



Η ανακάλυψη του Μποζονίου Higgs στο CERN

The God Particle: If the Universe Is the Answer, What
Is the Question?

Leon Lederman, Nobel Φυσικής 1988



Καθηγ. Ευάγγελος Γαζής (EMΠ & CERN)

22/08/2016

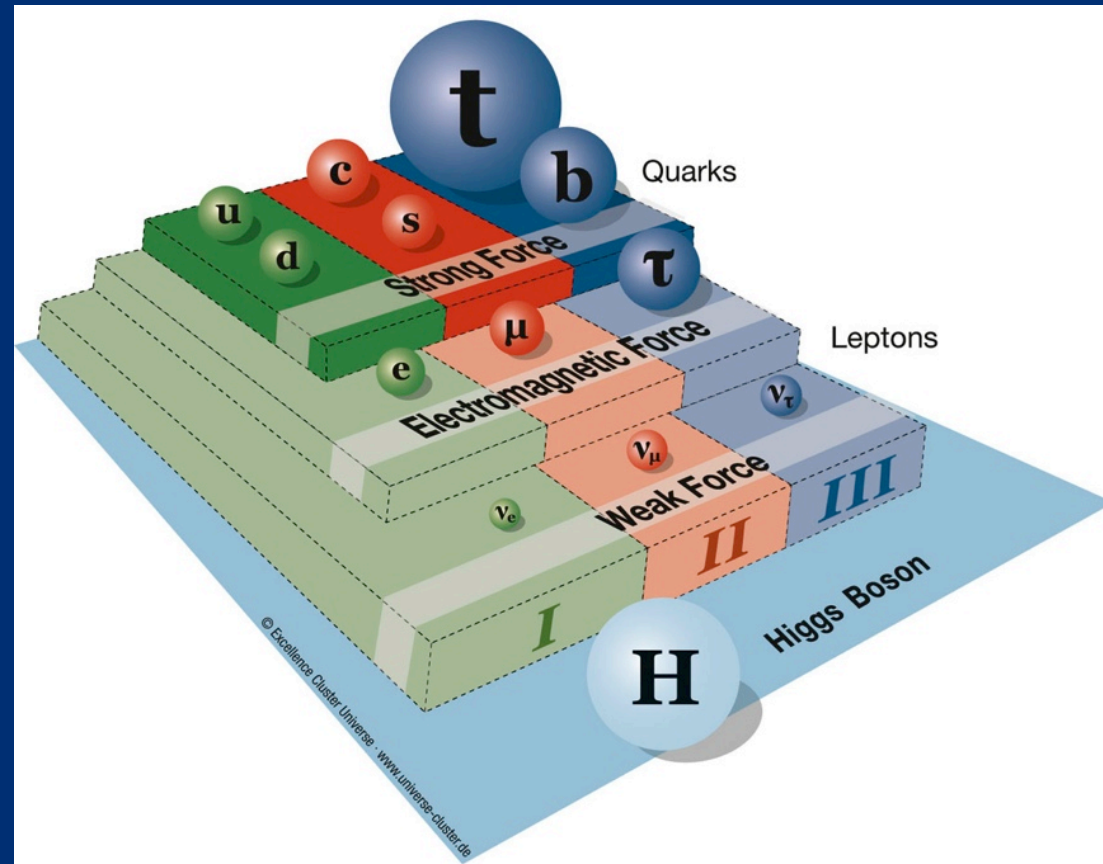
22 Αυγούστου 2015

Θεμελιώδη Ερωτήματα στη Σωματιδιακή Φυσική



- ▣ Καθιερωμένο Πρότυπο

Καταπληκτική συμφωνία Θεωρίας – Πειράματος!
Για πολλά χρόνια (~40), σε μια μεγάλη ενεργειακή περιοχή ~100 GeV και με ακρίβεια 0.1%



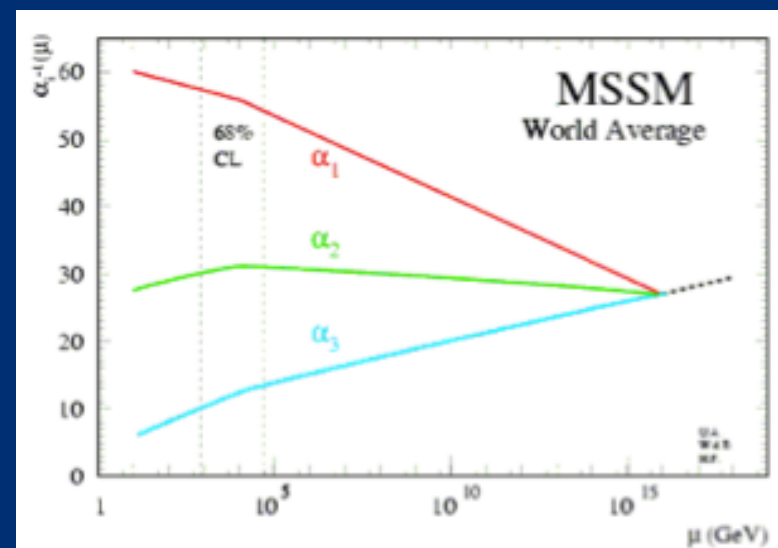
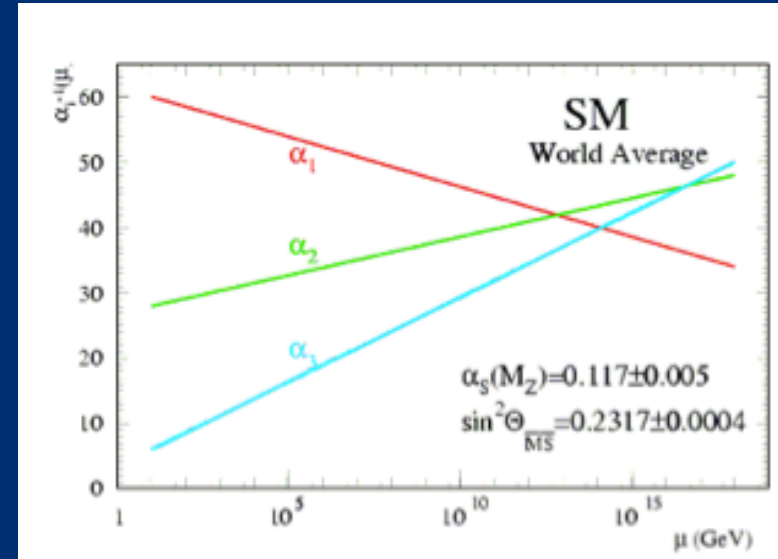
+ φορείς αλληλεπιδράσεων
+ τα σωματίδια της αντιύλης

Θεμελιώδη Ερωτήματα στη Σωματιδιακή Φυσική

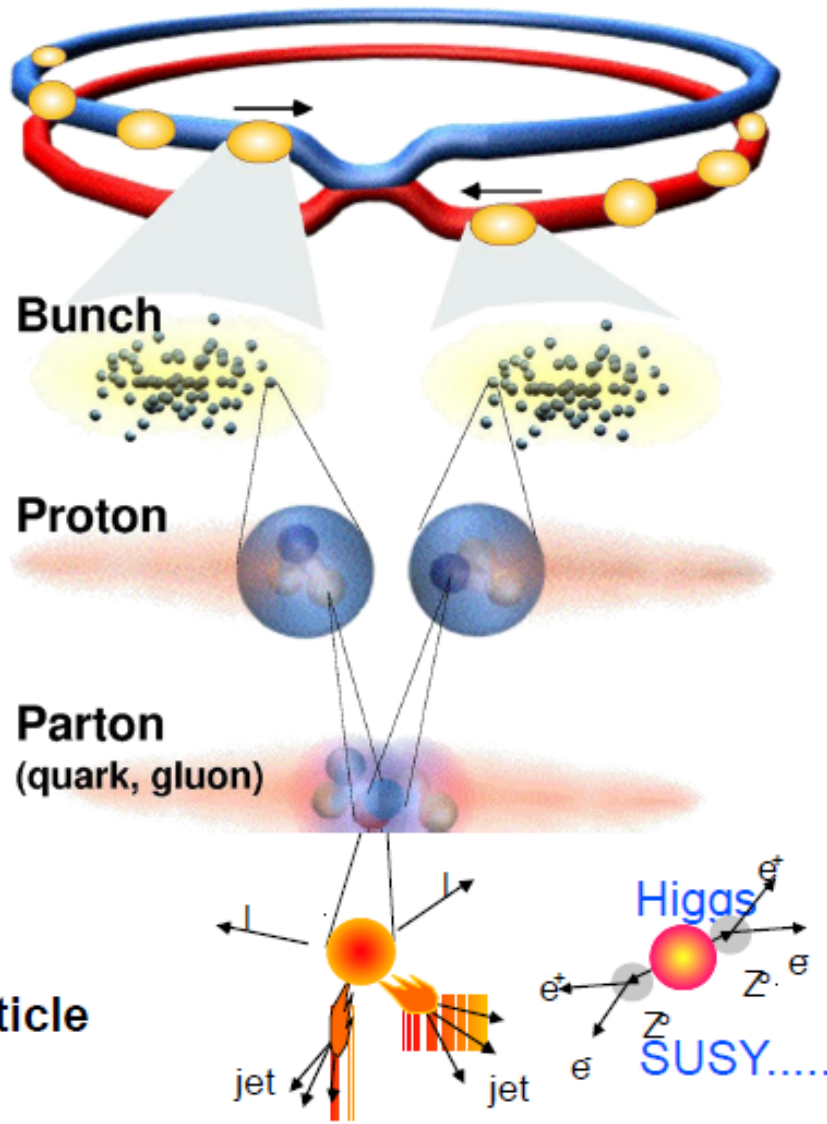


Καθιερωμένο Πρότυπο, αλλά ??

- ◆ EW Symmetry Breaking
- ◆ Hierarchy problem:
why weak force is 10^{32} times stronger than gravity
 M_W (~ 126 GeV) \rightarrow M_{Planck} ($\sim 10^{19}$ GeV)
 $M_{\text{planck}} \sim (8\pi G_{\text{Newton}})^{-1/2}$
- ◆ Unification of couplings
- ◆ Radiative corrections \sim quadratically divergent
 $m_H^2 \sim m_{\text{tree}}^2 \Lambda_{\text{cutoff}} - a(\Lambda_{\text{cutoff}})^2$
Υπέρυθρη καταστροφή
- ◆ Dark Matter / Supersymmetry-SUSY



To LHC



Proton - Proton 2808 bunch/beam
Protons/bunch 10^{11}
Beam energy 7 TeV (7×10^{12} eV)
Luminosity $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

Crossing rate 40 MHz

Collision rate \approx $10^7 - 10^9$

New physics rate \approx .00001 Hz

Event selection:
1 in 10,000,000,000,000

Οι εργασίες για τον Μηχανισμό Higgs και για το Μποζόνιο Higgs



- ▣ **Englert F, Brout R** (1964). "Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons". *Physical Review Letters* **13** (9): 321
- ▣ **R. Brout, F. Englert** (1998). "Spontaneous Symmetry Breaking in Gauge Theories: A Historical Survey". hep-th/9802142
- ▣ **Higgs P** (1964). "Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons". *Physical Review Letters* **13** (16): 508
- ▣ **Guralnik G, Hagen C, Kibble T** (1964). "Global Conservation Laws and Massless Particles". *Physical Review Letters* **13** (20): 585
- ▣ **G.S. Guralnik** (2009). "The History of the Guralnik, Hagen and Kibble development of the Theory of Spontaneous Symmetry Breaking and Gauge Particles". *Int. Modern Physics A* **24** (14): 2601–2627

Higgs Boson



Όλα τα σωματίδια παράγονται κατά το Big Bang χωρίς μάζα.

Η αλληλεπίδραση με το πεδίο Higgs, τα σωματίδια αποκτούν μάζα.

Όσο μεγαλύτερη είναι η αλληλεπίδραση, τόσο μεγαλύτερη είναι η μάζα.

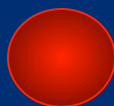
Το πεδίο Higgs γεμίζει όλο το Σύμπαν.

Ο Βρετανός φυσικός Peter Higgs πρότεινε (1964) το λεγόμενο μποζόνιο Higgs που σχετίζεται με τον μηχανισμό και τον πεδίο Higgs.

Η αλληλεπίδραση με το πεδίο Higgs



Μηχανική τριβή με παχύρρευστο υγρό



Μηχανισμός Higgs και Μποζόνιο Higgs



Με βάση τη θεωρία των Weinberg-Salam θεωρούμε δύο υποθετικά σωματίδια W^0 και B ΧΩΡΙΣ μάζα.

Αυτά αποκτούν μάζα μέσω του μηχανισμού Higgs (M-H).

Ο M-H εισάγει ένα σύνθετο (μιγαδικό) βαθμωτό πεδίο με δυναμικό $V(\Phi)$ που προκαλεί την Ηλεκτρασθενή διάσπαση της συμμετρίας (EWSB)

Ο συνδυασμός των μαζών W^0 και B προσδιορίζει τη **μάζα** του σωματιδίου Z^0 , ενώ με άλλο συνδυασμό προσδιορίζεται άλλο σωματίδιο **χωρίς μάζα** που ταυτίζεται με το φωτόνιο:

$$\gamma = \sin \theta_W \cdot W^0 + \cos \theta_W \cdot B$$

$$Z^0 = \cos \theta_W \cdot W^0 - \sin \theta_W \cdot B$$

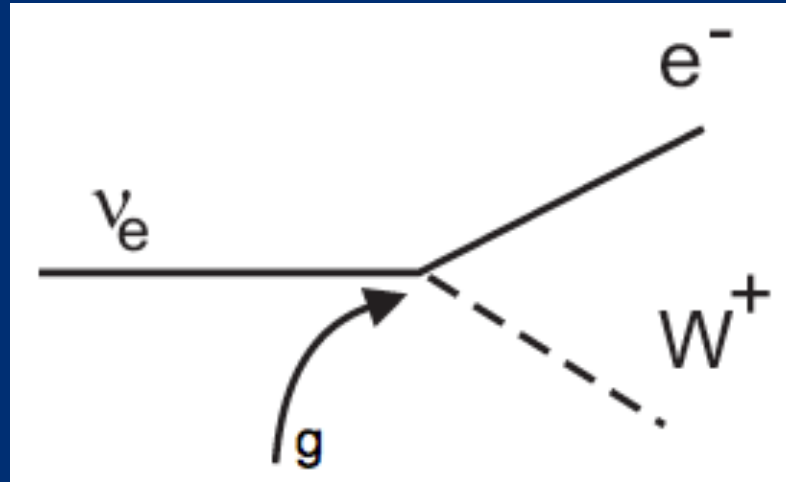
θ_W = γωνία ανάμιξης (ή γωνία Weinberg)

22/08/2016

Μηχανισμός Higgs και Μποζόνιο Higgs



Έχοντας υπόψη ότι αν g είναι το «ασθενές φορτίο» ή η «ασθενής ένταση σύζευξης» στην περίπτωση των ουδετέρων ρευμάτων, όπως στο σχήμα:



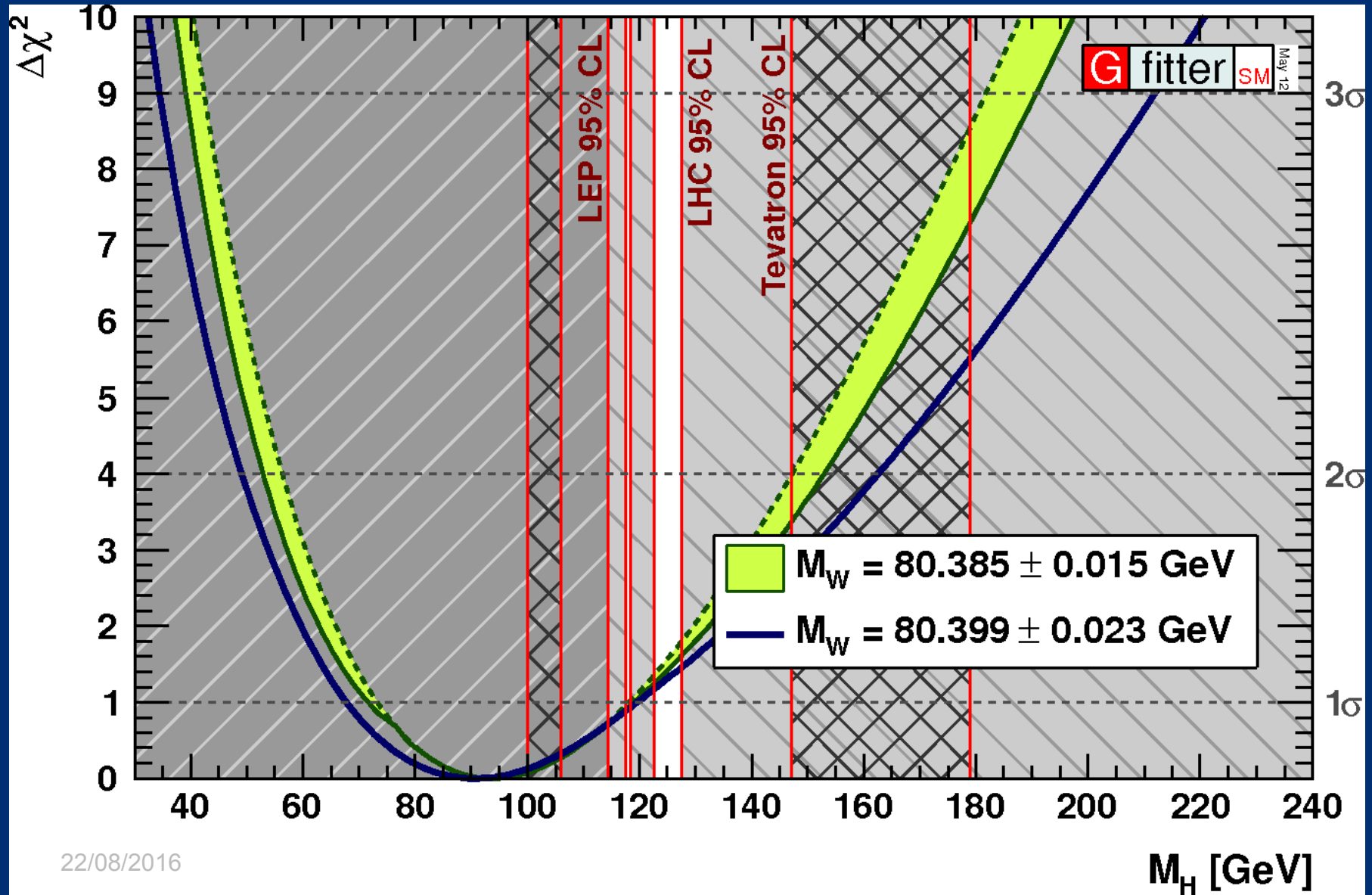
ο λόγος των “εντάσεων σύζευξης” των ηλεκτρασθενών αλληλεπιδράσεων δίδεται:

$$\frac{g'}{g} = \frac{\sin \theta_W}{\cos \theta_W} = \tan \theta_W$$

και ισχύει:

$$\boxed{g = \frac{e}{\sin \theta_W}} \quad \text{and} \quad \boxed{g' = \frac{e}{\cos \theta_W}}$$

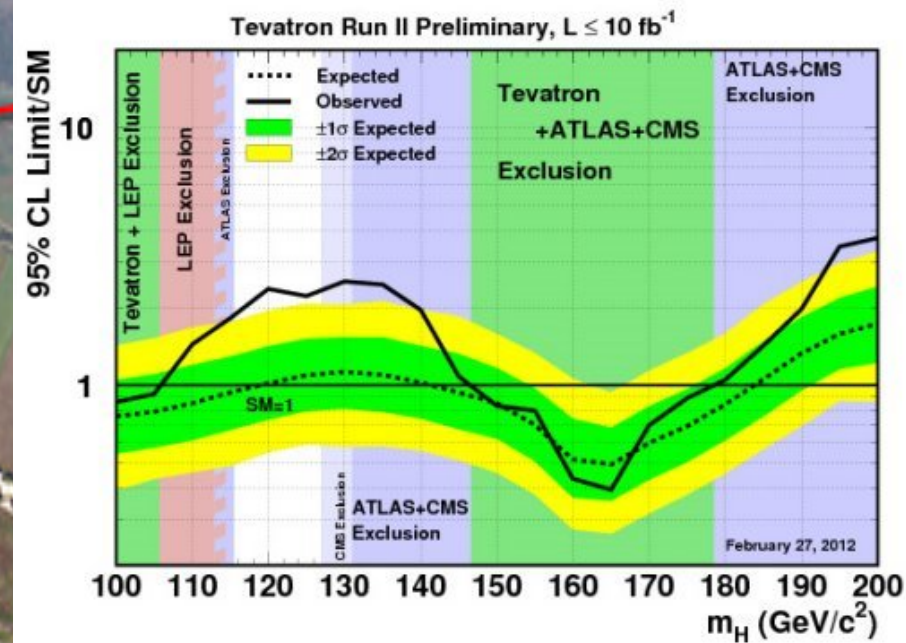
Αναζήτηση του Higgs στα πειράματα του LEP στο CERN, 1989-2000



Αναζήτηση του Higgs στα πειράματα του TEVATRON στο FERILAB, 1986-2012

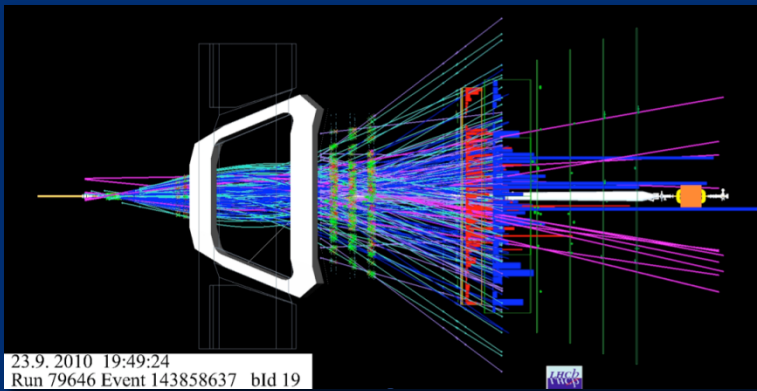
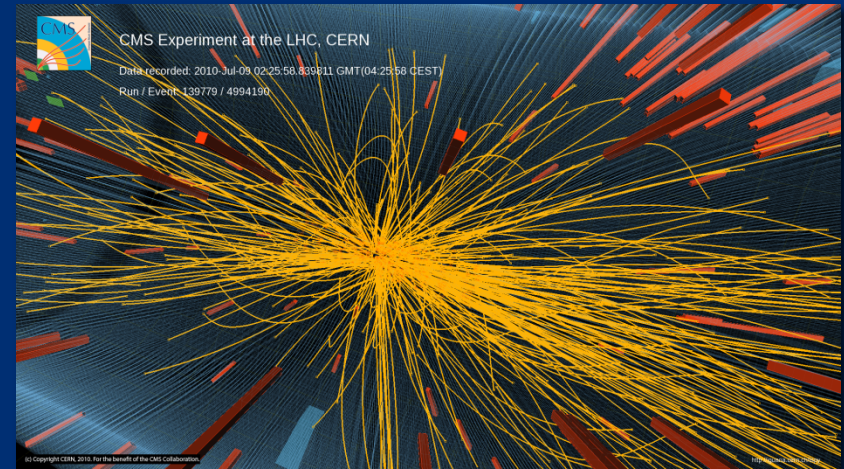
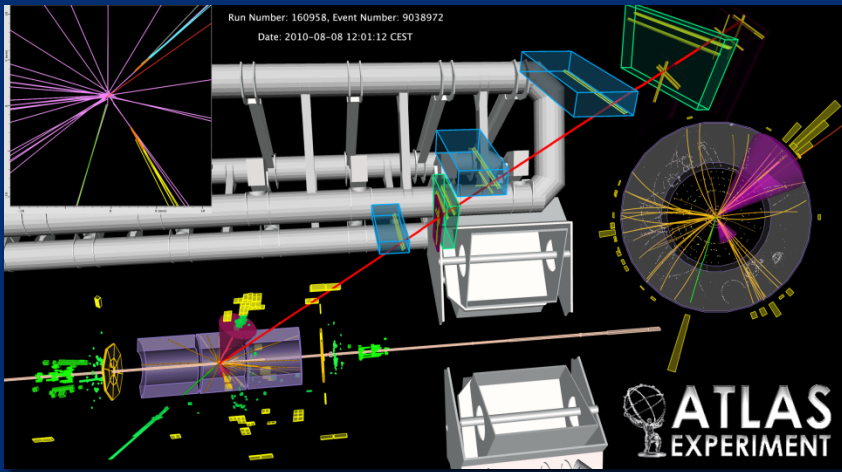


Συγκρουόμενες δέσμες πρωτονίων-αντιπρωτονίων 1.9 TeV

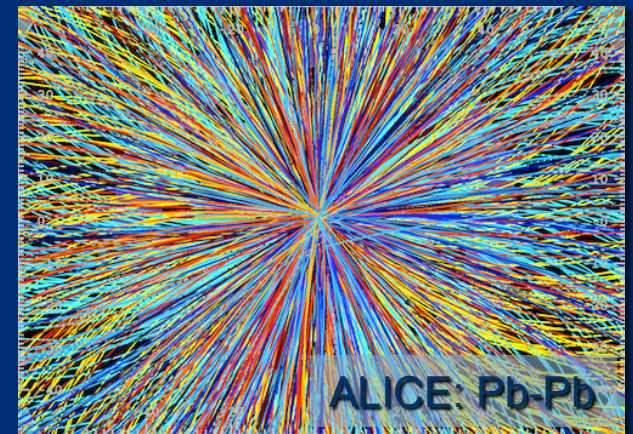


LHC + Πειράματα: Θεαματική εκκίνηση το 2010

Πρώτες p-p συγκρούσεις σε $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ στις 30 Μαρτίου 2010



Πρώτες Pb-Pb
συγκρούσεις σε
 $\sqrt{s} = 2.76 \text{ TeV/N}$
στις
7 Νοεμβρίου
2010



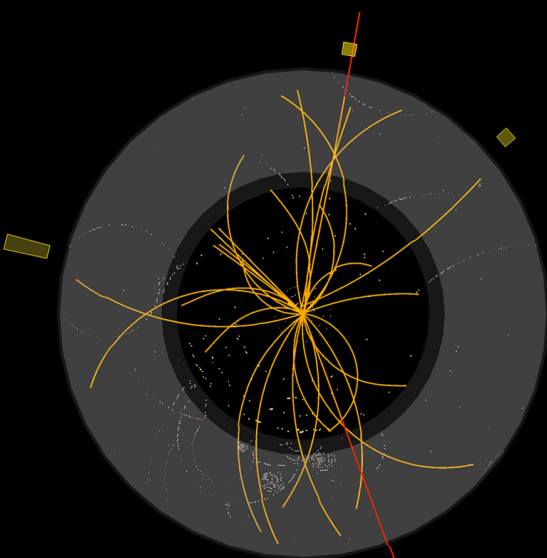
→ Εξαιρετική απόδοση του LHC, των πειραμάτων και του GRID.

Η ιστορία μέχρι τώρα ...

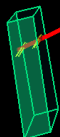


ATLAS EXPERIMENT

Run: 154822, Event: 14321500
Date: 2010-05-10 02:07:22 CEST

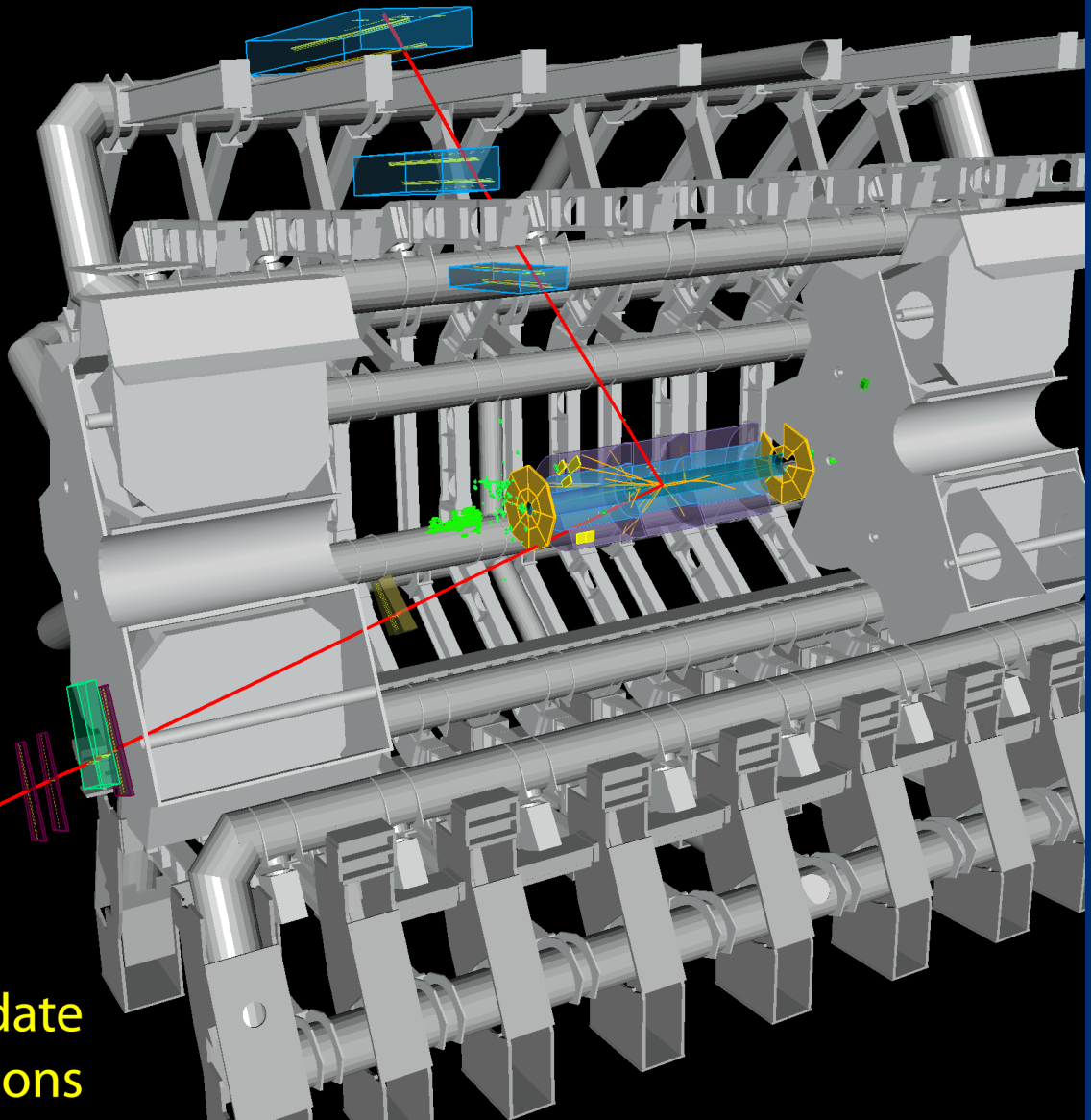


$p_T(\mu^-) = 27 \text{ GeV}$ $\eta(\mu^-) = 0.7$
 $p_T(\mu^+) = 45 \text{ GeV}$ $\eta(\mu^+) = 2.2$
 $M_{\mu\mu} = 87 \text{ GeV}$

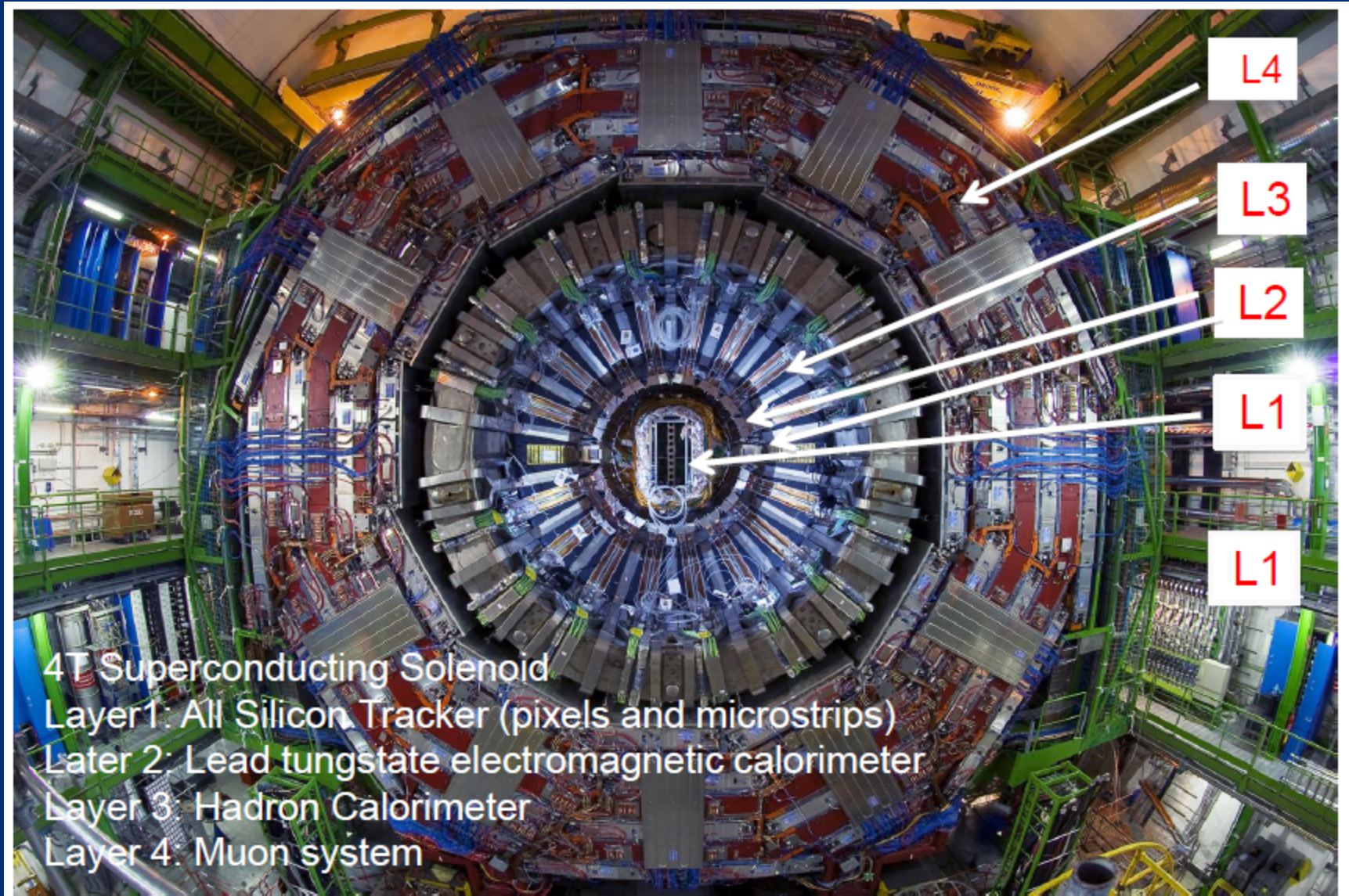


**Z $\rightarrow\mu\mu$ candidate
in 7 TeV collisions**

22/08/2016



Το Πείραμα CMS

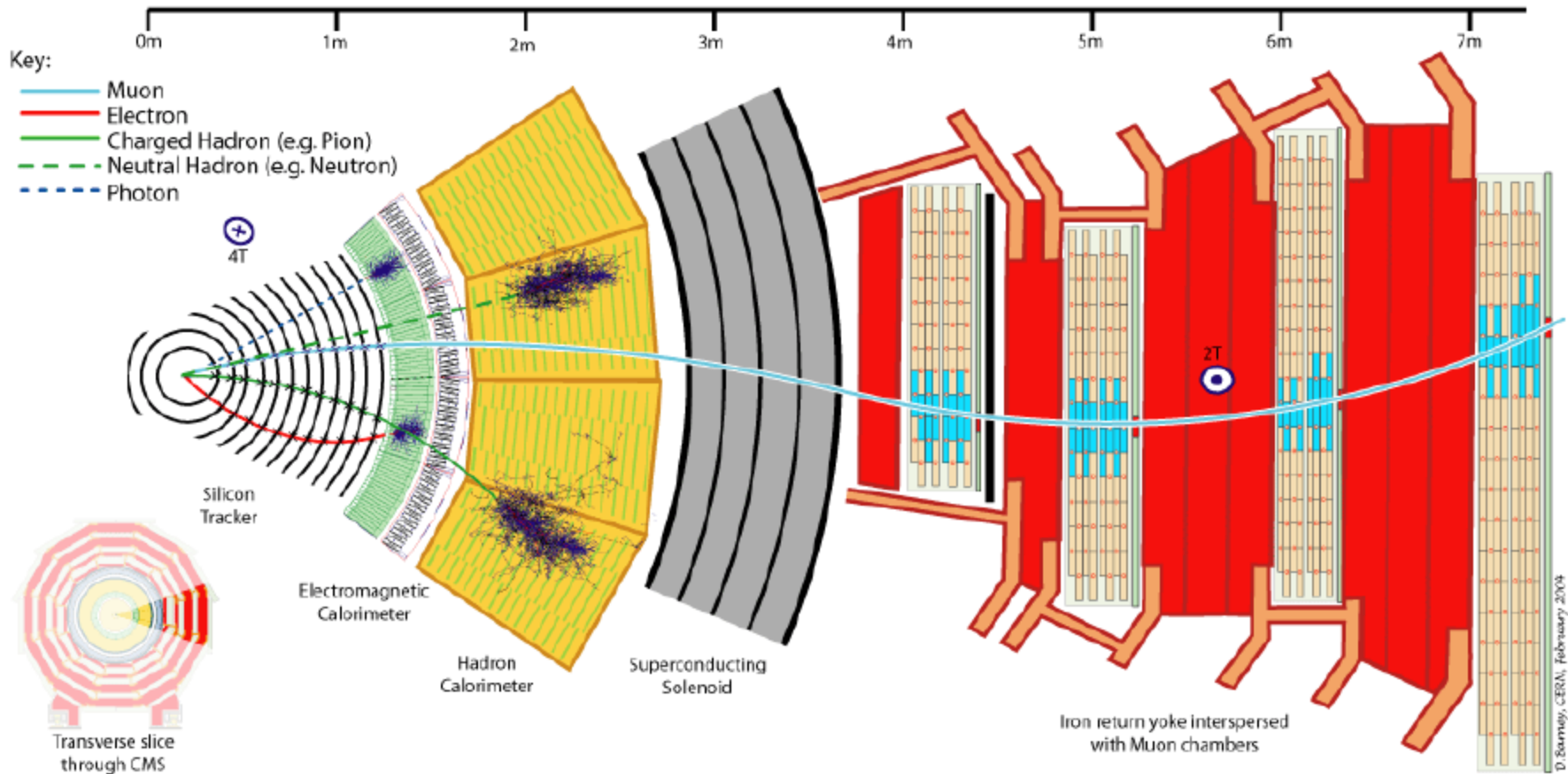


ΤΟ

ΤΟ

4T Superconducting Solenoid
Layer 1: All Silicon Tracker (pixels and microstrips)
Layer 2: Lead tungstate electromagnetic calorimeter
Layer 3: Hadron Calorimeter
Layer 4: Muon system

Το Πείραμα CMS



το
το

Το Πείραμα CMS



Total weight 14000 t
Overall diameter 15 m
Overall length 28.7 m

CMS

MUON ENDCAPS

473 Cathode Strip Chambers (CSC)
432 Resistive Plate Chambers (RPC)

ECAL 76k scintillating
PbWO₄ crystals

HCAL Scintillator/brass
Interleaved ~7k ch

3.8T Solenoid

IRON YOKE

Preshower
Si Strips ~16 m²
~137k ch

Forward Cal
Steel + quartz
Fibers ~2~k ch

Επιστήμονες: ~3300

Ινστιτούτα: 190

Χώρες: 39

Pixel Tracker
ECAL
HCAL
Muons
Solenoid coil

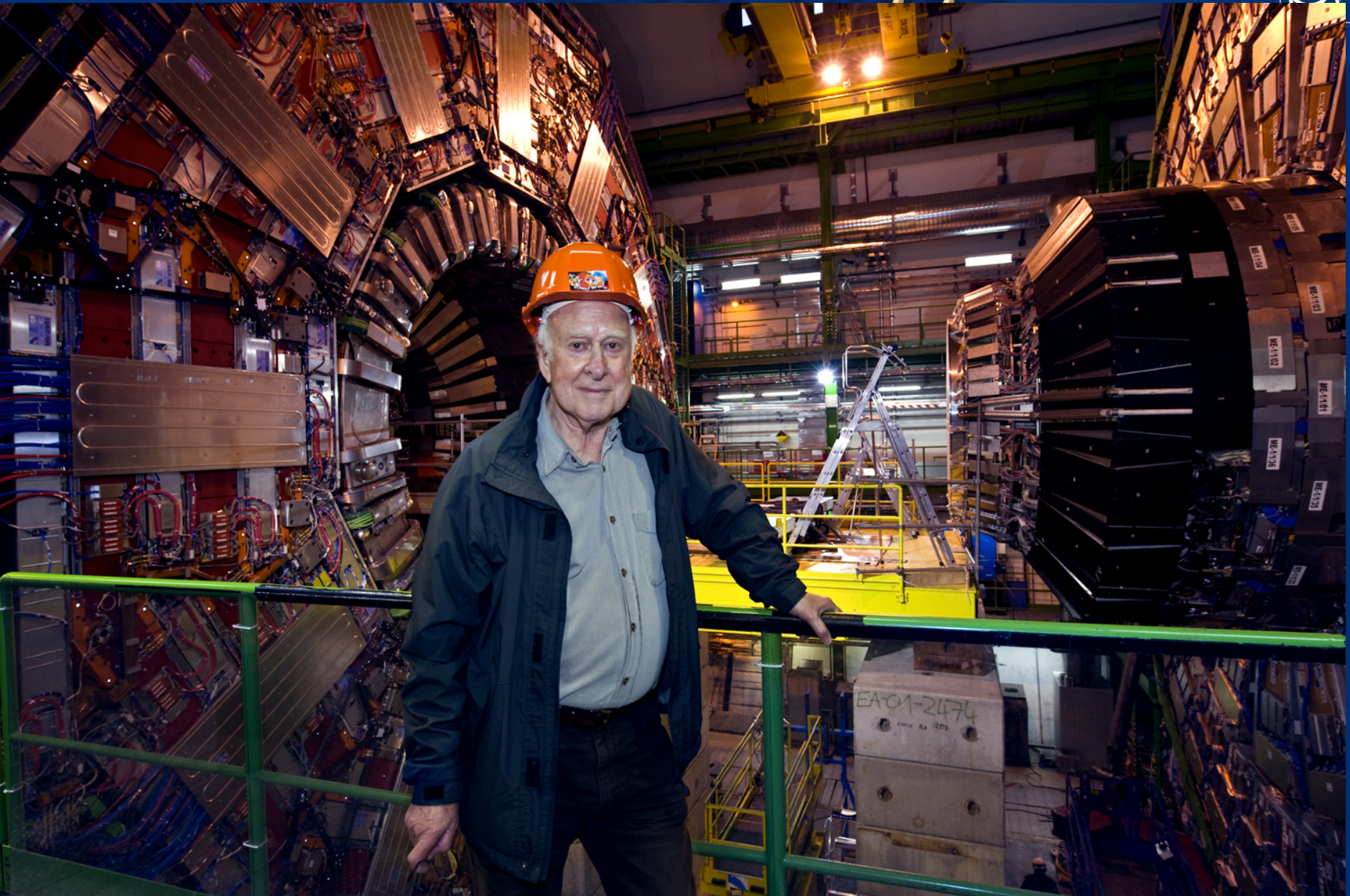
Pixels & Tracker

- Pixels (100x150 μm²)
~ 1 m² ~66M ch
- Si Strips (80-180 μm)
~200 m² ~9.6M ch

MUON BARREL

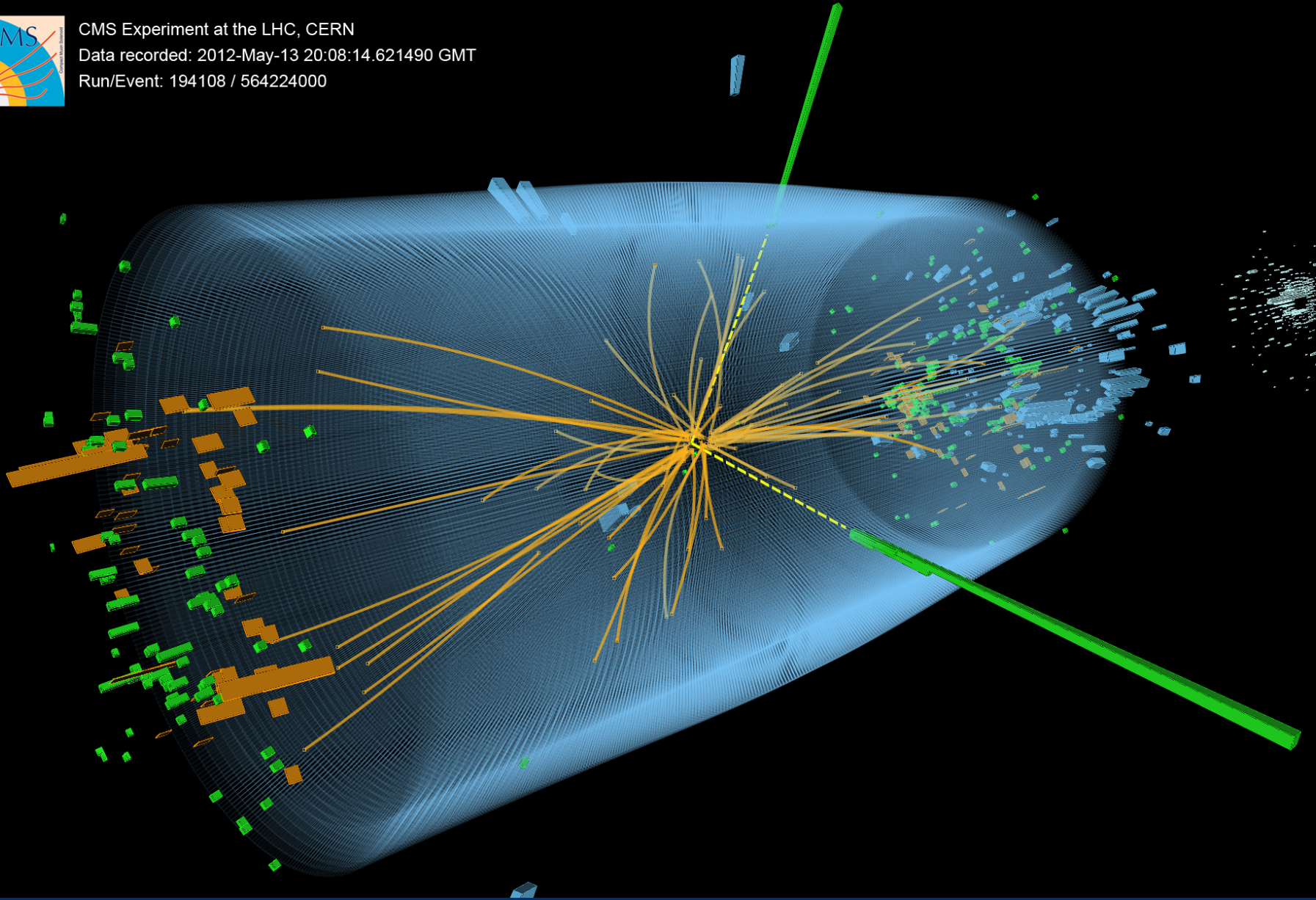
250 Drift Tubes (DT) and
480 Resistive Plate Chambers (RPC)

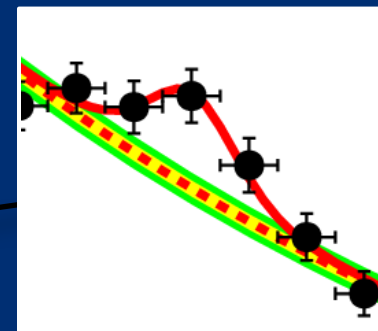
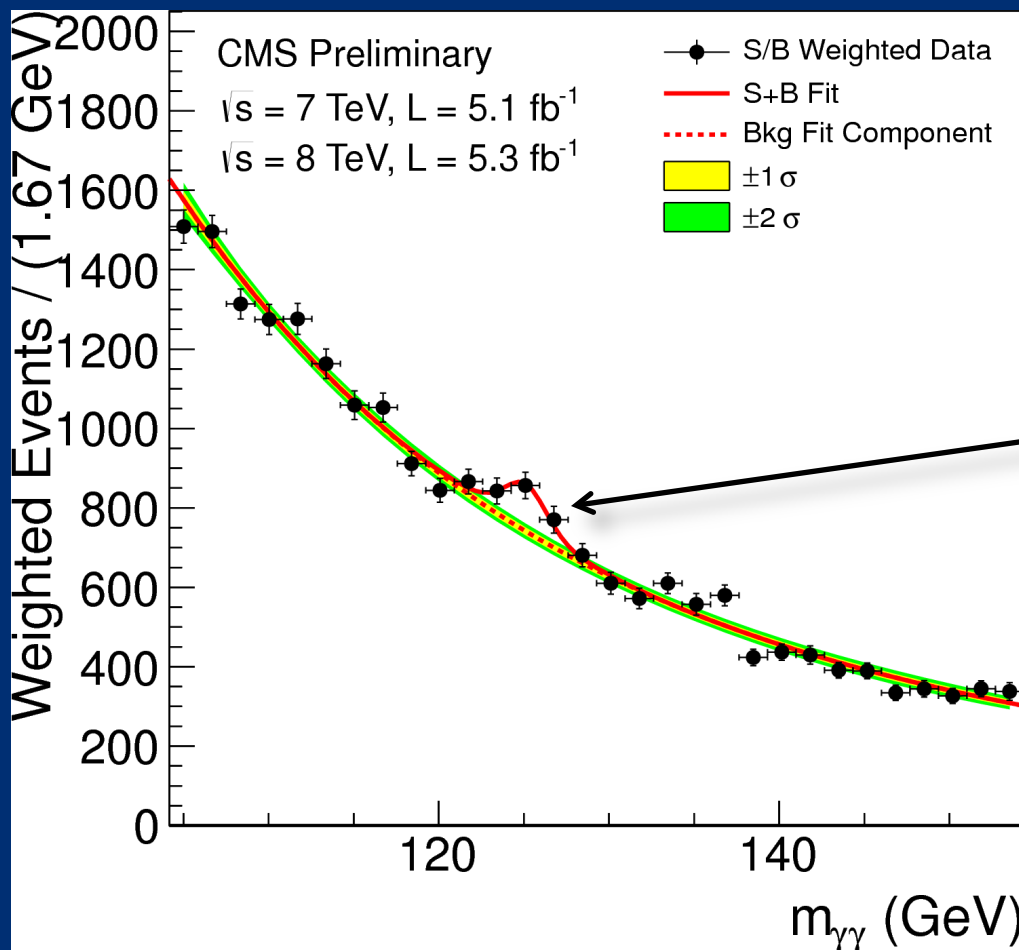
Professor Higgs





CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000



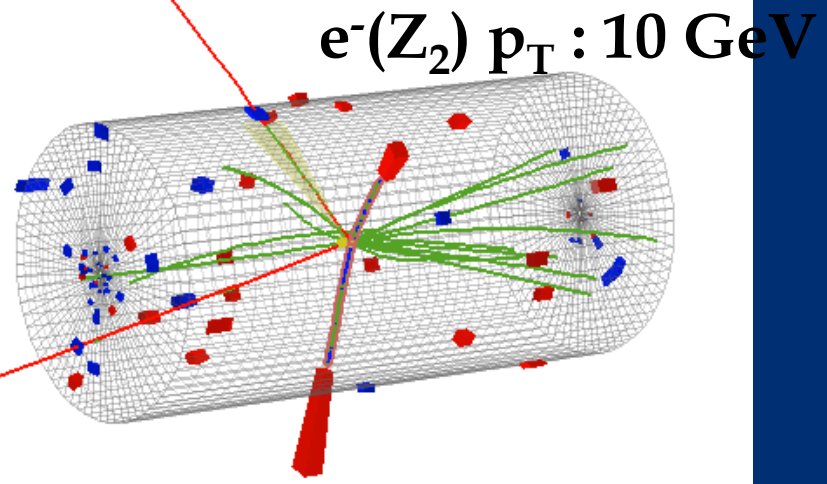




$\mu^+(Z_1) p_T : 43 \text{ GeV}$

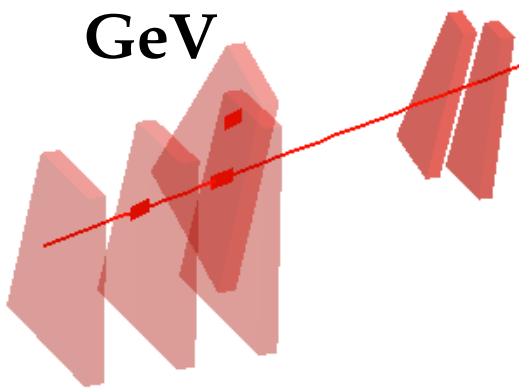
8 TeV DATA

4-lepton Mass : 126.9 GeV



$e^-(Z_2) p_T : 10 \text{ GeV}$

$\mu^-(Z_1) p_T : 24 \text{ GeV}$



$e^+(Z_2) p_T : 21 \text{ GeV}$

CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon May 28 01:35:47 2012 CEST
Run/Event: 195099 / 137440354
Lumi section: 115

4 Ιουλίου 2012

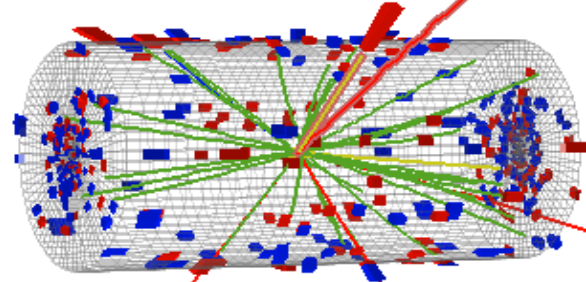


CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Thu Oct 13 03:39:46 2011 CEST
Run/Event: 178421 / 87514902
Lumi section: 86



$\gamma(Z_1) E_T : 8 \text{ GeV}$

$\mu^-(Z_1) p_T : 28 \text{ GeV}$



7 TeV DATA

4 $\mu + \gamma$ Mass : 126.1 GeV

$\mu^+(Z_2) p_T : 6 \text{ GeV}$

$\mu^-(Z_2) p_T : 14 \text{ GeV}$

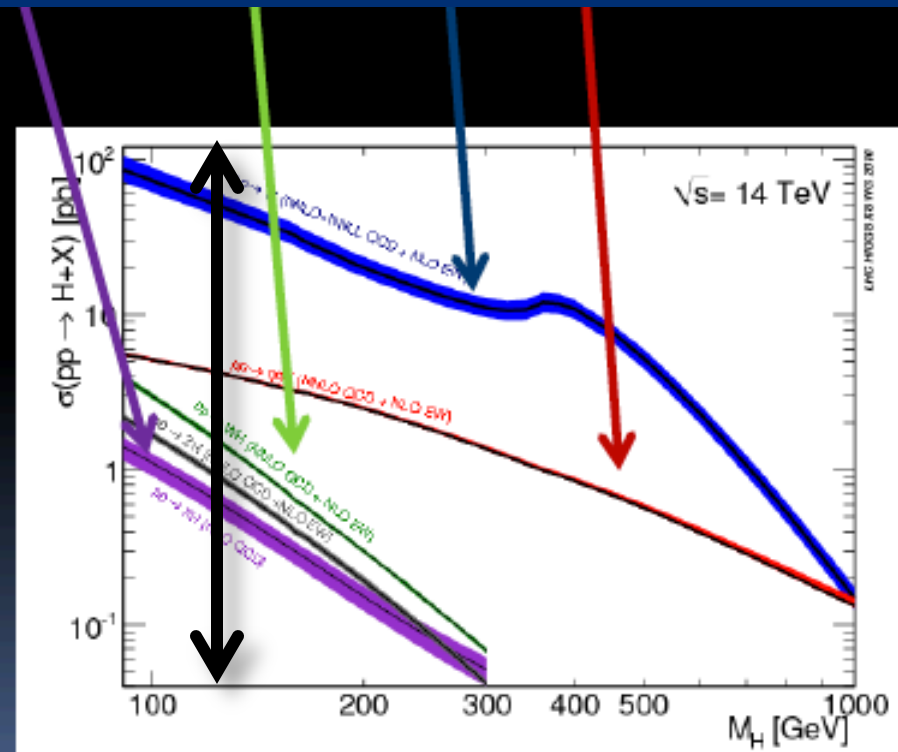
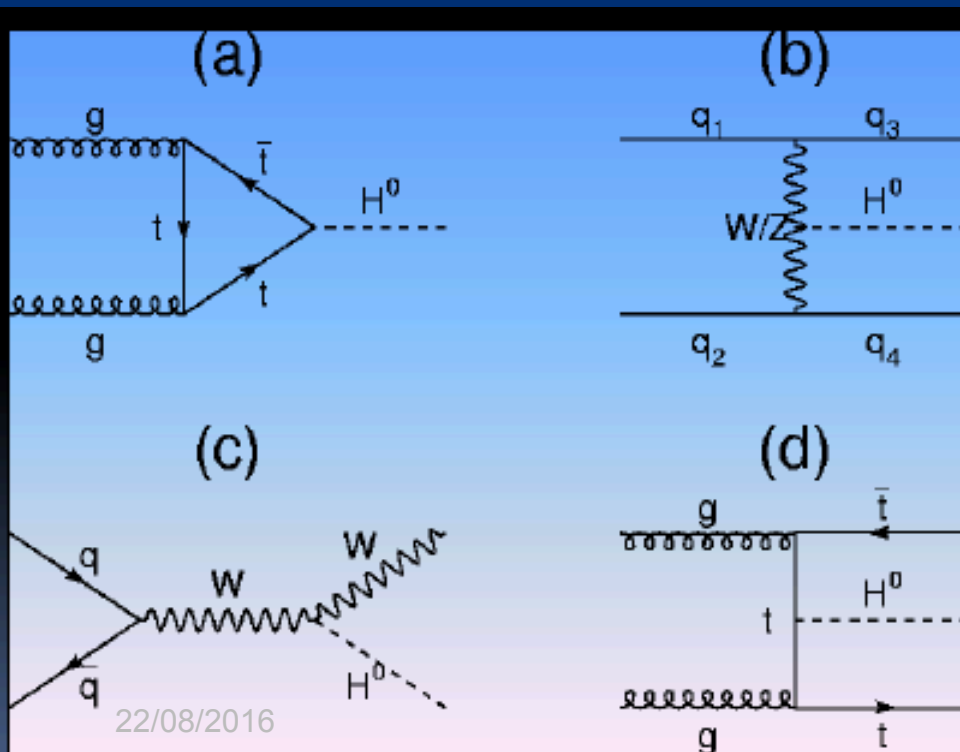
$\mu^+(Z_1) p_T : 67 \text{ GeV}$

Πώς παράγεται το Μποζόνιο Higgs?



- A) Σύντηξη δύο γκλουνίων (ggF)
- B) Σύντηξη ενός διανυσματικού μποζονίου (VBF)
- Γ) Διάσπαση ενός διανυσματικού μποζονίου (VH)
- Δ) Συμπαγωγή με το top quark (ttH)

Δ Γ Α Β



Πώς ανιχνεύεται το Μποζόνιο Higgs?



Εξαρτάται από
την πιθανή μάζα
του μποζονίου
Higgs 80-200
GeV

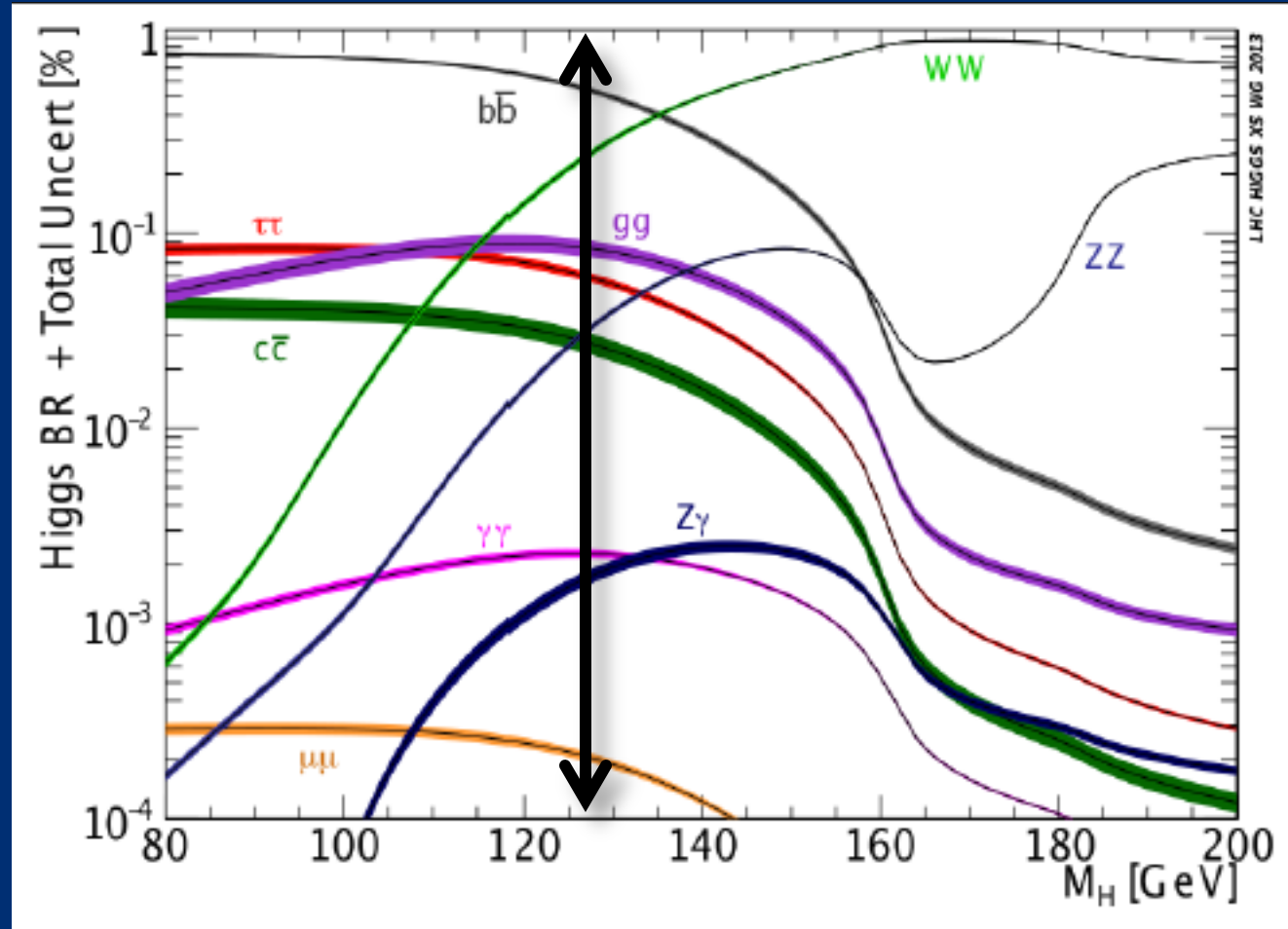
$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

$$H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4l$$

$$H \rightarrow WW(*) \rightarrow l\nu l\nu$$

$$H \rightarrow \tau^+ \tau^-$$

$$H \rightarrow b\bar{b}$$



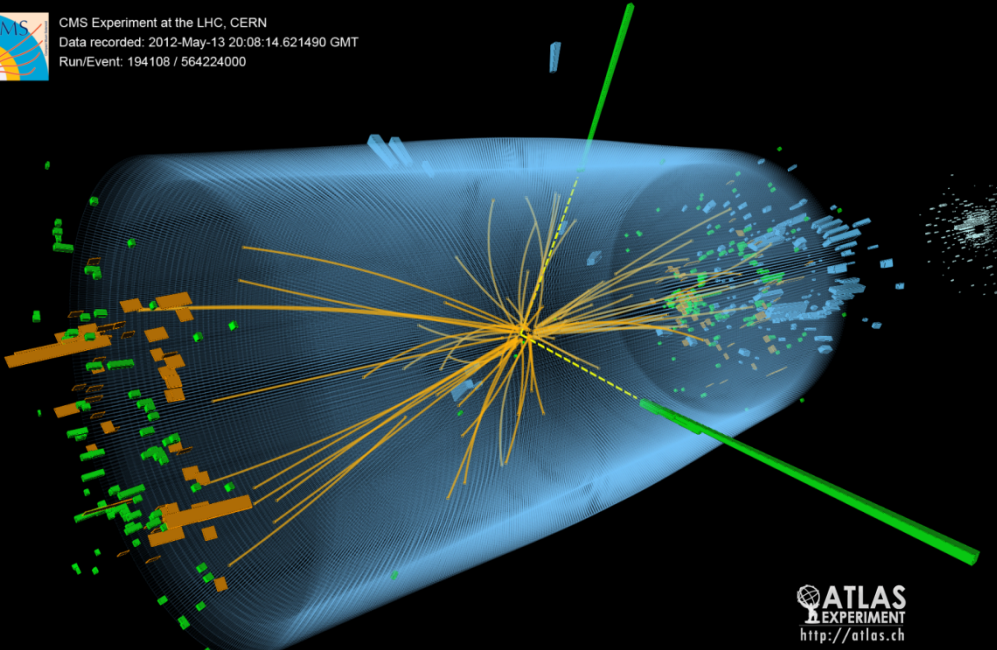
4 ΙΟΥΛΙΟΥ 2012



Υποψήφιο Γεγονός Μποζόνιο Higgs



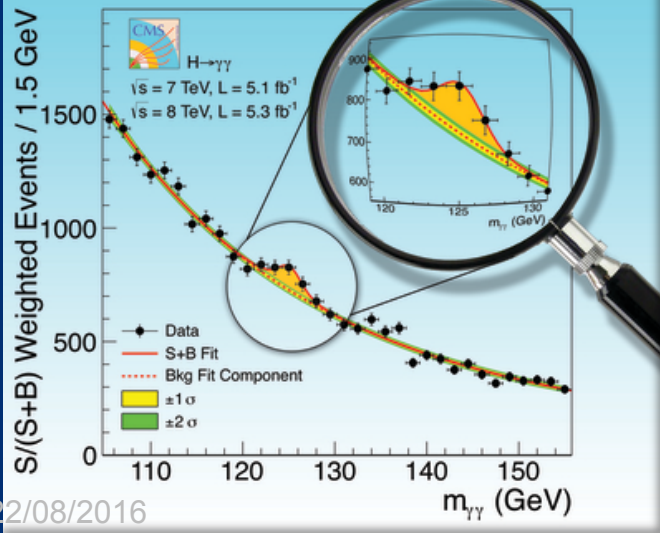
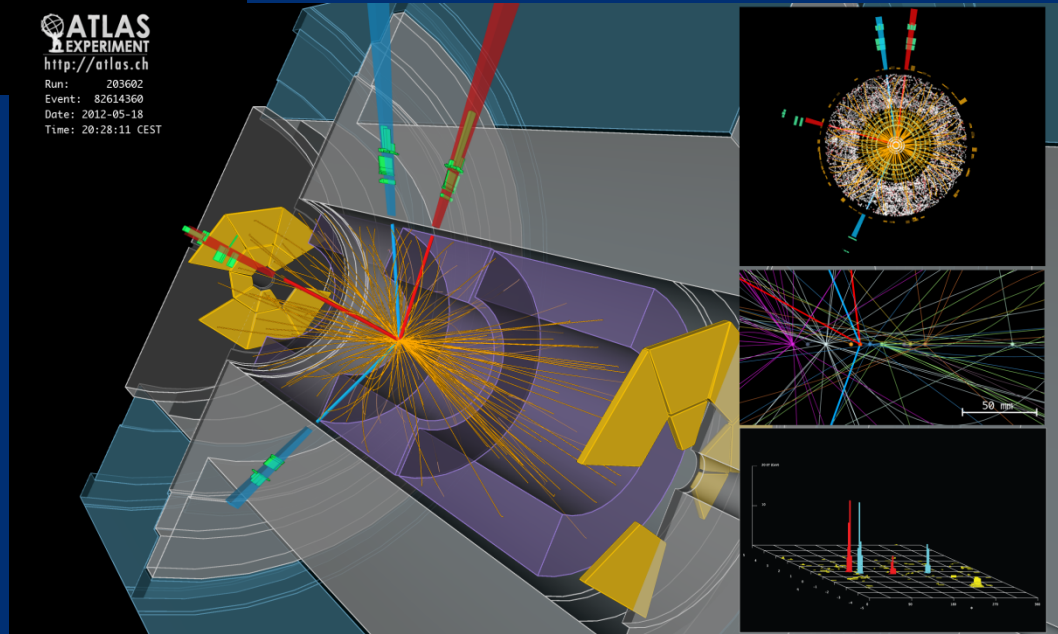
CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000



$$m_{\chi} = 125.3 \pm 0.6 \text{ GeV}$$



ATLAS EXPERIMENT
<http://atlas.ch>
Run: 203602
Event: 82614360
Date: 2012-05-18
Time: 20:28:11 CEST

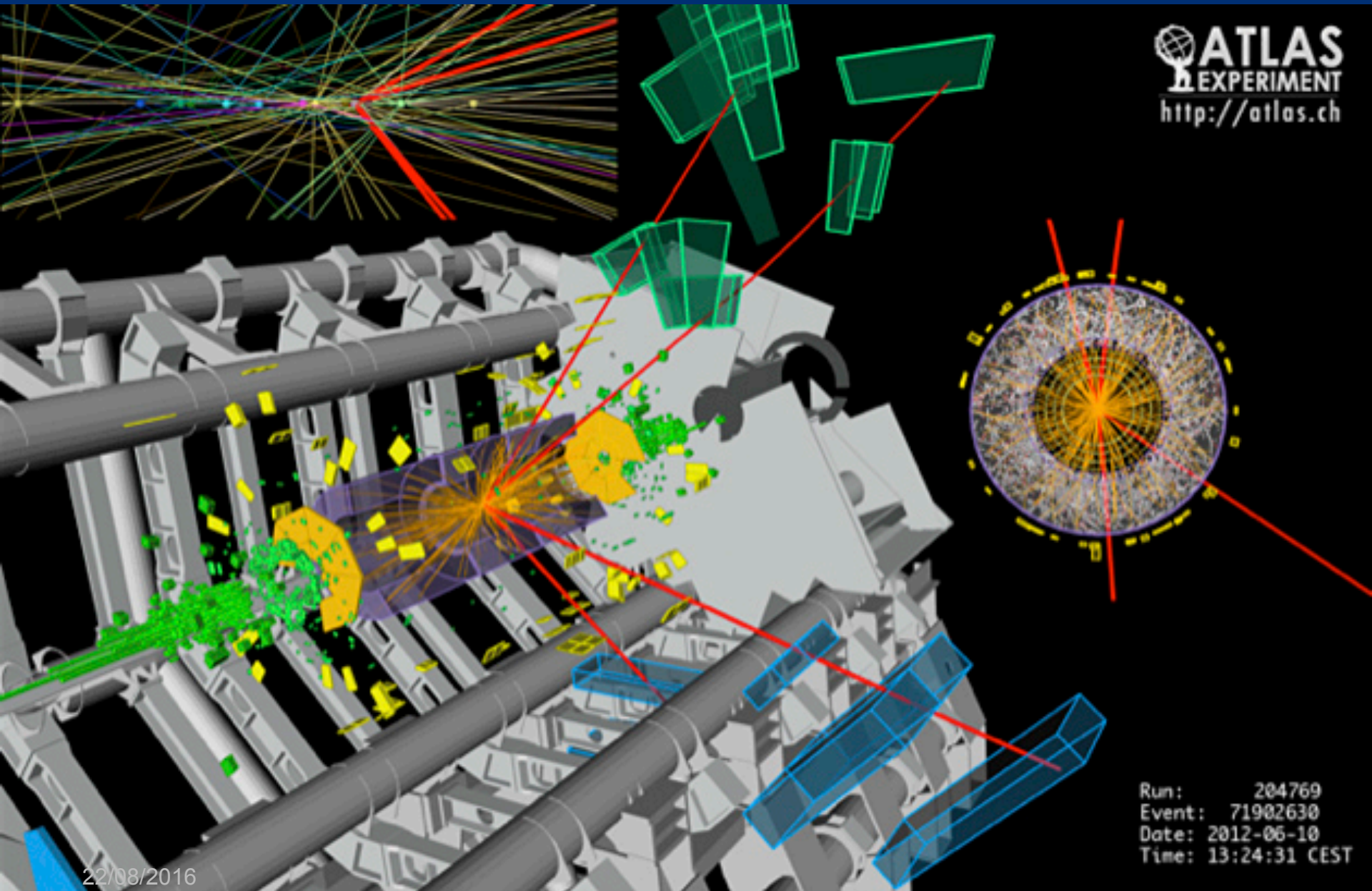


22/08/2016

Υποψήφιο Γεγονός Μποζόνιο Higgs



ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>



Run: 204769
Event: 71902630
Date: 2012-06-10
Time: 13:24:31 CEST

22/08/2016

Παγκόσμια Ανακοίνωση στο CERN, 4 Ιουλίου 2012



Sergio Bertolucci

Fabiola Giannotti, ATLAS

Rolf Heuer, DG-CERN

Joseph Incadela, CMS

Steven Mayers

Francois Englert
Peter Higgs

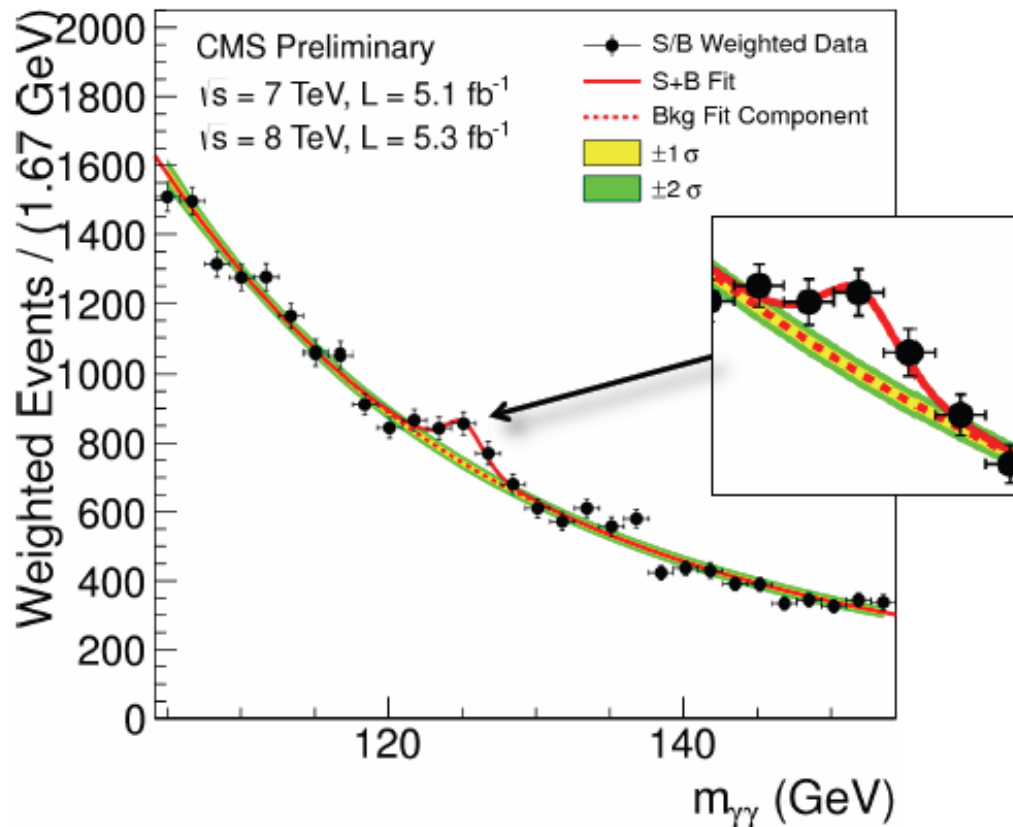


July 4, 2012: Discovery of the Higgs-Boson



S/B Weighted Mass Distribution

- Sum of mass distributions for each event class, weighted by S/B
 - B is integral of background model over a constant signal fraction interval

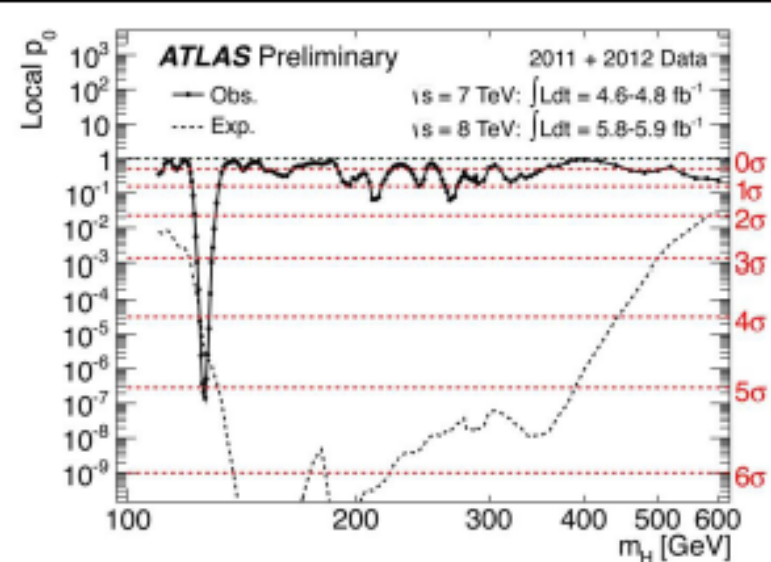
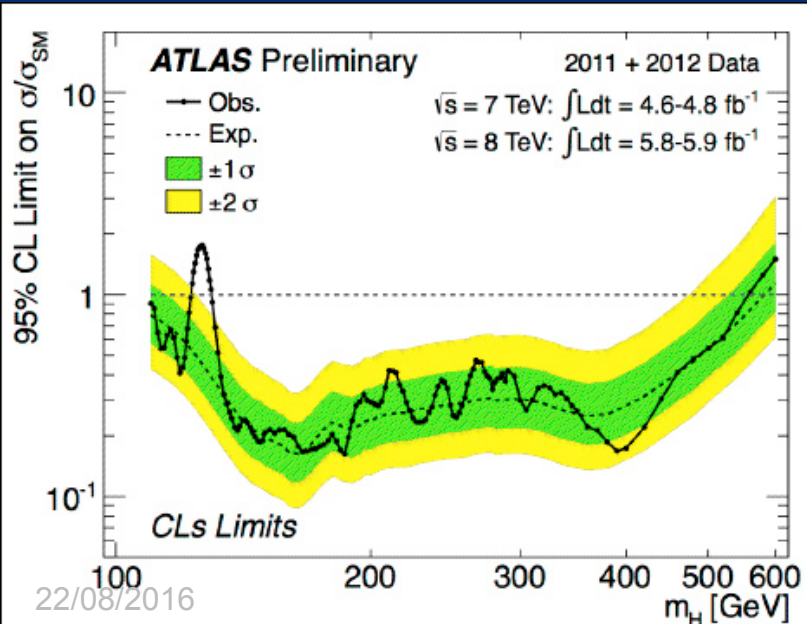
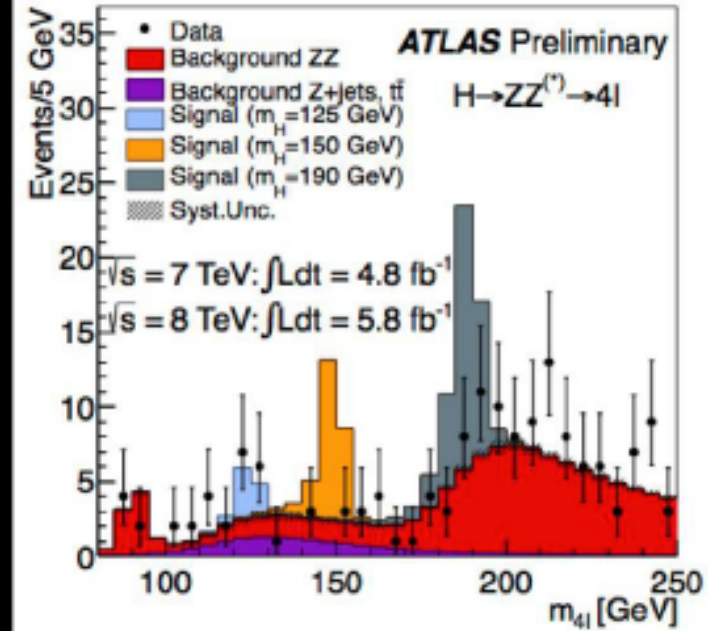


July 4th 2012 The Status of the Higgs Search J. Incandela for the CMS COLLABORATION

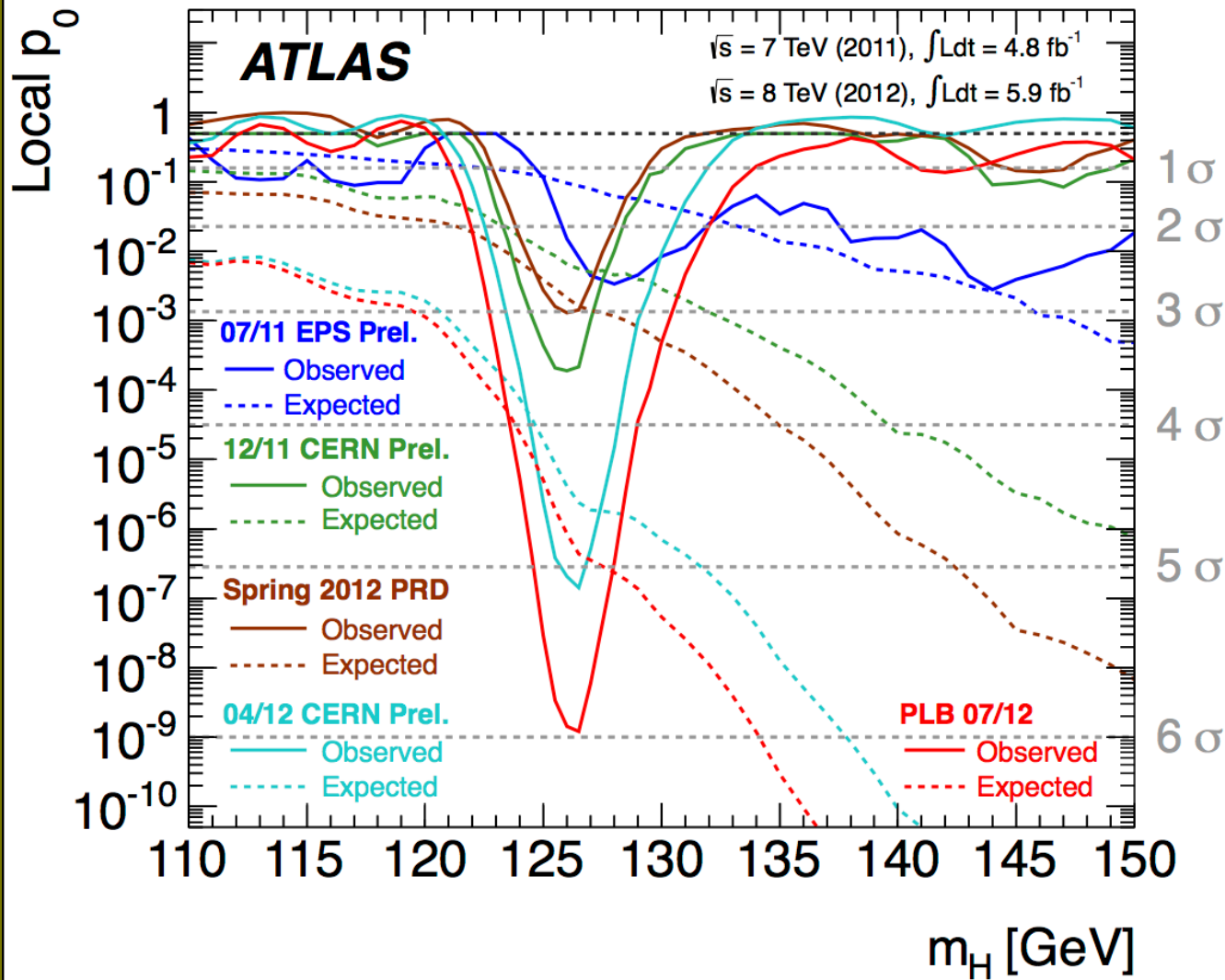
Αναζήτηση του Μποζονίου Higgs?



- Ανακατασκευή της αναλλοίωτης μάζας του μποζονίου Higgs
- Αναζήτηση κορυφών πάνω από το υπόβαθρο άλλων αντιδράσεων
- Στατιστική ανάλυση για την ανεύρεση της σπουδαιότητας της εξέχουσας κορυφής
- Μάζα Higgs = 125.5 ± 0.4 GeV



Evolution of the excess with time



Το spin του Μποζονίου Higgs



$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

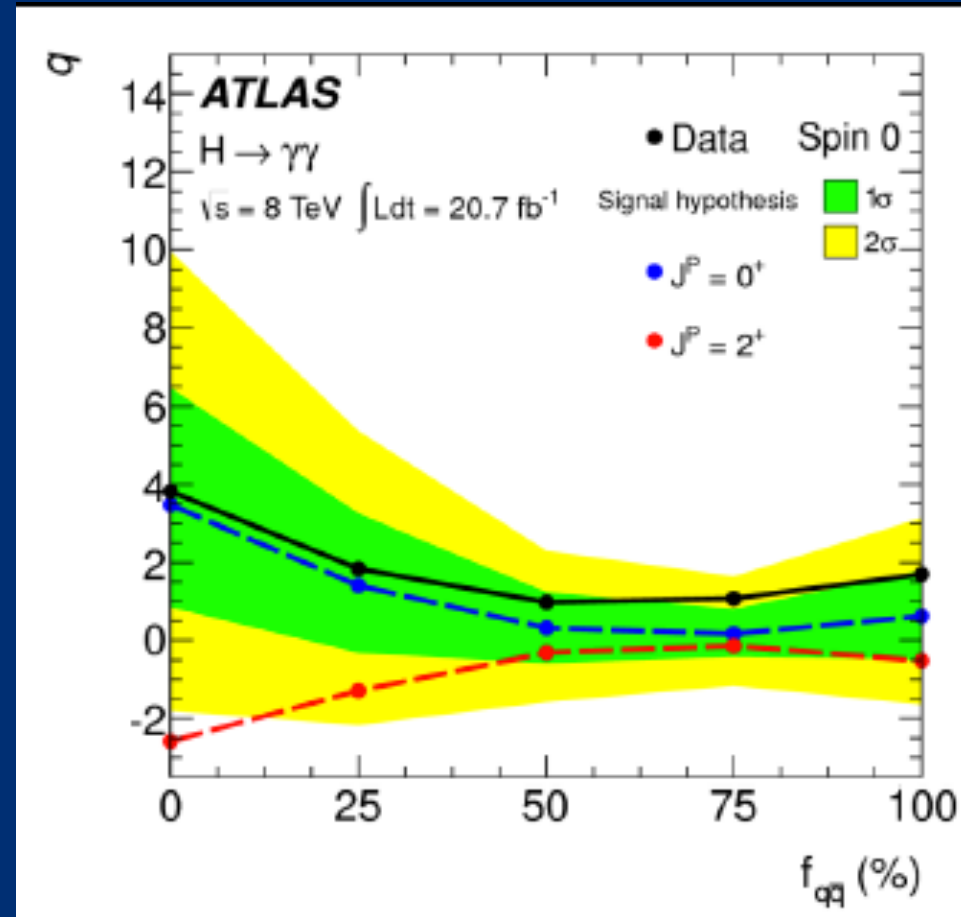
Η θεωρία Landau-Yang αποκλείει spin=1

Η μελέτη της γωνιακής κατανομής των φωτονίων εκείνων που έδωσαν αναλλοίωτη μάζα του Higgs

Σύγκριση μεταξύ των spin=0 και spin-2, με συμπέρασμα ότι το spin-2 αποκλείεται κατά 99% CL



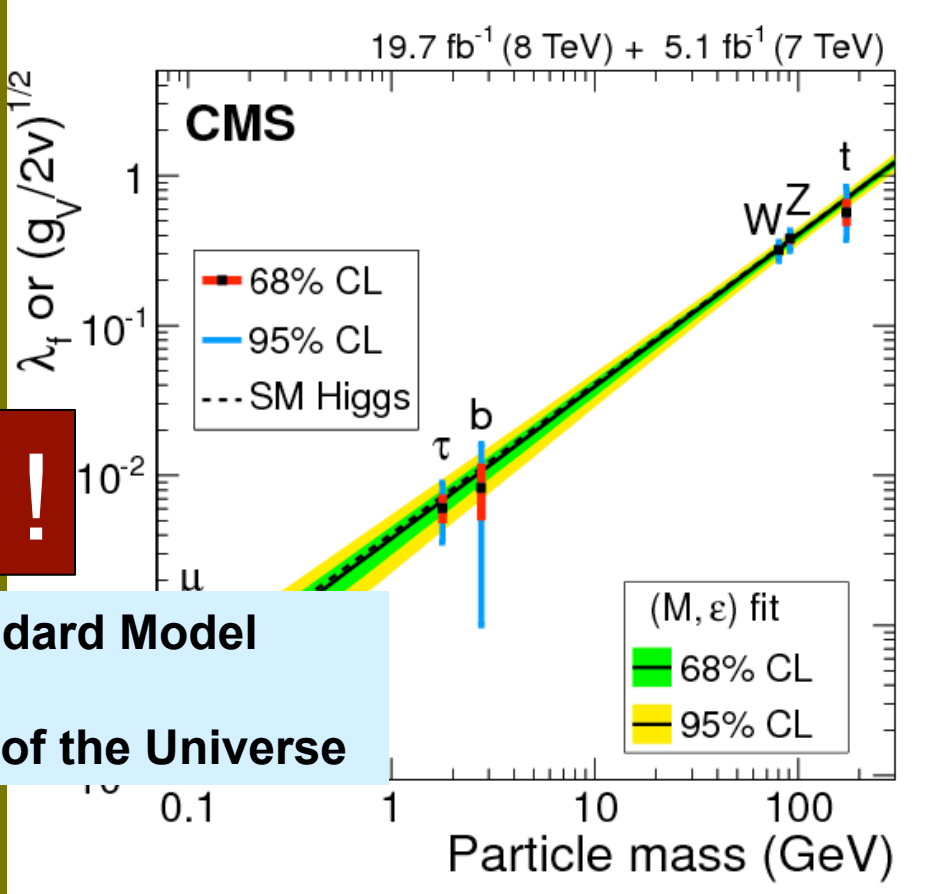
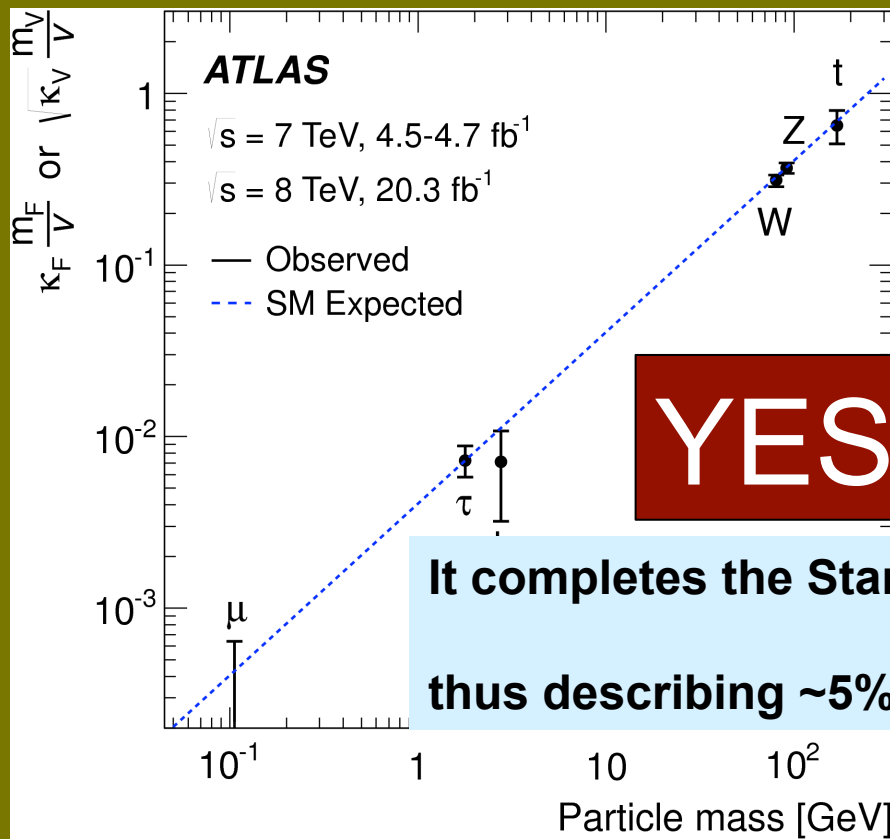
Έχει ανακαλυφθεί το μποζόνιο Higgs, που προβλέπει το ΚΠ



Is the new particle a Higgs boson ?

ATLAS and CMS have verified the two “fingerprints”

1) To accomplish its job (providing mass) it interacts with other particles (in particular W, Z) with strength proportional to their masses

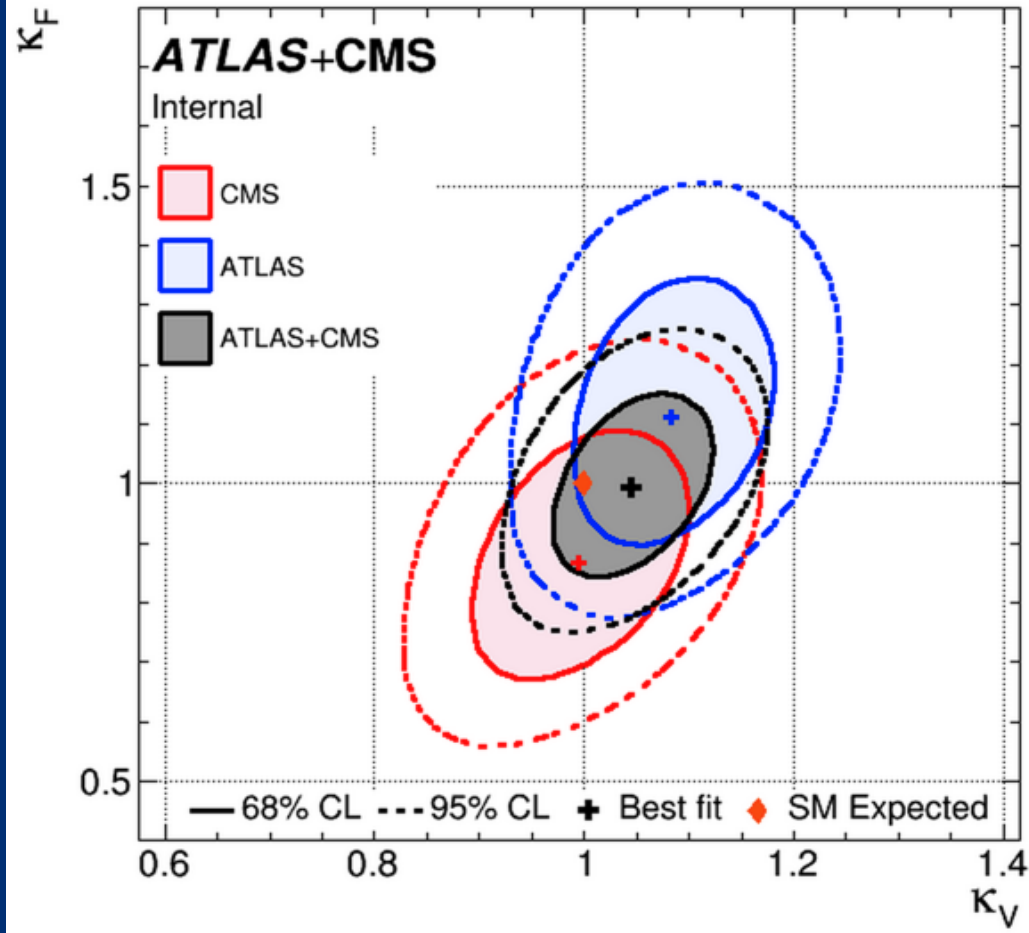


YES !

It completes the Standard Model
 thus describing ~5% of the Universe

2) It has spin 0, it is representing a scalar field

Higgs couplings combined results



Results of the analyses by individual experiments (coloured) and both experiments together (black), showing the improvement in precision resulting from the combination of results.

Higgs Discovery!

Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC
(arXiv: [1207.7214](https://arxiv.org/abs/1207.7214), [Physics Letters B 716 \(2012\) 1-29](https://doi.org/10.1016/j.phletb.2012.08.044))

Physics Letters B 716 (2012) 1–29



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Physics Letters B

www.elsevier.com/locate/physletb



Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC [☆]

ATLAS Collaboration ^{*}

This paper is dedicated to the memory of our ATLAS colleagues who did not live to see the full impact and significance of their contributions to the experiment.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 31 July 2012

Received in revised form 8 August 2012

Accepted 11 August 2012

Available online 14 August 2012

Editor: W.-D. Schlatter

ABSTRACT

A search for the Standard Model Higgs boson in proton–proton collisions with the ATLAS detector at the LHC is presented. The datasets used correspond to integrated luminosities of approximately 4.8 fb^{-1} collected at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ in 2011 and 5.8 fb^{-1} at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ in 2012. Individual searches in the channels $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$, $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow e\nu\mu\nu$ in the 8 TeV data are combined with previously published results of searches for $H \rightarrow ZZ^{(*)}$, $WW^{(*)}$, $b\bar{b}$ and $\tau^+\tau^-$ in the 7 TeV data and results from improved analyses of the $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ and $H \rightarrow \gamma\gamma$ channels in the 7 TeV data. Clear evidence for the production of a neutral boson with a measured mass of $126.0 \pm 0.4 \text{ (stat)} \pm 0.4 \text{ (sys)} \text{ GeV}$ is presented. This observation, which has a significance of 5.9 standard deviations, corresponding to a background fluctuation probability of 1.7×10^{-6} , is compatible with the production and decay of the Standard Model Higgs boson.

© 2012 CERN. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

To CERN και τα ΜΜΕ



...edge-of-existence...
The particle discovered in a laboratory in Geneva has significant similarities...
...of the so-called Standard Model, a mathematical theory of physics that explains almost all particles and forces in the universe, except gravity. The Higgs...

আনন্দবাজার পত্রিকা

বিজ্ঞানের 'ঈশ্বর' দর্শন



সত্যেন্দ্র বিন্দ্র

'পেয়েছি, যা খুঁজছিলাম'

কবিলা-সম্মান

Πώς να προστατεύσετε το δέρμα σας από τον ήλιο
Αγοράστε προτού γυρίσετε στους μικρομαρσιούς

TA NEA

www.tanea.gr

Φως! Βρέθηκε το μποζόνιο του Χιγκς

Τι είναι, τι φέρνει στη ζωή μας, πώς το υποδέχτηκε η επιστημονική κοινότητα

Μπαράζ αποκρατικοποιήσεων στο τραπέζι των τριών εταιρών

Ιδιώτες και στη ΔΕΗ

Με συμβατικούς και αμοιβαίους υποστηρίχτες κλείνει σήμερα η συζήτηση των κορυφών για τις προγραμματισμένες δεξαμενές

Στα προτάγματα του αποκρατικοποιήσεων στην ενέργεια, η ΔΕΗ και η ΑΔΑΕ. Η ενταξία της σε ένα πακέτο μεταρρυθμίσεων είναι αλληλεπηρεασμένη με τις αποφασιστικές των τριών κυβερνητικών ομάδων και δεν αποκλείεται να γίνει

Επίσης, η ΔΕΗ και η ΑΔΑΕ...

Θυσία στην τράπεζα οι νέες προσλήψεις και οι συμβατικοί

Το σχέδιο για να απορροφήσει τα 15.000 ανέργους

Ο ιός της λιτότητας εξαπλώνεται σε όλη την ευρωζώνη

Πολλοί, ακόμα και νέα άτομα που παραμένουν στην Ελλάδα

Ορκοί πίστης στο ευρώ από Μέρκελ και Μόντι

ΑΛΛΑΞΤΕ ΤΟ ΔΗΜΟΣΙΟ!

Μηνιαίοι να περ

Πανελλαδικές Πίνακον οι βάσεις της αλλαγής με οδυρά παιδείας

LA KRINIA NON VA COMBINA CON LA RELIGIONE

Οι συγγραφείς των εργασιών για τον Μηχανισμό Higgs και για το Μποζόνιο Higgs



Robert
Brout



Gerald
Guralnik



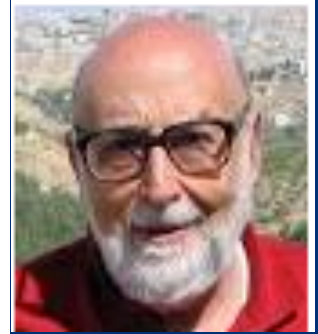
C. R. Hagen



Tom W. B.
Kibble



Peter Higgs



Francois Englert



Βραβείο Nobel Φυσικής 2013



- ▣ 2013 Oct 08: François Englert and Peter Higgs receive the Physics Nobel price!
- ▣ *“ for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, **by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider**” Nobel Foundation*



Επίλογος



Ανακαλύφθηκε το Μποζόνιο Higgs, σε απόλυτη συμφωνία με τη θεωρία του Καθιερωμένου Προτύπου (Standard Model)

Μάζα 125.5 GeV

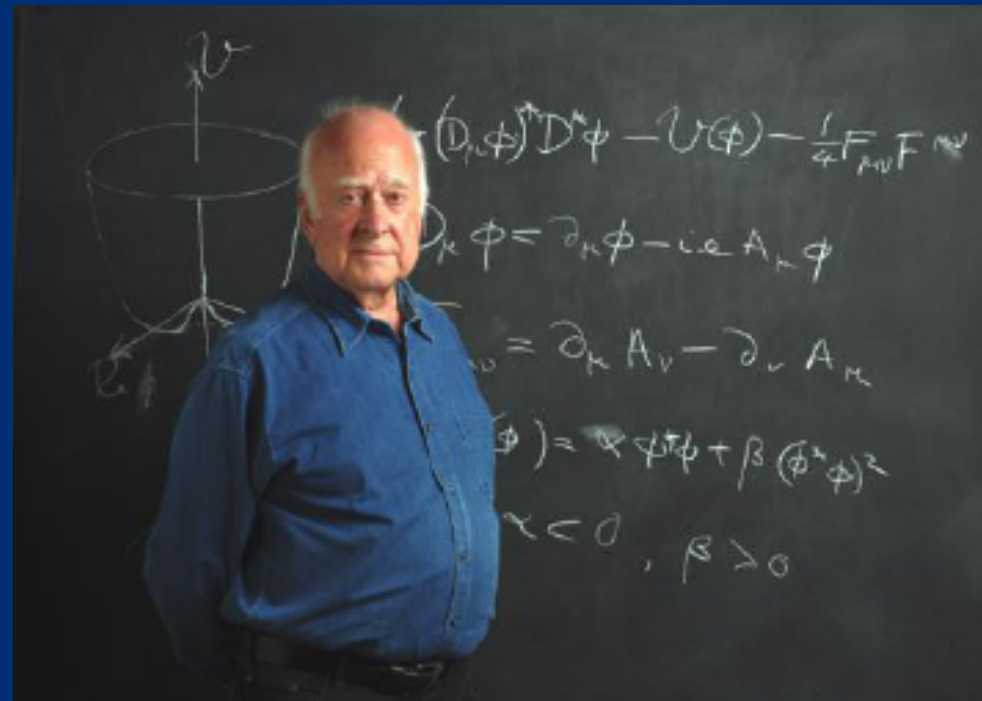
Spin = 0

Φορτίο = 0

Χρώμα = 0

Ομοτιμία = +1

Χρόνος Ημιζωής $\sim 10^{-22}$ sec



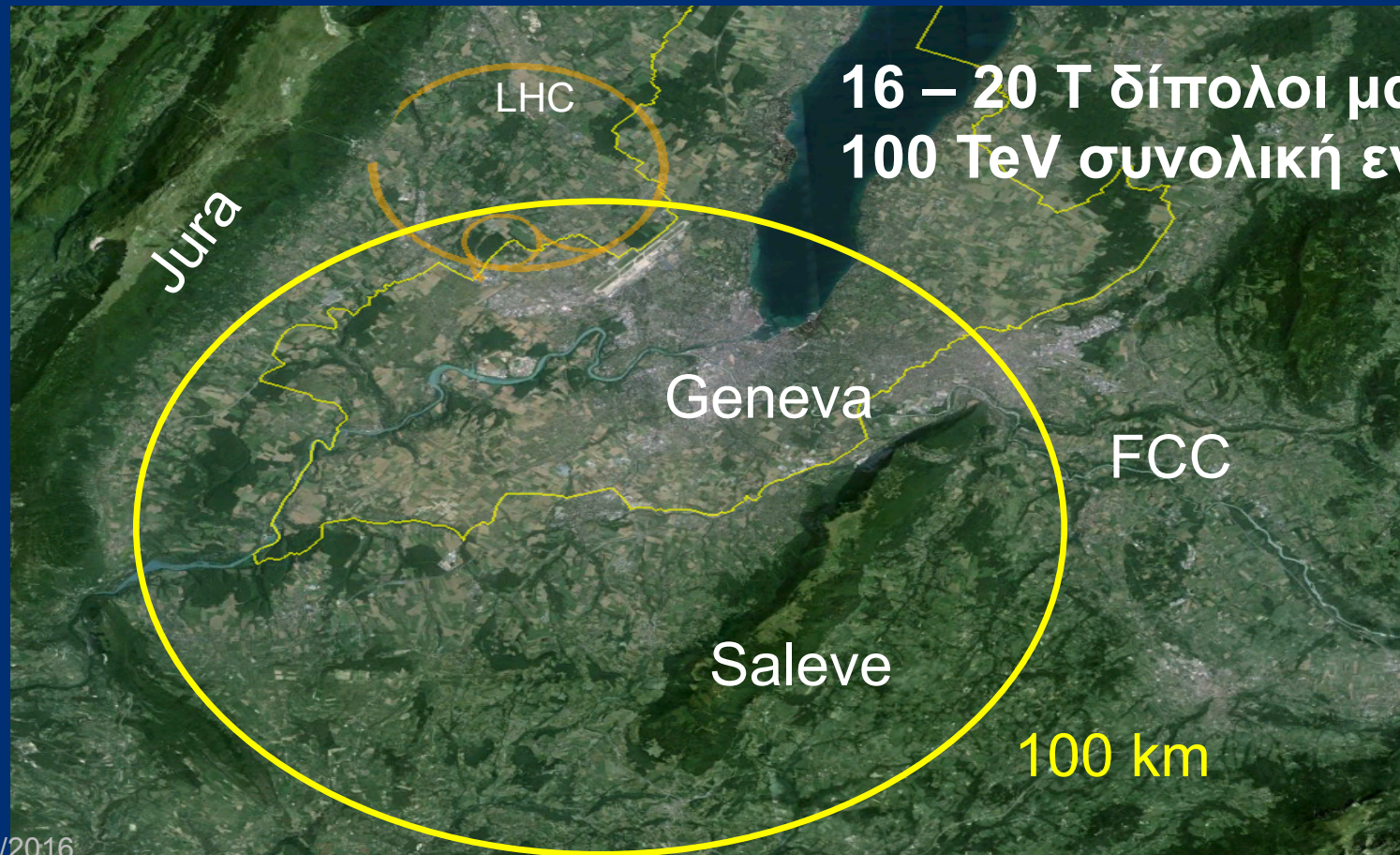
Η έρευνα συνεχίζεται με περισσότερο πάθος και πεποίθηση για αναζήτηση ΝΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ!!



Backup Slides

Πέρα από το LHC: Νέες σήραγγες
80-100 χμ. περιφέρεια

Very High Energy LHC (VHE-LHC)

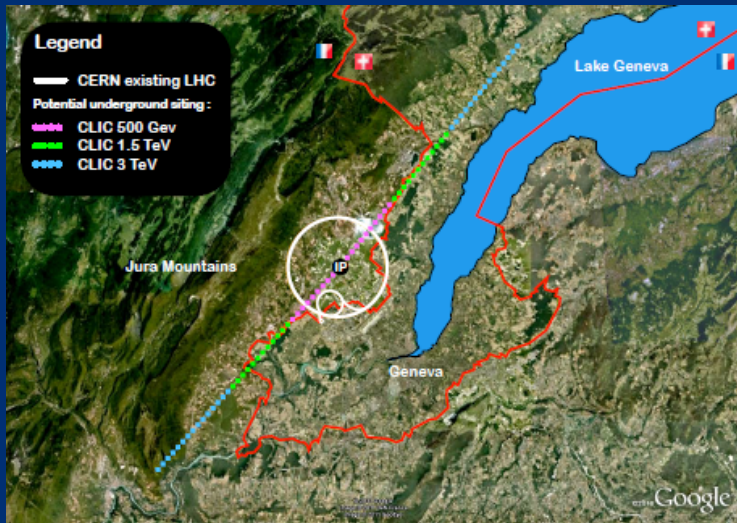


16 – 20 T δίπολοι μαγνήτες
100 TeV συνολική ενέργεια

Γραμμικοί Επιταχυντές e^+e^-



Διεθνής Γραμμικός Επιταχυντής
International Linear Collider (ILC)



Συμπαγές Γραμμικός Επιταχυντής
Compact Linear Collider (CLIC)