

Το μέλλον της Φυσικής Υψηλών ενεργειών

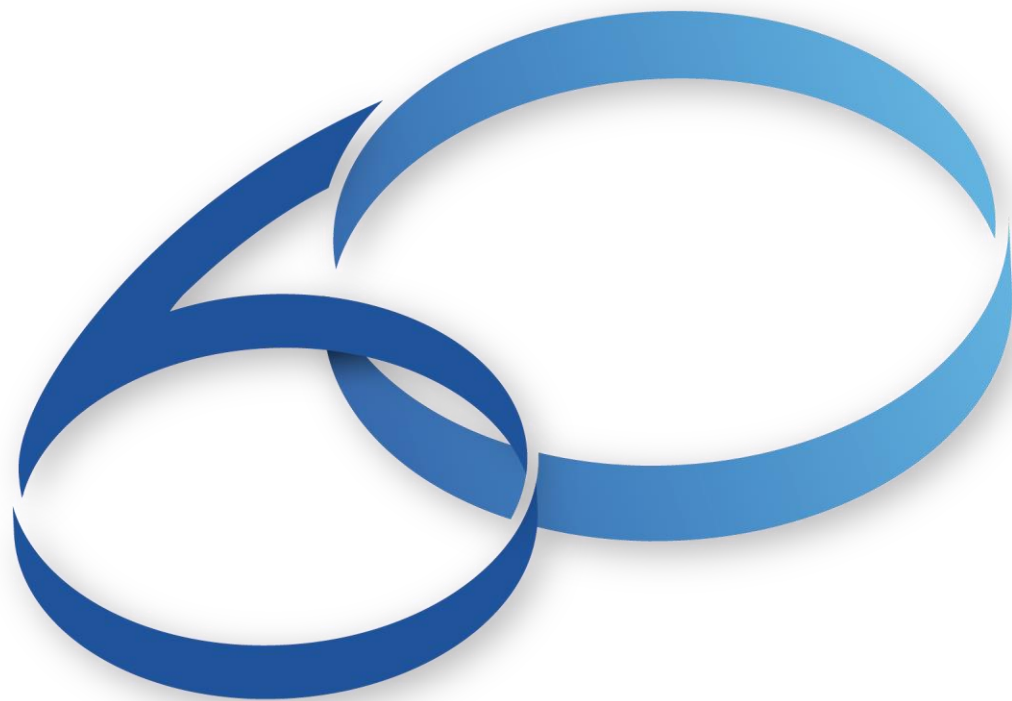
Greek Teachers Programme
Γενεύη,
10 Νοεμβρίου 2015

Μιχάλης Κορατζίνος

Περιεχόμενα

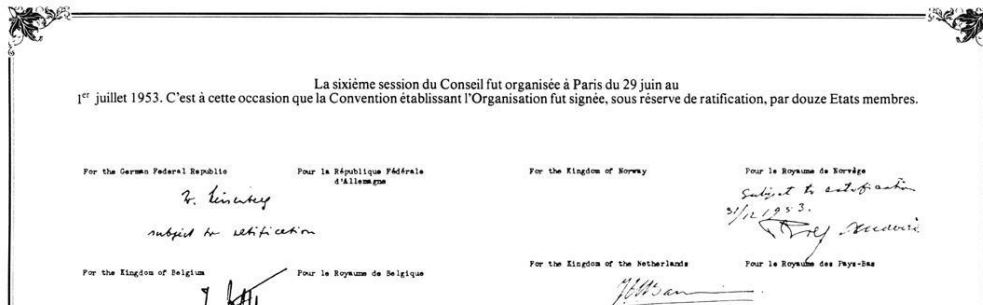
- Αναδρομή CERN: τα τελευταία 60 χρόνια
- Υπενθύμιση: η ανακάλυψη του σωματιδίου Higgs
- Η κατάσταση του Καθιερωμένου Προτύπου/Το πρόβλημα της φυσικότητας της θεωρίας
- Που πάμε τα επόμενα 60 χρόνια;

Το CERN γιόρτασε το 2014 τα 60^α του
γενέθλια...



YEARS / ANS **CERN**

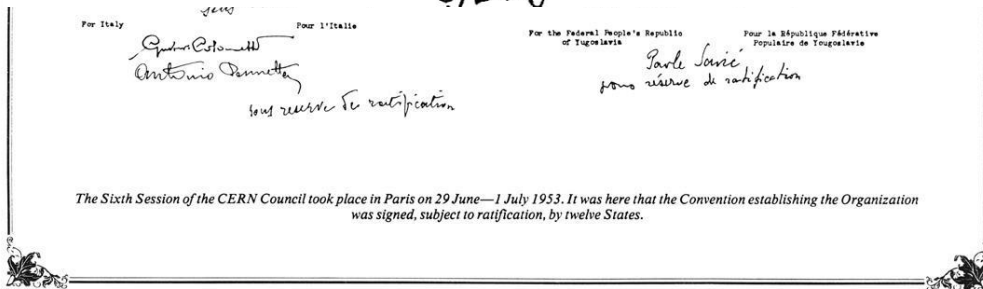
Σύντομη ιστορία – η αρχή



For the Kingdom of Greece

Pour le Royaume de Grèce

*N. Embiricos.
sous réserve de ratification.*



Το 1952 δημιουργήθηκε το προσωρινό «Ευρωπαϊκό συμβούλιο για την πυρηνική έρευνα» (“Conseil Européen pour la recherche Nucléaire” CERN) για να μελετήσει τη δυνατότητα

Ευρωπαϊκού
πικείμενο την
του μικρόκοσμου.
διο δημιούργησε
ξέρουμε σήμερα
(και του αφιέρωσε το όνομά του...)

Η συνθήκη του CERN υπογράφηκε το 1953 και εγκρίθηκε από όλα τα ενδιαφερόμενα μέλη το 1954.

The sixth session of the CERN Council took place in Paris, 29 June-1 July 1953. It was here that the Convention establishing the Organization was signed, subject to ratification, by 12 States.

1960: Επίσημα εγκαίνια του PS



Το CERN είχε την θερμή υποστήριξη των μεγάλων φυσικών της εποχής (αριστερά ο Bohr δεξιά ο Oppenheimer).

PS inauguration meeting : left to right N. Bohr, MacMillan and R. Oppenheimer

(PS inauguration meeting held in the Main Auditorium. *Date:* 5 Feb

SPS – το CERN περνάει στη Γαλλία



Το Υπέρ -σύγχροτρο πρωτονίων (το SPS), που ξεκινά το 1976, ανέβασε την κλίμακα μεγέθους και πολυπλοκότητας άλλο επίπεδο. Με 7 χιλιόμετρα περιφέρεια, απαίτησε την κατασκευή ενός δεύτερου εργαστηρίου του CERN σε γαλλικό έδαφος.

The SPS was inaugurated with a ceremony taking place in the EHN1 experimental Hall in the Prevezin site, on 7 May 1977.

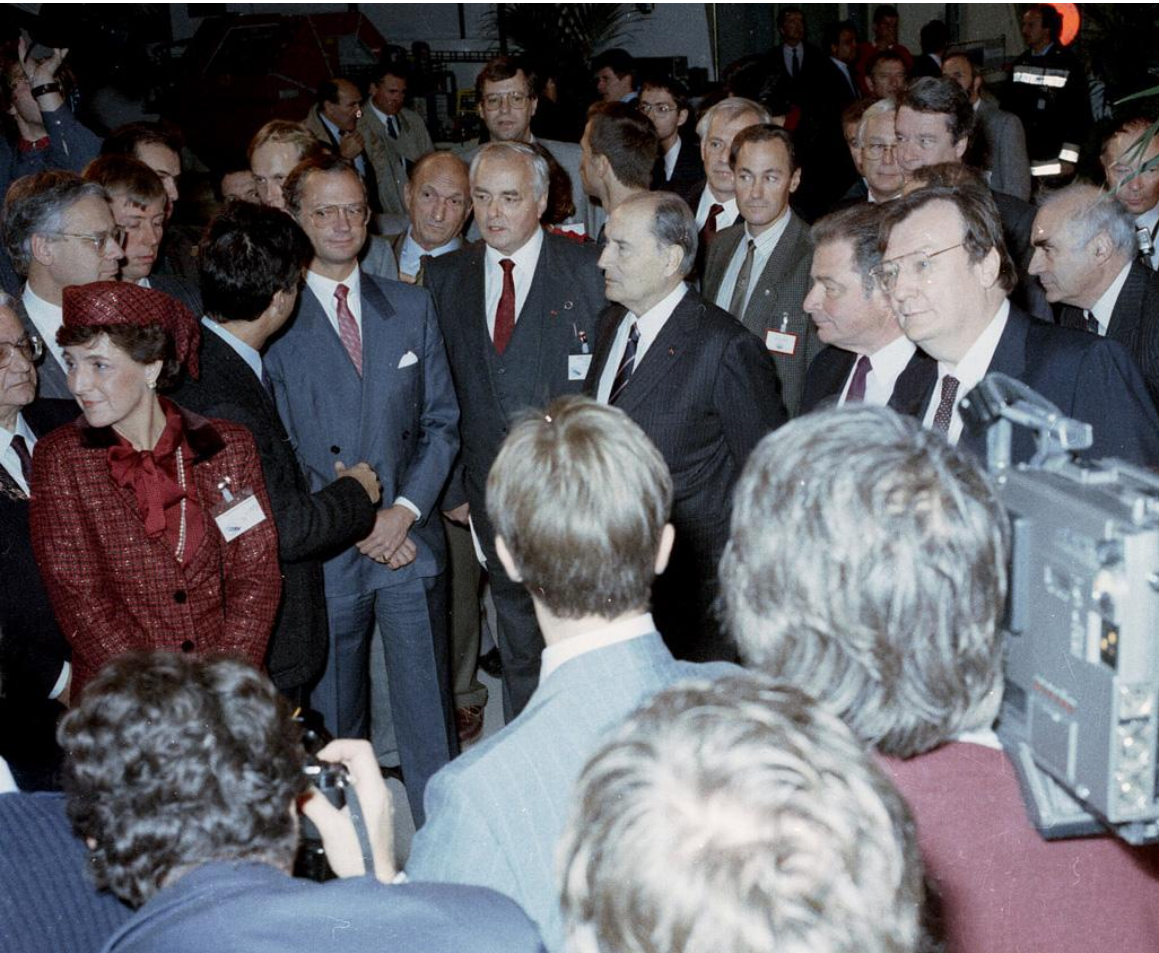
Το πρώτο Νόμπελ



Με την επιμονή και καθοδήγηση του Carlo Rubbia και την εφευρετικότητα του Simon van der Meer, το CERN μετατρέπει το SPS σε collider πρωτονίων – αντί πρωτονίων. Το CERN (και οι ίδιοι) ανταμείβονται με το Νόμπελ φυσικής το 1984 για την ανακάλυψη των μποζονίων W και Z μερικούς μήνες πριν.

CERN's 1984 Nobel prizewinners Carlo Rubbia (left) and Simon van der Meer, who were awarded the prize for their roles in discovering the W^+ , W^- and Z^0 particles, the carriers of Nature's weak force. Carlo Rubbia's work allowed CERN's Super Proton Synchrotron (SPS) to collide protons and antiprotons, while Simon van der Meer's technical virtuosity made the project possible.

Το LEP: 1989-2001



Ο μεγάλος συγκρουστής ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων που θα στεγάζονταν σε τούνελ 27 χιλιομέτρων, εγκρίθηκε το 1981. Ήταν το μεγαλύτερο κατασκευαστικό πρόγραμμα στην Ευρώπη και η μεγαλύτερη επιστημονική μηχανή που κατασκευάστηκε ποτέ. Τέσσερα μεγάλα πειράματα άρχισαν να παίρνουν δεδομένα το 1989. Η πρώτη σημαντική ανακάλυψη θα γίνει μερικές εβδομάδες αργότερα.

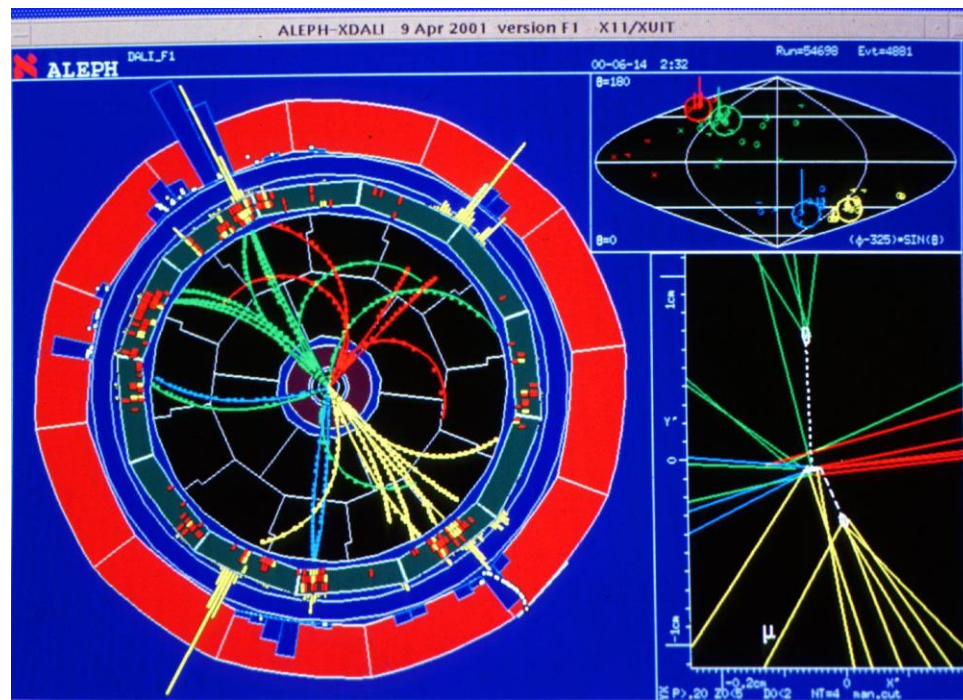
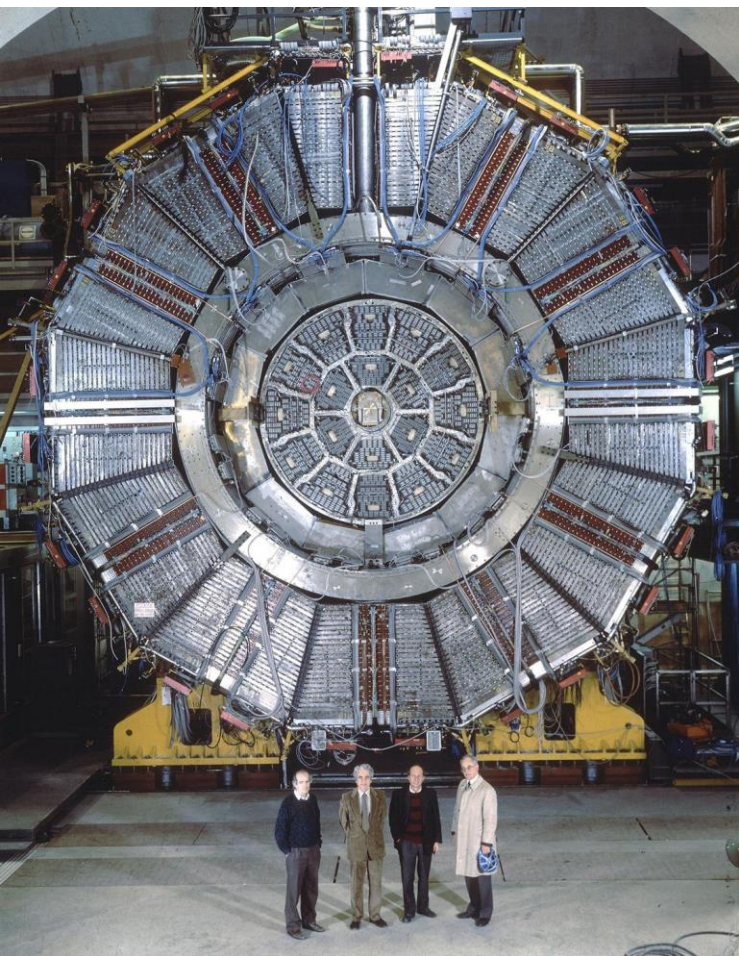
This photo was taken in November 1989 at the inauguration of the Large Electron-Positron (LEP) collider. From the left, Princess Margriet of the Netherlands, King Carl Gustav of Sweden, CERN Council President Josef Rembser, President Francois Mitterrand of France, President Jean-Pascal Delamuraz of Switzerland, Carlo Rubbia, Director-General of CERN at the time.

Date: Nov 1989

Το τούνελ του LEP



Οι ανιχνευτές του LEP



Η φωτογραφία είναι από ένα πραγματικό γεγονός του ανιχνευτή ALEPH του LEP. Μπορούμε να διακρίνουμε τέσσερα «Jets» αδρονίων που θα μπορούσαν να έχουν προέρθει από την δημιουργία και διάσπαση ενός σωματιδίου Higgs. (Άλλες διεργασίες δίνουν παρόμοια υπογραφή, οπότε το γεγονός δεν είναι απόδειξη για την ύπαρξη του σωματιδίου Higgs).

Higgs.

For detecting the direction and momenta of charged particles with extreme accuracy, the ALEPH detector had at its core a time projection chamber, for years the world's largest. In the foreground from the left, Jacques Lefrancois, Jack Steinberger, Lorenzo Foa and Pierre Lazeyras. ALEPH was an experiment on the LEP accelerator, which studied high-energy collisions between electrons and positrons from 1989 to 2000.

Το LHC: 2008 - σήμερα

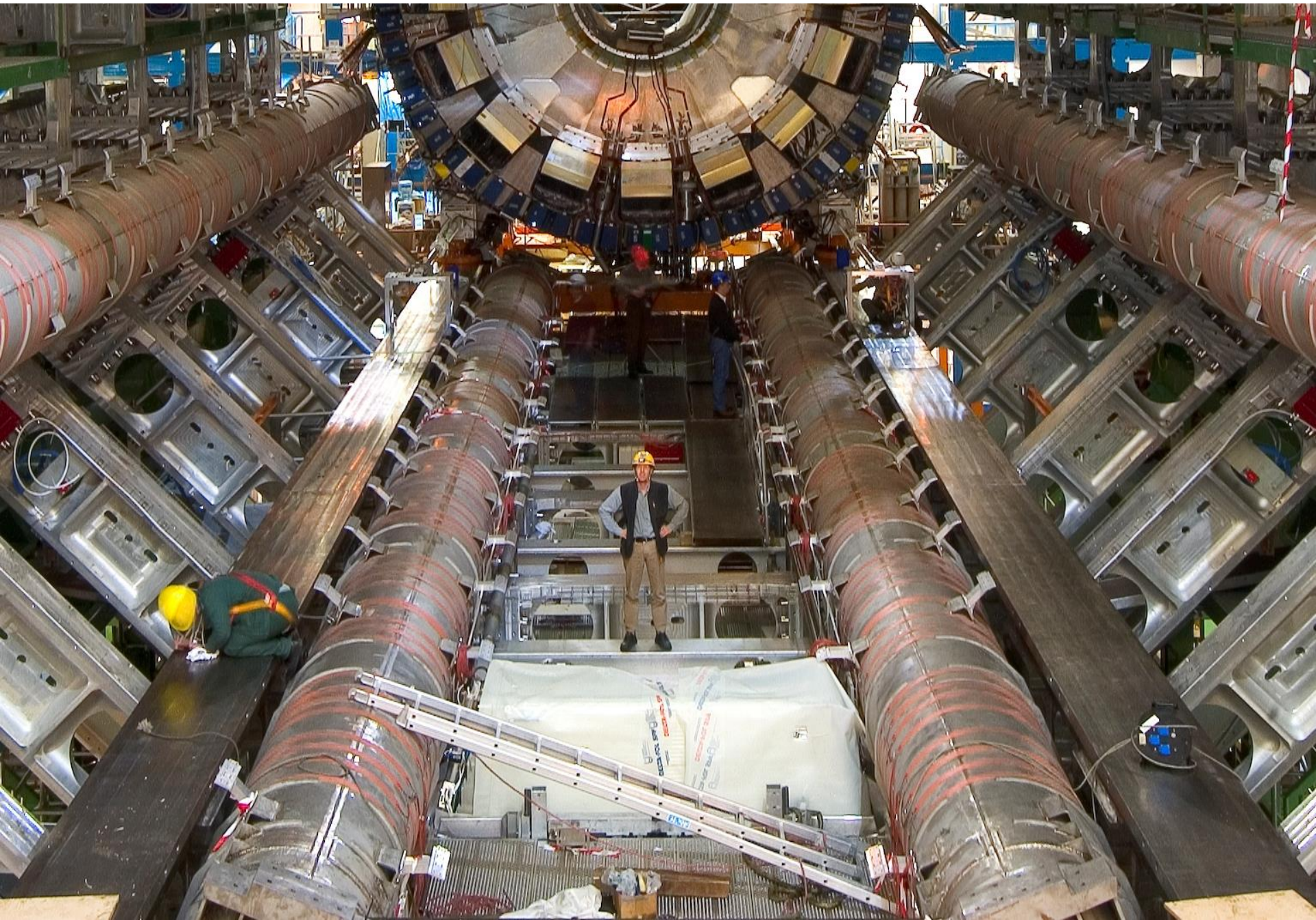


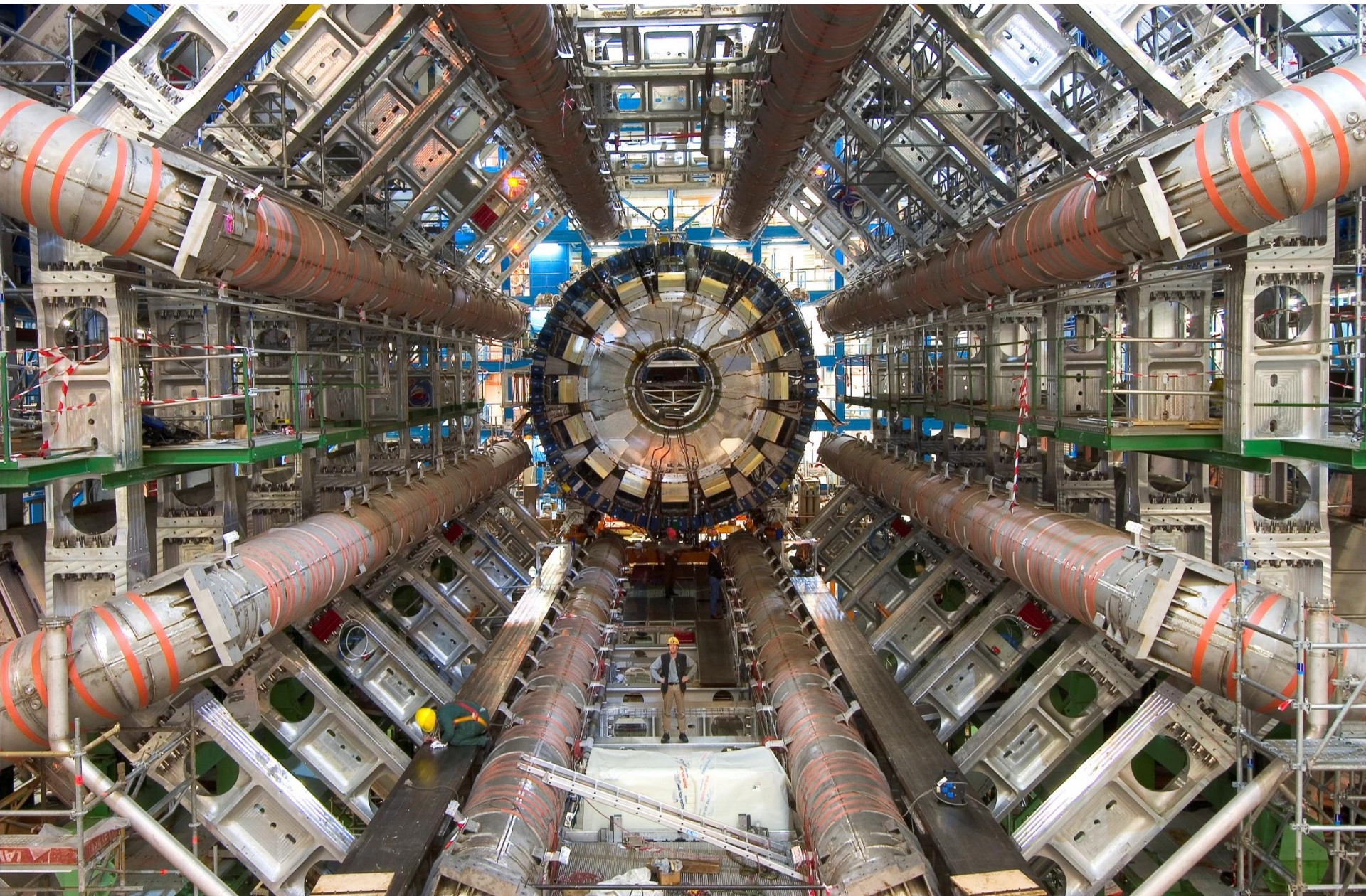
Άποψη του τούνελ του LHC

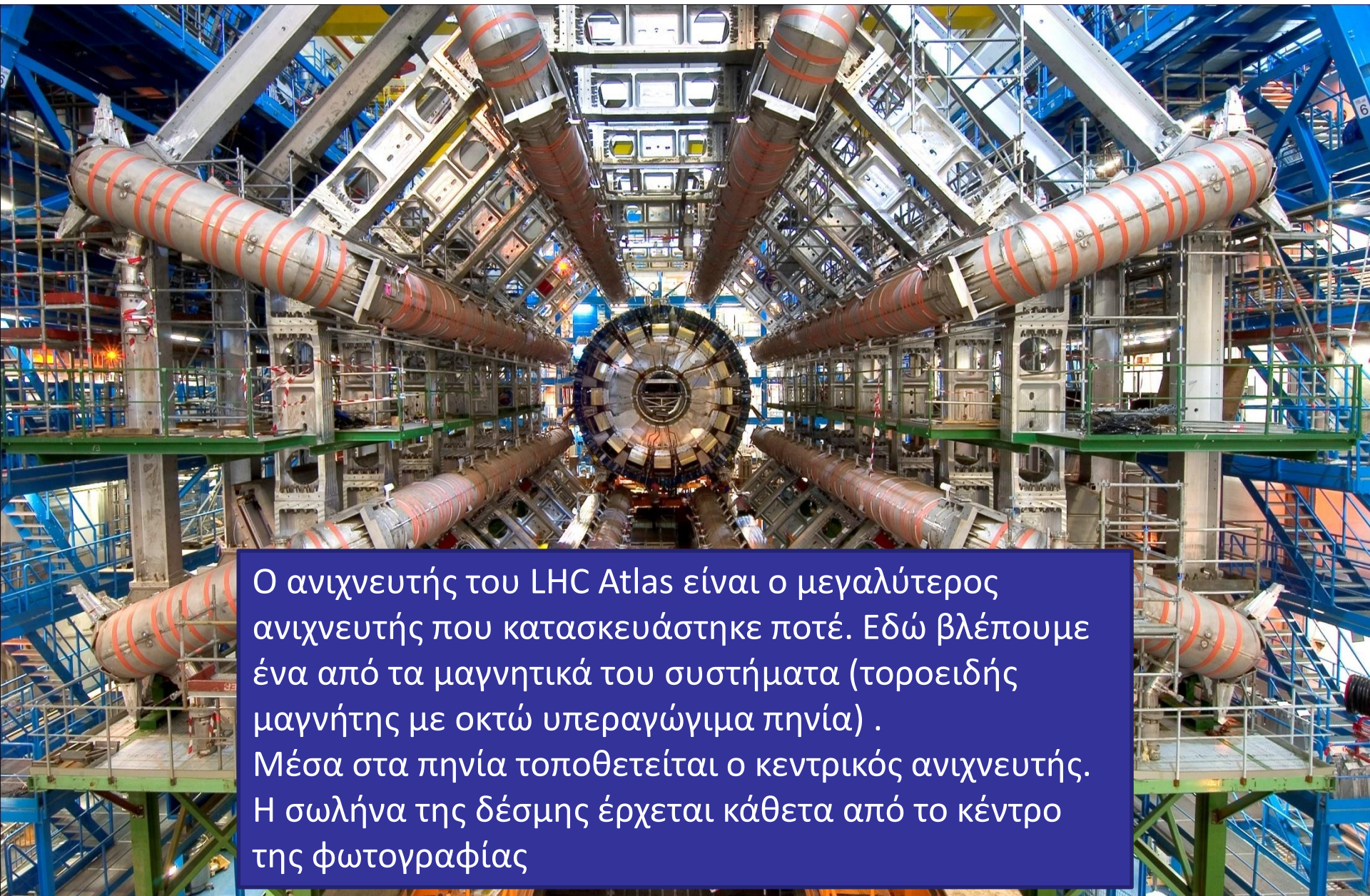
Οι ανιχνευτές του LHC

- ...αν το μέτρο είναι ο άνθρωπος...









Ο ανιχνευτής του LHC Atlas είναι ο μεγαλύτερος ανιχνευτής που κατασκευάστηκε ποτέ. Εδώ βλέπουμε ένα από τα μαγνητικά του συστήματα (τοροειδής μαγνήτης με οκτώ υπεραγώγιμα πηνία) . Μέσα στα πηνία τοποθετείται ο κεντρικός ανιχνευτής. Η σωλήνα της δέσμης έρχεται κάθετα από το κέντρο της φωτογραφίας



Ανιχνευτής CMS

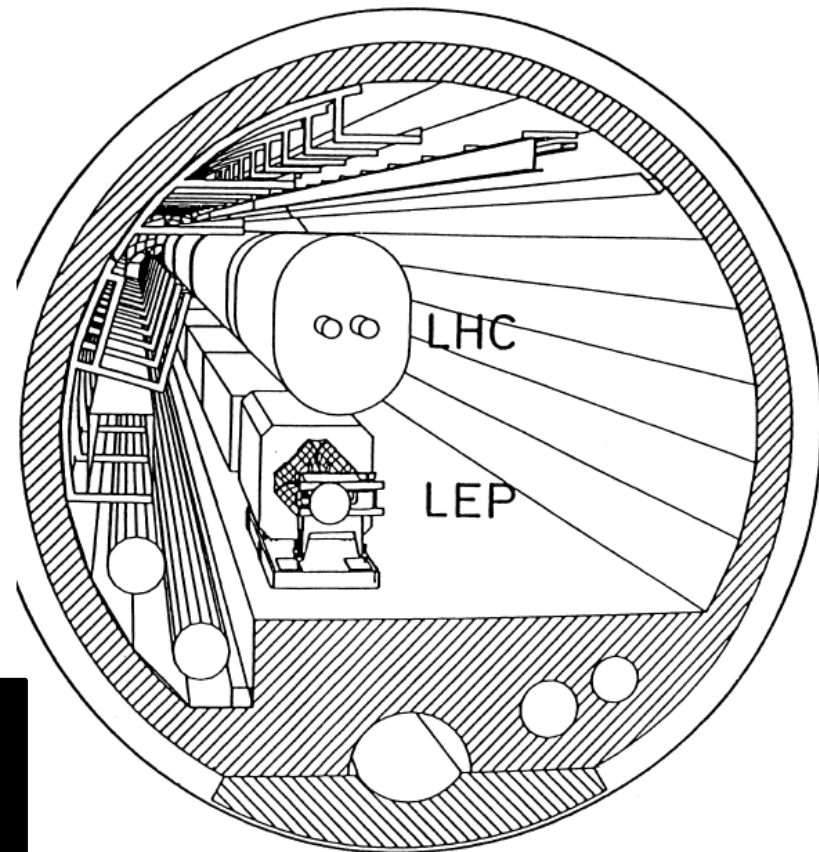
2010: Η πρώτη μέρα φυσικής στο LHC: ενθουσιασμός!



Το LHC στην ιστορία του CERN

- 1982 : Πρώτες σπουδές για το LHC
- Το LHC κατά πάσα πιθανότητα θα είναι σε λειτουργία μέχρι το 2030!
- 50 χρόνια, δυο γενιές φυσικών...

Ένα εγχείρημα σαν αυτό του LHC, είναι εγχείρημα που εντείνεται σε μισό αιώνα. – πρέπει να το έχουμε υπ' όψη μας αυτό όταν σκεφτόμαστε για το επόμενο βήμα, που δεν θα είναι πιο απλό η εύκολο από το LHC



LARGE HADRON COLLIDER
IN THE LEP TUNNEL

Vol. I

PROCEEDINGS OF THE ECFA-CERN WORKSHOP

held at Lausanne and Geneva,
21-27 March 1984

Η ανακάλυψη του σωματιδίου Higgs



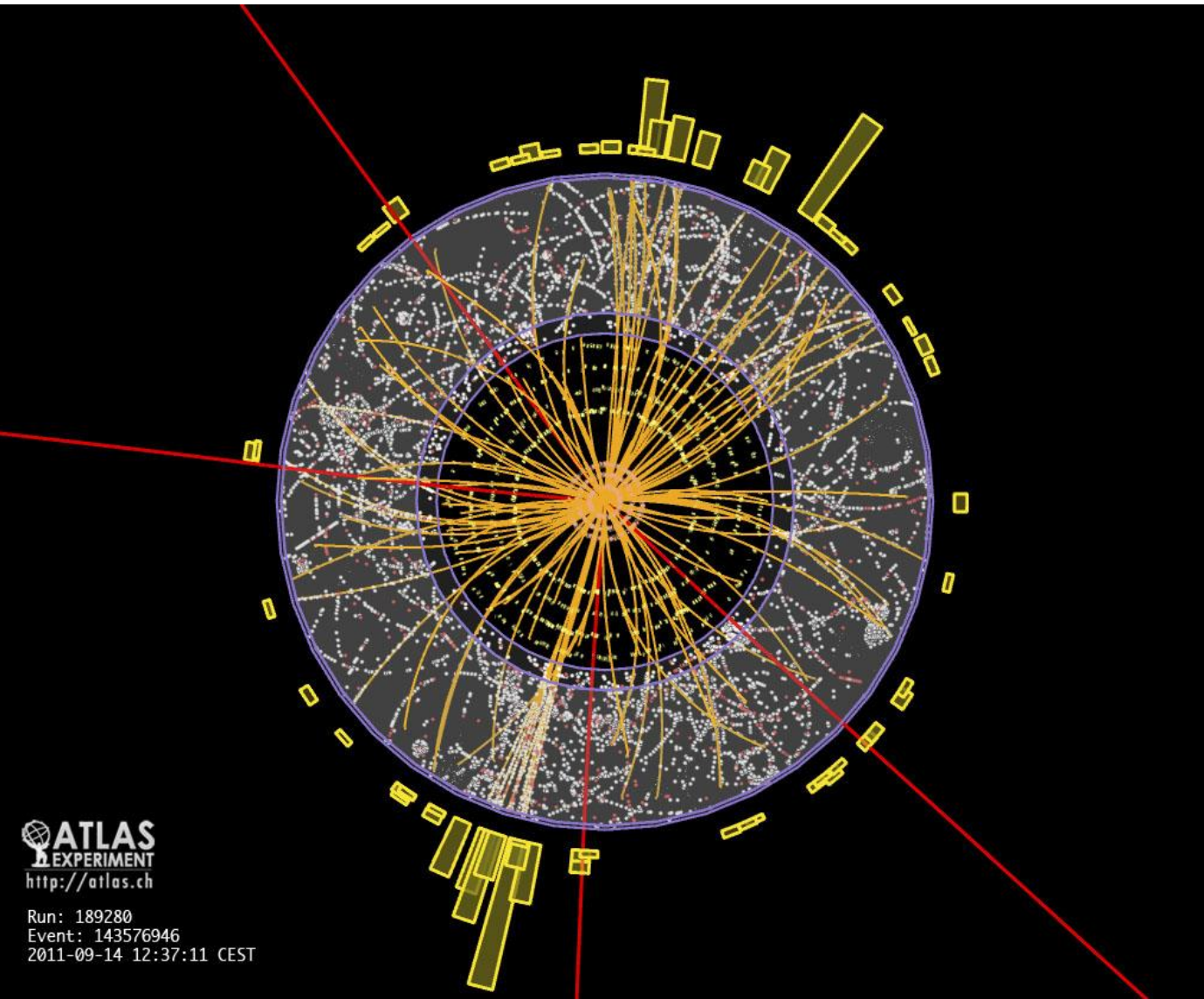
Το ιστορικό

- Τα δυο μεγάλα πειράματα του LHC στις 4 Ιουλίου 2012 σε μια πανηγυρική συνεδρίαση στο CERN ανακοίνωσαν την ανίχνευση ενός σωματιδίου με ιδιότητες όπως η θεωρία περιμένει για το σωματίδιο Higgs.
- Η ανίχνευση επαληθεύτηκε σε μια δεύτερη πανηγυρική συνεδρίαση στις 13 Δεκεμβρίου του ιδίου χρόνου.
- Οι πρωτεργάτες της θεωρίας (Robert Brout, François Englert και Peter Higgs – ο Brout είχε ήδη αποβιώσει) τιμήθηκαν με το βραβείο Νόμπελ το 2013
- Αλλά ας δούμε τα πράγματα από την αρχή:
 - Το σωματίδιο Higgs έχει συγκεκριμένες ιδιότητες (όπως σε τι σωματίδια διασπάται και με πια πιθανότητα) αλλά δεν είχε γνωστή μάζα.
 - Αυτό σημαίνει πως τα πειράματα έπρεπε να ψάξουν σε όλο το πιθανό φάσμα μαζών του Higgs.

Πότε μια ένδειξη είναι ανακάλυψη;

- Ένα σπάνιο σωματίδιο έχει μια χαρακτηριστική υπογραφή, αλλά πολύ μικρή στατιστική
- Άλλες, λιγότερο σπάνιες, διεργασίες μπορούν να μιμηθούν αυτή τη χαρακτηριστική υπογραφή
- Η ανάλυση λοιπόν είναι **στατιστικής φύσεως**
- Για να διεκδικήσει κάποιος την ανακάλυψη ενός καινούριου σωματιδίου, η πιθανότητα λάθους της ανάλυσης του πρέπει να είναι μικρότερη από μια στο εκατομμύριο (5σ)

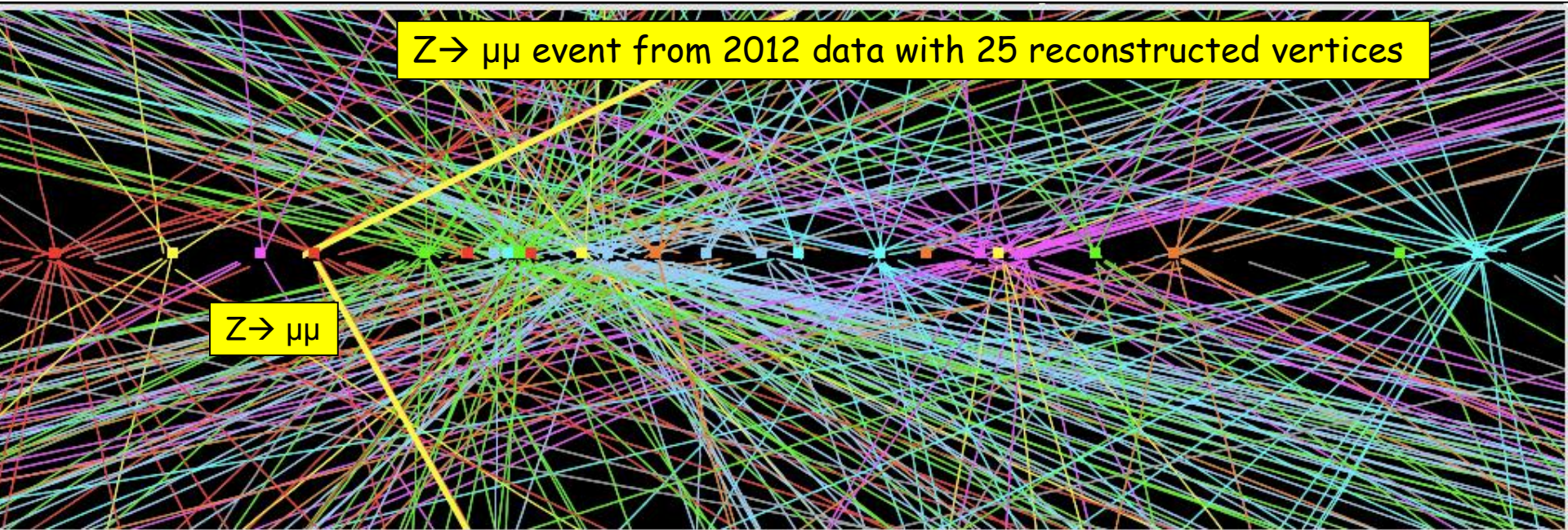
Παράδειγμα χαρακτηριστικής υπογραφής



Ένα πραγματικό γεγονός από τον ανιχνευτή ATLAS με 4 μόνια τα οποία δείχνουν να προέρχονται από 2 σωματίδια Z. Τα δυο σωματίδια Z θα μπορούσαν κάλλιστα να έχουν προέρθει από διάσπαση ενός σωματιδίου Higgs

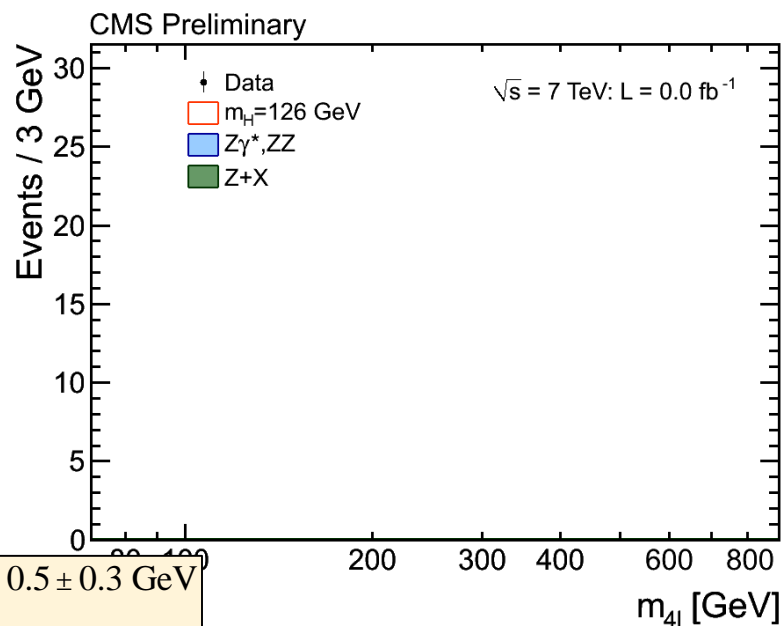
Το Higgs κρύβεται μέσα σε χιλιάδες τροχιές

- ...μέσα σε εκατομμύρια γεγονότα

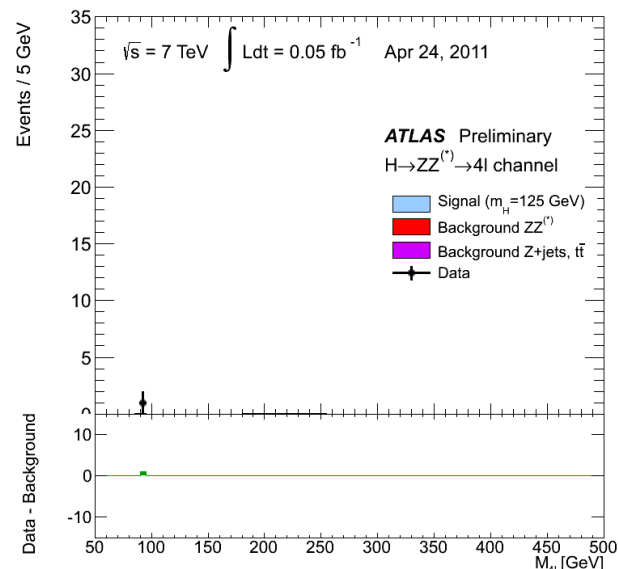


Το σήμα του Higgs

- Οι φυσικοί βλέπουν τα γεγονότα να μαζεύονται
 - Χρυσό κανάλι $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$ λεπτόνια στο CMS και ATLAS



$m_H = 125.8 \pm 0.5 \pm 0.3 \text{ GeV}$
 $m = 0.91^{+0.30}_{-0.24}$



$m_H = 124.3 \pm 0.6 \pm 0.4 \text{ GeV}$
 $m = 1.5 \pm 0.4 \text{ (at } 125.5 \text{ GeV)}$

- Τελικά, η πιθανότητα το σήμα να είναι απλώς μια τυχαία διακύμανση είναι πολύ μικρότερη από μια στο εκατομμύριο για κάθε πείραμα
- Αυτό καθιστά ανακάλυψη.

Η τελετή



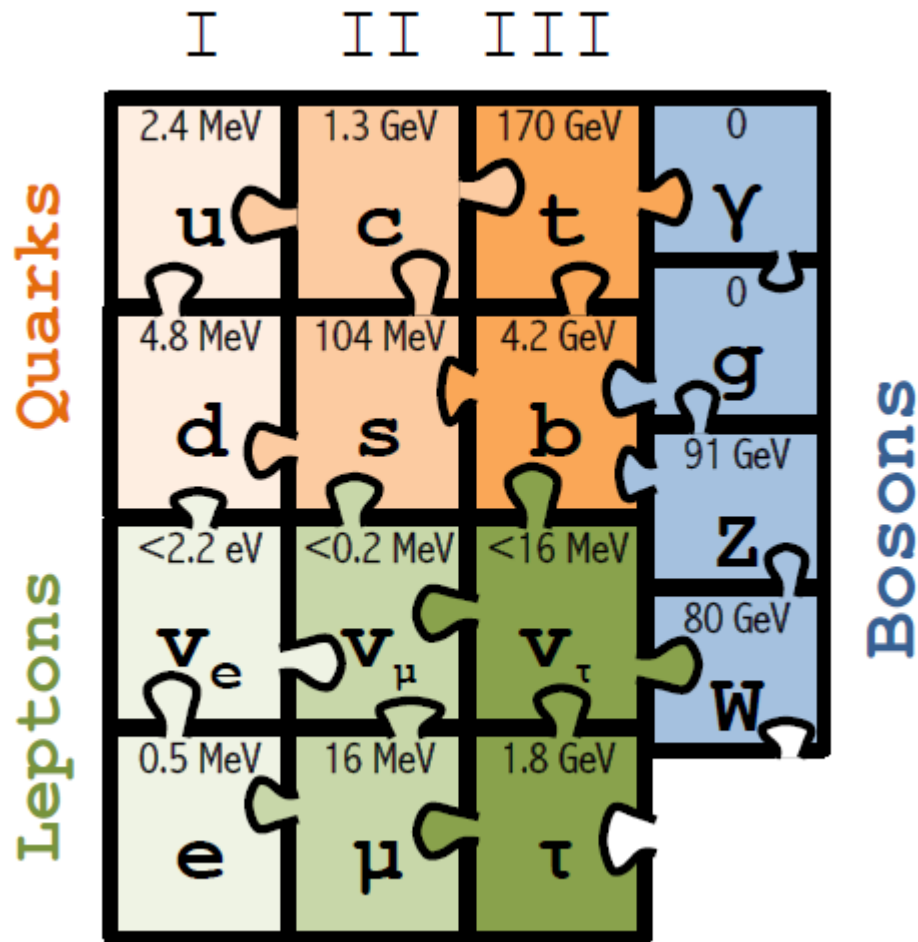
Μεγάλη ανακάλυψη;

- Περισσότερο από μια μεγάλη ανακάλυψη είναι μια **Μεγάλη Επιβεβαίωση**
- Και έτσι ένας κύκλος στη φυσική κλείνει.
- Τι μεγαλύτερη επιβεβαίωση για τον θρίαμβο του Ανθρώπινου μυαλού; Η ύπαρξη ενός σωματιδίου που ξεκινάει ως αποκύημα εξισώσεων (για μα μπορεί να βγάλει η θεωρία νόημα) επιβεβαιώνεται 50 χρόνια αργότερα

Το Σήμερα

- Τα τελευταία 60 χρόνια ήταν ιδιαίτερα παραγωγικά για το CERN και την ευρωπαϊκή επιστήμη γενικότερα
- Θα πρέπει να προσπαθήσουμε με όλες μας τις δυνάμεις ούτως ώστε τα επόμενα 60 χρόνια να είναι το ίδιο πετυχημένα
- (το εγχείρημα αυτό εναπόκειται κατά κύριο λόγο στους νέους δυνητικούς επιστήμονες!)

Το καθιερωμένο Πρότυπο – γύρω στο 2000



Το καθιερωμένο Πρότυπο – 2014

	I	II	III	
Quarks	2.4 MeV u	1.3 GeV c	170 GeV t	0 γ
	4.8 MeV d	104 MeV s	4.2 GeV b	0 g
	<2.2 eV ν_e	<0.2 MeV ν_μ	<16 MeV ν_τ	91 GeV Z
Leptons	0.5 MeV e	16 MeV μ	1.8 GeV τ	80 GeV W
				126 GeV H

Bosons

- Θα μπορούσαμε να πούμε πώς με την ανακάλυψη του σωματιδίου Higgs το τελευταίο κομμάτι του πάζλ έχει μπει στην θέση του.
- Με άλλα λόγια, ξέρουμε πλέον πώς δουλεύει η φύση.
- Αλλά δεν ξέρουμε το γιατί, που είναι και το πιο σημαντικό ερώτημα.

Το Καθιερωμένο Πρότυπο

- Για πρώτη φορά στην ιστορία έχουμε μια θεωρία η οποία είναι αυτοσυνεπής και που ισχύει για εκθετικά υψηλές ενέργειες.
- Παραμένει όμως ένα «μοντέλο» και όχι μια θεωρία
- τα κεντρικά ερωτήματα σήμερα δεν αφορούν λεπτομέρειες, αλλά αφορούν πολύ βαθύτερα, διαρθρωτικά θέματα: η προέλευση του χωροχρόνου και του σύμπαντος στο οποίο ζούμε.
- Σήμερα μπαίνουμε σε μια περίοδο που τα επιστημονικά ζητήματα που διακυβεύονται στον τομέα μας είναι τα πιο δύσκολα και θεμελιώδη που έχουμε αντιμετωπίσει από το 1930

Όμως:

- Παρ όλες τις επιτυχίες του, το Καθιερωμένο Πρότυπο δεν μπορεί να απαντήσει σε μια σειρά από σημαντικά ερωτήματα που έχουν να κάνουν με μετρήσεις που δεν επιδέχονται αμφισβήτηση:
 - Από τι προέρχεται η σκοτεινή ύλη;
 - Ποιος είναι ο μηχανισμός ασυμμετρίας μεταξύ ύλης και αντιύλης;
 - Τι είναι σκοτεινή ενέργεια;
 - Το αντί-σωματίδιο του νετρίνου είναι ο εαυτός του;

Η επέκταση του καθιερωμένου Προτύπου

- Αν λοιπόν θεωρήσουμε πως αυτά τα αναπάντητα ερωτήματα θα απαντηθούν με μια επέκταση του Καθιερωμένου Προτύπου, βγαίνουμε στο επόμενο αδιέξοδο:
- Αυτή η (οποιαδήποτε) καινούρια φυσική προϋποθέτει μια σειρά από άλλα φαινόμενα.
- Όμως, κανένα από αυτά τα φαινόμενα δεν έχει παρατηρηθεί μέχρι στιγμής, ακόμα και στο μεγαλύτερο επιστημονικό μηχάνημα που έγινε ποτέ, στον LHC.
- Αυτό σημαίνει πως η κλίμακα της καινούριας φυσικής (που ονομάζω ως είθισται Λ) είναι σε πολύ υψηλότερες ενέργειες από αυτές που έχουμε εξερευνήσει μέχρι στιγμής.
- Αυτό με τη σειρά του μας δημιουργεί το πρόβλημα της «φυσικότητας» της θεωρίας μας.

Μπρος γκρεμός και πίσω ρέμα

Το Καθιερωμένο
πρότυπο ισχύει για
όλες τις ενέργειες

ναι

Δεν εξηγούνται
φαινόμενα και
επιβεβαιωμένες
μετρήσεις

όχι

Η καινούρια φυσική έρχεται
σε μια κλίμακα Λ

Λ υψηλό

Η θεωρία είναι
αφύσικη

Λ χαμηλό

Θα έπρεπε ήδη να έχουν
ανακαλυφθεί φαινόμενα στο LHC,
κάτι που δεν ισχύει

Φυσικότητα

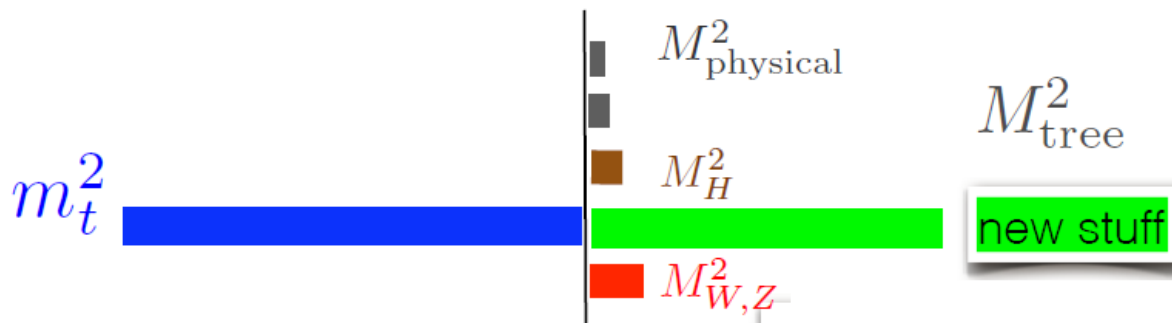
- Όπως αναφέραμε, πολλά από τα προβλήματα της θεωρίας σήμερα συνδέονται με την έννοια της «φυσικότητας»
- Δεν είναι καλό για μια θεωρία να έχει νούμερα πολύ μικρά ή/και πολύ μεγάλα που «κατά τύχη» μας δίνουν ανθρώπινα νούμερα
- Όμως πρέπει να είμαστε προσεκτικοί, γιατί έχουμε συναντήσει τυχαίες συμπτώσεις στην ιστορία της επιστήμης μέχρι σήμερα...

Το πρόβλημα της φυσικότητας στην Υπερσυμμετρία, π.χ.

Αν προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε την μάζα του Higgs μέσα από μια θεωρία πέρα από το Καθιερωμένο Πρότυπο (όπως η Υπερσυμμετρία, παραδείγματος χάριν), η μάζα του περιέχει μια σειρά από 'διορθώσεις' :

$$M_H^2 = M_{\text{tree}}^2 + \left(\text{Higgs loop} \right) + \left(\text{top loop} \right) + \left(\text{WZ loop} \right) + \left(\text{BSM} \right)$$

...οι διορθώσεις στη μάζα από την 'καινούρια φυσική' (οι οποίες είναι πολύ μεγαλύτερες από την μάζα του Higgs που έχουμε μετρήσει) τυχαίνει να έχουν παρόμοιο μέγεθος και αντίθετη φορά από τις διορθώσεις από την 'γνωστή φυσική', ούτως ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι η μικρή μάζα του Higgs που ξέρουμε



Τυχαίες συμπτώσεις

- Η στερεά γωνία του Ήλιου και της σελήνης όπως φαίνεται από τη γη είναι ίδια (σύμπτωση 1%)
- Πυρηνική φυσική (πολλά παραδείγματα): ^2H δεν υπάρχει στη φύση για $\sim 2\text{MeV}$ (20% σύμπτωση), δυο νετρόνια δεν μπορούν να φτιάξουν «πυρήνα» για $\sim 60\text{KeV}$ (1% σύμπτωση). Το σύμπαν μας θα ήταν αγνώριστο αν συνέβαιναν τα παραπάνω

Οι αντίπαλοι του Αρίσταρχου

- Ο Αρίσταρχος ο Σάμιος (310-230 π.Χ.) εξέφρασε την εμπειριστατωμένη θεωρία ότι η γη περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο και όχι το αντίθετο
- Οι πολέμιοι της θεωρίας του, του ζήτησαν να εξηγήσει γιατί, αν όντως η θεωρία του είναι σωστή, δεν βλέπουμε τα άστρα να αλλάζουν θέση ανάλογα με τις εποχές
- Η απάντηση του Αρίσταρχου ήταν πως τα άστρα που βλέπουμε είναι πολύ πιο μακριά από ότι η απόσταση γης-Ήλιου.
- Για πιο λόγο όμως να υπάρχουν δυο τόσο διαφορετικά μεγέθη στο Σύμπαν; Δεν μπορούσε να δώσει μια πειστική απάντηση τότε. Η θεωρία του είχε πρόβλημα 'φυσικότητας'
- Σήμερα βέβαια ξέρουμε πως όντως υπάρχουν διαφορές κλίμακας για αντικείμενα που είναι δεμένα βαρυτικά (ηλιακό σύστημα) ή έχουν να κάνουν με την εξέλιξη του σύμπαντος (απόσταση γαλαξιών)

- Η θεωρία του Αρίσταρχου έμοιαζε αφύσικη μέχρι που είδαμε ολόκληρη την εικόνα (με τις θεωρίες του Νεύτωνα και του Big Bang) και πλέον έχουμε να κάνουμε με μια εντελώς «φυσική» θεωρία
- Μήπως αυτό θα συμβεί και με το καθιερωμένο πρότυπο;

Τι κάνουμε σε τέτοιες περιπτώσεις;

- Πέφτουμε στη δουλειά και μετράμε!
- Εξαντλούμε της δυνατότητες των μηχανημάτων που έχουμε στη διάθεσή μας σήμερα, και αν η φύση επιμένει να κρατάει μυστικά, φτιάχνουμε άλλα, πιο έξυπνα, πιο δυνατά μηχανήματα

Τι είδος μηχανή;

- η επιλογή είναι περιορισμένη, γιατί μπορούμε να επιταχύνουμε μόνο φορτισμένα και μακρόβια σωματίδια:
 - Πρωτόνια
 - Ηλεκτρόνια
 - μίονια

Ενέργεια και φωτεινότητα

- Μια παρένθεση: οι δυο πιο σημαντικές παράμετροι ενός επιταχυντή είναι
 - Η ενέργεια στο κέντρο μάζας (σε colliders είναι σχεδόν ίση με 2×ενεργεια δέσμης)
 - Η φωτεινότητα, η οποία μας δίνει, μαζί με την ενεργό διατομή, τον αριθμό των γεγονότων που μπορούμε να συγκεντρώσουμε.
 - Ενέργεια χωρίς φωτεινότητα (και το αντίθετο) δεν μας είναι χρήσιμες

Φωτεινότητα

- Ο αριθμός γεγονότων δίνεται από την εξίσωση

$$\frac{N}{\Delta t} = L[cm^{-2} \cdot s^{-1}] \cdot \sigma[cm^2]$$

Όπου:

L = φωτεινότητα

σ = ενεργός διατομή

άρα
$$N = \int L[cm^{-2}] \cdot \sigma[cm^2]$$

Και η φωτεινότητα

$$L = \frac{N^2 \cdot f \cdot n_b}{4\pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Όπου:

N = αριθμός σωματιδίων ανά πακέτο

f = συχνότητα περιστροφής

n_b = αριθμός πακέτων ανά δέσμη

σ_x, σ_y = μέγεθος δέσμης στο σημείο σύγκρουσης

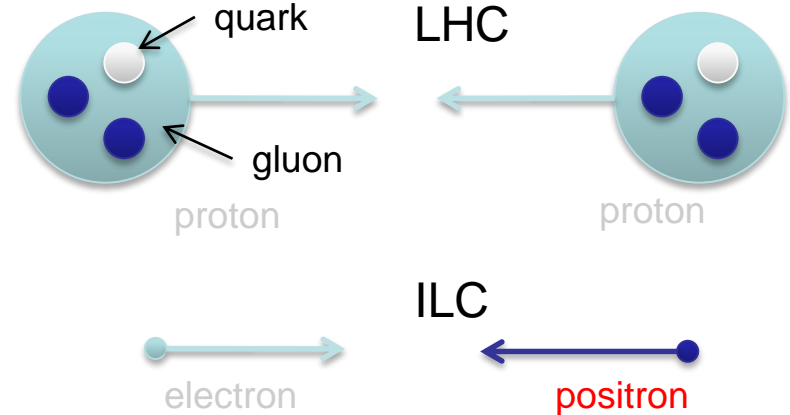
Ένας επιταχυντής πάντα προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την φωτεινότητα

Μονάδες

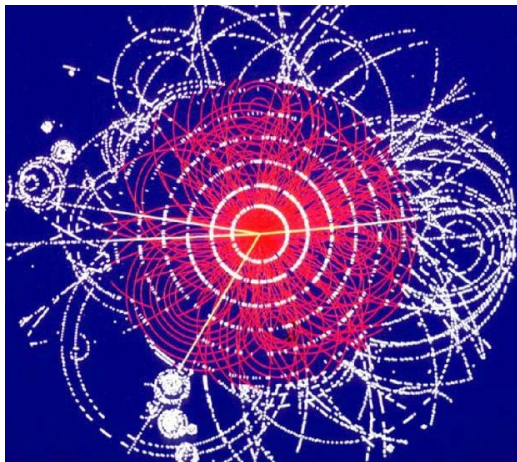
- Η ενεργός διατομή έχει μονάδες επιφάνειας και μετριέται σε **Barn**
 - **1b = 10^{-28} m^2**
 - **1**μ**b = $10^{-34} \text{ m}^2 = 10^{-30} \text{ cm}^2$**
- Η φωτεινότητα μετριέται σε $\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$
- Η παραδομένη φωτεινότητα (integrated luminosity) μετριέται σε femptobarn^{-1} (10^{-43}m^2)⁻¹

Πρωτόνια εναντίων ηλεκτρονίων

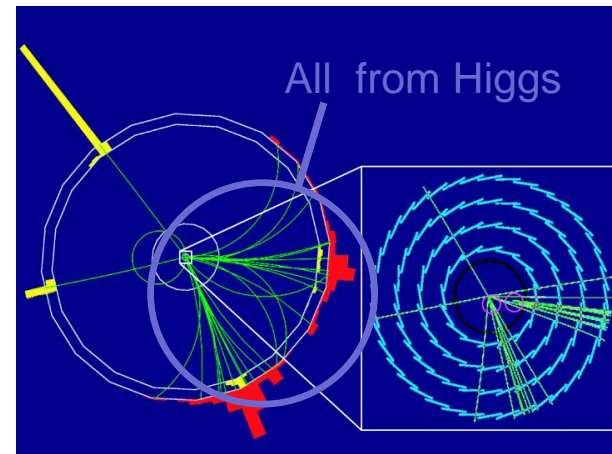
- Τα πρωτόνια δεν είναι θεμελιώδη σωματίδια
- Η σύγκρουση ηλεκτρονίων είναι πιο καθαρή και από τεχνικής πλευράς, και από θεωρητικής πλευράς (τα ηλεκτρόνια είναι θεμελιώδη σωματίδια)



Επιταχυντής πρωτονίων



Επιταχυντής ηλεκτρονίων



Πρωτόνια – Ηλεκτρόνια : 0 - 1

Μέγιστη ενέργεια

- Τα ηλεκτρόνια όταν ακολουθούν κυκλική τροχιά εκπέμπουν φωτόνια. Αυτή η χαμένη ενέργεια αυξάνεται με την τετάρτη δύναμη της ενέργειας των ηλεκτρονίων

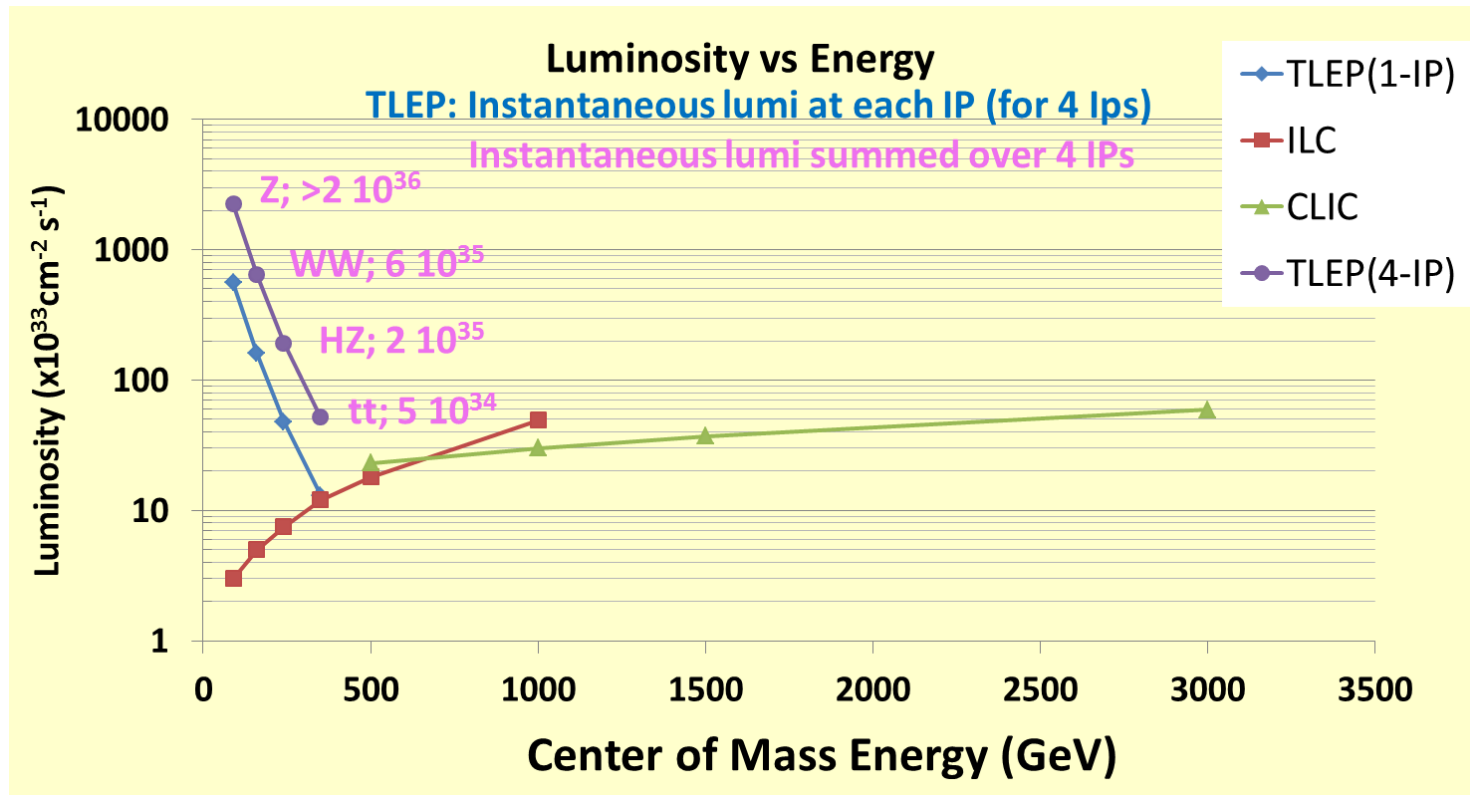
$$E_{loss} [GeV] = 8.85 \times 10^{-5} \frac{E^4}{r_{bend}}$$

- Αυτό το γεγονός κάνει ασύμφορη την κατασκευή κυκλικών επιταχυντών ηλεκτρονίων πολύ υψηλής ενέργειας (ενώ οι γραμμικοί επιταχυντές ηλεκτρονίων έχουν άλλα μειονεκτήματα)

Πρωτόνια – Ηλεκτρόνια : 1 - 1

Κυκλικοί – γραμμικοί επιταχυντές

- Οι γραμμικοί επιταχυντές ηλεκτρονίων πάσχουν από το γεγονός πως η δέσμη ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται μόνο μια φορά και πως υπάρχει μόνο ένα σημείο σύγκρουσης της δέσμης (και ως εκ τούτου ένα μόνο πείραμα)
- Οι γραμμικοί επιταχυντές επικρατούν απέναντι στους κυκλικούς σε μεγάλες ενέργειες



Το επόμενο βήμα

- Κατ' αρχάς πρέπει να δούμε τι αποτελέσματα θα πάρουμε από το LHC όταν θα αναλύσουμε τα γεγονότα που παίρνουμε και θα πάρουμε στα 13TeV.
- Πολλά μέρη του κόσμου έχουν εκφράσει το ενδιαφέρον να στεγάσουν την επόμενη μεγάλη μηχανή της φυσικής υψηλών ενεργειών
- Μια από αυτές τις μηχανές ίσως να κατασκευαστεί (κοντά στο 2030...)

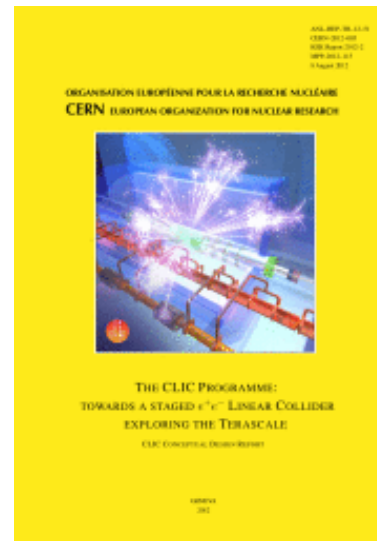
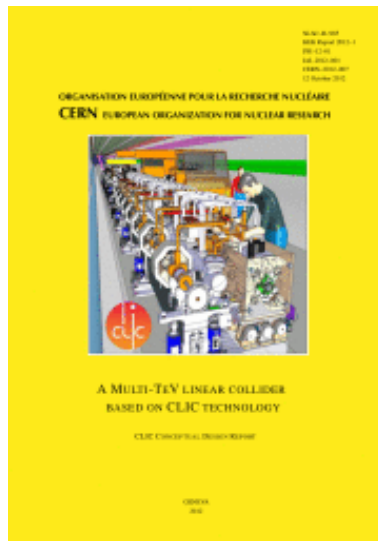
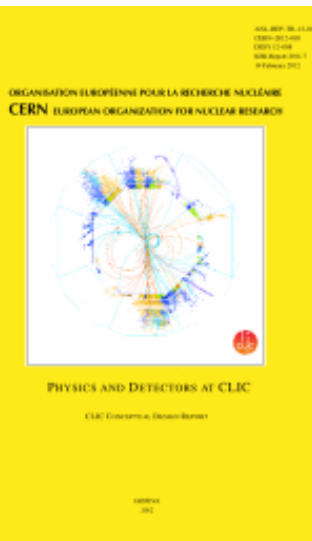
Το μέλλον του CERN

- το CERN έχει στα σκαριά δυο πολύ καλές ιδέες για την επόμενη Μεγάλη Μηχανή:
 - Το CLIC: γραμμικός επιταχυντής ηλεκτρονίων καινούριας τεχνολογίας που μπορεί να πέτυχει πολύ υψηλές ενέργειες
 - Το FCC: κυκλικός επιταχυντής για ηλεκτρόνια και πρωτόνια, συμβατικής τεχνολογίας, με ιδιαίτερα υψηλή φωτεινότητα (ηλεκτρόνια) και ενέργεια (πρωτόνια)

CLIC (CERN)

- Ο επιταχυντής CLIC είναι ένα εγχείρημα του CERN
- Χρησιμοποιεί καινούρια τεχνολογία για την επιτάχυνση (μια δέσμη επιταχύνει μια δεύτερη)
- Μπορεί να φτάσει στις υψηλότερες ενέργειες για επιταχυντή ηλεκτρονίων
- Είναι μια φοβερά πολύπλοκη μηχανή

- M. Aicheler et al., A Multi-TeV Linear Collider Based on CLIC Technology : CLIC Conceptual Design Report, CERN-2012-007
- P. Lebrun et al., The CLIC Programme: Towards a Staged e^+e^- Linear Collider Exploring the Terascale : CLIC Conceptual Design Report arXiv:1209.2543 CERN-2012-005
- A. Miyamoto et al., Physics and Detectors at CLIC : CLIC Conceptual Design Report, arXiv:1202.5940 CERN-2012-003



CLIC κοντά στο CERN

Legend

— CERN existing LHC

Potential underground siting :

●●●● CLIC 500 GeV

●●●● CLIC 1.5 TeV

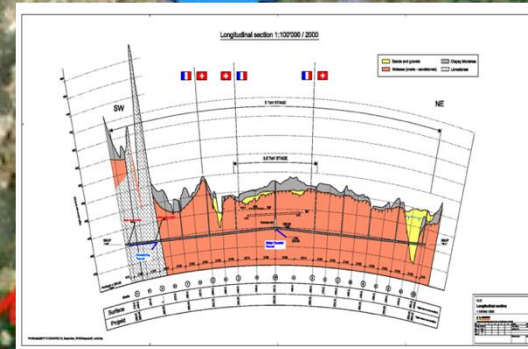
●●●● CLIC 3 TeV

Jura Mountains

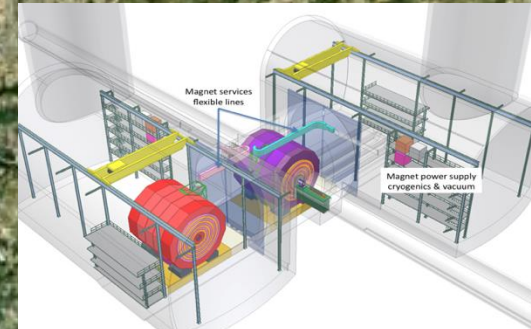
IP

Geneva

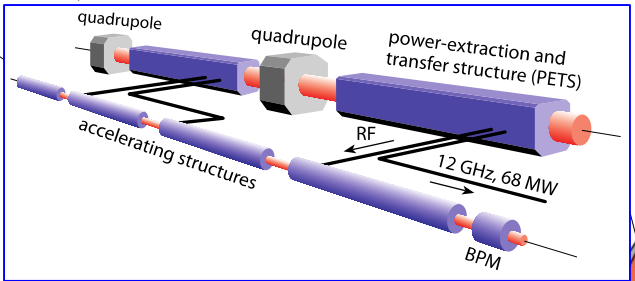
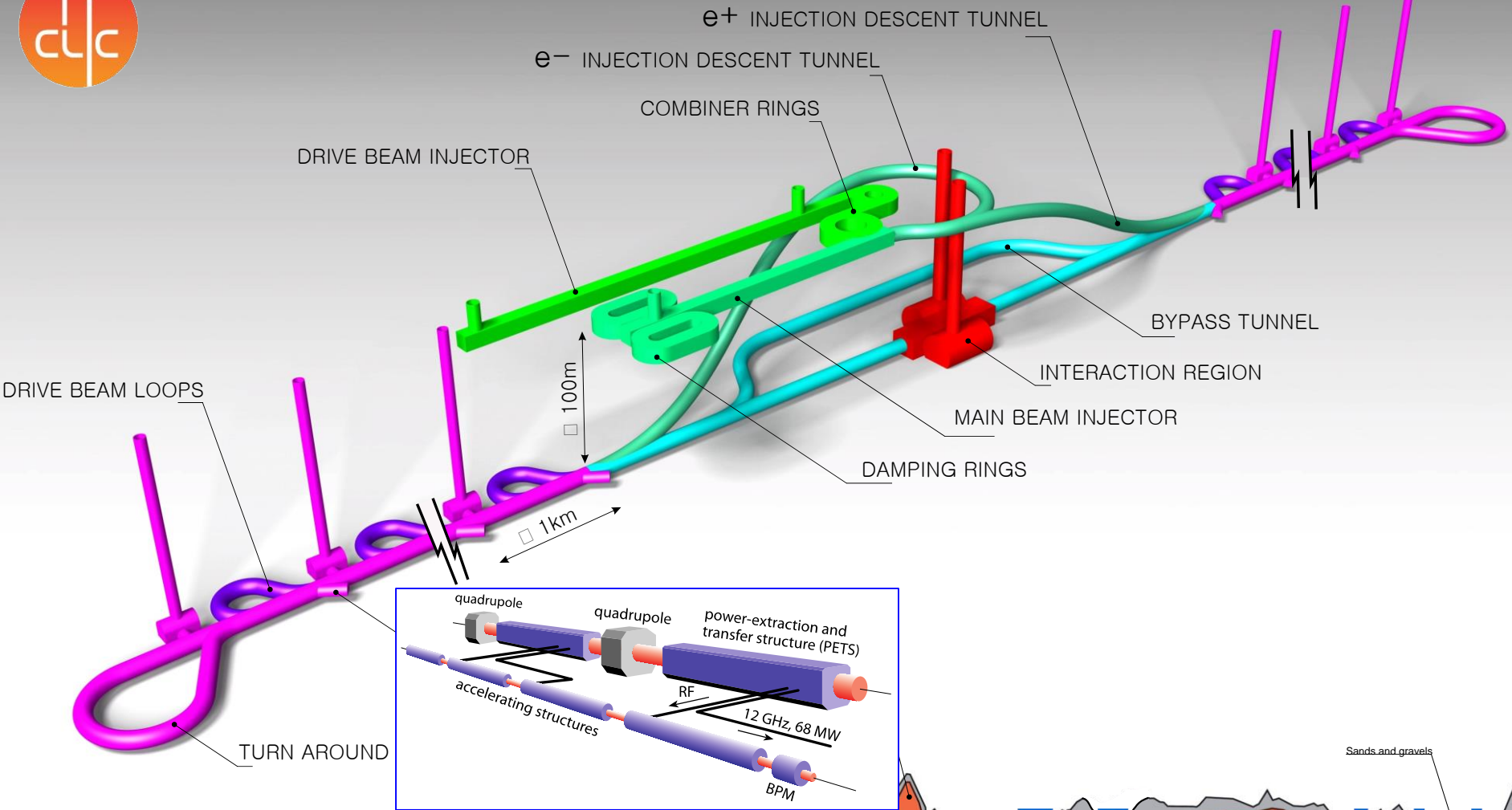
Lake Geneva



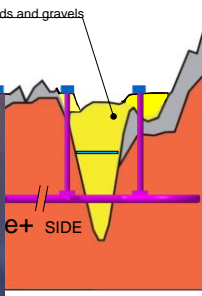
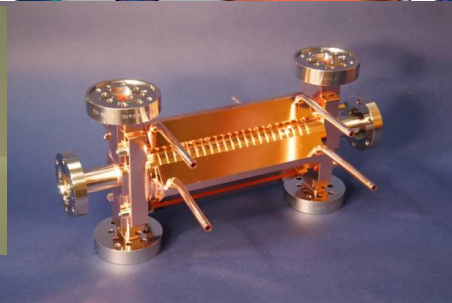
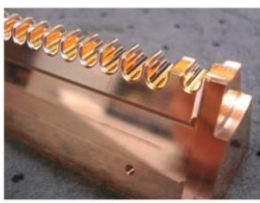
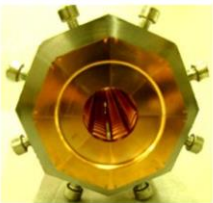
Tunnel implementations (laser straight)



Central MDI & Interaction Region



CLIC SCHE
(not to scale)



FCC-ee / FCC-hh (CERN)

- 80-100 χιλιόμετρα επιταχυντής στην ευρύτερη περιοχή της Γενεύης
- Έμφαση στις επιδόσεις
- Από την αρχή σχεδιασμός για επιταχυντή πρωτονίων 100TeV (χρονικά μετά τον επιταχυντή ηλεκτρονίων)

M. Koratzinos et al., TLEP: A High-Performance Circular e+e- Collider to Study the Higgs Boson, [arXiv:1305.6498](https://arxiv.org/abs/1305.6498) [physics.acc-ph]

FCC-ee (TLEP)

- Οι πρωτεργάτες



A. Blondel

F. Zimmermann

M. Koratzinos

J. Ellis

P. Janot

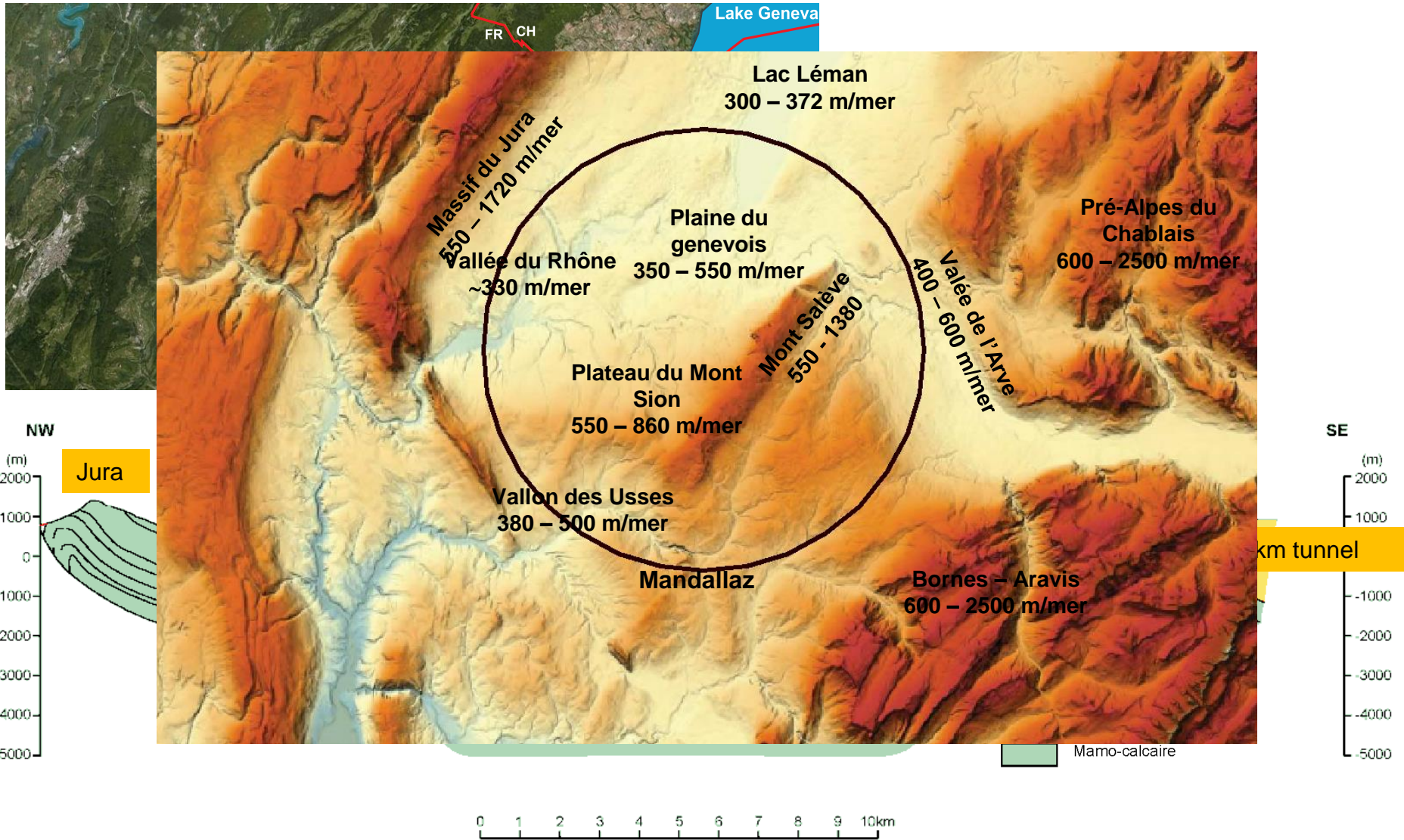
R. Aleksan



Kick-off Meeting of the Future Circular Colliders Design Study
12 - 15 February 2014, University of Geneva / Switzerland



FCC-ee / TLEP



Simplified geological profile

Πρώτες ματιές στην γεωλογία της περιοχής

100km "optimised" racetrack

Alignment Shaft Tools

Choose alignment option

Tunnel depth at centre: 263mASL

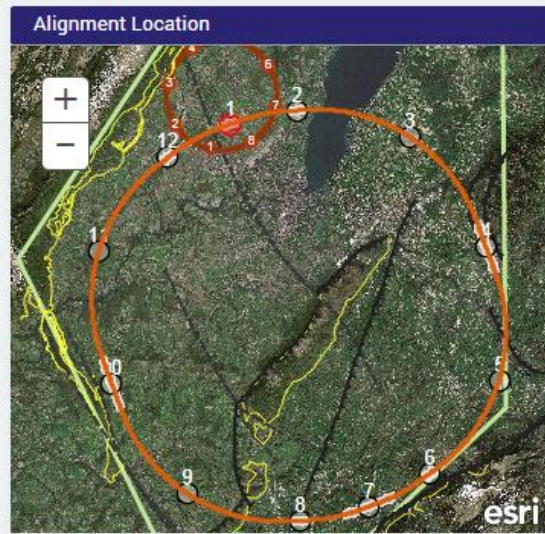
Gradient Parameters

Azimuth (*): -20
 Slope Angle x-x(%): .65
 Slope Angle y-y(%): 0

CALCULATE

Alignment centre
 X: 2500119 Y: 1108575

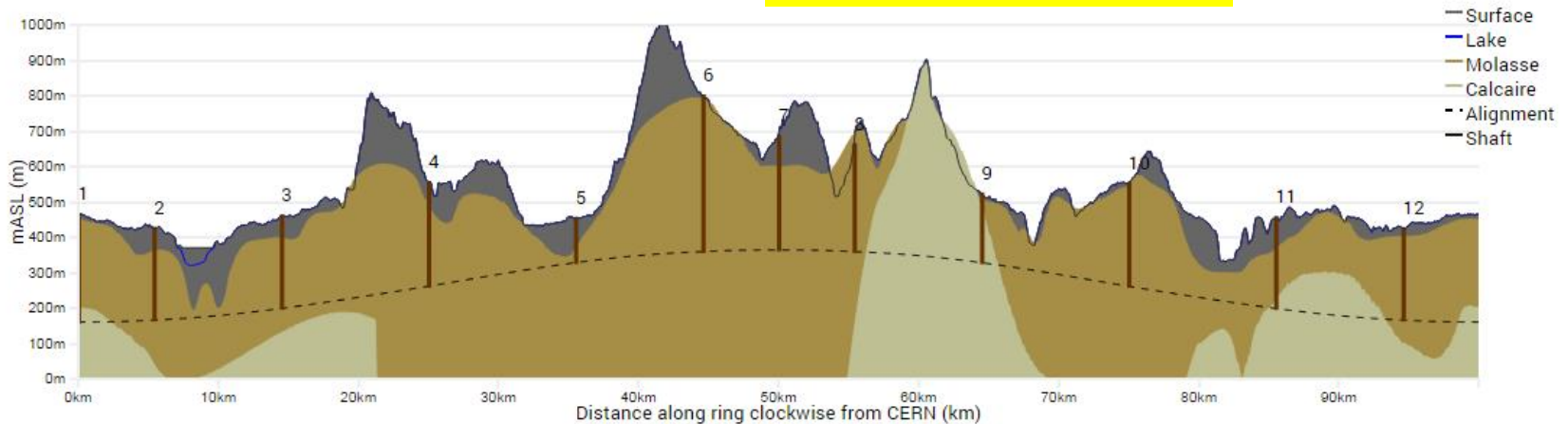
LHC Intersection	IP 1	IP 2
Angle	-65°	65°
Depth	221m	180m



Geology Intersected by Shafts Shaft Depths

Shaft	Shaft Depth (m)				Geology (m)		
	Actual	Min	Mean	Max	Moraine	Molasse	Calcaire
1	304	303	305	306	16	248	40
2	260	260	263	271	65	195	0
3	261	249	258	262	62	199	0
4	293	269	296	322	64	229	0
5	125	124	127	129	85	40	0
6	440	432	441	451	10	431	0
7	321	302	332	368	85	235	0
8	302	235	304	358	0	333	0
9	195	184	195	204	15	18	161
10	291	289	296	307	7	285	0
11	257	247	252	257	89	149	19
12	259	258	262	266	23	236	0
Total	3309	3152	3331	3501	521	2597	220

Alignment Profile PRELIMINARY

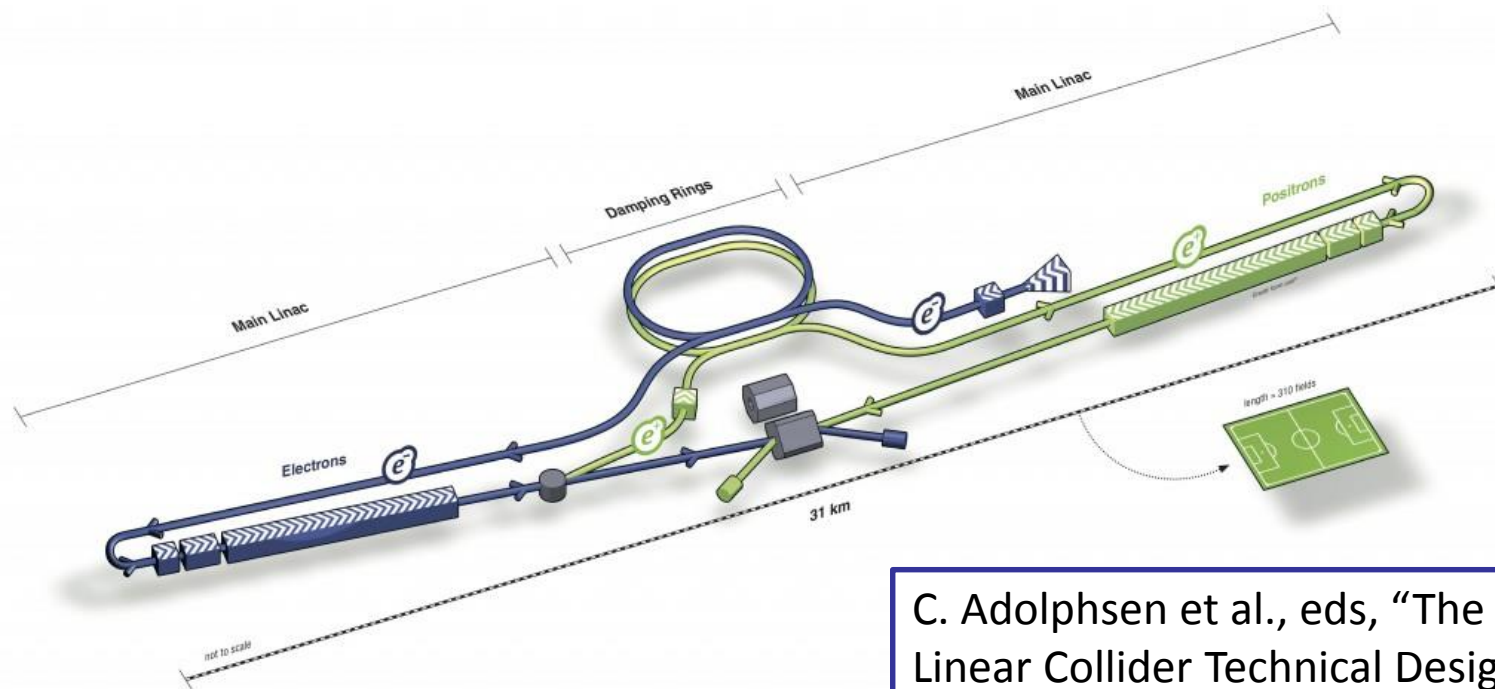


Ο υπόλοιπος κόσμος

- Η φυσική υψηλών ενεργειών δεν είναι μονοπώλιο της Ευρώπης
- Και άλλα μέρη του κόσμου, ιδίως η Ασία, έχει βλέψεις για να φιλοξενήσει το επόμενο μεγάλο εγχείρημα
 - Το ILC στην Ιαπωνία, ένας συμβατικός γραμμικός επιταχυντής ηλεκτρονίων
 - Το CEPC στην Κίνα, ένας συμβατικός κυκλικός επιταχυντής διπλάσιος σε μέγεθος από το LHC

ILC (Ιαπωνία)

- Το ILC είναι ένας γραμμικός επιταχυντής πιο συμβατικής τεχνολογίας σε σχέση με το CLIC, επιτυγχάνει χαμηλότερες ενέργειες αλλά είναι και πιο απλός.
- Η Ιαπωνία έχει εκφράσει ενδιαφέρον για την κατασκευή του



500GeV με 31 χιλιόμετρα

C. Adolphsen et al., eds, "The International Linear Collider Technical Design Report:
<http://www.linearcollider.org/ILC/Publications/Technical-Design-Report>, 2013

ILC

- Japanese Mountainous Sites -



CEPC (Κίνα)

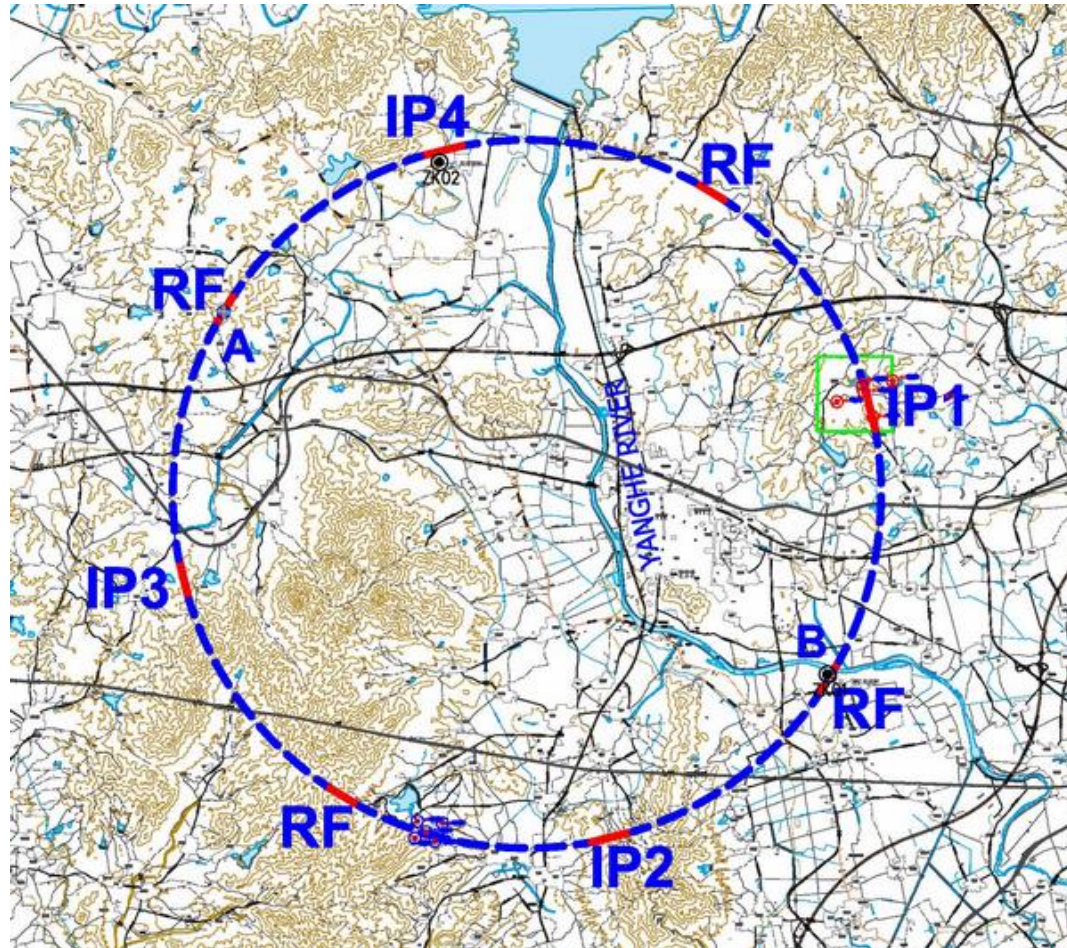
- Κυκλικός επιταχυντής 50-70 χιλιομέτρων
- Έμφαση στην απλότητα και χαμηλή τιμή
- Μπορεί να στεγάσει αργότερα έναν επιταχυντή πρωτονίων

Προκαταρκτικός σχεδιασμός

钻孔情况

– 54 χιλιόμετρα

本阶段在秦皇岛抚宁县场址布置了2个钻孔，进尺共200m。ZK1布置于线路东南部洋河南岸，了解工程区覆盖层可能的最大深度；ZK2布置于刘各庄西侧，了解残坡积厚度，深变质岩风化带分带特征。



Διάταξη στο τούνελ

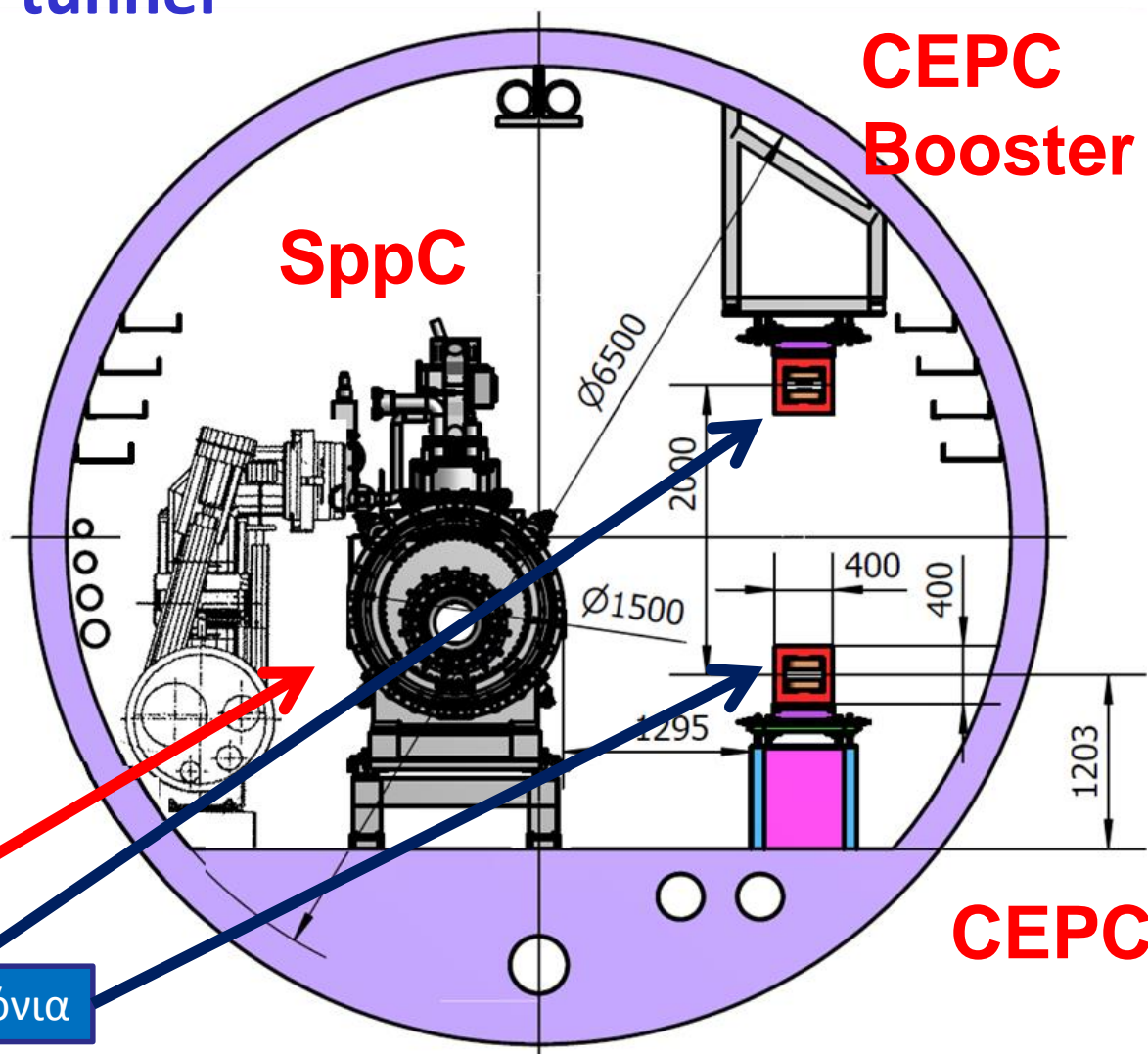


- 3 machines in one tunnel

- CEPC & booster
- SppC

- Crosstalk of CEPC straights & SppC's detector

- Layout of CEPC determined by SppC layout



Muon collider

- Τα μίονια είναι βαριά 'ξαδέρφια' του ηλεκτρονίου (μάζα 106MeV αντί για 0.51MeV)
- Δεν έχουν λοιπόν το πρόβλημα του synchrotron radiation
- Όμως είναι ασταθή! (Ημίσεια ζωή $2.2\mu\text{s}$) αυτό σημαίνει πως έχουμε πολύ λίγο χρόνο για να τα επιταχύνουμε (βεβαίως, όσο πιο κοντά στην ταχύτητα του φωτός, τόσο η ζωή τους επιμηκύνεται)
- Τελικά, με μοντέρνες τεχνικές μπορούμε να επιταχύνουμε και να συγκρούσουμε μίονια...

Muon cooling

- ...όμως, ένας επιταχυντής δεν χρειάζεται μόνο ενέργεια, αλλά και φωτεινότητα.
- Για να μπορέσουμε να κάνουμε έναν επιταχυντή μιονίων χρήσιμο, πρέπει η φωτεινότητα του να είναι υψηλή.
- Για να γίνει αυτό, πρέπει να 'κρυώσουμε' τα μίονια ούτως ώστε να μειώσουμε το μέγεθος της συγκρουόμενης δέσμης
- Η τεχνολογία για «Muon cooling» δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί – είναι κάτι το ιδιαίτερα δύσκολο
- Με αυτές τις προϋποθέσεις, επιταχυντές μιονίων μπορεί να παίξουν σημαντικό ρόλο στο μέλλον

Η ιδέα έχει οπαδούς

A complete demonstrator of a

A COMPLETE DEMONSTRATOR OF A COOLED-MUON HIGGS FACTORY

Institu

Monday, 18 May 2015 at 3:30 pm
Fermilab, Ramsey Auditorium



Nobel Laureate
Prof. Carlo Rubbia

<http://map.fnal.gov/events/CarloRubbia.shtml>

In analogy with the discovery of the W and Z with hadrons and the subsequent study of the Z resonance in the pure s-state with LEP, the recent discovery of the Higgs particle of 125 GeV has revised the interest in the so-called second generation Higgs factory. However the direct production of the H⁰ scalar resonance in the s-state has a remarkably small, narrow width, since $\Delta E/E < 4 \text{ MeV} / 125 \text{ GeV} = 3.2 \times 10^{-5}$. We describe here a $\mu^+\mu^-$ collider at a modest energy of 62.5 GeV and the adequate cooled muon intensity of about 6×10^{13} muons of each sign, a repetition rate of 15-50 p/s and $L = 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, corresponding to about 10'000 H⁰ for each detector x year. Its partial widths can be studied with remarkable accuracies. With the help of the decay frequency of the polarised muon decay electrons, the H⁰ mass itself can also be measured to about $\pm 100 \text{ keV}$, i.e. $\Delta m/m = 10^{-4}$.

The next modest step, prior to but adequate for the subsequent H⁰ physics programme, could be the practical realization of an appropriate muon cooling demonstrator. Starting from a conventional pion beam, the required longitudinal and transverse emittances are achieved with a cascade of two unconventional but very small muon rings of few meters radius. Low momentum muons of about 250 MeV/c, initially with $\Delta p/p = 0.1$, are cooled in a first ring, extracted and ionization cooled to about 70 MeV/c, and cooled ultimately in a second small ring up to a longitudinal momentum spread of 0.7 MeV/c r.m.s. The operation of the demonstrators may be initially explored and fully demonstrated with the help of a modest muon beam already available in a number of different accelerators.

The additional but relatively conventional components necessary to realize the facility with the appropriate muon current and luminosity should then be constructed only after this initial cooling experiment has been successfully demonstrated. The ultimate $\mu^+\mu^-$ collider for a Higgs Factory may be situated within the existing CERN site or elsewhere.



Trans. Emittance (mm rad)

Επίλογος

- Το καθιερωμένο πρότυπο έχει συμπληρωθεί αλλά δεν είναι μια πλήρης θεωρία.
- Πρέπει να κρατήσομε ανοιχτό μυαλό και να σκεφτούμε σοβαρά πιο είναι το πιο κατάλληλο επόμενο μηχανήμα που θα μας δώσει τις περισσότερες απαντήσεις.
- Δεν μπορούμε να πάρουμε αυτή την απόφαση τώρα, αλλά ίσως σε δυο χρόνια από τώρα να έχουμε αρκετά δεδομένα για να αποφασίσουμε
- Εναπόκειται στους εκκολαπτόμενους νέους επιστήμονες να κάνουν και τα επόμενα χρόνια ακόμα πιο εποικοδομητικά από τα τελευταία 60!

Σας ευχαριστώ