Στοιχειώδη Σωματίδια Εισαγωγή

Διάλεξη 19η

Πετρίδου Χαρά

Τι θα μάθουμε (Ι)

- 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
  - Σωμάτια & Αντισωμάτια

Τι θα μάθουμε (ΙΙ)

- Θεμελειώδη Συστατικά της Ύλης - Το Καθιερωμένο Πρότυπο
  - Τα θεμελειώδη 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 (III)

- 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

Κάποια υπαρχουν 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 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** 5th edition, McGraw Hill (ISBN 0-07-113849-8) (και μεταφρασμένο),Chapter 14: Elementary particles Αδρόνια, Quarks, Λεπτόνια, Κβαντικόι αριθμοί Στοιχειωδών Σωματιδίων, Ισοσπίν (Ισοτοπικό σπίν), Συμμετρίες και Αρχές Διατήρησης, Θεμελειώδεις 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 Σωμάτια

..... και για τα Χριστούγεννα .....

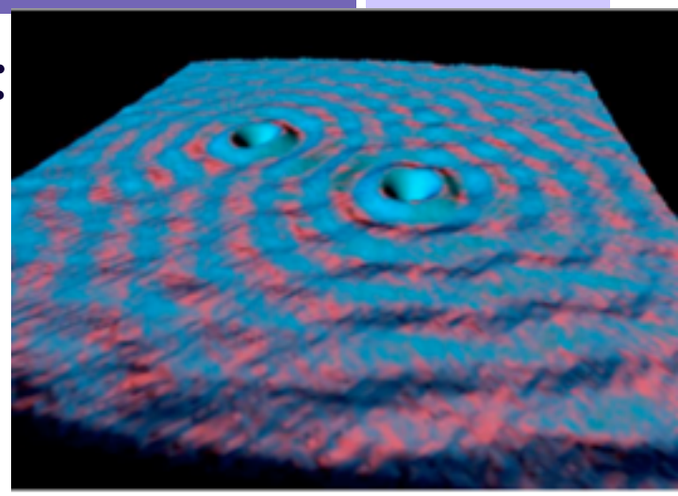
Κάποια υπαρχουν και στο 1ο μάθημα του κ. Κορδά

- 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

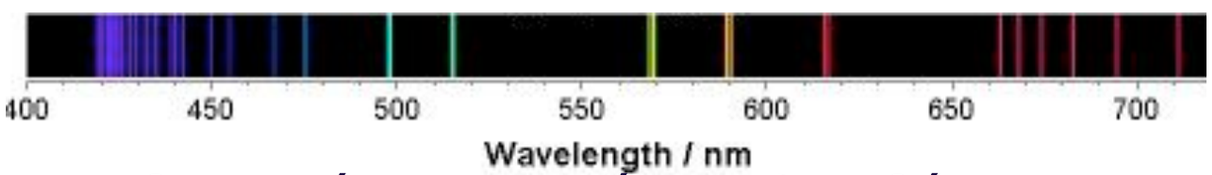
“ Ά dieu ” … Στους Πυρήνες

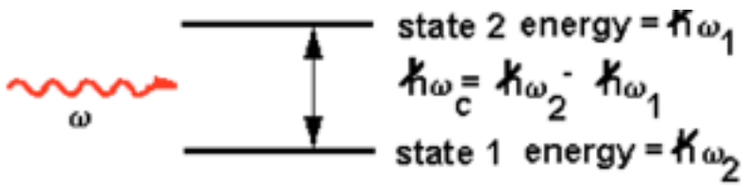
- Οι πυρήνες είναι περίπλοκα συστήματα πολλών σωμάτων που συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις ελάχιστα κατανοητές
- Οι θεωρείες/μοντέλα της συμπεριφοράς και της δομής του πυρήνα δεν περιγράφονται με ένα ενιαίο πρότυπο
- Οι θεωρείες/μοντέλα της συμπεριφοράς και δομής των πυρήνων αλλάζουν:
  - για διαφορετικές 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



- Θεμελειώδεις Αρχές της Κβαντικής Μηχανικής:
  - Ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός της ύλης
  - Η διακριτότητα: Οι αλλαγές σε ένα φυσικό σύστημα είναι διακριτές

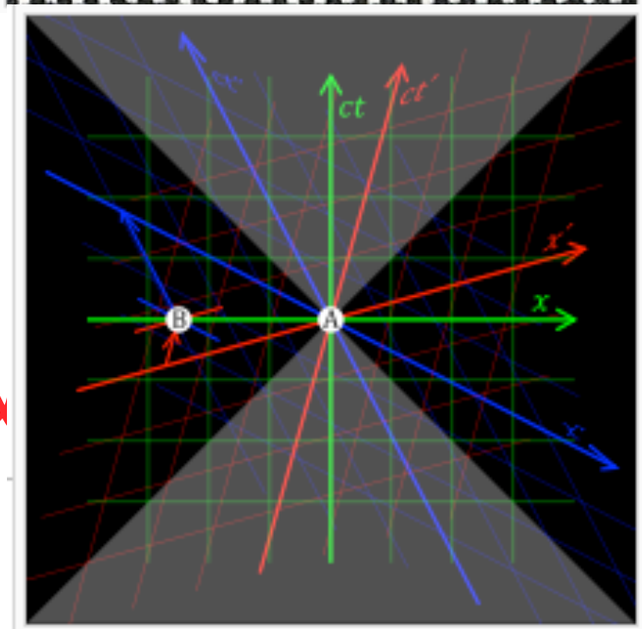




- Η Κβαντική Μηχανική περιλαμβάνει:
  - Την εισαγωγή των Τελεστών – Σχέση Τελεστών και Φυσικών μεγεθών (Ιδιότητες των φυσικών μεγεθών στην Κβαντομηχανική)
  - Την μαθηματική περιγραφή των υλικών κυμάτων (εξίσωση Schroedinger)
  - Την πυκνότητα πιθανότητας(στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης) και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

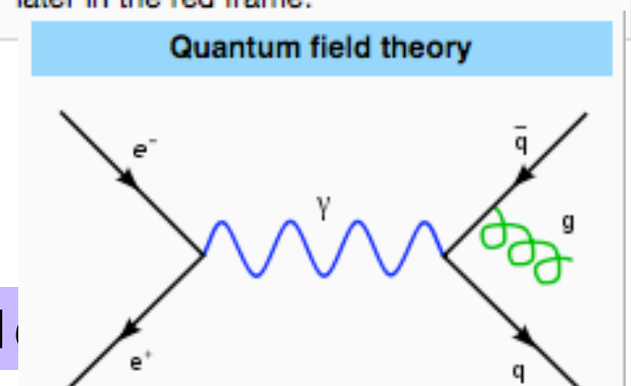
Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

- 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**

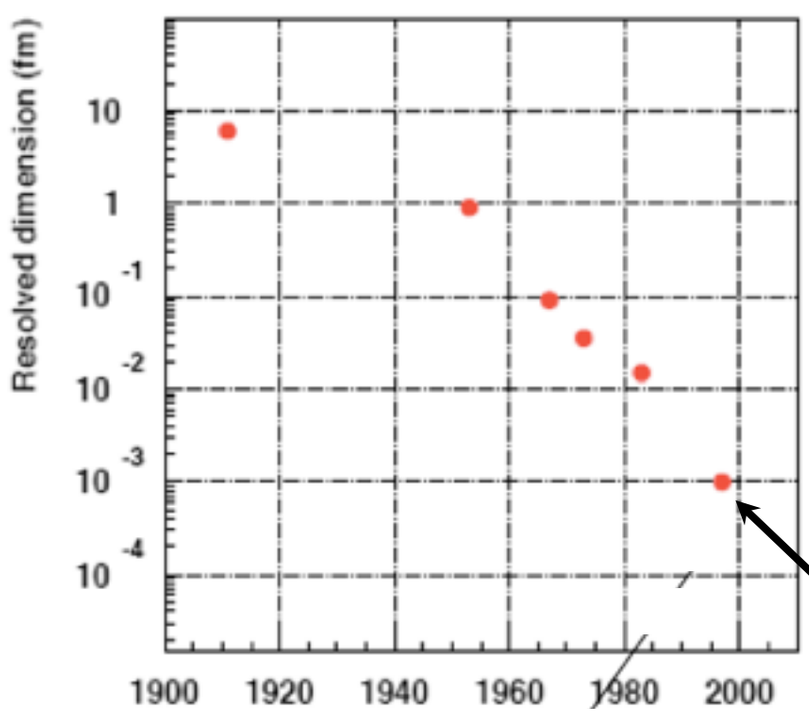


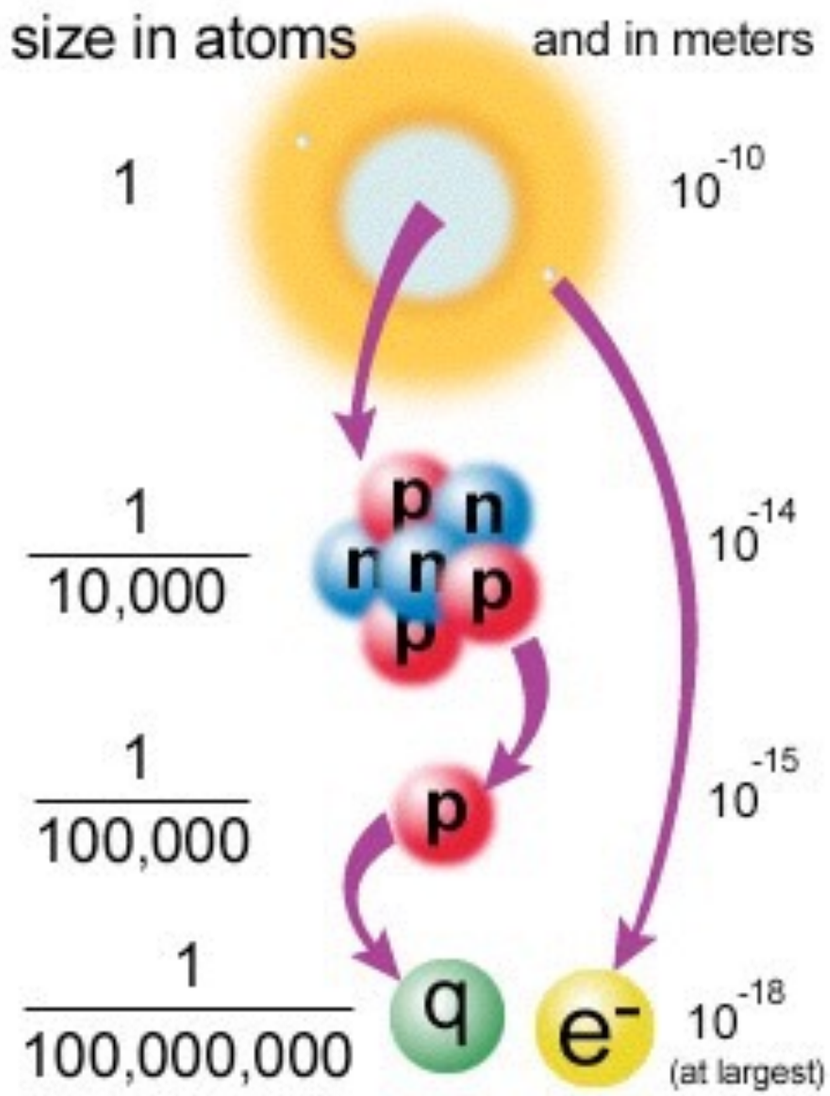
Event B is simultaneous with A in the green reference frame, but it occurred before in the blue frame, and will occur later in the red frame.

- 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



Απο τα νουκλεόνια στα quarks





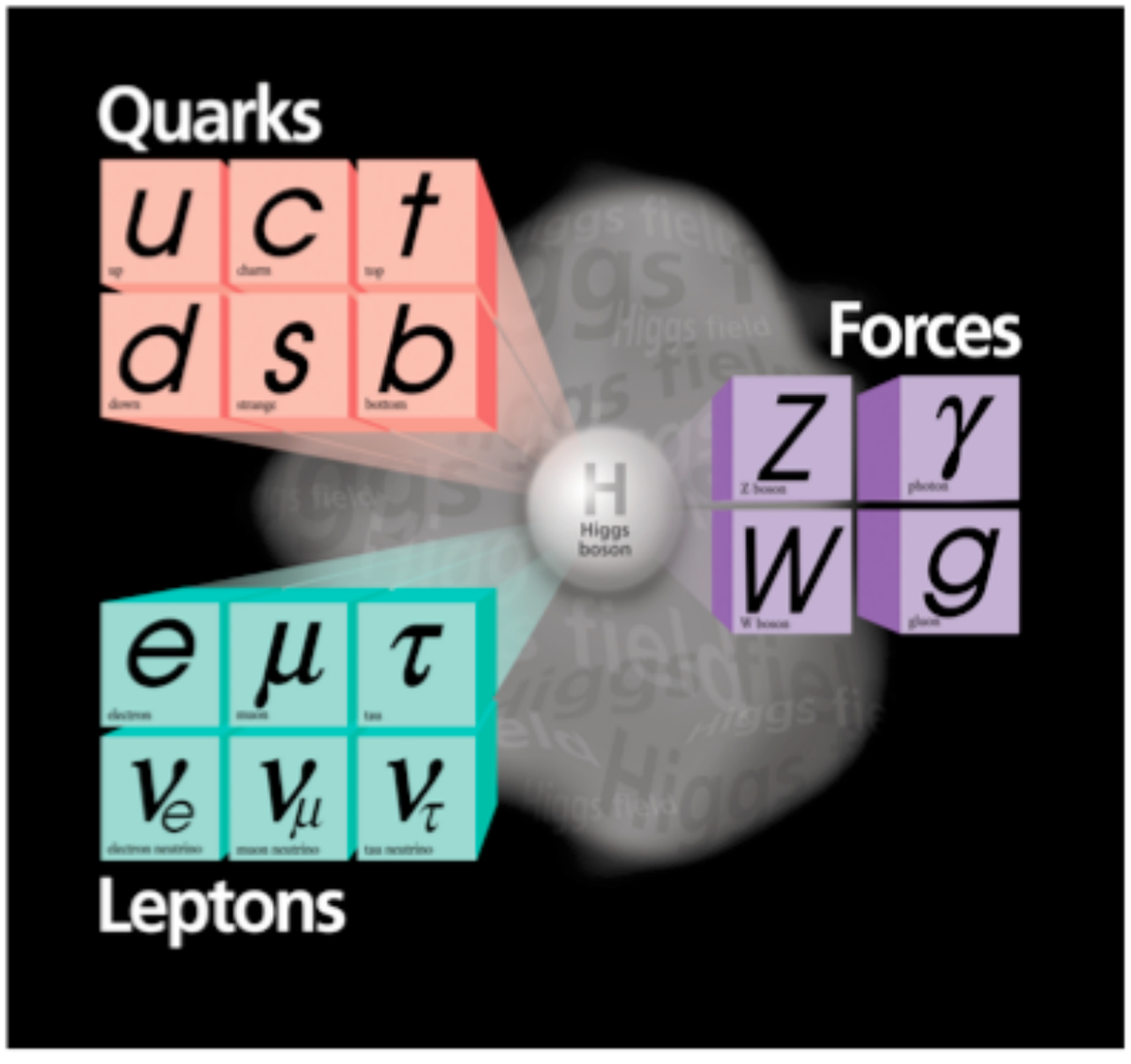
Μέχρι 10^{-3} fm τα quark συμπεριφέρονται σαν σημεία !

- Άτομο: Πυρήνας+ e
- Πυρήνας: p+n
- p,n: quarks+ gluons
- quarks: ???? Είναι θεμελειώδη?

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

Τα ξαναείδατε και στο 1ο μάθημα του κ. Κορδά

Σωματίδια ύλης

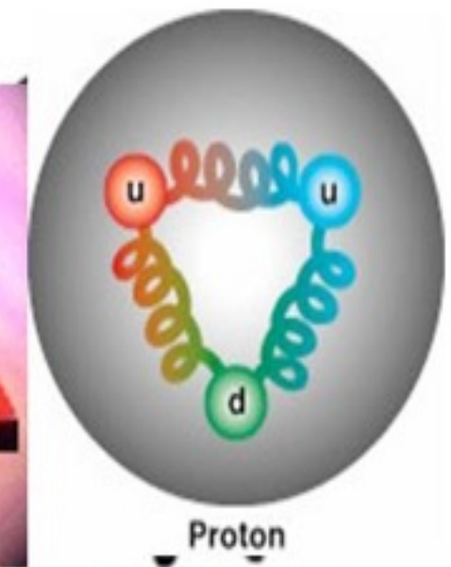


Σωματίδια δυνάμεων

- Κατά το Καθιερωμένο Πρότυπο της Σωματιδιακής Φυσικής (μια Κβαντική Θεωρία Πεδίου):
  - Τα θεμελειώδη συστατικά της ύλης που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους είναι φερμιόνια:
    - **Κουάρκ και λεπτόνια**
  - Οι φορείς των αλληλεπιδράσεων μποζόνια (σωματίδια δυνάμεων)

Οι δυνάμεις της φύσης …
όπως τις γνωρίζουμε σήμερα (τεσσερεις)

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

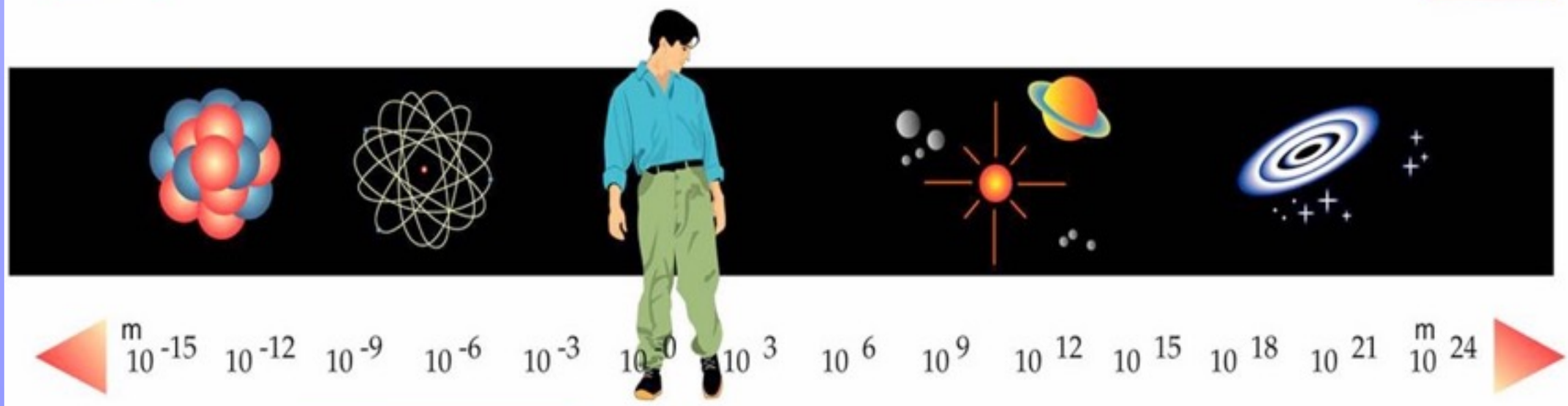
Οι δύο περιοχές στην Έρευνα της Φυσικής

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’**



Μικροσκόπια

Microscopes

Κιάλια

Binoculars

Οπτικά Τηλεσκόπια

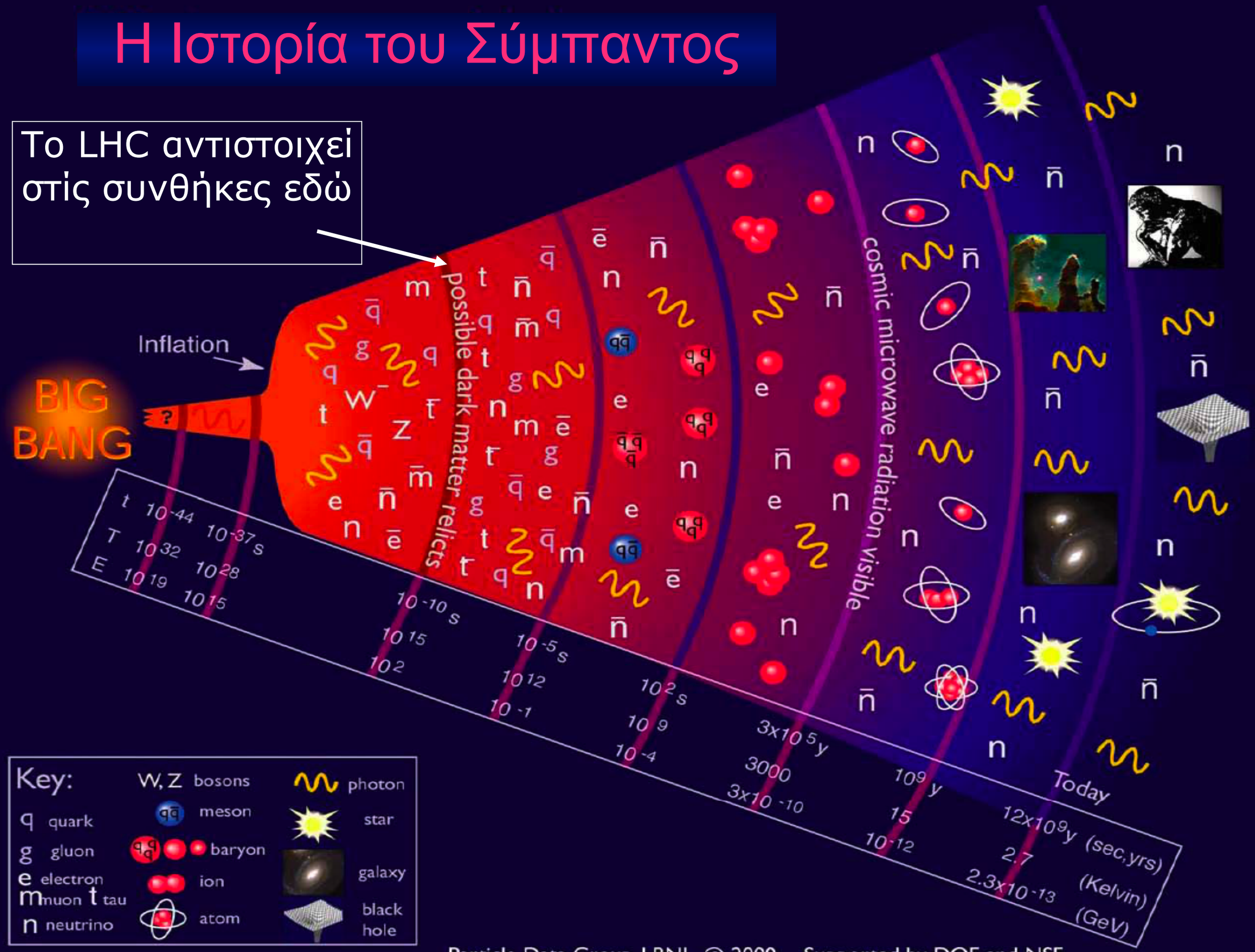
Ραδιοτηλεσκόπια

Γυμνό μάτι

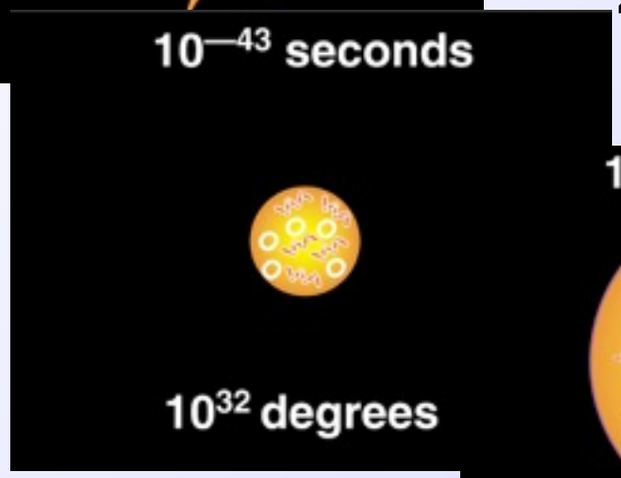
Επιταχυντές Σωματιδίων & Ανιχνευτές

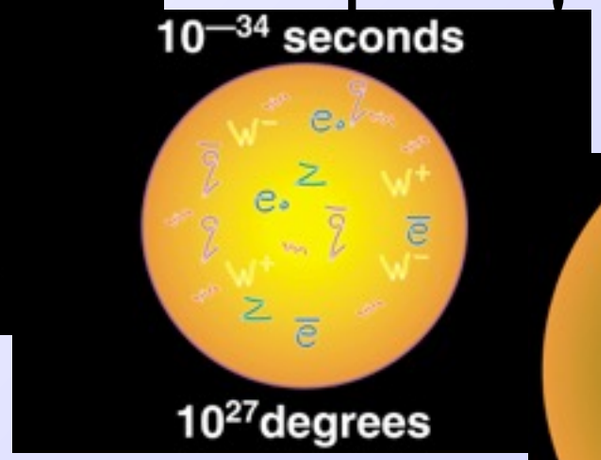
Η Ιστορία του Σύμπαντος

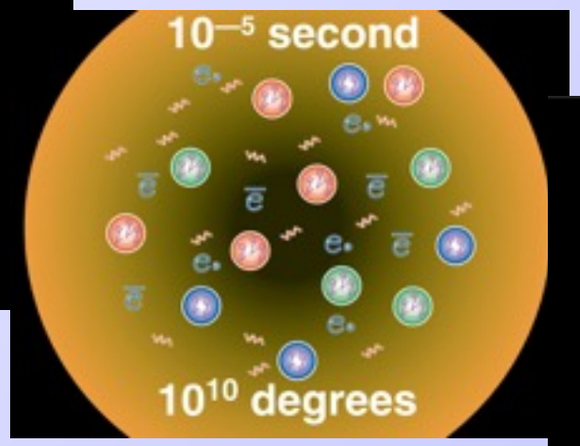
Το LHC αντιστοιχεί στίς συνθήκες εδώ

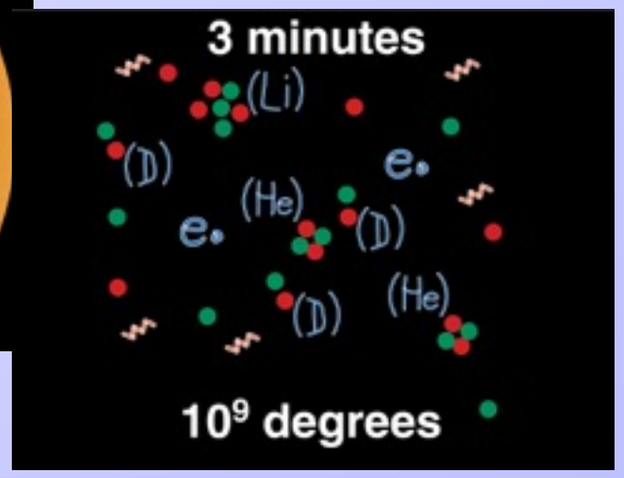


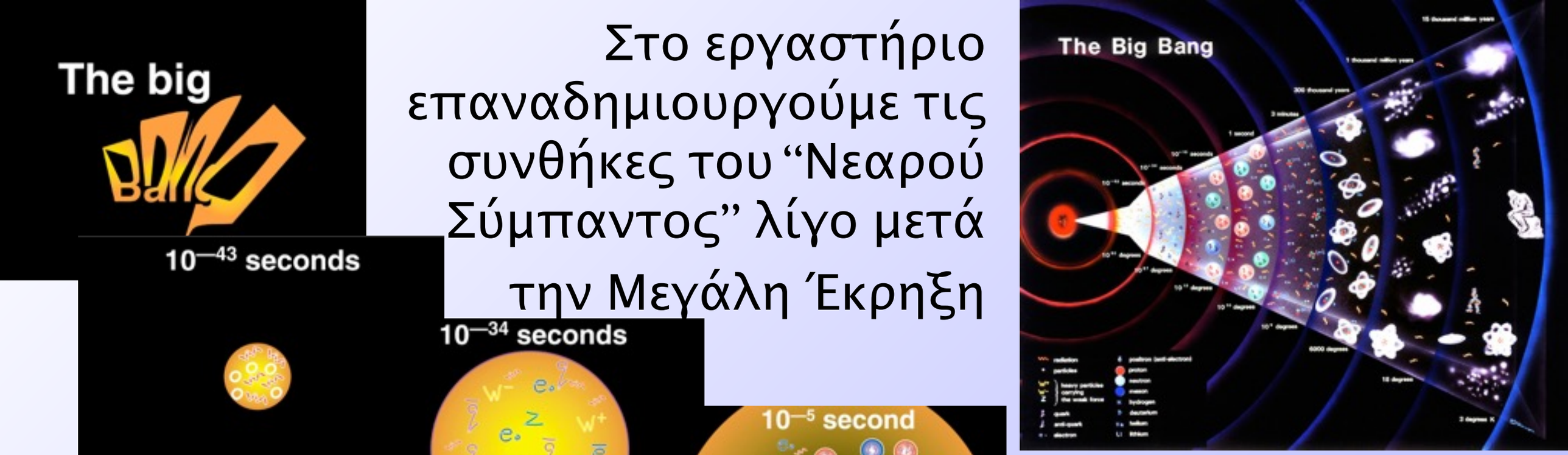
Στο εργαστήριο επαναδημιουργούμε τις συνθήκες του “Νεαρού Σύμπαντος” λίγο μετά την Μεγάλη Έκρηξη

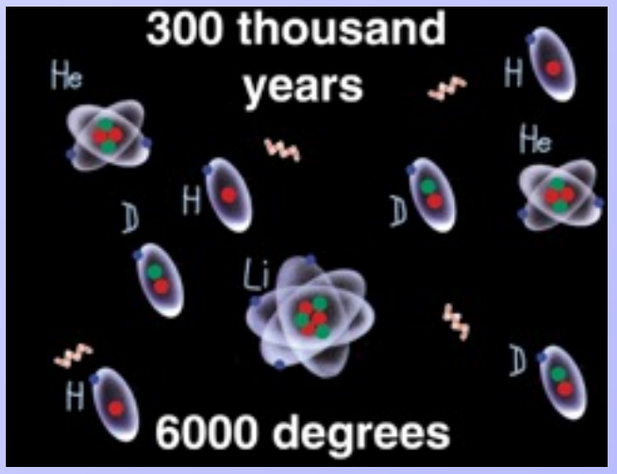












10^{-42} sec (10^{32} K): Εποχή της Κβαντικής Βαρύτητας

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?

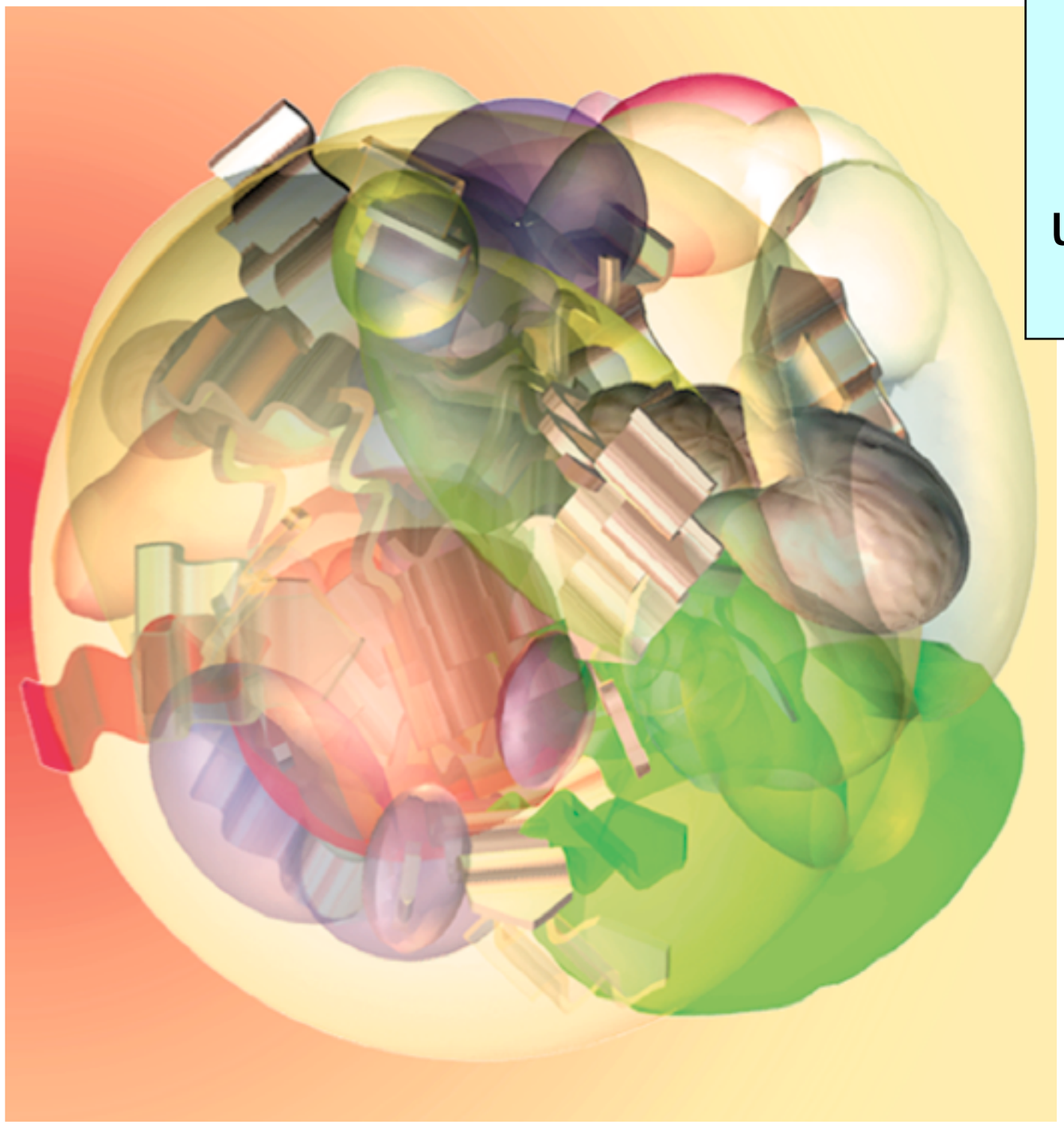
t - 10^{-43} s, 10^{32} K (10^{19} GeV, 10^{-34} m) : Gravity "freezes" out

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

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



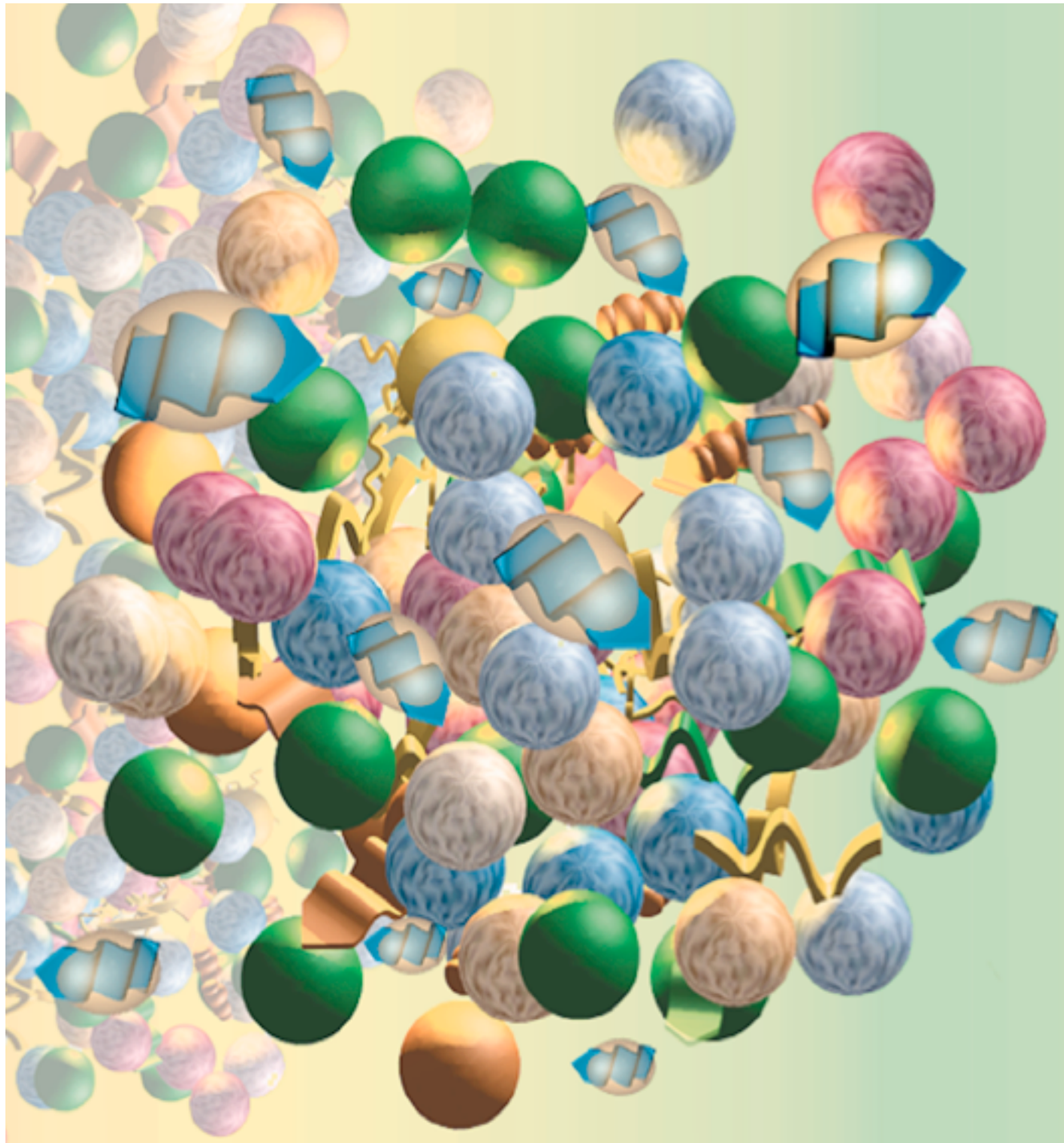
t - 10^{-35} s, 10^{27} K (10^{16} GeV, 10^{-32} m) : Inflation

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 ~10^{23} 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 Ηλετρασθενούς Δύναμης

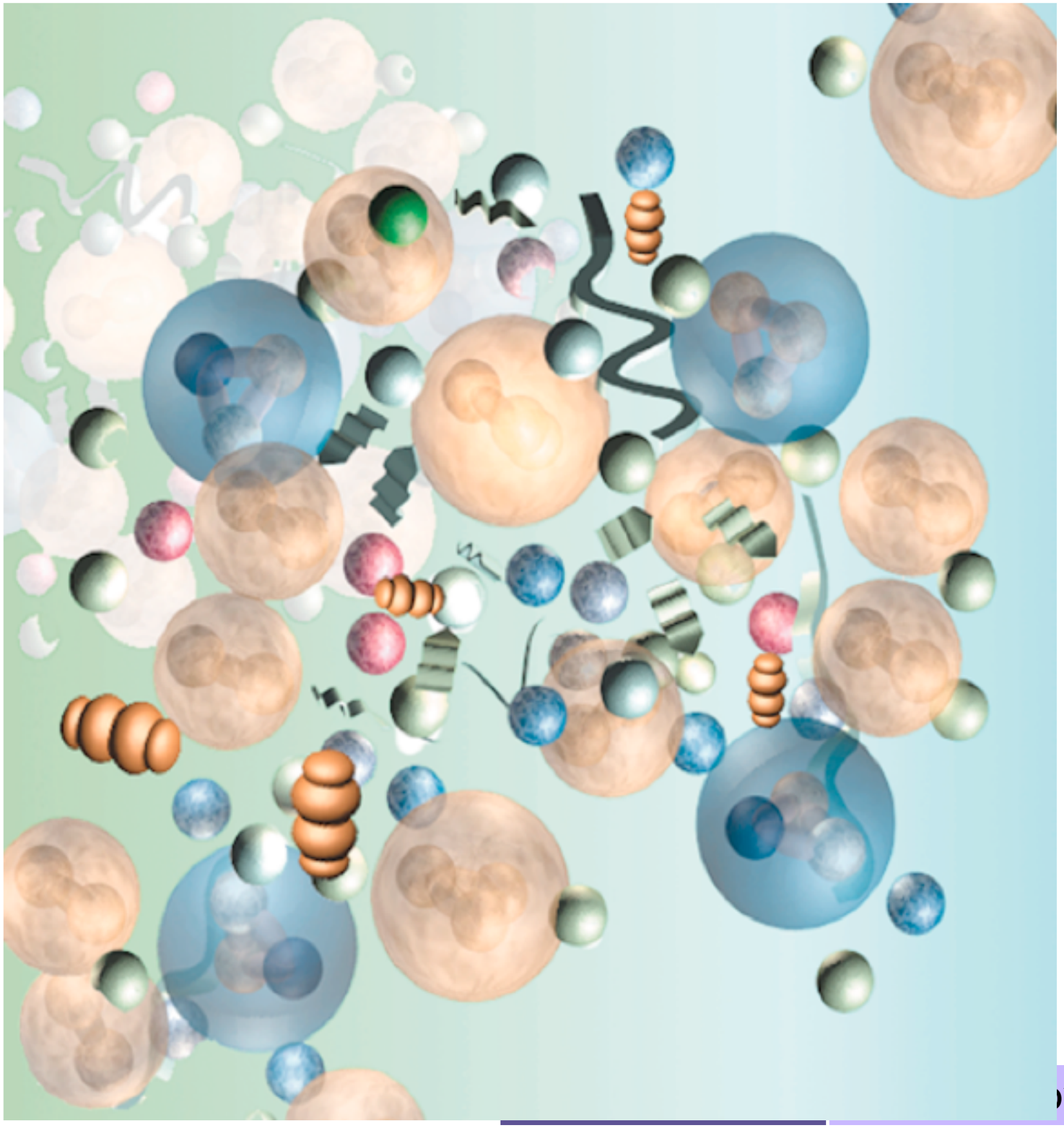


Διαχωρίζονται οι ασθενείς απο τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις
Η πυκνότητα ενέργειας αντιστοιχεί σε αυτή του LEP

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 temperture 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



Τα quark συνδυάζονται και σχηματίζουν τα πρωτόνια και τα νετρόνια

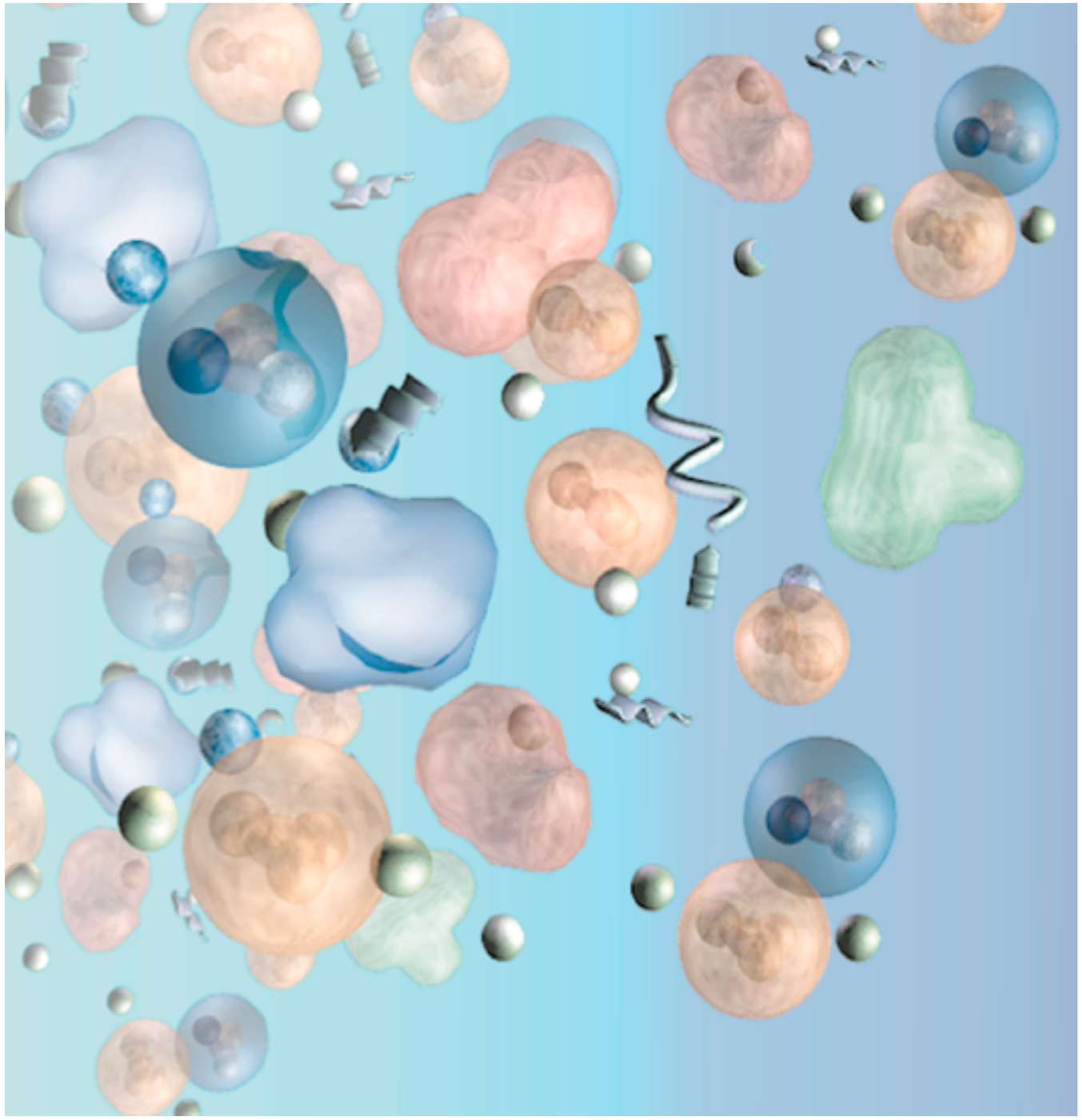
t - 10^{-4} s, 10^{13} K (1 GeV, 10^{-16} m) : Protons and Neutrons form

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.

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

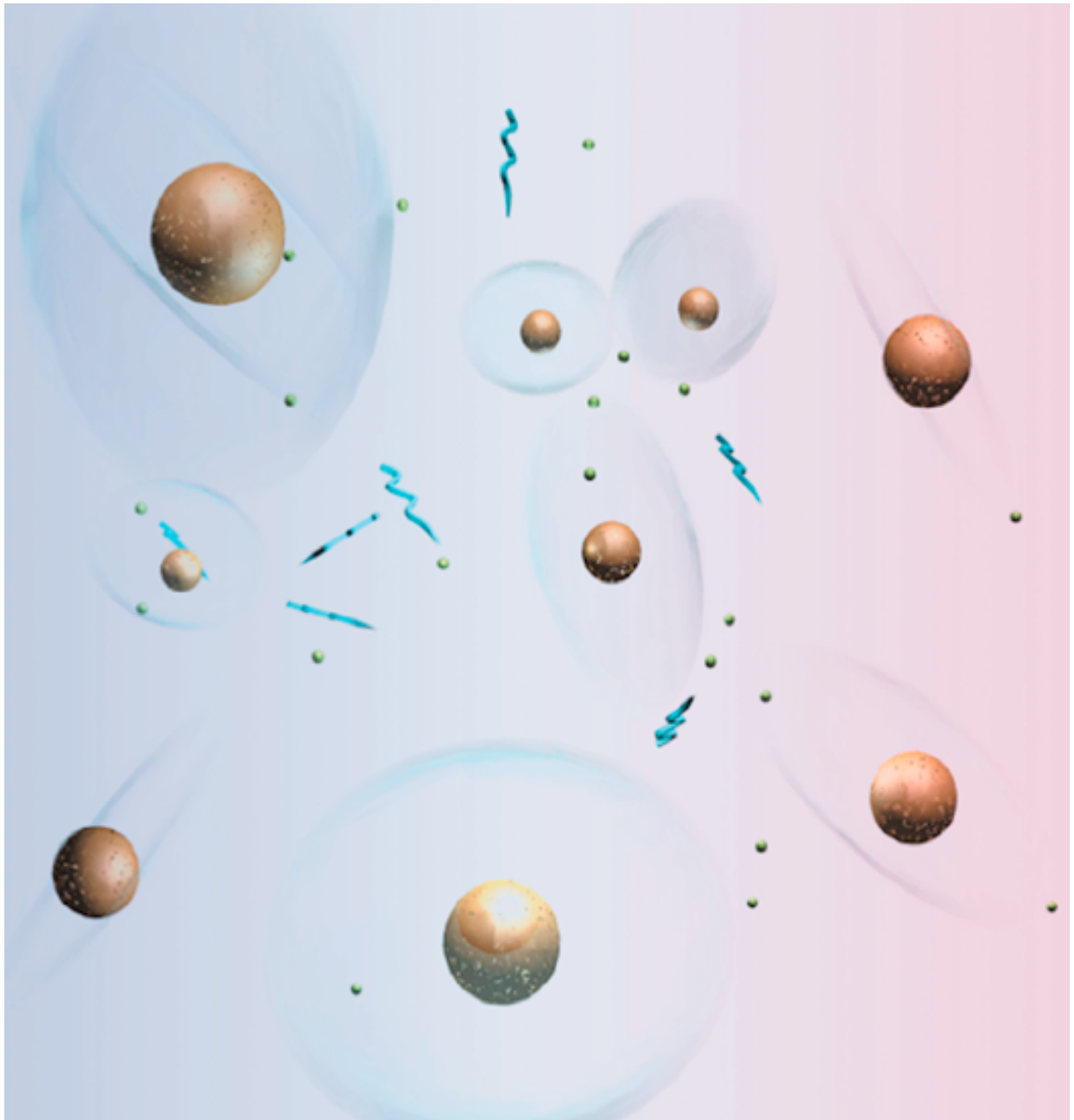


Τα πρωτόνια και τα νετρόνια συνδυάζονται και σχηματίζουν τους πρώτους πυρήνες (D, He, Li)

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.

$3x10^5$ έτη (6000 K): Εποχή του “φωτός”, Σχηματισμός ατόμων



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

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.

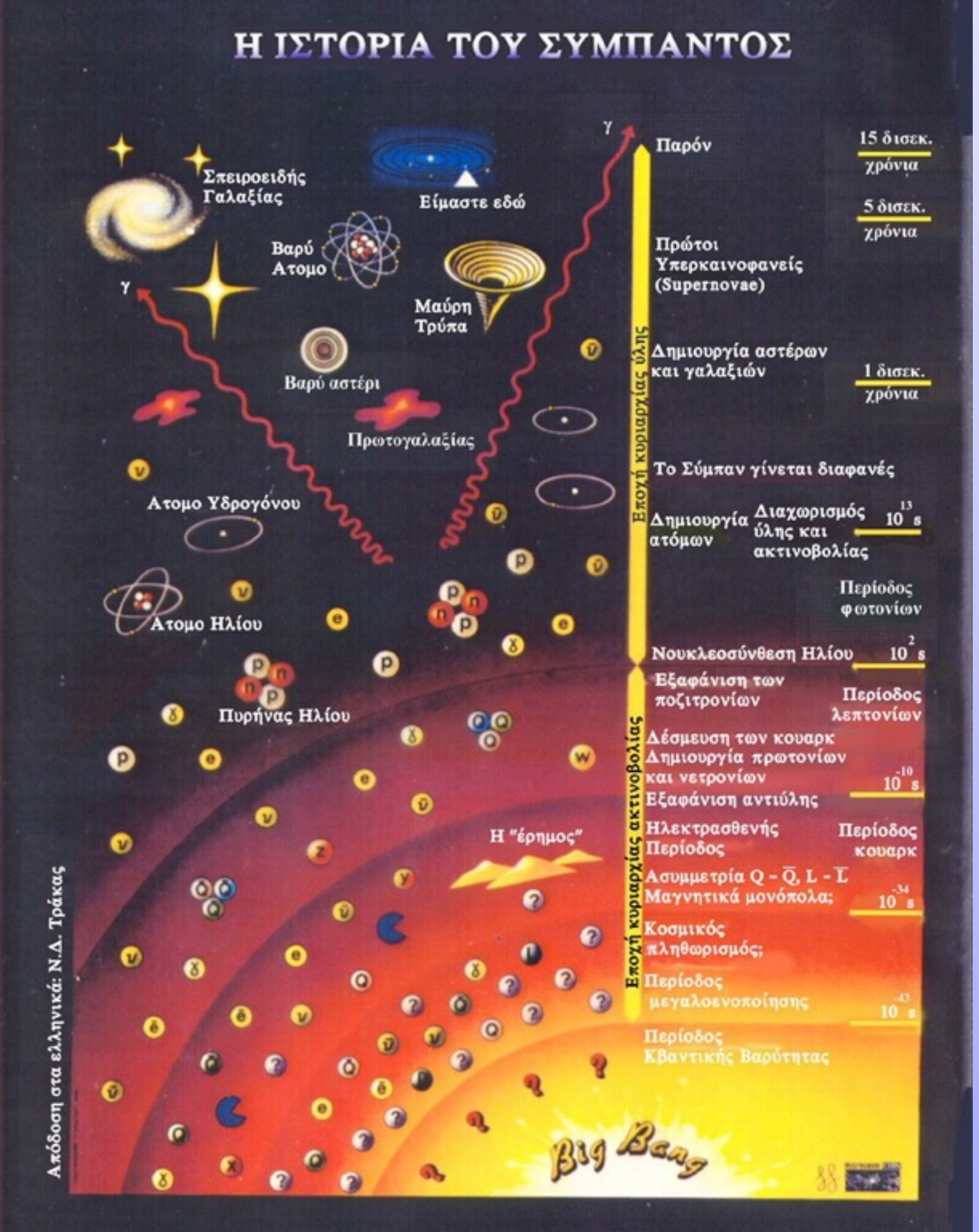
13.6×10^9 έτη (3 K): Σήμερα .....

Υπάρχουμε !

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

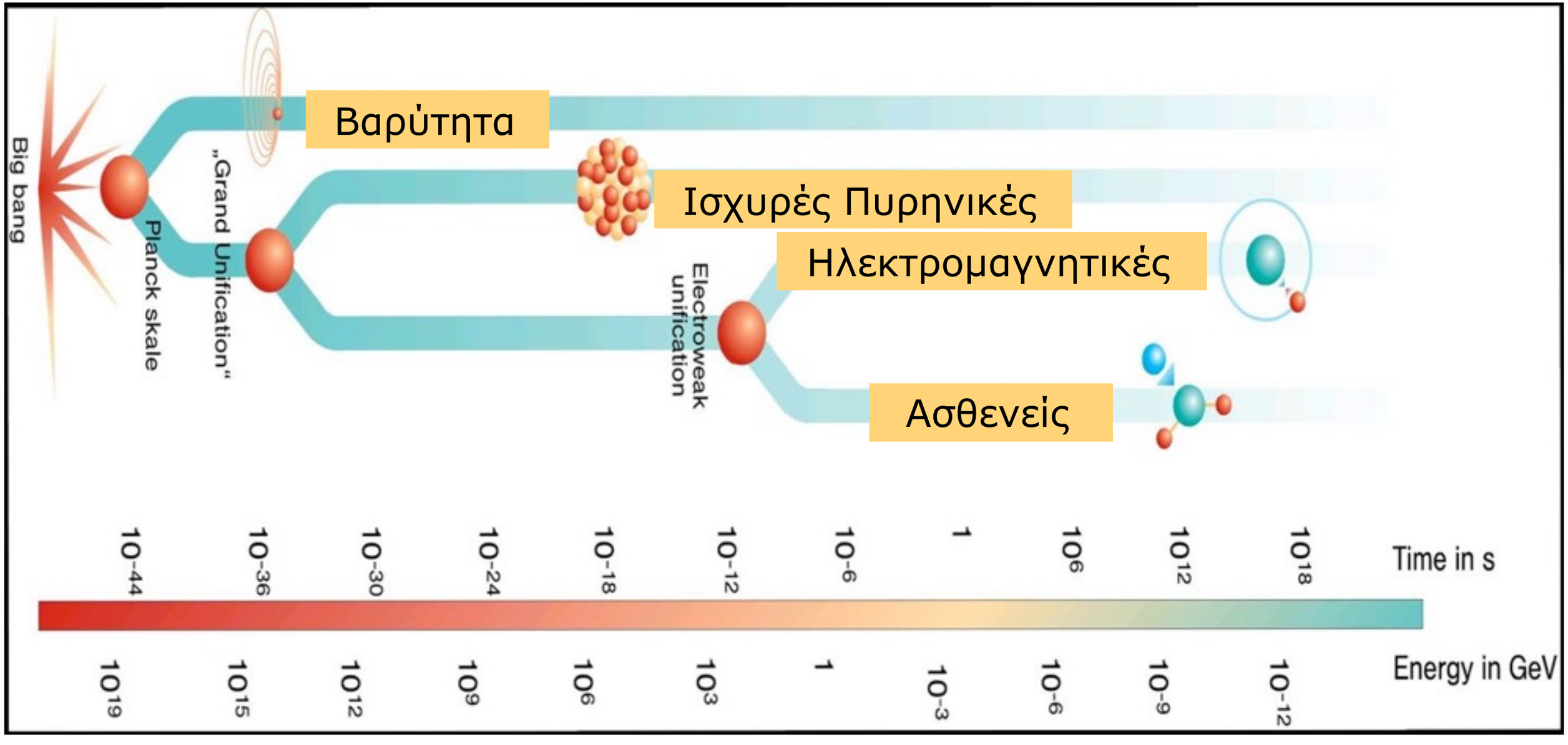
The present day. Chemical processes have linked atoms to form molecules. From the dust of stars and through coded messages (DNA) humans emerge to observe the universe around them.

Ο Μικρόκοσμος και το Σύμπαν

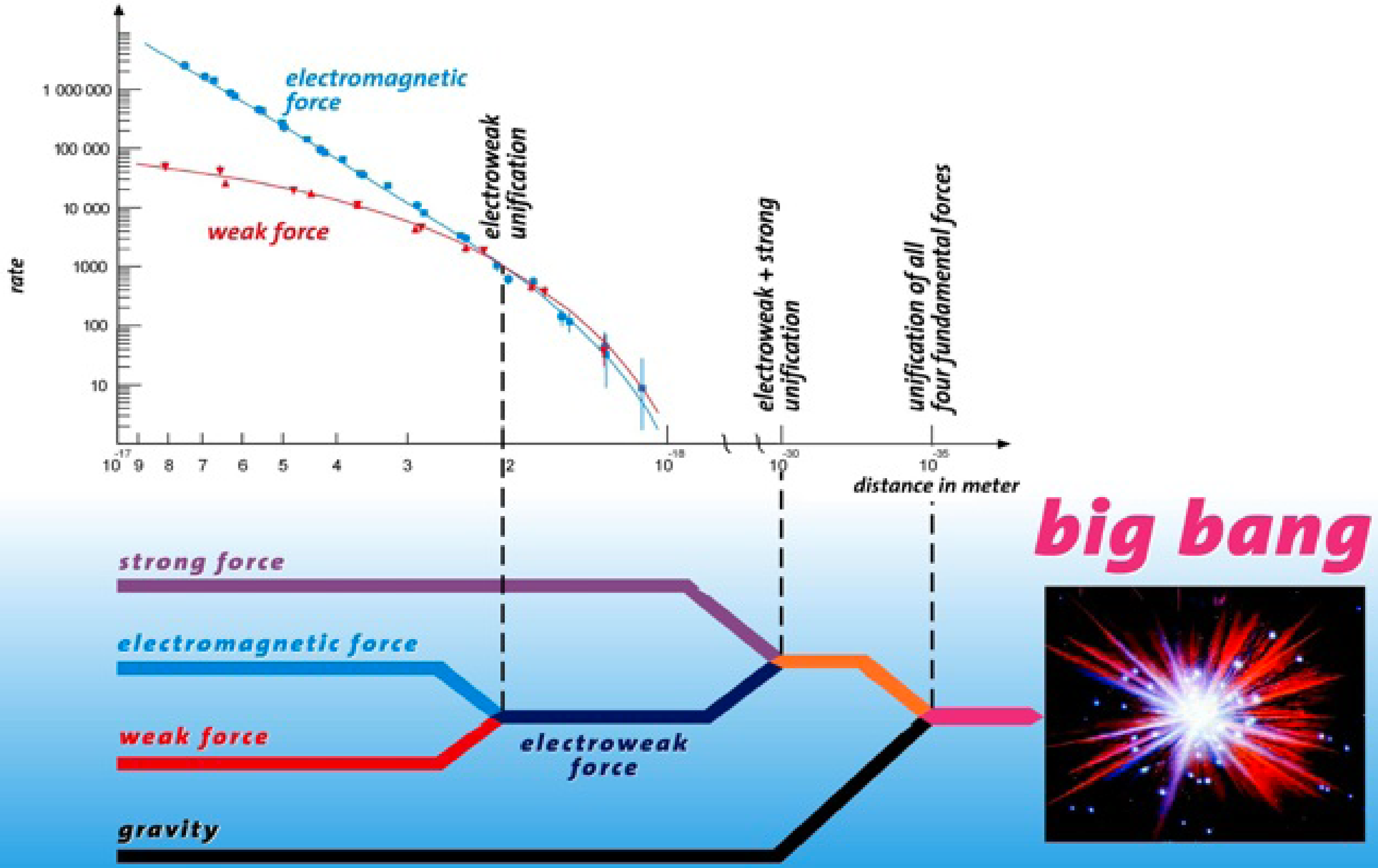


1 δισεκ. χρόνια	Δημιουργία αστέρων κα γαλαξιών
10^{13} sec	Δημιουργία ατόμων Διαχωρισμός ύλης και ακτινοβολίας
10^{2} sec	Δημιουργία πρωτονίων και νετρονίων
10^{-18} sec	Εξαφάνιση αντιύλης
10^{-34} sec	Ενοποίηση των ηλεκτροασθενών δυνάμεων Επιταχυντές : SPS, LEP, LHC
10^{-43} sec	Μεγαλο-Ενοποίηση των Δυνάμεων

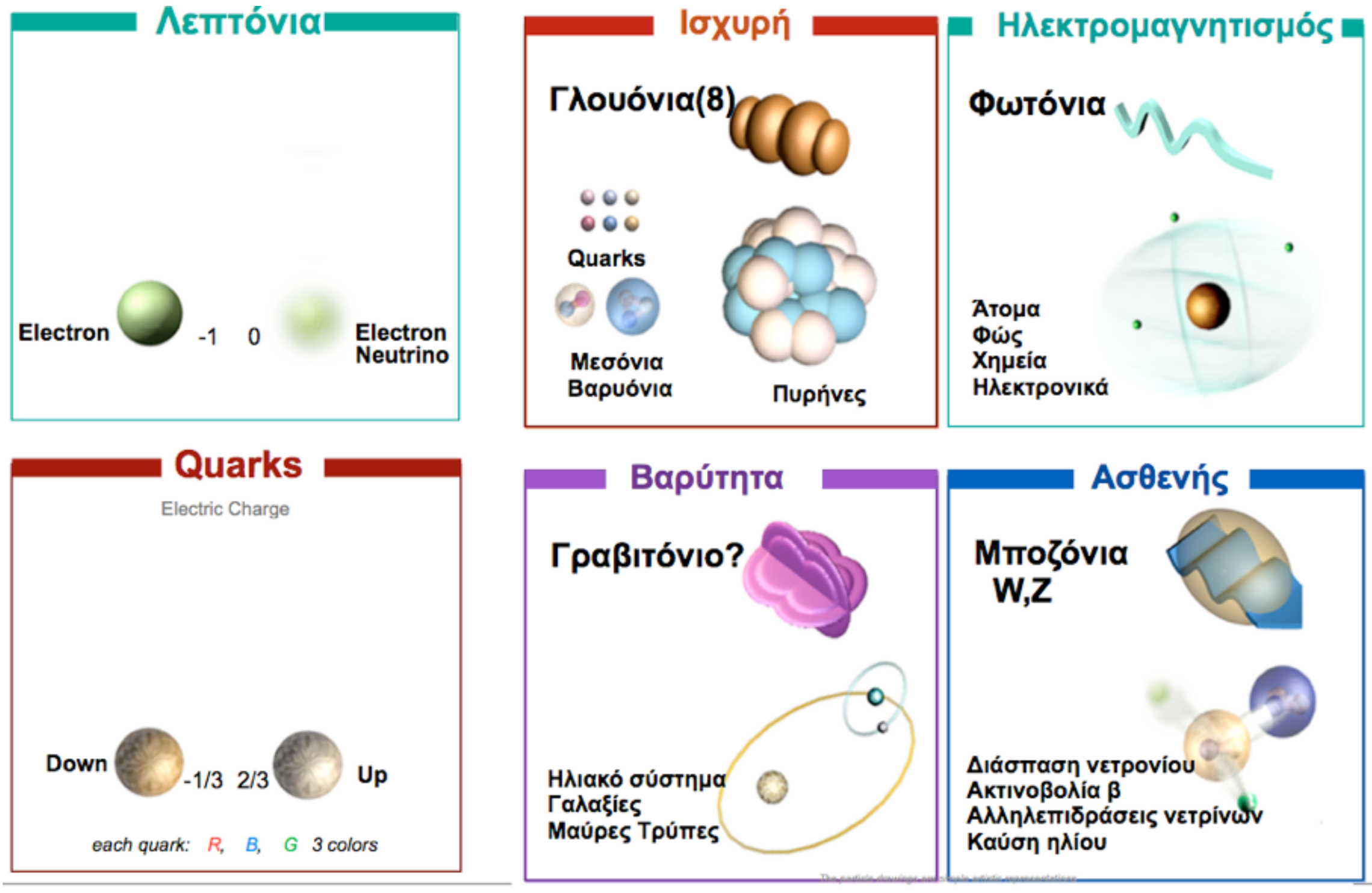
Το “Ενοποίηση των Δυνάμεων”



Το “Σπάσιμο της Συμμετρίας”

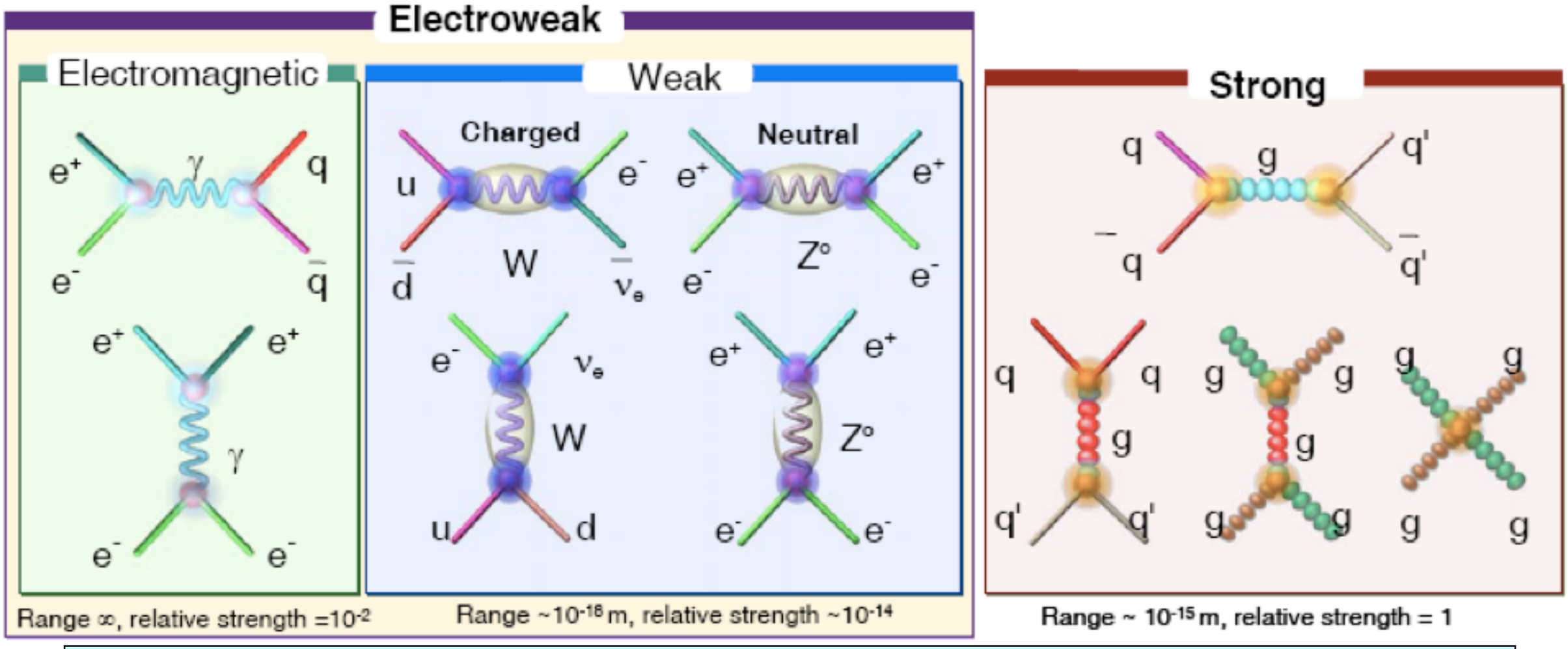


Τα Στοιχειώδη σωματίδια του κόσμου μας



Δυνάμεις/Αλληλεπιδράσεις: Περιγράφονται με μία Κβαντική Θεωρία Πεδίου

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



Δύναμη ➠ **Ύπαρξη "φορτίου"** το οποίο θα πρέπει να διατηρείται
Διατήρηση "φορτίου" ➠ **Ύπαρξη Συμμετρίας**
Το Καθιερωμένο Πρότυπο είναι μια κβαντική θεωρία πεδίου που έχει την "εσωτερική συμμετρία": SU(3)xSU(2)xU(1)

Ανοιχτά Ερωτήματα Σήμερα

- Πως αποκτουν 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 διερευνούμε τα Ερωτήματα αυτά?

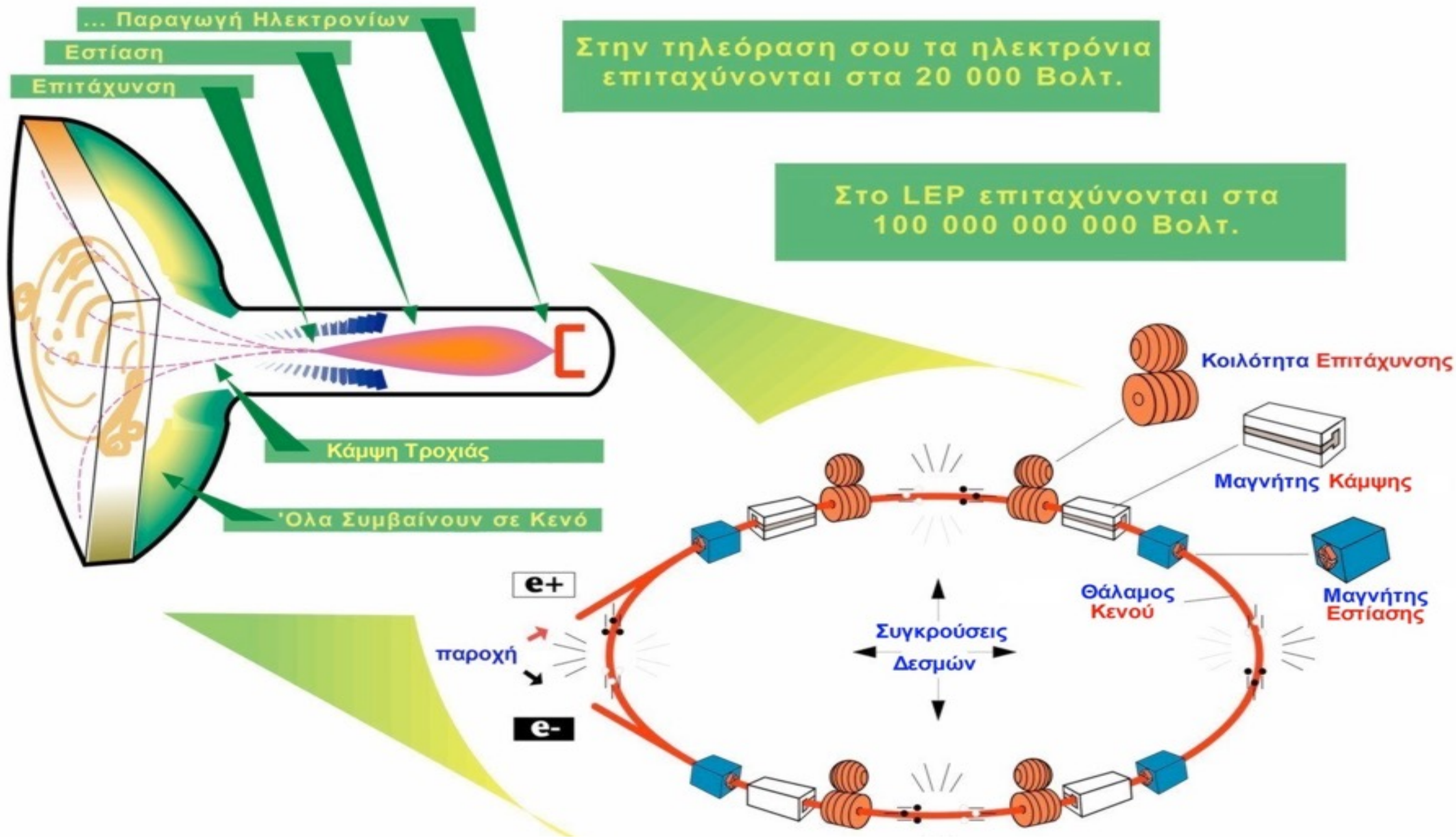
- Πως παράγουμε τα στοιχειώδη σωματίδια για να τα μελετήσουμε?
  - Το Διάστημα ! Είναι … "Εργοστάσιο κατασκευής Σωματιδίων"…. Ο ισχυρότερος αλλά ανεξέλεκτος "παραγωγός" σωματιδίων
  - Οι επιταχυντές ! που κατασκευάζονται στη γή, είναι ελεγχόμενης ενέργειας και έντασης "παραγωγοί" σωματιδίων

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

Κοσμική Ακτινοβολία

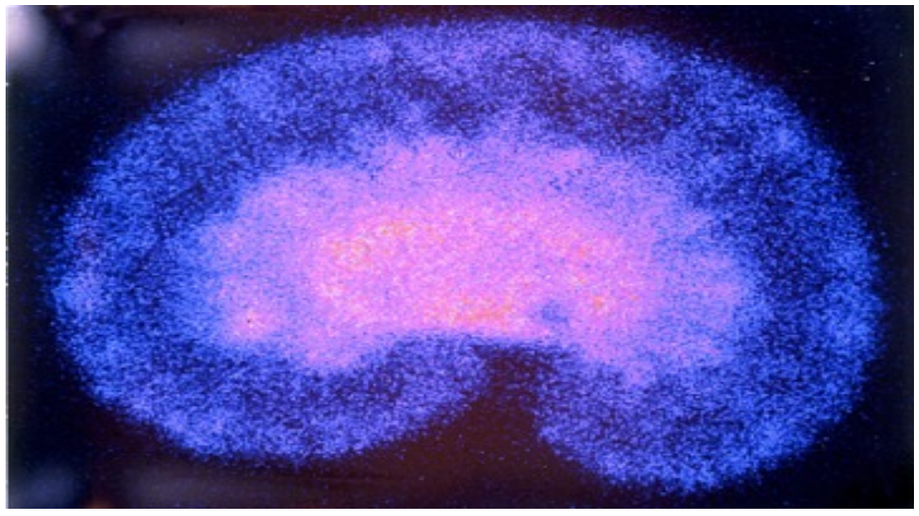
- Αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα της Γης
- Δευτερογενής παραγωγή σωματιδίων
- Ηλεκτρόνια, Μιόνια, Νετρίνα βομβαρδίζουν συνεχώς την Γη

Η τηλεόρασή μας:
Ο απλούστερος και μικρότερος επιταχυντής !



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

Τεχνοβλαστοί-Εφαρμογές της έρευνας για τα στοιχειώδη σωματίδια



Ιατρική Φυσική:

Διαγνωστική:Τομογραφία

Θεραπεία: Ελεγχόμενη ακτινοβόληση

➠➠Ανάπτυξη τεχνολογίας ανιχνευτών

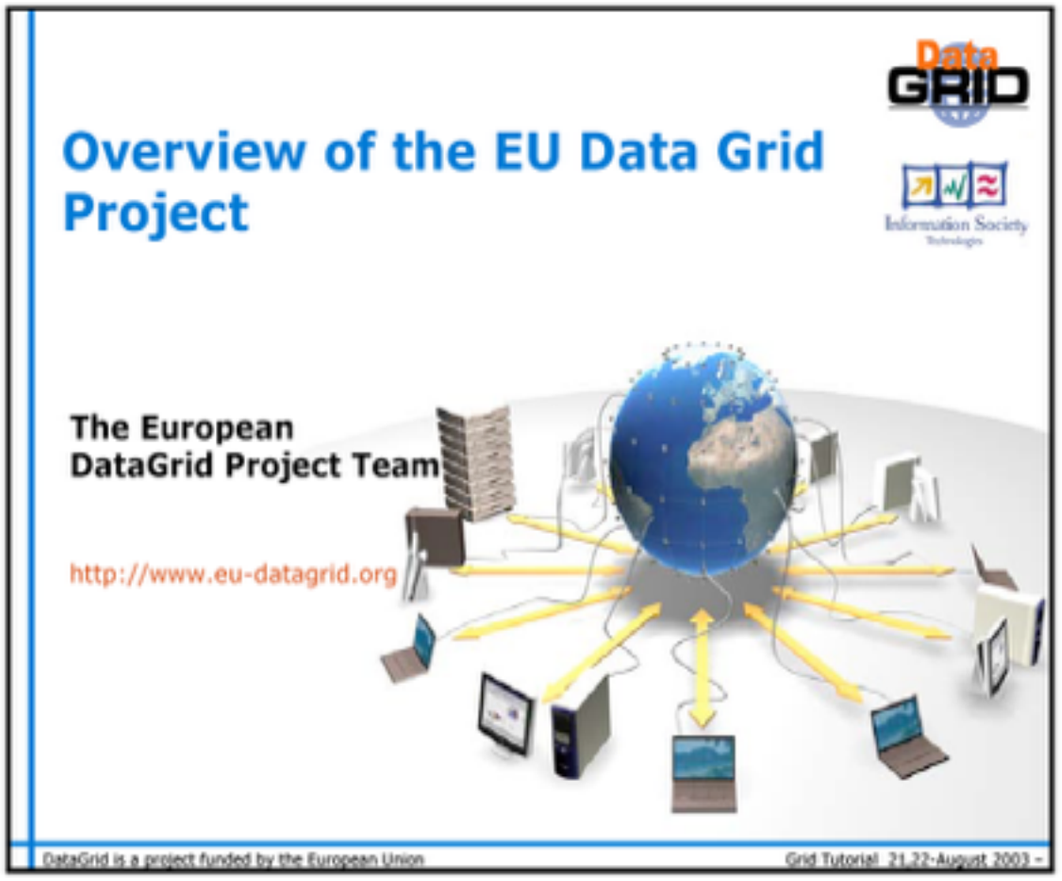
World Wide Web

Where the Web is born

Σύλληψη & Ανάπτυξη της επικοινωνίας στο διαδίκτυο

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

Τεχνοβλαστοί-Εφαρμογές της έρευνας για τα στοιχειώδη σωματίδια



Πληροφορική:

Ανάπτυξη της ΠλεγματικήςΤεχνολογίας: GRID

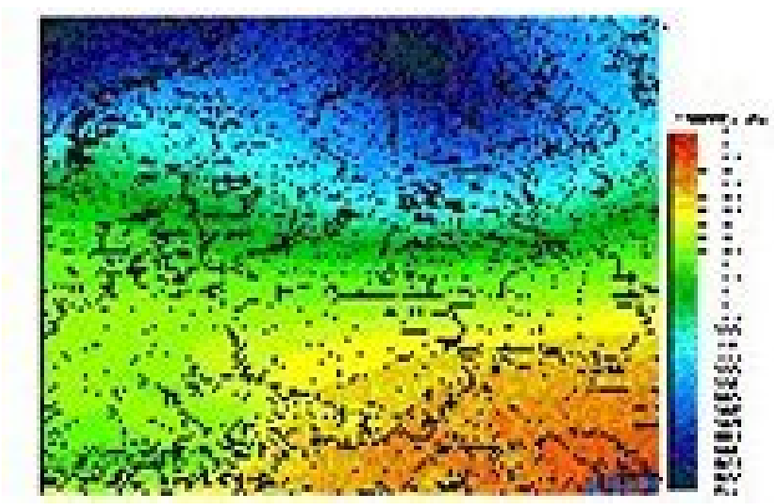
Ο Παγκόσμιος Ιστός Υπολογιστικής Ισχύος και

Αποθηγευτικού χώρου

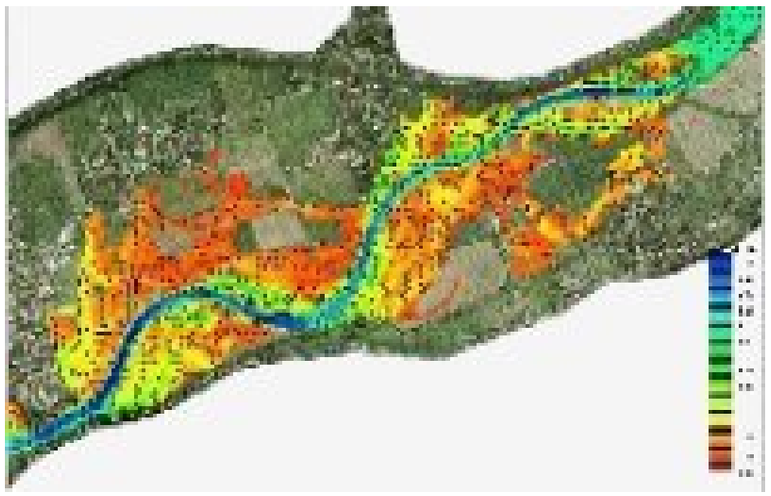
Εκμετάλλευση των παγκόσμια διαθέσιμων Υπολογιστικών Πόρων

Εφαρμογές της Τεχνολογίας Grid

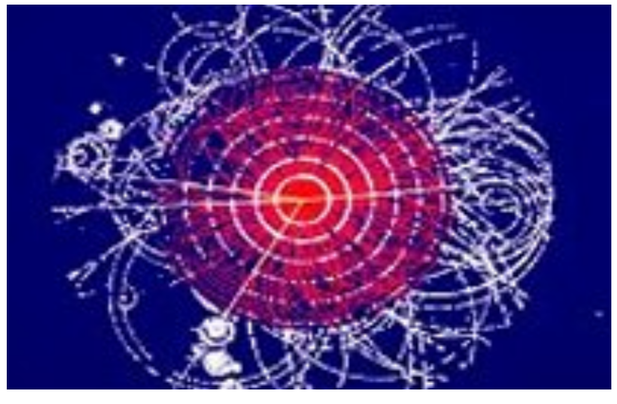
Meteo



Floods



Particle Physics

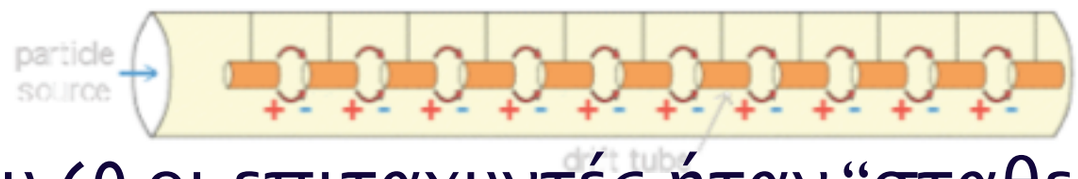


Medical

Οι Επιταχυντές Σωματιδίων σήμερα

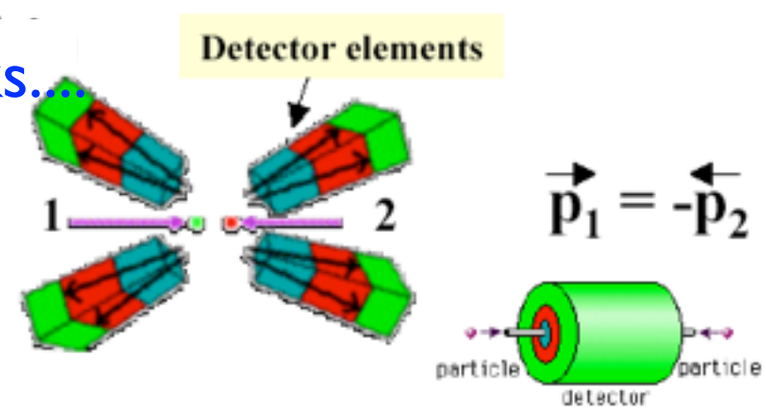
- Επιταχύνουν σωμάτια σε πολύ μεγάλες ενέργειες ➠ μικρό μήκος κύματος (Θυμηθείτε: κανουμε Πειράματα σκέδασης **λ=h/p**)

- Επιταχύνουμε φορτισμένα σωμάτια:
  - Έχουμε επιταχυντές ηλεκτρονίων και/ή πρωτονίων

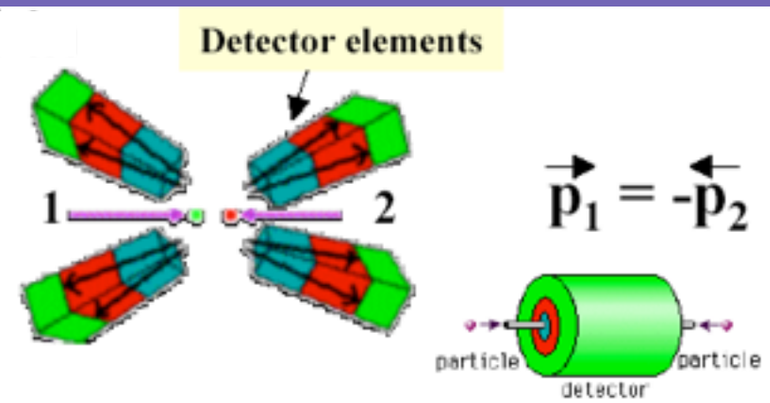


- Στη δεκαετία του 60 οι επιταχυντές ήταν "σταθερού στόχου": τα ηλεκτρόνια προσέπιπταν σε ένα στόχο (πρωτόνια) και έχαμε παραγωγή νέων σωματίων

  - Έτσι ανακαλύφθηκαν τα quarks....



Οι Επιταχυντές Σωματιδίων σήμερα



- Ο μεγαλύτερος επιταχυντής μέχρι το 2009 στο Fermilab:

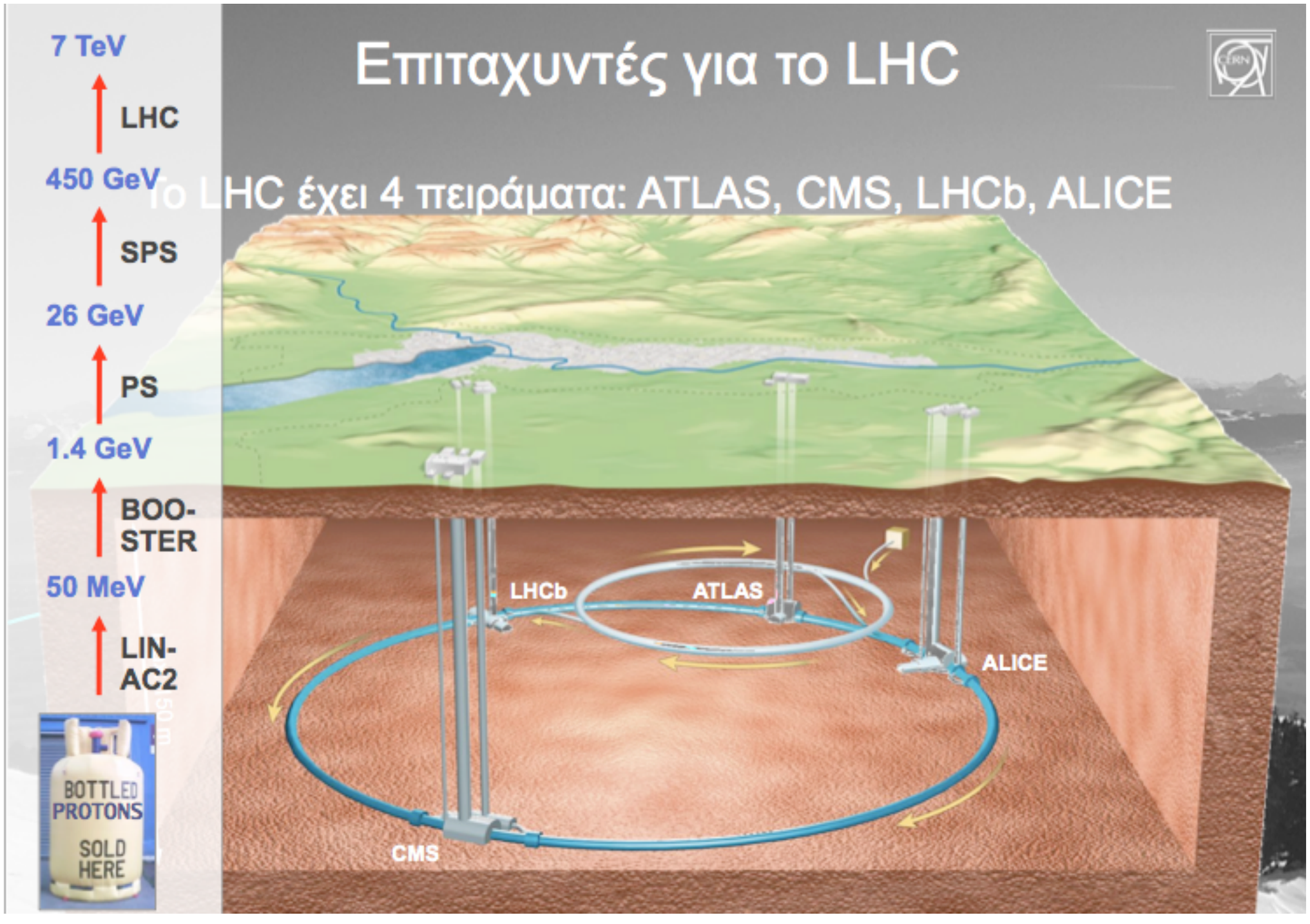
7km proton-antiproton

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**.

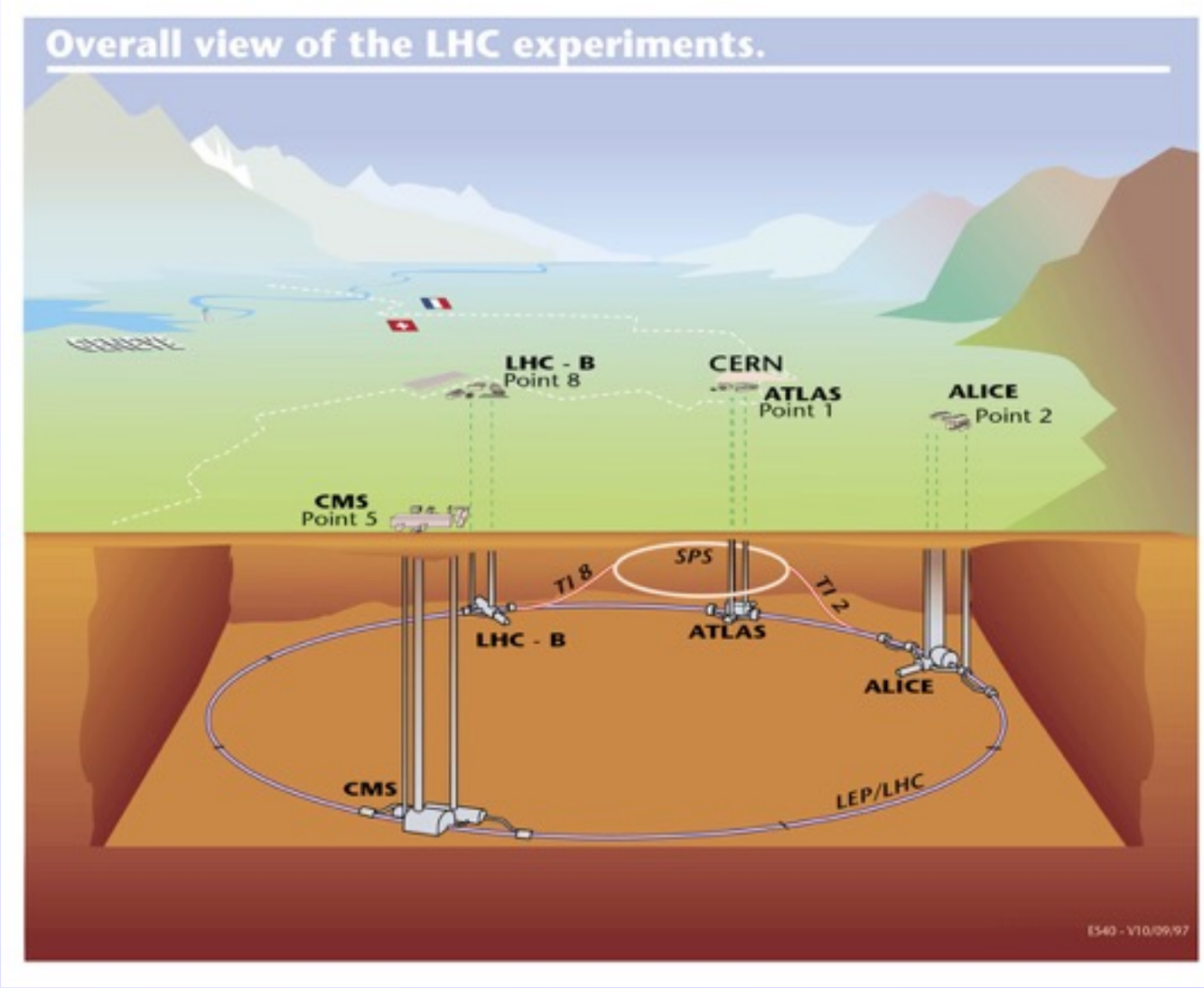
Το LHC στο CERN

Το LHC στο CERN

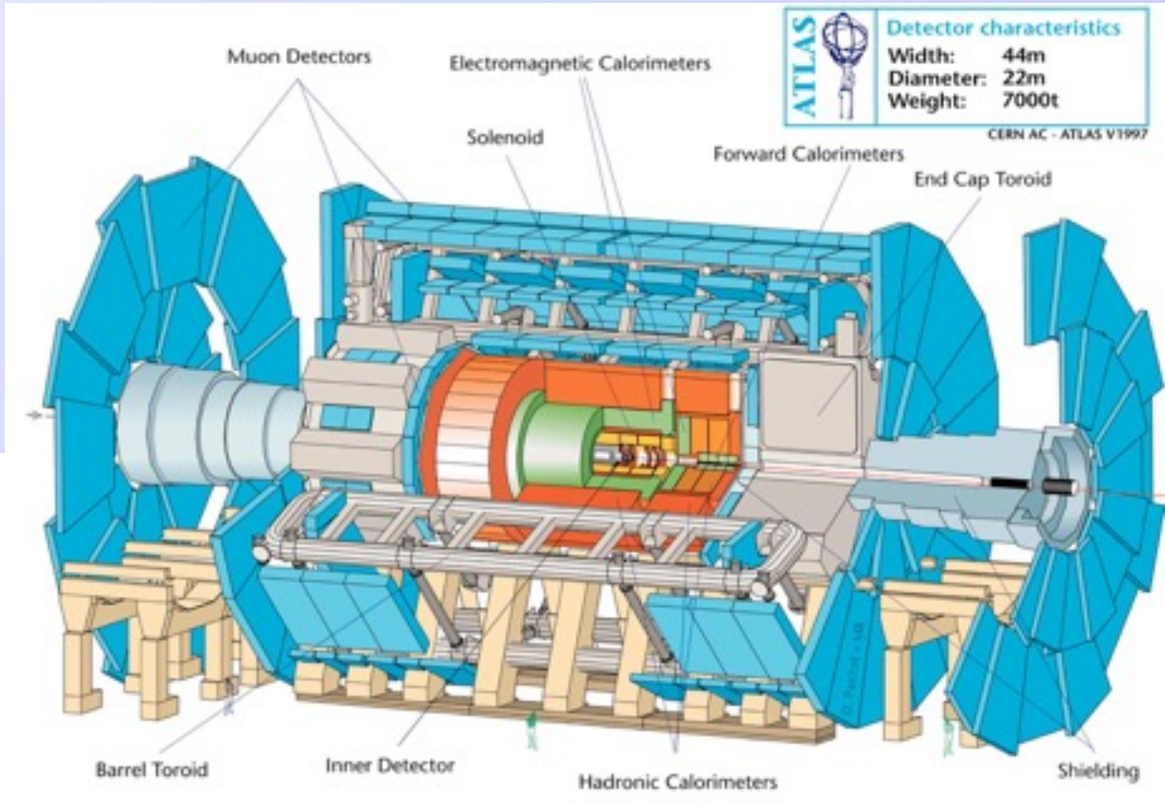


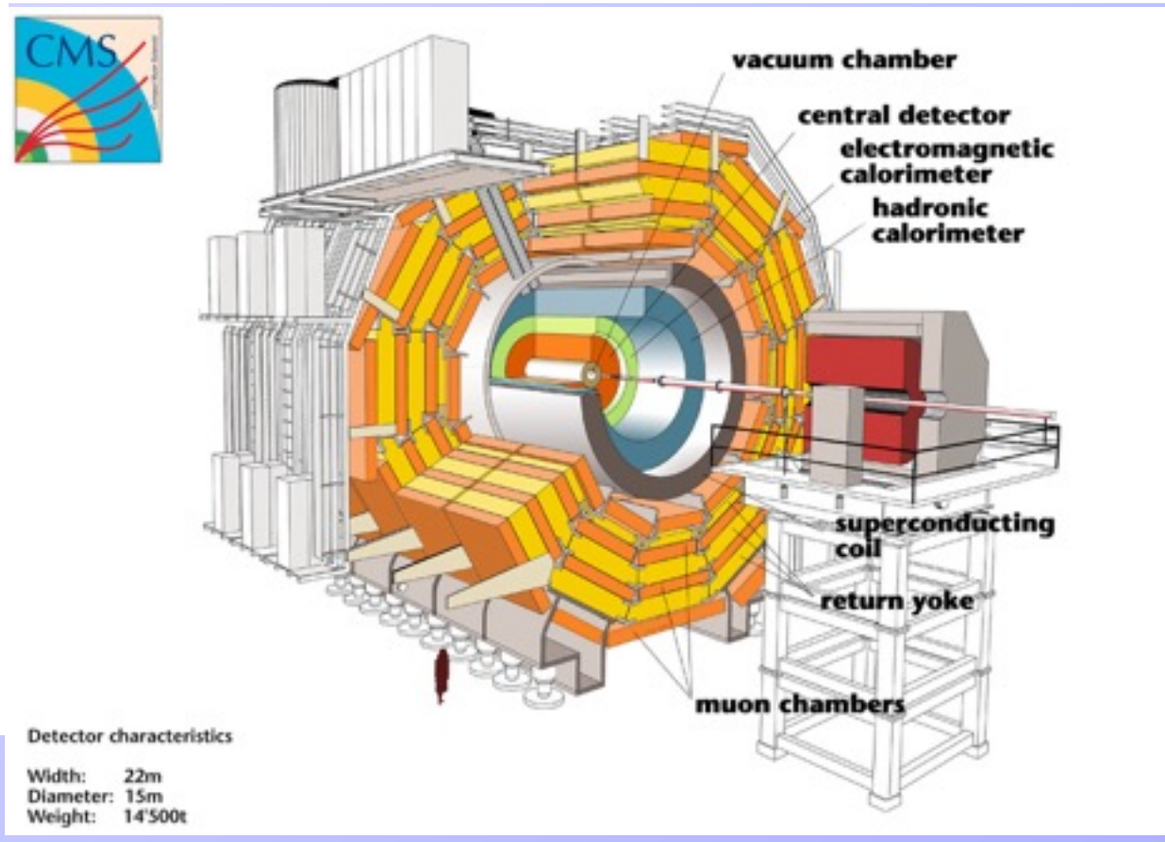
Το LHC στο CERN

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



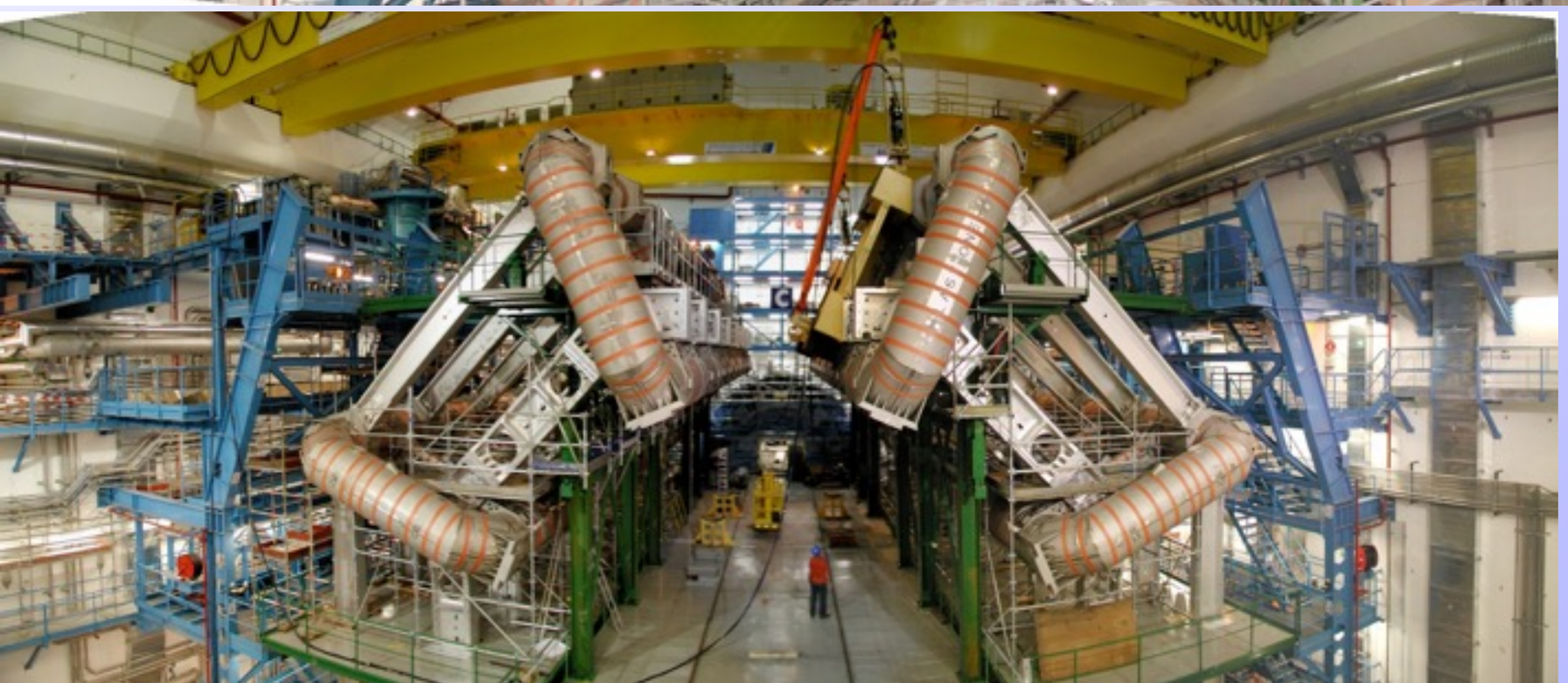
ATLAS A Toroidal LHC ApparatuS

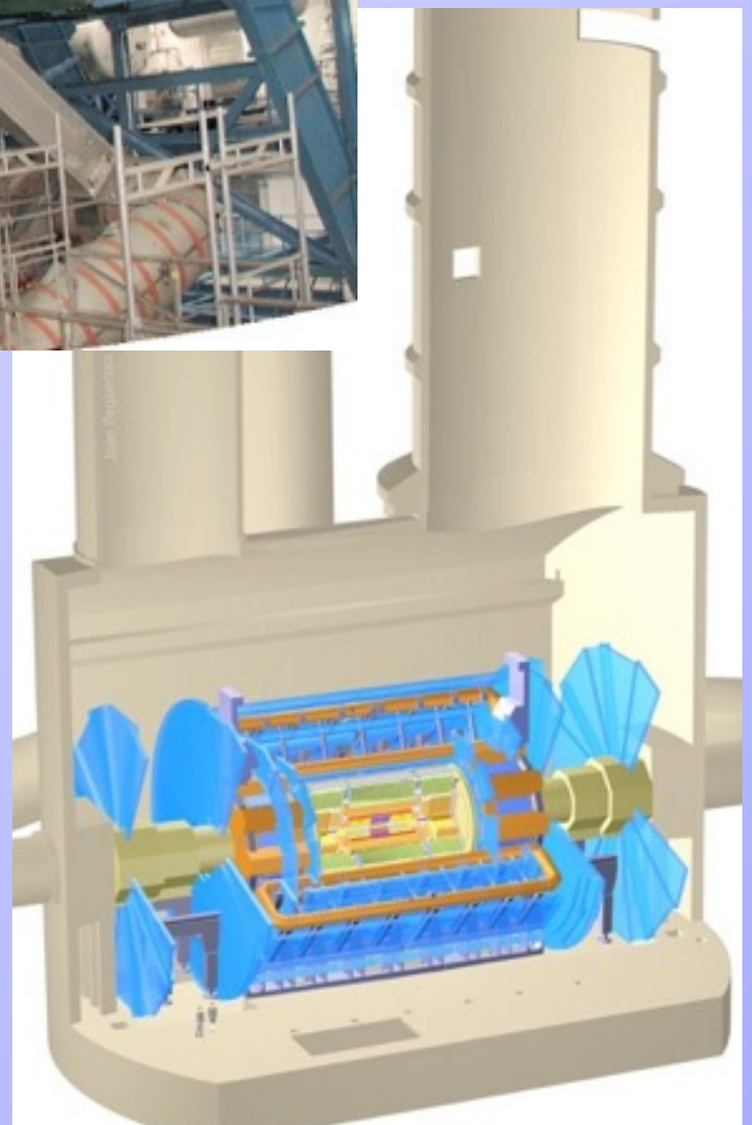


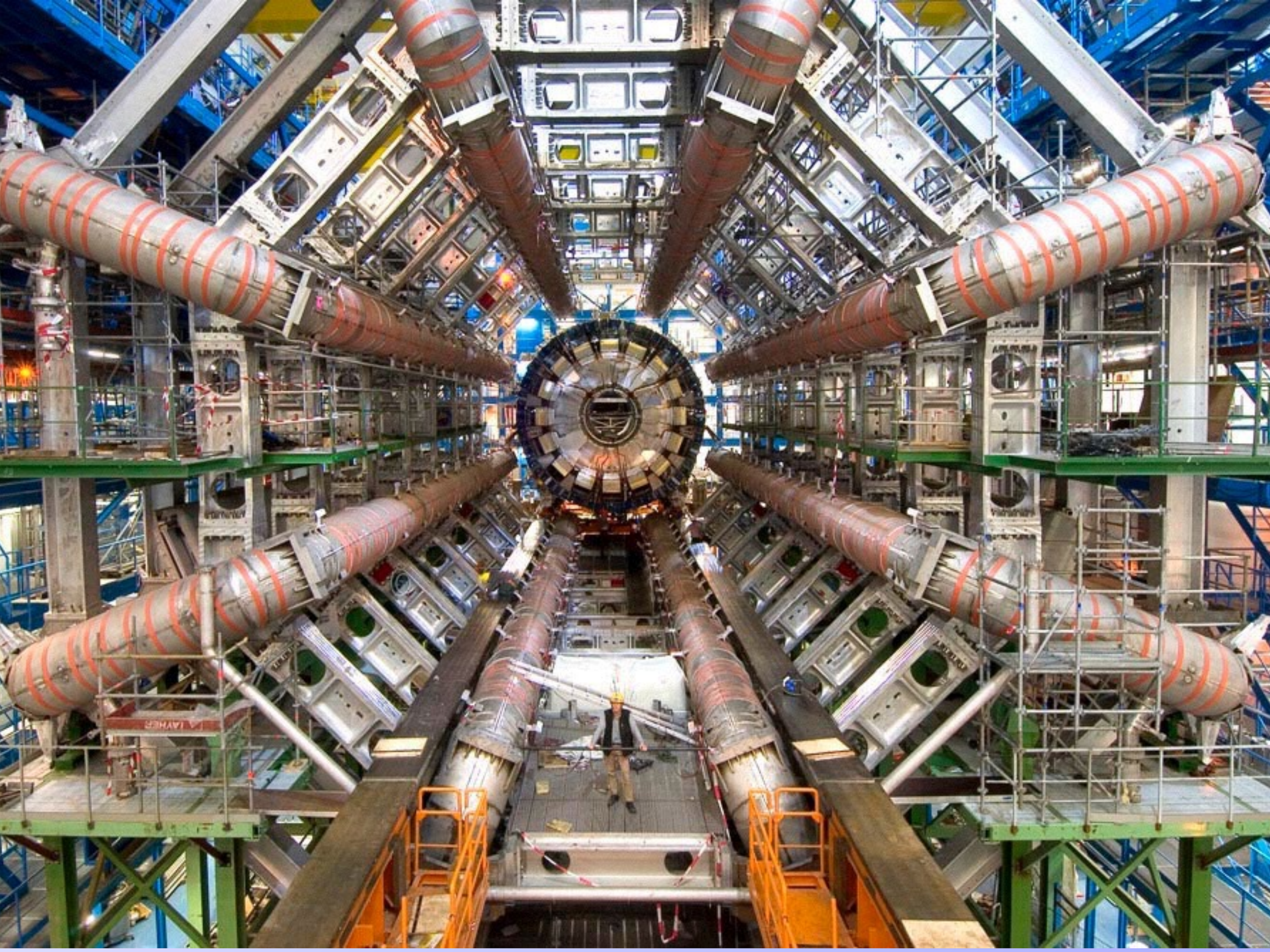


CMS Compact Muon Solenoid

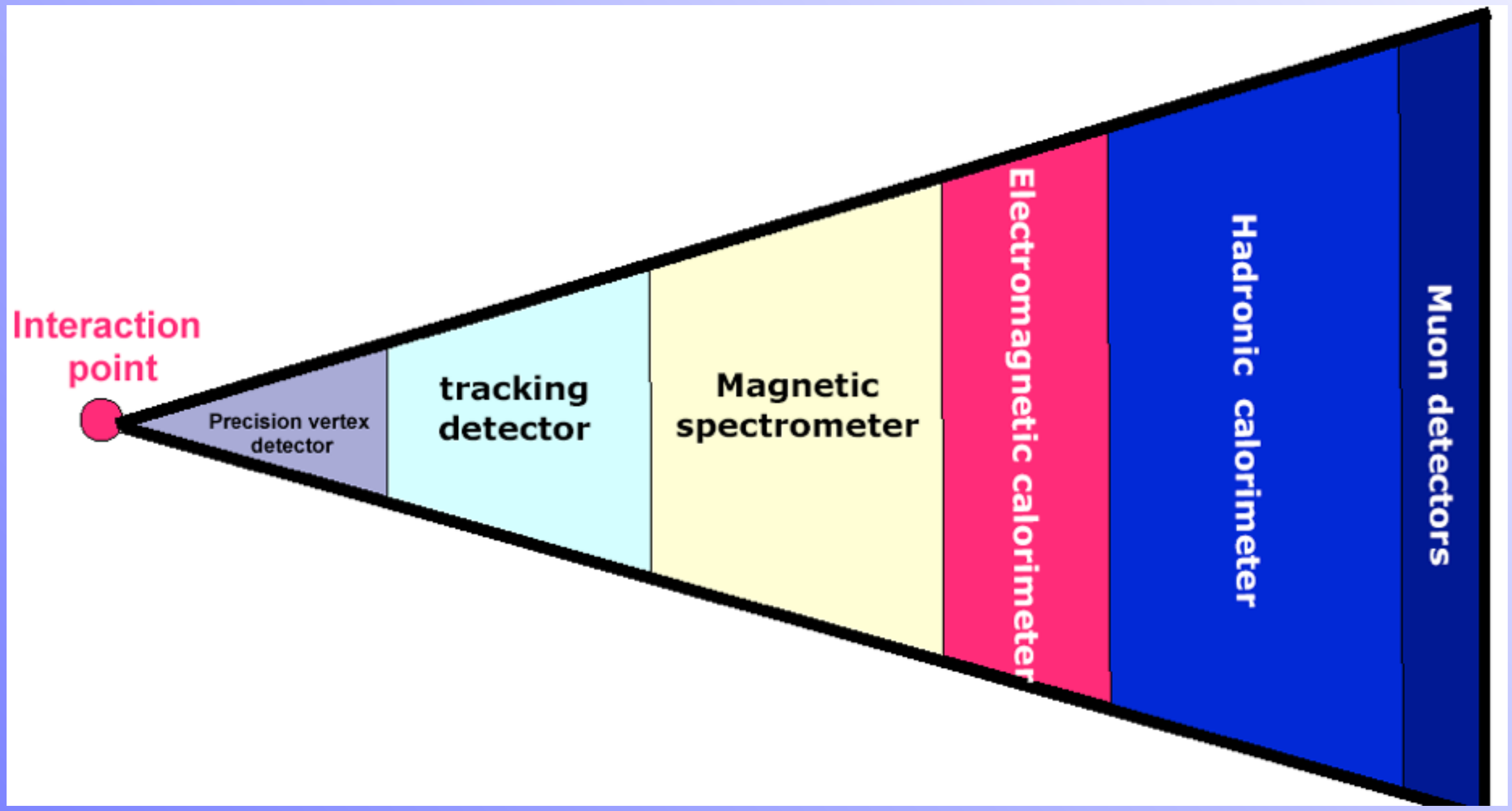
Το πείραμα ATLAS στο CERN κατά τη συναρμολόγηση...





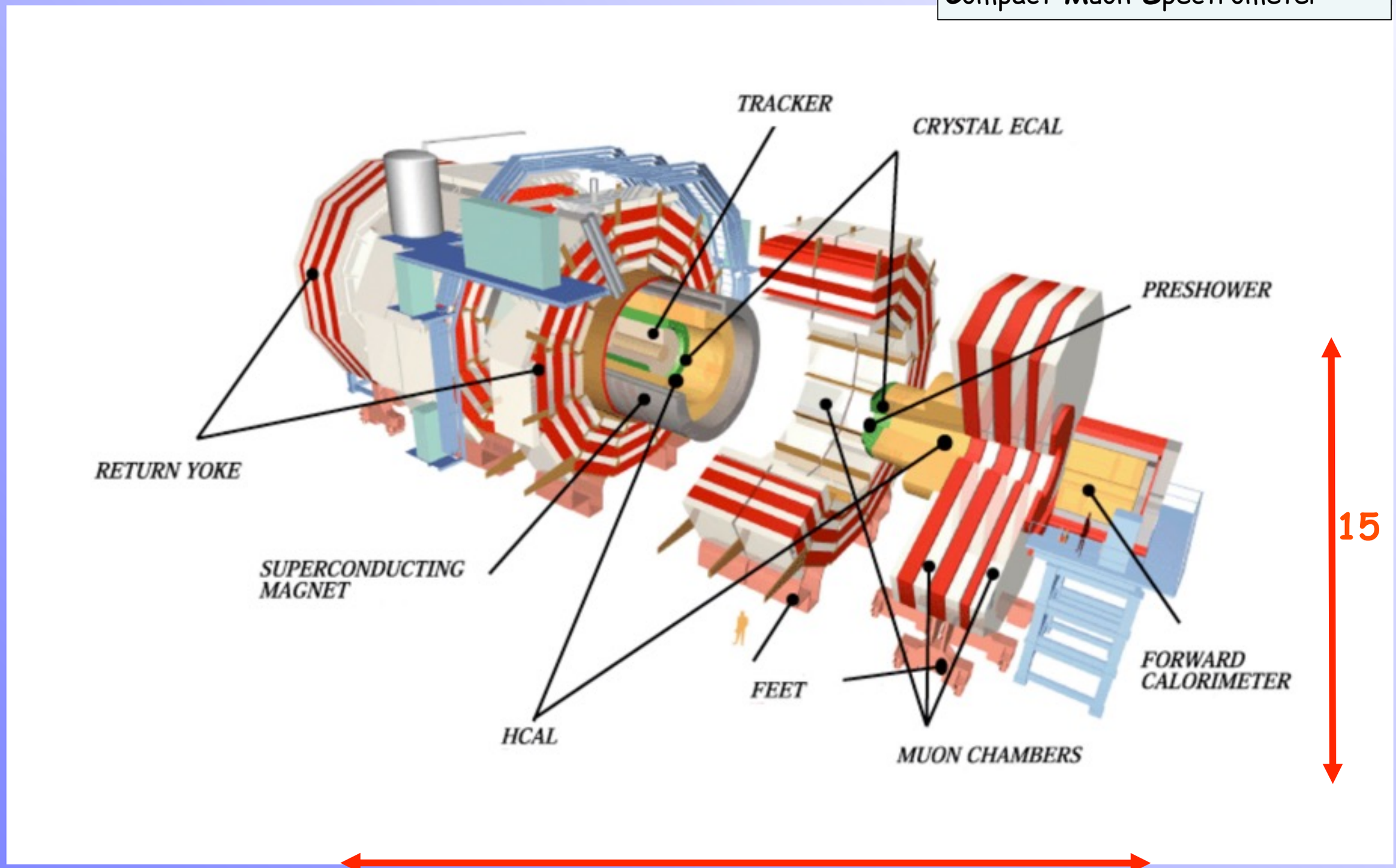


Τυπική σειρά ανιχνευτών σε πειραματική διάταξη

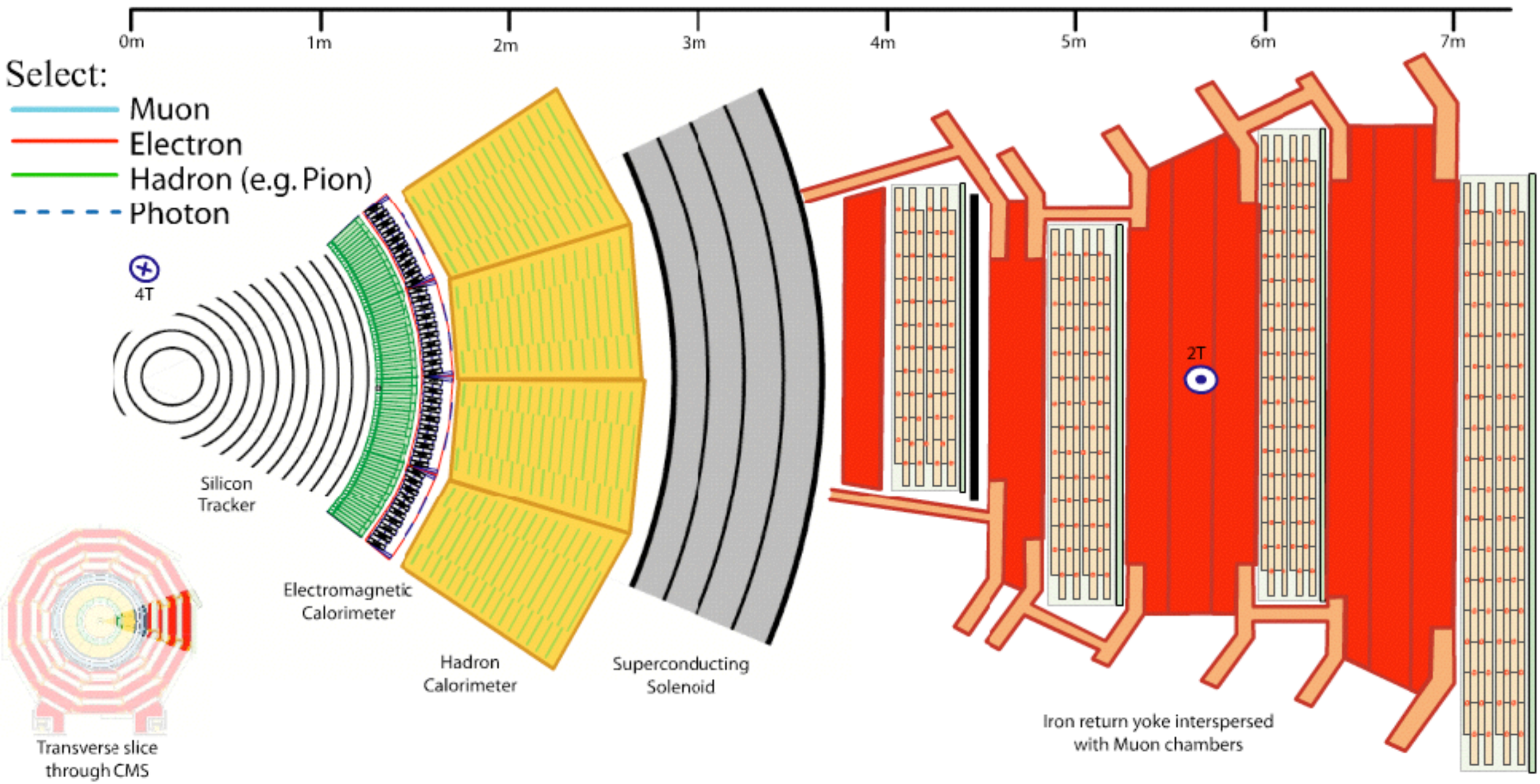


CMS

Compact Muon Spectrometer

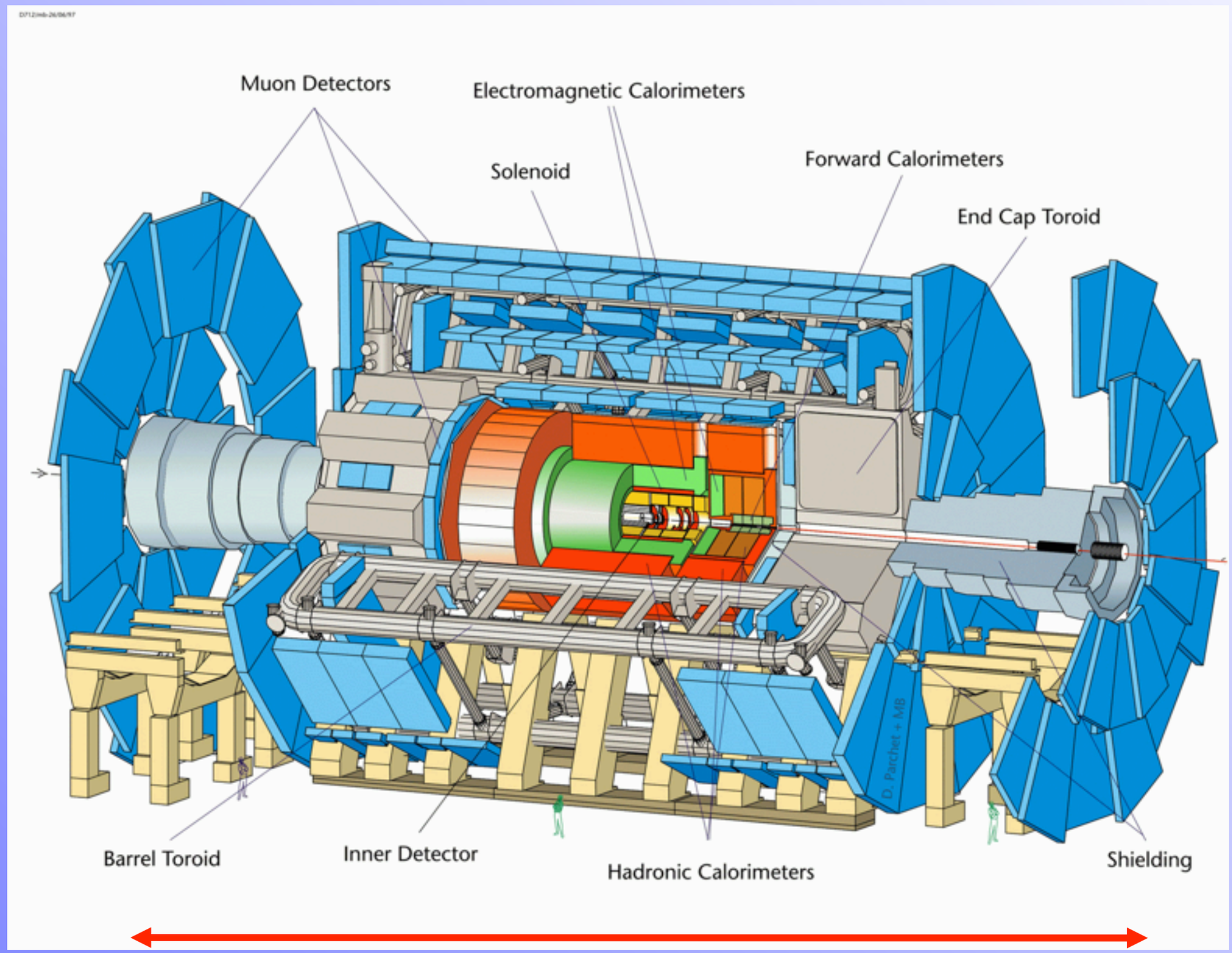


Transverse slice through CMS detector



ATLAS

A Toroidal LHC ApparatuS



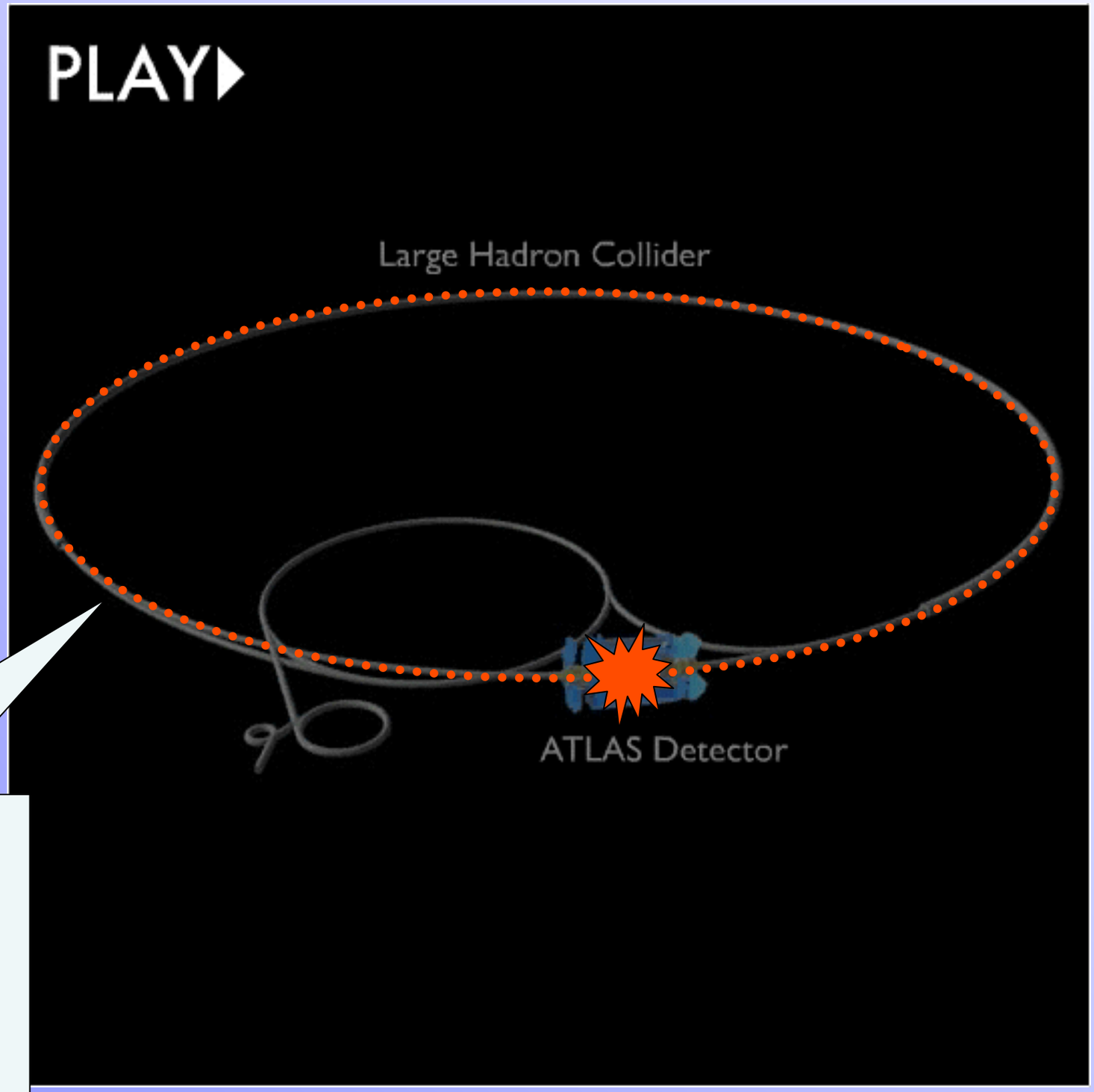
22 m

44 m

Οι ανιχνευτές στο LHC
Γιατί είναι τόσο μεγάλοι???

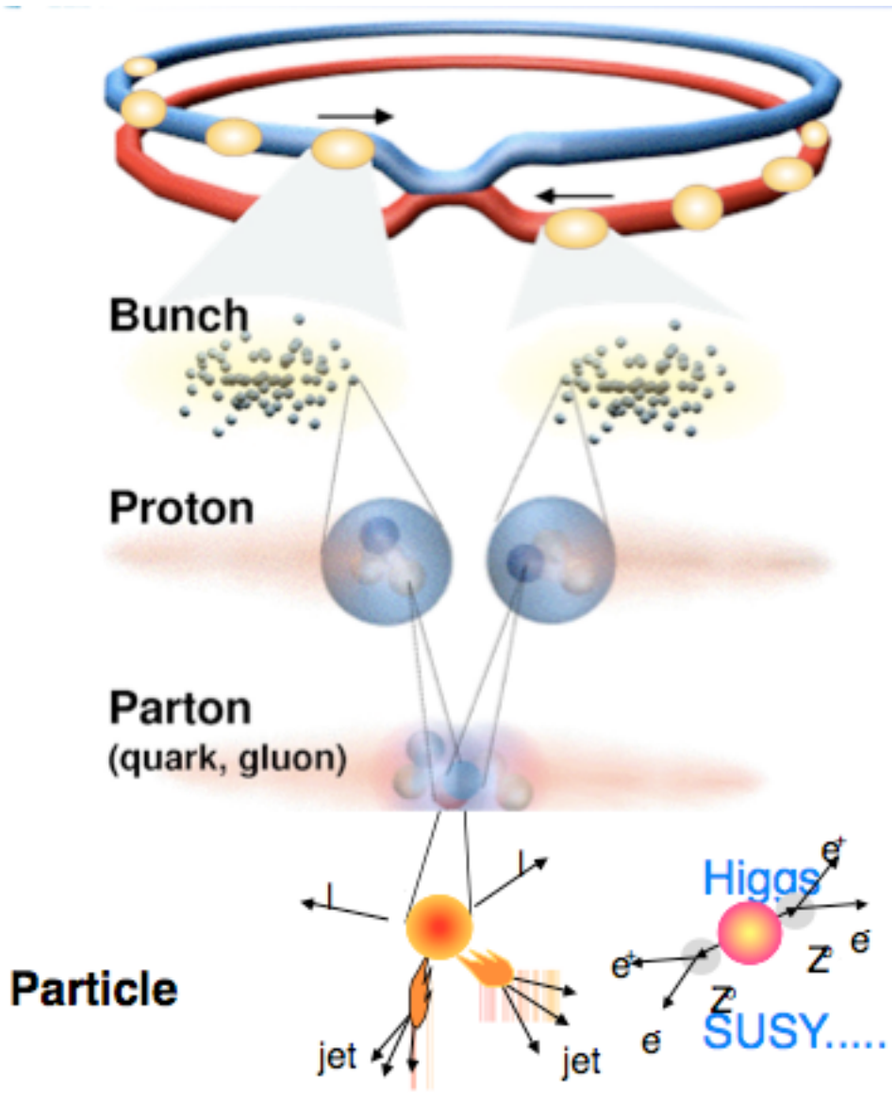
Πρέπει να ανιχνεύσουν όλα τα σωματίσια που παράγονται στην σύγκρουση

ΔΕΝ ειναι μονο δύο τα πρωτόνια που συγκρούονται αλλά πολλά συγκεντρωμένα σε δεσμίδες (bunches)



Σε κάθε δέσμη κυκλοφορούν 2808 bunches με $1{,}15\times10^{11}$ πρωτόνια σε κάθε bunch, με μία δεσμίδα κάθε 25 ns που αντιστοιχεί σε απόσταση 7.5 m μεταξύ των δεσμίδων

Οι Συγκρούσεις στο LHC



Πρωτόνιο Πρωτόνιο	2808 ομάδες
Πρωτόνια/ομάδα	10^{11}
Ενέργεια πρωτονίων	7 TeV (7×10^{12} eV)
Φωτεινότητα	$10^{34} cm^{-2} s^{-1}$
Ρυθμός διασταύρωσης	40 MHz
Ρυθμός συγκρούσεων≈	10^{7}-10^{9}

Ρυθμός παραγωγής νέας Φυσικής ≈ .00001 Hz

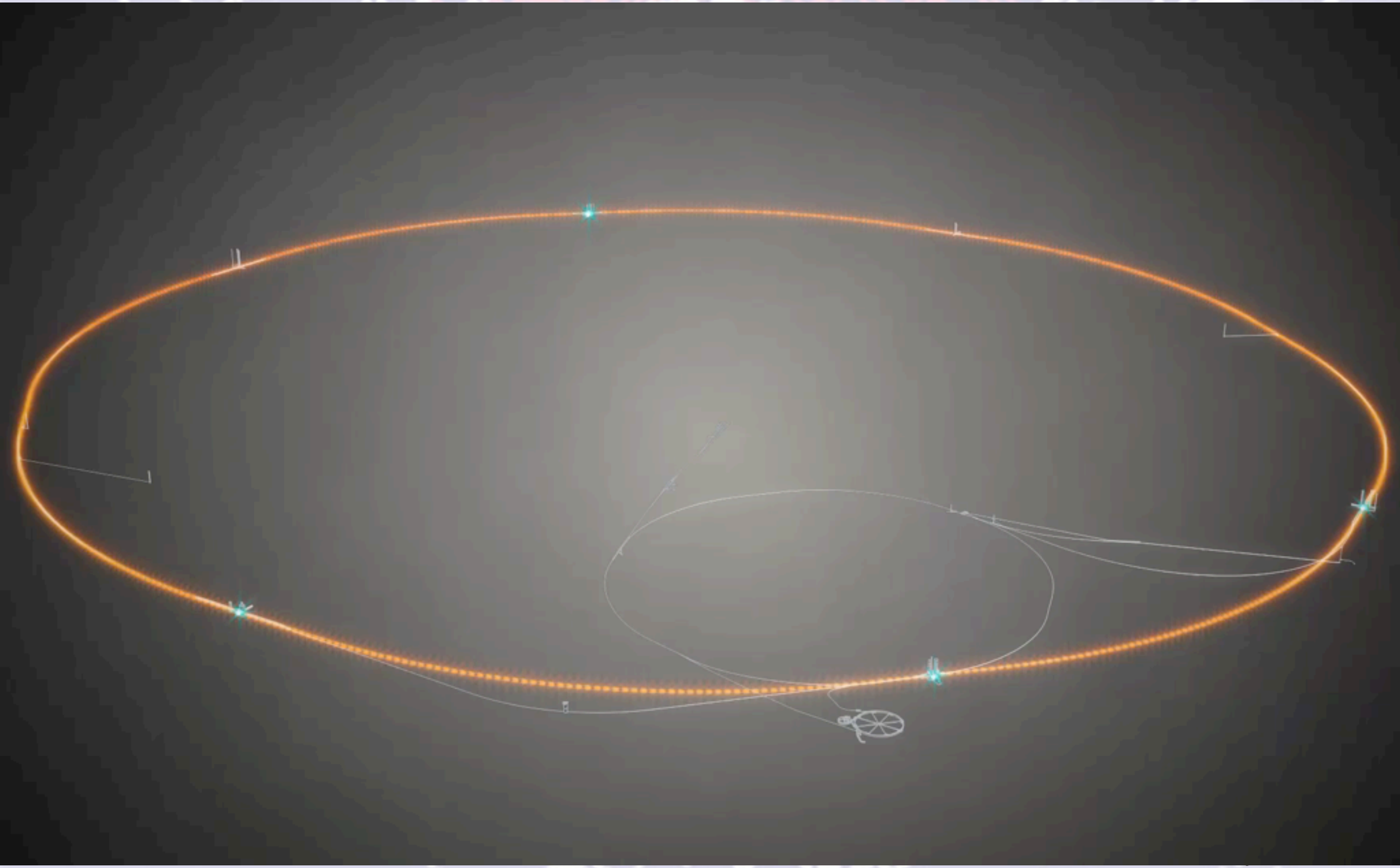
Επιλογή γεγονότων:
1 σε 10,000,000,000,000

600 εκατ. συγκρούσεις πρωτονίων/sec στο Πείραμα ATLAS

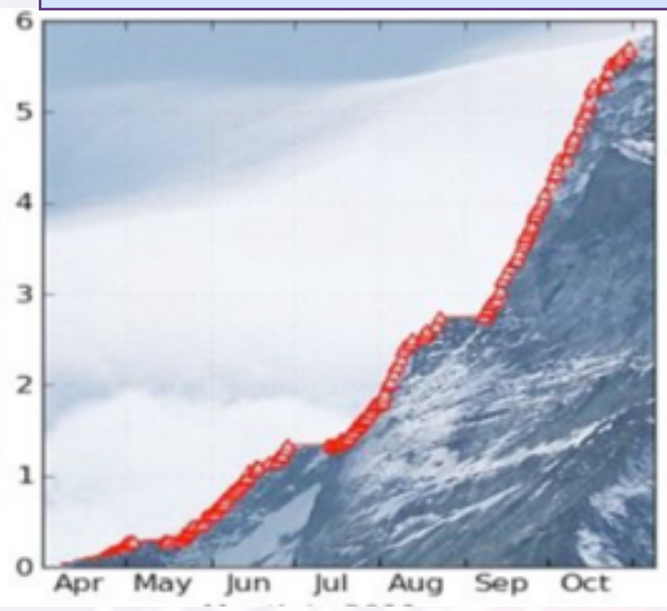
- Ο κάθε πείραμα-ανιχνευτής είναι μια 3D-φωτογραφική μηχανή με 100 Mpixel ευκρίνεια
- Αντέχει σε συνθήκες υψηλής ενέργειας και ακτινοβολίας, παρόμοιες με αυτές του νεαρού σύμπαντος μετά την μεγάλη έκρηξη
- Παίρνει 40 εκατ. φωτογραφίες το δευτερόλεπτο ! (νύχτα και μέρα, 24h/24h, 7 μέρες τη βδομάδα…)

Να πάρουμε μια γεύση….

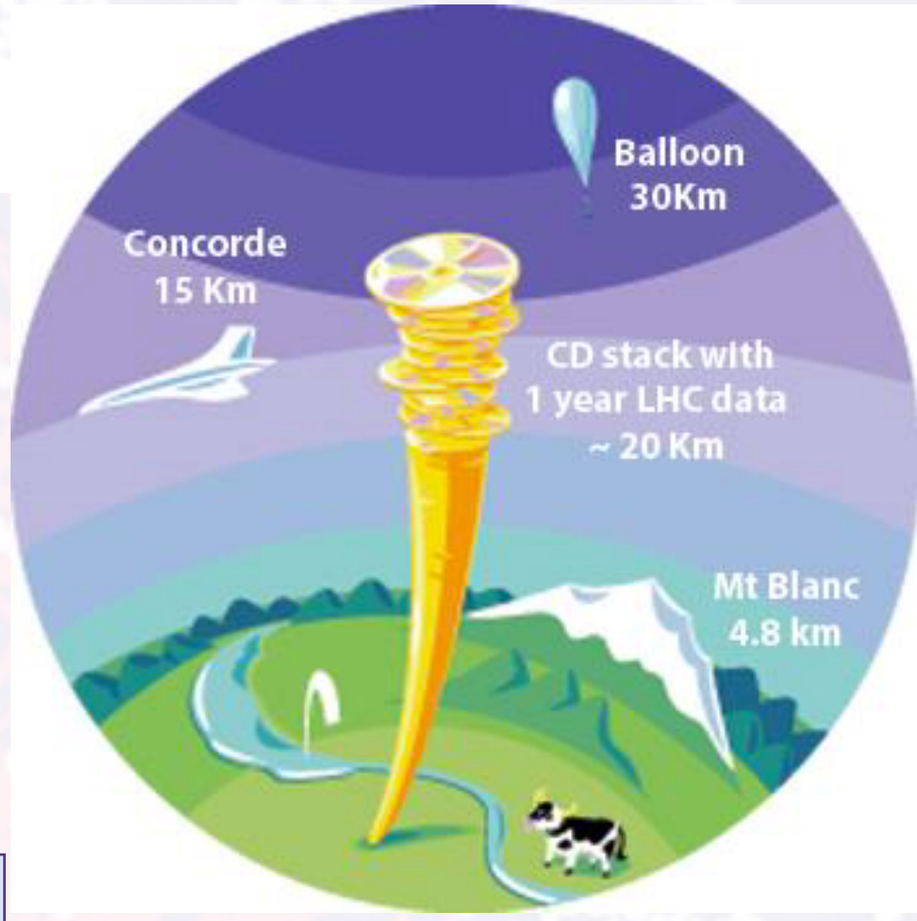
600 εκατ. συγκρούσεις πρωτονίων/sec στο Πείραμα ATLAS



ένα “βουνό” από δεδομένα …



Κάθε πείραμα στο LHC παράγει 10-15 PB τον χρόνο (1PB=10^6GB)
~20 εκατ. DVD
1 DVD κάθε 2 sec
(πύργος 20 km)



5 χρόνια του LHC

Απαιτείται τεράστια υπολογιστική ισχύ για την ανάλυση των δεδομένων

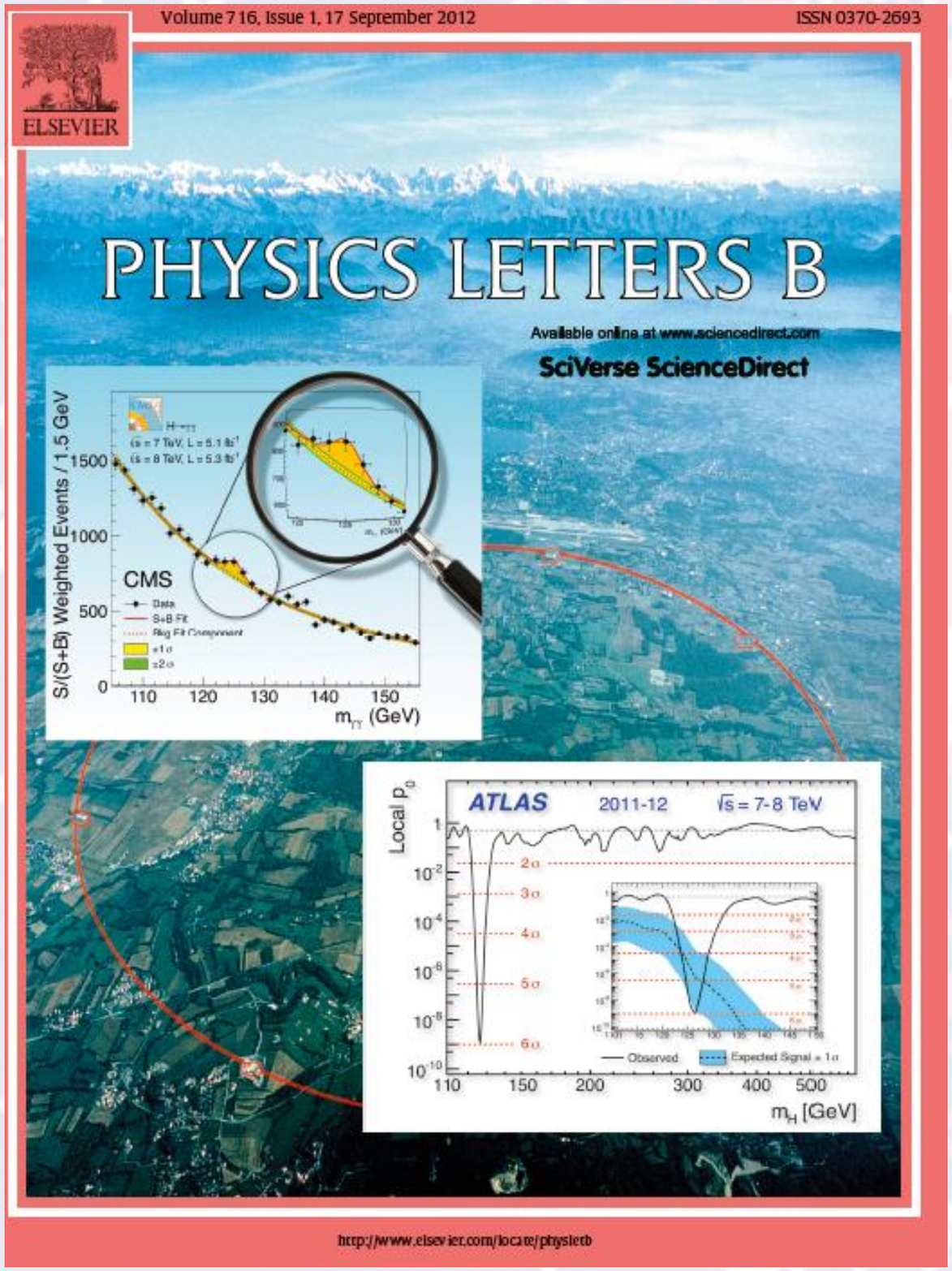
- Διεθνείς Συνεργασίες →κατανεμημένη υπολογιστική ισχύ
- Συνεργάζονται τα υπολογιστικά κέντρα ανά τον κόσμο

Grid

4 Ιουλίου 2012 η επίσημη ανακοίνωση της ανακάλυψης του Μποζονίου Higgs

Τι μαθαίνουμε από τα δεδομένα αυτά?

Ανακαλύψαμε το μποζόνιο Higgs !
...είναι πάρα πάρα πολύ σπάνιο !



Σε ***10 τρις εκατ.*** γεγονότα μπορεί να υπάρχει ***1 Higgs !***

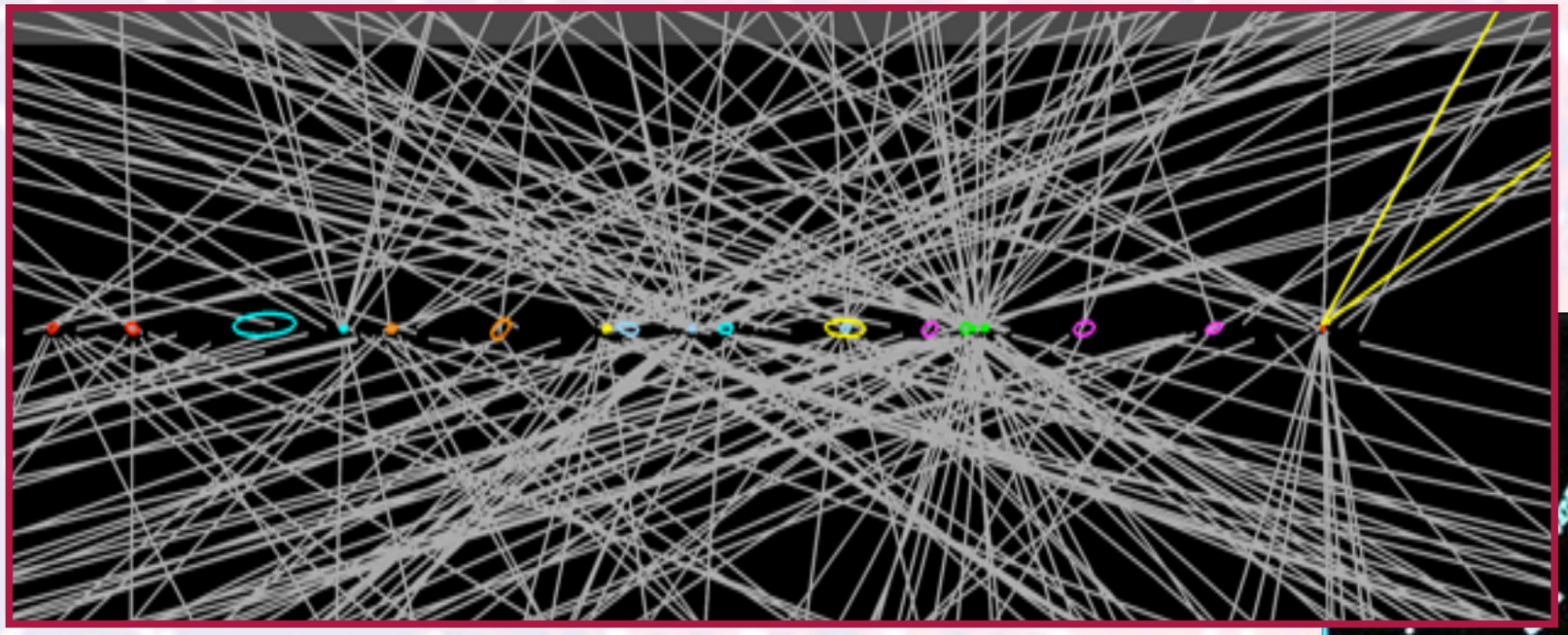
Πως ‘είδαμε’ το Higgs ?
Πως θα “δούμε” την Νέα Φυσική?
στο LHC

- Τα σωματίδια που δεν ανήκουν στον ‘κόσμο μας’ παράγονται κατά τις συγκρούσεις και διασπώνται **‘ακαριαία’**
- Παρατηρούμε τα σωματίδια που προέκυψαν από τη διάσπαση .... τα παιδιά τους !
- Ζούν **‘πολύ’** και τα **‘βλέπουμε’** επειδή **‘αλληλεπιδρούν’** με τους ανιχνευτές μας

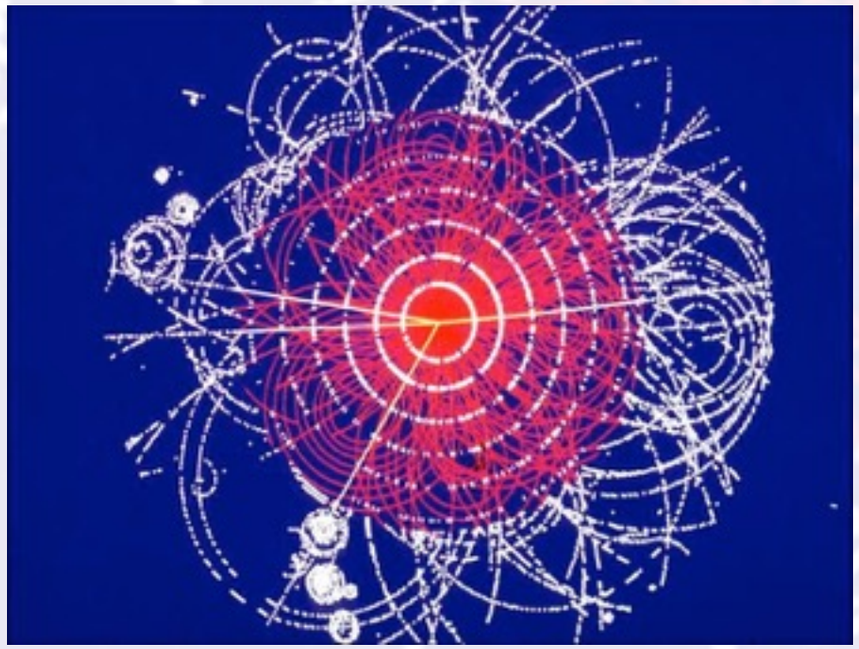
Στους ανιχνευτές μας **‘βλέπουμε’** :
Ηλεκτρόνια, Φωτόνια, Μιόνια, Κουάρκς ⇒Πίδακες Αδρονίων

Πως αναζητήσαμε το Higgs?
ένα παράδειγμα

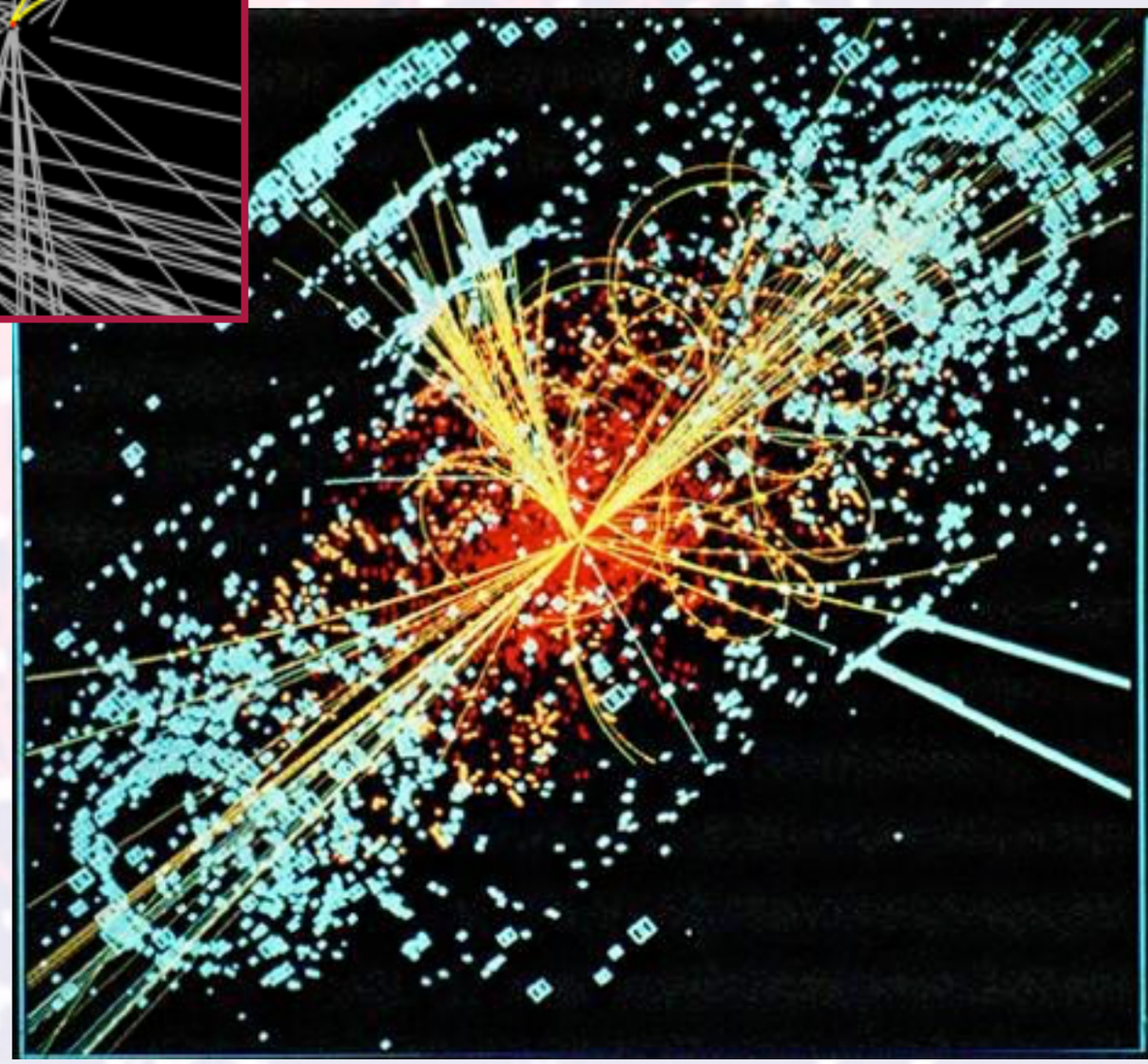
Τι “βλέπει” ο ανιχνευτής μας στο σημείο της σύγκρουσης !



Η εικόνα όλου του ανιχνευτή



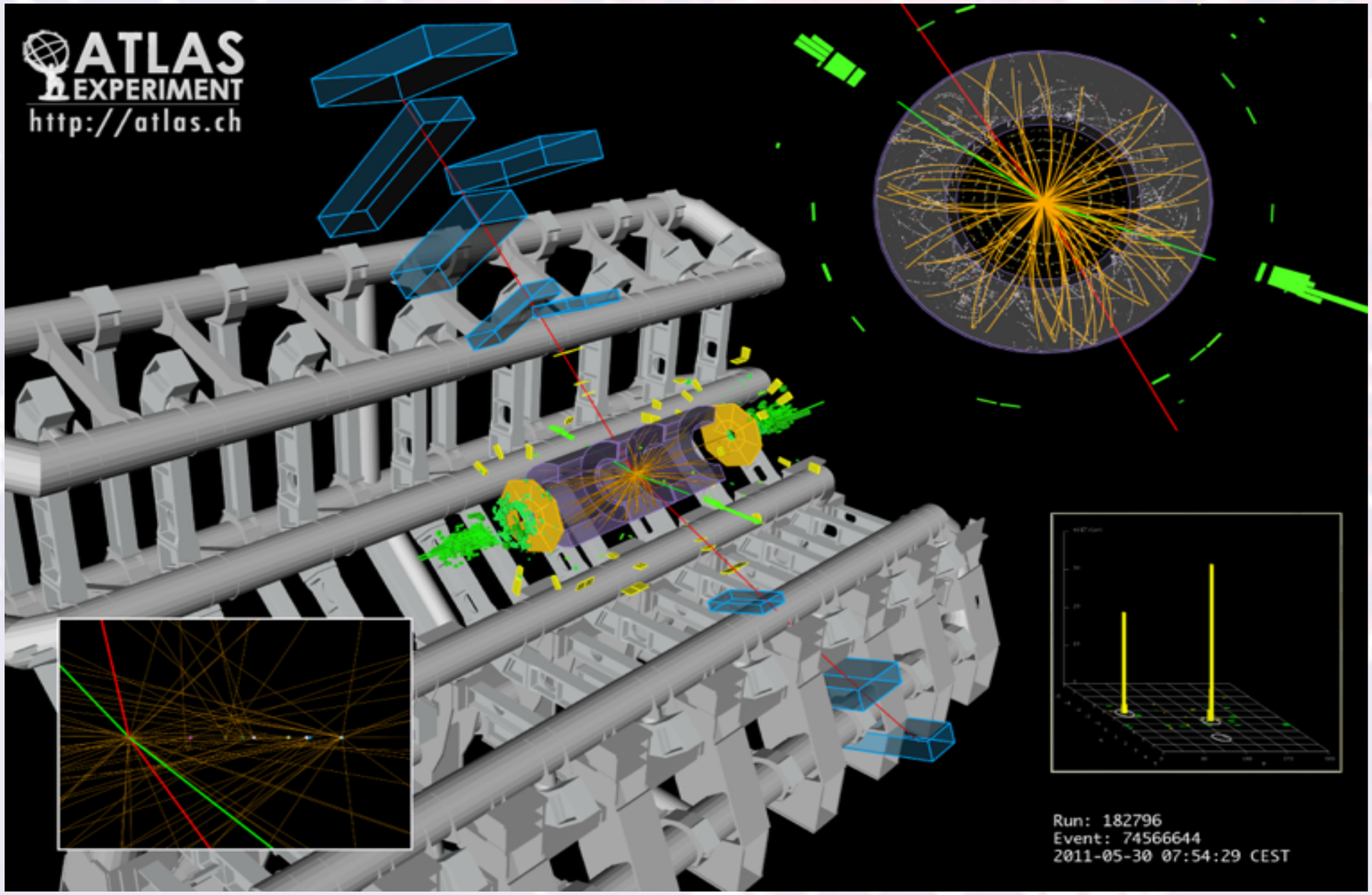
Σε μία εγκάρσια τομή



Πως αναζητήσαμε το Higgs?
ένα παράδειγμα

Ταυτοποιούμε όλα τα σωματίδια που παράγονται στη σύγκρουση
Βλέπουμε αν στη σύγκρουση δημιουργήθηκε ένα υποψήφιο σωματίδιο Higgs:

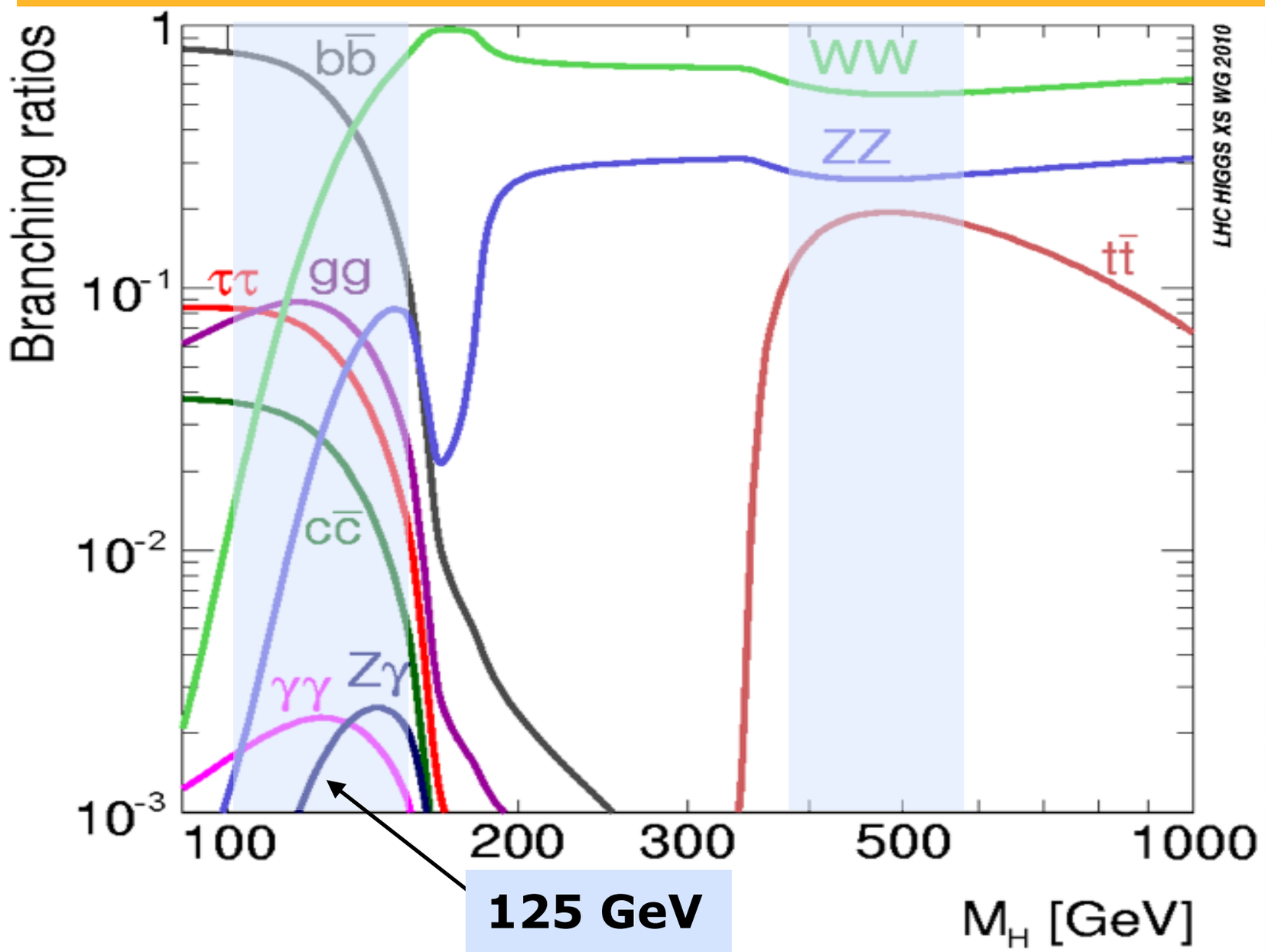
$$E = mc^2$$



Η εικόνα αντιστοιχεί σε ένα σωματίδιο που **πιθανόν** να είναι Higgs !
Δε θα το μάθουμε ποτέ!!

Πως αναζητούμε το Higgs?
ένα παράδειγμα

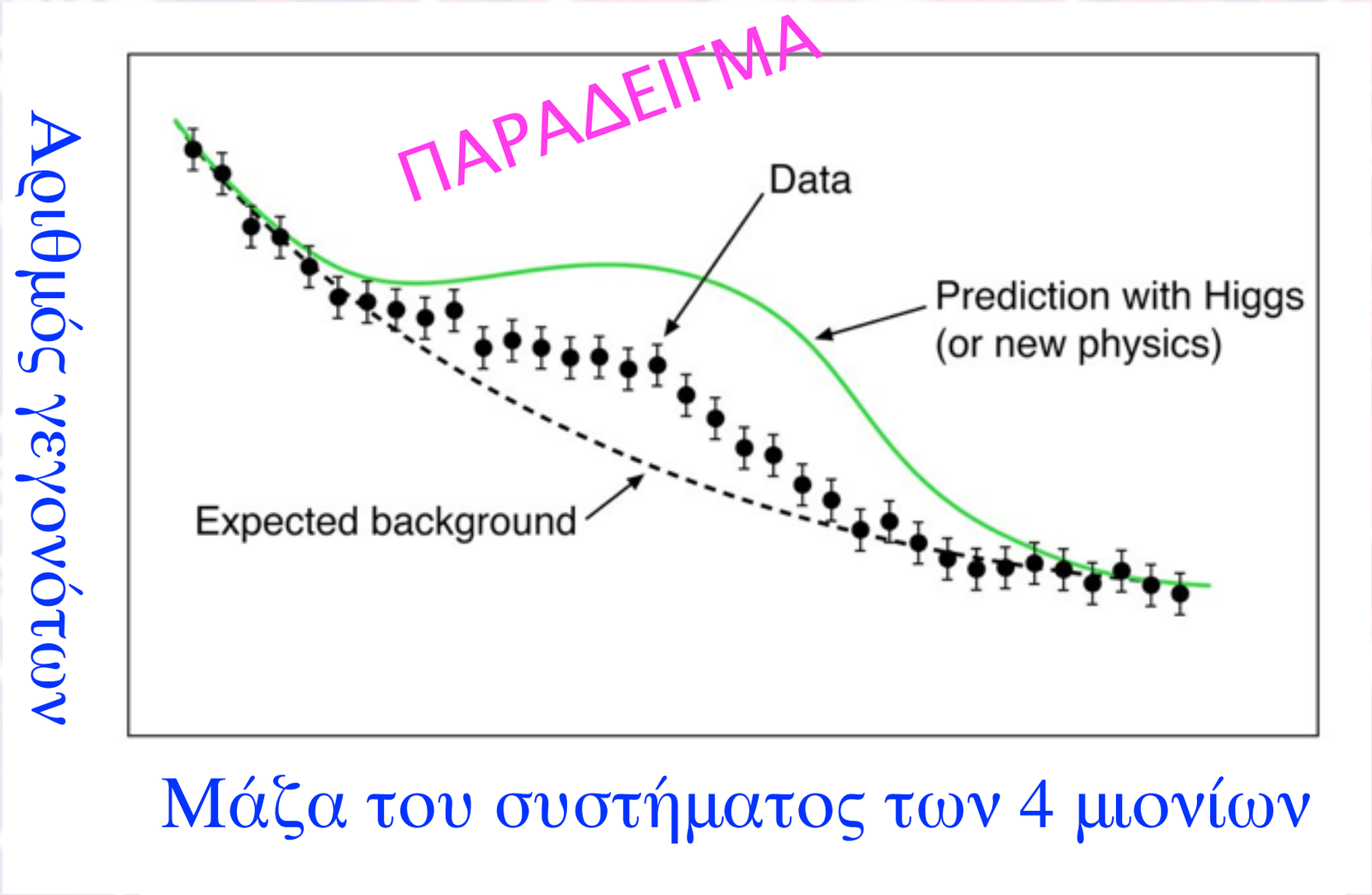
Το Higgs μόλις παραχθεί θα διασπασθεί **ακαριαία !** Ανάλογα με το **τι μάζα έχει,** τα τελικά του προϊόντα θα είναι διαφορετικά. Η θεωρία ΔΕΝ προβλέπει την μάζα του!



Αναζητούμε στον ανιχνευτή μας **όλους τους τρόπους διάσπασης** για κάθε περιοχή πιθανής μάζας του Higgs

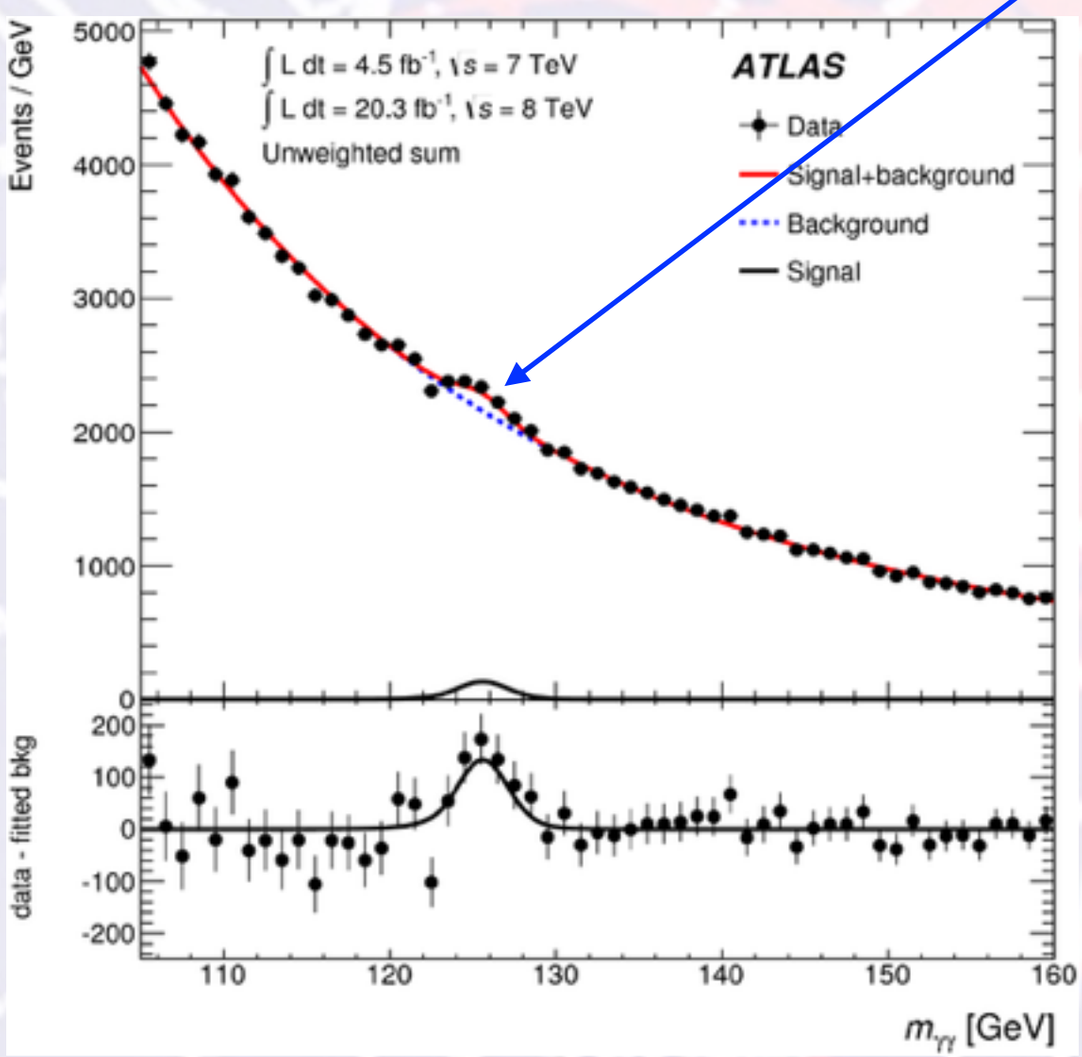
Αναζητώντας το σωματίδιο Higgs

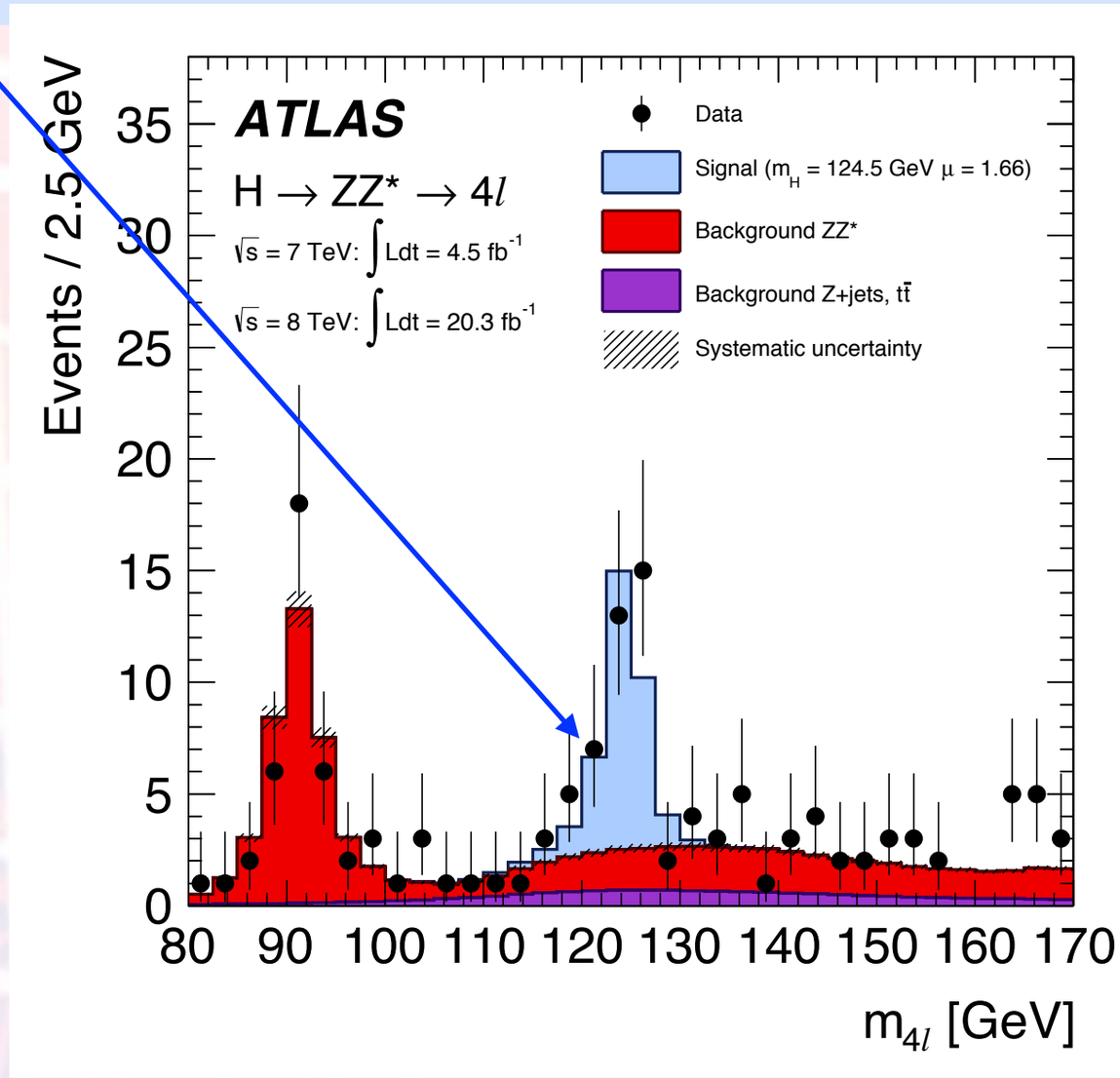
- Το καθιερωμένο πρότυπο δεν μας λέει πόση είναι η μάζα του Higgs, αλλά ποιά είναι η πιθανότητα παραγωγής του σαν συνάρτηση της μάζας του.



Πως ανακαλύψαμε το Higgs?
ένα παράδειγμα

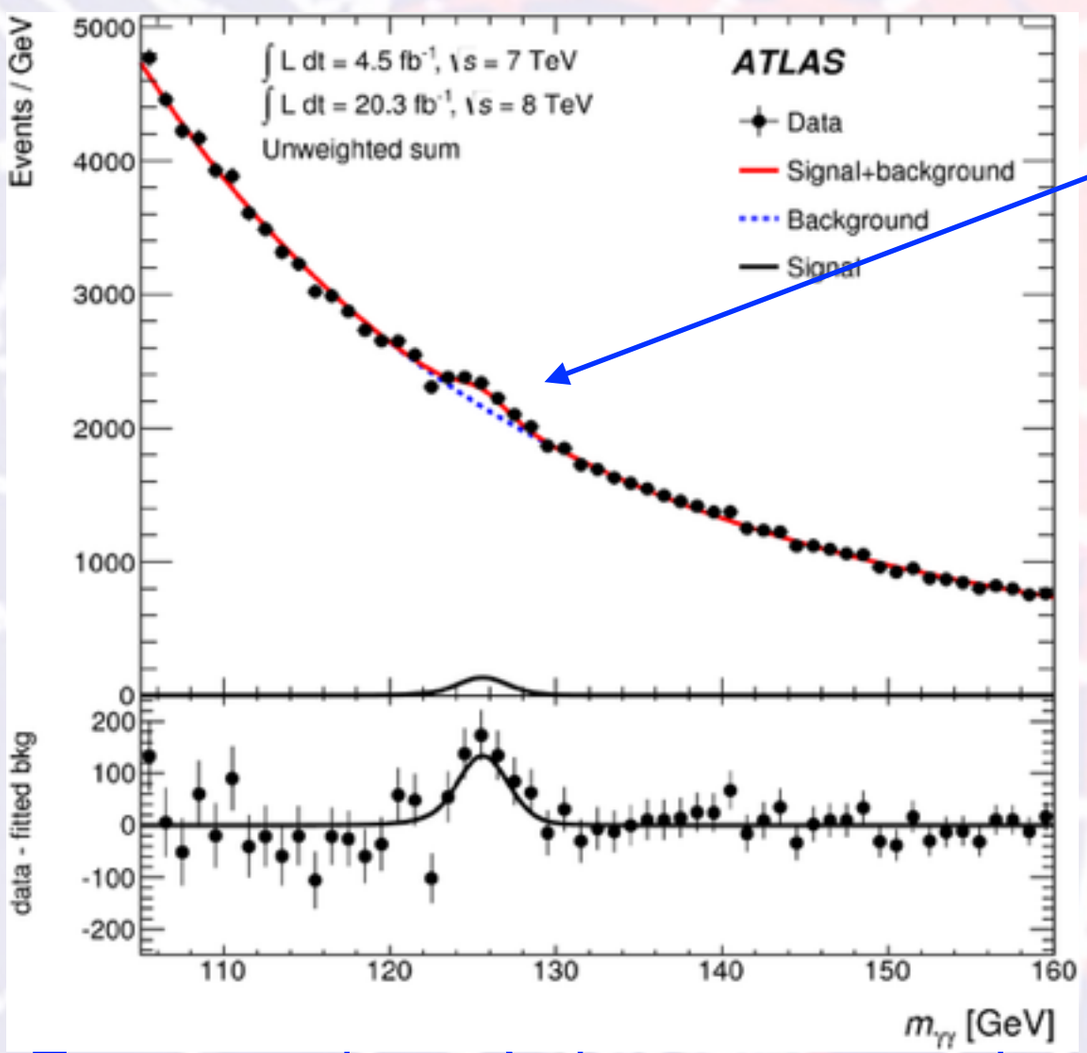
Παρατηρήσαμε **bumps** στα δεδομένα μας που δείχνουν ότι ένα Νεο Σωμάτιο ανακαλύφθηκε με δυό διαφορετικούς τρόπους ακριβώς στην ίδια μάζα ! ~125 GeV





Πως ανακαλύψαμε το Higgs?
ένα παράδειγμα

Αν το Higgs διασπάται σε **δύο φωτόνια**:
Αναζητούμε στον ανιχνευτή μας όλα τα γεγονότα που έχουν δύο φωτόνια και υπολογίζουμε την μάζα τους



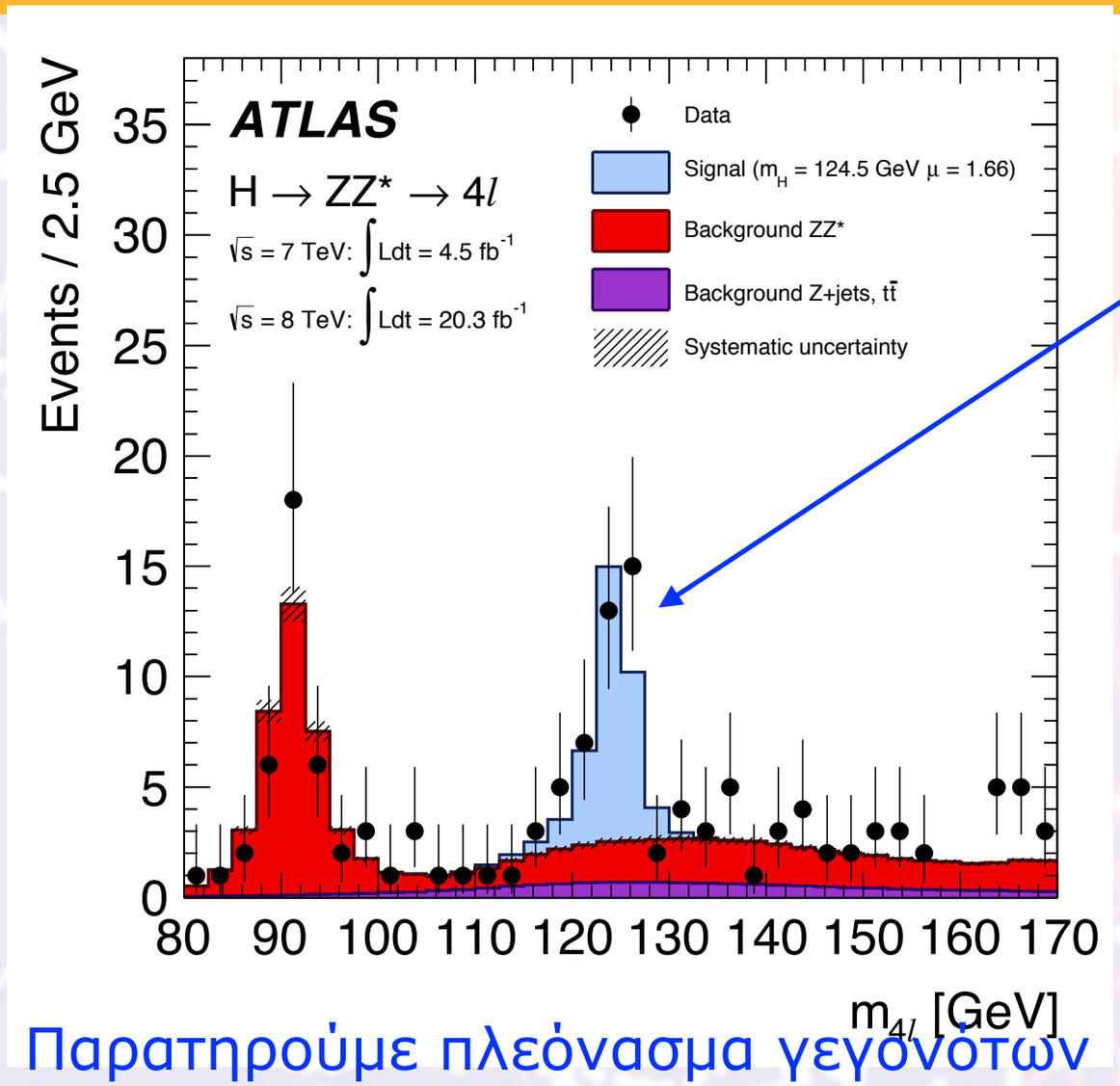
Παρατηρούμε πλεόνασμα γεγονότων στην περιοχή των ~125GeV

Το Higgs είναι **πολύ σπάνιο**:
...πρέπει να το διαχωρίσουμε από το θόρυβο !

Σε 10 τρις εκατ. γεγονότα μπορεί να υπάρχει 1 Higgs !

Πως ανακαλύψαμε το Higgs?
ένα παράδειγμα

Αν το Higgs διασπάται σε **4 λεπτόνια**:
Αναζητούμε στον ανιχνευτή μας όλα τα γεγονότα που έχουν 4 λεπτόνια και υπολογίζουμε την μάζα τους



Παρατηρούμε πλεόνασμα γεγονότων στην περιοχή των 125GeV

Το Higgs είναι **πολύ σπάνιο**: ...πρέπει να το διαχωρίσουμε από το θόρυβο !

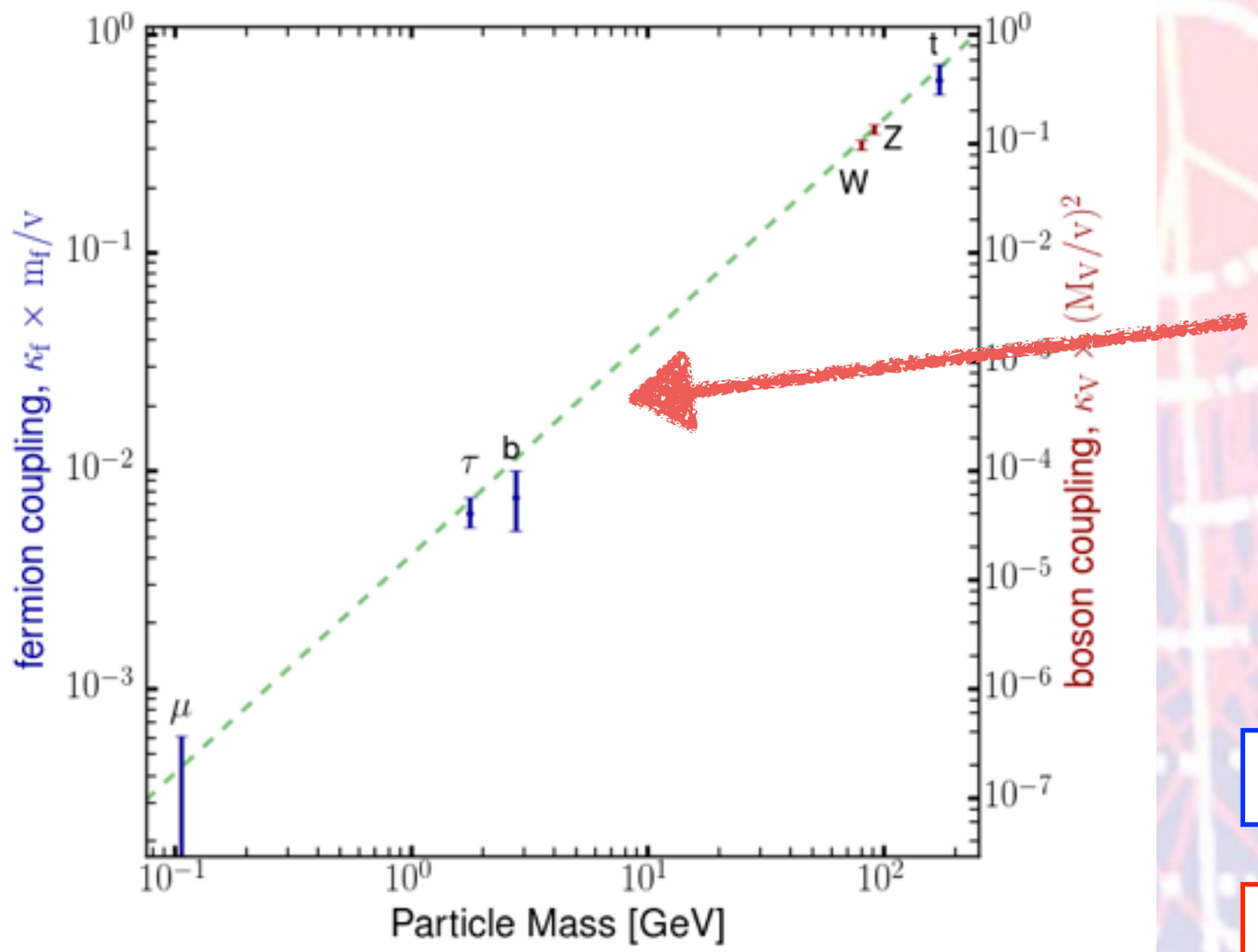
Σε 10 τρις εκατ. γεγονότα μπορεί να υπάρχει 1 Higgs !

I. Αναζήτηση Νέας Φυσικής πέρα από το Καθιερωμένο Πρότυπο (BSM)

Η Σύζευξη του Μποζονίου Higgs στο Καθιερωμένο Πρότυπο

Συνδυασμός των τελικών αποτελεσμάτων των δύο Πειραμάτων ATLAS & CMS

Σύζευξη συναρτήσει της μάζας



Αναδεικνύει την ουσία του Μηχανισμού Higgs !

Τα σωμάτια αποκτούν “μάζα” επειδή αλληλεπιδρούν με το πεδίο Higgs:

Μεγάλη αλληλεπίδραση

⇛ Μεγάλη μάζα σωματιδίου !

Υπόθεση:BR Higgs (BSM) = 0

Ακρίβεια στις συζεύξεις του Higgs ~10%

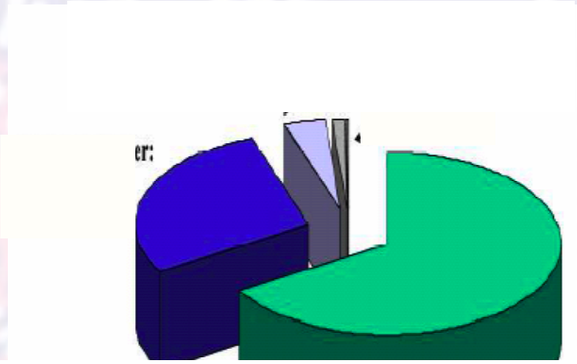
Τα Αναπάντητα Ερωτήματα

- **Τι είναι η μάζα?**

Ανακαλύψαμε το Higgs !

- **Τι είναι η σκοτεινή ύλη/ενέργεια?**

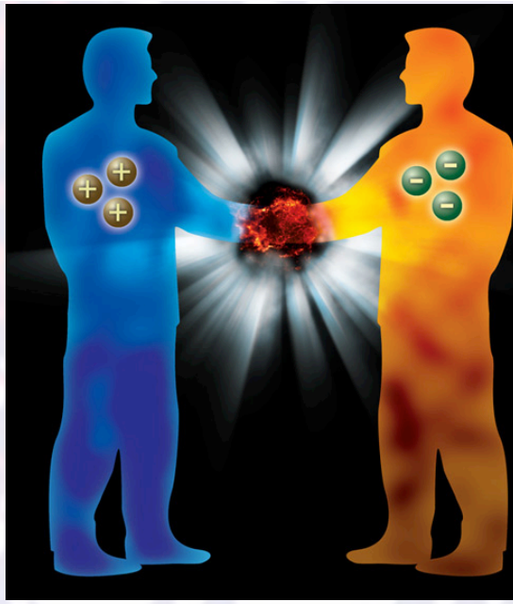
Το Σύμπαν μας αποτελείται κυρίως από σκοτεινή ύλη



Η ύλη που βλέπουμε είναι ΜΟΝΟ 5%

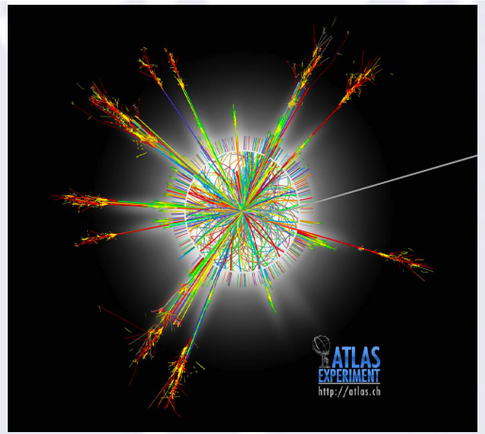
- **Αντιύλη: ξέρουμε τι είναι, όμως…**

Που "πήγε" η αντιύλη στο Σύμπαν μετά την μεγάλη έκρηξη?



- **… κι άλλα ερωτήματα… όπως:**

Υπάρχουν άλλες δυνάμεις στη Φύση?
Υπάρχουν οι Mini-μελανές οπές?
Ζούμε σε χώρο πολλών διαστάσεων?



Μετά το Higgs: Τα Αναπάντητα Ερωτήματα

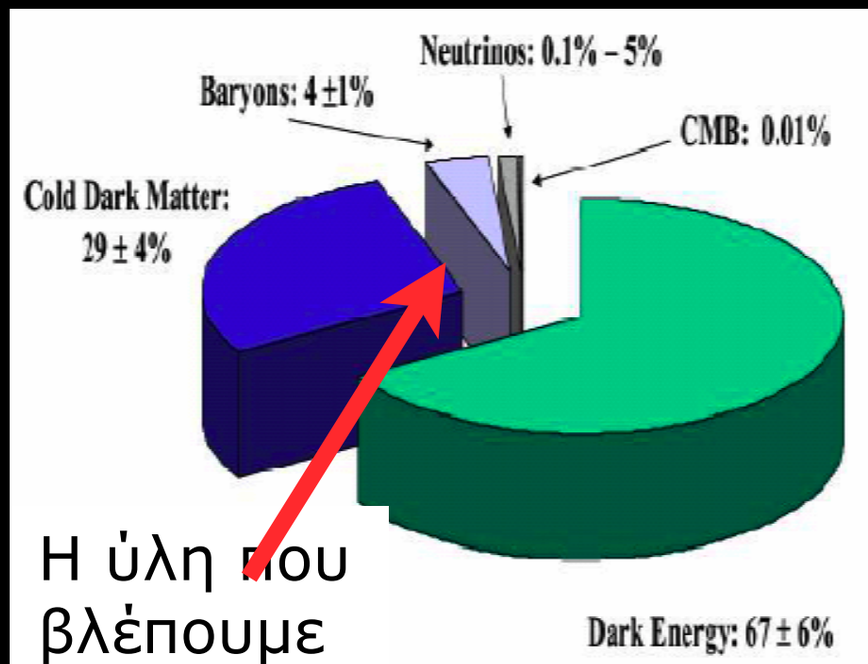
Η Λερναία Ύδρα στη Βασική έρευνα…

Η ανακάλυψη του Higgs
Απαντήσαμε στο ερώτημα:
"Πως αποκτούνε μάζα τα σωματίδια"
και δημιουργήσαμε μια σειρά από νέα ερωτήματα για το Higgs:

- Είναι απλό ή σύνθετο σωμάτιο?
- Ποιές είναι οι ιδιότητές του?
- Είναι μόνο του? Υπάρχουν άλλα Higgs?
- Αλληλεπιδρά με την Σκοτεινή Ύλη?
- Παραβιάζει την συμμετρία CP ?…..

Η Σκοτεινή Υλη στο Σύμπαν

Οι Αστρονόμοι παρατήρησαν μεγάλη ποσότητα σκοτεινής ύλης σε Γαλαξίες και Σμήνη Γαλαξιών



Η ύλη που βλέπουμε ΜΟΝΟ 5%

Η Σκοτεινή ύλη ΔΕΝ εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και άρα ΔΕΝ μπορούμε να την δούμε ! Την καταλαβαίνουμε ΜΟΝΟ λόγω βαρύτητας

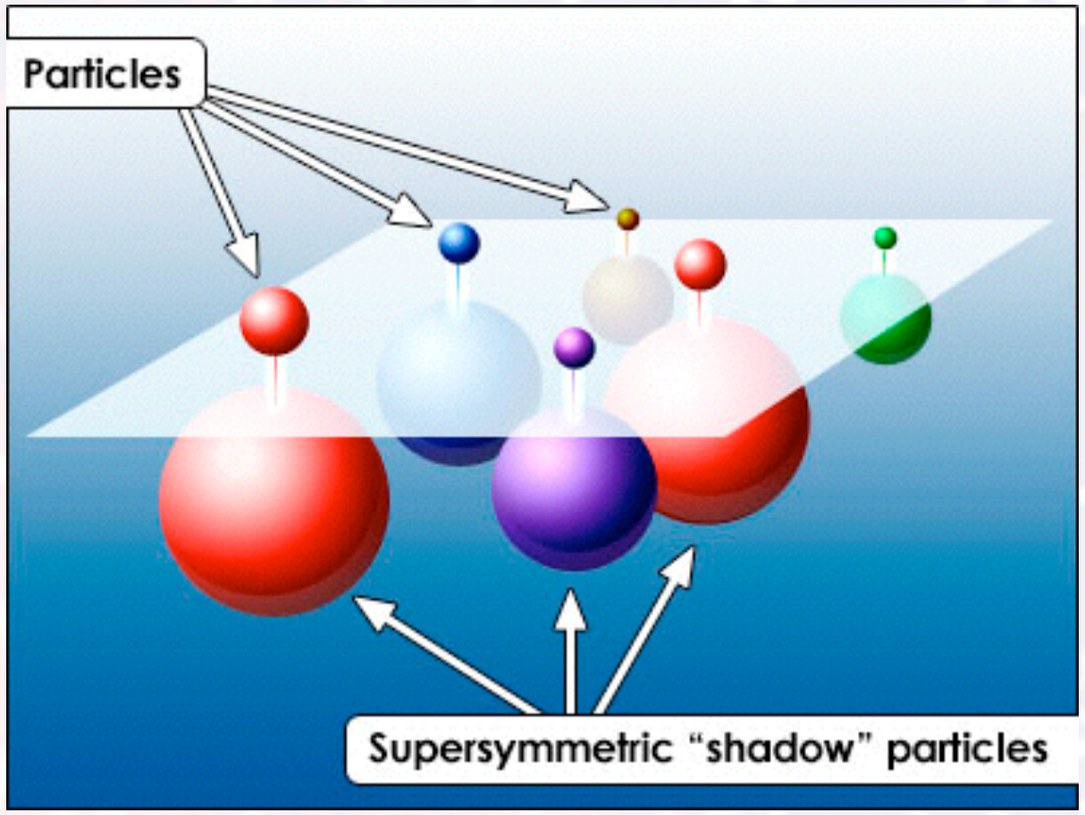
Τα Υπερσυμμετρικά Σωματίδια → Θα μπορούσαν να είναι η απάντηση

Υπερσυμμετρία → SUperSYmmetry - SUSY

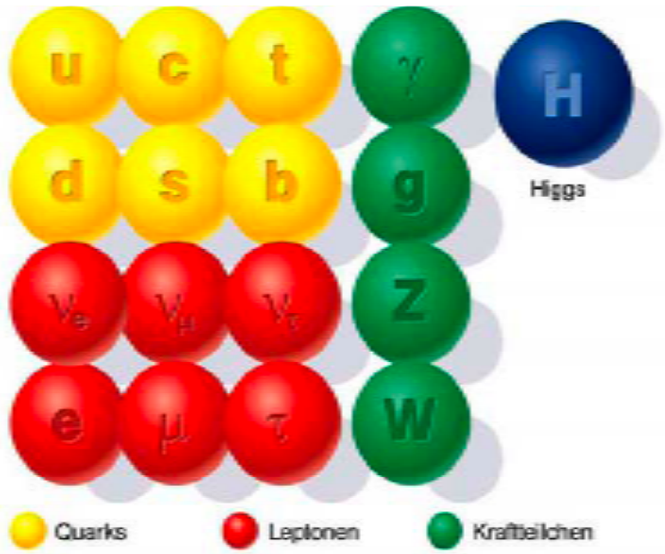
- Προτείνει συμμετρία ανάμεσα στην ύλη (Φερμιόνια) και τις δυνάμεις (Μποζόνια)

Κίνητρο

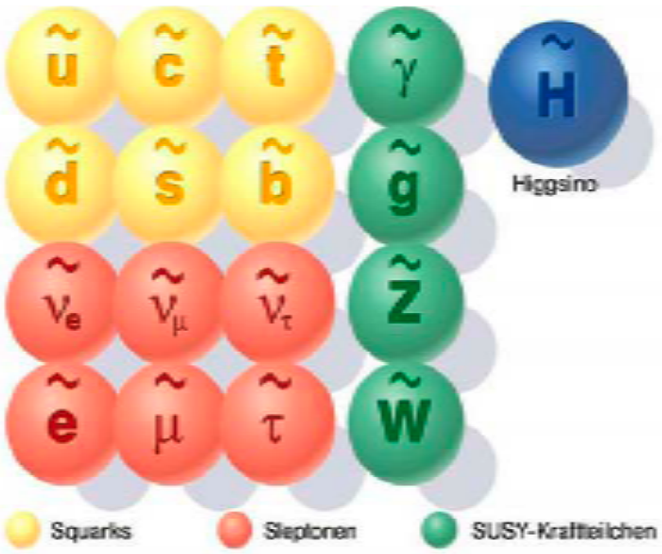
- η ενοποίηση ύλης και δυνάμεων
- η επίλυση προβλημάτων στο Καθιερωμένο Πρότυπο (αποκλίσεις στη μάζα του Higgs)



Τα Καθιερωμένα σωματίδια



Τα Υπερσσυμμετρικά (SUSY)

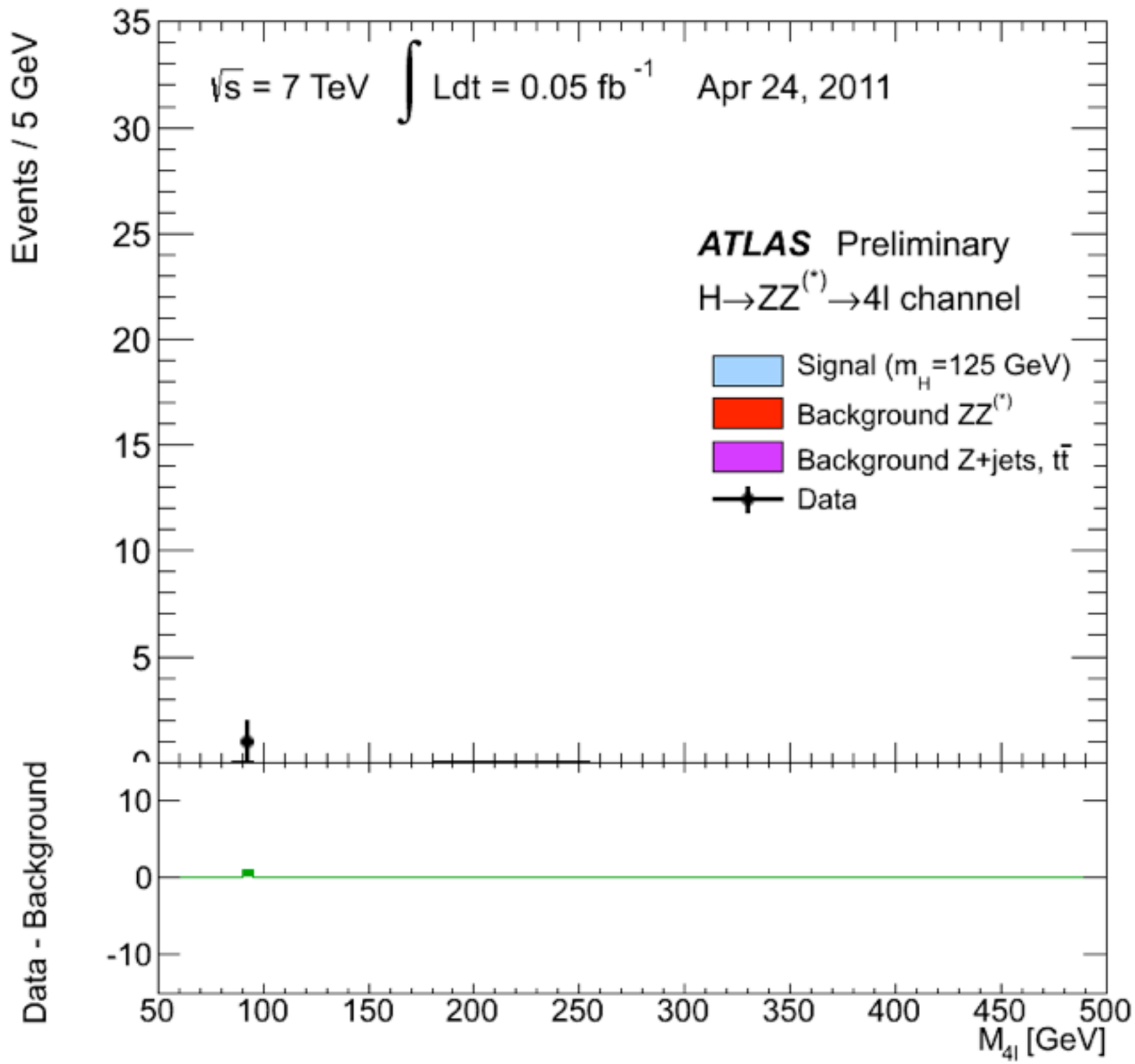


Κάθε σωμάτιο με σπιν s έχει το Υπερσυμμετρικό του ζευγάρι με σπιν

s=(s-1/2) q (s=1/2) → $\tilde{q}$ (s=0) squark

g (s=1) → $\tilde{g}$ (s=1/2) gluino

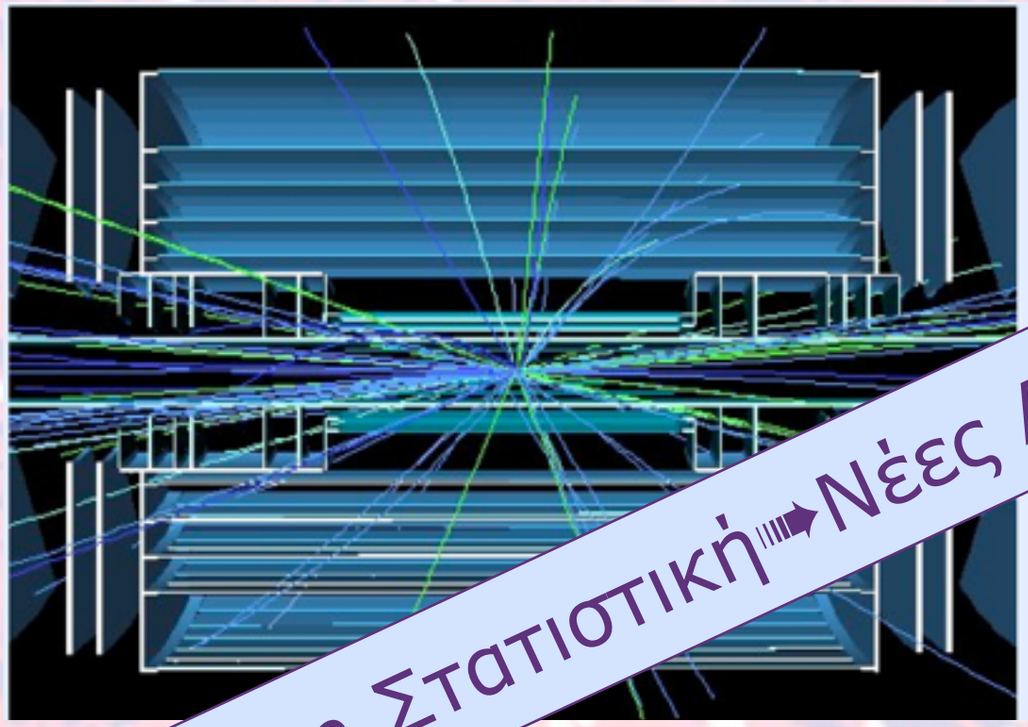
Πως ξεκαθαρίζει η ύπαρξη του Higgs με την ανάλυση ΟΛΩΝ των δεδομένων- Χρειαζόμαστε μεγάλη στατιστική (2011+2012) !



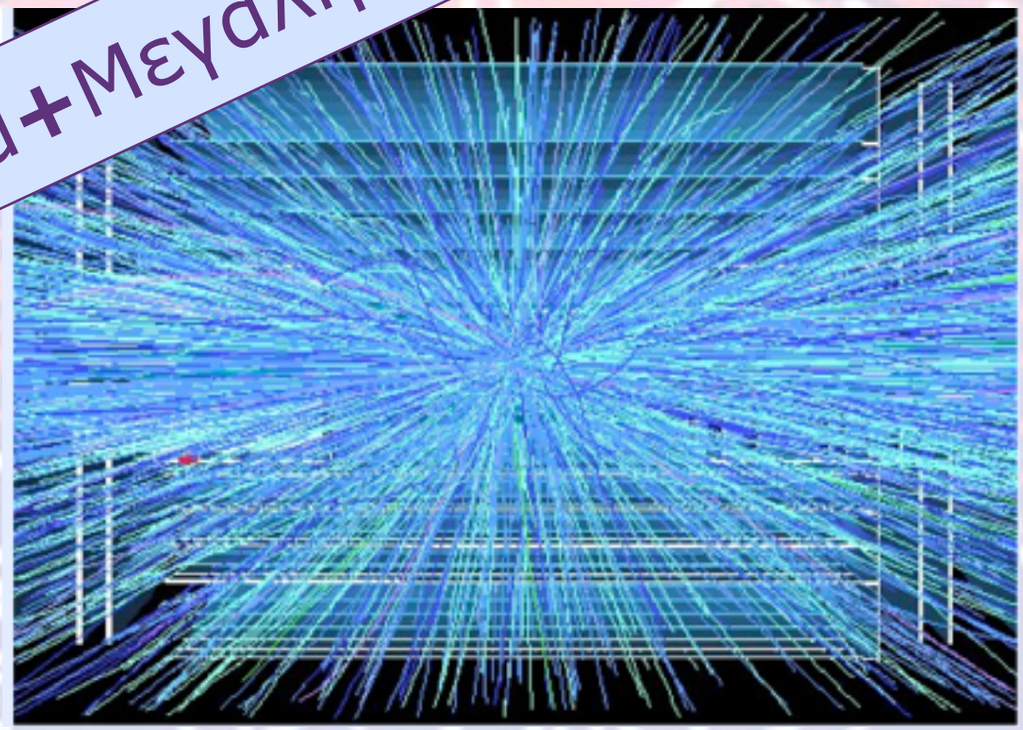
Τι γίνεται σήμερα στο LHC: 2015-203?

Φωτεινότητα: Η Νέα Πρόκληση του LHC !

Τι έβλεπε ο ανιχνευτής το 2010

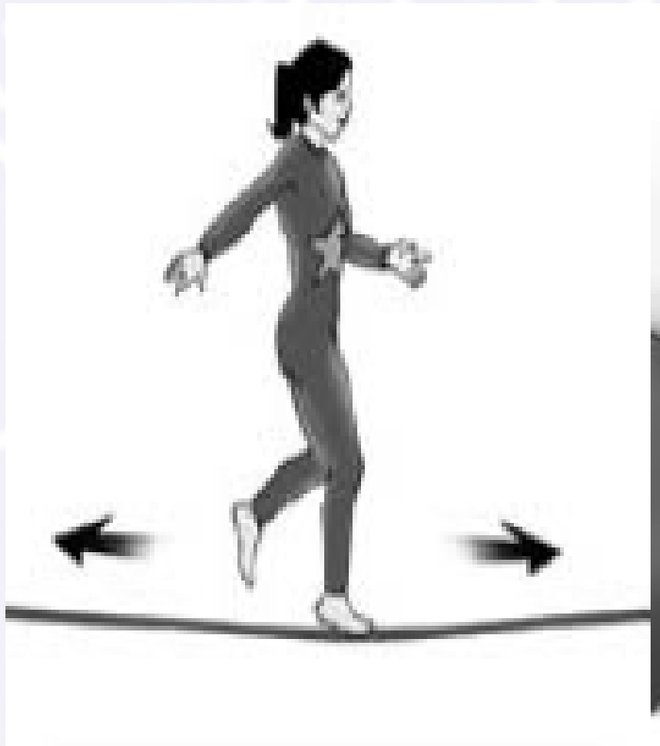


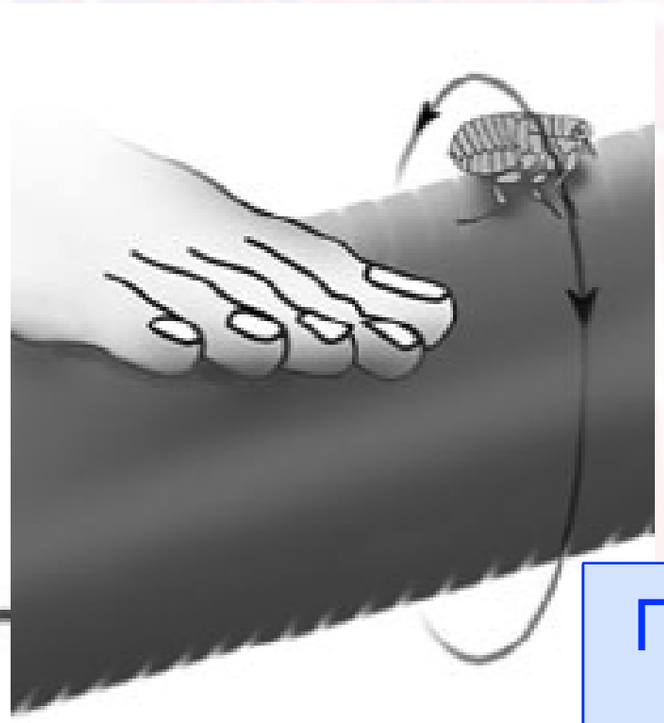
Μεγάλη Ενέργεια+Μεγάλη Στατιστική➡Νέες Ανακαλύψεις !



Τι θα βλέπει ο ανιχνευτής το 2020 !

Μήπως ζούμε σε Χώρο Πολλών Διαστάσεων ? (Extra Dimensions)



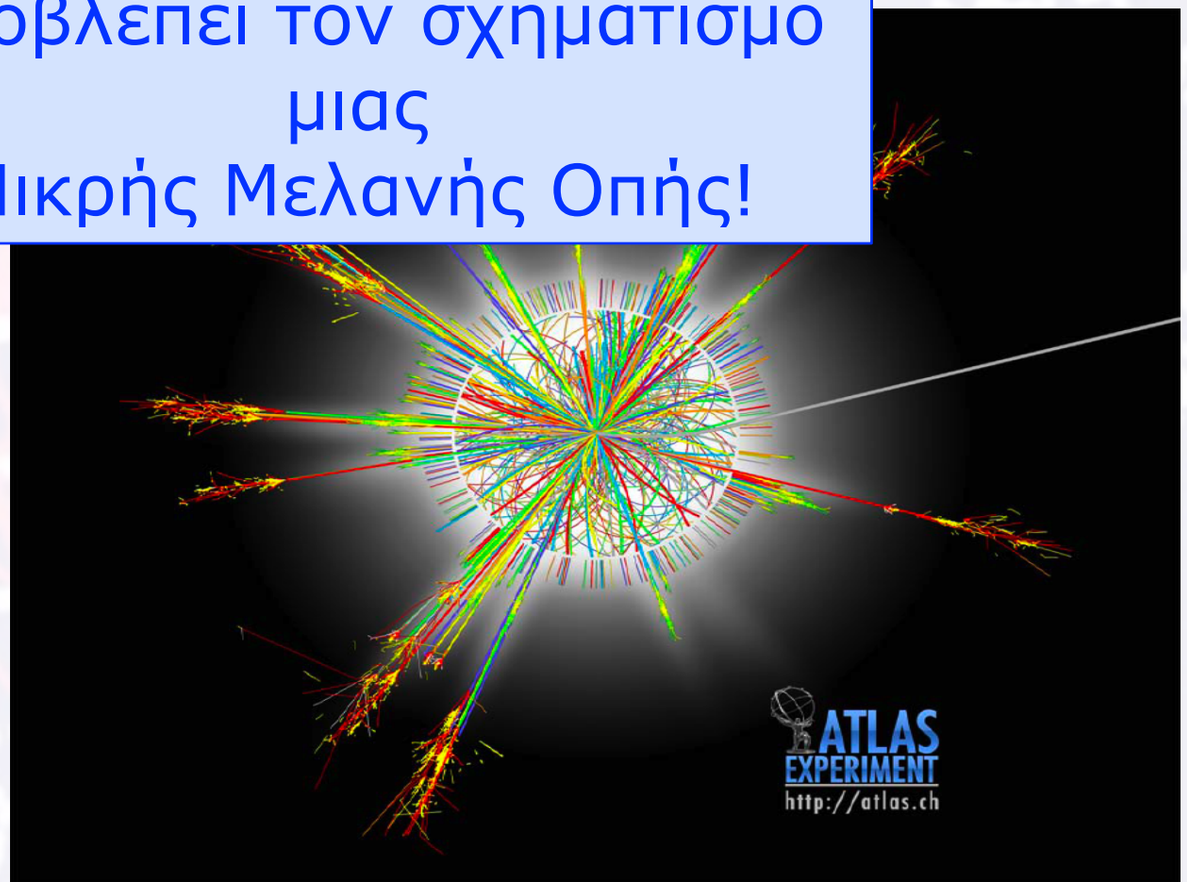


Η ακροβάτης κινείται σε μιά διάσταση, ΑΛΛΑ το έντομο σε δύο! ΜΟΝΟ που η μια από τις δυό διαστάσεις είναι 'ΠΟΛΥ μικρή'

Αν υπάρχουν θα είναι ΠΟΛΥ μικρές !

Προκύπτει φυσικά στη
- Θεωρία χορδών (string theory)

Προβλέπει τον σχηματισμό μιας Μικρής Μελανής Οπής!



Που “πήγε” η αντιϋλη? …

- Κατά την Μεγάλη Έκρηξη δημιουργήθηκαν ίσες ποσότητες ύλης και αντιϋλης (αντιϋλη: άτομα με θετικά ηλεκτρόνια και αρνητικούς πυρήνες, πανομοιότυπα καθόλα τα άλλα!)
- Υπάρχουμε επειδή ΔΕΝ υπάρχει αντιϋλη στο Σύμπαν !

Στο LHC προσπαθούμε να απαντήσουμε και στο ερώτημα αυτό

Το Φασματόμετρο Μιονίων του ATLAS στην Ελλάδα

Η Ελλάδα συμμετέχει στην πρόκληση αυτή της επιστήμης με την κατασκευή του 10% του φασματομέτρου μιονίων, συνολικής επιφάνειας 5600m^2

Συνεργαστήκαμε τρία Ελληνικά Πανεπιστήμια:

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

Το Πείραμα ATLAS στο Πανεπιστήμιό μας

Συνεργαστήκαμε:

- Η ομάδα του Εργαστηρίου Πυρηνικής Φυσικής και Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων, Τμήμα Φυσικής, Σχολή Θετικών Επιστημών

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ Α.Π.Θ.

ARISTOTELES UNIVERSITY THESSALONIKI
ΕΕΔΜ
LABORATORY FOR MACHINE TOOL AND MACHINE DYNAMICS
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT

- Η ομάδα του Εργαστηρίου Εργαλειομηχανών και Δυναμικής Μηχανών, Τμήμα Μηχανολόγων, Πολυτεχνική Σχολή

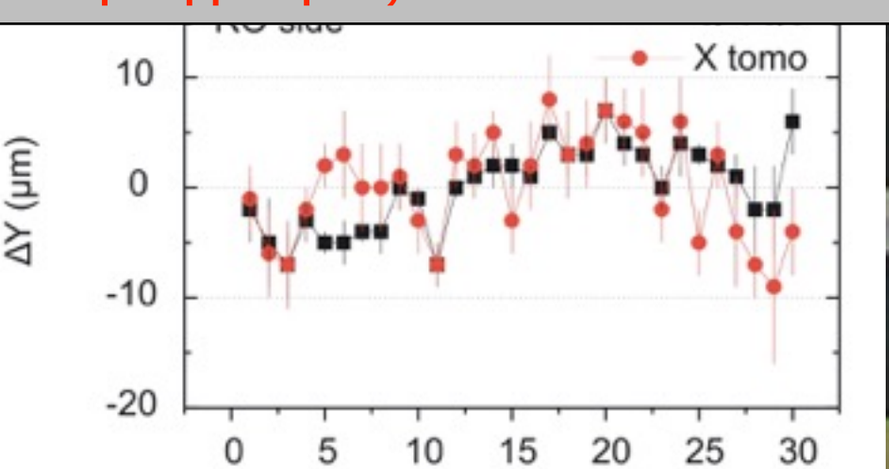
Η κατασκευή των θαλάμων ανίχνευσης μιονίων στο ΑΠΘ

Το 1995-1999 δημιουργήσαμε στο ΑΠΘ το Εργαστήριο για την **Κατασκευή** και τον **Έλεγχο** των Ανιχνευτών Μιονίων.

Ακρίβεια στην κατασκευή εκατομμυριοστά του μέτρου

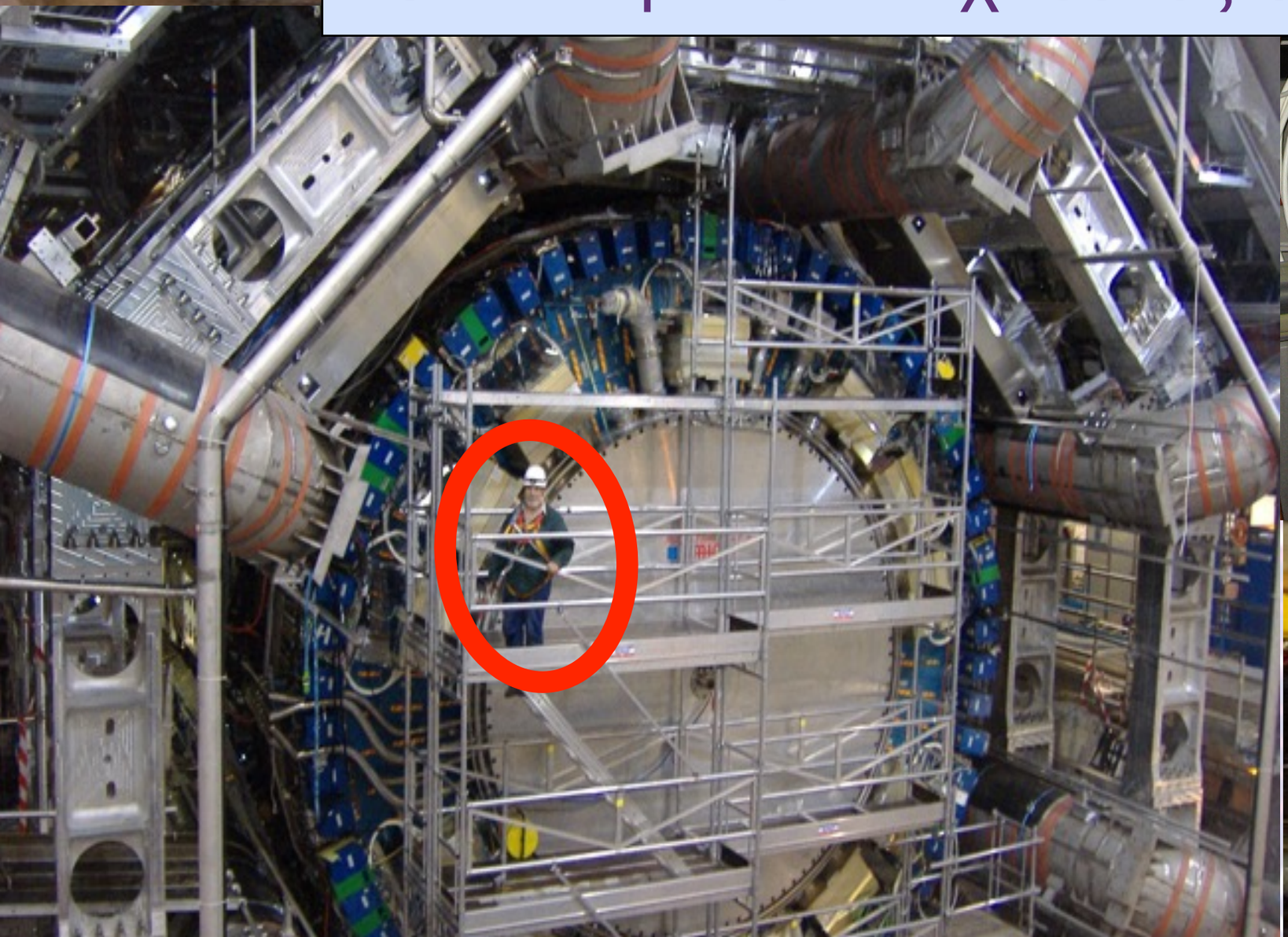
Πιστοποίηση:

Τομογράφος Ακτίνων-Χ



Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών

Οι Ελληνικοί Ανιχνευτές στο ATLAS



Ο πρώτος κόμβος GRID στο ΑΠΘ

- Στόχος η πρόσβαση στα δεδομένα του πειράματος ATLAS

- **Ο κόμβος GRID του ΑΠΘ εξυπηρετεί 30 εργαστήρια:** σεισμολογία, ατμόσφαιρα, αστρονομία…

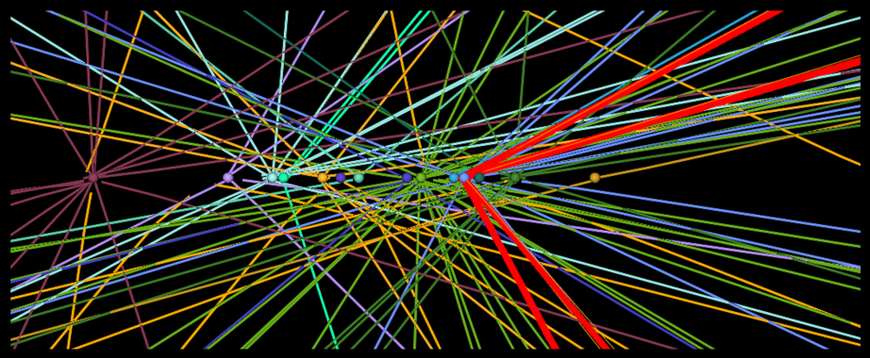
Η πλεγματική υποδομή Grid στην Ελλάδα & το ΑΠΘ

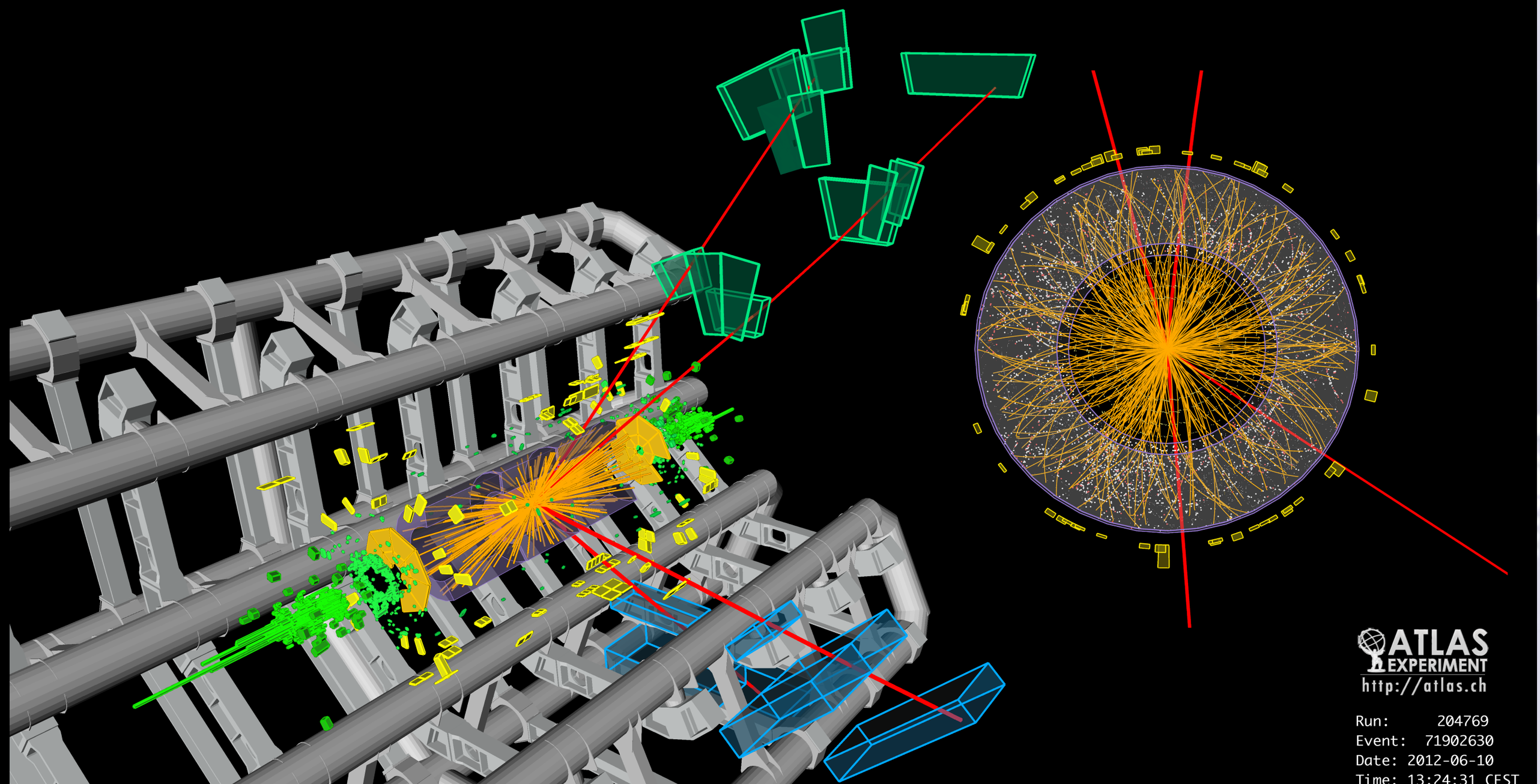
>100 000 CPU's στον κόσμο

>3000 CPU's (~1PB storage) στους Ελληνικούς κόμβους

ΑΠΘ: >1000 CPU's & ~500 TB storage

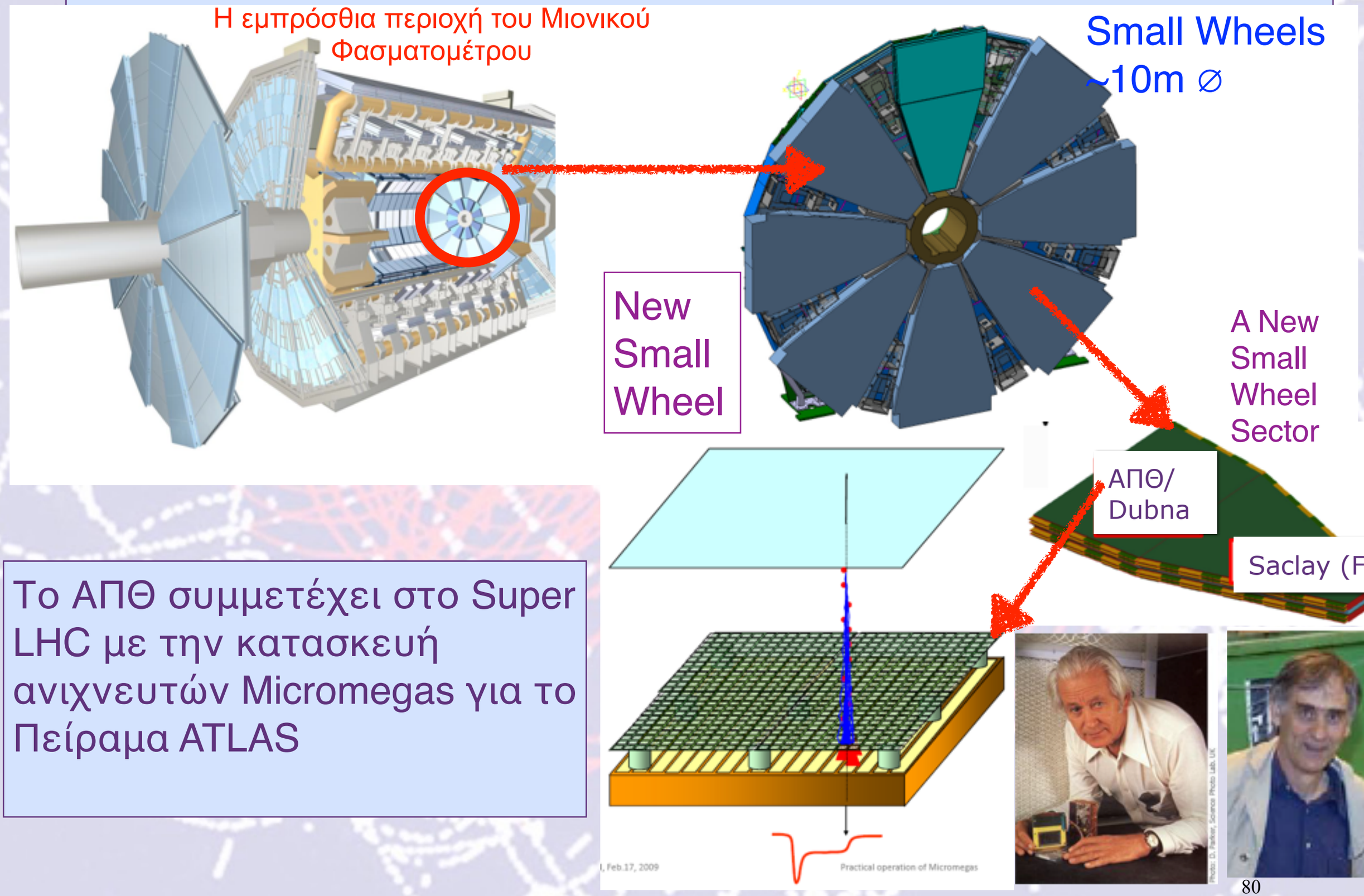
Το ΑΠΘ στην πρώτη γραμμή για την ανακάλυψη του σωματιδίου Higgs





Το ΑΠΘ παρόν... και στο μέλλον, στο Super LHC

Συμμετοχή στην αναβάθμιση του ATLAS



Το ΑΠΘ συμμετέχει στο Super LHC με την κατασκευή ανιχνευτών Micromegas για το Πείραμα ATLAS

Ανακεφαλαίωση

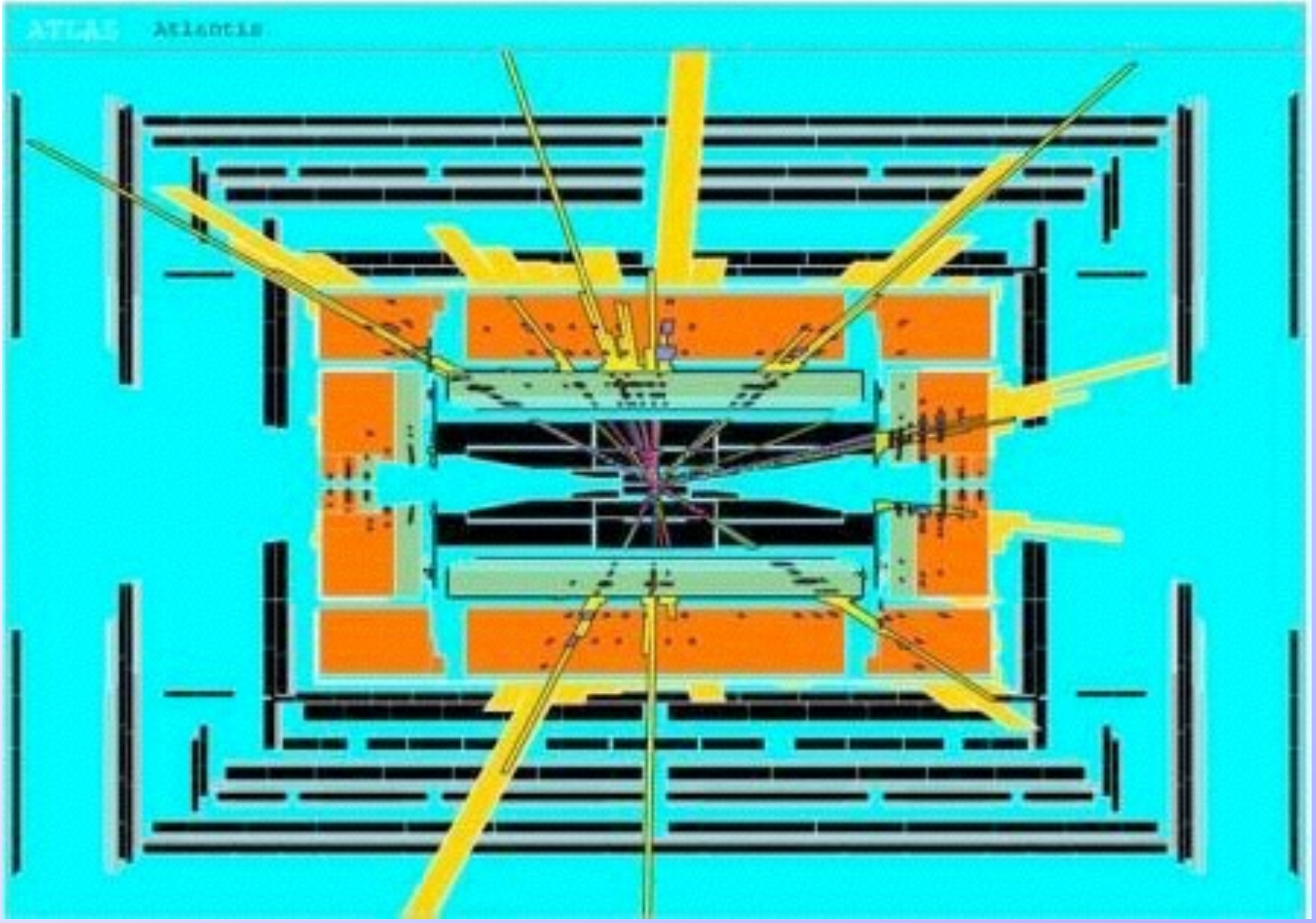
- Η Φυσική του Μικρόκοσμου έχει σημειώσει τεράστια πρόοδο στην τελευταία δεκαετία

- Μεγάλοι Επιταχυντές και περίπλοκοι Ανιχνευτές μπορούν να διερευνήσουν βαθειά στην αρχή του χρόνου και του Σύμπαντος

- Η Ελλάδα 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

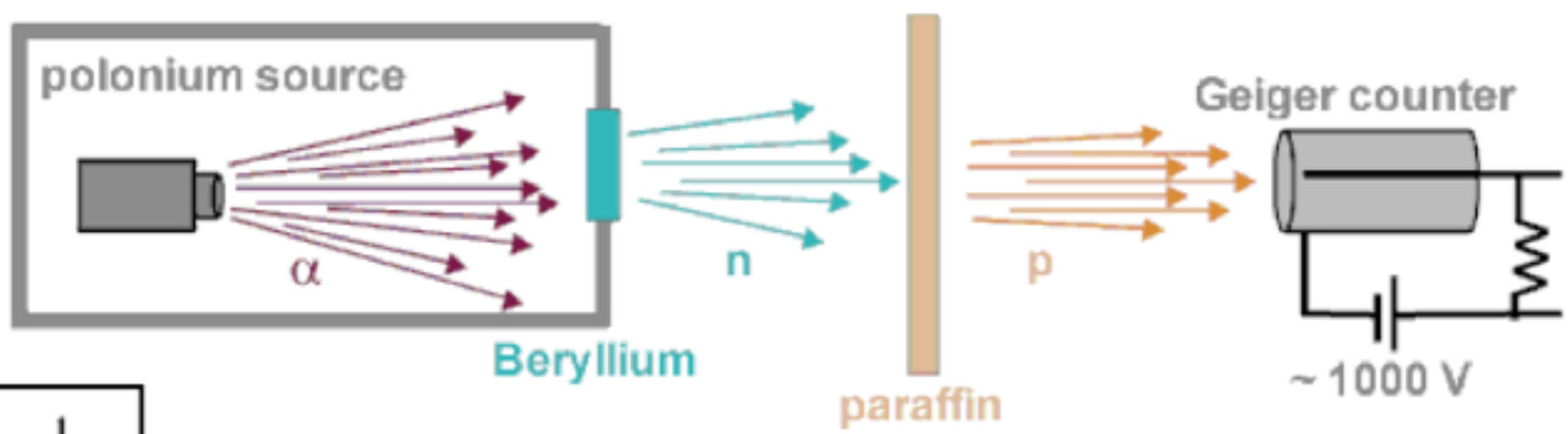
Αξίζει τον κόπο να μάθω κάποια βασικά πράγματα για τα στοιχειώδη σωμάτια?



Από προσομοίωση: A mini-blackhole in ATLAS !

Ιστορική Αναδρομή: Άτομο & Πυρήνας

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



$$\boxed{{}^{4}_{2}\alpha + {}^{9}_{4}Be \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n}$$

Ιστορική Αναδρομή: Δυνάμεις & Σωμάτια

- **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)**

Ιστορική Αναδρομή: Δυνάμεις & Σωμάτια

- **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)**