

Εισαγωγή στη Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

5 ο Εξάμηνο
Δεκέμβριος 2009

Τι θα μάθουμε (1)

Εισαγωγή: Το Απειροστό και το Άπειρο

Που βρίσκεται ο κλάδος αυτός της βασικής έρευνας σήμερα? Γιατί μας ενδιαφέρει?

Βασικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των στοιχειωδών σωματιδίων

– Φερμιόνια & Μποζόνια :

- Η Στατιστική που υπακούουν
- Η Κυματοσυνάρτηση Ταυτόσημων Μποζονίων και Φερμιονίων

– Σωματάρια & Αντισωματάρια

Τι θα μάθουμε (2)

Θεμελιώδη Συστατικά της Ύλης - Το Καθιερωμένο Πρότυπο

- Τα θεμελιώδη συστατικά των σωματιδίων που αλληλεπιδρούν είναι φερμιόνια:
 - Κουάρκ και Λεπτόνια στο Καθιερωμένο Πρότυπο
- Οι σύνθετοι σχηματισμοί των κουάρκ είναι:
 - Αδρόνια : Βαρυόνια και Μεσόνια
 - Αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωματιδίων Τα είδη των δυνάμεων πεδίων στη σωματιδιακή φυσική
- Η γενικευμένη έννοια του φορτίου και του πεδίου
- Τα διαγράμματα Feynman
 - Ηλεκτρομαγνητικές & ασθενείς αλληλεπιδράσεις
 - Ισχυρές αλληλεπιδράσεις

Τι θα μάθουμε (3)

Συμμετρίες και Νόμοι Διατήρησης στις Αλληλεπιδράσεις

- Αναλλοίωτο και τελεστές στην κβαντομηχανική
- Μετατοπίσεις και στροφές διατήρηση Ενέργειας και Στροφορμής
- Ομοτιμία (parity)
- Συζυγία φορτίου
- Χρονική αναστροφή

Βιβλιογραφία

- B.R. Martin & Shaw : Particle Physics (2nd edition), John Willey; Chapters 1, 2
- W.S.C.Williams : Nuclear and Particle Physics, Clarendon Press, Oxford(p.158)
Chapter 9: Forces and Interactions
- Arthur Beiser: Concepts of Modern Physics 5 th edition, McGraw Hill (ISBN 0071138498) (και μεταφρασμένο),
Chapter 14: Στοιχειώδη Σωματίια, Αδρόνια, Quarks, Λεπτόνια, Κβαντικοί αριθμοί Στοιχειωδών Σωματιδίων, Ισοσπίν (Ισοτοπικό σπίν), Συμμετρίες και Αρχές Διατήρησης, Θεμελιώδεις Αλληλεπιδράσεις
- H.Frauenfelder,E.Henley: Subatomic Physics, PrenticeHall, Inc
- W.E.Burcham & M.Jobes: Nuclear and Particle Physics, Longman Scientific and Technical

Εκλαϊκευμένα Βιβλία για τα Στοιχειώδη Σωματίια (Easy Reading)

- Steven Weinberg: The First Three Minutes
(και μεταφρασμένο)
- Steven Weinberg: Towards the Theory of Everything
- H.Fritsch: Quarks, The Stuff of Matter
- Simon Sih: The Big Bang (και μεταφρασμένο)

Κβαντομηχανική: το εργαλείο για να μελετήσουμε τον Μικρόκοσμο!

- **Θεμελιώδεις Αρχές της Κβαντικής Μηχανικής:**
 - Ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός της ύλης
 - Η μαθηματική περιγραφή των υλικών κυμάτων (εξίσωση Schroedinger)
 - Η πυκνότητα πιθανότητας (στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης) και η διατήρηση της ολικής πιθανότητας
 - Η χρονική εξέλιξη ενός κβαντομηχανικού συστήματος
 - Η εισαγωγή των Τελεστών – Σχέση Τελεστών και Φυσικών μεγεθών (Ιδιότητες των φυσικών μεγεθών στην Κβαντομηχανική)
 - Η βασική θεωρία του σπίν (μια καθαρά κβαντική στροφορμή)

Κβαντομηχανική: το εργαλείο για να μελετήσουμε τον Μικρόκοσμο!

- Κβαντικές Θεωρίες Πεδίου που έχουν αποδειχτεί πειραματικά
 - QED : Quantum ElectroDynamics (Περιγραφή των ηλεκτομαγνητικών και ασθενών αλληλεπιδράσεων)
 - QCD : Quantum ChromoDynamics (Περιγραφή των ισχυρών αλληλεπιδράσεων)
- Προτεινόμενες Κβαντικές Θεωρίες Πεδίου
 - GUT : Grand Unified Theories (Μεγάλες Ενοποιημένες Θεωρίες)
- Composite Models
- Supersymmetry
- Superstring Theories

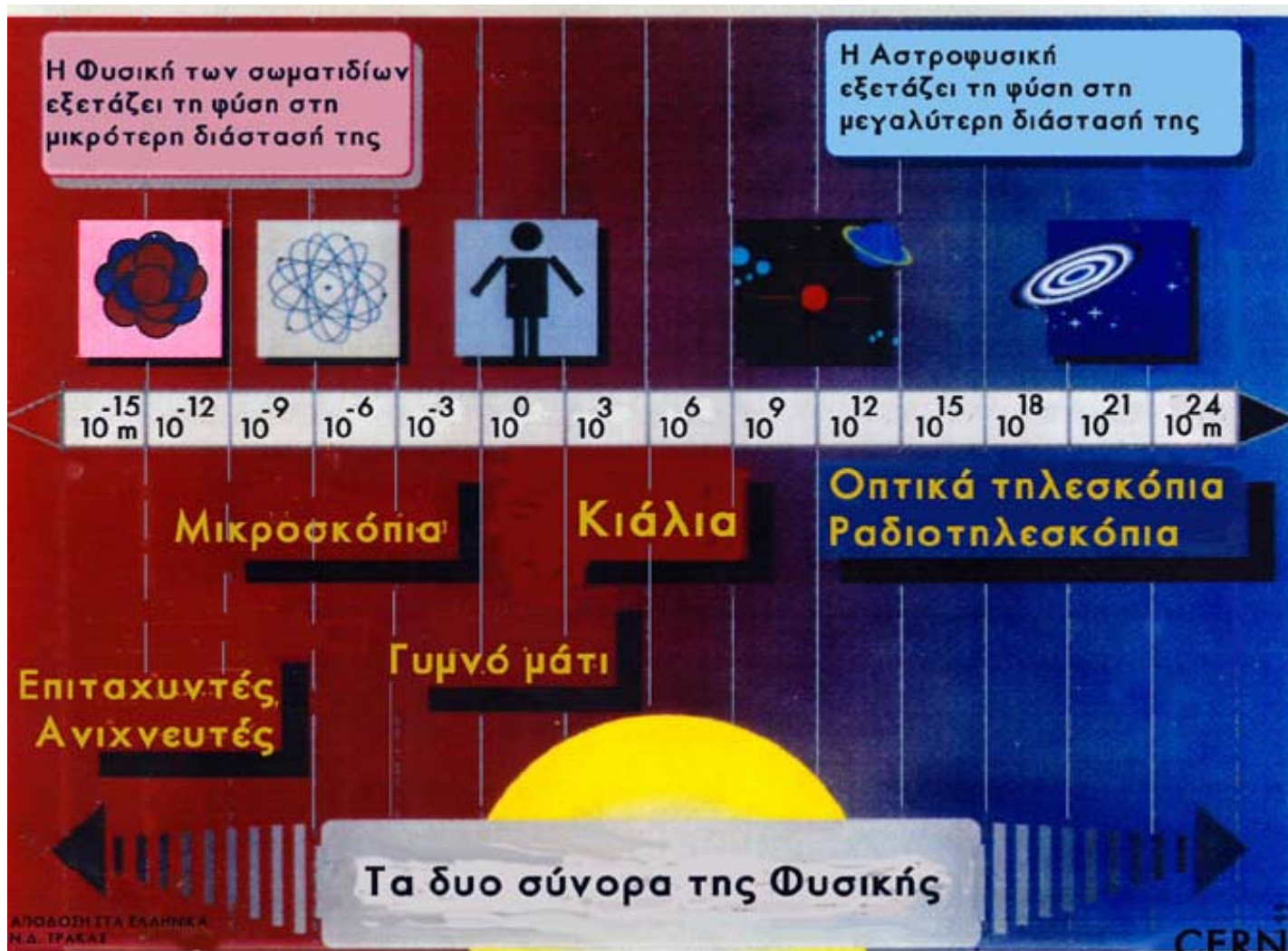
?

Αξίζει τον κόπο να 'μάθω' κάποια βασικά πράγματα για τα στοιχειώδη σωμάτια?

Μια Σύντομη Διαδρομή στη μέχρι σήμερα

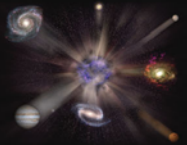
- Γνώση μας για τον Μικρόκοσμο
- Τι είναι ο Μικρόκοσμος?
- Γιατί θέλουμε να τον γνωρίσουμε?
 - Ποια η σχέση του με το άπειρο Σύμπαν?
- Ποια η γνώση μας μέχρι σήμερα για τον Μικρόκοσμο?
 - Τα Στοιχειώδη Σωματίδια και οι Δυνάμεις που τα συνδέουν
- Πως μπορούμε να ‘δούμε’ τον Μικρόκοσμο?
- LHC : το μεγαλύτερο ανθρώπινο εγχείρημα στην αρχή του 21ου αιώνα
- Συμμετέχει στην πρόκληση αυτή
 - Η χώρα μας?
 - Το Πανεπιστήμιό μας?

Το Απειροστό και το Άπειρο



Αναπάντητα ερωτήματα

Universe Accelerating?



The expansion of the universe appears to be accelerating. Is this due to Einstein's Cosmological Constant? If not, will experiments reveal a new force of nature or even extra (hidden) dimensions of space?

Ποιά είναι η προέλευση της μάζας ?

Γιατί δεν υπάρχει ισοδύναμη αντι-ύλη?

Τί είναι η αθέατη ή σκοτεινή ύλη?

Ενώνονται όλες οι δυνάμεις μαζί?

Υπάρχει Υπερσυμμετρία?

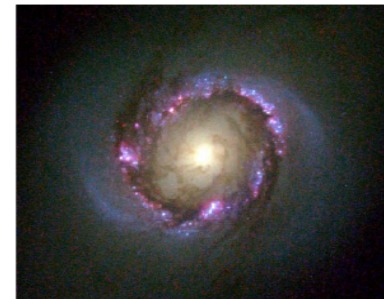
Υπάρχουν άλλα είδη δυνάμεων?

Υπάρχει το σωματίδιο higgs?

Why No Antimatter?



Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?



Dark Matter?



Invisible forms of matter make up much of the mass observed in galaxies and clusters of galaxies. Does this dark matter consist of new types of particles that interact very weakly with ordinary matter?

Origin of Mass?

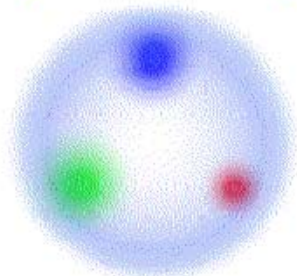


In the Standard Model, for fundamental particles to have masses, there must exist a particle called the Higgs boson. Will it be discovered soon? Is supersymmetry theory correct in predicting more than one type of Higgs?

Τα στοιχειώδη σωμάτια

Quarks (Gell-Mann) 1964













ΧΡΩΜΑΤΑ



Πρωτόνιο

Το σύγχρονο περιοδικό σύστημα των θεμελιωδών λίθων της ύλης

ΓΕΥΣΕΙΣ

	Quarks		Λεπτόνια	
3η γενιά	 t υψηλό	 b χαμηλό	 τ ταυ	 ν_τ νεutrino ταυ
2η γενιά	 c γοητευτικό	 s παράξενο	 μ μιόνιο	 ν_μ νεutrino μιονίου
1η γενιά	 u άνω	 d κάτω	 e ηλεκτρόνιο	 ν_e νεutrino ηλεκτρονίου

Πως μπορούμε να παράγουμε Στοιχειώδη Σωματίδια?

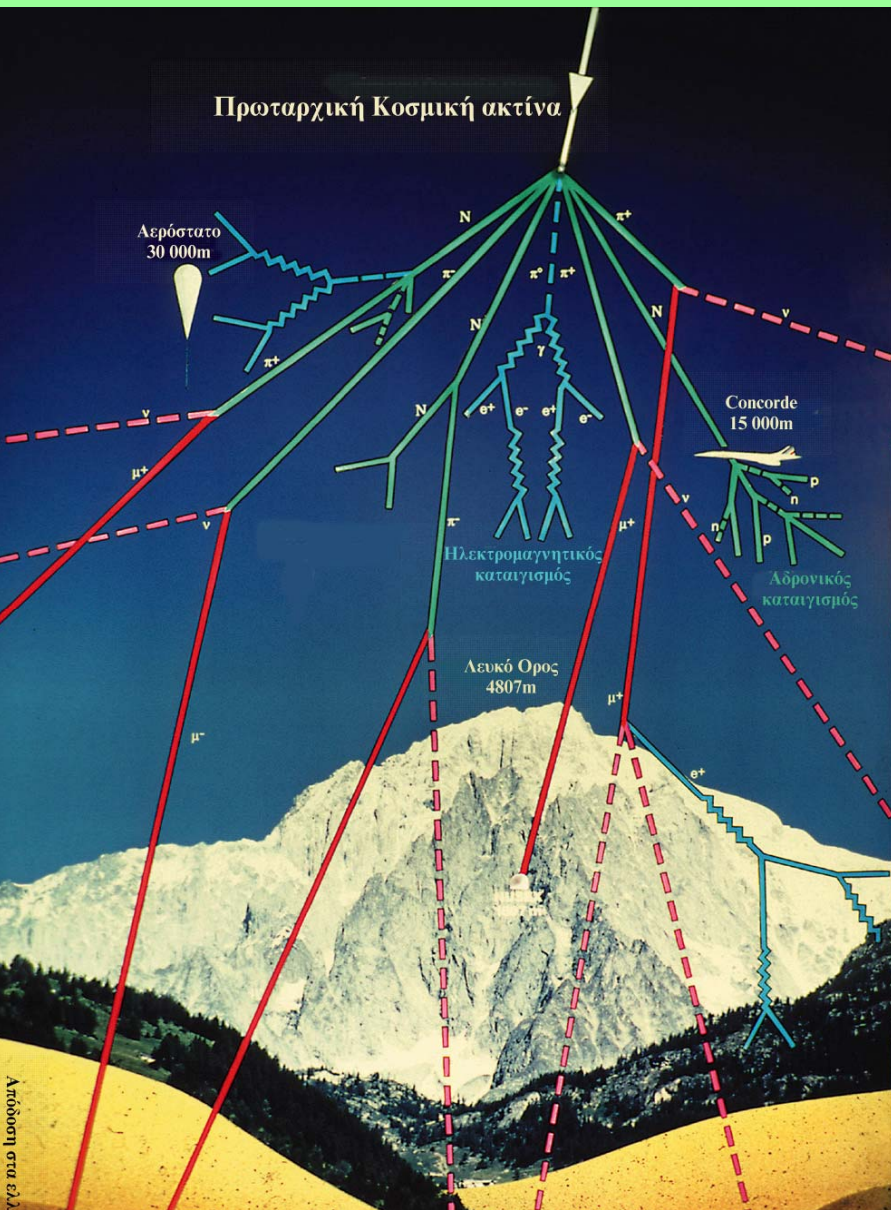
- Το Διάστημα !

Είναι ... “Εργοστάσιο κατασκευής Σωματιδίων” Ο ισχυρότερος αλλά ανεξέλεγκτος παραγωγός σωματιδίων

- Οι Επιταχυντές !

Που κατασκευάζονται στην Γη.

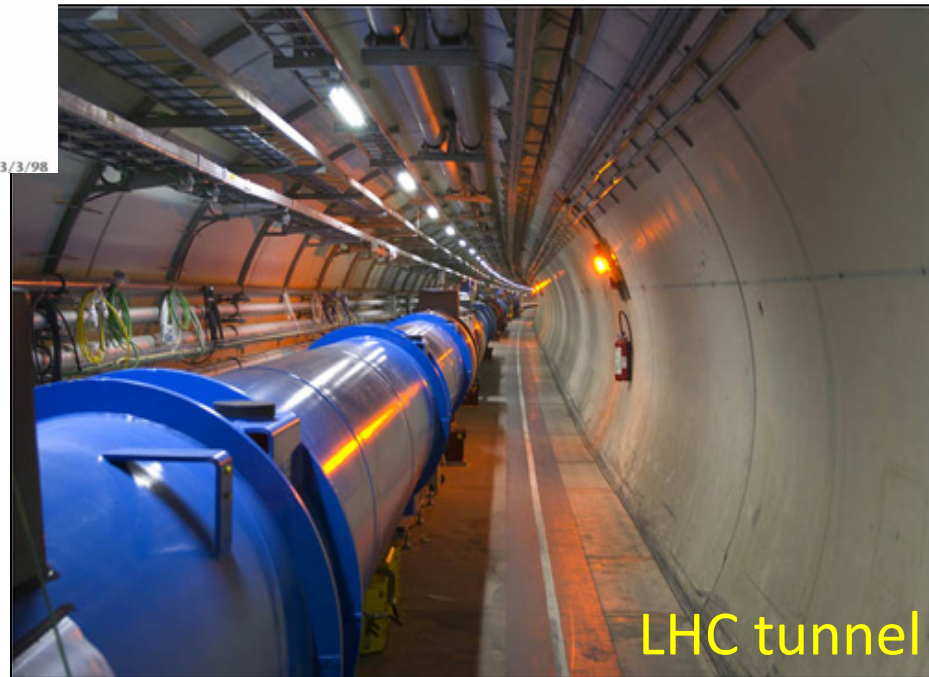
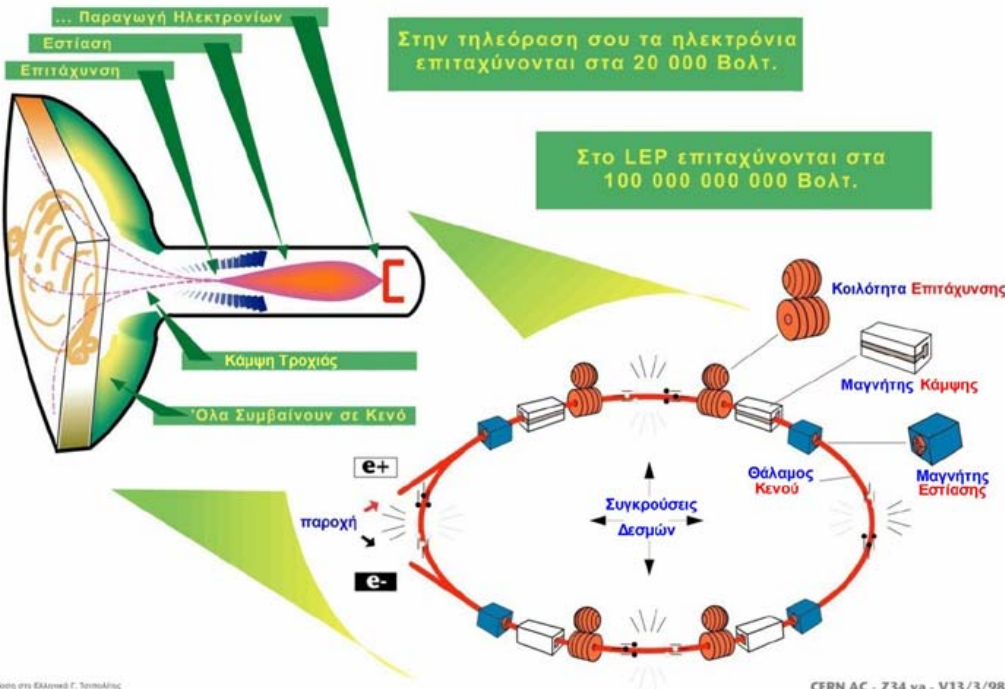
Κοσμική Ακτινοβολία



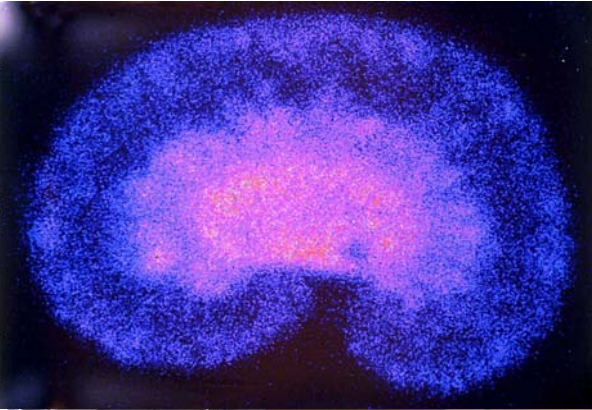
- Στοιχειώδη σωματίδια φτάνουν στη γη μας από το ...διάστημα !
- Κοσμική Ακτινοβολία Αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα της Γης Δευτερογενής παραγωγή σωματιδίων

Ηλεκτρόνια, Μιόνια, Νετρίνα βομβαρδίζουν συνεχώς την Γη

Ο μικρότερος και ο μεγαλύτερος επιταχυντής



“Κερδοφόρα” προϊόντα της Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων



Τομογραφία



World Wide Web

Where the Web is born



Τεχνολογία Ανιχνευτών

To GRID

Ο Νέος Παγκόσμιος Ιστός
Υπολογιστικής Ισχύος και
Αποθηκευτικού Χώρου δεδομένων



Overview of the EU Data Grid Project

The European DataGrid Project Team

<http://www.eu-datagrid.org>

DataGrid is a project funded by the European Union

Grid Tutorial 21,22-August 2003 -

- Το Grid είναι μία καινούργια υποδομή που παρέχει εύκολη πρόσβαση σε υπολογιστική ισχύ και ηλεκτρονική μνήμη κατανεμημένη σε όλο τον κόσμο.

<http://www.gridcafe.org/>

Εφαρμογές του GRID

GridCafé



Grid computing in 30"

Five big ideas

Building a grid

Grids in IT history

Grids and you

In debate

Grid-powered projects

Grid people

Multimedia

Grid computing in 30 seconds



What is grid computing?
The world's grids

The world's grids

There are hundreds of computer grids around the world. Many grids are used for e-science: enabling projects that would be impossible without massive computing power.

- **Biologists** are using grids to simulate thousands of molecular drug candidates on their computer, aiming to find a molecule able to block specific disease proteins.
- **Earth scientists** are using grids to track ozone levels using satellites, downloading hundreds of Gigabytes of data every day (the equivalent of about 150 CDs a day!).
- **High energy physicists** are using grids in their search for a better understanding of the universe, relying on a grid of tens of thousands of desktops to store and analyze the 10 Petabytes of data (equivalent to the data on about 20 million CDs!) produced by the Large Hadron Collider each year. Thousands of physicists in dozens of universities around the world want to analyse this data.
- **Engineers** are using grids to study alternative fuels, such as fusion energy.
- **Artists** are using grids to create complex animations for feature films (check out Kung Fu Panda for example).
- **Social scientists** are using grids to study the social life of bees, the makeup of our society, the secrets of history.
- **...and more, more, more!!**

Grid computing not only provides the resources that allow our scientists to cope with vast collections of data, it also allows this data to be distributed all over the world, which means scientific teams can work on international projects from the comfort of their own laboratories.

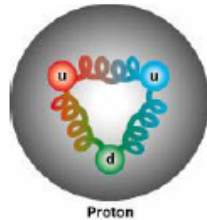
Grid computing is powering science from around the globe, providing the technology to explore

Τι γνωρίζουμε σήμερα για τις Αλληλεπιδράσεις
των Στοιχειωδών Σωματιδίων

Οι Δυνάμεις

Οι Δυνάμεις μεταξύ Σωματιδίων

1 **Ισχυρές**
Μεταδίδονται με τα
γκλουόνια



Συγκρατούν τα πρωτόνια και νετρόνια στον πυρήνα
Συγκρατούν τα quarks στα πρωτόνια και τα νετρόνια

10^{-38} **Βαρυτικές**
Μεταδίδονται με τα
γκραβιτόνια



Αναγκάζουν τα αντικείμενα με μάζα να πέφτουν
Διατηρούν τη γη και τους πλανήτες γύρω από τον ήλιο

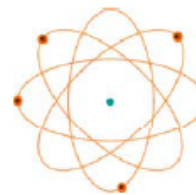
Ασθενείς
Μεταδίδονται με τα W
& Z^0

10^{-5}



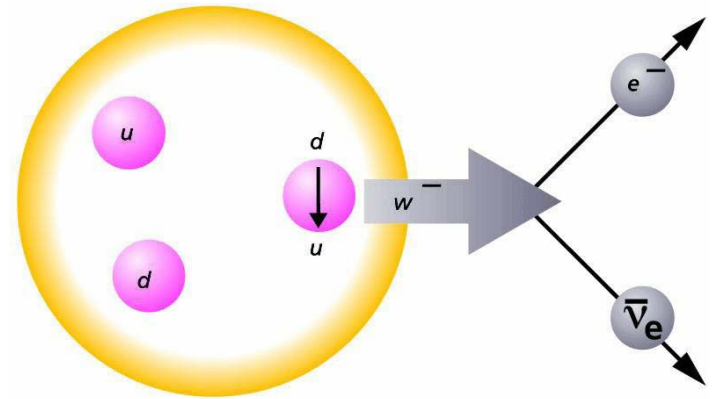
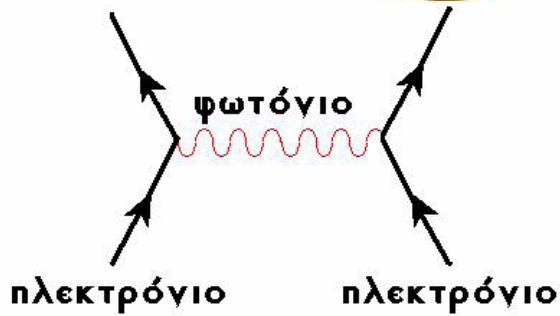
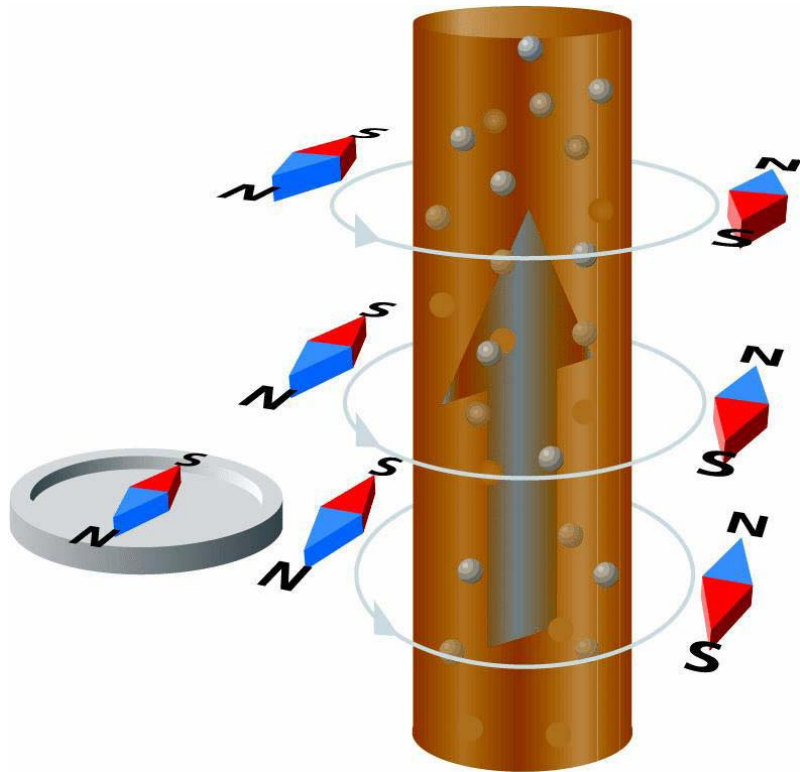
Προκαλούν την διάσπαση των ραδιενεργών πυρήνων
Διαμορφώνουν την ένταση της ηλιακής ενέργειας

Ηλεκτρομαγνητικές 10^{-3}
Μεταδίδονται με φωτόνια

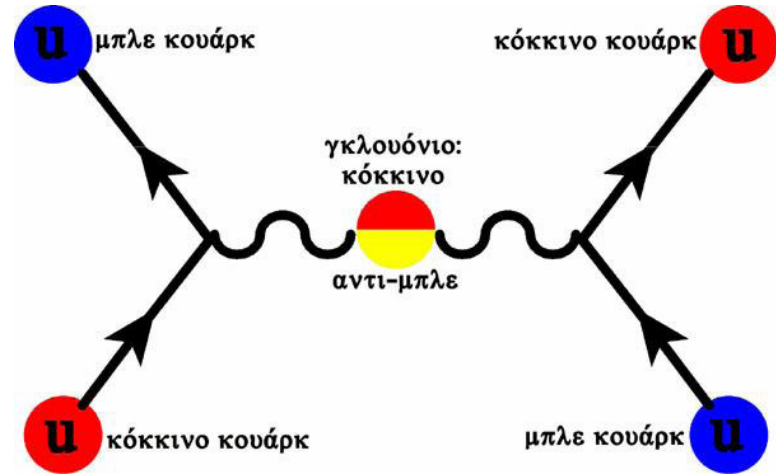
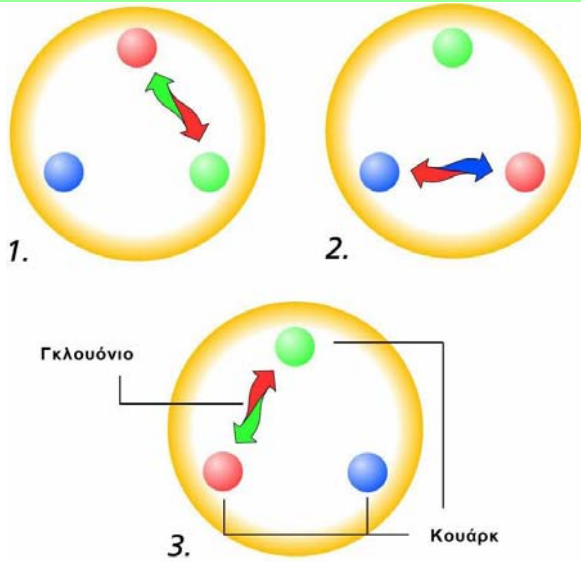


Συγκρατούν τα ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα
Ευθύνονται για τις χημικές αντιδράσεις
Ηλεκτρισμός, Φως, Ακτινοβολία ...

Ηλεκτρομαγνητικές-Ασθενείς



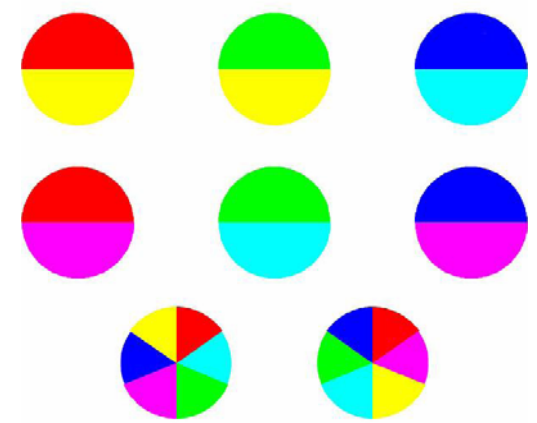
Ισχυρές Δυνάμεις



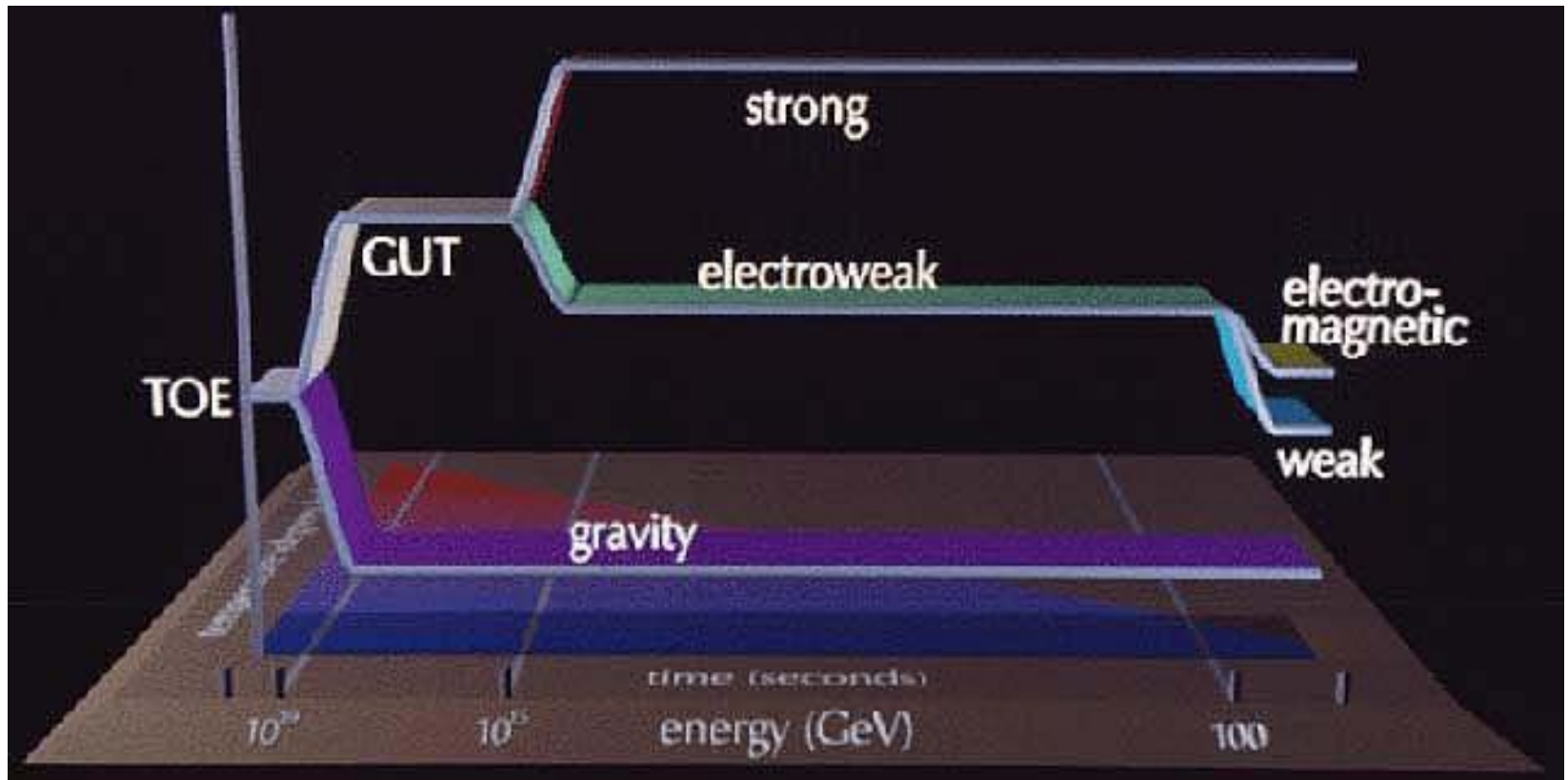
Πρωτόνια & Νετρόνια στις Ισχυρές Αλληλεπιδράσεις



8 γκλουόνια



Η ενοποίηση των δυνάμεων

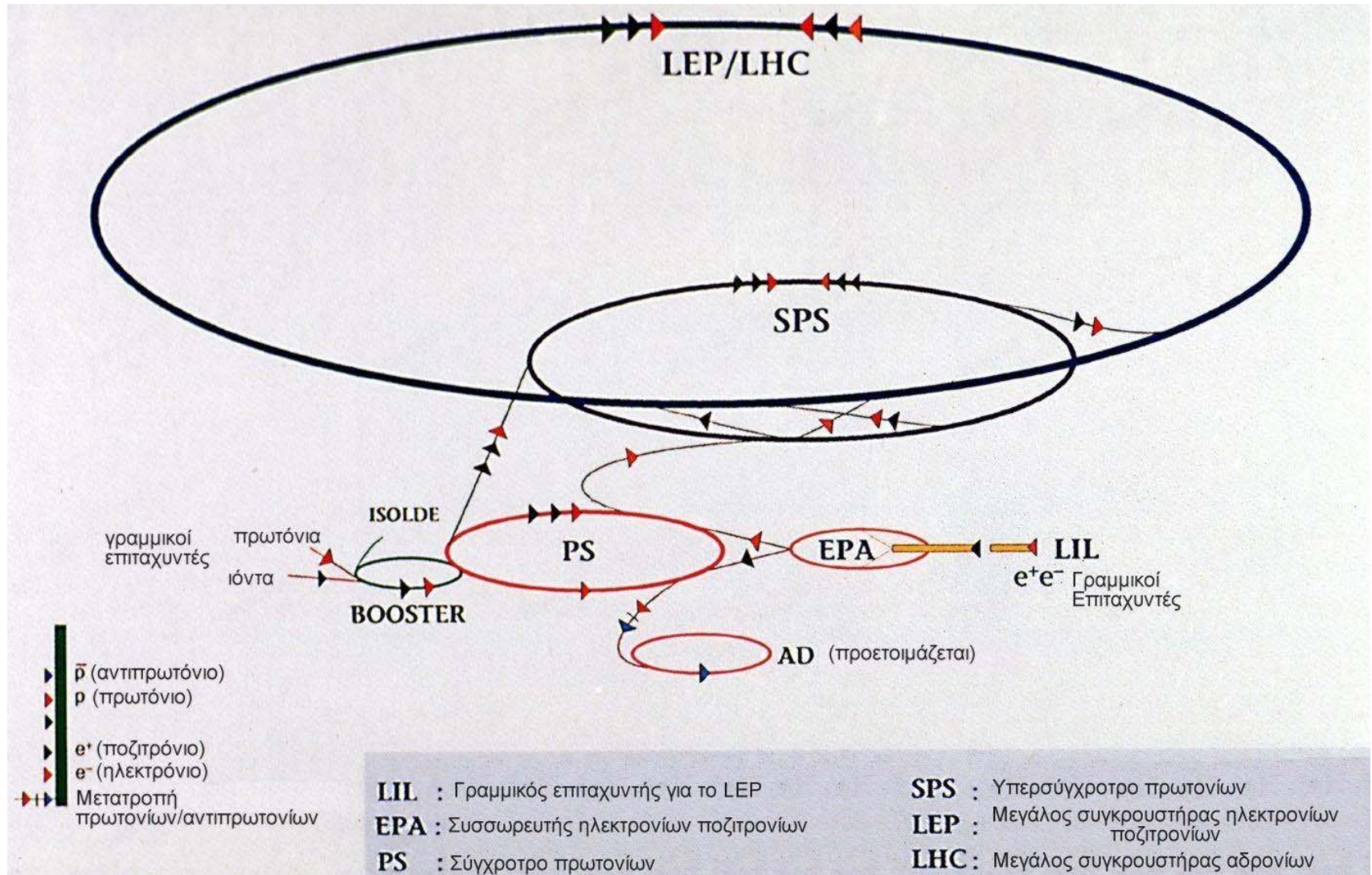


Πως “φτιάχνουμε” τα Σωματίδια?
Πως τα “βλέπουμε”?

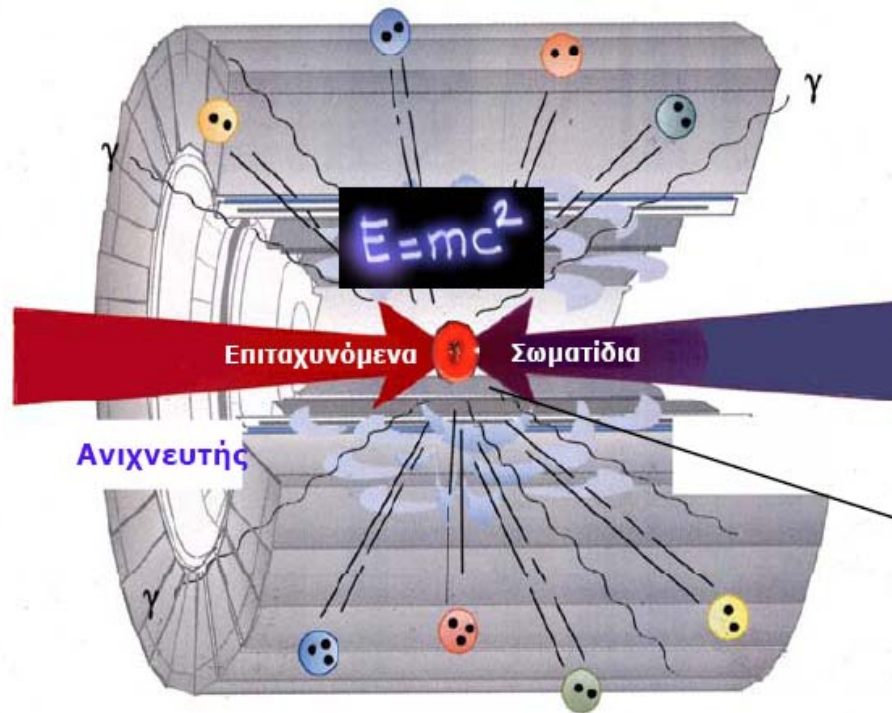
Πως μελετούμε τις Δυνάμεις μεταξύ τους?

Υπάρχουν στοιχεία για την Ενοποίηση των
Δυνάμεων?

Το σύμπλεγμα επιταχυντών του CERN



Τα “μάτια” που παρατηρούν και καταγράφουν τα Στοιχειώδη Σωματίδια.....



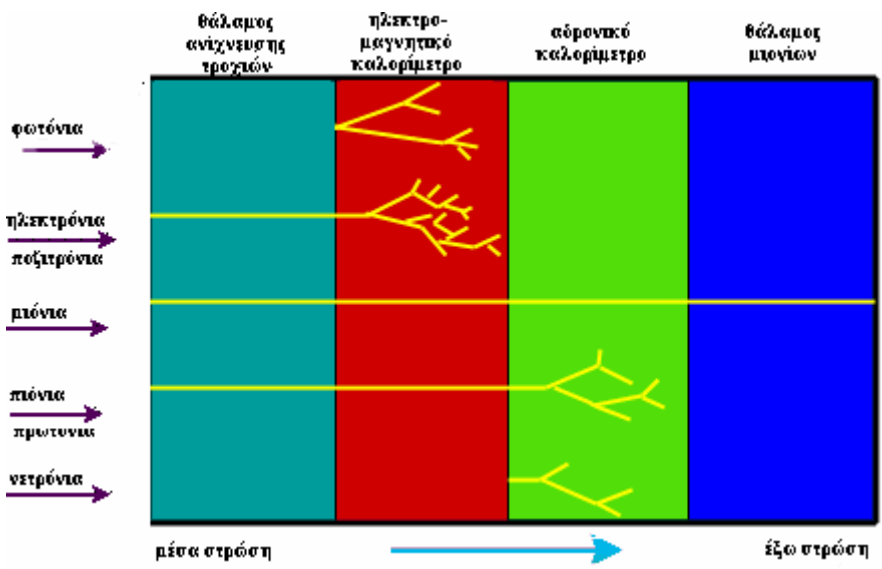
1) Συγκέντρωση ενέργειας στα σωματίδια (**επιταχυντής**)

2) **Σύγκρουση** σωματιδίων (δημιουργία συνθηκών ανάλογων του Big Bang)

3) Αναγνώριση παραγόμενων σωματιδίων από τον **Ανιχνευτή** (έρευνα για νέα φαινόμενα)

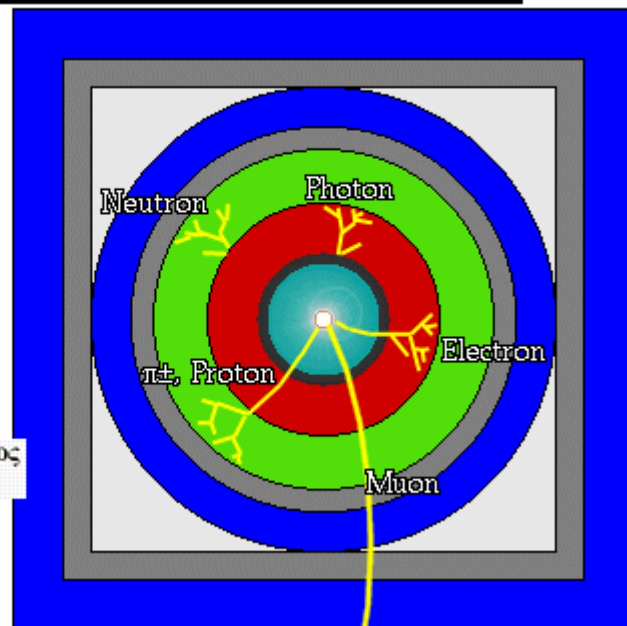
- Ανιχνευτές των διαφόρων τύπων σωματιδίων

Οι ανιχνευτές Στοιχειωδών Σωματιδίων

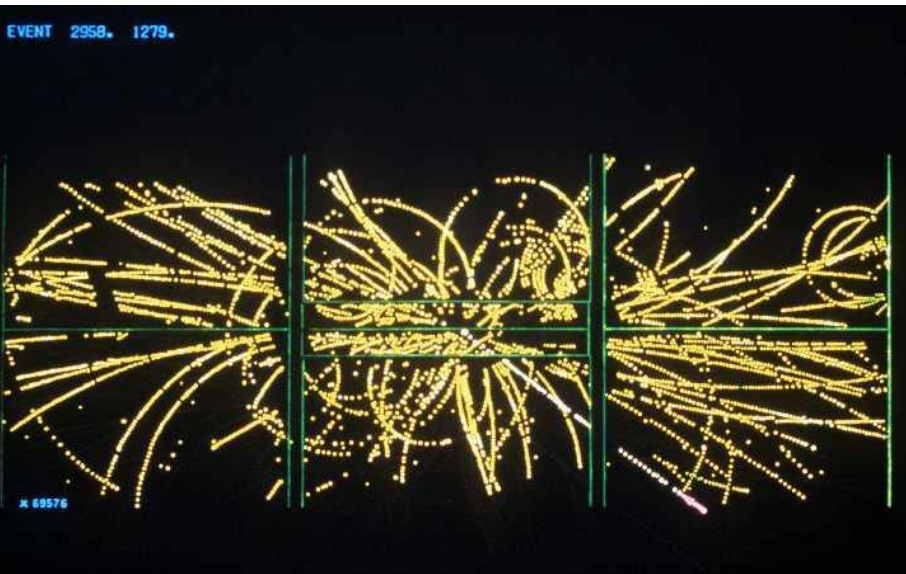


Κάθετη τομή, που δείχνει τις τροχιές των σωματιδίων

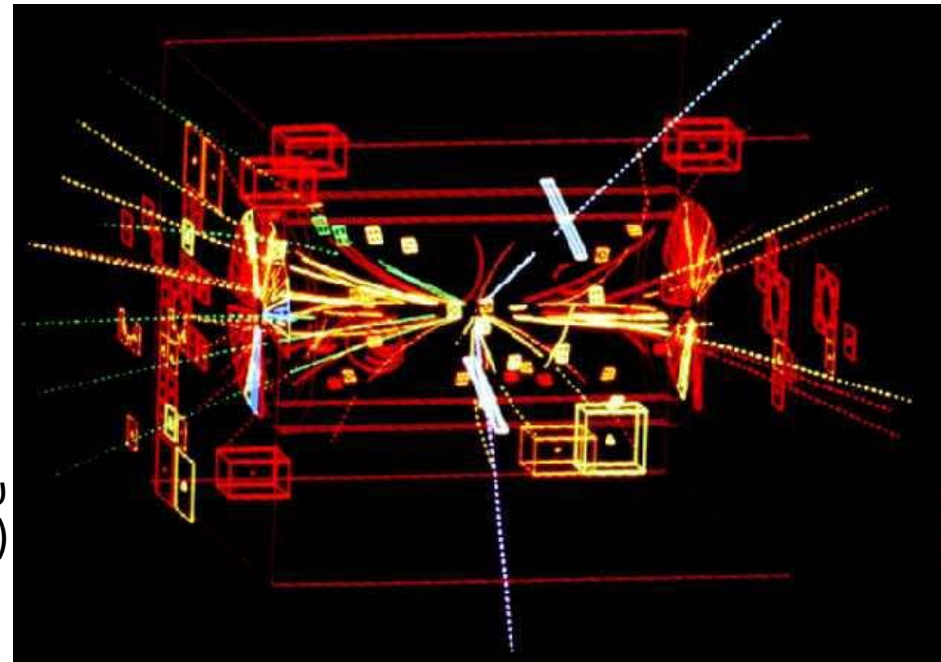
- Σωλήνας
- Δέσμης (κέντρο)
- Θάλαμος μέτρησης τροχιών
- Πηνία μαγνήτη
- Ηλεκ/τικό καλορίμετρο
- Αδρονικό καλορίμετρο
- Μαγνητισμένος σίδηρος
- Θάλαμος μιονίων



1983: Παρατηρήθηκαν οι Διαδότες των Ασθενών Δυνάμεων



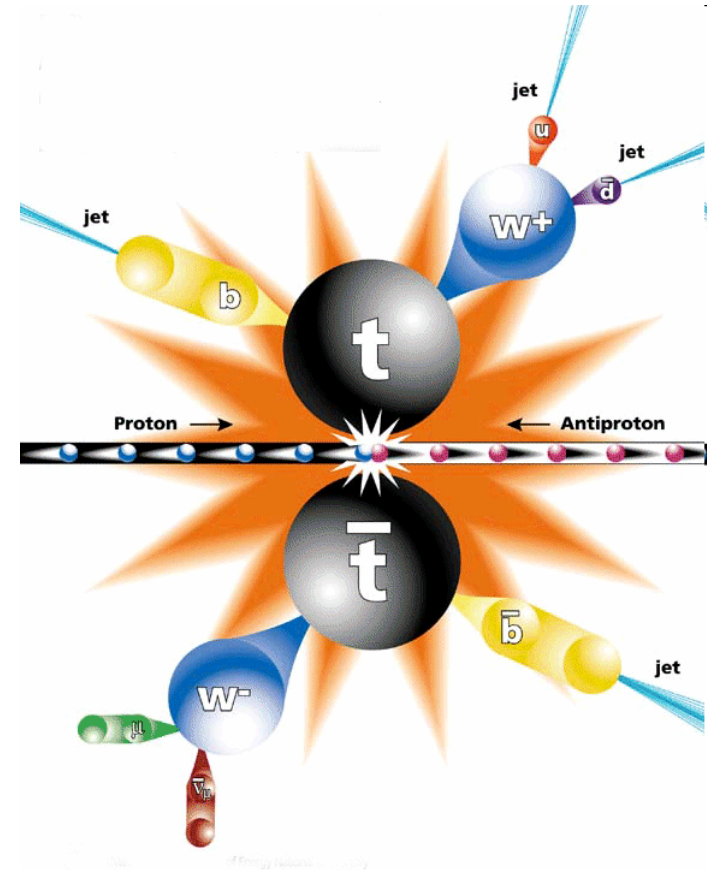
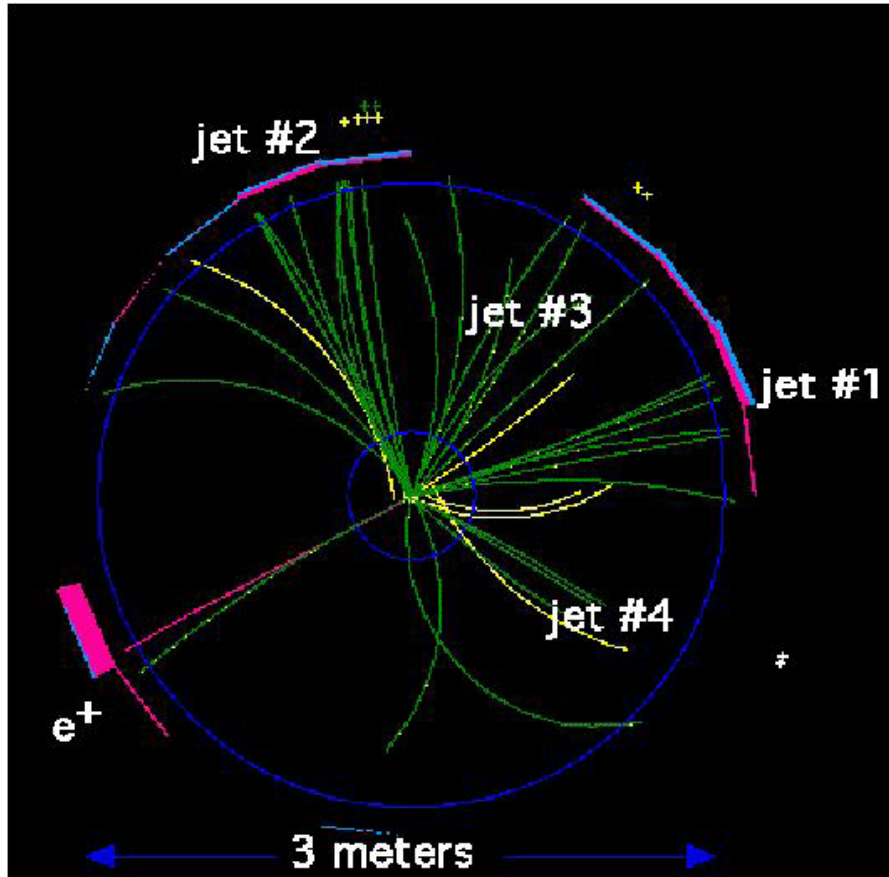
Η ανακάλυψη του πρώτου
Σωματιδίου W στο CERN (1983)



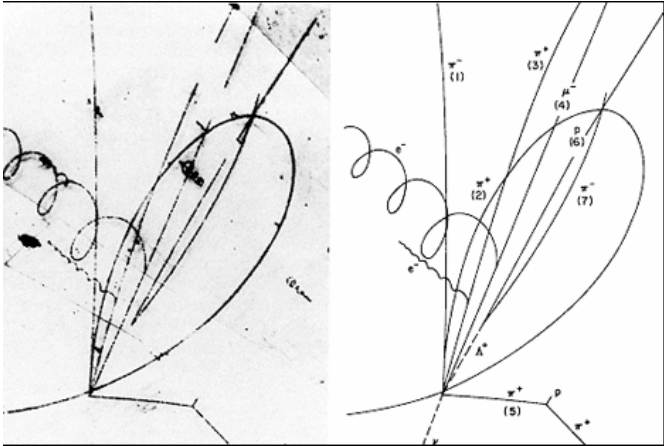
Η ανακάλυψη του πρώτου
Σωματιδίου Z στο CERN(1983)

Πρόσφατες Ανακαλύψεις

Ανακάλυψη του Top quark
(1994, FermiLab USA)



Secondary vertex



Photograph of the event that led to the discovery of the [\$\Sigma^{++}c\$ baryon](#), at the [Brookhaven National Laboratory](#) in 1974

$e^+ + 4$ jet event

40758_44414

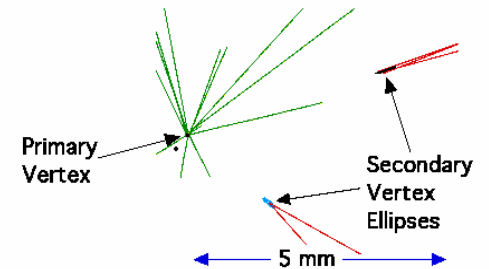
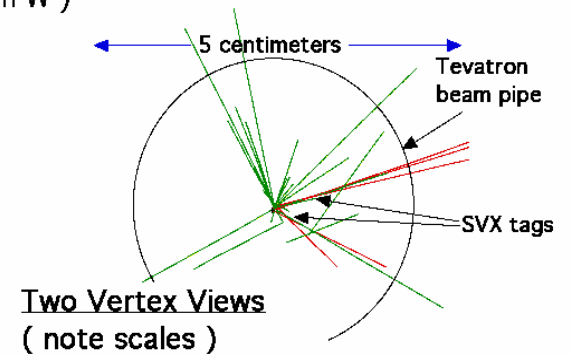
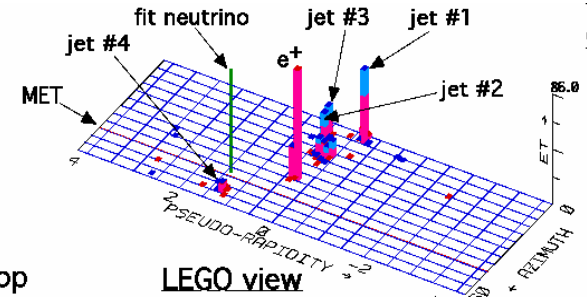
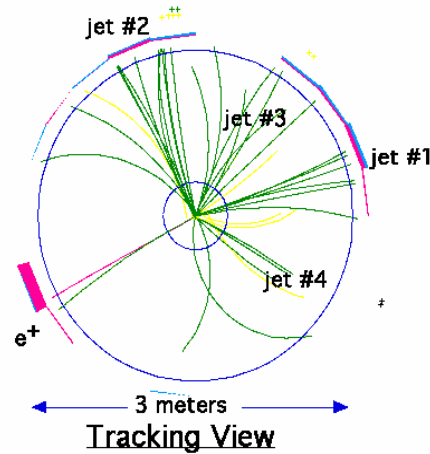
24-September, 1992

TWO jets tagged by SVX

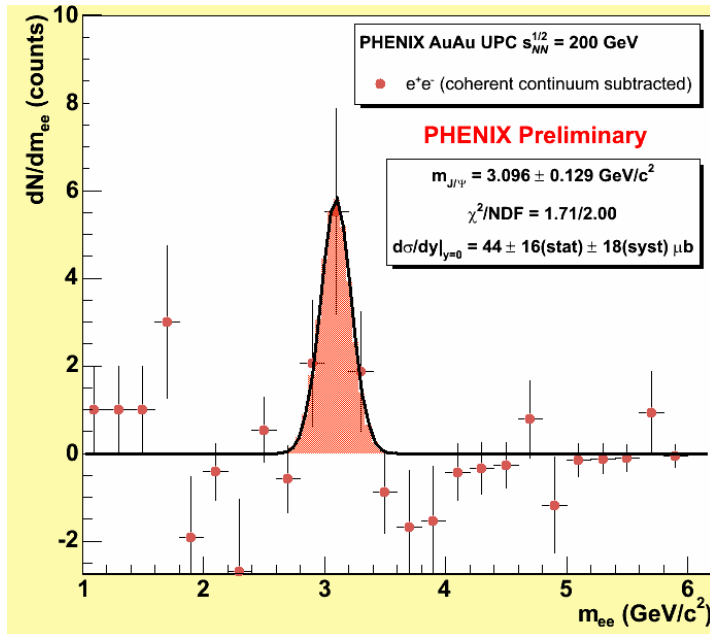
fit top mass is 170 ± 10 GeV

e^+ , Missing E_T , jet #4 from top

jets 1,2,3 from top (2&3 from W)



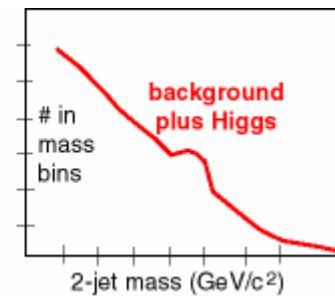
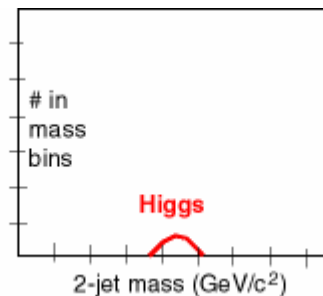
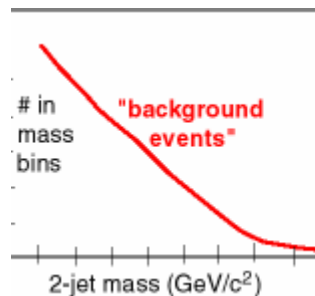
Συντονισμοί και αναλλοίωτη μάζα



Για $\tau=10^{-23}\text{s} \rightarrow \chi=10^{-15}\text{m}$

$$M^2c^4 = E^2 - p^2c^2$$

Η Μ έχει την ίδια τιμή σε οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς



ΣΗΜΕΡΑ το LHC

Ένα από τα σημαντικότερα εγχειρήματα στην ιστορία της Φυσικής άρχισε στο CERN, το μεγαλύτερο στο κόσμο Εργαστήριο Σωματιδιακής Φυσικής.

LHC



1238 υπεραγωγίμα μαγνητικά δίπολα, βάρους **35 τόνων** το καθένα κατασκευάστηκαν και συναρμολογήθηκαν για τον Μεγάλο Αδρονικό Επιταχυντή, με περίμετρο **27 χιλιόμετρα!**

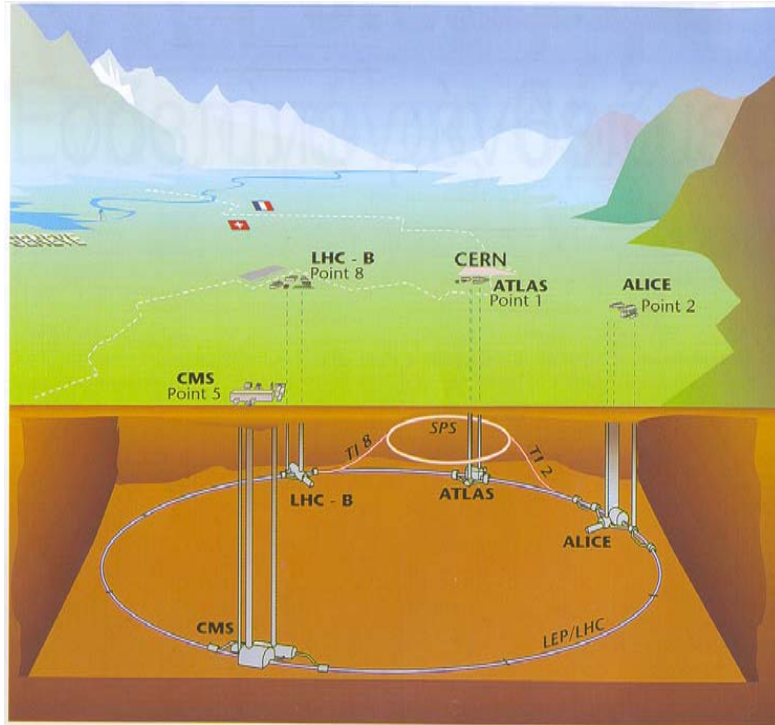
Αν χρησιμοποιούσαμε συμβατικούς μαγνήτες θα χρειαζόμασταν περίμετρο επιταχυντού με **120 χιλιόμετρα !!!** για να έχουμε την ίδια τελική ενέργεια.

Το Σωματίδιο Higgs στο LHC

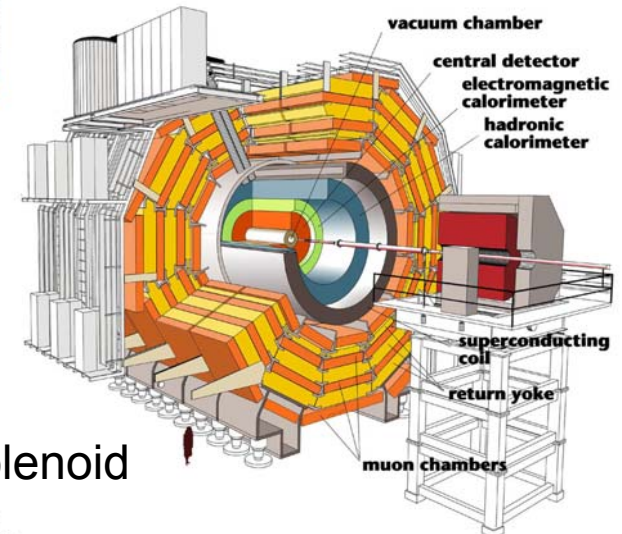
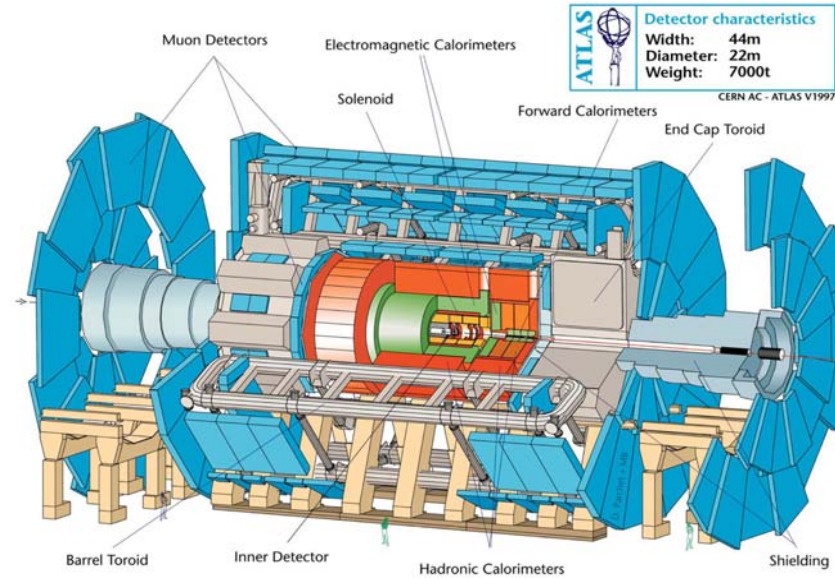
Οι δύο δέσμες πρωτονίων στον LHC θα συγκρούονται 800 χιλιάδες φορές το δευτερόλεπτο



Η Υπόγεια Σήραγγα του LHC και οι πειραματικές διατάξεις ATLAS και CMS



ATLAS A Toroidal LHC Apparatus



CMS Compact Muon Solenoid

Width: 22m
Diameter: 15m
Weight: 14'500t

Οι στόχοι του πειράματος

- **Μάζα**

Γιατί τα σωματίδια έχουν τόσο διαφορετικές μάζες? Υπάρχει το Higgs?

- **Αντιύλη**

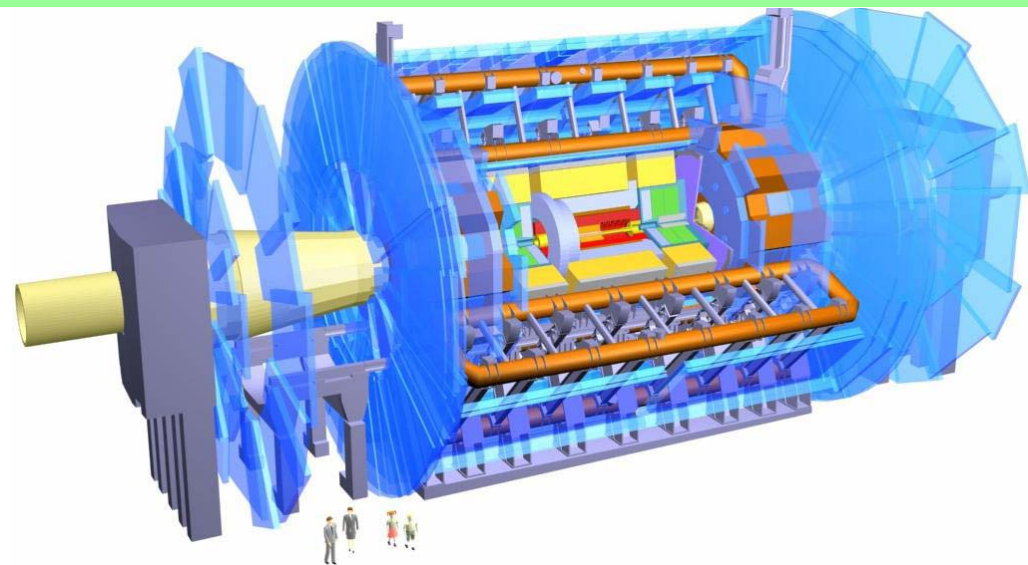
Που πήγε η αντιύλη στο Σύμπαν?

- **Σκοτεινή ύλη**

Γιατί το Σύμπαν μας αποτελείται κυρίως από σκοτεινή ύλη?

- **... Το Άγνωστο...**

Υπάρχουν άλλες δυνάμεις?
αλλες διαστάσεις?
Μini μελανές οπές?



Το Πείραμα ATLAS στην Ελλάδα



Συνεργασία τριών Πανεπιστημίων

Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο
Αθηνών

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθηνών

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



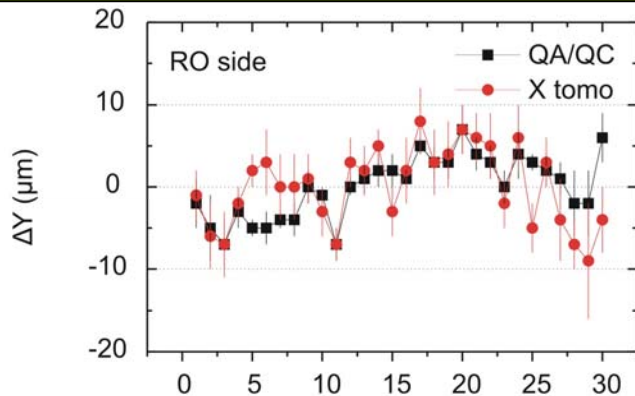
- Κατασκευή και έλεγχος 112 θαλάμων BIS στην Ελλάδα

(10% Του μιονικού Φασματομέτρου)

Το πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

Το 1997 δημιουργήθηκε στο ΑΠΘ ένα εργαστήριο για την κατασκευή και τον έλεγχο ανιχνευτών μιονίων.

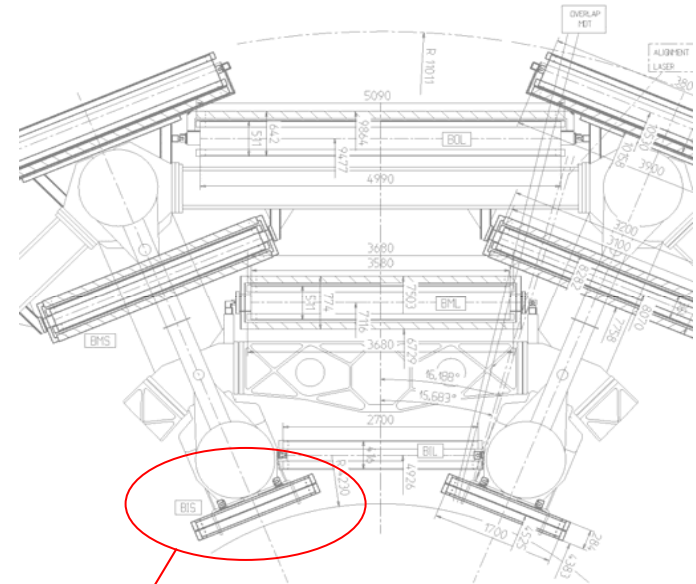
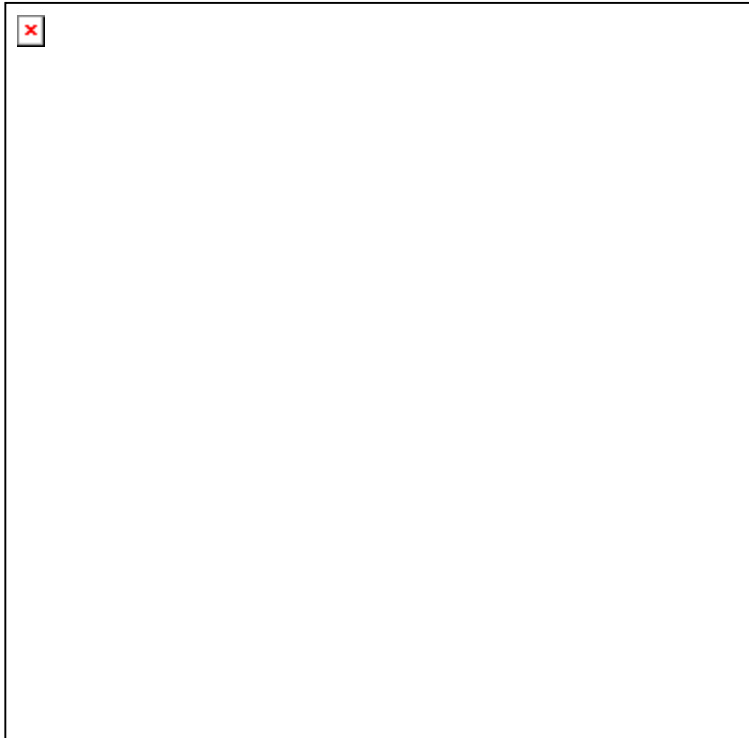
Ακρίβεια στην κατασκευή
Πιστοποίηση: X-ray Τομογράφο



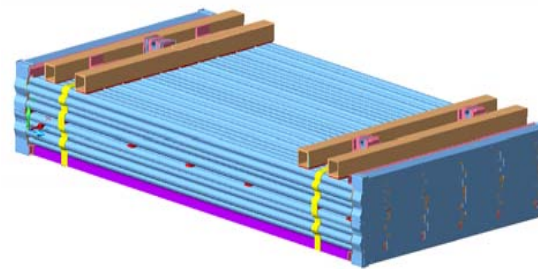
Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών



Οι θάλαμοι BIS στο ATLAS

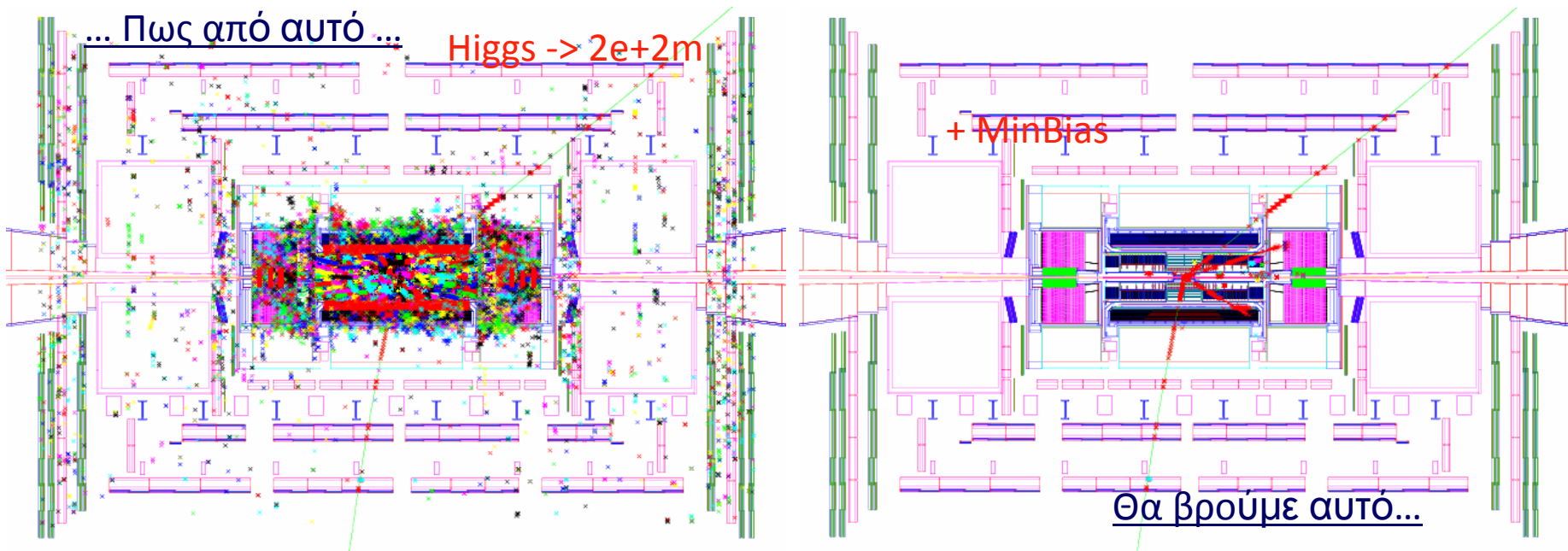


BIS



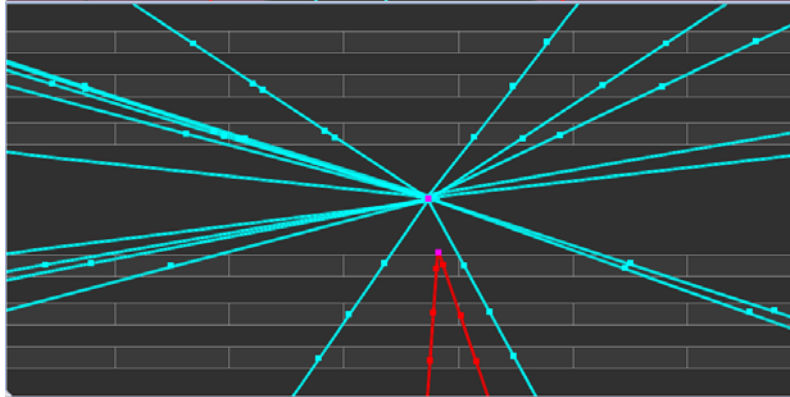
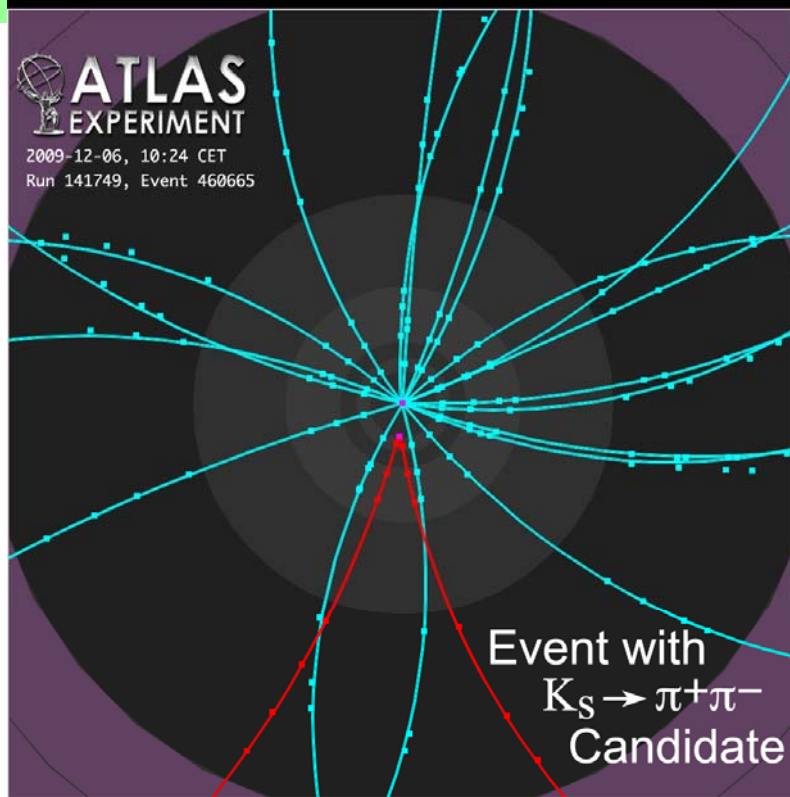
1700x90x30mm³
240 Al tubes

Ο στόχος-πρόκληση : Να ανακάλυψουμε το σωματίδιο Higgs
ή ...νέα σωματίδια



 **ATLAS**
EXPERIMENT

2009-12-06, 10:24 CET
Run 141749, Event 460665



Ανακεφαλαίωση

- Η Φυσική του Μικρόκοσμου έχει σημειώσει τεράστια πρόοδο στην τελευταία δεκαετία
- Μεγάλοι Επιταχυντές και περίπλοκοι Ανιχνευτές μπορούν να διερευνήσουν βαθειά στην αρχή του χρόνου και του Σύμπαντος
- Η Ελλάδα σήμερα συμμετέχει ενεργά στην έρευνα αυτή μέσω των Πανεπιστημίων και των Ερευνητικών της Κέντρων

Ο ανεξιχνίαστος Κόσμος του απειροστού σας
περιμένει για να σας αποκαλύψει τα μυστικά
του Απείρου, του Σύμπαντος

Αξίζει τον κόπο να μάθω κάποια
βασικά πράγματα για τα
στοιχειώδη σωμάτια?