



Università "Cardinale Giovanni Colombo" - Milano

A.A. 2024 - 2025

Corso di Astrofisica

Docente: **Adriano Gaspani**

Lezione 20

Il Campo di Higgs:

Massa e Gravità

Una delle domande principali che la fisica si pone è:

**da dove nasce la massa?**

*Senza massa l'universo sarebbe un luogo molto diverso da quello che osserviamo.*

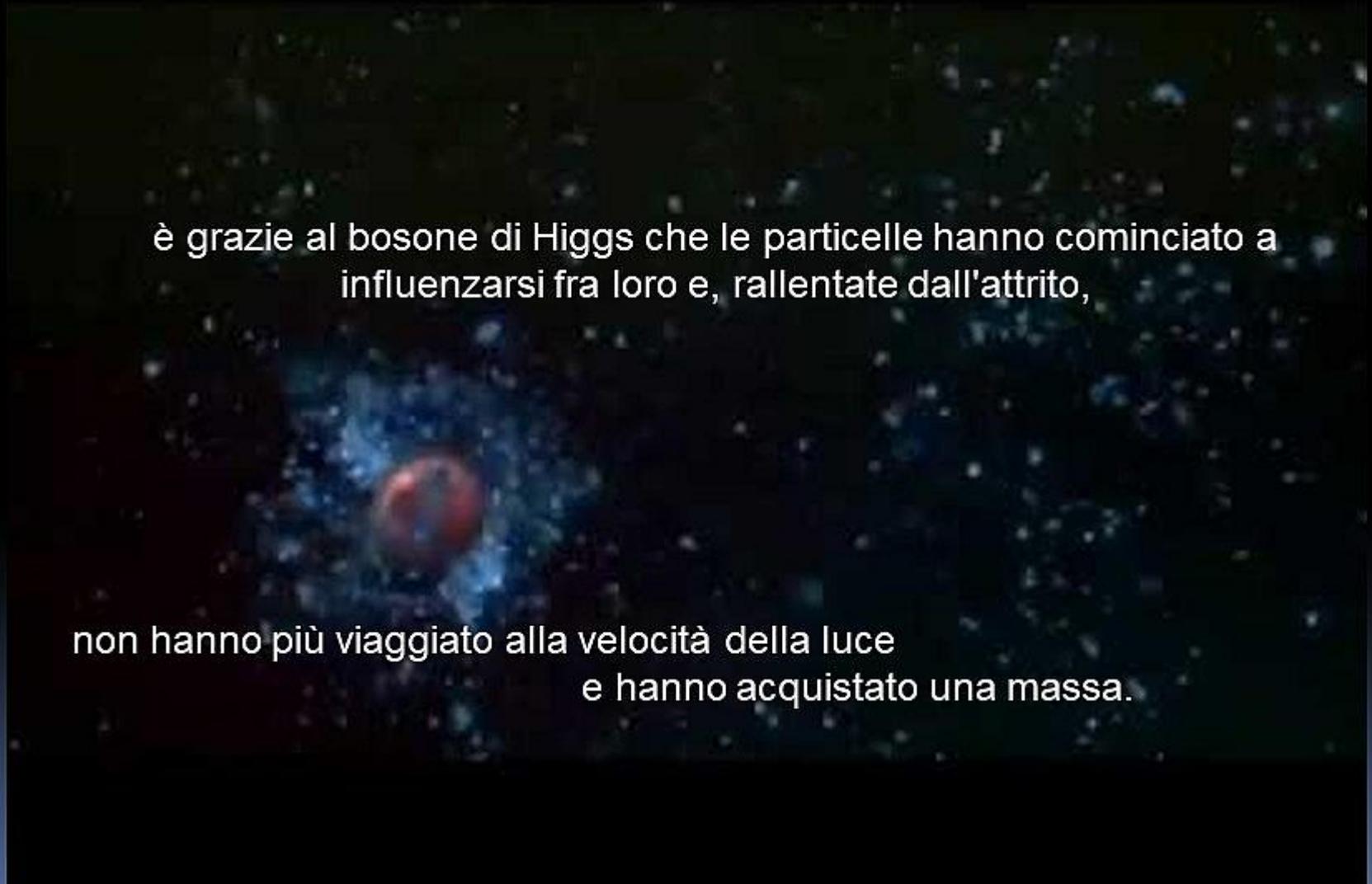
*Se l'elettrone non avesse massa, per esempio, non ci sarebbero atomi e non esisterebbe quindi la materia come noi la conosciamo e che ogni giorno è sotto i nostri occhi.*

*Il **bosone di Higgs** è una particella che porta a generare la massa.*

Secondo quanto previsto negli anni sessanta dal fisico britannico Peter Higgs,

è grazie al bosone di Higgs che le particelle hanno cominciato a influenzarsi fra loro e, rallentate dall'attrito,

non hanno più viaggiato alla velocità della luce  
e hanno acquistato una massa.



E nel 2013, quando l'ipotesi scientifica è diventata certezza grazie al lavoro degli scienziati del **Cern di Ginevra**, il **Nobel per la Fisica** è stato assegnato a **Peter Higgs** e **Francois Englert**



Higgs suggerì l'esistenza della particella (il bosone che porta il suo nome) all'inizio degli anni '60.

Ma la teoria venne proposta in maniera indipendente da Englert e Higgs nel 1964.

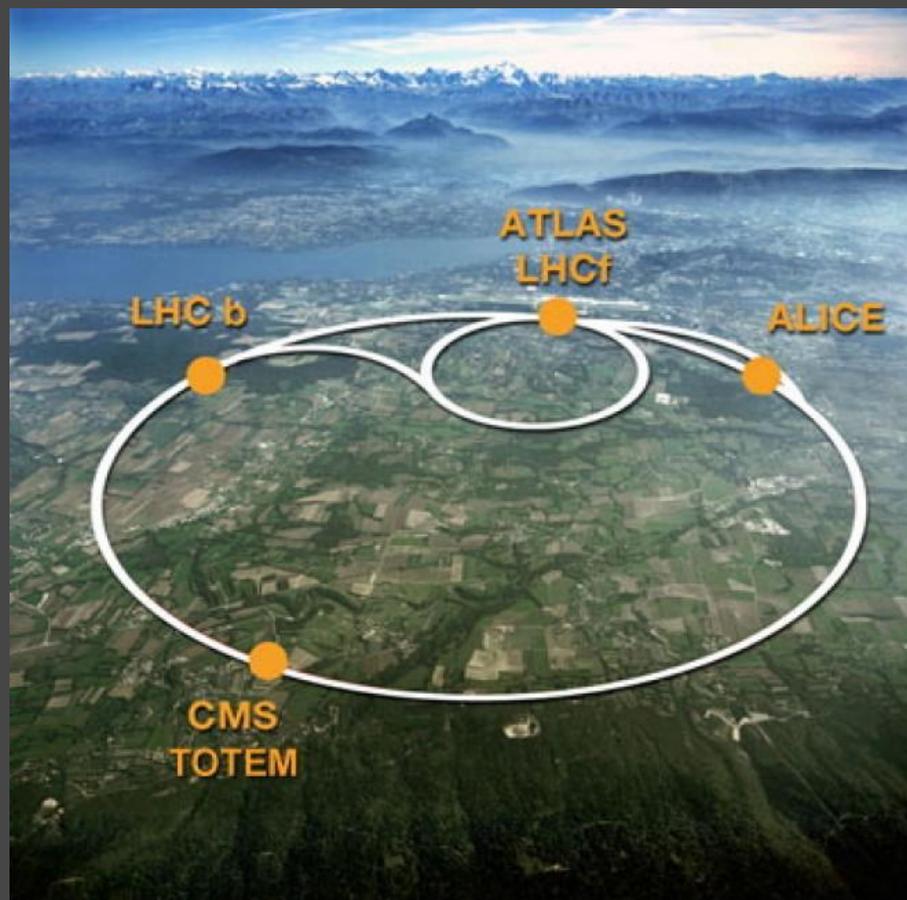
**5 sigma**, ovvero il 99,99997% di affidabilità, questo era il numero che al **Cern** tutta la comunità scientifica aspettava prima di dare la notizia della "**cattura**" del più famoso latitante della quantistica: il **bosone di Higgs**. Ma che cos'è e perchè è così importante?



Nobel per la Fisica 2013: François Englert e Peter Higgs

La particella viene chiamata anche, erroneamente, di "Dio", ma tale soprannome nasce da un equivoco sulla censura del nome "Goddamn" ("maledetta", per l'evidente difficoltà di rilevarla) che le diede il fisico Lederman. La sua massa microscopica è molto vicina a quella teorizzata da Higgs, 48 anni fa, di 126 GeV, ed è significativamente più grande degli altri bosoni conosciuti.

Per riuscire a rilevare con sufficiente sicurezza la sua presenza il Cern di Ginevra ha costruito un acceleratore di particelle, LHC, della lunghezza di 27 km, capace di generare campi elettromagnetici tali da lanciare i protoni a una velocità prossima a quella della luce, liberando un'energia pari a 8 mila miliardi di eV, per intenderci, alcuni fisici espressero la paura della possibilità che si creassero dei piccoli buchi neri durante l'esperimento.



Ma in cosa consiste la teoria del meccanismo che contribuisce alla comprensione dell'origine della massa delle particelle subatomiche (protoni, elettroni, neutroni, ecc)?

L'origine della massa di tutte le particelle elementari viene spiegata proprio attraverso la presenza del campo di Higgs  
(un campo di forze che riempie tutto l'universo, del quale il bosone è "portatore" della forza)  
nello spazio vuoto.

Il bosone di Higgs, in qualche modo, fa da collante:

costringe ad interagire e ad unirsi tra di loro tutte le componenti della materia.



Ricordate i **12 tipi di particelle materiali**  
(6 quark e 6 leptoni) e le **13 particelle intermedie di forza** che permettono loro di influenzarsi le une con le altre?

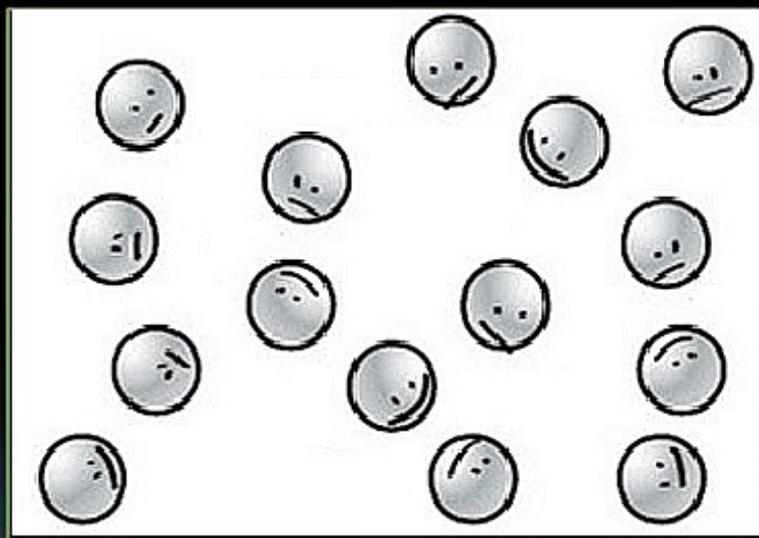


Questi attori sarebbero dei burattini immobili se non venissero animati da qualcosa in grado di dare loro una massa:

questo qualcosa si chiama bosone di Higgs,

## Un esempio per spiegare il meccanismo di funzionamento del bosone di Higgs

Immaginiamo una festa in cui gli ospiti in una sala sono più o meno distanziati allo stesso modo.

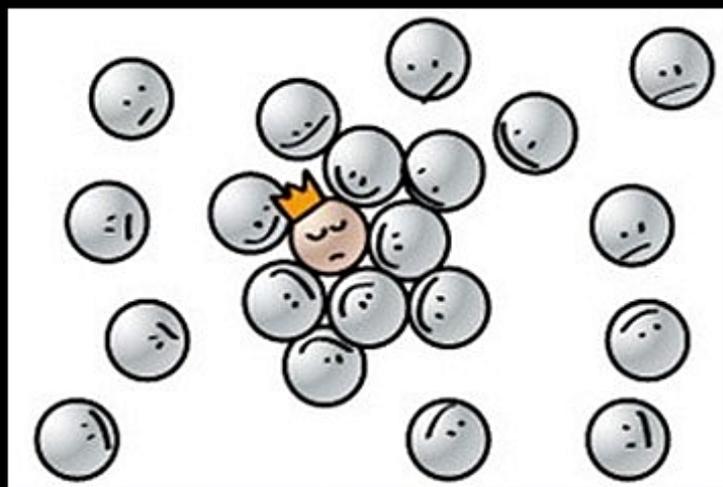


La sala con gli ospiti rappresenta il "campo di Higgs" che è presente in tutto l'Universo.

Improvvisamente in sala entra una celebrità.

Gli ospiti notano la celebrità e si avvicinano all'importante ospite formando un gruppetto attorno a lui.

A questo punto la celebrità è rallentata nel suo movimento dal gruppo di ospiti che le sta attorno.

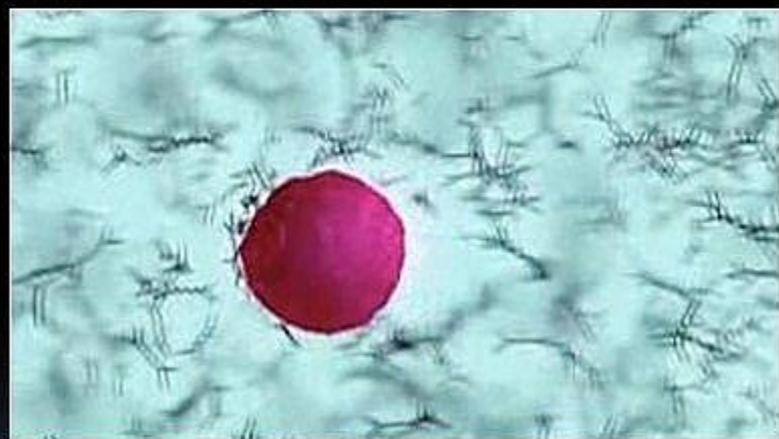


E' come se avesse una "massa" che lo ostacola nel suo cammino.

Non solo, ma se si cerca di frenare il gruppo non è affatto facile farlo, perché adesso possiede una certa "inerzia".

Un altro esempio usato comunemente per rappresentare la diversa interazione delle particelle elementari con il campo di Higgs, e quindi l'origine delle loro masse

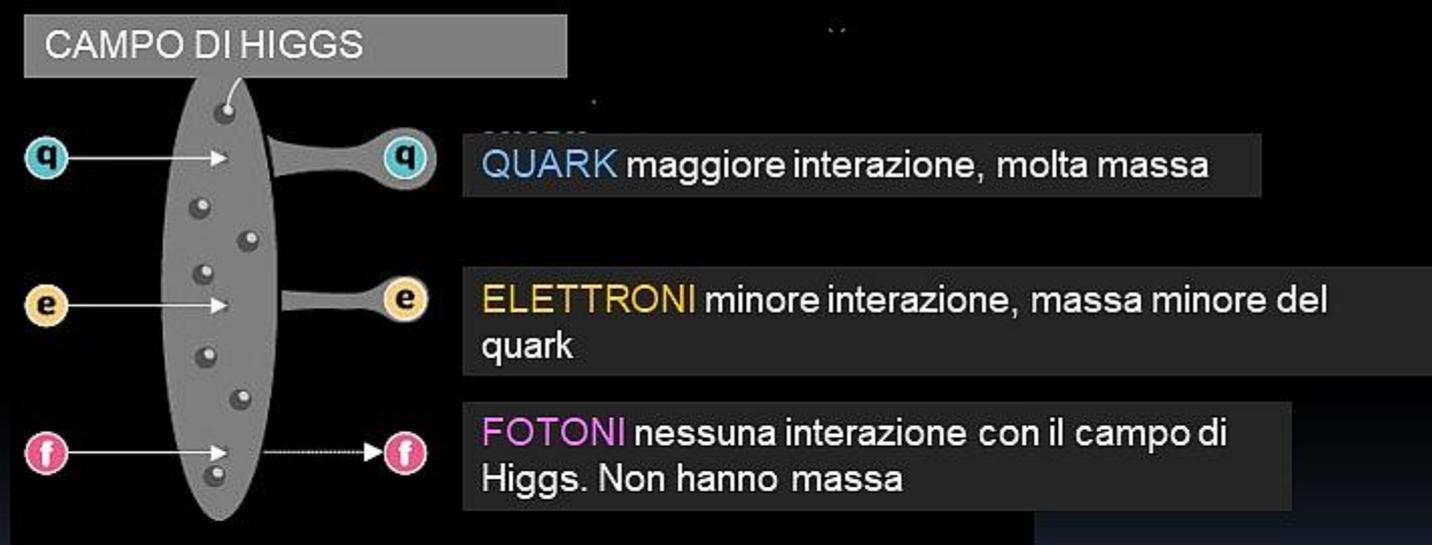
è quella di immaginare palline di diversa grandezza e velocità che attraversano un **fluido molto viscoso** (come della melassa)



La sostanza si appiccica in modo diverso alle varie palline, rallentandole in misura maggiore o minore.

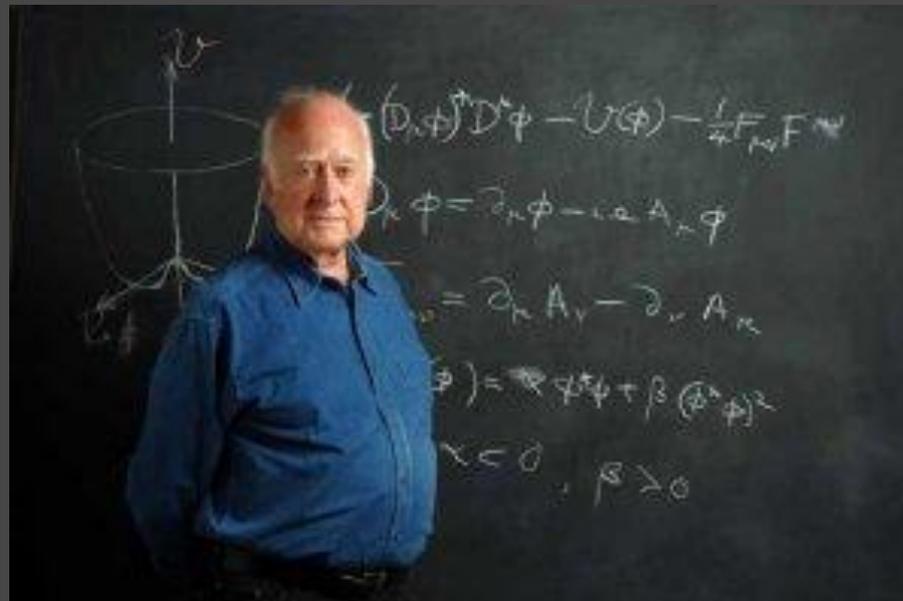
Se il campo di Higgs non ci fosse, l'universo sarebbe fatto di particelle senza massa in movimento alla velocità della luce!

Ciascuna particella, quindi, interagisce con questo campo in modi differenti:



Quindi: maggiori sono queste interazioni,  
maggiore sarà la massa della particella che lo attraversa

L'importanza del bosone di Higgs, che è un "quanto" (unità di misura indivisibile) del **campo di forza di Higgs**, nella fisica moderna, è legata direttamente alla sua **capacità di dare una spiegazione semplice alla rottura delle simmetrie di Gauge** (modificando il vuoto, in parole povere, conferirebbe massa a se stesso e alle altre particelle sub-atomiche) e quindi in sostanza permette al **modello standard** (che è una teoria che descrive tutti i costituenti della materia fisica e tutte le interazioni fondamentali ad oggi noti, in particolare esso descrive la **forza nucleare forte, la forza nucleare debole e l'elettromagnetismo** attraverso dei bosoni mediatori, conosciuti come bosoni di gauge, fotoni, bosoni W-, bosoni W+, bosoni Z e gluoni, il modello contiene inoltre **24 particelle fondamentali**) di mantenersi coerente e di esprimere **valori sempre possibili nell'ordine della fisica quantistica** (tra 0 e 1)..



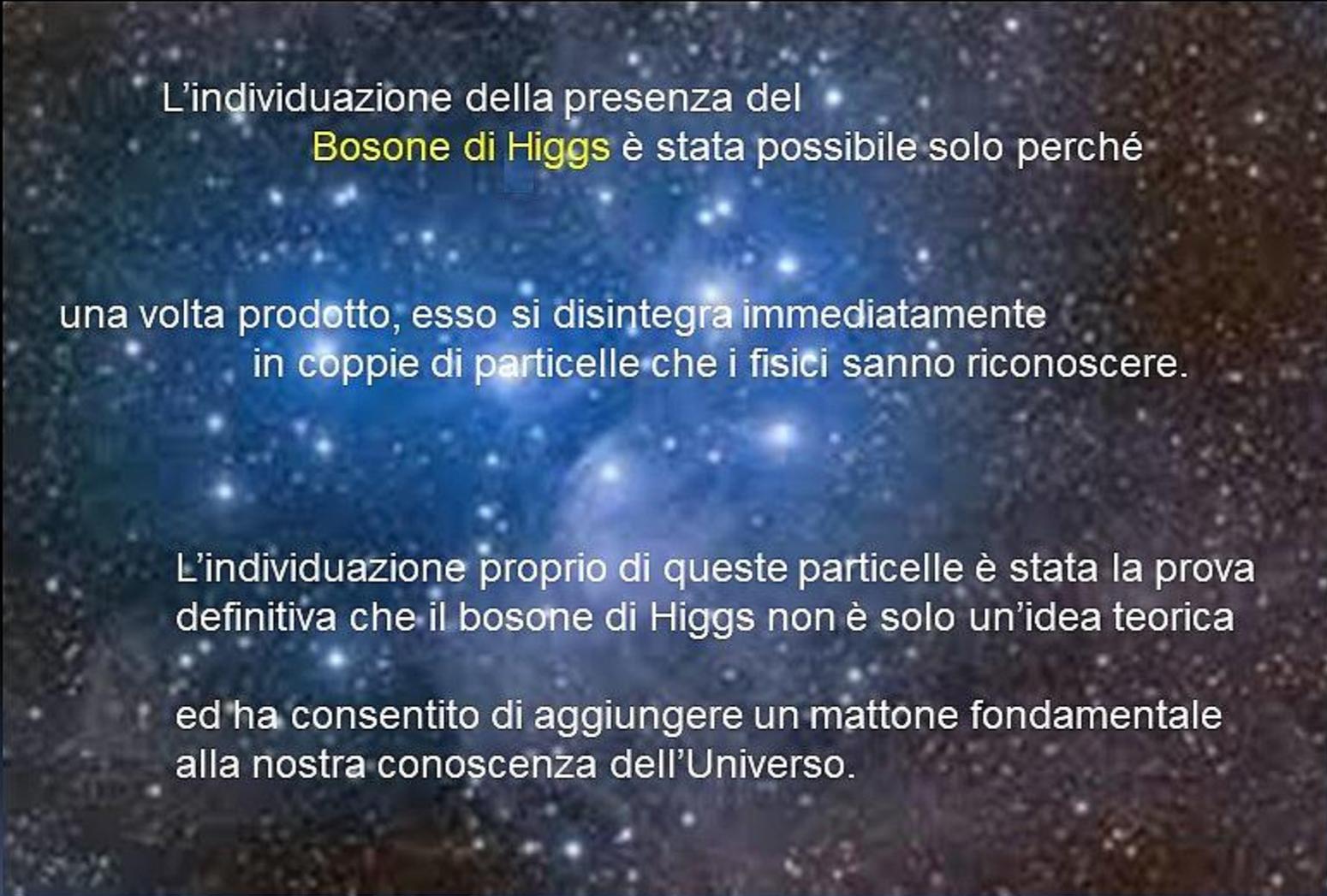
La particella di dio **Il bosone di Higgs**

Ma per l'osservazione del bosone di Higgs da parte degli studiosi del CERN è stato necessario riprodurre le condizioni che caratterizzavano lo spazio negli attimi successivi al Big Bang e ciò è stato reso difficile:

**1) dalla grande energia richiesta per la sua produzione negli acceleratori di particelle;**

**2) dal fatto che esso non esiste stabilmente per lunghi intervalli di tempo dal momento della sua creazione.**





L'individuazione della presenza del  
**Bosone di Higgs** è stata possibile solo perché

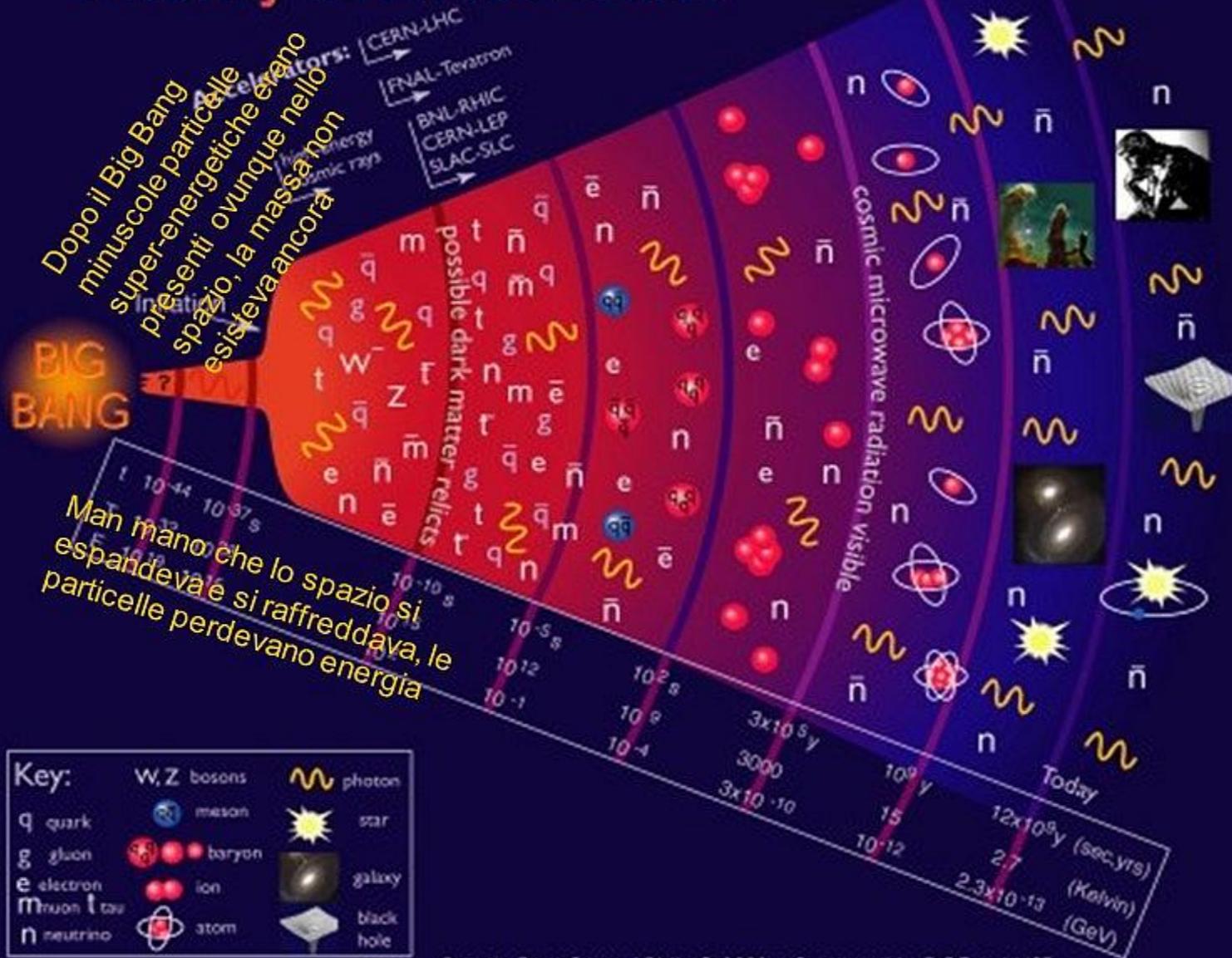
una volta prodotto, esso si disintegra immediatamente  
in coppie di particelle che i fisici sanno riconoscere.

L'individuazione proprio di queste particelle è stata la prova  
definitiva che il bosone di Higgs non è solo un'idea teorica

ed ha consentito di aggiungere un mattone fondamentale  
alla nostra conoscenza dell'Universo.

E quindi cosa è accaduto dopo il Big Bang?

# History of the Universe



# History of the Universe

Alcune attraversarono il campo senza nessun impedimento mentre altre si trascinavano con maggiore difficoltà, rallentando la loro velocità.

Ma pochi miliardesimi di secondo dopo il Big Bang,

l'Universo si ritrovò improvvisamente impregnato da un campo, «campo di Higgs»,

che ebbe un effetto incredibile su quelle particelle che si muovevano alla velocità della luce

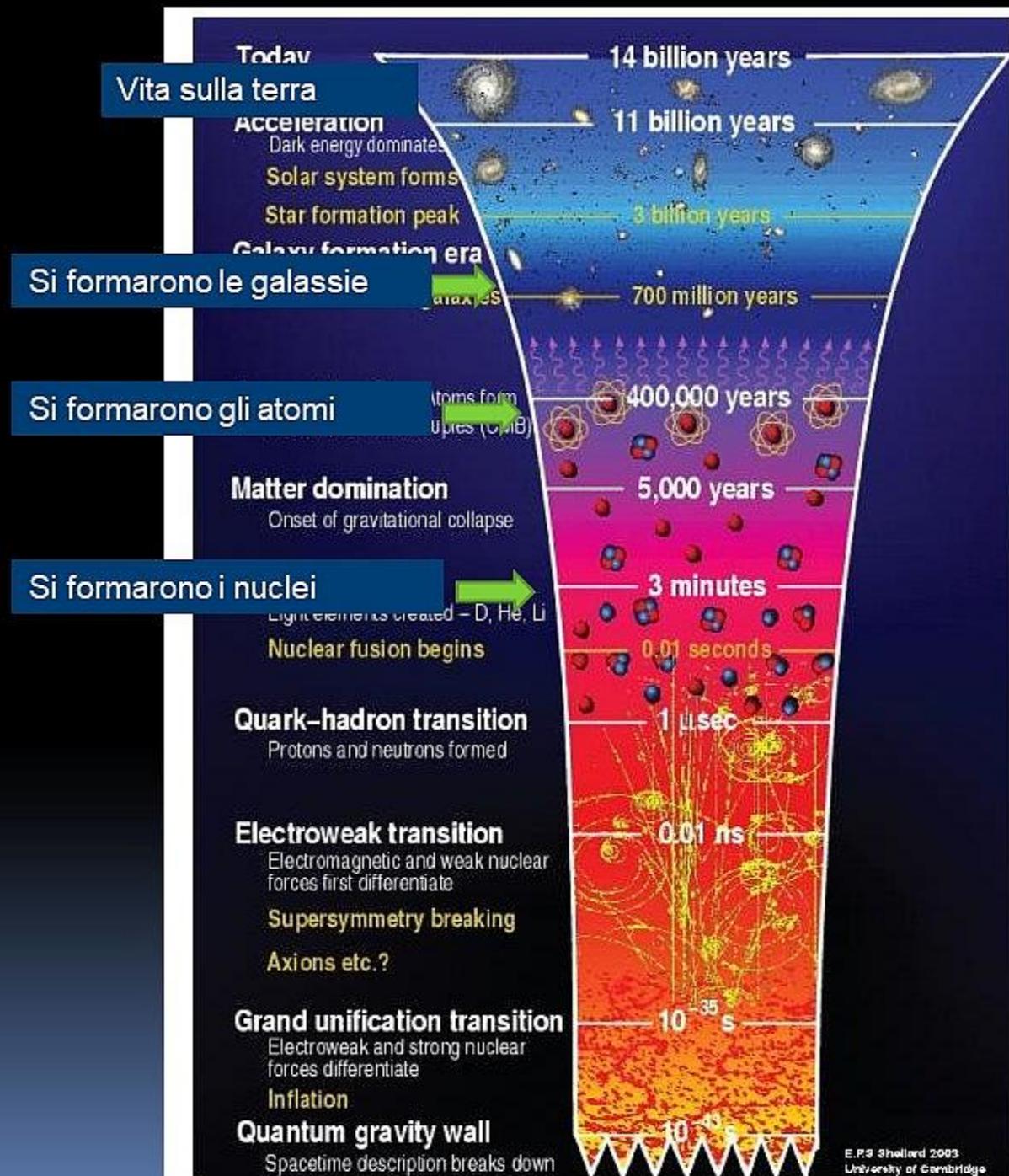
Più le particelle venivano rallentate dal campo di Higgs, più la loro energia veniva condensata in una forma super-concentrata che chiamiamo massa,

Key:

W, Z bosons	meson	photon
quark	baryon	star
gluon	ion	galaxy
electron	atom	black hole
muon		
tau		
neutrino		

t	$10^{-44}$	$10^{-37}$ s
T	$10^{32}$	$10^{28}$
E	$10^{19}$	$10^{15}$

E in seguito . . .





*Royal Swedish Academy of Science*  
*Nomina vincitori del prestigioso riconoscimento in Fisica*  
*Martedì 8 ottobre 2013*

Perché quasi tutte le particelle hanno una massa? E perché alcune, come il fotone, la “particella” della luce, hanno invece massa pari a zero?

Le risposte a questi quesiti provengono dal cosiddetto “**modello standard**”, sviluppato dai fisici teorici per spiegare il mondo dell’infinitamente piccolo in maniera coerente e completa.

Secondo tale modello, la risposta a queste domande risiede nella presenza di una particella, che fu ribattezzata bosone di Higgs. Secondo il modello standard, associato al bosone di Higgs c’è il **campo di Higgs**, un campo di forze che permea tutto l’universo, del quale il bosone è “portatore” della forza.

Quasi nessuna particella può attraversare senza conseguenze il campo di Higgs: il transito di una particella viene infatti “disturbato”, come se essa passasse attraverso una rete tesa.

Sarebbe proprio questo disturbo (i fisici parlano di “**interazione**”) a generare la massa delle particelle. Un’eccezione alla regola è appunto quella del fotone, non... incline a interagire con il campo di Higgs.

*Royal Swedish Academy of Science*  
*Nomina vincitori del prestigioso riconoscimento in Fisica*  
*Martedì 8 ottobre 2013*

Questa teoria venne proposta in maniera indipendente da Englert e Higgs nel 1964. Ed è stata per molti anni la base - soltanto teorica - del Modello Standard.

Per dimostrare le ipotesi di Higgs e Englert, è stata messa in piedi la macchina più complessa mai concepita dall'uomo: l'**LHC, il Large Hadron Collider**, il mastodontico acceleratore di particelle inaugurato nel 2008 al Cern di Ginevra. Quattro anni di collisioni tra protoni hanno evidenziato la "pistola fumante" che mancava per confermare la teoria, cioè il bosone di Higgs, la particella associata all'omonimo campo, il quale di per sé non è rilevabile.

Higgs non ha mai nascosto che alla sua stessa conclusione stavano sopraggiungendo contemporaneamente anche altri due gruppi di ricerca:

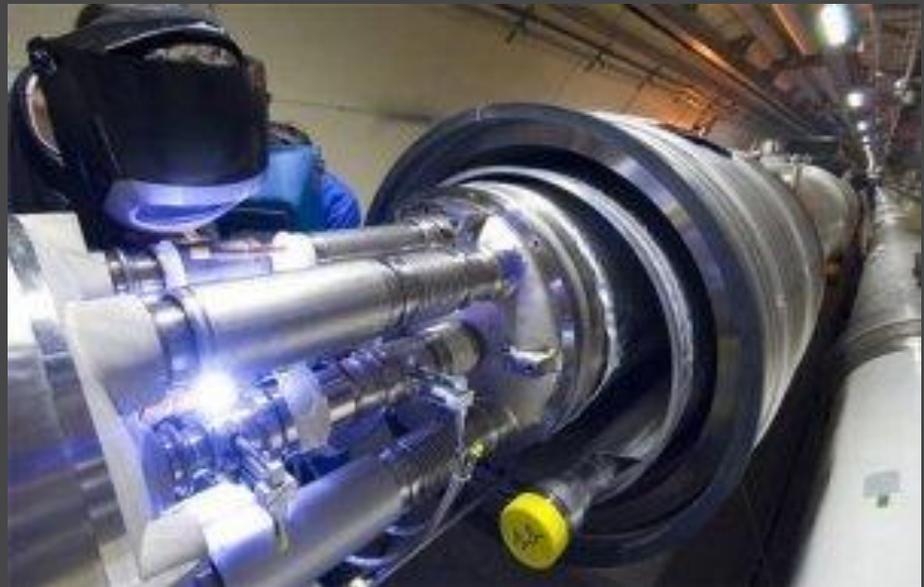
1. quello formato da Robert Brout (oggi scomparso) e François Englert dell'Università di Bruxelles (che oggi divide con Higgs il Nobel);
2. il terzetto **Gerald Guralnik, Carl Richard Hagen e Tom Kibble** dell'Imperial College di Londra che pubblicarono le loro ricerche un mese dopo.

*Royal Swedish Academy of Science*  
*Nomina vincitori del prestigioso riconoscimento in Fisica*  
*Martedì 8 ottobre 2013*

Il bosone di Higgs è la prova di una teoria che spiega come le particelle fondamentali acquistano massa. La sua esistenza rimane teorica fino al 2008-2013 quando i fisici del CERN di Ginevra mettono in atto il progetto per la costruzione di particelle LHC (Large Hadron Collider) all'interno del quale lo scontro ad alta energia tra protoni genera una serie di particelle tra le quali il bosone di Higgs.

I protoni vengono accelerati fino a una velocità pari al 99,9999991 % di quella della luce nel vuoto; quando i protoni si scontrano a questa velocità, l'energia dell'urto genera particelle elementari e stati della materia presenti durante i primi istanti dell'Universo.

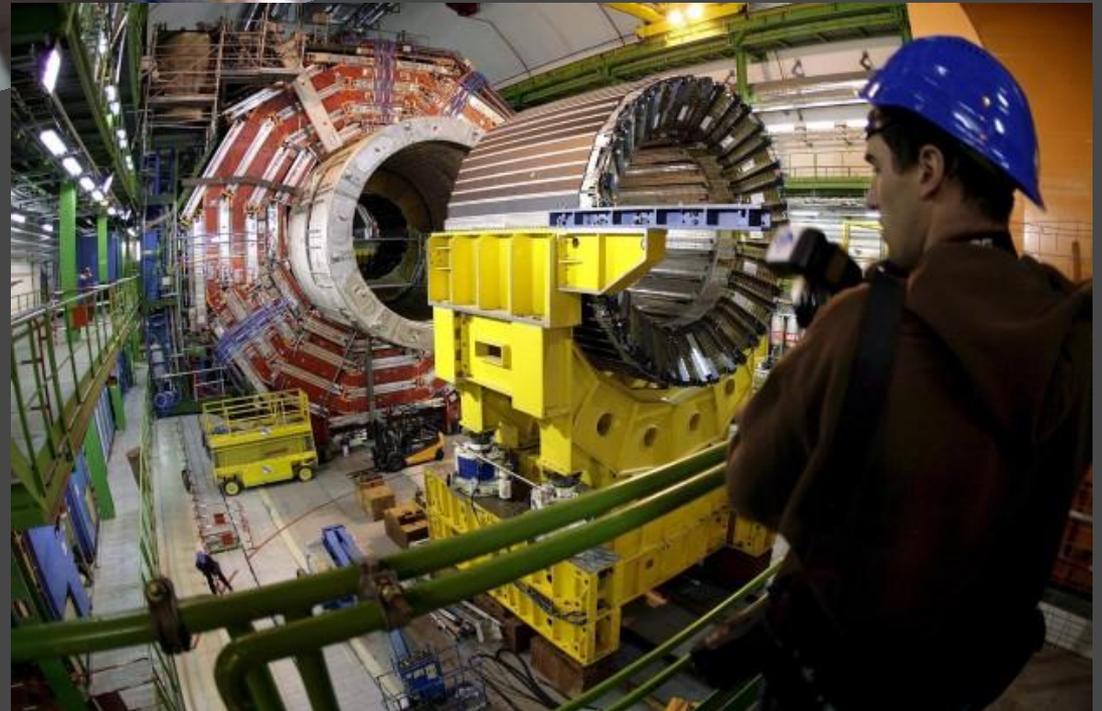
Il bosone di Higgs ha massa compresa tra 120 e 150 volte quella del protone.



20 novembre 2014



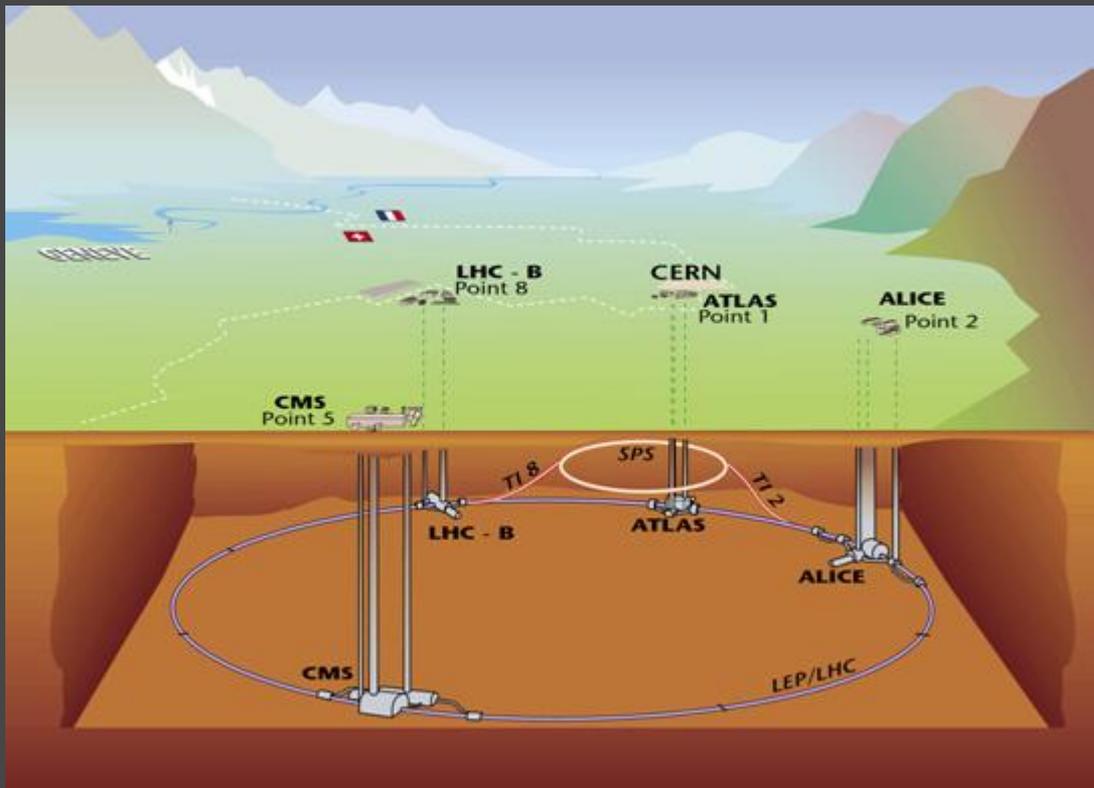
*Il Large hadron Collider, il più grande al mondo, rende accessibili a tutti i risultati dei suoi esperimenti. Anche quello che è valso il premio Nobel a Peter Higgs e a François Englert*



20 novembre 2014

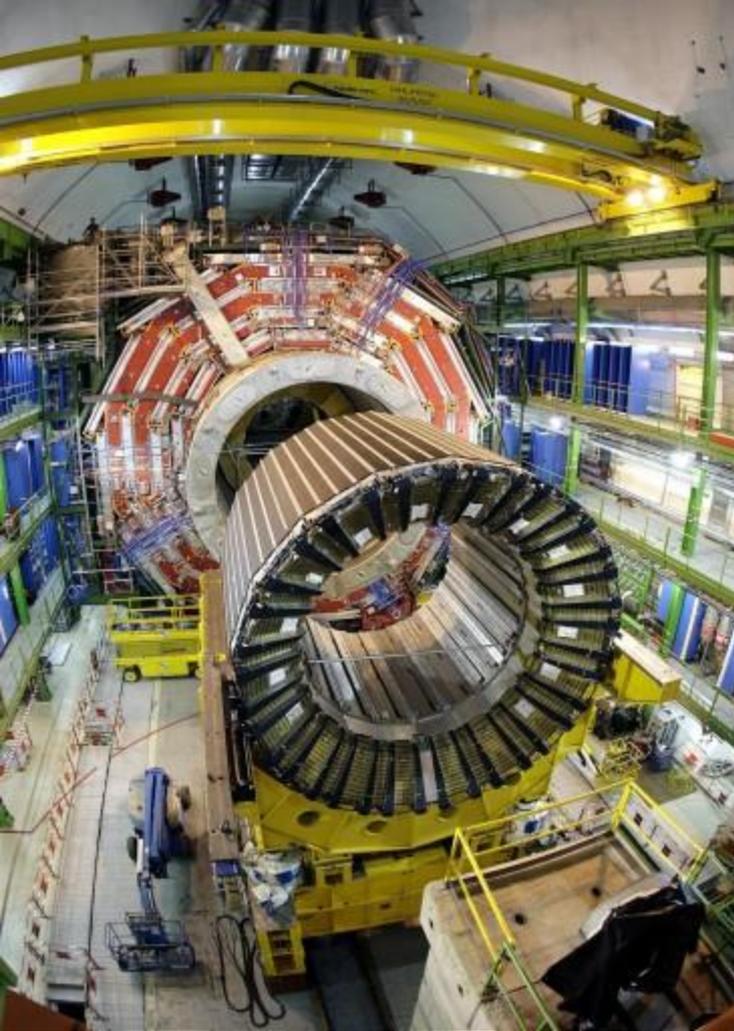


20 novembre 2014



Il tunnel si trova a 150 m di profondità, in una regione compresa tra l'aeroporto di Ginevra e i monti del Giura.

20 novembre 2014



La particella di dio **Il bosone di Higgs**

20 novembre 2014



La particella di dio **Il bosone di Higgs**

20 novembre 2014



20 novembre 2014

