

Στοιχειώδη Σωματίδια

Διάλεξη 9η
Πετρίδου Χαρά

- Το Απειροστό και το Άπειρο:
Τα ξαναείδατε λίγο διαφορετικά και στο 1ο μάθημα του κ. Κορδά
 - ▶ Πως συνδέονται?
 - ▶ Γιατί μας ενδιαφέρει?
 - ▶ Μέχρι που φτάνει η γνώση μας σήμερα?
- Βασικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των σωματιδίων
 - ▶ Φερμιόνια & Μποζόνια :
 - Η Στατιστική που υπακούουν
 - Η Κυματοσυνάρτηση Ταυτόσημων Μποζονίων και Φερμιονίων
 - ▶ Σωματίια & Αντισωματίια

- 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

- Συμμετρίες και Νόμοι Διατήρησης στις Αλληλεπιδράσεις
 - ▶ Αναλλοίωτο και τελεστές στην κβαντομηχανική
 - ▶ Μετατοπίσεις και στροφές - διατήρηση Ενέργειας και Στροφορμής
 - ▶ Ομοτιμία (parity)
 - ▶ Συζυγία φορτίου
 - ▶ Χρονική αναστροφή

Κάποια υπάρχουν και στο 1ο μάθημα του κ. Κορδά

- Η Ύλη στο βιβλίο: Cottingham & Greenwood
 - ▶ Κεφ 1 & 2
- Η Ύλη στο βιβλίο: D. H. Perkins (Σημειώσεις)
 - ▶ Κεφ 1 & 3
- B.R. Martin & Shaw : Particle Physics (2nd edition), John Wiley; 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** 5th edition, McGraw Hill (ISBN 0-07-113849-8) (και μεταφρασμένο), Chapter 14: Elementary particles Αδρόνια, Quarks, Λεπτόνια, Κβαντικοί αριθμοί Στοιχειωδών Σωματιδίων, Ισοσπίν (Ισοτοπικό σπίν), Συμμετρίες και Αρχές Διατήρησης, Θεμελιώδεις Αλληλεπιδράσεις
- H.Frauenfelder,E.Henley: **Subatomic Physics**, Prentice-Hall,Inc
- W.E.Burcham & M.Jobes: **Nuclear and Particle Physics**, Longman Scientific and Technical

Εκλαϊκευμένα βιβλία για τα Στοιχειώδη Σωματίδια

6

..... και για τα Χριστούγεννα

Κάποια υπάρχουν και στο 1ο μάθημα του κ. Κορδά

- 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)
- Michio Kaku:
 - Παράλληλα Σύμπαντα
 - Υπερχώρος
 - Η Φυσική του Αδύνατου
- Brian Green: **Το Υπέροχο Σύμπαν**

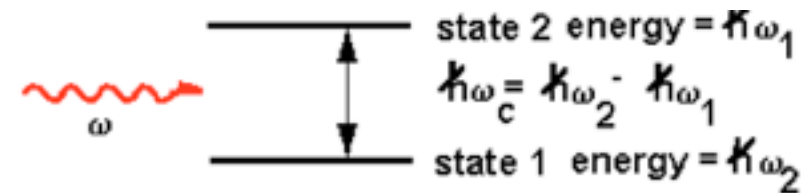
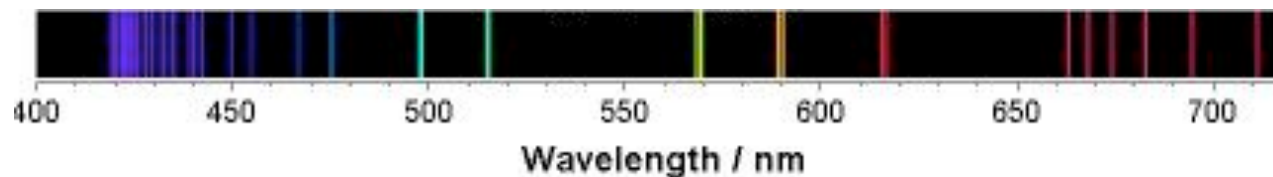
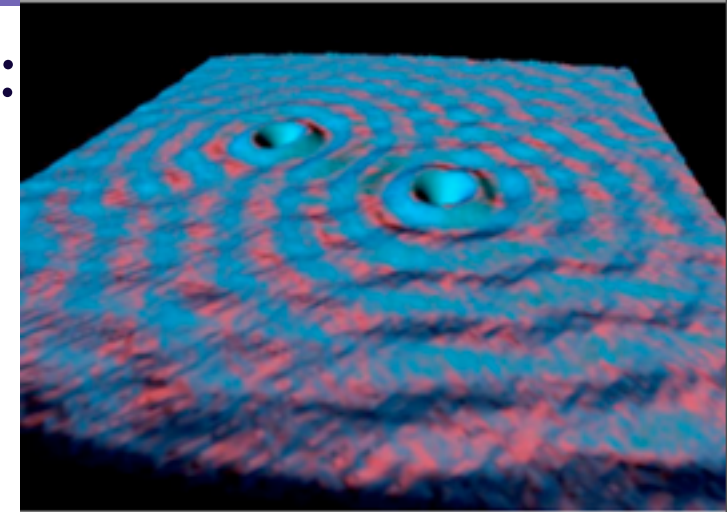
- Οι πυρήνες είναι περίπλοκα συστήματα πολλών σωμάτων που συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις ελάχιστα κατανοητές
- Οι θεωρίες/μοντέλα της συμπεριφοράς και της δομής του πυρήνα δεν περιγράφονται με ένα ενιαίο πρότυπο
- Οι θεωρίες/μοντέλα της συμπεριφοράς και δομής των πυρήνων αλλάζουν:
 - ▶ για διαφορετικές περιοχές του Μαζικού Αριθμού A
 - ▶ για διαφορετικά είδη αλληλεπιδράσεων
- **Στα επόμενα θα εξετάσουμε –με βάση την μέχρι σήμερα γνώση για τα Στοιχειώδη Σωματίδια- την φύση των ισχυρών και ασθενών πυρηνικών(β-διάσπαση) δυνάμεων και την σχέση τους με τις οικείες ηλεκτομαγνητικές δυνάμεις**

Η Κβαντομηχανική είναι η μηχανική του μικρόκοσμου

8

- Θεμελιώδεις Αρχές της Κβαντικής Μηχανικής:

- ▶ Ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός της ύλης
- ▶ Η διακριτότητα: Οι αλλαγές σε ένα φυσικό σύστημα είναι διακριτές



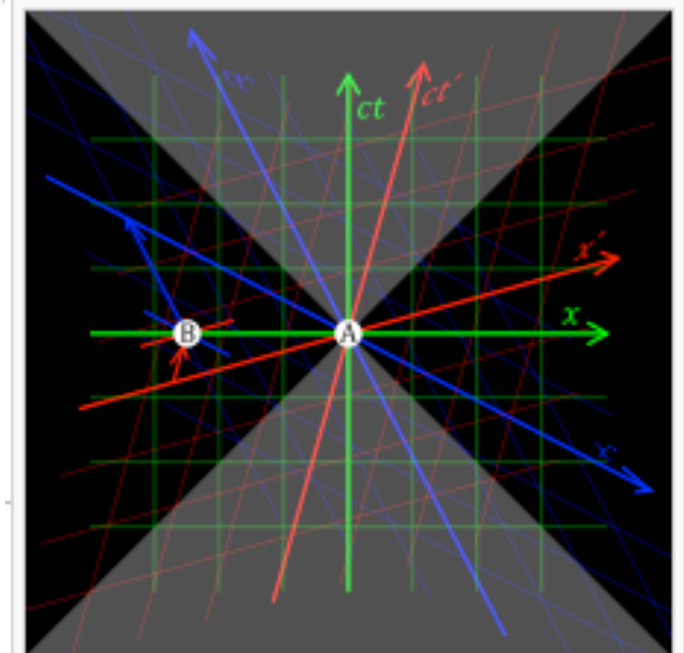
- Η Κβαντική Μηχανική περιλαμβάνει:

- ▶ Την εισαγωγή των Τελεστών – Σχέση Τελεστών και Φυσικών μεγεθών (Ιδιότητες των φυσικών μεγεθών στην Κβαντομηχανική)
- ▶ Την μαθηματική περιγραφή των υλικών κυμάτων (εξίσωση Schroedinger)
- ▶ Την πυκνότητα πιθανότητας(στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης) και τη διατήρηση της ολικής πιθανότητας
- ▶ Την χρονική εξέλιξη ενός κβαντομηχανικού συστήματος
- ▶ Τη βασική θεωρία του σπίν (μια καθαρά κβαντική στροφορμή)

Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

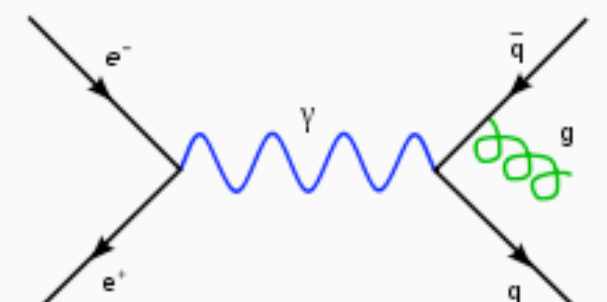
9

- Η ταχύτητα μετάδοσης μιάς οποιαδήποτε δράσης δεν μπορεί να υπερβεί την ταχύτητα του φωτός:
- ▶ Υπάρχει Τοπικότητα των παρατηρήσεων
 - Μια “αλλαγή” σε ένα σημείο στο χωρόχρονο γίνεται αντιληπτή σε άλλα σημεία αργότερα
 - Η παρατήρηση είναι συνάρτηση της θέσης στον χωρόχρονο → **Χρειαζόμαστε Πεδία για να περιγράψουμε τη Φύση**
- Ο συνδυασμός της **Κβαντομηχανικής** και της **Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας** → **Κβαντική Θεωρία Πεδίου**: Η βάση για τη μελέτη του Πυρήνα και των αλληλεπιδράσεων των quarks και leptons



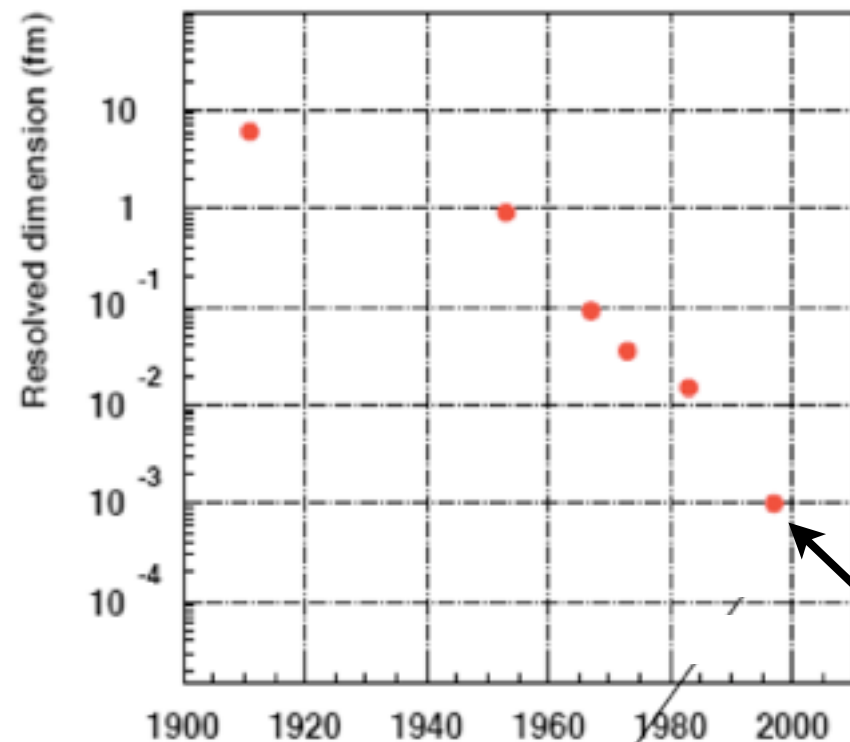
Event B is simultaneous with A in the green reference frame, but it occurred before in the blue frame, and will occur later in the red frame.

Quantum field theory

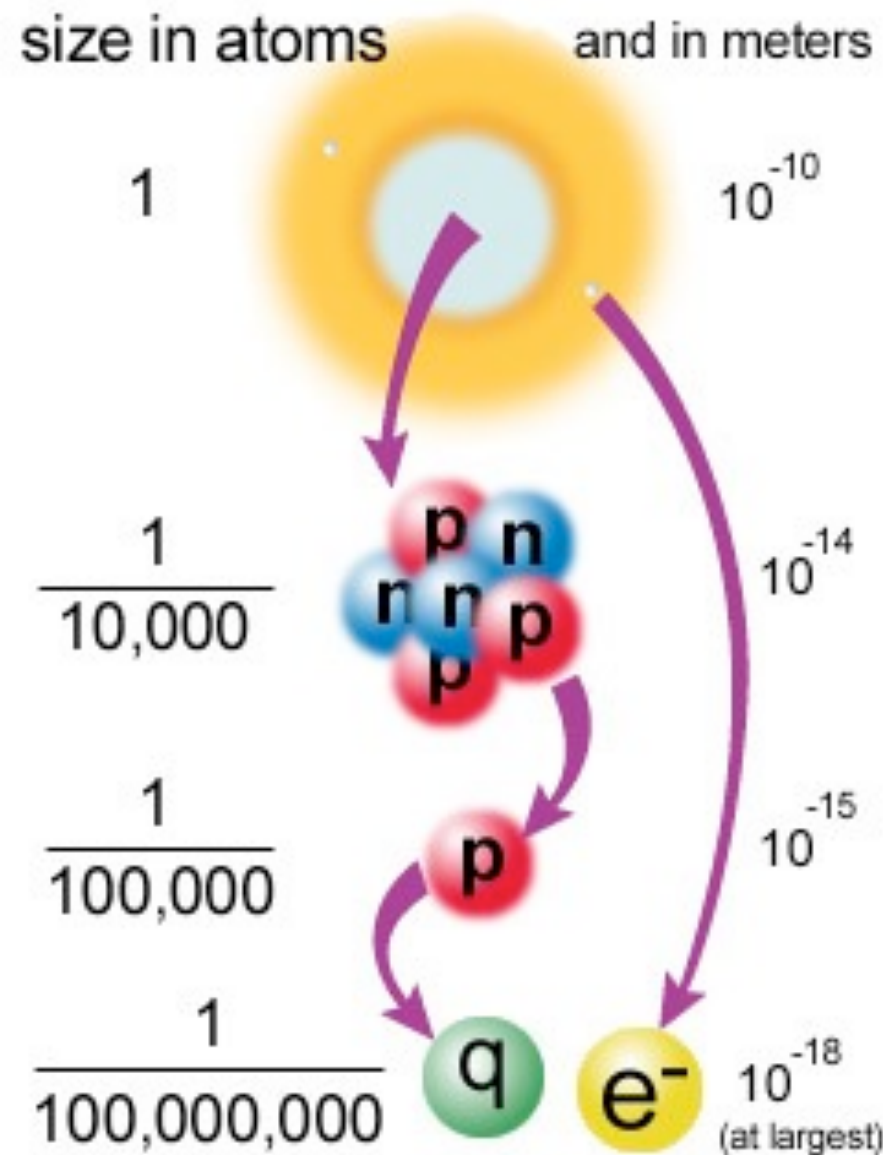


Απο τα νουκλεόνια στα quarks

10



Μέχρι 10^{-3} fm τα quark συμπεριφέρονται σαν σημεία !



- Άτομο: Πυρήνας+ e
- Πυρήνας: p+n
- p,n: quarks+ gluons
- quarks: ??? Είμαι θεμελιώδη?

Τα στοιχειώδη συστατικά της ύλης... όπως τα γνωρίζουμε σήμερα

II

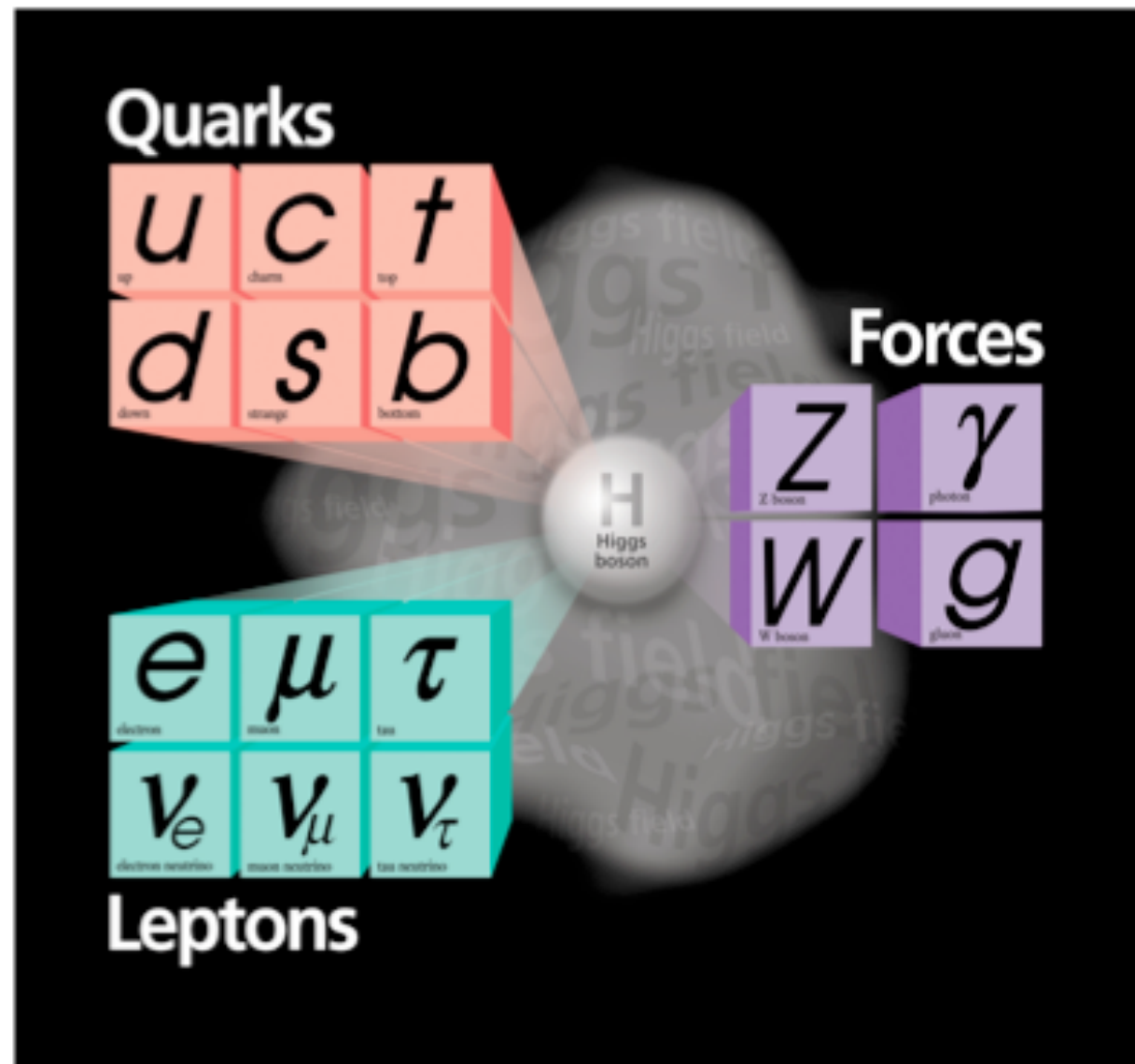
Τα ξαναείδατε και στο 1ο μάθημα του κ. Κορδά

- Κατά το Καθιερωμένο Πρότυπο της Σωματιδιακής Φυσικής (μια Κβαντική Θεωρία Πεδίου):

► Τα θεμελιώδη συστατικά της ύλης που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους είναι φερμιόνια:

- Κουάρκ και Λεπτόνια

► Οι φορείς των αλληλεπιδράσεων μποζόνια (σωματίδια δυνάμεων)

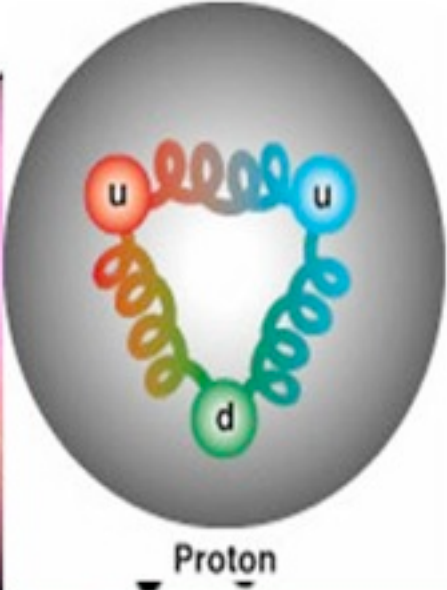


Σωματίδια δυνάμεων

Οι δυνάμεις της φύσης ... όπως τις γνωρίζουμε σήμερα (τεσσσερεις)

12

Τα ξαναείδατε και στο 1ο μάθημα του κ. Κορδά

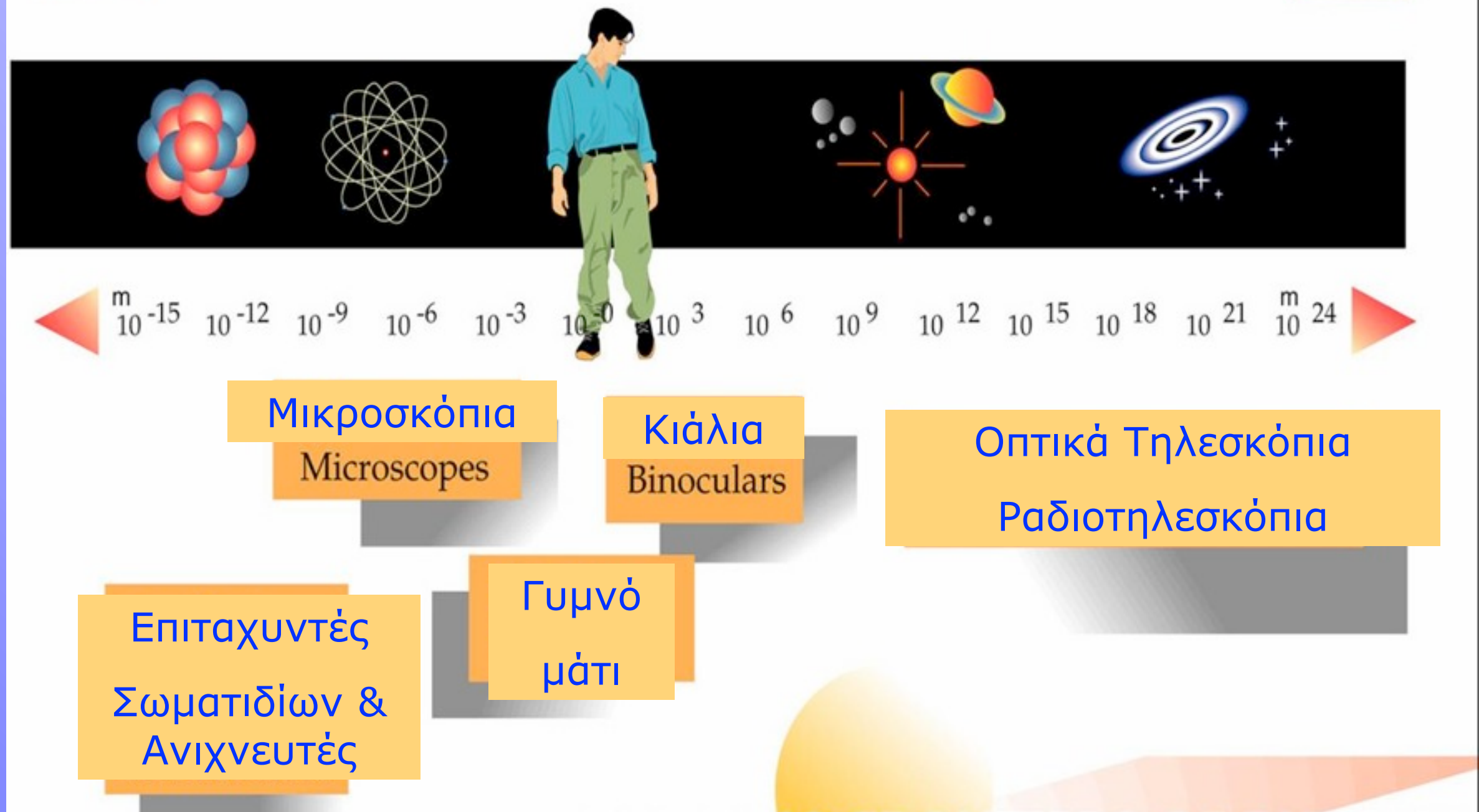
				
	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong
Carried By	Graviton (not yet observed)	$W^+ W^- Z^0$	Photon	Gluon

Οι δύο περιοχές στην Έρευνα της Φυσικής

Τα ξαναείδατε και στο 1ο μάθημα του κ. Κορδά
“Το φίδι που τρώει την ουρά του...”

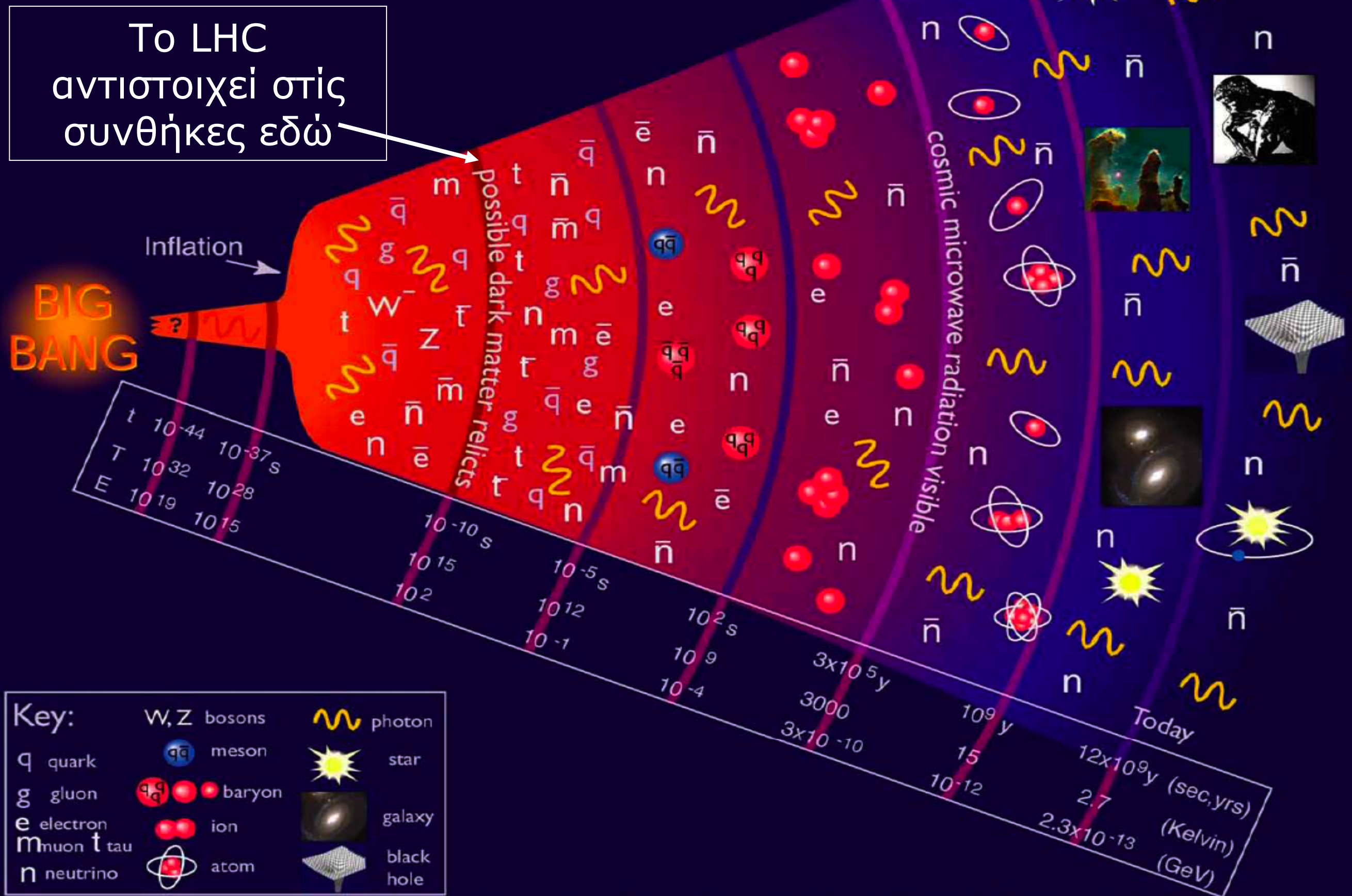
Η Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων
μελετά το **‘απειροστό’**

Η Αστροφυσική μελετά το
‘άπειρο’



Η Ιστορία του Σύμπαντος

Το LHC
αντιστοιχεί στις
συνθήκες εδώ



Particle Data Group, LBNL, © 2000. Supported by DOE and NSF

The big



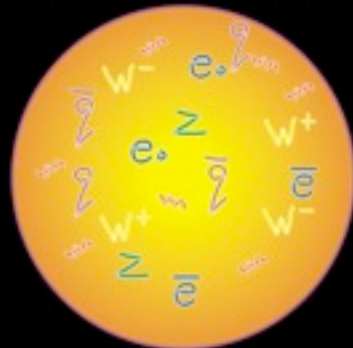
10^{-43} seconds



10^{32} degrees

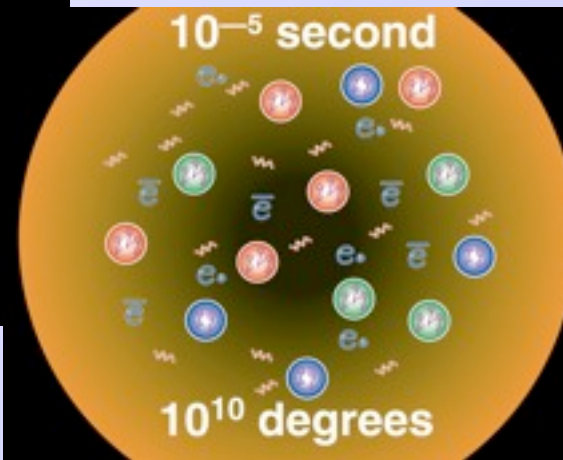
Στο εργαστήριο
επαναδημιουργούμε τις
συνθήκες του “Νεαρού
Σύμπαντος” λίγο μετά
την Μεγάλη Έκρηξη

10^{-34} seconds

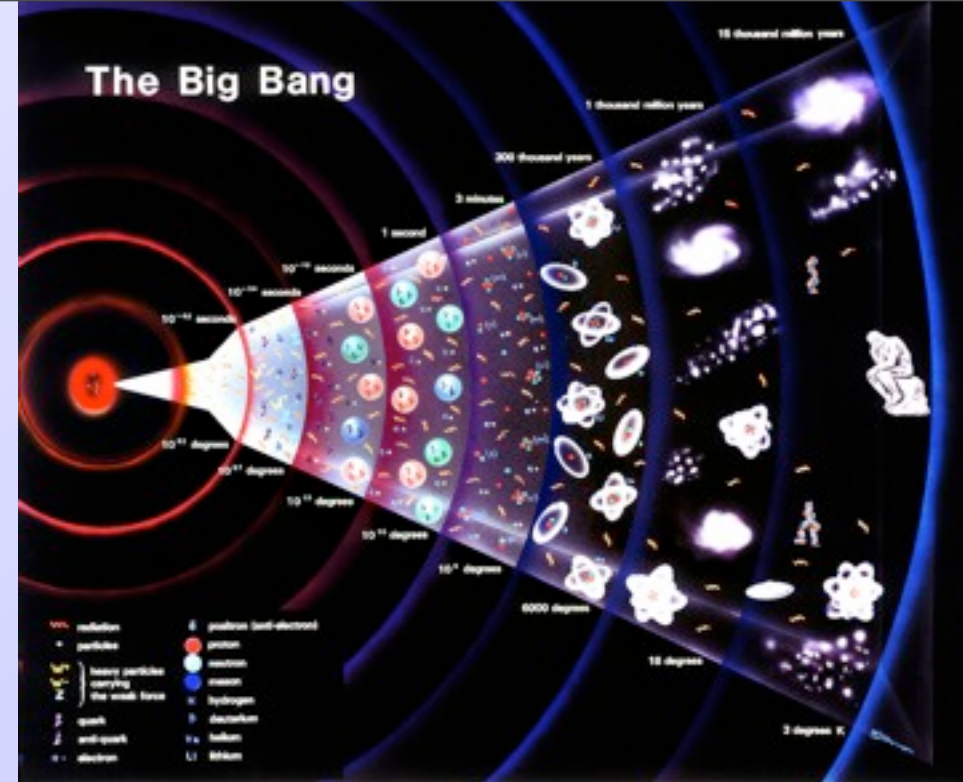


10^{27} degrees

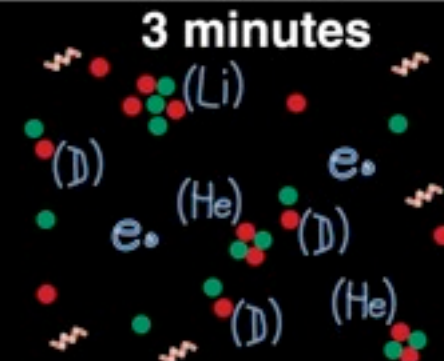
10^{-5} second



10^{10} degrees



3 minutes



10^9 degrees

15 thousand
million years

now



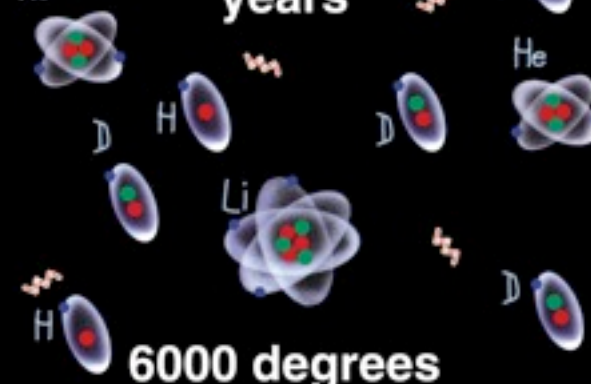
3 degrees

1 thousand
million years



18 degrees

300 thousand
years



6000 degrees

05-Dec-10

10^{-42} sec (10^{32} K):

Εποχή της Κβαντικής Βαρύτητας

16



Η Βαρύτητα “χωρίζεται”
σαν δύναμη απο τις άλλες
δυνάμεις που παραμένουν
ενοποιημένες σαν μία
δύναμη (Grand Unification)

$t < 10^{-43}$ s : The Big Bang

The universe is considered to have expanded from a single point with an infinitely high energy density (infinite temperature). Is there a meaning to the question what existed before the big bang?

$t = 10^{-43}$ s, 10^{32} K (10^{19} GeV, 10^{-34} m) : Gravity “freezes” out

All particle types (quarks, leptons, gauge bosons, and undiscovered particles e.g. Higgs, sparticles, gravitons) and their anti-particles are in a thermal equilibrium (being created and annihilated at equal rate). These coexist with photons (radiation).

Through a phase transition gravity “froze” out and became distinct in its action from the weak, electromagnetic and strong forces. The other three forces could not be distinguished from one another in their action on quarks and leptons. This is the first instance of the breaking of symmetry amongst the forces.

10^{-35} sec (10^{27} K): Εποχή της Μεγάλης Ενοποίησης

17



Τέλος της εποχής του πληθωρισμού. Το σύμπαν συνεχίζει να διαστέλεται. Οι ισχυρές δυνάμεις διαχωρίζονται από τις ηλεκτρασθενείς

$t = 10^{-35}$ s, 10^{27} K (10^{16} GeV, 10^{-32} m) :
Inflation

The rate of expansion increases exponentially for a short period. The universe doubled in size every 10^{-34} s. Inflation stopped at around 10^{-32} s. The universe increased in size by a factor of 10^{50} . This is equivalent to an object the size of a proton swelling to 10^{19} light years across. The whole universe is estimated to have had a size of $\sim 10^{26}$ m at the end of the period of inflation. However the presently visible universe was only 3 m in size after inflation. This solves the problems of 'horizon' (how is it possible for two opposing parts of the present universe to be at the same temperature when they cannot have interacted with each other before recombination) and 'flatness' (density of matter is close to the critical density).

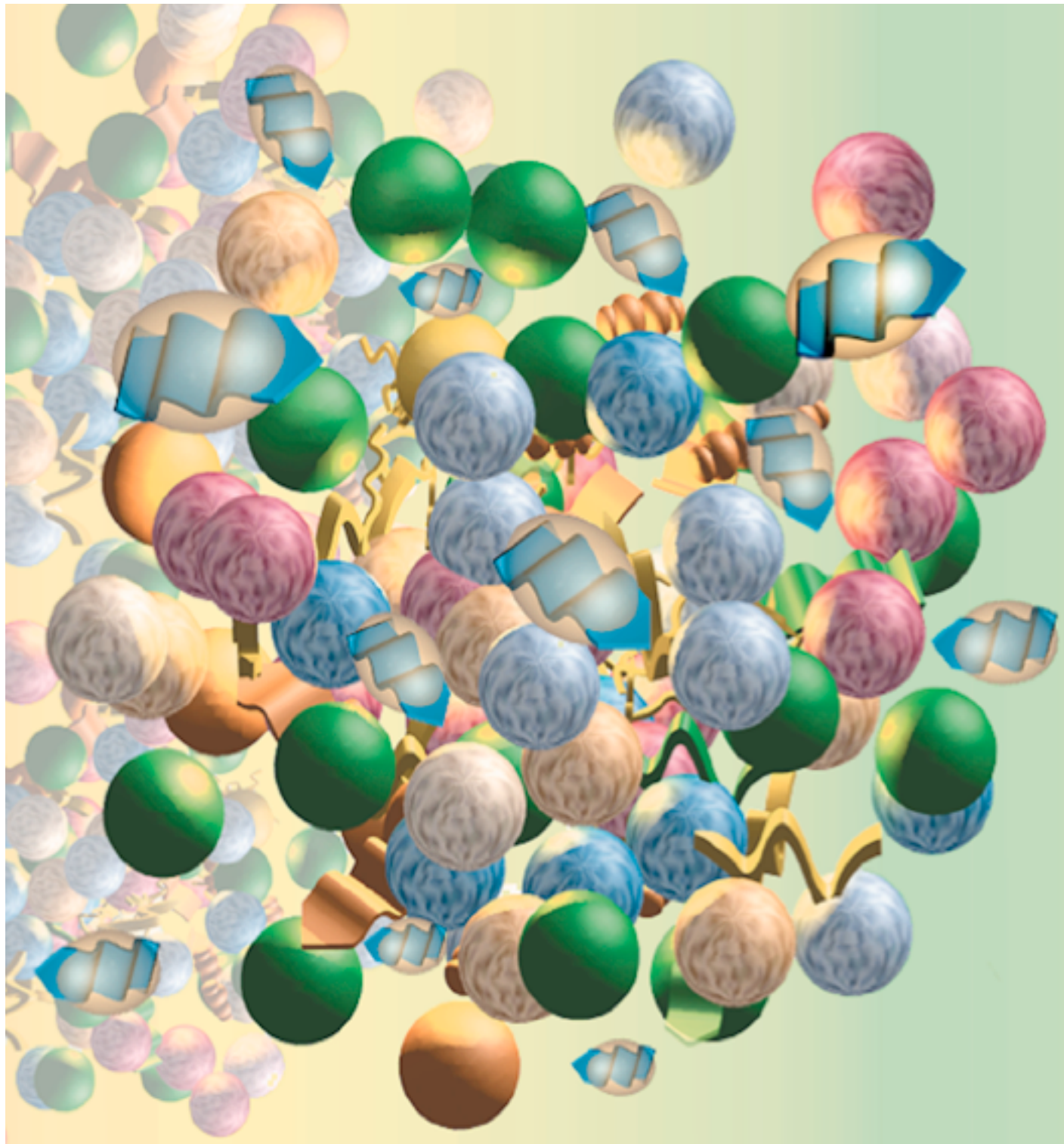
$t = 10^{-32}$ s : Strong forces freezes out

Through another phase transition the strong force "freezes" out and a slight excess of matter over anti-matter develops. This excess, at a level of 1 part in a billion, is sufficient to give the presently observed predominance of matter over anti-matter. The temperature is too high for quarks to remain clumped to form neutrons or protons and so exist in the form of a quark gluon plasma. The LHC can study this by colliding together high energy nuclei.

10^{-10} sec (10^{15} K):

Εποχή της Ηλεκτρασθενούς Δύναμης

18



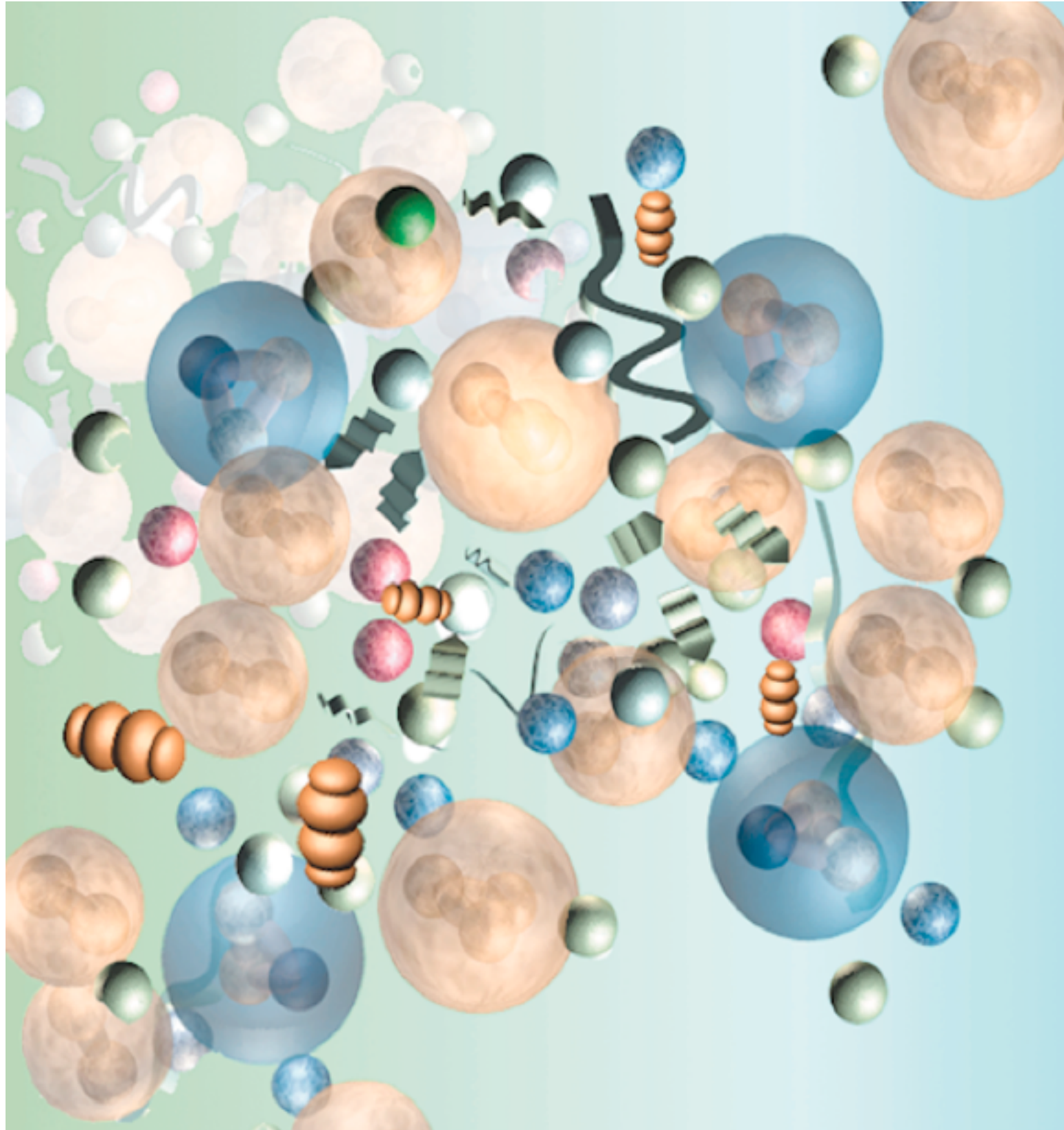
Διαχωρίζονται οι
ασθενείς από τις
ηλεκτρομαγνητικές
δυνάμεις
Η πυκνότητα ενέργειας
αντιστοιχεί σε αυτή του
LEP

$t = 10^{-10}$ s, 10^{15} K (100 GeV, 10^{-18} m) :
Electromagnetic and Weak Forces
separate

The energy density corresponds to that at LEP. As the temperature fell the weak force "freezes" out and all four forces become distinct in their actions. The antiquarks annihilate with the quarks leaving a residual excess of matter. W and Z bosons decay. In general unstable massive particles disappear when the temperature falls to a value at which photons from the black-body radiation do not have sufficient energy to create a particle-antiparticle pair.

10^{-4} sec (10^{13} K): Σχηματισμός Πρωτονίων και Νετρονίων

19



Τα quark συνδυάζονται
και σχηματίζουν τα
πρωτόνια και τα
νετρόνια

$t = 10^{-4}$ s, 10^{13} K (1 GeV, 10^{-16} m) :
Protons and Neutrons form

The universe has grown to the size of our solar system. As the temperature drops quark-antiquark annihilation stops and the remaining quarks combine to make protons and neutrons.

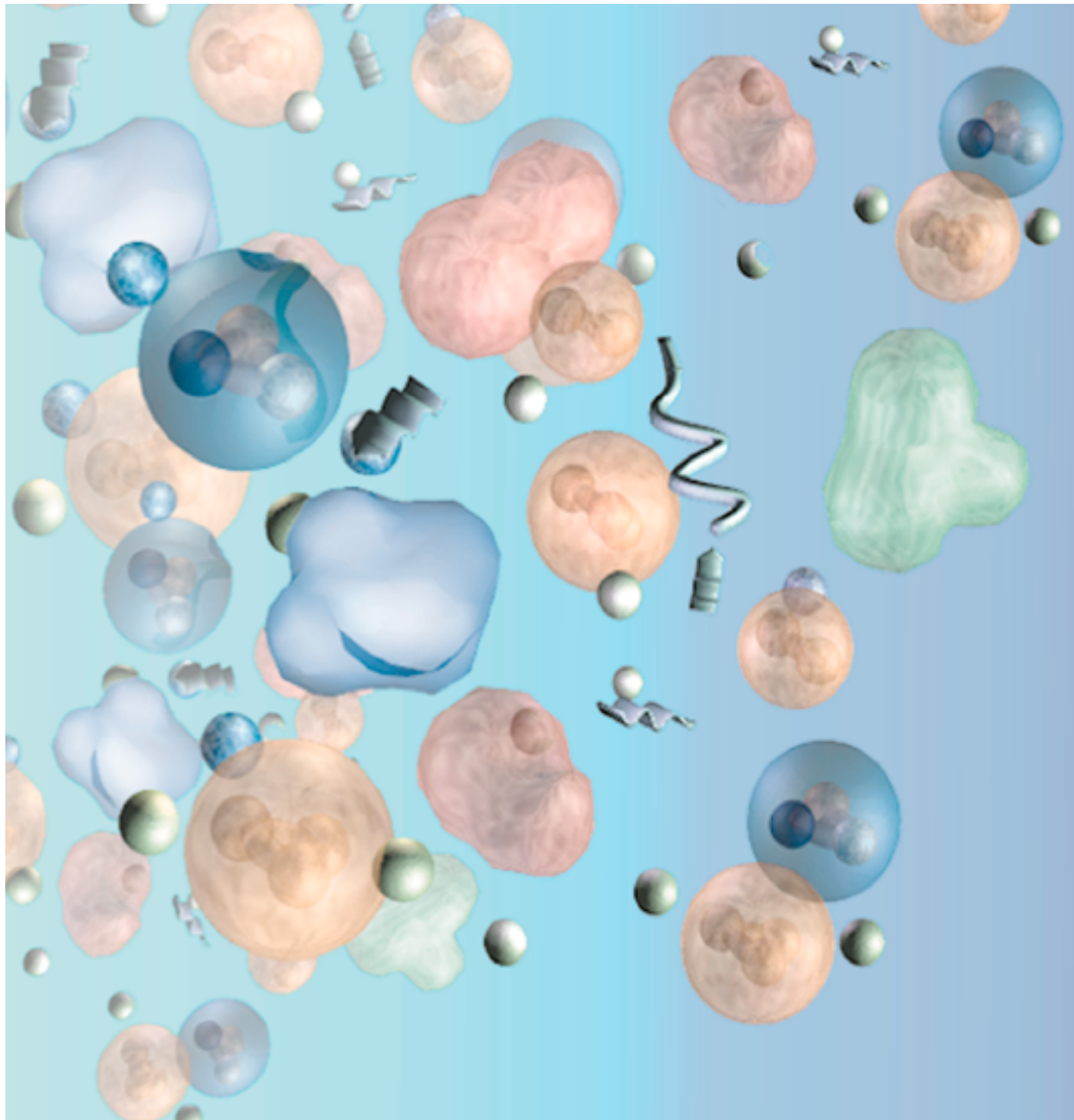
$t = 1$ s, 10^{10} K (1 MeV, 10^{-15} m) :
Neutrinos decouple

The neutrinos become inactive (essentially do not participate further in interactions). The electrons and positrons annihilate and are not recreated. An excess of electrons is left. The neutron-proton ratio shifts from 50:50 to 25:75.

ονίκη, 3 Δεκ. 2012

10^2 sec (10^9 K): Σχηματισμός Πυρήνων

20



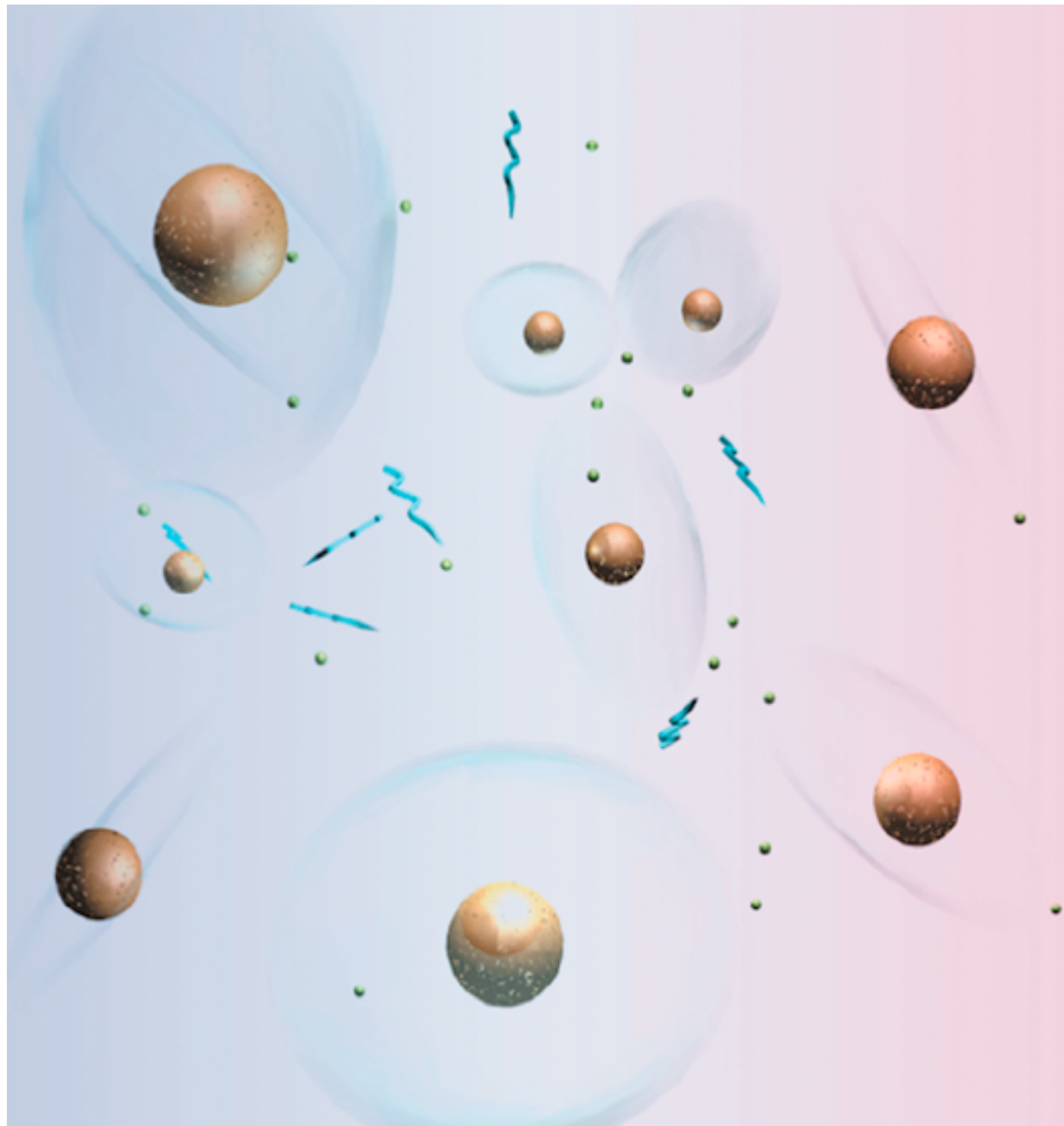
Τα πρωτόνια και τα νετρόνια συνδυάζονται και σχηματίζουν τους πρώτους πυρήνες (D, He, Li)

**$t = 3$ minutes, 10^9 K (0.1 MeV, 10^{-12} m) :
Nuclei are formed**

The temperature is low enough to allow nuclei to be formed. Conditions are similar to those that exist in stars today or in thermonuclear bombs. Heavier nuclei such as deuterium, helium and lithium soak up the neutrons that are present. Any remaining neutrons decay with a time constant of ~ 1000 seconds. The neutron-proton ratio is now 13:87. The bulk constitution of the universe is now in place consisting essentially of protons (75%) and helium nuclei. The temperature is still too high to form any atoms and electrons form a gas of free particles.

3×10^5 έτη (6000 K): Εποχή του “φωτός”, Σχηματισμός ατόμων

21



Το σύμπαν γίνεται
“διαφανές” και
σχηματίζονται τα
πρώτα άτομα

$t = 300\,000$ years, 6000 K (0.5 eV, 10^{-10} m) :
Atoms are created

Electrons begin to stick to nuclei. Atoms of hydrogen, helium and lithium are created. Radiation is no longer energetic enough to break atoms. The universe becomes transparent. Matter density dominates. Astronomy can study the evolution of the Universe back to this time.

10^9 έτη (18 K): Σχηματισμός των γαλαξιών

22



Σχηματίζονται οι
πρώτοι γαλαξίες

$t = 10^9$ years, 18 K : Galaxy Formation

Local mass density fluctuations act as seeds for stellar and galaxy formation. The exact mechanism is still not understood. Nucleosynthesis, synthesis of heavier nuclei such as carbon up to iron, starts occurring in the thermonuclear reactors that are stars. Even heavier elements are synthesized and dispersed in the brief moment during which stellar collapse and supernovae explosions occur.

13.6×10^9 έτη (3 K):
Σήμερα

23

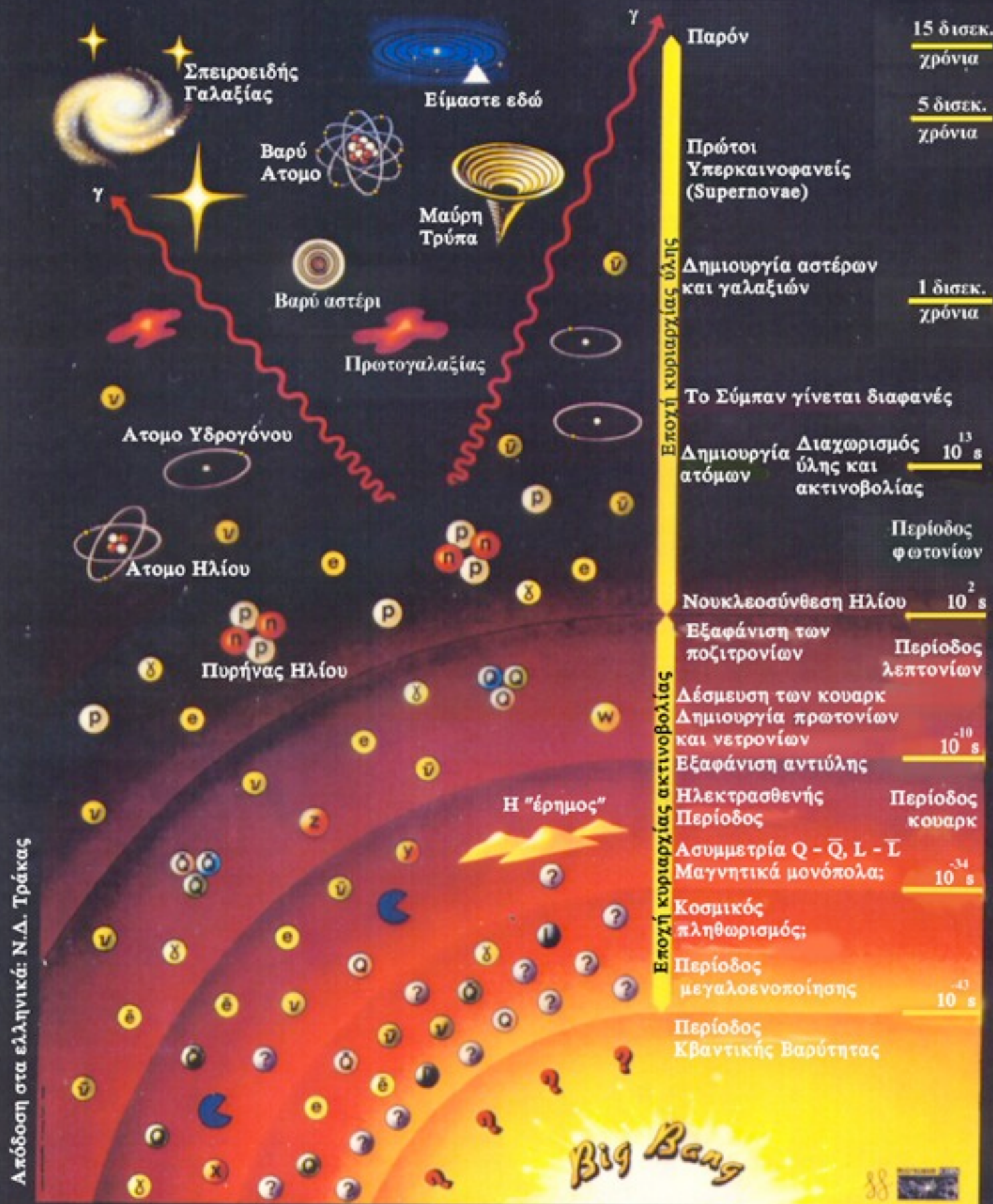


Υπάρχουμε !

$t = 15 \times 10^9$ years, 3 K : Humans

The present day. Chemical processes have linked atoms to form molecules. From the dust of stars and through coded messages (DNA) humans emerge to observe the universe around them.

Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ



Ο Μικρόκοσμος και το Σύμπαν

← 1 δισεκ. χρόνια

Δημιουργία αστέρων και γαλαξιών

← 10^{13} sec

Δημιουργία ατόμων
Διαχωρισμός ύλης και ακτινοβολίας

← 10^2 sec

Δημιουργία πρωτονίων και νετρονίων

← 10^{-18} sec

Εξαφάνιση αντιύλης

← 10^{-34} sec

Ενοποίηση των ηλεκτροασθενών δυνάμεων

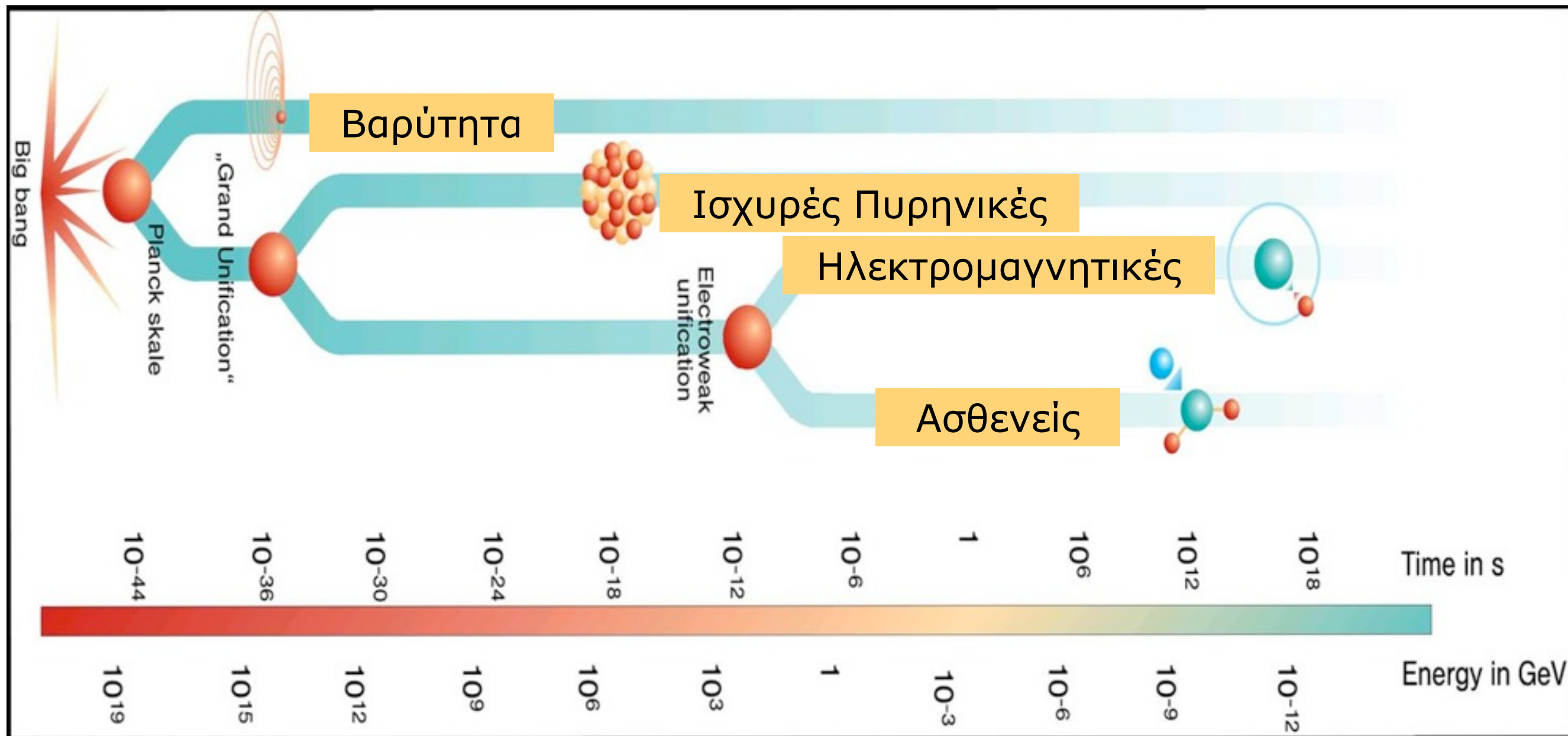
Επιταχυντές : SPS, LEP, LHC

← 10^{-43} sec

Μεγαλο-Ενοποίηση των Δυνάμεων

Το “Ενοποίηση των Δυνάμεων”

25

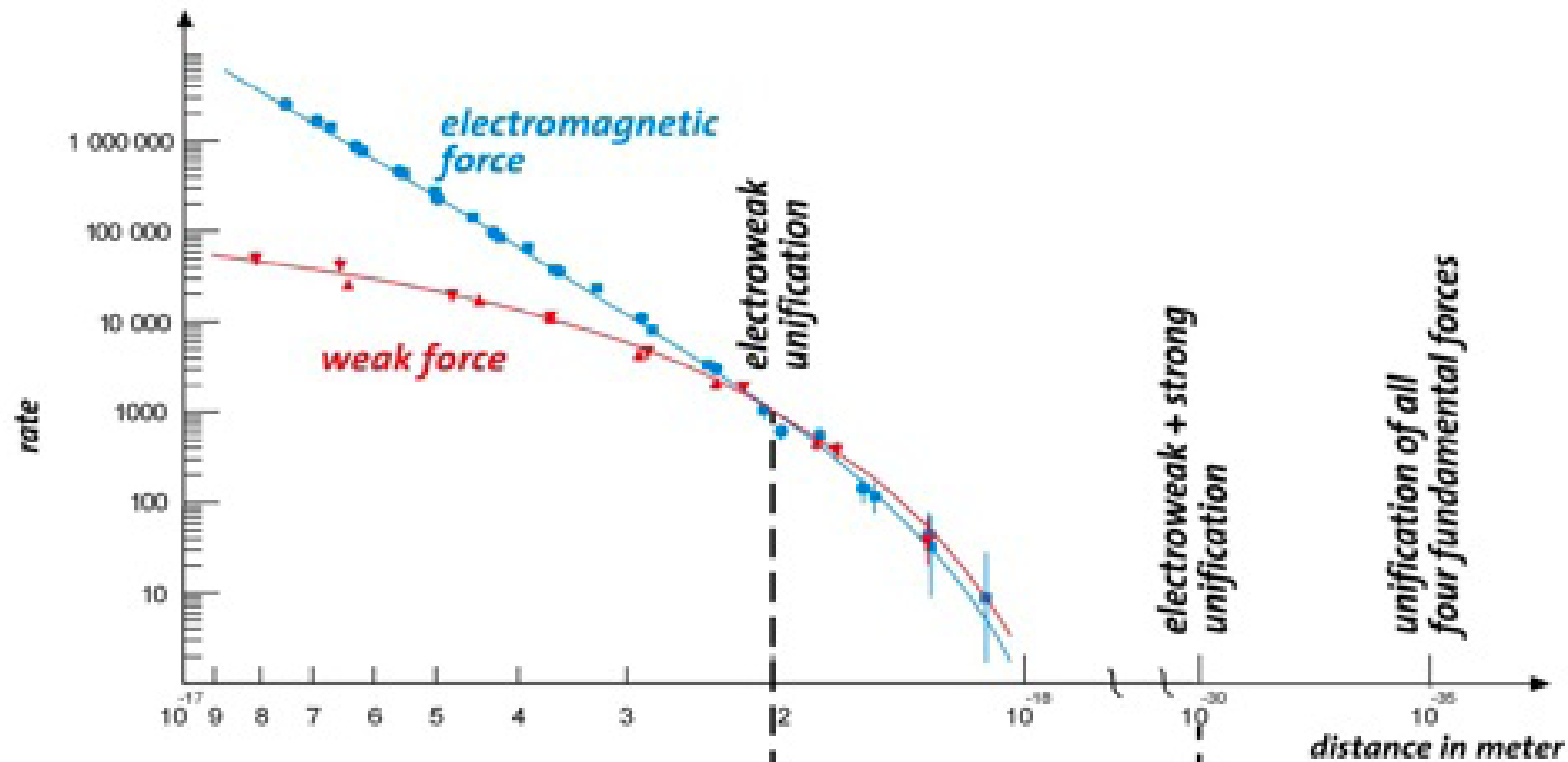


Πετρίδου Χάρα

Θεσσαλονίκη, 3 Δεκ. 2012

Το “Σπάσιμο της Συμμετρίας”

26



strong force

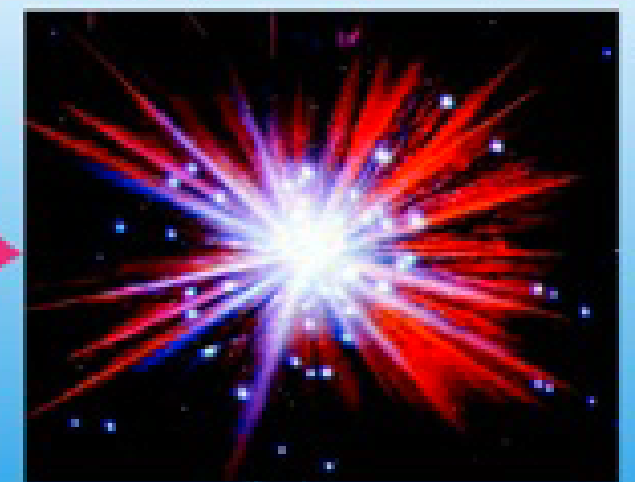
electromagnetic force

weak force

gravity

electroweak force

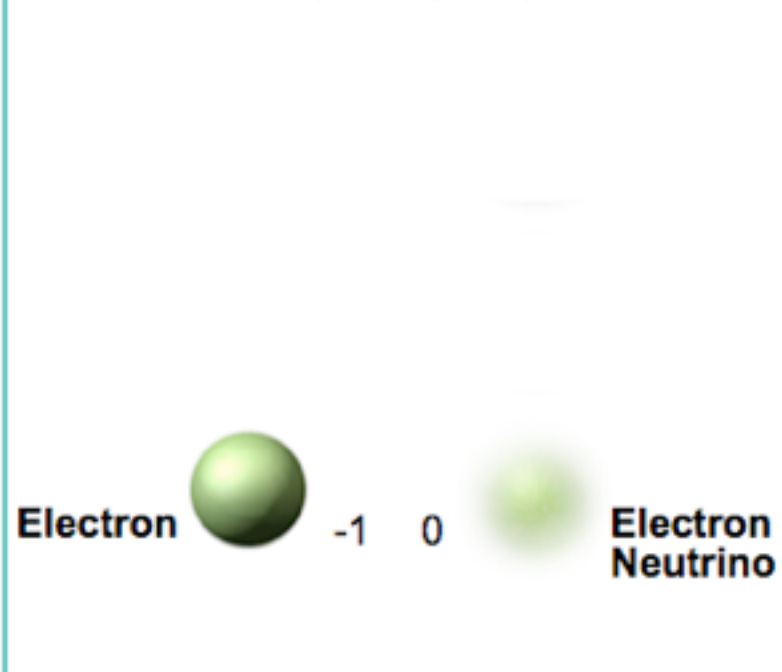
big bang



Τα Στοιχειώδη σωματίδια του κόσμου μας

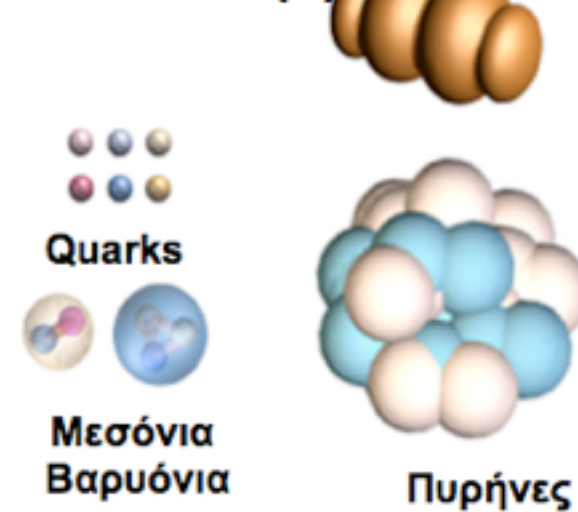
27

Λεπτόνια



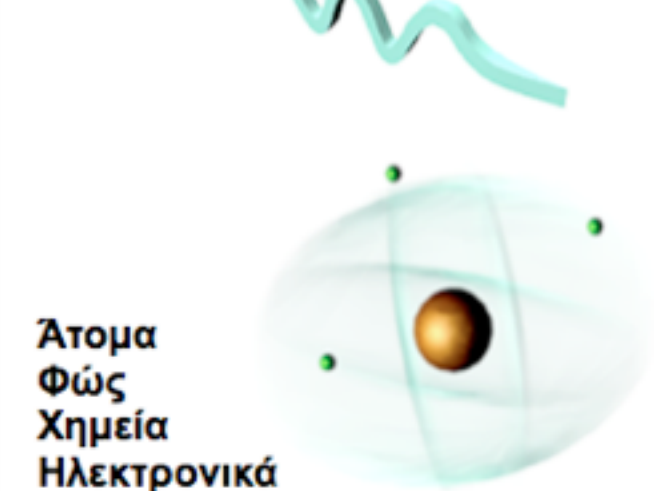
Ισχυρή

Γλουόνια(8)



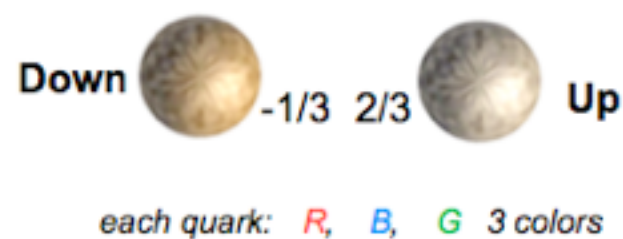
Ηλεκτρομαγνητισμός

Φωτόνια



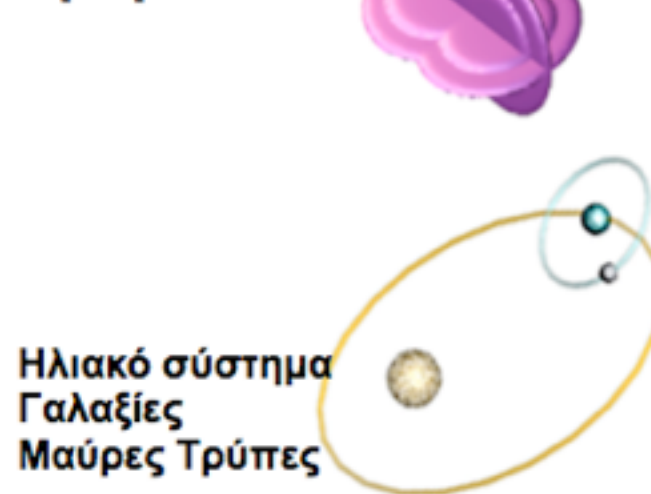
Quarks

Electric Charge



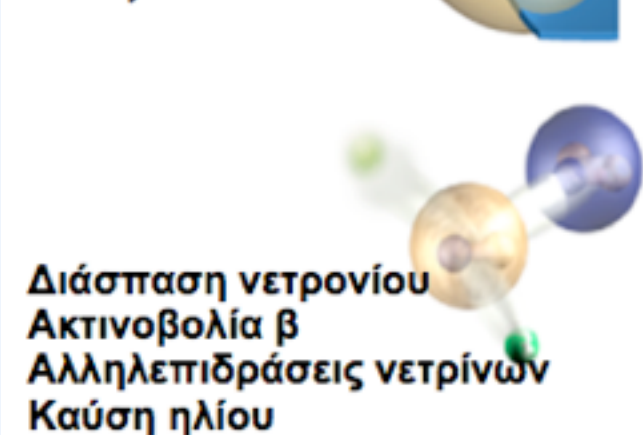
Βαρύτητα

Γραβιτόνιο?



Ασθενής

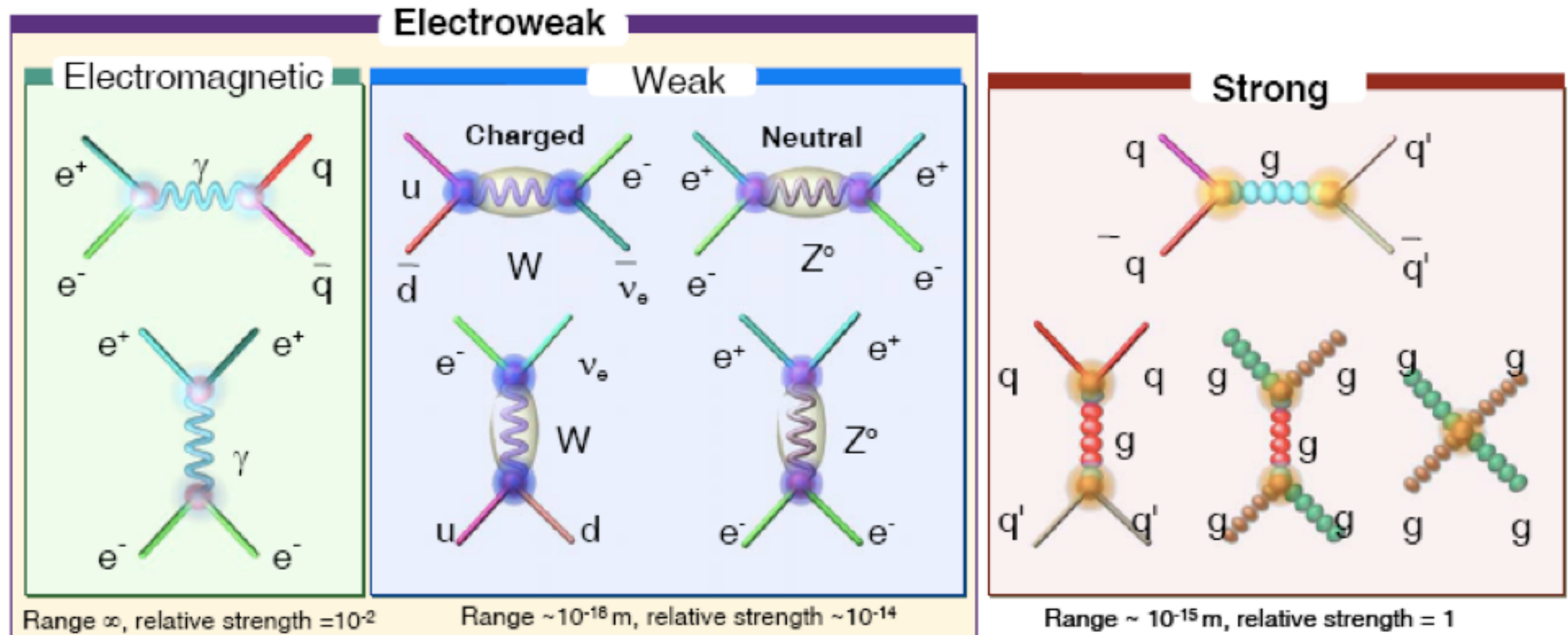
Μποζόνια W, Z



Δυνάμεις/Αλληλεπιδράσεις: Περιγράφονται με μία Κβαντική Θεωρία Πεδίου

28

“Σωματίδια της ύλης” (spin 1/2) αλληλεπιδρούν μέσω ανταλλαγής των
“σωματιδίων της δύναμης” (spin-1)



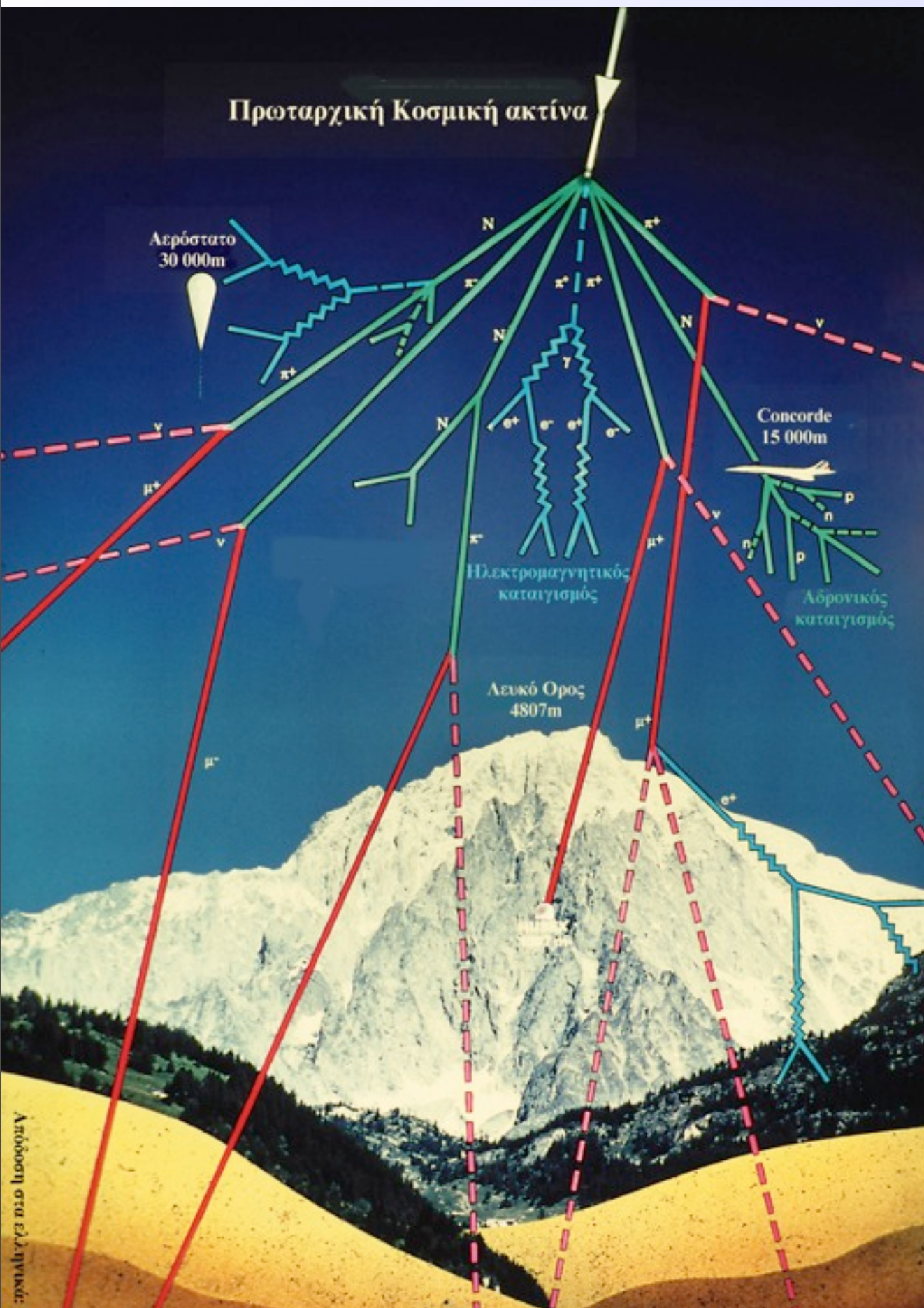
Δύναμη $\Rightarrow$ Ύπαρξη “φορτίου” το οποίο θα πρέπει να διατηρείται
Διατήρηση “φορτίου” $\Rightarrow$ Ύπαρξη Συμμετρίας
Το Καθιερωμένο Πρότυπο είναι μια κβαντική θεωρία πεδίου που έχει την
“εσωτερική συμμετρία”: $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

Πετρίδου Χαρά

Θεσσαλονίκη, 3 Δεκ. 2012

- Πως αποκτούν τα σωματίδια μάζα?
 - ▶ Υπάρχει το σωματίδιο Higgs?
- Υπάρχουν άλλες Συμμετρίες στη Φύση?
 - ▶ Υπάρχει η Υπερσυμμετρία ?
 - ▶ Ισχύει η ενοποίηση των δυνάμεων ?
- Τι είναι η Σκοτεινή Ύλη ?
- Έχουν δομή τα quarks?
- Ποιές είναι οι ιδιότητες της πυρηνικής ύλης στην υπέρθερμη κατάσταση φάσης: **quark-gluon πλάσμα?**

- Πως παράγουμε τα στοιχειώδη σωματίδια για να τα μελετήσουμε?
 - ▶ Το Διάστημα ! Είναι ... “Εργοστάσιο κατασκευής Σωματιδίων”.... Ο ισχυρότερος αλλά ανεξέλεκτος “παραγωγός” σωματιδίων
 - ▶ Οι επιταχυντές ! που κατασκευάζονται στη γή, είναι ελεγχόμενης ενέργειας και έντασης “παραγωγοί” σωματιδίων



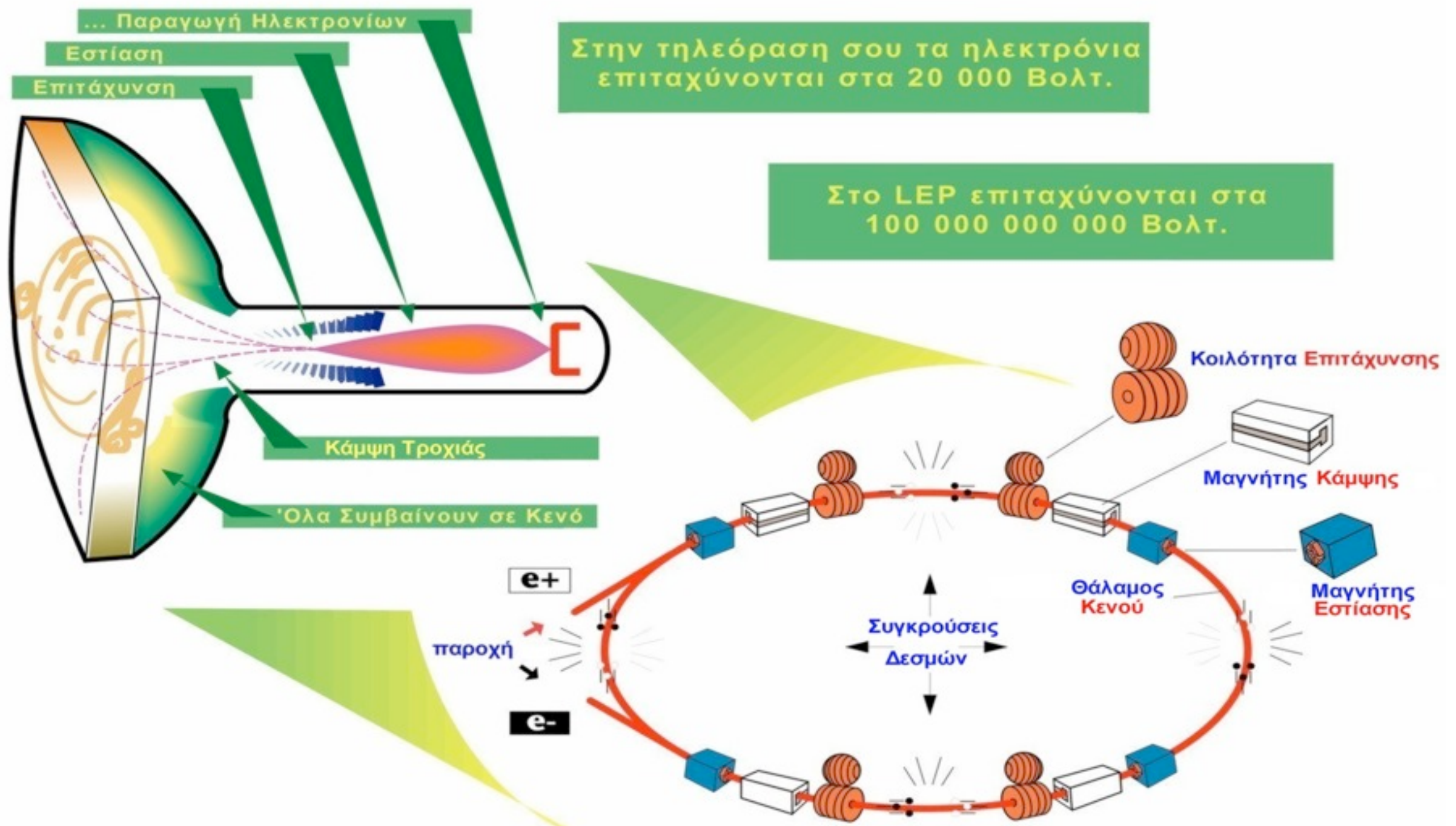
Στοιχειώδη σωματίδια
φτάνουν στη γή μας από
το ...διάστημα !

Κοσμική Ακτινοβολία

- Αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα της Γης
- Δευτερογενής παραγωγή σωματιδίων
- Ηλεκτρόνια, Μιόνια, Νετρίνα βομβαρδίζουν συνεχώς την Γη

Η τηλεόρασή μας: Ο απλούστερος και μικρότερος επιταχυντής !

32



Έχει εφαρμογές στη καθημερινή μας ζωή η έρευνα για τα στοιχειώδη σωματίδια?

33

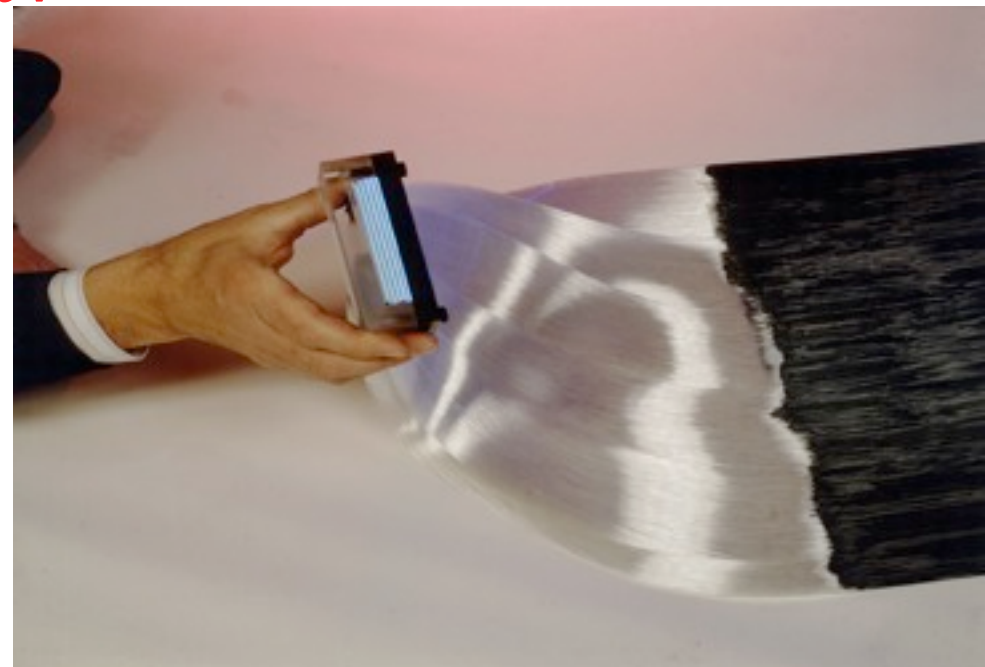
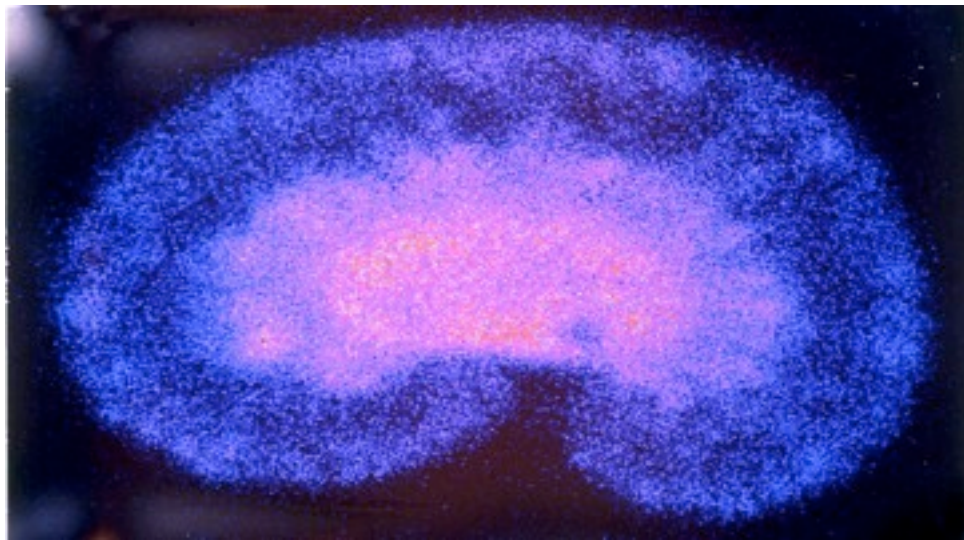
Τεχνοβλαστοί-Εφαρμογές της έρευνας για τα στοιχειώδη σωματίδια

Ιατρική Φυσική:

Διαγνωστική: Τομογραφία

Θεραπεία: Ελεγχόμενη ακτινοβολήση

➡➡➡ Ανάπτυξη τεχνολογίας
ανιχνευτών



World Wide Web



Where the Web is born

Σύλληψη & Ανάπτυξη της επικοινωνίας στο
διαδίκτυο

Πετρίδου Χαρά

Θεσσαλονίκη, 3 Δεκ. 2012

Έχει εφαρμογές στη καθημερινή μας ζωή η έρευνα για τα στοιχειώδη σωματίδια?

34

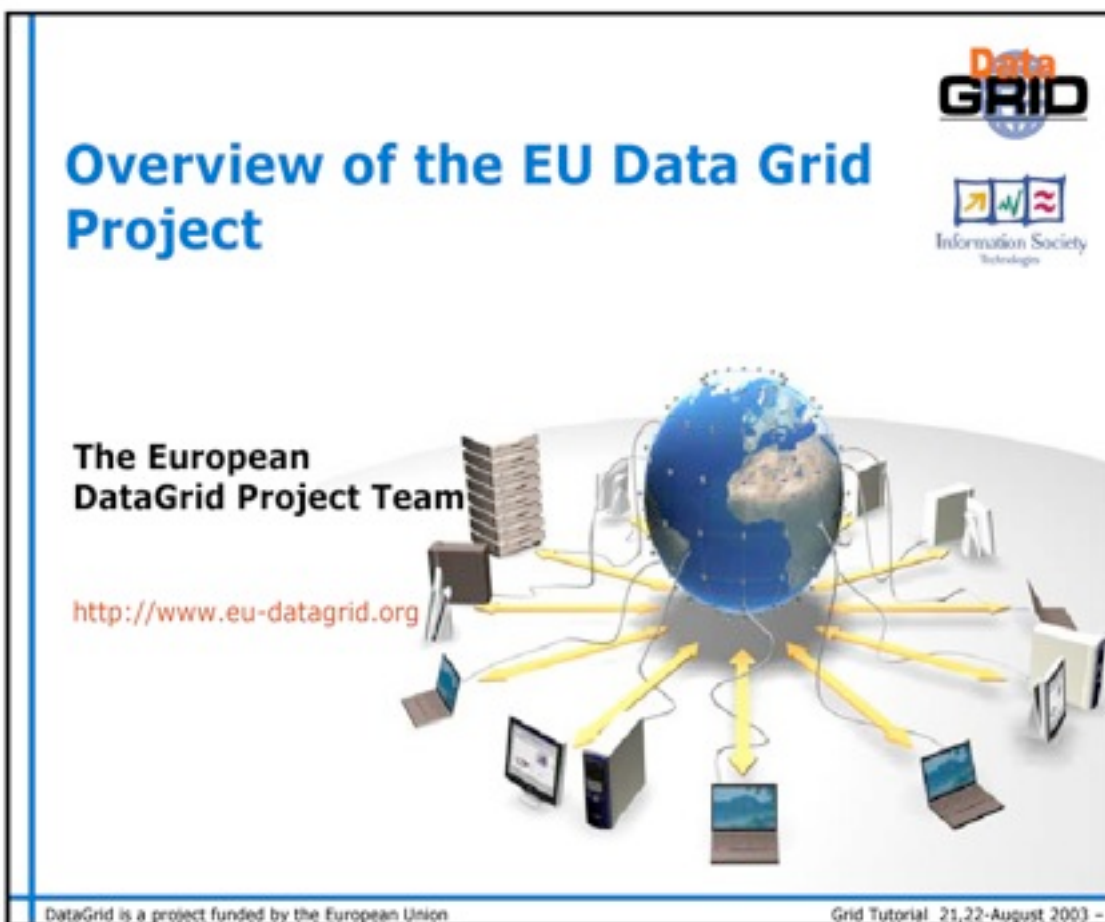
Τεχνοβλαστοί-Εφαρμογές της έρευνας για τα στοιχειώδη σωματίδια

Πληροφορική:

Ανάπτυξη της Πλεγματικής Τεχνολογίας:
GRID

Ο Παγκόσμιος Ιστός Υπολογιστικής Ισχύος
και

Αποθηκευτικού χώρου



Εκμετάλλευση των παγκόσμια
διαθέσιμων Υπολογιστικών Πόρων



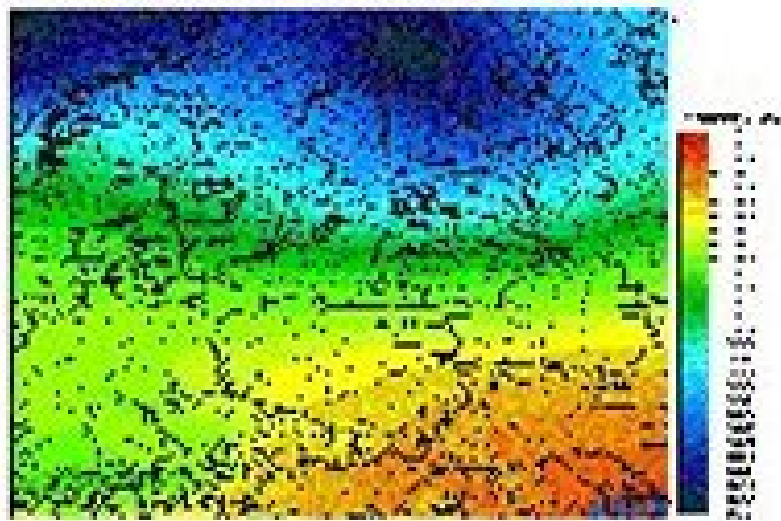
Πετρίδου Χάρα

Θεσσαλονίκη, 3 Δεκ. 2012

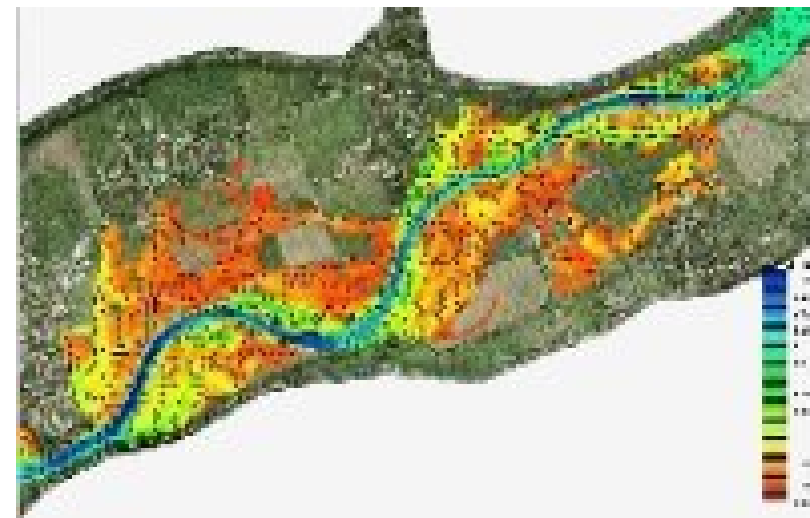
Εφαρμογές της Τεχνολογίας Grid

35

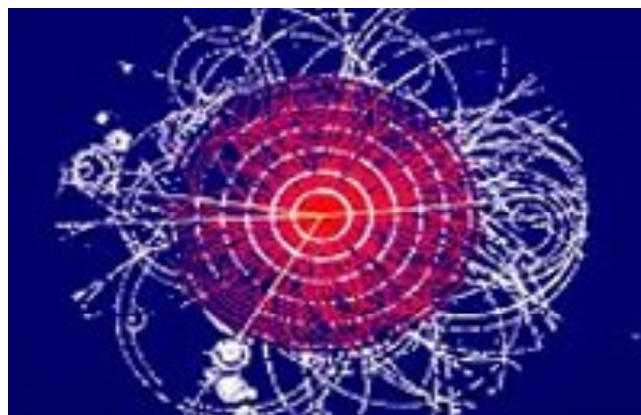
Meteo



Floods



Particle Physics

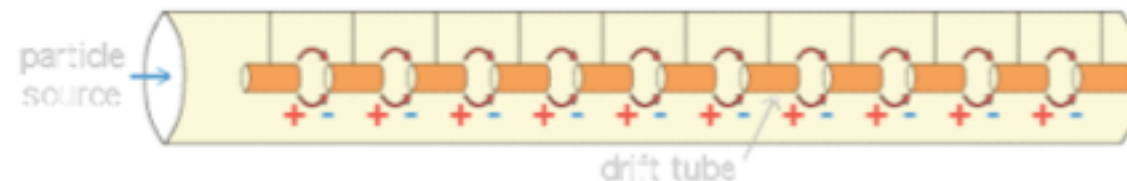


Medical



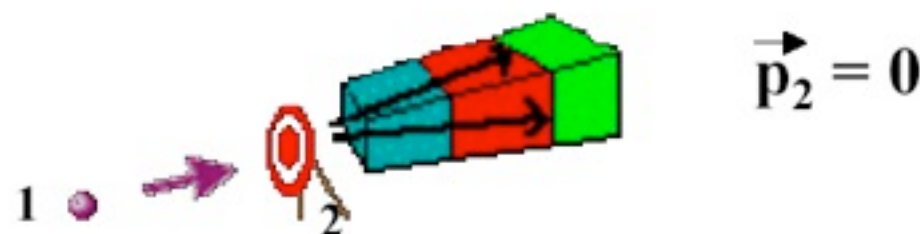
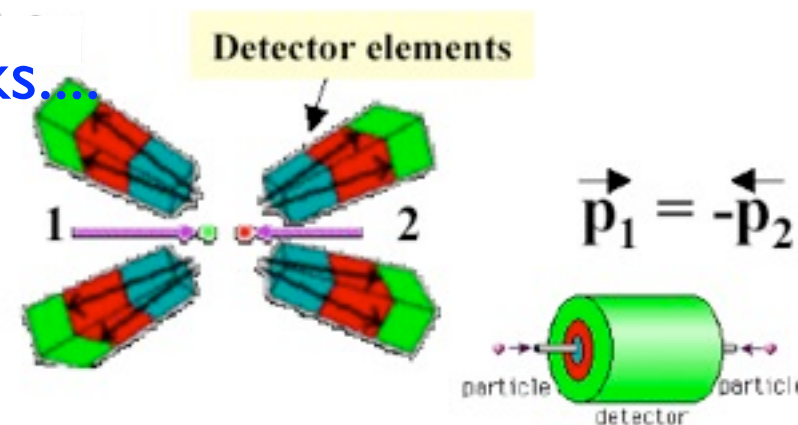
Οι Επιταχυντές Σωματιδίων σήμερα

- Επιταχύνουν σωματρία σε πολύ μεγάλες ενέργειες $\rightarrow$ μικρό μήκος κύματος (Θυμηθείτε: κανουμε Πειράματα σκέδασης $\lambda = h/p$)
- ▶ Επιταχύνουμε φορτισμένα σωματρία:
 - ▶ Έχουμε επιταχυντές ηλεκτρονίων και/ή πρωτονίων



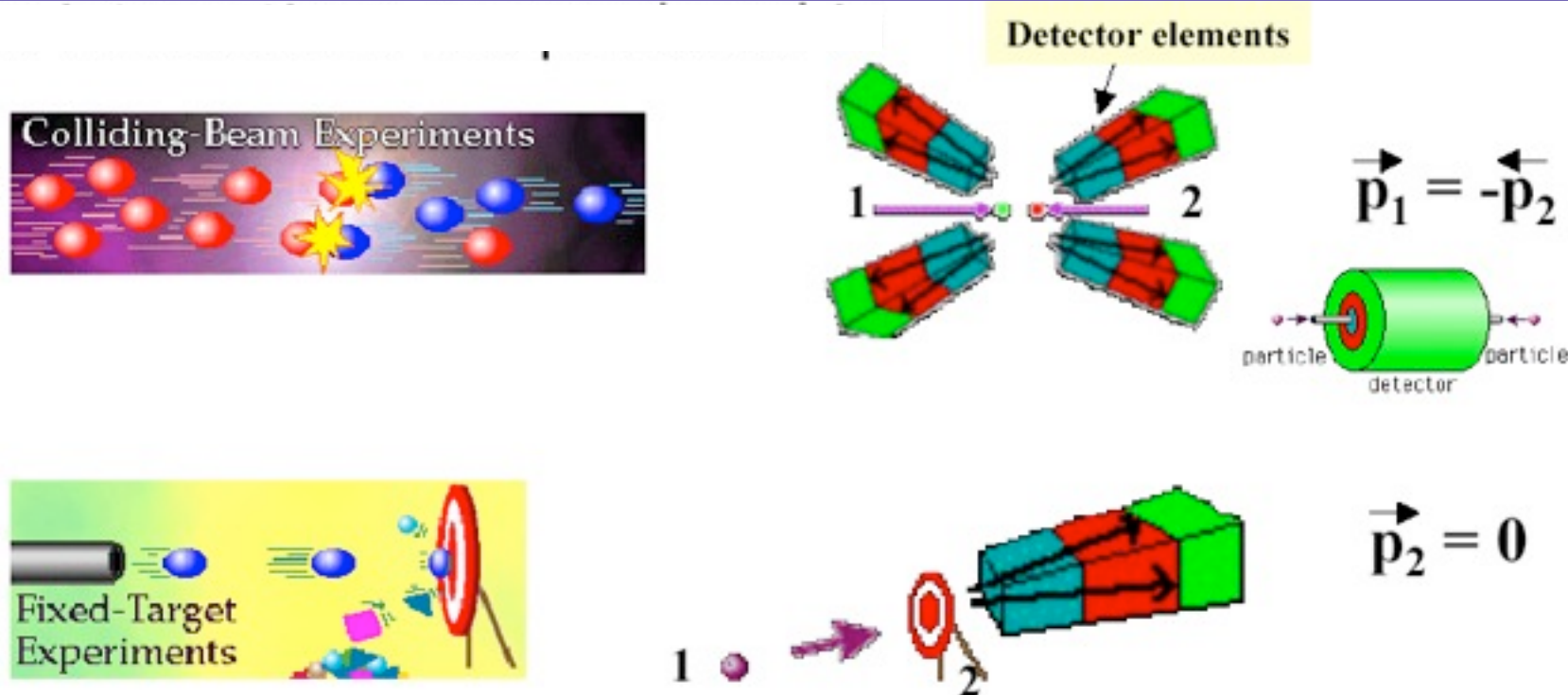
- Στη δεκαετία του 60 οι επιταχυντές ήταν “σταθερού στόχου”: τα ηλεκτρόνια προσέπιπταν σε ένα στόχο (πρωτόνια) και είχαμε παραγωγή νέων σωματίων

- ▶ Έτσι ανακαλύφθηκαν τα quarks...



Οι Επιταχυντές Σωματιδίων σήμερα

37



- Ο μεγαλύτερος επιταχυντής μέχρι το 2009 στο Fermilab:

7km proton-antiproton



Σήμερα....

Ένα από τα σημαντικότερα εγχειρήματα στην ιστορία της Φυσικής συμβαίνει στο CERN, το μεγαλύτερο στον κόσμο Εργαστήριο Σωματιδιακής Φυσικής, ξεκίνησε τον Νοέμβρη του 2009.

Το LHC στο CERN

39

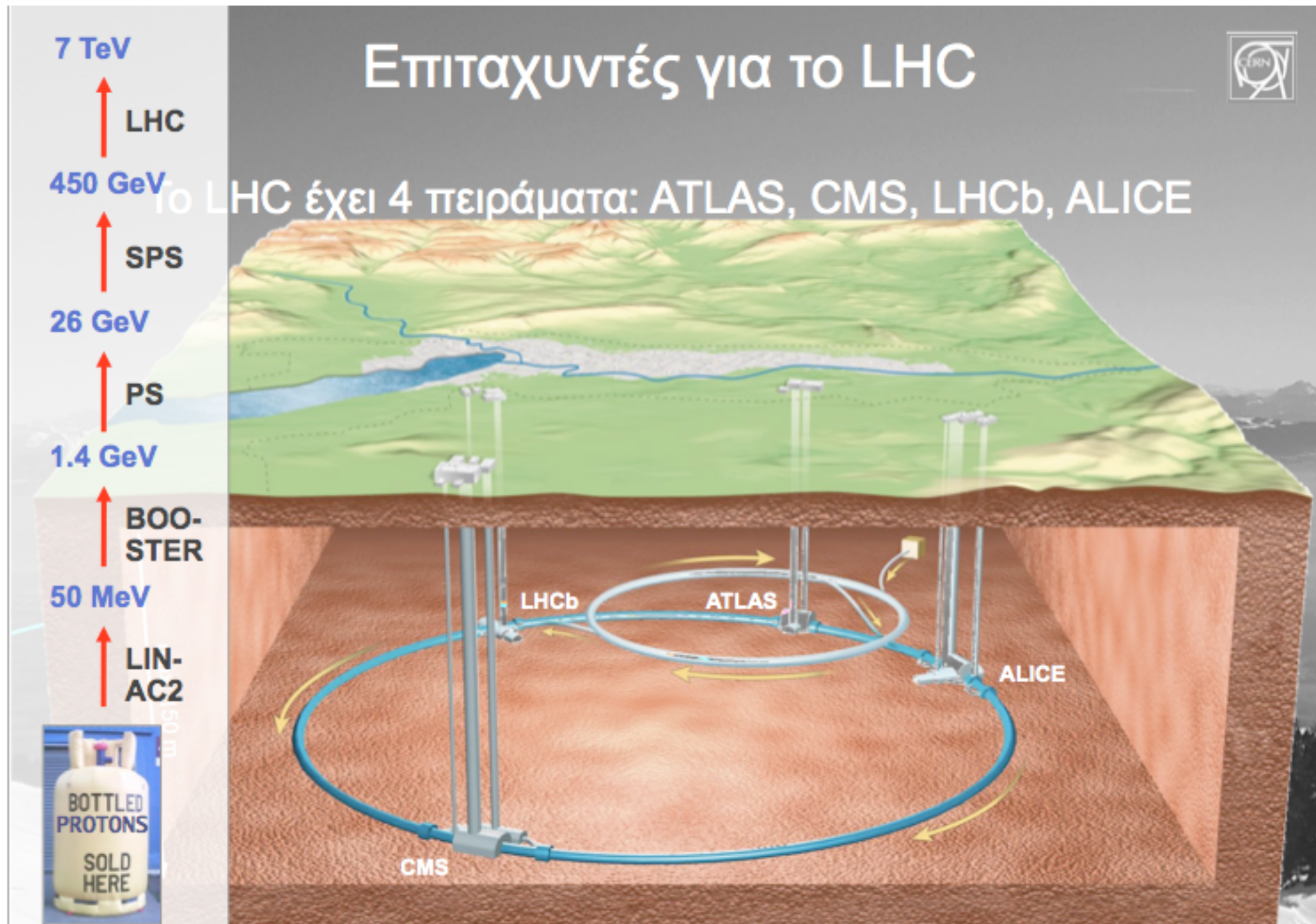


Πετρίδου Χαρά

Θεσσαλονίκη, 3 Δεκ. 2012

Το LHC στο CERN

40



Πετρίδου Χαρά

Θεσσαλονίκη, 3 Δεκ. 2012

Το LHC στο CERN

41

Κύρια παράμετρος: μαγνητικό πεδίο διπόλων που κάμπτουν τη δέσμη

$$p \text{ (TeV)} = 0.3 \text{ B(T)} R(\text{km})$$

Για $p = 7 \text{ TeV}$ και $R = 4.3 \text{ km}$

$\Rightarrow B = 8.3 \text{ T} \Rightarrow \text{Ρεύμα: } 12 \text{ kA}$

Χρειάζονται υπεραγώγιμοι μαγνήτες
LHC: ψύξη με συμπιεσμένο He (1.9K)
 $\Rightarrow$ Ψυχρότερο μέρος στο σύμπαν (?)
Ψυγεία παγωλής υγρού He: καταλώνουν 40 MW.



1232 high-tech SC dipole magnets

Ενέργεια δεσμών: 7 MJ

Βάρος διπόλων: 34 tons

Nb-Ti Y/A καλώδιο: 7600 km

Η ίδια μηχανή με συμβατικούς ηλεκτρομαγνήτες θα είχε:

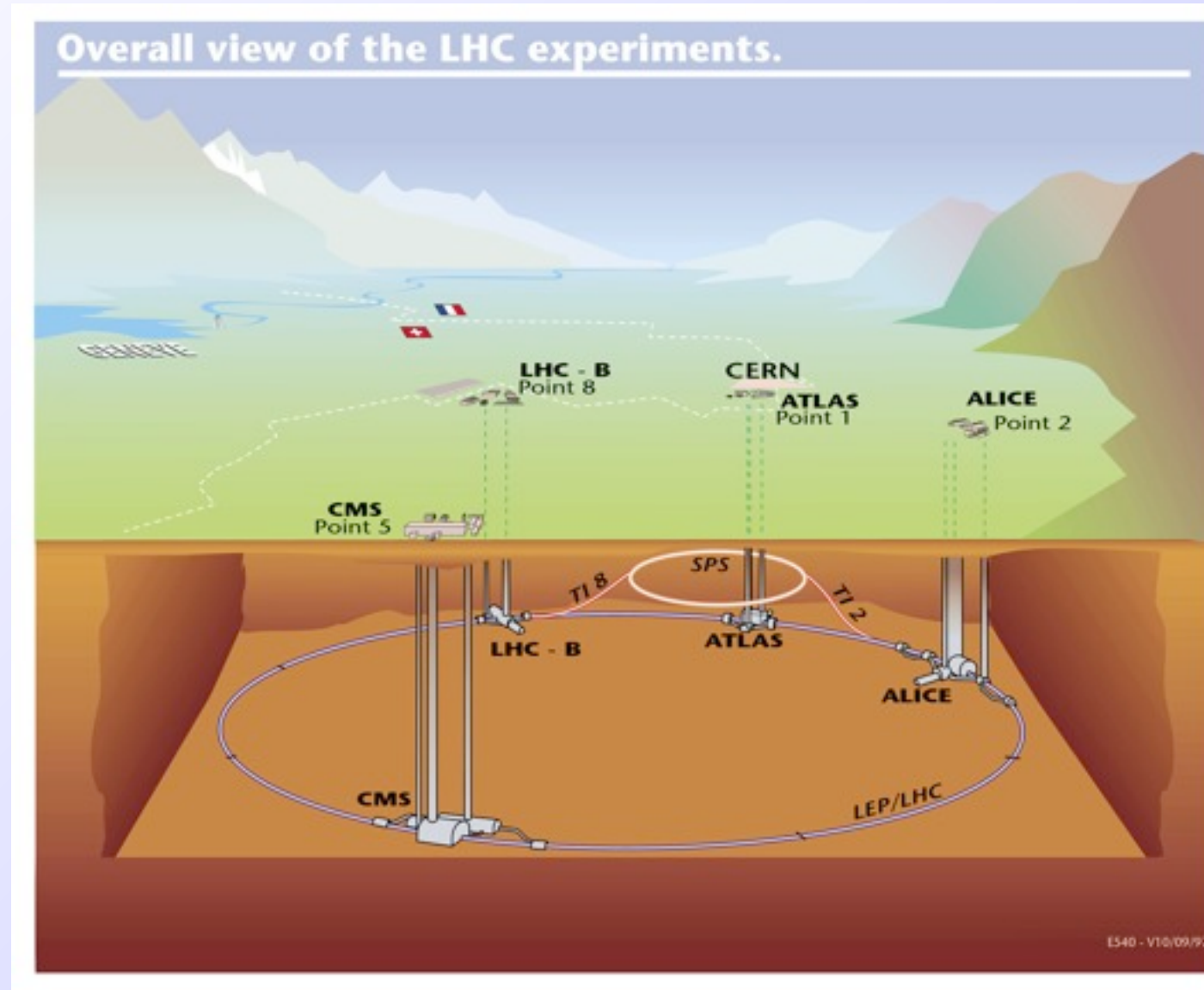
• Περίμετρο: 100 km

• Κατανάλωση ηλεκτρ: 1000 MW

Πετρίδου Χαρά

Θεσσαλονίκη, 3 Δεκ. 2012

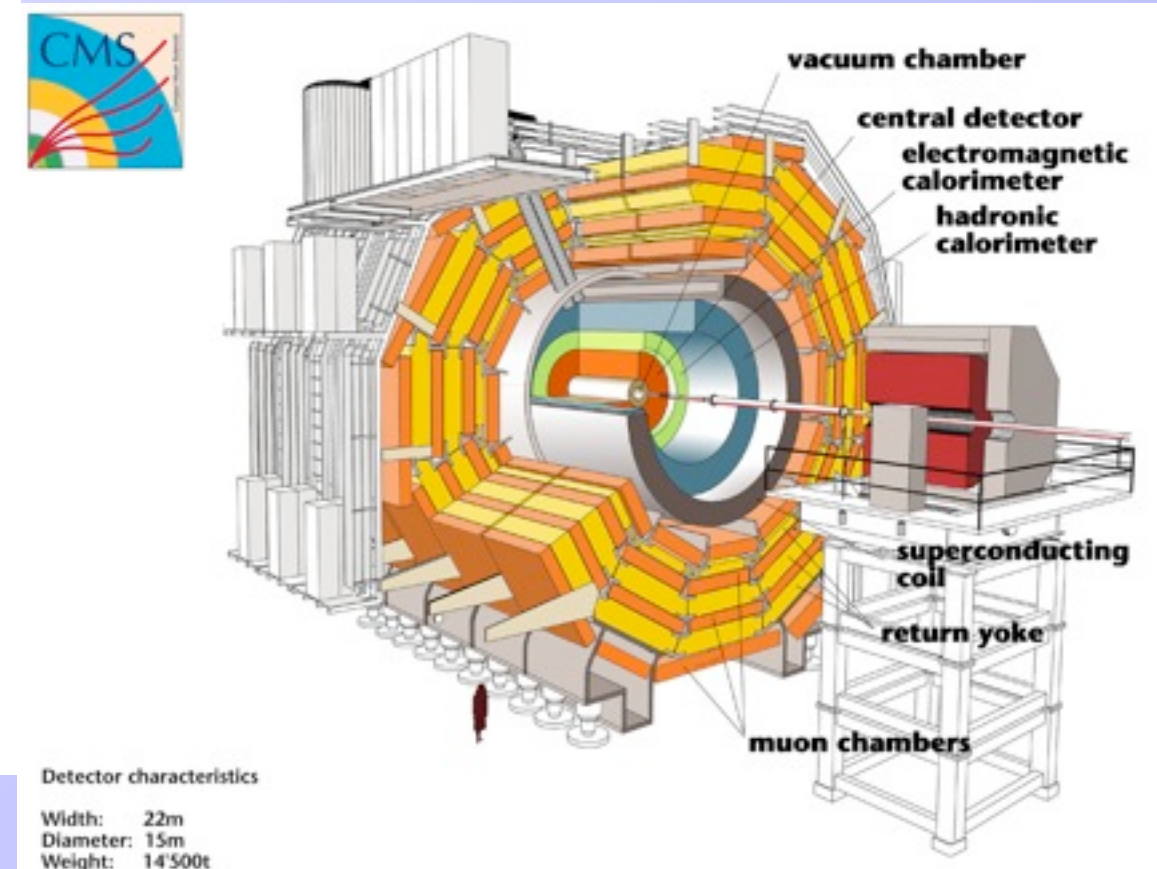
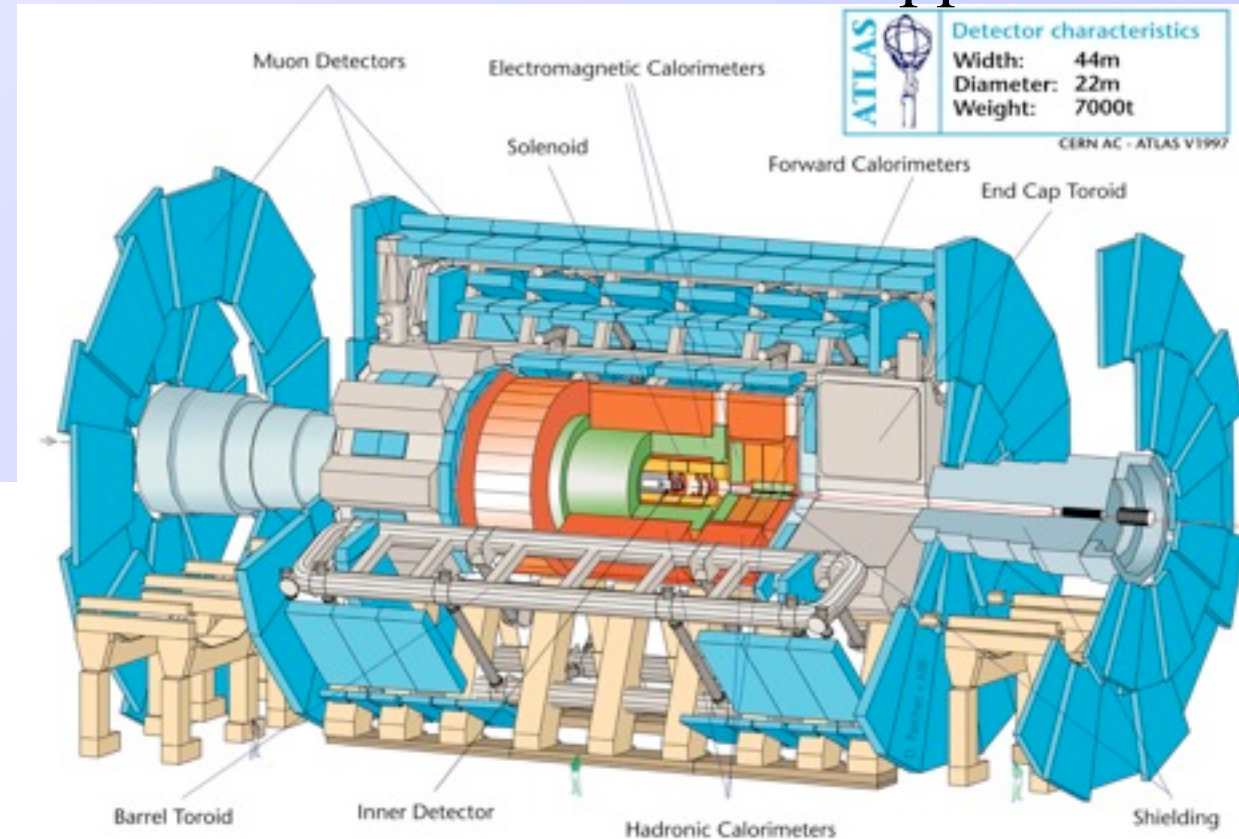
Η Υπόγεια Σήραγγα του LHC και οι πειραματικές διατάξεις γενικής σκοπιμότητας ATLAS και CMS



CMS Compact Muon Solenoid

05-Dec-10

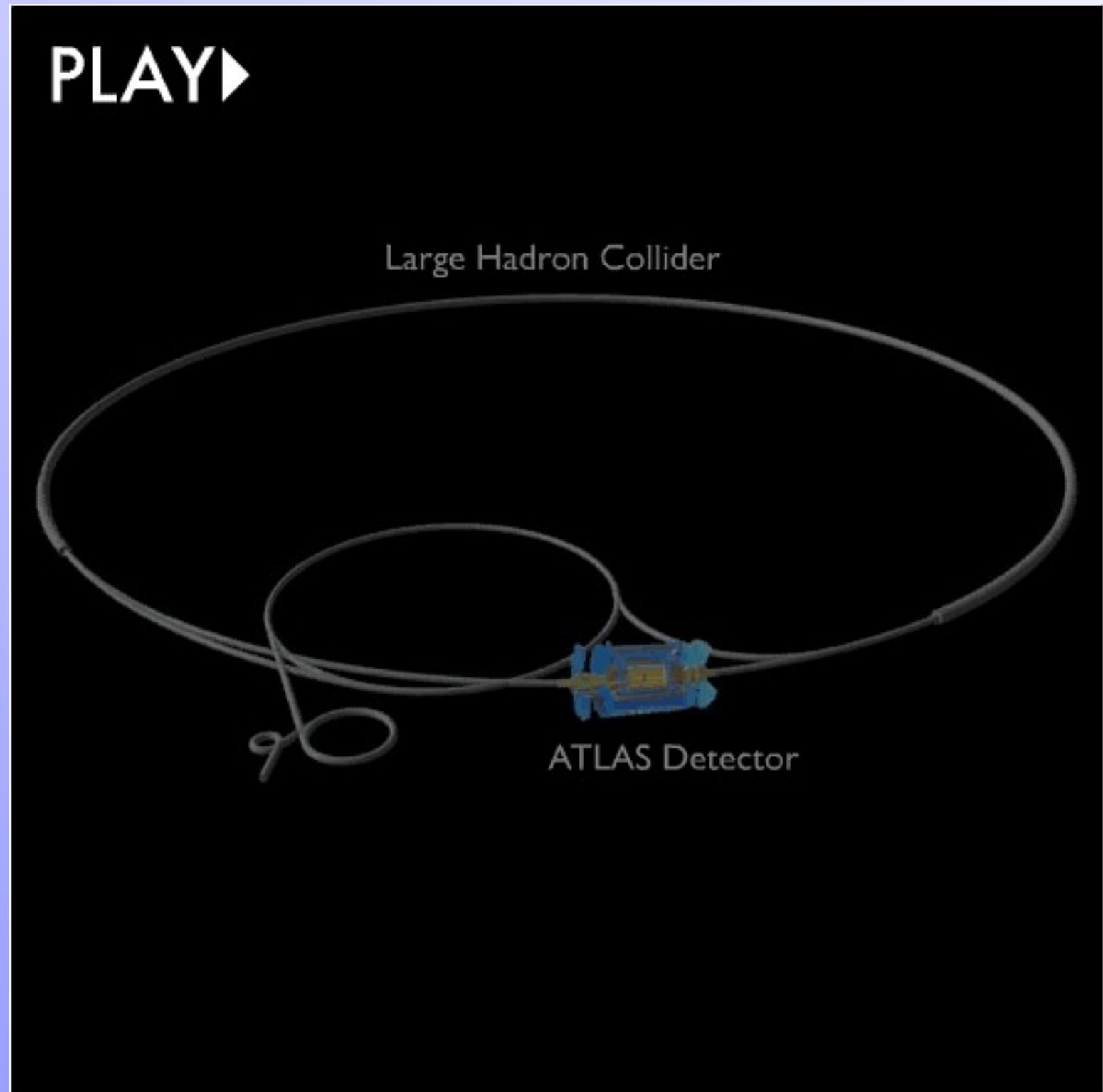
ATLAS A Toroidal LHC ApparatuS



Οι ανιχνευτές στο LHC

Γιατί είναι τόσο μεγάλοι???

Πρέπει να ανιχνεύσουν
όλα τα σωματίσια που
παράγονται στην
σύγκρουση

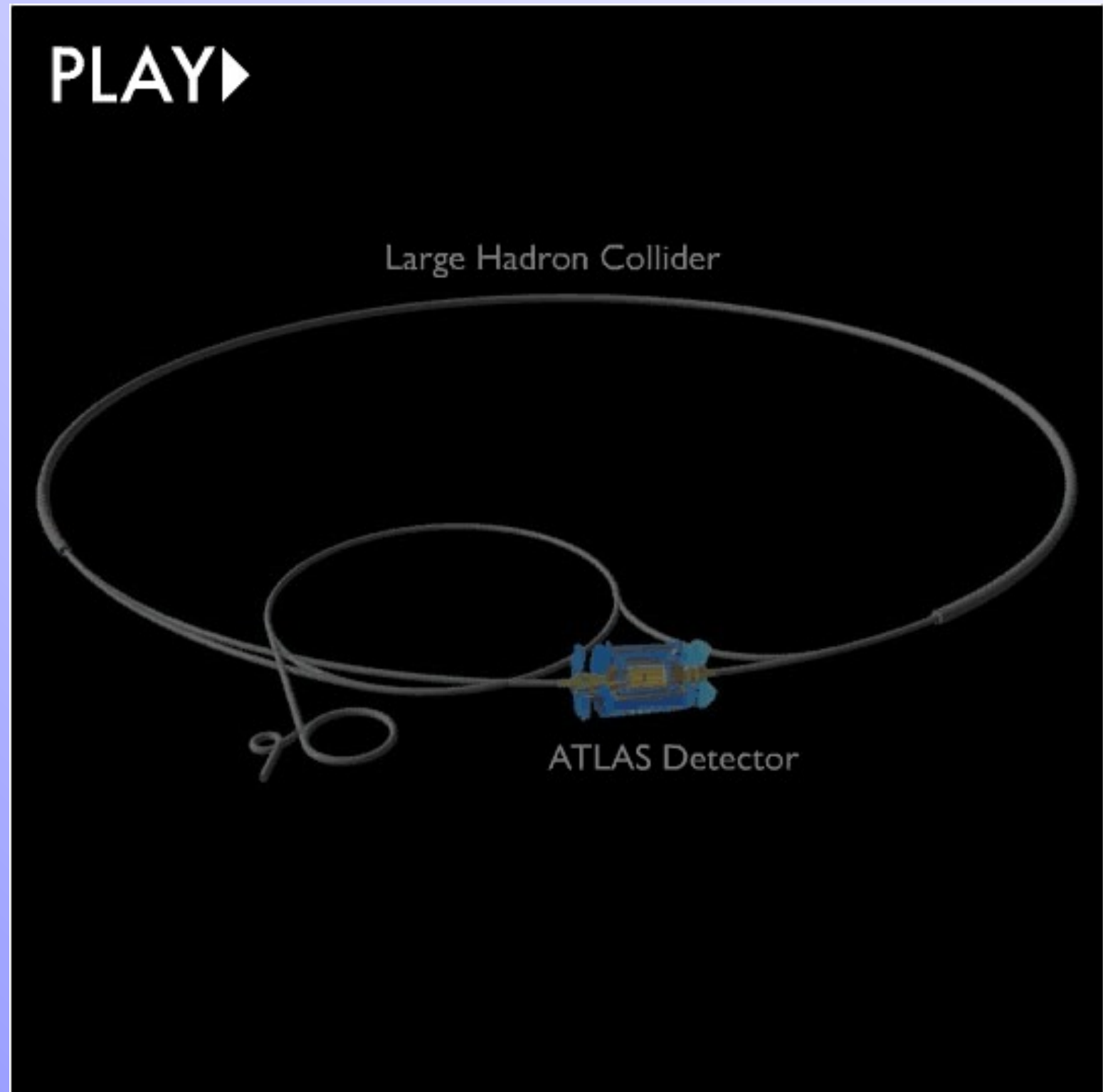


Οι ανιχνευτές στο LHC

Γιατί είναι τόσο μεγάλοι???

Πρέπει να ανιχνεύσουν
όλα τα σωματίσια που
παράγονται στην
σύγκρουση

ΔΕΝ είναι μόνο δύο τα
πρωτόνια που
συγκρούονται αλλά
πολλά συγκεντρωμένα
σε δεσμίδες (bunches)



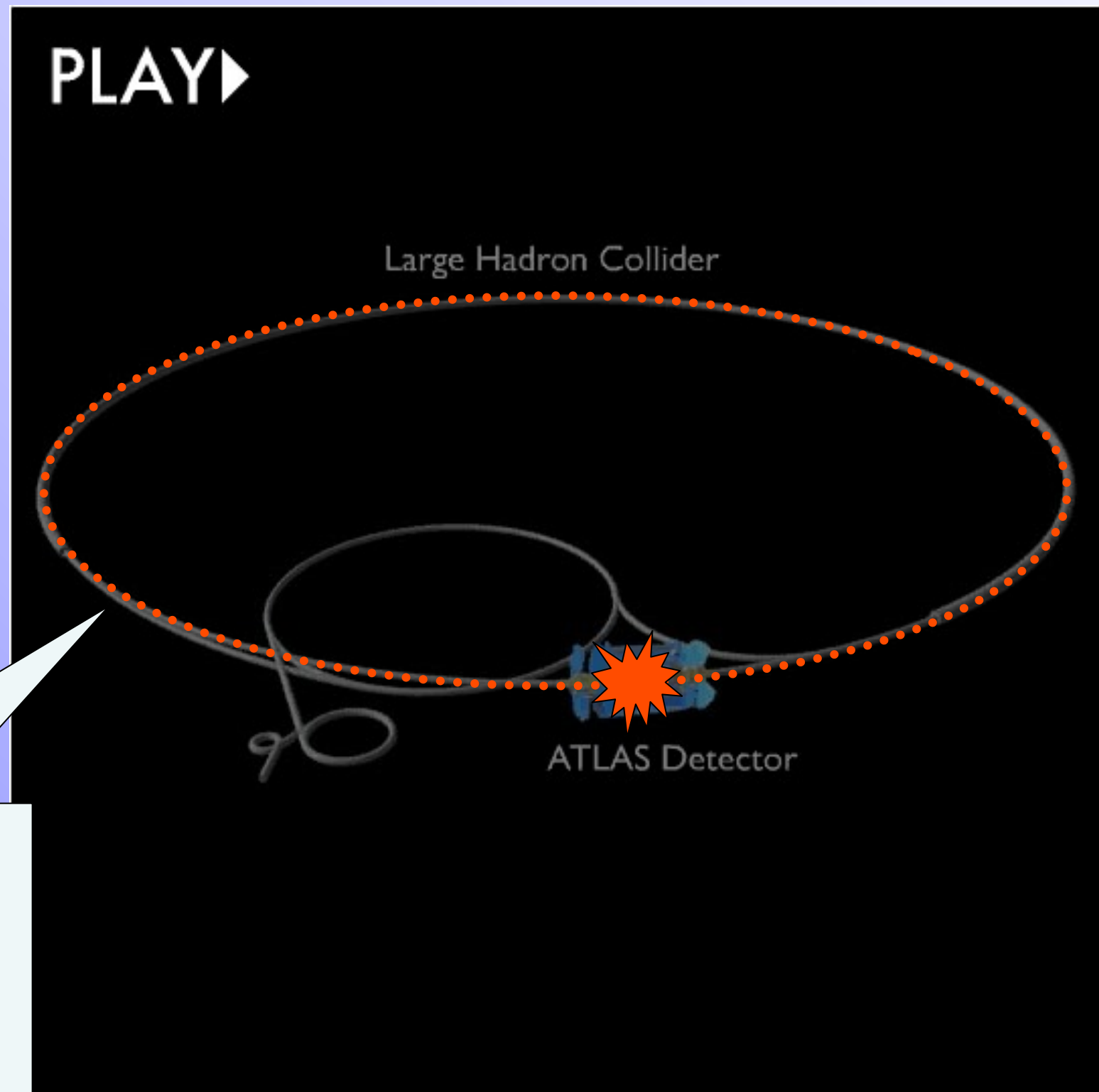
Οι ανιχνευτές στο LHC

Γιατί είναι τόσο μεγάλοι???

Πρέπει να ανιχνεύσουν
όλα τα σωματίσια που
παράγονται στην
σύγκρουση

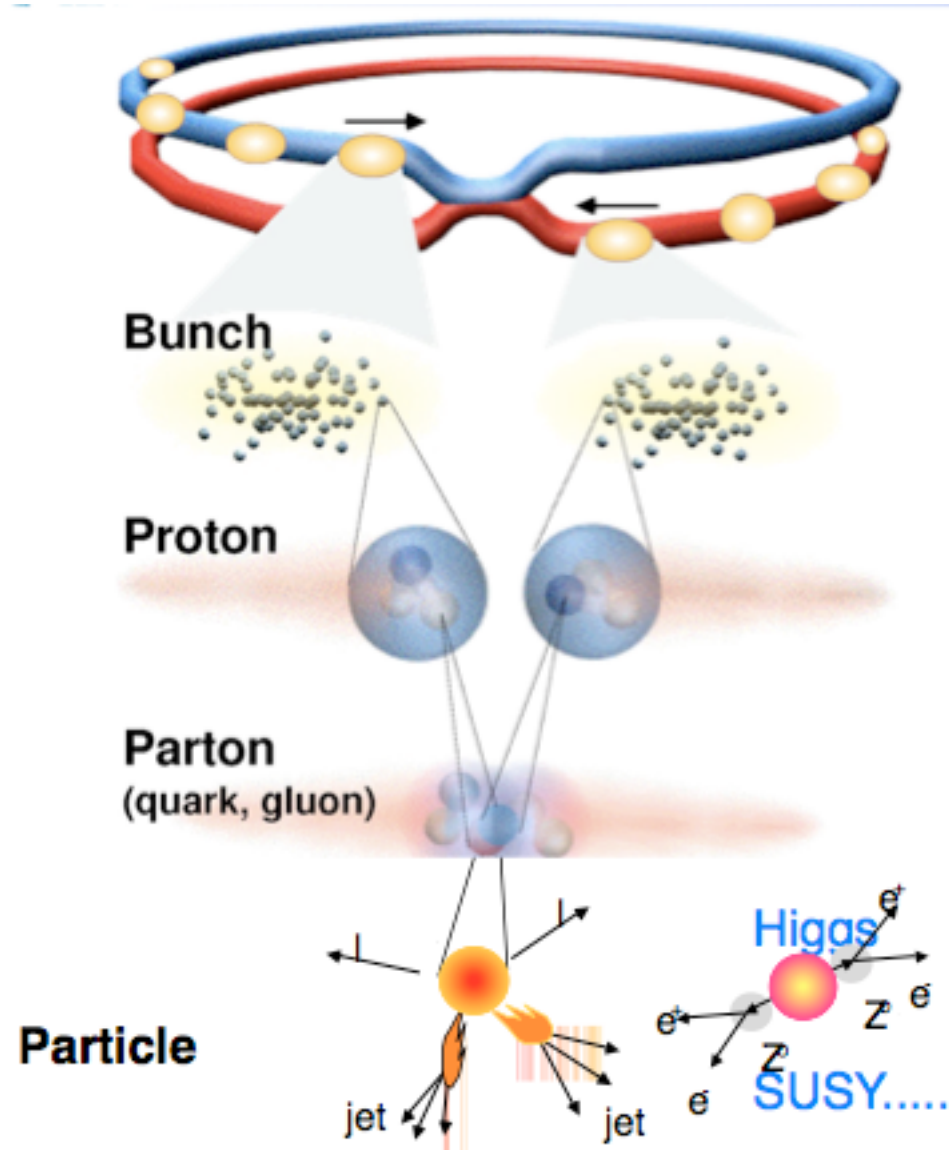
ΔΕΝ είναι μόνο δύο τα
πρωτόνια που
συγκρούονται αλλά
πολλά συγκεντρωμένα
σε δεσμίδες (bunches)

Σε κάθε δέσμη κυκλοφορούν
2808 bunches με $1,15 \times 10^{11}$
πρωτόνια σε κάθε bunch,
με μία δεσμίδα κάθε 25 ns
που αντιστοιχεί σε απόσταση
7.5 m μεταξύ των δεσμίδων



Οι Συγκρούσεις στο LHC

44



Πρωτόνιο Πρωτόνιο 2808 ομάδες
Πρωτόνια/ομάδα 10^{11}
Ενέργεια πρωτονίων 7 TeV (7×10^{12} eV)
Φωτεινότητα $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Ρυθμός διασταύρωσης 40 MHz

Ρυθμός συγκρούσεων $\approx 10^7 - 10^9$

Ρυθμός παραγωγής νέας
Φυσικής $\approx .00001$ Hz

Επιλογή γεγονότων:
1 σε 10,000,000,000,000

Οι Συγκρούσεις στο LHC (προσομοίωση)

45

Και αυτό επαναλαμβάνεται κάθε 25ns !

**Αλλη/πιδράσεις ανά
διασταύρωση:**

$$L=10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

$$\sigma(pp) = 70 \text{ mb}$$

$$\rightarrow R_{\text{interactions}} = 7 \times 10^8 \text{ Hz}$$

$$\text{Time/BC, } \Delta t = 25 \text{ ns}$$

$$\text{Interactions/BC} = 17.5$$

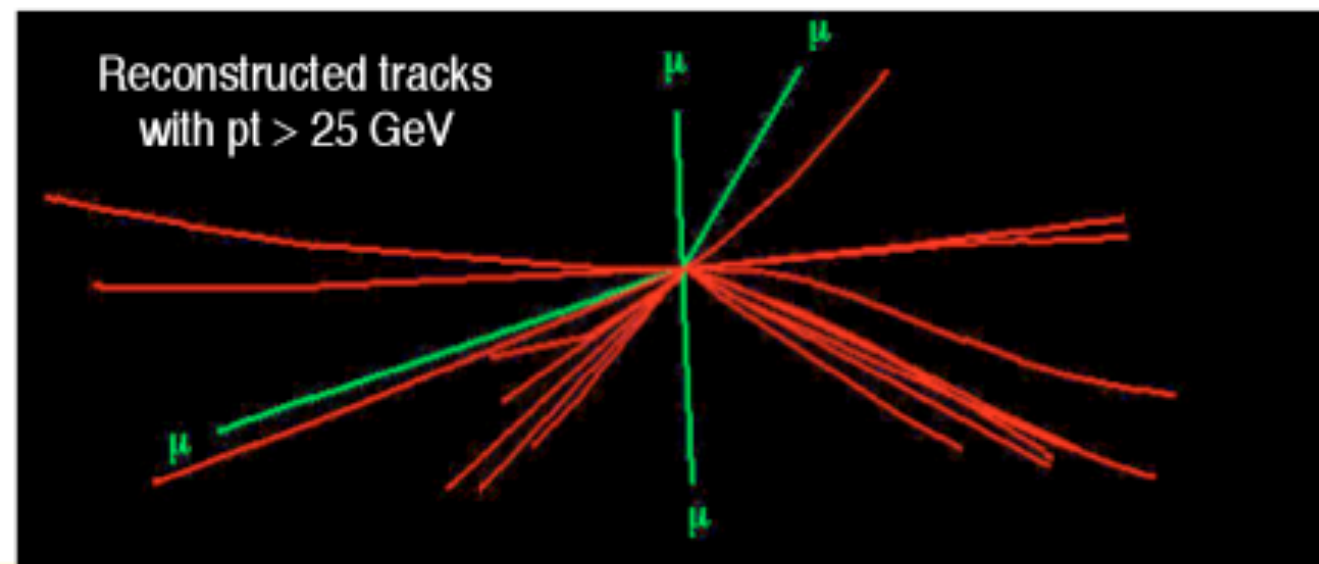
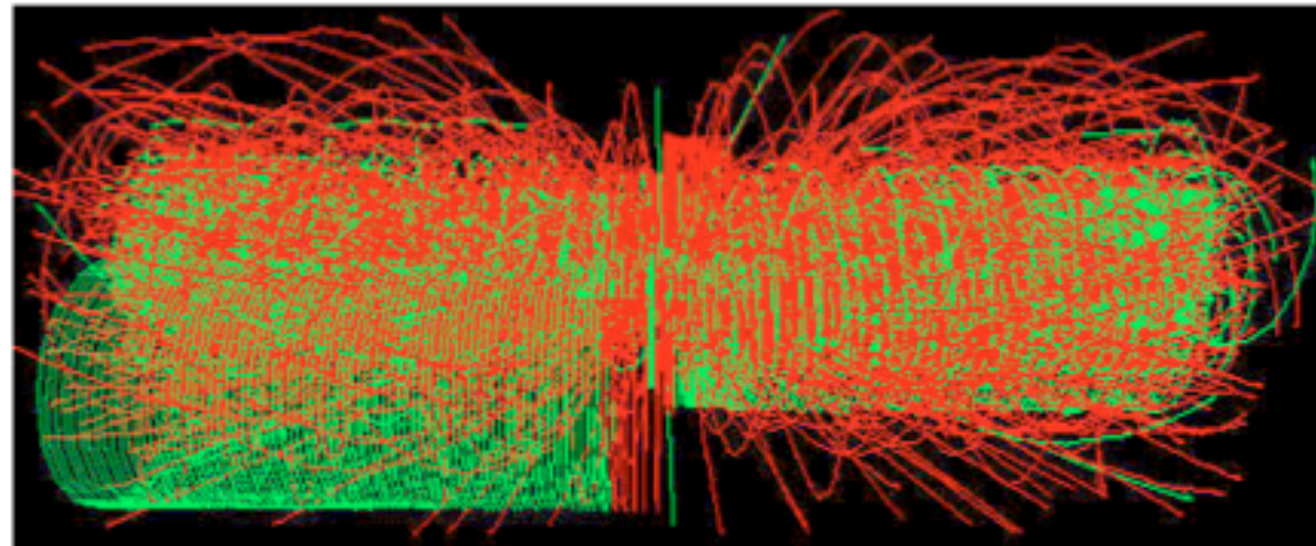
80% bunches full:

$$17.5 \times 5/4 = 23$$

**~ υπέρθεση 20
γεγονότων!**

Παράδειγμα: η
«χρυσή» υπογραφή
του Higgs:

$$H \rightarrow ZZ, Z \rightarrow \mu\mu, H \rightarrow 4\mu:$$



Απο την συναρμολόγηση του CMS 2006

Journey 100 metres towards the



05-Dec-10

The CMS ... Underground



Στιγμιότυπα-2006

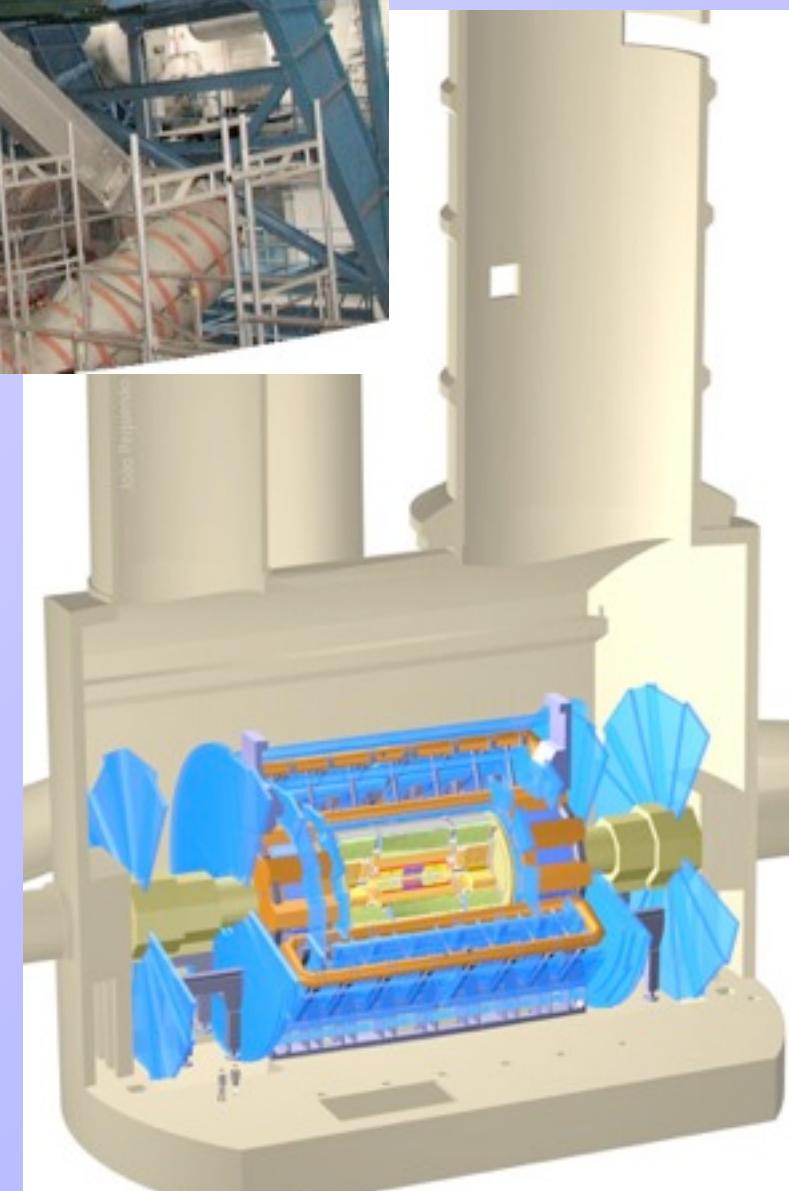
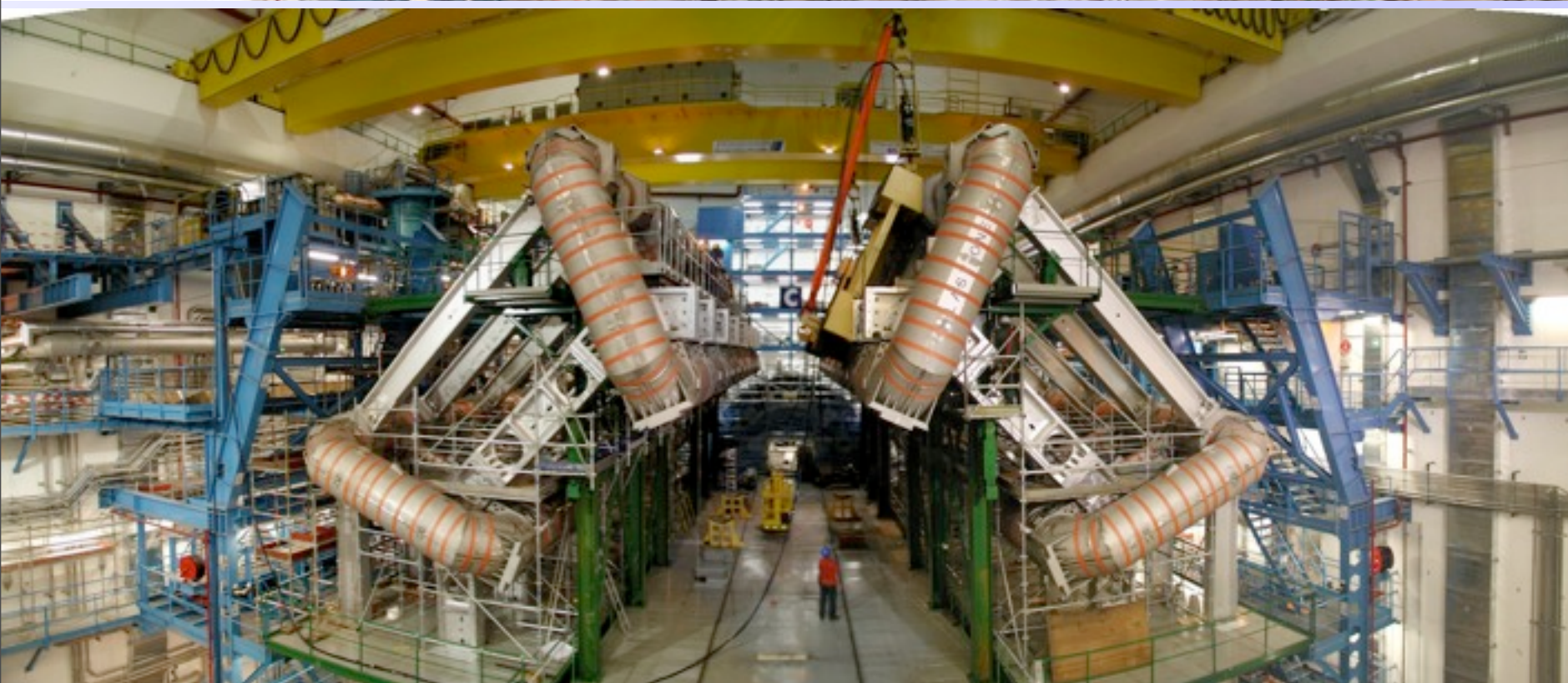
The bright red endcap disc (foreground) begins its journey down the shaft from ground level.

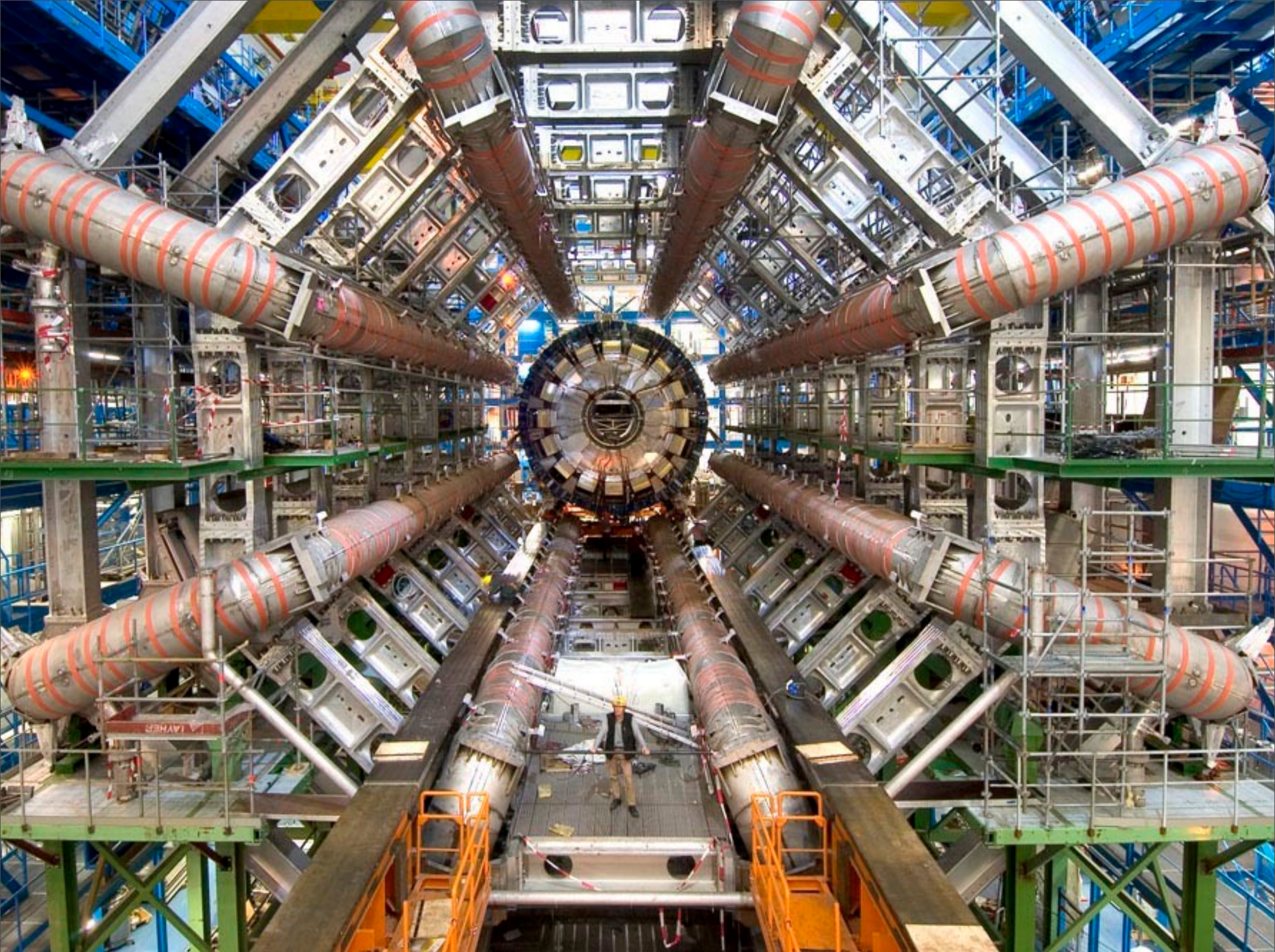
05-Dec-10

The disc emerges from the shaft into the CMS cavern 100m underground.

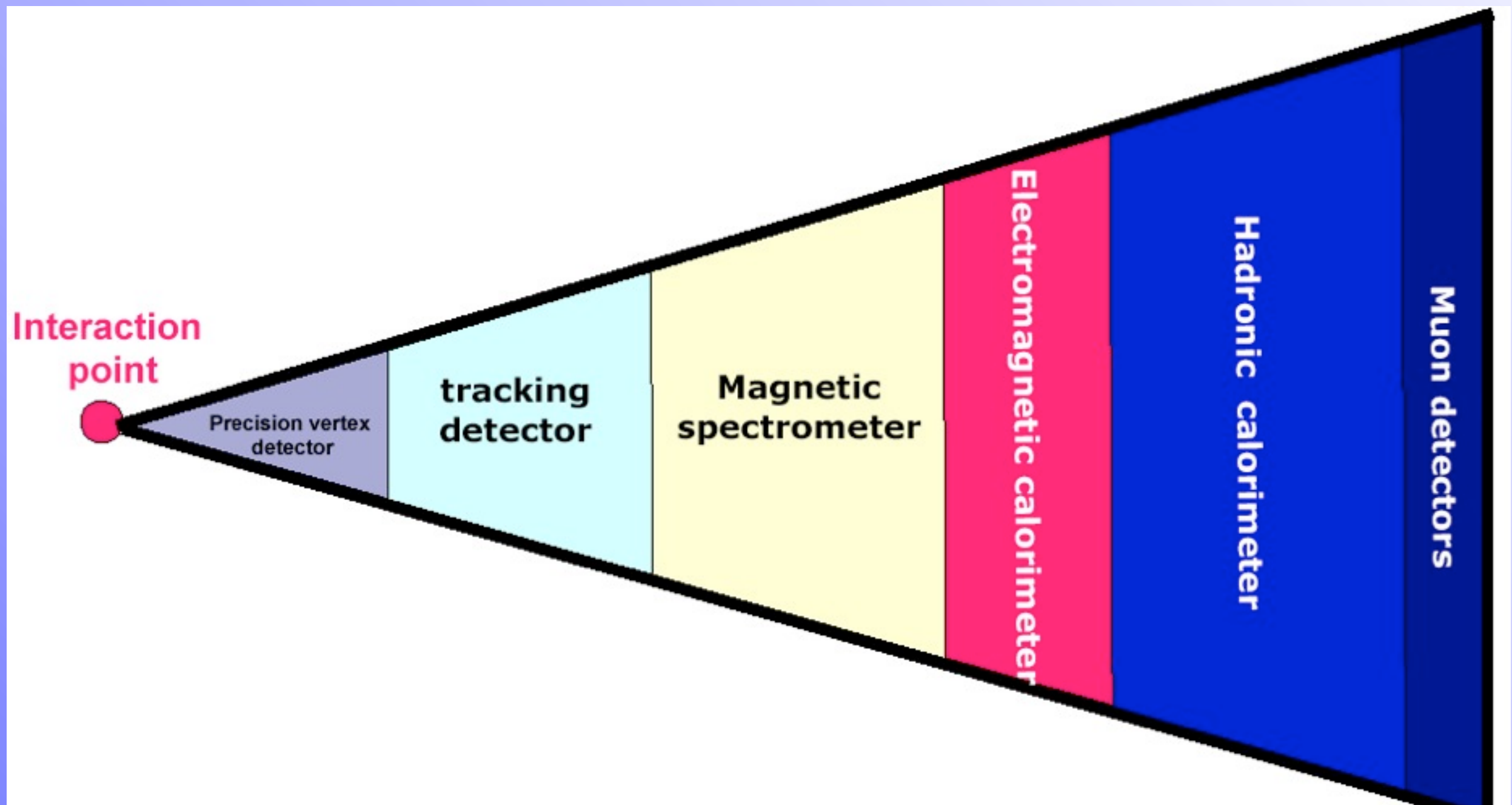
10 hours later, the disc touches the floor of the cavern.

Το πείραμα ATLAS στο CERN κατά τη συναρμολόγηση...

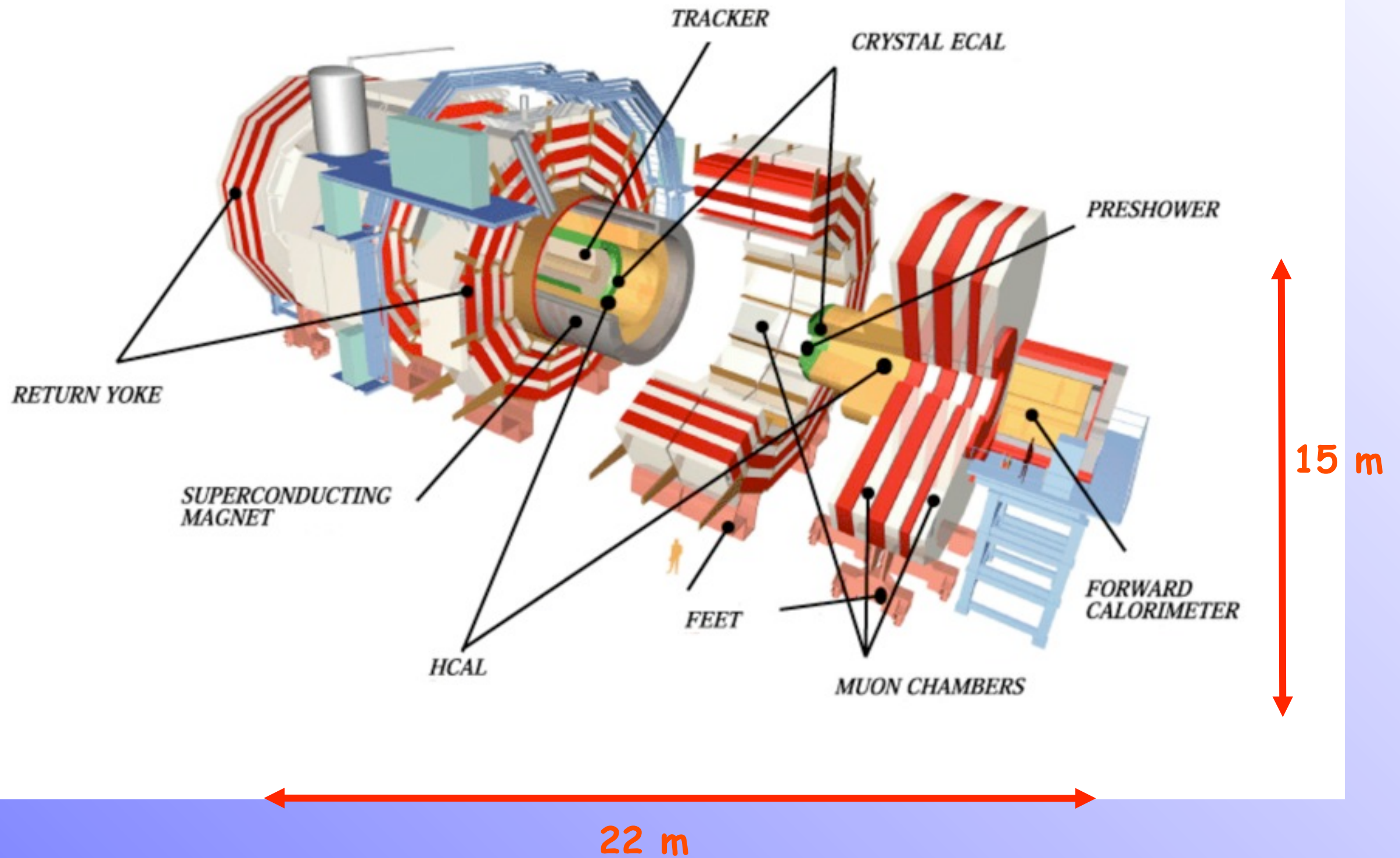




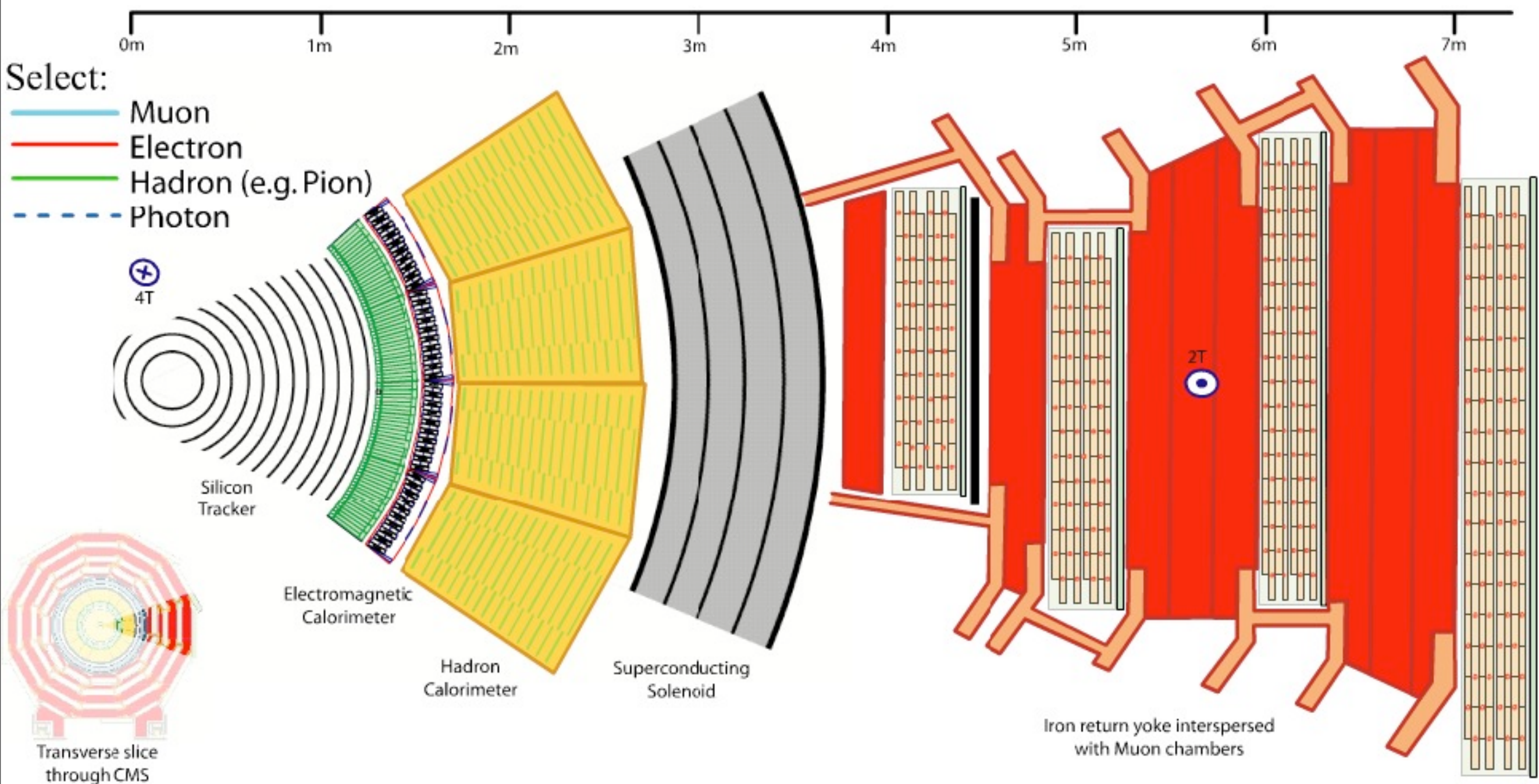
Τυπική σειρά ανιχνευτών σε πειραματική διάταξη



Compact Muon Spectrometer

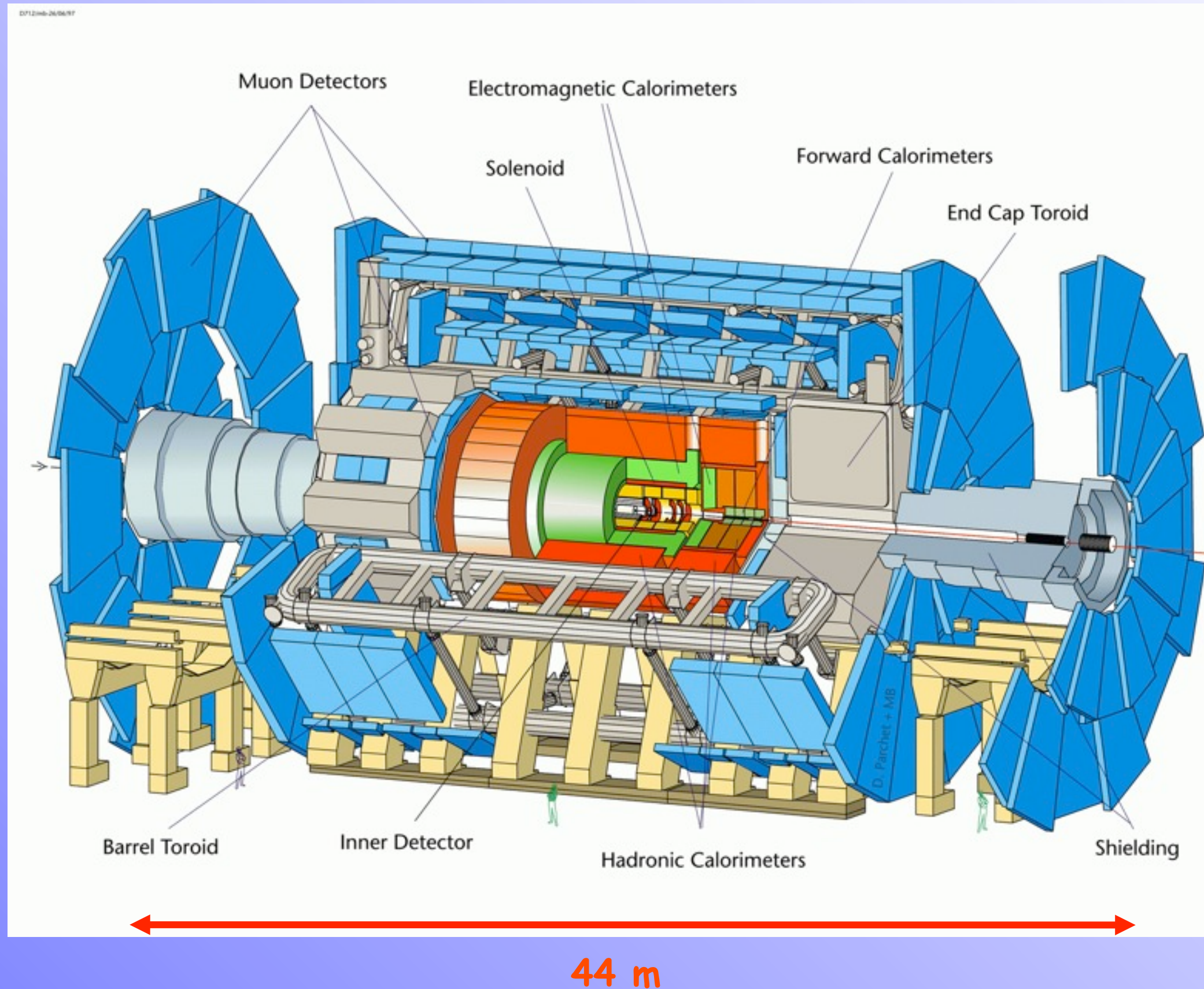


Transverse slice through CMS detector



ATLAS

A Toroidal LHC Apparatus



Το Πείραμα ATLAS στην Ελλάδα

Μιόνια : Η ανιχνευση των μιονίων που προκύπτουν από τις συγκρούσεις pp θα παίζει κεντρικό ρόλο στις ανακαλύψεις της επόμενης δεκαετίας

Η Ελλάδα συμμετέχει στην πρόκληση αυτή της επιστήμης με την κατασκευή του 10% του φασματομέτρου μιονίων, συνολικής έκτασης 5600m²
Συνεργασία τριών Πανεπιστημίων

- Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθηνών
- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

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

- Μια σύντομη περιήγηση στους χώρους του εργαστηρίου

Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών

Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

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

- Μια σύντομη περιήγηση στους χώρους του εργαστηρίου

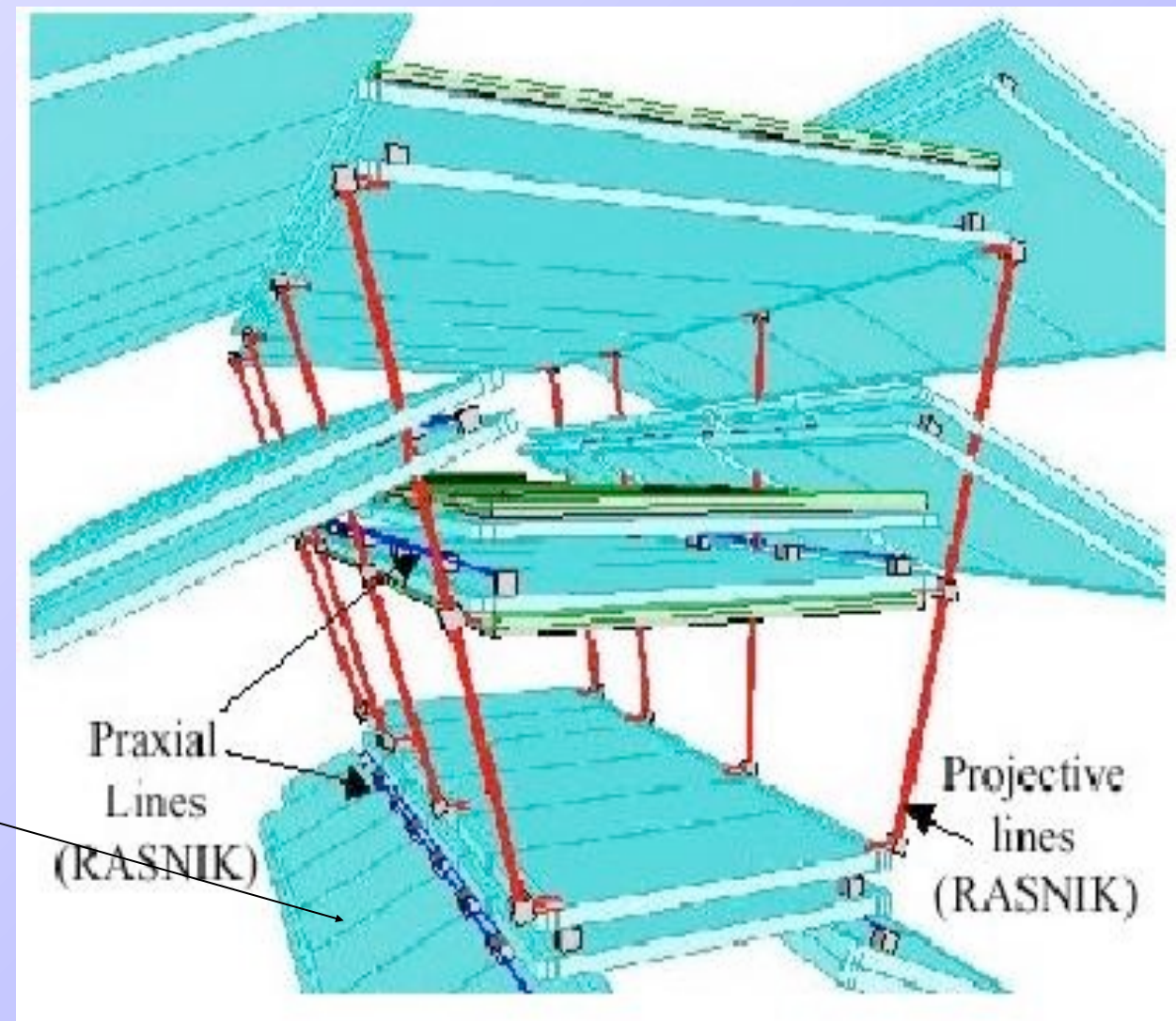
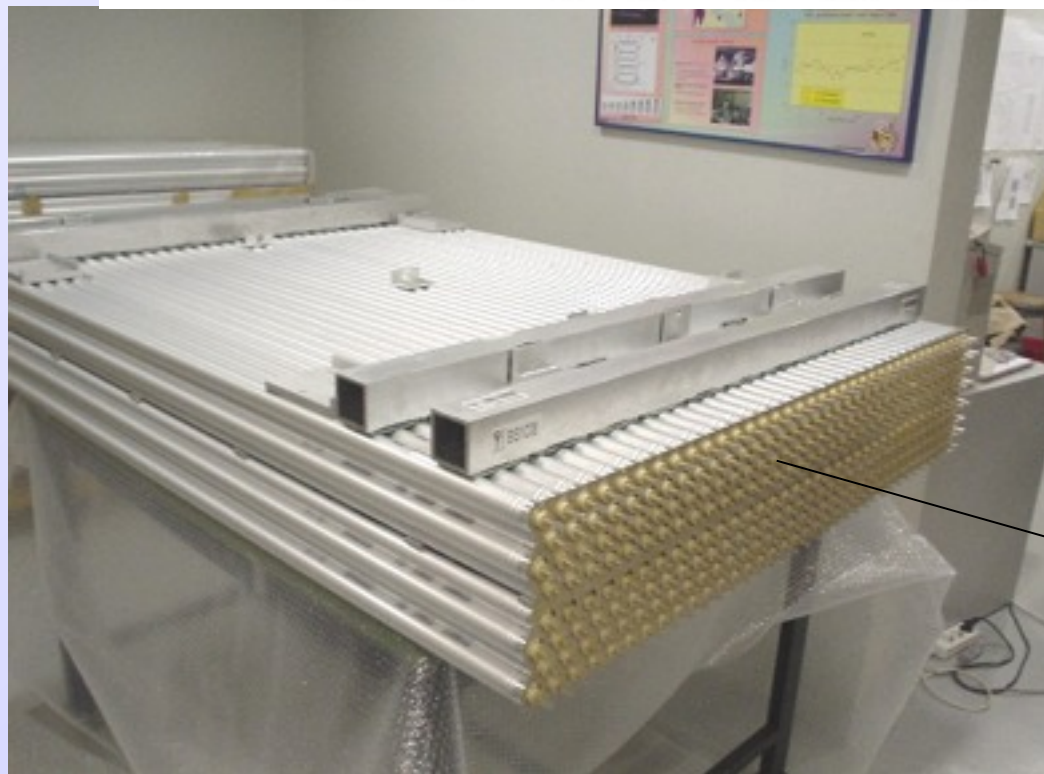
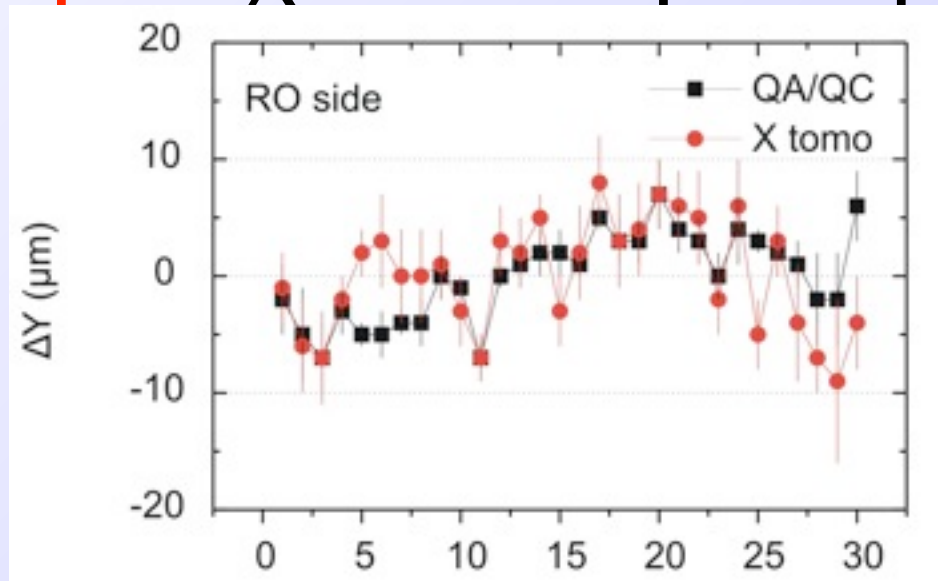
Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών



Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

- Η Πρόκληση (1) :

Κατασκευή ανιχνευτών με ακρίβεια μερικών μικρών (μm)



Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

Ο στόχος-πρόκληση (II) :

Μετά την συμβολή μας στην ανακάλυψη του
σωματιδίου *Higgs* να μελετήσουμε τις ιδιότητές του και να
αναζητήσουμε “Νέα Φυσική”

Higgs $\rightarrow$ $2e+2\mu$

+ *MinBias*

Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

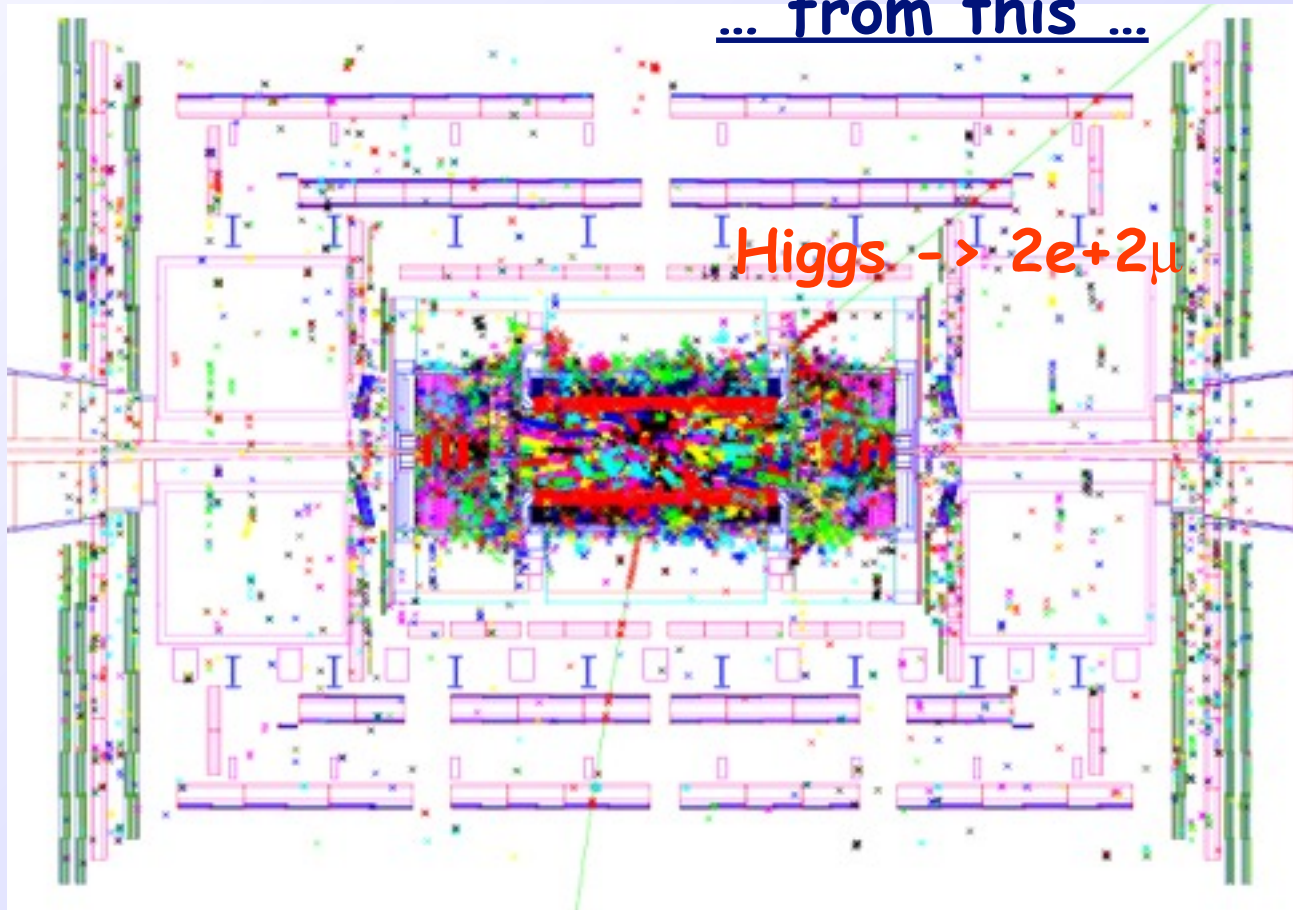
Ο στόχος-πρόκληση (II) :

Μετά την συμβολή μας στην ανακάλυψη του
σωματιδίου *Higgs* να μελετήσουμε τις ιδιότητές του και να
αναζητήσουμε “Νέα Φυσική”

... from this ...

Higgs $\rightarrow 2e+2\mu$

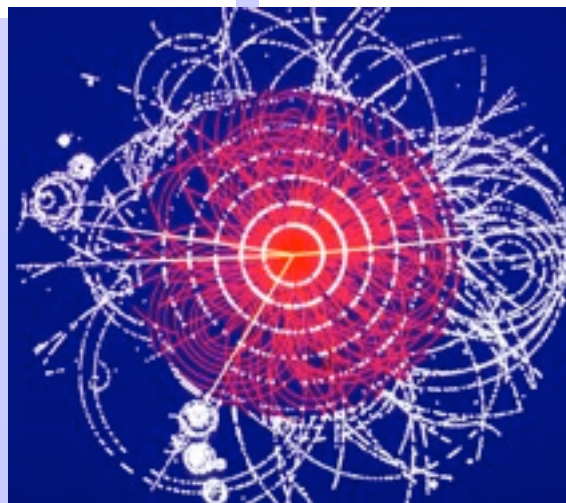
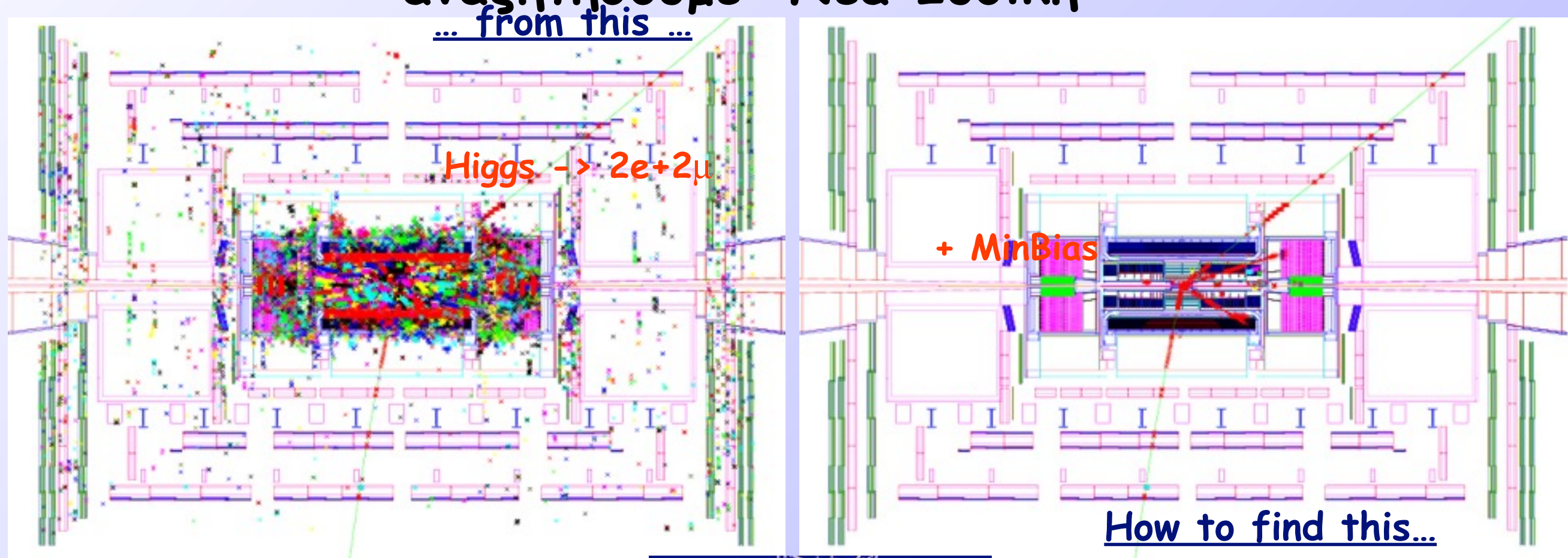
+ MinBias



Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

Ο στόχος-πρόκληση (II) :

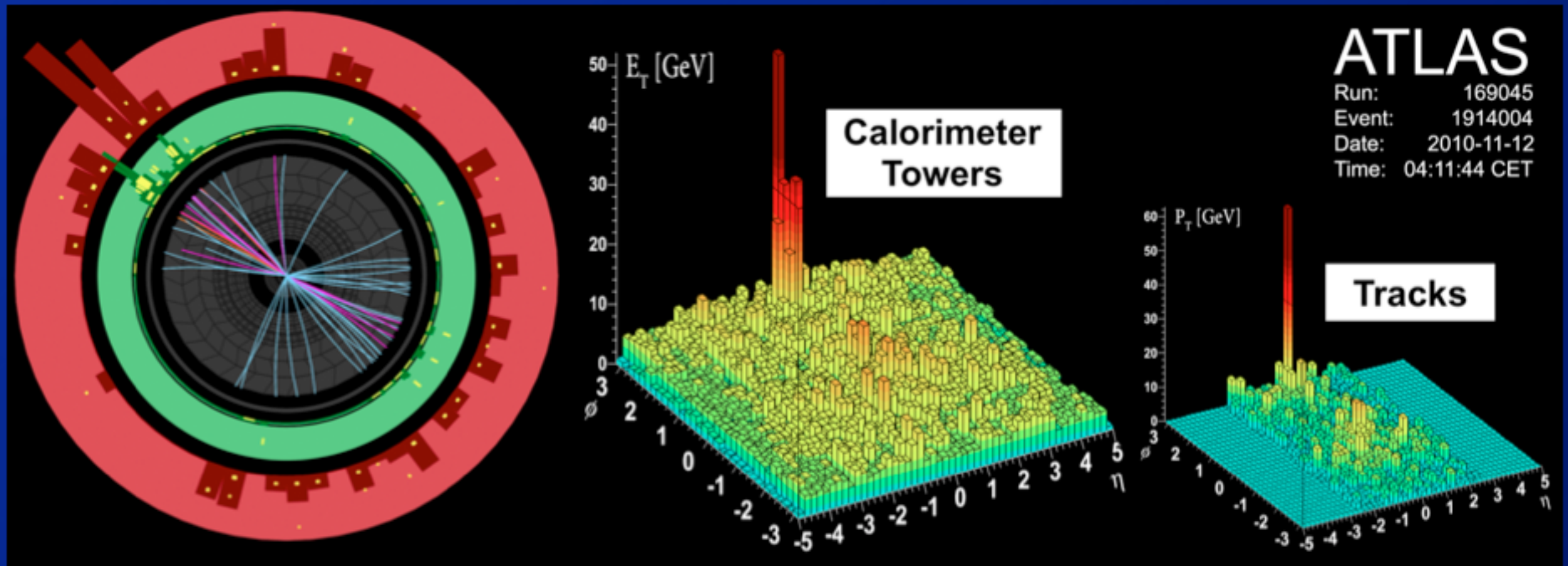
Μετά την συμβολή μας στην ανακάλυψη του σωματιδίου Higgs να μελετήσουμε τις ιδιότητές του και να αναζητήσουμε "Νέα Φυσική"



Οι Συγκρούσεις στο LHC “σήμερα” (2010-2012)

58

December 2, 2010



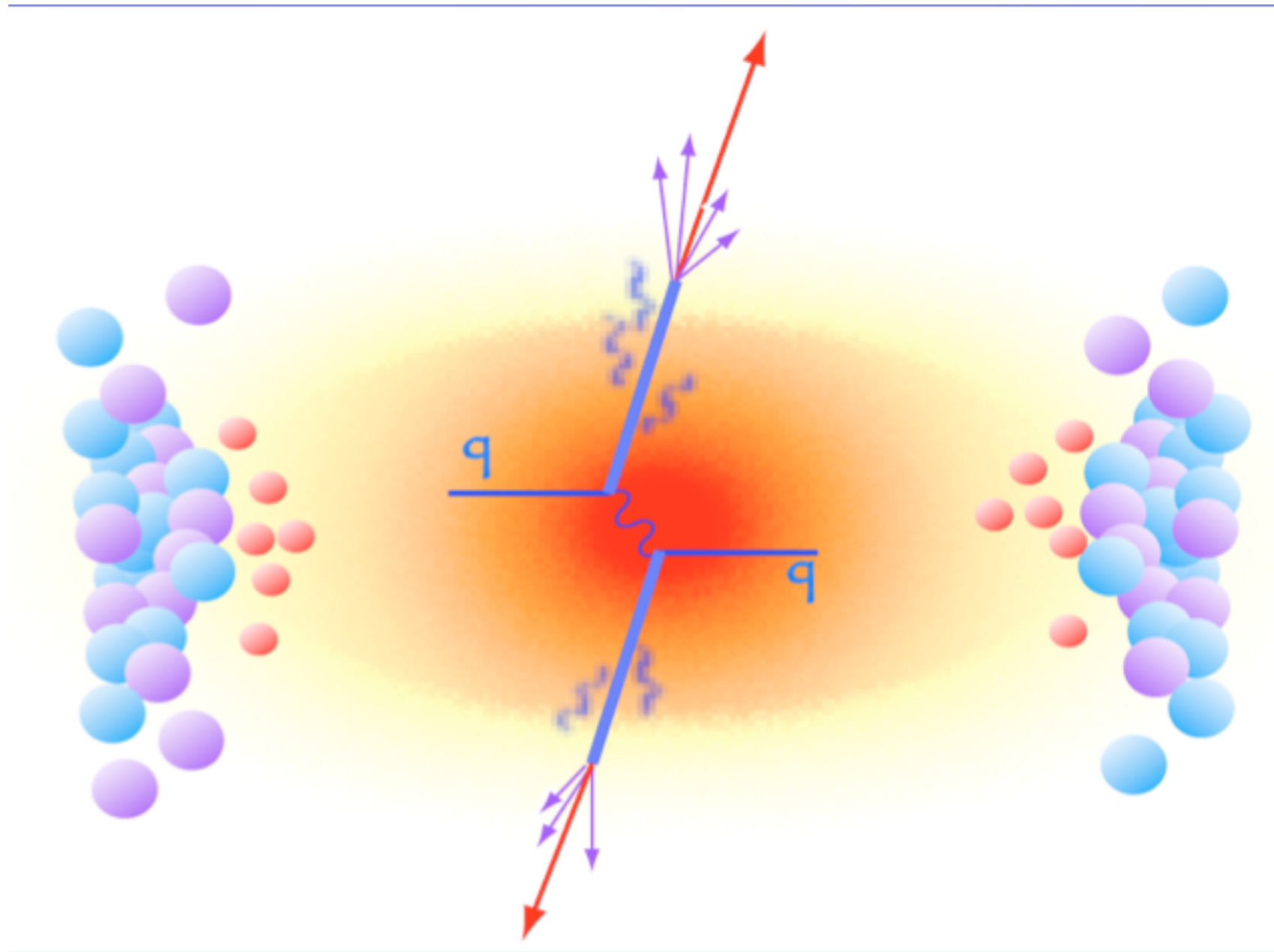
Παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στις συγκρούσεις Pb-Pb η αναμενόμενη κατάσταση της ύλης-φάση: quark-gluon πλάσμα !

Πετρίδου Χαρά

Θεσσαλονίκη, 3 Δεκ. 2012

Οι Συγκρούσεις στο LHC “σήμερα” (2010-2012)

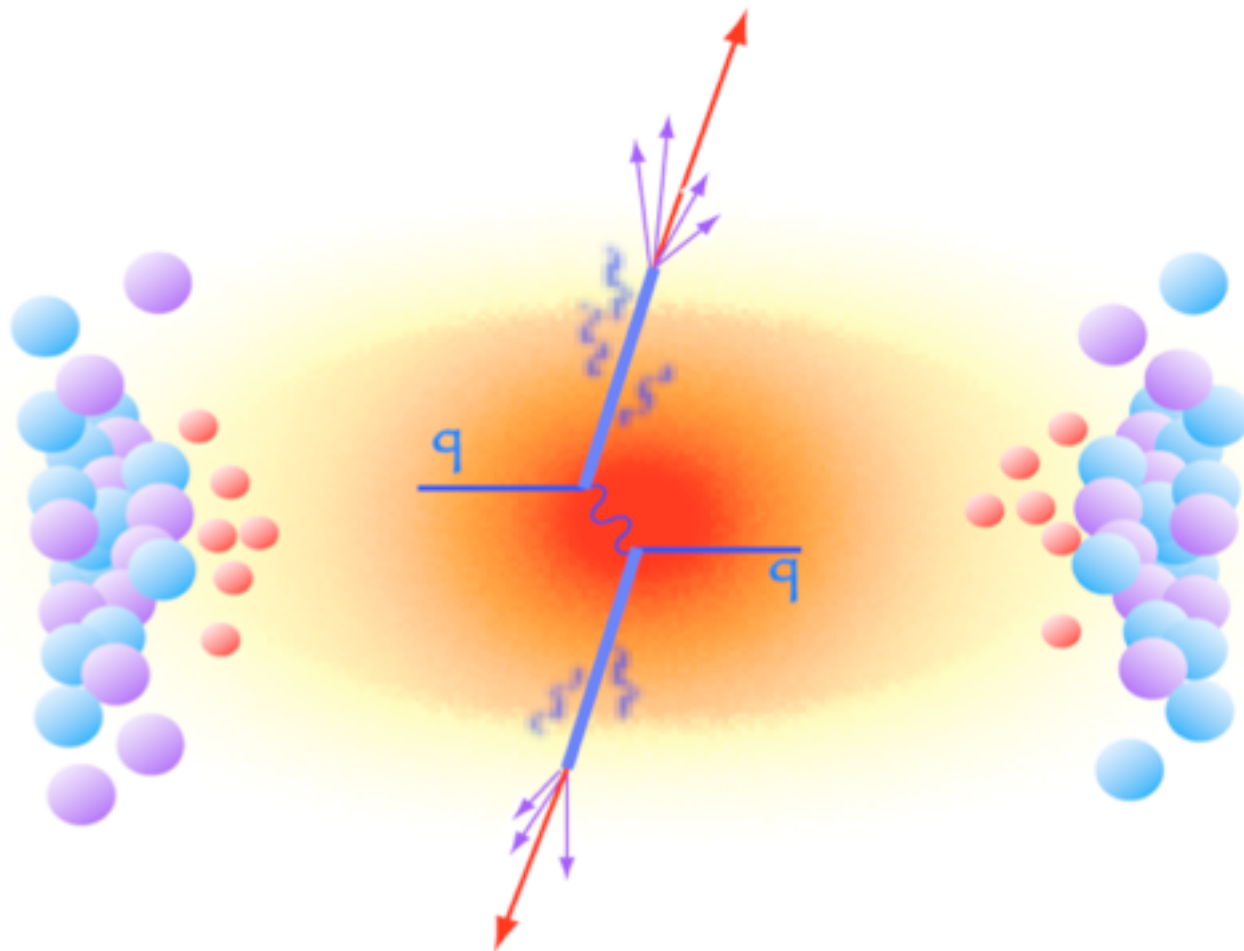
59



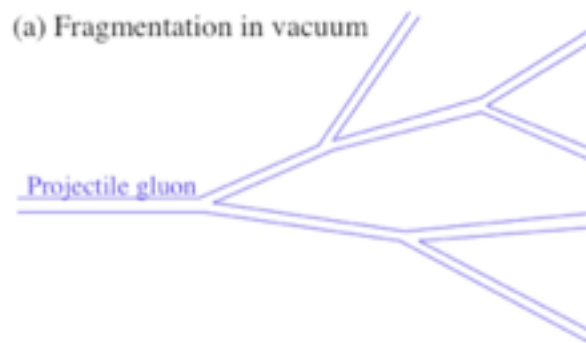
Παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στις συγκρούσεις Pb-Pb η αναμενόμενη κατάσταση της ύλης-φάση: quark-gluon πλάσμα !

Οι Συγκρούσεις στο LHC “σήμερα” (2010-2012)

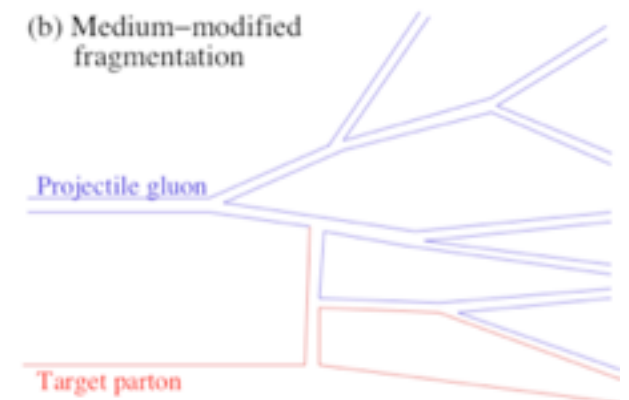
60



(a) Fragmentation in vacuum

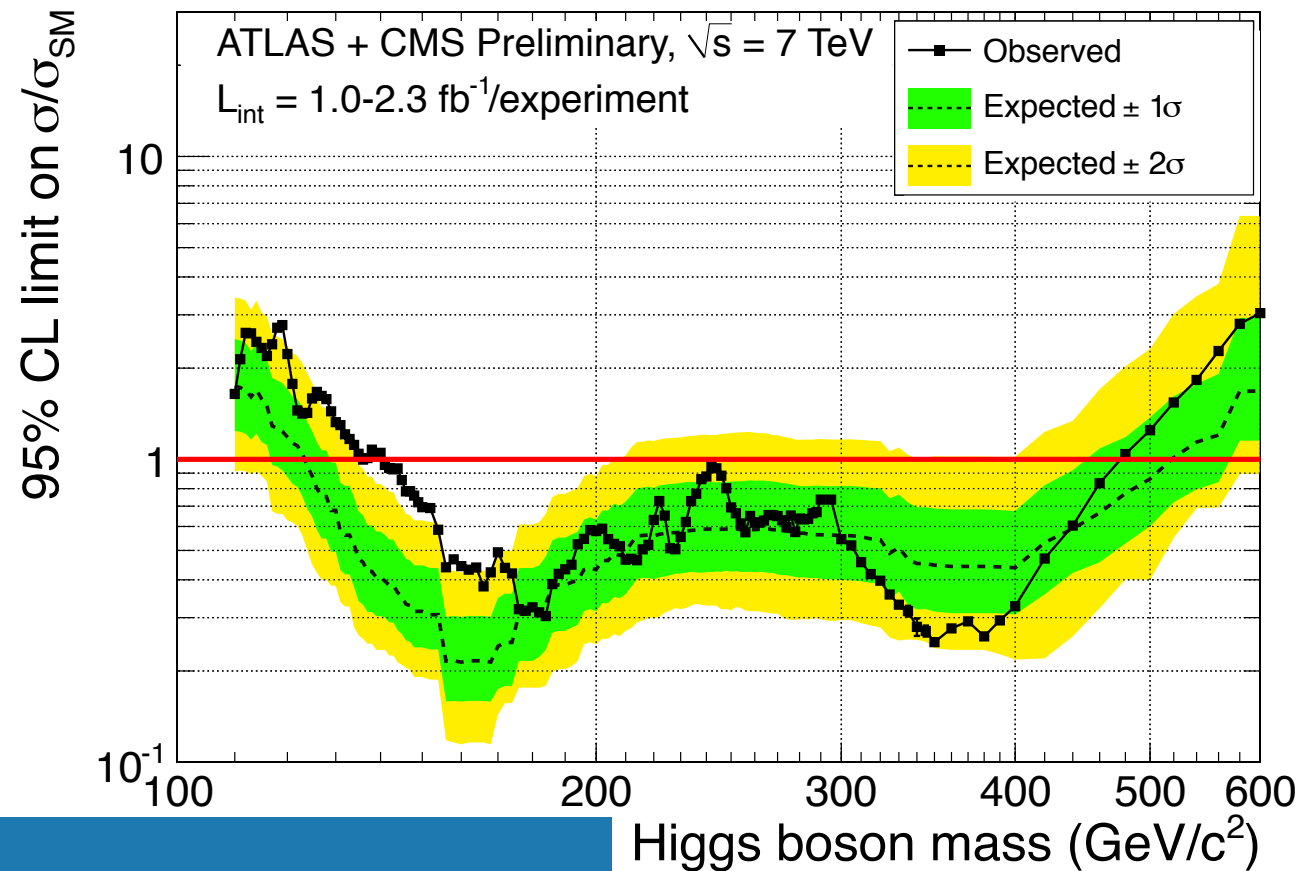


(b) Medium-modified fragmentation



Τα πρώτα αποτελέσματα για το σωματίδιο Higgs Δεκέμβριος 2011!

61



CERN PUBLIC SEMINAR

Tuesday, 13 December 2011 from 14:00 to 16:00 (Europe/Zurich)
at CERN (Main Auditorium)

Tuesday, 13 December 2011

- | | |
|---------------|---|
| 14:00 - 14:30 | Update on the Standard Model Higgs searches in ATLAS 30'
Speaker: Fabiola Gianotti |
| 14:30 - 15:00 | Update on the Standard Model Higgs searches in CMS 30'
Speaker: Guido TONELLI |
| 15:00 - 16:00 | Joint question session 1h0' |

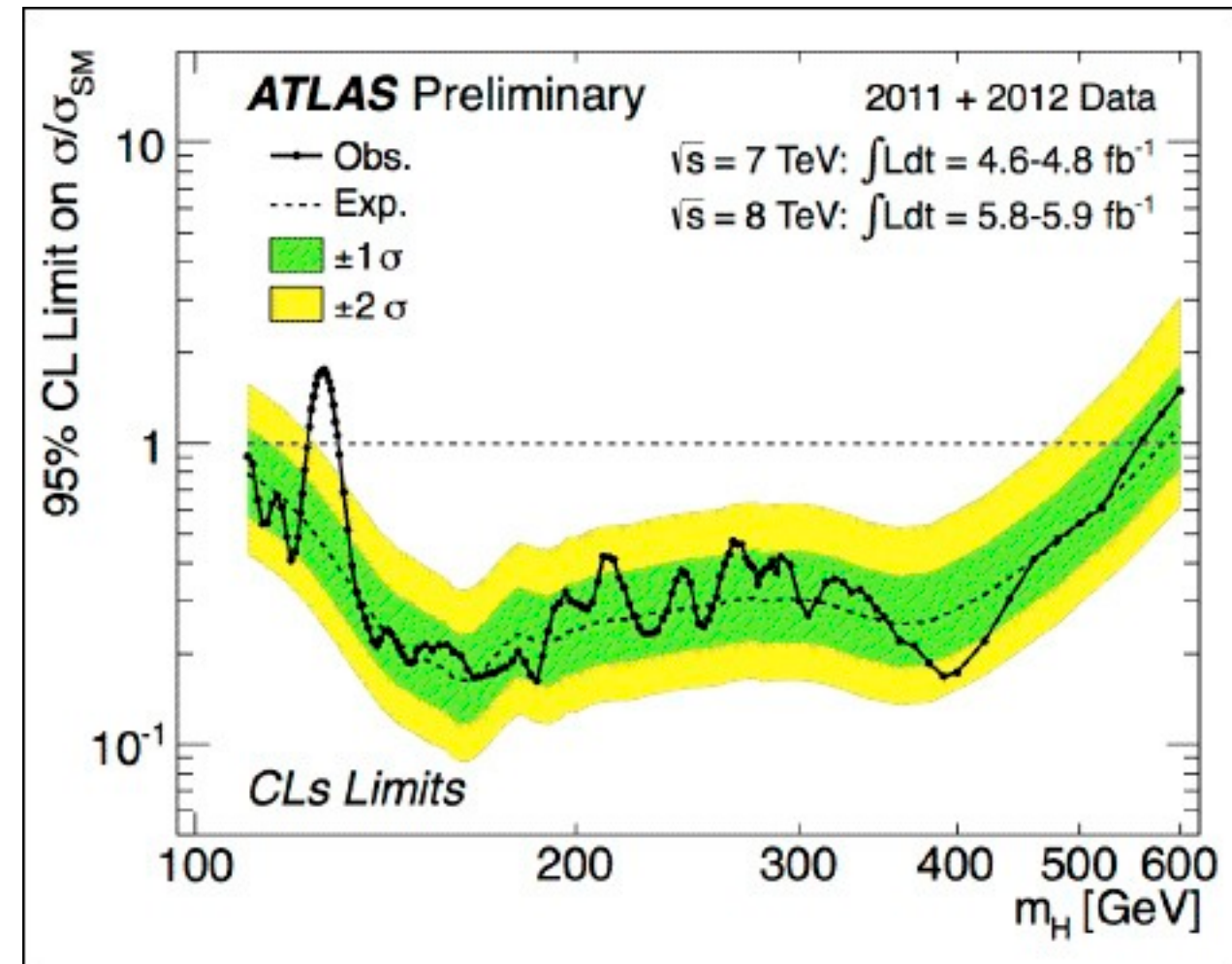
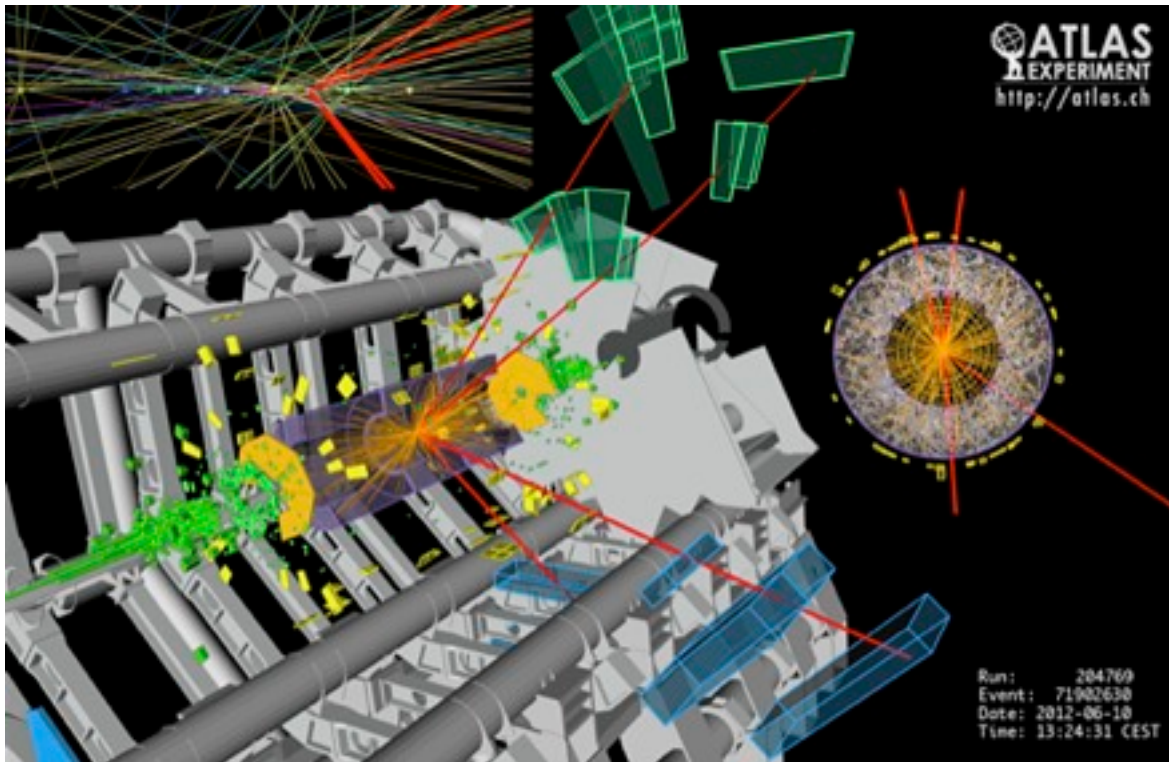
Ζωντανή αναμετάδοση
στην αίθουσα
σεμιναρίων του
Εργ.Πυρηνικής Ιος
όροφος

Πετρίδου Χαρά

Θεσσαλονίκη, 3 Δεκ. 2012

Η επίσημη ανακοίνωση από το CERN για την ανακάλυψη του σωματιδίου Higgs: 4 Ιουλίου 2012!

62



Οι Peter Higgs και Francois Englert συγκινημένοι απευθύνουν το ακρωατήριο μετά την ανακοίνωση της ανακάλυψης του Higgs στις 4 Ιουλίου 2012

....βλέπε άρθρο στο πρόσφατο τεύχος του περιοδικού Φαινόμενο του Τμήματος Φυσικής

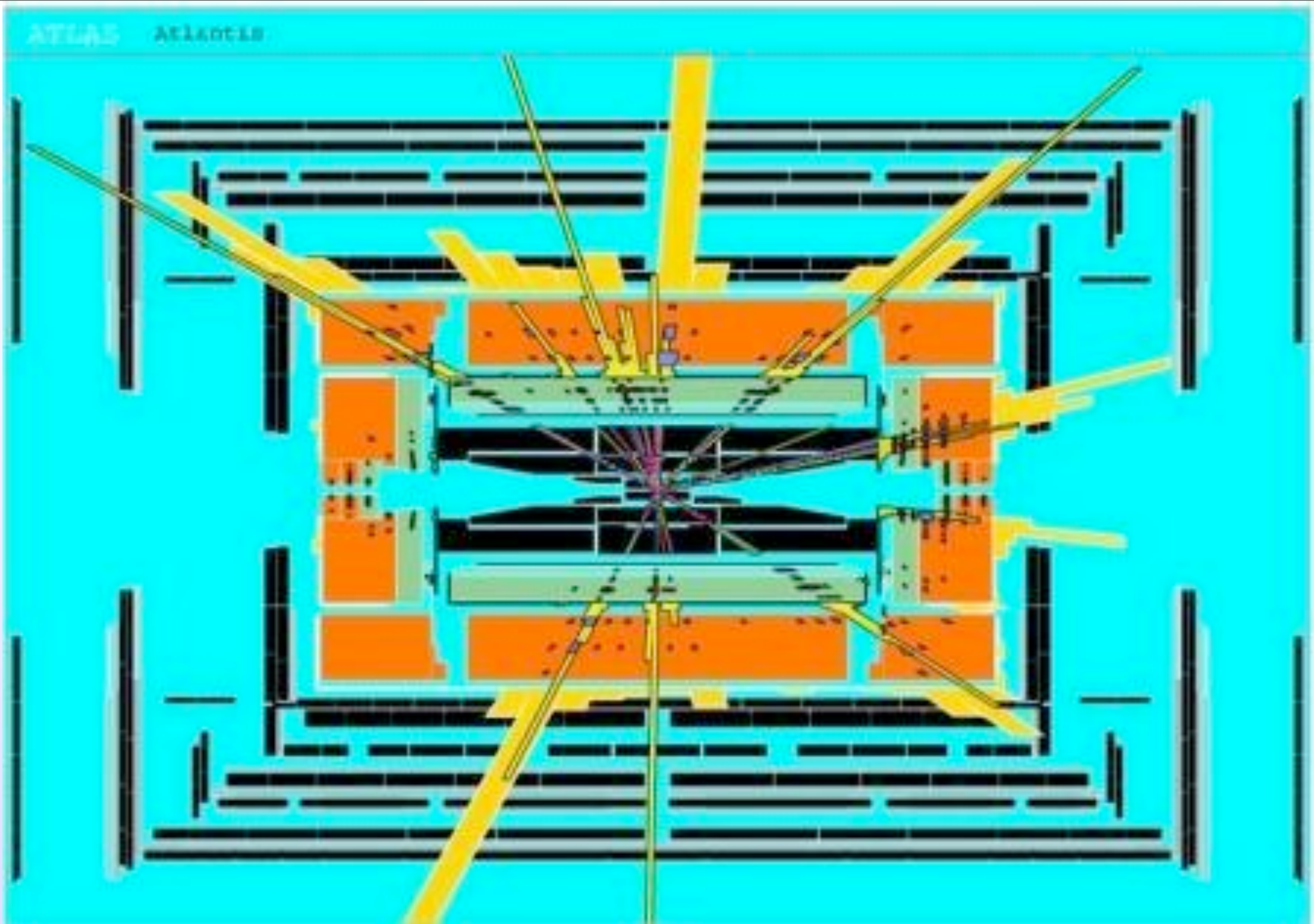
Θεσσαλονίκη, 3 Δεκ. 2012

- 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 εδώ και περίπου μία εικοσαετία 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?

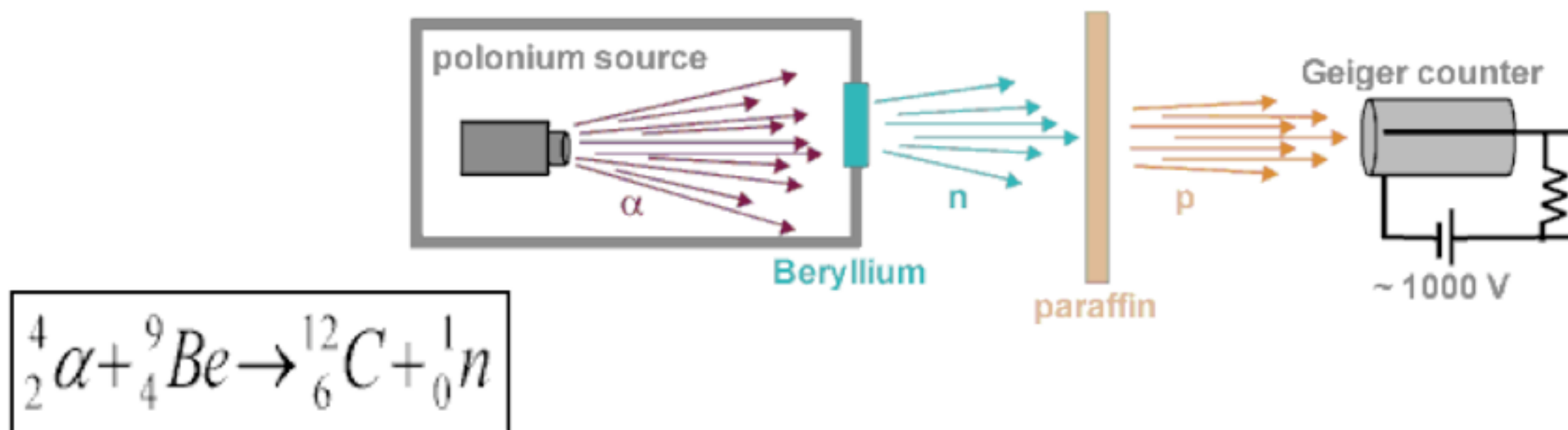
05-Dec-10



05-Dec-10

Από προσομοίωση: A mini-blackhole in ATLAS !

- **1911 – Rutherford (Geiger & Marsden)**
 - ♦ Σκέδαση σωματιδίων α
 - Σημειακή μάζα πυρήνα με σημειακό φορτίο
- **1919 – Rutherford**
 - ♦ Πρώτη πυρηνική αντίδραση ($14\text{N} + \alpha \rightarrow 17\text{O} + \text{p}$)
 - Ανακάλυψη του πρωτονίου
- **1920 – Rutherford**
 - ♦ Υπόθεση ύπαρξης ουδέτερου σωματιδίου στον πυρήνα
- **1932 – Chadwick**
 - ♦ Ανακάλυψη του νετρονίου από τη σκέδαση σωματιδίων α σε Be



- **1933 – Anderson**
 - ◆ Ανακάλυψη του ποζιτρονίου (αντιύλης)
- **1937 – Street & Stevenson**
 - ◆ Ανακάλυψη του μιονίου («βαρύ ηλεκτρόνιο»!)
- **1938 – Hahn, Strassmann & Meitner, 1942 – Fermi**
 - ◆ Ανακάλυψη της πυρηνικής σχάσης
 - ◆ Ελεγχόμενη Σχάση, πρώτος πυρηνικός αντιδραστήρας
- **1947 – Powell et al.**
 - ◆ Ανακάλυψη του πιονίου (ακολουθούν: καόνιο, Λ , ρ , η , K^* , ...!)
- **1956 – Raines & Cowan**
 - ◆ Ανακάλυψη νετρίνου
- **1969 – Kendall-Friedman-Taylor**
 - ◆ Ανακάλυψη δομής πρωτονίων (των κουάρκ)

- **1974 – Ting & Richter**
 - ◆ Ανακάλυψη c quark (November revolution)
- **1976 – Perl**
 - ◆ Ανακάλυψη λεπτονίου τ (τρίτη γεννιά ύλης!)
- **1977 – Lederman**
 - ◆ Ανακάλυψη b-quark
- **1983-84 – Rubbia (πείραμα UA1)**
 - ◆ Ανακάλυψη μποζονίων W&Z (ηλεκτρασθενής αλληλεπίδραση)
- **1995 – CDF/D0 (FermiLab)**
 - ◆ Ανακάλυψη του t quark (Περιοδικός πίνακας Καθιερωμένου Προτύπου)

Φερμιόνια & Μποζόνια

Συμπεριφορά της
Κυματοσυνάρτησης δύο **ταυτόσημων** σωματίων
κάτω από την **εναλλαγή** τους στο χώρο

Φερμιόνια

- Σωματά με ημιακέραιο spin $\left(\frac{1}{2}\hbar, \frac{3}{2}\hbar, \frac{5}{2}\hbar\ldots\right)$
- Ακολουθούν στατιστική Fermi-Dirac

Μποζόνια

- Σωματά με ακέραιο spin $(0\hbar, 1\hbar, 2\hbar\ldots)$
- Ακολουθούν στατιστική Bose-Einstein

Η κυματοσυνάρτηση **δύο ταυτόσημων φερμιονίων** κάτω από την εναλλαγή τους στο χώρο:

- Έστω κυματοσυνάρτηση δύο ταυτόσημων σωματίων : $\Psi(1,2)$
- Η πιθανότητα $|\Psi(1,2)|^2 = |\Psi(2,1)|^2$ **ΔΕΝ** μεταβάλλεται αν **εναλλάξουμε** τα δύο σωματΙΑ στο χώρο $1 \longleftrightarrow 2$
- $\Psi(1,2) = - \Psi(2,1)$: **αντισυμμετρική** αν **εναλλάξουμε** τα δύο **ταυτόσημα φερμιόνια** στο χώρο

Η κυματοσυνάρτηση **δύο ταυτόσημων μποζονίων** κάτω από την εναλλαγή τους στο χώρο:

- Έστω κυματοσυνάρτηση δύο ταυτόσημων σωματίων : $\Psi(1,2)$
- Η πιθανότητα $|\Psi(1,2)|^2 = |\Psi(2,1)|^2$ **ΔΕΝ** μεταβάλλεται αν **εναλλάξουμε** τα δύο σωματΙΑ στο χώρο $1 \longleftrightarrow 2$
- $\Psi(1,2) = + \Psi(2,1)$: **συμμετρική** αν **εναλλάξουμε** τα δύο **ταυτόσημα μποζόνια** στο χώρο

Η **ολική** κυματοσυνάρτηση ενός ή περισσότερων σωματίων είναι **γινόμενο** των **συναρτήσεων** του **χώρου** και του **σπιν** και... (ισοτοπικό σπίν)

$$\Psi = \Psi_{\alpha}(\text{χώρου}) * \Psi_{\beta}(\text{σπιν})$$

Γενικά ισχύει:

$$\Psi_{\alpha}(\text{χώρου}) = \Psi_{\alpha}(r, \theta, \varphi) = \Psi_{\alpha}(r) * Y^m_l(\theta, \varphi)$$

όπου $Y^m_l(\theta, \varphi)$: σφαιρικές αρμονικές

Αν έχουμε σωματΙΑ (1) & (2):

l είναι η σχετική στροφορμή των (1), (2)

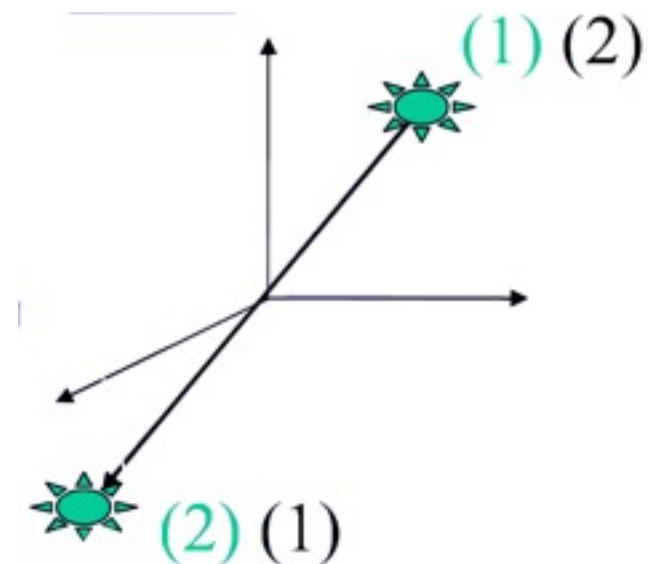
όταν $1 \leftrightarrow 2$: $\theta \rightarrow \pi - \theta$

$$\varphi \rightarrow \pi + \varphi$$

$$Y^m_l(\theta, \varphi)(1,2) \rightarrow Y^m_l(\theta, \varphi)(2,1) \equiv Y^m_l(\pi - \theta, \pi + \varphi)(1,2) = (-1)^l Y^m_l(\theta, \varphi)(1,2) \text{ (ισοδυναμεί με αντιστροφή του χώρου)}$$

αν l = άρτιος η $Y^m_l(\theta, \varphi)(1,2)$ συμμετρική στην εναλλαγή (1,2)

αν l = περιττός η $Y^m_l(\theta, \varphi)$ αντισυμμετρική στην εναλλαγή (1,2)



Παράδειγμα $Y^m_l(\theta, \varphi)$ για $l=1, m=0$
 $Y^0_1(\theta, \varphi) = \sqrt{3/4\pi} \cos\theta$
 και $l=1, m=1$
 $Y^1_1(\theta, \varphi) = \sqrt{3/8\pi} \sin\theta e^{i\varphi}$

Η κυματοσυνάρτηση του **χώρου** δύο ταυτόσημων σωματίων

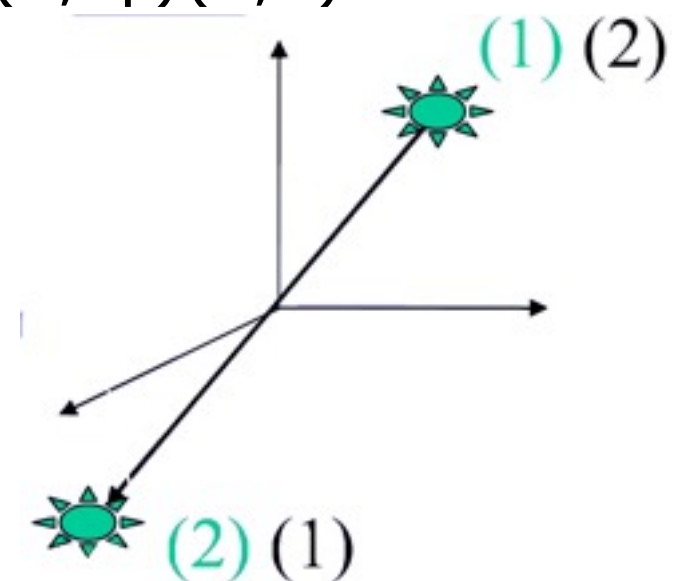
$$\Psi_\alpha = \Psi_\alpha(\text{χώρου})(1,2)$$

Η κυματοσυνάρτηση: $\Psi_\alpha(\text{χώρου})(1,2) = \Psi_\alpha(r)(1,2) * Y^m_l(\theta, \phi)(1,2)$

- Η $\Psi_\alpha(r)(1,2) = \Psi_\alpha(r)(2,1)$ (Συμμετρική)
- Η $Y^m_l(\theta, \phi)(2,1) = Y^m_l(\pi-\theta, \pi+\phi)(1,2) = (-1)^l Y^m_l(\theta, \phi)(1,2)$

ΑΡΑ: αν $l =$ **αρτιος** η Y^m_l **συμμετρική**

αν $l =$ **περιττός** η Y^m_l **αντισυμμετρική**



Η κυματοσυνάρτηση του **σπιν** δύο ταυτόσημων σωματίων

$$\Psi_{\beta} = \Psi_{\beta}(\text{σπιν})(1,2)$$

Αν σπιν ομοπαράλληλα $\uparrow\uparrow$ $\Psi_{\beta}(\text{σπιν})(1,2) = \Psi_{\beta}(\text{σπιν})(1,2)$ **συμμετρική**

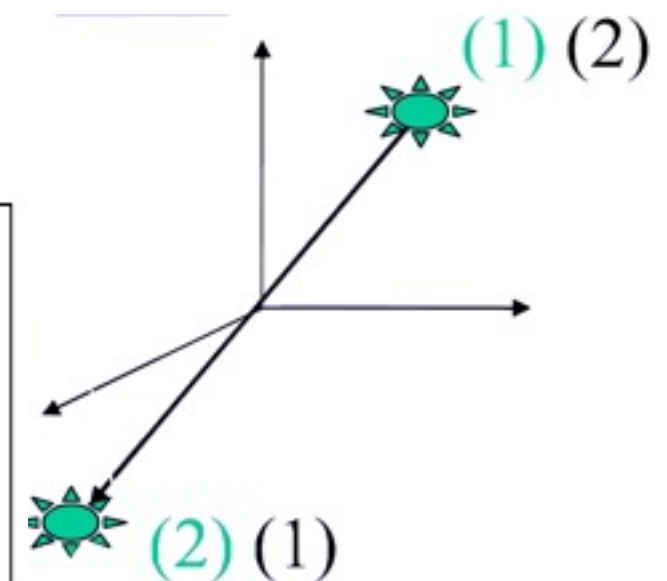
Αν σπιν αντιπαράλληλα $\uparrow\downarrow$ $\Psi_{\beta}(\text{σπιν})(1,2) = -\Psi_{\beta}(\text{σπιν})(1,2)$ **αντισυμμετρική**

$$\Psi = \Psi_{\alpha}(\text{χώρου}) * \Psi_{\beta}(\text{σπιν})$$

⇒ Για ταυτόσημα:

<u>Μποζόνια</u>
$ = \text{άρτιο} \rightarrow \text{ομοπαράλληλα}$
$ = \text{περιττό} \rightarrow \text{αντιπαράλληλα}$

<u>Φερμιόνια</u>
$ = \text{άρτιο} \rightarrow \text{αντιπαράλληλα}$
$ = \text{περιττό} \rightarrow \text{παράλληλα}$



Εφαρμογή της ιδιότητας της **συμμετρίας** της κυματοσυνάρτησης **δύο ταυτόσημων** **μποζονίων**

- Παράδειγμα : η διάσπαση του μεσονίου $\rho^0 \rightarrow 2\pi^0$

$$\rho^0 : \text{σπιν} = 1, l=0 \Rightarrow J=1$$

$$\pi^0 : \text{σπιν} = 0, l=0 \Rightarrow J=0 \Rightarrow \text{ταυτόσημα μποζόνια}$$

$$J \text{ διατηρείται} \Rightarrow l_{\text{σχετ}} [(\pi^0_1) + (\pi^0_2)] = 1 = J(\rho^0) = 1$$

Η $\Psi_{\beta(\text{σπιν})} (1,2)$ **συμμετρική** $\Rightarrow \Psi_{\alpha(\text{χώρου})} (1,2)$ **πρέπει να**
είναι συμμετρική $\Rightarrow l$ **αρτίο** $\Rightarrow J \neq 1 \Rightarrow$ **Μη διατήρηση της**
ολικής στροφορμής

$\Rightarrow$ Η διάσπαση $\rho^0 \rightarrow 2\pi^0$ **απαγορεύεται**

Ενώ η διάσπαση $\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \rightarrow$ **μη ταυτόσημα σωμάτια**
επιτρέπεται

Η απαγορευτική αρχή του Pauli

- Στην Κβαντομηχανική οι τροχιές του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα είναι 'κβαντισμένες' Μόνον ορισμένες τροχιές (που χαρακτηρίζονται με ακέραιους κβαντικούς αριθμούς) είναι επιτρεπτές
- Σε άτομα με $Z > 2$ μόνο δύο ηλεκτρόνια υπάρχουν στην 'βαθύτερη' στιβάδα- **Γιατί?**

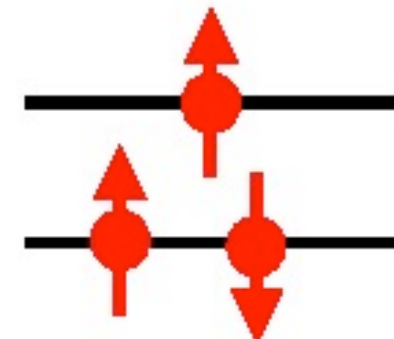
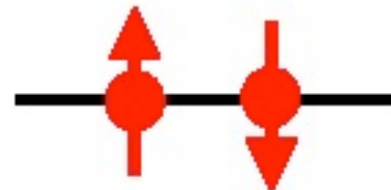
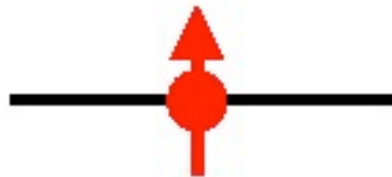
ANSWER (Pauli, 1925): two electrons (spin = $\frac{1}{2}$) can never be in the same physical state

Hydrogen ($Z = 1$)

Helium ($Z = 2$)

Lithium ($Z = 3$)

Lowest
energy
state →



Wolfgang Pauli

Η απαγορευτική αρχή του Pauli ισχύει για **όλα** τα σωματίδια με **ημιακέραιο spin: Φερμιόνια**