Εισαγωγή στη Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Δήμος Σαμψωνίδης

(13-12-2016)

Στοιχεία Πυρηνικής Φυσικής & Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων
5 ο Εξάμηνο

Τι θα μάθουμε (Ι)

- 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 (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

- 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 .....

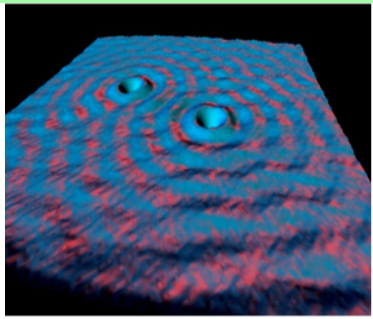
- Steven Weinberg: **The First Three Minutes** (και μεταφρασμένο)
- Steven Weinberg: **Towards the Theory of Everything**
- H.Fritsch: Quarks, **The Stuff of Matter**
- Simon Sih**: The Big Bang** (και μεταφρασμένο)
- Michio Kaku:
  - » Παράλληλα Σύμπαντα
  - » Υπερχώρος
  - » Η Φυσική του Αδύνατου
- Brian Green: Το Υπέροχο Σύμπαν
- Bruce Schumm: Η μαγεία της σωματιδιακής φυσικής

... στους Πυρήνες

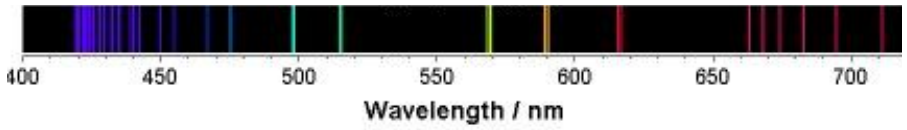
- Οι πυρήνες είναι περίπλοκα συστήματα πολλών σωμάτων που συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις ελάχιστα κατανοητές
- Οι θεωρείες/μοντέλα της συμπεριφοράς και της δομής του πυρήνα δεν περιγράφονται με ένα ενιαίο πρότυπο
- Οι θεωρείες/μοντέλα της συμπεριφοράς και δομής των πυρήνων αλλάζουν:
  - για διαφορετικές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

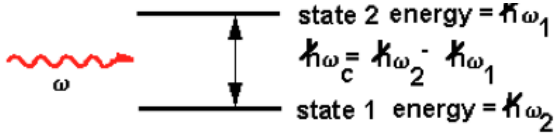
- *Στα επόμενα θα εξετάσουμε* –**με βάση την μέχρι σήμερα γνώση για τα Στοιχειώδη Σωματίδια**- *την φύση των ισχυρών και ασθενών πυρηνικών (β-διάσπαση) δυνάμεων και την σχέση τους με τις οικείες ηλεκτομαγνητικές δυνάμεις*

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

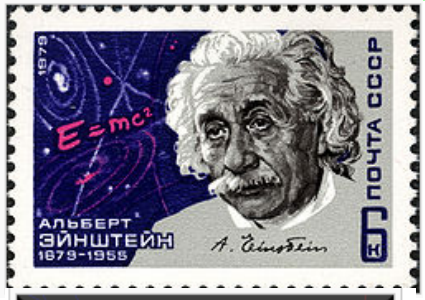


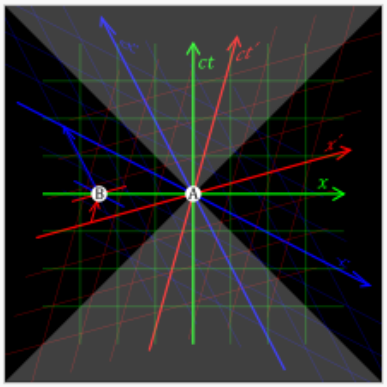


- Η Κβαντική Μηχανική περιλαμβάνει:
  - Την εισαγωγή των Τελεστών – Σχέση Τελεστών και Φυσικών μεγεθών (Ιδιότητες των φυσικών μεγεθών στην Κβαντομηχανική)
  - Την μαθηματική περιγραφή των υλικών κυμάτων (εξίσωση Schroedinger)
  - Την πυκνότητα πιθανότητας (στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης) και 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**

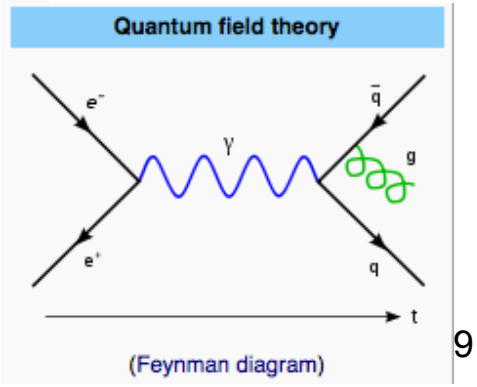




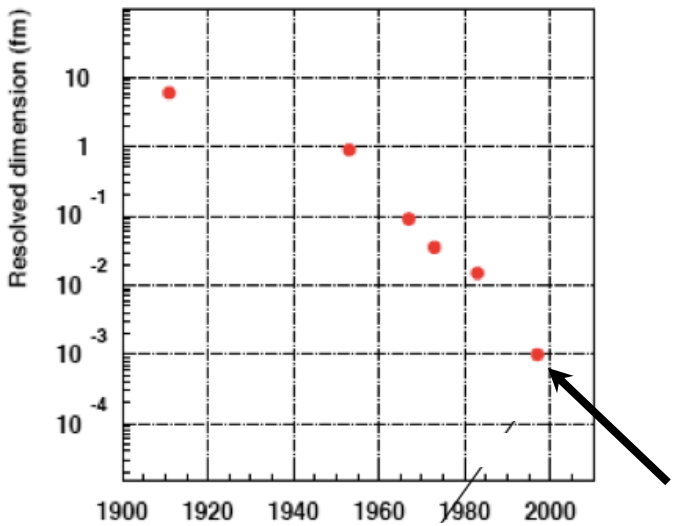
Event B is simultaneous with A in the green reference frame, but it occurred before in the blue frame, and will occur later in the red frame.

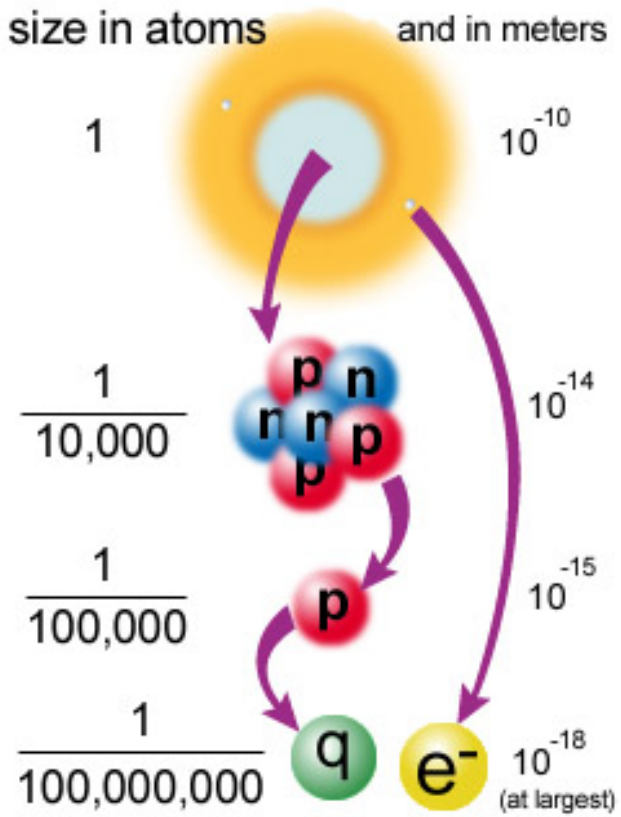
- Ο συνδυασμός της Κβαντομηχανικής και της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας → **Κβαντική Θεωρία Πεδίου**: Η βάση για τη μελέτη του Πυρήνα και των αλληλεπιδράσεων των quarks και leptons

Fast ↓ / Small →		
	Classical mechanics	Quantum mechanics
	Relativistic mechanics	Quantum field theory



Απο τα νουκλεόνια στα quarks





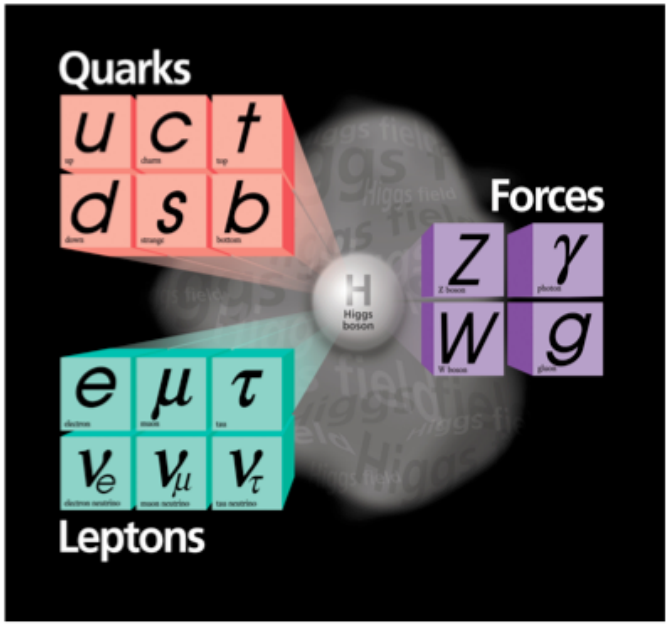
- Άτομο: Πυρήνας+ e
- Πυρήνας: p+n
- p,n: quarks+ gluons
- quarks: ???? Είναι θεμελειώδη?

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

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

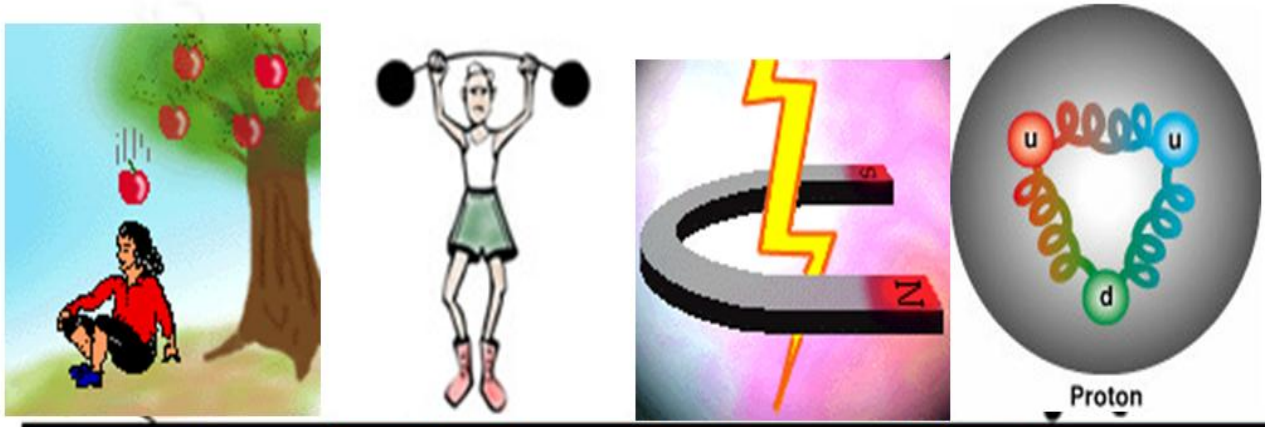
- Κατά το Καθιερωμένο Πρότυπο της Σωματιδιακής Φυσικής (μια Κβαντική Θεωρία Πεδίου):
  - Τα θεμελειώδη συστατικά της ύλης που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους είναι φερμιόνια:
    - **Κουάρκ και λεπτόνια**
  - Οι φορείς των αλληλεπιδράσεων μποζόνια (σωματίδια δυνάμεων)

Σωματίδια ύλης



Σωματίδια δυνάμεων

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

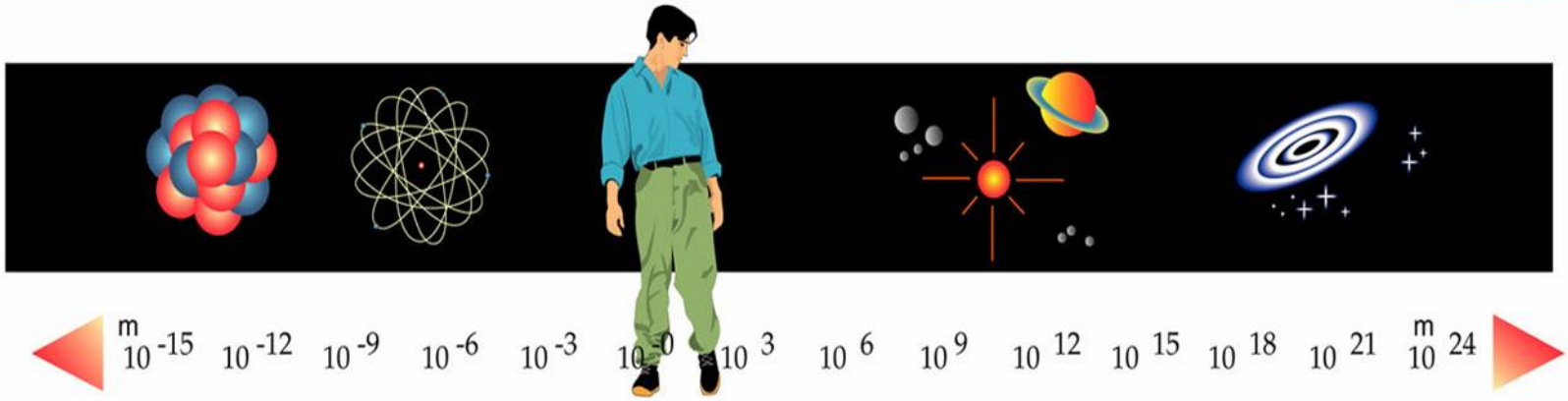


	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic (Electroweak)	Strong
Carried By	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	Photon	Gluon

Οι δύο περιοχές στην Έρευνα της Φυσικής

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

Η Αστροφυσική μελετά το **'άπειρο'**



Μικροσκόπια

Κιάλια

Οπτικά Τηλεσκόπια

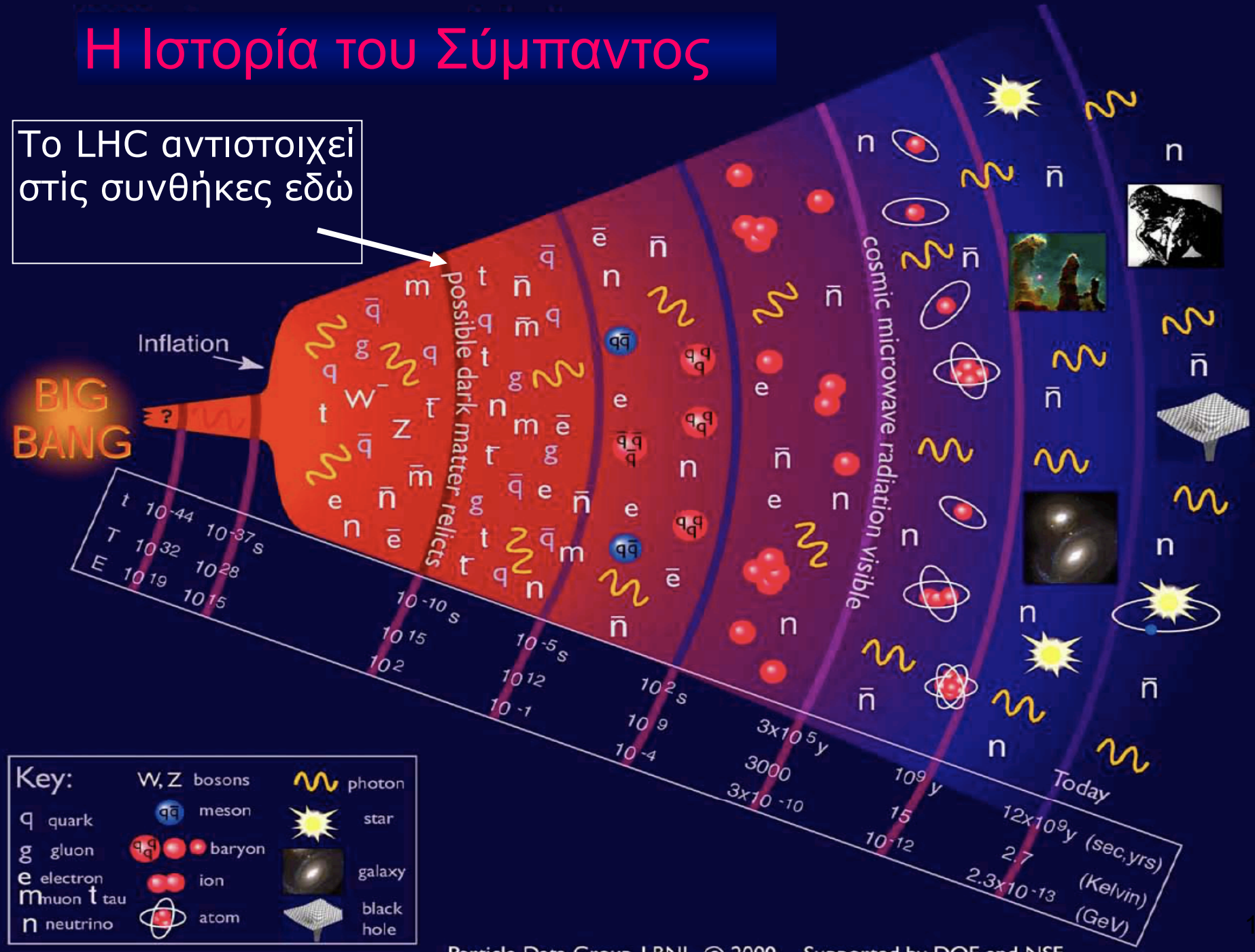
Ραδιοτηλεσκόπια

Γυμνό μάτι

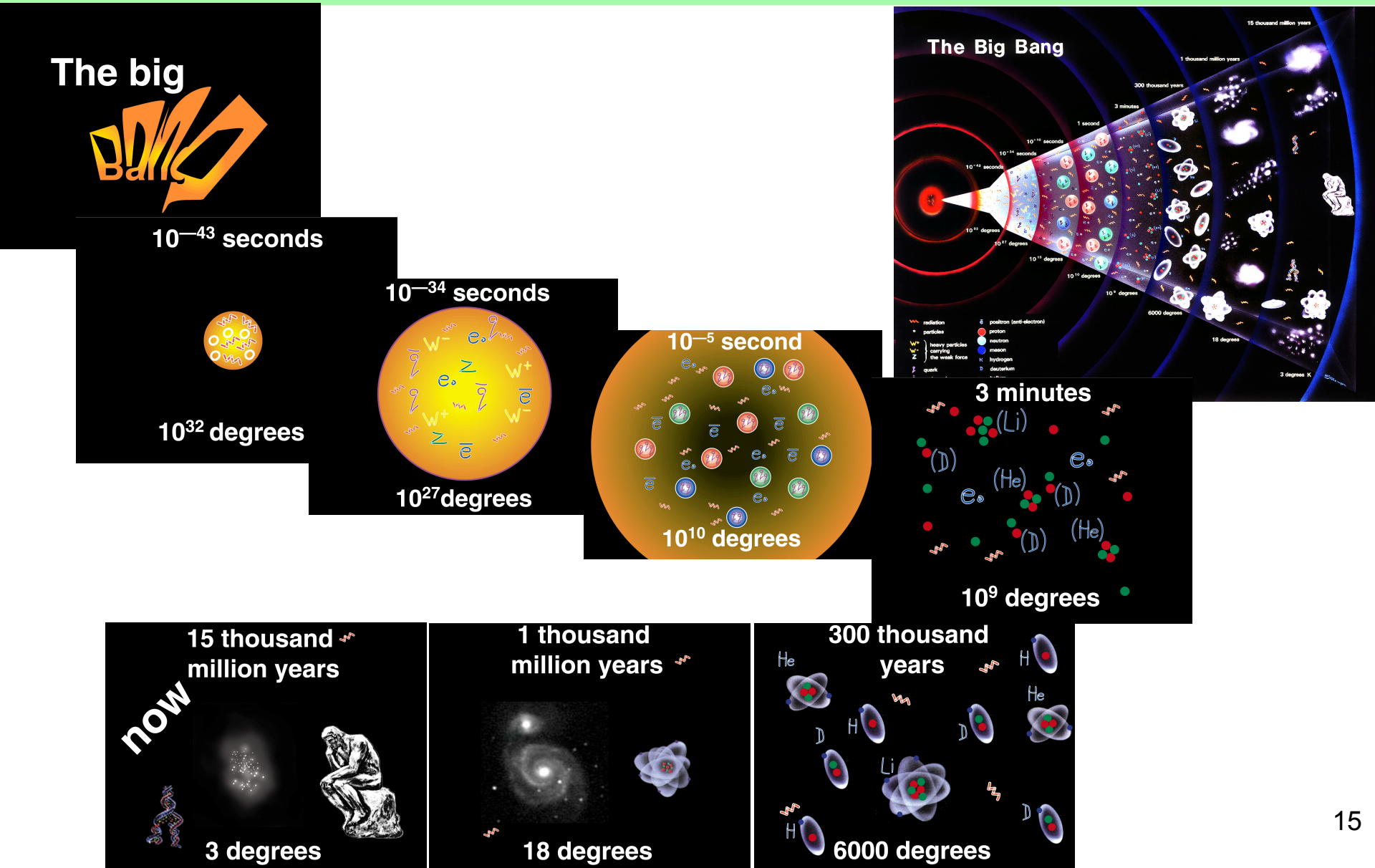
Επιταχυντές Σωματιδίων & Ανιχνευτές

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 (1027 K): Εποχή της Μεγάλης Ενοποίησης

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

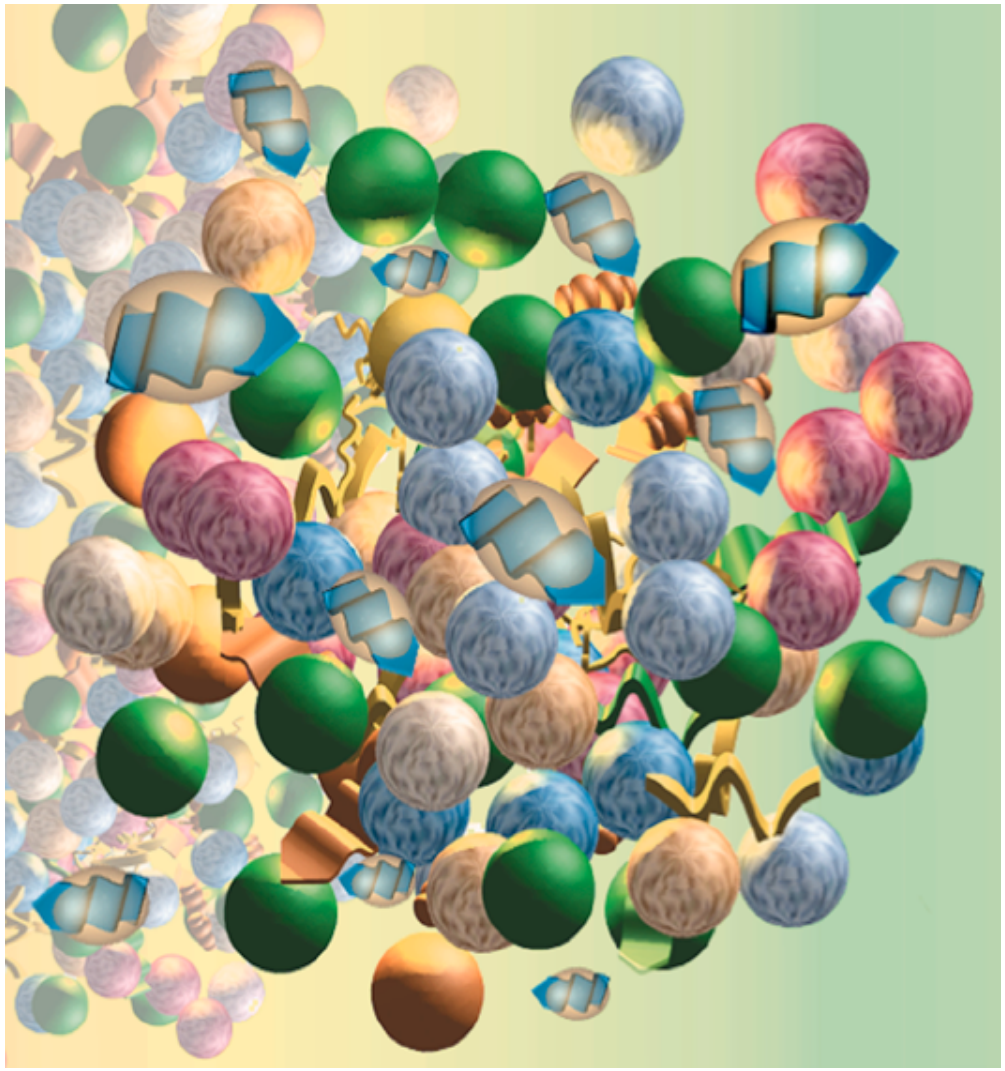
t - 10^{-35} s, 10^{27} K (10^{16} GeV, 10^{-32} m) : Inflation

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

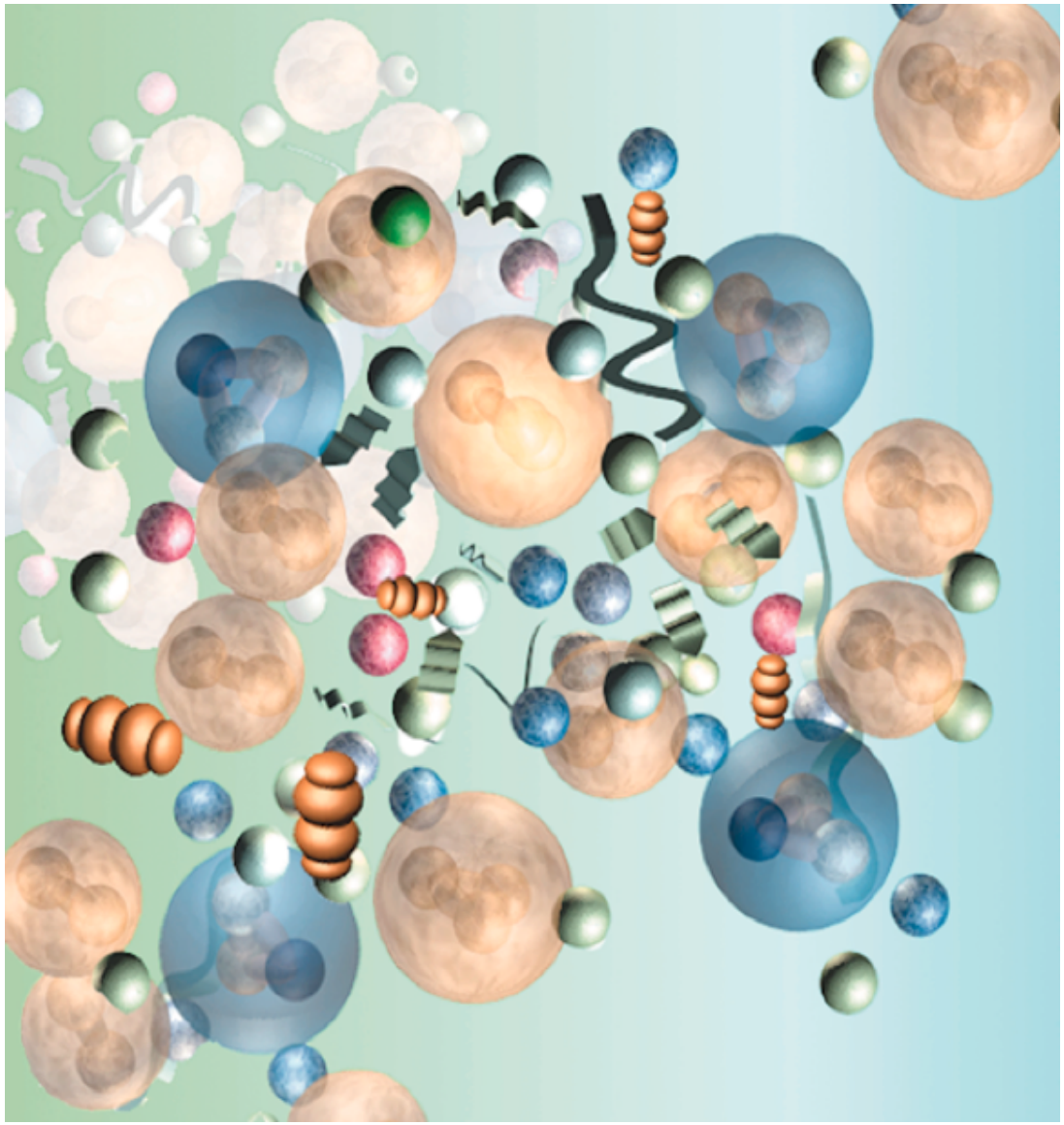


Διαχωρίζονται οι ασθενείς απο τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις
Η πυκνότητα ενέργειας αντιστοιχεί σε αυτή του LEP

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

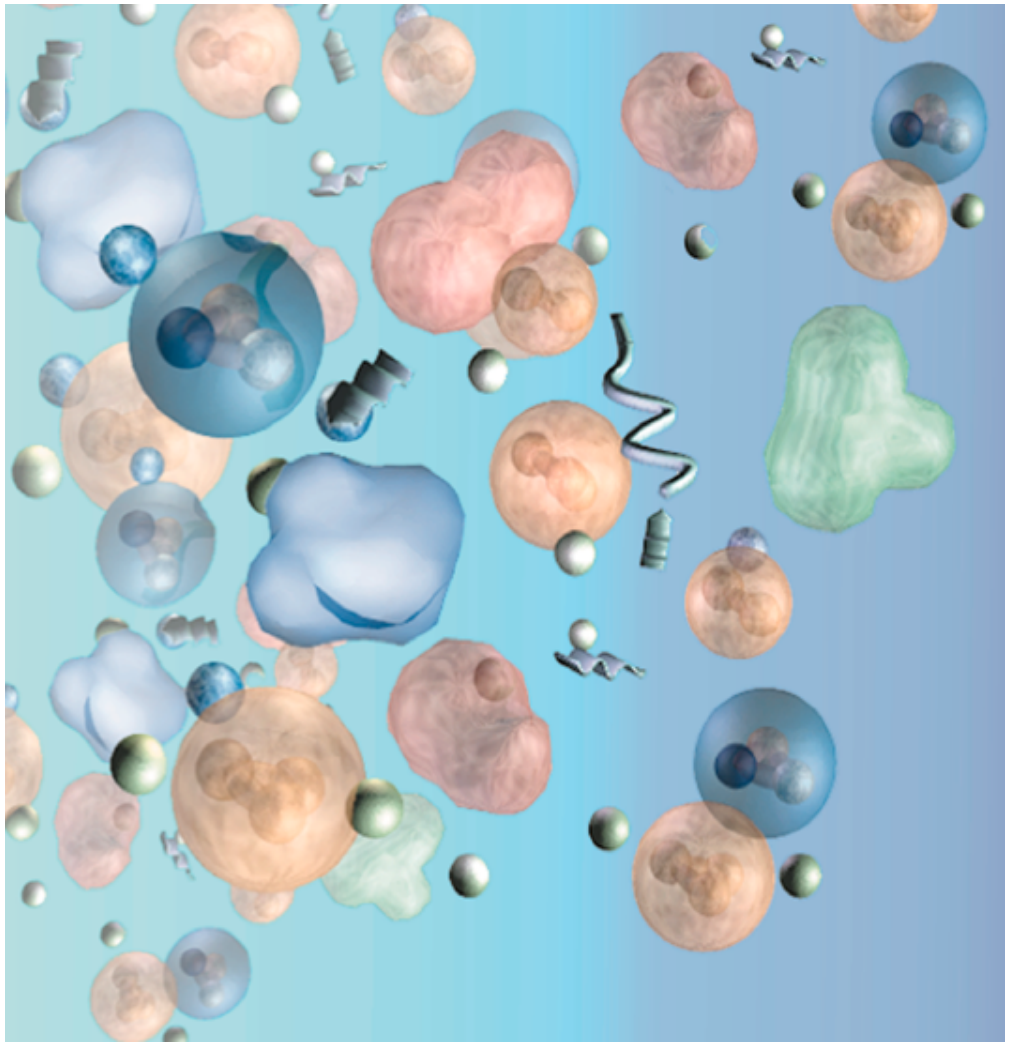
t - 10^{-4} s, 10^{13} K (1 GeV, 10^{-16} m) : Protons and Neutrons form

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

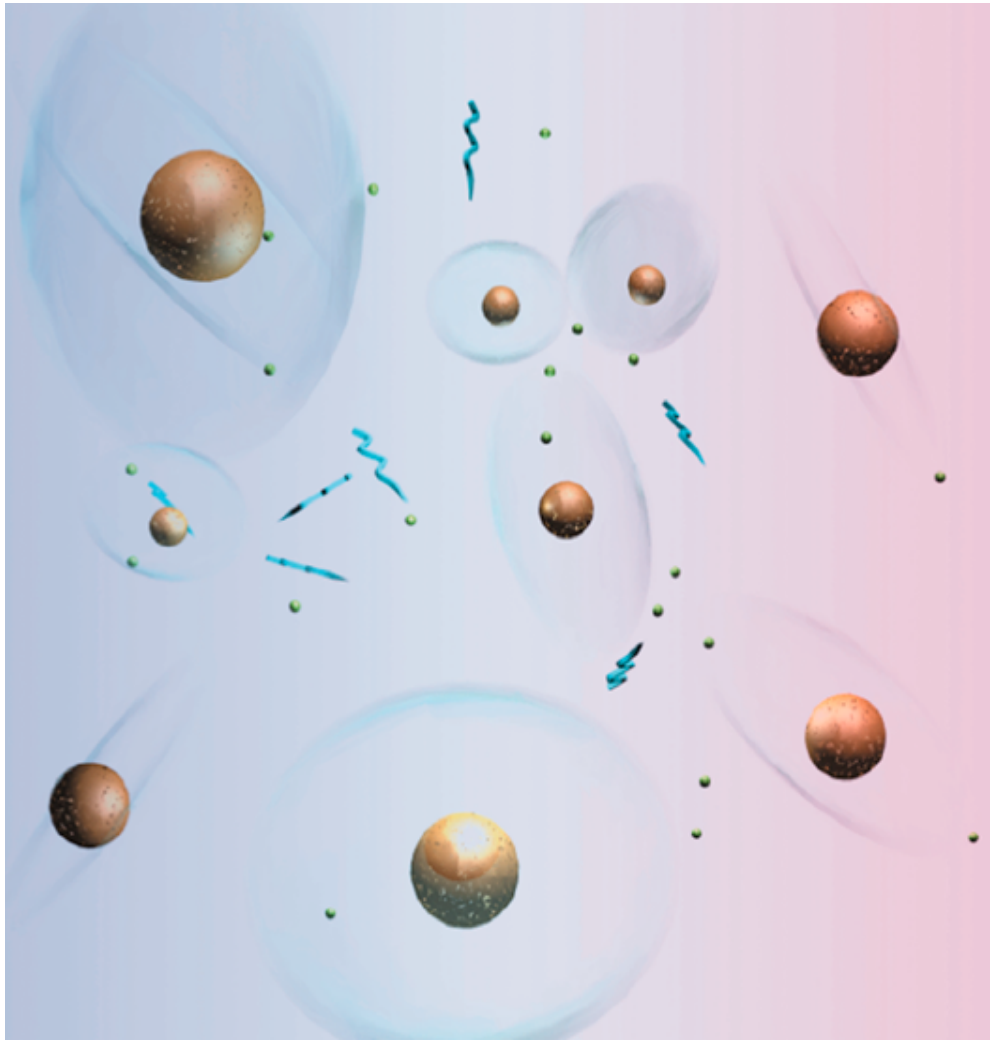


Τα πρωτόνια και τα νετρόνια συνδυάζονται και σχηματίζουν τους πρώτους πυρήνες (D, He, Li)

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.

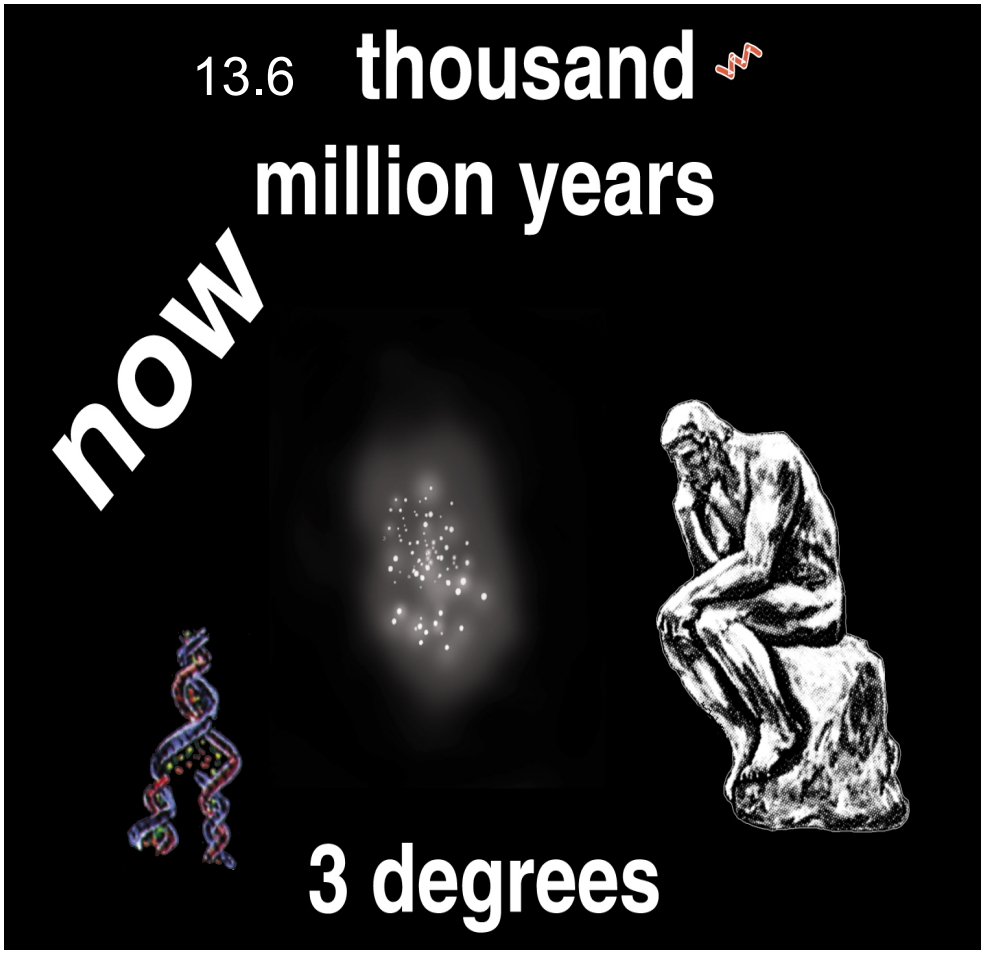
10^9 έτη (18 K): Σχηματισμός των γαλαξιών

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 .....

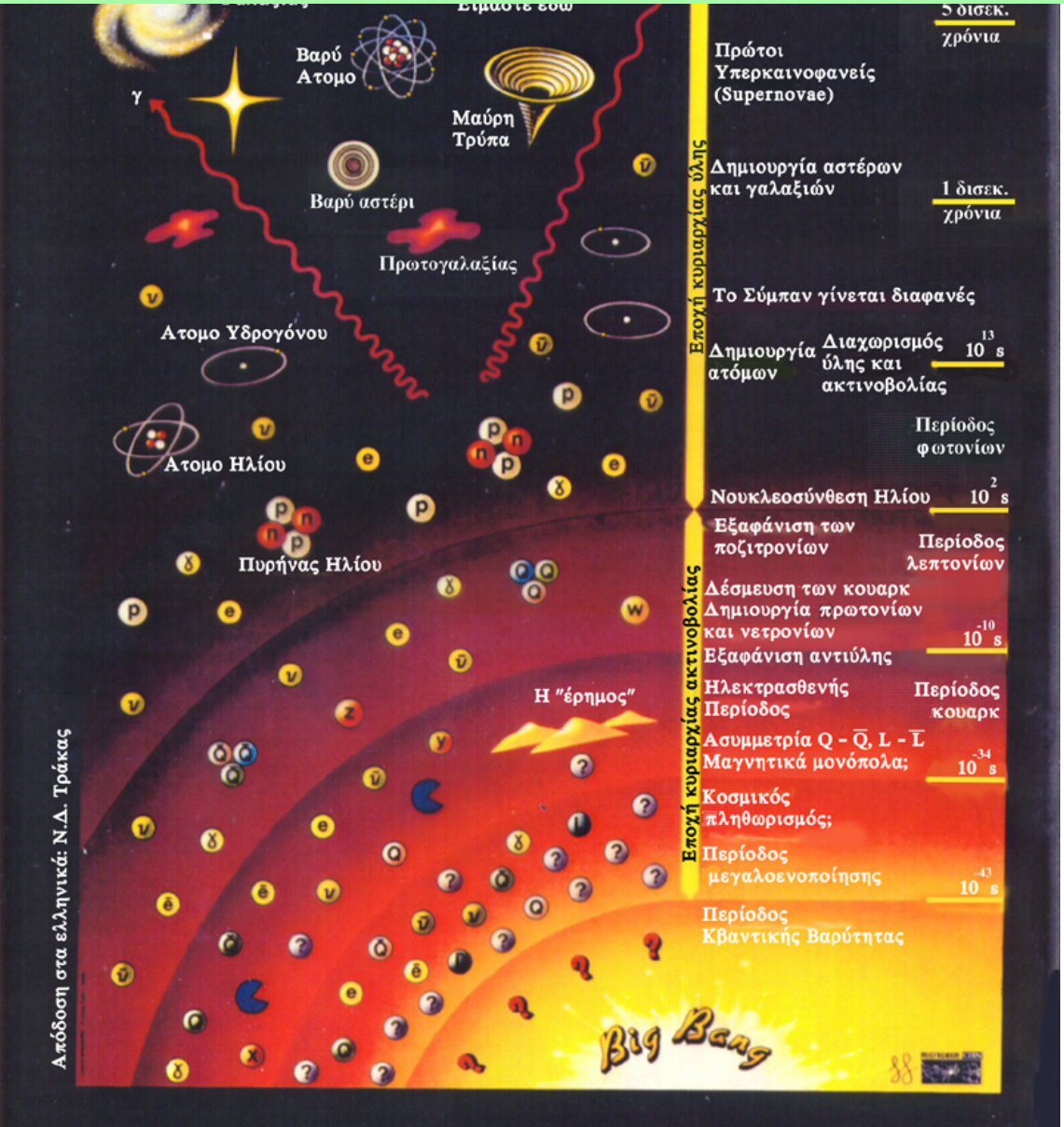


Υπάρχουμε !

$t = 15 \times 10^9$ 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.

Η Ιστορία του Σύμπαντος



1 δισεκ. χρόνια — **Δημιουργία αστέρων κα γαλαξιών**

10^{13} sec — **Δημιουργία ατόμων Διαχωρισμός ύλης και ακτινοβολίας**

10^{2} sec — **Δημιουργία πρωτονίων και νετρονίων**

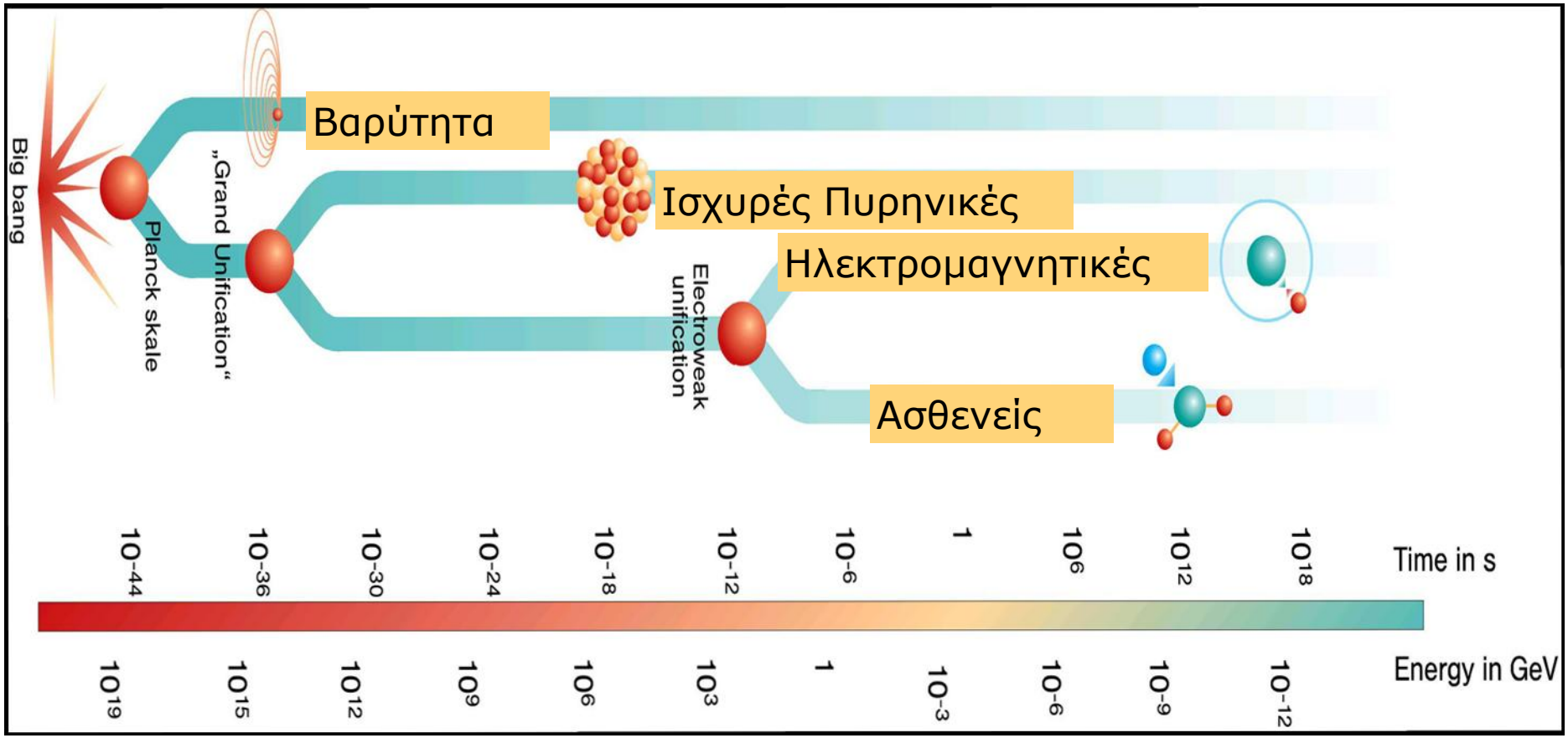
10^{-18} sec — **Εξαφάνιση αντιύλης**

10^{-34} sec — **Ενοποίηση των ηλεκτροασθενών δυνάμεων**

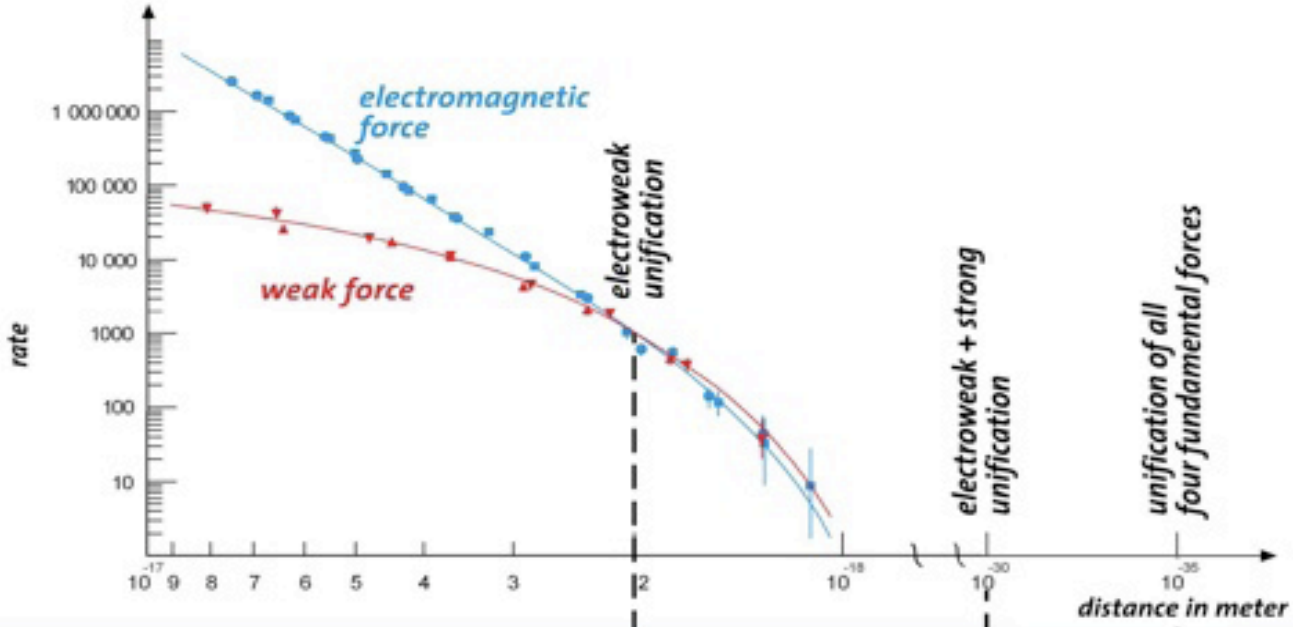
Επιταχυντές : SPS, LEP, LHC

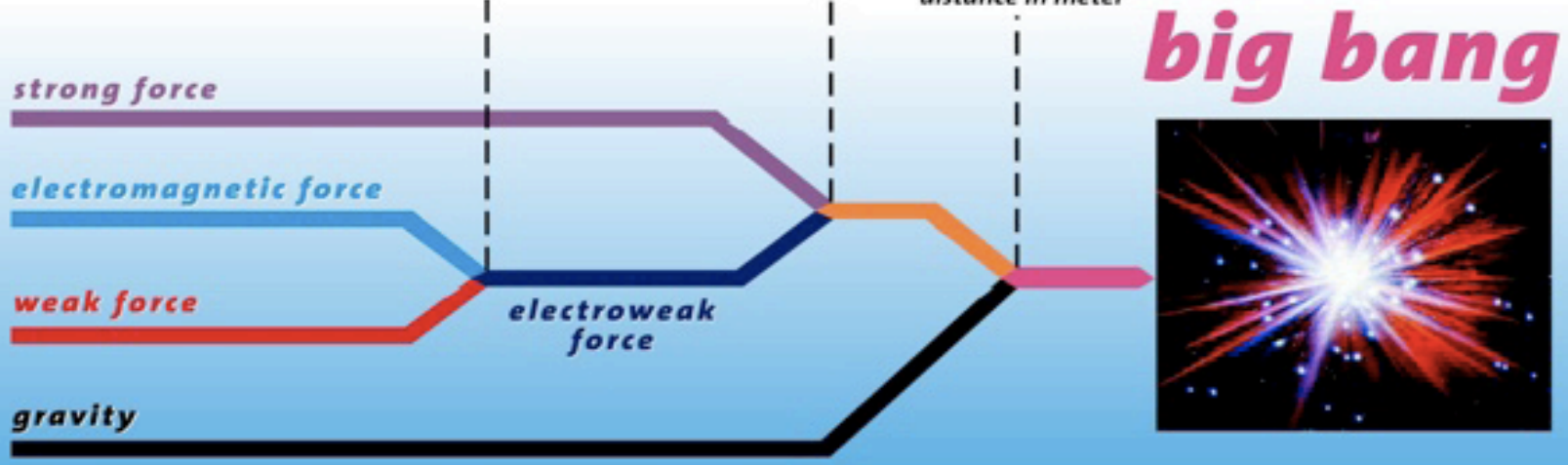
10^{-43} sec — **Μεγαλο-Ενοποίηση των Δυνάμεων**

Η “Ενοποίηση των Δυνάμεων”

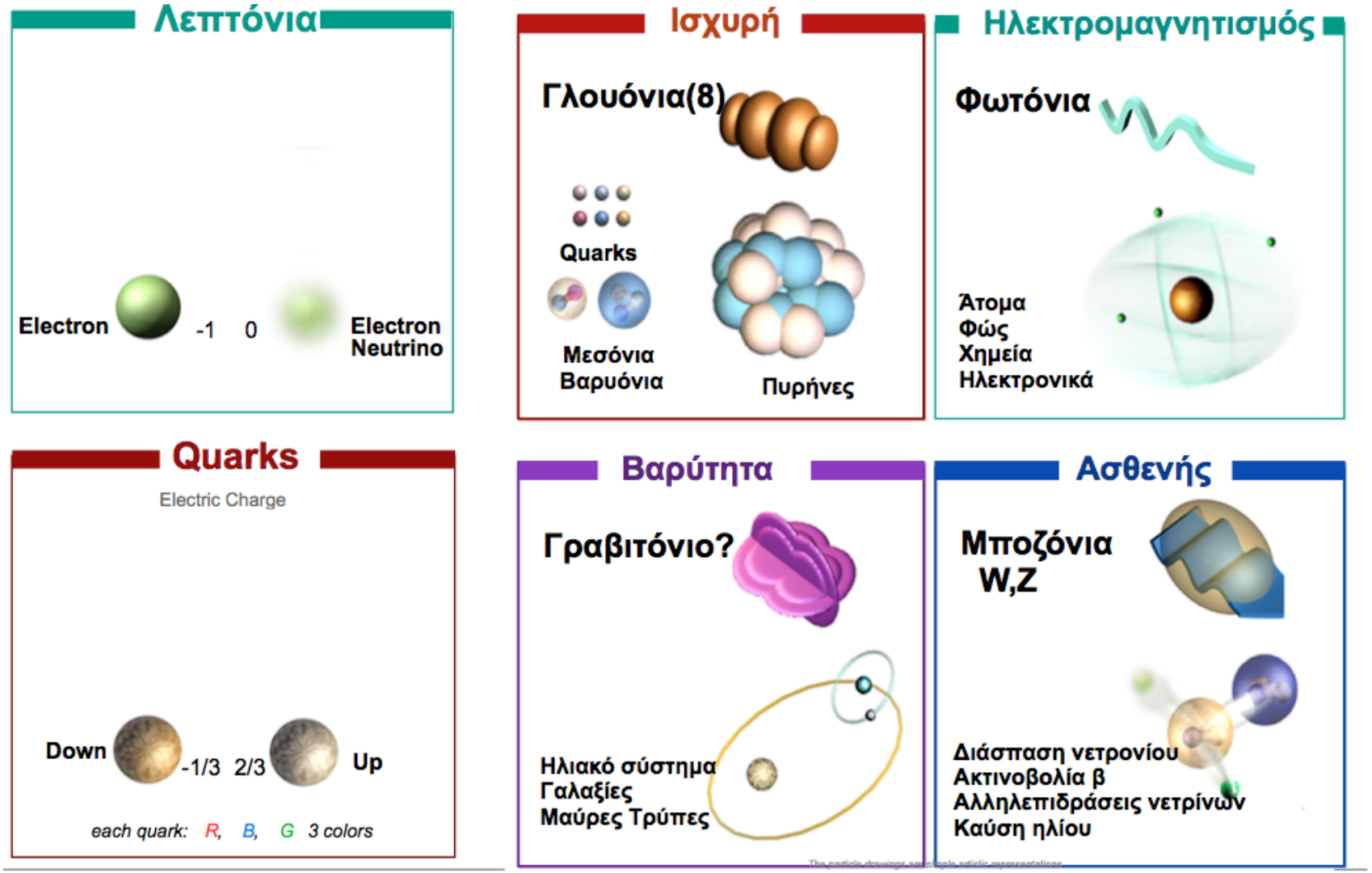


Το “Σπάσιμο της Συμμετρίας”



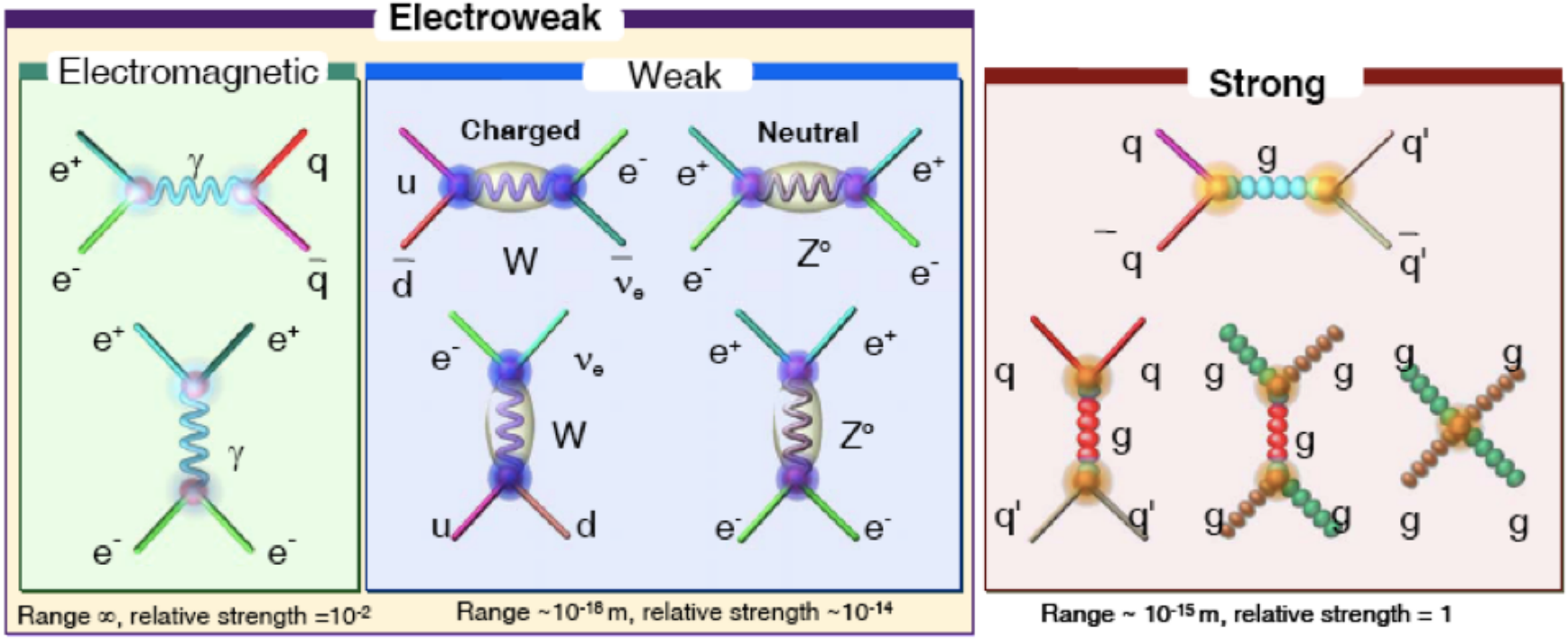


Τα Στοιχειώδη σωματίδια του κόσμου μας



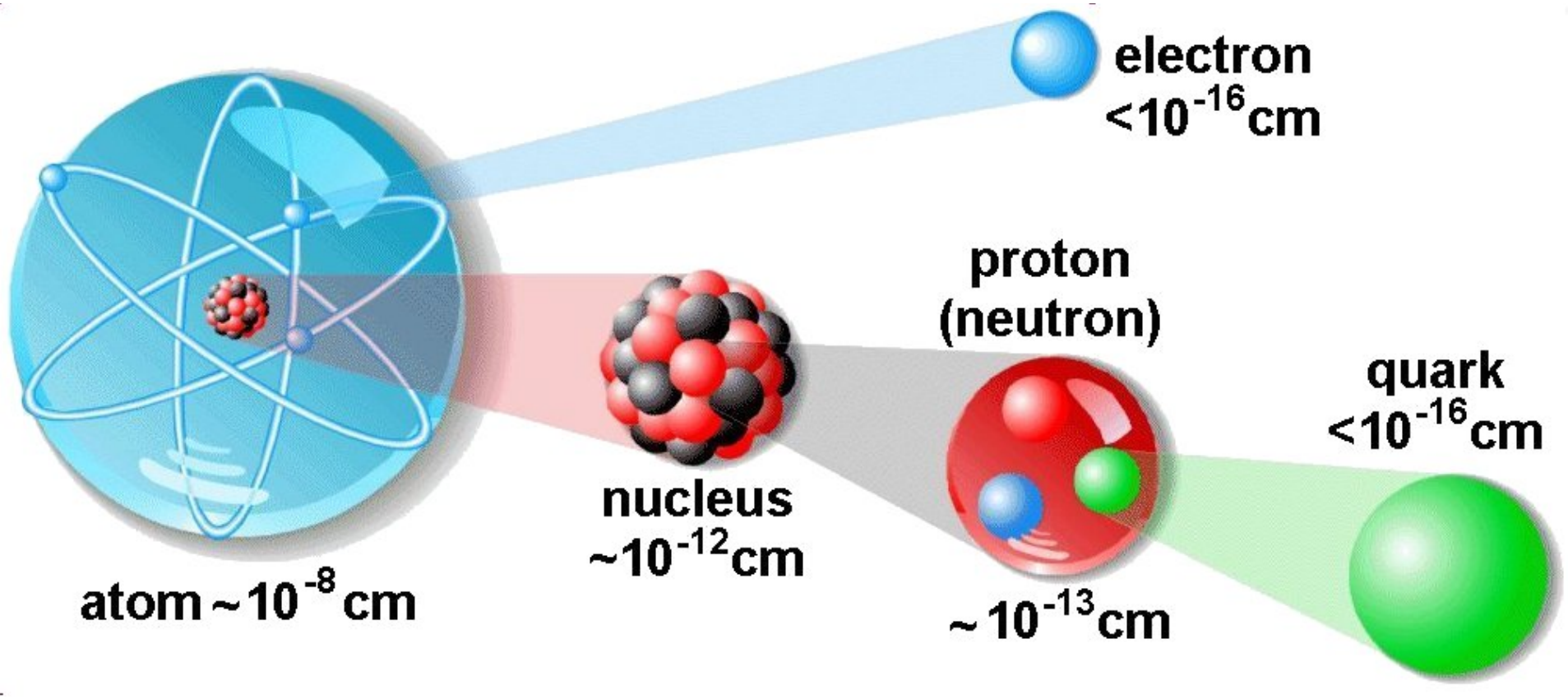
Δυνάμεις/Αλληλεπιδράσεις: Περιγράφονται με μία Κβαντική Θεωρία Πεδίου

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

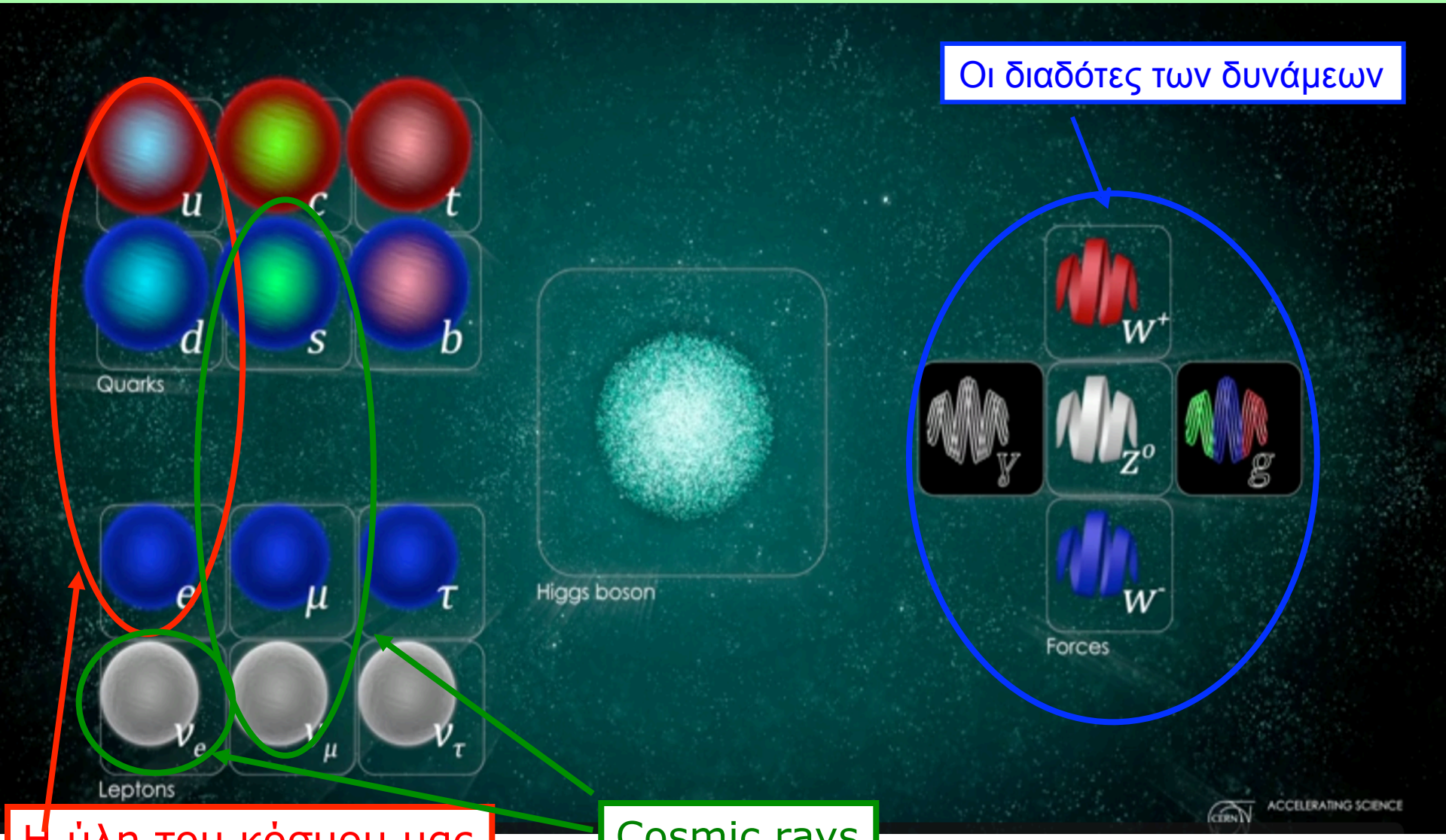


Δύναμη ➡ Ύπαρξη "φορτίου" το οποίο θα πρέπει να διατηρείται
Διατήρηση "φορτίου" ➡ Ύπαρξη Συμμετρίας
Το Καθιερωμένο Πρότυπο είναι μια κβαντική θεωρία πεδίου που έχει την "εσωτερική συμμετρία": SU(3)xSU(2)xU(1)

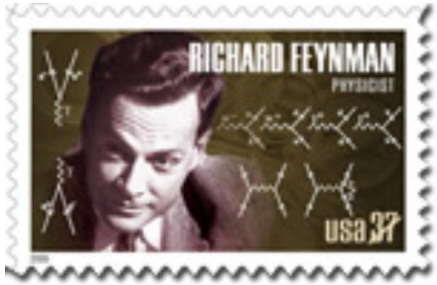
Τα στοιχειώδη σωματίδια



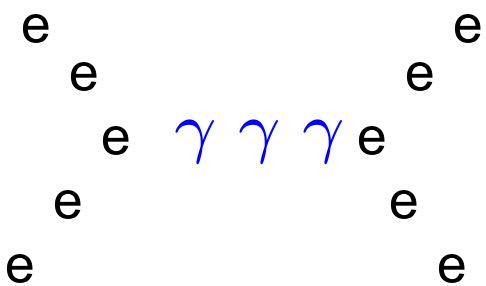
Τα στοιχειώδη σωματίδια- Καθιερωμένο Πρότυπο

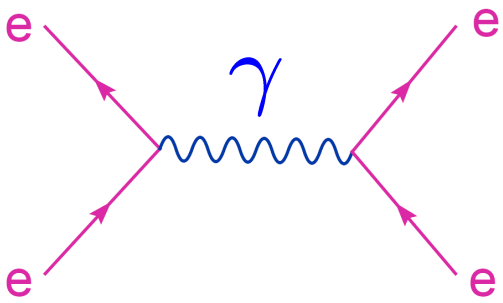


Η ανταλλαγή σωματιδίων “παράγει” δυνάμεις



Feynman diagram



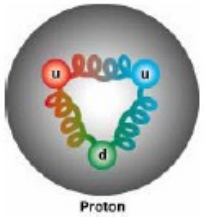


Οσο βαρύτερο είναι το σωματίδιο ανταλλαγής –
“ο φορέας της δύναμης” – τόσο μικρότερη η εμβέλεια της δύναμης

Οι Δυνάμεις της Φύσης

Ισχυρές

Μεταδίδονται με τα γκλουόνια



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

Βαρυτικές

Μεταδίδονται με τα γκραβιτόνια

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

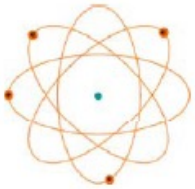
Ασθενείς

Μεταδίδονται με τα W & Z^0

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

Ηλεκτρομαγνητικές

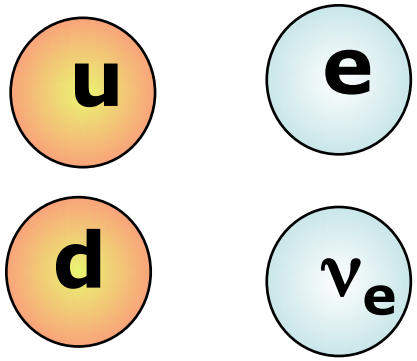
Μεταδίδονται με φωτόνια



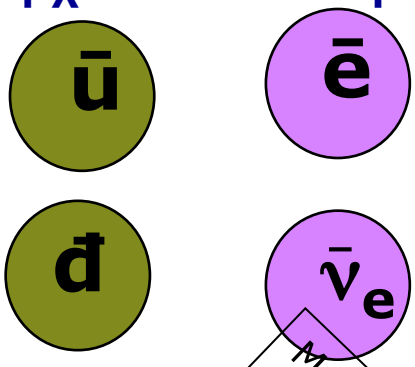
Συγκρατούν τα ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα
Ευθύνονται για τις χημικές αντιδράσεις
Ηλεκτρισμός, Φως, Ακτινοβολία …

Η αντιύλη

Για κάθε σωματίδιο



Υπάρχει το αντι-σωματίδιο



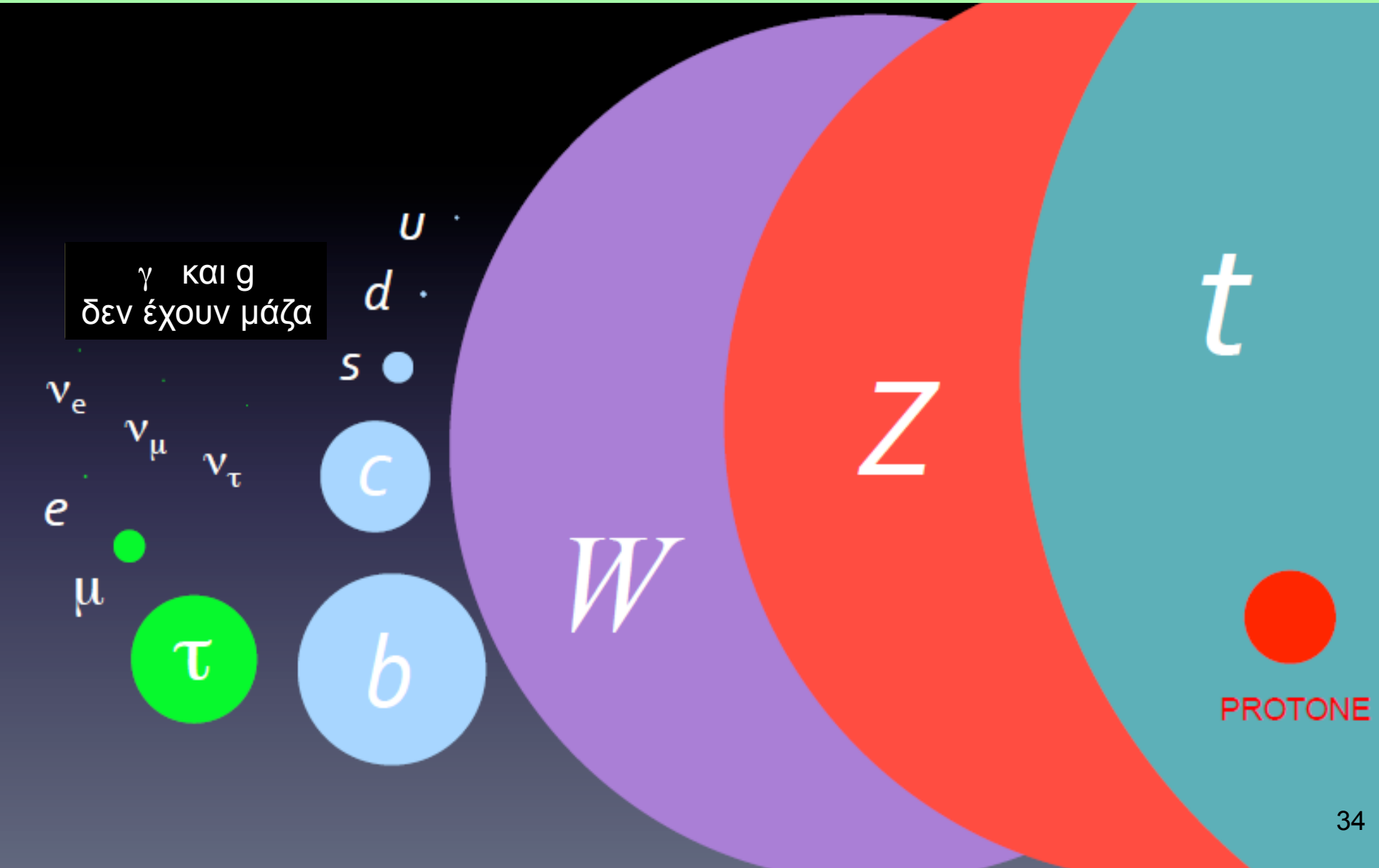
Μπορούν να παραχθούν στο εργαστήριο

Σωματίδια και Αντισωματίδια έχουν αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο

14 δισ. χρόνια πρίν, η Μεγάλη έκρηξη δμιούργησε ύλη και αντιύλη σε ίσες ποσότητες. Υπάρχουμε γιατί δεν υπάρχει αντιύλη.

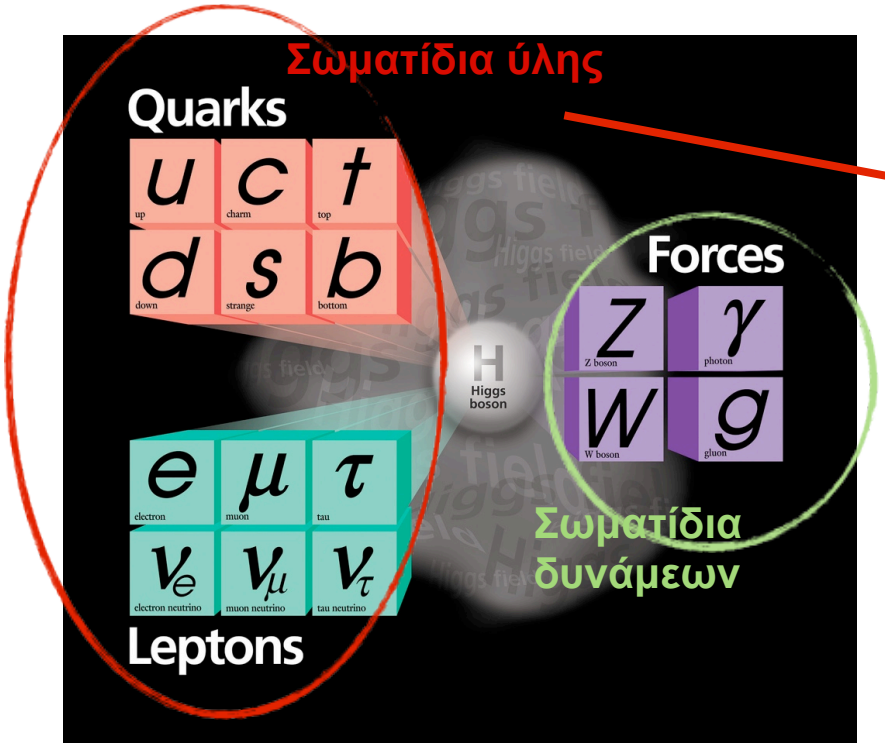
Πώς εξαφανίστηκε η αντιύλη?

Το πρόβλημα της μάζας



Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

- Το Καθιερωμένο Πρότυπο (ΚΠ)



Από τί αποτελείται το Σύμπαν

- Με το ΚΠ μπορούμε να εξηγήσουμε ένα εντυπωσιακά μεγάλο μέρος των πειραματικών αποτελεσμάτων για τις αλληλεπιδράσεις των γνωστών σωματιδίων
  - ...αλλά αυτά αφορούν μόνο το 4% του σύμπαντος!

Υπάρχουν άλλων ειδών σωματίδια / αλληλεπιδράσεις;

Αναπάντητα ερωτήματα στη Φυσική

Ποιά είναι η προέλευση της μάζας ? **OK**

Γιατί δεν υπάρχει ισοδύναμη αντι-ύλη?

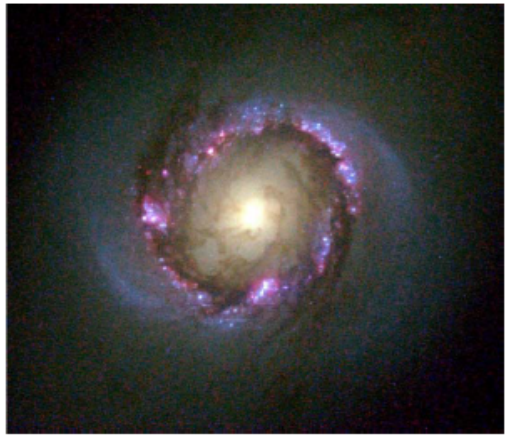
Τί είναι η αθέατη ή σκοτεινή ύλη?

Ενώνονται όλες οι δυνάμεις μαζί?

Υπάρχει Υπερσυμμετρία?

Υπάρχουν άλλα είδη δυνάμεων?

Υπάρχει το σωματίδιο higgs? **NAI / Yes**



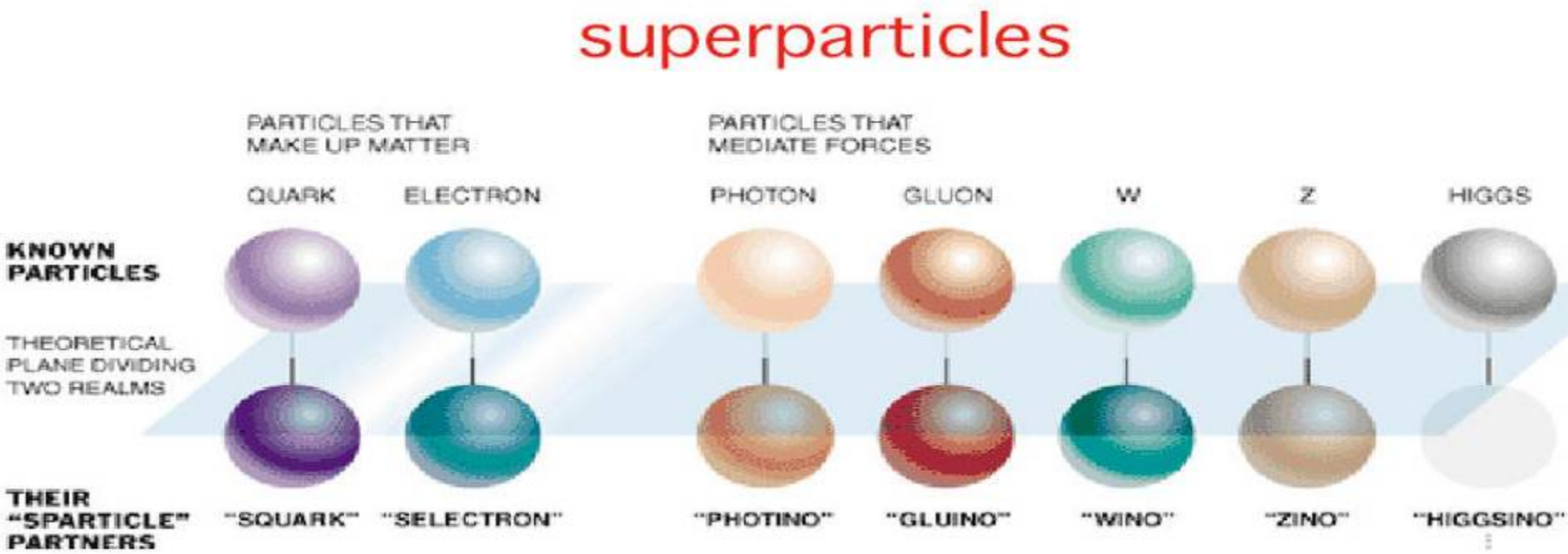
Αναπάντητα ερωτήματα

“Never in the history of science have we been so aware of our ignorance,”
“Today we know that we do not know anything about what makes up 95% of our Universe”.

Ποτέ στην ιστορία της επιστήμης μας δεν γνωρίζαμε τόσο καλά την άγνοιά μας.
Σήμερα γνωρίζουμε ότι δεν γνωρίζουμε τίποτα για αυτό που κάνει το 95% του Σύμπαντος

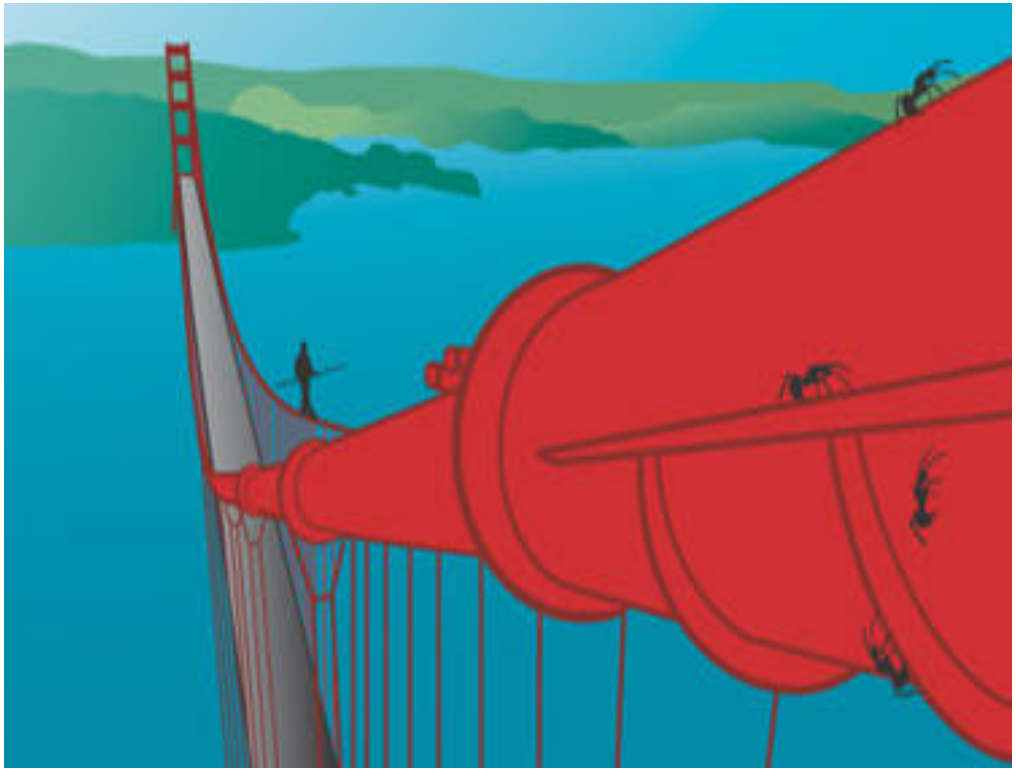
Apr 2011
Roberto Battiston
AMS exp.
Deputy Spokesperson.

Υπερσυμμετρία ?



Περισσότερες από 3 διαστάσεις ?

JoAnne Hewett, Public Lecture, April 2006



- Also comes with many new particles for LHC to discover!
- Sometimes **more** Higgs bosons
- However, in some cases, **no** “obvious” Higgs boson.

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 ?

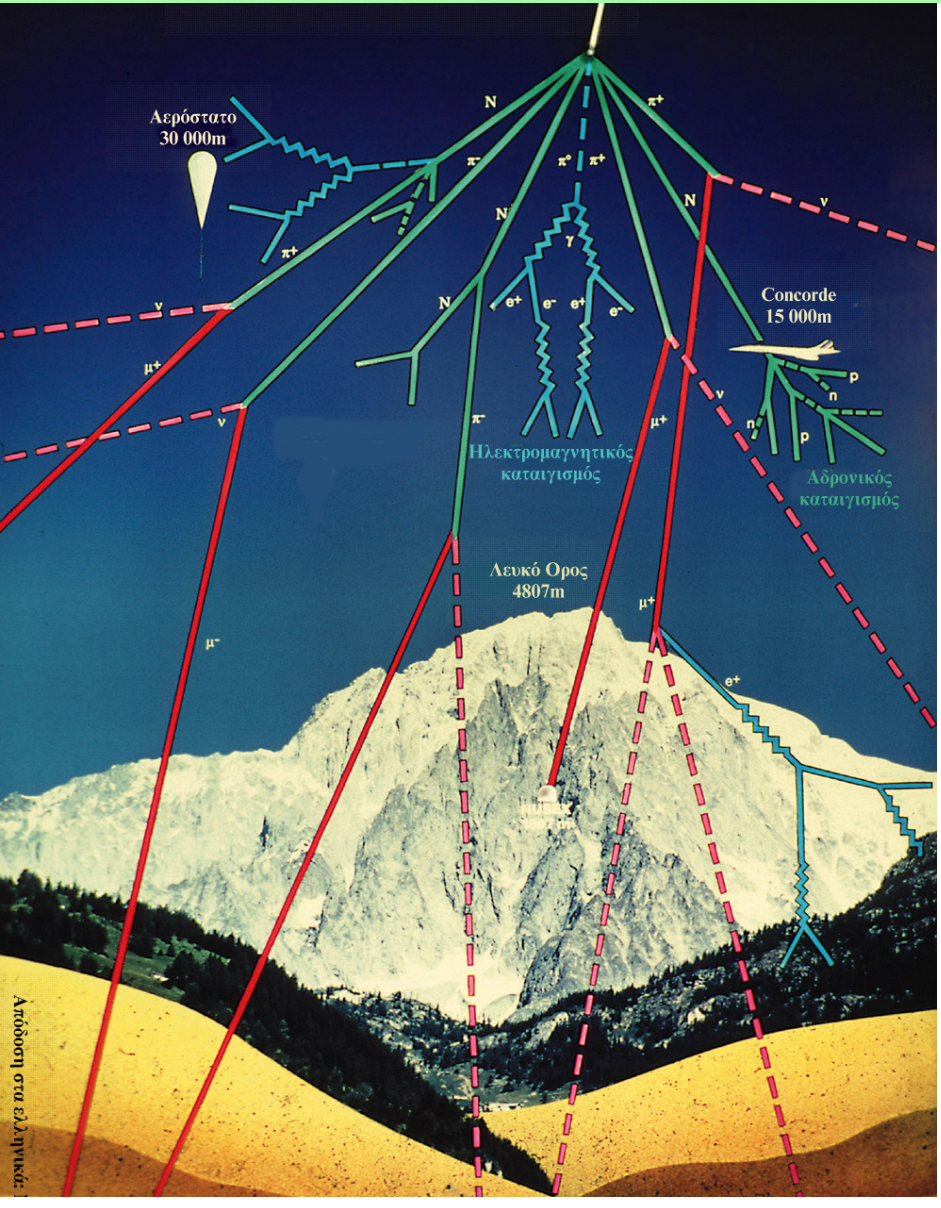
- Τι είναι η Σκοτεινή Ύλη ?
- Έχουν δομή τα quarks?
- Ποιές είναι οι ιδιότητες της πυρηνικής ύλης στην υπέρθερμη κατάσταση φάσης: quark-gluon πλάσμα?

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

Κοσμική Ακτινοβολία



Στοιχειώδη σωματίδια φτάνουν στη γή μας από το …διάστημα !

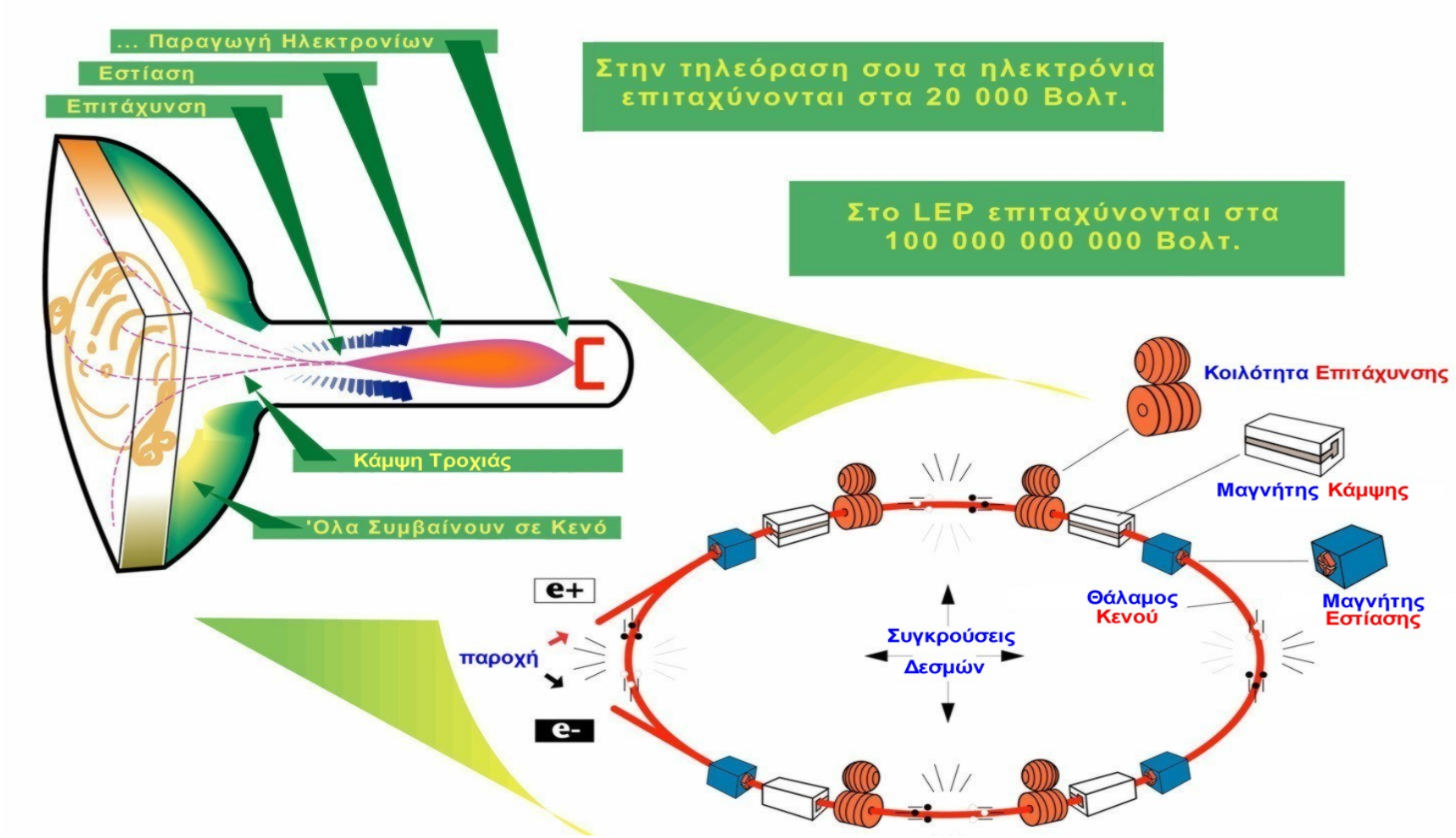
Κοσμική Ακτινοβολία

•Αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα της Γης

•Δευτερογενής παραγωγή σωματιδίων

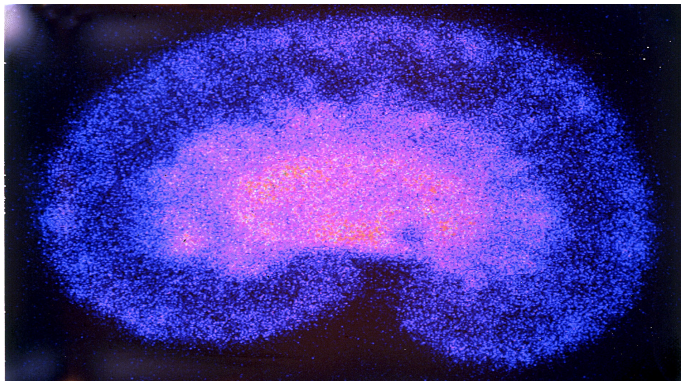
•Ηλεκτρόνια, Μιόνια, Νετρίνα βομβαρδίζουν συνεχώς την Γη

Η (παλιά) 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

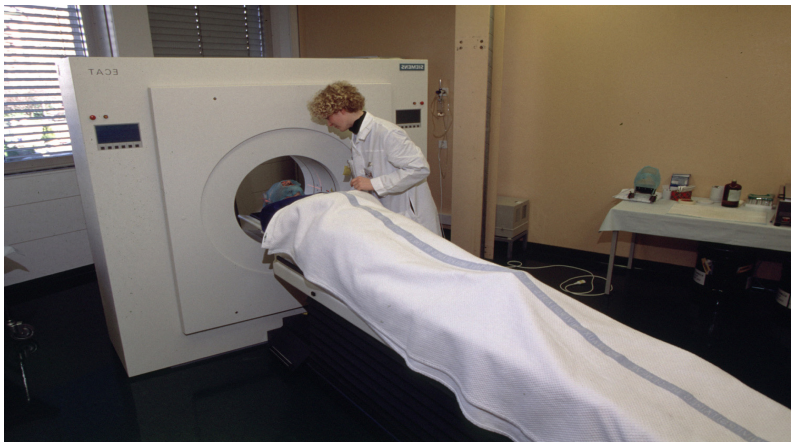


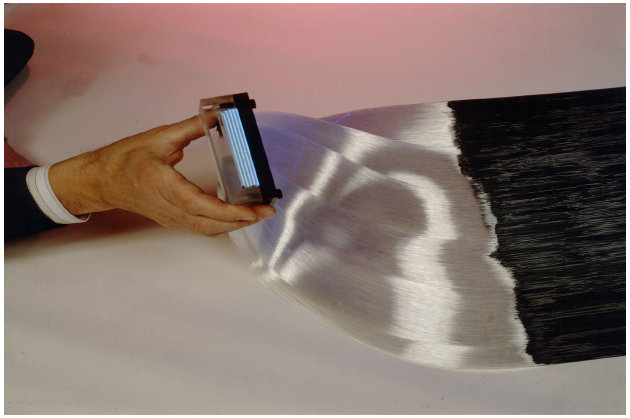
Ιατρική Φυσική:

Διαγνωστική:Τομογραφία

Θεραπεία: Ελεγχόμενη ακτινοβόληση

➠➠Ανάπτυξη τεχνολογίας ανιχνευτών





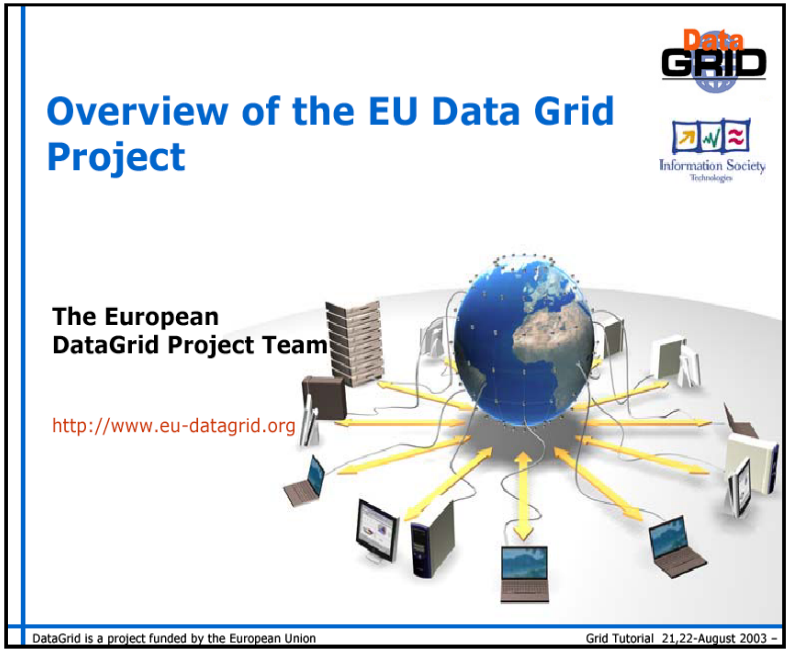
World Wide Web

Where the Web is born

Σύλληψη & Ανάπτυξη της επικοινωνίας στο διαδίκτυο

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

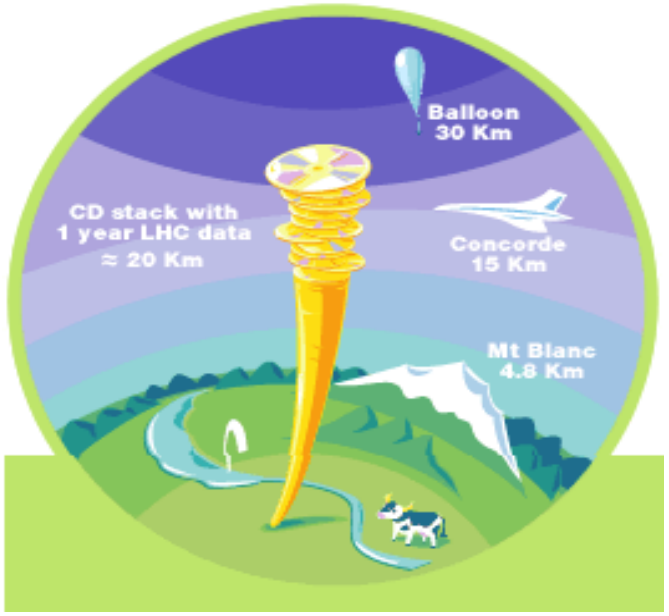
Τεχνοβλαστοί-Εφαρμογές της έρευνας για τα στοιχειώδη σωματίδια



Πληροφορική:

Ανάπτυξη της ΠλεγματικήςΤεχνολογίας: GRID

Ο Παγκόσμιος Ιστός Υπολογιστικής Ισχύος και Αποθηγευτικού χώρου

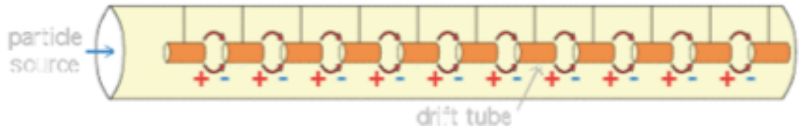


Εκμετάλλευση των παγκόσμια διαθέσιμων Υπολογιστικών Πόρων

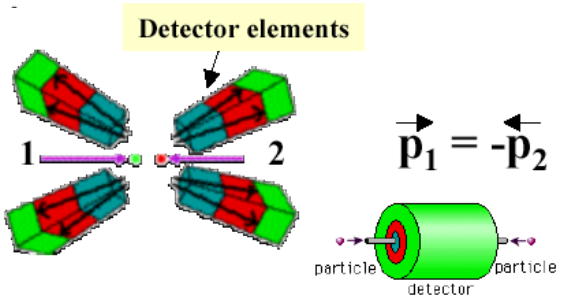
Οι Επιταχυντές Σωματιδίων σήμερα

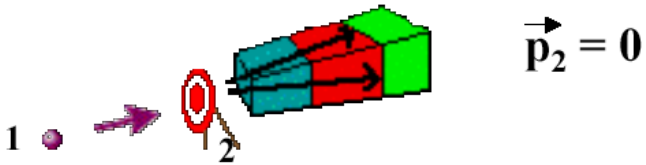
- Επιταχύνουν σωμάτια σε πολύ μεγάλες ενέργειες➠ μικρό μήκος κύματος (Θυμηθείτε: κανουμε Πειράματα σκέδασης **λ=h/p)**

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

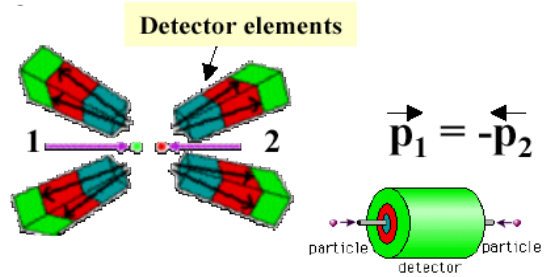


- Στη δεκαετία του 60 οι επιταχυντές ήταν “σταθερού στόχου”: τα ηλεκτρόνια προσέπιπταν σε ένα στόχο (πρωτόνια) και έχαμε παραγωγή νέων σωματίων
  - Έτσι ανακαλύφθηκαν τα quarks....





Οι Επιταχυντές Σωματιδίων σήμερα



- Ο μεγαλύτερος επιταχυντής μέχρι το 2009 στο Fermilab:

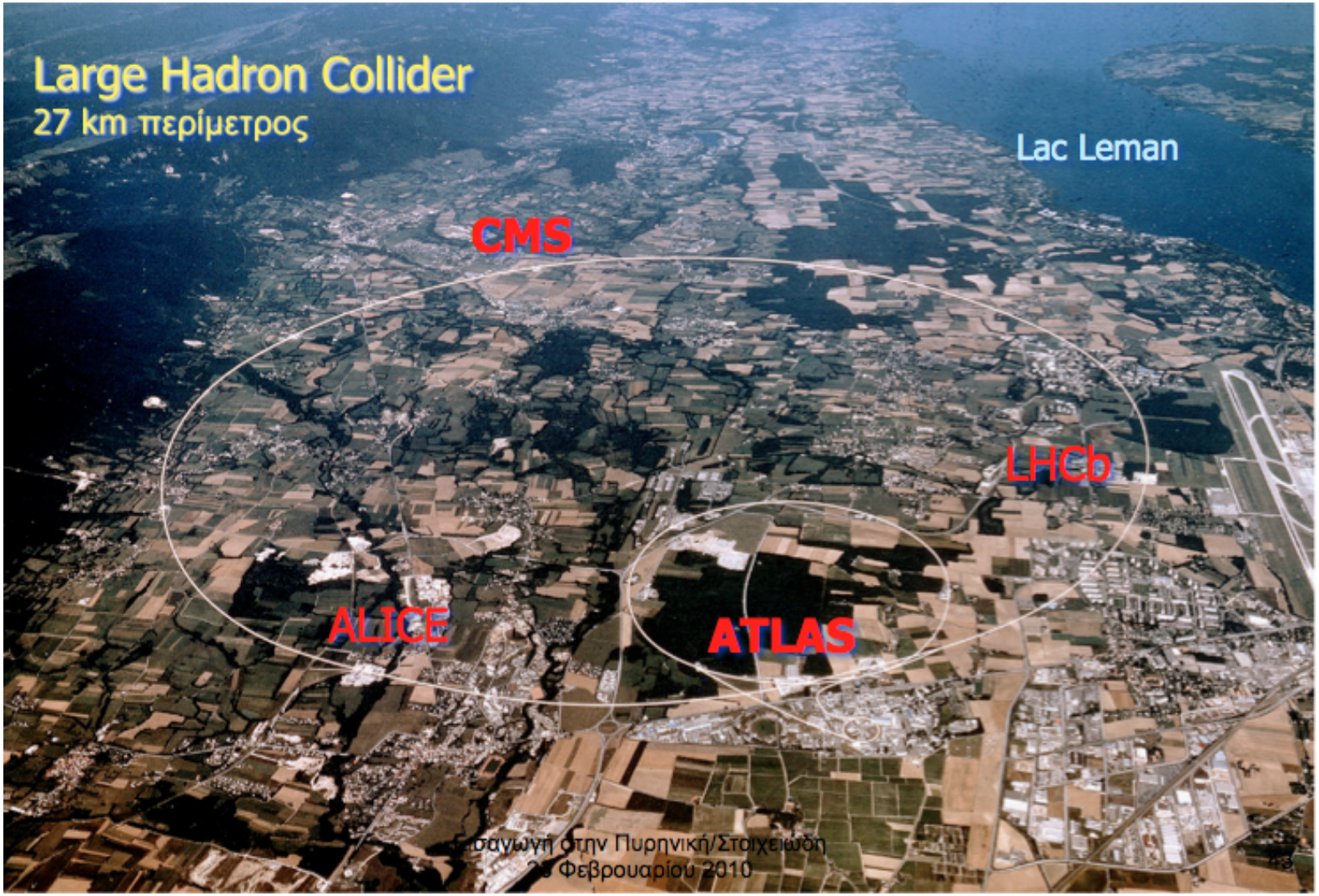
7km proton-antiproton

Σήμερα….

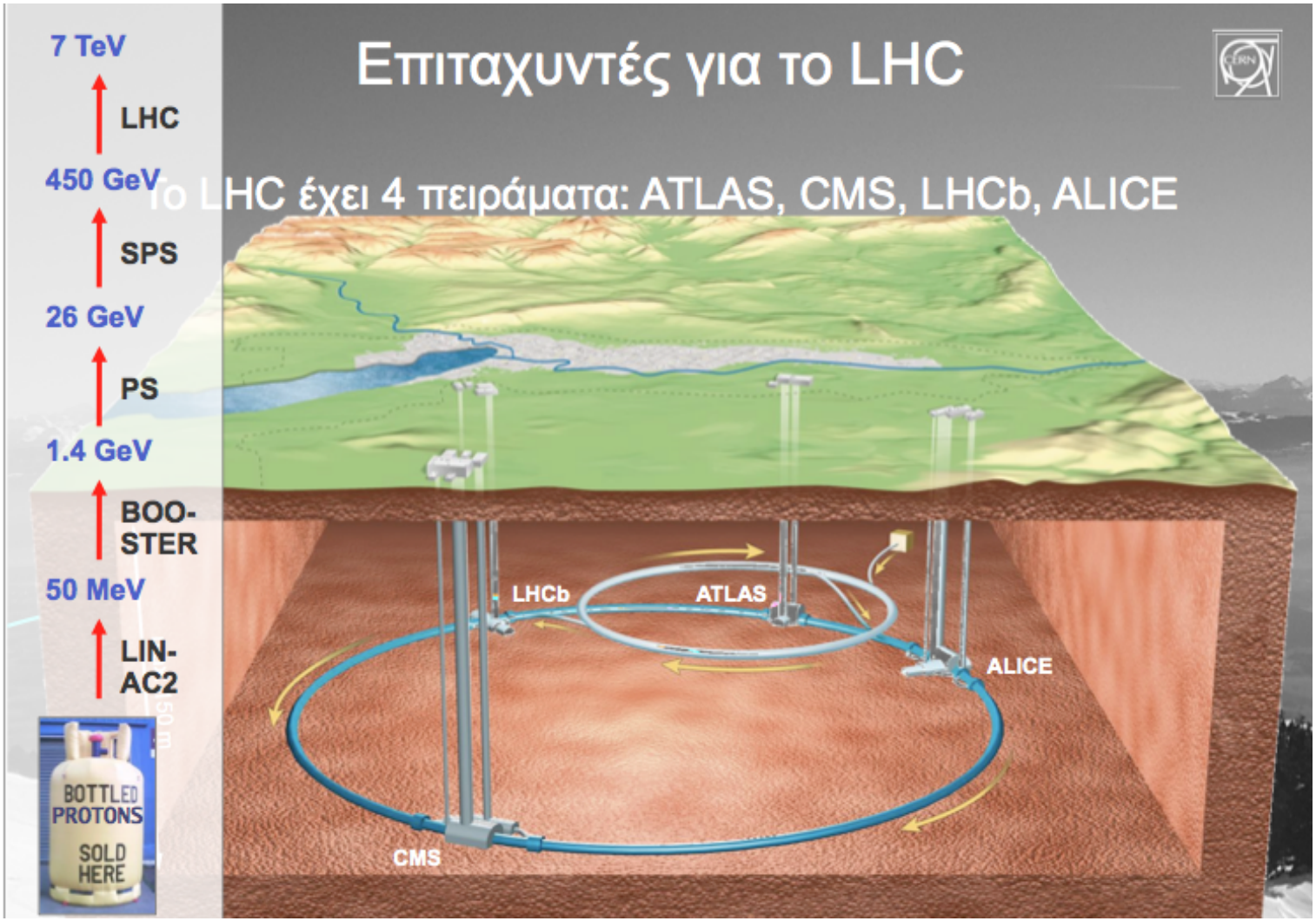
- **Ένα από τα σημαντικότερα εγχειρήματα στην ιστορία της Φυσικής** συμβαίνει στο CERN, το μεγαλύτερο στον κόσμο Εργαστήριο Σωματιδιακής Φυσικής,

- ξεκίνησε **τον Νοέμβρη του 2009**.

Το LHC στο CERN



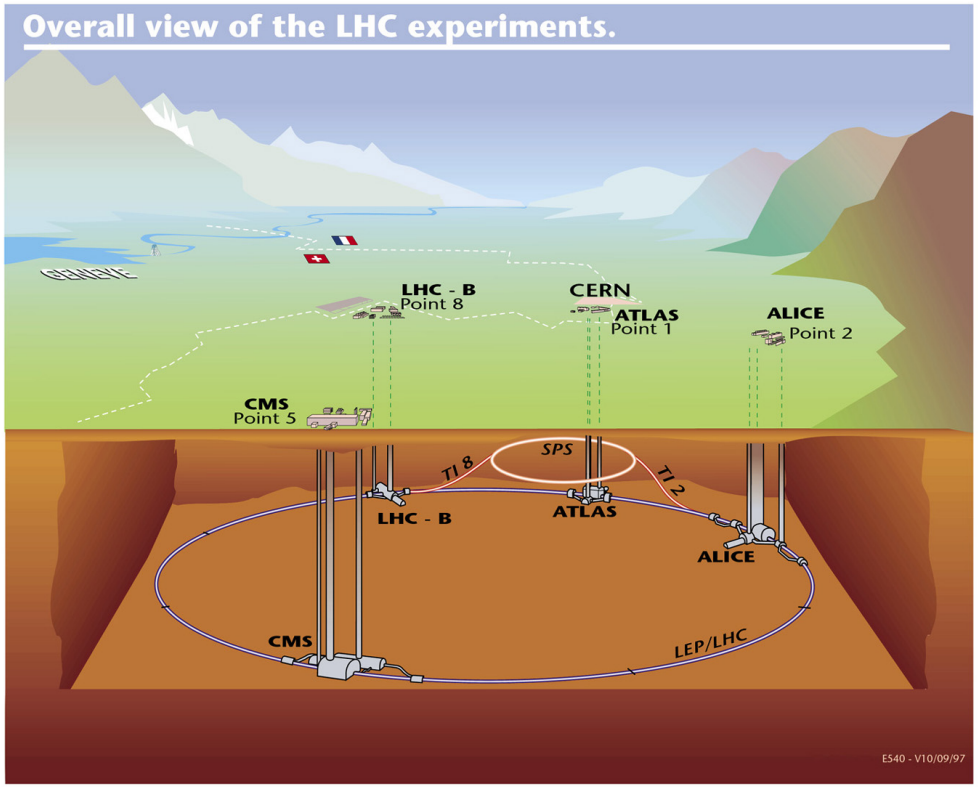
Το LHC στο CERN

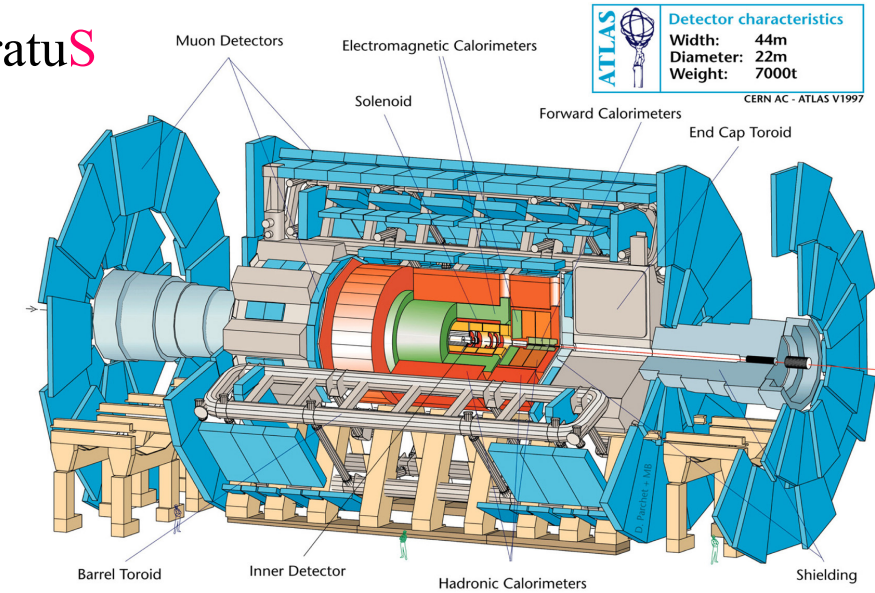


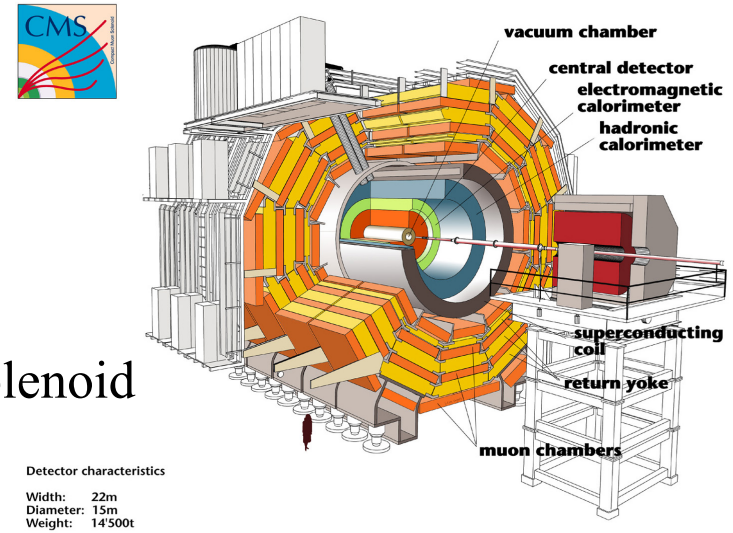
Το LHC στο CERN

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

ATLAS A Toroidal LHC ApparatuS





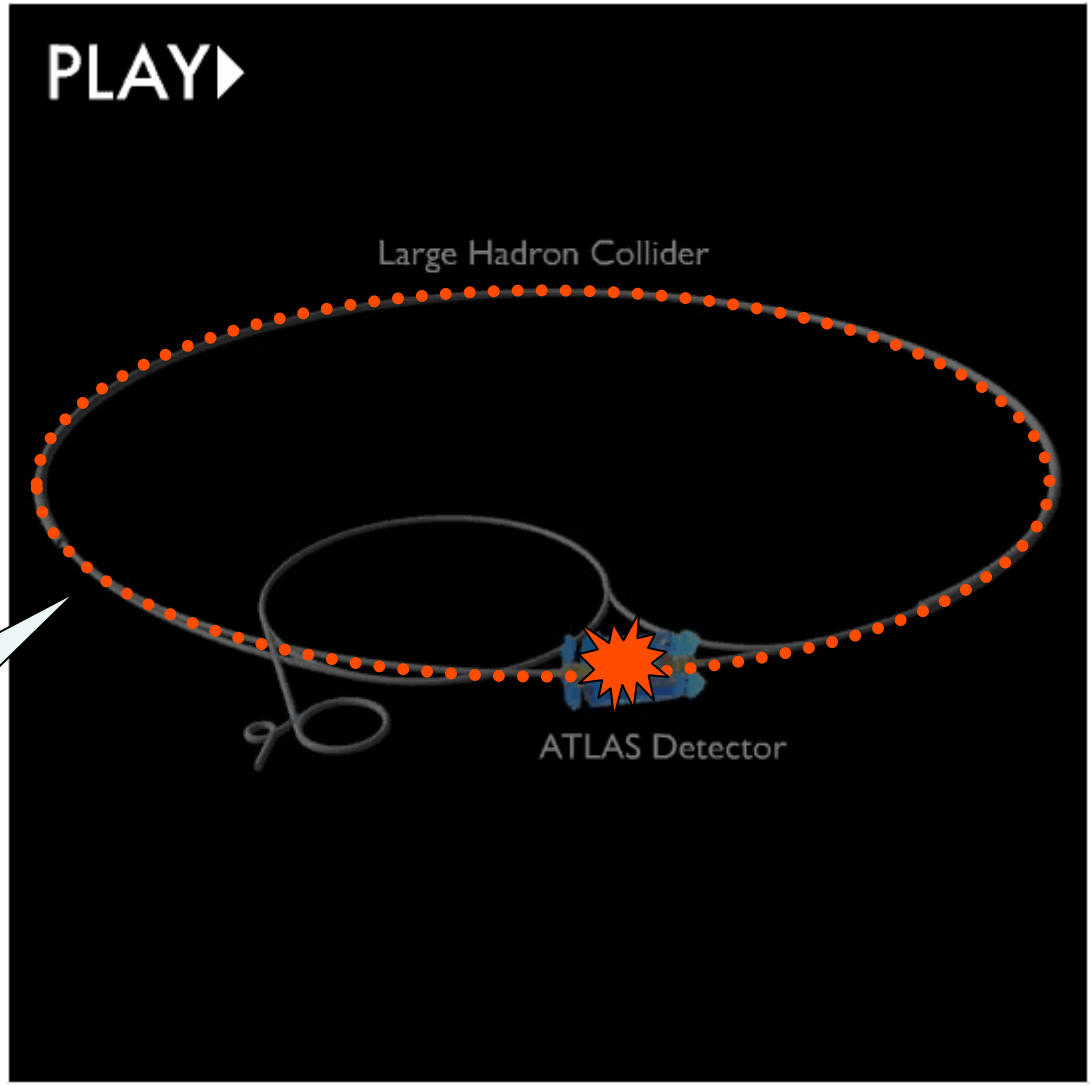


CMS Compact Muon Solenoid

LHC

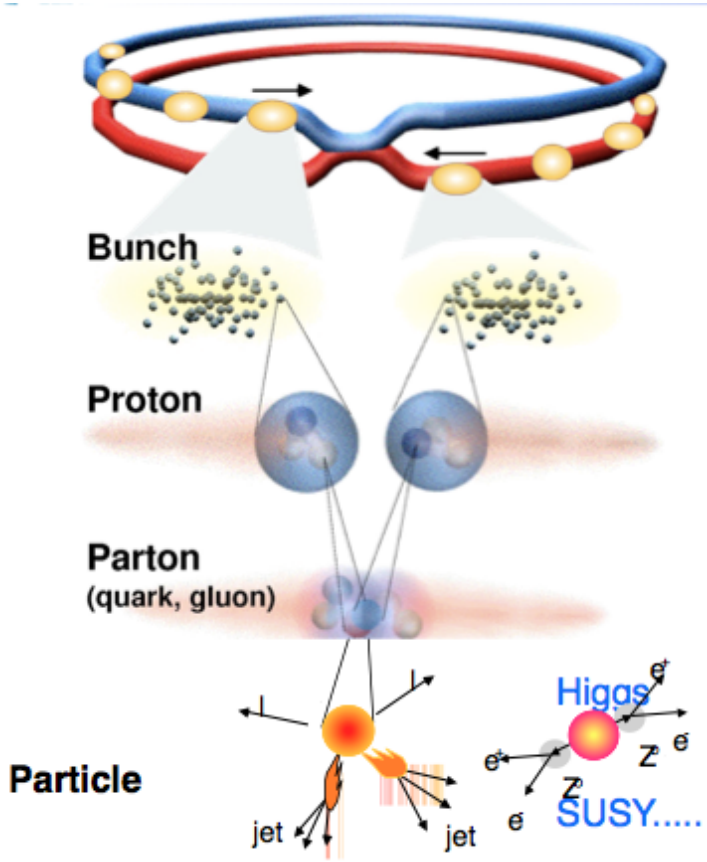
Πρέπει να ανιχνεύσουν όλα τα σωματίσια που παράγονται στην σύγκρουση

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}

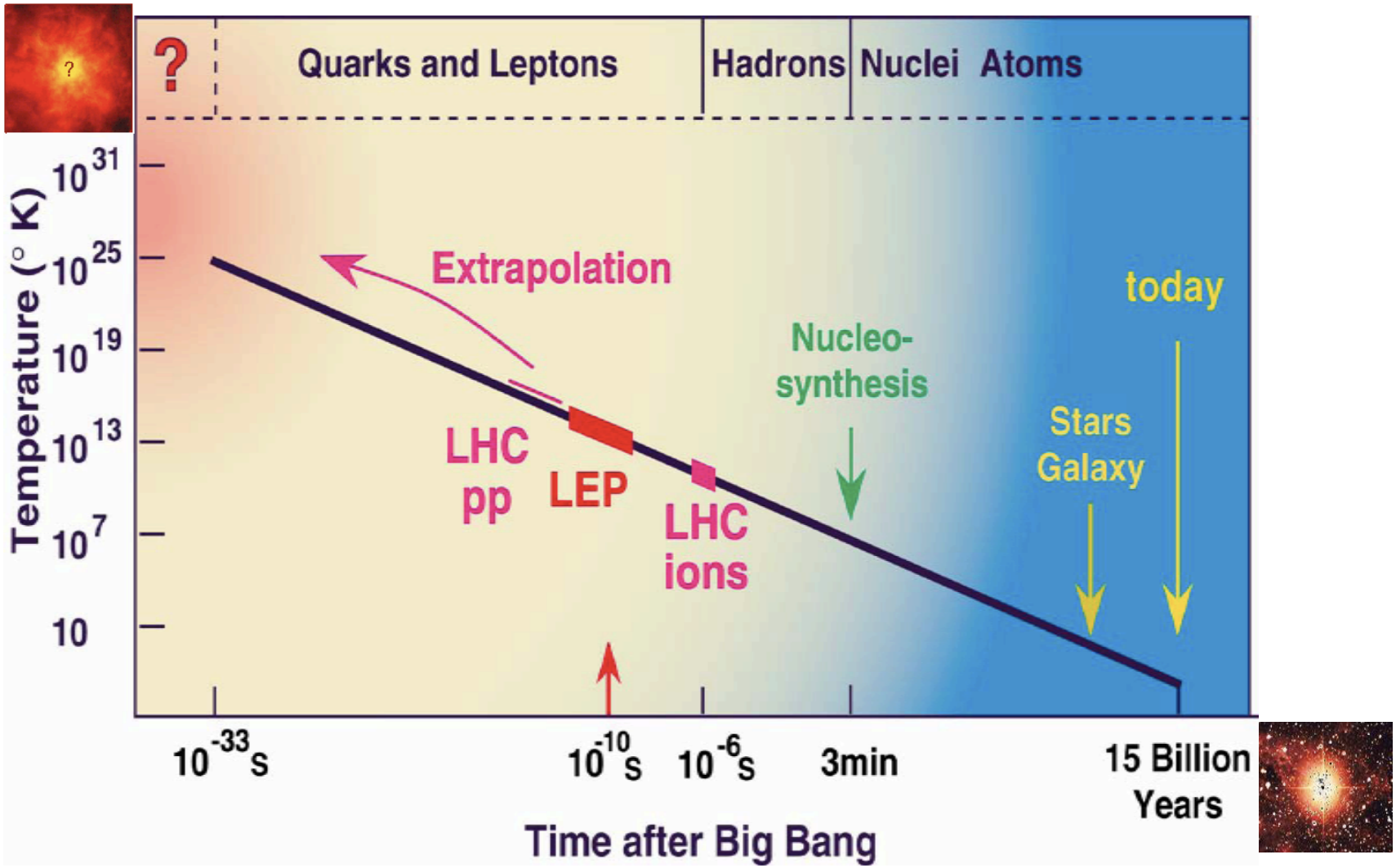
Ρυθμός παραγωγής νέας Φυσικής ≈ .00001 Hz

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

Απο τα πειράματα Στοιχειωδών Σωματιδίων μαθαίνουμε για το Σύμπαν

Ενοποίηση?

Ηλεκτρασθενείς



Οι Συγκρούσεις στο LHC (προσομοίωση)

Και αυτό επαναλαμβάνεται κάθε 25ns !

Αλληλεπιδράσεις ανά διασταύρωση:

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

$\sigma(pp) = 70$ mb

→ $R_{interactions} = 7\times10^{8}$ Hz

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

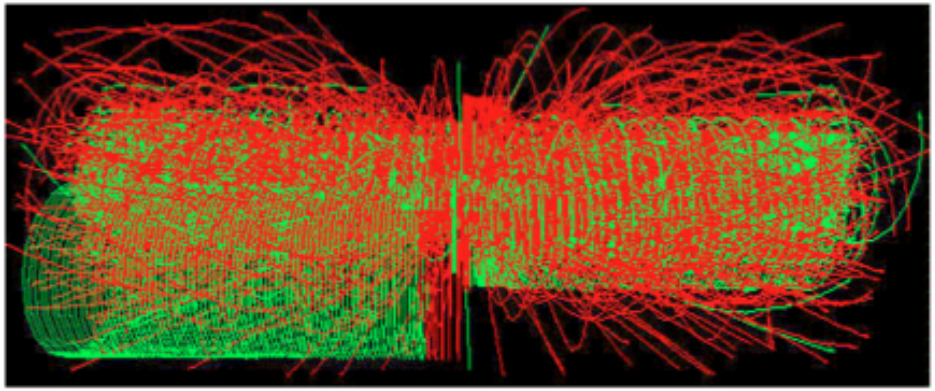
Interactions/BC=17.5

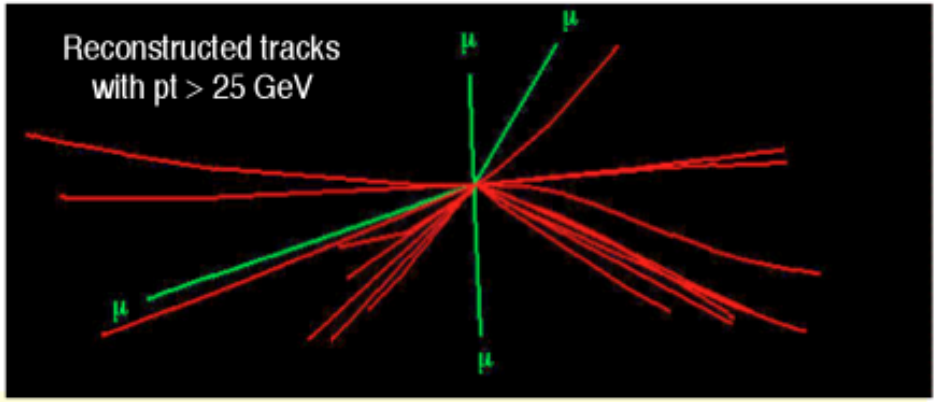
80% bunches full: 17.5x5/4 = 23

~ υπέρθεση 20 γεγονότων!

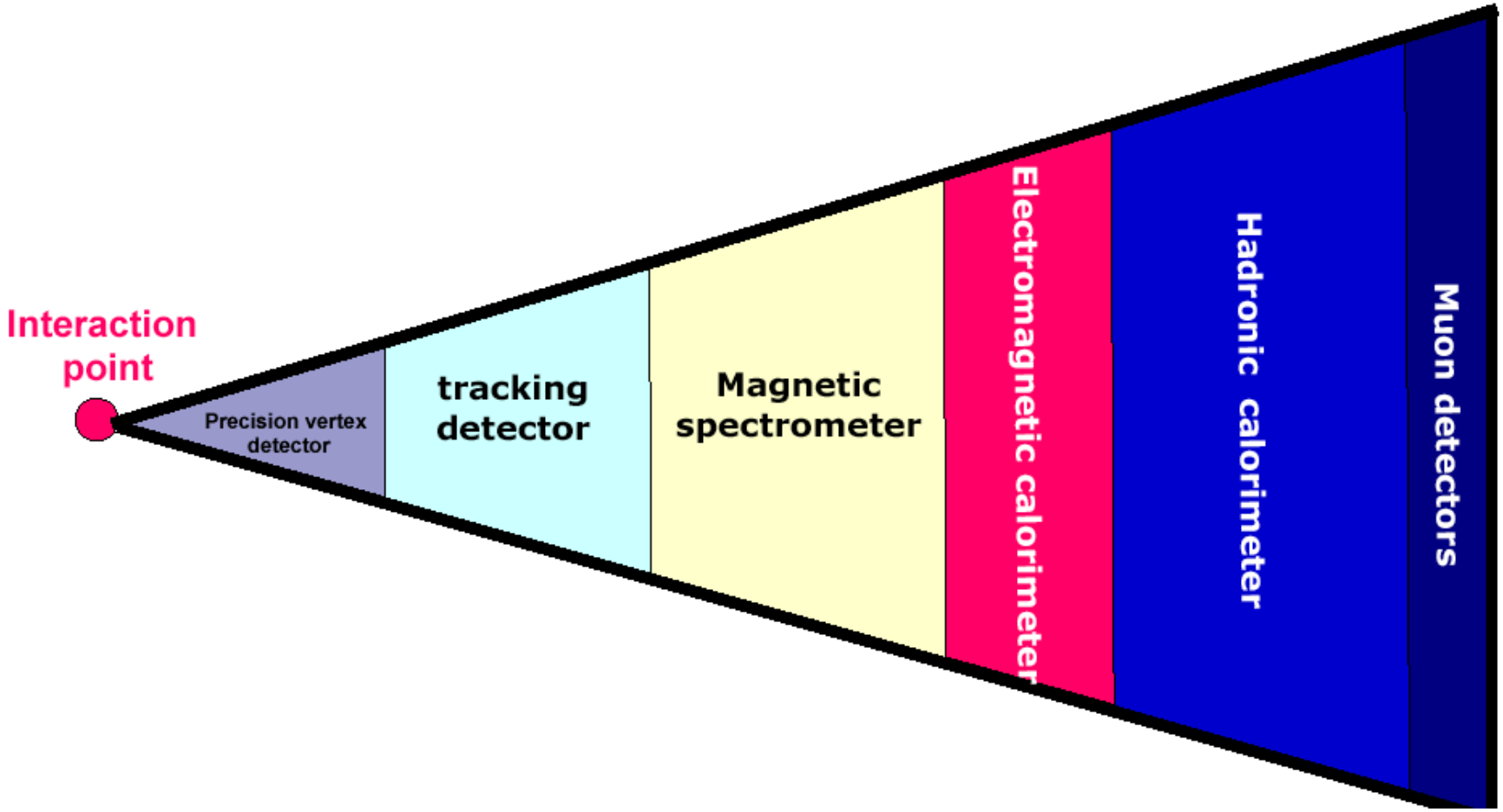
Παράδειγμα: η «χρυσή» υπογραφή του Higgs:

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

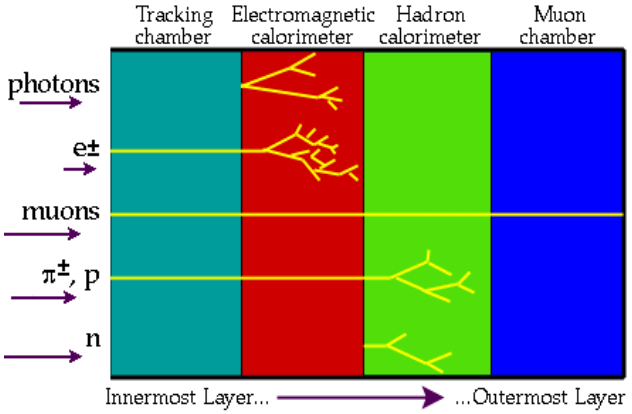


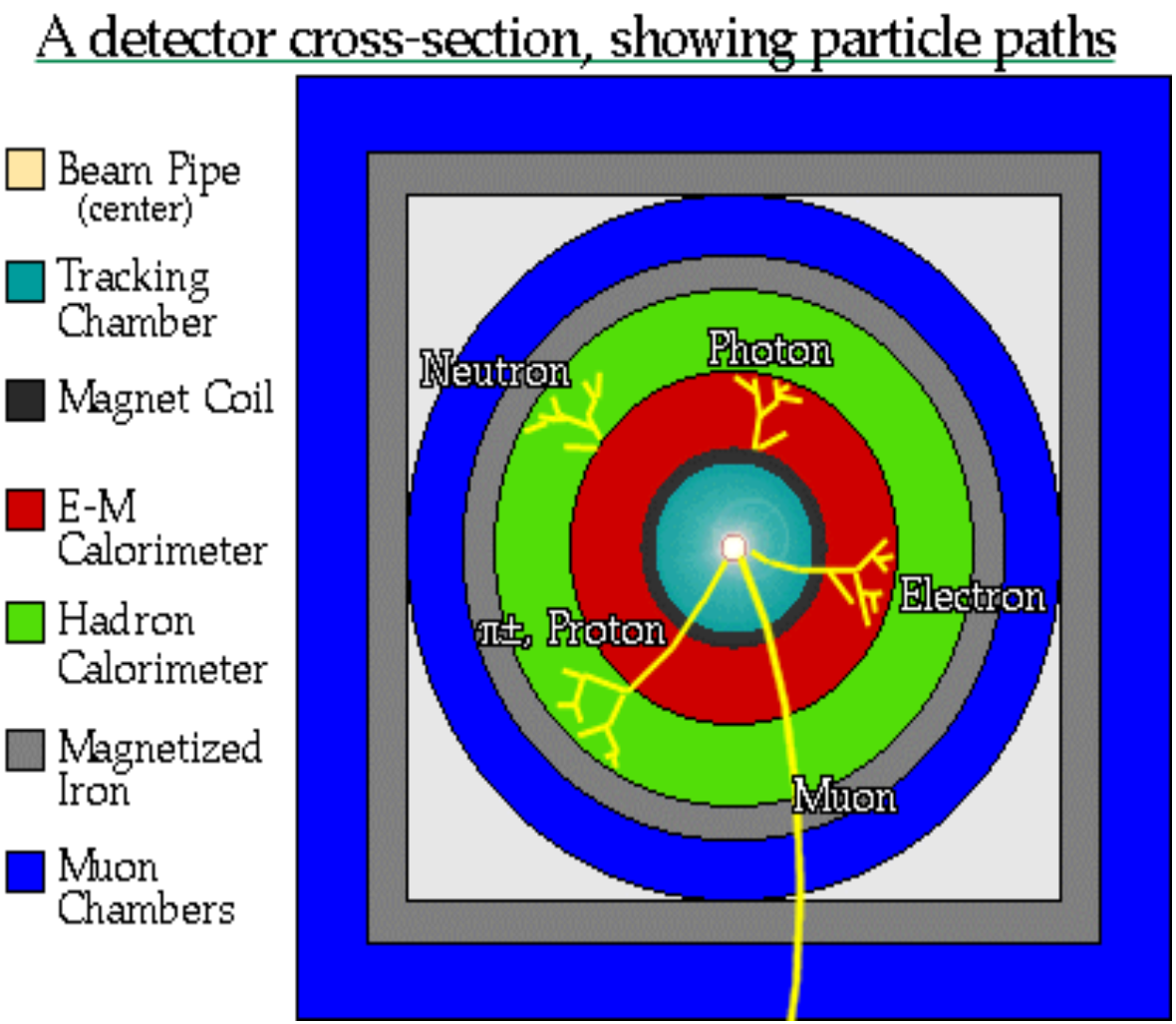


Τυπική σειρά ανιχνευτών σε πειραματική διάταξη



Αλληλεπίδραση διαφόρων σωματιδίων με διάφορα είδη ανιχνευτών



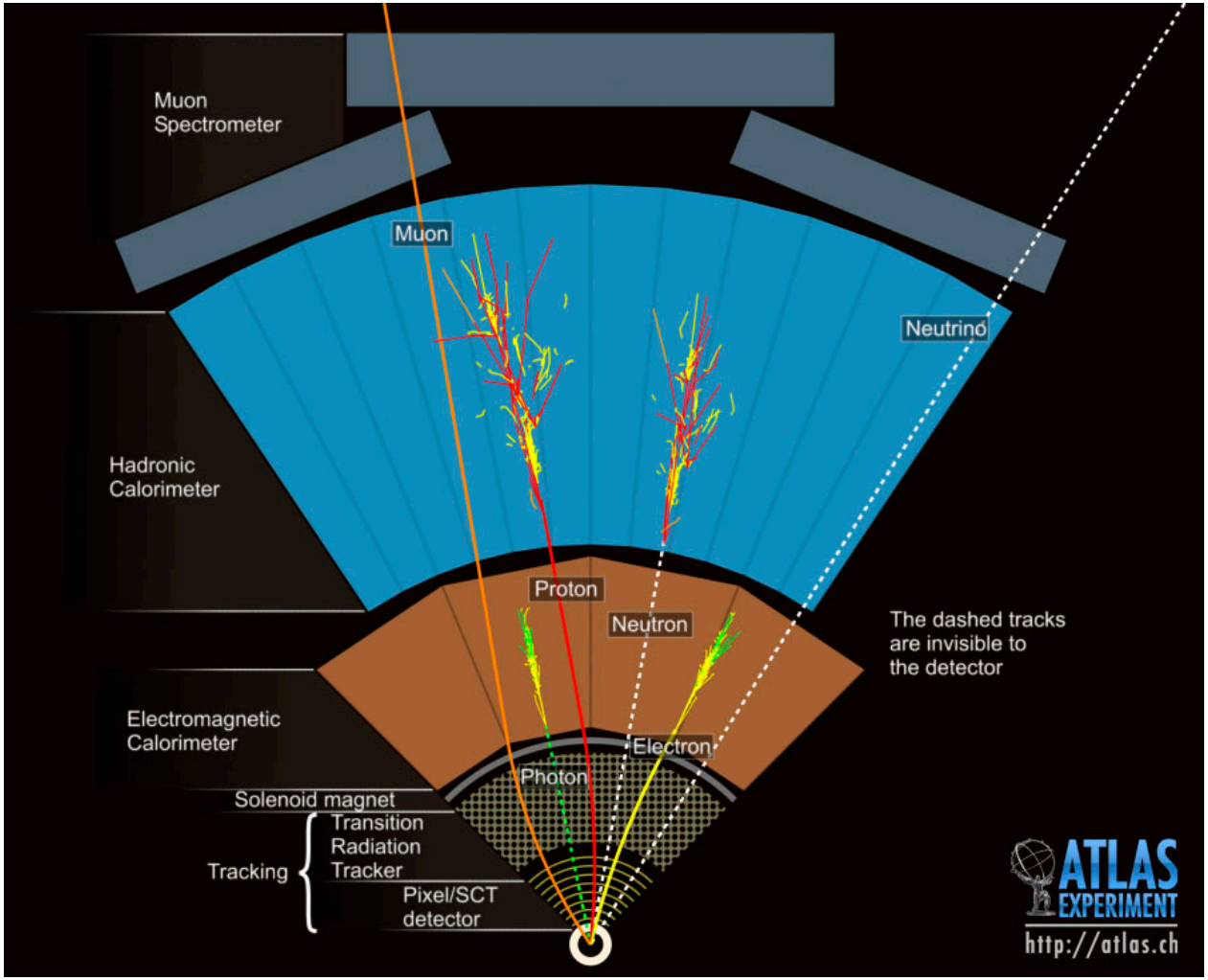


Η θέση των διαφόρων τύπων ανιχνευτών σ' ένα πείραμα συγκρουόμενων δεσμών

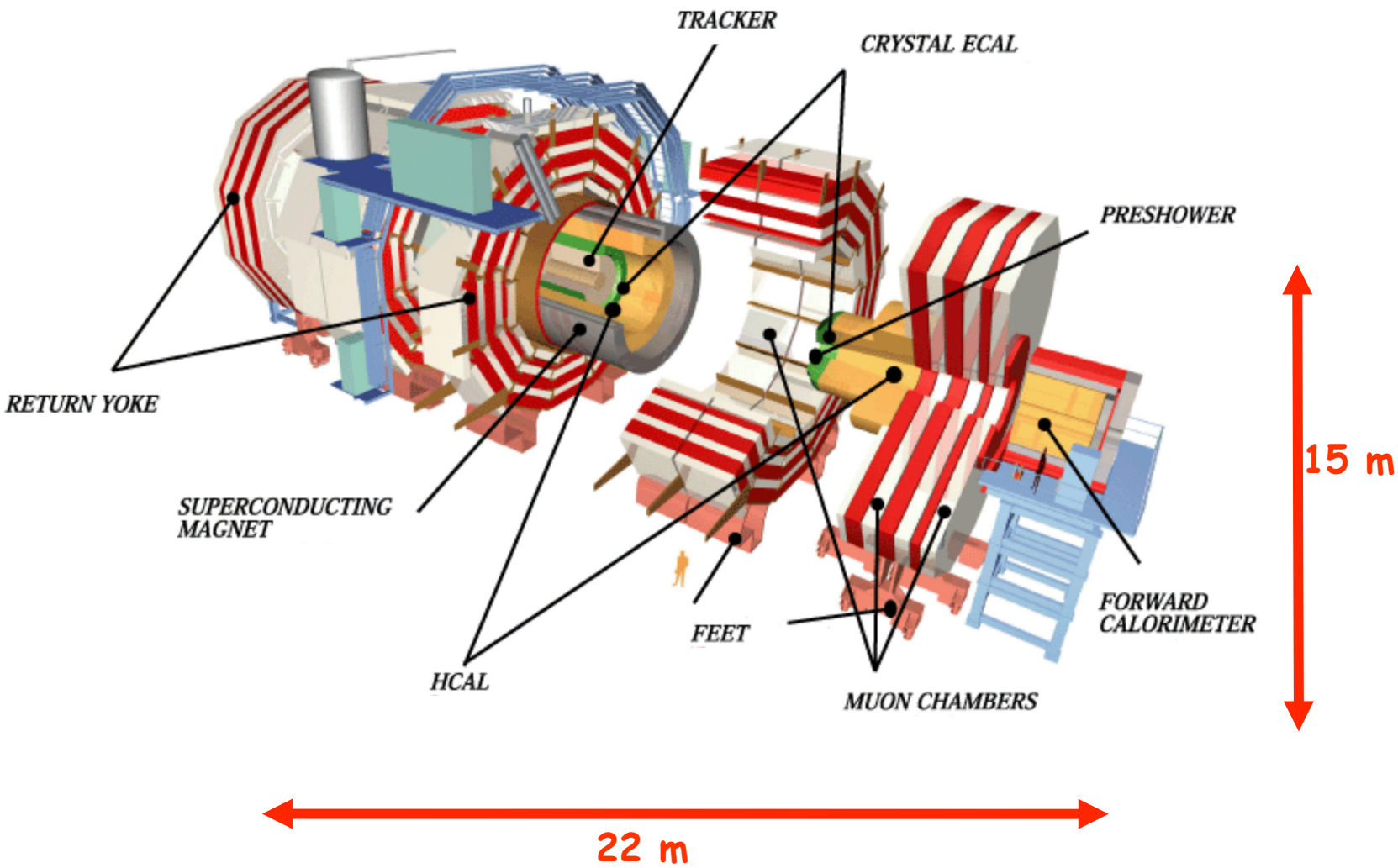
Ανίχνευση σωματιδίων

Κάθε τύπος σωματιδίου (e- , γ, μ) έχει χαρακτηριστική αλληλεπίδραση με τα διάφορα στρώματα του ανιχνευτή

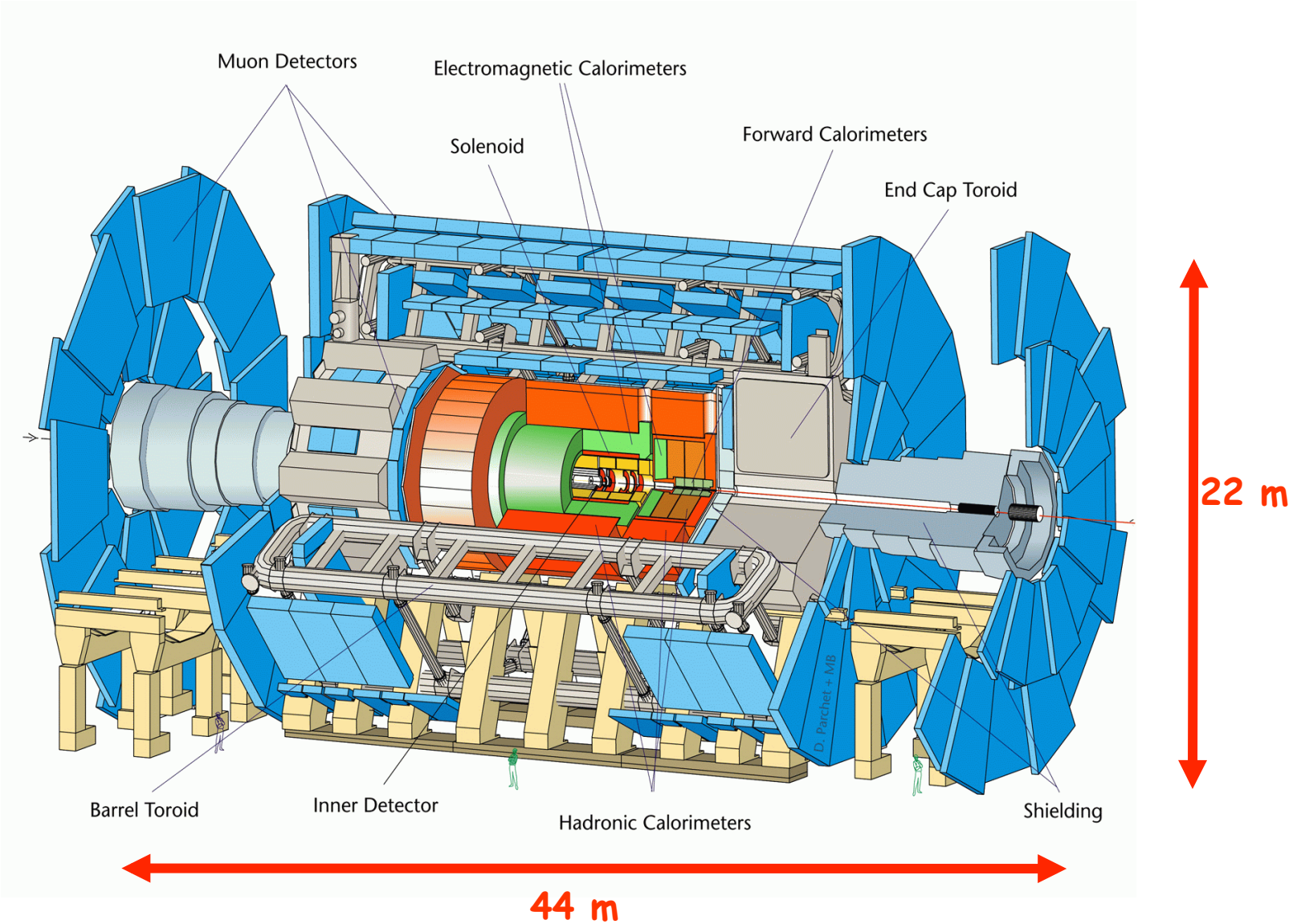
Η θέση των διαφόρων τύπων ανιχνευτών σ' ένα πείραμα συγκρουόμενων δεσμών



Compact Muon Spectrometer, CMS



A Toroidal LHC ApparatuS , ATLAS



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 5600 m^2

- Συνεργασία τριών Πανεπιστημίων

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

Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

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

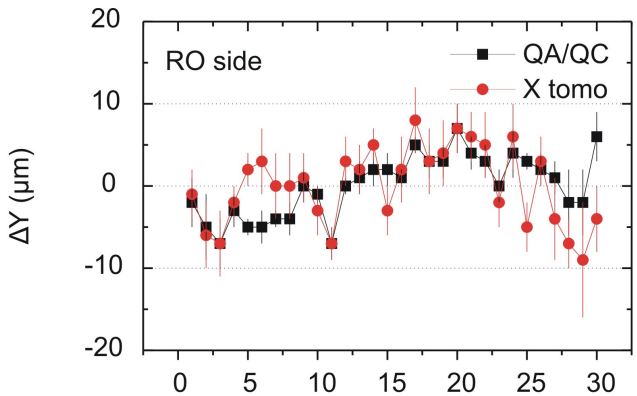
- Μια σύντομη περιήγηση στους χώρους του εργαστηρίου

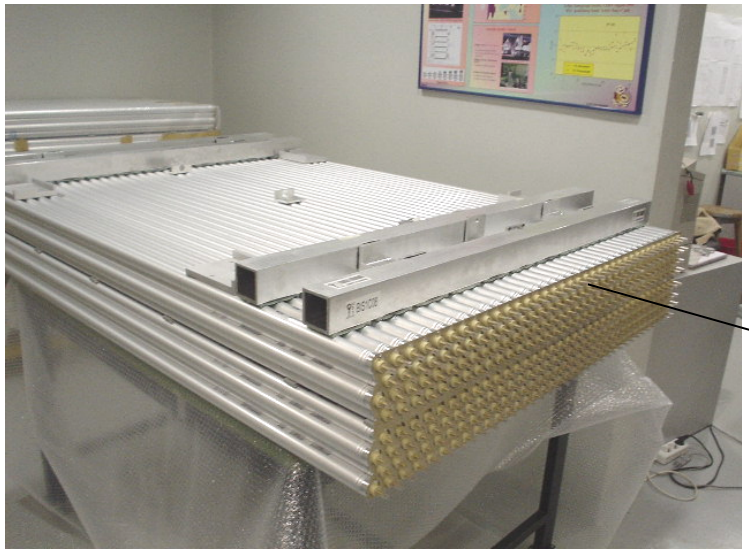
Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών

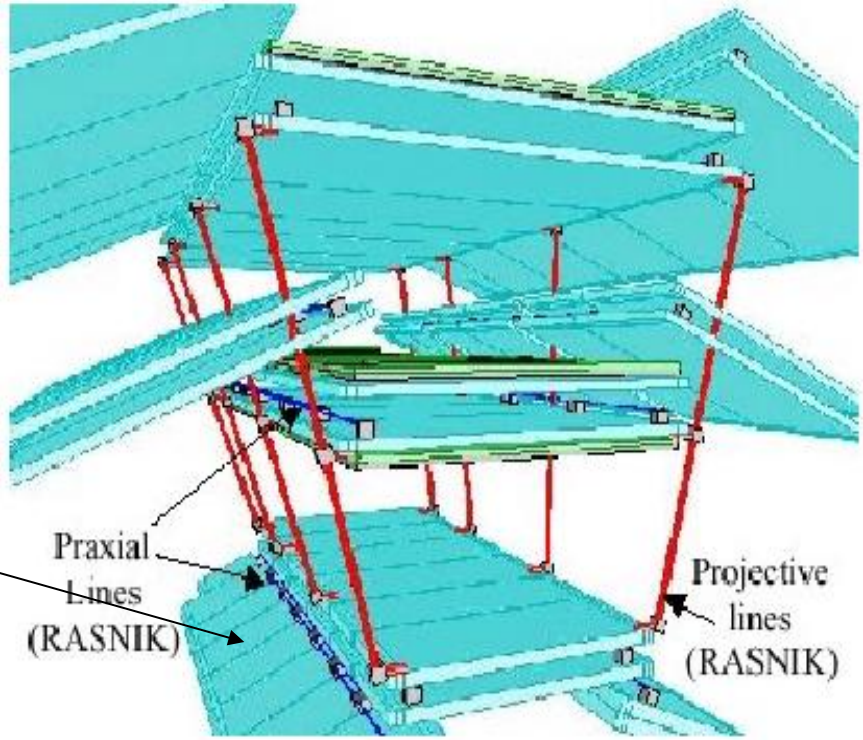
Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

- Η Πρόκληση (1) :

Κατασκευή ανιχνευτών με ακρίβεια μερικών μικρών (μm)



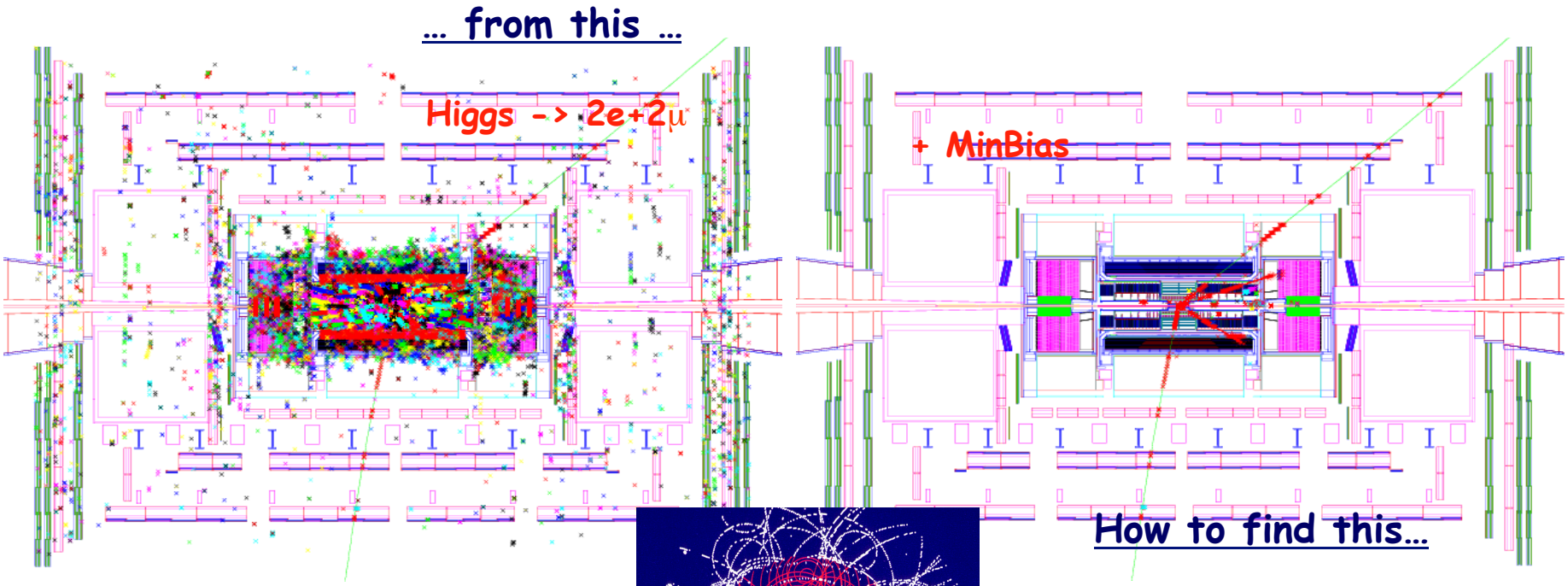




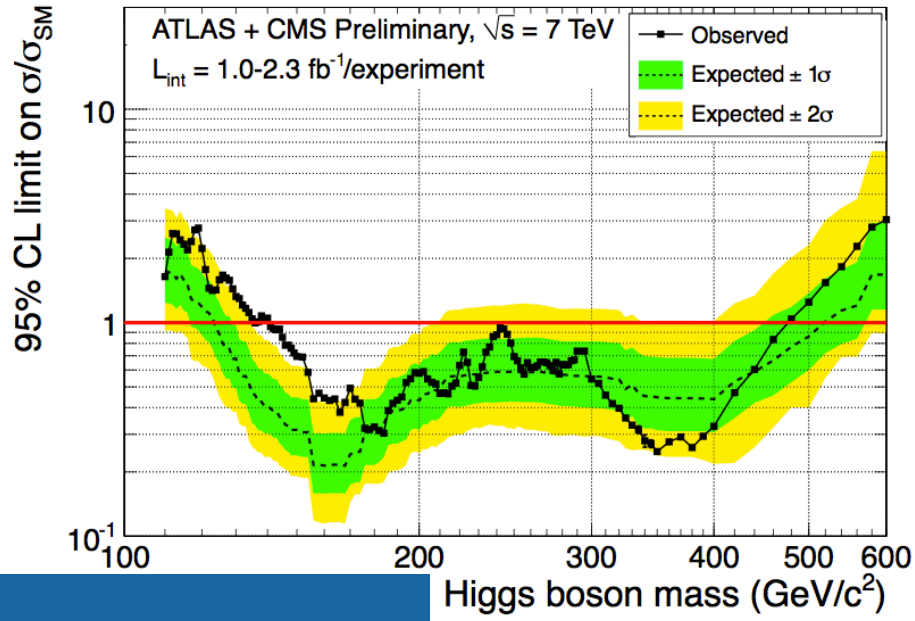
Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

Ο στόχος-πρόκληση (ΙΙ) :

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



Τα πρώτα αποτελέσματα για το σωματίδιο Higgs Δεκέμβριος 2011!



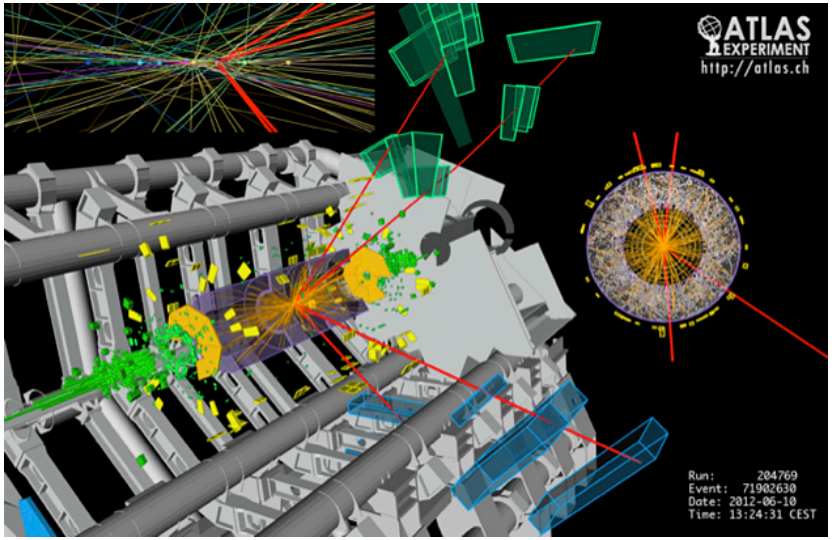
CERN PUBLIC SEMINAR

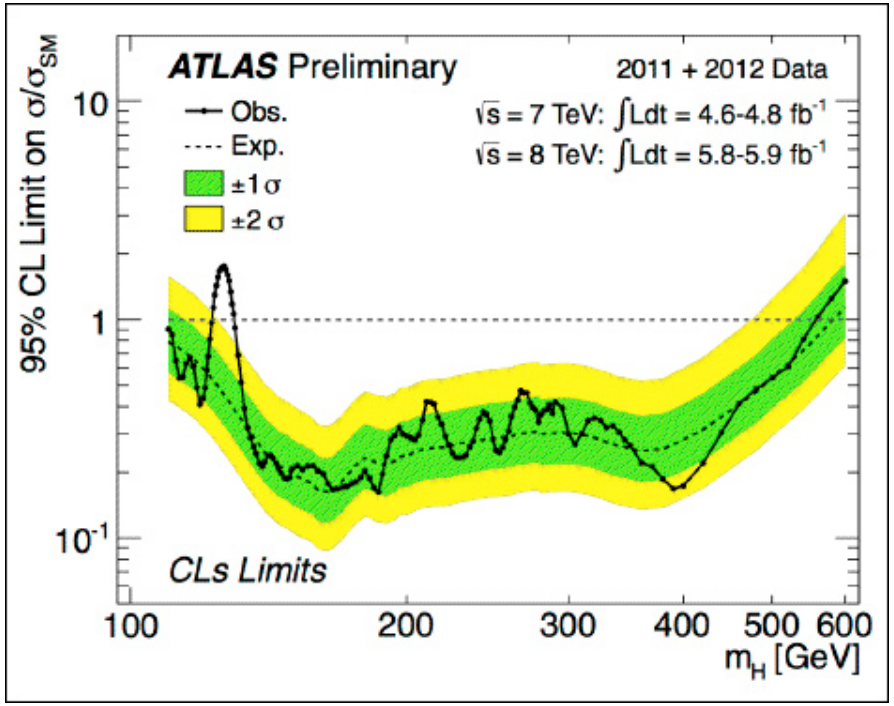
Tuesday, 13 December 2011 from **14:00** to **16:00** (Europe/Zurich)
at **CERN (Main Auditorium)**

Tuesday, 13 December 2011

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

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





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

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

Ανακεφαλαίωση

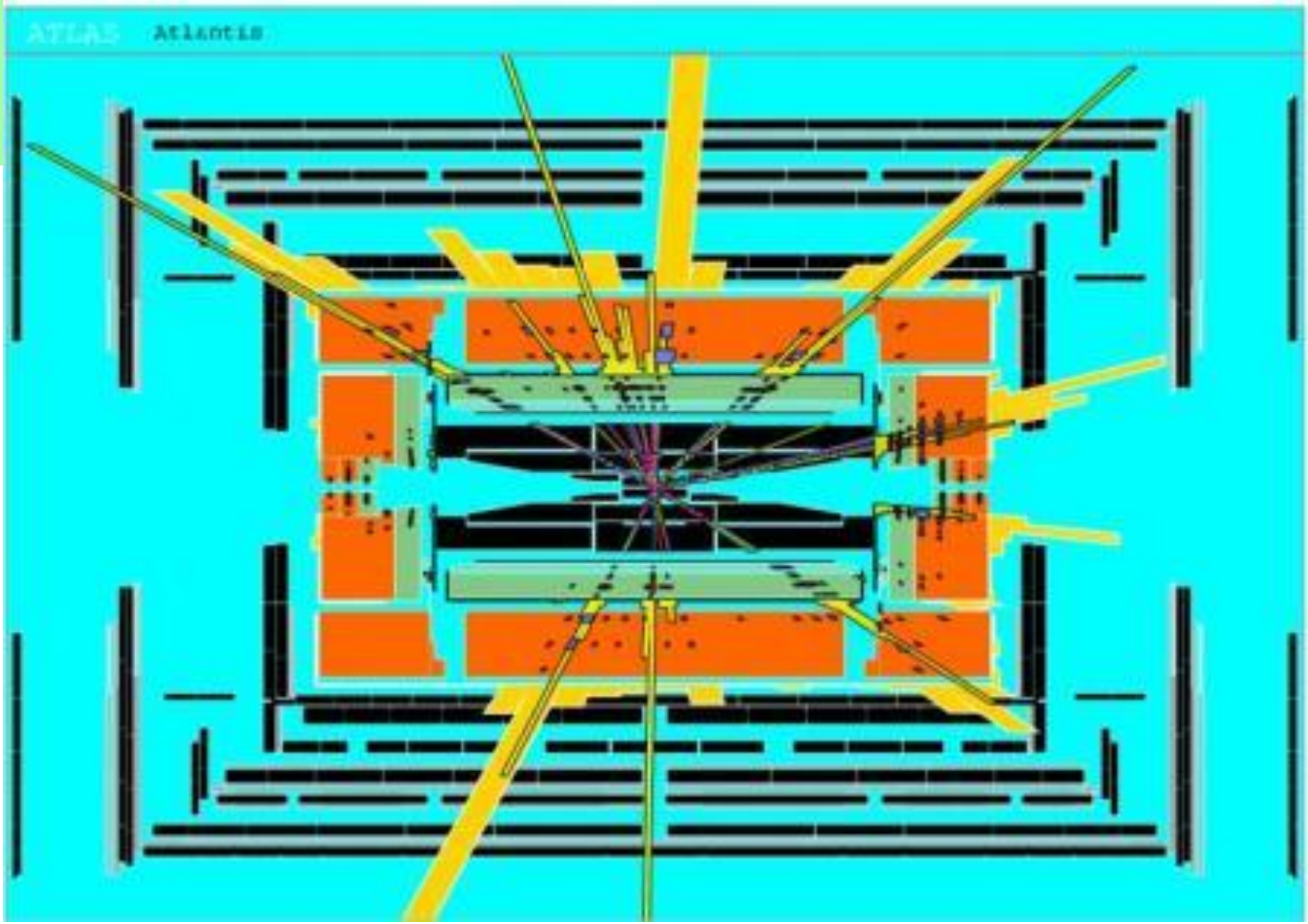
- Η Φυσική του Μικρόκοσμου έχει σημειώσει τεράστια πρόοδο στην τελευταία δεκαετία

- 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

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

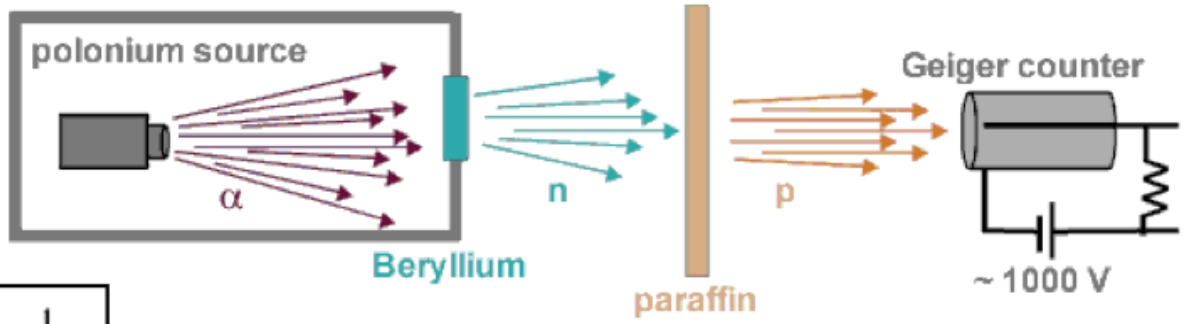
Ο ανεξιχνίαστος Κόσμος του απειροστού σας περιμένει για να σας αποκαλύψει τα μυστικά του Απείρου, του Σύμπαντος



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**



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

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)**