Στοιχειώδη Σωματίδια

Διάλεξη 1η
Πετρίδου Χαρά

Τι θα μάθουμε (I)

- Το Απειροστό και το Άπειρο:
  - 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 (II)

- 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 ένοια 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

- 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

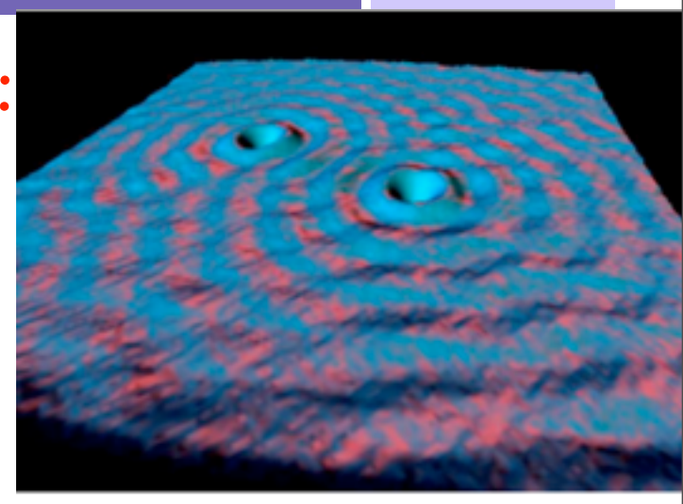
Εκλαϊκευμένα βιβλία για τα Στοιχειώδη Σωμάτια

- 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

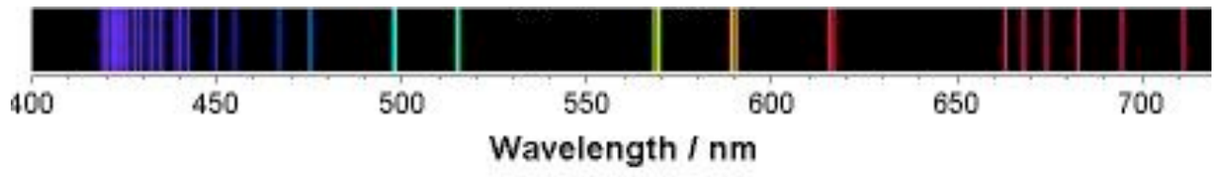
“ Ά dieu ” … Στους Πυρήνες

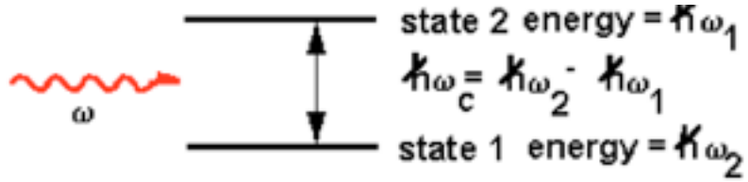
- Οι πυρήνες είναι περίπλοκα συστήματα πολλών σωμάτων που συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις ελάχιστα κατανοητές
- Οι θεωρείες/μοντέλα της συμπεριφοράς και της δομής του πυρήνα δεν περιγράφονται με ένα ενιαίο πρότυπο
- Οι θεωρείες/μοντέλα της συμπεριφοράς και δομής των πυρήνων αλλάζουν:
  - για διαφορετικές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

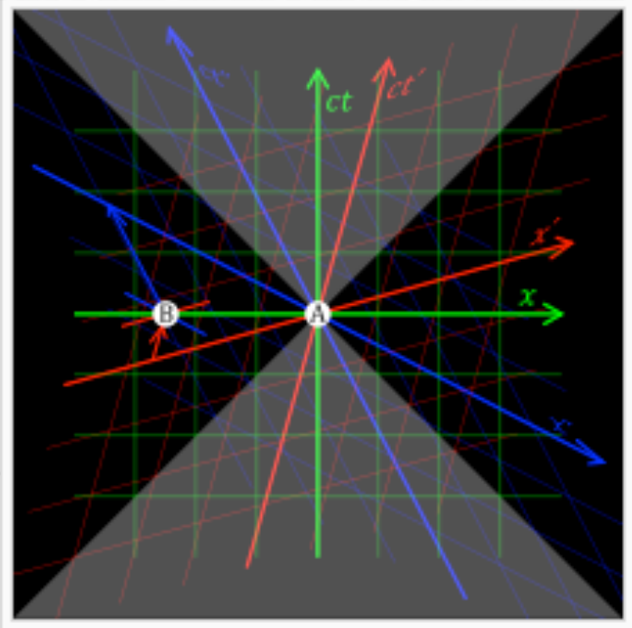




- Η Κβαντική Μηχανική περιλαμβάνει:
  - Την εισαγωγή των Τελεστών – Σχέση Τελεστών και Φυσικών μεγεθών (Ιδιότητες των φυσικών μεγεθών στην Κβαντομηχανική)
  - Την μαθηματική περιγραφή των υλικών κυμάτων (εξίσωση Schroedinger)
  - Την πυκνότητα πιθανότητας(στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης) και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

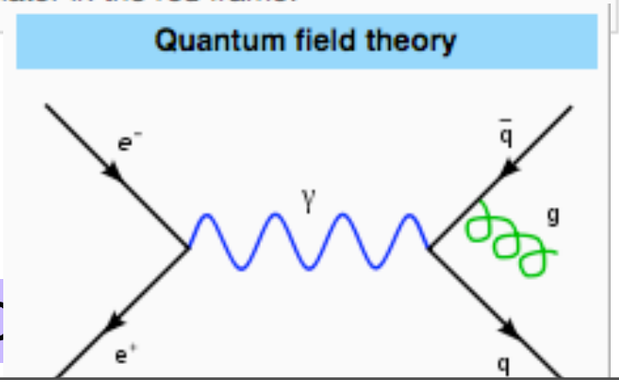
Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

- 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**

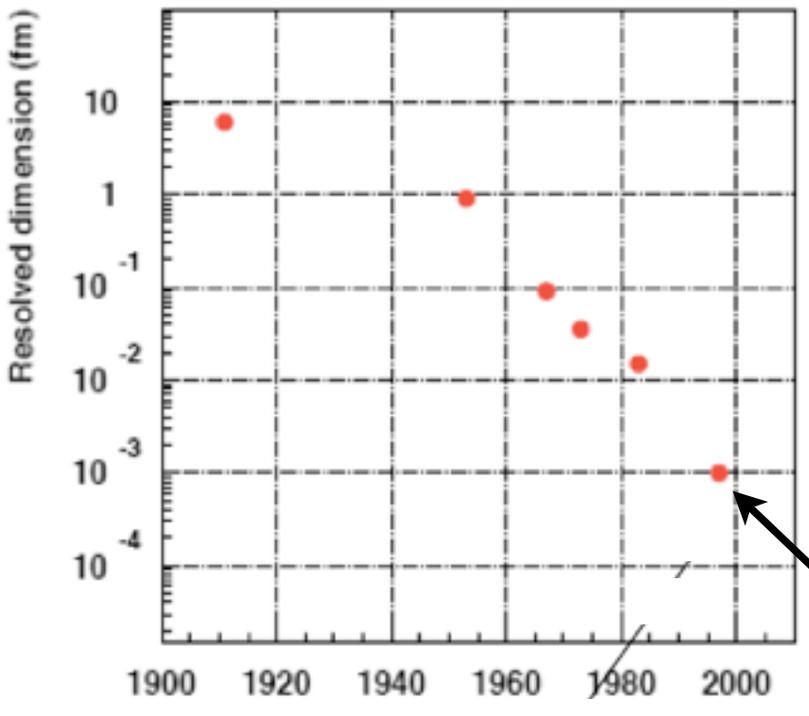


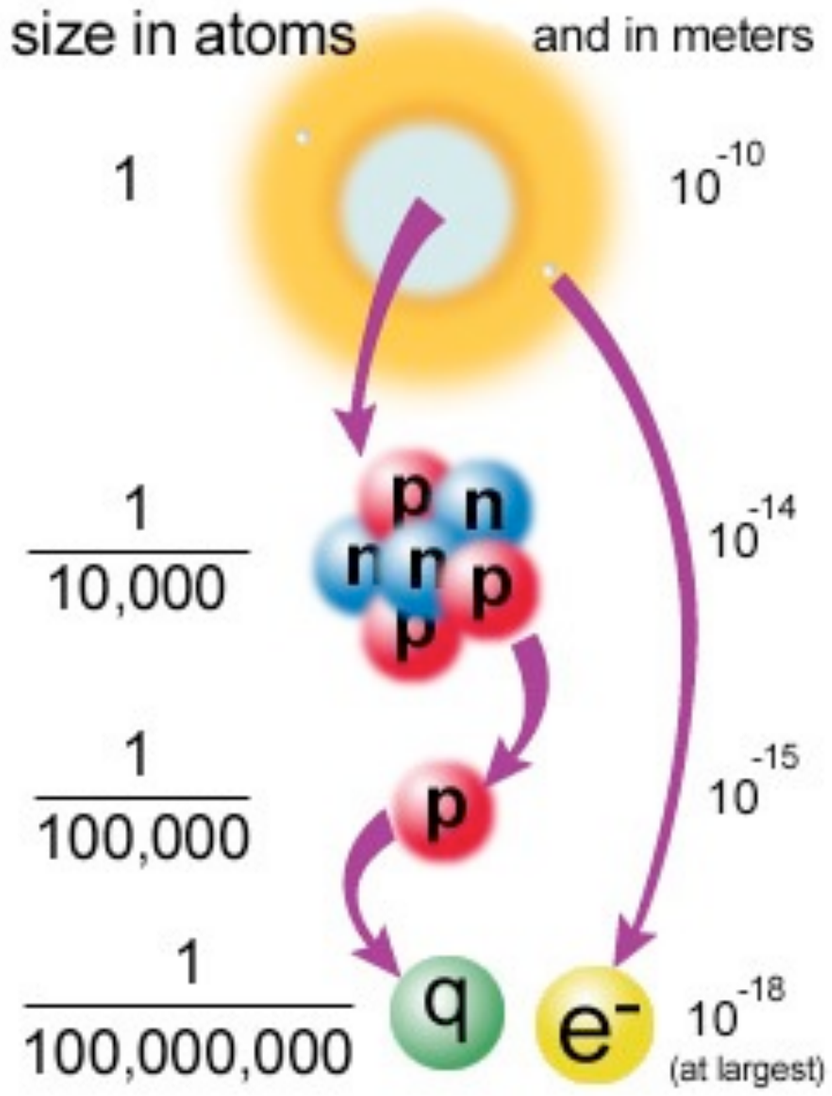
Event B is simultaneous with A in the green reference frame, but it occurred before in the blue frame, and will occur later in the red frame.

- 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



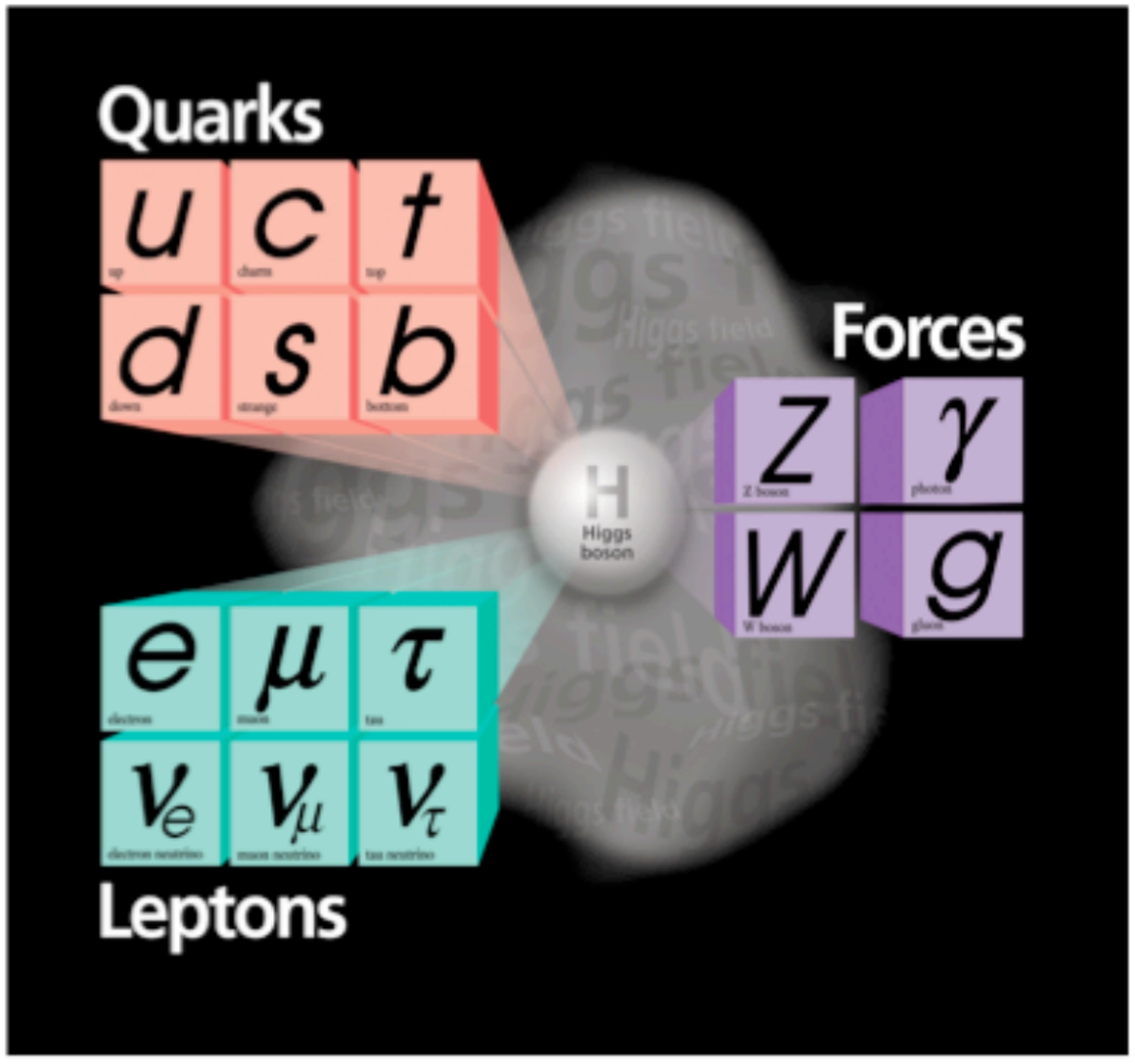


- Άτομο: Πυρήνας+ e
- Πυρήνας: p+n
- p,n: quarks+ gluons
- quarks: ???? Είναι θεμελειώδη?

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

Τα στοιχειώδη συστατικά της ύλης… όπως τα γνωρίζουμε σήμερα

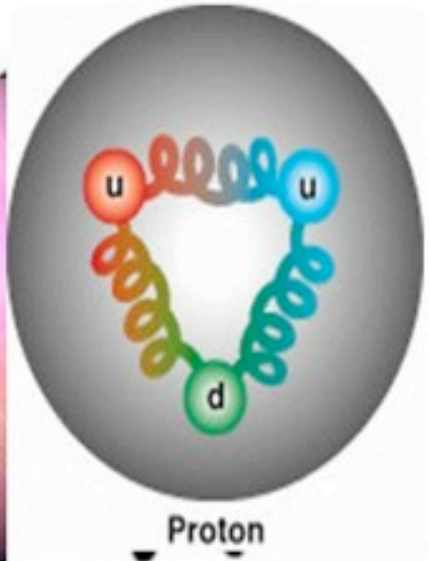
Σωματίδια ύλης



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)

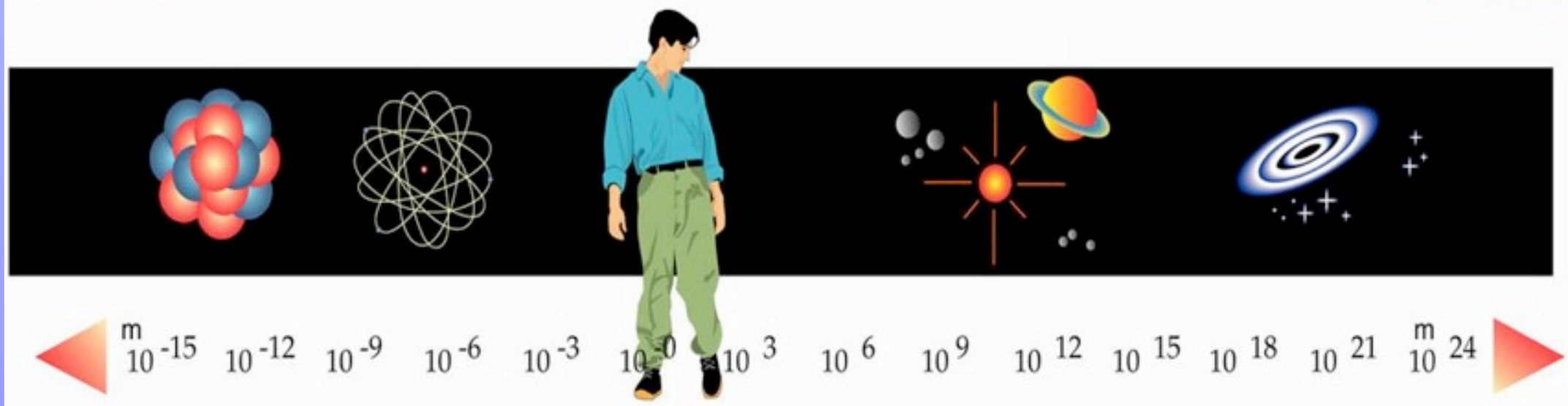


	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic (Electroweak)	Strong
Carried By	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	Photon	Gluon

Οι δύο περιοχές στην Έρευνα της Φυσικής

Η Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων μελετά το **'απειροστό'**

Η Αστροφυσική μελετά το **'άπειρο'**



Μικροσκόπια
Microscopes

Κιάλια
Binoculars

Οπτικά Τηλεσκόπια

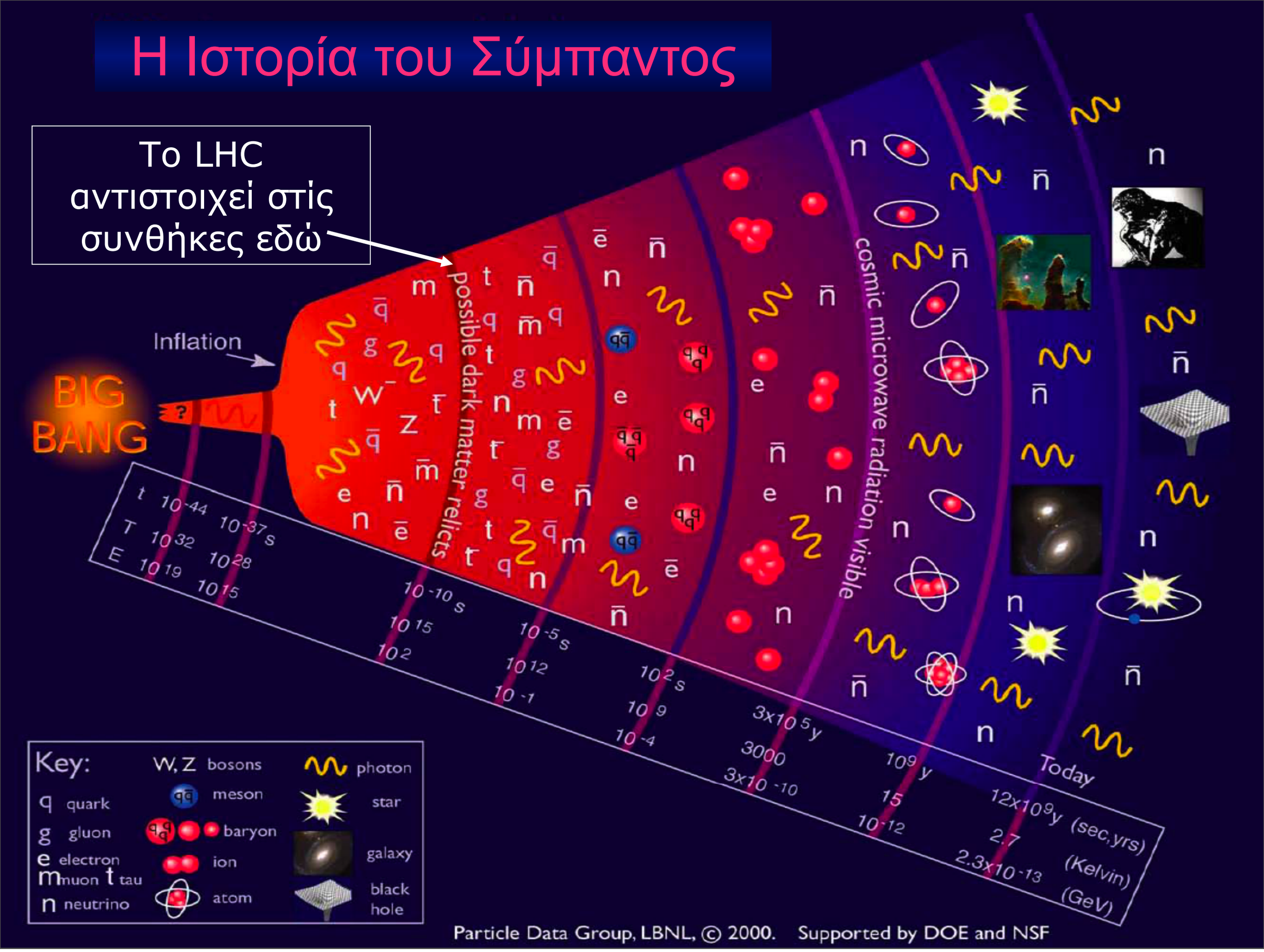
Ραδιοτηλεσκόπια

Γυμνό μάτι

Επιταχυντές Σωματιδίων & Ανιχνευτές

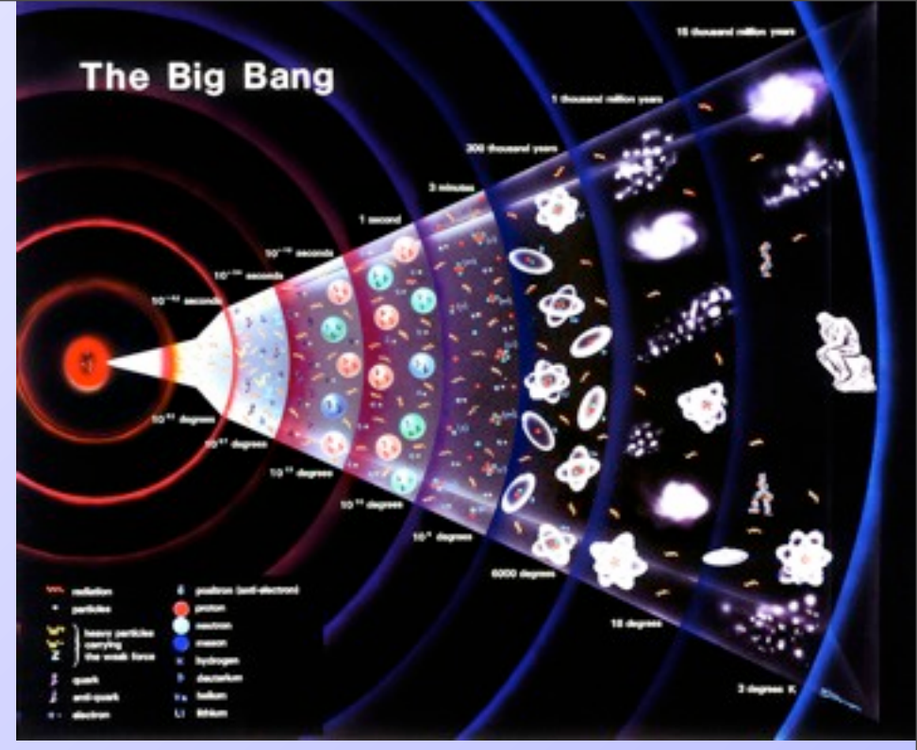
Η Ιστορία του Σύμπαντος

Το LHC αντιστοιχεί στίς συνθήκες εδώ



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

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



05-Dec-10

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

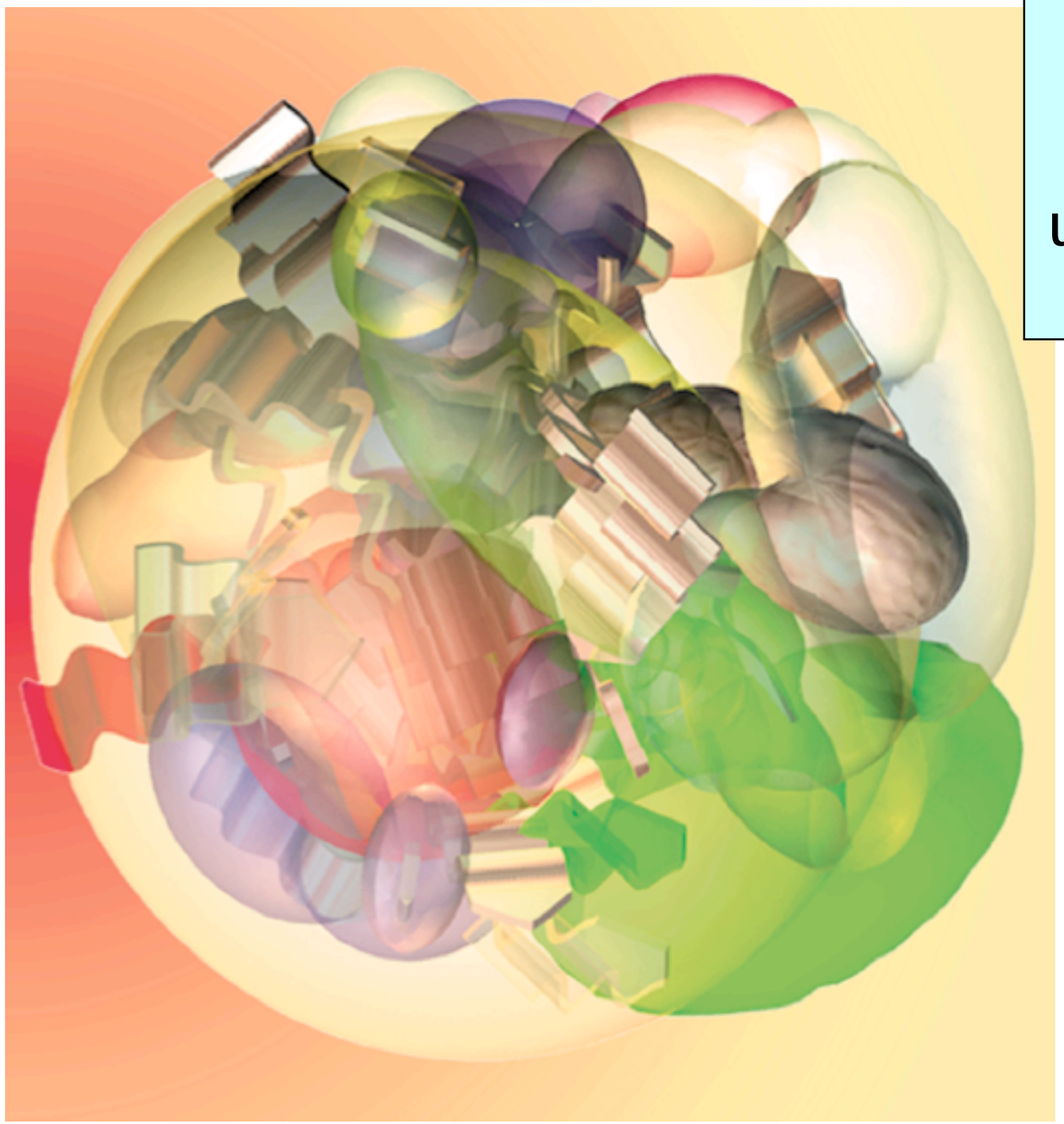
The universe is considered to have expanded from a single point with an infinitely high energy density (infinite temperature). Is there a meaning to the question what existed before the big bang?

$t - 10^{-43}$ 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

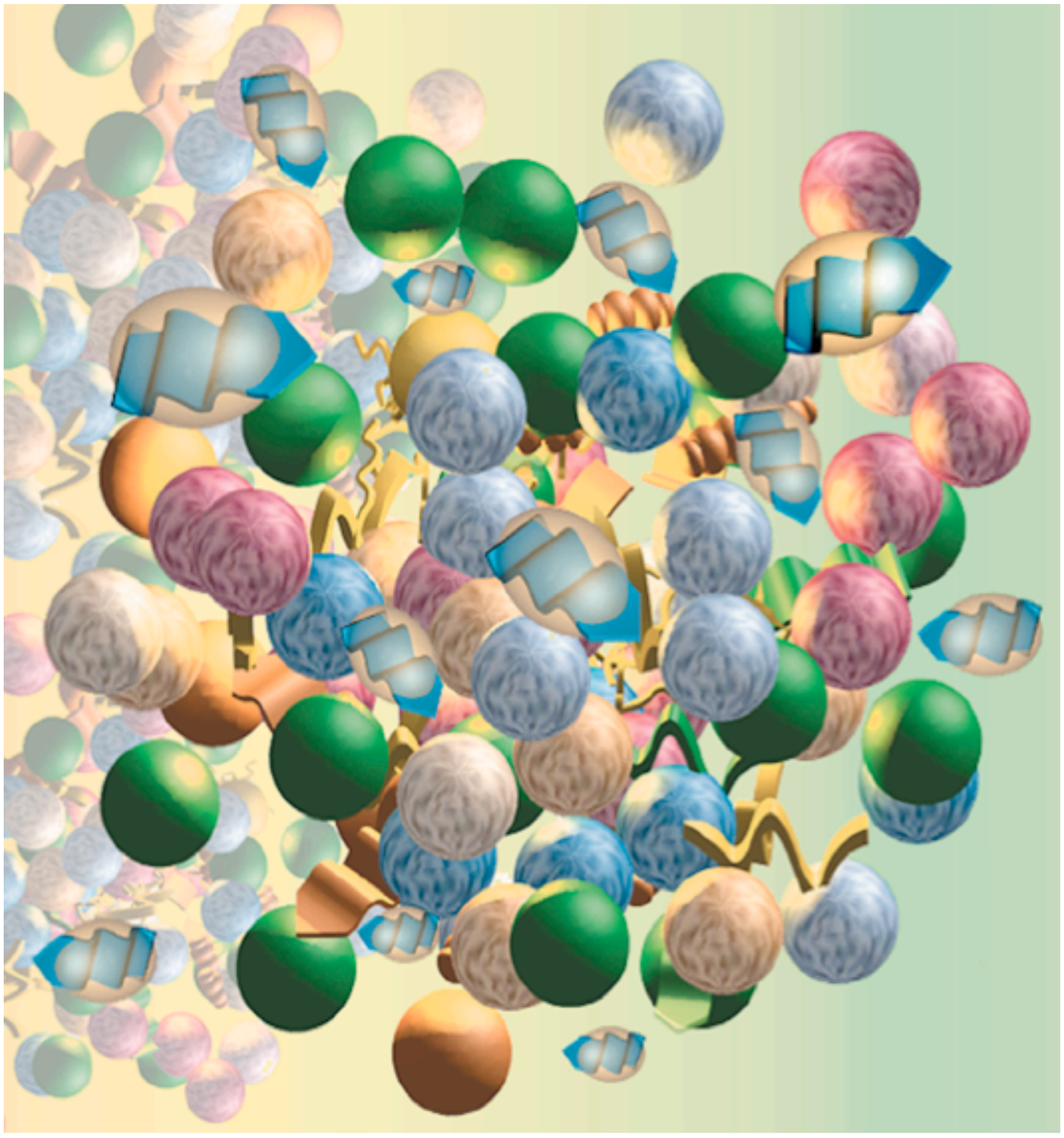
t - 10^{-35} s, 10^{27} K (10^{16} GeV, 10^{-32} m) : Inflation

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

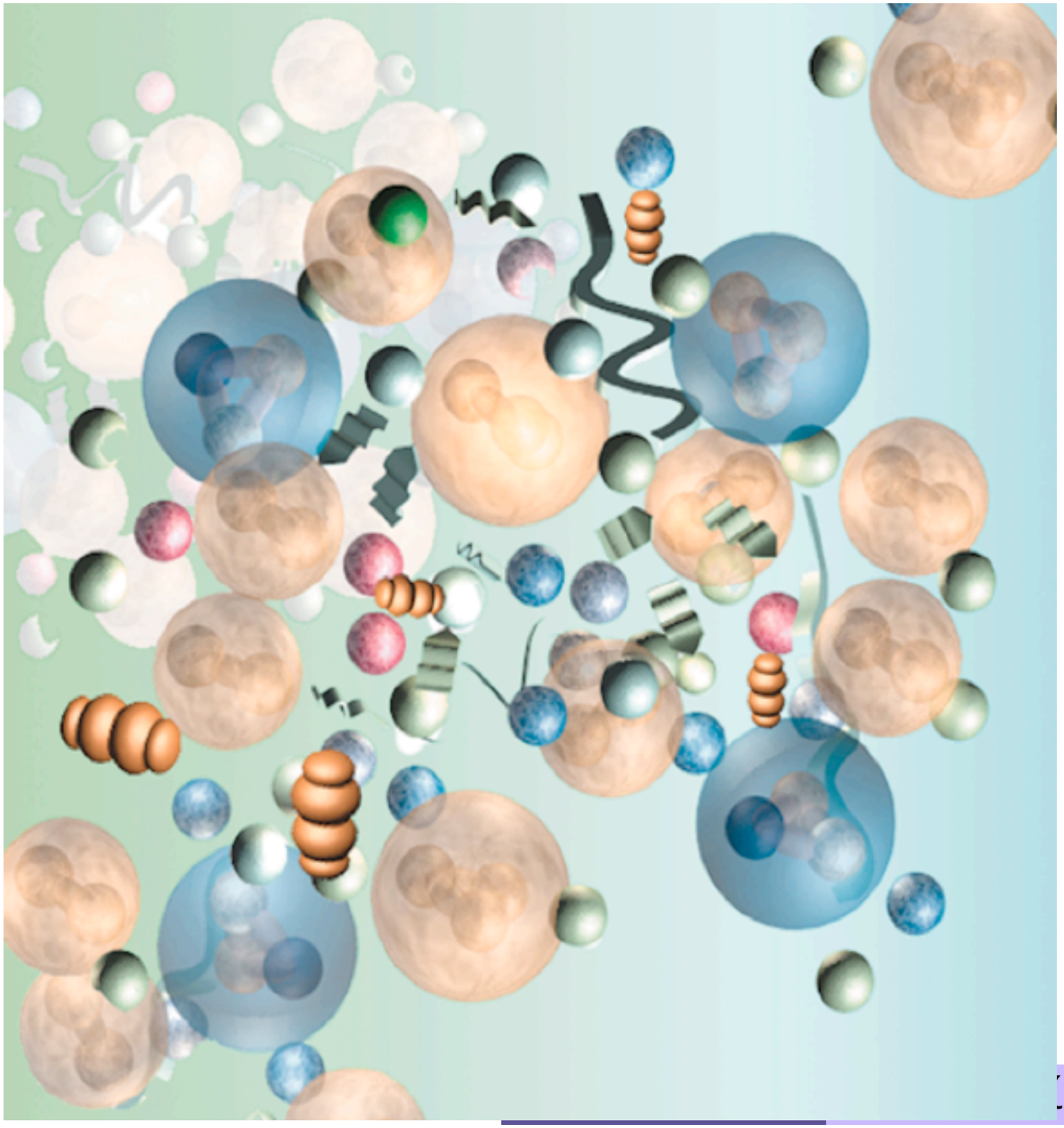


Διαχωρίζονται οι ασθενείς απο τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις
Η πυκνότητα ενέργειας αντιστοιχεί σε αυτή του LEP

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

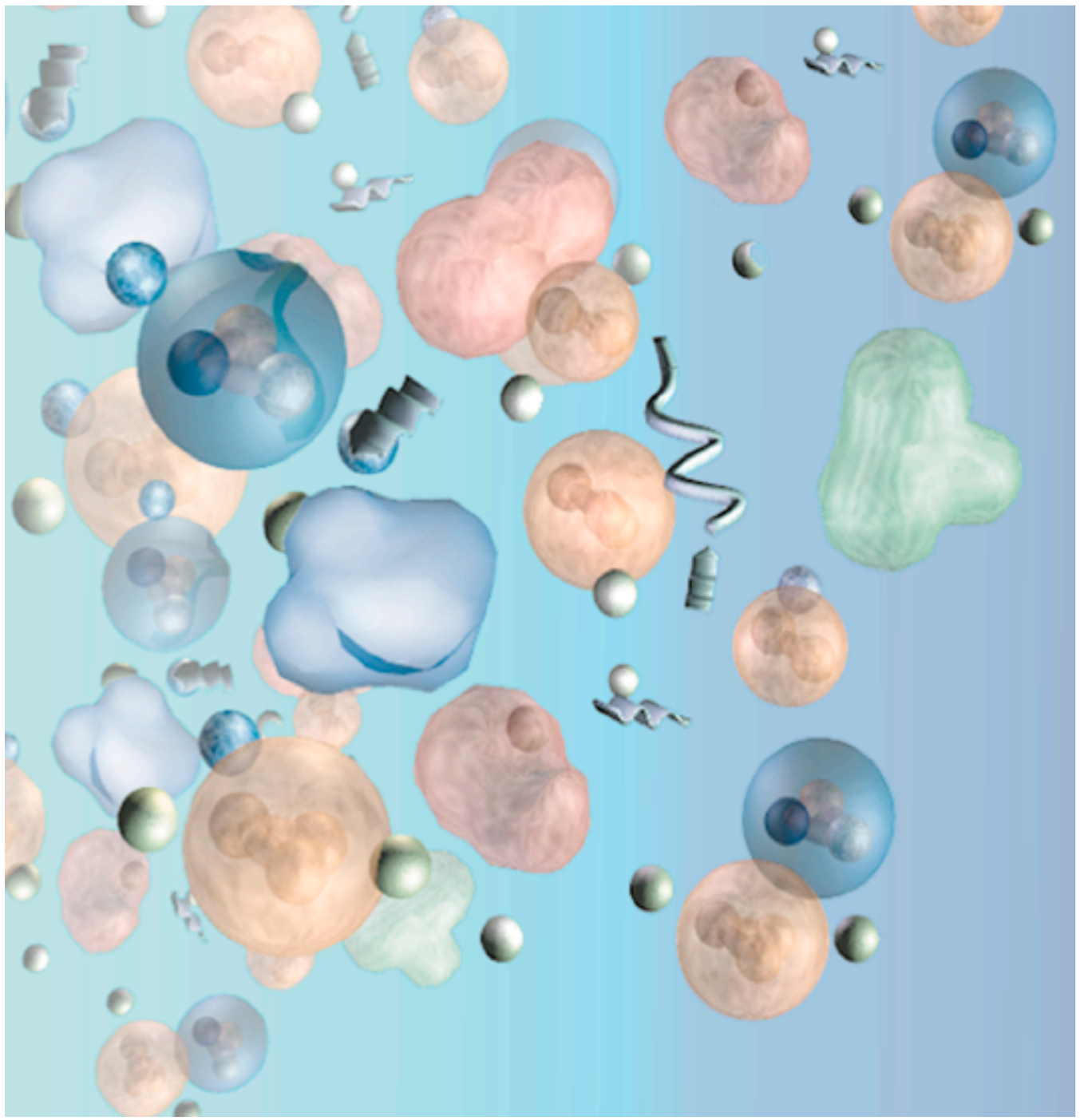
t - 10^{-4} s, 10^{13} K (1 GeV, 10^{-16} m) : Protons and Neutrons form

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

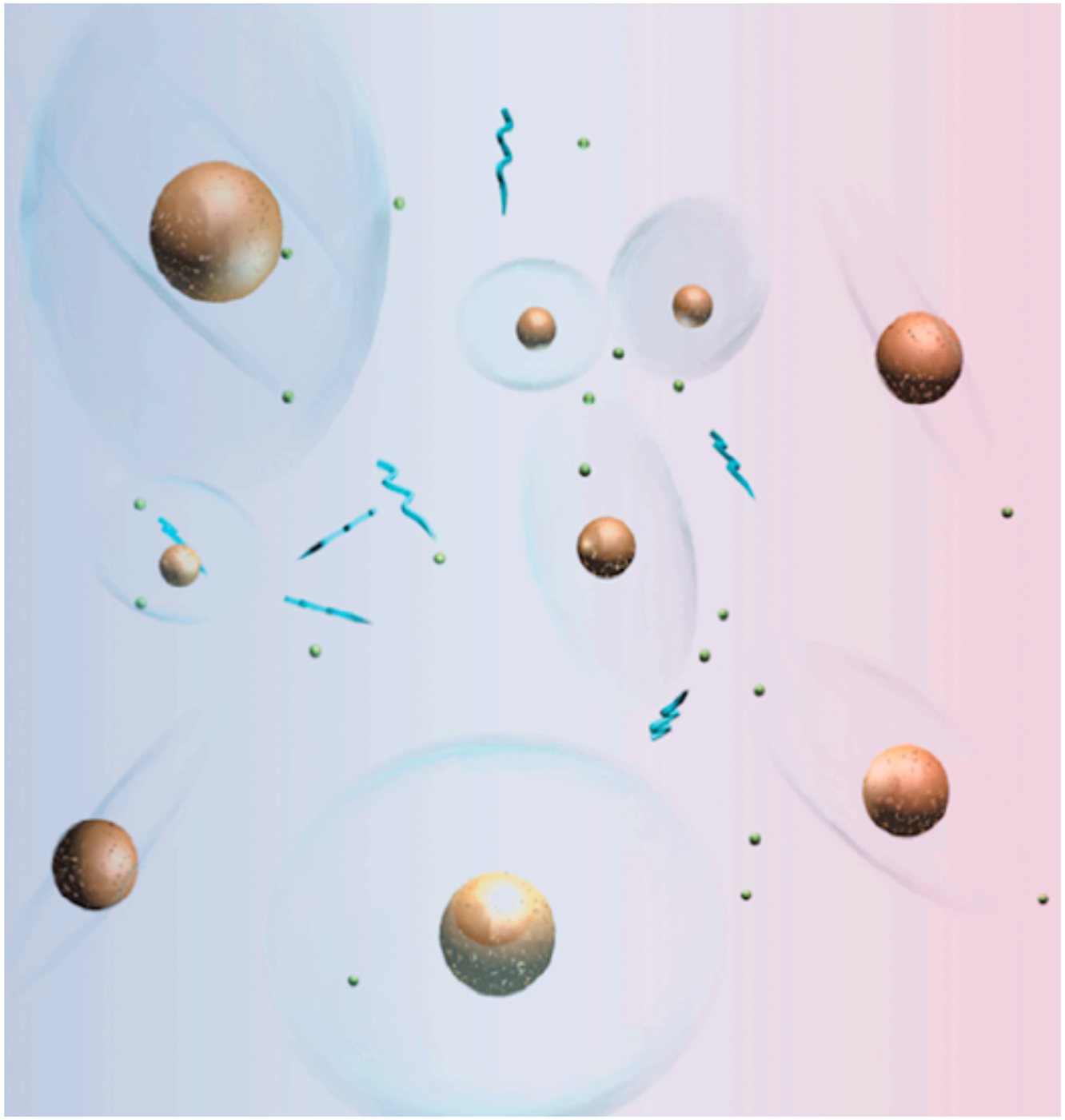


Τα πρωτόνια και τα νετρόνια συνδυάζονται και σχηματίζουν τους πρώτους πυρήνες (D, He, Li)

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.

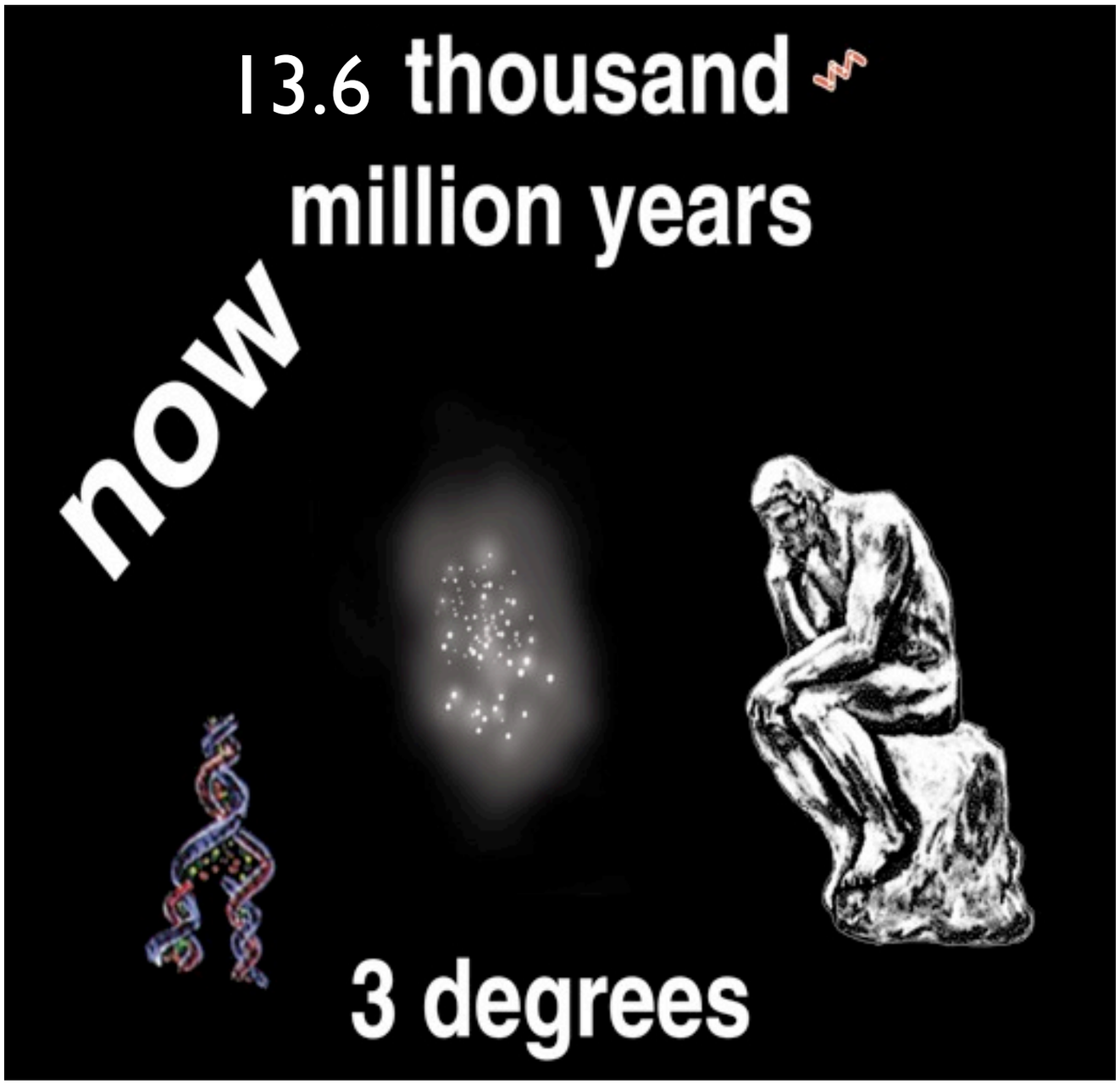
10^9 έτη (18 K): Σχηματισμός των γαλαξιών

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.

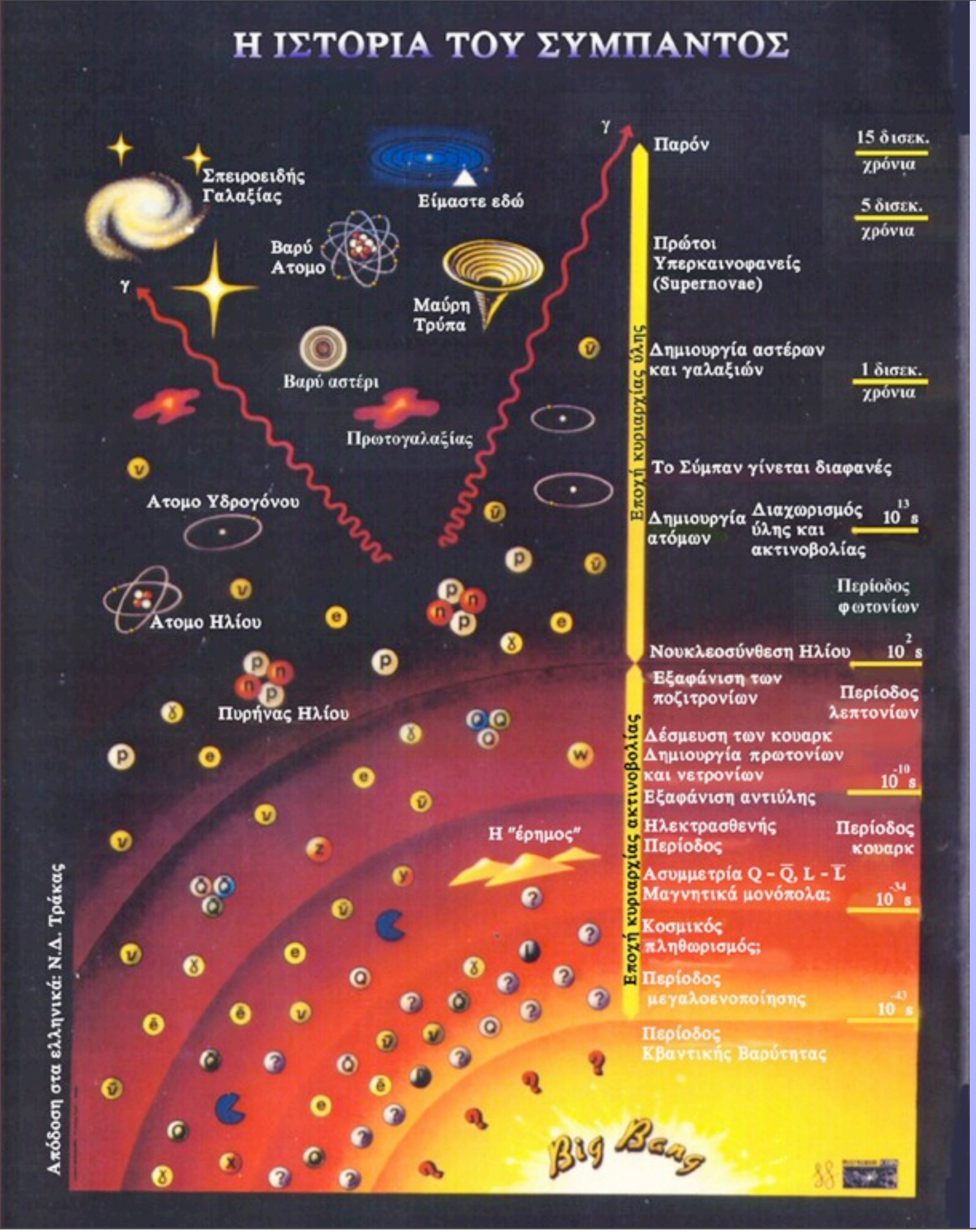
13.6×10^9 έτη (3 K): Σήμερα .....



Υπάρχουμε !

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

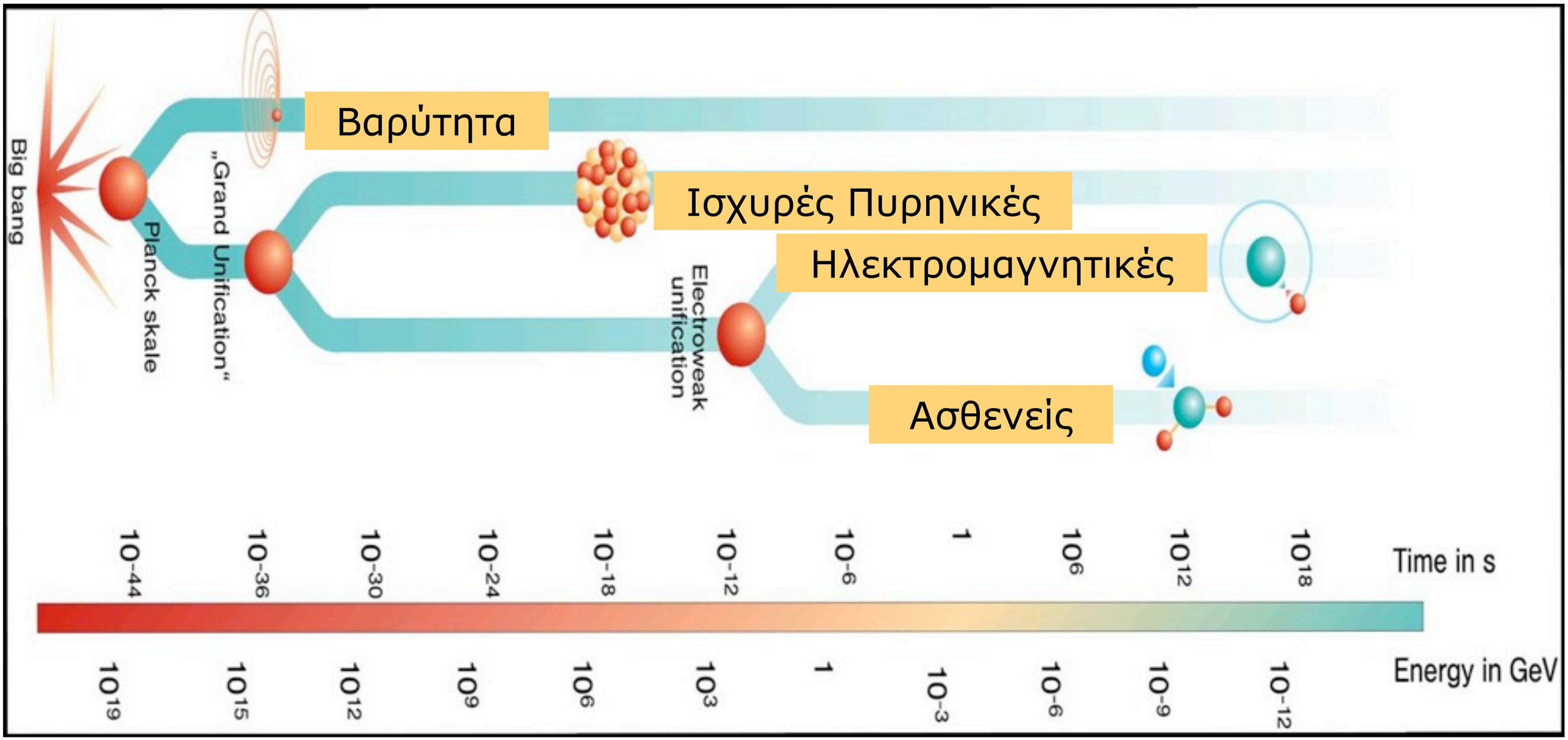
The present day. Chemical processes have linked atoms to form molecules. From the dust of stars and through coded messages (DNA) humans emerge to observe the universe around them.



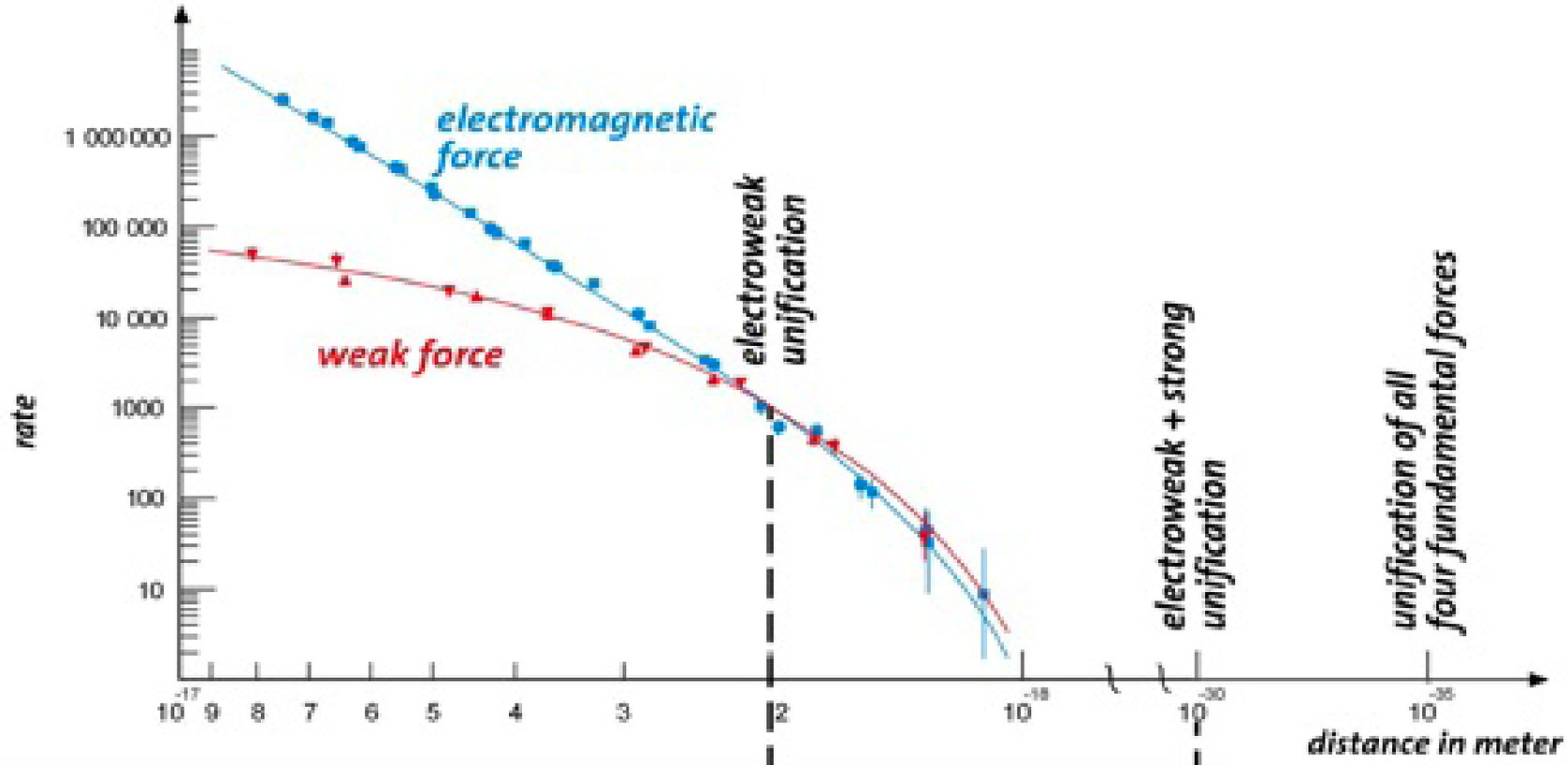
Ο Μικρόκοσμος και το Σύμπαν

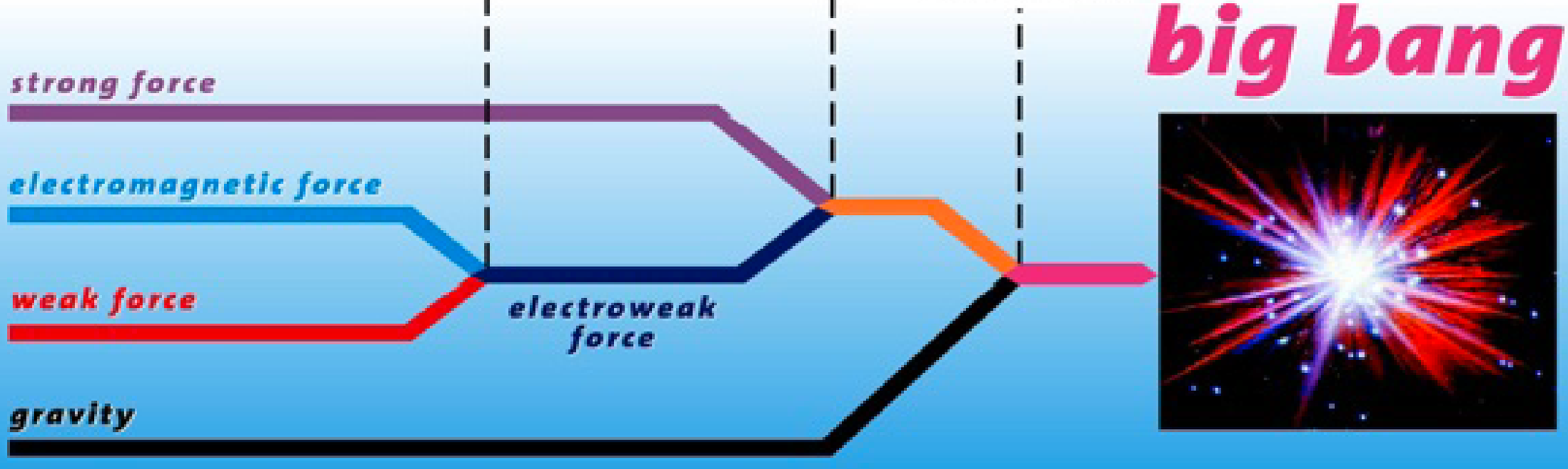
← **1 δισεκ. χρόνια**	Δημιουργία αστέρων κα γαλαξιών
← **10^{13} sec**	Δημιουργία ατόμων Διαχωρισμός ύλης και ακτινοβολίας
← **10^{2} sec**	Δημιουργία πρωτονίων και νετρονίων
← **10^{-18} sec**	Εξαφάνιση αντιύλης
← **10^{-34} sec**	Ενοποίηση των ηλεκτροασθενών δυνάμεων
	Επιταχυντές : **SPS, LEP, LHC**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

Το "Ενοποίηση των Δυνάμεων"



Το "Σπάσιμο της Συμμετρίας"



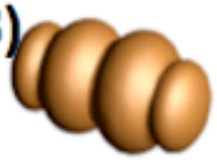


Τα Στοιχειώδη σωματίδια του κόσμου μας

Λεπτόνια

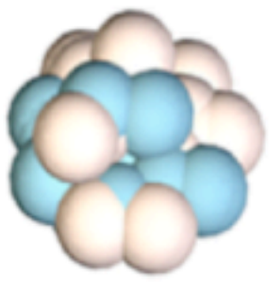
Ισχυρή

Γλουόνια(8)



Quarks

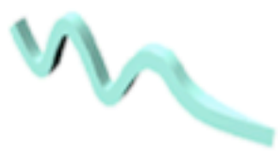
Μεσόνια
Βαρυόνια



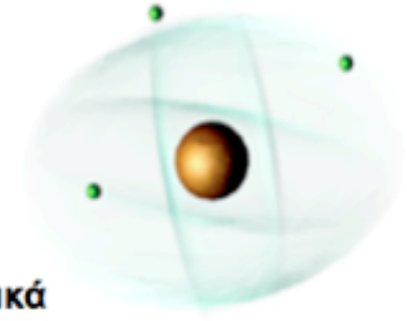
Πυρήνες

Ηλεκτρομαγνητισμός

Φωτόνια



Άτομα
Φώς
Χημεία
Ηλεκτρονικά



Quarks

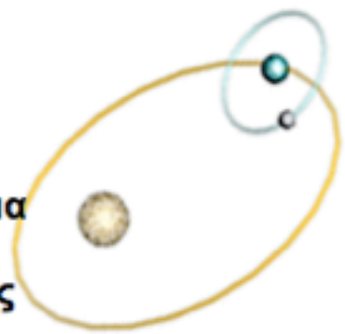
Electric Charge

Down -1/3 2/3 Up

each quark: R, B, G 3 colors

Βαρύτητα

Γραβιτόνιο?



Ηλιακό σύστημα
Γαλαξίες
Μαύρες Τρύπες

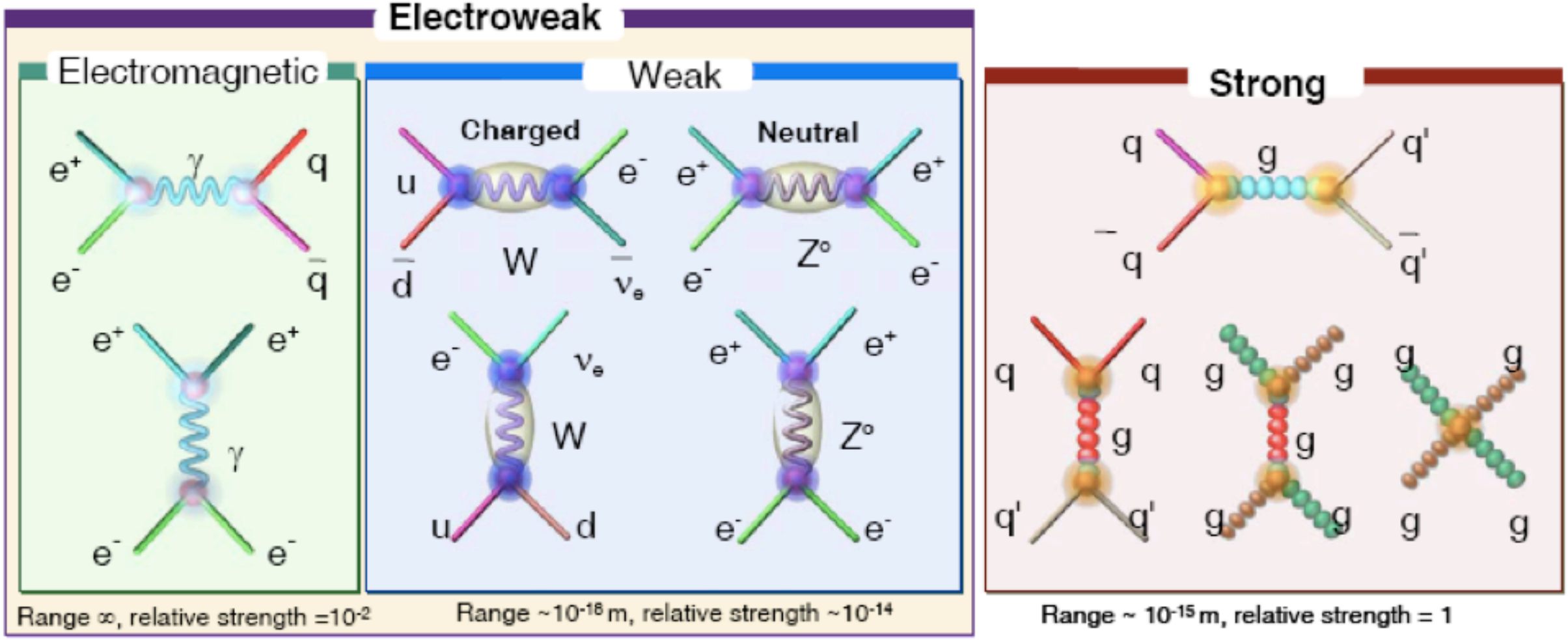
Ασθενής

Μποζόνια
W,Z

Διάσπαση νετρονίου
Ακτινοβολία β
Αλληλεπιδράσεις νετρίνων
Καύση ηλίου

Δυνάμεις/Αλληλεπιδράσεις: Περιγράφονται με μία Κβαντική Θεωρία Πεδίου

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



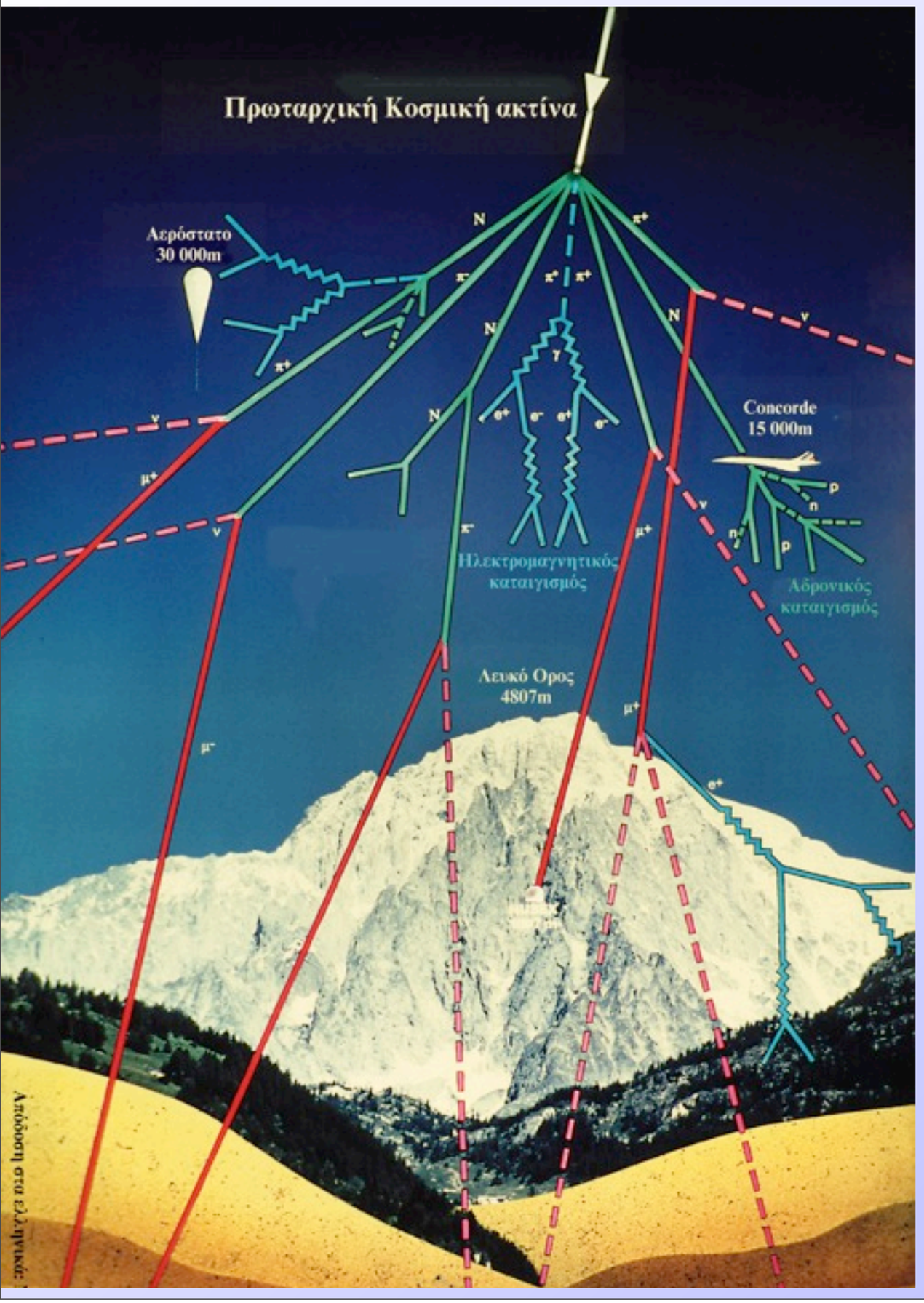
Δύναμη ➠ Ύπαρξη "φορτίου" το οποίο θα πρέπει να διατηρείται
Διατήρηση "φορτίου" ➠ Ύπαρξη Συμμετρίας
Το Καθιερωμένο Πρότυπο είναι μια κβαντική θεωρία πεδίου που έχει την "εσωτερική συμμετρία": SU(3)xSU(2)xU(1)

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

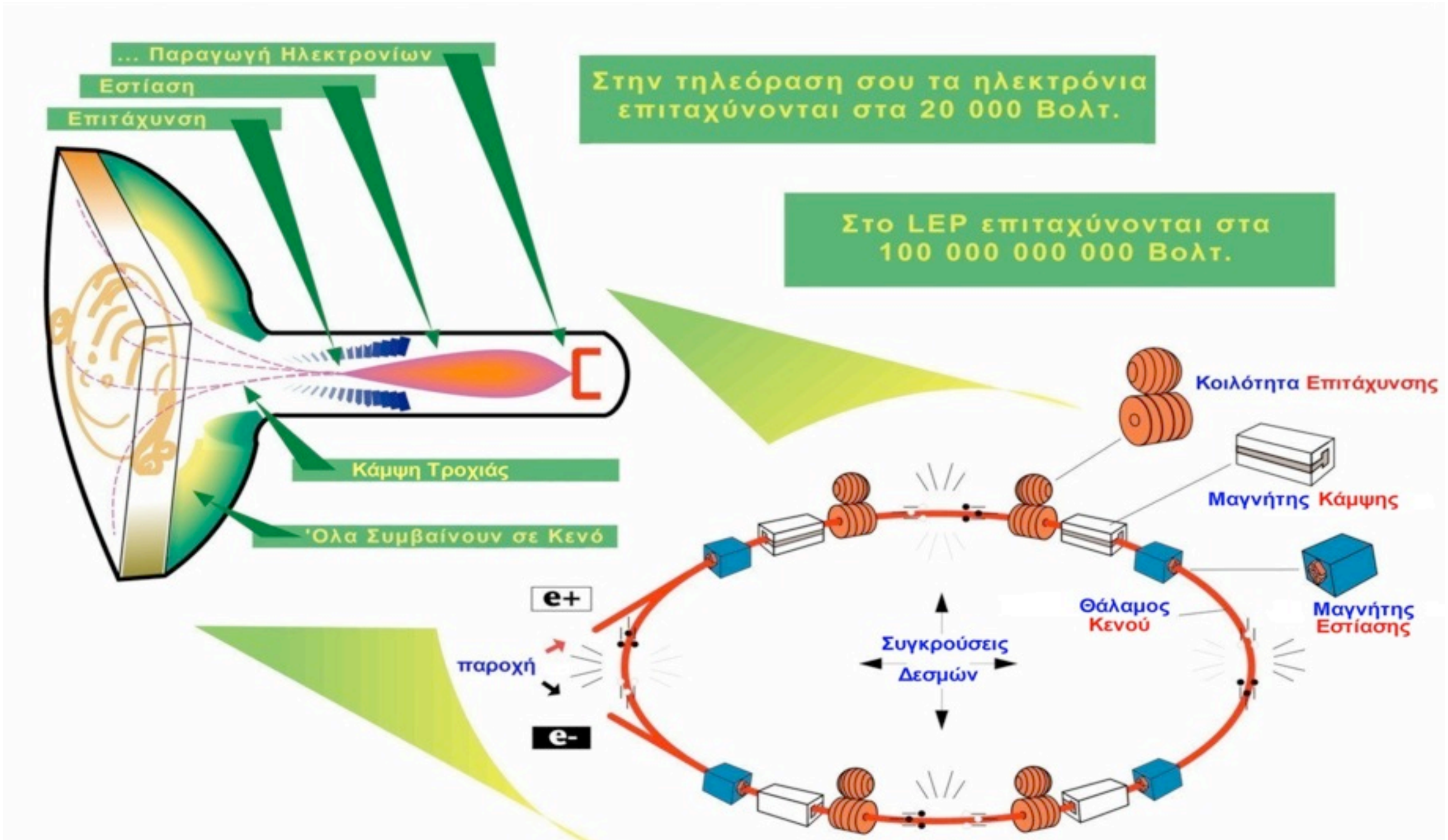


Στοιχειώδη σωματίδια φτάνουν στη γή μας από το ...διάστημα !

Κοσμική Ακτινοβολία

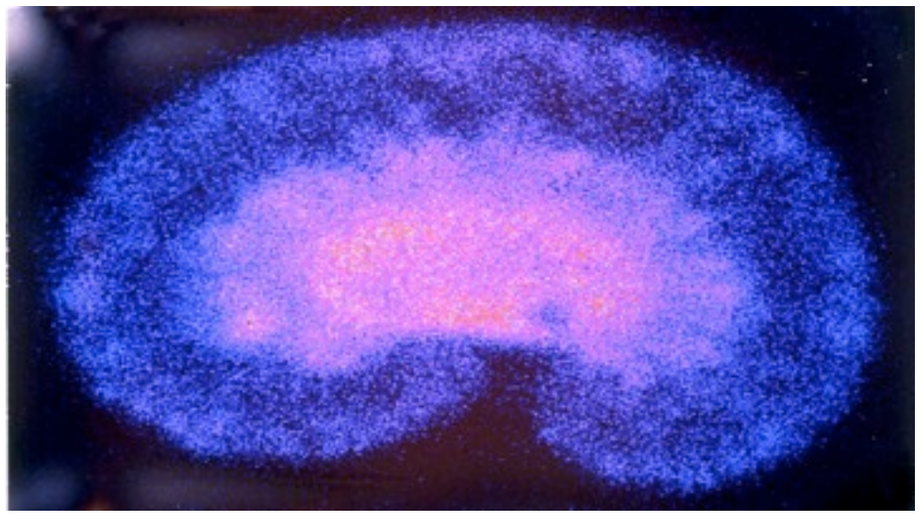
- Αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα της Γης
- Δευτερογενής παραγωγή σωματιδίων
- Ηλεκτρόνια, Μιόνια, Νετρίνα βομβαρδίζουν συνεχώς την Γη

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

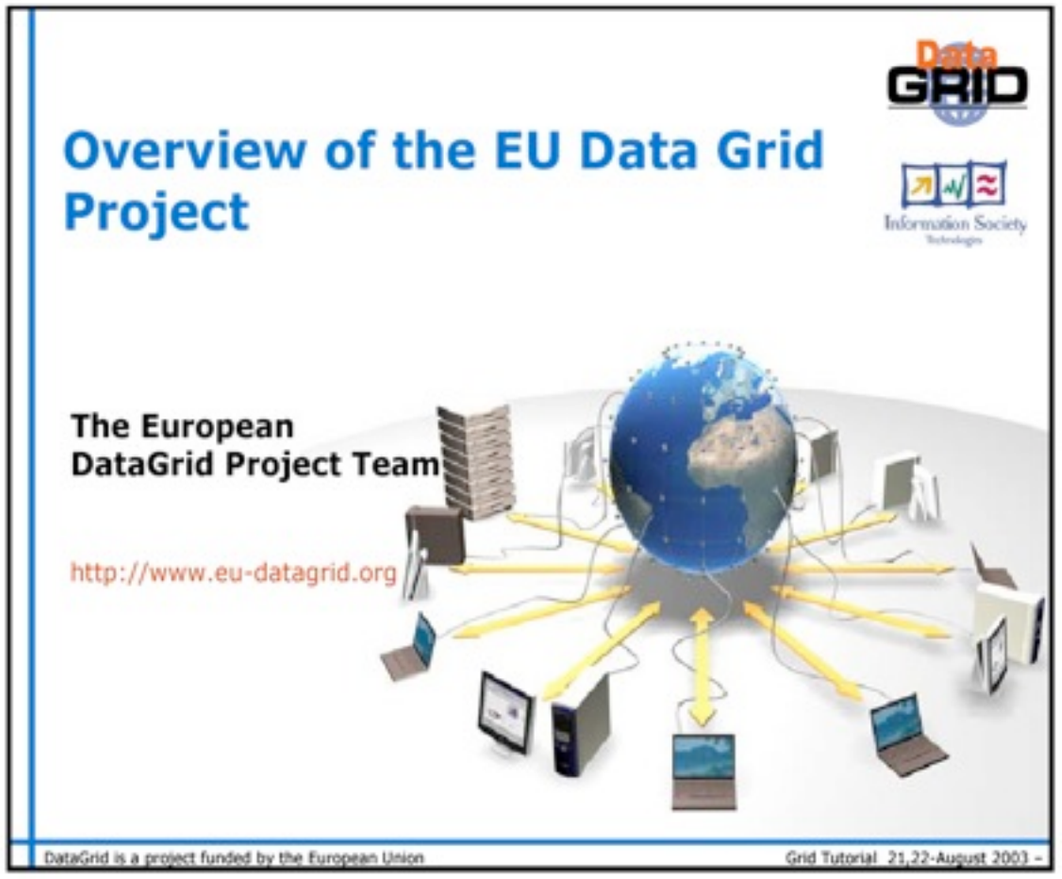
Where the Web is born

Σύλληψη & Ανάπτυξη της επικοινωνίας στο διαδίκτυο

Πετρίδου Χαρά Θεσσαλονίκη 20-21 Δεκ. 2010

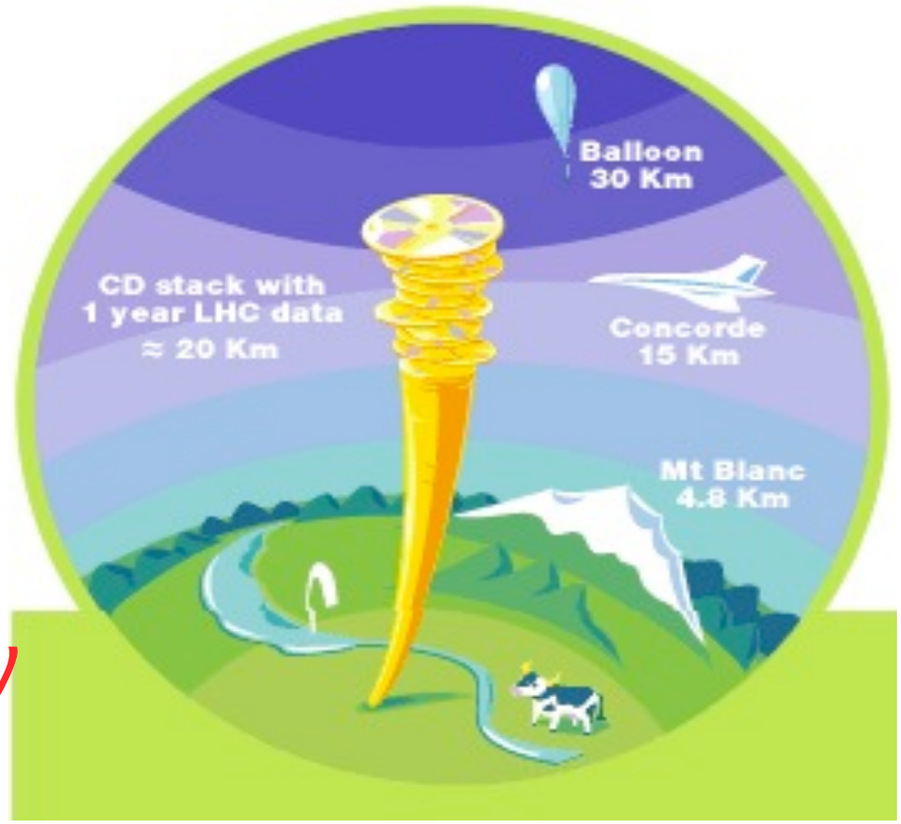
Έχει εφαρμογές στη καθημερινή μας ζωή η έρευνα για τα στοιχειώδη σωματίδια?

Τεχνοβλαστοί-Εφαρμογές της έρευνας για τα στοιχειώδη σωματίδια



Πληροφορική:

Ανάπτυξη της ΠλεγματικήςΤεχνολογίας:
GRID
Ο Παγκόσμιος Ιστός Υπολογιστικής Ισχύος
και
Αποθηγευτικού χώρου

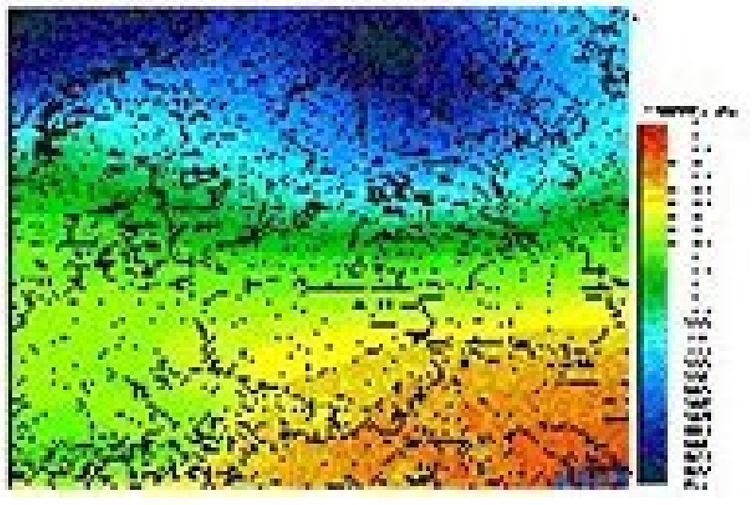


Εκμετάλλευση των παγκόσμια διαθέσιμων Υπολογιστικών Πόρων

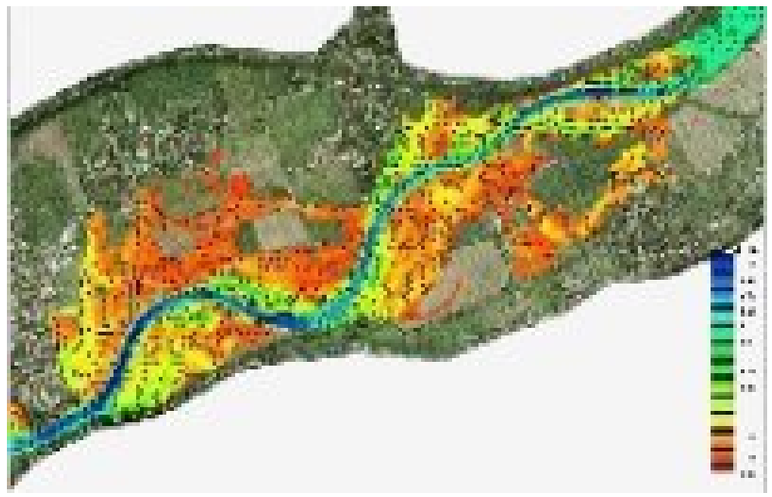
Πετρίδου Χαρά Θεσσαλονίκη 20-21 Δεκ. 2010

Εφαρμογές της Τεχνολογίας Grid

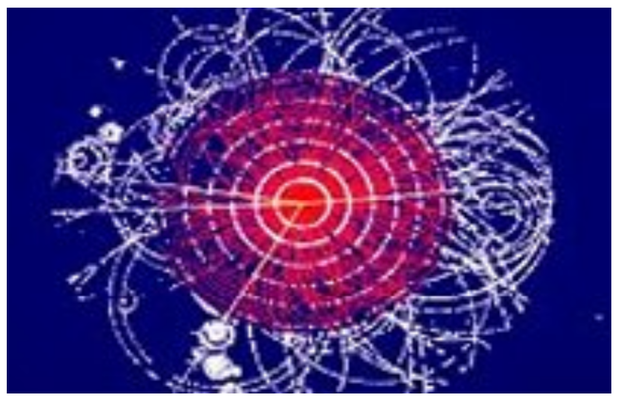
Meteo



Floods



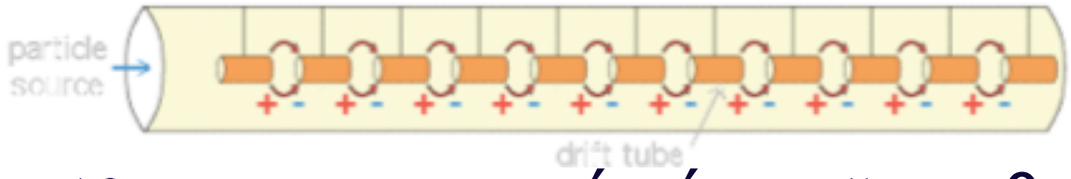
Particle Physics



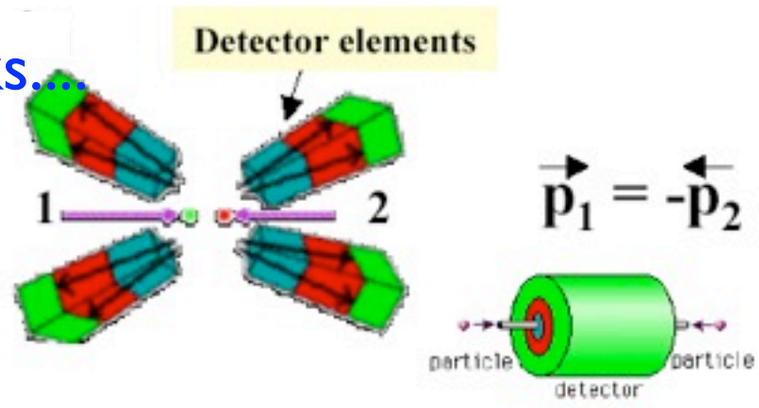
Medical

Οι Επιταχυντές Σωματιδίων σήμερα

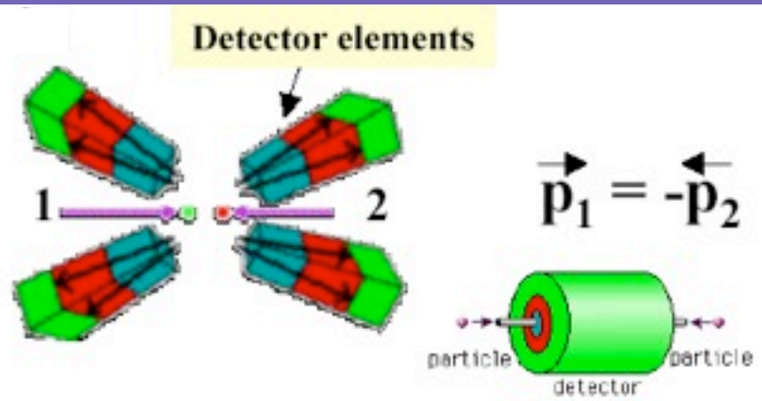
- Επιταχύνουν σωμάτια σε πολύ μεγάλες ενέργειες➠ μικρό μήκος κύματος (Θυμηθείτε: κανουμε Πειράματα σκέδασης **λ=h/p)**
  - Επιταχύνουμε φορτισμένα σωμάτια:
    - Έχουμε επιταχυντές ηλεκτρονίων και/ή πρωτονίων

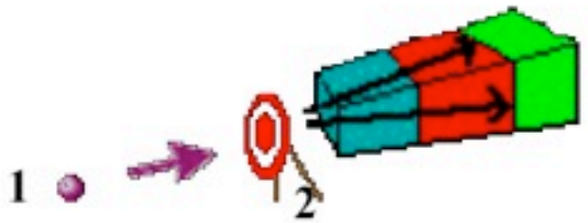


- Στη δεκαετία του 60 οι επιταχυντές ήταν "σταθερού στόχου": τα ηλεκτρόνια προσέπιπταν σε ένα στόχο (πρωτόνια) και έχαμε παραγωγή νέων σωματίων
  - Έτσι ανακαλύφθηκαν τα quarks....



Οι Επιταχυντές Σωματιδίων σήμερα





- Ο μεγαλύτερος επιταχυντής μέχρι το 2009 στο Fermilab:

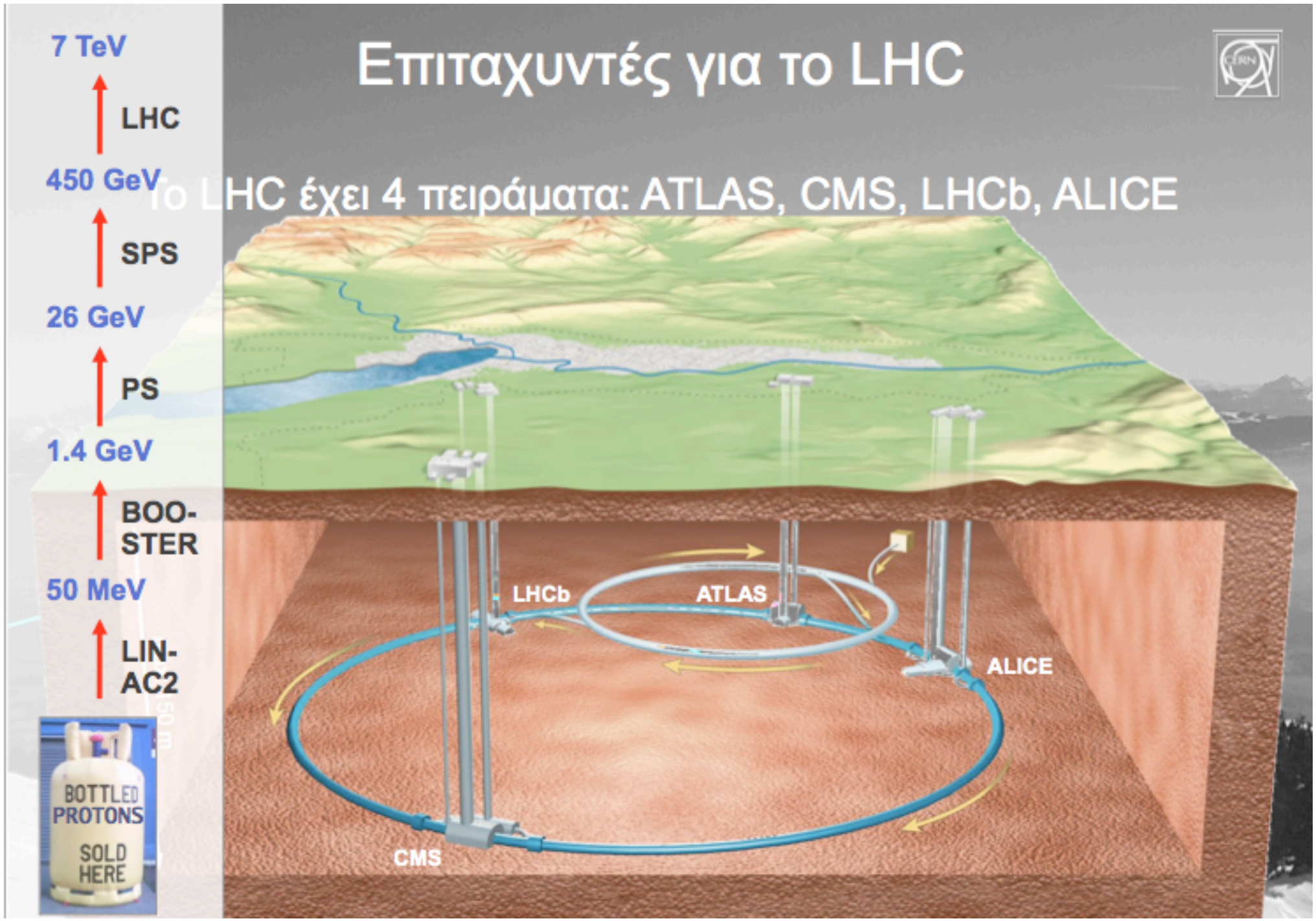
7km proton-antiproton

Σήμερα....

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

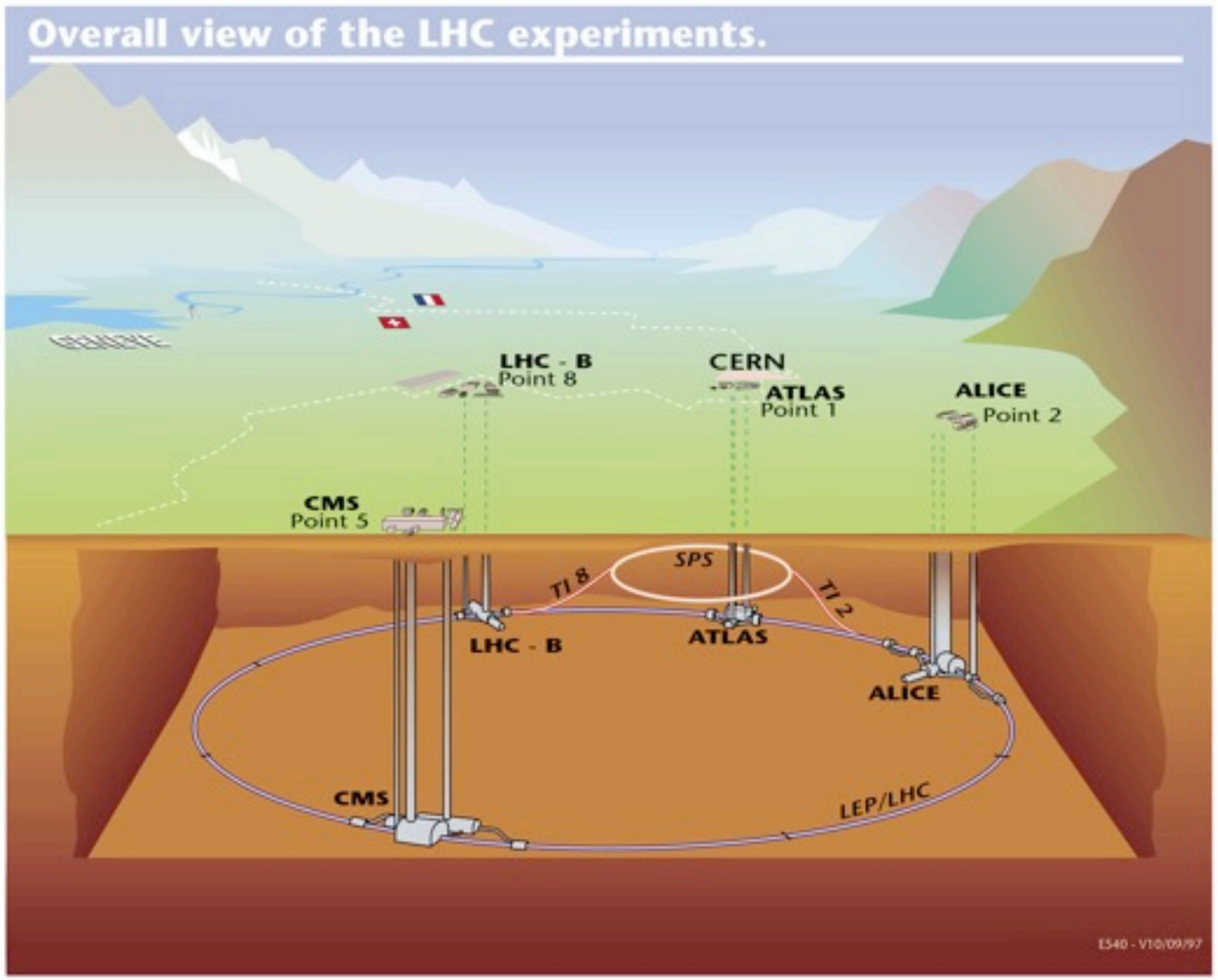
Το LHC στο CERN

Το LHC στο CERN

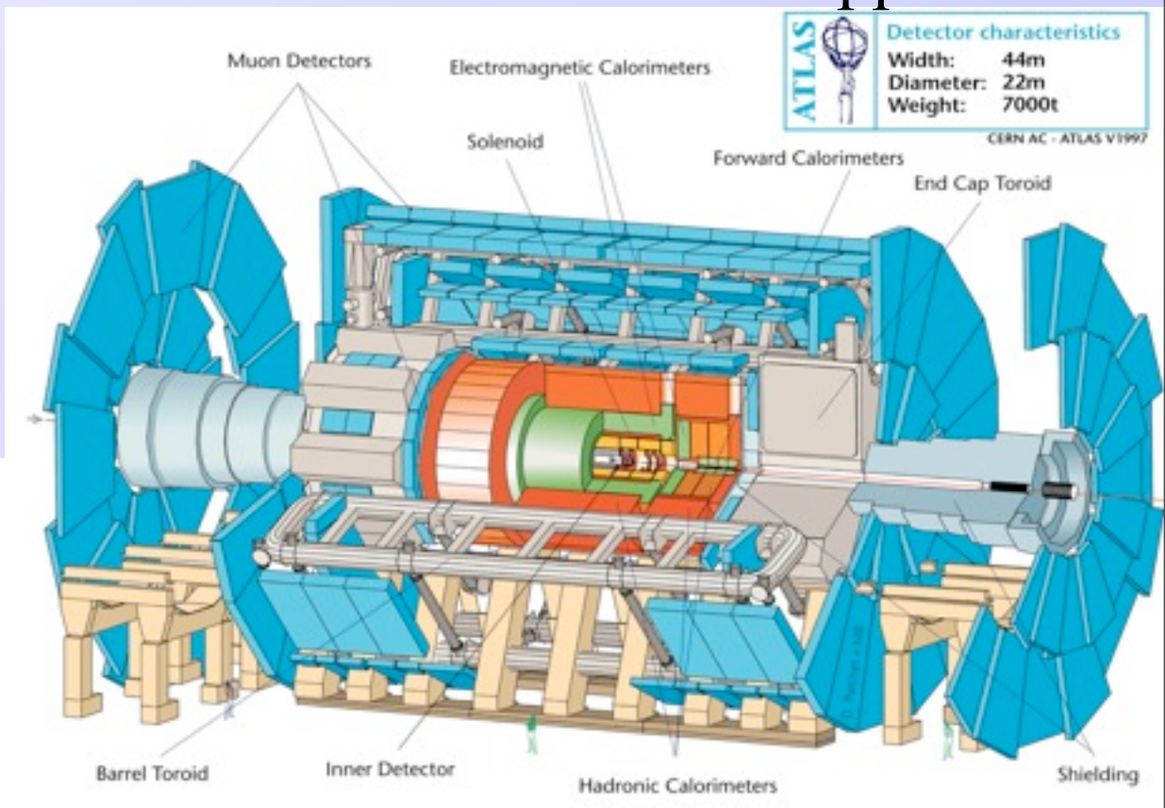


Το LHC στο CERN

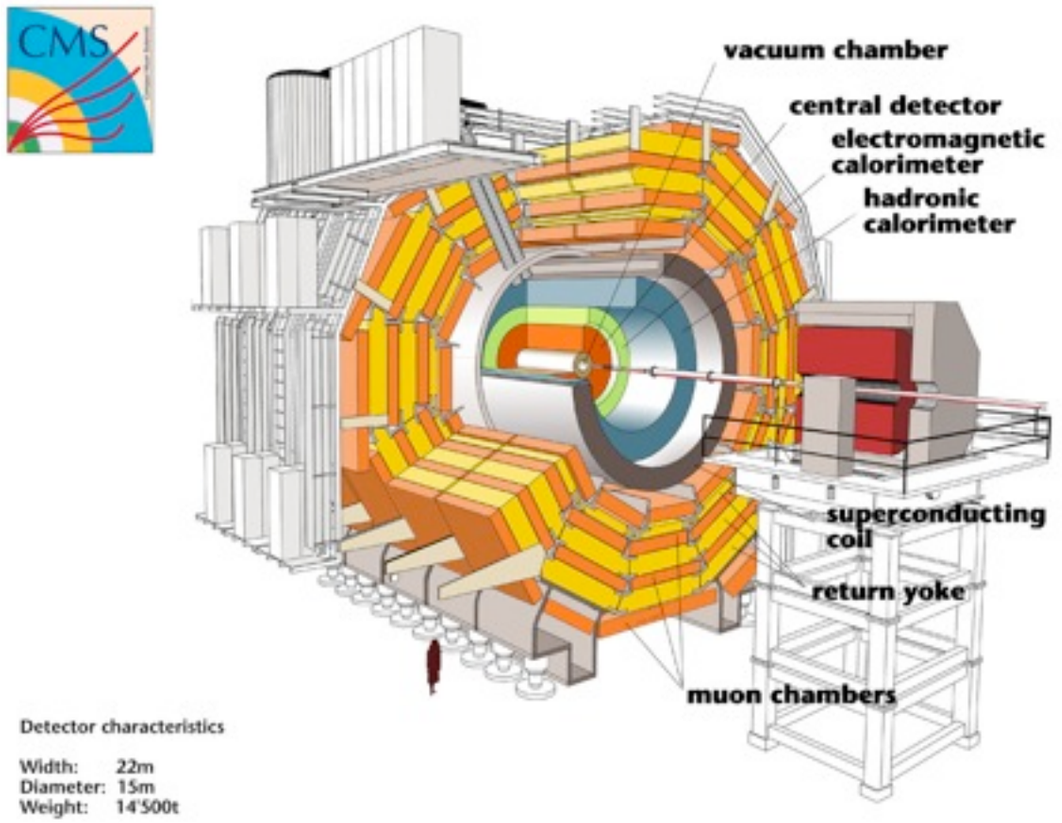
Η Υπόγεια Σήραγγα του LHC και οι πειραματικές διατάξεις γενικής σκοπιμότητας ATLAS και CMS



ATLAS A Toroidal LHC ApparatuS



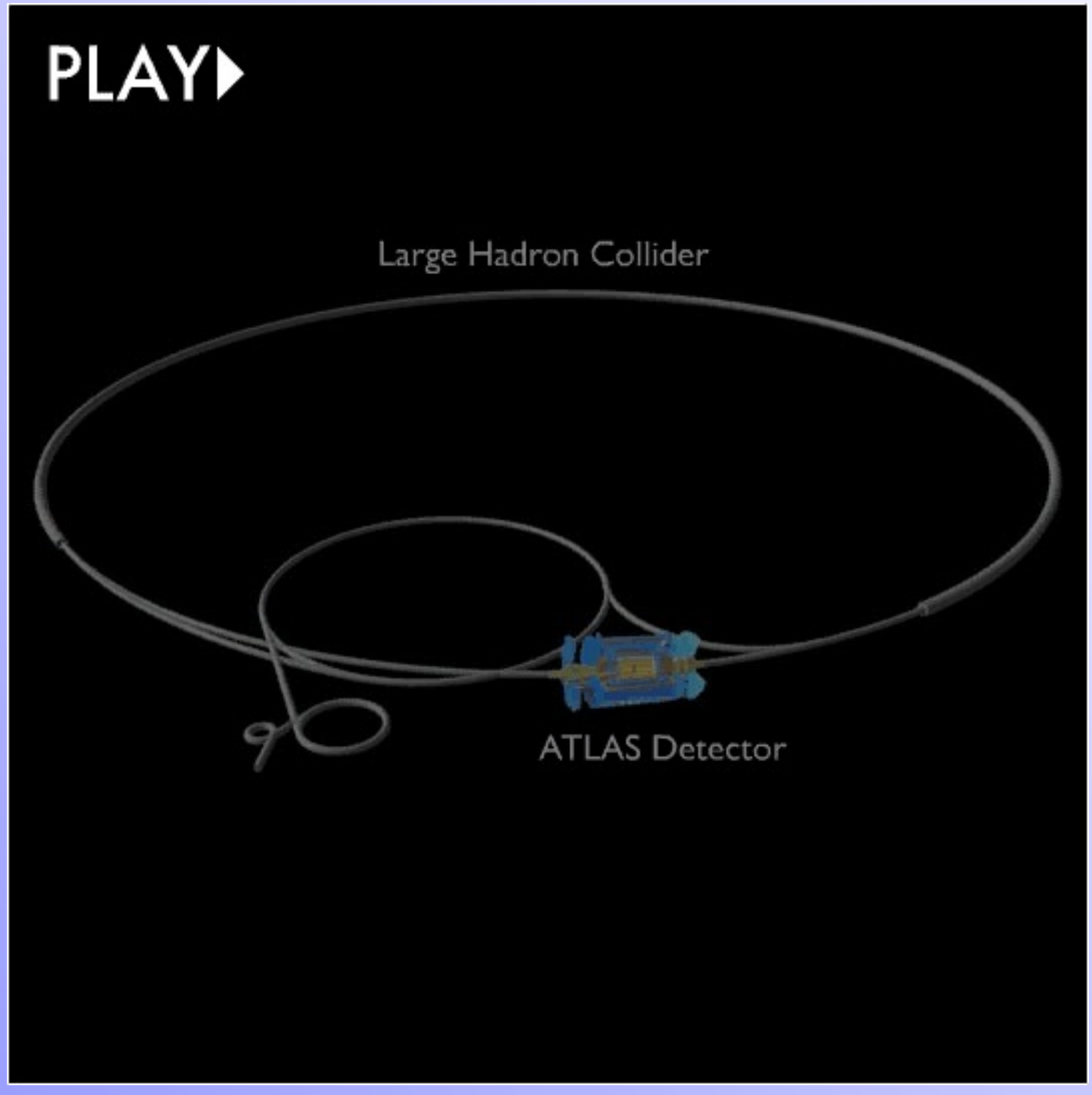
CMS Compact Muon Solenoid



05-Dec-10

Οι ανιχνευτές στο LHC
Γιατί είναι τόσο μεγάλοι???

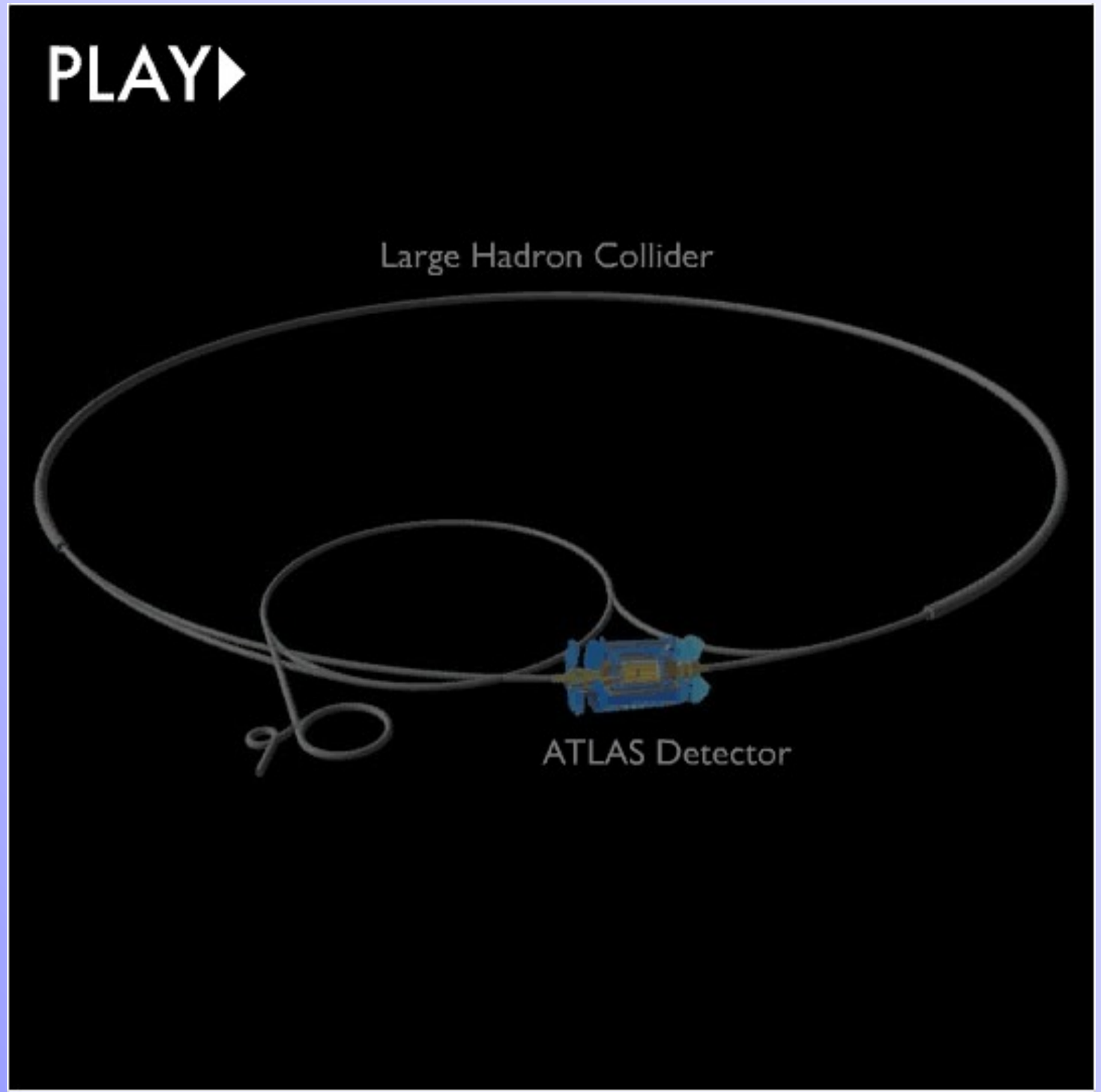
Πρέπει να ανιχνεύσουν όλα τα σωματίσια που παράγονται στην σύγκρουση



Οι ανιχνευτές στο LHC
Γιατί είναι τόσο μεγάλοι???

Πρέπει να ανιχνεύσουν όλα τα σωματίσια που παράγονται στην σύγκρουση

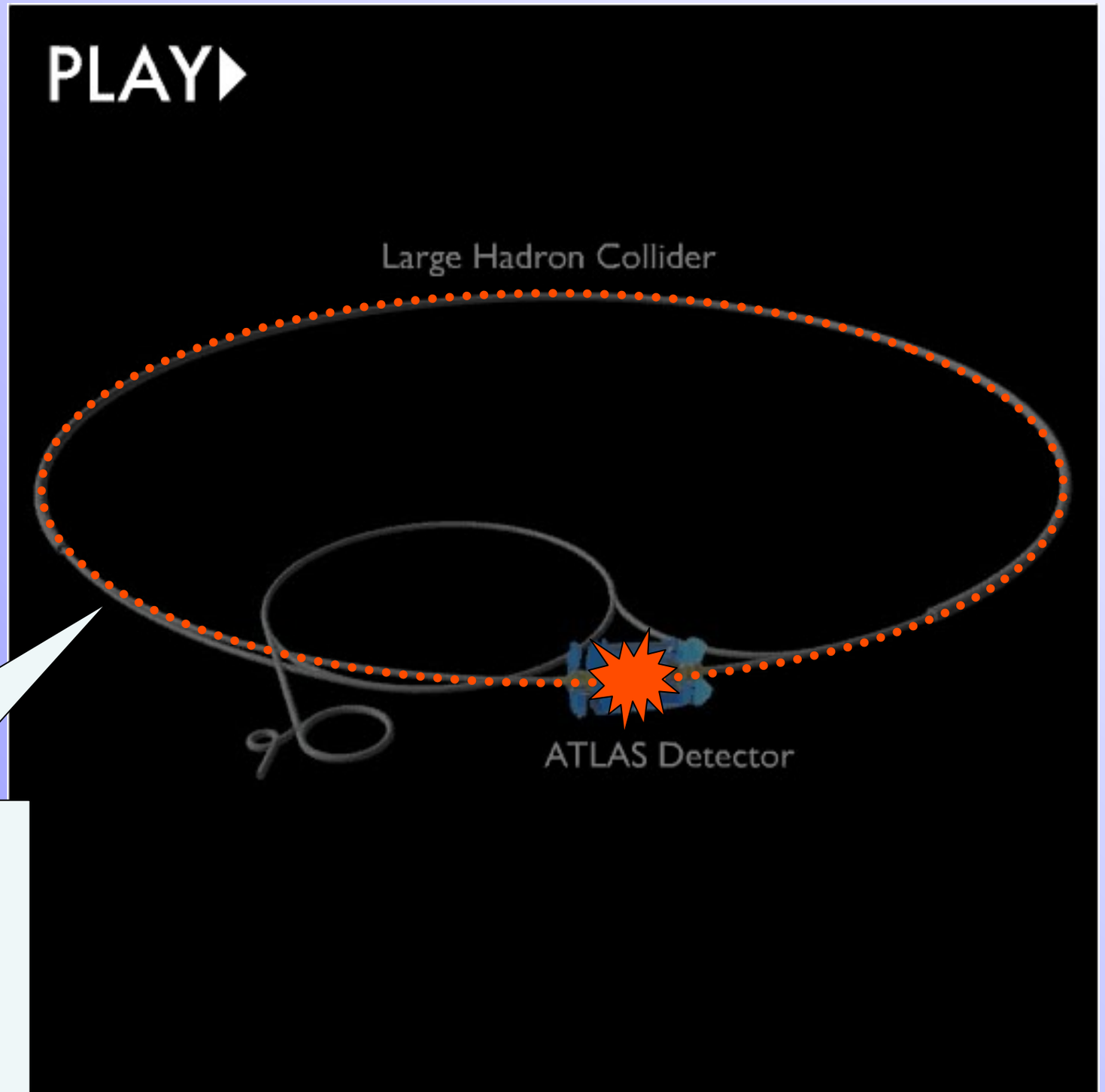
ΔΕΝ ειναι μονο δύο τα πρωτόνια που συγκρούονται αλλά πολλά συγκεντρωμένα σε δεσμίδες (bunches)



Οι ανιχνευτές στο LHC
Γιατί είναι τόσο μεγάλοι???

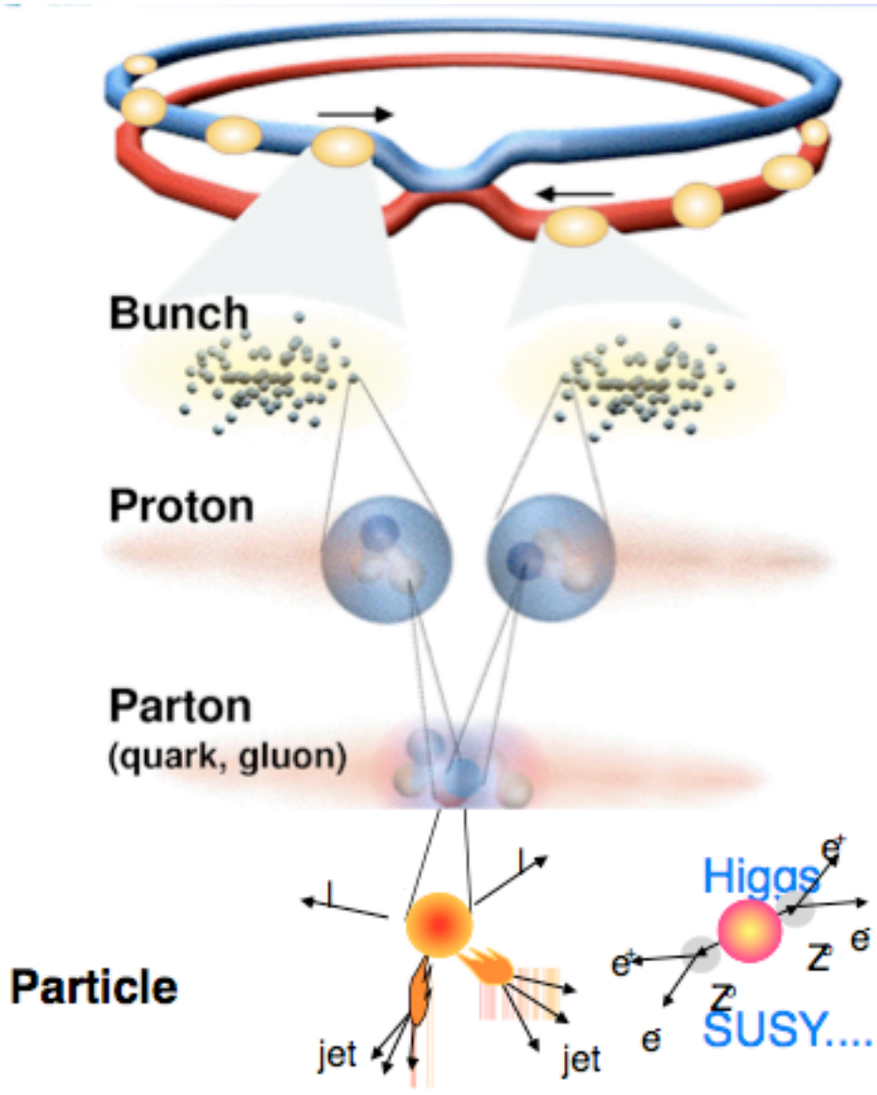
Πρέπει να ανιχνεύσουν όλα τα σωματίσια που παράγονται στην σύγκρουση

ΔΕΝ 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 ($7x10^{12}$ 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

Οι Συγκρούσεις στο LHC (προσομοίωση)

Αλλη/πιδράσεις ανά διασταύρωση:

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

$\sigma(pp) = 70$ mb

→ $R_{interactions} = 7x10^8$ Hz

Time/BC, $\Delta t = 25$ ns

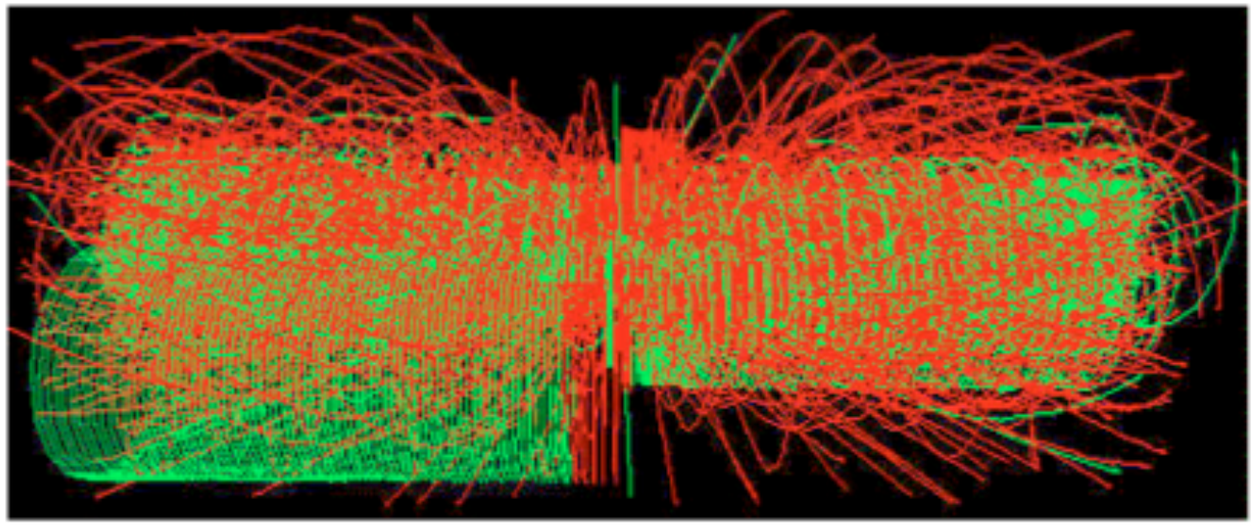
Interactions/BC=17.5

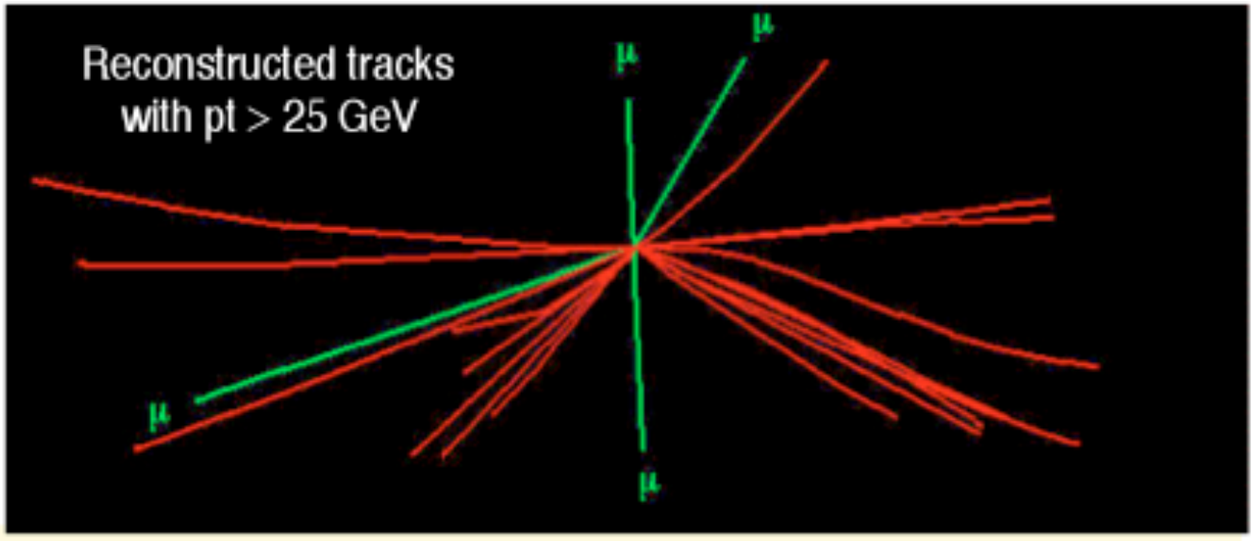
80% bunches full:
17.5x5/4 = 23

~ υπέρθεση 20 γεγονότων!

Παράδειγμα: η «χρυσή» υπογραφή του Higgs:

H→ZZ, Z→μμ, H→ 4μ:





Και αυτό επαναλαμβάνεται κάθε 25 ns (!)

Απο την συναρμολόγηση του CMS 2006
Journey 100 metres towards the

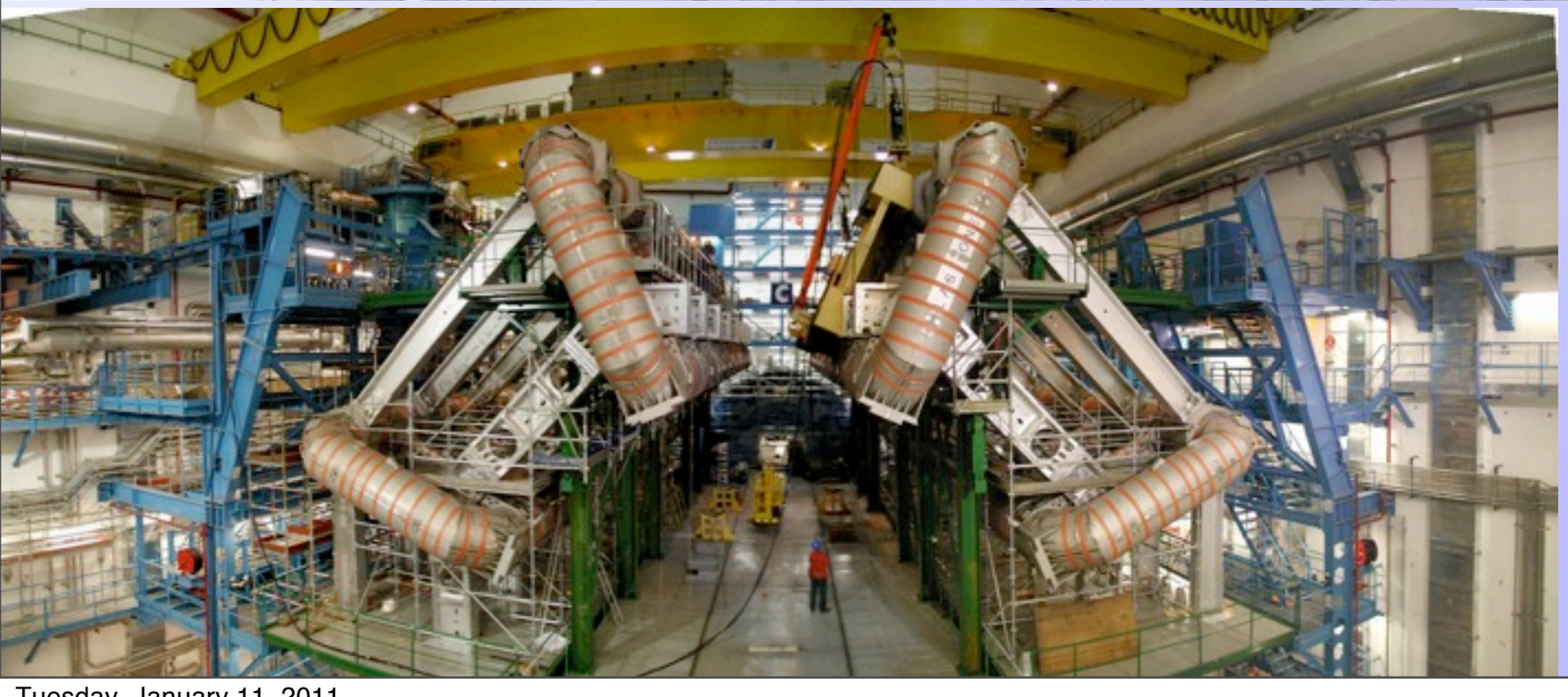
05-Dec-10

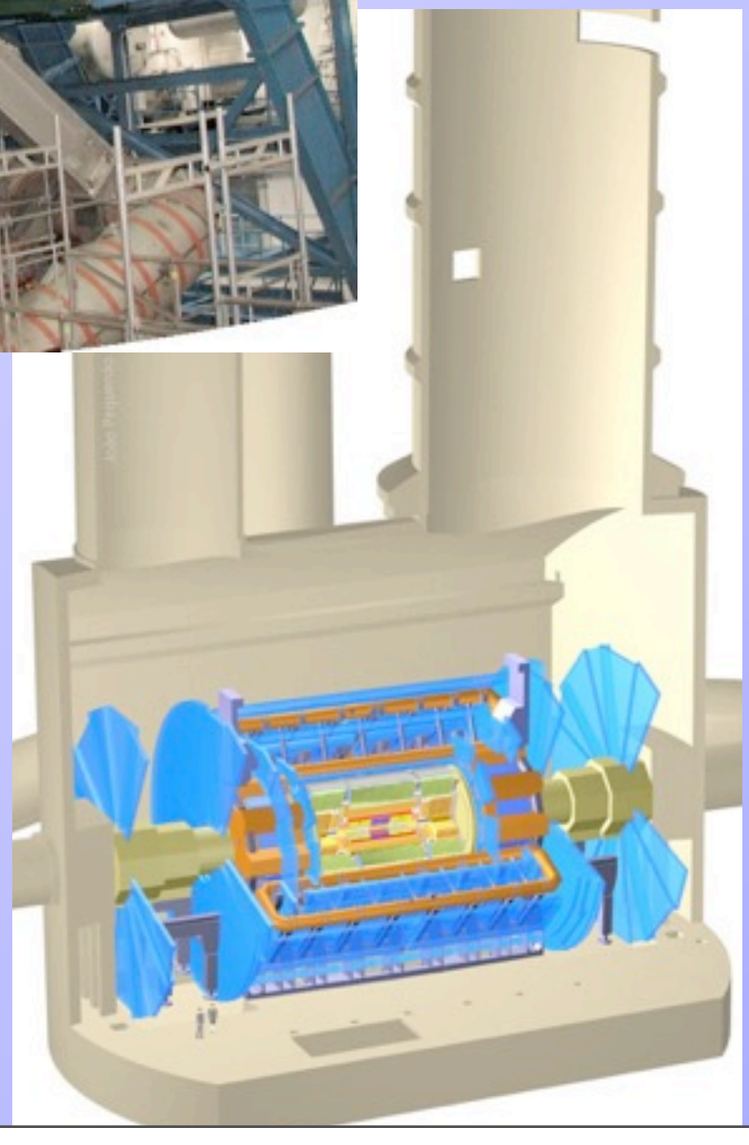
The CMS … Underground

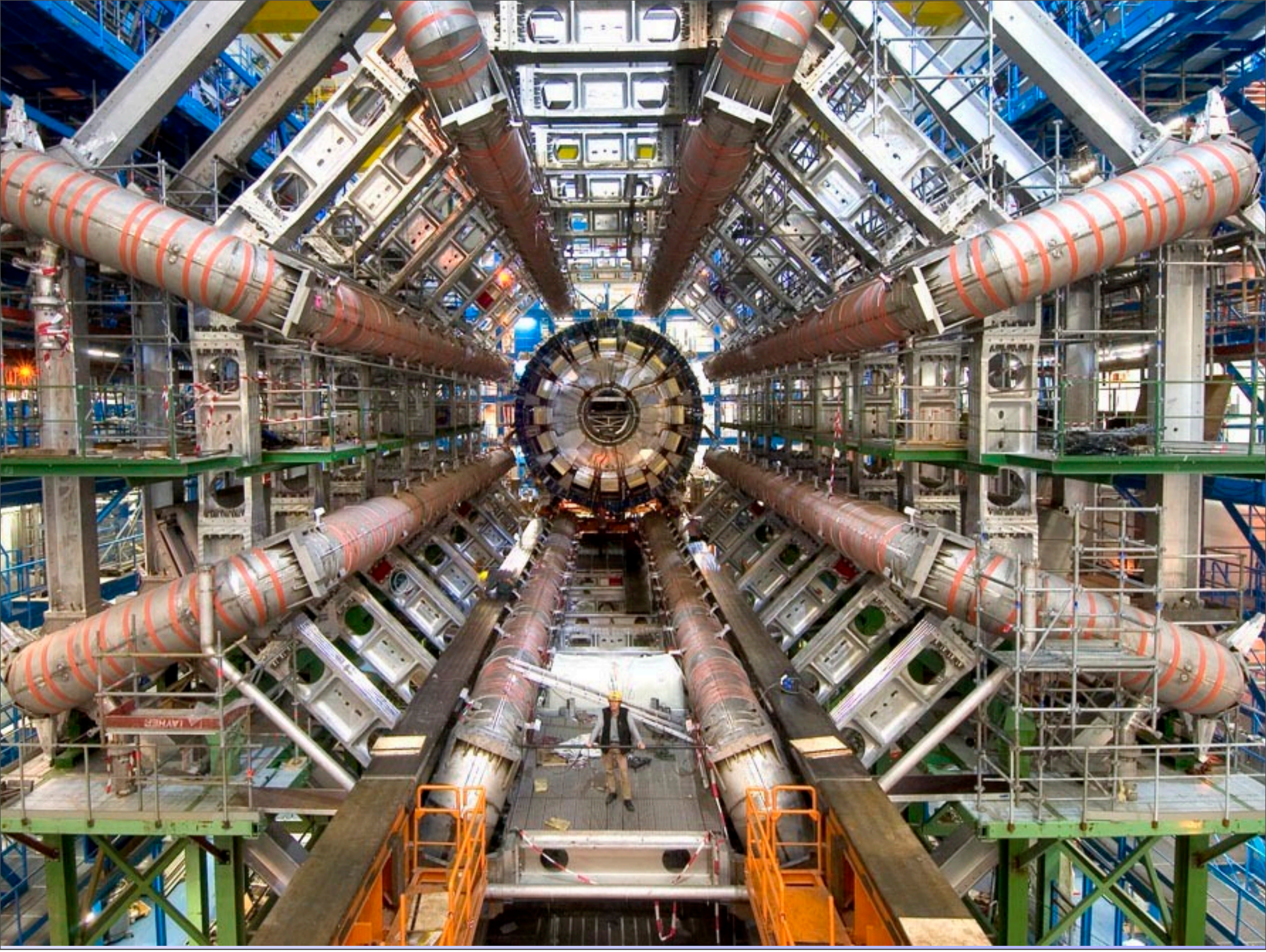
Στιγμιότυπα-2006

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...

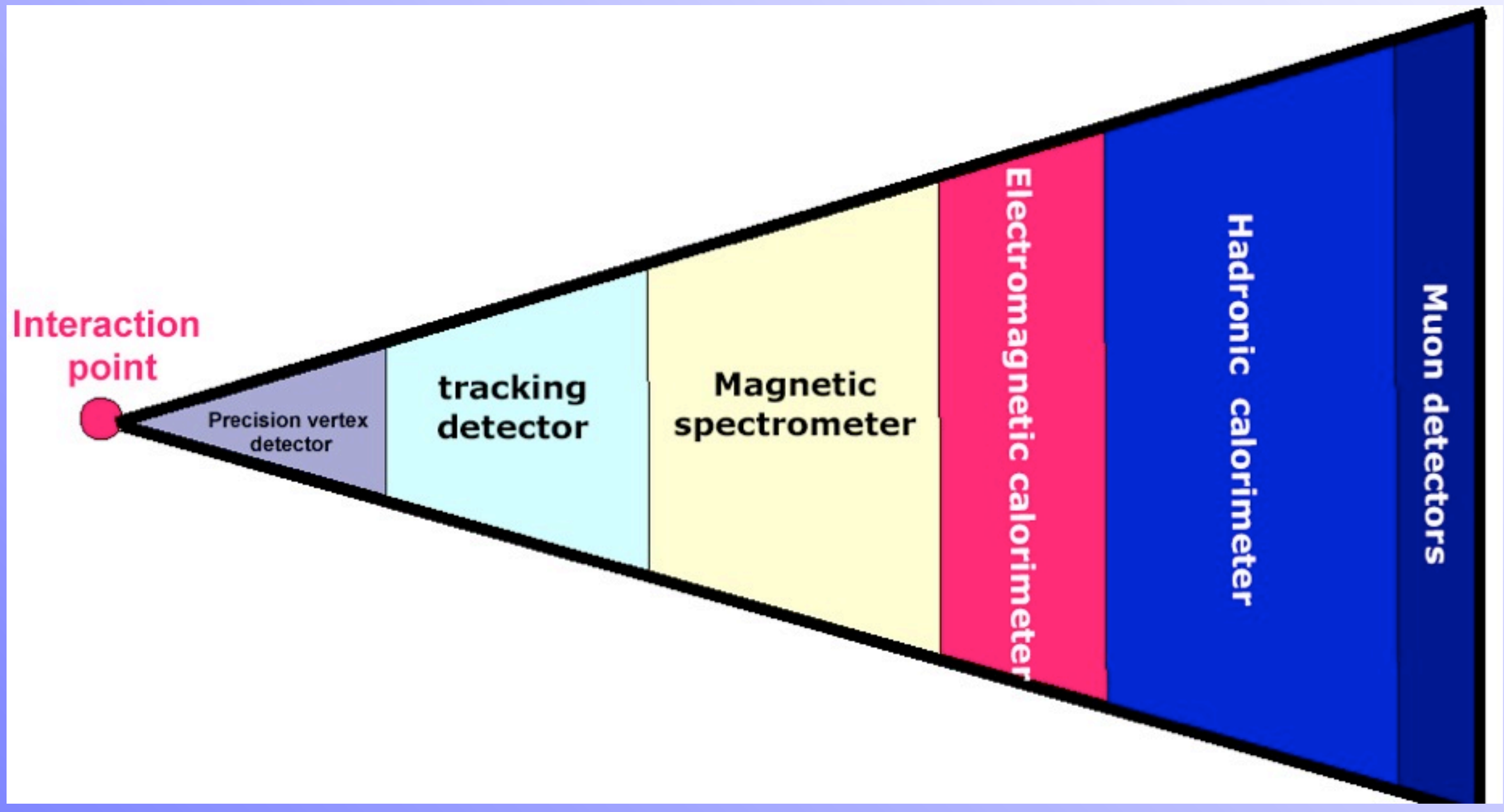






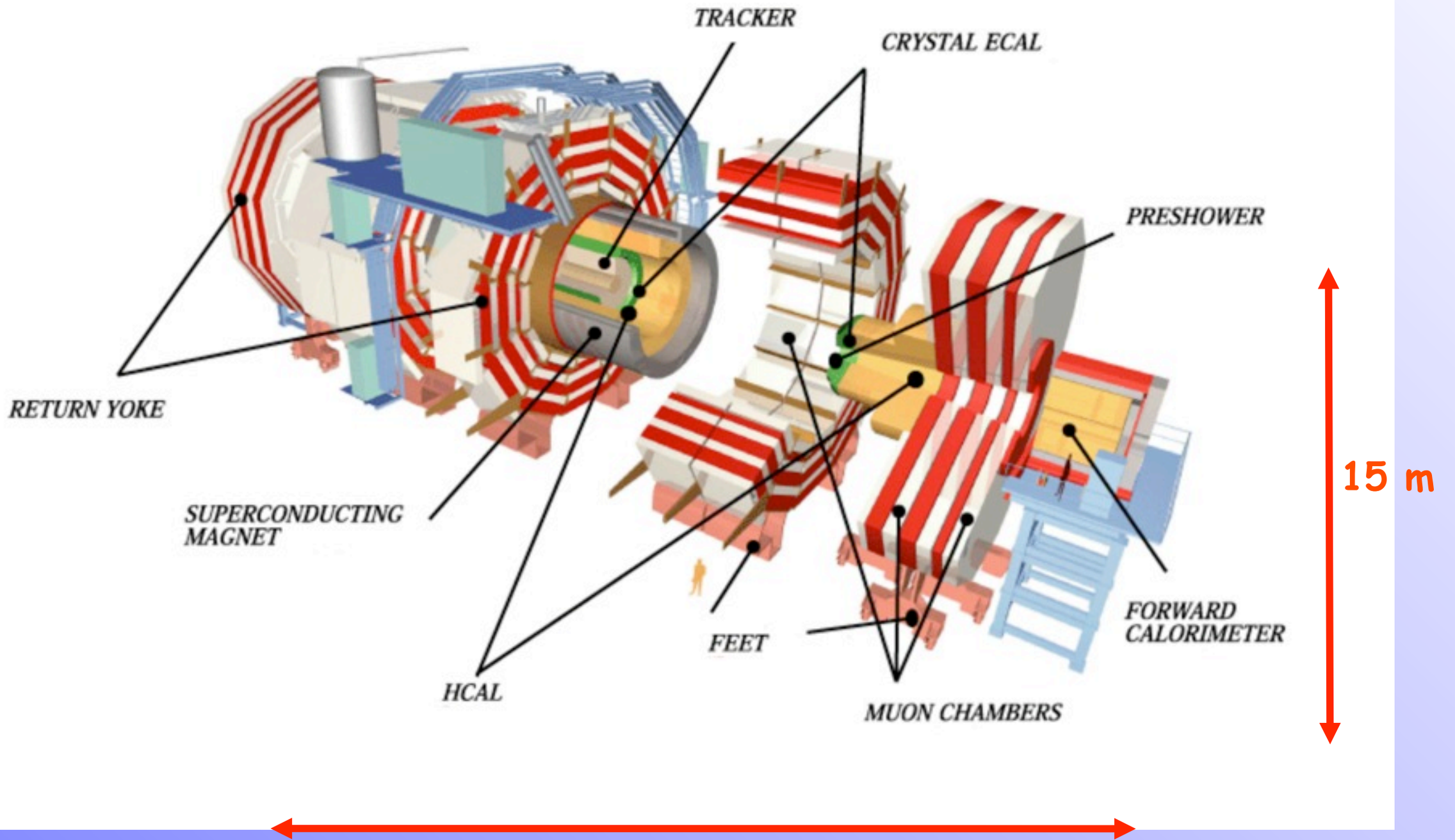
Tuesday, January 11, 2011

Τυπική σειρά ανιχνευτών σε πειραματική διάταξη

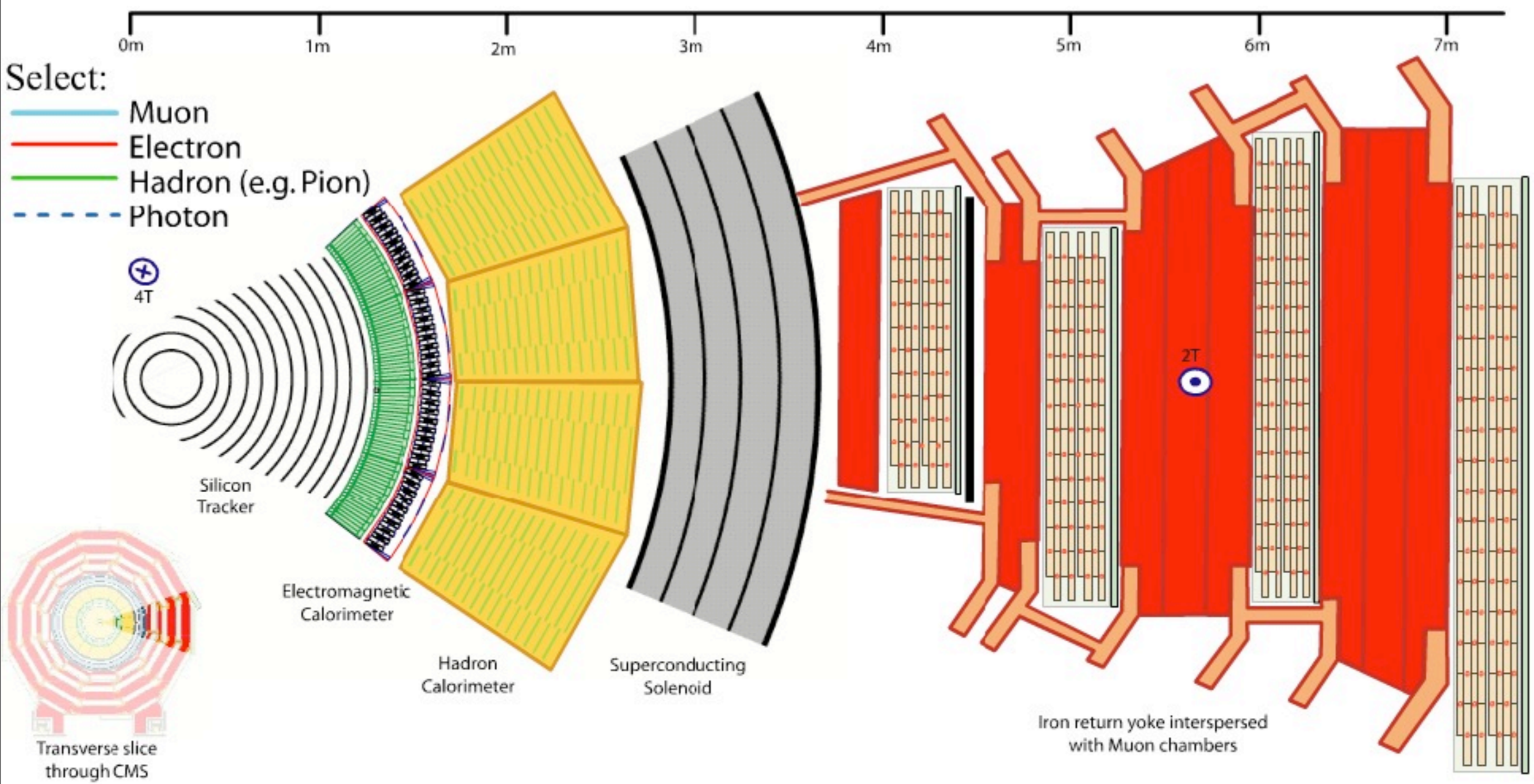


CMS

Compact **M**uon **S**pectrometer

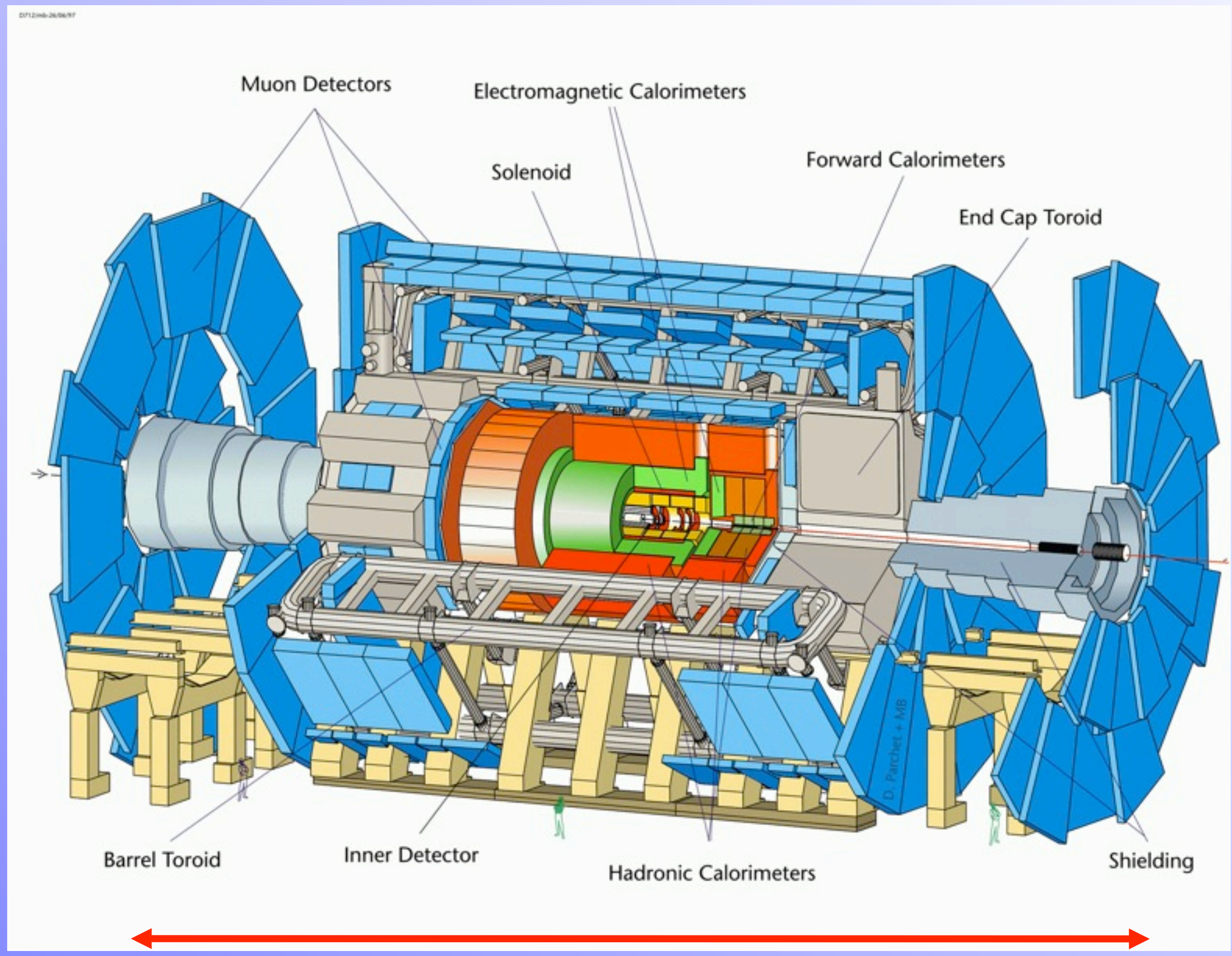


Transverse slice through CMS detector



ATLAS

A Toroidal LHC ApparatuS



Το Πείραμα ATLAS στην Ελλάδα

Μιόνια : Η ανιχνευση των μιονίων που προκύπτουν από τις συγκρούσεις pp θα παίξει 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 5600m^2

Συνεργασία τριών Πανεπιστημίων

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

05-Dec-10

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

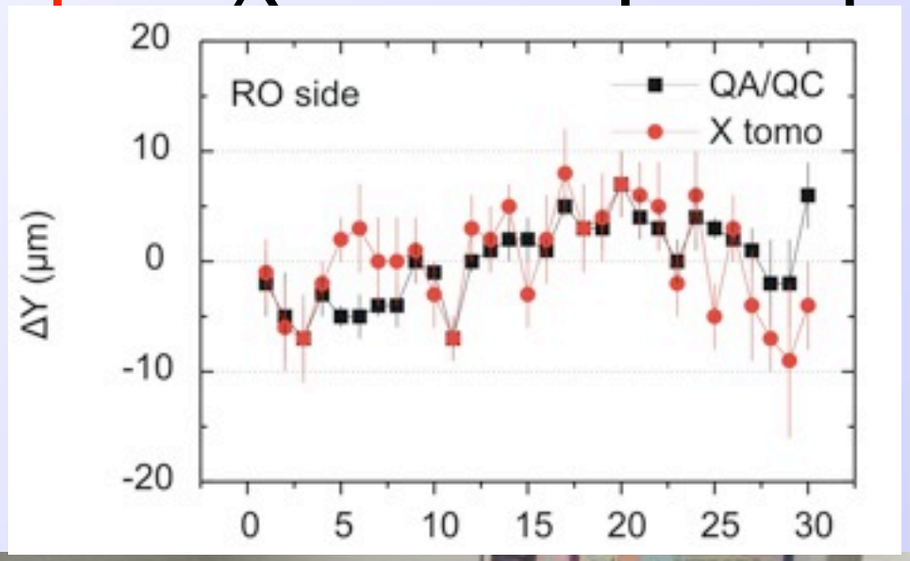
Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών

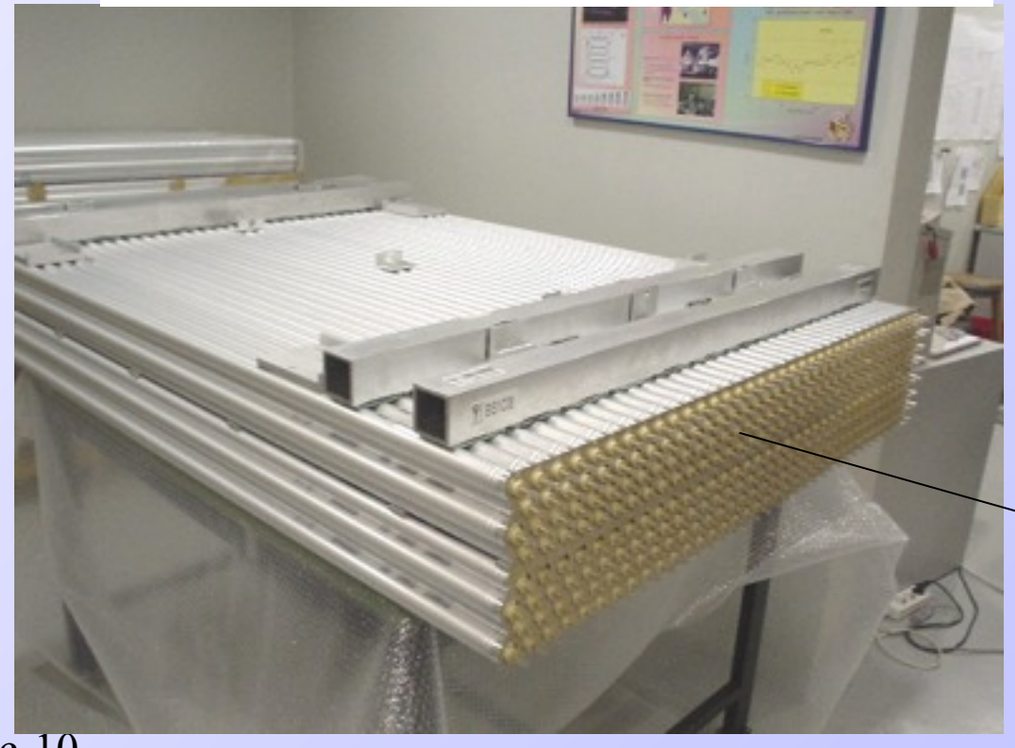
05-Dec-10

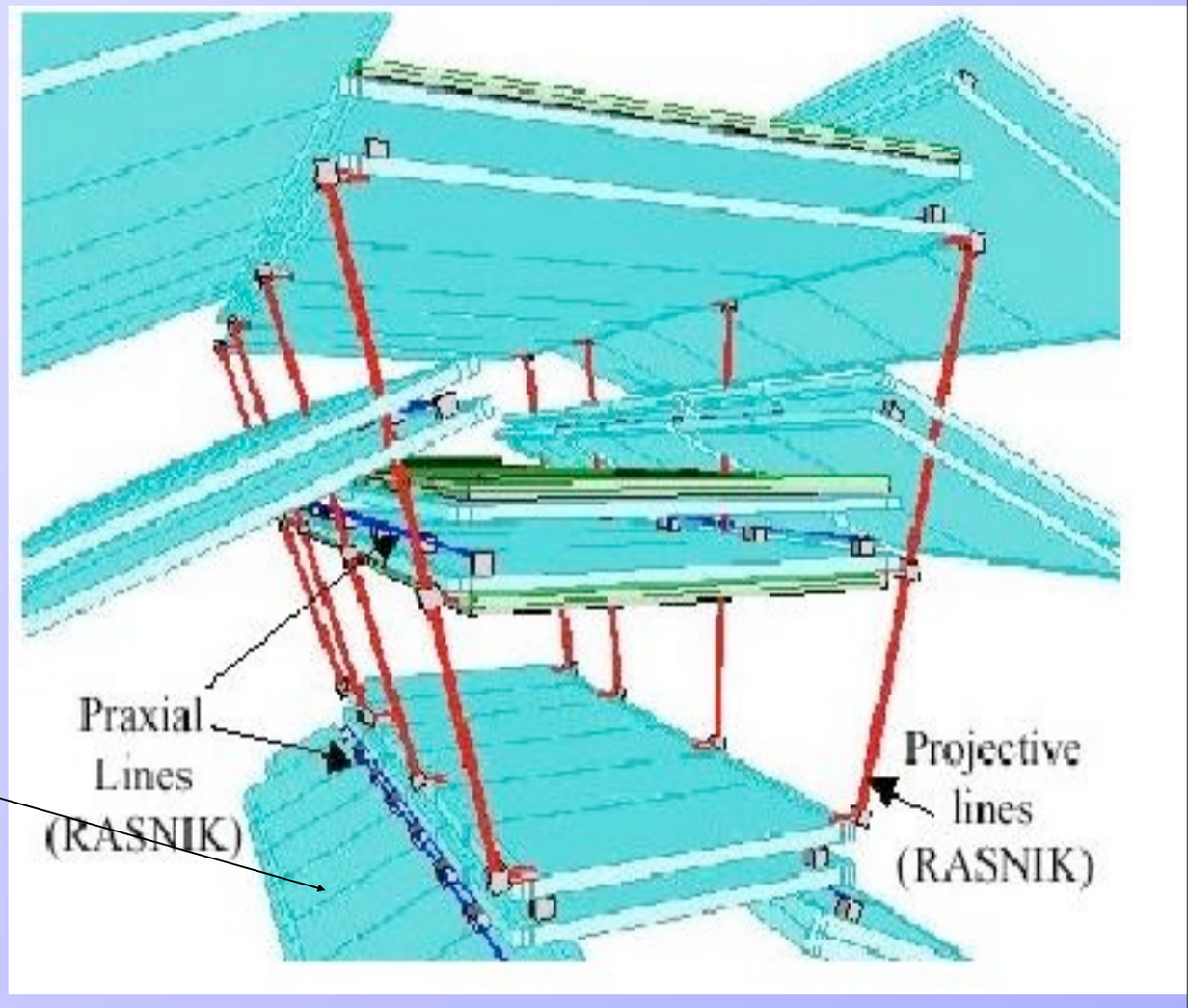
Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

- Η Πρόκληση (1) :

Κατασκευή ανιχνευτών με ακρίβεια μερικών μικρών (μm)







Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

Ο στόχος-πρόκληση (II) :

Να ανακάλυψουμε το σωματίδιο Higgs

ή νέα σωματίδια

Higgs -> 2e+2μ

+ MinBias

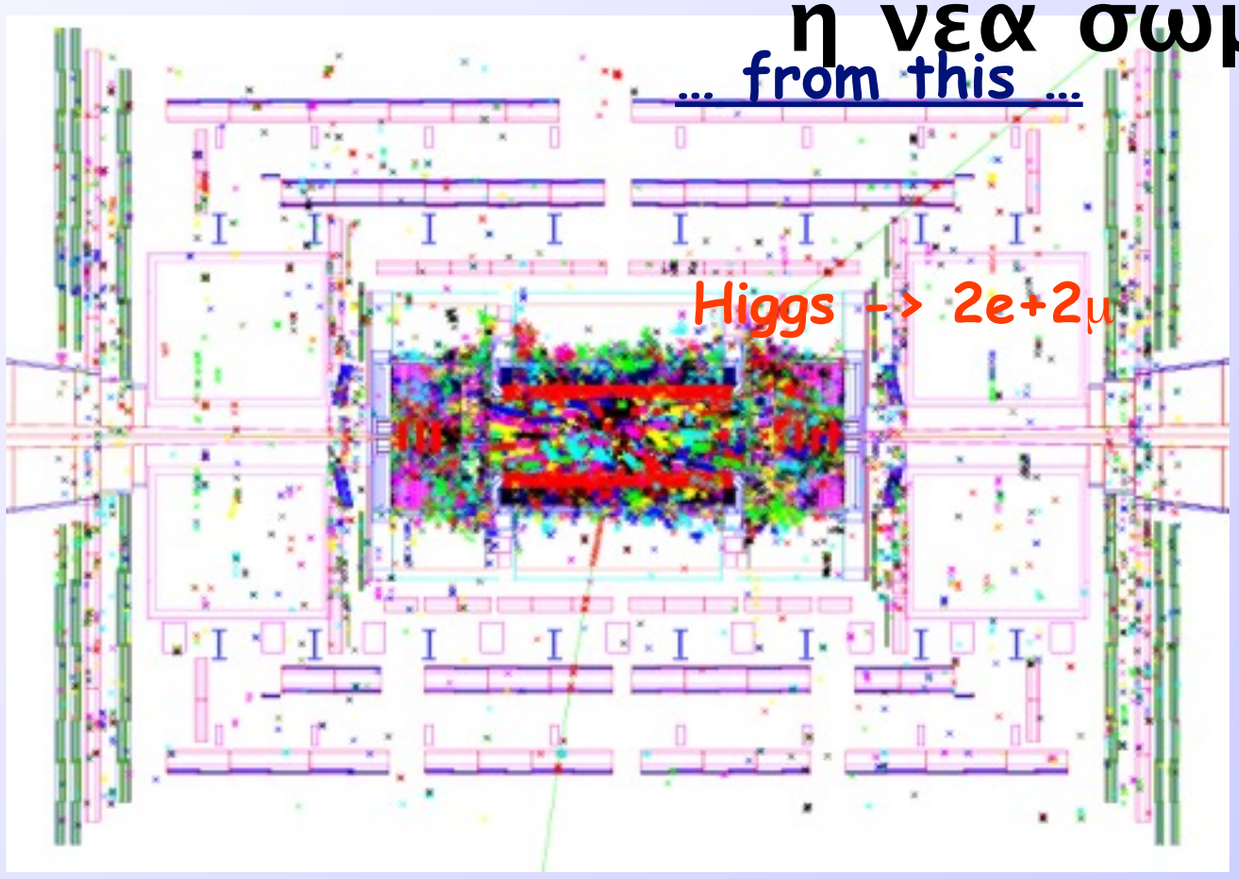
05-Dec-10

Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

Ο στόχος-πρόκληση (II) :

Να ανακάλυψουμε το σωματίδιο Higgs

ή νέα σωματίδια



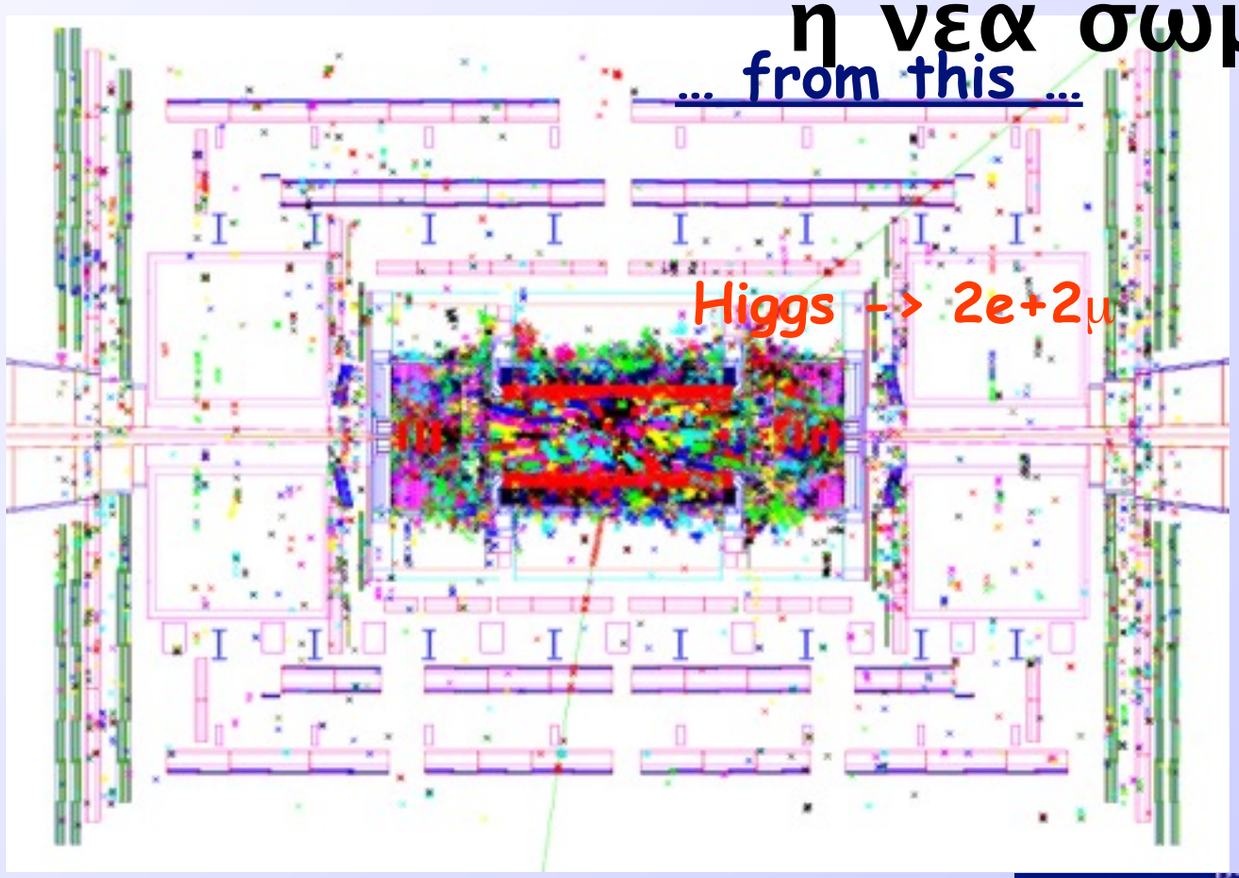
+ MinBias

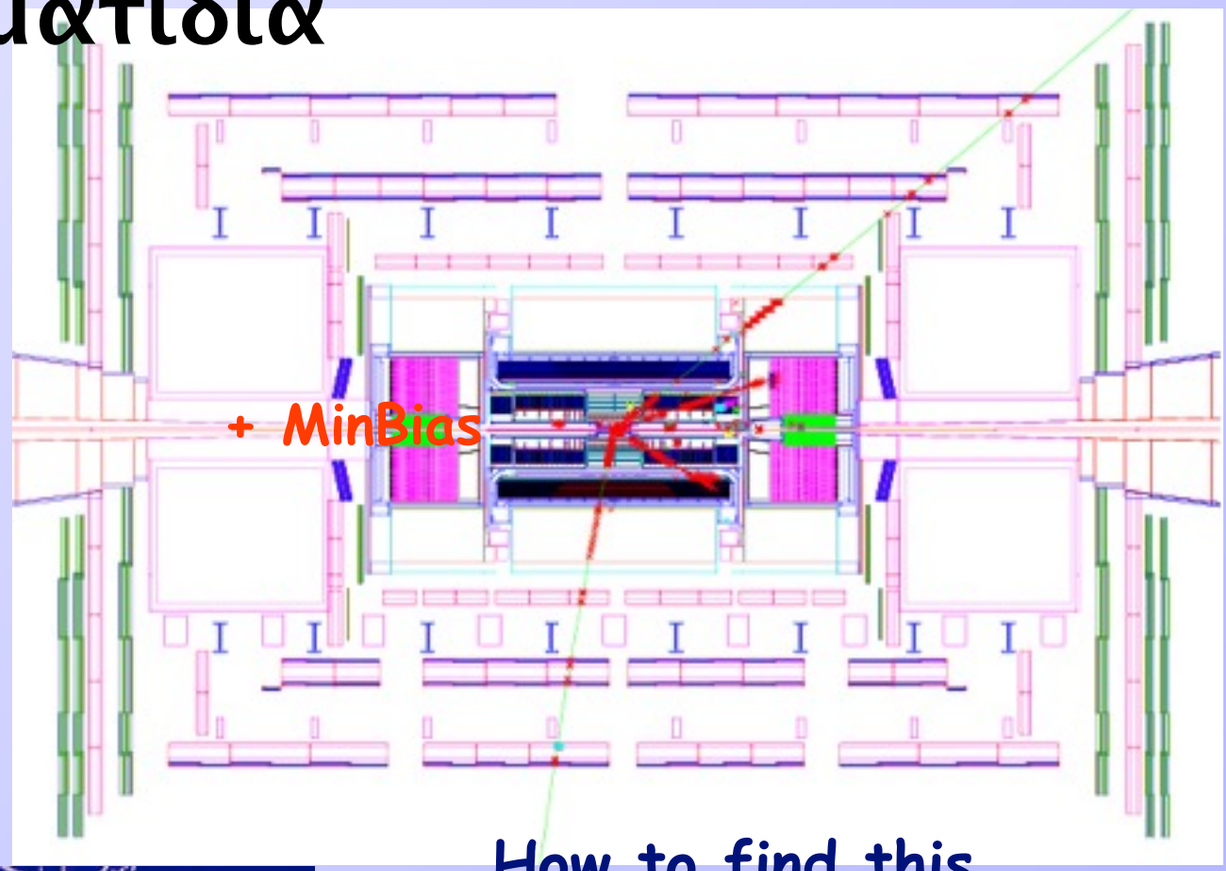
Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

Ο στόχος-πρόκληση (II) :

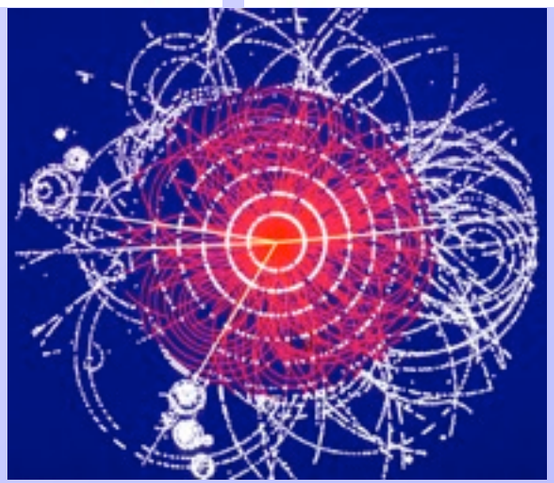
Να ανακάλυψουμε το σωματίδιο Higgs

ή νέα σωματίδια



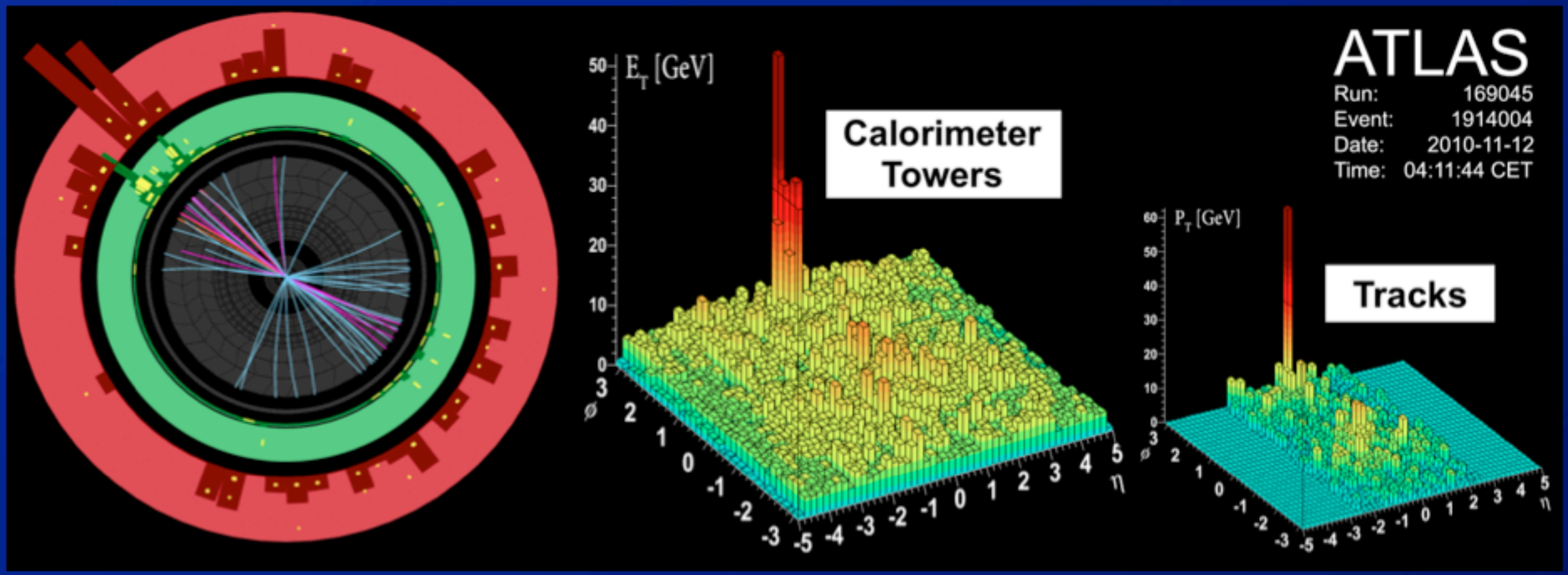


How to find this…



05-Dec-10

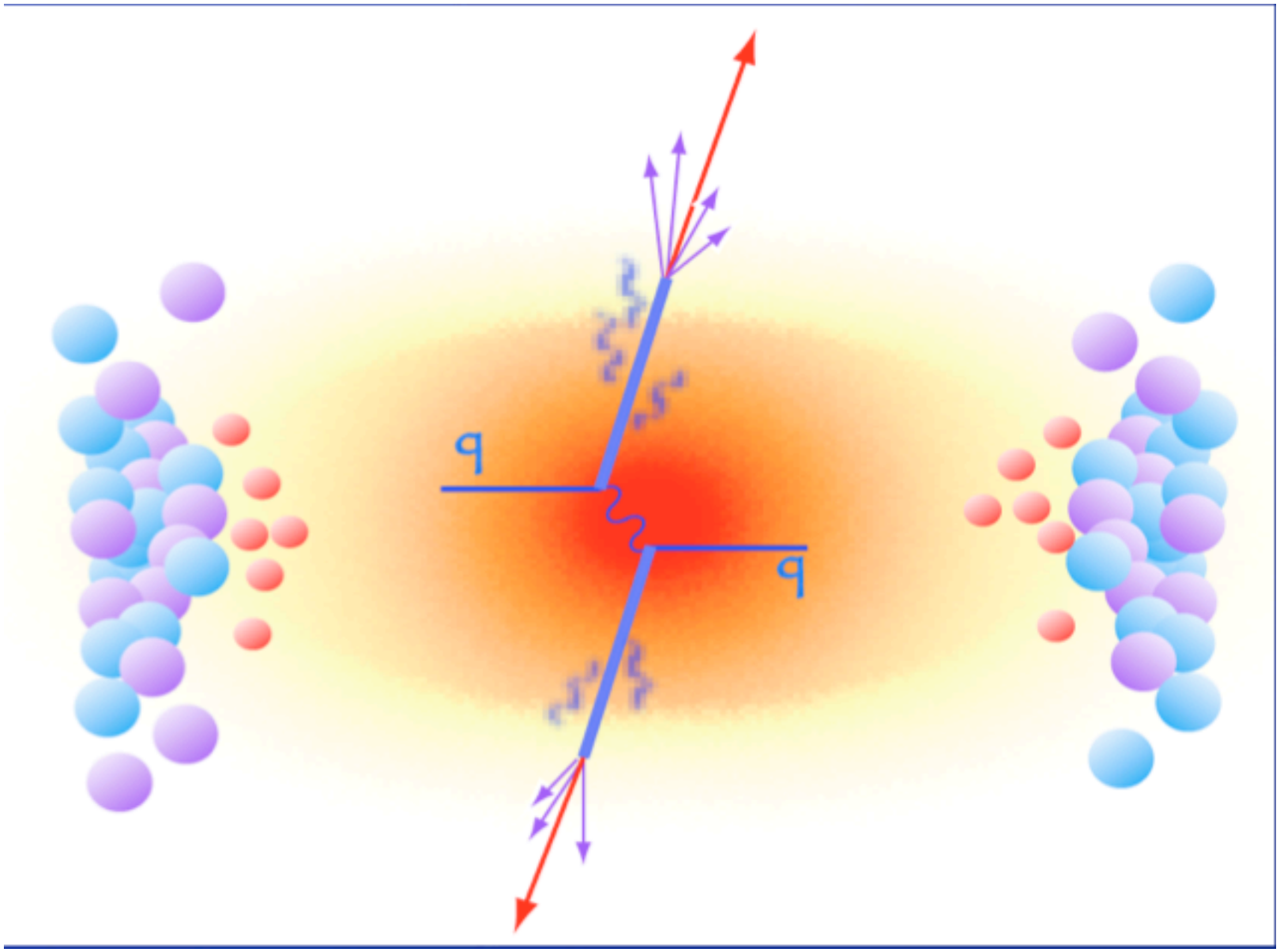
Οι Συγκρούσεις στο LHC σήμερα



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

Πετρίδου Χαρά Θεσσαλονίκη 20-21 Δεκ. 2010

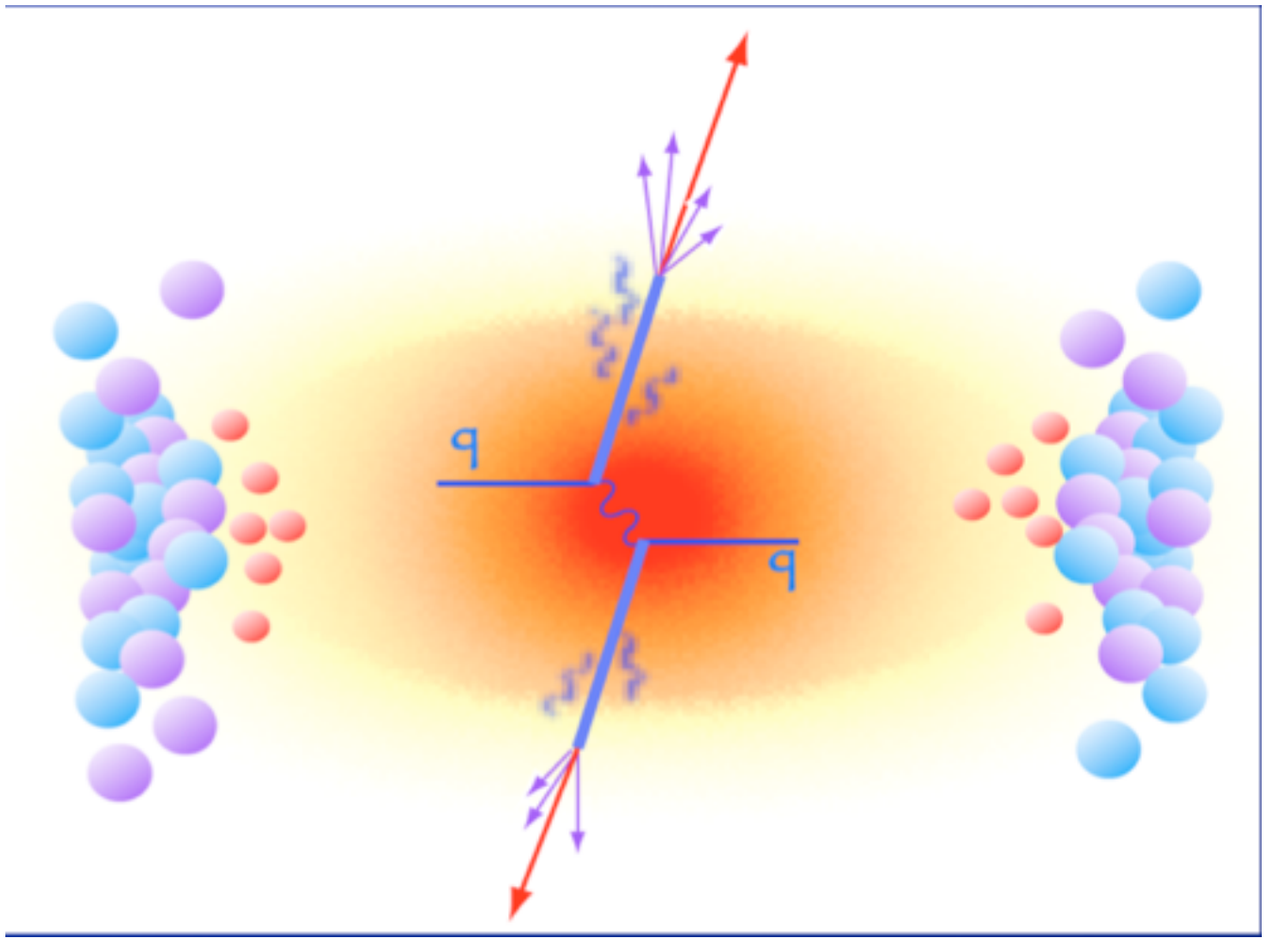
Οι Συγκρούσεις στο LHC σήμερα

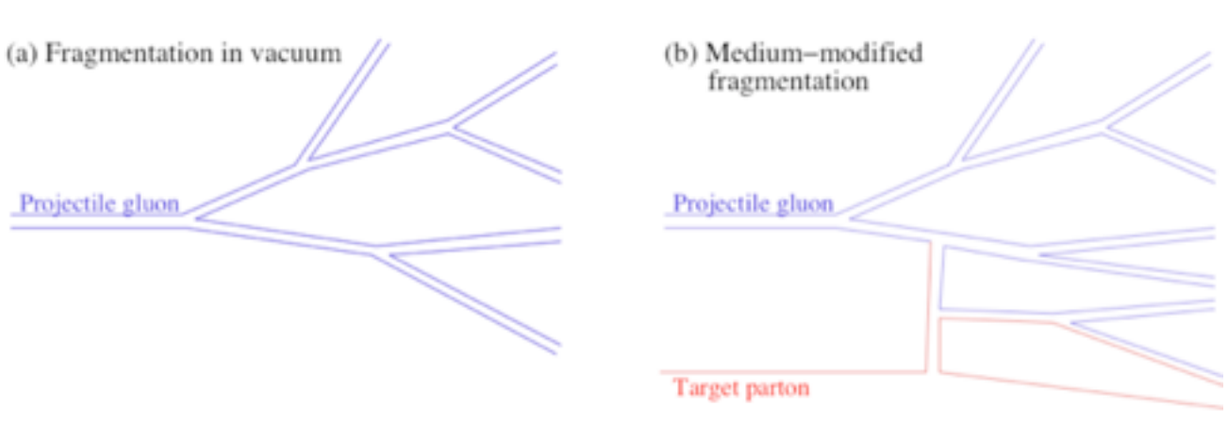


Παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στις συγκρούσεις Pb-Pb η αναμενόμενη κατάσταση της ύλης-φάση: quark-gluon πλάσμα !

Πετρίδου Χαρά Θεσσαλονίκη 20-21 Δεκ. 2010

Οι Συγκρούσεις στο LHC σήμερα





Ανακεφαλαίωση

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

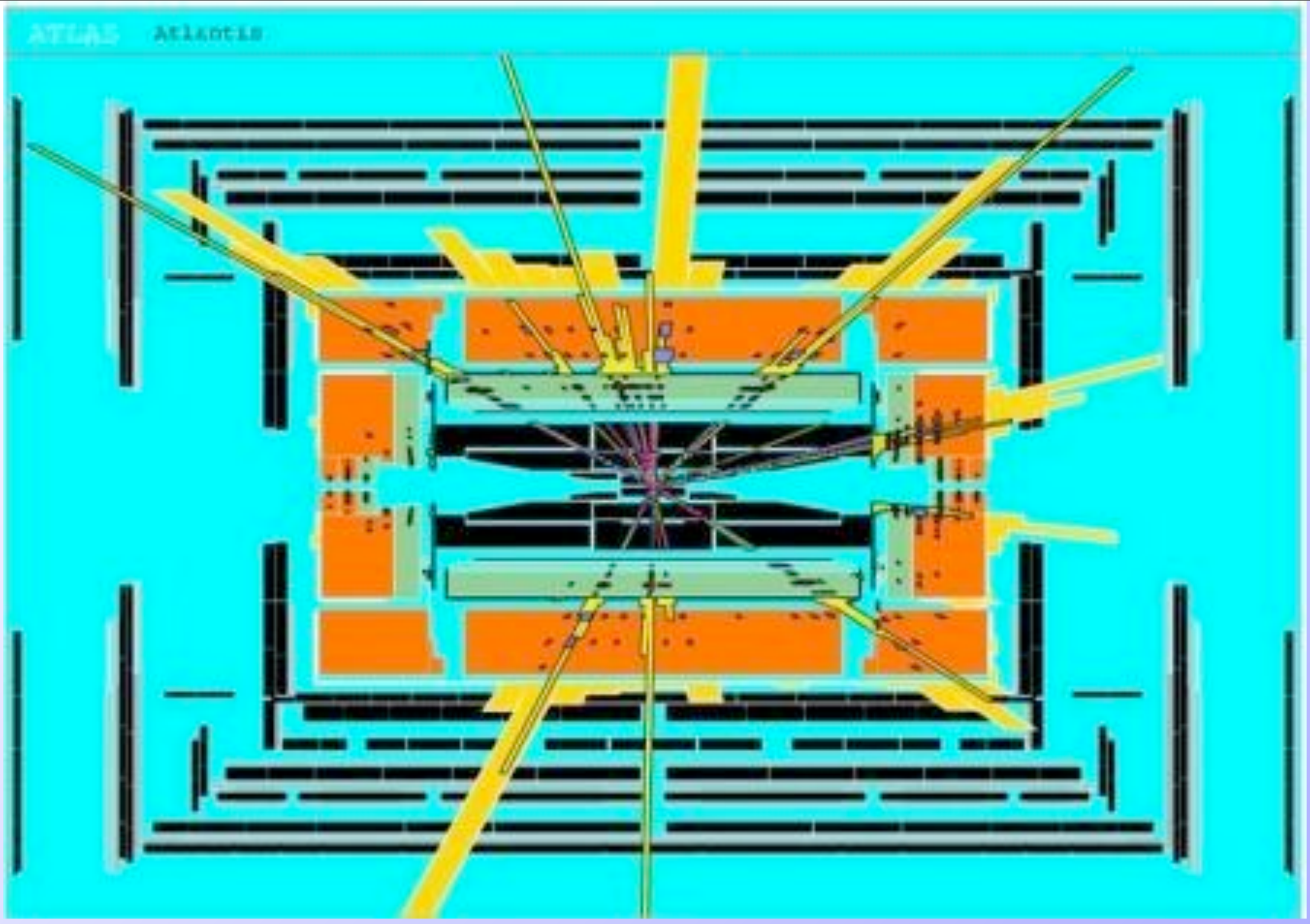
- Μεγάλοι Επιταχυντές και περίπλοκοι Ανιχνευτές μπορούν να διερευνήσουν βαθειά στην αρχή του χρόνου και του Σύμπαντος

- 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?

05-Dec-10

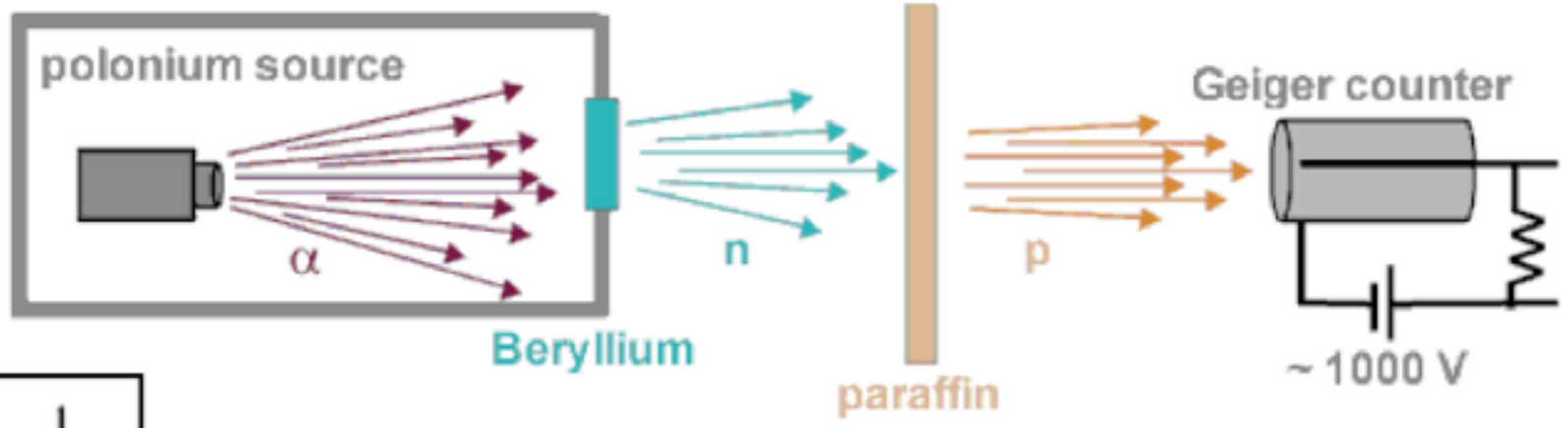


05-Dec-10

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 ($^{14}N + \alpha \rightarrow {}^{17}O + p$)
    - Ανακάλυψη του πρωτονίου
- **1920 – Rutherford**
  - Υπόθεση ύπαρξης ουδετέρου σωματιδίου στον πυρήνα
- **1932 – Chadwick**
  - Ανακάλυψη του νετρονίου από τη σκέδαση σωματιδίων α σε Be



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

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)**

Φερμιόνια & Μποζόνια

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

Φερμιόνια, Μποζόνια

Φερμιόνια

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

Μποζόνια

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

Φερμιόνια, Μποζόνια

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 σωμάτια στο χώρο 1<—>2

- $\Psi(1,2) = -\Psi(2,1)$: αντισυμμετρική αν εναλλάξουμε τα δύο ταυτόσημα φερμιόνια στο χώρο

Φερμιόνια, Μποζόνια

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 σωμάτια στο χώρο 1<—>2

- $\Psi(1,2) = +\ \Psi(2,1)$: συμμετρική αν εναλλάξουμε τα δύο ταυτόσημα μποζόνια στο χώρο

Φερμιόνια, Μποζόνια

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:

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

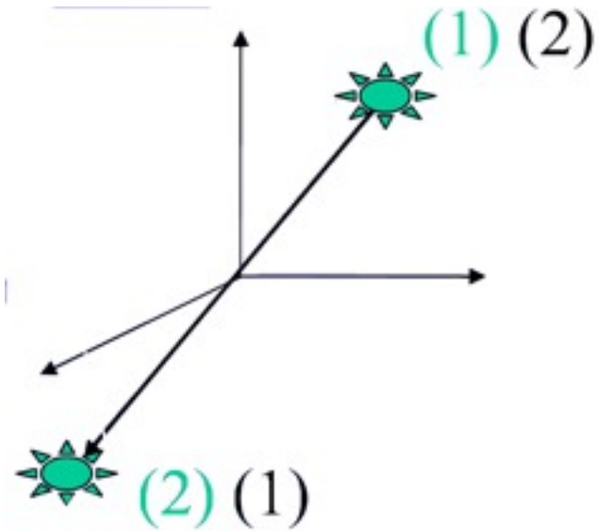
όπου $Y^m_l(\theta, \varphi)$: σφαιρικές αρμονικές

Αν έχουμε σωμάτια (1) & (2):

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

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

$\varphi \rightarrow \pi+\varphi$



Η $Y^m_l(\theta, \varphi)(1,2) \rightarrow Y^m_l(\pi-\theta,\pi+\varphi)\ (2,1) = (-1)^l\ Y^m_l(\theta, \varphi)(1,2)$

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

$Y^1_1(\theta,\varphi) = \sqrt{3/8\pi}\ \sin\theta\ e^{i\varphi}$

Φερμιόνια, Μποζόνια

Η κυματοσυνάρτηση του χώρου δύο ταυτόσημων σωματίων

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

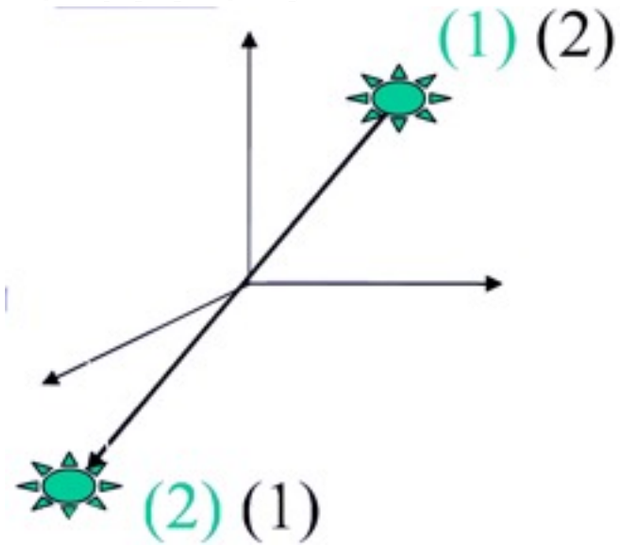
Η κυματοσυνάρτηση: $\Psi\alpha(\text{χώρου})(1,2) = \Psi\alpha(r\ )(1,2) * Y^m_l(\theta, \varphi)(1,2)$

- Η $\Psi_\alpha(r\ )(1,2) = \Psi_\alpha(r\ )(2,1)$ (Συμμετρική)

- Η $Y^m_l(\theta, \varphi)(2,1) = Y^m_l(\pi-\theta, \pi+\varphi)\ (1,2) = (-1)^l\, Y^m_l\ (\theta, \varphi)(1,2)$

ΑΡΑ: αν l = αρτιος η Y^m_l συμμετρική

αν l = περιττός η Y^m_l αντισυμμετρική



Φερμιόνια, Μποζόνια

Η κυματοσυνάρτηση του σπιν δύο ταυτόσημων σωματίων

$\Psi_\beta = \Psi_\beta(\sigma\pi\iota\nu)(1,2)$

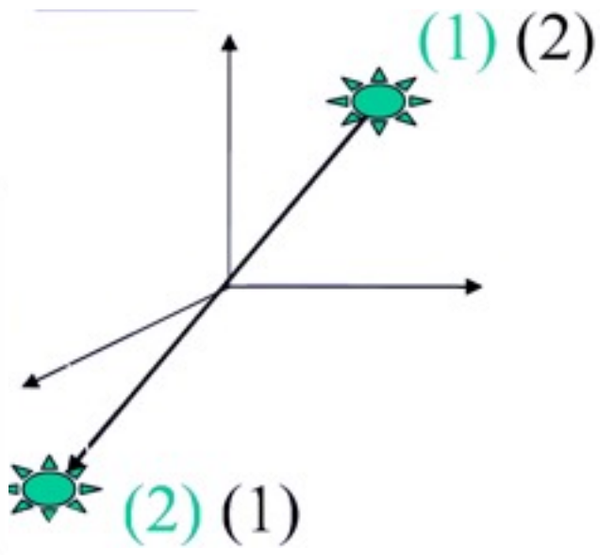
Αν σπιν ομοπαράλληλα ↑↑ $\Psi_{\beta(\sigma\pi\iota\nu)}(1,2) = \Psi_{\beta(\sigma\pi\iota\nu)}(1,2)$ συμμετρική

Αν σπιν αντιπαράλληλα ↑↓ $\Psi_{\beta(\sigma\pi\iota\nu)}(1,2) = \Psi_{\beta(\sigma\pi\iota\nu)}(1,2)$ αντισυμμετρική

$\Psi = \Psi_\alpha(\chi\acute{\omega}\rho\omega) * \Psi_\beta(\sigma\pi\iota\nu)$

➠Για ταυτόσημα:

Μποζόνια	Φερμιόνια
I = άρτιο → ομοπαράλληλα	I = άρτιο → αντιπαράλληλα
I = περιττό → αντιπαράλληλα	I = περιττό → παράλληλα



Εφαρμογή της ιδιότητας της συμμετρίας της κυματοσυνάρτησης δύο ταυτόσημων μποζονίων

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

ρ^0 :σπιν =1, l=0 => J=1

π^0 :σπιν =0, l=0 => J=0 => ταυτόσημα μποζόνια

J διατηρείται => l ($\pi^0{}_1$)+l ($\pi^0{}_2$) =1 = J (ρ^0) =1

Η $\Psi_{\beta(\sigma\pi\iota\nu)}$ (1,2) συμμετρική =>$\Psi_{\alpha(\chi\omega\rho\sigma\upsilon)}$ (1,2) συμμετρική => l αρτιο => J≠1=> Μη διατήρηση της ολικής στροφορμής

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

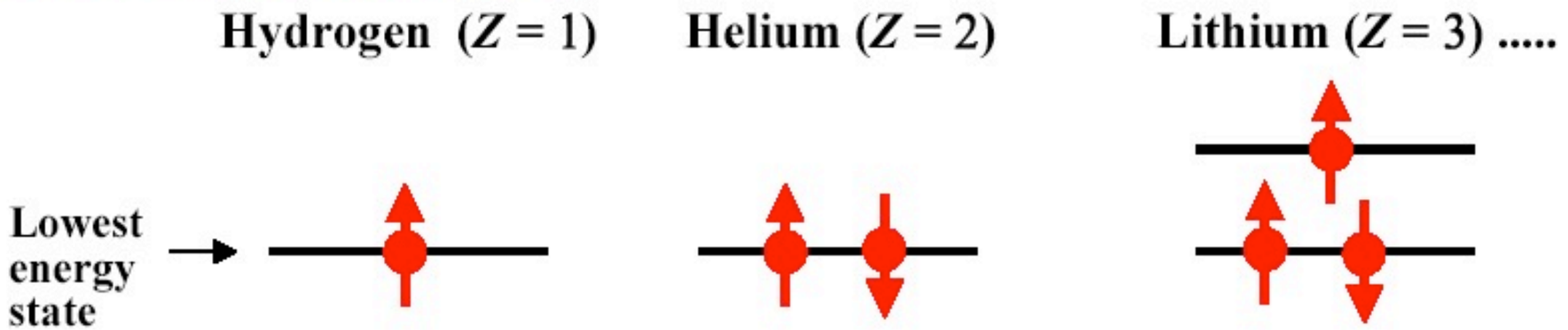
Ενώ η διάσπαση $\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ **μη ταυτόσημα** σωμάτια επιτρέπεται

Η απαγορευτική αρχή του Pauli

- Στην Κβαντομηχανική οι τροχιές του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα ειναι '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 = ½) can never be in the same physical state



Wolfgang Pauli

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