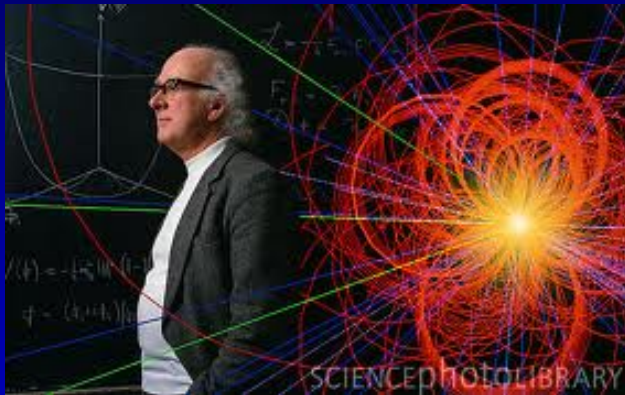


Circolo Culturale Galileo Galilei

Bologna, 21 dicembre 2012

J. Julve, Consiglio Superiore delle Ricerche (CSIC), Madrid

Il “bosone di Higgs” e la Teoria Finale

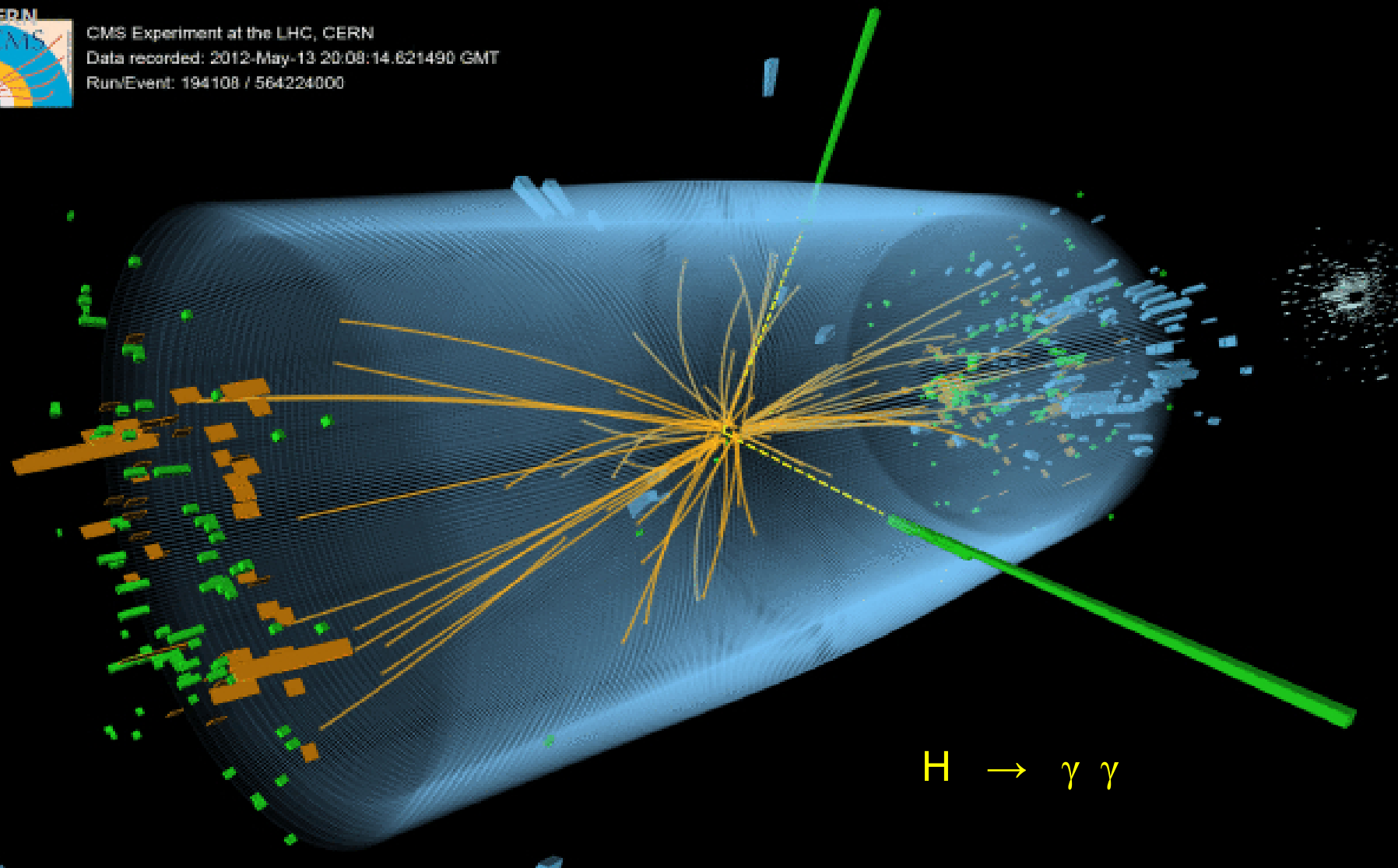


Peter Higgs

La particella di Dio ?



Leon Lederman



CMS-PHO-EVENTS-2012-005 - 1 - [GIF;ICON](#), [GIF;ICON-640](#), [PNG](#)

Figure 1. Event recorded with the CMS detector in 2012 at a proton-proton centre of mass energy of 8 TeV. The event shows characteristics expected from the decay of the SM Higgs boson to a pair of photons (dashed yellow lines and green towers). The event could also be due to known standard model background processes.

Una escursione nel macro e microcosmo

... una passeggiata per le Potenze di 10 :

10^{25} metri \approx raggio dell'universo visibile

.....

10^{15} metri = 1 e 15 zeri \approx 1 anno luce

.....

10^6 metri = 1.000.000 metri (1 megametro)

.....

10^3 metri = 1.000 metri (1 kilometro)

10^2 metri = 100 metri (1 ettometro)

10^1 metri = 10 metri (1 decametro)

10^0 metri = 1 **METRO**

10^{-1} metri = 0,1 metri (1 decimetro)

10^{-2} metri = 0,01 metri (1 centimetro)

10^{-3} metri = 0,001 metri (1 millimetro)

.....

10^{-6} metri = 0,000001 metri (1 micrometro)

.....

10^{-9} metri = 0,000000001 metri (1 nanometro)

.....

10^{-12} metri = 0, undici zeri 1 metri (1 picometro)

.....

10^{-15} metri \approx grandezza del protone = 1 fermi

.....

10^{-35} metri = Lunghezza di Planck

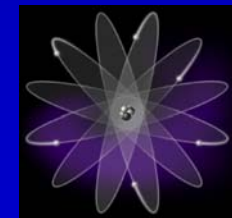
Macrocosmo



Mesocosmo



Microcosmo

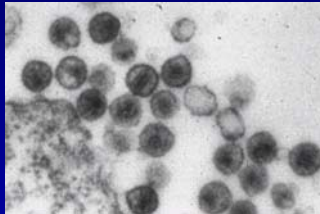


Vedere il Microcosmo

I microbi (batteri) si possono ancora VEDERE con gli occhi con l'aiuto del *microscopio ordinario*



I virus, richiedono il *microscopio elettronico*, ma l'immagine si vede su uno schermo



Per gli oggetti più piccoli, “vedere” non è come con gli occhi

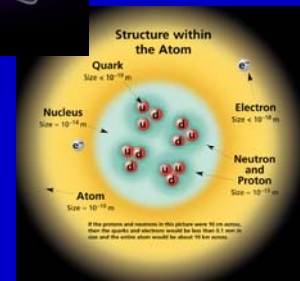
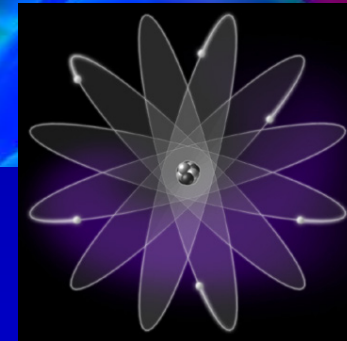
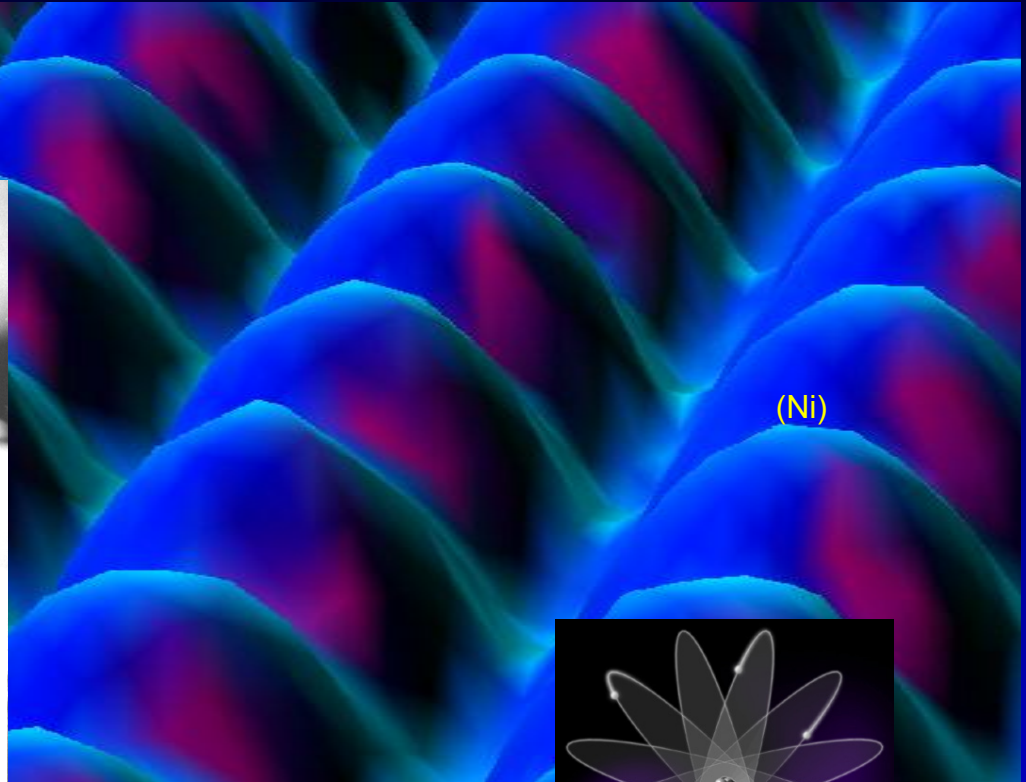
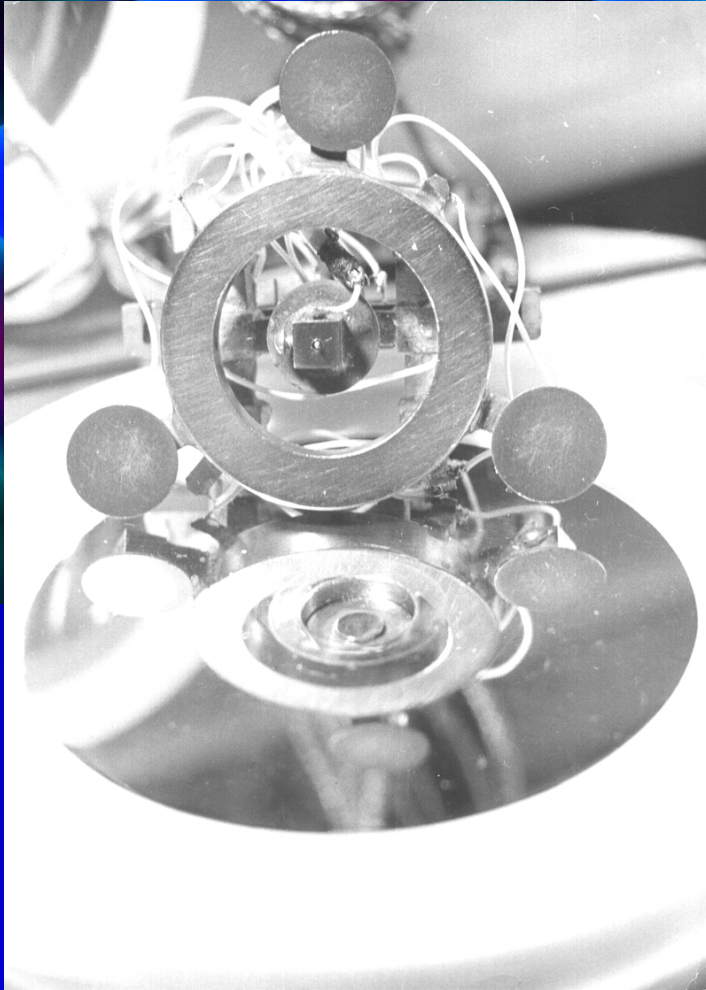
Occorrono altre tecniche:

- Atomi: - “Tastarli” con il *Microscopio ad effetto tunnel* (l'immagine si costruisce con un computer)
- Spararli contro dei “proiettili” (fotoni, elettroni) con *Acceleratori di particelle*

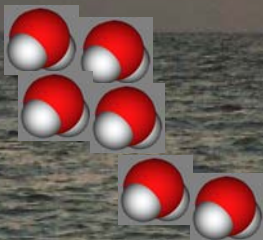
Particelle subatomiche: accelerarle con *Acceleratori di particelle*, farle scontrare tra di esse e osservare i prodotti dell'urto

Gli atomi in bassorilievo

Microscopio ad effetto tunnel



Gli atomi sono molto, molto piccoli



Il Numero di Avogadro: $N = 6,023 \times 10^{23}$ molecole / mol

(1 mol di H_2O sono 18 g di acqua)


Mondo sub atomico

FERMIONS			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

Fermioni: spin semi-intero
Principio di esclusione di Pauli

Materia, forze e particelle mediatrici: Modello Standard delle particelle elementari

Bosoni: spin intero
Condensazione di Bose-Einstein

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS					
Property \ Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong	
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Fundamental	Residual
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: $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-18} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$ for two protons in nucleus	10^{-41} 10^{-41} 10^{-36}	0.8 10^{-4} 10^{-7}	1 1 1	25 60 Not applicable to hadrons	Not applicable to quarks 20
					

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

..... e il Bosone di Higgs H ($m_H > 100 \text{ GeV}$)

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{c} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \gamma \Delta x$$

Tracce visibili di particelle subatomiche

Leptoni

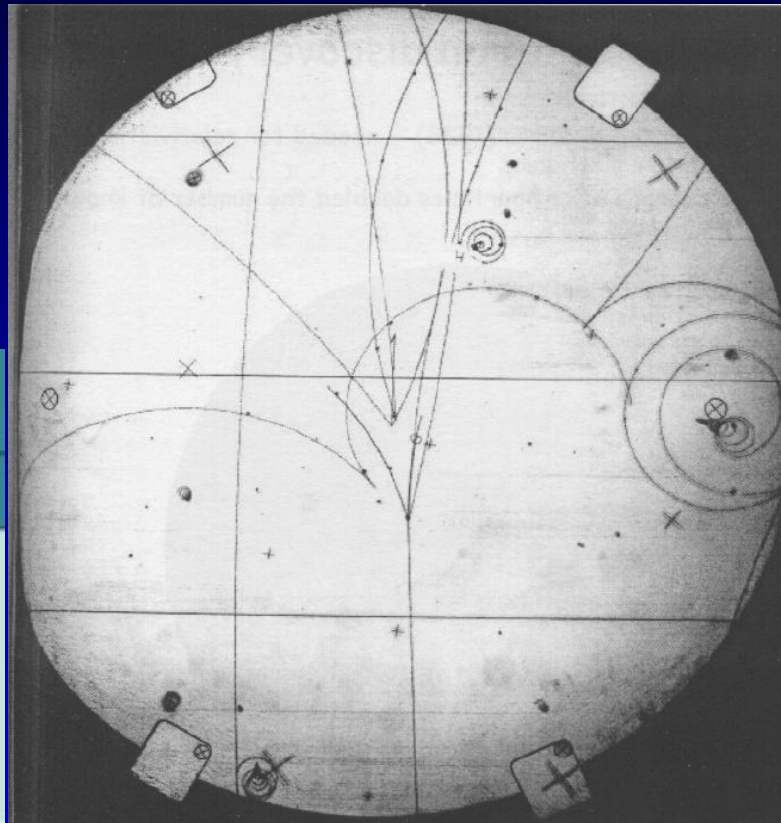
Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	-1

Adroni

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



$p\bar{p} \rightarrow p\bar{n} K^0 K^- \pi^+ \pi^- \pi^0$
 $n\bar{p} \rightarrow 3 \text{ pions}$
 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma, \gamma \rightarrow e^+ e^-$
 $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

Adroni

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

Camera a bolle
di H₂ liquido

Acceleratori di proiettili

Acceleratori di particelle subatomiche

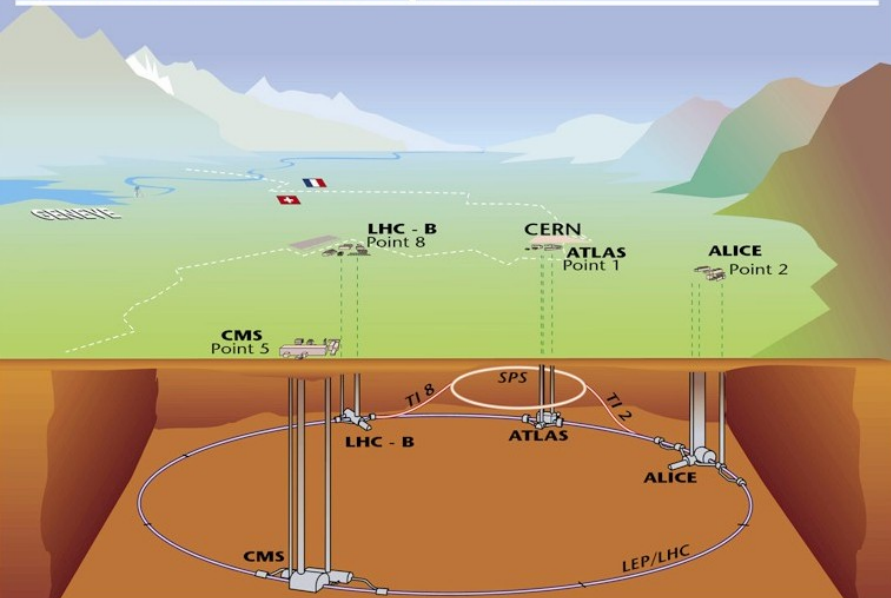
Centro Europeo per la Ricerca Nucleare
(CERN) a Ginevra

Altri acceleratori:

SLAC (California, USA)
FERMILAB (Chicago, USA)
DESY (Hamburg, Germ.)
DUBNA (Sherpukov, Russia)

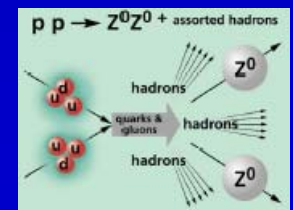


Overall view of the LHC experiments.



Large Electron-Positron (LEP) 1995

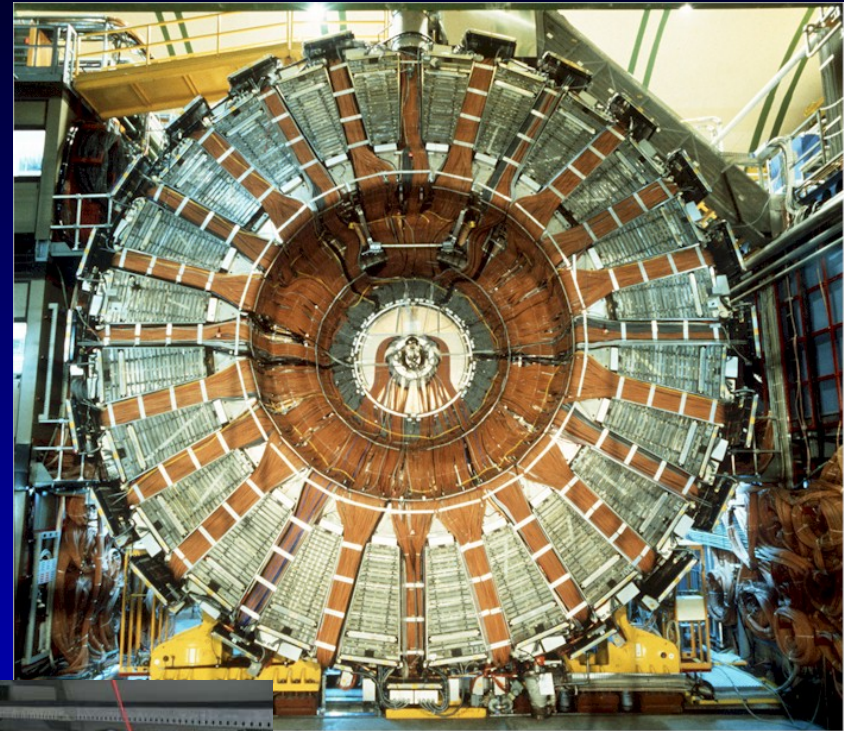
Large Hadron Collider (LHC) 2008



Acceleratori e rivelatori di particelle

Large Electron – Positron collider (Ginevra, 1995-2005)

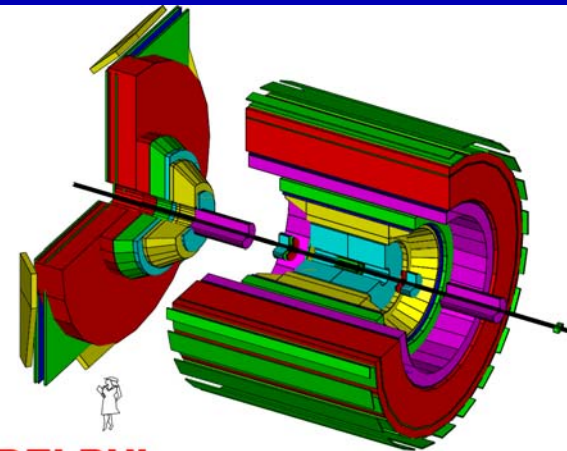
Tunnel
tubo a vuoto
e magneti di
curvatura
del LEP



Rivelatore DELPHI



ALEPH

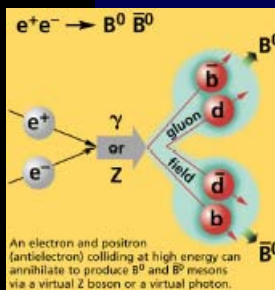
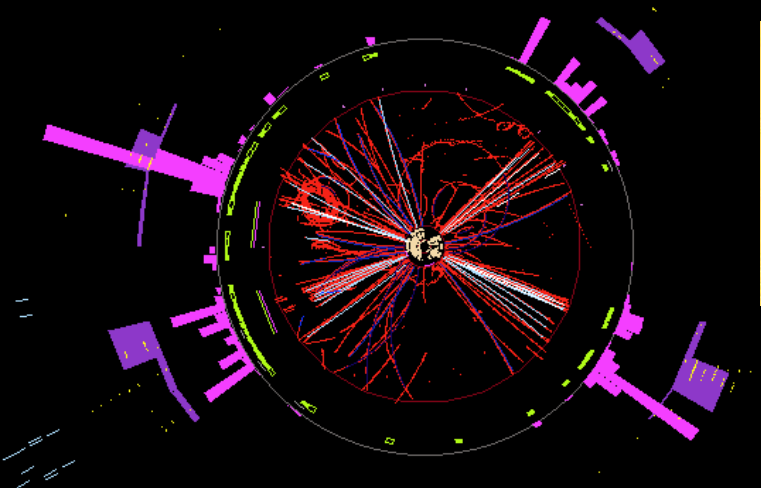


DELPHI

Produzione di bosoni W^\pm e Z^0

Run 10477 Event 29062

26 Oct 1998 15:11:40



Vita molto più corta:
Si vedono solo i prodotti del
loro decadimento

EVENT 2958. 1279.



x 69576



Carlo Rubbia



Simon van der Meer

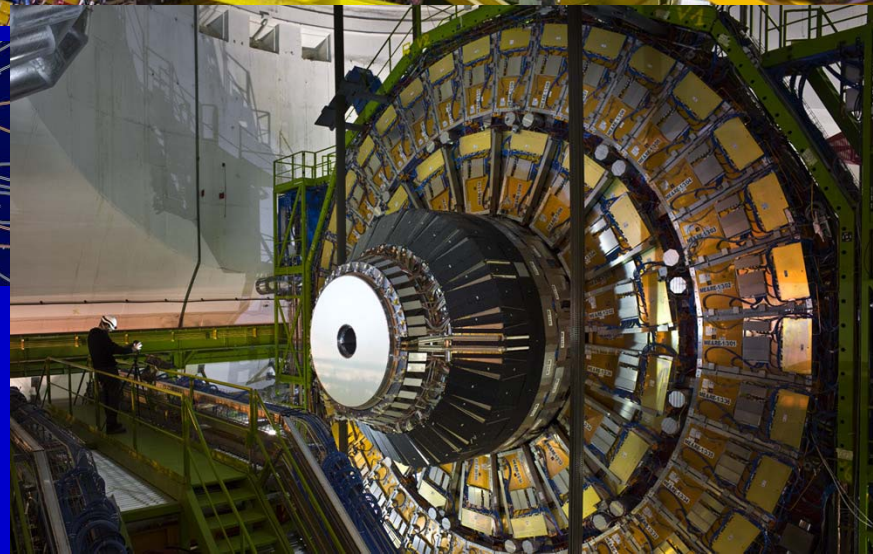
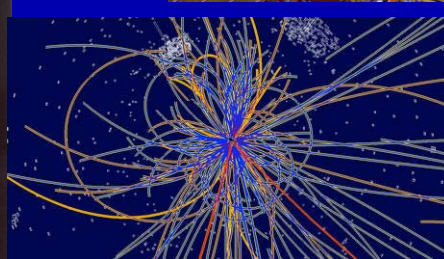
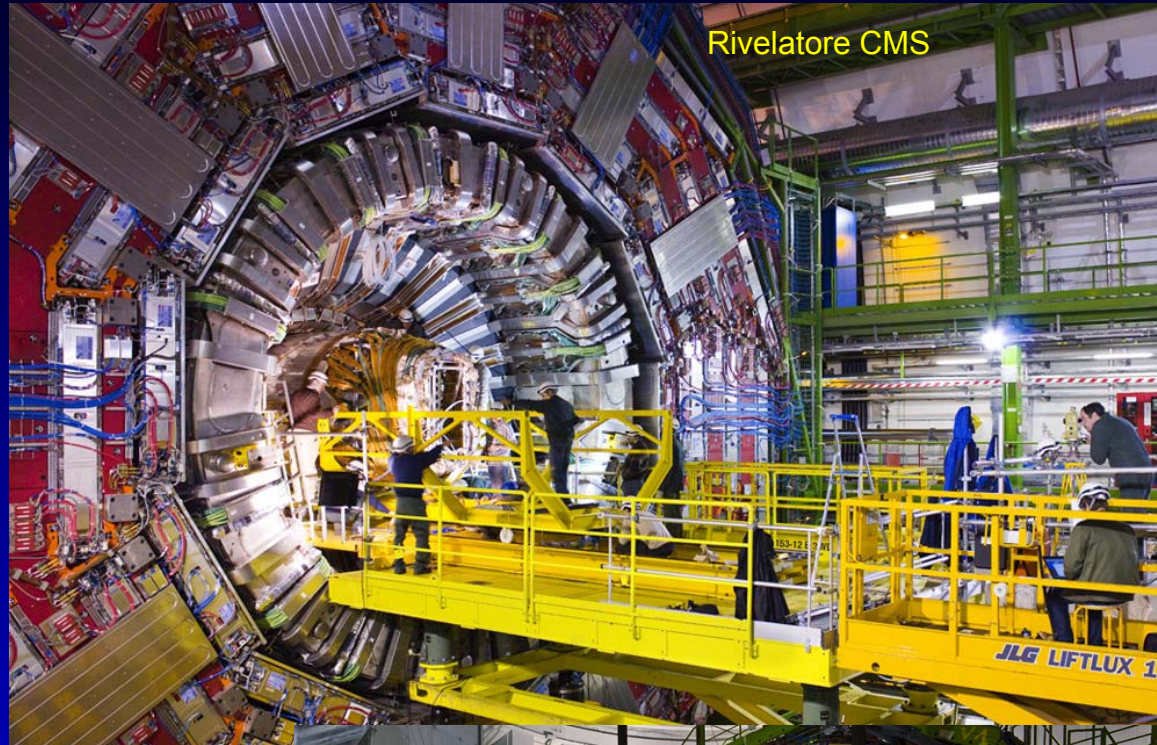
CERN 1983

Acceleratori e rivelatori di particelle

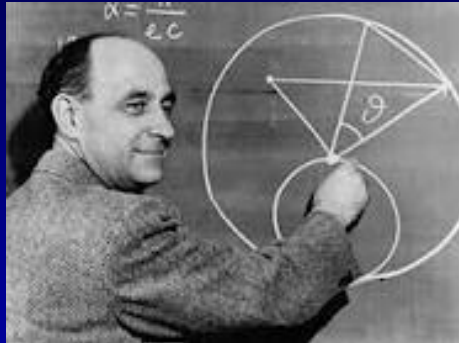
Large Hadron Collider



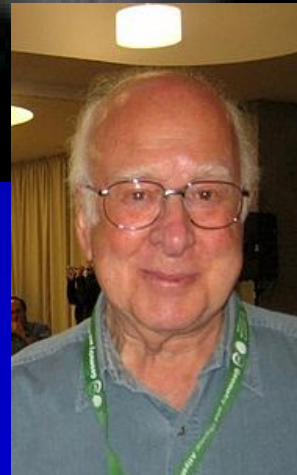
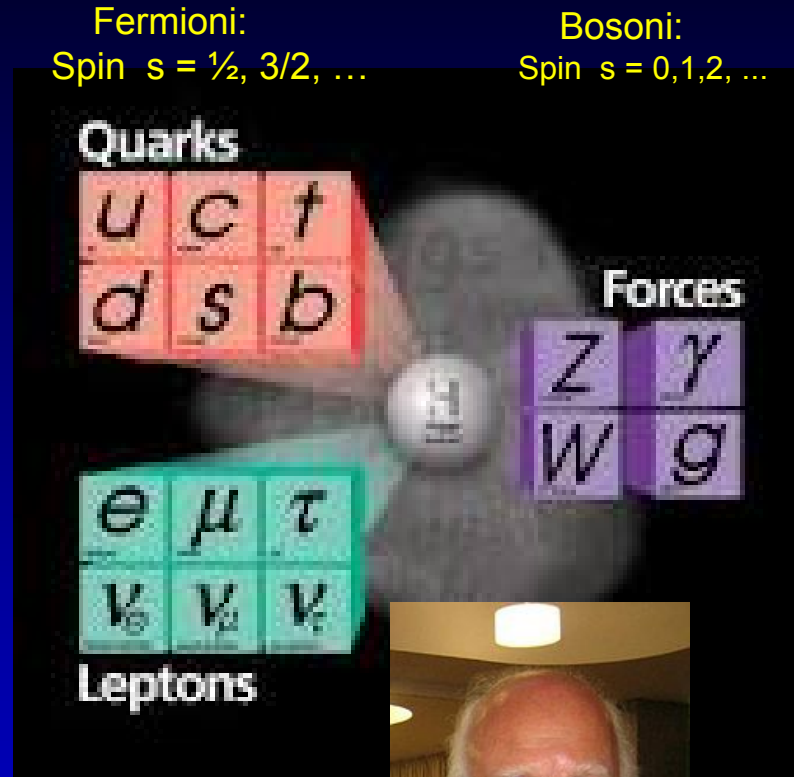
Rivelatore CMS



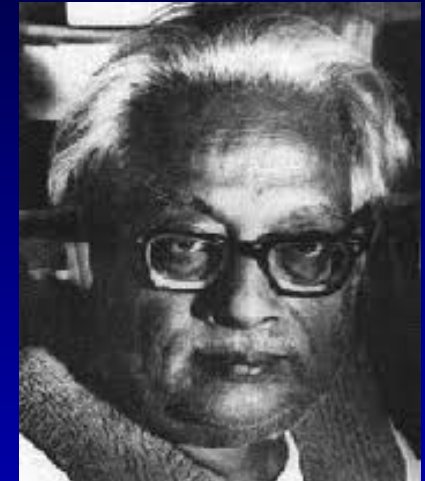
Modello Standard delle particelle elementari



Enrico Fermi



Peter Higgs

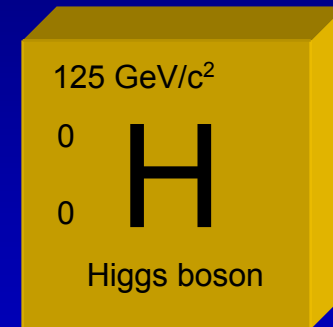


Satyendra Nath Bose

Caratteristiche fisiche delle particelle elementari

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



Particella di Dio ?

Ha un ruolo centrale nel Modello Standard

“Da la massa” a tutte le altre particelle

Rottura spontanea della simmetria locale $SU(2) \times U(1)$

Meccanismo di Higgs

Sfugge alla classifica “materia” – “forze”

Probabilmente ha a che vedere con misteri cosmologici
che stanno dietro alla espansione accelerata dell’universo

Urti e getti di particelle in un rivelatore

CMS

TRACKER
CRYSTAL ECAL

Total weight : 12500 T
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 21.5 m
Magnetic field : 4 Tesla

PRESHOWER

FORWARD
CALORIMETER

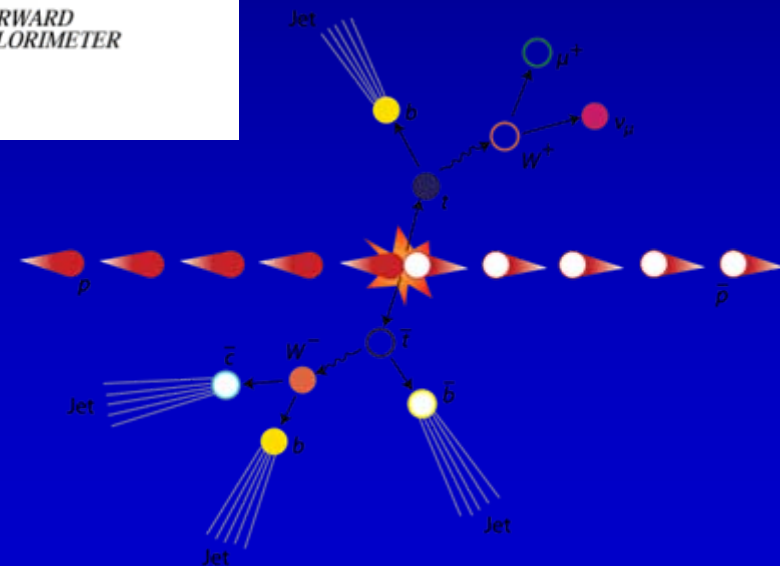
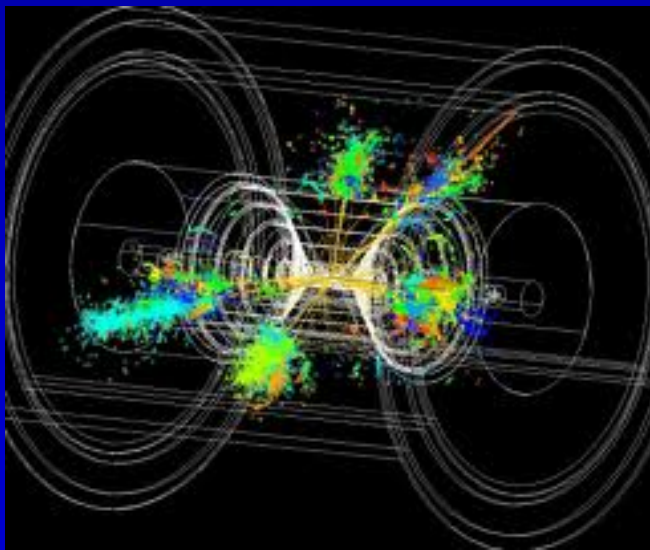
MUON CHAMBERS

SUPERCONDUCTING
MAGNET

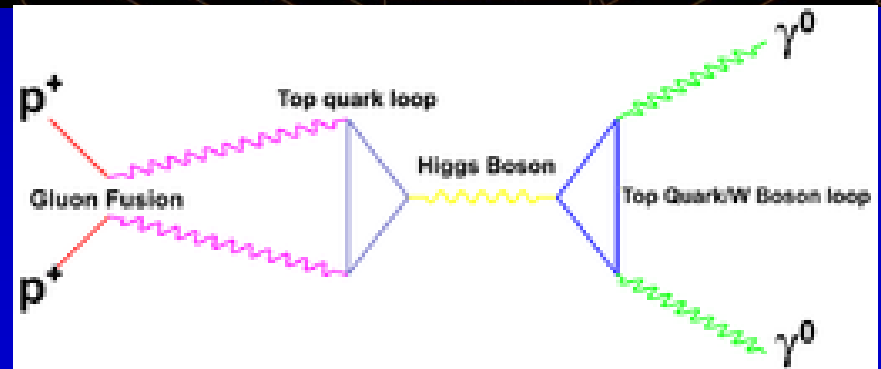
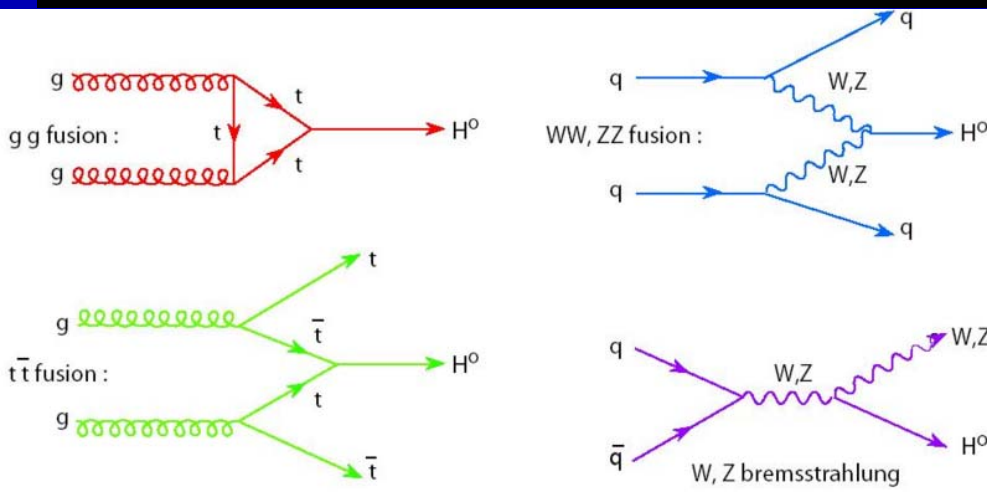
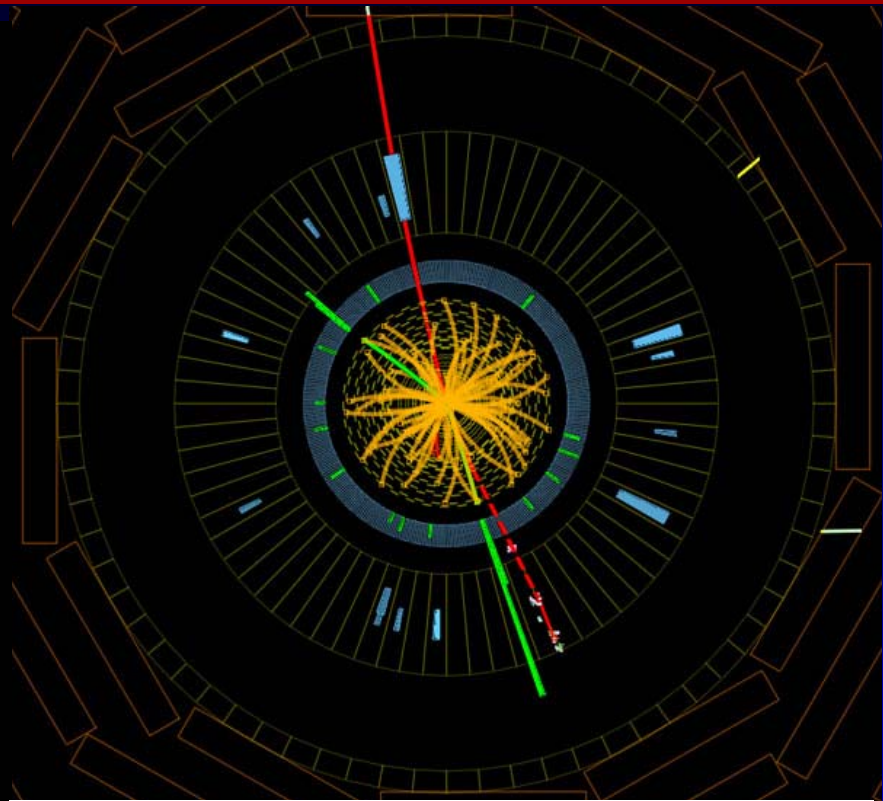
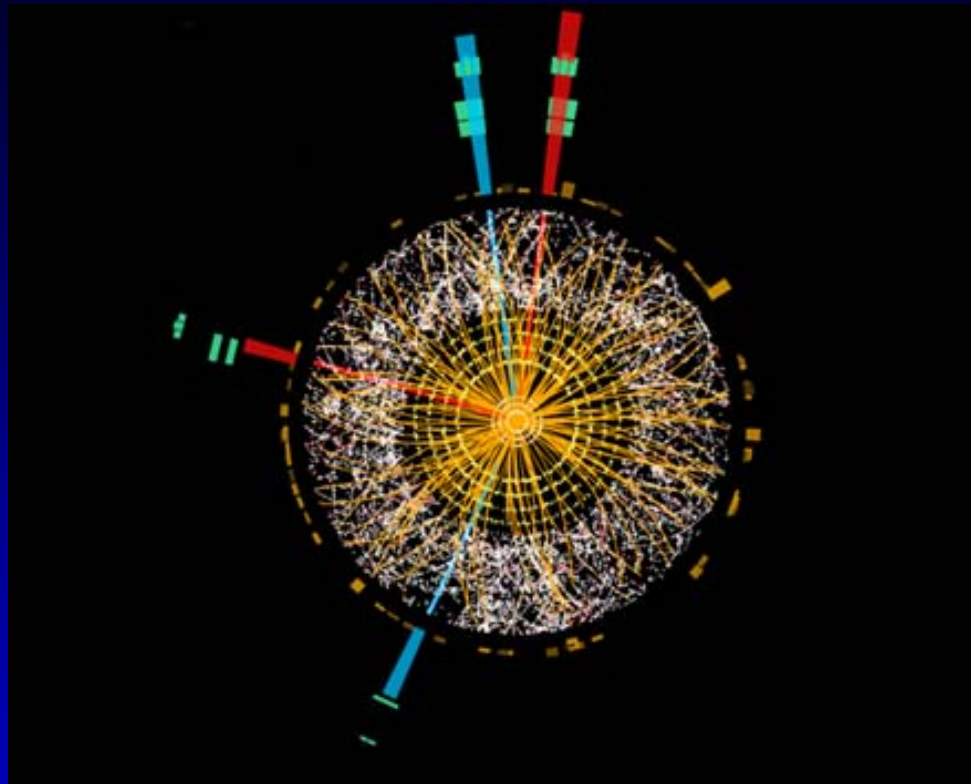
FEET

HCAL

RETURN YOKE



Produzione e decadimento dell'Higgs



$$\tau \sim 10^{-22} \text{ s}$$

Le nuove domande

Abbiamo trovato anche l'Higgs. Pienezza dei tempi per il Modello Standard

Lavoro finito, tutti a casa?

Altre cose da vedere oltre il Modello Standard?

L'espansione dell'universo si sta accelerando

Cos'è quel misterioso e ignoto 75% dell'universo necessario per spiegarla?

Il Modello Standard delle particelle è un passo verso la "Teoría Finale"

È mai possibile pensare di raggiungere una TOE?

Candidato più popolare: Teoria delle Stringhe

Ma richiede

Particelle "supersimmetriche"

Dimensioni extra

Una “Teoria Finale” o “Teoria del Tutto” (TOE)

.... dovrebbe :

- Dipendere da una sola costante universale
 - Empirica
 - Deducibile da proprietà matematiche
- Essere capace di predire il risultato di ogni esperimento o osservazione
 - Possibile o immaginabile
 - Adesso e nel futuro
- Essere formulata su un formalismo matematico
 - Consistente
 - Possibilmente chiuso

Cioè, essere **COMPLETA**

Che voto prende il Modello Standard ?



Un grande ostacolo



Kurt Gödel

1931

“Teorema della incompletezza della logica”

In ogni sistema formale fatto di assiomi e regole di deduzione
che abbia al meno la complessità della aritmetica

esistono sempre delle proposizioni dotate di senso nel sistema

la cui verità o falsità non è decidibile usando le regole del sistema

La scommessa

- Fede nella esistenza di una Teoria Finale

Entusiasmante o asfissiante ?

- Non è possibile una TOE

L'avventura della conoscenza continuerà eternamente

Porte sempre aperte al mistero o alle sorprese

Sfondo: la misteriosa corrispondenza tra la matematica e la realtà fisica

Grazie

FINE