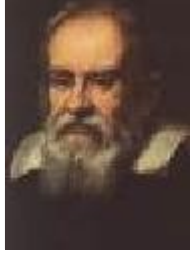


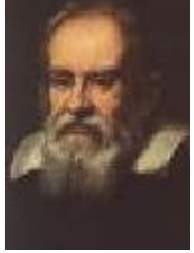
Introduzione alla Fisica delle Particelle Elementari:

Un viaggio nell'estremamente piccolo alla scoperta dei segreti della materia

- Un po' di storia
- Il Modello Standard: particelle e forze
- Uno sguardo verso il futuro

Treviso, 23 Febbraio 2010

P. Azzi - P. Checchia - M. Margoni



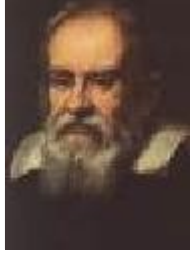
Introduzione

- La Fisica delle particelle affronta le domande fondamentali del pensiero umano:

- Da cosa e` costituito l'Universo?
- Quali sono le leggi che lo governano?
- In che "direzione" evolve?

- Quali sono i componenti ultimi della materia?
- Come "si muovono"?
- Che cosa "li muove"?

Non il "motivo", ma il "meccanismo"!

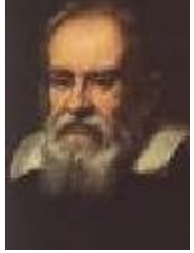


La Rivoluzione Greca

- Circa 2500 anni fa i filosofi greci cominciarono a chiedersi: "da cosa e' costituito il mondo?", "come mai tanti fenomeni presentano regolarita` comuni?"
  - Talete di Mileto (600 AC): acqua…
  - Anassimene: aria…
  - Pitagora: numeri…
  - Eraclito: fuoco…
  - Empedocle:
    - Quattro elementi: Acqua, aria, terra, fuoco
    - Uniti o separati da forze "morali" (amore e odio)…
  - Democrito (460 AC):
    - La materia e` costituita dalla combinazione di elementi fondamentali, invisibili e indivisibili: atomi.

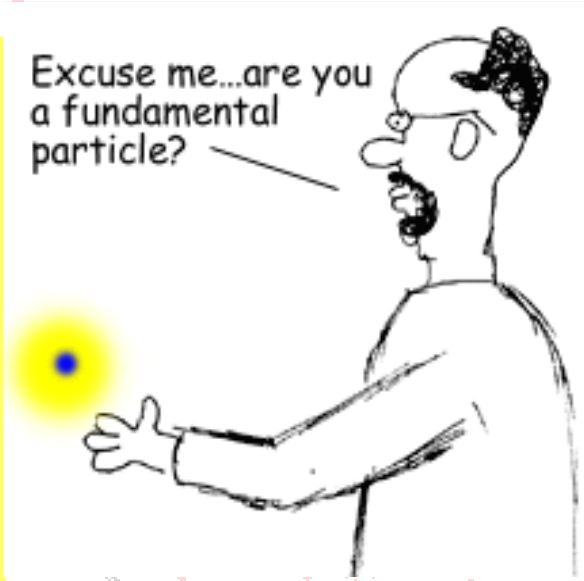
Si studia l'elementare per capire il macroscopico!

Di cosa è fatto il mondo?



- L'uomo è giunto a capire che la materia è in realtà un agglomerato di **pochi elementi fondamentali**, che costituiscono tutto l'Universo.
- La parola **"fondamentale"** è una parola chiave:
  - Per elementi fondamentali noi intendiamo oggetti che sono semplici e privi di struttura interna (cioe' non composti da qualcosa di più piccolo)

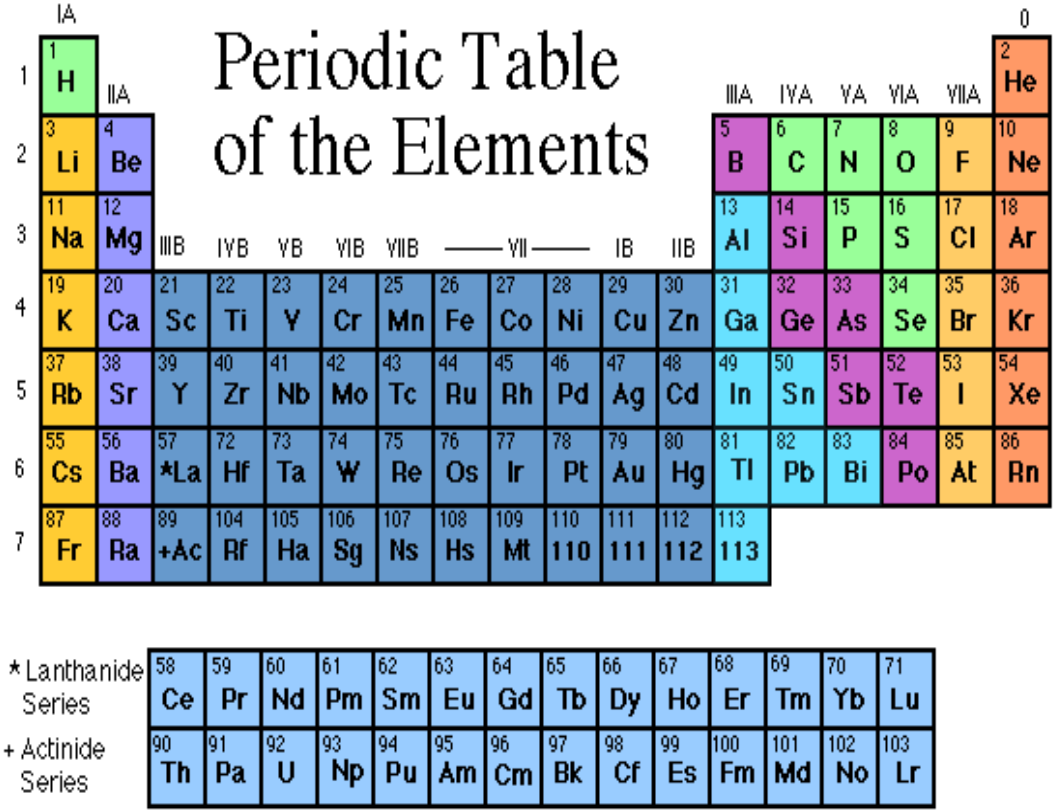
- Domande:
  - Esistono mattoni fondamentali?
  - Quali sono i mattoni fondamentali?
  - Come interagiscono?
  - Come determinano le proprieta' dell'Universo?
  - **La vera cosa "fondamentale" e` il Metodo Scientifico = limitare i preconcetti (da Galileo alle "blind analyses")!**



L'atomo è "fondamentale"?

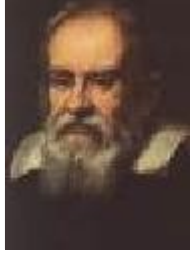
Alchimia → Chimica (178 - 1870)

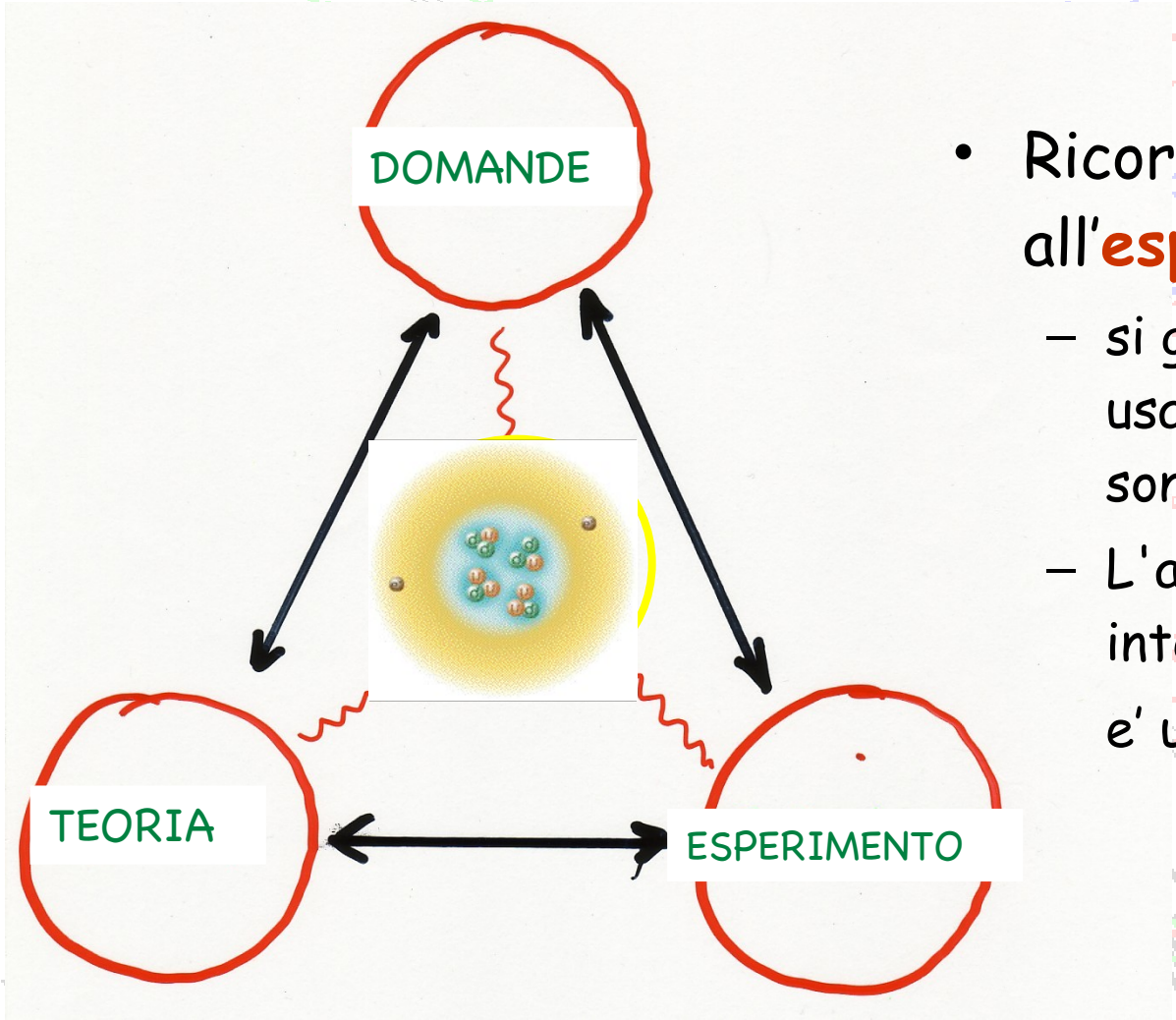
- Classificazione degli atomi in base alle proprieta' chimiche
- Evidenza di una "periodicita'" (Mendeleyev)
- Indicazioni di una struttura comune degli elementi (atomo: nucleoni, orbitali elettronici)



L'atomo è "fondamentale"?

NO!



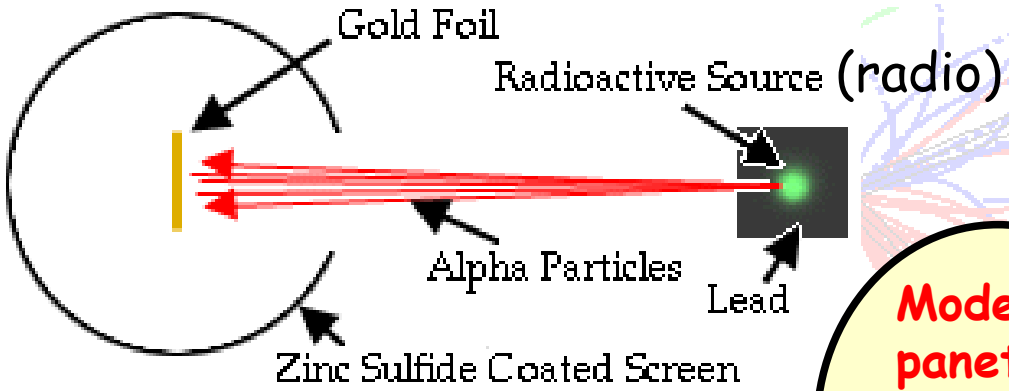


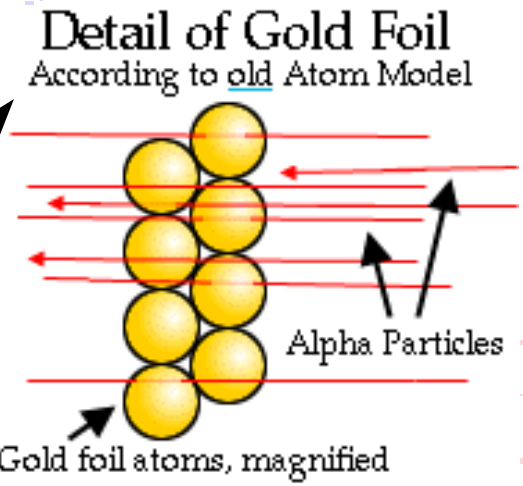
- Ricorriamo all'**esperimento**:
  - si guarda dentro l'atomo, usando particelle come sonde
  - L'atomo ha una struttura interna, e non e' una semplice "pallina".

Come si guarda dentro la materia?

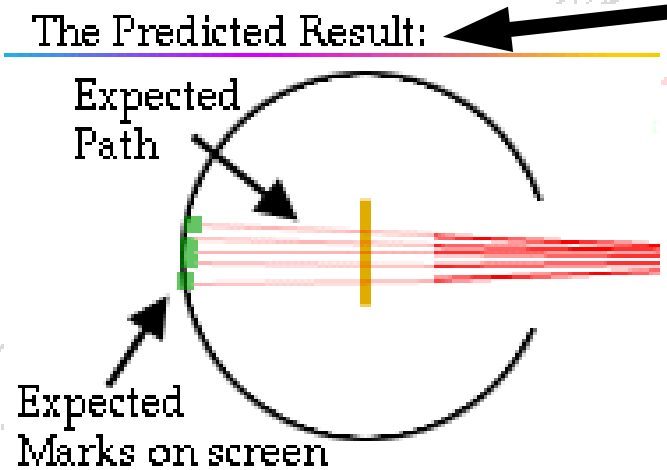
...Bombardandola con un proiettile adatto!

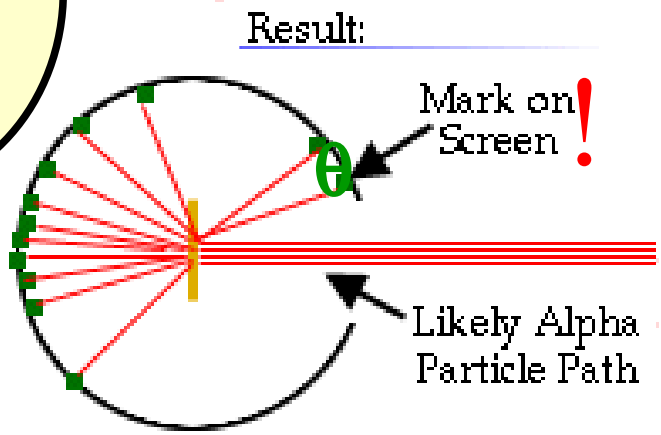
Rutherford, Geiger & Marsden (~1910) esperimento famoso: **particelle α** (nucleo di Elio da decadimento di nuclei con Z>82) su bersaglio (foglio d'oro).



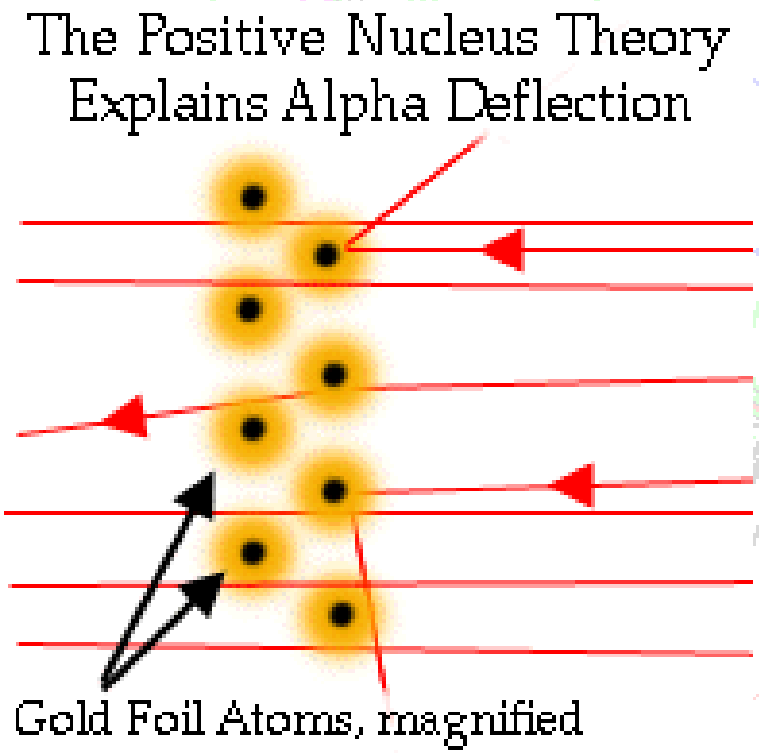


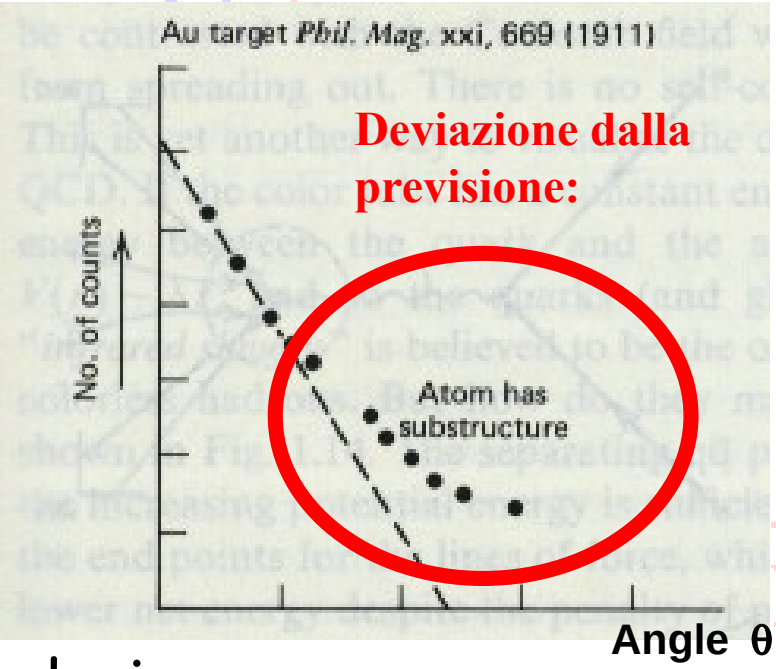
Modello a panettone di Thomson: sbagliato!





Modello atomico di Rutherford





Conclusione

Scattering Coulombiano:

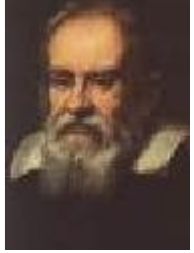
$$\sigma(\theta) = \left(\frac{z_\alpha z e^2}{2E}\right)^2 \frac{1}{4}\frac{1}{sin^4\frac{\theta}{2}}$$

L'atomo contiene un nucleo di carica positiva di dimensione <10 fm [1 fm = 10^{-15} m]

0.000000000000001 m

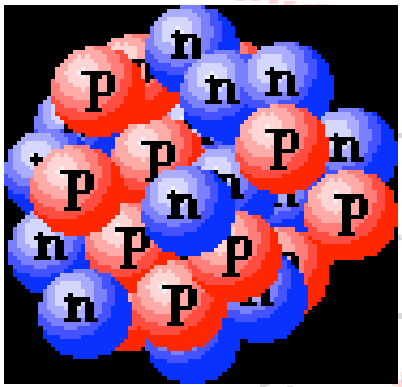
P. Azzi - P. Checchia - M. Margoni

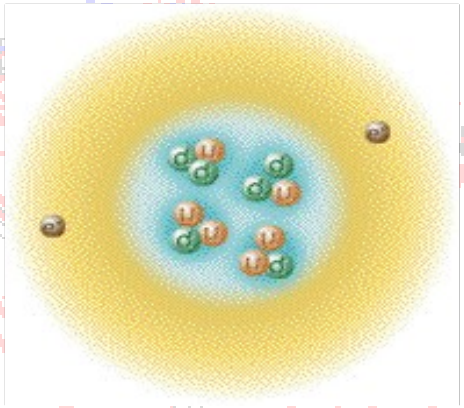
Il nucleo e' "fondamentale"?



NO!

- Il **nucleo** e' composto da protoni (carica elettrica positiva) e neutroni (privi di carica elettrica, ipotizzati da Rutherford)
- Anche i **protoni** e i **neutroni** (Chadwick 1932) hanno una struttura: sono composti da particelle fondamentali: i **quarks.**

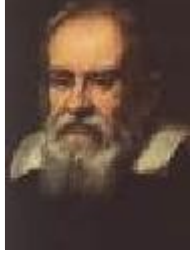




....Ma per capire cio` ci volle ancora del tempo e proiettili di maggiore energia delle particelle a...

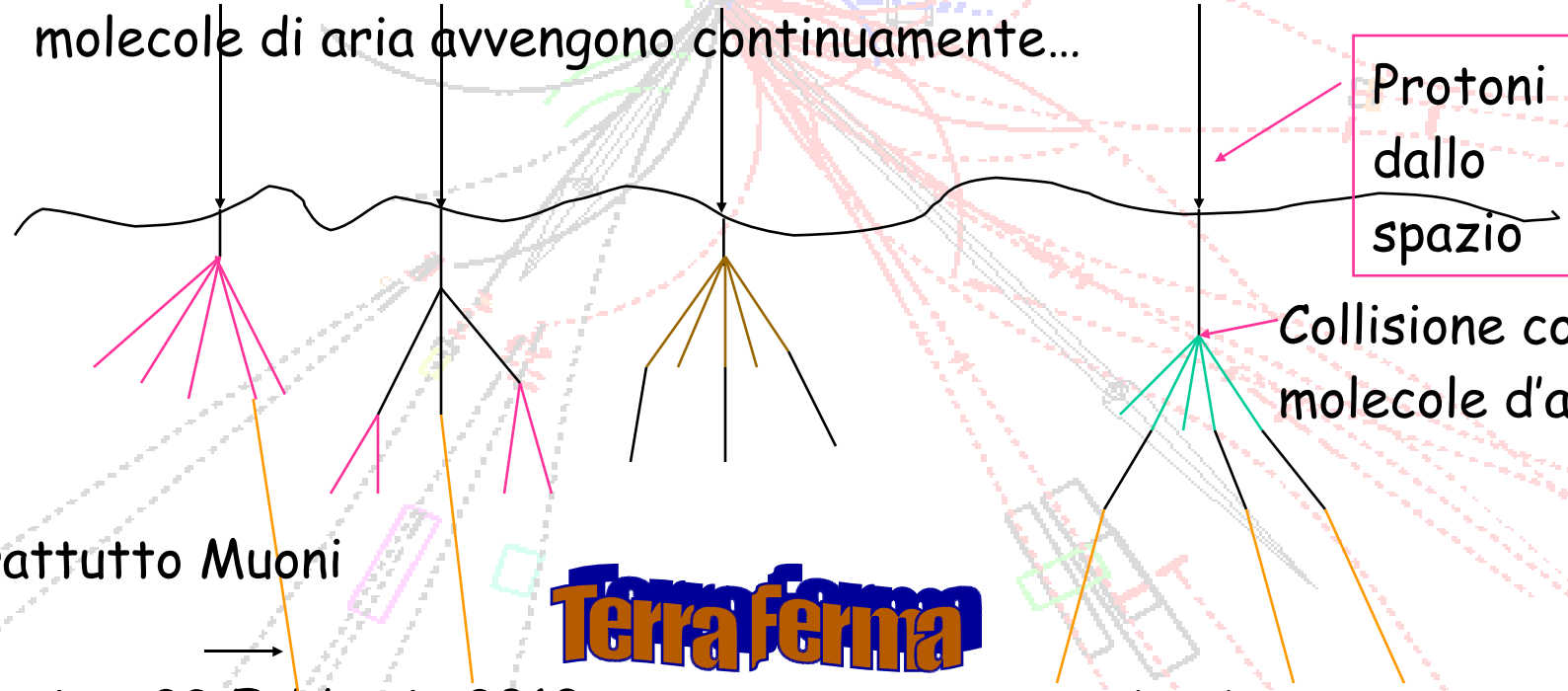
...Andiamo avanti con la storia...

Un'altra sorgente naturale di "proiettili"



- I fisici scoprirono ben presto che in natura vi era una copiosa sorgente di particelle di energia maggiore delle particelle α: *i **raggi cosmici***

I raggi cosmici sono particelle cariche di alta energia, soprattutto protoni, che provengono dallo spazio e arrivano fino alla superficie atmosferica. Collisioni fra raggi cosmici e molecole di aria avvengono continuamente…



Gli "acceleratori naturali" sono sufficienti?

NO!

- Lo studio delle interazioni dei raggi cosmici portò alla scoperta di un grande numero di nuove particelle:
  - 1931 - Il positone (e^+) (Anderson, Chadwick): deviazione opposta a e^- in campo magnetico;
  - 1936 - il muone (μ) (Anderson): deviazione intermedia tra elettrone e protone;
  - 1947 - Pioni, kaoni, iperoni (Powell,...): emulsioni fotografiche

PERO` :

La capacità di penetrare nei nuclei aumenta con l'energia: l'energia delle particelle alfa è bassa.

I raggi cosmici, anche quando molto energetici, non sono prevedibili: servono fasci di particelle ad alta energia e ripetibilità per studi sistematici.

Acceleratori

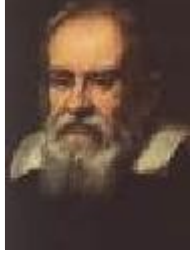
Nello stesso periodo Ernest Lawrence imparava a costruire acceleratori di particelle in laboratorio…

Ottenendo energia definita e intensità molto piu' grande rispetto ai raggi cosmici!

Negli acceleratori moderni le particelle cariche vengono accelerate da campi elettromagnetici variabili all'interno di cavita` risonanti.

Per comodità l'energia si puo' misurare in electron Volt :
1 eV = energia acquistata da un elettrone (carica $e = 1.6 \times 10^{-19}$ Coulomb) nel passaggio attraverso una d.d.p. $\Delta V = 1$ Volt.
$1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$

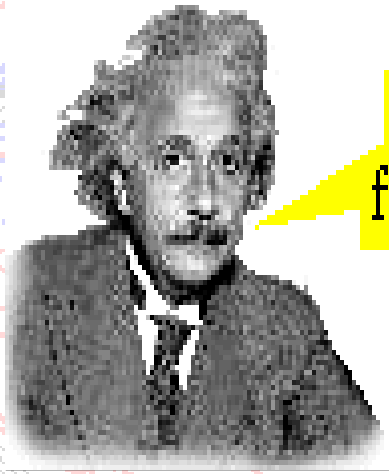
Acceleratori



Fattori determinanti:

Grande energia:

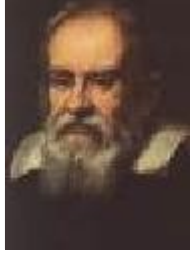
- Piu` voglio entrare nei dettagli del bersaglio piu` il proiettile deve avere "lunghezza d'onda" corta **($\lambda=h/mv$)**;
- Per produrre altre particelle sfruttando l'equivalenza di massa e energia **($E=mc^2$)**



Grande luminosita`:

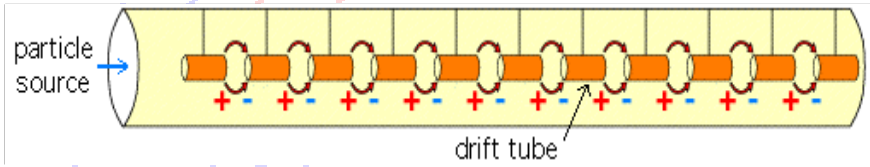
Il numero di urti al secondo con produzione di particelle ("eventi") dipende dalla probabilita` $\sigma$ che il fenomeno si manifesti e dalla luminosita` L dell'acceleratore (numero di particelle che si "incontrano" per unita` di tempo e di superficie)

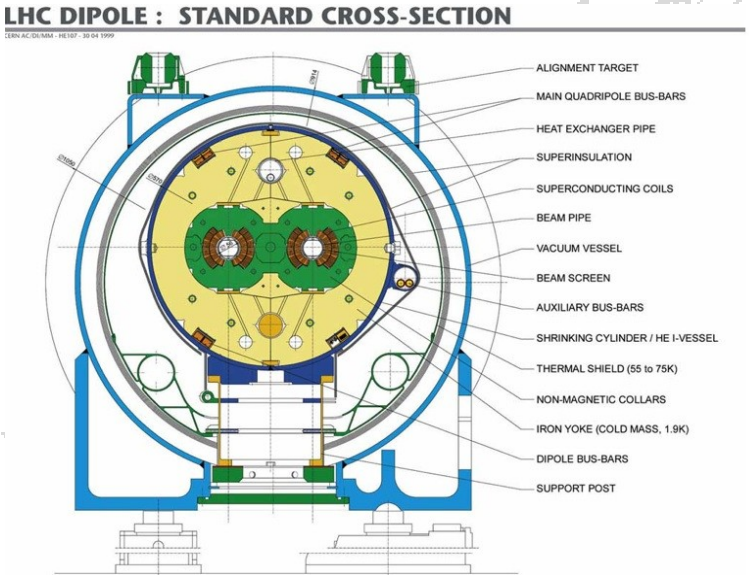
Acceleratori: lineari o circolari?

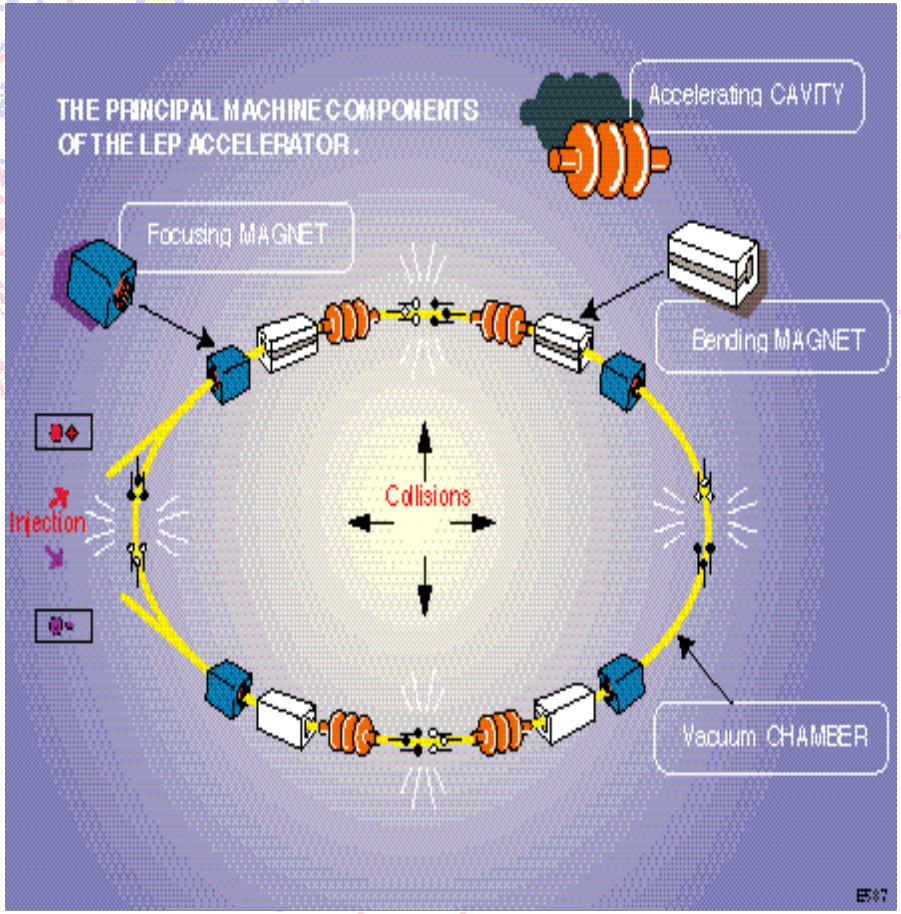


Lineari: l'energia dipende dalla lunghezza

Circolari: energia maggiore facendo passare piu`volte le particelle per lo stesso punto grazie a un campo magnetico (forza di Lorentz): **mv=0.3 B r**

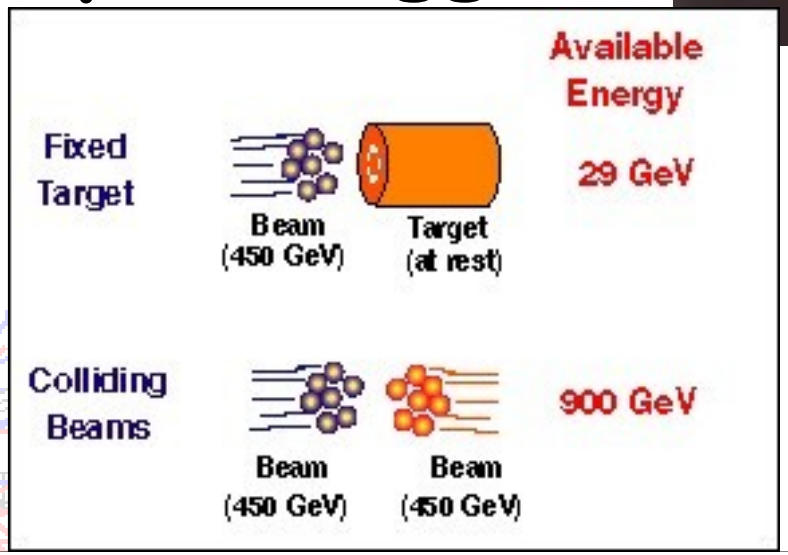




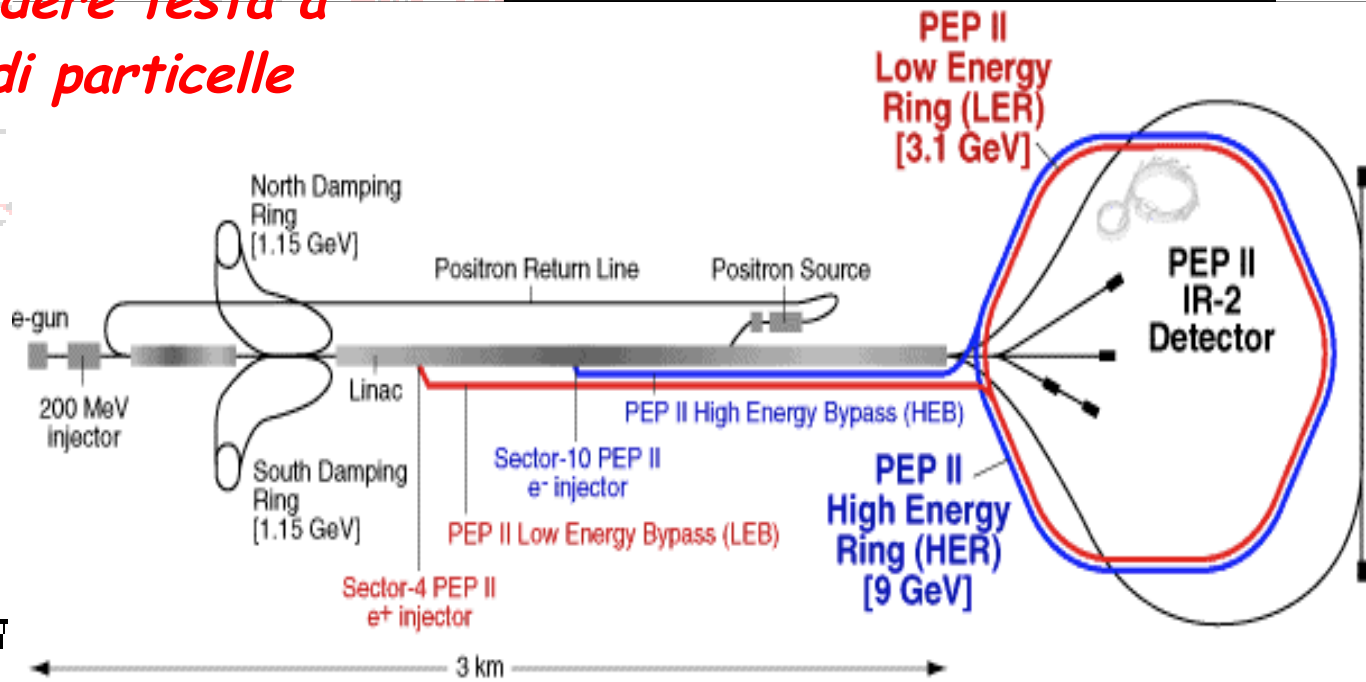


Servono energie sempre maggiori...

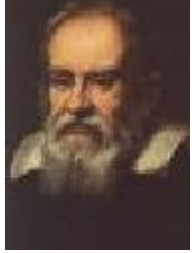
Facendo urtare una particella accelerata contro una ferma, una parte dell'energia disponibile viene sprecata perche` la seconda particella viene "trascinata via".



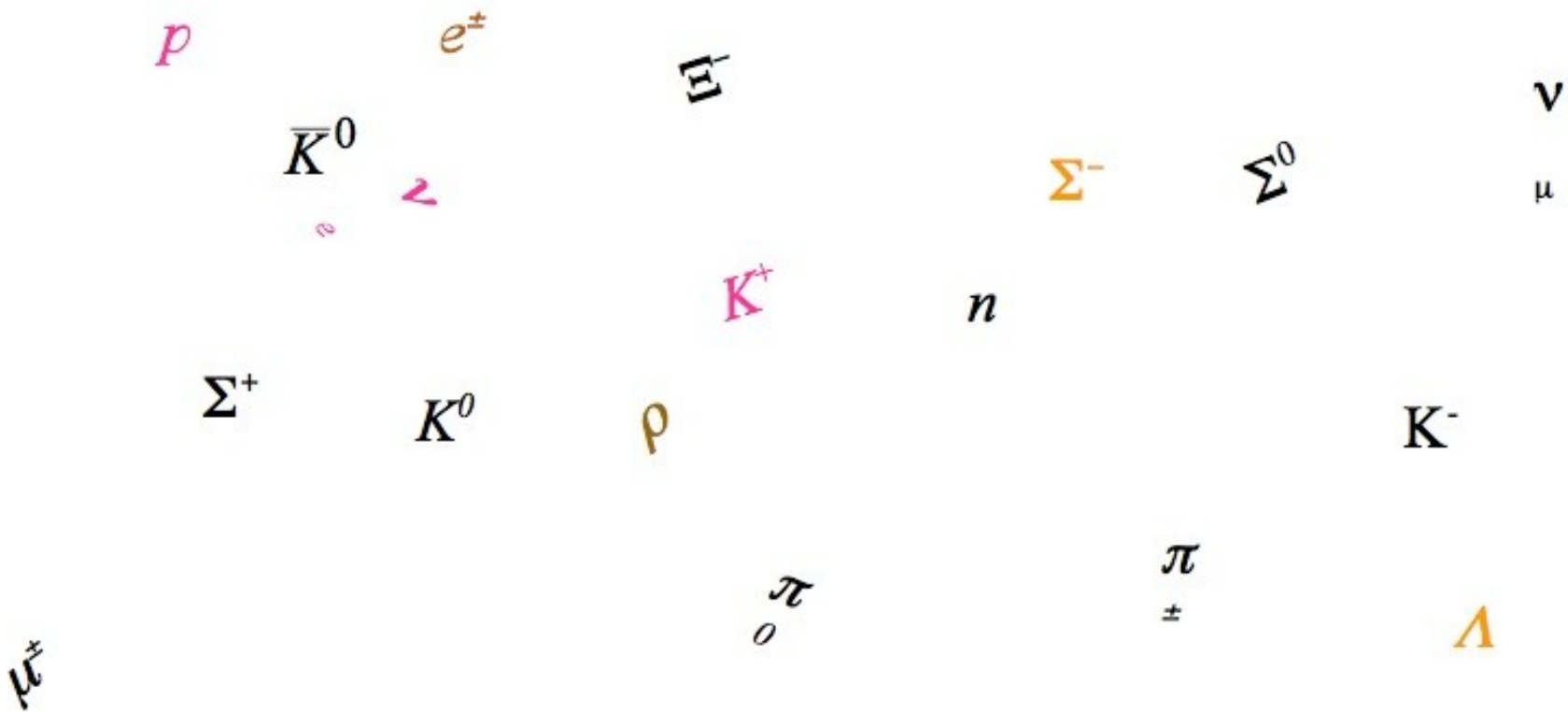
IDEA!: fare collidere testa a testa due fasci di particelle (difficile!!)



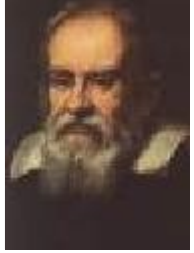
Dov'e' l'ordine?



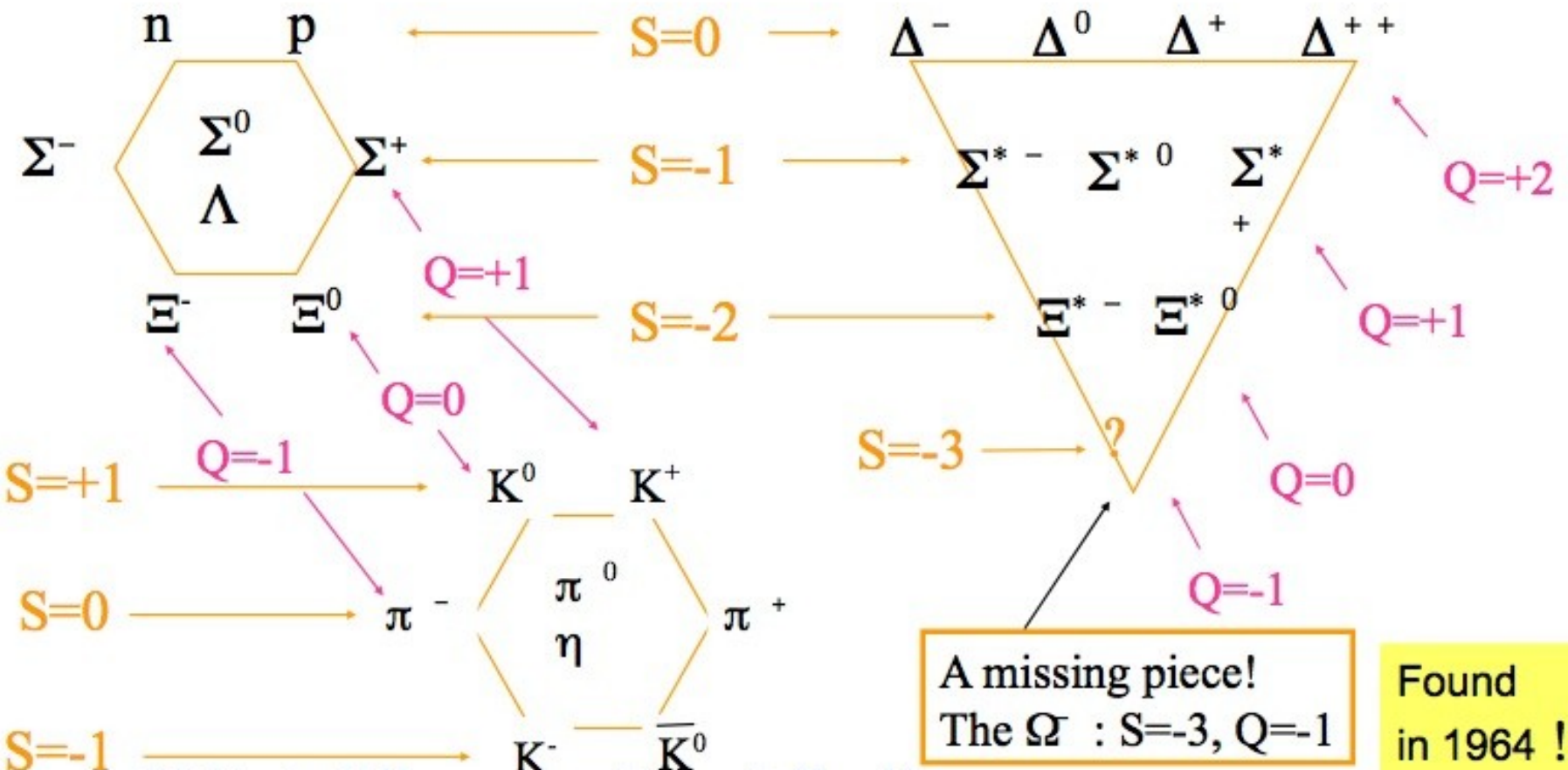
Con i nuovi acceleratori di particelle e nuovi rivelatori (camera a bolle) a disposizione i fisici delle particelle negli anni 50 si divertirono un mondo…



Un po' di ordine!



Nel 1961 Gell-Mann & Ne'eman ebbero per la fisica delle particelle lo stesso ruolo di Mendeleyev 100 anni prima con gli atomi "fondamentali"



Ordine ⇒ Costituenti fondamentali

- Proprio come l'ordine della tavola periodica era dovuto ai tre componenti fondamentali, cosi' Gell-Mann e Zweig proposero che tutti gli "adroni" fossero costituiti da tre oggetti che vennero chiamati "quarks"

UP Down Strange

I quark hanno cariche elettriche pari a 2/3 (u), -1/3(d), -1/3(s) della carica dell'elettrone

p	uud	Δ^{++}	uuu	K^+	$u\bar{s}$
n	udd	Δ^+	uud	K^0	$d\bar{s}$
π^+	$u\bar{d}$	Δ^0	udd	K^-	$s\bar{u}$
π^0	$u\bar{u}$	Δ^-	ddd	K^0	$s\bar{d}$
π^-	$d\bar{u}$	Ω^-	sss		

Un confronto dimensionale

Dimensioni (cm)

– 10^{20}

– 10^{10}

– 1

– 10^{-10}

– 10^{-20}

Cosmologia
Astronomia
Astrofisica

Geofisica

♦ Antropologia

Biologia, fisica dei fluidi,
Solidi, gas

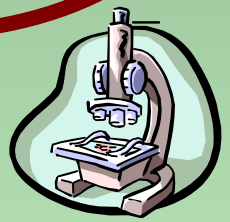
♦ Chimica

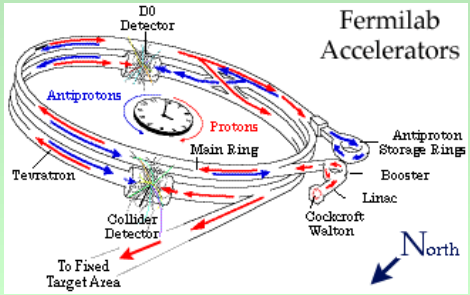
Fisica molecolare e atomica

♦ Fisica nucleare

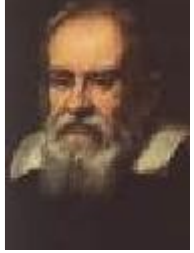
Fisica delle particelle elementari

Astroparticle: energia/materia oscura, SUSY…





Ricapitolando: Cosa significa "fondamentale"?



Il concetto di "fondamentale" si e` evoluto nel tempo:

Fisica atomica (~1900):

atomo ($r \sim 10^{-10}$ m)

Fisica nucleare (~1930):

nucleo ($r \sim 10^{-14}$m),

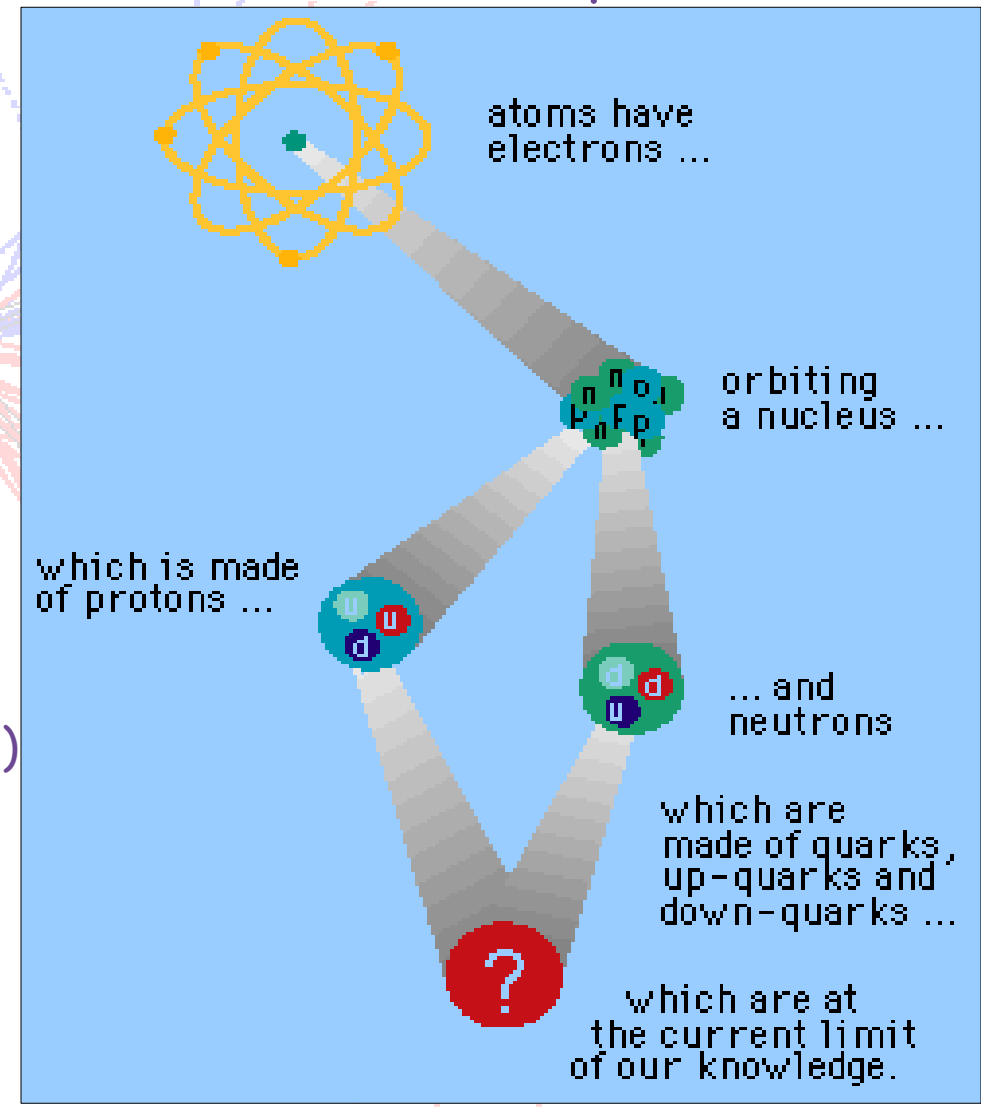
nucleone ($r \sim 10^{-15}$m)

Fisica delle particelle (oggi):

quarks (costituenti dei nucleoni)

e leptoni (elettrone) ($r \sim 10^{-18}$m)

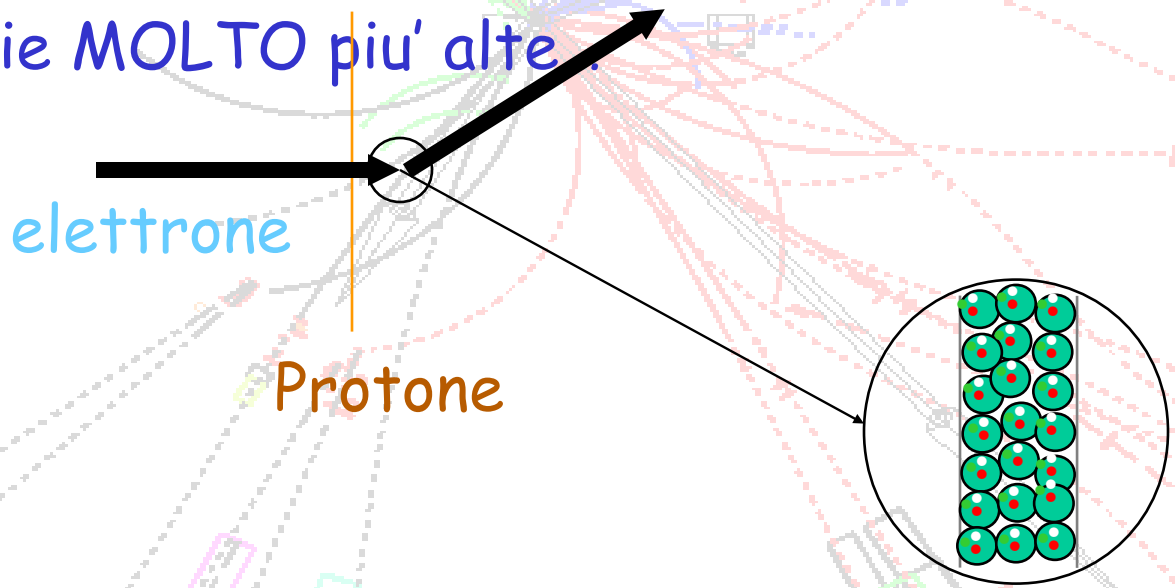
... e poi?



Treviso, 23 Febbraio 2010

Dove sono i quarks?

- Questa descrizione e' molto interessante, ma i quark per ora sono entita' matematiche... (1974: J/ψ, 1977: Y, 1995: top)
  - **L'esperimento confermera' la loro esistenza!!!**
- Proviamo a ripetere l'esperimento di Rutherford ad energie MOLTO piu' alte.



Si dimostra che il protone e' costituito da altri oggetti piu' fondamentali!

Standard Model of

FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2

Flavor	Mass GeV/c^2	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1\times10^{-8}$	0
e electron	0.000511	–1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	–1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	–1

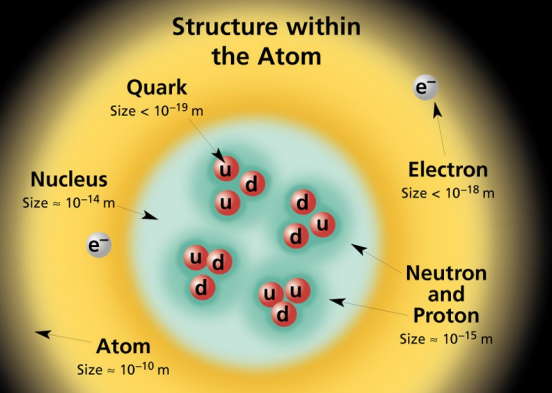
Quarks spin = 1/2

Flavor	Approx. Mass GeV/c^2	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	–1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	–1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	–1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of ħ, which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 6.58\times10^{-25}$ GeV s $= 1.05\times10^{-34}$ J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is 1.60×10^{-19} coulombs.

The **energy** unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. **Masses** are given in GeV/c^2 (remember $E = mc^2$), where 1 GeV = 10^9 eV = 1.60×10^{-10} joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c^2 = 1.67×10^{-27} kg.



BOSONS

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

Unified Electroweak spin = 1

Name	Mass GeV/c^2	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	–1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1

Name	Mass GeV/c^2	Electric charge
g gluon	0	0

Color Charge
Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and ***W*** and ***Z*** bosons have no strong interactions and hence no color charge.

Quarks Confined in Mesons and Baryons
One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called **hadrons**. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: **mesons** $q\bar{q}$ and **baryons** qqq.

Residual Strong Interaction
The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Property \ Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic (Electroweak)	Strong: Fundamental	Strong: 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	γ	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at: 10^{-18} m	10^{-41}	0.8	1	25	Not applicable to quarks
Strength relative to electromag for two u quarks at: 3×10^{-17} m	10^{-41}	10^{-4}	1	60	
for two protons in nucleus	10^{-36}	10^{-7}	1	Not applicable to hadrons	20

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryons are fermionic hadrons.
There are about 120 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	–1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	–1	1.672	3/2

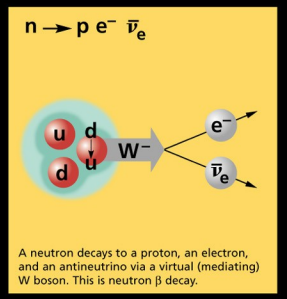
Mesons $q\bar{q}$

Mesons are bosonic hadrons.
There are about 140 types of mesons.

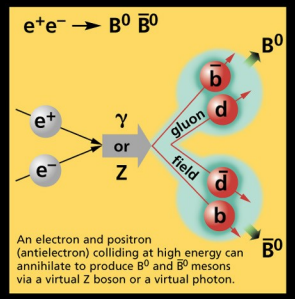
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	–1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Matter and Antimatter
For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or – charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0, γ, and $\eta_c = c\bar{c}$, but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

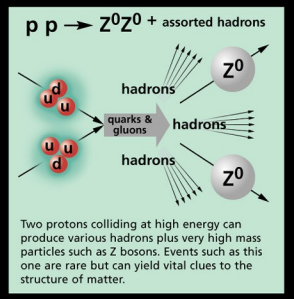
Figures
These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are ***not*** exact and have ***no*** meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



A neutron decays to a proton, an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W boson. This is neutron β decay.



An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce B^0 and $\bar{B}^0$ mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.



Two protons colliding at high energy can produce various hadrons plus very high mass particles such as Z bosons. Events such as this one are rare but can yield vital clues to the structure of matter.

The Particle Adventure
Visit the award-winning web feature *The Particle Adventure* at
http://ParticleAdventure.org

This chart has been made possible by the generous support of:
U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
Stanford Linear Accelerator Center
American Physical Society, Division of Particles and Fields
BURLE INDUSTRIES, INC.

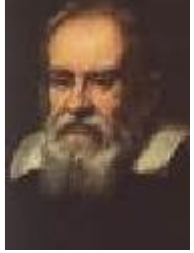
©2000 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

http://CPEPweb.org

Il modello standard

- Nel Modello Standard esistono due generi di particelle:
  - Particelle materiali: il Modello Standard sostiene che la maggior parte delle particelle materiali finora conosciute è composta di particelle più fondamentali (quark). C'è anche un'altra classe di particelle materiali fondamentali, i leptoni (un esempio è l'elettrone).
  - Particelle mediatrici di forza: Ogni tipo di interazione fondamentale agisce "mediante" una particella mediatrice di forza (un esempio è il fotone).

Una nuova teoria

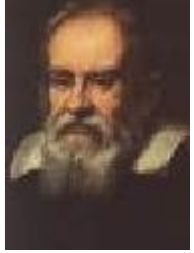


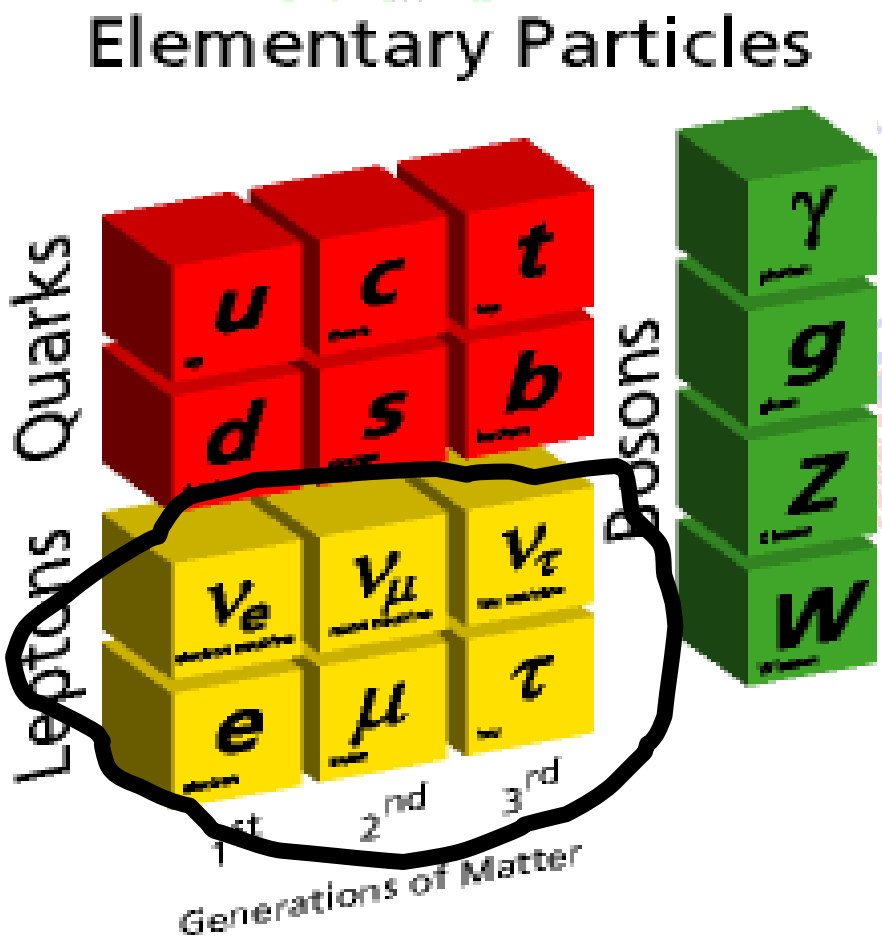
- I fisici hanno elaborato una teoria, chiamata Modello Standard che vuole descrivere:
  - tutta la materia
  - tutte le forze dell'universo (escludendo per ora la gravità)

- La sua bellezza sta nella capacità di spiegare centinaia di particelle e interazioni complesse con "poche" particelle e interazioni fondamentali

Semplicita'

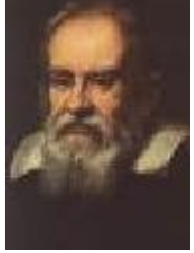
I leptoni



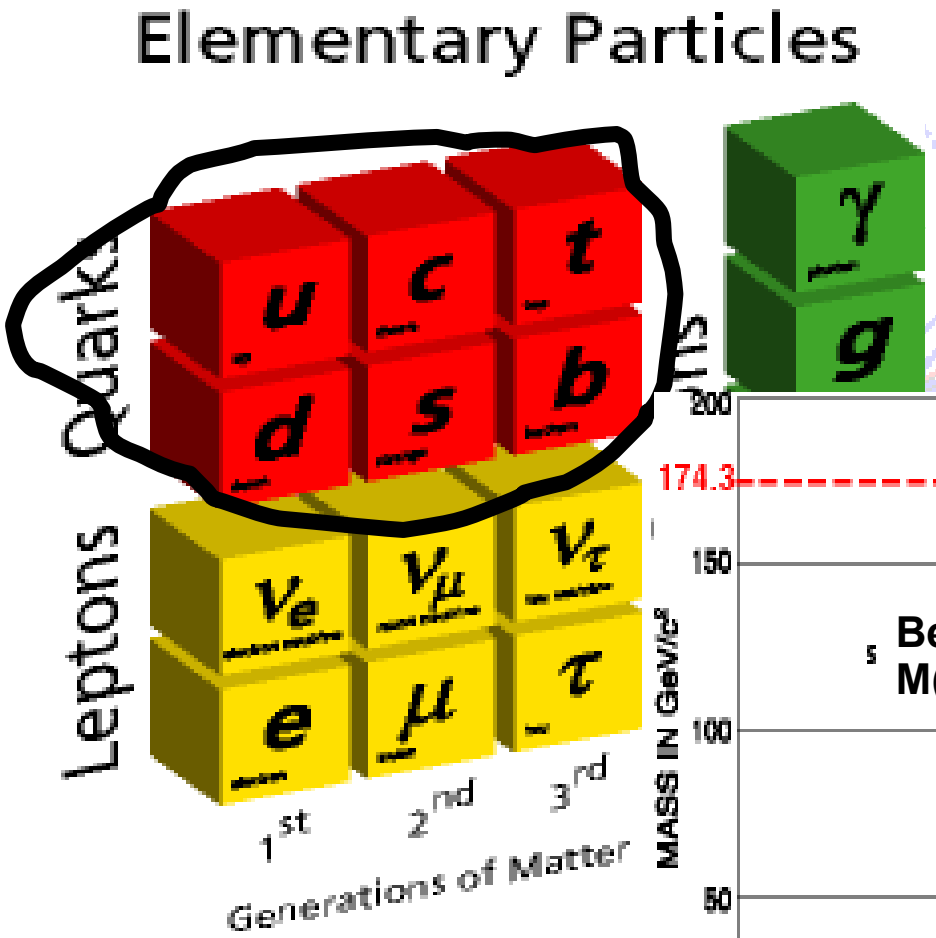


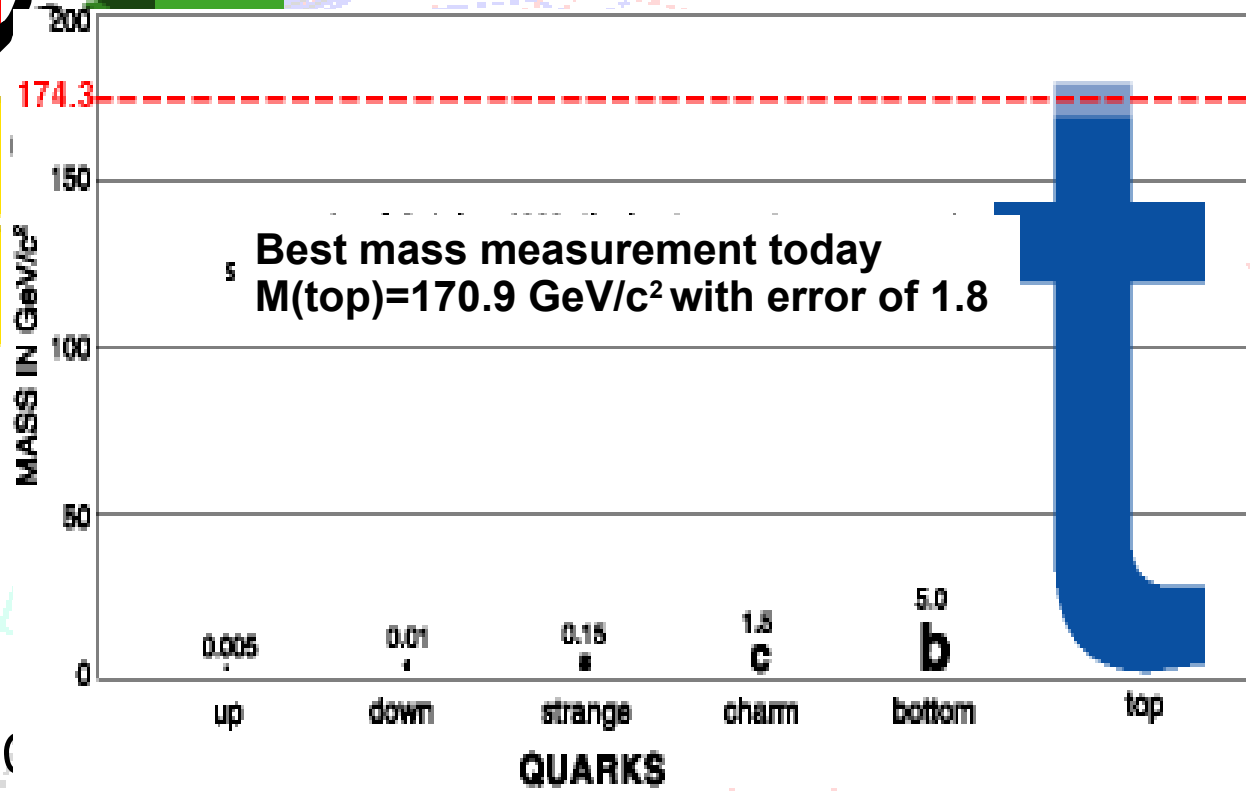
- I leptoni sono sei:
  - tre hanno carica elettrica (negativa)
  - tre non hanno carica elettrica
- Il leptone carico più conosciuto è l'elettrone (e). Gli altri due leptoni carichi sono il muone (μ) e il tau (τ)
  - Muone e tau sono repliche dell'elettone con massa piu' grande
- I leptoni neutri si chiamano neutrini:
  - c'e' un neutrino corrispondente a ogni leptone carico
  - hanno massa molto piccola (ma non nulla)

I quarks

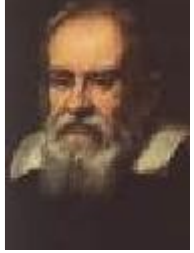


- Ci sono 5 ordini di grandezza fra la massa del quark piu' leggero (up) e quello piu' pesante(top)!

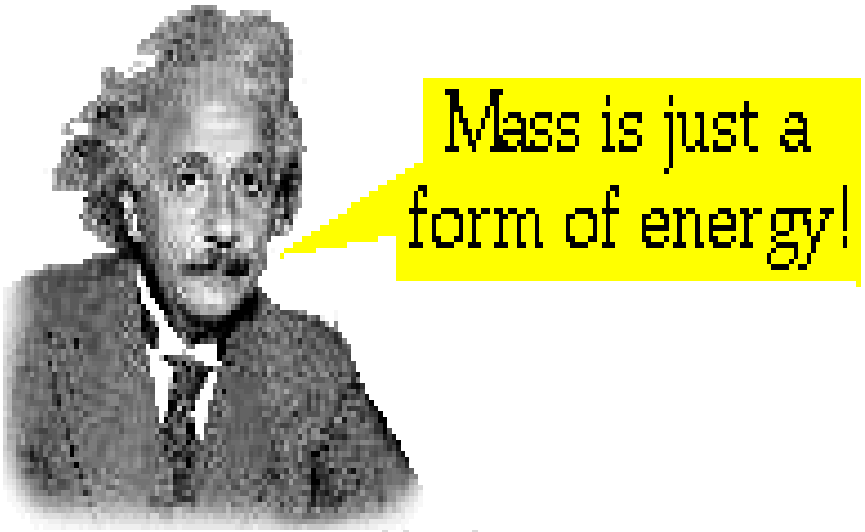




Antimateria



- Per ogni particella (**materia**) c'è la corrispondente antiparticella (**antimateria**).
  - Un'antiparticella è identica alla sua particella sotto ogni aspetto, tranne che per la carica, che è opposta es.: elettrone e positone (ipotizzato da Dirac, scoperto da Anderson e Chadwick nei raggi cosmici)
- Quando una particella e la sua antiparticella si incontrano, si annichilano e generano energia. Questa energia può dar vita a particelle, mediatrici di forza, come fotoni, bosoni Z, o gluoni.

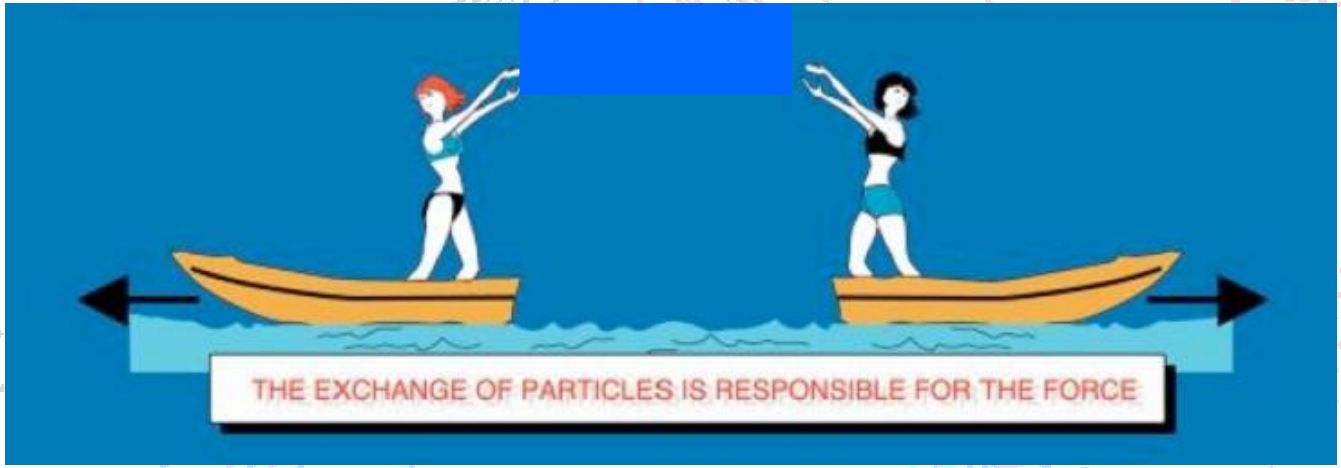


Adroni

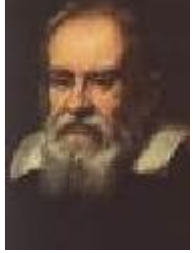
- I singoli quarks:
  - hanno cariche elettriche frazionarie
  - non sono mai stati osservati direttamente
- Si riuniscono in gruppi in particelle dette "adroni":
  - Le combinazioni dei quark possibili sono tali che la somma totale delle cariche elettriche sia un numero intero: due ($q\bar{q}$=mesoni) o tre (qqq=barioni)
- *Ma c'è molto di più…per capirlo bisogna introdurre le interazioni fra i quark*

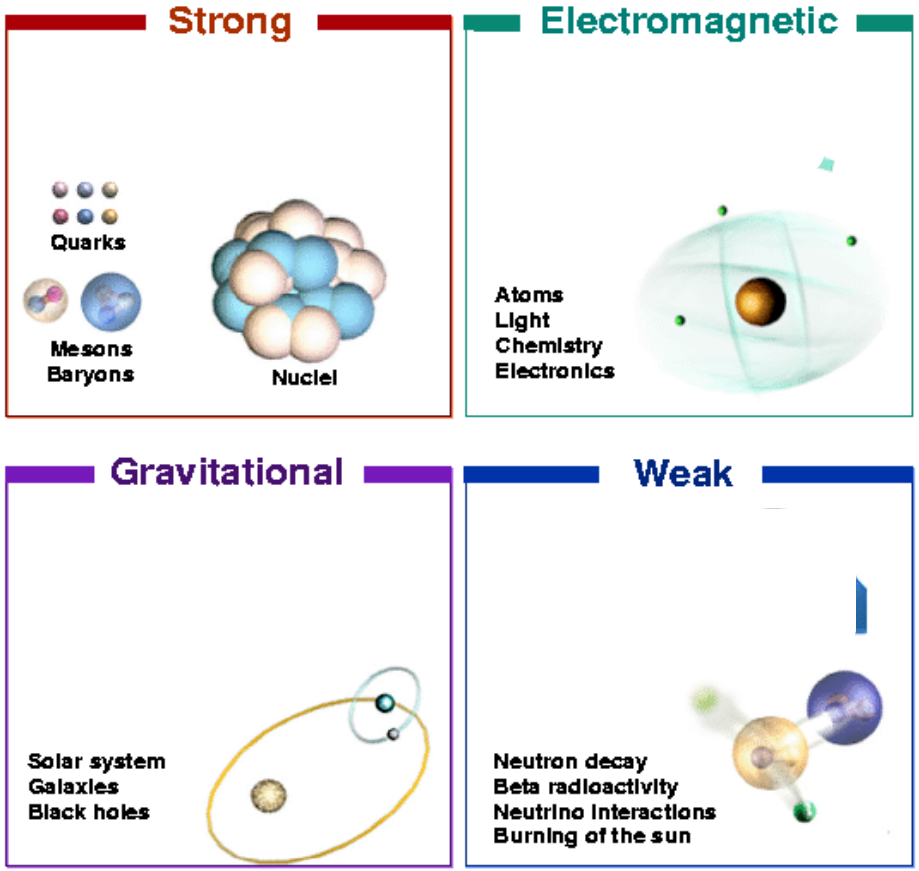
Effetti non visibili

- Per risalire alla natura delle forze bisogna studiare le interazioni fra particelle materiali
- Consideriamo la vignetta seguente:
  - Ie ragazze afferrano un pallone invisibile e vengono spinte indietro dall'impatto.
  - il pallone non e' visibile, ma e' visibile l'effetto della sua presenza



Particelle mediatrici dell'interazione





The particle drawings are simple artistic representations

Tutte le interazioni (o forze) che riguardano le particelle materiali sono dovute ad uno scambio di **mediatori di forza**.

- Riprendendo l'immagine di prima:
  - i giocatori == particelle materiali
  - pallone == particella mediatrice di forza.

Quelle che noi chiamiamo comunemente "forze" sono gli effetti dei mediatori di forza sulle particelle materiali.

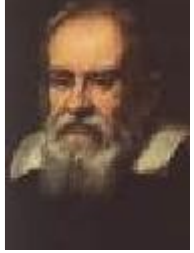
Ci sono quattro interazioni(forze) tra le particelle:

- Gravita'
- ElettroMagnetica
- Forte
- Debole

Caratteristiche delle interazioni

Le interazioni si differenziano per : particella che funge da propagatore, intensita`, sorgente, raggio d'azione e tipo di particelle interessate:

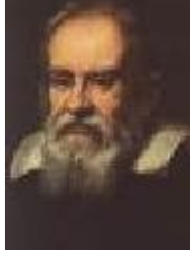
Interazione	Sorgente	Propagatore	Intensita` relativa	Raggio
Gravitazionale	m	Gravitone	10^{-38}	∞
Nucl. Debole	q debole	W, Z^0	10^{-5}	10^{-15}m
Elettromagnetica	q	Fotone	10^{-2}	∞
Nucl. Forte	"colore"	Gluone	1	10^{-15}m



Gravità

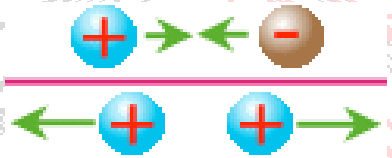
- La forza gravitazionale è probabilmente la forza che ci è più familiare:
- non è compresa nel Modello Standard perché i suoi effetti sono piccolissimi nei processi tra le particelle
-

- Anche se la gravità agisce su ogni cosa, è una forza molto debole qualora le masse in gioco siano piccole
- La particella mediatrice di forza per la gravità si chiama gravitone: la sua esistenza è prevista ma non è ancora stata osservata



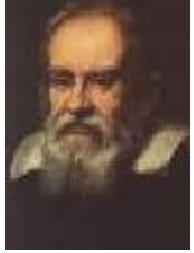
Elettromagnetica

- Molte delle forze che sperimentiamo ogni giorno sono dovute alle interazioni elettromagnetiche nella materia: tengono assieme gli atomi e i materiali solidi
  - la carica elettrica (positiva/negativa) e il magnetismo (nord/sud) sono diverse facce di una stessa interazione, **l'elettromagnetismo (prima unificazione dovuta a Maxwell, 1873)**
  - cariche opposte, per esempio un protone e un elettrone, si attirano, mentre particelle con la stessa carica si respingono.



- La particella mediatrice dell'interazione elettromagnetica si chiama fotone.
  - In base alla loro energia, i fotoni sono distinti come: raggi gamma, raggi x, luce (visibile), microonde, onde radio, etc.

Interazione Forte

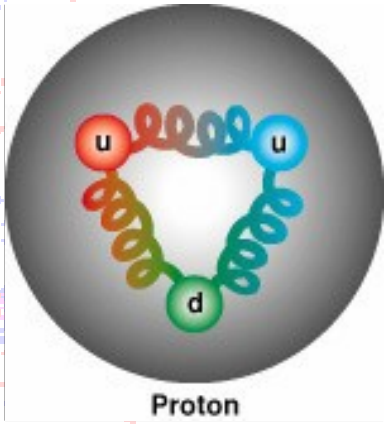


Perche' la repulsione elettromagnetica fra i protoni del nucleo non fa esplodere l'atomo?

- Alcune particelle (i quark e i gluoni) hanno una carica di un nuovo tipo: è stata chiamata **carica di colore**.
  - Ogni quark puo' avere uno dei tre colori: rosso, blu o verde
- Tra particelle dotate di carica di colore l'interazione è molto forte, tanto da meritarsi il nome di **interazione forte**.
  - La sua particella mediatrice è stata chiamata **gluone**: perche' "incolla" i quark fra di loro

Il "confinamento" dei quark

- Le particelle con carica di colore (come i quark) non si possono trovare isolate ma solo in gruppi di colore "neutro" (adroni)

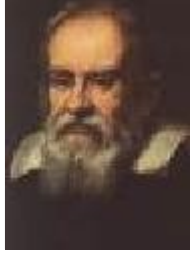


La carica di colore si conserva sempre.

- quando un quark emette o assorbe un gluone, il colore del quark deve cambiare, per conservare la carica di colore

Il quark rosso diventa blu e emette un gluone rosso-antiblu

Mai quark liberi!!!



- La forza di colore diminuisce a piccole distanze e cresce al crescere delle distanze: non posso "liberare I quarks"!

  Per questo e` stato difficile scoprirli!

- **Se un adrone viene rotto,**

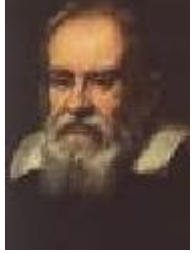
  i quarks che lo compongono

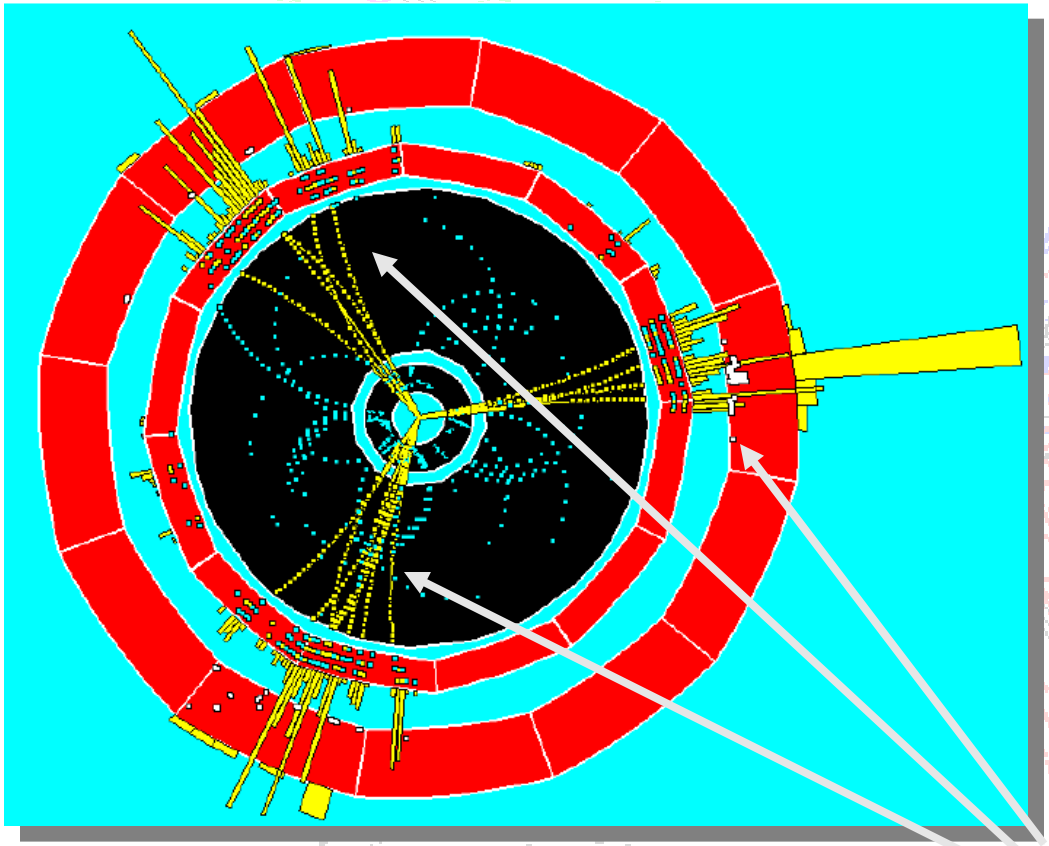
  frammentano subito in nuovi adroni:

Energia del campo di colore cresce…

$E=mc^2$ sufficiente per creare un'altra coppia quark-antiquark

Come si "vedono" i quark



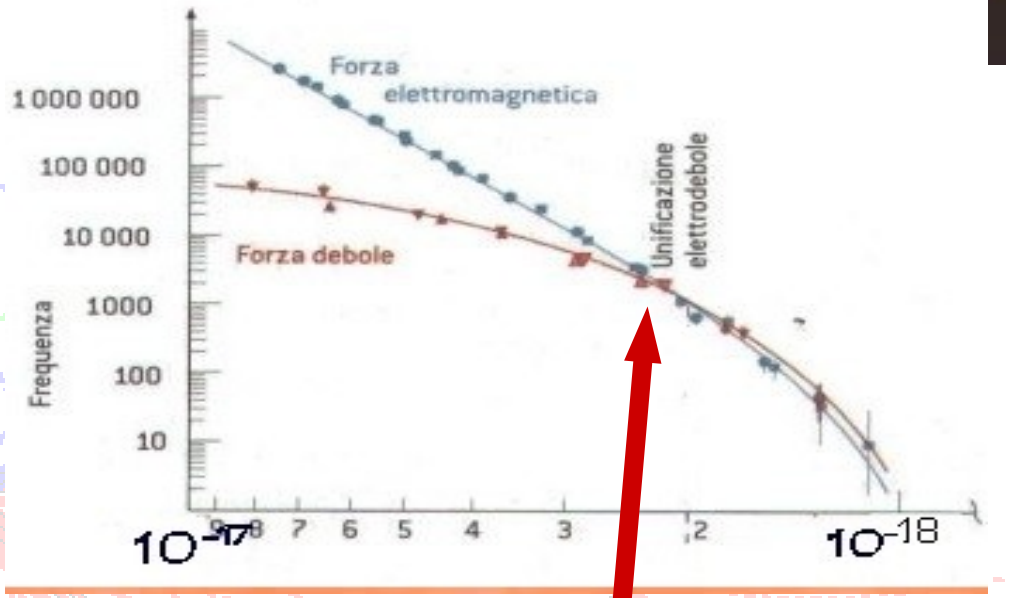


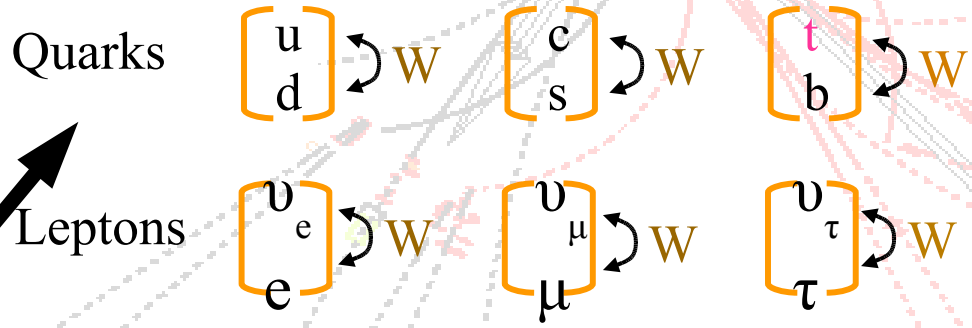
Negli anni '70, nelle collisioni elettrone-positrone ad alta energia, si osservano dei "getti" di energia, associabili alla presenza di quark e gluoni dovuti dalla forza nucleare forte che si origina dalle interazioni tra quark. E' la manifestazione piu' spettacolare del "confinamento"

I gluoni e i quark si materializzano in "getti"(ing: jet) di particelle

Interazione Debole

- L'interazione debole e' responsabile del fatto che tutti i quark o leptoni decadono in particelle di massa minore
- I mediatori dell'interazione debole sono le particelle: **W^+, W^- e Z^0**

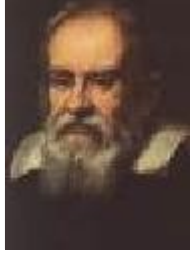




Cambiamenti di tipo (detto "sapore") governati dall'interazione debole

Nel Modello Standard l'interazione Debole e' unificata con quella Elettromagnetica: a piccole distanze ($r \sim 10^{-18}$ m): stessa intensita'

L'unificazione "ElettroDebole"



- Con l'introduzione della teoria elettrodebole furono necessarie tre nuove particelle: i mediatori dell'interazione W^+, W^- and Z^0.
- Le loro masse erano previste dalla teoria stessa:
  - $M_W c^2 \sim 80$ GeV
  - $M_Z c^2 \sim 90$ GeV

Circa la massa del bromo(z=35) o dello Zirconio(z=40)!!!
…Pesantucce per essere "elementari"…

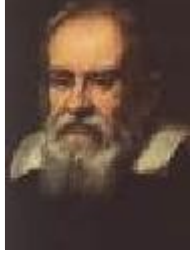
La W e la Z hanno una vita media brevissima, ma possono essere identificate tramite i loro prodotti di decadimento, anche essi predetti dalla teoria elettrodebole:

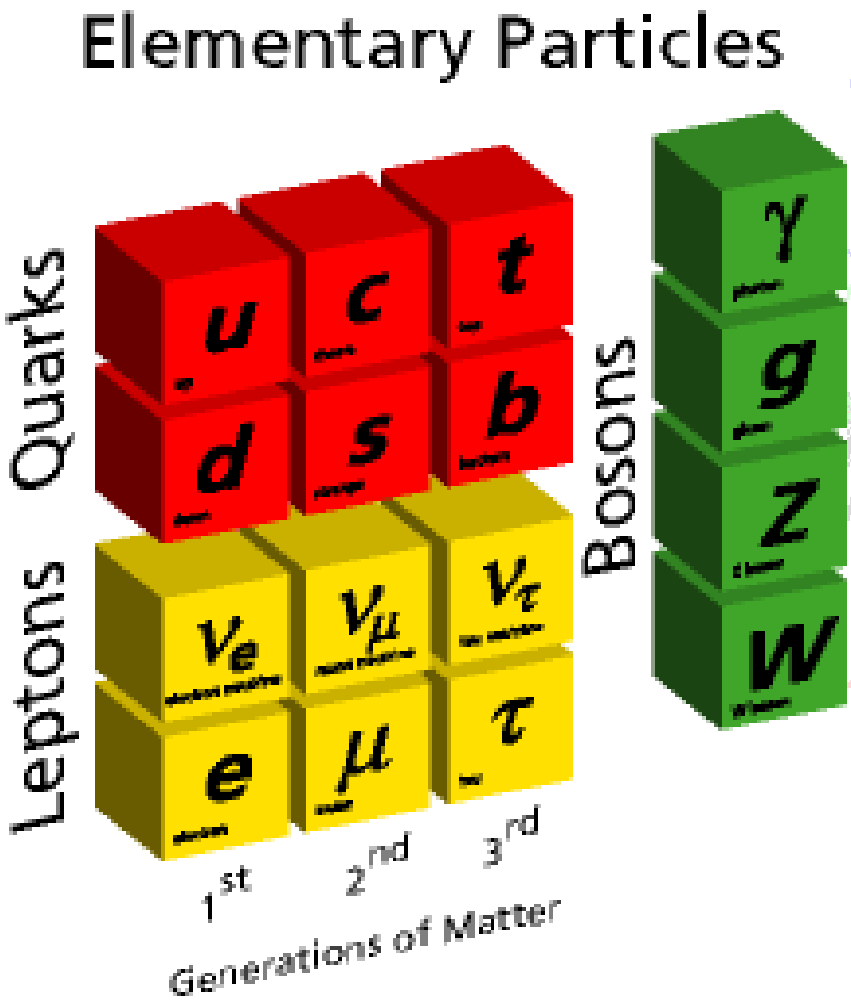
Scoperte nel 1983 (Nobel a Rubbia)!
..e con la corretta massa

$W \rightarrow$ $e\nu_e$, $\mu\nu_\mu$, ud, cs, $tb(?)$

$Z \rightarrow$ e^+e^-, $\mu^+\mu^-$, $\tau^+\tau^-$, qq

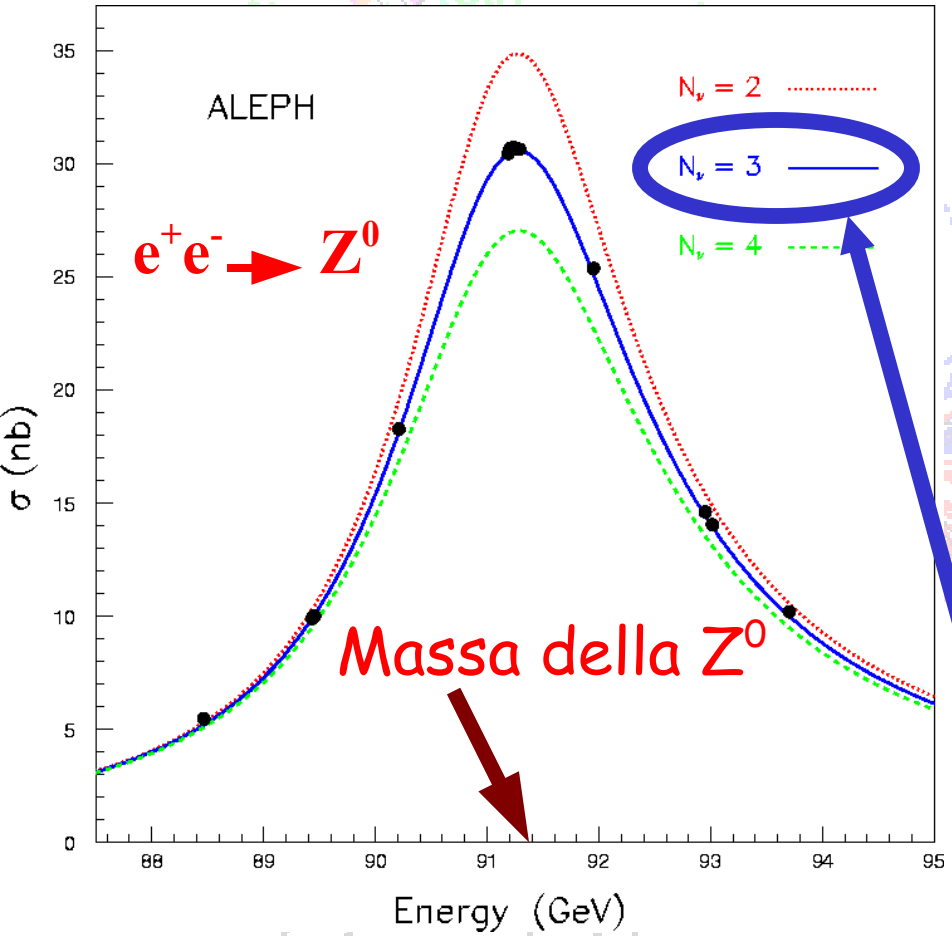
Le generazioni della materia





- Quarks e leptoni organizzati in tre "famiglie":
  - tutta la materia visibile nell'universo e' costituita dalla prima generazione.
  - Le particelle della 2a e 3a generazione sono instabili e decadono in particelle della 1a
- Ci sono altre generazioni?
  - Non di questo tipo…
  - Risultato sperimentale ottenuto al CERN……..

Verifica della teoria Elettrodebole

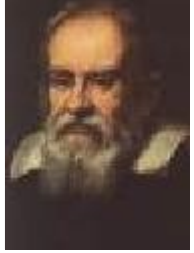


Negli anni '90, i dati raccolti al LEP studiando il decadimento del bosone Z, ci permisero di determinare con grande precisione il numero di neutrini (e quindi il numero di generazioni) e di escludere con certezza la presenza di neutrini "anomali". Una ulteriore conferma del Modello Standard

La curva corrispondente ad un numero di generazioni pari a tre descrive meglio la curva!

Il precedente limite era basato su considerazioni cosmologiche

Il Bosone di Higgs: questo sconosciuto...

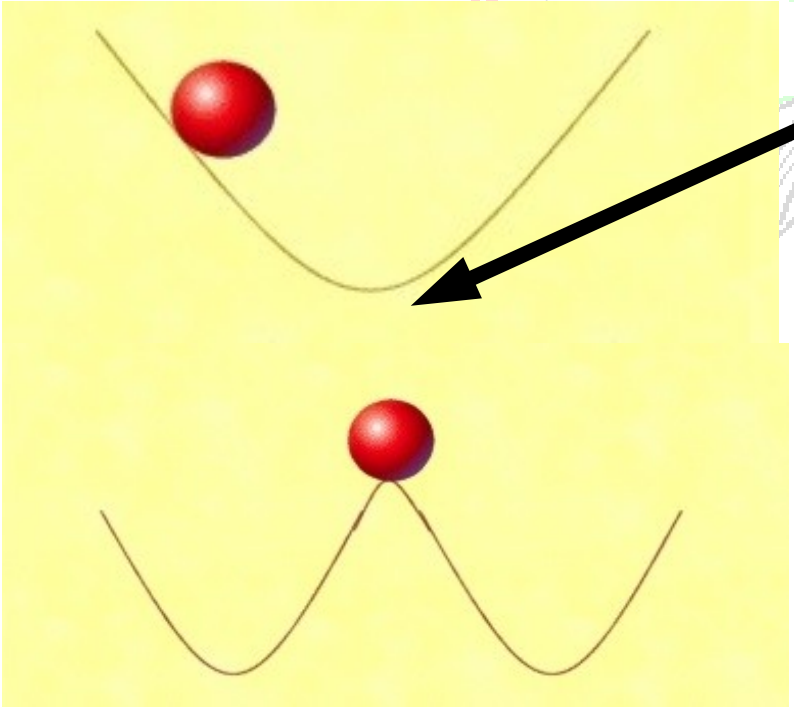


Il Modello Standard ha un "piccolo" problema:

Non spiega la massa delle particelle!

Soluzione:

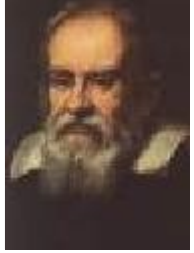
Faccio cadere una pallina in due diverse ciotole: dove si ferma?



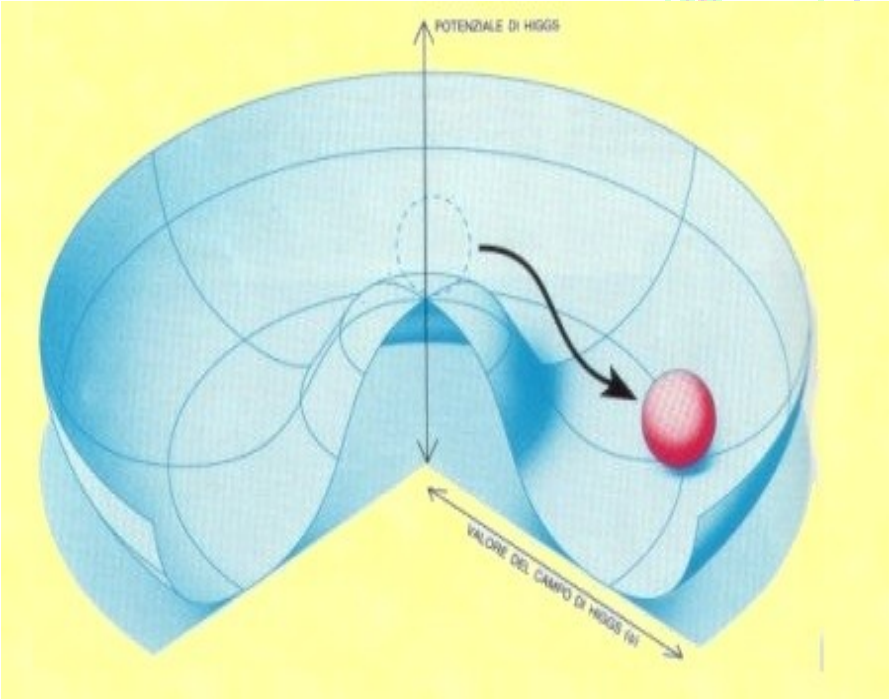
Finisce nel punto di minima energia potenziale del campo gravitazionale

"Stampo da ciambelle": la pallina deve "decidere" da che parte cadere: e` la **"Rottura spontanea di simmetria"**

Il Bosone di Higgs



Esiste un nuovo campo: il campo di Higgs.
Questo campo ha bisogno di un punto di "minima energia" ossia il vuoto e si trova nella stessa situazione della pallina nello stampo da dolci:



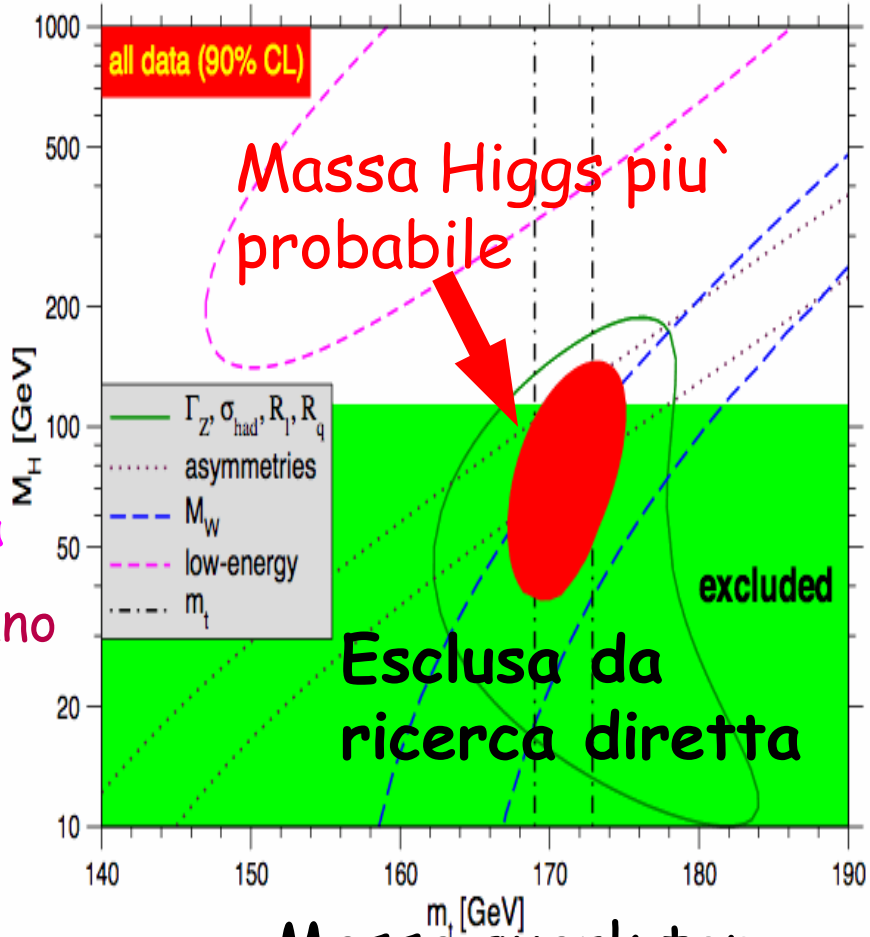
La scelta di dove "cadere" definisce il vuoto... questa scelta e` stata fatta dalla natura una volta per sempre

A causa di questa scelta le particelle acquistano massa interagendo con il campo di Higgs!

Verifica del Modello Standard

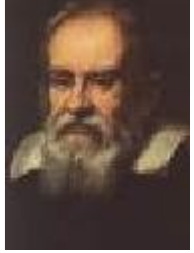
Il Modello Standard non ha avuto al momento smentite sperimentali, ossia tutte le quantita` misurate sono in accordo con le previsioni teoriche.

La precisione di queste misure ha gettato luce anche su Caratteristiche di particelle **che non potevano ancora essere prodotte a causa della loro massa troppo elevata**, ma che intervenivano a livello virtuale nelle interazioni, come il bosone di Higgs (anche il quark top e` stato inizialmente "scoperto" cosi`)

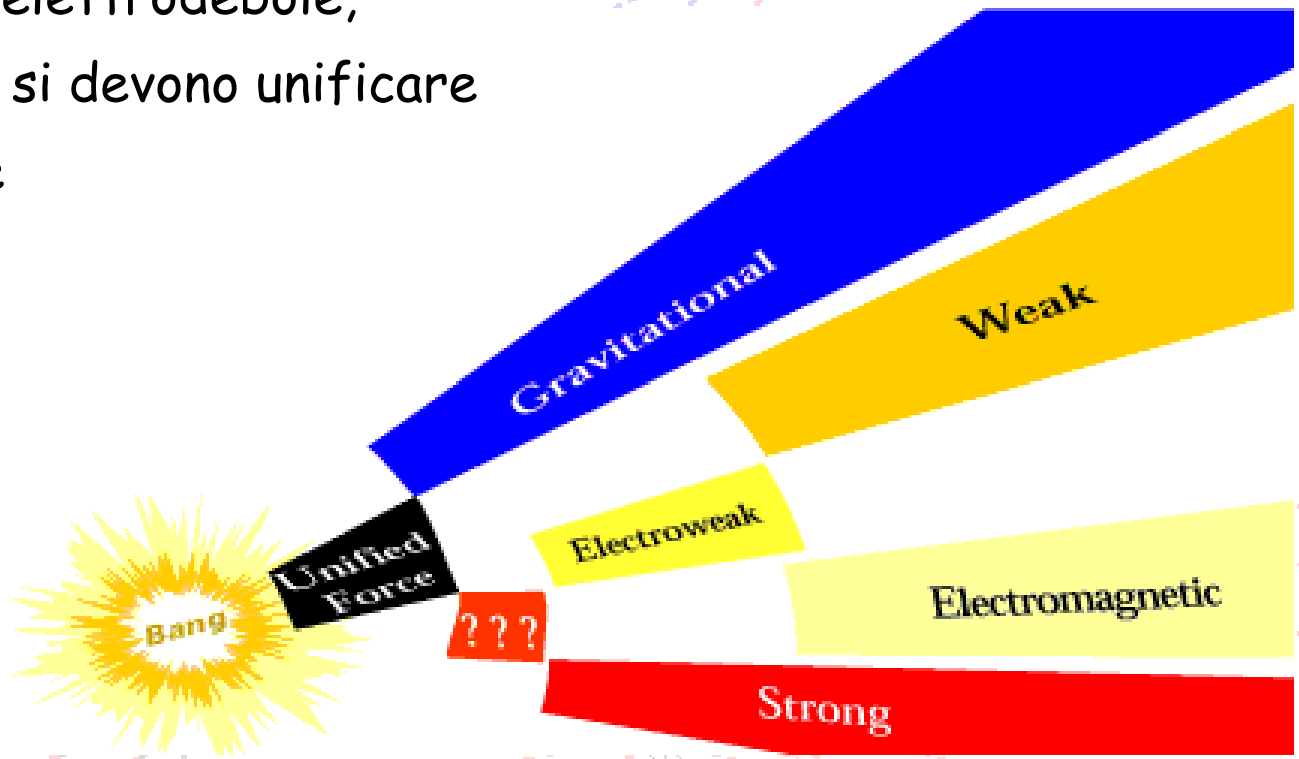


Massa quark top

Un problema aperto



- Le forze forte, elettrodebole, e gravitazionale si devono unificare a grandi energie



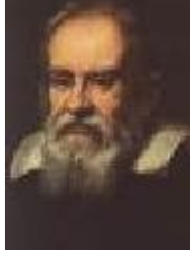
All'inizio dell'Universo tutte le forze erano unificate !
Bisogna andare a ritroso nel tempo!

indietro nel tempo ~ energie maggiori

Altri problemi aperti…

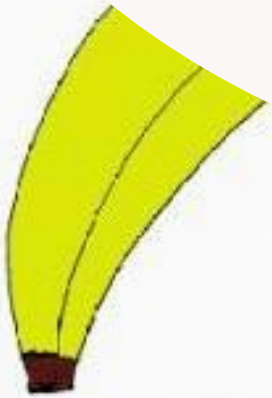
- **Alcuni motivi per credere che il Modello Standard sia una approssimazione di qualcosa di piu' complesso:**
  - non spiega la gerarchia delle masse delle diverse generazioni
  - non include la gravitazione
  - non spiega la dominanza di materia nel nostro Universo
  - non suggerisce una soluzione al problema della Materia Oscura nell'Universo
  - perche' 3 famiglie ?
  - troppi parametri
- **Varie teorie cercano di superare questi problemi:**
  - **GUT, SUSY, Technicolor, Compositeness, Superstringhe.**
  - **Purtroppo nessuna di queste ha (ancora) una qualche conferma sperimentale…**

FORZA LHC!!



La "Big Picture"

Il Modello Standard descrive tutto cio' che abbiamo finora osservato con grande precisione!



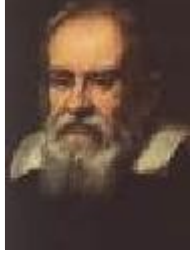
La "Big Picture"

L'idea e' di andare ad energie sempre maggiori per ottenere un panorama piu' completo

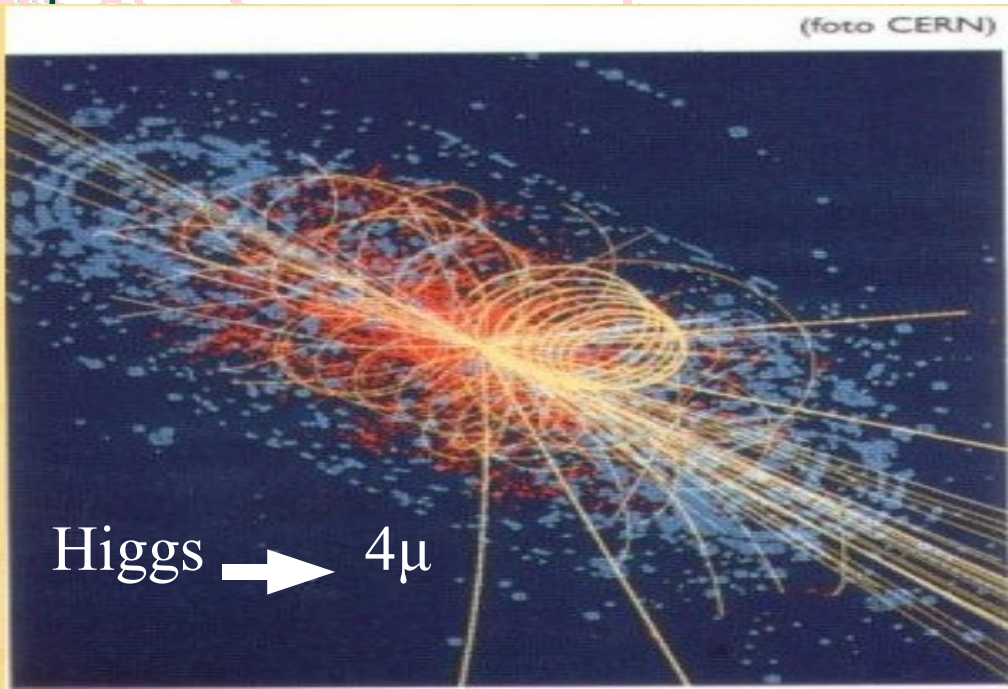
C'e' bisogno di nuovi esperimenti ed idee!

Large Hadron Collider

Il Large Hadrons Collider



- ✓ Accelera e fa collidere protoni ad un energia di 7+7 TeV (=$14*10^{12}$ eV)
- ✓ Accelera e fa collidere ioni pesanti (e.g. Pb) a 5.5 TeV
- ✓ Lunghezza totale > 27 Km. Profondita' ~ 100 m.
- ✓ Campo magnetico dei dipoli di 8.3 Tesla (piu' di 10^5 volte maggiore campo della Terra)
- ✓ Temperatura in regime superconduttivo di 2.3 K
- ✓ Frequenza di collisione per p-p = 40 MHz



Conclusioni

La **fisica delle particelle** e` una avventura affascinante che punta alla conoscenza dei principi che regolano il mondo che ci circonda. Anche se non e` motivata direttamente dall'applicazione tecnologica, spesso la fisica di base ha modificato la vita di tutti i giorni (medicina: dalla radiografia, alla radioterapia, alla radiazione di sincrotrone, adroterapia, PET,...). Questa ricerca ha una forte ricaduta economica sulle industrie a elevata tecnologia (superconduttori, computer).

LHC ha aperto un nuovo capitolo di questa avventura: molte pagine saranno scritte dagli studenti di oggi!