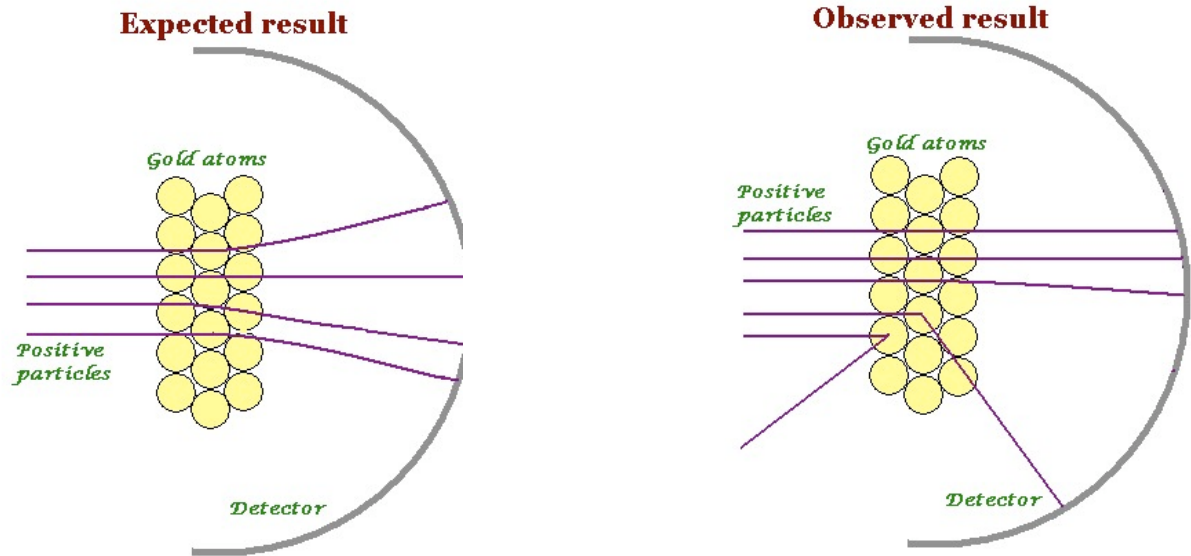


LE PARTICELLE ELEMENTARI

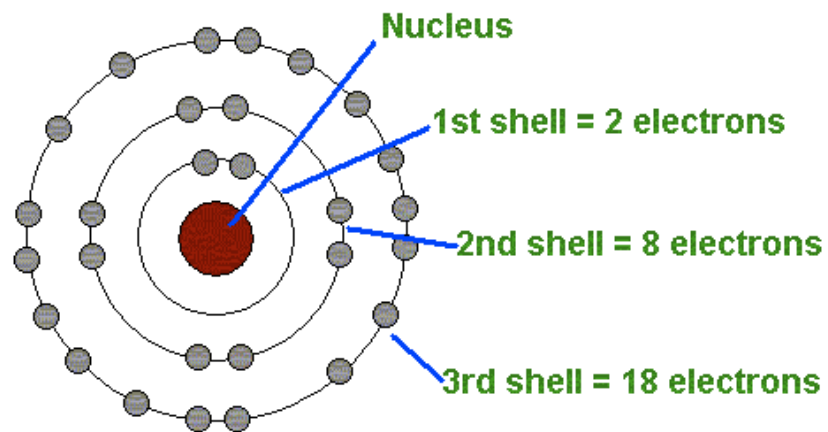
(UN RAPIDO EXCURSUS)

**Gianpaolo Bellini
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Dipartimento di Fisica dell'Università
Milano**

RUTHERFORD



BOHR



Forze elettromagnetiche

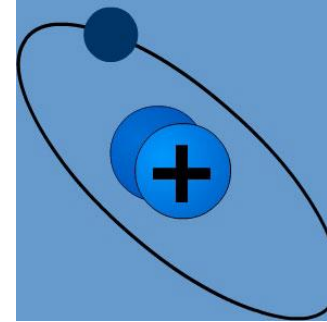
CONCETTO DI CAMPO \longrightarrow GRAVITAZIONALE/ E.M.

:

L'atomo di idrogeno fu studiato per primo:

nucleo + una carica – dell'elettrone
in totale neutro

πρωτον=primo



Più semplice ipotesi: gli altri nuclei sono un multiplo del nucleo di idrogeno

MA: I chimici trovavano dei multipli frazionari dell'atomo di H



isotopi: uguale Z, ma masse diverse

nel 1930 si trova la soluzione con gli esperimenti di Bothe e Becker (bombardarono nuclei di paraffina con particelle alpha e osservarono l'emissione di particelle che erano capaci di attraversare 200 mm di Pb (*dovevano essere neutre*))

poi Chadwick fece un esperimento più complesso con la paraffina e comprese che si trattava di una particella neutra e pesante

neutrone **$m_n = 1.003 m_p$**

nucleo contiene: protoni, neutroni

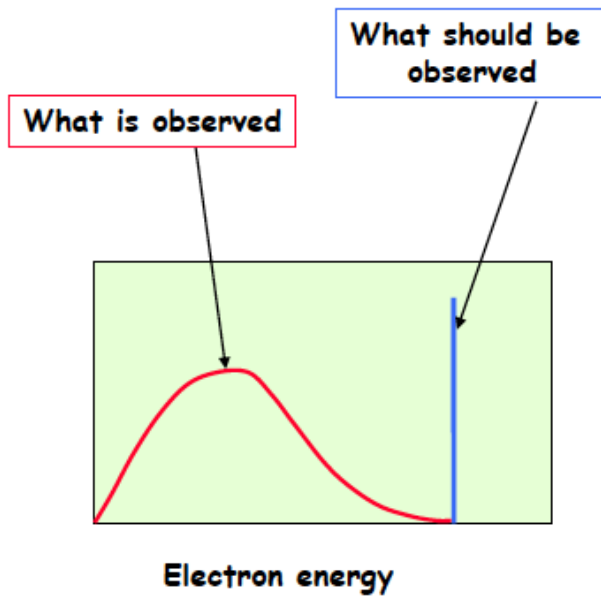


elettroni

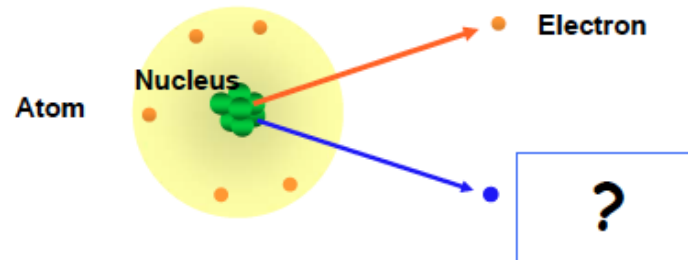
vita media del neutrone \longrightarrow 886.8 ± 1.5 sec



alcuni nuclei non sono stabili, ma decadono $N \longrightarrow p + e^-$

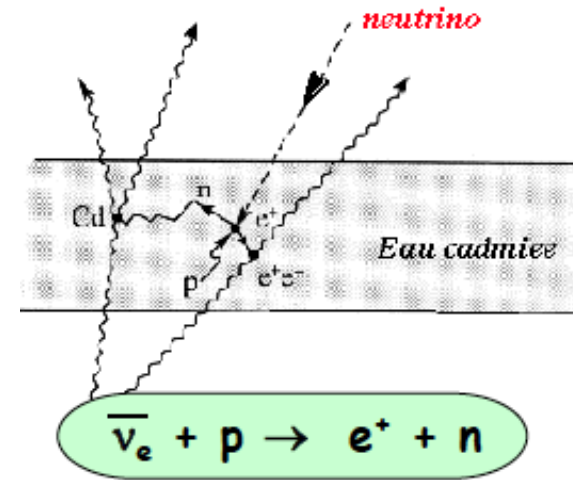


1930



Neutrino

- 1956 : Reines and Cowan observe the first neutrino interactions close to the Savannah River nuclear power plant (in fact it is the electron antineutrino $\bar{\nu}_e$)



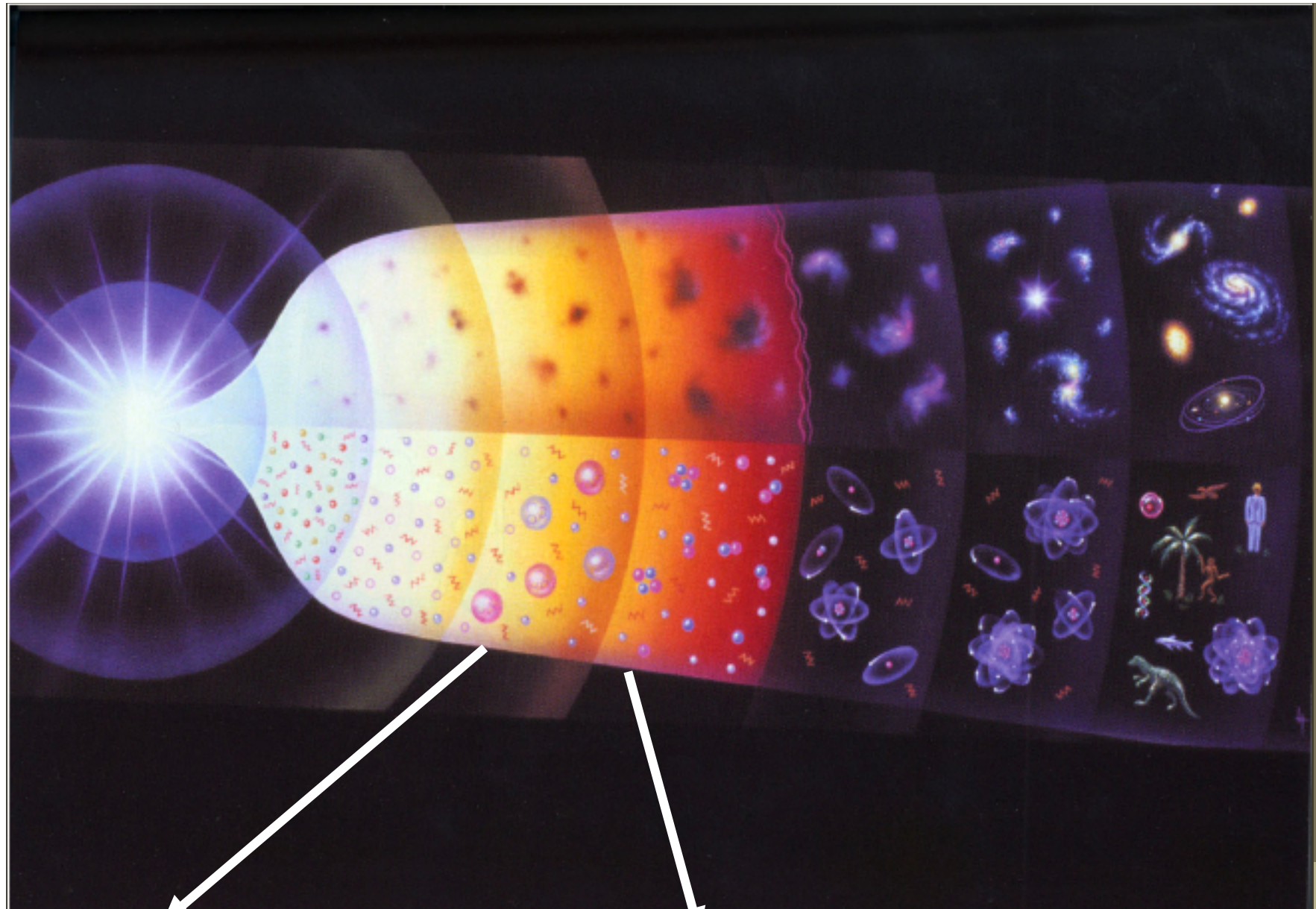
neutrino: neutro; massa trascurabile;

→ atomo → forze e.m.

→ nucleoni → forze nucleari forti → difetto di massa

→ neutrini → forze nucleari deboli

quindi: nella materia stabile si trovano 4 particelle: Neutrone, Protone, Elettrone, neutrino + 4 antiparticelle



Separazione
Radiazione-
Particelle (A)

Formazione dei nuclei con particelle
stabili- le particelle instabili prodotte
nel BB sono decadute (B)

Ma quali sono le caratteristiche di queste particelle?

carica elettrica, massa, spin, momento angolare, momento magnetico, spin isotopico

+1/2
↕
-1/2

fermioni==== statistica di Fermi=Dirac



elettrone, protone,
neutrone, neutrino

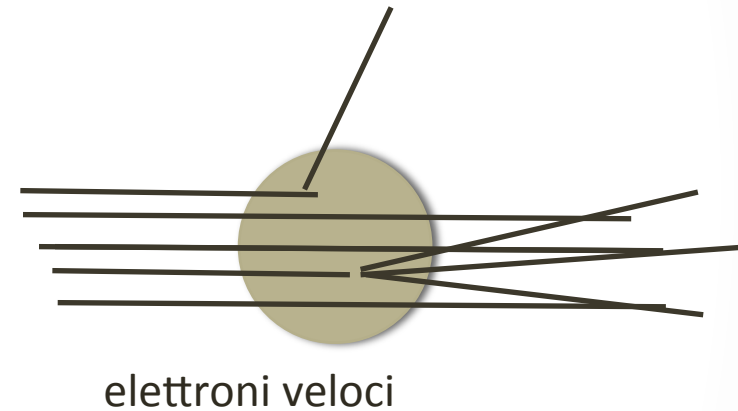
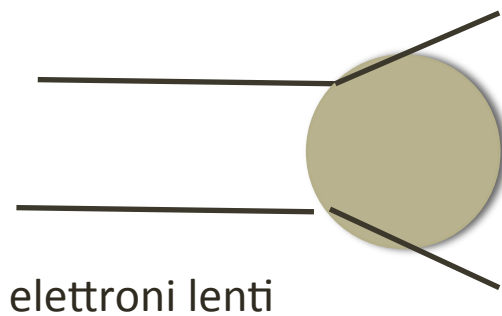
stabilisce le simmetrie delle particelle

p +1/2
n -1/2

Facciamo un passo avanti!!!  *protone e neutrone sono elementari?*

Ipotesi di Feynman e Bjorken- 1969--- partoni

Anni '70 del secolo scorso; a SLAC viene fatto un esperimento sul protone simile a quello di Rutherford sull'atomo- ma usando fasci di elettroni accelerati che avendo un'onda associata molto piccola possono sondare l'interno del protone.



il protone non è elementare- è costituito da componenti praticamente puntiformi- che saranno chiamati QUARKS (da Gellman)

*quindi la materia è vuota di massa
è invece piena di forze*

Scale in m:

10^{-10} m

atom

10^{-14} m

nucleus

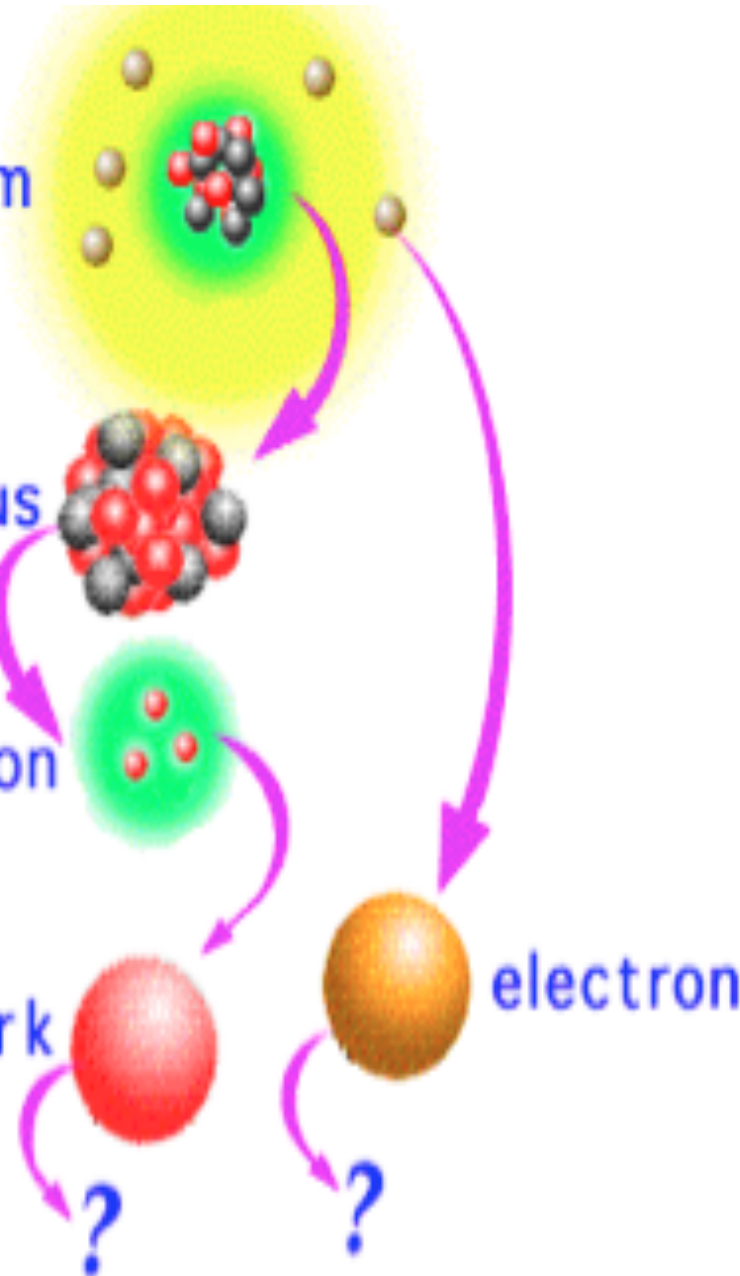
10^{-15} m

proton

$\leq 10^{-18}$ m

quark

electron



A questo punto lo studio della composizione della materia è completato?

nel 1936, studiando i raggi cosmici - particelle provenienti dallo spazio che urtano contro gli atomi dell'atmosfera terrestre - si osservarono delle nuove particelle che furono chiamate μ o muoni - $\lambda = 2.2 \mu\text{sec}$

mesone perché la deviazione in campo magnetico la collocava fra il protone e l'elettrone

Isidor Isaac Rabi: "Who ordered it?"

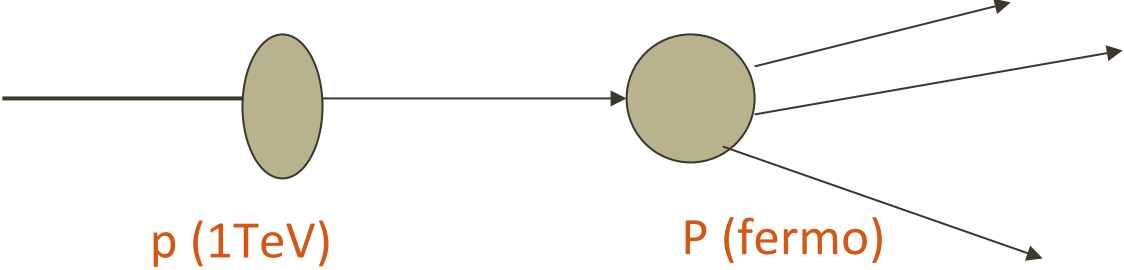
Una saga alla ricerca di particelle instabili; prima con raggi cosmici, poi agli acceleratori di particelle- **Sono tutte instabili**, cioè **decadono** con tempo 10^{-8} - 10^{-27} s devono essere osservate e studiate in questi brevissimi tempi di vita.

Ma come si producono?

In cosa decadono?

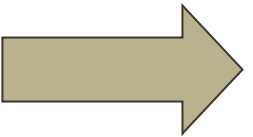
come si studiano? e perché si studiano?

come si producono?



$$t = \frac{10^{-13} \text{ cm}}{3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}} \cong 3 \cdot 10^{-24} \text{ s}$$

$$P = \frac{10^{12} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{3 \cdot 10^{-24} \text{ s}} \cong 5 \cdot 10^{16} \text{ W} \approx 10000 \text{ TW}$$



Equivale a parecchie migliaia di centrali nucleari

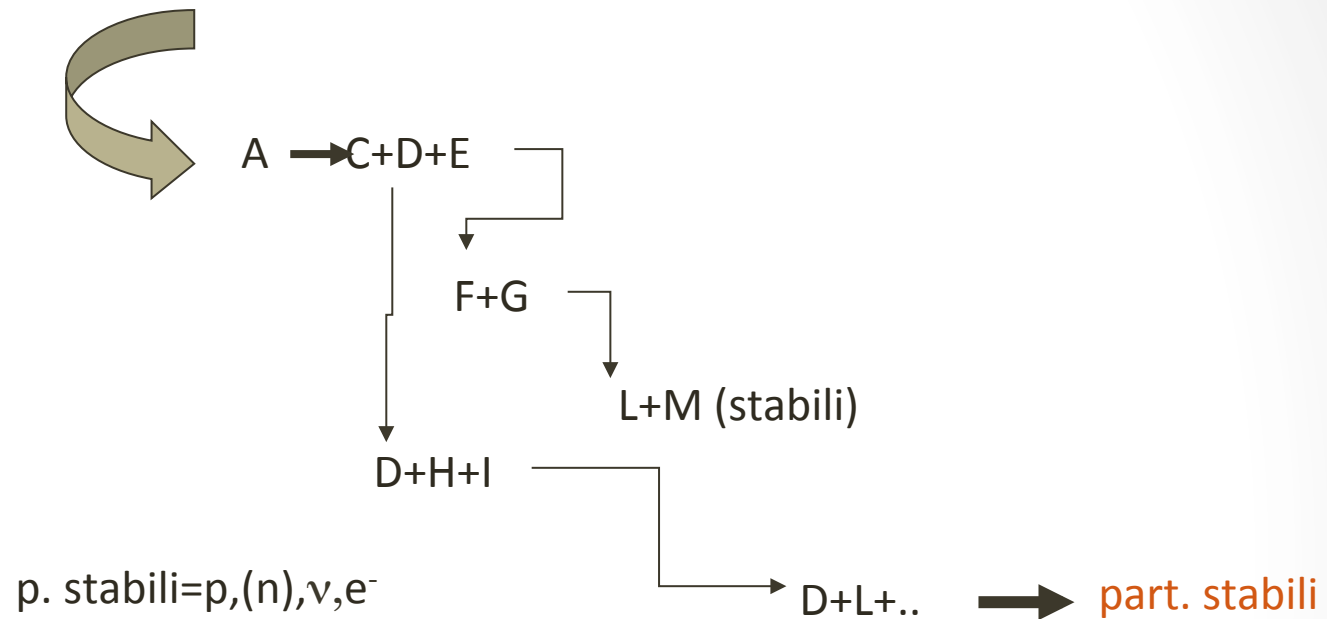


Little Bang



BIG BANG

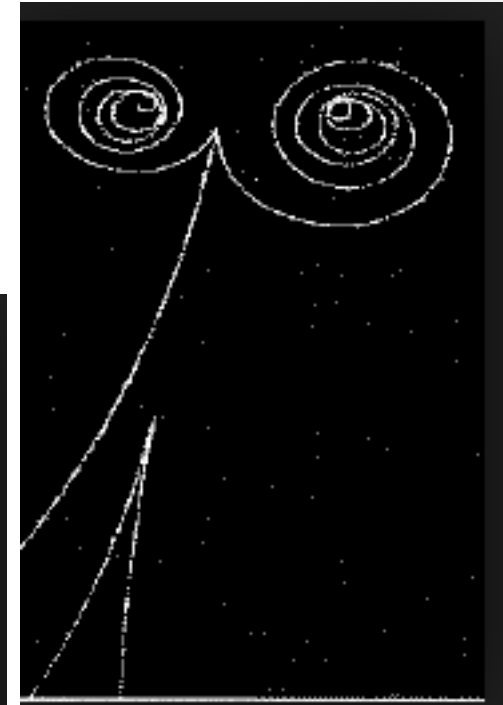
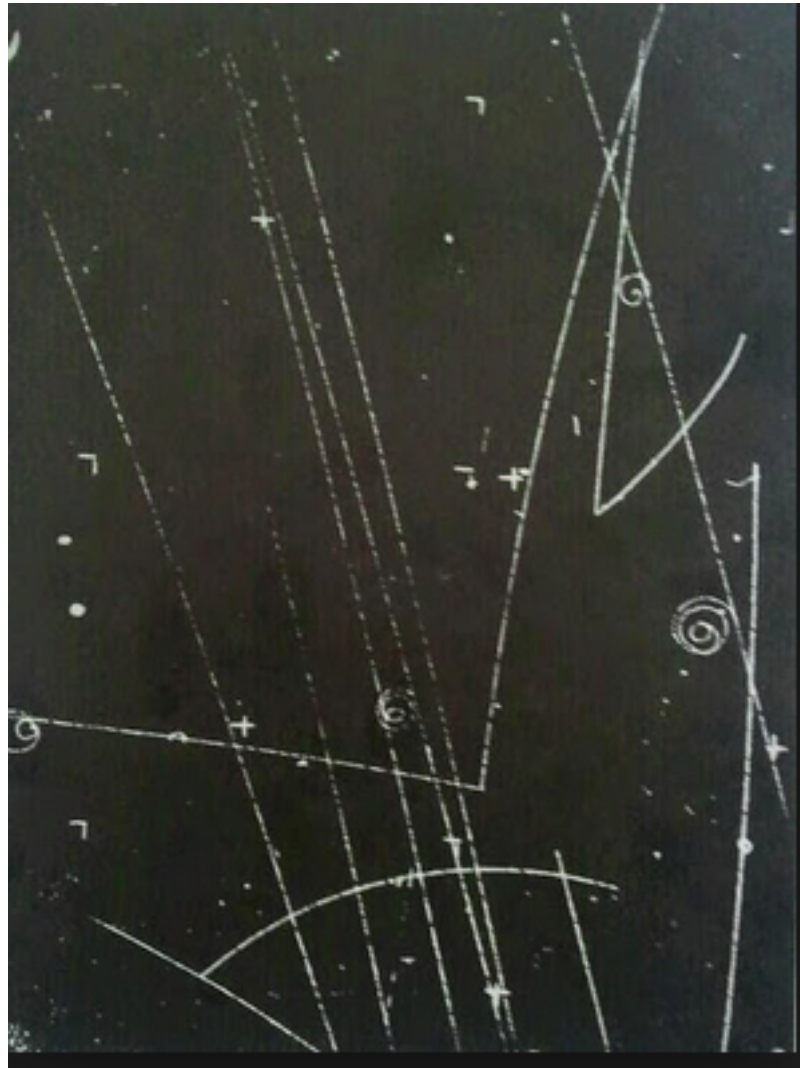
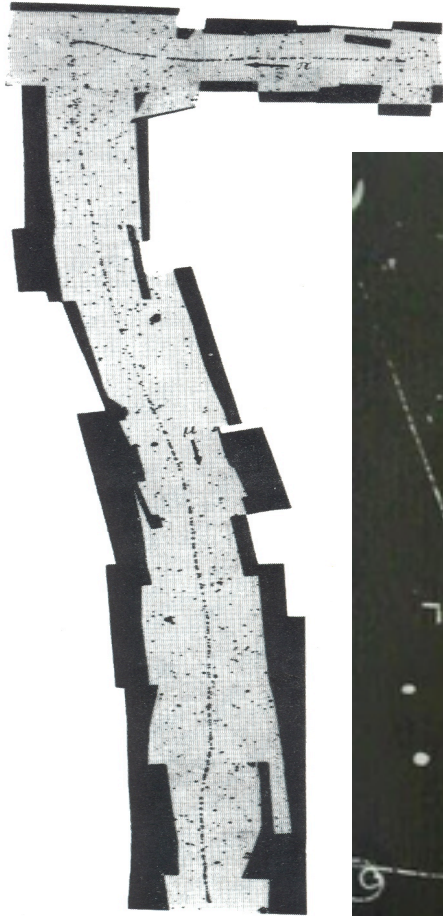
Come decadono?



in produzione e nel decadimento: **si conservano sempre** (sistema prima e dopo):

energia, quantità di moto, carica elettrica, momento angolare

come di studiano e si osservano?



Lo studio delle particelle elementari va di pari passo con quello delle forze che agiscono sia nella materia stabile sia nei processi che coinvolgono le particelle

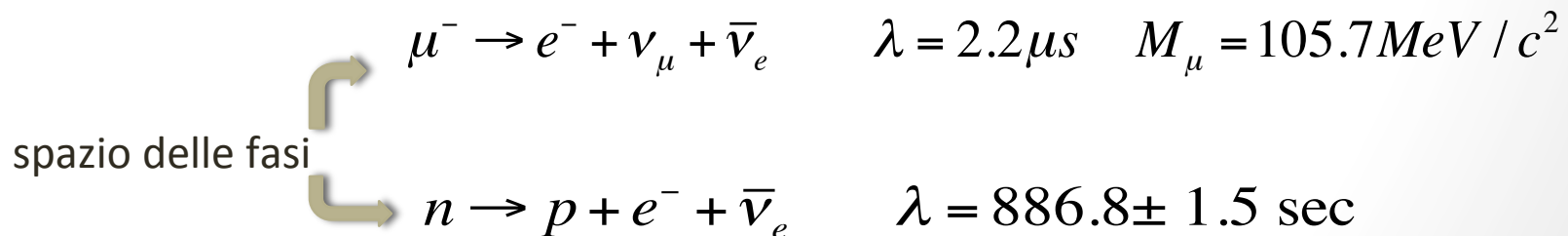
sia le produzioni, sia i decadimenti sono retti da una delle 3 forze fondamentali: e.m., nucleare forte nucleare debole

Quindi si parla di interazioni e di decadimenti e.m., forti, deboli

la probabilità che avvenga una interazione è propor. alla (costante)²

se la costante forte e' 1, la debole = 1/137 . la debole= 10⁻⁵

forze	forte	e.m.	debole
produzione sezione d'urto bar=10 ⁻²⁴ cm ²	mb	μb	nb
decadimento vita media	10 ⁻²⁴ -10 ⁻²⁷ s	10 ⁻¹⁵ s	10 ⁻⁸ -10 ⁻¹⁰ s



Due grandi classi: leptoni e adroni

<i>Leptoni</i>	e^- (1/2 MeV/c ²) stabile	μ^- (105.7 MeV/c ²) $\lambda=2.2 \mu\text{s}$	τ^- (1777 MeV/c ²) $\lambda=2,9 \times 10^{-13} \text{ s}$
	$\nu(e)$	$\nu(\mu)$	$\nu(\tau)$

<i>Antileptoni</i>	e^+	μ^+	τ^+
	$\bar{\nu}(e)$	$\bar{\nu}(\mu)$	$\bar{\nu}(\tau)$



obbediscono alle forze deboli e e.m.--- produzioni e decadimenti sono deboli- la produzione di coppie e l'annichilazione sono inter. e.m.

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^- \text{ nel campo nucleare} \quad e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$$



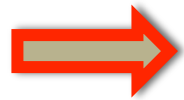
Sapore leptonico: si conserva sempre

$$\mu^- + p \rightarrow n + e^+ + \nu(\mu) + \nu(e) \quad \mu^+ + p \rightarrow p + \bar{\nu}(\mu)$$

eccezione: oscillazione del neutrino nella materia e nel vuoto

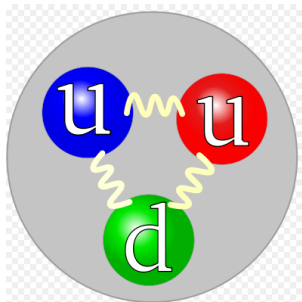
Adroni (non sono elementari, ma costituiti da quarks)

mesoni *barioni*



Un passo indietro: qualcosa sul modello a quarks

spin $\frac{1}{2}$ carica frazionaria: - $\frac{1}{3}$ (d) o $\frac{2}{3}$ (u)



protone: spin $\frac{1}{2}$ carica 1 neutrone: udd spin $-\frac{1}{2}$ carica 0

altri 4: sapore (e quindi anche numero) dei quarks

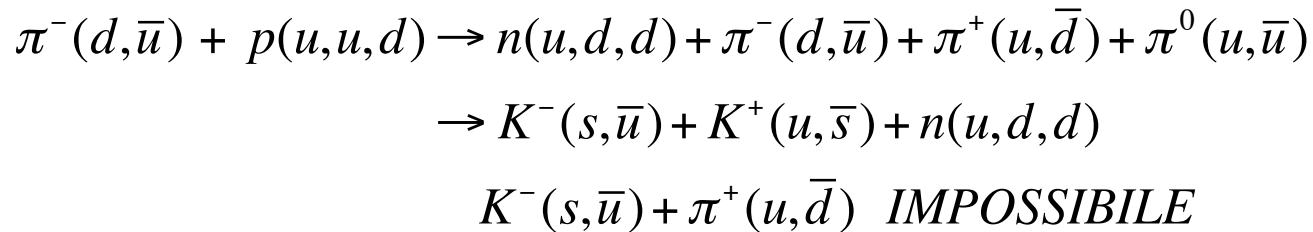
conservato nelle interazioni forti
violato nelle interazioni deboli

Ma: i mesoni sono formati da quark+antiquark

$$\text{es. il mesone } \pi \quad \begin{array}{l} \frac{u}{d} \pi^+ \\ \frac{d}{u} \pi^- \end{array} \quad \pi^0 \quad \frac{u}{\bar{u}} \quad \Bigg| \quad K^- \quad \frac{s}{\bar{u}} \quad K^+ \quad \frac{u}{\bar{s}}$$

MESONI: bosoni; produzione \longrightarrow interazioni forti
 decadimento \longrightarrow interazioni deboli

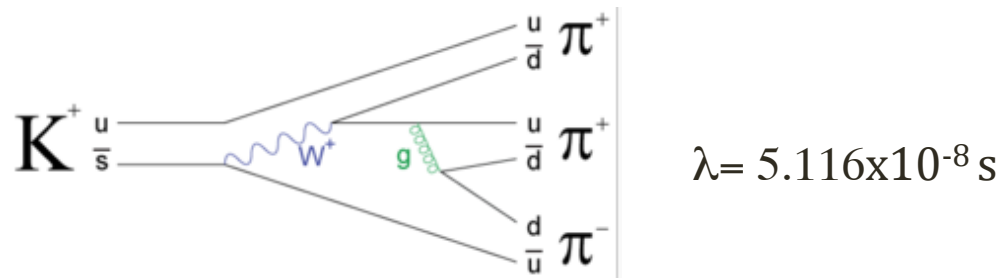
poiche' sono quark-antiquark possono essere prodotti in numero qualsivoglia,
 basta che sia conservato il sapore



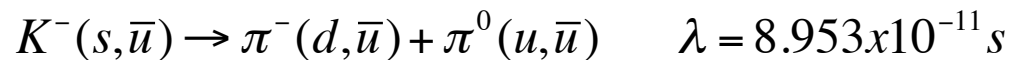
DECADIMENTI



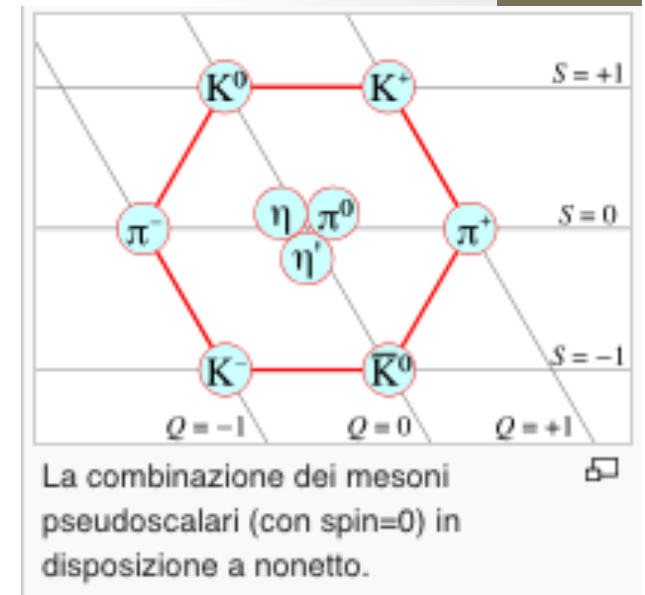
lungo



corto



Mesoni



BARIONI

produzione: interazione forte
decadimento: interazione debole
interazione forte
anche e.m.

esiste il **numero barionico**, cioè il numero di barioni in una interazione deve rimanere invariato- naturalmente questo è legato al numero di quarks

Piu' di 80- qualche esempio
sono fermioni con spin : $\frac{1}{2}$ o $\frac{3}{2}$

$p(uud) \quad n(udd) \quad \text{spin } \frac{1}{2}$

$\Lambda^0(uds) \quad \text{spin } \frac{1}{2} \quad \longrightarrow \quad p(uud) + \pi^-(d, \bar{u}) \quad 2.6 \times 10^{-10} \text{s}$

$\Sigma^+(uu\bar{s}) / \Sigma^-(dds) \quad (\text{spin } \frac{1}{2}) \quad \longrightarrow \quad p(uud) + \pi^0(u, \bar{u}) / n(udd) + \pi^-(d, \bar{u}) \quad 0.01 \times 10^{-10} \text{s}$
 $\Sigma^0(uds) \quad \longrightarrow \quad \Lambda^0(uds) + \gamma \quad 7.4 \times 10^{-20} \text{s}$

$\Delta^+(uud) / \Delta^0(udd) / \Delta^-(ddd) \quad (\text{spin } 3/2) \quad \Delta^+(uud) \longrightarrow p(uud) + \pi^0(u, \bar{u}) \quad 5.6 \times 10^{-24} \text{s}$

$p(uud) + p(uud) \rightarrow \Lambda^0(uds) + \Sigma^+(uu\bar{s}) + \pi^+(u, \bar{d}) \quad \textit{impossibile}$

$p(uud) + p(uud) \rightarrow p(uud) + \pi^+(u, \bar{d}) \quad \textit{impossibile}$

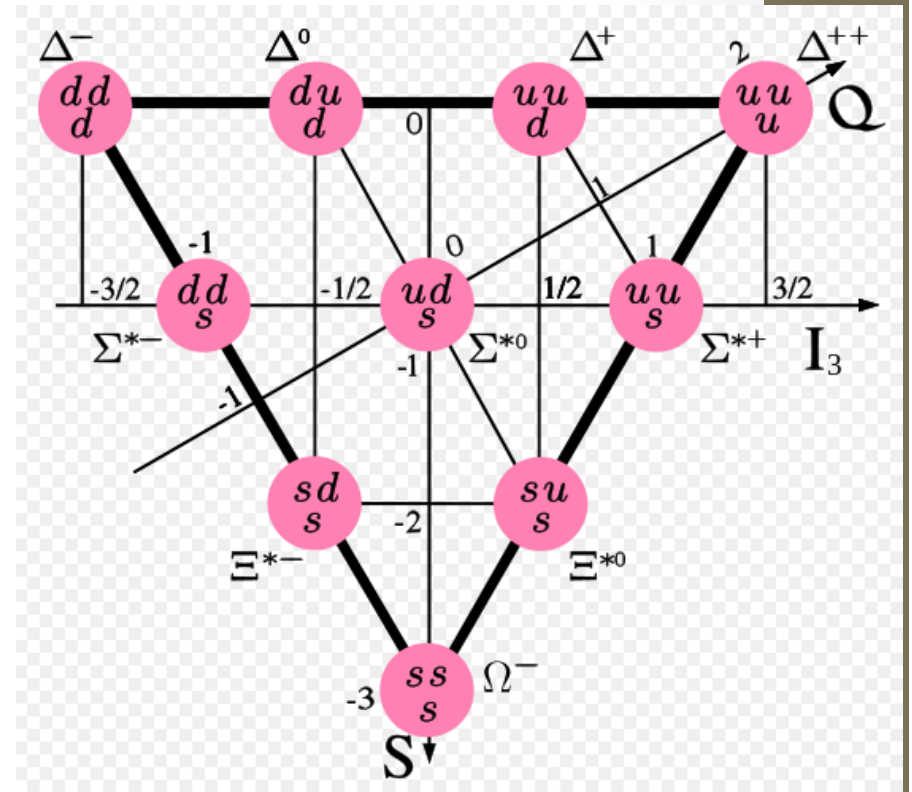
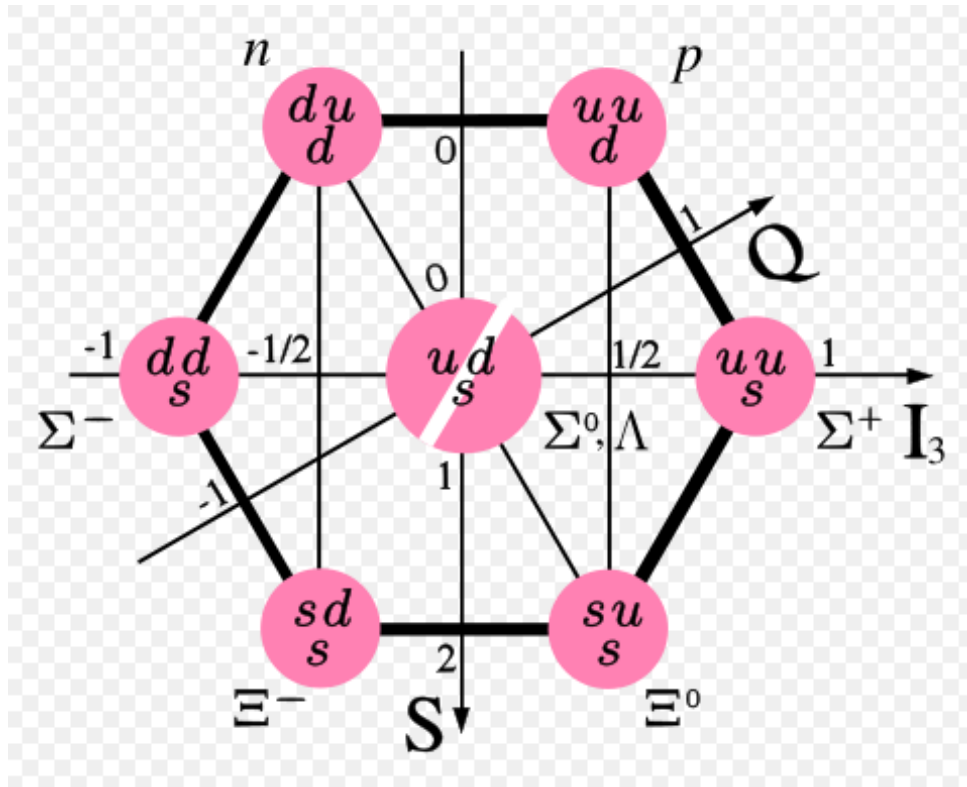
$p(uud) + n(udd) \rightarrow \Lambda^0(uds) + \Sigma^+(uu\bar{s}) + \pi^0(u, \bar{u}) \quad \textit{impossibile}$

$\pi^0(u\bar{u}) + p(uud) \rightarrow \Lambda^0(uds) + K^+(u\bar{s})$

Le regole di conservazione

Grandezza conservata	Sempre	Interazione forte	Interazione debole	Interazione elettromagnetica
Energia	X			
Carica elettrica	X			
Quantità di moto	X			
Momento angolare	X			
Sapore leptonic	X (con l'eccezione dell'oscillazione del neutrino)			
Sapore dei quark		X		X

Forze che reggono il processo	nucleari forti	nucleari deboli	elettromagnetiche
Produzione dei leptoni		X	
Produzione degli adroni	X		
Decadimento dei leptoni		X	
Decadimento degli adroni	X	X	
Produzione e decadimenti che coinvolgono fotoni e in certi casi anche elettroni			X



STANDARD MODEL OF ELEMENTARY PARTICLES

QUARKS	UP mass $2,3 \text{ MeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	CHARM mass $1,275 \text{ GeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	TOP mass $173,07 \text{ GeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	GLUON 0 0 1 	HIGGS BOSON mass $126 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 
	DOWN mass $4,8 \text{ MeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	STRANGE mass $95 \text{ MeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	BOTTOM mass $4,18 \text{ GeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	PHOTON 0 0 1 	GAUGE BOSONS
	ELECTRON mass $0,511 \text{ MeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ 	MUON mass $105,7 \text{ MeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ 	TAU mass $1,777 \text{ GeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ 	Z BOSON mass $91,2 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 	
	ELECTRON NEUTRINO mass $<2,2 \text{ eV}/c^2$ 0 spin $\frac{1}{2}$ 	MUON NEUTRINO mass $<0,17 \text{ MeV}/c^2$ 0 spin $\frac{1}{2}$ 	TAU NEUTRINO mass $<15,5 \text{ MeV}/c^2$ 0 spin $\frac{1}{2}$ 	W BOSON mass $80,4 \text{ GeV}/c^2$ ±1 1 	

confinamento dei quarks

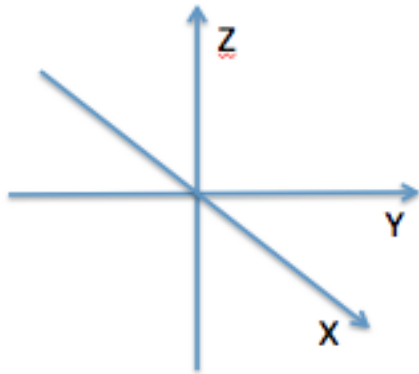


The GLUON 'stretches' and the force between the quarks increases with distance

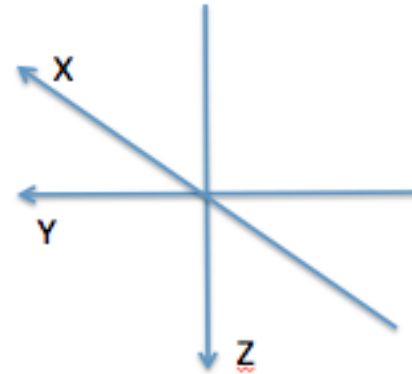
Simmetrie

La **coniugazione di carica** (simbolo **C**) è l'operazione che cambia una particella nella sua antiparticella : ad esempio se applico tale operazione ad un elettrone, questa lo trasforma in un elettrone positivo, cioè un positrone.

L'operazione di **parità** (simbolo **P**) consiste nell'inversione delle coordinate spaziali. E quindi capovolge l'immagine di un corpo e ne scambia il lato destro con il lato sinistro



Prima della operazione di *Parità*



Dopo l'applicazione dell'operazione *Parità*

Infine **l'inversione temporale** (simbolo **T**) fa andare in senso inverso lo sviluppo temporale di un'interazione – esempio urto elastico (2 palle di biliardo)

Il mondo subnucleare rimane invariato rispetto a queste tre operazioni di simmetria?
Considerando queste operazioni singolarmente, la risposta è no

Le operazioni di *Coniugazione di carica* e di *Parità* vengono violate in tutti i fenomeni fisici connessi con l'interazione debole. Però se le due operazioni vengono eseguite insieme la simmetria viene rispettata (**simmetria CP**). es. neutrino e spin sinistrorso

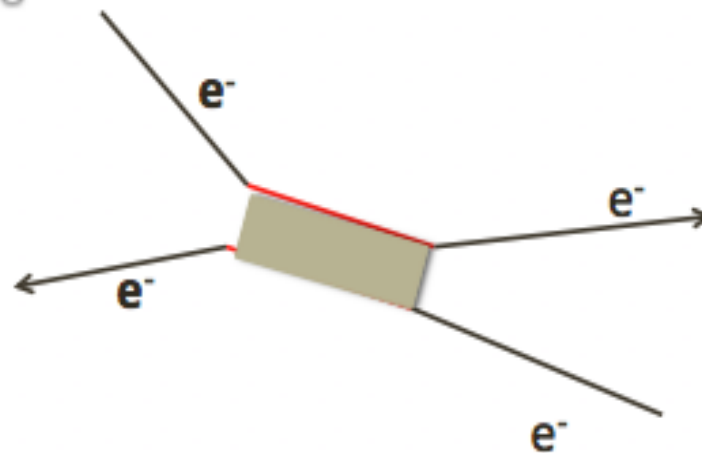
La **simmetria CP** è una simmetria quasi esatta delle leggi della materia nel senso che le sue violazioni sono molto rare. Le **violazioni di CP** sono state riscontrate in processi deboli, mentre non sono presenti nelle interazioni forti.

Problema asimmetria materia-antimateria

Simmetria CPT- se noi consideriamo l'immagine speculare più rotazione di mezzo angolo giro di tutti gli oggetti presenti nell'Universo, sostituiamo tutta la materia con antimateria e facciamo tornare indietro nel tempo l'evoluzione dell'Universo, otteniamo **un Universo che si comporta esattamente** come quello che conosciamo.

Ma qual'è il meccanismo che realmente crea l'interazione e ad esempio trasforma una particella in altre particelle? L'azione si esplica attraverso delle particelle che chiameremo **particelle-forza** per distinguerle dalle **particelle-materia**. Queste particelle-forza sono caratteristiche dei tre campi di forza agenti nella struttura elementare della materia.

campo \longrightarrow quanto del campo



asimmetria fra le tre interazioni fondamentali

teoria di Higgs- campo scalare- influenza solo sulle interazioni deboli. Sarebbe responsabile della massa grande dei bosoni