

Le particelle elementari, l'Higgs e quello che non sappiamo

1. Le particelle elementari
2. Il bosone di Higgs
3. Simmetrie nascoste
4. La storia dell'universo

Milano, Liceo Severi

30 Maggio 2013

Problema: Complessità del mondo

Quello che ci circonda è estremamente complesso, spesso la sovrapposizione di moltissime cose diverse.

Pensate a questa aula: ci sono moltissime cose che capitano in questo momento e scrivere le leggi fisiche per descriverle è praticamente impossibile.

Soluzione: riduzionismo

Il **riduzionismo** è il processo fondamentale usato in fisica per la comprensione della realtà:

Le proprietà dei sistemi complessi si possono interpretare in termini delle proprietà delle parti più semplici che li compongono e delle forze che intervengono a comporli

Comportamenti emergenti

Una **proprietà emergente** è una proprietà di qualche totalità complessa che non può essere spiegata nei termini delle proprietà delle sue parti.

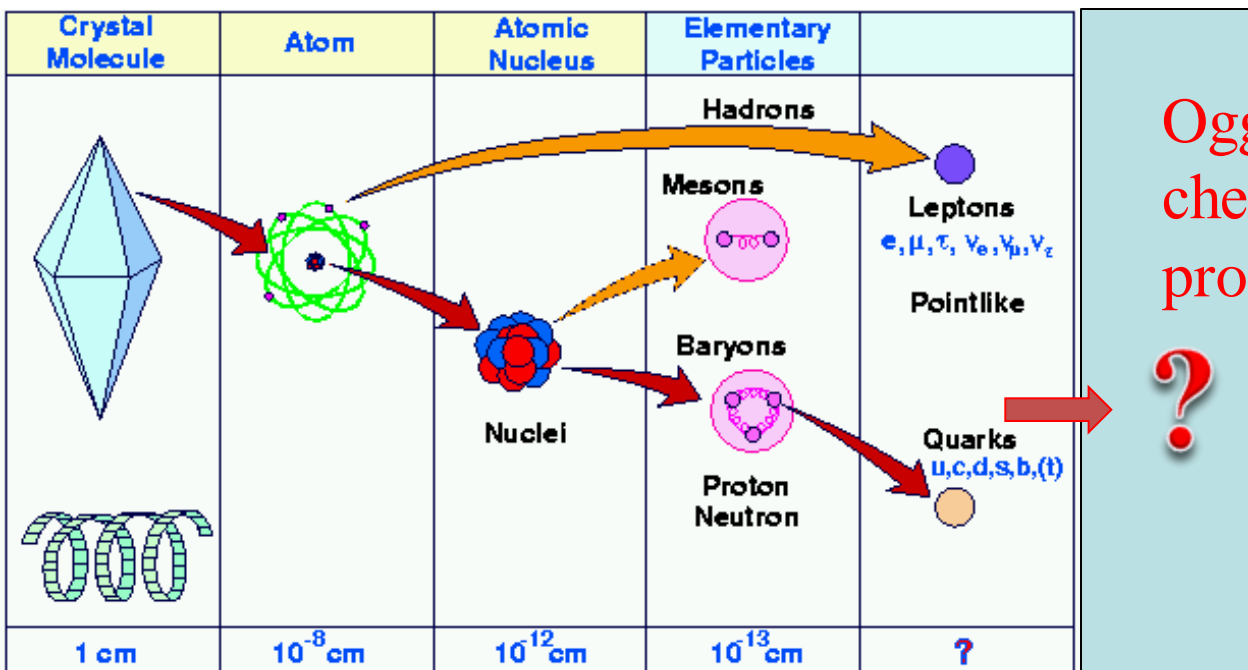
“Senatores boni viri, senatus autem mala bestia”

Comportamenti emergenti sono spesso invocati in altre discipline tipo le scienze sociali o biologia

La fisica delle particelle

L'approccio riduzionista in fisica delle particelle ha portato a moltissimi progressi.

Ogni ulteriore livello di "riduzione" porta con se' una grande quantità di informazioni, il passaggio da un livello a quello successivo avviene attraverso lo studio di regolarità che indicano la presenza di una sotto-struttura



Oggi parliamo di quello che non sappiamo... del prossimo livello



Cos'è una particella elementare?

Possiamo definire una particella come “elementare” se si pensa che **non** abbia sottostruttura.

Questo vuol dire che non si può rompere in pezzi più piccoli.

Le particelle elementari **misurate** sono di 3 tipi:

- 1) Particelle che **trasmettono le forze** (4+1)
- 1) Particelle che **formano la materia** (12)
- 1) La particella di **Higgs** (1+?)



Elementari: queste particelle sono ritenute senza struttura interna (anche se non è esclusa)

Queste particelle si dicono "materia", sono i costituenti della materia

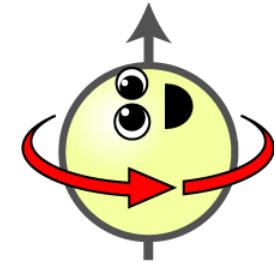
Queste particelle si dicono "messaggeri", sono quelli che trasmettono le forze

Three generations of matter (fermions)

	I	II	III		
mass →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0	? GeV/c ²
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
name →	u up	c charm	t top	γ photon	H Higgs boson
Quarks	4.8 MeV/c ² $-\frac{1}{3}$ d down	104 MeV/c ² $-\frac{1}{3}$ s strange	4.2 GeV/c ² $-\frac{1}{3}$ b bottom	0 0 g gluon	
	<2.2 eV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.17 MeV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV/c ² 0 1 Z⁰ Z boson	
Leptons	0.511 MeV/c ² -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV/c ² -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV/c ² -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV/c ² ± 1 1 W[±] W boson	Gauge bosons

Una proprietà fondamentale: lo spin delle particelle - I

Le particelle elementari ruotano su se stesse.
Questa proprietà si chiama **spin**.



Se lo spin è

1. frazionario: $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$ si chiamano **fermioni**
2. intero: 0,1,2 si chiamano **bosoni**

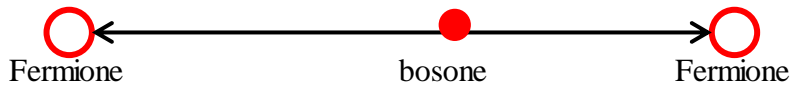
Questo fatto, apparentemente secondario, ha delle conseguenze importantissime sul comportamento delle particelle

Lo spin: i bosoni ed i fermioni - II

Le particelle di materia hanno tutte spin $\frac{1}{2}$: **FERMIONI**

I messaggeri delle forze hanno tutti spin intero (1 o 2): **BOSONI**

I fermioni interagiscono tra di loro scambiandosi bosoni

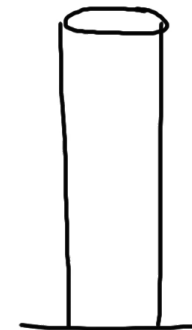


Fermions		Bosons	
Leptons and Quarks	Spin = $\frac{1}{2}$	Spin = 1^*	Force Carrier Particles
Baryons (qqq)	Spin = $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$	Spin = 0, 1, 2, ...	Mesons (q \bar{q})

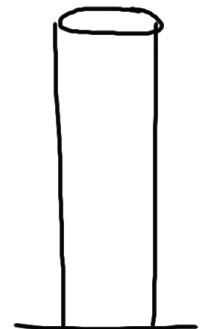
Le particelle bosoniche possono stare tutte nello stesso posto:

- In una classe di studenti bosonici, serve una sola sedia
- Un posteggio infinito di macchine bosoniche ha un solo posto

Effetti di coerenza come la superconduttività ed il laser sono dovuti a questo fatto



BOSONI



FERMIONI

Le forze ed i loro intermediari

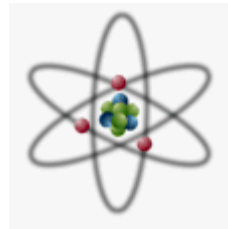


Forza **gravitazionale**:
(che non consideriamo adesso)



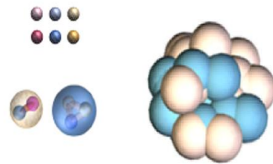
Caduta dei corpi, moto stellare...
messaggero: **gravitone**
carica: **Massa/energia**

Forza **elettromagnetica**:



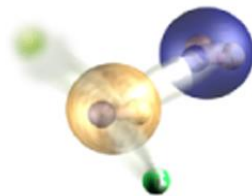
magneti, atomi, chimica...
messaggero: **fotone**
carica: **elettrica (1 tipo)**

Forza **forte**:



tiene uniti i protoni, i neutroni ed il nucleo
anche se di carica uguale
messaggero: **gluone**
carica: **colore (3 tipi)**

Forza **debole**:



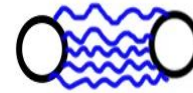
radioattività, attività solare ...
messaggeri: **W^\pm** e la **Z**
carica: **debole**

Cosa capita quando due particelle si allontanano?

Forza di gravità ed elettromagnetica:

La forza diminuisce con la distanza, le particelle sono libere.

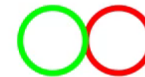
1. I fotoni non sono carichi
2. Le particelle hanno sempre la stessa carica



Forza di colore:

Aumenta con la distanza, le particelle non possono liberarsi.

1. I gluoni sono carichi, ed interagiscono tra di loro
2. I quark cambiano carica



Come si creano le particelle in laboratorio?

Attraverso urti tra particelle si possono creare altre particelle: l'energia delle particelle viene trasformata in materia!

Si crea sempre materia ed antimateria in quantità uguali

protone

quark

protone

Einstein: $E=mc^2$
la massa si può trasformare
in energia e viceversa.

Materia ed anti-materia

Ogni particella di materia ha la sua anti-particella.

- I mediatori non hanno le antiparticelle: non esistono gli anti-gluoni o gli anti-fotoni!

- Le anti-particelle hanno cariche opposte a quelle delle particelle



Antimateria...

L'antimateria è un concetto comune in fisica delle particelle, è come la carica negativa rispetto a quella positiva.

Regola: se si creano delle particelle in laboratorio si ottiene

tanta materia quanto anti-materia,
tante cariche positive tante negative.

Come elementi, per ora sappiamo fare solo l'anti-idrogeno e l'anti-elio

L'antimateria costa tantissimo: \$25 miliardi per un grammo di positroni (anti-elettroni) e \$62,5 trillioni per un grammo di anti-idrogeno...

Quando materia ed antimateria si incontrano, si annichilano

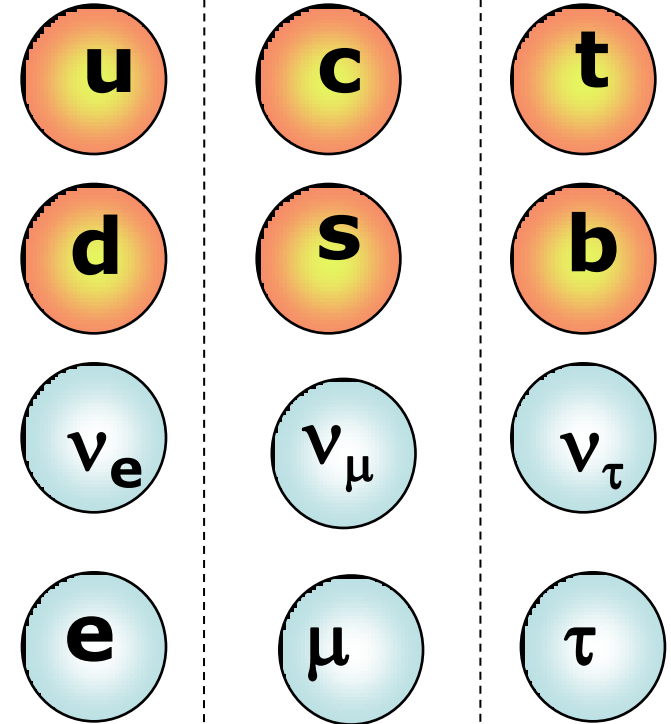
Due problemi connessi

1) I quark ed i leptoni sono ripetuti 3 volte, ci sono 3 generazioni simili (ma non identiche)

Non si sa perché...

(ci **deve** essere un doppietto di quark per ogni doppietto di leptoni, se no la teoria non è “rinormalizzabile, i conti predicono delle probabilità = infinito)

2) Tuttavia: 3 generazioni è il numero minimo per permettere una differenza tra materia ed anti-materia



Quindi:

Se ci fossero solo 2 generazioni non saremmo qui poichè tutta la materia ed anti-materia si sarebbero annichilate.

È la nostra esistenza una ragione sufficiente? Probabilmente no...

Dato che non sappiamo perché ci sono 3 generazioni, stiamo cercando la quarta

La lista completa: 16 particelle “elementari”

1. Non si possono rompere
 2. I bosoni hanno spin 1 o 2, i fermioni hanno spin $\frac{1}{2}$
 3. Materia o portatori di forza
 4. I fermioni hanno un'antiparticella
 5. Le forze sono scambiate attraverso un bosone
- 6 quarks (fermioni): up, down, strange, charm, top, bottom
- 6 leptoni (fermioni): elettrone, muone, tau, neutrino_e, neutrino_m, neutrino_tau
- 4 trasmettitori di forza (bosoni): fotone, gluone, W, Z

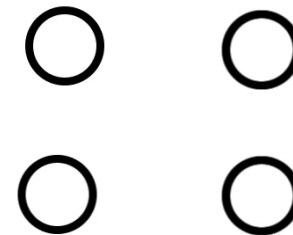
Simmetrie Nascoste

Le simmetrie della natura sono spesso “nascoste”, “rotte” da effetti che si sovrappongono.

Esempio: le leggi della fisica sono simmetriche per rotazione. Sulla terra invece, a causa della gravità, questo non è vero.

Si dice allora che la simmetria è nascosta (o rotta) dalla gravità.

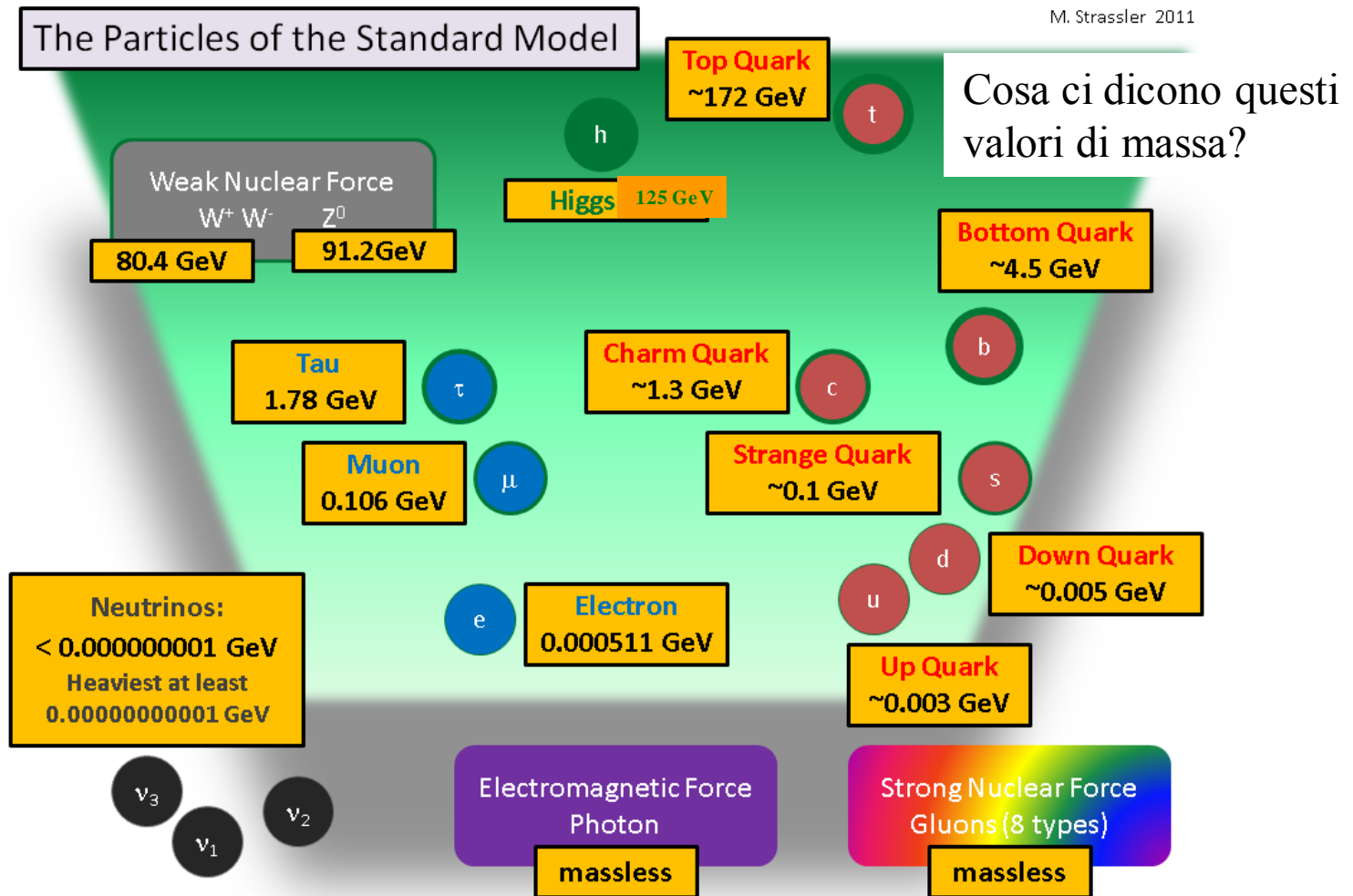
La simmetria esiste, ma non si vede più



La ricerca di simmetria nascoste è il mestiere dei fisici teorici...

La massa delle particelle elementari

Qual è la simmetria tra le masse particelle elementari?



L'idea di Mr. Higgs

Le particelle non hanno massa, e sono simmetriche tra loro

Questa simmetria è “nascosta” (broken) dal fatto che il bosone di Higgs, interagendo con le particelle, le rende massive

BROKEN SYMMETRIES, MASSLESS PARTICLES AND GAUGE FIELDS

P. W. HIGGS

Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Scotland

Received 27 July 1964

!!!!!!

Recently a number of people have discussed the Goldstone theorem ^{1,2}): that any solution of a Lorentz-invariant theory which violates an internal symmetry operation of that theory must contain a massless scalar particle. Klein and Lee ³) showed that this theorem does not necessarily apply in non-relativistic theories and implied that their considerations would apply equally well to Lorentz-invariant field theories. Gilbert ⁴), how-

ever, gave a proof that the failure of the Goldstone theorem in the nonrelativistic case is of a type which cannot exist when Lorentz invariance is imposed on a theory. The purpose of this note is to show that Gilbert's argument fails for an important class of field theories, that in which the conserved currents are coupled to gauge fields.

Following the procedure used by Gilbert ⁴), let us consider a theory of two hermitian scalar fields

Questa idea apre la porta alla descrizione matematica delle interazioni tra particelle, chiamata il MODELLO STANDARD, che è possibile **SOLO SE**:

Tutte le particelle hanno massa nulla

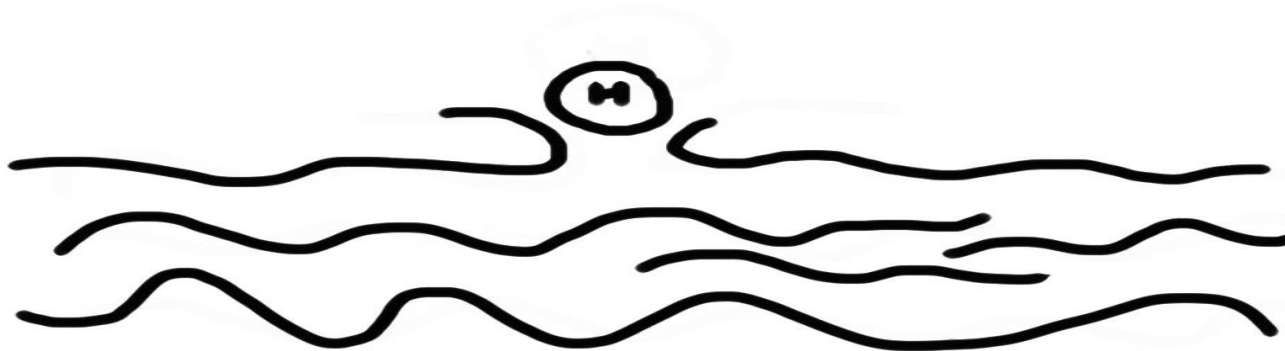
C'è una particella **assolutamente speciale**, che non è né materia né un messaggero di forze, che spiega perché le particelle sono massive:

Il bosone di Higgs

Il bosone di Higgs ed il *campo* di Higgs

Pensate al campo elettromagnetico:

- il fotone è la “prova” del campo elettromagnetico.
- la particella di Higgs H è la “prova” del campo di Higgs.



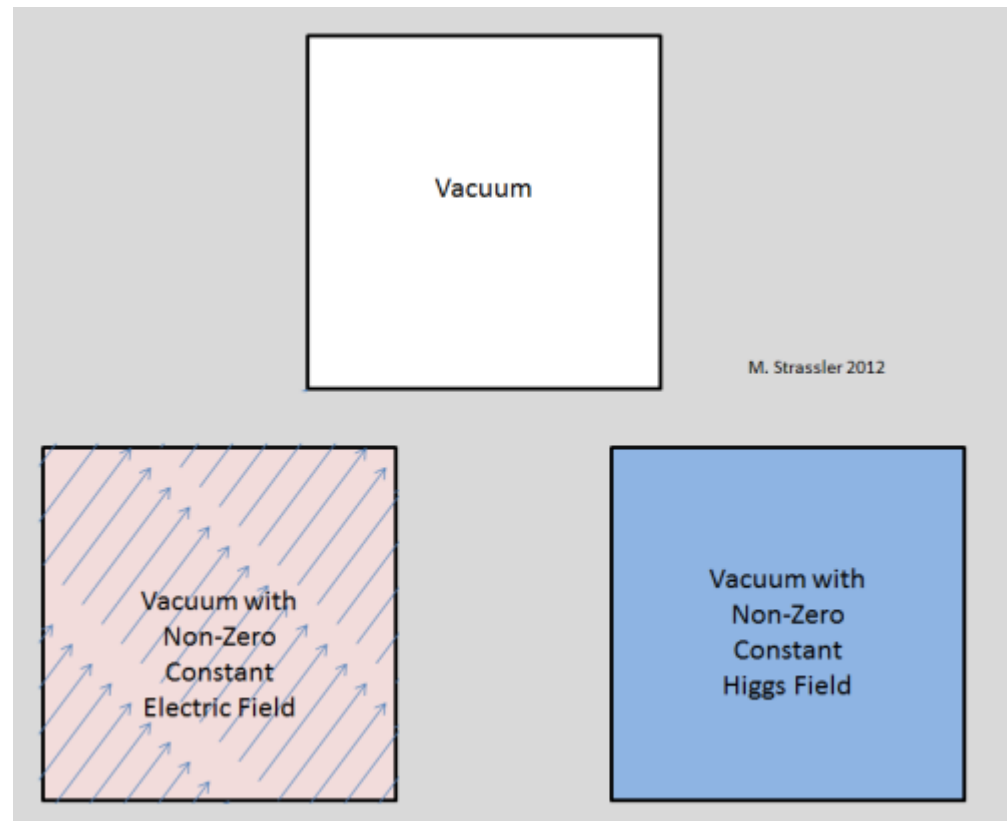
Il campo di Higgs

Il concetto di “campo” in fisica è comune, pensate ad un campo elettrico tra le facce di un condensatore. Importante: **il campo elettrico ha una direzione.**

Il campo di Higgs è analogo, ma è uno scalare, come la temperatura:
Il campo di Higgs non ha una direzione.

Così come il vuoto in un condensatore non è esattamente vuoto perché c'è il campo elettrico, così **lo spazio non è esattamente vuoto perché c'è il campo di Higgs.**

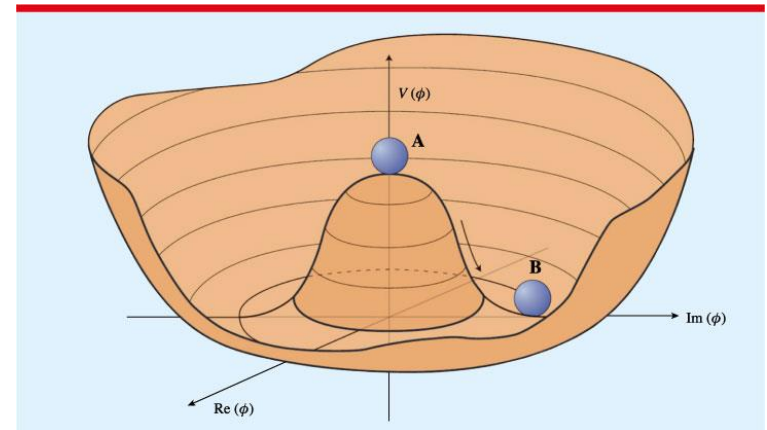
Il vuoto non è assolutamente vuoto!!



Il *campo* di Higgs ed il *meccanismo* di Higgs

Qual è il valore del campo di Higgs? Per qualche ragione ignota, il **valore di minima energia del campo di Higgs non è zero.**

In particolare, il campo di Higgs ha tanti valori di minima energia, e ne ha scelto uno (forse a caso)
Cadendo ha “rotto” la simmetria, ha scelto una posizione e non un'altra



Sommario:

1. Si ipotizza l'esistenza di un nuovo campo, il campo di Higgs
2. Si ipotizza che il valore di minima energia non sia zero, ma un valore negativo
3. La prova di tutto ciò è trovare la particella associata con questo campo
4. Il valore “non zero” del campo di Higgs fa sì che l'Higgs interagisca con le particelle

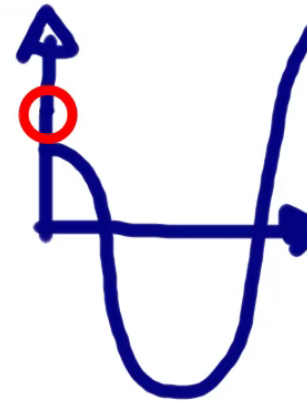
Il meccanismo di Higgs: rottura di simmetria e massa delle particelle

2) Le particelle
acquistano massa



○ ○ ○ ○ ○ ○
e μ ν_e c b t
 Leptoni Neutrini quark

1) Il campo di Higgs va nella
configurazione più stabile








3) Perché le particelle
hanno valori di massa
così diversi?

La massa dei leptoni e quark

Idea chiave:

Il campo di Higgs si incolla alle particelle e crea la loro massa

La massa è una proprietà che viene acquisita attraverso l'interazione con il bosone di Higgs: **sembrano avere massa** perché interagiscono con il bosone di Higgs e diventano più difficili da spostare.

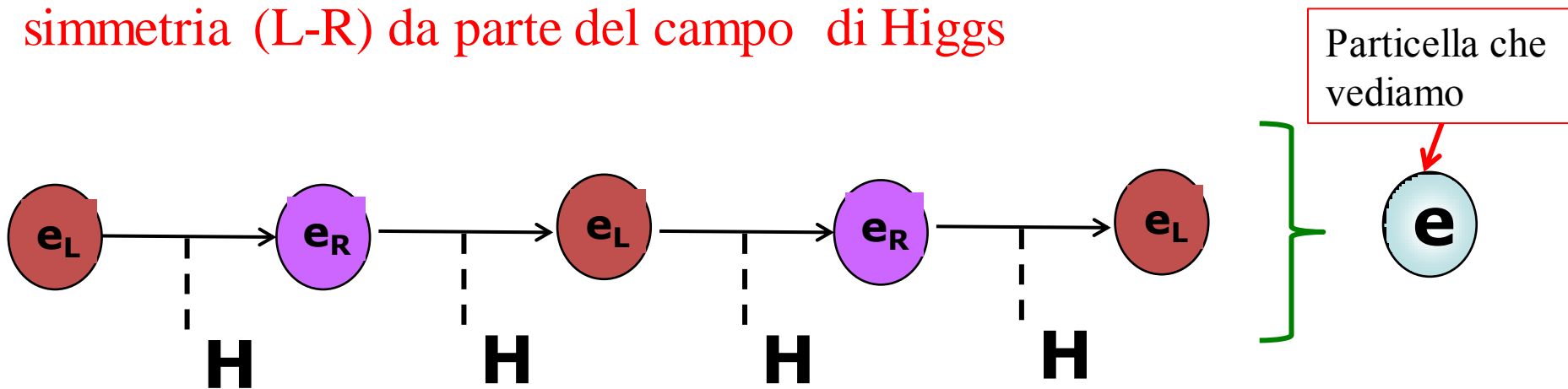
-  Higgs Field
-  neutrino ≈ 0 MeV
-  electron ≈ 0.5 MeV
-  MUON ≈ 140 MeV
-  top quark ≈ 170.000 MeV

Il meccanismo di Higgs: rottura di simmetria

Prima della rottura di simmetria i quark ed i leptoni hanno massa nulla ed esistono in due esemplari separati: L ed R.

Consideriamo l'elettrone: esistono due particelle "elettrone", chiamate e_L ed e_R , a massa nulla. Il campo di Higgs mischia i due stati in un'unica particella massiva.

Le particelle che vediamo in natura sono il risultato di una rottura di simmetria (L-R) da parte del campo di Higgs



Higgs Field $\equiv \phi$

$$\begin{pmatrix} u_L \\ u_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_L \\ c_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t_L \\ t_R \end{pmatrix} \left. \begin{array}{l} \text{massless} \\ \text{quark} \end{array} \right\}$$

$$\begin{pmatrix} d_L \\ d_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_L \\ s_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_L \\ b_R \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} e_L \\ e_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu_L \\ \mu_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau_L \\ \tau_R \end{pmatrix} \left. \begin{array}{l} \text{massless} \\ \text{leptons} \end{array} \right\}$$

$$\begin{pmatrix} \nu_L^e \\ \nu_R^e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_L^\mu \\ \nu_R^\mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_L^\tau \\ \nu_R^\tau \end{pmatrix} \leftarrow ?$$

8 gluons } Massless

W^1, W^2, W^3 } Massless
Isospin

B } Massless
Hypercharge

H^0, A^0, H^+, H^- } Massive
Higgs
Family

Higgs Field $\neq \phi$

u, c, t } massive
 d, s, b } quark

e, μ, τ } massive
 ν^e, ν^μ, ν^τ } leptons

8 gluons } Massless
QCD Force

W^+, W^- } Massive
 Z } Weak Force

γ } Massless
photon

h } Single massive
Higgs

Caccia al bosone di Higgs



Dal 1964, anno di pubblicazione dell'articolo di Mr. Higgs che lo proponeva, la particella di Higgs è stato il sacro Gral della fisica, su cui si sono riversati fiumi di articoli, soldi, notti insonni, matrimoni falliti, adrenalina, speranze e delusioni.

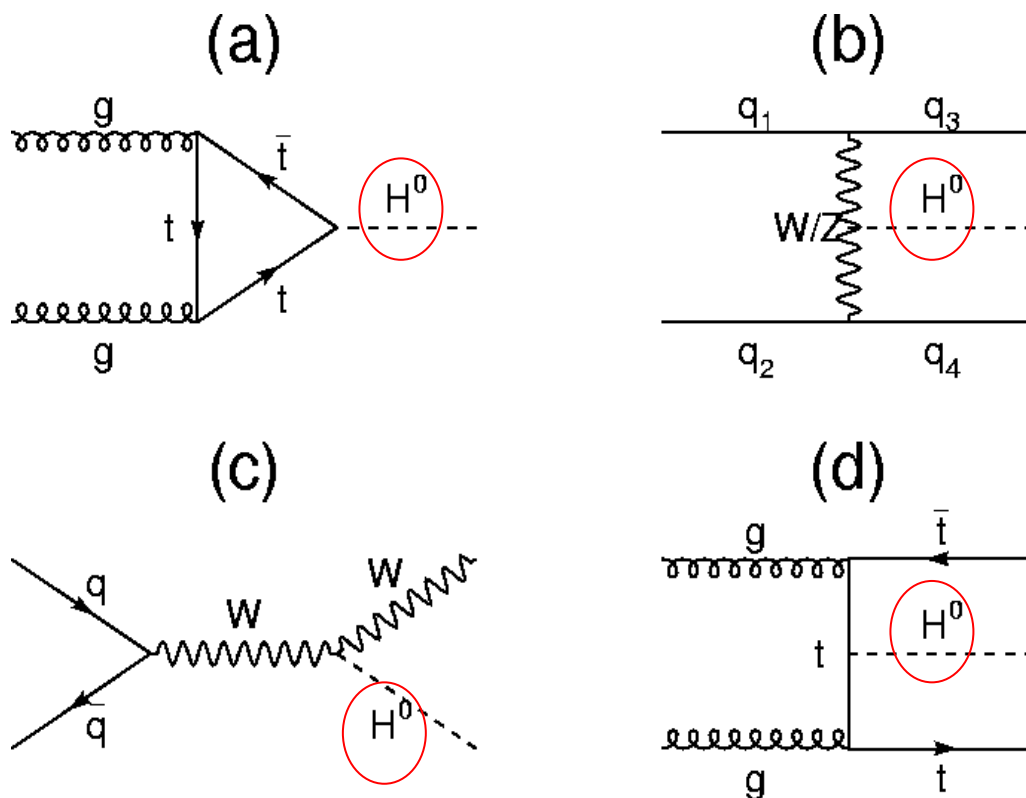


Tutto è cambiato il 4 luglio 2012....

Come si fa un bosone di Higgs?

La teoria ci dice quali sono i meccanismi di produzione:

- Si parte da due protoni
- due “costituenti” si fondono, e si forma l’Higgs



Per i curiosi

$$\begin{aligned}
\sigma_{\text{H}}^{\text{I}}(\text{pp} \rightarrow \text{H}) &= \sum_{ab} \int_{\tau}^1 dx_a \int_{\tau/x_a}^1 dx_b \int \frac{d\omega_1}{2\pi} \int \frac{d\omega_2}{2\pi} \int dz \delta \left(x_a x_b - \frac{M_{\text{BH}}^2}{s} \right) 2\pi \delta(z M_{\text{BH}} - \omega_1 - \omega_2) 2\pi \delta(M_{\text{H}} - \omega_1 - \omega_2) \\
&\quad \times f_{a/A}(x_a, \mu^2) f_{b/B}(x_b, \mu^2) L^{ab \rightarrow \text{BH} \rightarrow \text{H}}(\omega_1, \omega_2) p_{\text{E}}(\omega_1) p_{\text{E}}(\omega_2) L^{\text{BH} \rightarrow \text{H}}(\omega_1, \omega_2) \\
&= \sum_{ab} \int_{\tau}^1 dx_a \int_{\tau/x_a}^1 dx_b \int \frac{d\omega_1}{2\pi} \int \frac{d\omega_2}{2\pi} \int dz \delta \left(x_a x_b - \frac{M_{\text{BH}}^2}{s} \right) 2\pi \delta(z M_{\text{BH}} - \omega_1 - \omega_2) 2\pi \delta(M_{\text{H}} - \omega_1 - \omega_2) \\
&\quad \times f_{a/A}(x_a, \mu^2) f_{b/B}(x_b, \mu^2) \frac{e^{-8\pi M_{\text{BH}} \omega_1}}{1 - e^{-8\pi M_{\text{BH}} \omega_1}} \frac{e^{-8\pi M_{\text{BH}} \omega_2}}{1 - e^{-8\pi M_{\text{BH}} \omega_2}} \frac{1}{M_{\text{P}}^2} \left\{ \frac{\omega_1 + \omega_2}{z M_{\text{P}}} \left[\frac{4\Gamma(7/2)}{3} \right] \right\}^{2/5} \frac{1}{\omega_1^2} \frac{1}{\omega_2^2} \\
&\quad \times \sum_{C=1}^8 (T^C T^C)_{mn} \left(\frac{\alpha_S}{\pi} \right)^2 \frac{\pi}{288\sqrt{2}} \left(\frac{6M_{\text{t}}^2}{(\omega_1 + \omega_2)^2} \left\{ 1 + \left[1 - \frac{4M_{\text{t}}^2}{(\omega_1 + \omega_2)^2} \right] \arcsin^2 \left[\sqrt{\frac{(\omega_1 + \omega_2)^2}{4M_{\text{t}}^2}} \right] \right\} \right)^2 \\
&\approx C_{\text{F}} \delta_{mn} \left(\frac{s}{M_{\text{BH}}^2} \right)^{1.2} \left[1 + 3 \frac{M_{\text{BH}}^2}{s} \ln \left(\frac{s}{M_{\text{BH}}^2} \right) \right] \left(\frac{\alpha_S}{\pi} \right)^2 \frac{\pi}{288\sqrt{2}} \left\{ \frac{6M_{\text{t}}^2}{M_{\text{H}}^2} \left[1 + \left(1 - \frac{4M_{\text{t}}^2}{M_{\text{H}}^2} \right) \arcsin^2 \left(\sqrt{\frac{M_{\text{H}}^2}{4M_{\text{t}}^2}} \right) \right] \right\}^2 \\
&\quad \times \frac{1}{M_{\text{P}}^2} \left\{ \frac{M_{\text{BH}}}{M_{\text{P}}} \left[\frac{4\Gamma(7/2)}{3} \right] \right\}^{2/5} \frac{e^{-8\pi M_{\text{H}}^2}}{1 - e^{-8\pi M_{\text{H}}^2}} \left[\frac{1}{M_{\text{t}}^2} - \frac{1}{M_{\text{H}}^2} + \ln \left(\frac{M_{\text{t}}}{M_{\text{H}}} \right) \right]
\end{aligned}$$

Che probabilità ha di crearsi un bosone di Higgs?

Si riesce a fare un bosone di Higgs una volta ogni 10^{12} urti...

Nel modo in cui funziona LHC adesso, si fa circa un Higgs ogni ora (secondo la teoria attuale).

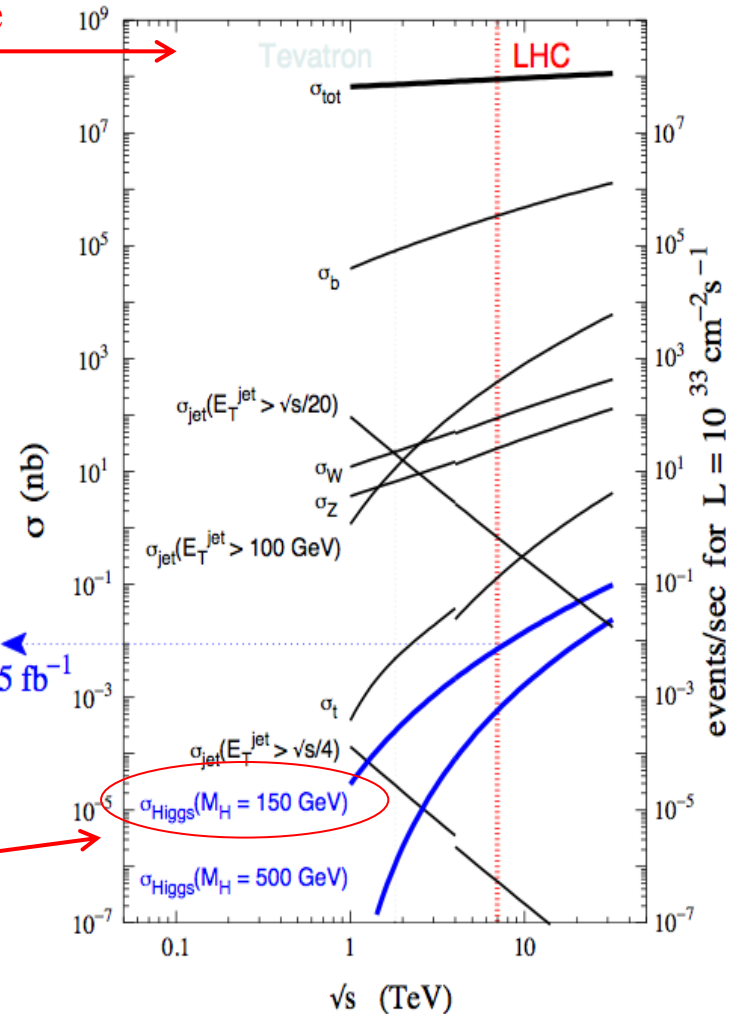
Urto protone-protone



10^{-12}

$\sim 50\,000$ events/ 5 fb^{-1}

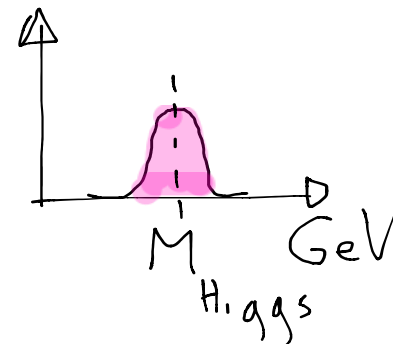
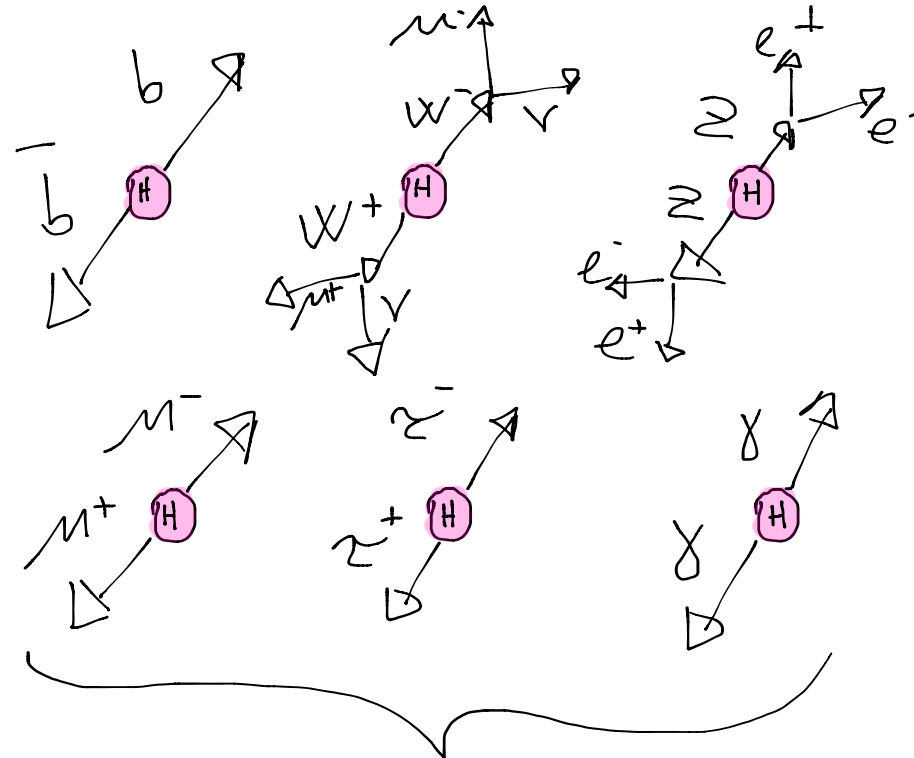
Urto protone-protone che fa un Higgs



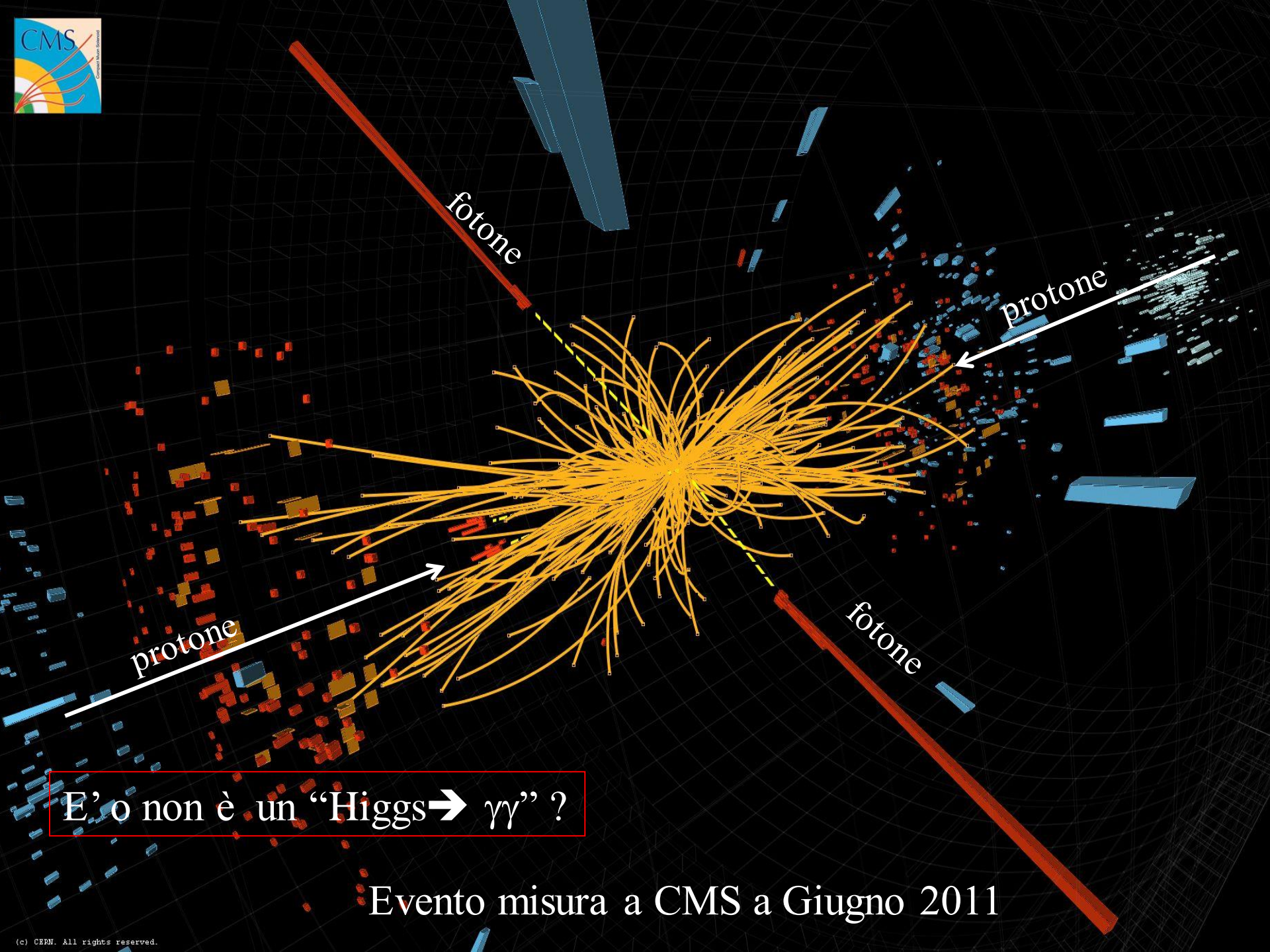
Come facciamo a vederlo?

Il bosone di Higgs non vive abbastanza a lungo per essere misurato, ma decade subito in altre particelle.

Dobbiamo misurare la massa di coppie bb , oppure WW , ZZ , ..., $\gamma\gamma$, e vedere se è la stessa.



Tutte le combinazioni hanno la stessa massa!

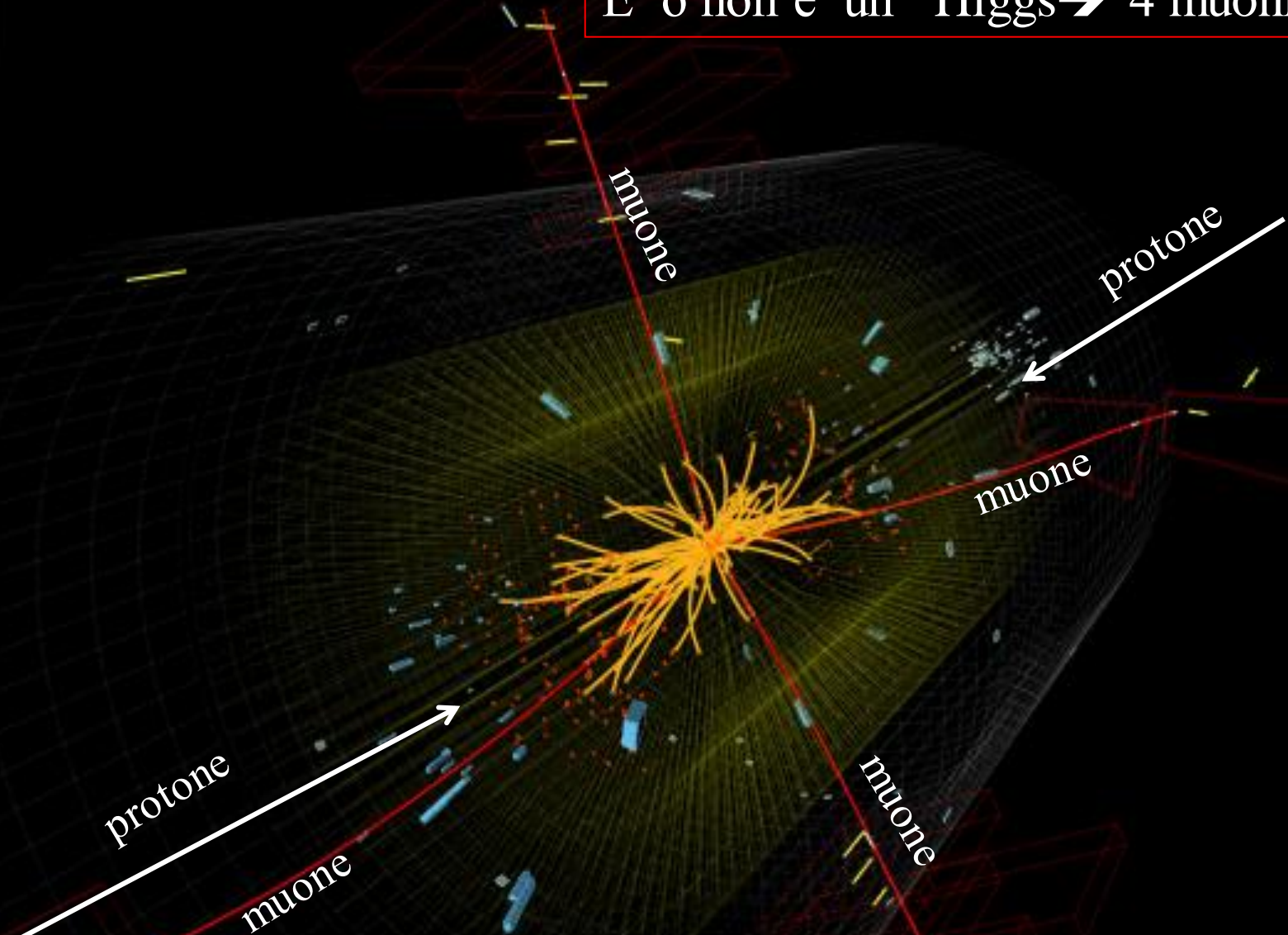


E' o non è un "Higgs $\rightarrow \gamma\gamma$ " ?

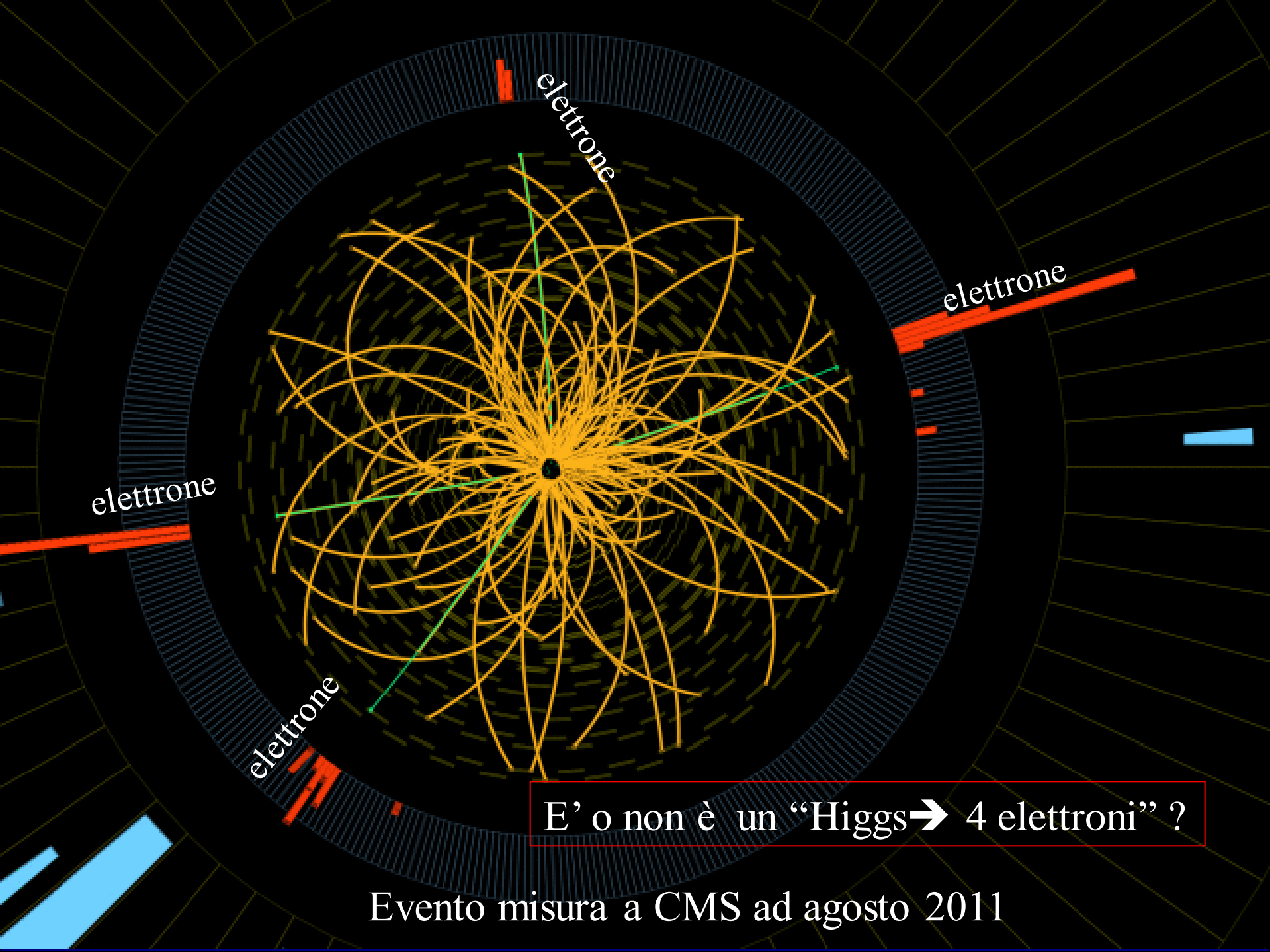
Evento misura a CMS a Giugno 2011



E' o non è un "Higgs → 4 muoni" ?



Evento misura a CMS ad Agosto 2011



E' o non è un "Higgs \rightarrow 4 elettroni" ?

Evento misura a CMS ad agosto 2011

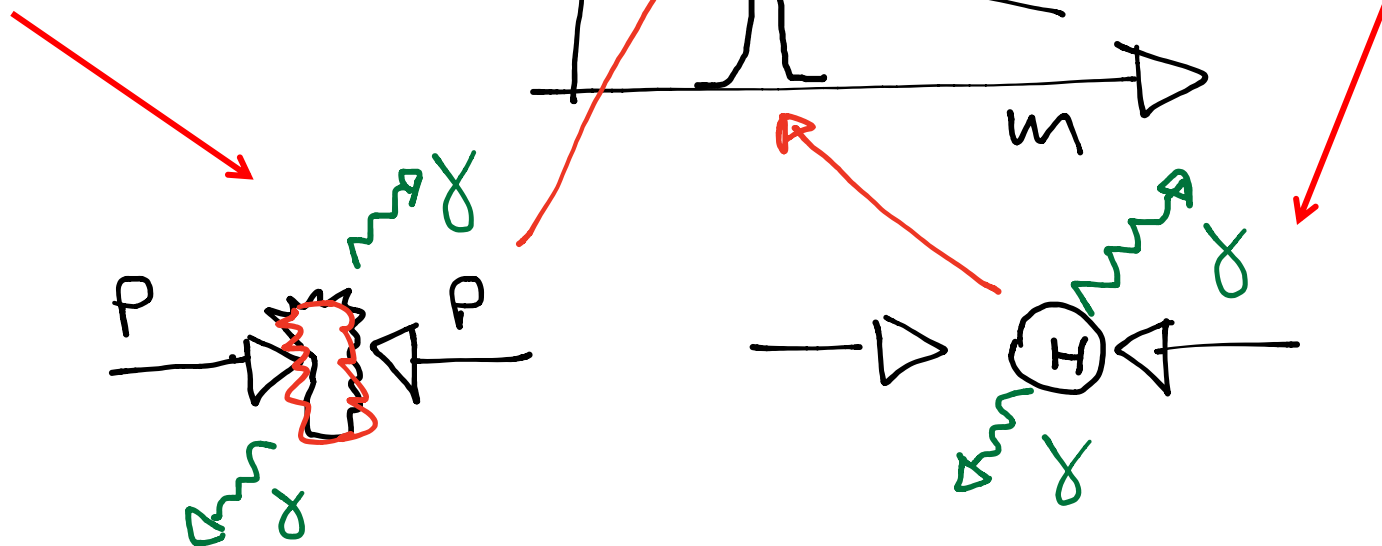
Coppie di fotoni

Se le coppie di fotoni:

sono casuali, allora la loro massa non ha un valore fisso.

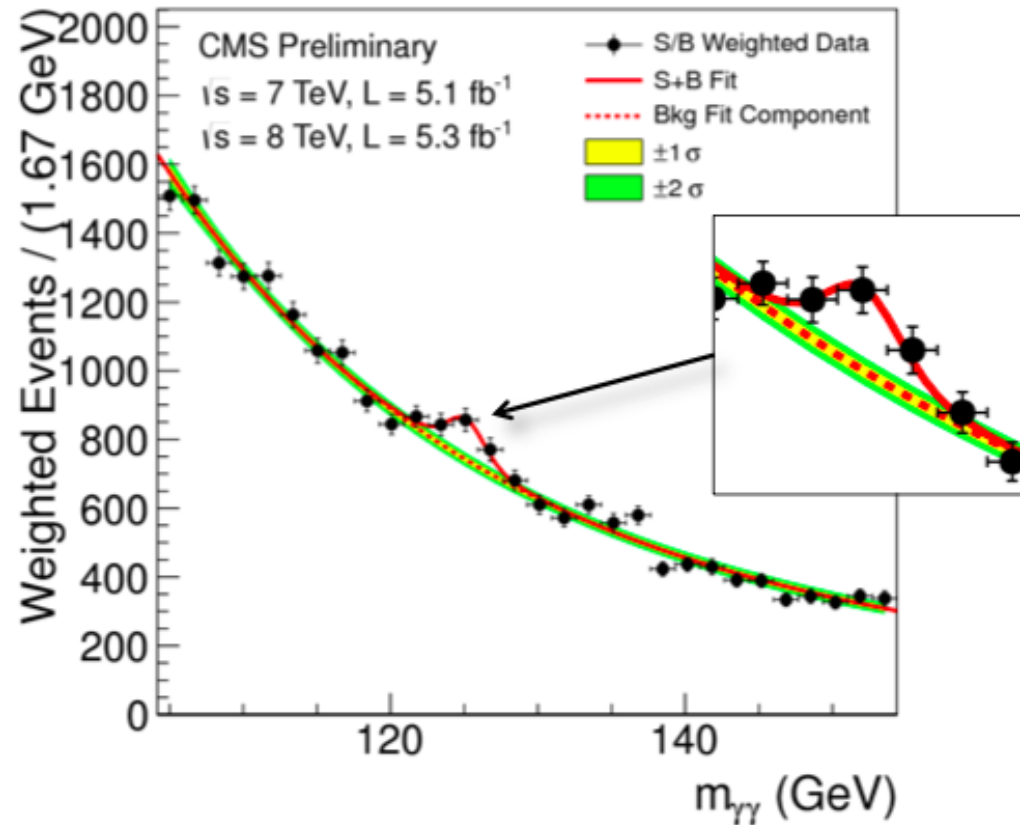
vengono dal decadimento dell'Higgs, allora hanno tutte la stessa massa:

$$M_{\gamma\gamma} = M_{\text{Higgs}}$$



Cosa può capitare? Che si vede un picco in più

In questo grafico si vede il background ed il segnale della nuova particella:



Stoccolma!!!!

Perché l'Higgs è così speciale?

1. È un pezzo fondamentale della teoria: senza l'Higgs tutta la nostra comprensione della fisica delle particelle è nulla
1. Permea tutto lo spazio. Non si era mai visto prima un effetto così
2. È la prima particella elementare con spin 0 mai trovata. È quindi un nuovo stato della materia.
3. È un nuovo tipo di forza: il campo di Higgs è la quinta forza della natura

Cosa capita adesso...

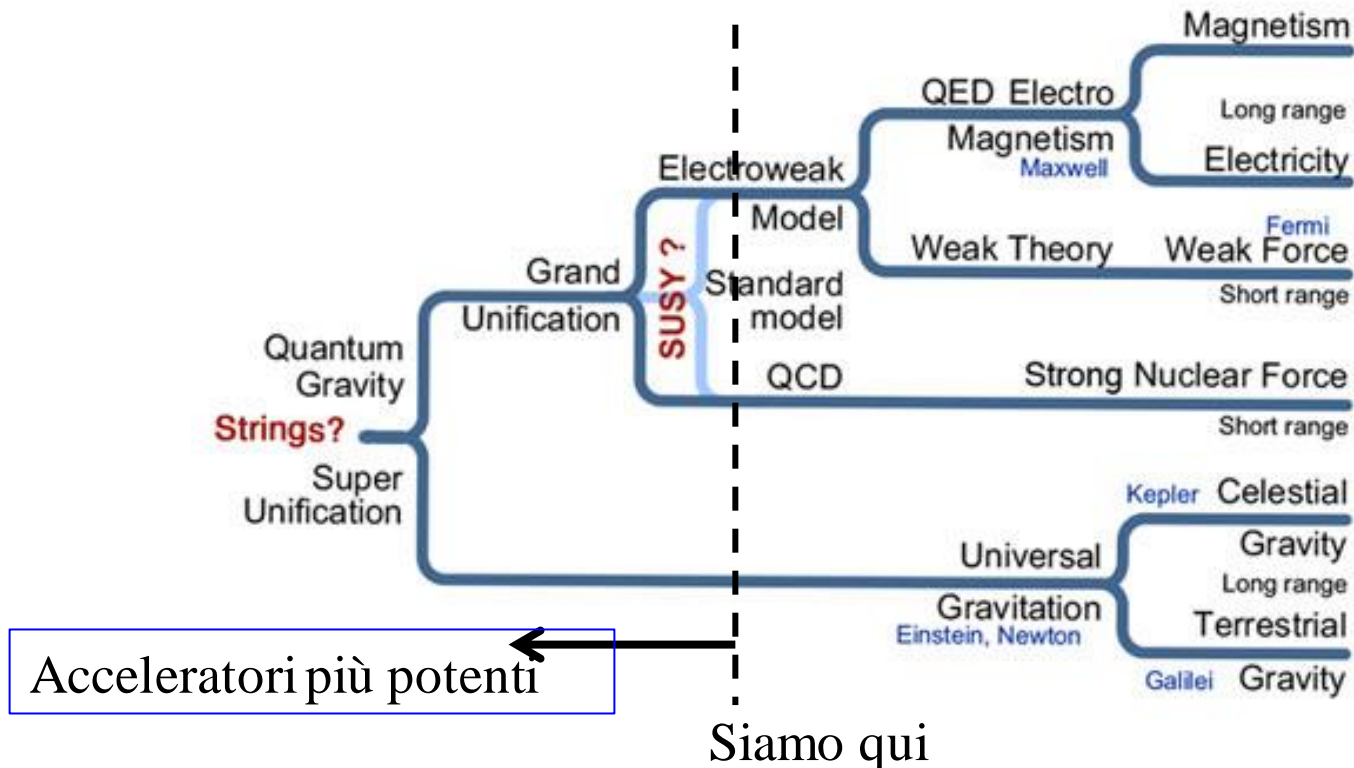
Noi abbiamo una ottima descrizione della natura fino ad includere il bosone di Higgs...tuttavia sappiamo che andando ad energie più alte ci devono essere altre cose.

È come dire: sappiamo descrivere ghiaccio ed acqua, ma non sappiamo niente del vapore.

Ci manca la spiegazione della natura ad alta energia: non sappiamo cosa capita quando particelle velocissime si scontrano. Magari niente, magari creano altre particelle molto più pesanti di quelle che conosciamo

Unificazione

Un paradigma accettato da tutte le teorie è che ad alta energia tutte le forze diventano simili, sono tutte mediate dallo stesso messaggero: fotone = gravitone = gluone = ...

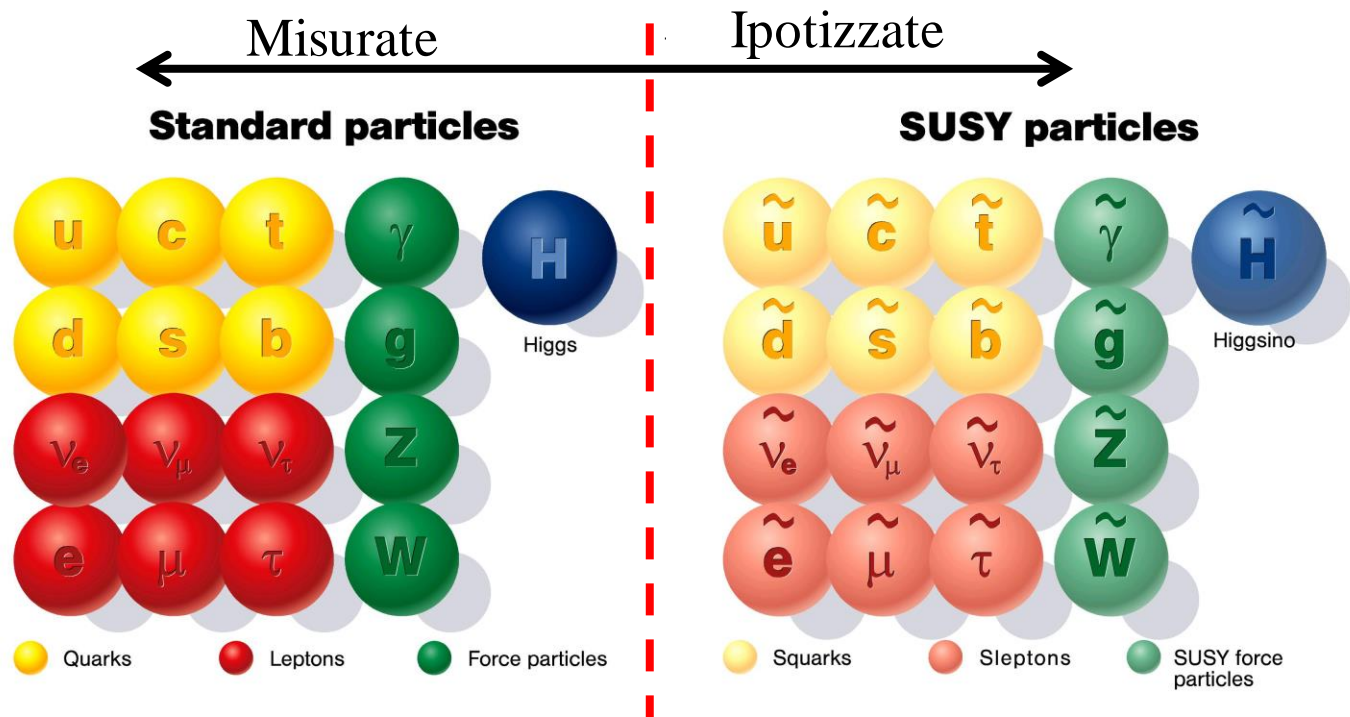


La Supersimmetria - I

Il modello standard delle particelle prevede il bosone di Higgs, e la scoperta di altre particelle.

Un modello possibile si chiama “supersimmetria”

La “Supersimmetria” dice che ogni particella esiste in due stati: fermionica che bosonica.



La Supersimmetria - II

Secondo la supersimmetria quindi dobbiamo trovare:

- Quark e leptoni che sono bosoni (s-quark, s-lepton)
- Gluoni, fotoni che sono fermioni

→ Dato che è una simmetria deve capitare:

massa dei quark = massa s-quark

massa dei leptoni = massa degli s-leptoni

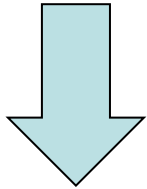
Non abbiamo mai trovato s-quark o s-leptoni, quindi **la loro massa è molto più grande dei loro fratelli fermionici**. Questo vuol dire che:

1. La supersimmetria è rotta (nascosta da qualche cosa)
2. La supersimmetria è un'idea sbagliata

La natura: 2 simmetria nascoste

L'universo è fatto (forse) da particelle (supersimmetriche) che si presentano sia nello stato bosonico che fermionico, tutte a massa nulla (elettrone con spin = 0 ed $1/2$).

??



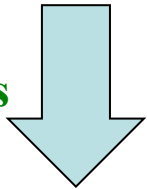
La supersimmetria è rotta da qualche cosa che non sappiamo, che agisce sulle particelle bosoniche e le fa sparire (molto molto pesanti??)

Le particelle fermioniche sono ancora senza massa

IPOTESI



Higgs



La simmetria è rotta dal campo di Higgs

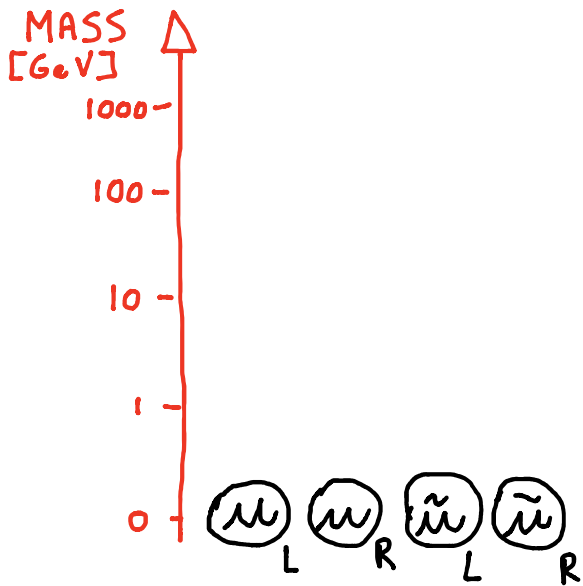
Misurato



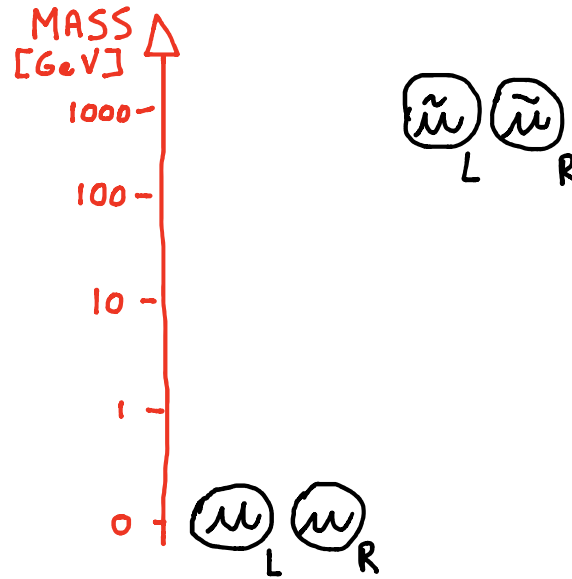
Le particelle fermioniche hanno massa “piccola” (< 200 GeV)
 le particelle bosoniche sono molto pesanti ($\sim 500-1000$ GeV)

È vero??? E perché?'

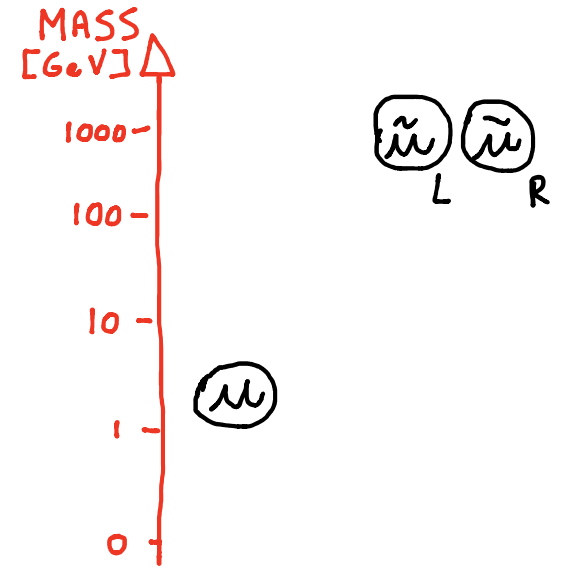
Masse e simmetrie nascoste



Unbroken
SuperSymmetry



broken
SuperSymmetry



broken
SuperSymmetry
broken
Chiral Symmetry

Problema successivo:

Quello che si sperava era di trovare:

1. il bosone di Higgs
2. la scoperta della supersimmetria (o di qualche altra particella)

La particella di Higgs, da sola, è inspiegabile: senza la supersimmetria (o qualche cosa di analogo) i calcoli matematici non hanno senso.

I nostro colleghi teorici, erano molto sicuri di se:
“abbiamo capito tutto: ad LHC troverete sia l’Higgs che altre cose”.

Abbiamo trovato l’Higgs, ma niente d’altro!!

Rapporto teorici-sperimentali prima e dopo LHC

pre - LHC

post - LHC



Fisico teorico

Fisico sperimentale



Fisico
teorico

Fisico sperimentale

E adesso cosa facciamo?

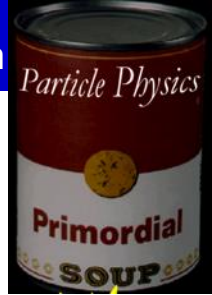
Ci sono domande fondamentali di cui non sappiamo la risposta, abbiamo teorie che ipotizzano delle soluzioni.

Dobbiamo trovare delle nuove particelle per capire quale delle teorie proposte sia quella giusta.

LHC riparte tra due anni con energia più alta, speriamo di trovare cose nuove...



Adesso, per capire le leggi della fisica, guardiamo il cielo...



Fisica astro-particellare

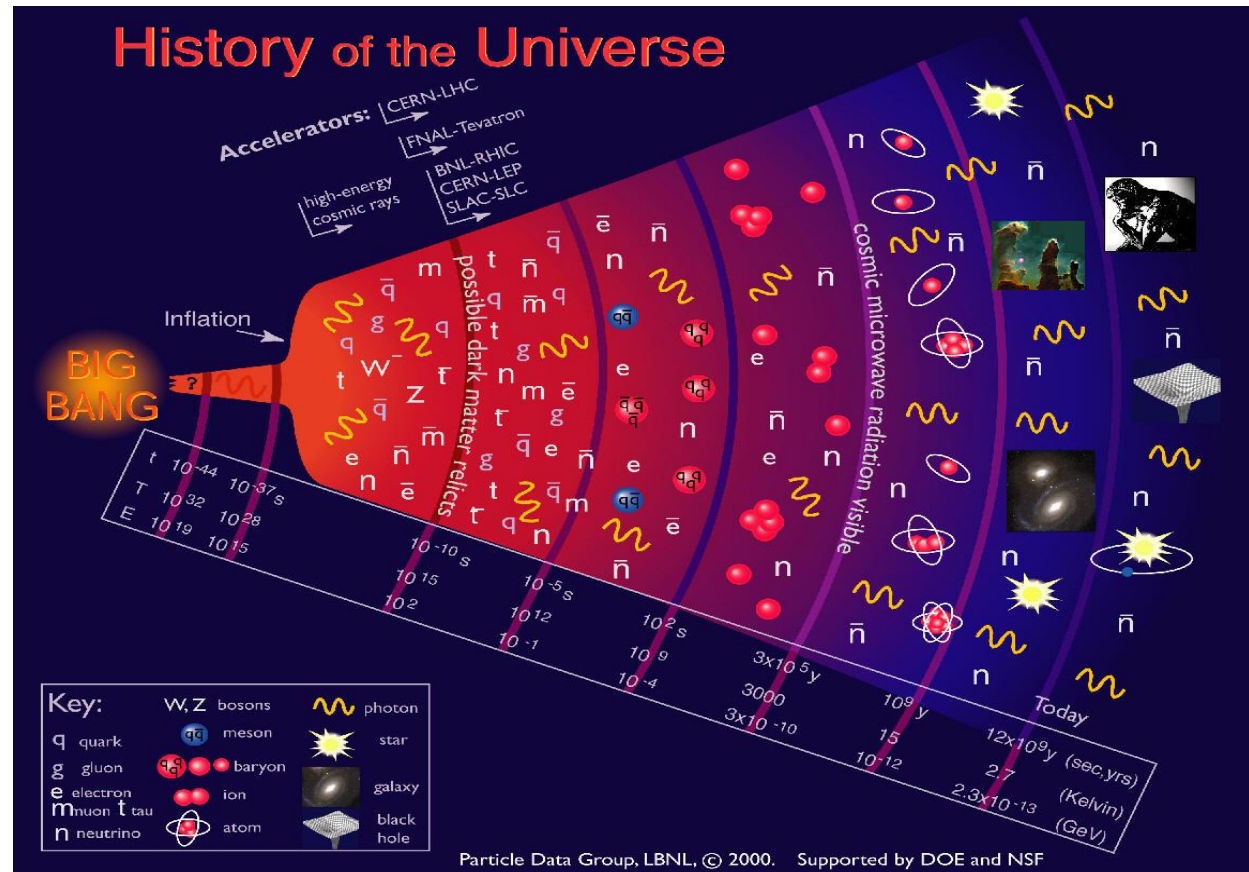
Gli istanti iniziali del nostro universo sono stati governati dalle stesse forze che studiamo negli acceleratori, per cui è naturale guardare le stelle per capire cosa sia capitato..

Studiare le leggi che hanno regolato l'evoluzione dell'universo è equivalente a fare un enorme esperimento.

È provato che:

1. Ci sia stato un big bang
2. Che ci sia stato un momento di rapidissima espansione (inflazione)

La fisica di LHC è quella di 10^{-11} sec dopo il big-bang



Longano = indietro nel tempo

Ci serve un concetto fondamentale, usato sempre in astrofisica:

Guardare lontano vuole dire guardare indietro nel tempo.

La luce di una galassia lontanissima ci ha messo tantissimo tempo ad arrivare, e quindi ci racconta come era la galassia quando è partita.

1. Noi vediamo la luna com'era 1.3 secondi fa
2. Noi vediamo il sole com'era 500 secondi fa
3. Le stelle al limite della nostra galassia com'erano 100,000 anni fa

Velocità di espansione dell'universo

Consideriamo una macchina dei pompieri con la sirena accesa. Guardando ed ascoltando possiamo imparare due cose:

- Sapendo la sua dimensione reale, dalla sua dimensione apparente possiamo capire la **posizione**
- Sapendo la sua frequenza reale, dalla frequenza apparente possiamo calcolarne la **velocità** (effetto doppler)



Nell'universo le macchine dei pompieri sono le **supernova 1 a**: se ne conosce la luminosità e frequenza molto bene.

Dalla luminosità e frequenza apparente, possiamo ricavare la **posizione e velocità delle supernovae**.



supernovae lontano hanno velocità minore di quelle vicine

Dark Energy

Ricordiamoci:

Supernovae lontano = supernovae più antiche

Supernovae vicino = supernovae più recenti.

La velocità di espansione di supernovae più antiche è più lenta di quelle più recenti

Conclusione: nel passato, l'espansione dell'universo era più lenta, cioè l'universo sta accelerando.

(premio Nobel per la fisica 2011).

→ Esiste una forma di energia che esercita una forza repulsiva:

DARK ENERGY

Non abbiamo assolutamente idea cosa sia....

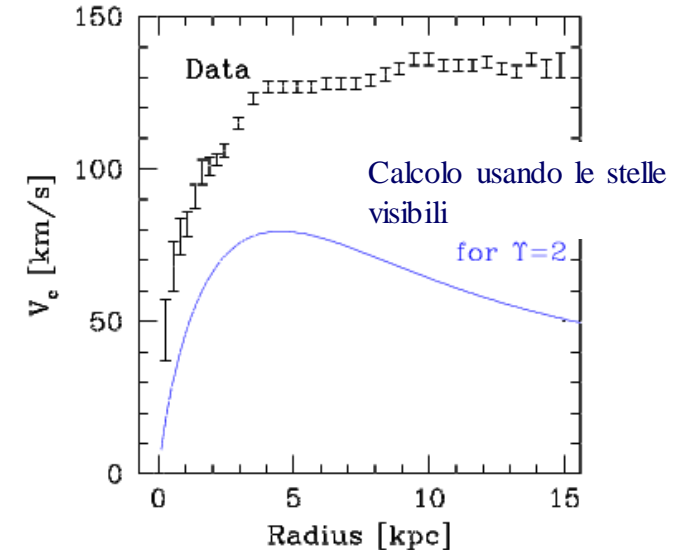
(secondo il BigBang l'espansione dovrebbe rallentare a causa della gravità)

Velocità di rotazione delle galassie

Consideriamo una galassia qualunque. Le stelle ruotano intorno al centro della galassia, come i pianeti intorno al sole.

Usando le leggi di Newton e Keplero, si può dimostrare che le stelle alla periferia devono girare più piano, cioè che **dove c'è meno materia le stelle girano più piano.**

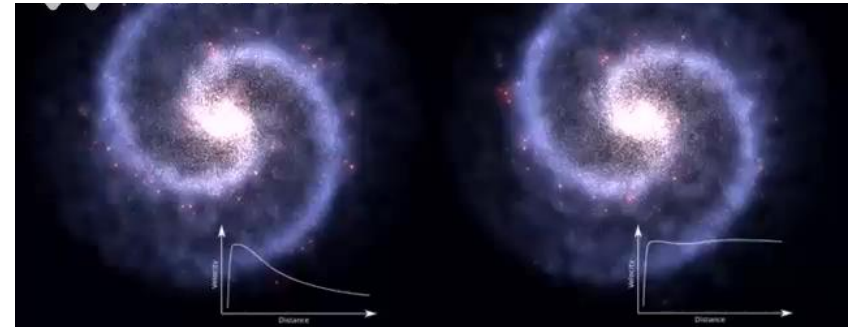
In realtà la velocità di rotazione è costante all'aumentare del raggio



Dark matter

La velocità di rotazione è costante all'aumentare del raggio: per ottenere questo effetto ci deve essere tantissima altra materia, che non fa luce, ma che produce forza gravitazionale: **dark matter**
E non sappiamo cosa sia...

**Dark matter =
500% normal matter !!!**



Un problema ovvio

Durante il big bang, cioè il momento iniziale del nostro universo, si è creata tanta materia quanta anti-materia, tuttavia abbiamo un ovvio problema:

Dove è finita l'anti-materia?

Imbarazzante: non abbiamo idea

=> Abbiamo perso il 50% delle particelle..

Nota: materia ed anti-materia non sono esattamente uguali: se lo fossero sarebbero scomparse entrambe nello stesso modo ed adesso ci sarebbe solo energia (questo problema si chiama “CP violation”, è una violazione di simmetria)

Di cosa è fatto l'universo?

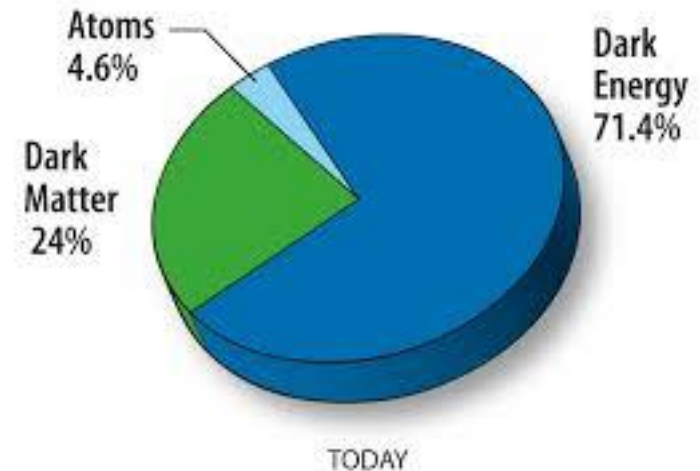
Il 4-5 % è costituito dalla materia che conosciamo

Il 22-25% è costituito da **'Dark Matter'**:

- I. Non emette nessun tipo di radiazione elettromagnetica.
- II. Fa ruotare le galassie più velocemente
- III. Una possibilità è che contenga 'particelle super-simmetriche'

Il 70 - 73% è composto da **'Dark Energy'**

1. Riempie uniformemente tutto lo spazio
2. Aumenta la velocità di espansione dell'universo



Sommario

Abbiamo trovato l'Higgs (probabilmente)

Non abbiamo trovato altre particelle, quindi la nostra teoria principale, lo "Standard Model", non sa come spiegare alcuni aspetti della fisica che vediamo ad LHC.

Non sappiamo:

1. perché l'**anti-materia** sia sparita
2. cosa sia la **materia oscura** che fa girare le galassie
3. cosa sia l'**energia oscura** che fa accelerare l'universo
4. quale sia stata la forza che ha causato l'**inflazione**

Abbiamo un'arma segreta: voi! Venite ad aiutarci