

Introduzione alla fisica delle particelle ed al Modello Standard

Giorgio Chiarelli
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Pisa

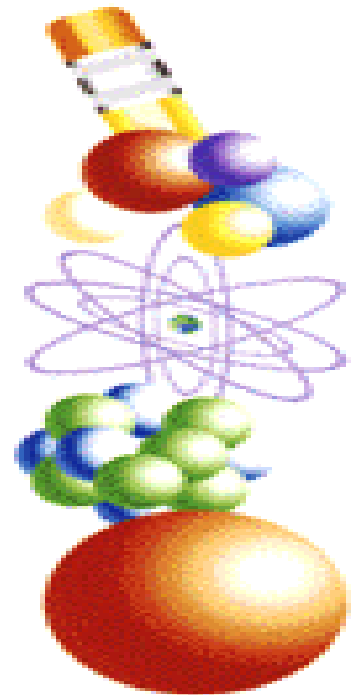
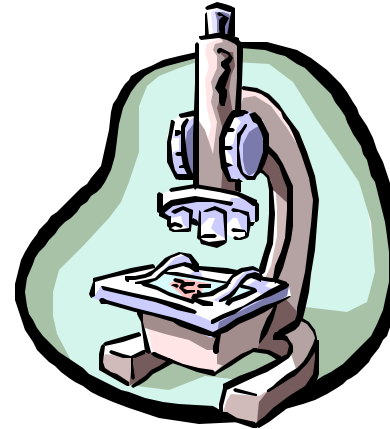
Cosa studia?

La fisica delle particelle affronta domande sui componenti base della materia

- ☞ Chi sono?
- ☞ Cosa sono?
- ☞ Come interagiscono?

Si occupa dell'infinitamente piccolo, poichè guarda i componenti subatomici...

- ☞ Ma quello che si scopre si utilizza anche per capire meglio cosa è accaduto all'inizio del nostro Universo e cosa in esso accade tuttora...

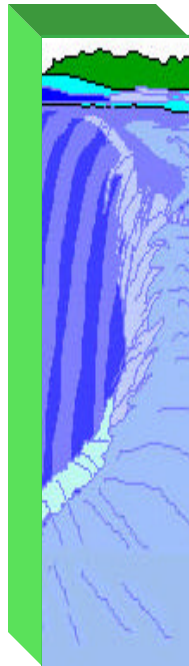


Niente di nuovo...

Sin dall'antichità ci si è chiesti di cosa fosse fatta la materia intorno a noi



Terra



Acqua



Aria



Fuoco

qualcuno pensava anche a particelle infinitesime (atomi?)

Ma non si viene da così lontano...

Nel XIX secolo emerge il modello atomico (chimica)

☞ Ma da cosa è fatto l'atomo, e come è fatto ?

⇒ ?

Nello stesso secolo si studiano le proprietà delle correnti elettriche e del magnetismo

☞ Prima *unificazione* di due forze come diremmo in un linguaggio moderno

⇒ Elettricità e magnetismo, apparentemente fenomeni separati

- Unificati da James C. Maxwell intorno al 1860

Una sola spiegazione per fenomeni differenti:

⇒ Nasce l'elettromagnetismo

→ Si apre la via alla relatività ed alla MQ

Un lungo viaggio

Gli scienziati dell'ottocento avevano realizzato che c'erano due cose da capire:

- ☞ Come è fatta la materia?
 - ⇒ Atomi (elettroni, scoperti alla fine dell'800, ruotano attorno ad un nucleo elettricamente positivo)
- ☞ Come interagisce la materia?
 - ⇒ (Forze)
 - Gravitazione (nota dai tempi di Newton)
 - Elettromagnetismo

Le domande non sono cambiate a distanza di 150 anni...

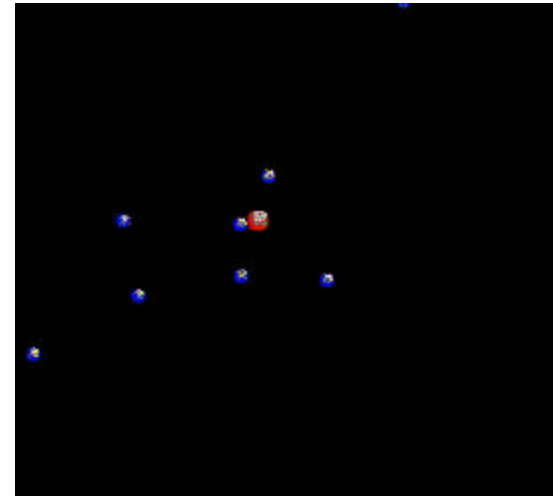
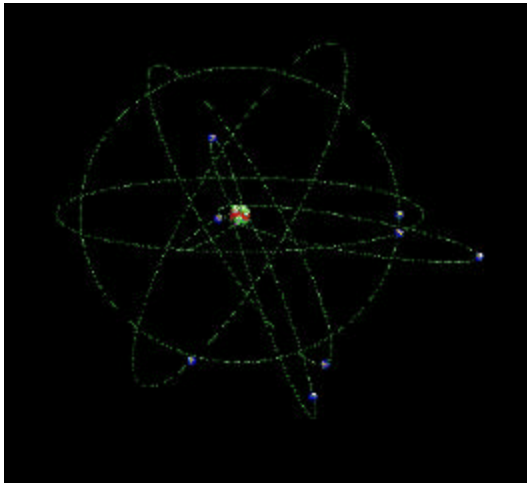
- ☞ La fisica delle particelle, la fisica del mondo subnucleare è figlia diretta di quegli studi, con un grande obiettivo di fornire un quadro coerente, che con pochi parametri, descriva il mondo delle particelle elementari.
 - ⇒ Gli strumenti fondamentali in questo viaggio sono state due teorie sviluppate nei primi anni del '900:
la teoria della relatività e la meccanica quantistica

Oggi capiamo di più ma il viaggio non è terminato

Le origini della fisica moderna

Siamo agli inizi del secolo scorso:

- ☞ All'inizio si pensa ad un modello "solare" dell'atomo (gli elettroni che ruotano attorno al nucleo).



- ⇒ Ma presto si capirà che la descrizione è più complicata, emerge la Meccanica Quantistica
 - diventa lo strumento per capire cosa avviene a dimensioni atomiche e subatomiche

Come abbiamo fatto?

Dagli anni '20 del secolo scorso in poi è un crescendo di scoperte e di comprensione di cosa c'è dentro l'atomo:

☞ Nuclei: protoni, neutroni (anni '30)

E come è tenuto insieme?

☞ Forza nucleare forte

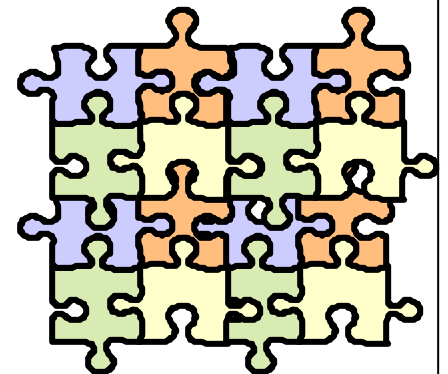
⇒ Si affianca alla forza elettromagnetica ed alla forza responsabile di molti decadimenti radioattivi:

→ La forza debole (prima teoria: Fermi nel 1931)

Abbiamo imparato a guardare dentro con strumenti sempre più raffinati

☞ Acceleratori e rivelatori

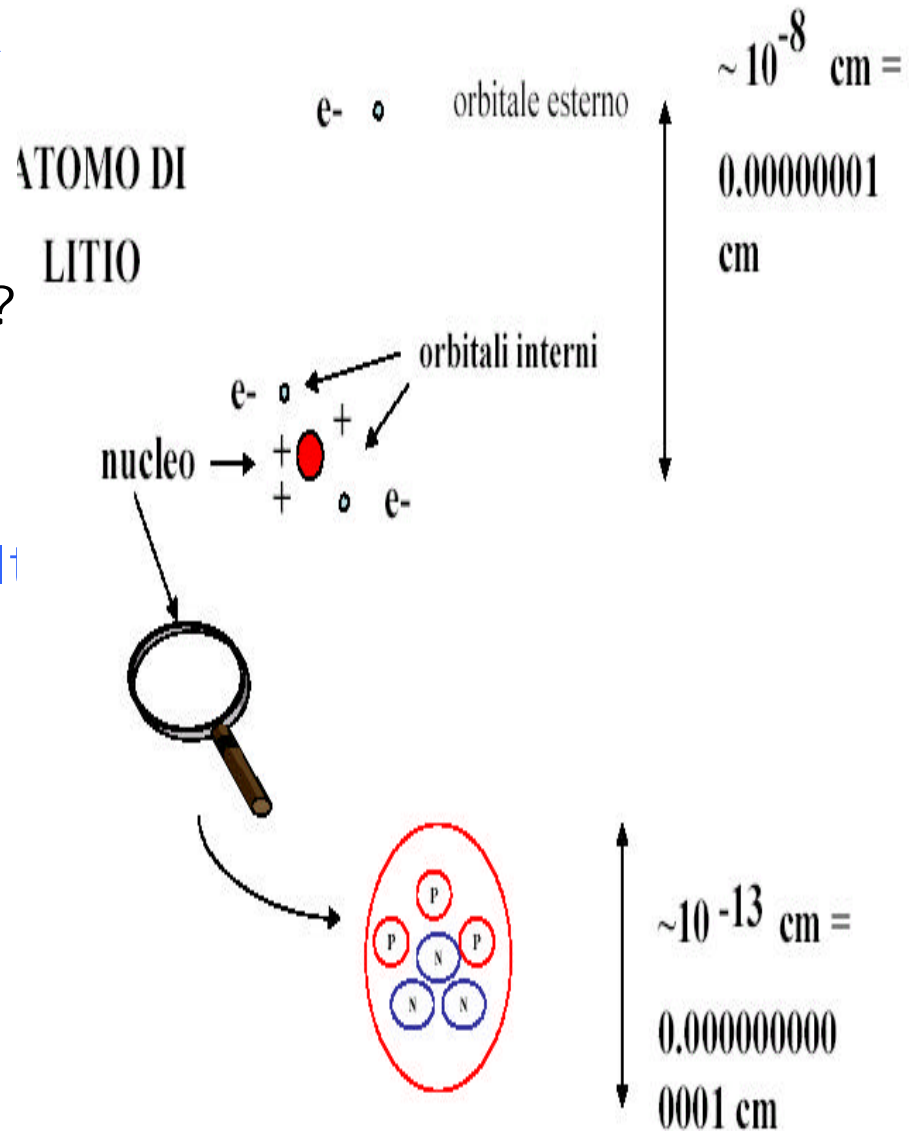
⇒ Dopo una lunga fase in cui il quadro si complicava ogni giorno, i pezzi del puzzle hanno cominciato ad andare al proprio posto



Come è fatto l'atomo?

Via via che si comprendeva come era fatto l'atomo è cresciuto il numero di domande....

- ☞ Cosa tiene insieme il nucleo?
- ☞ Forza nucleare forte
 - ⇒ Si affianca alla forza elettromagnetica ed alla forza responsabile di molti decadimenti radioattivi:
 - La forza debole (prima teoria: Fermi nel 1931)
 - Studio di quel che avviene nel Sole



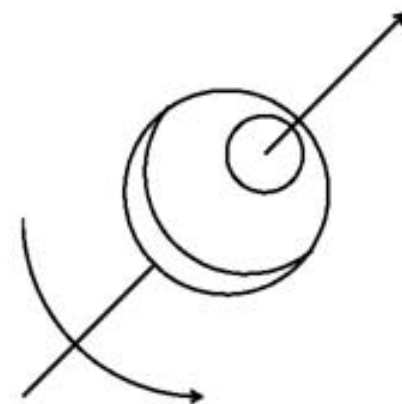
Fermiamoci un attimo...

Ma queste particelle subatomiche, da cosa sono caratterizzate, cosa misuriamo?

- ☞ Massa
- ☞ Carica elettrica
- ☞ Alcune proprietà (spin ad esempio)

Come facciamo a misurarle?

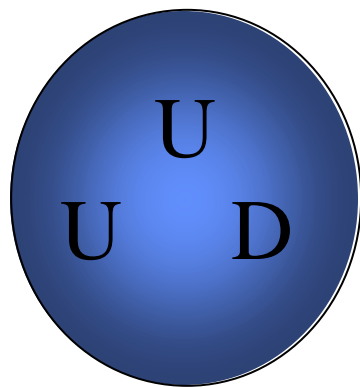
- ☞ Riveliamo il passaggio di particelle
 - ⇒ Posizione
 - ⇒ Velocità
 - ⇒ Energia
- ☞ Questo ci permette di ricostruire le varie proprietà che caratterizzano una particella subatomica



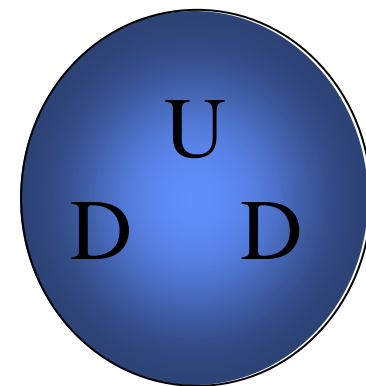
Dentro il nucleo...

- ☞ Protoni e neutroni sono composti da particelle ancora più piccole (quarks)
 - ⇒ Siamo negli anni '60: un lungo percorso
 - ⇒ Carica frazionaria ($+2/3$, $-1/3$)
 - Up: carica $+2/3$
 - Down: carica $-1/3$

protone (+1)

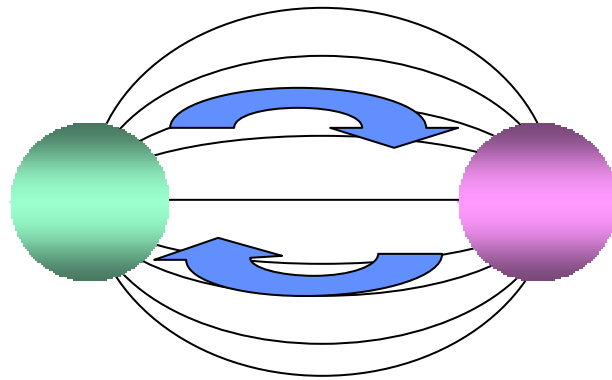


neutrone (0)



Forze/Interazioni?

- ☞ I quarks interagiscono *scambiandosi* dei "mediatori di forze" (bosoni). I mediatori della forza debole:
 - ⇒ Vengono osservati nel 1983-1984 (W,Z)
 - Premio Nobel a Carlo Rubbia per la loro scoperta



- ⇒ Nella nostra vita un mediatore familiare è il fotone: "media" la forza EM
 - Non ha massa, ma è fratello dello Z!

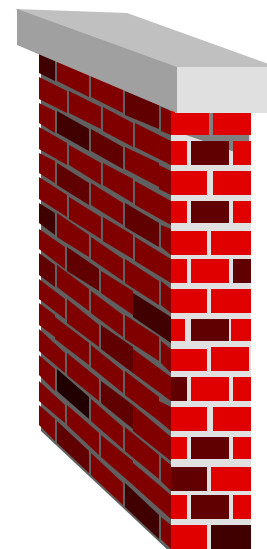
Quale è il quadro attuale?

Dopo vari decenni è emersa una teoria che gli scienziati chiamano:

- ☞ Il Modello Standard delle Particelle Elementari e delle Interazioni fondamentali
 - Corrisponde ad una classificazione dei *mattoni* fondamentali della materia che noi conosciamo e delle interazioni tra di essi

Attenzione: sapere come sono fatti i mattoni non vuol dire capire come è fatto un edificio.

- ☞ Ma se non si capisce come sono fatti i mattoni, non si capiscono davvero come sono fatti gli edifici!



Il Modello Standard

Mattoni, sono tutti *fermioni*:

☞ Particelle con spin 1/2

⇒ Leptoni (6)

→ Elettrone, muone, tau (carichi) i parenti stretti senza carica elettrica: i neutrini

⇒ Quarks (6)

→ Il mondo quotidiano è composto da due soli (up, down), ma gli altri 4 fanno sentire i loro effetti

Forze:

⇒ elettromagnetica, debole, forte, gravitazione

⇒ Le forze sono *mediate* da particelle particolari

→ Le chiamiamo bosoni

- Forza elettrodebole (W, Z, γ)
- Forza forte: gluone (g)
- Gravitazione: gravitone (Spin 2)

I mattoni ed (i) cementi

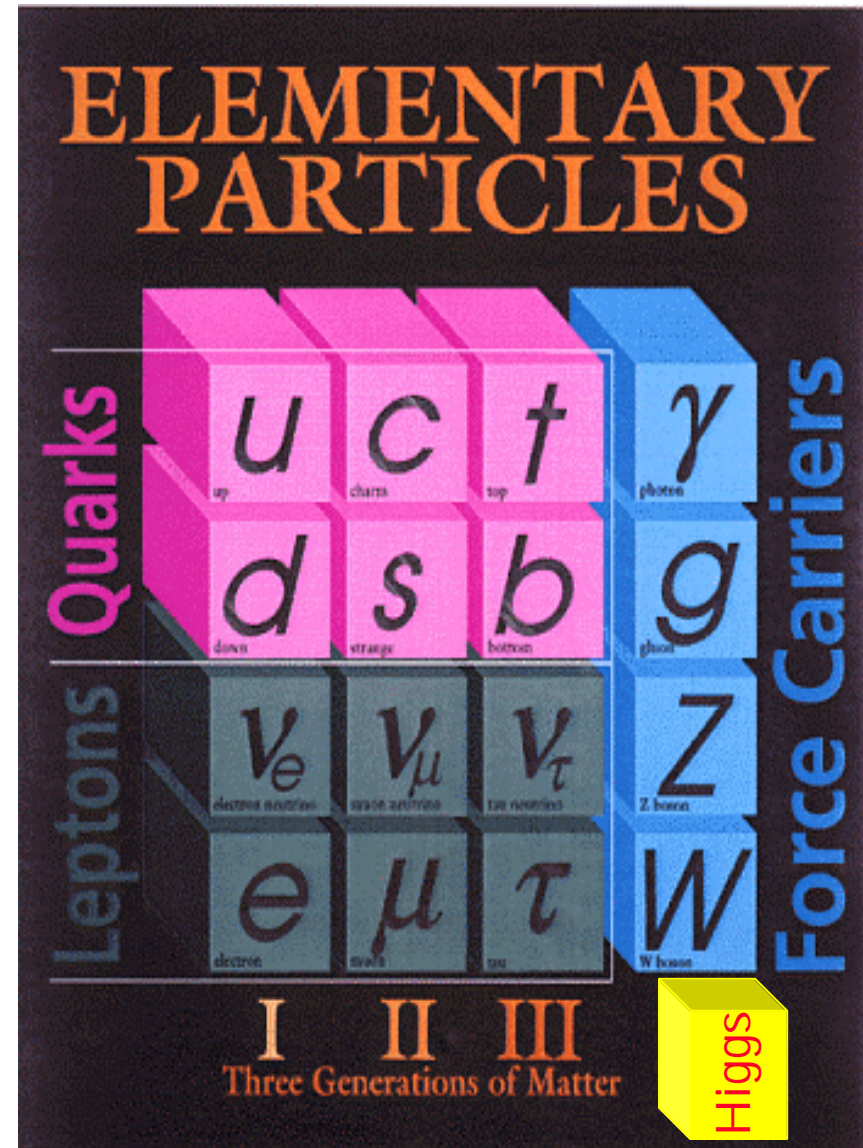
Abbiamo la materia ed abbiamo le particelle che *portano* le interazioni..

☞ Ma chi fornisce masse a tutte le altre particelle?

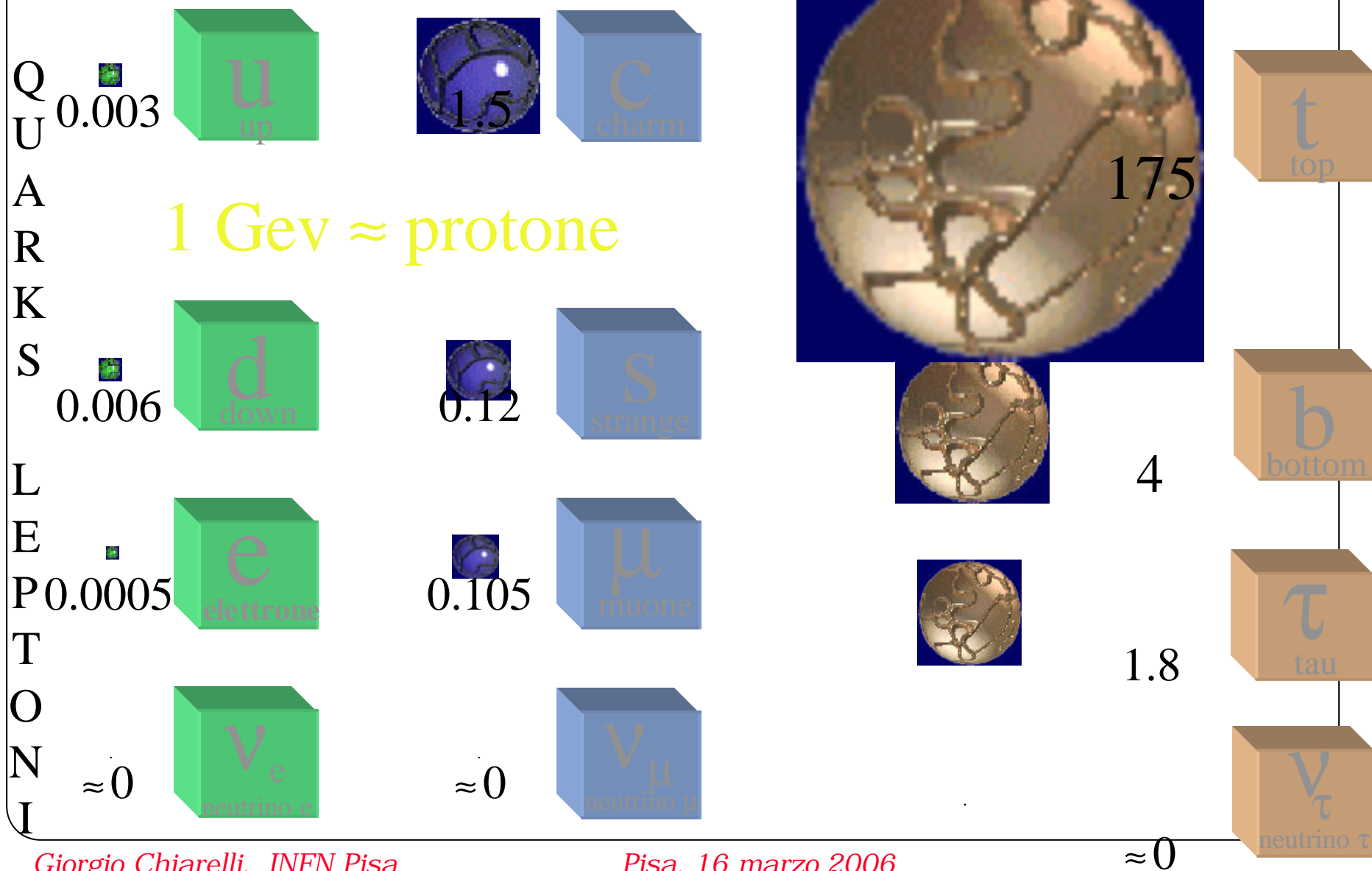
⇒ Pensiamo sia la particella di Higgs

☞ È una particella non ancora osservata

⇒ Le stiamo dando la caccia negli acceleratori in funzione (Tevatron) e lo faremo tanto più in quelli in costruzione (LHC)



I Fermioni : le masse (in GeV/c²)



I Bosoni: le masse



0



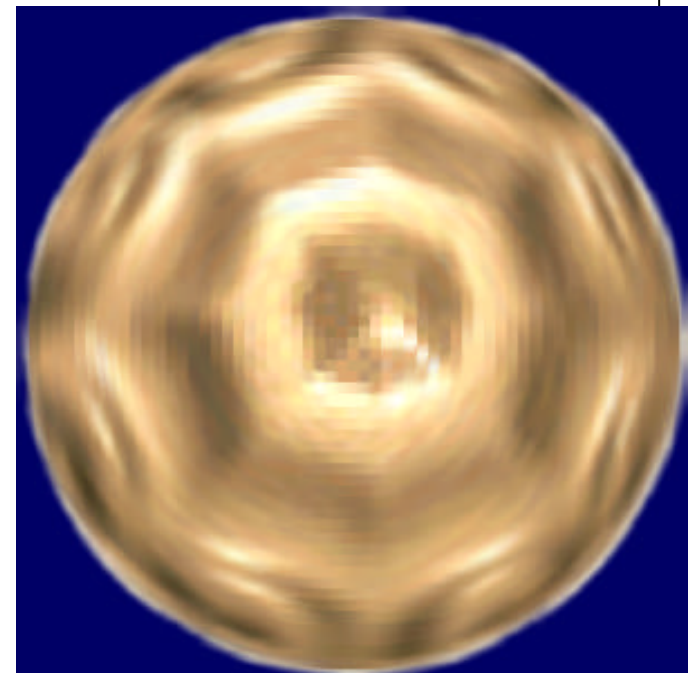
0



83 GeV/c²



91 GeV /c²



1 GeV/c² ≈ protone

Il concetto di decadimento

Decadere???

Molte delle particelle subatomiche che studiamo sono *instabili*...che vuol dire?

☞ Vuol dire che decadono *spontaneamente* in altre particelle (a loro volta instabili o stabili) dette prodotti del decadimento

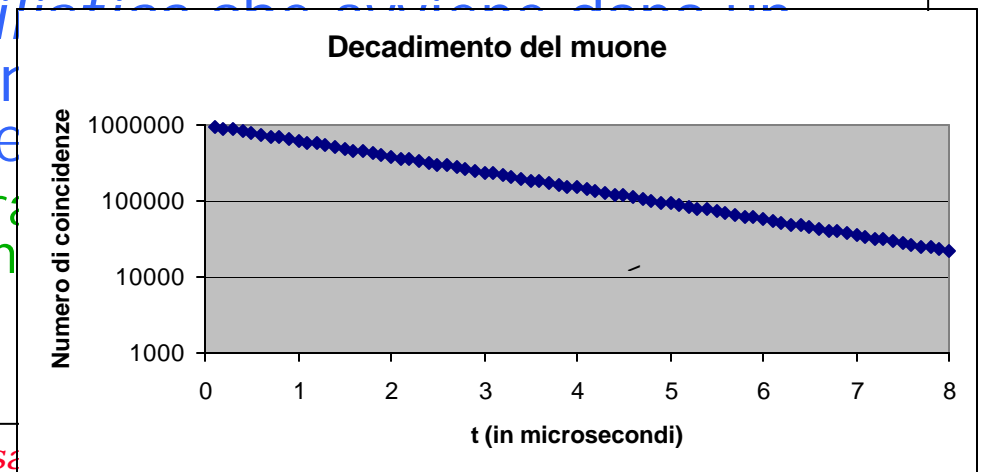
⇒ I prodotti del decadimento, se sono particelle stabili, possono essere misurati e ci raccontano qualcosa delle particelle *madri*

→ Esempio:

- La Z può decadere in varie particelle, tra queste in una coppia elettrone-positrone

⇒ È un evento *probabilistico* che avviene dopo un certo tempo. Il valore medio di questo tempo si chiama *vita media* della particella

→ L'andamento temporale che chiamiamo esponenziale



Un esempio...

La Z è una particella di massa a riposo di circa $91 \text{ GeV}/c^2$ che decade in coppie di leptoni:

☞ e^+e^-

☞ $\mu^+\mu^-$

☞ $\tau^+\tau^-$

☞ Neutrino-antineutrino

⇒ Tutti e tre i tipi

☞ Quark-antiquark

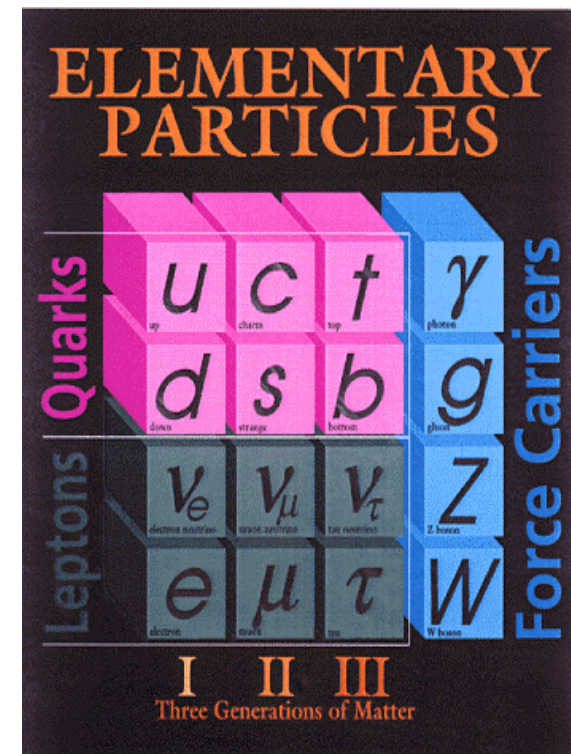
⇒ u-anti u

⇒ d-anti d

⇒ s-anti s

⇒ c-anti c

⇒ b-anti b



E ora?

Abbiamo capito tutto?

Cosa vuol dire?

☞ Vuol dire avere una teoria che

⇒ Risponde alle nostre domande

⇒ Fa previsioni in grado di essere verificate

⇒ Tutti i suoi aspetti sono stati confermati

Alcune questioni aperte

Nella scienza si cercano soluzioni a problemi

- ☞ Il modello standard ha avuto un enorme successo
 - ⇒ Testato fino a distanza infinitesime e ha sempre dimostrato di funzionare

Allora?

- ☞ Ci sono dei problemi che non possiamo eludere
 - ⇒ Alcuni sono legati al meccanismo con cui si fornisce massa ai fermioni (Higgs)
 - ⇒ Perchè i neutrini hanno massa?
 - ⇒ Perchè quei valori delle masse dei fermioni?
 - ⇒ Il protone è davvero una particella stabile?
- ☞ Ci sono delle misure cosmologiche che indicano che solo il 5% della materia dell'Universo è composto dagli atomi che conosciamo
- ☞ Perchè nell'Universo c'è solo materia (e non antimateria)?
- ☞ E la gravitazione? Riusciamo ad unificarla con le altre forze?

Abbiamo delle idee...

I dee...

Esiste un mondo di particelle elementari dove ad ogni particella di spin $\frac{1}{2}$ corrisponde una particelle di spin 1 (e viceversa)

☞ Supersimmetria

⇒ Molto lavoro teorico ma finora

→ Nessuna conferma sperimentale!

- La fisica ha bisogno di conferme sperimentali

Le particelle sono in realtà delle *corde*

☞ Teoria delle stringhe

⇒ Viviamo in un mondo che ha piu' di 3+1 dimensione ma noi vediamo solo queste

→ Si cercano effetti dovuti all'esistenza di altre dimensioni (*extra-dimensions*)

⇒ Sembra una strada promettente per unificare la gravitazione insieme alle altre forze

→ Vedremo!