



Pieralberto Marchetti

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Università di Padova

Le particelle elementari:
i costituenti fondamentali
della realtà fisica

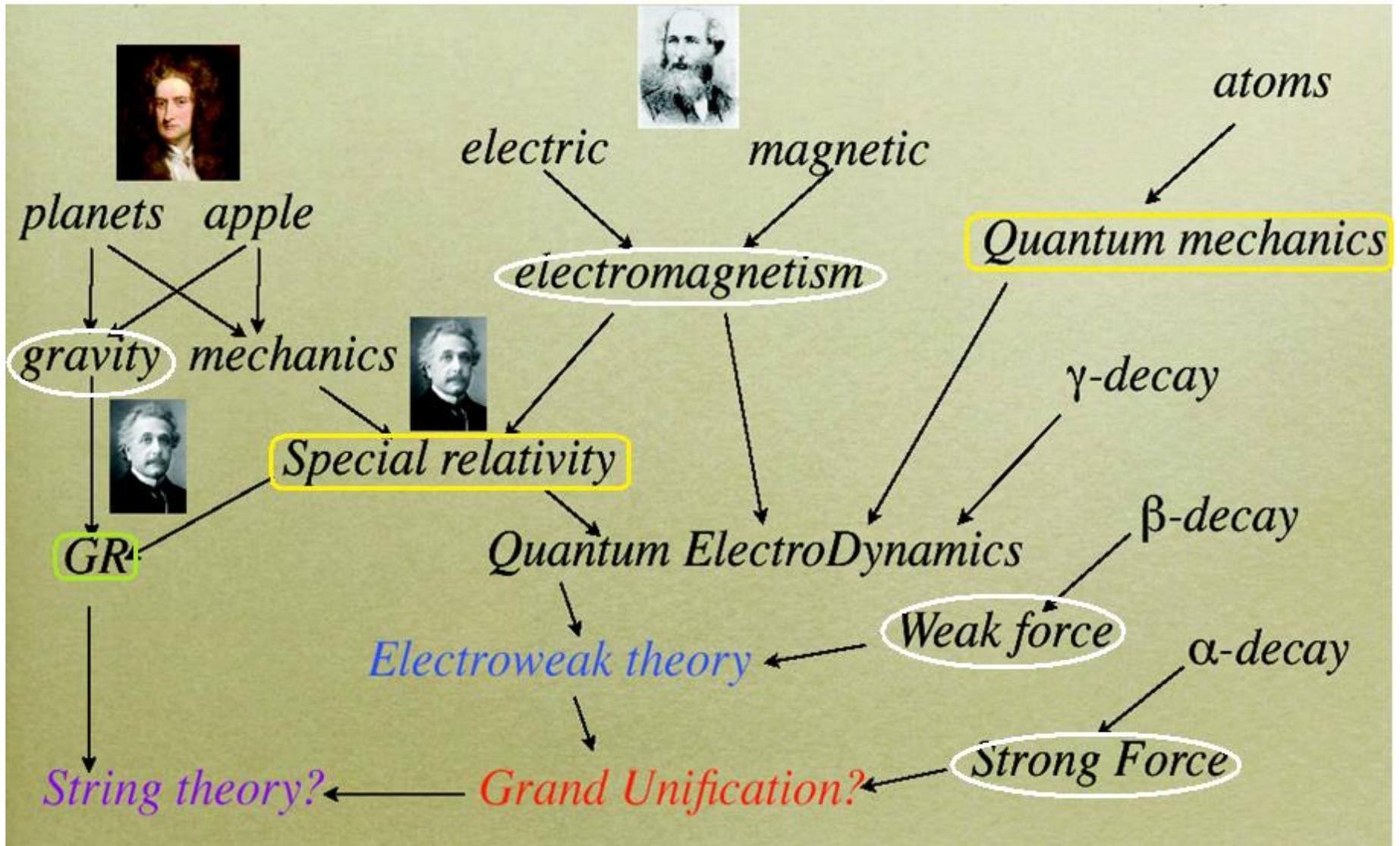
Modello Standard: DOMANDE “FONDAMENTALI” SULLA MATERIA

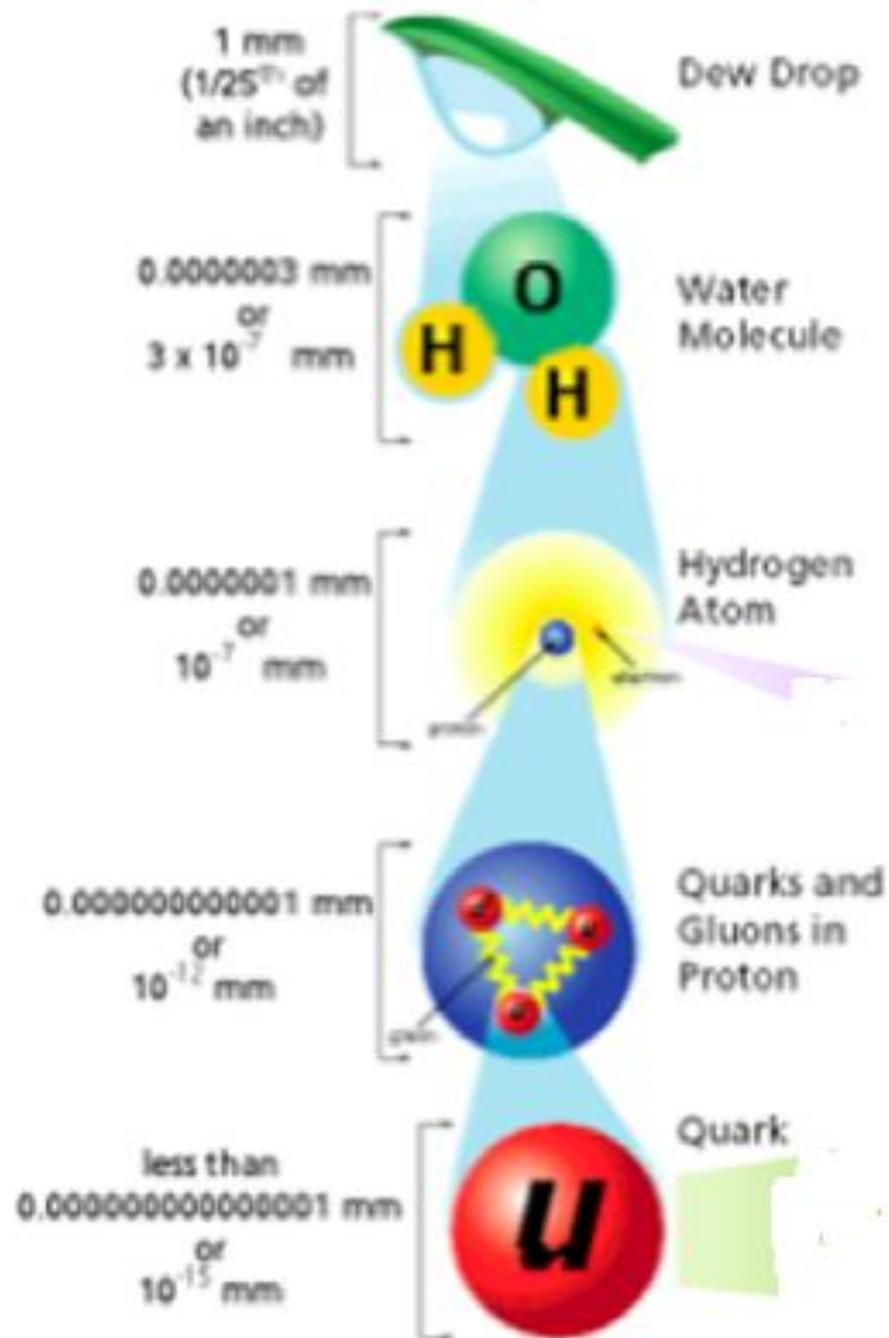
Scomponendo la materia parti sempre piu' piccole, e' possibile arrivare a “costituenti fondamentali” della materia , particelle di materia che non sono divisibili e che non hanno struttura (Democrito, Buddha)?

Quali sono le forze (“interazioni”) che agiscono sulla materia?

Esiste una UNIFICAZIONE delle forze per cui la varieta' delle interazioni discende da un'unica interazione fondamentale?

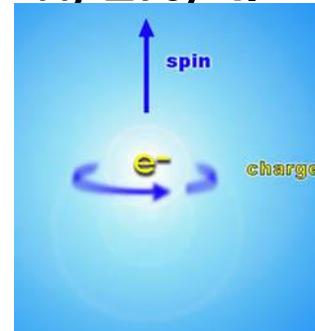
UNIFICAZIONE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI





FERMIONI & BOSONI

- Le particelle quantistiche sono caratterizzate dalla massa (in quiete) e da una quantità solo quantistica correlata alle rotazioni...lo spin s che rappresenta (in unità di $\hbar=h/2\pi$) il loro momento angolare intrinseco (idea intuitiva di spin:particella ruotante attorno a un asse, ma falsa: puntiforme non può ruotare su se stessa)
- Particelle suddivise in 2 categorie:
- **Fermioni** ->spin semintero (elettroni, quarks ...) **particelle di materia**
- **Bosoni** -> spin intero (fotoni, Higgs...) trasmettono le interazioni =**radiazione** (elettromagnetica...)



MATERIA & RADIAZIONE

Particelle elementari di due tipi

Particelle

Mediatori

di materia

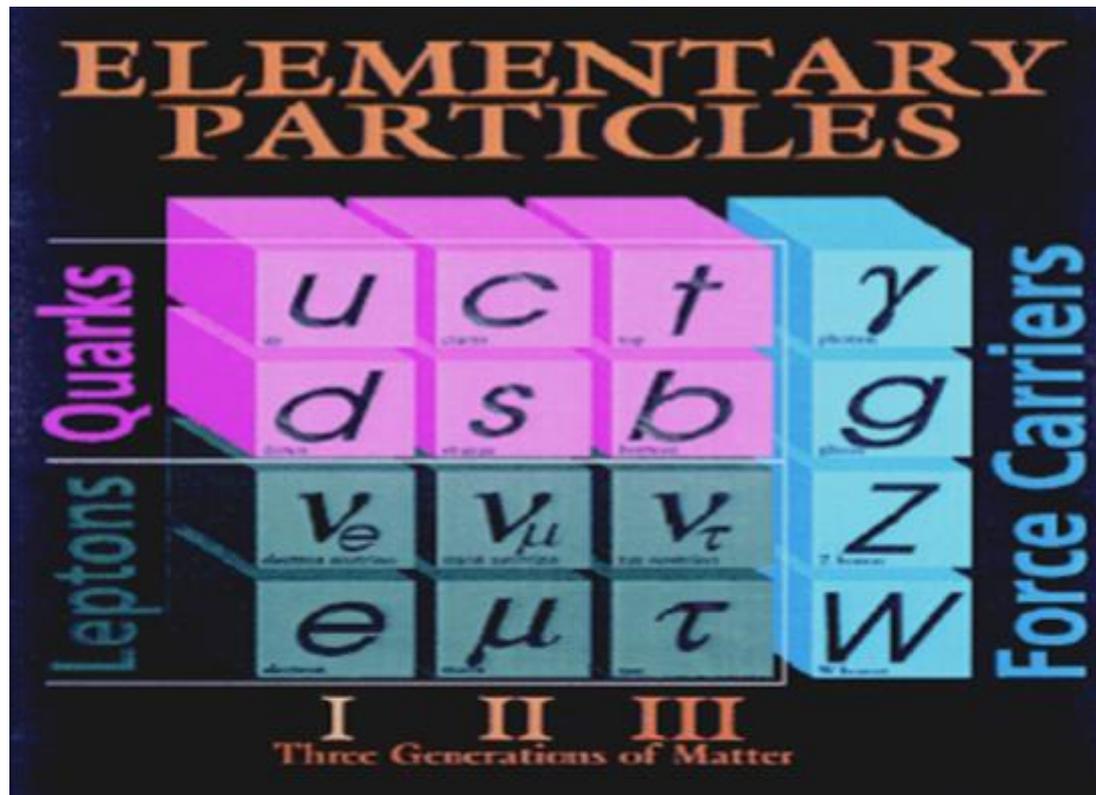
delle

interazioni

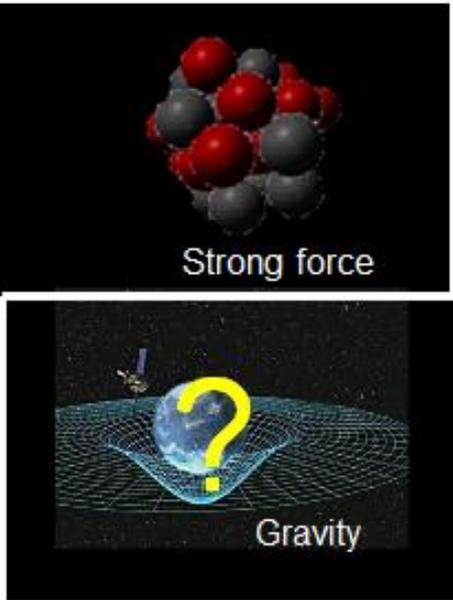
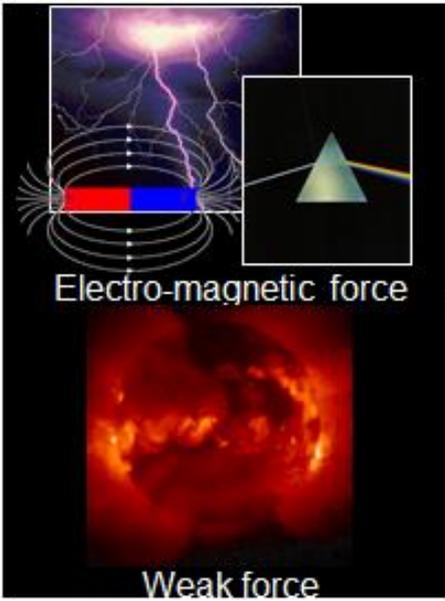
Fermioni

(radiazione)

Bosoni



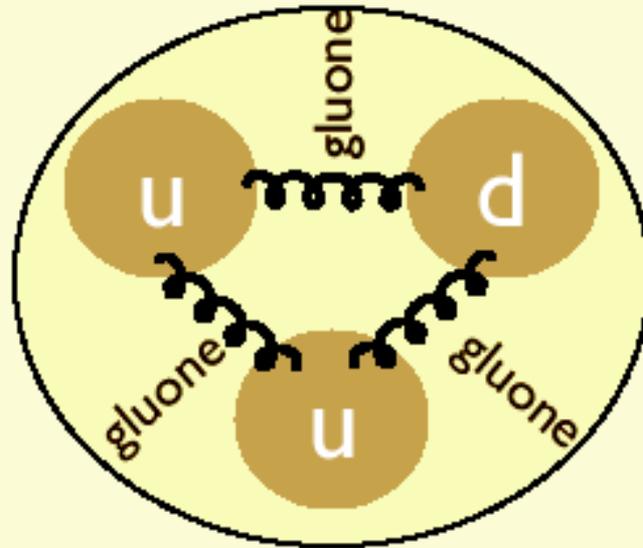
Interazioni



<u>Interazione</u>	<u>Mediatore</u>	<u>R</u> (cm)	<u>Forza</u>	<u>Azione</u>
Gravitazionale	Gravitone (G) ?	∞	$\approx 10^{-43}$	Q , L
Elettromagnetica	Fotone (γ)	∞	$\approx 10^{-2}$	Q , L
Debole	3 Bosoni (W^{\pm}, Z^0)	10^{-15}	$\approx 10^{-5}$	Q , L
Forte (Colore)	8 Gluoni (g_i)	10^{-13}	1	Q

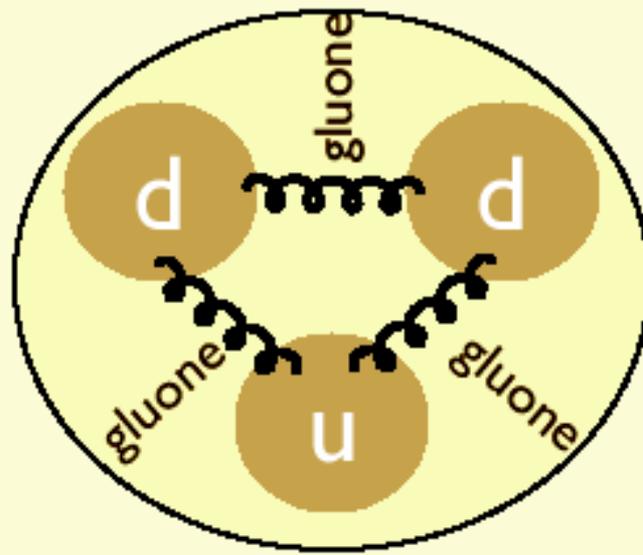
COLLA NUCLEARE: QUARKS+GLUONI → ADRONI

Protone



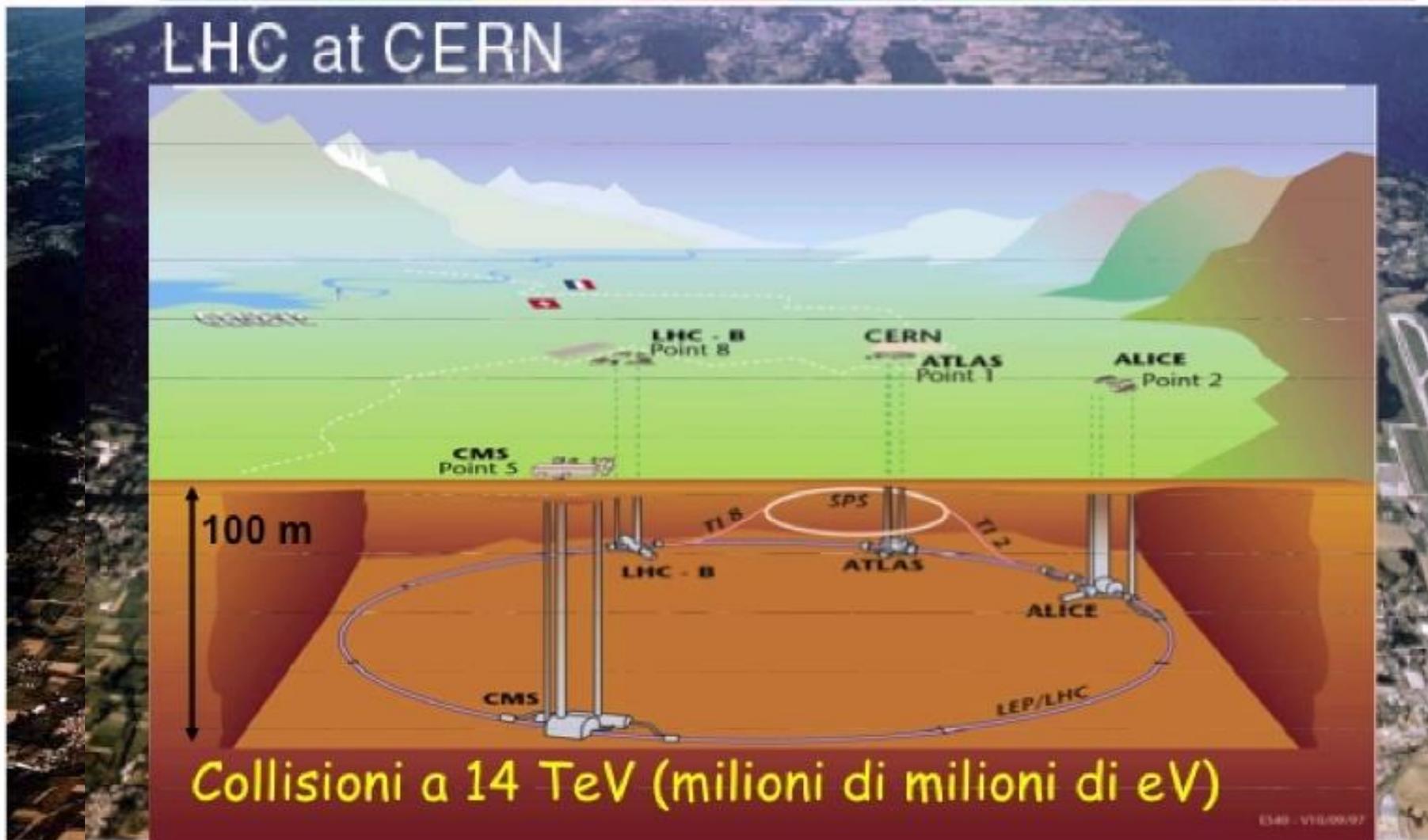
$$Q = \frac{2}{3} e + \frac{2}{3} e - \frac{1}{3} e \\ = e$$

Neutrone



$$Q = \frac{2}{3} e - \frac{1}{3} e - \frac{1}{3} e \\ = 0$$

Large Hadron Collider (LHC) [=Grande acceleratore di adroni (protoni)] al CERN

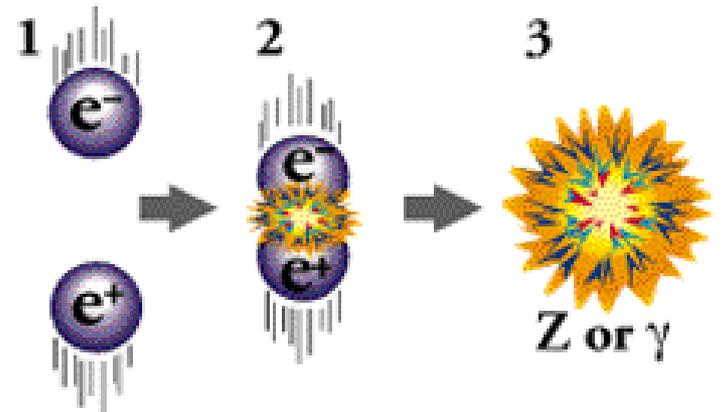


Energie positive e negative

- L'energia di una particella relativistica è:
- $E = mc^2 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$, quella analoga per l'impulso è
- $p = mv / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$
- Quindi mentre in fisica classica per una particella libera di massa m , $E = (1/2)mv^2 = p^2/2m$, in fisica relativistica
- $E^2 - p^2c^2 = (m^2c^4 - m^2v^2c^2) / (1 - v^2/c^2) = m^2c^4$ e pertanto
- $E = \pm (m^2c^4 + p^2c^2)^{1/2}$ sono possibili $E < 0$!!

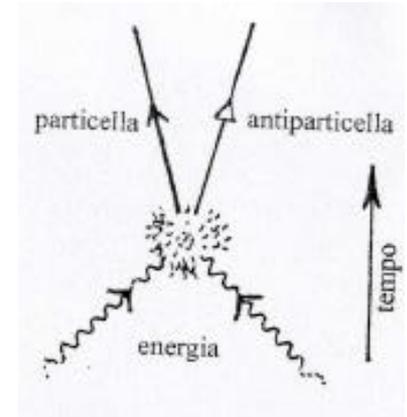
Relativita' +Meccanica Quantistica

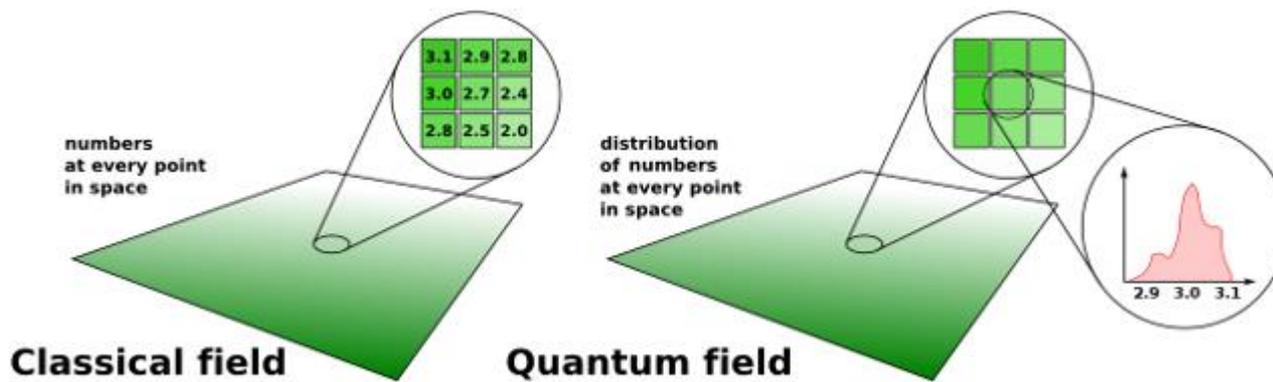
- Se combiniamo Relativita' (velocità della luce c assoluta)+Meccanica Quantistica
 - A ogni particella quantistica (" $E>0$ ") corrisponde la sua "antiparticella" (" $E<0$ " antimateria) con uguale massa, carica opposta [ad esempio anti-elettrone=positrone, antiprotone...] e opposto spin
 - Quando una particella collide con la sua antiparticella entrambe si distruggono producendo solo radiazione
- Compatibilmente con $E=mc^2$



Relativita' + Meccanica Quantistica = Teorie di Campo Quantistiche Relativistiche

- Una **radiazione o campo intenso**, elettromagnetico o gravitazionale, viceversa, **puo' produrre coppie particella-antiparticella**.
- Quindi **il numero delle particelle quantistiche ora non e' piu' costante**
- Come i fotoni (che si possono emettere e assorbire) erano descritti dal campo elettromagnetico cosi' ora a ogni particella quantistica e' associato un campo che la crea/distrugge assieme alla sua funzione d'onda

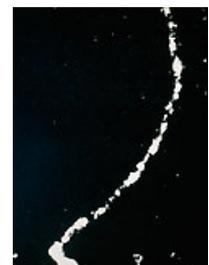
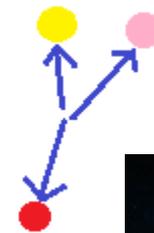
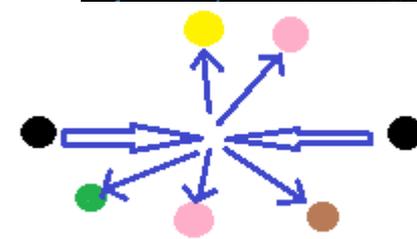
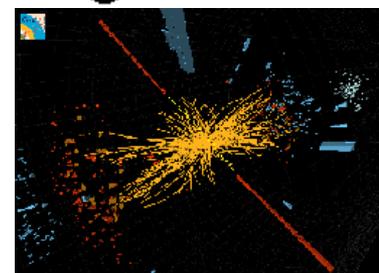
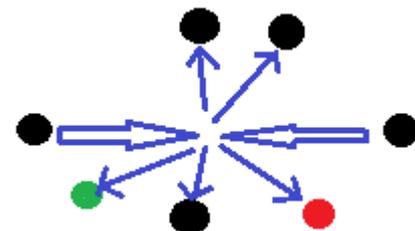




- Quello che indichiamo come "campo" è un'entità che esiste in ogni punto dello spazio-tempo, "che regola la creazione e l'annichilazione delle particelle" nei vari punti dello spazio-tempo.
- E' eliminata così la grande distinzione tra materia e radiazione che ancora esisteva in MQ in cui i fotoni potevano essere creati e distrutti mentre le particelle quantistiche di materia (elettroni, protoni,...) erano indistruttibili
- **Sono queste particelle elementari descritte dai campi quantistici che possono decadere, essere create,annichilate...**

Incredibili proprietà delle particelle elementari

- Se pensiamo 'classicamente' , il comportamento delle particelle elementari è folle...
- Due palle nere (p) si scontrano ad alta v producono 3(!) palle nere uguali ad esse + una palla verde (anti-p) e una rossa ($E=mc^2$)
- Ma nelle stesse condizioni possono anche non produrre alcuna palla nera, ma invece due rosa una verde e una gialla e non sappiamo mai prima quale è il risultato , solo la probabilità (quantistica)
- Una palla nera (n) ferma , ma non sappiamo quando, sparisce e lascia al suo posto una gialla,rosa,rossa...(p,e,v)



Interazione materia-radiazione

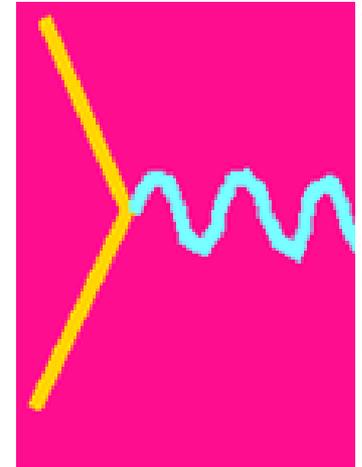
Incredibile semplicità: solo 3 processi base:



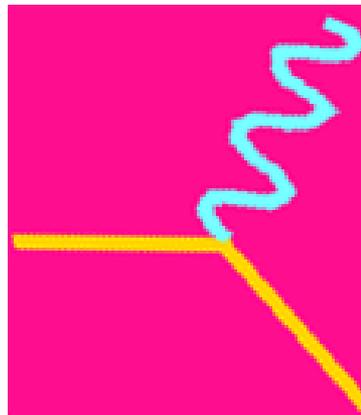
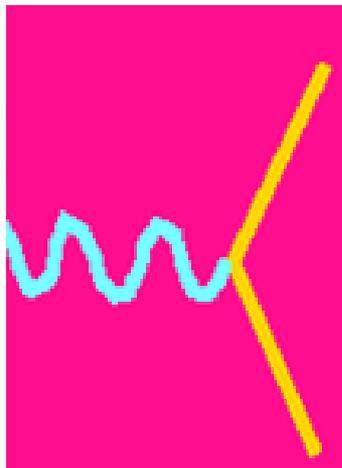
Propagazione di particelle di materia (fermioni)



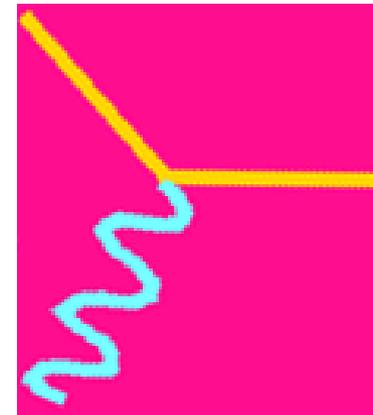
Propagazione di radiazione (bosoni)



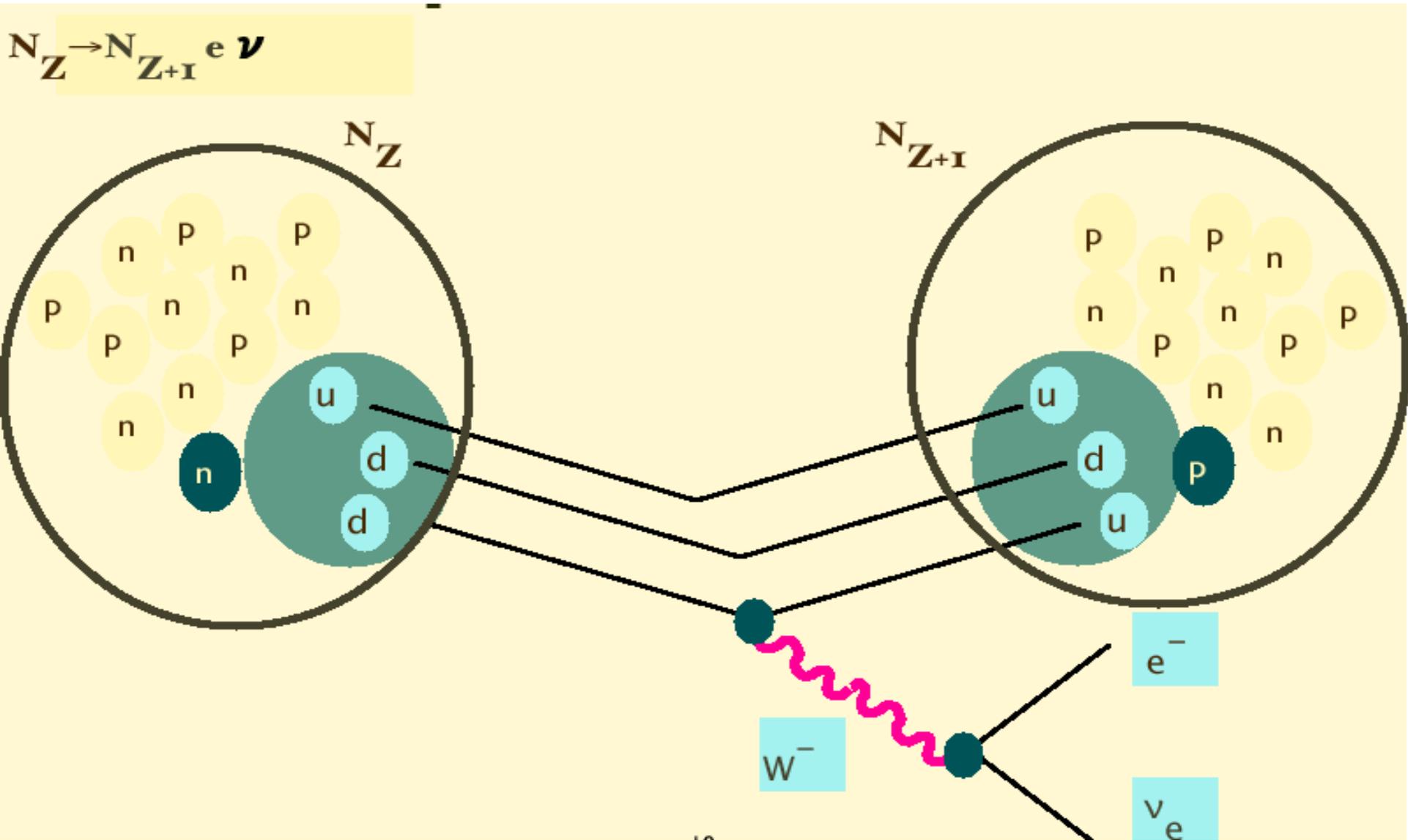
→ tempo



Interazione materia-radiazione



DECADIMENTO RADIOATTIVO β DI UN NUCLEO A LIVELLO
DELL'INTERAZIONE DEBOLE TRAI SUOI QUARK COSTITUENTI

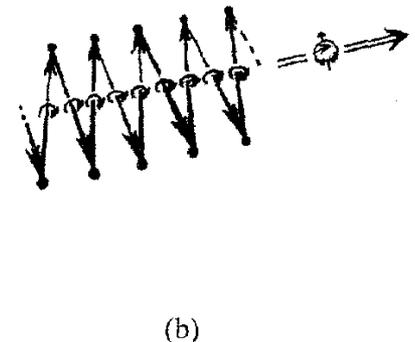
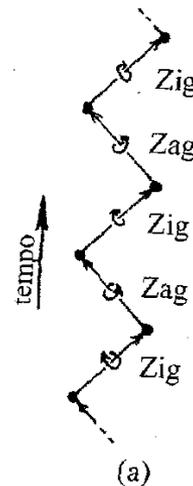


L'ORIGINE DELLA MASSA DELLE PARTICELLE

- Sappiamo che una particella con $m=0$ deve muoversi alla velocità della luce. Per tali particelle sarebbe impossibile formare la materia che conosciamo...eppure in teorie quantistiche relativistiche la velocità istantanea delle particelle di materia è c (!) come se fossero senza massa. Solo che se $m \neq 0$ la particella oscilla rapidissimamente attorno a una traiettoria con velocità media $v < c$.

Forse la massa è generata?

In effetti si ritiene che ne sia responsabile una nuova particella: il bosone di Higgs



IL BOSONE DI HIGGS

- Come si genera la massa ?

La particella trovata a LHC, il **bosone di Higgs**, essendo un bosone puo' "**condensare nel vuoto**" cioe' nel vuoto c'e' una densita' finita di bosoni di Higgs con impulso 0.

- **Tutte le particelle di materia sono in origine assunte con $m=0$, ma alcune interagiscono col condensato**

- Ogni volta che una di queste particelle

interagisce con un Higgs del condensato la direzione della

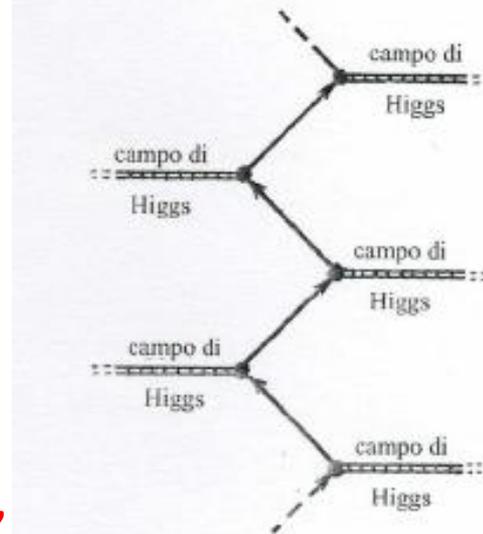
velocita' istantanea (c) si inverte,

Cosi' si generano le oscillazioni

che descrivono la massa, e' come

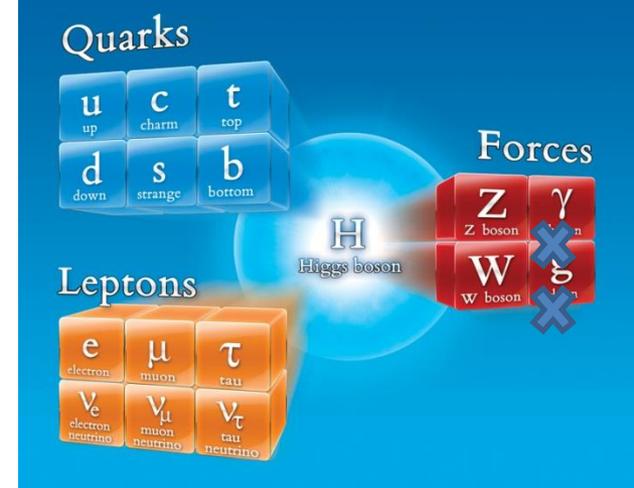
se queste oscillazioni "frenassero"

la particella originando la sua massa inerziale

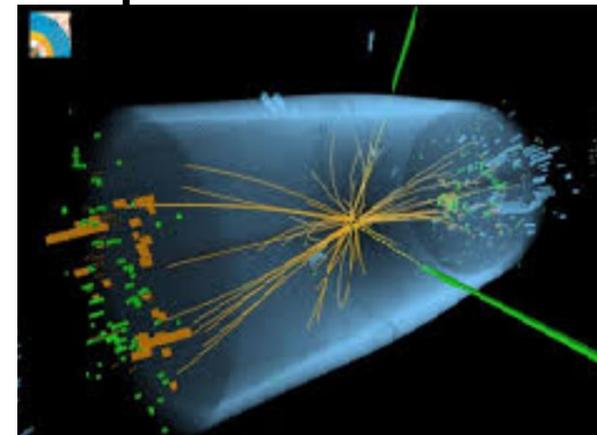


Verifica sperimentale

- Come possiamo provare questo?



- Provocando con urti onde nel condensato di Higgs con energia non nulla: per la meccanica quantistica relativistica sappiamo che un'onda (quantistica) è descritta da un campo che crea e distrugge particelle. La particella corrispondente all'onda nel condensato di Higgs è il famoso bosone di Higgs



E oltre? Non sappiamo...ma proseguiamo nella ricerca...anche se di recente non sempre rispettando fino in fondo la famosa massima filosofica di Galileo...

Io stimo più il trovar un vero, benché di cosa leggiera, che 'l disputar lungamente delle massime questioni senza conseguir verità nissuna.



Grazie per l'attenzione