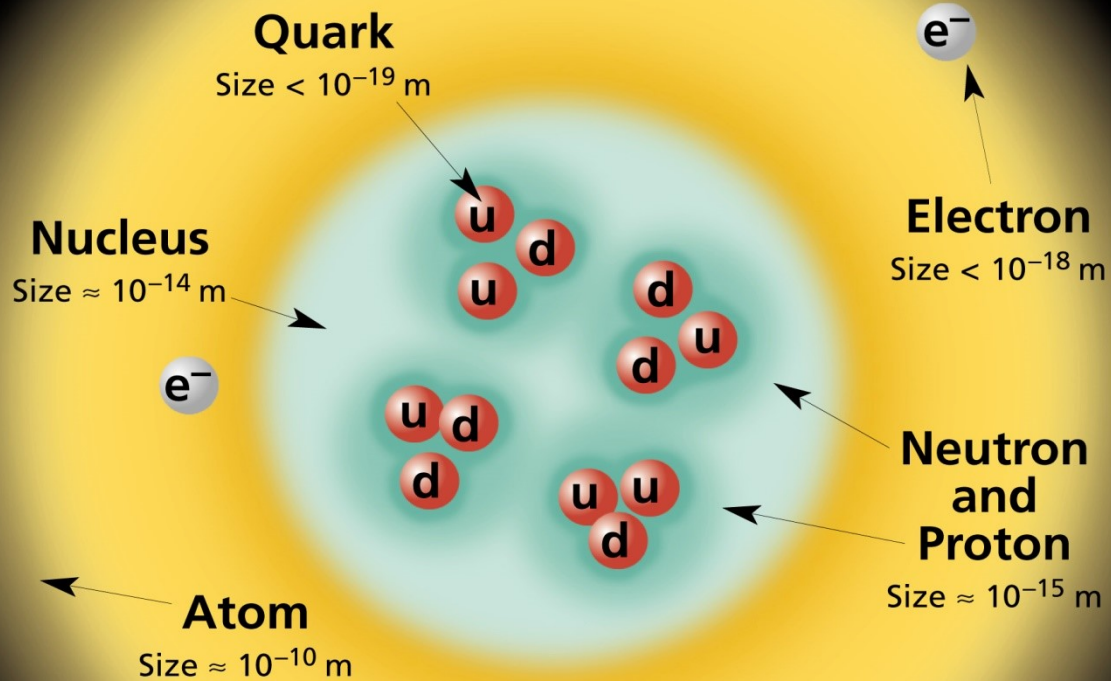
- La sua massa è inspiegabilmente elevata (si avvicina alla massa di un atomo di oro), ed è per questo che si è dovuto aspettare fino al 1995 prima che i nostri acceleratori fossero in grado di produrne uno. Gli acceleratori di particelle obbediscono alla regola  $E = mc^2$ , e ci vuole un sacco di energia per produrre tutta quella massa.
- Un atomo di oro contiene 79 protoni e 118 neutroni, per un totale di quasi 600 quark up e down. **Come fa un quark top a pesare così tanto?**
- Qualcosa, nelle caratteristiche dei quark e del loro modo di aggregarsi, lascia pensare che nella natura della massa si celi un mistero.
- La teoria che mette bene in evidenza tutto ciò è la cromodinamica quantistica ( QCD ), che ha dimostrato come i quark up e down che formano i neutroni e i protoni spiegano solo l'uno per cento della loro massa.

Il resto, come ci dice l'equazione  $E = mc^2$ , sta nell'energia che lega i quark

**E l'interazione nucleare «forte»**



# Structure within the Atom



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

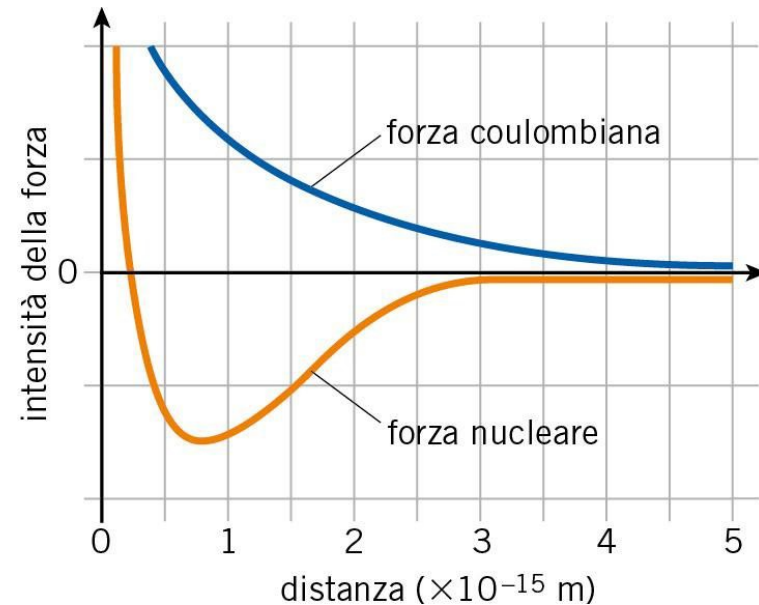
# LE FORZE NUCLEARI

Tra le forze che agiscono nel nucleo, la forza gravitazionale è del tutto trascurabile rispetto alla forza elettrica di repulsione che agisce tra i protoni.

Se esistesse, però, solo la forza di repulsione, il nucleo non potrebbe sussistere.

Visto invece che i nuclei degli atomi sono stabili o tendono ad essere tali, si deve prevedere l'esistenza di un'altra forza responsabile della stabilità del nucleo

In conclusione, un nucleo è sostanzialmente stabile perchè: tra i nucleoni agisce una **forza nucleare attrattiva** che prevale su quella elettrica repulsiva



1 miliardesimo di miliardesimo  
di metro =  $10^{-15}$  m

# Cosa succede dentro ad un atomo?

In sintesi: Un atomo ha un involucro di elettroni a carica elettrica negativa, disposti su orbitali, in equilibrio col nucleo a carica positiva

Questo è composto da protoni, positivi, tenuti insieme dalla forza nucleare, e da neutroni, neutri.

I neutroni collaborano a garantire la stabilità del nucleo: se in un nucleo ci fossero troppi protoni, che si respingono fra loro, questo diverrebbe instabile.

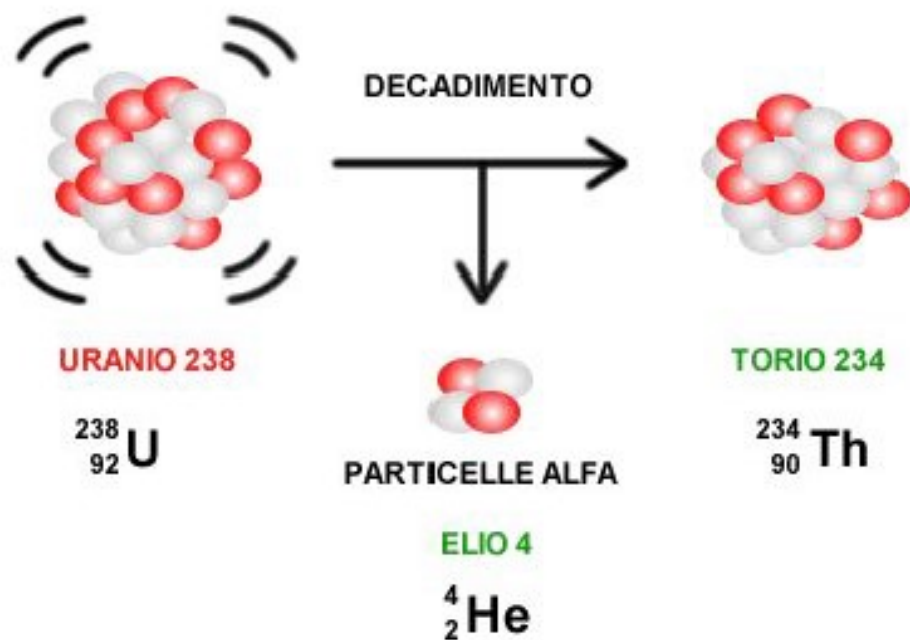
Qui interviene la forza nucleare debole, in grado di trasformare un protone in neutrone (e viceversa).

## I NEUTRONI SONO IMPORTANTI

Affinchè la forza nucleare possa contrastare la crescente repulsione elettrostatica fra i protoni, è necessario un incremento sempre maggiore di neutroni.

Però, a un certo punto, tale incremento di neutroni rispetto ai protoni per conferire stabilità al nucleo, non basta più e quindi, tranne qualche eccezione, tutti i nuclei con numero atomico maggiore di quello del piombo ( $Z > 82$ ) sono instabili, cioè radioattivi.

O s s i a , decadono (trasmutano), in un certo intervallo di tempo (tempo di decadimento), in nuclei di energia inferiore raggiungendo uno stato di maggiore stabilità con emissione di radiazioni ionizzanti.



# I NEUTRONI SONO IMPORTANTI

Poiché le energie di legame dei nuclei sono di diversi MeV, quando un nucleo effettua una transizione da un livello a un altro livello di minor energia, per la meccanica quantistica, il fotone emesso è un fotone **gamma**.

Ossia, le energie dei fotoni emessi sono anch'esse dell'ordine del MeV, molto maggiori di quelle emesse nelle transizioni atomiche..

