

Εισαγωγή στη Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Δήμος Σαμψωνίδης
(12-12-2018)

Στοιχεία Πυρηνικής Φυσικής & Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων
5 ο Εξάμηνο

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
 - Σωματία & Αντισωματία

Τι θα μάθουμε (II)

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

Τι θα μάθουμε (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, Κβαντικοί αριθμοί Στοιχειωδών Σωματιδίων, Ισοσπίν (Ισοτοπικό σπίν), Συμμετρίες και Αρχές Διατήρησης, Θεμελιώδεις Αλληλεπιδράσεις
- H.Frauenfelder,E.Henley: **Subatomic Physics**, Prentice-Hall,Inc
- W.E.Burcham & M.Jobes: **Nuclear and Particle Physics**, Longman Scientific and Technical

Εκλαϊκευμένα βιβλία για τα Στοιχειώδη Σωματίια

..... και για τα Χριστούγεννα

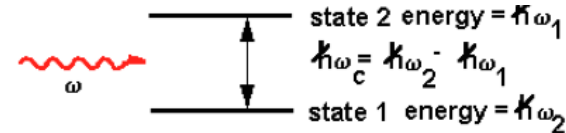
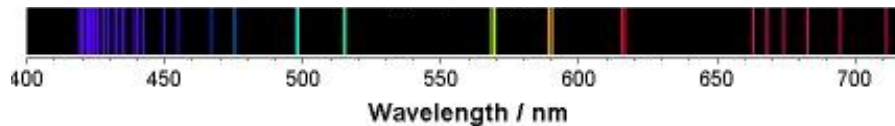
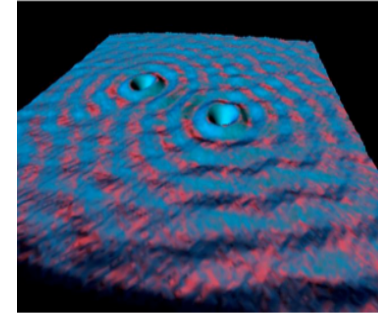
- Steven Weinberg: **The First Three Minutes** (και μεταφρασμένο)
- Steven Weinberg: **Towards the Theory of Everything**
- H.Fritsch: Quarks, **The Stuff of Matter**
- Simon Sih: **The Big Bang** (και μεταφρασμένο)
- Michio Kaku:
 - » Παράλληλα Σύμπαντα
 - » Υπερχώρος
 - » Η Φυσική του Αδύνατου
- Brian 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 θεωρίες/μοντέλα της συμπεριφοράς και της δομής του πυρήνα δεν περιγράφονται με ένα ενιαίο πρότυπο
- Οι θεωρίες/μοντέλα της συμπεριφοράς και δομής των πυρήνων αλλάζουν:
 - για διαφορετικές περιοχές του Μαζικού Αριθμού A
 - για διαφορετικά είδη αλληλεπιδράσεων
- *Στα επόμενα θα εξετάσουμε –με βάση την μέχρι σήμερα γνώση για τα Στοιχειώδη Σωματίδια- την φύση των ισχυρών και ασθενών πυρηνικών (β-διάσπαση) δυνάμεων και την σχέση τους με τις οικείες ηλεκτομαγνητικές δυνάμεις*

Η Κβαντομηχανική είναι η μηχανική του μικρόκοσμου

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

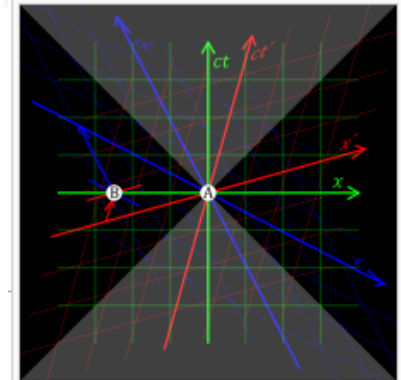


- Η Κβαντική Μηχανική περιλαμβάνει:
 - Την εισαγωγή των Τελεστών – Σχέση Τελεστών και Φυσικών μεγεθών (Ιδιότητες των φυσικών μεγεθών στην Κβαντομηχανική)
 - Την μαθηματική περιγραφή των υλικών κυμάτων (εξίσωση Schroedinger)
 - Την πυκνότητα πιθανότητας (στατιστική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης) και τη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

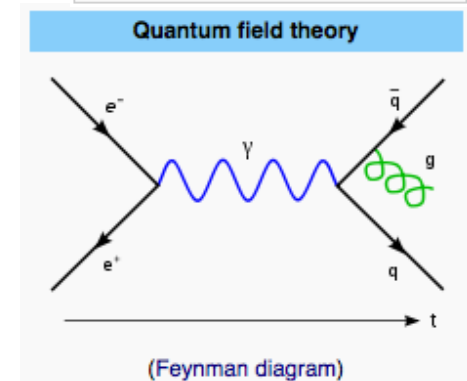
Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας

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

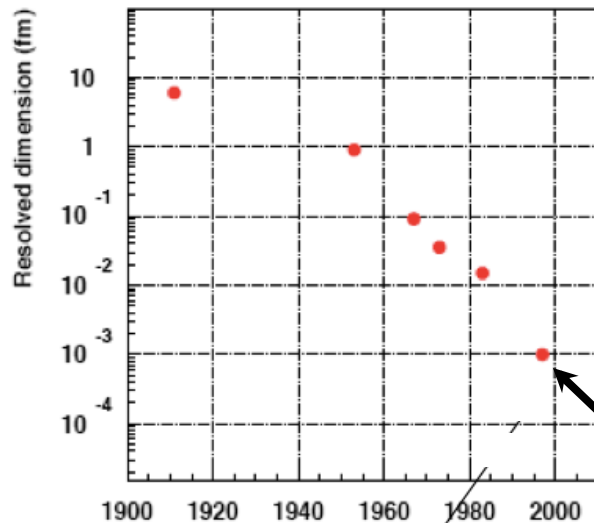
	Small →	
	Classical mechanics	Quantum mechanics
Fast ↓	Relativistic mechanics	Quantum field theory



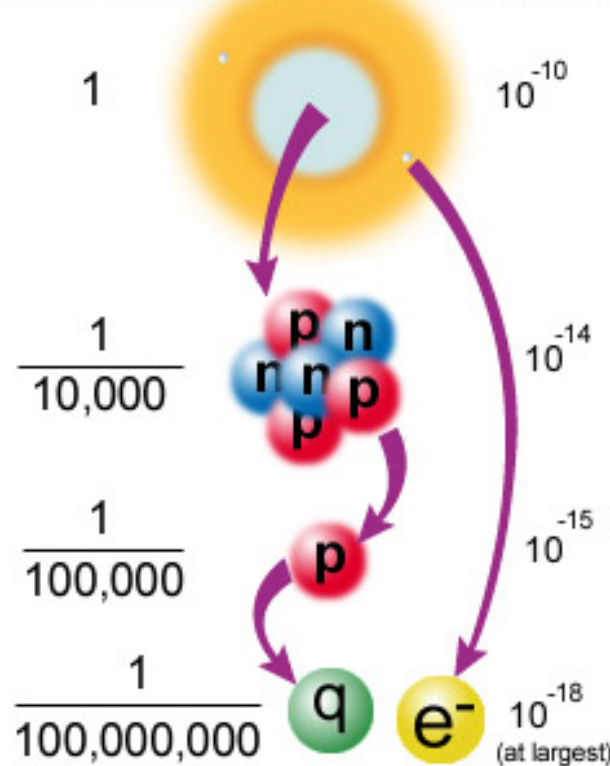
Event B is simultaneous with A in the green reference frame, but it occurred before in the blue frame, and will occur later in the red frame.



Απο τα νουκλεόνια στα quarks



size in atoms and in meters

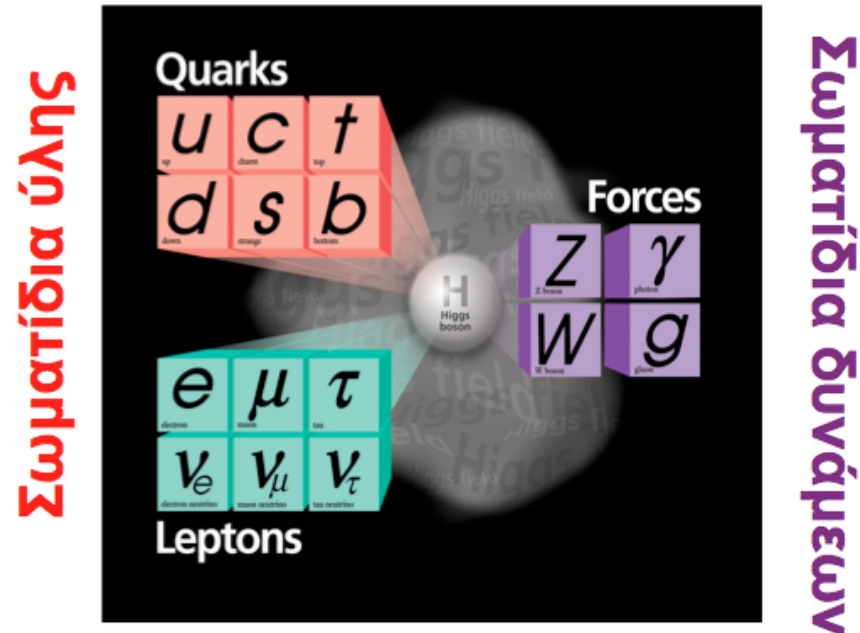


- Άτομο: Πυρήνας+ e
- Πυρήνας: p+n
- p,n: quarks+ gluons
- quarks: ??? Είμαι θεμελιώδη?

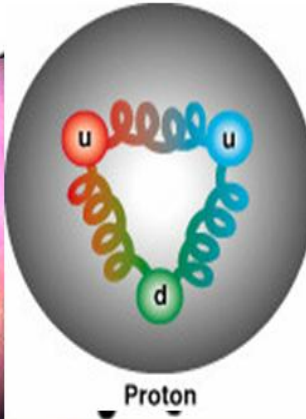
Μέχρι 10^{-3} fm τα quark συμπεριφέρονται σαν σημεία !

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

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



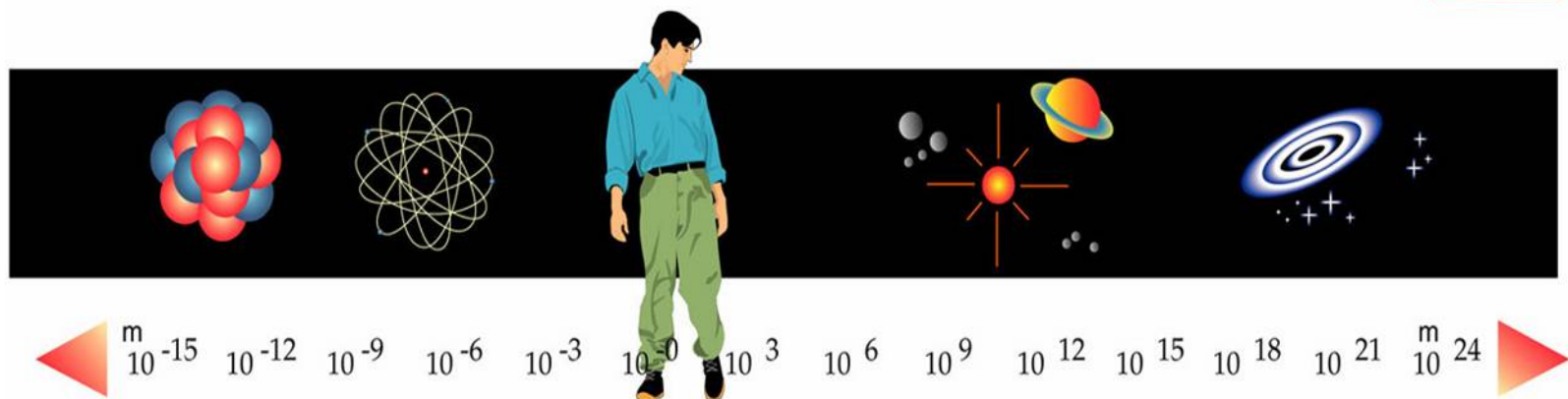
Οι δυνάμεις της φύσης ... όπως τις γνωρίζουμε σήμερα (τεσσερεις)

				
	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	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 **‘άπειροστό’**

Η Αστροφυσική μελετά το
‘άπειρο’



Μικροσκόπια

Κιάλια

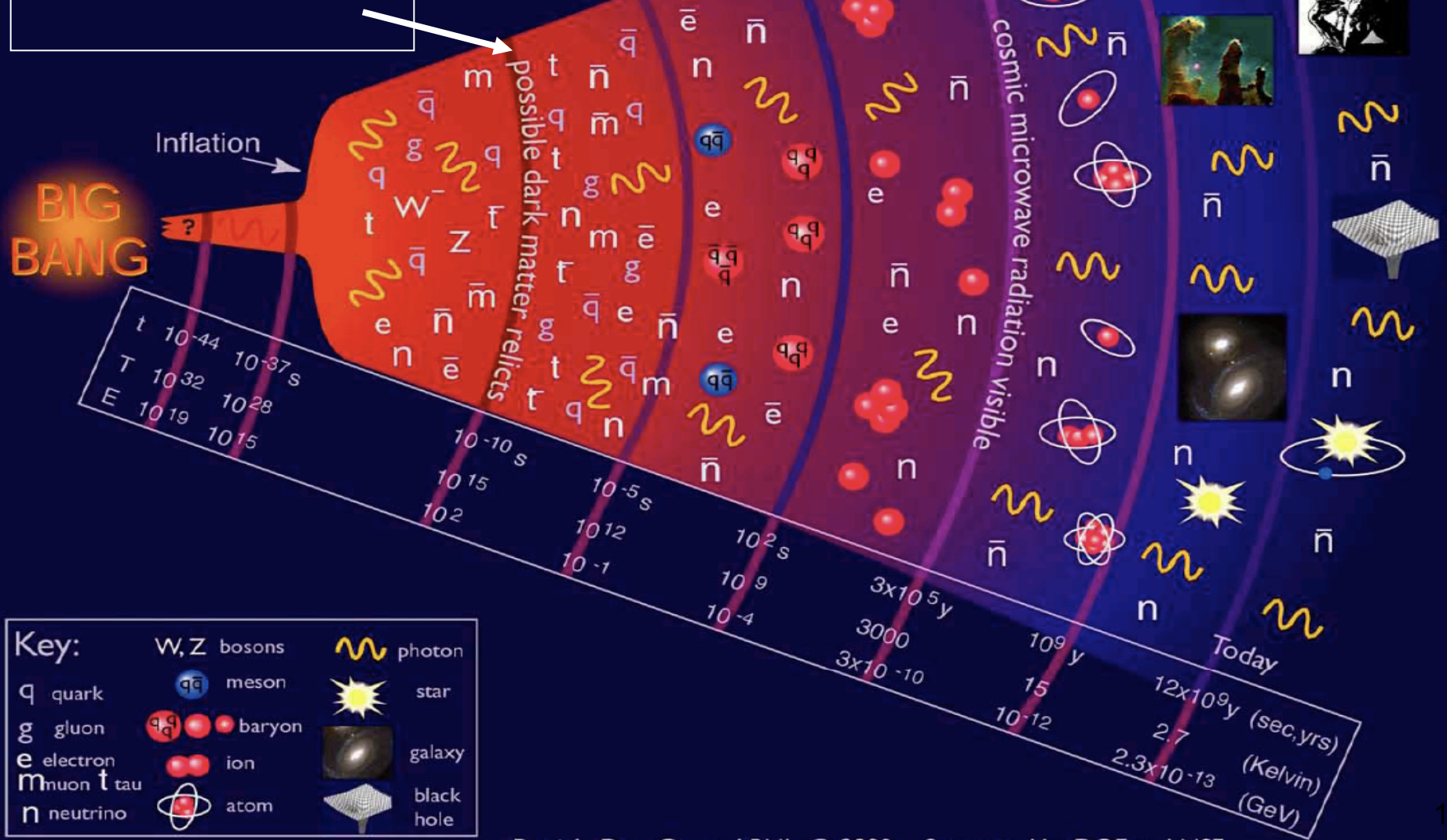
Οπτικά Τηλεσκόπια
Ραδιοτηλεσκόπια

Επιταχυντές
Σωματιδίων
&
Ανιχνευτές

Γυμνό
μάτι

Η Ιστορία του Σύμπαντος

Το LHC αντιστοιχεί
στις συνθήκες εδώ



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

The big

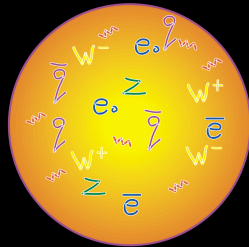


10^{-43} seconds



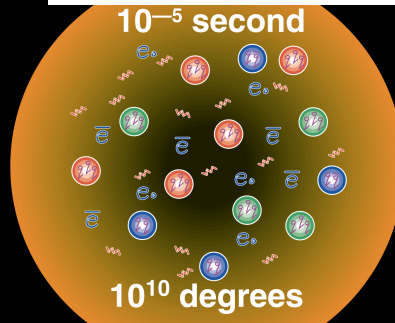
10^{32} degrees

10^{-34} seconds



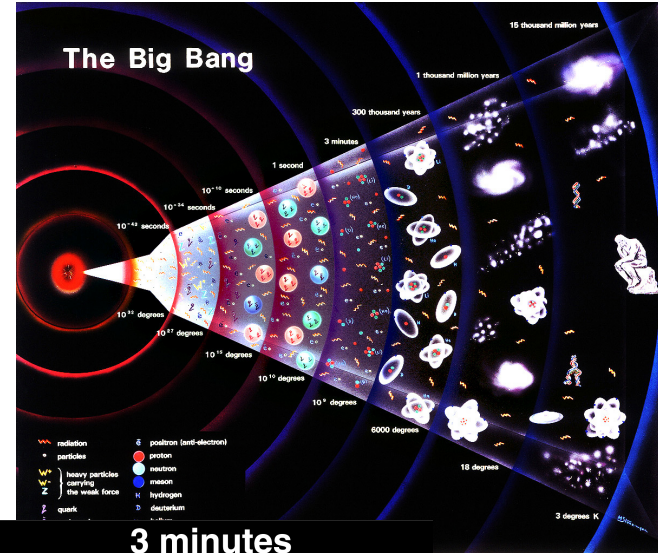
10^{27} degrees

10^{-5} second

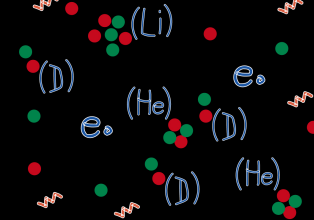


10^{10} degrees

The Big Bang



3 minutes



10^9 degrees

15 thousand
million years

now



3 degrees



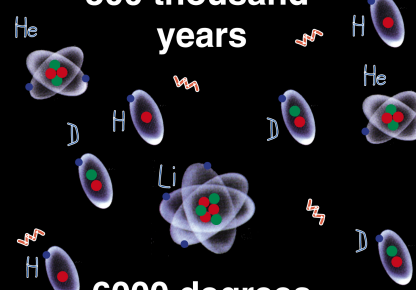
1 thousand
million years



18 degrees



300 thousand
years



6000 degrees

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 διαχωρίζονται από τις ηλεκτρασθενείς

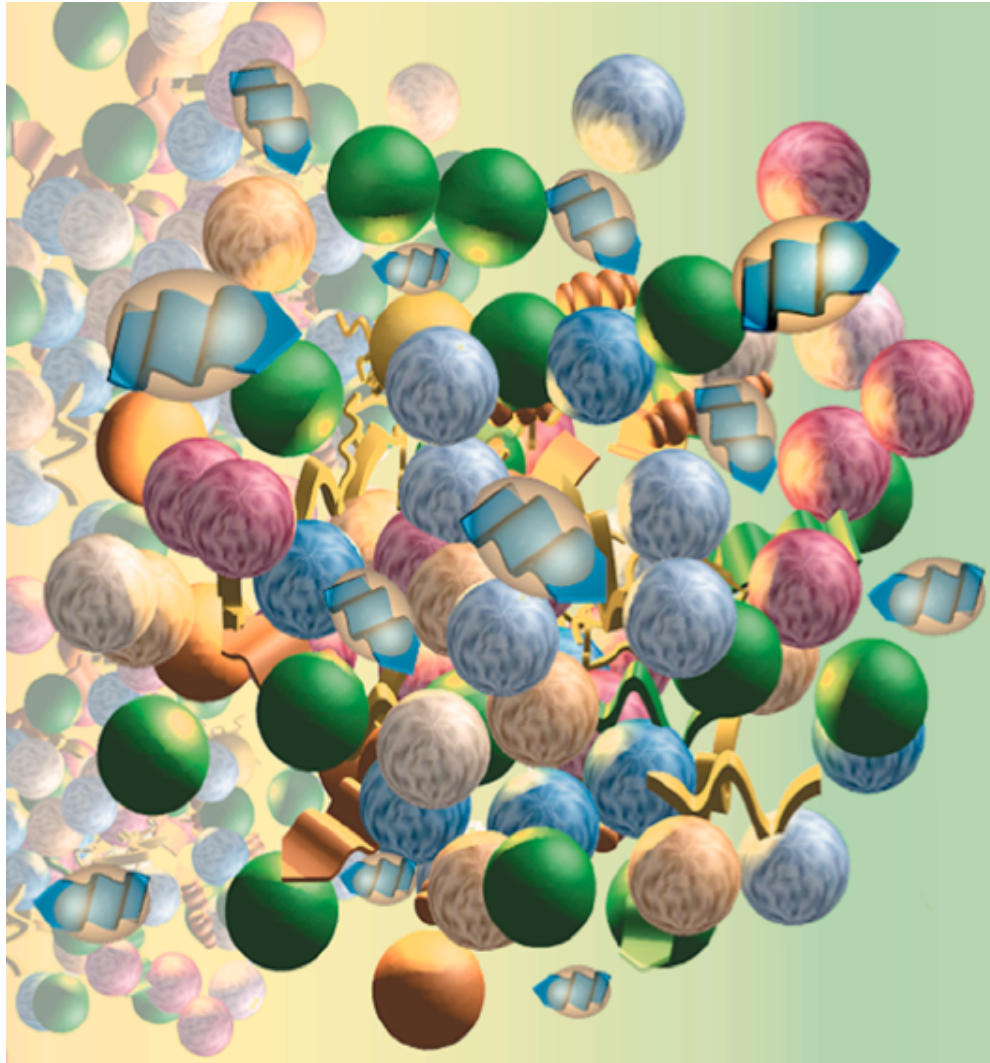
$t = 10^{-35}$ s, 10^{27} K (10^{16} GeV, 10^{-32} m) :
Inflation

The rate of expansion increases exponentially for a short period. The universe doubled in size every 10^{-34} s. Inflation stopped at around 10^{-32} s. The universe increased in size by a factor of 10^{50} . This is equivalent to an object the size of a proton swelling to 10^{19} light years across. The whole universe is estimated to have had a size of $\sim 10^{23}$ 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 Ηλεκτρασθενούς Δύναμης

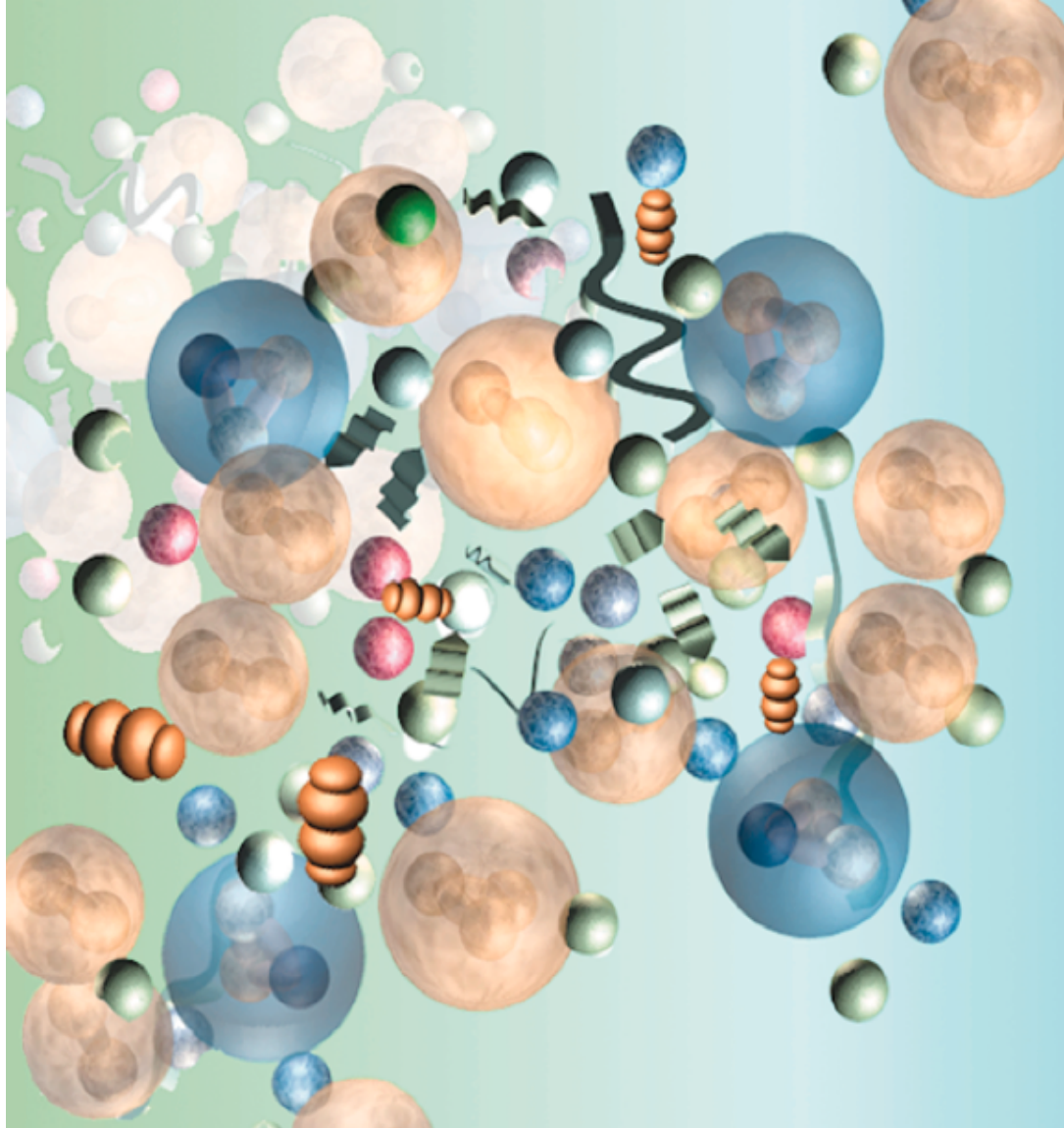


Διαχωρίζονται οι ασθενείς από τις
ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις
Η πυκνότητα ενέργειας αντιστοιχεί
σε αυτή του LEP

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

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

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



Τα quark συνδυάζονται και σχηματίζουν τα πρωτόνια και τα νετρόνια

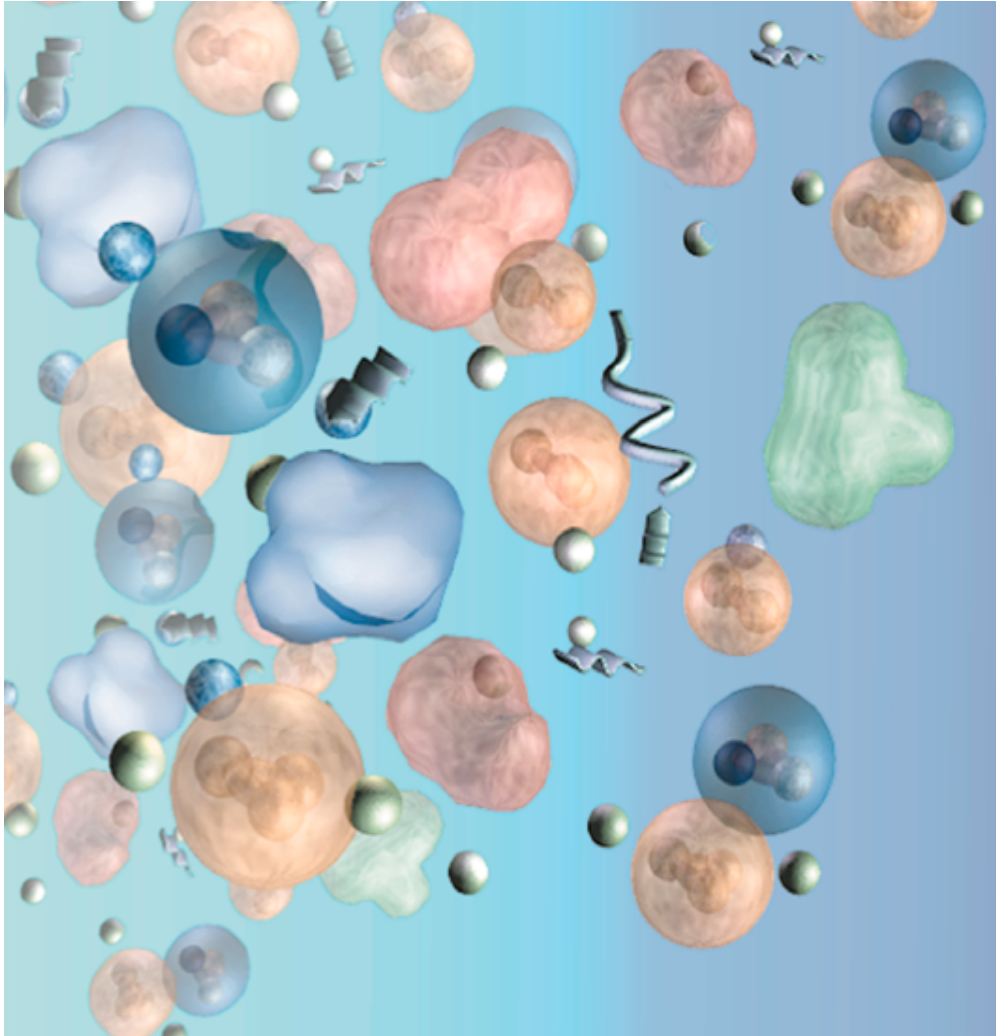
$t = 10^{-4}$ s, 10^{13} K (1 GeV, 10^{-16} m) : **Protons and Neutrons form**

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

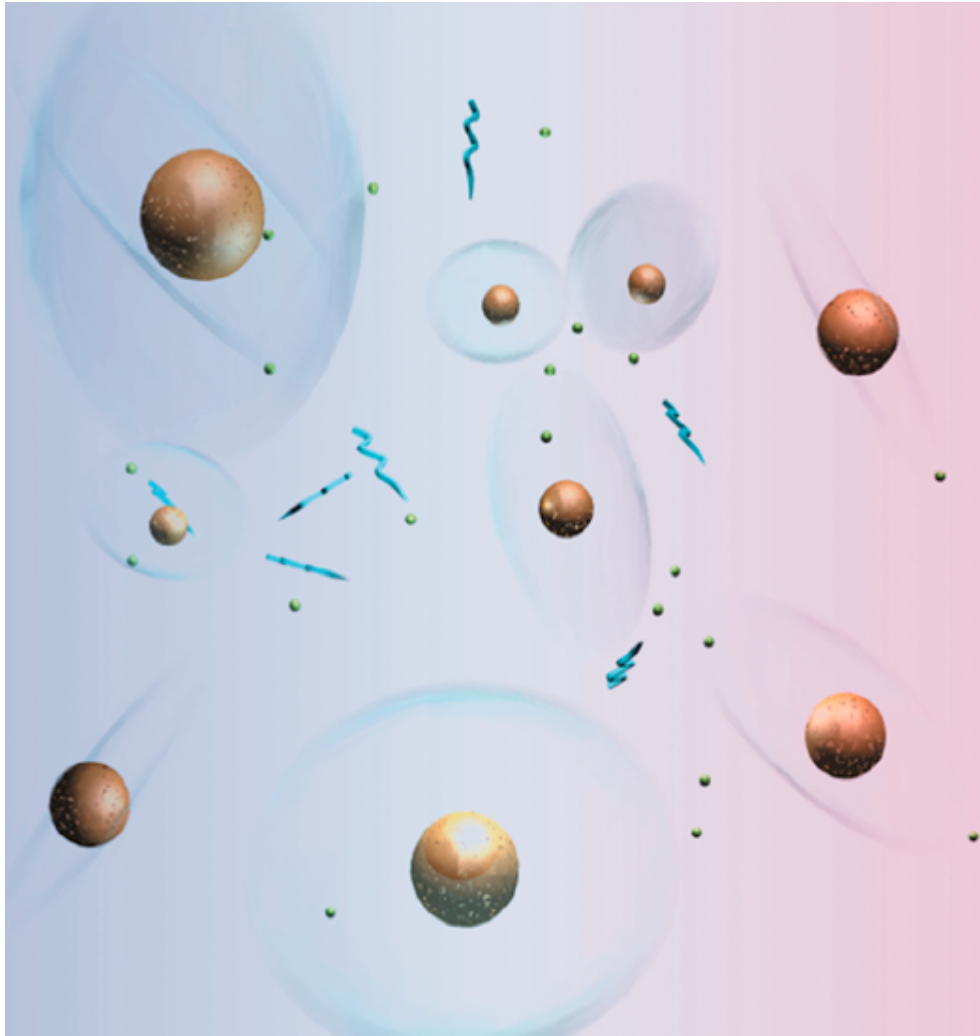


Τα πρωτόνια και τα νετρόνια
συνδυάζονται και σχηματίζουν τους
πρώτους πυρήνες (D, He, Li)

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.

3×10^5 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

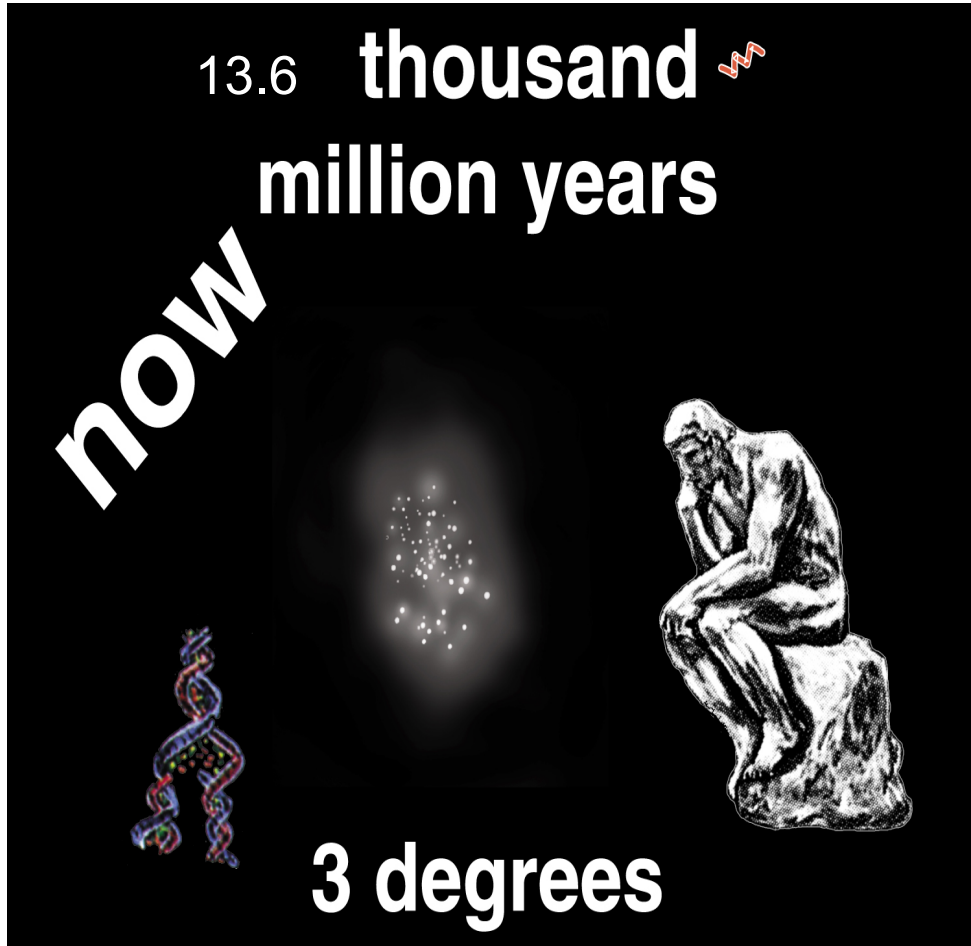


Σχηματίζονται οι πρώτοι
γαλαξίες

$t = 10^9$ 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

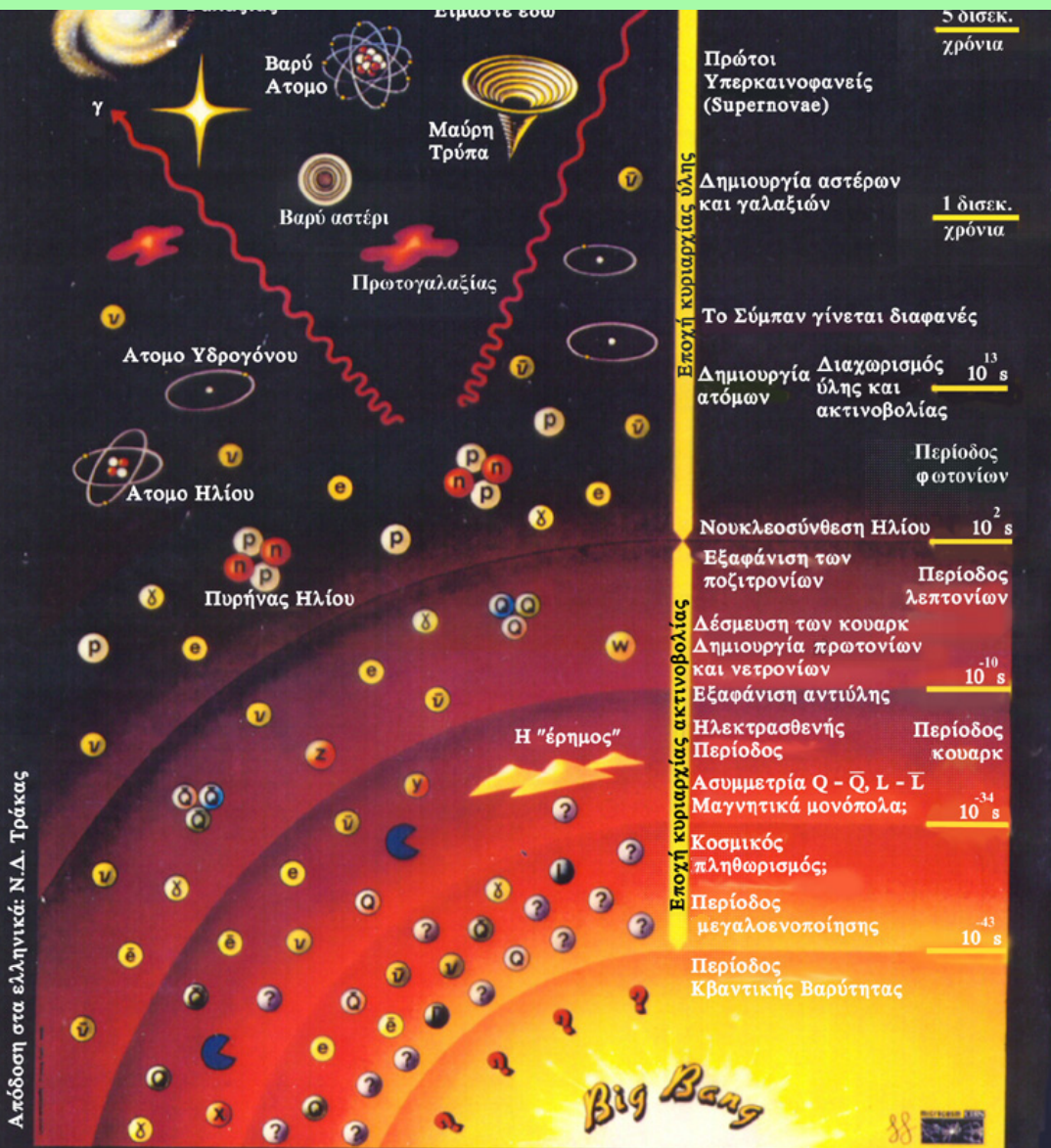


Υπάρχουμε !

$t = 15 \times 10^9$ 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

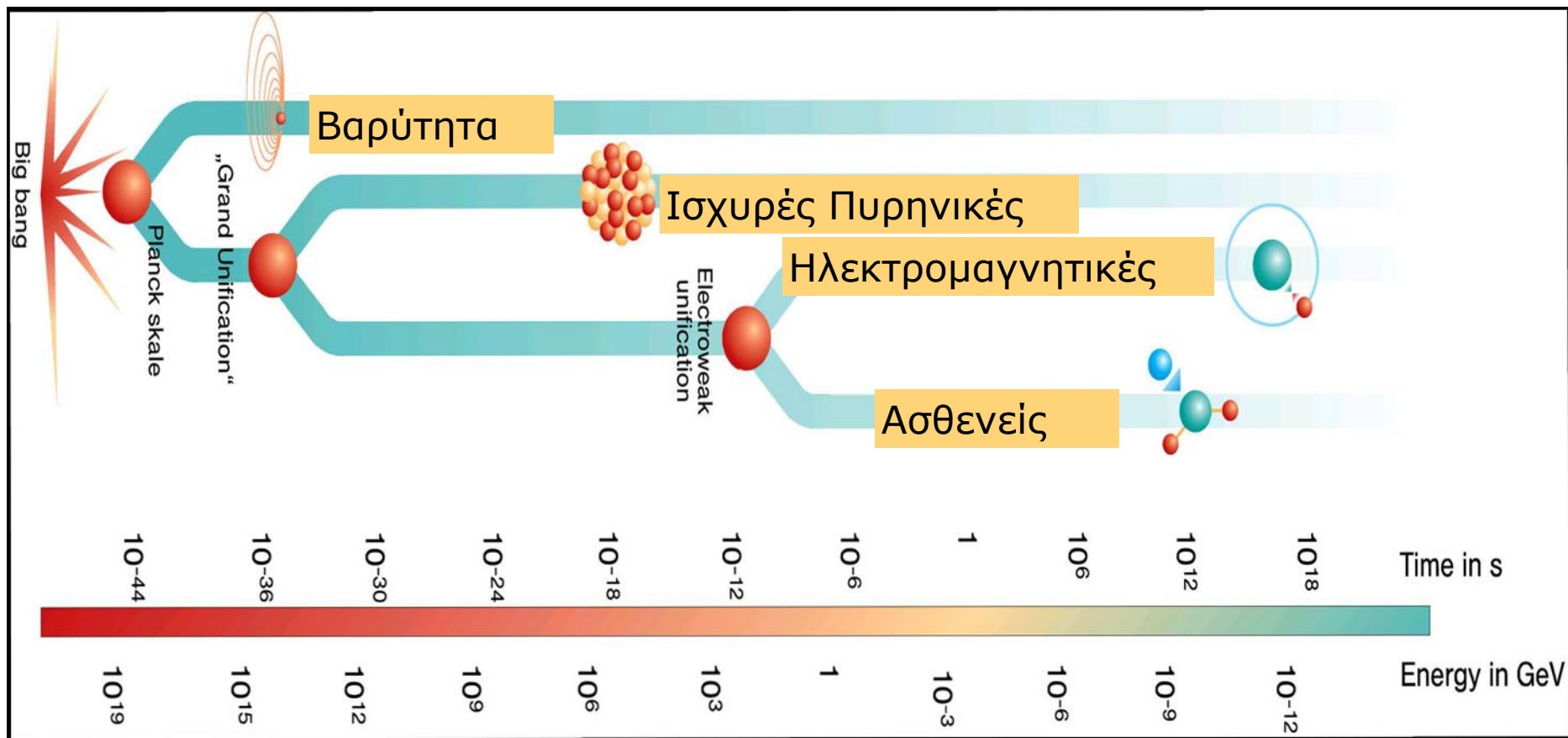
 **10⁻¹⁸ sec** Εξαφάνιση αντιύλης

← **10⁻³⁴ sec** Ενοποίηση των ηλεκτροασθενών δυνάμεων

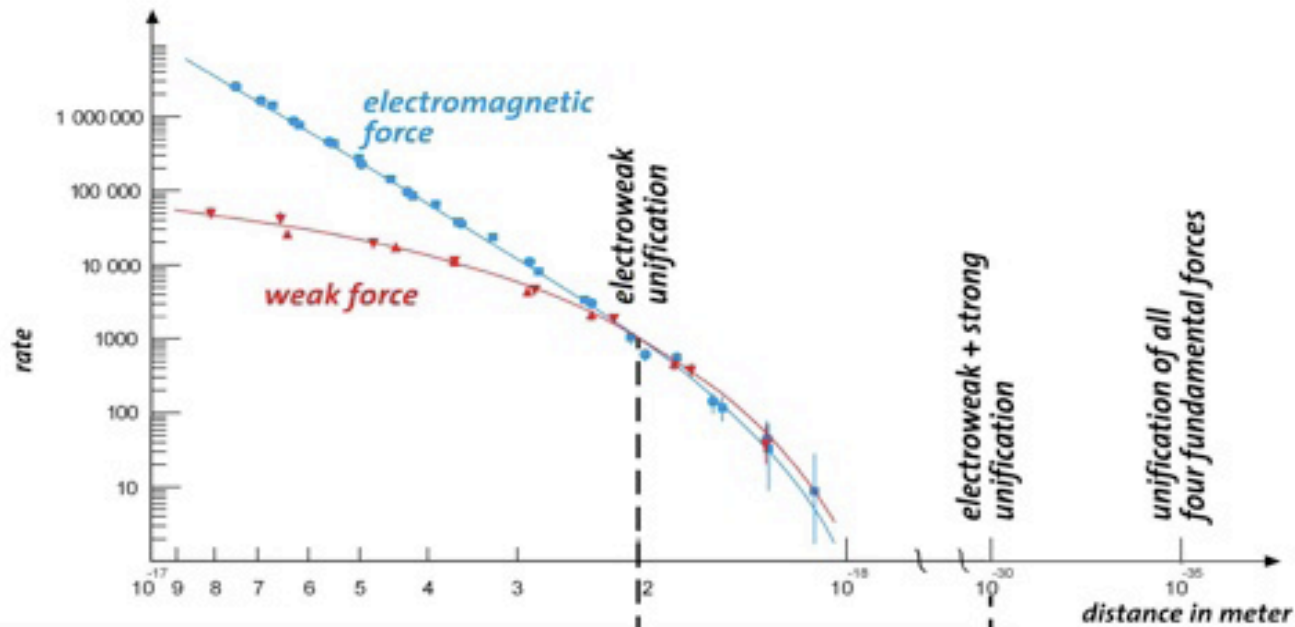
Επιταχυντές : SPS, LEP, LHC

← 10^{-43} sec Μεγαλο-Ενοποίηση των Δυνάμεων

Η “Ενοποίηση των Δυνάμεων”



Το “Σπάσιμο της Συμμετρίας”



strong force

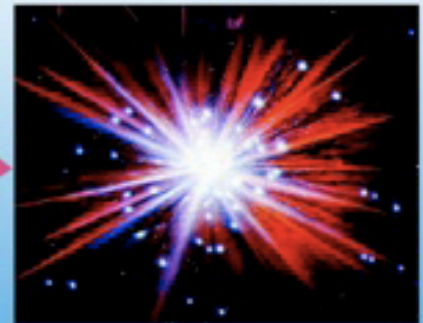
electromagnetic force

weak force

gravity

electroweak force

big bang



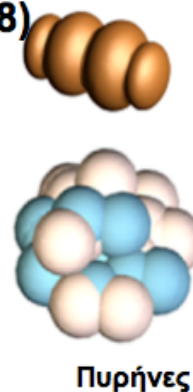
Τα Στοιχειώδη σωματίδια του κόσμου μας

Λεπτόνια



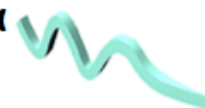
Ισχυρή

Γλουόνια(8)

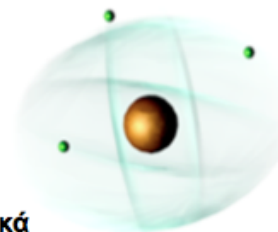


Ηλεκτρομαγνητισμός

Φωτόνια

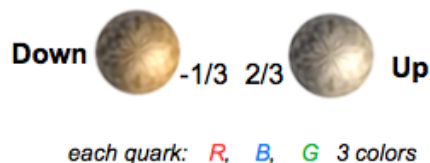


Άτομα
Φως
Χημεία
Ηλεκτρονικά



Quarks

Electric Charge

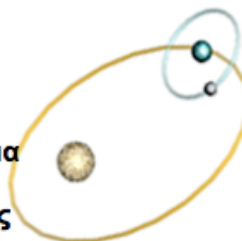


Βαρύτητα

Γραβιτόνιο?



Ηλιακό σύστημα
Γαλαξίες
Μαύρες Τρύπες



Ασθενής

Μποζόνια W,Z



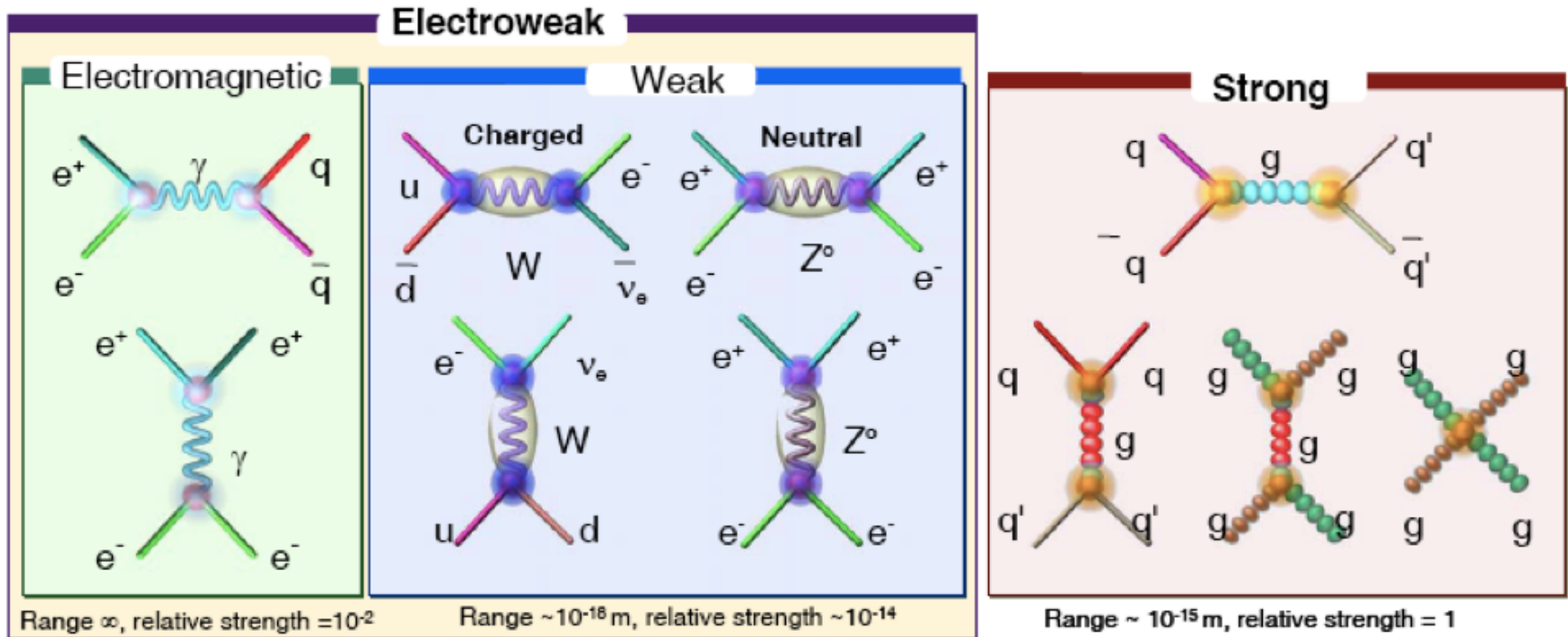
Διάσπαση νετρονίου
Ακτινοβολία β
Αλληλεπιδράσεις νετρίνων
Καύση ηλίου



Δυνάμεις/Αλληλεπιδράσεις:

Περιγράφονται με μία Κβαντική Θεωρία Πεδίου

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

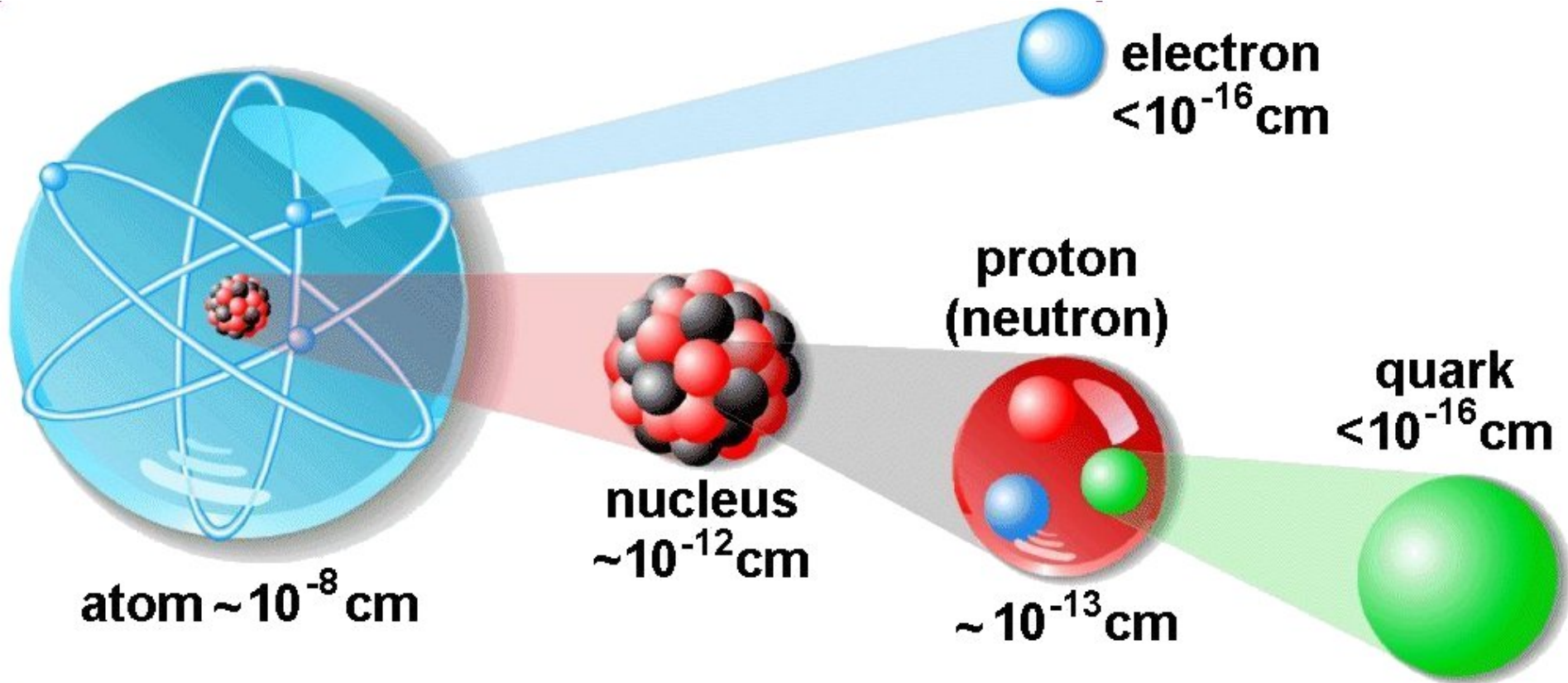


Δύναμη $\Rightarrow$ Ύπαρξη “φορτίου” το οποίο θα πρέπει να διατηρείται

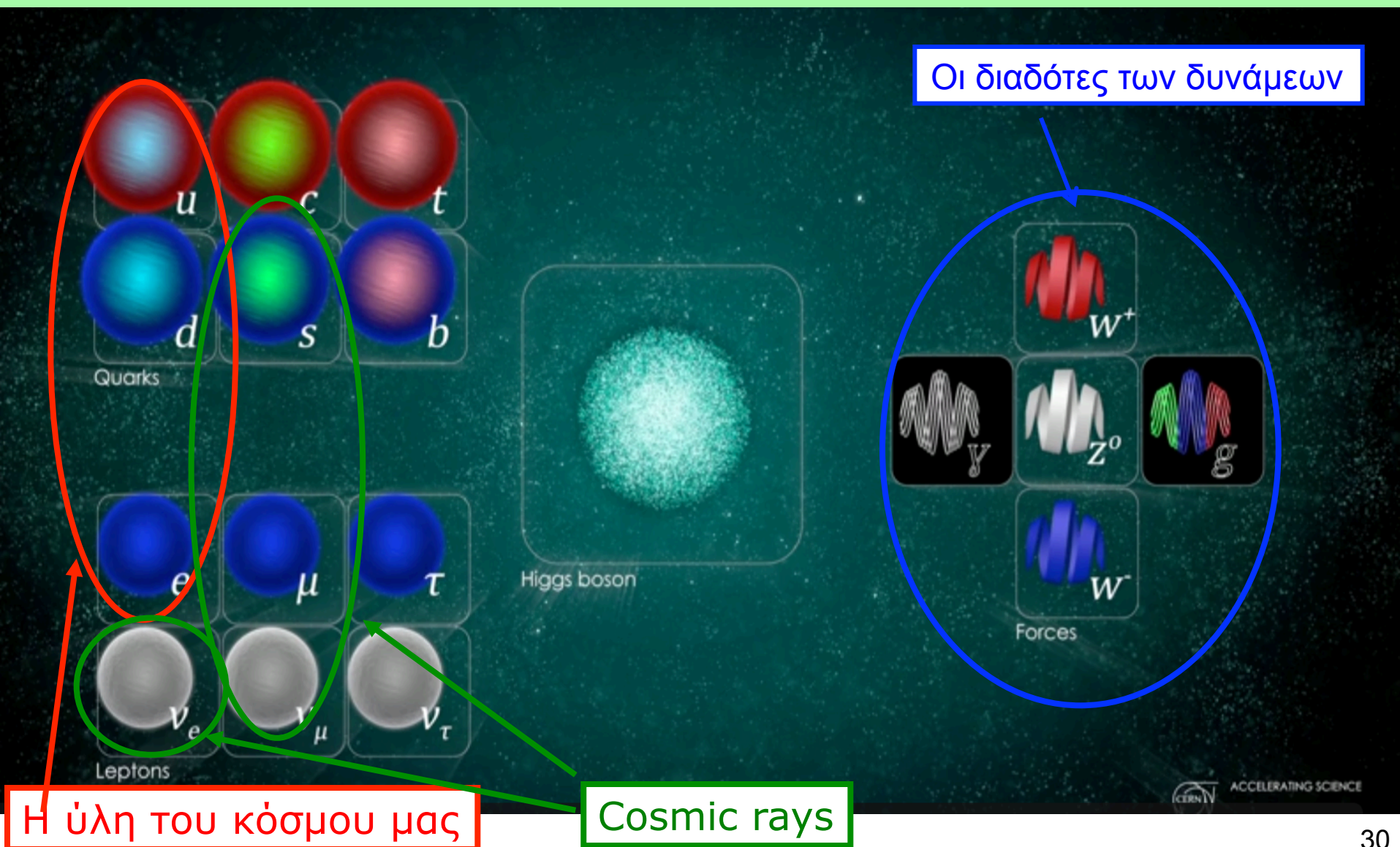
Διατήρηση “φορτίου” $\Rightarrow$ Ύπαρξη Συμμετρίας

Το Καθιερωμένο Πρότυπο είναι μια κβαντική θεωρία πεδίου που έχει την
“εσωτερική συμμετρία”: $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

Τα στοιχειώδη σωματίδια



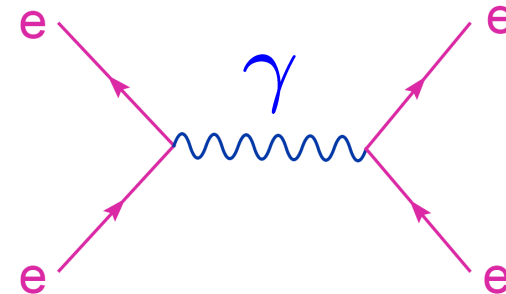
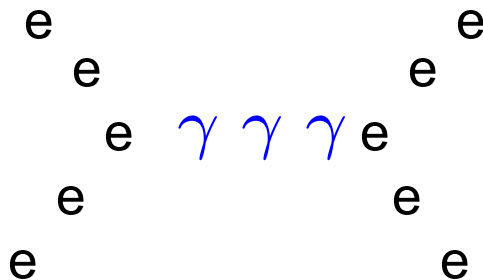
Τα στοιχειώδη σωματίδια- Καθιερωμένο Πρότυπο



Η ανταλλαγή σωματιδίων “παράγει” δυνάμεις



Feynman diagram

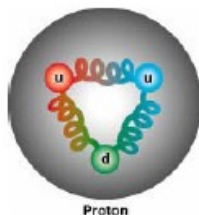


Όσο βαρύτερο είναι το σωματίδιο ανταλλαγής –
“ο φορέας της δύναμης” – τόσο μικρότερη η εμβέλεια της δύναμης

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

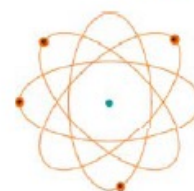
Μεταδίδονται με τα W
& Z^0



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

Ηλεκτρομαγνητικές

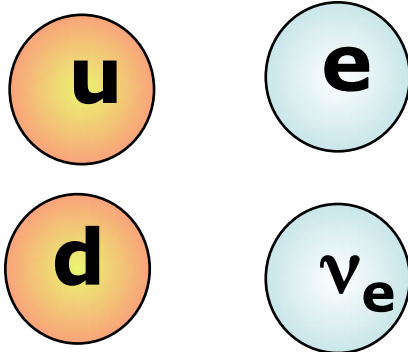
Μεταδίδονται με φωτόνια



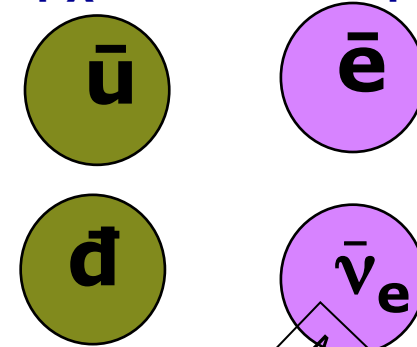
Συγκρατούν τα ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα
Ευθύνονται για τις χημικές αντιδράσεις
Ηλεκτρισμός, Φως, Ακτινοβολία ...

Η αντιύλη

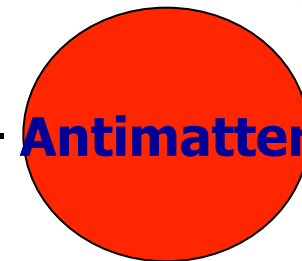
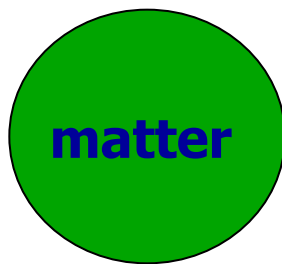
Για κάθε σωματίδιο



Υπάρχει το αντι-σωματίδιο



Σωματίδια και Αντισωματίδια έχουν
αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο

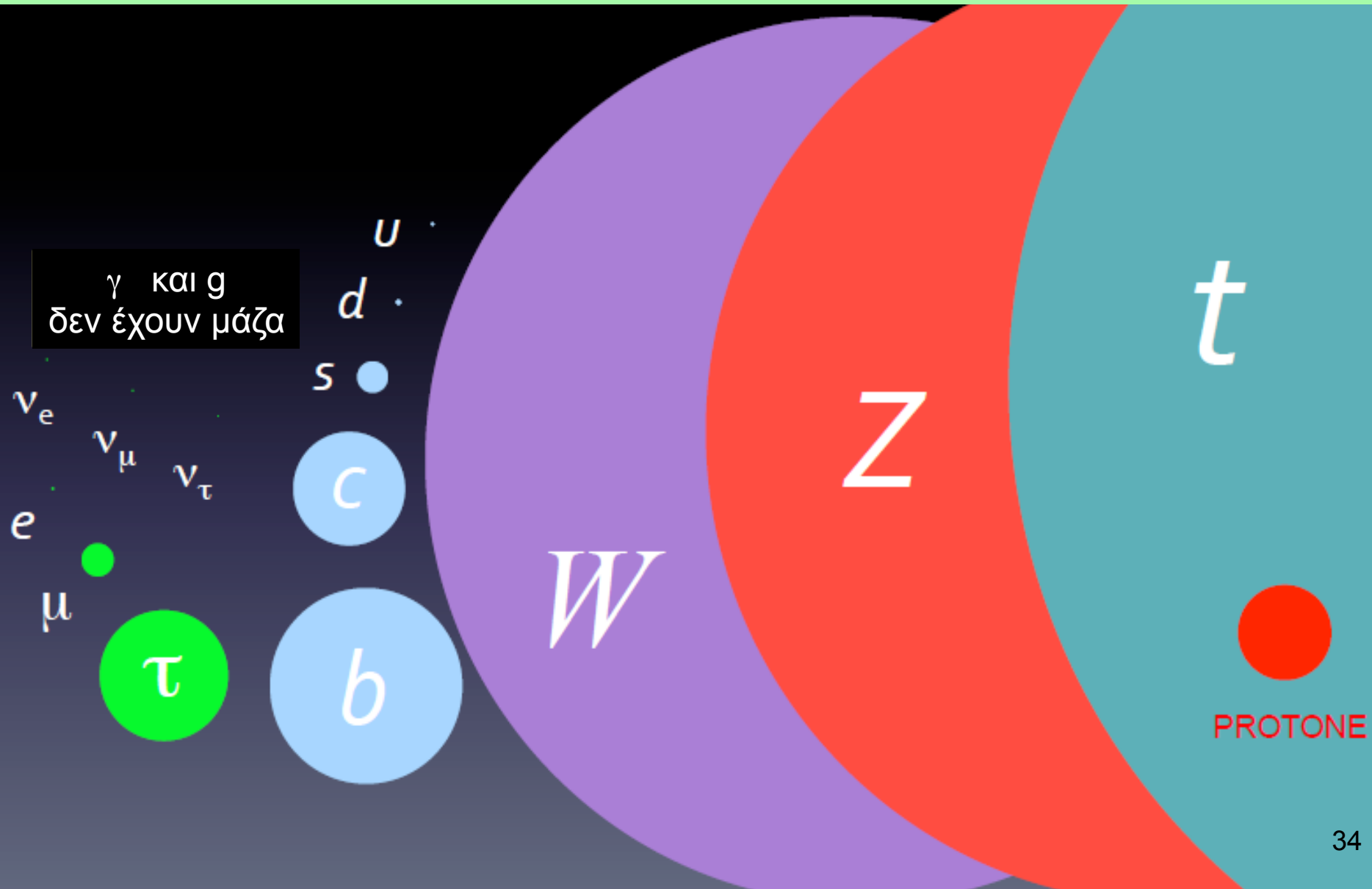


Μπορούν να παραχθούν
στο εργαστήριο

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

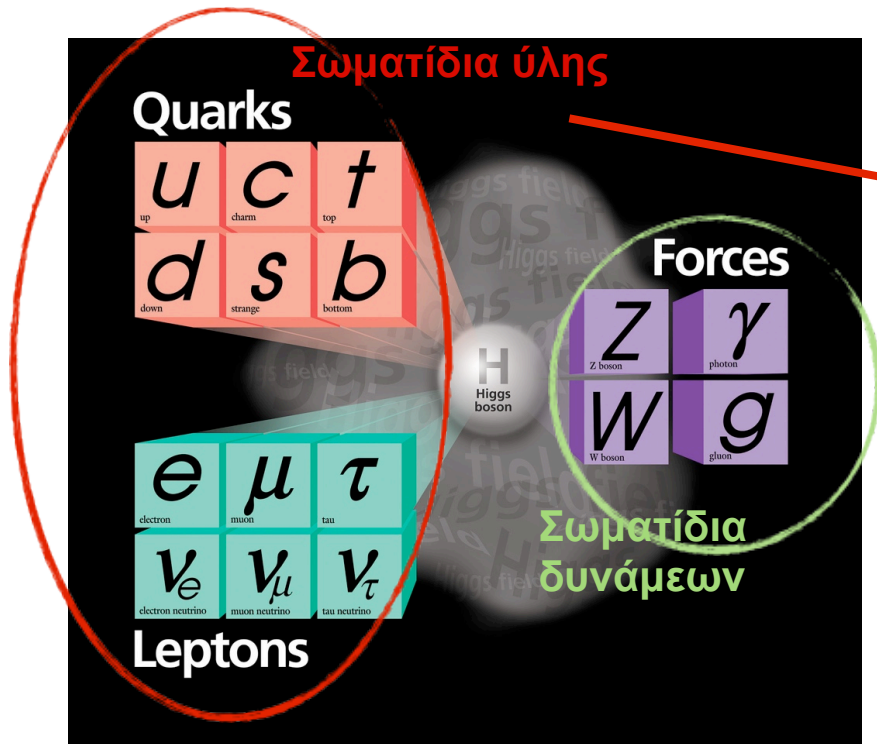
Πώς εξαφανίστηκε η αντιύλη?

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?

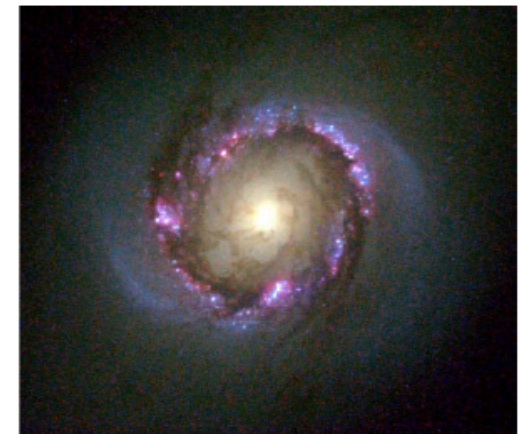
Ενώνονται όλες οι δυνάμεις μαζί?

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.

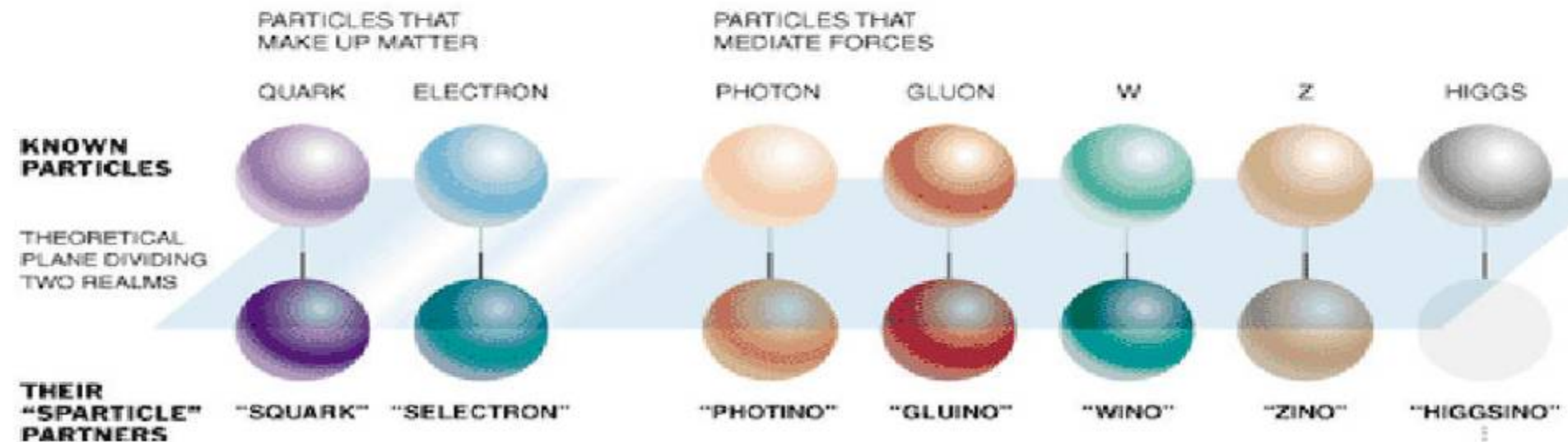
Σήμερα γνωρίζουμε ότι δεν γνωρίζουμε τίποτα για αυτό που κάνει το 95% του Σύμπαντος



*Apr 2011
Roberto Battiston
AMS exp.
Deputy Spokesperson.*

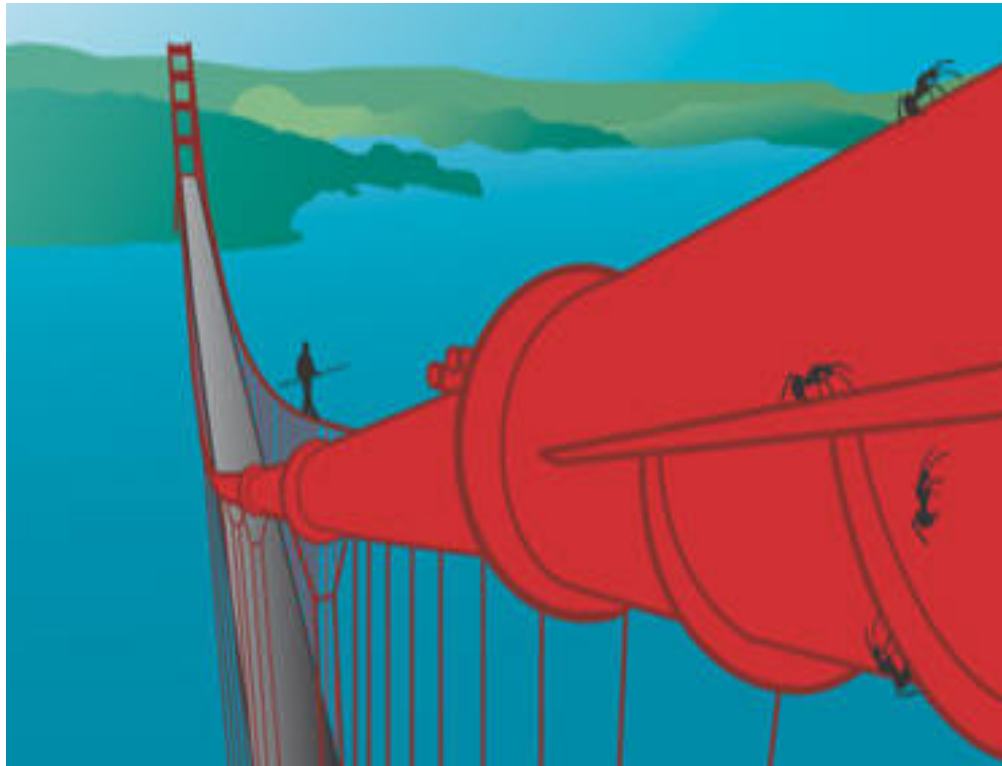
Υπερσυμμετρία ?

superparticles



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

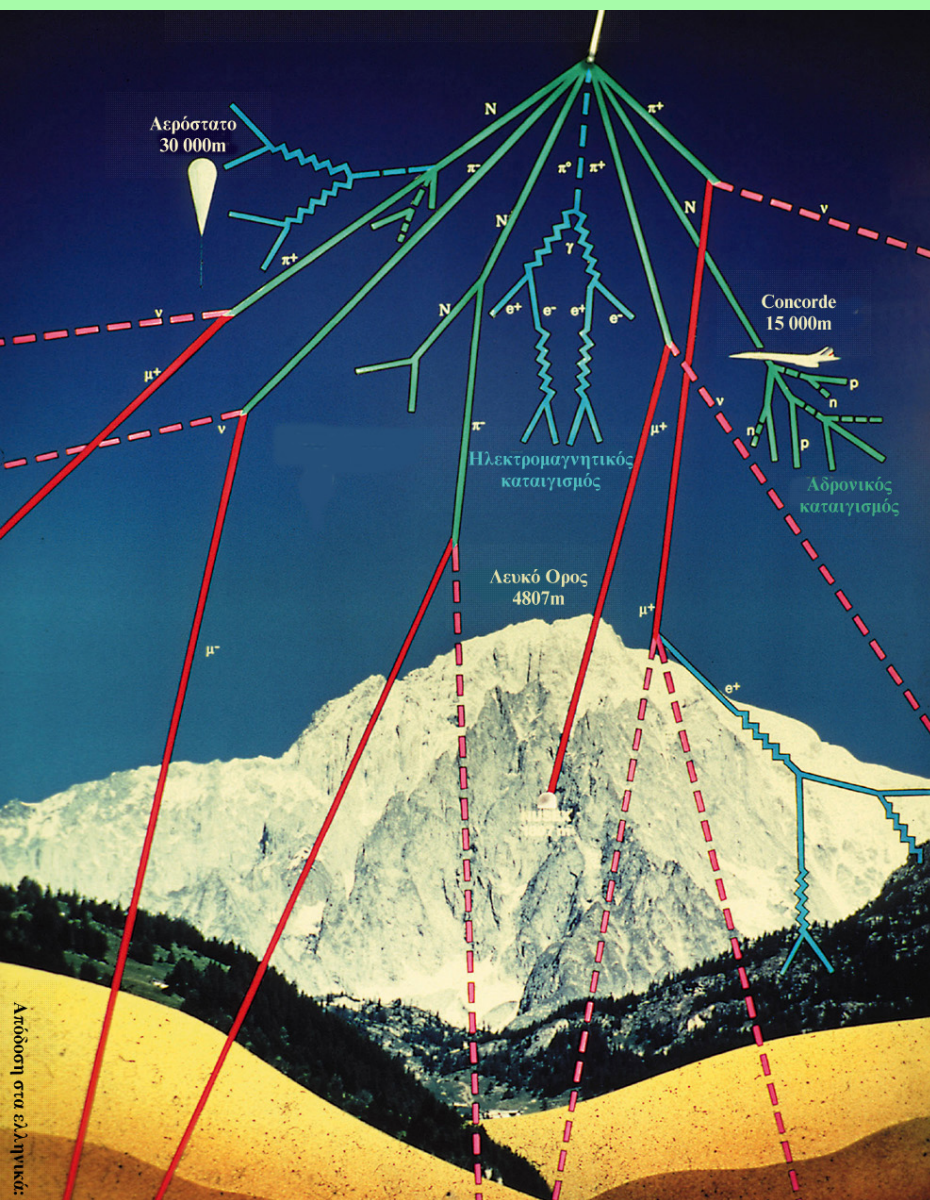
- Πως αποκτούν τα σωματίδια μάζα?
 - Υπάρχει το σωματίδιο Higgs?
- Υπάρχουν άλλες Συμμετρίες στη Φύση?
 - Υπάρχει η Υπερσυμμετρία ?
 - Ισχύει η ενοποίηση των δυνάμεων ?
- Τι είναι η Σκοτεινή Ύλη ?
- Έχουν δομή τα quarks?
- Ποιές είναι οι ιδιότητες της πυρηνικής ύλης στην υπέρθερμη κατάσταση φάσης: **quark-gluon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



Πως διερευνούμε τα Ερωτήματα αυτά?

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

Κοσμική Ακτινοβολία



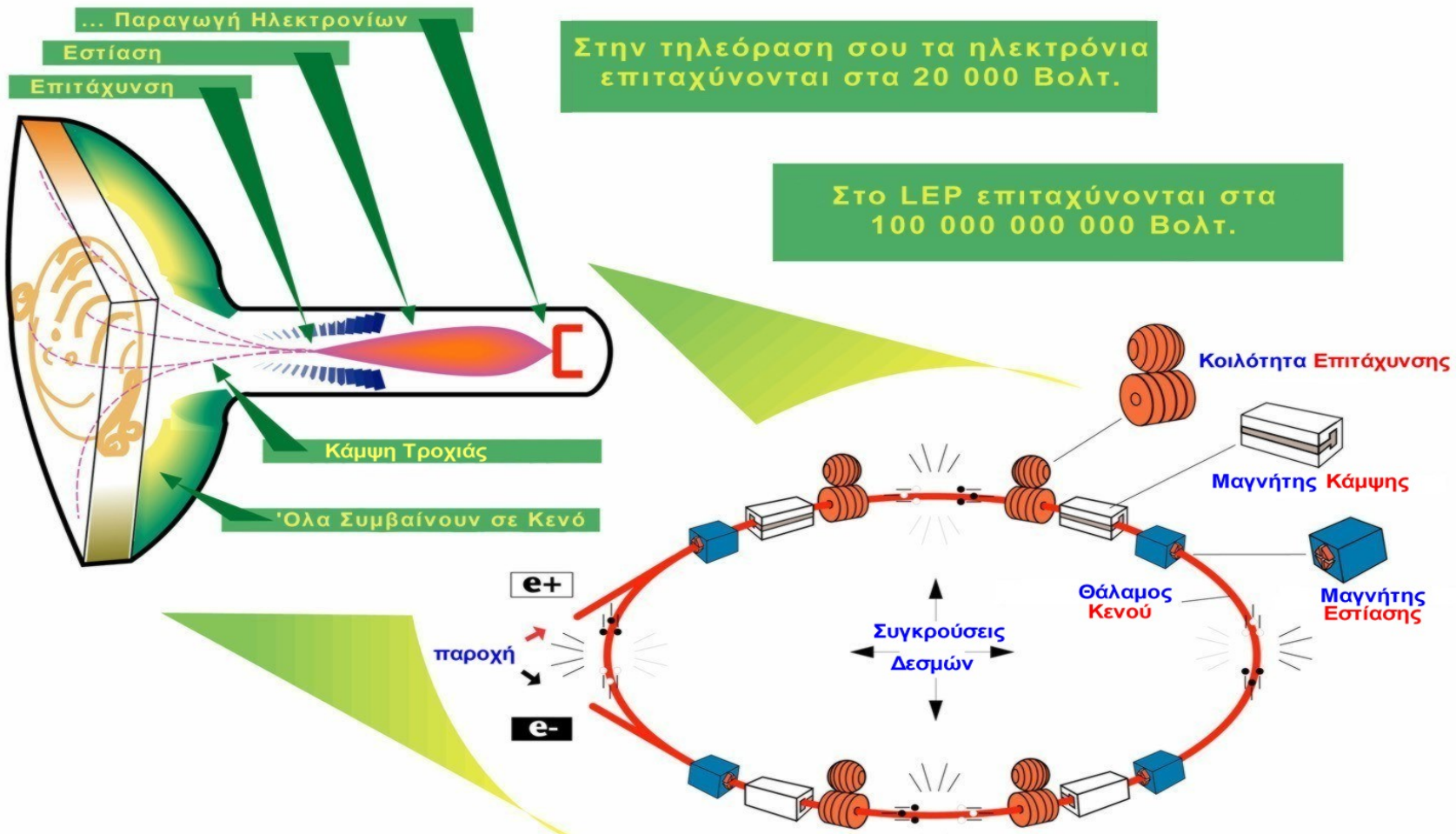
Στοιχειώδη σωματίδια φτάνουν στη γή μας από το ...διάστημα !

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?

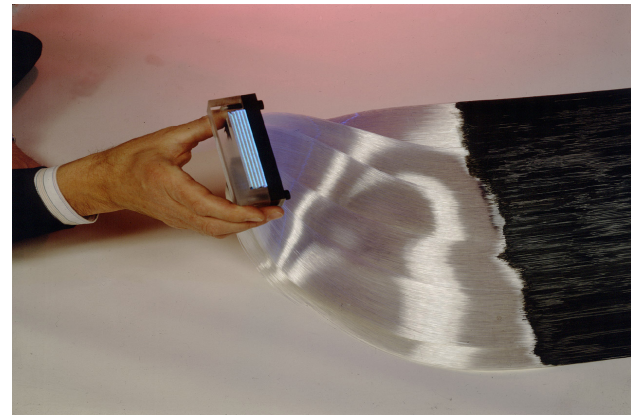
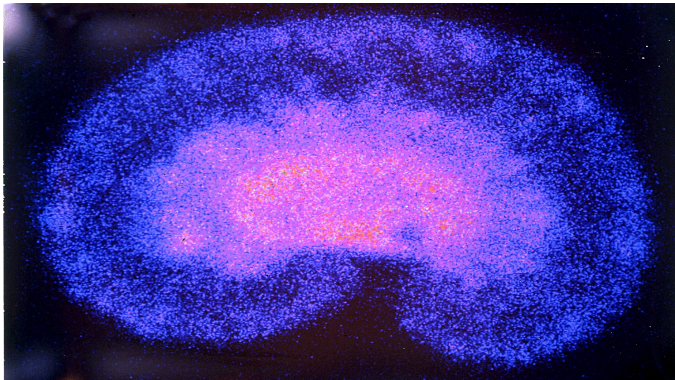
Τεχνοβλαστοί-Εφαρμογές της έρευνας για τα στοιχειώδη σωματίδια

Ιατρική Φυσική:

Διαγνωστική: Τομογραφία

Θεραπεία: Ελεγχόμενη ακτινοβολία

⇒⇒⇒ 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

Overview of the EU Data Grid Project



The European DataGrid Project Team

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



DataGrid is a project funded by the European Union

Grid Tutorial 21.22-August 2003 -

Πληροφορική:

Ανάπτυξη της Πλεγματικής Τεχνολογίας:
GRID

Ο Παγκόσμιος Ιστός Υπολογιστικής Ισχύος και
Αποθηκευτικού χώρου

Εκμετάλλευση των παγκόσμια διαθέσιμων
Υπολογιστικών Πόρων

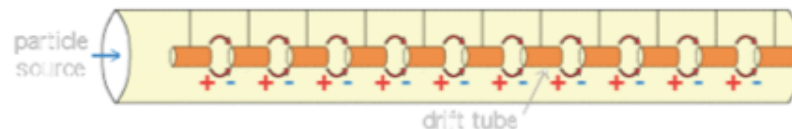


Οι Επιταχυντές Σωματιδίων σήμερα

- Επιταχύνουν σωμάτια σε πολύ μεγάλες ενέργειες $\Rightarrow$ μικρό μήκος κύματος (Θυμηθείτε: κανουμε Πειράματα σκέδασης $\lambda = h/p$)

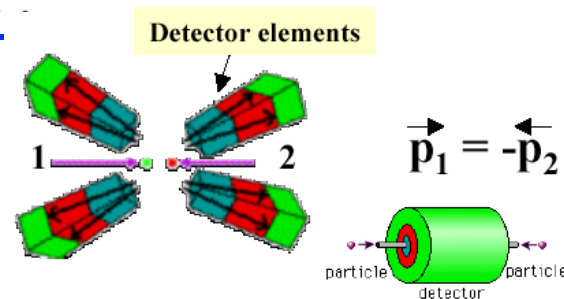
- ▶ Επιταχύνουμε φορτισμένα σωμάτια:

- ▶ Έχουμε επιταχυντές ηλεκτρονίων και/ή πρωτονίων

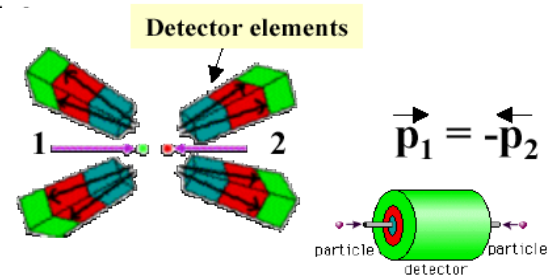


- Στη δεκαετία του 60 οι επιταχυντές ήταν “σταθερού στόχου”: τα ηλεκτρόνια προσέπιπταν σε ένα στόχο (πρωτόνια) και έχαμε παραγωγή νέων σωματιδίων

- ▶ Έτσι ανακαλύφθηκαν τα quarks....



Οι Επιταχυντές Σωματιδίων σήμερα



- Ο μεγαλύτερος επιταχυντής μέχρι το 2009 στο Fermilab:

7km proton-antiproton



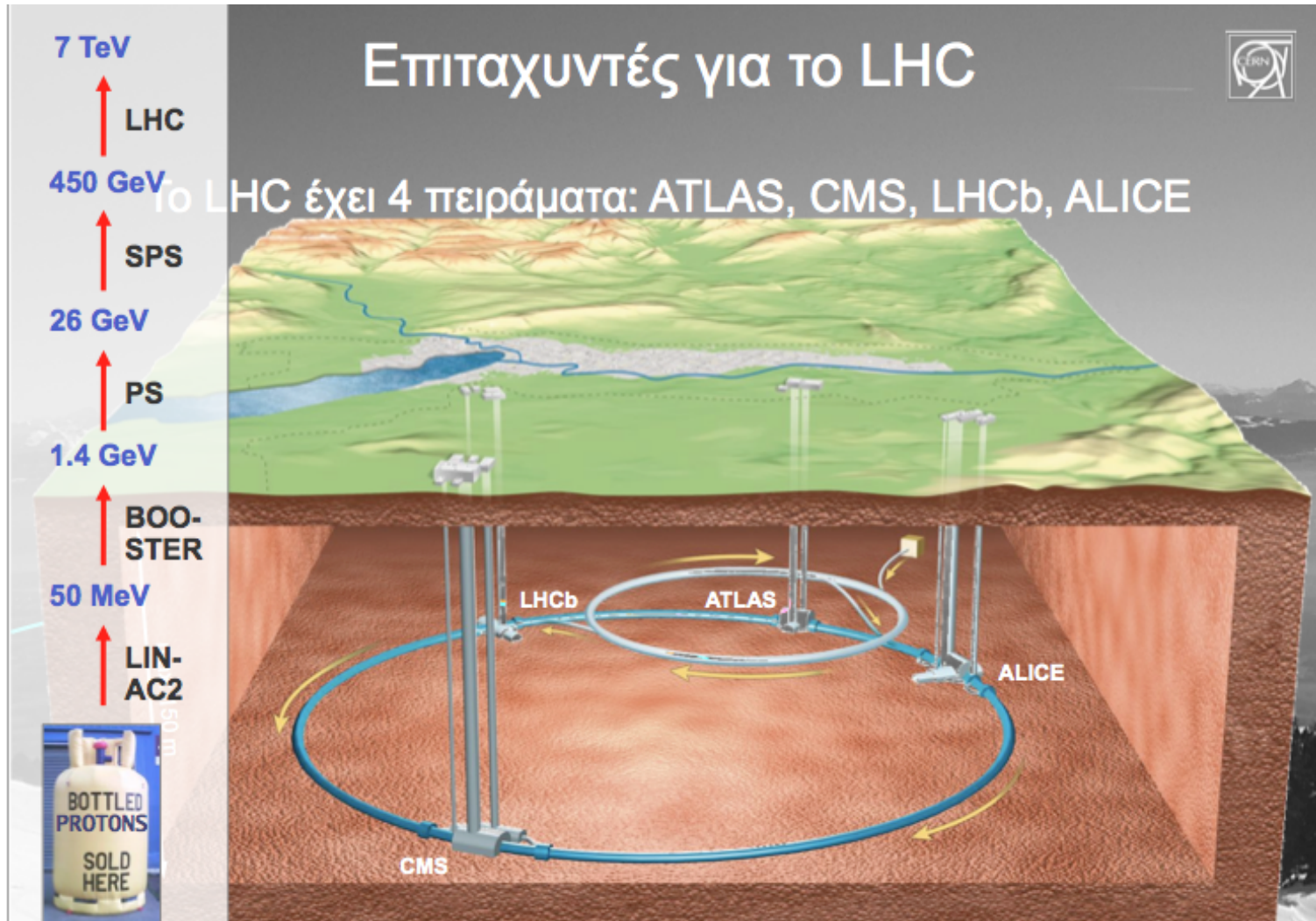
Σήμερα....

- 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

Κύρια παράμετρος: μαγνητικό πεδίο διπόλων που κάμπτουν τη δέσμη

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

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

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

Χρειάζονται υπεραγώγιμοι μαγνήτες
LHC: ψύξη με συμπιεσμένο He (1.9K)

$\Rightarrow$ Ψυχρότερο μέρος στο σύμπαν (?)

Ψυγεία παγωγής υγρού He: καταλώνουν 40 MW.



1232 high-tech SC dipole magnets

Ενέργεια δεσμών: 7 MJ

Βάρος διπόλων: 34 tons

Nb-Ti Y/A καλώδιο: 7600 km

Η ίδια μηχανή με συμβατικούς ηλεκτρομαγνήτες θα είχε:

- Περίμετρο: 100 km

- Κατανάλωση ηλεκτρ: 1000 MW

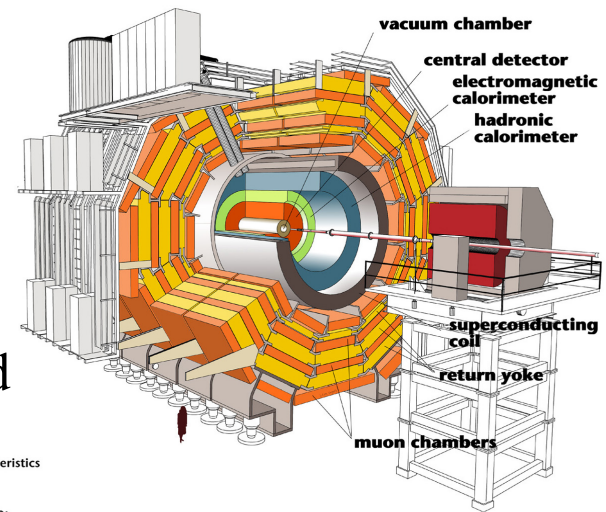
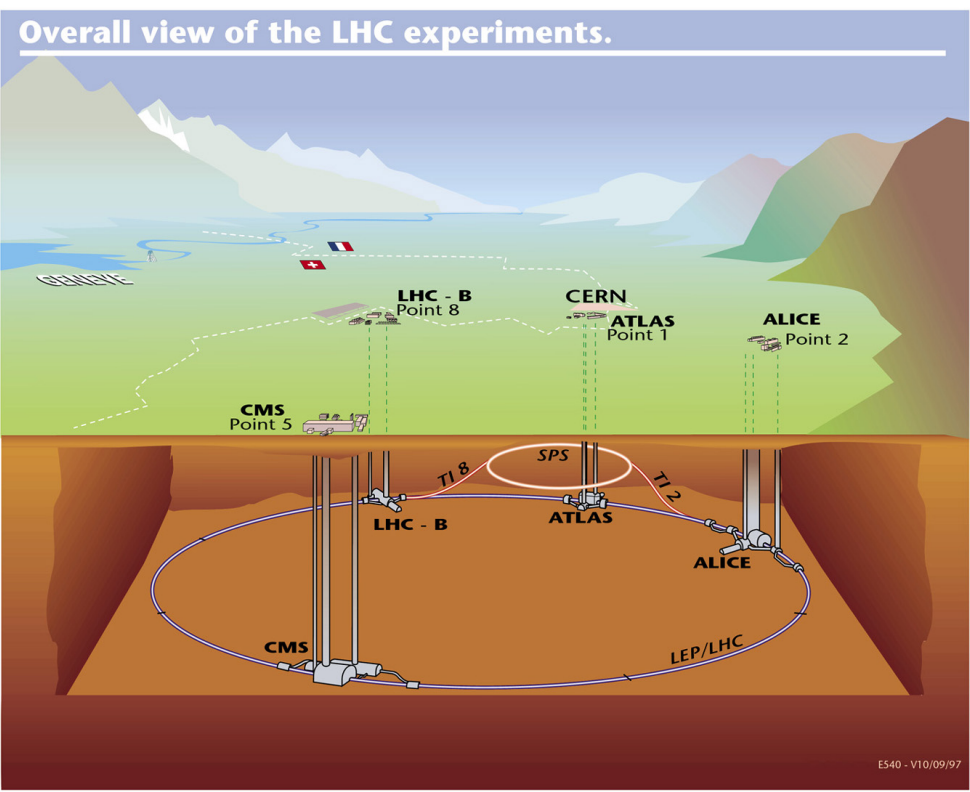
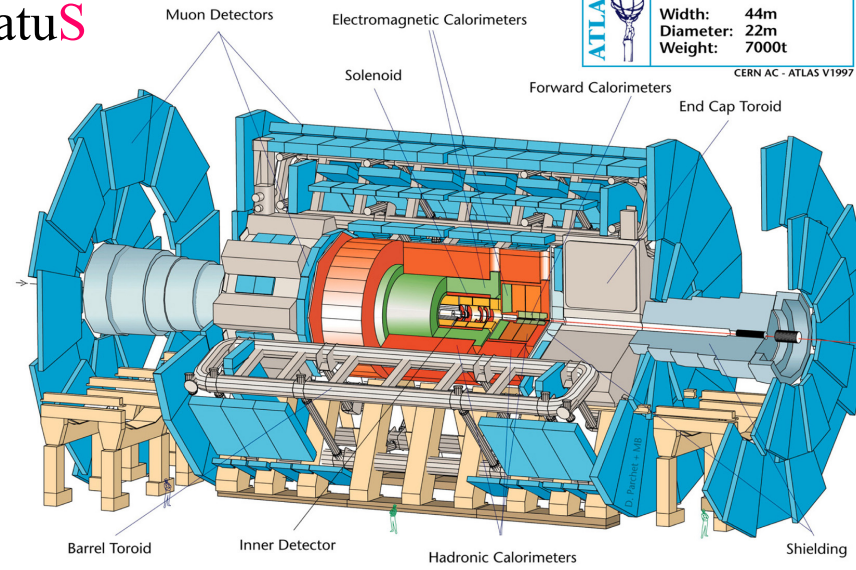
Εισαγωγή στην Πυρηνική/Στοιχειώδη
26 Φεβρουαρίου 2010

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

ATLAS A Toroidal LHC ApparatuS

Detector characteristics	
Width:	44m
Diameter:	22m
Weight:	7000t

CERN AC - ATLAS V1997



CMS Compact Muon Solenoid

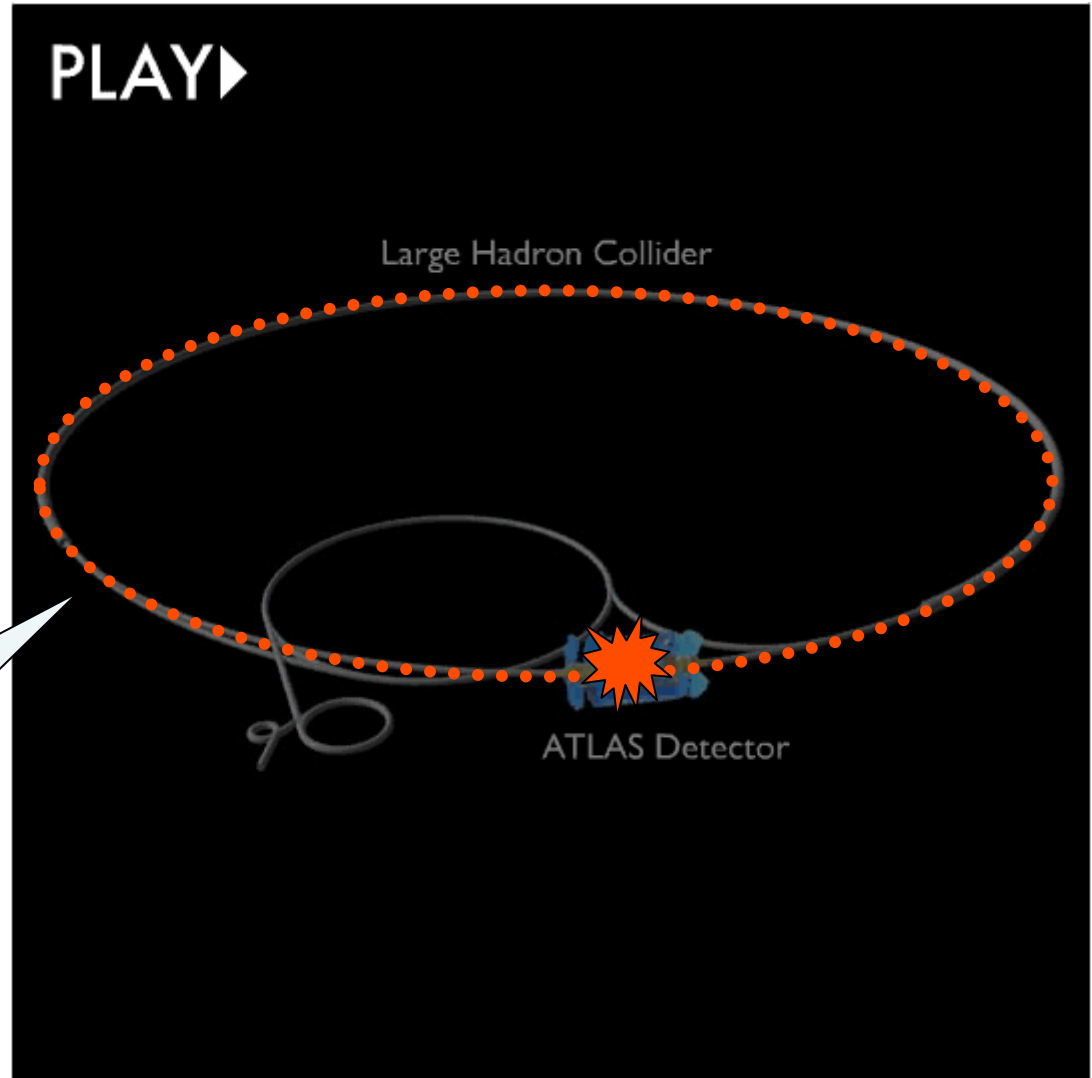
Detector characteristics	
Width:	22m
Diameter:	15m
Weight:	14'500t

LHC

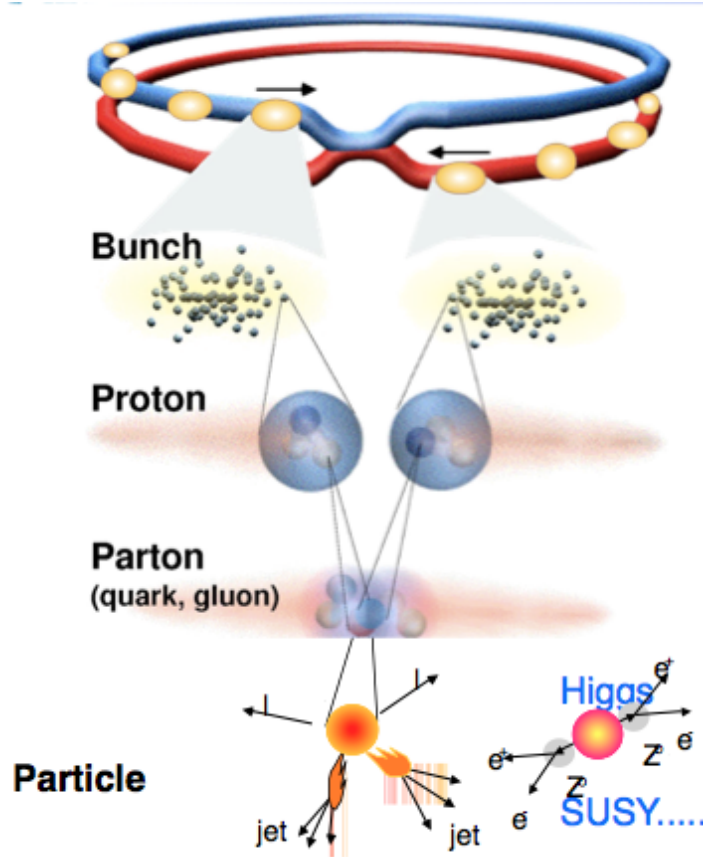
Πρέπει να ανιχνεύσουν
όλα τα σωματίσια που
παράγονται στην
σύγκρουση

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

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



Οι Συγκρούσεις στο LHC



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

Ρυθμός διασταύρωσης 40 MHz

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

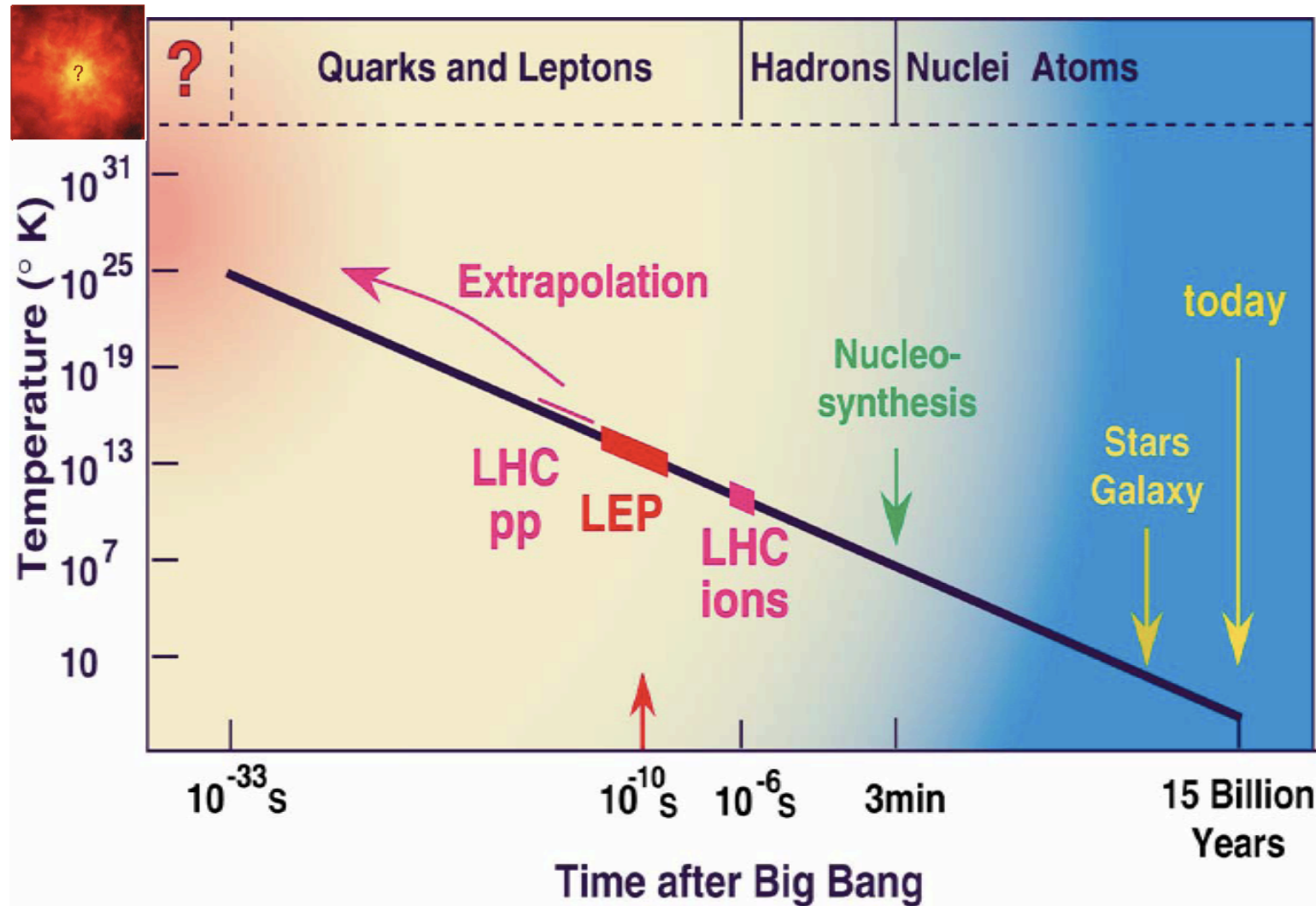
Ρυθμός παραγωγής νέας Φυσικής $\approx .00001$ Hz

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

Απο τα πειράματα Στοιχειωδών Σωματιδίων μαθαίνουμε για το Σύμπαν

Ενοποίηση?

Ηλεκτρασθενείς



Οι Συγκρούσεις στο LHC (προσομοίωση)

Και αυτό επαναλαμβάνεται κάθε 25ns !

**Αλλη/πιδράσεις ανά
διασταύρωση:**

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

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

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

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

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

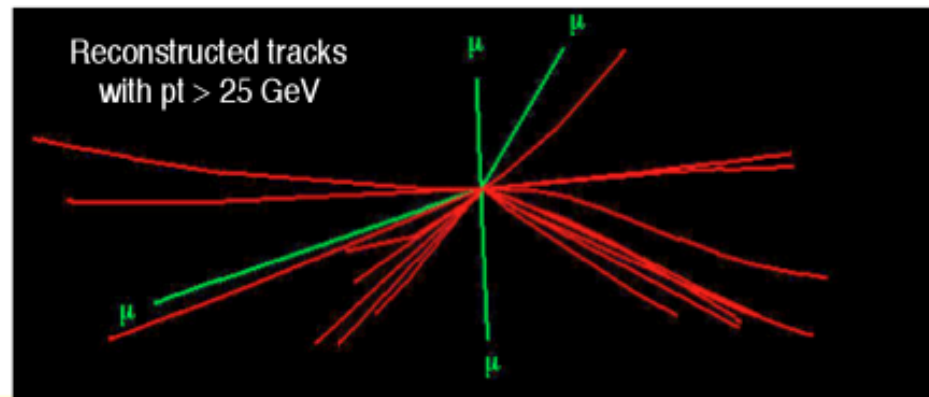
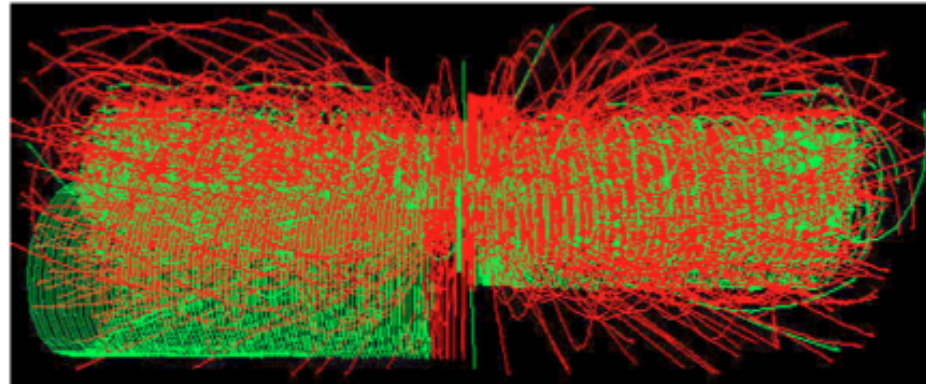
80% bunches full:

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

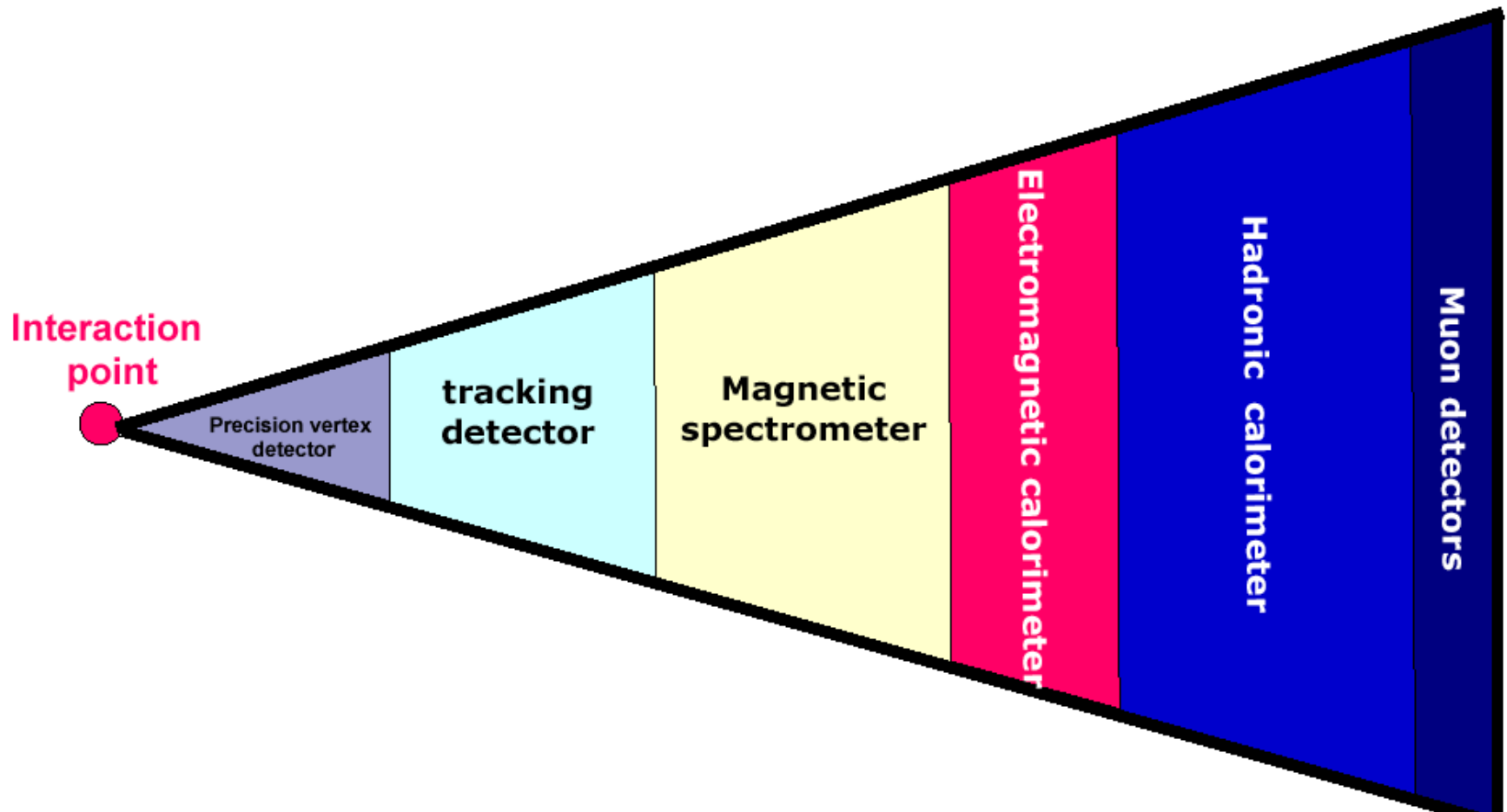
**~ υπέρθεση 20
γεγονότων!**

**Παράδειγμα: η
«χρυσή» υπογραφή
του Higgs:**

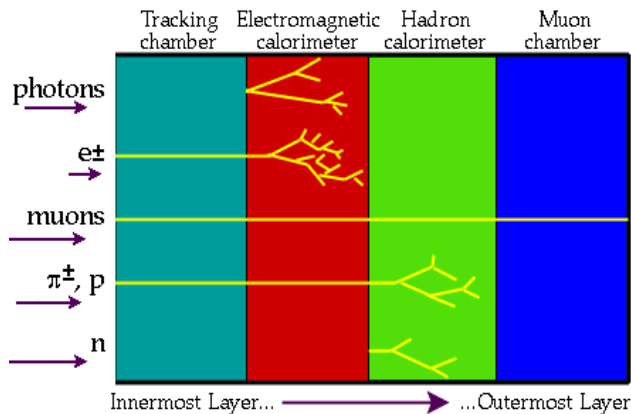
$H \rightarrow ZZ$, $Z \rightarrow \mu\mu$, $H \rightarrow 4\mu$:



Τυπική σειρά ανιχνευτών σε πειραματική διάταξη

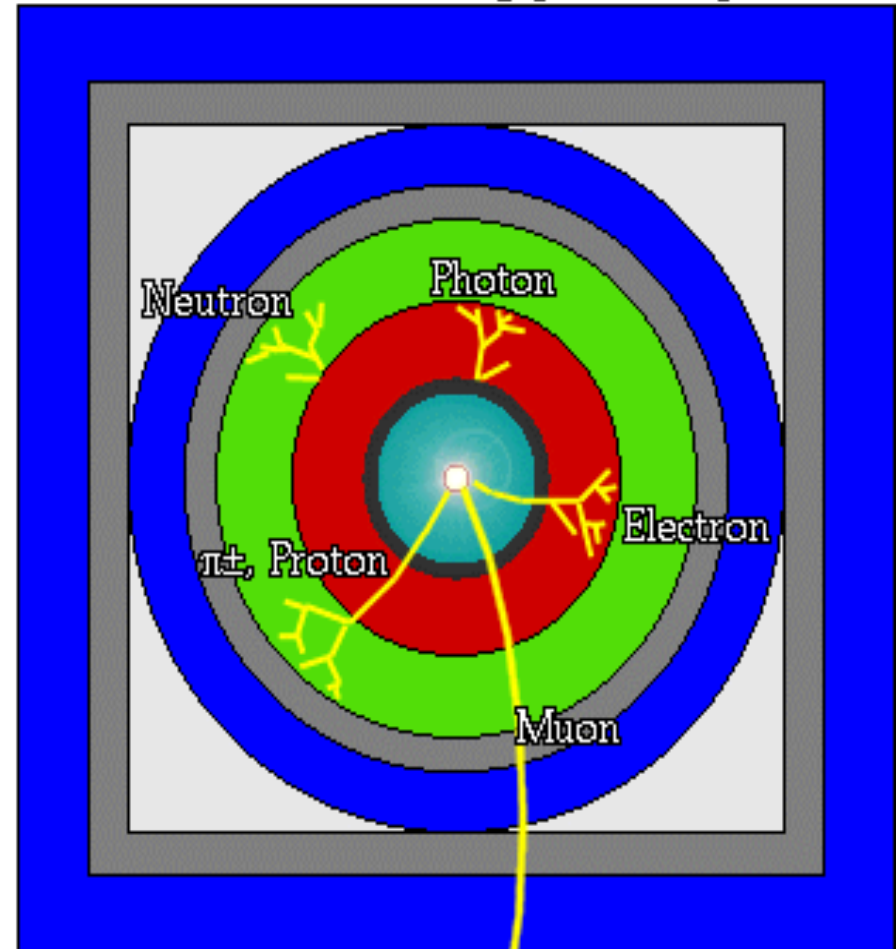


Αλληλεπίδραση διαφόρων σωματιδίων με διάφορα είδη ανιχνευτών



A detector cross-section, showing particle paths

- Beam Pipe (center)
- Tracking Chamber
- Magnet Coil
- E-M Calorimeter
- Hadron Calorimeter
- Magnetized Iron
- Muon Chambers

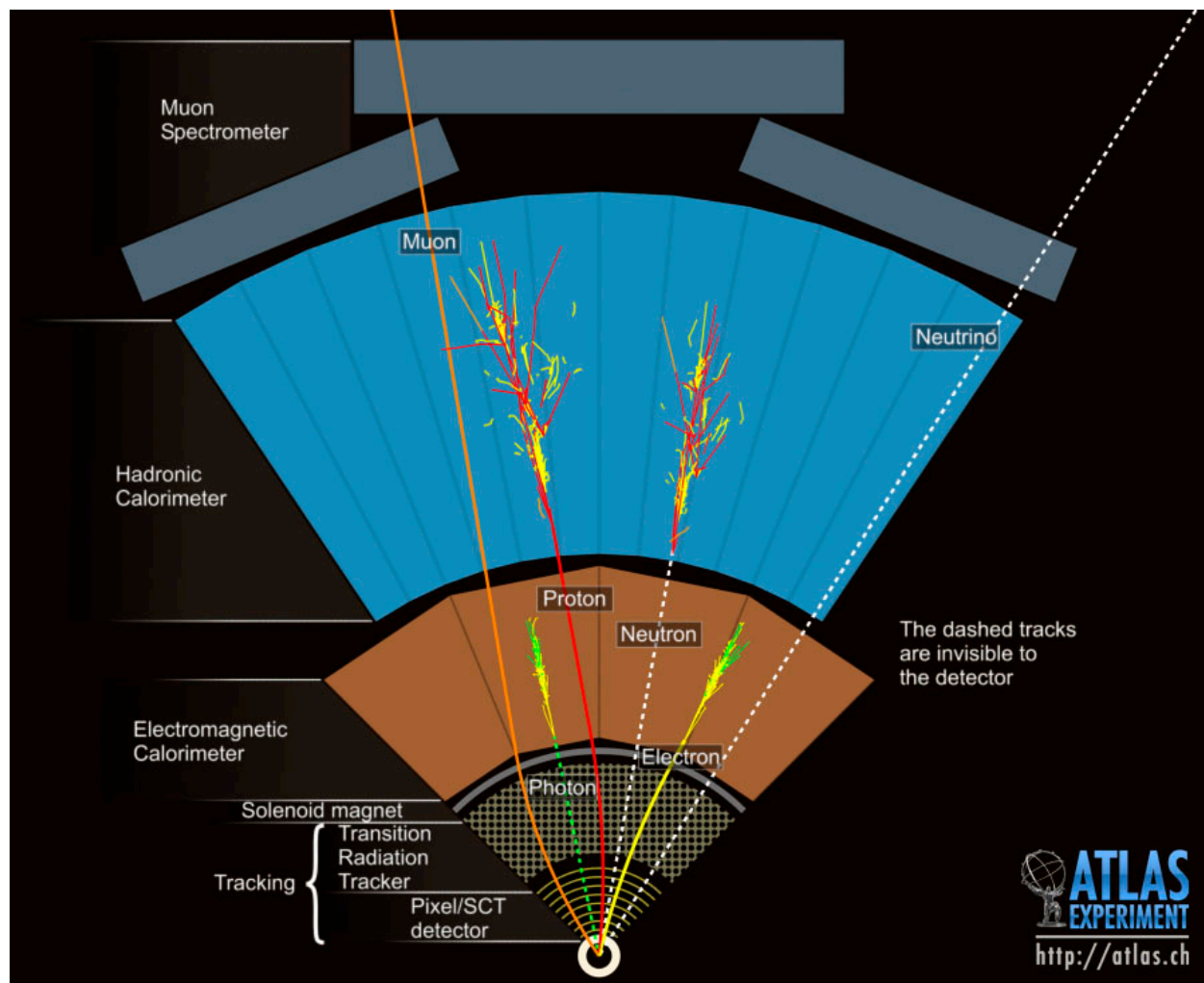


Η θέση των διαφόρων
τύπων ανιχνευτών
σ' ένα πείραμα
συγκρουόμενων
δεσμών

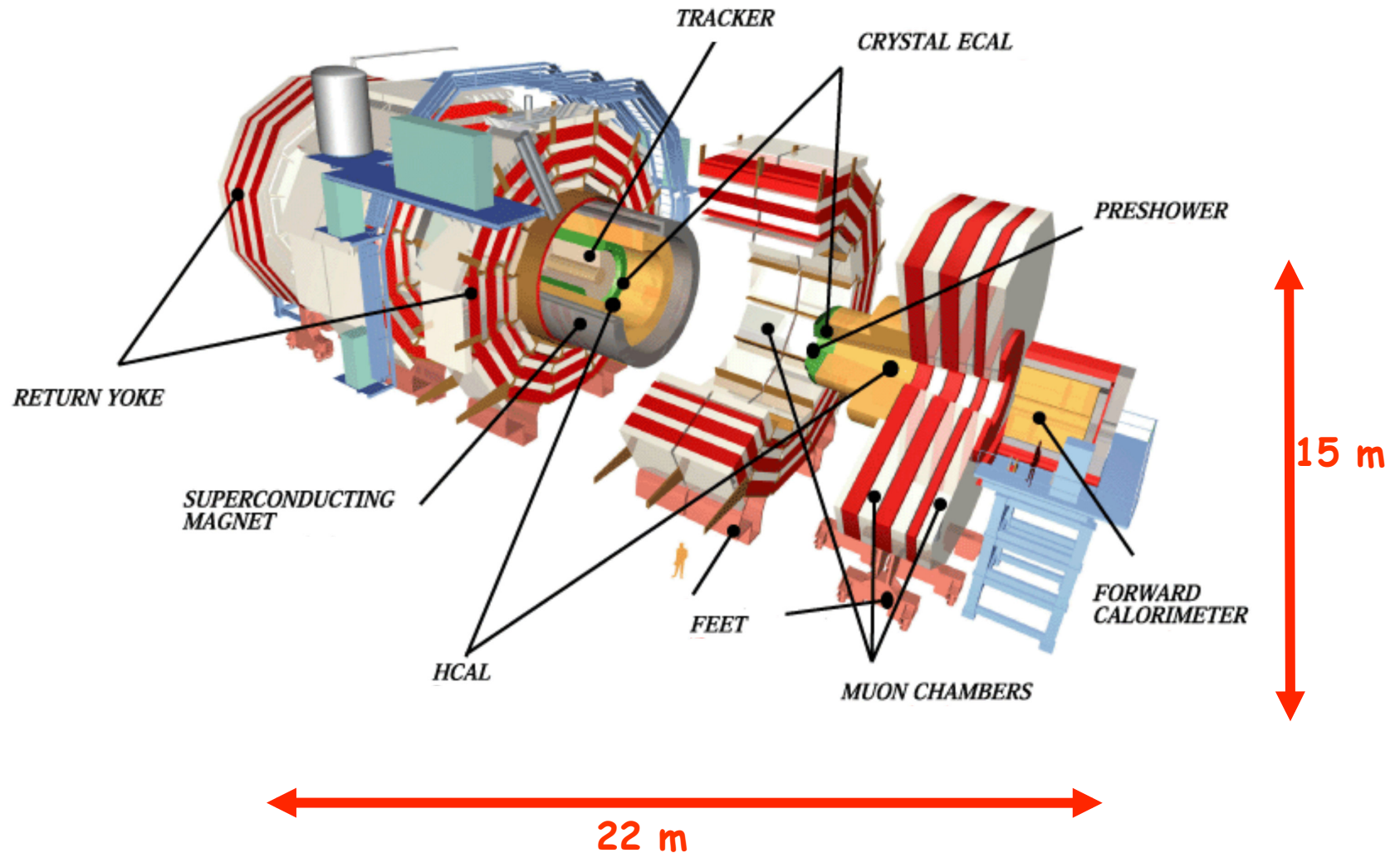
Ανίχνευση σωματιδίων

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

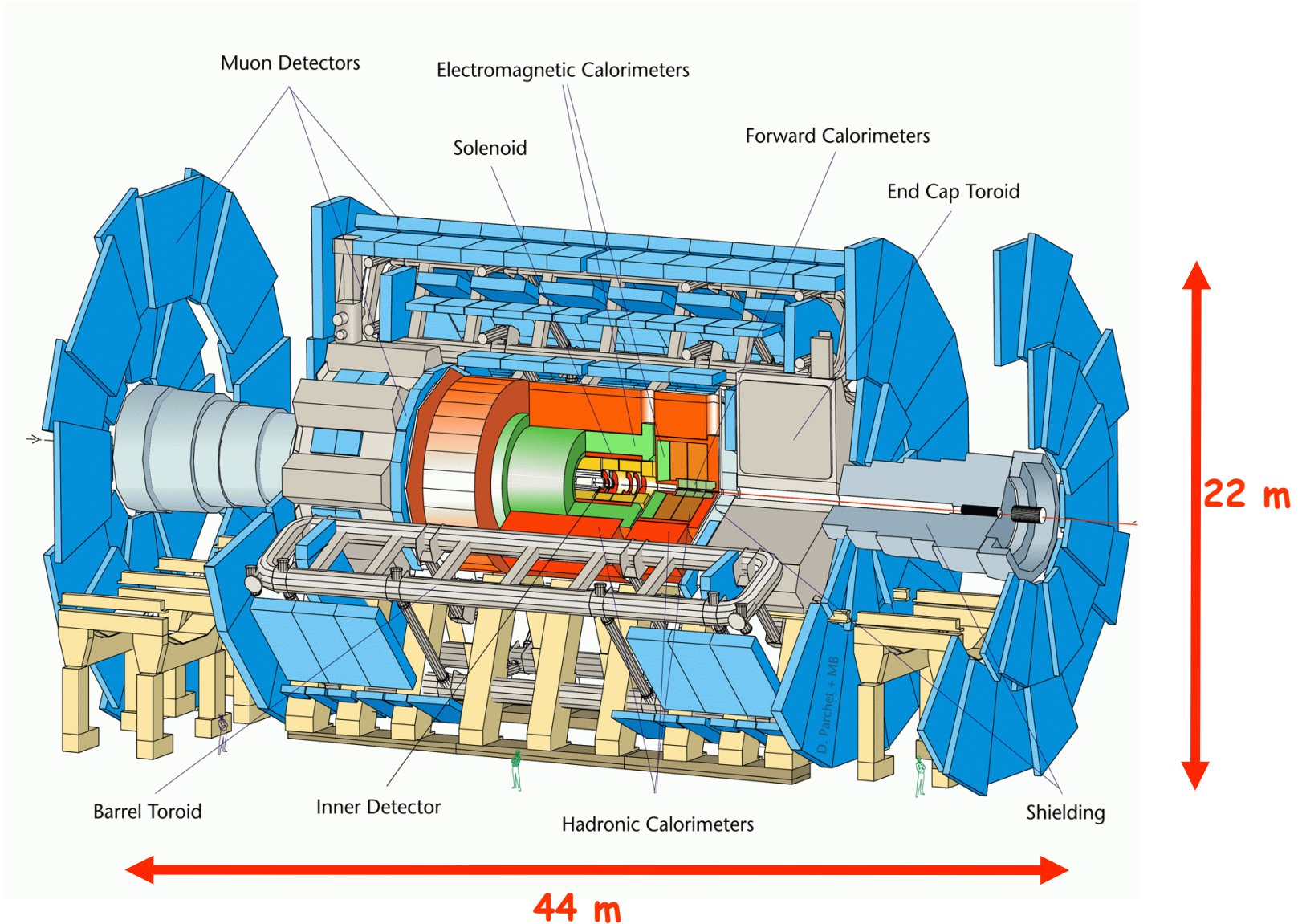
Η θέση των
διαφόρων
τύπων
ανιχνευτών
σ' ένα
πείραμα
συγκρουόμενων
δεσμών



Compact Muon Spectrometer, CMS



A Toroidal LHC ApparatuS , ATLAS



Το Πείραμα ATLAS στην Ελλάδα

Μιόνια : Η ανίχνευση 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

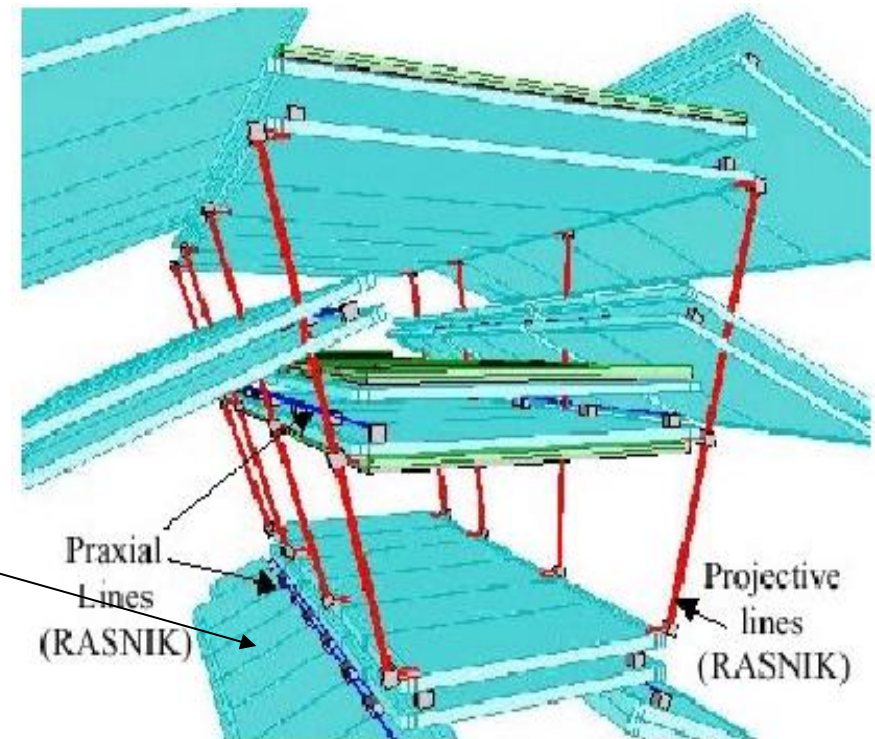
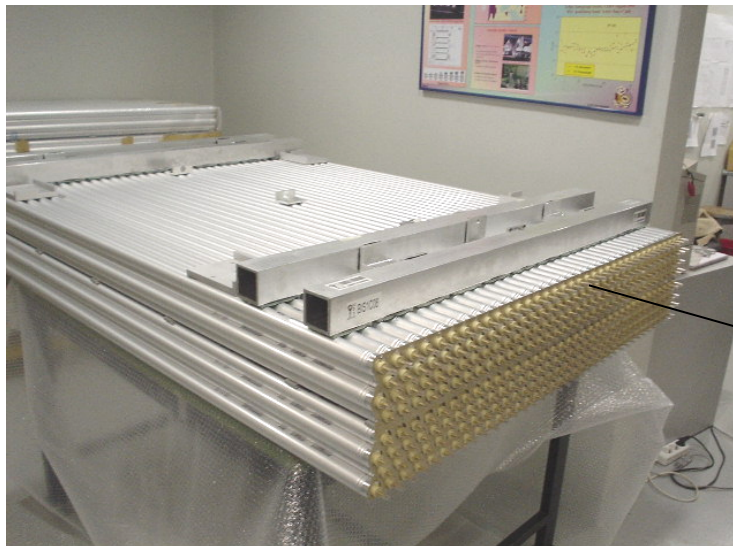
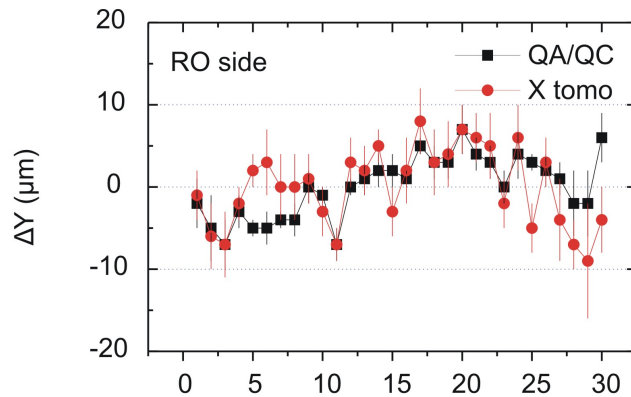
Χώρος Ελεγχόμενων Συνθηκών



Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

- Η Πρόκληση (1) :

Κατασκευή ανιχνευτών με ακρίβεια μερικών μικρών (μm)



Created a Production
line for BIS chambers
construction
through Greece

To CERN

Auth

NTUA
UoA

AUTH
Final Assembly

NTUA
QAssurance-QControl

UoA
Construction of tubes

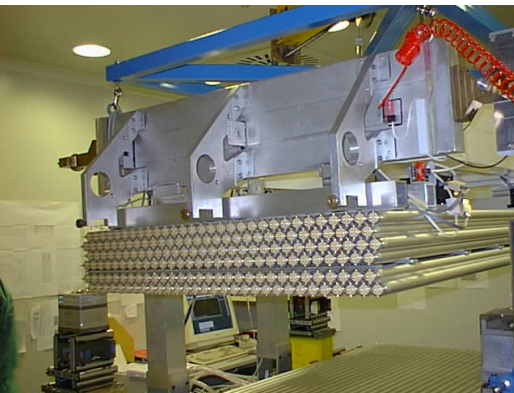
ΑΠΘ στην κατασκευή του ATLAS

Τμ. Φυσικής,
Εργ. Πυρηνικής
κ. Πετρίδου

Τμ. Μηχανολόγων Μηχ.
Εργ. Εργαλειομηχανων
κ. Μπουζάκης

1998-2004 Κατασκευή των θαλάμων BIS

- Clean Room
- Granite table (2200x2700x400 mm³, 7 ton)
- 3-D measuring CMM machine with precision of $\pm 3\mu\text{m}$



Οι θαλαμοι BIS στο CERN

2004 – 2006 **BIS integration (services) and test, Chamber Certification**

2006 – 2008 **BIS installation, Commissioning, Data Taking**

Gas System

Cosmic ray trigger

High Voltage



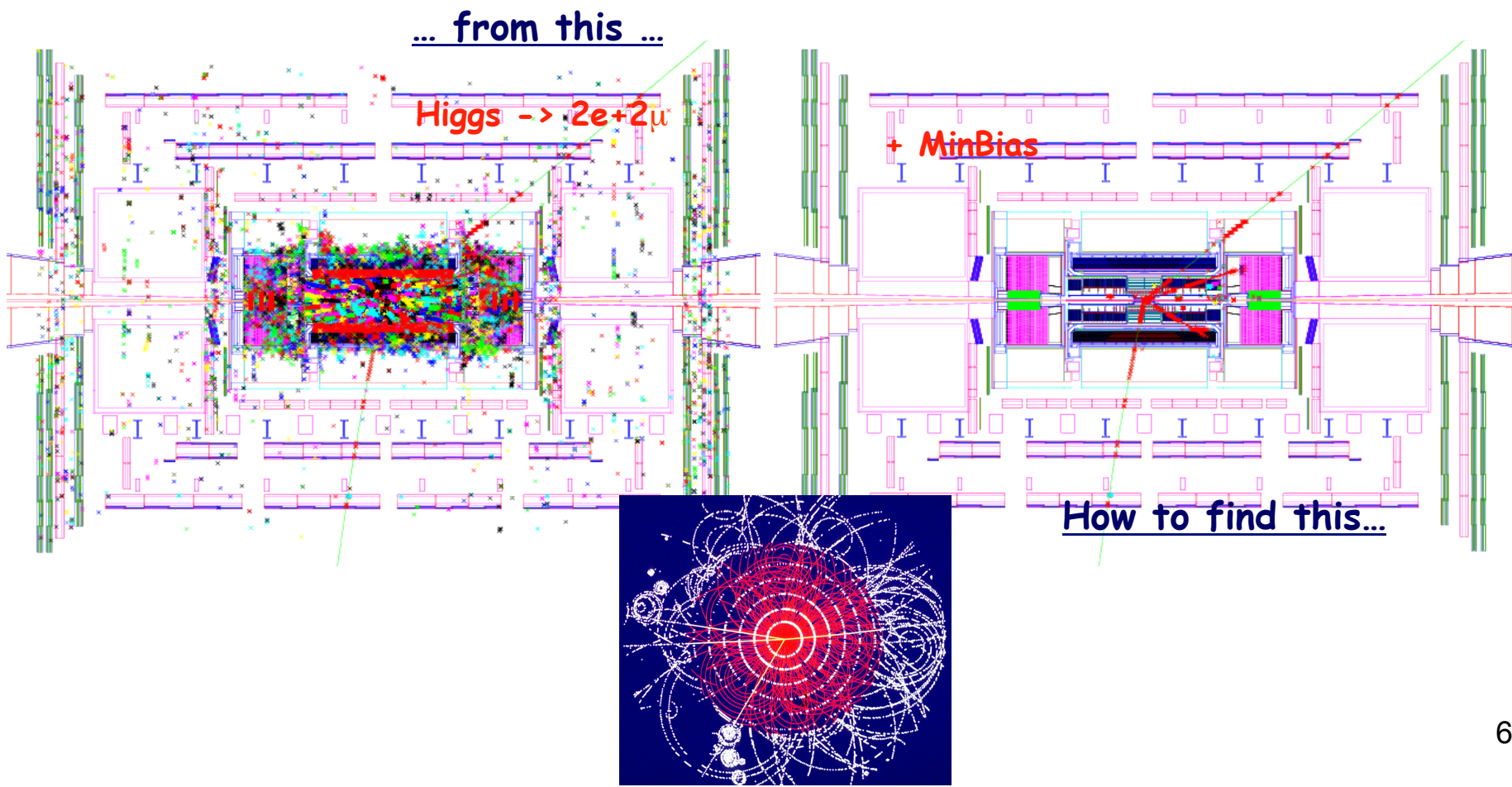
Low Voltage

BIS chambers

Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

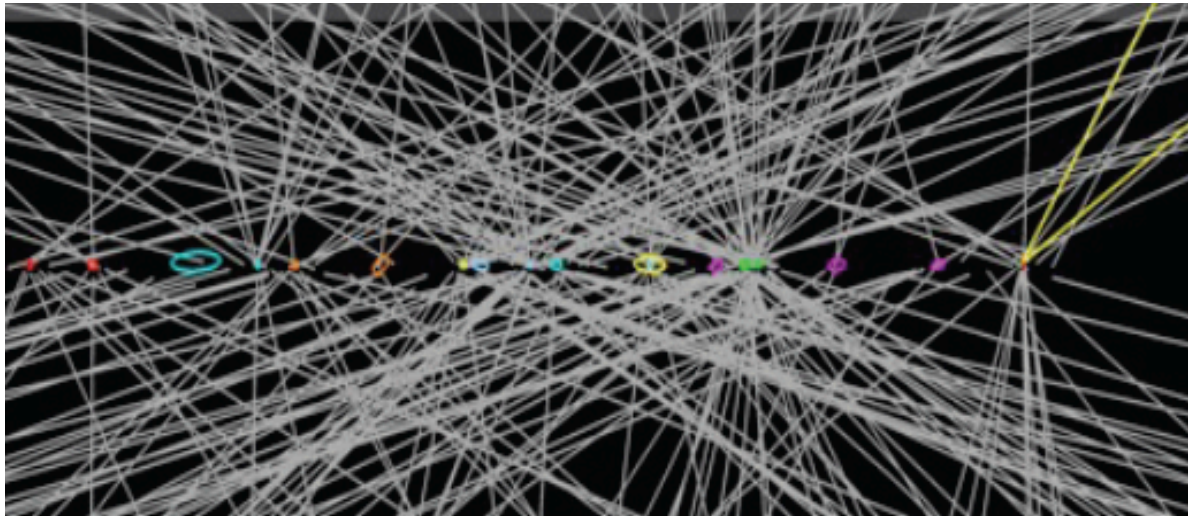
Ο στόχος-πρόκληση (II) :

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



Πως αναζητούμε το Higgs
στα δεδομένα του ανιχνευτή;

Πως αναζητούμε το Higgs;



Τι βλέπει ο ανιχνευτής μας

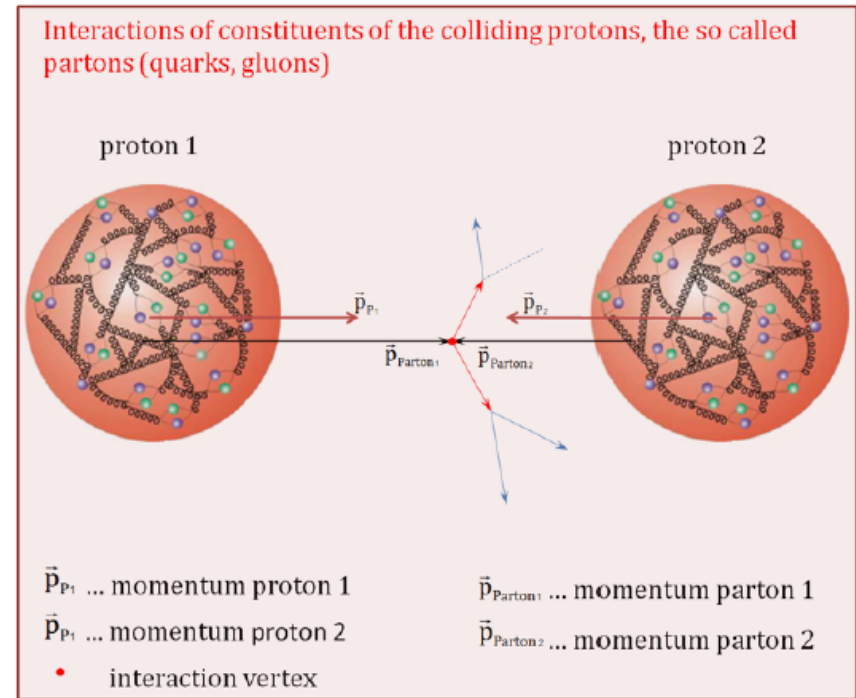
"A needle in a haystack"!



Μετά την ταυτοποίηση όλων των σωματιδίων που παράγονται σ' αυτή τη μία σύγκρουση βλέπουμε αν στη συγκεκριμένη σύγκρουση δημιουργήθηκε ένα σωματίδιο Higgs: $E=mc^2$

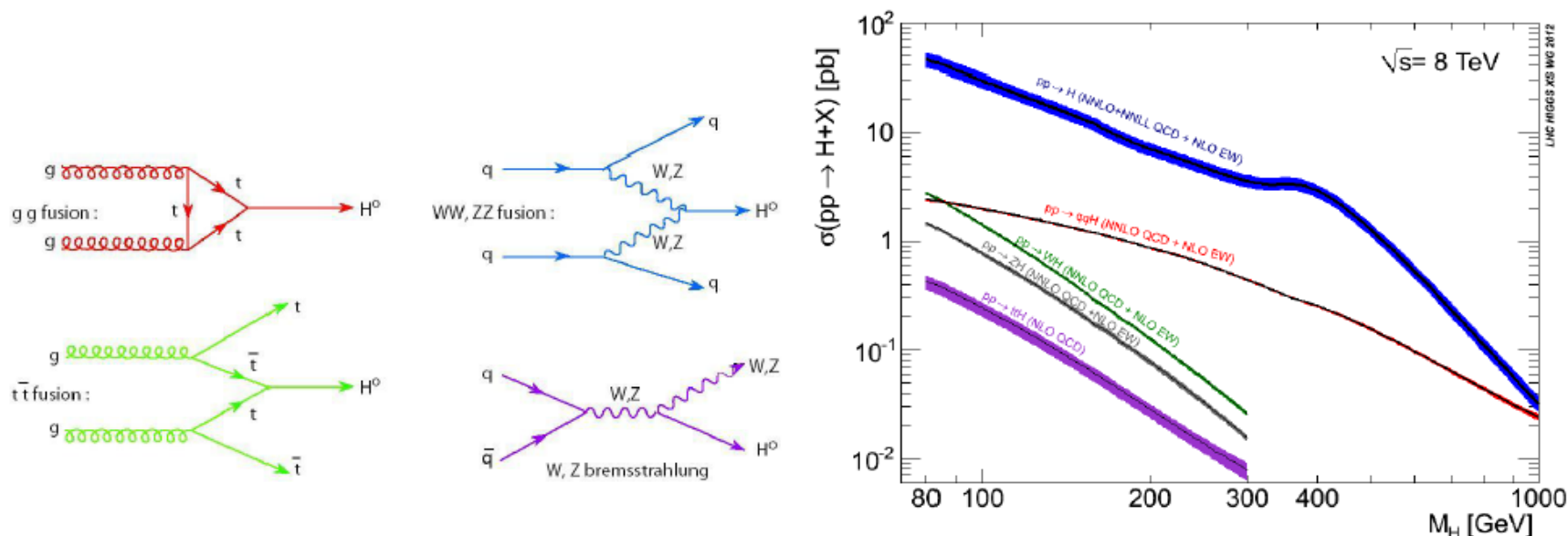
Συγκρούοντας Πρωτόνια

- Για να ανακαλύψουμε “νέα” σωματίδια πρέπει πρώτα **να τα παράγουμε**.
- Για να τα δημιουργήσουμε χρειαζόμαστε **υψηλές ενέργειες**
- Σε μια σύγκρουση πρωτονίου-πρωτονίου συγκρούεται ένα από τα συστατικά του κάθε πρωτονίου.
- Ποτέ δεν είμαστε σίγουροι για το πόση ακριβώς ενέργεια είναι διαθέσιμη.



Σύγκρουση πρωτονίου-πρωτονίου → πολλά τα πιθανά αποτελέσματα,
Αυτό είναι καλό αν δεν ξέρεις που ακριβώς να ψάξεις....
Ο LHC είναι μια ιδανική **“μηχανή ανακαλύψεων”**.

Παραγωγή του σ . Higgs

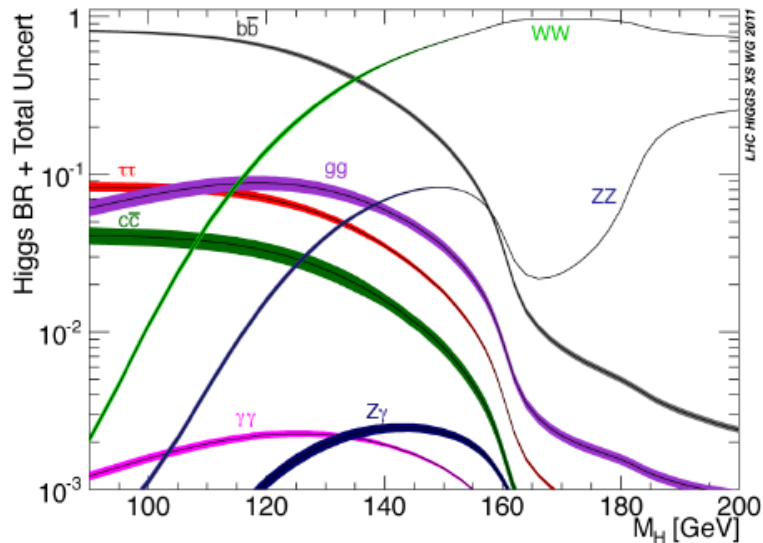


Στις ενέργειες του LHC τα πρωτόνια είναι σαν θάλασσες γκλουονίων.

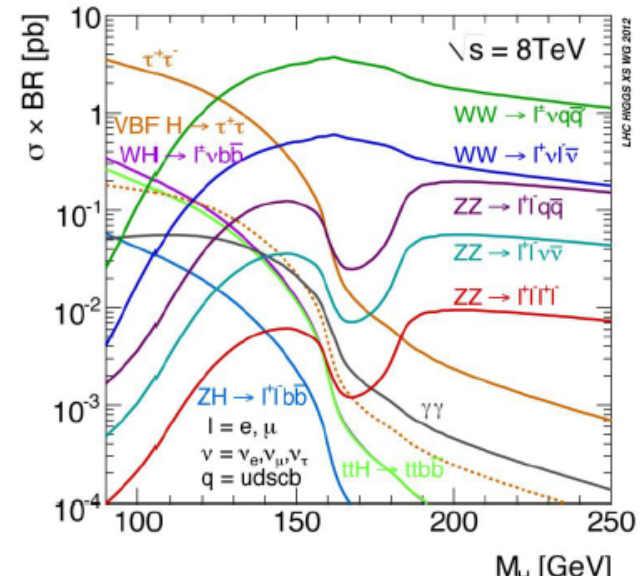
Το Higgs παράγεται μέσα από κβαντομηχανικούς βρόγχους με βαρύτερα σωματίδια

Οι διασπάσεις του Higgs

Branching ratio



Production cross-section X Branching ratio



Το μποζόνιο Higgs μπορεί να διασπαστεί με διάφορους τρόπους.

Αν θεωρήσουμε ότι το μποζόνιο Higgs έχει μάζα 125 GeV θα πρέπει να έχουν παραχθεί **~200.000 Higgs** μέχρι την 4-7-2012. Τα περισσότερα δεν είναι δυνατό να διακριθούν μέσα στις **8×10^{14}** συγκρούσεις.

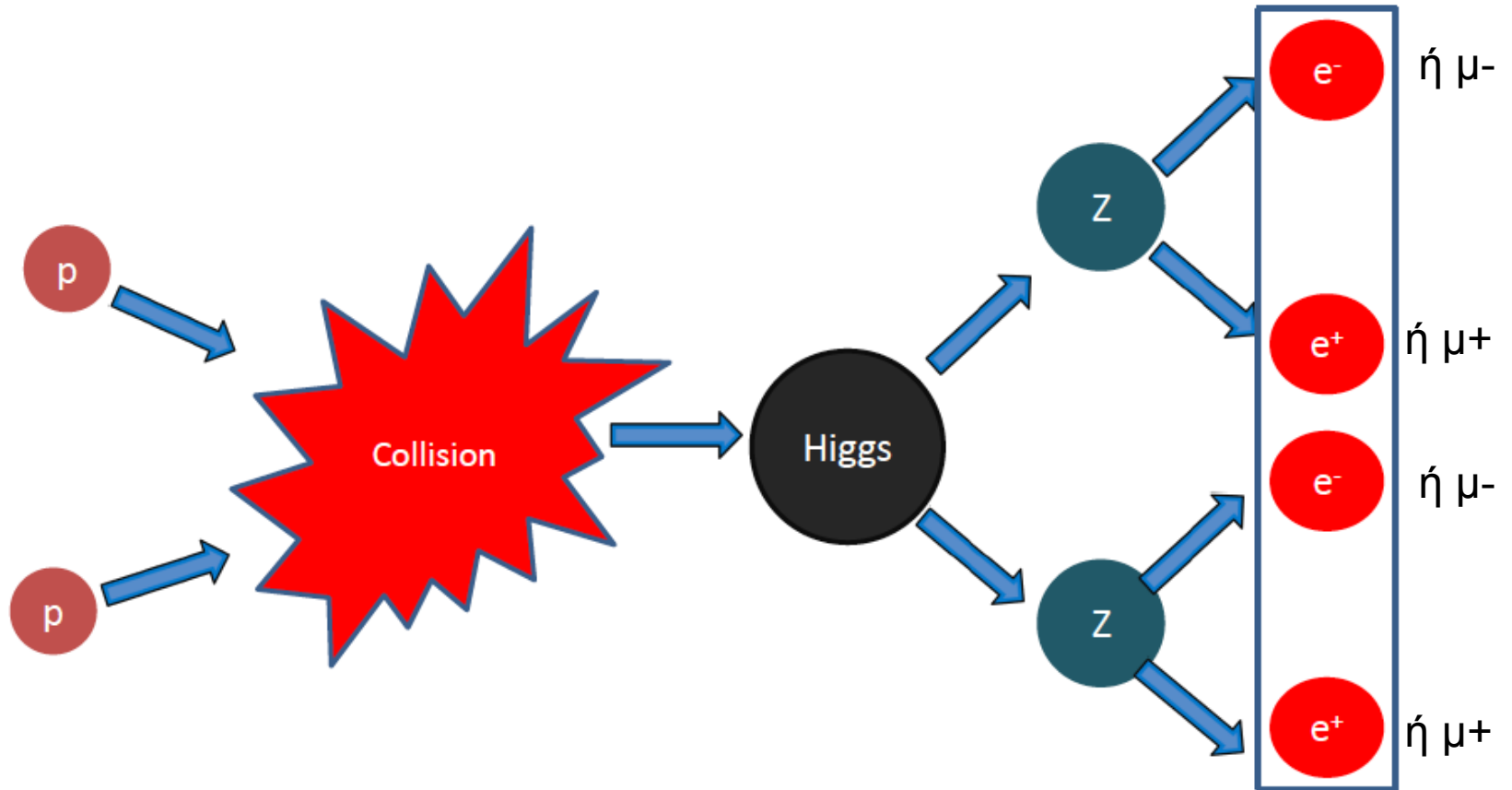
Γιαυτό εστιάζουμε σε καθαρό σήμα.

Οι πιο σημαντικοί είναι **$H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4\text{leptons}$** (“Golden Channel”) και **$H \rightarrow \gamma\gamma$**

Δεν είναι οι πιο πιθανοί τρόποι αλλά οι “καθαροί”

$$H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4l$$

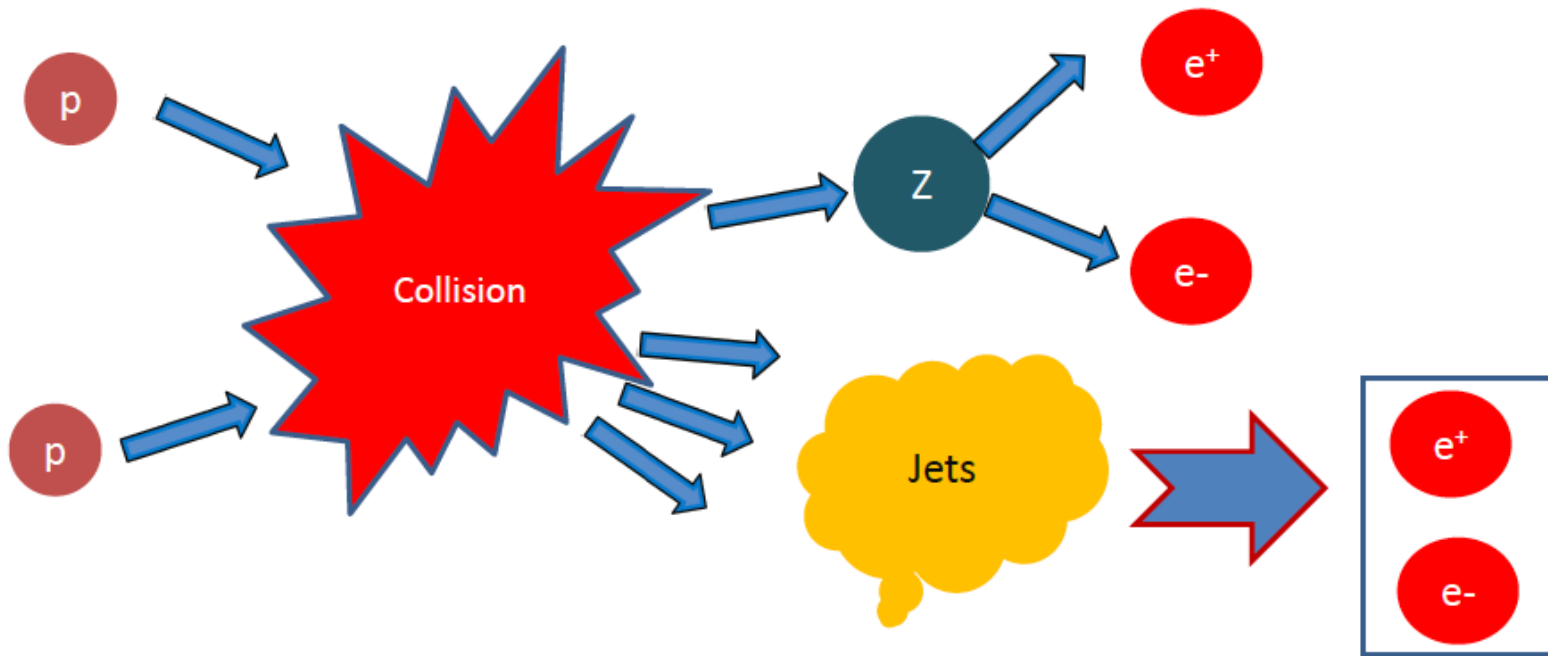
Πολύ καθαρό κανάλι, αλλά αναμένονται πολύ λίγα γεγονότα



Υπόβαθρο

Αμείωτο (Irreducible): παραγωγή ZZ από pp . Μοιάζει το ίδιο όπως το σήμα από το Higgs αλλά δεν δίνει “κορυφή”.

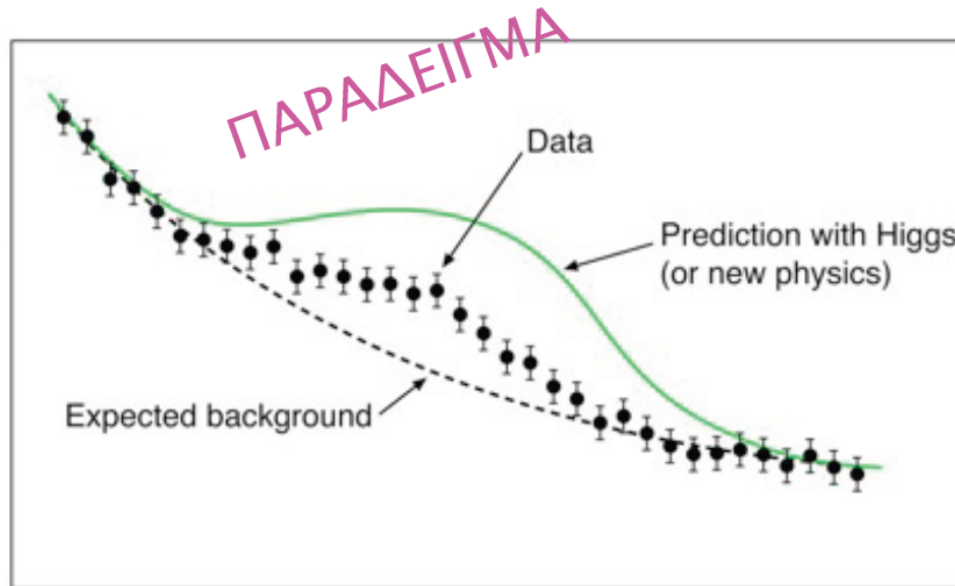
Μειώσιμο (reducible): λάθος στην ανακατασκευή π.χ. να θεωρηθεί ένα jet για ηλεκτρόνιο ή μιονίο.



ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΗ η καλή γνώση του υποβάθρου

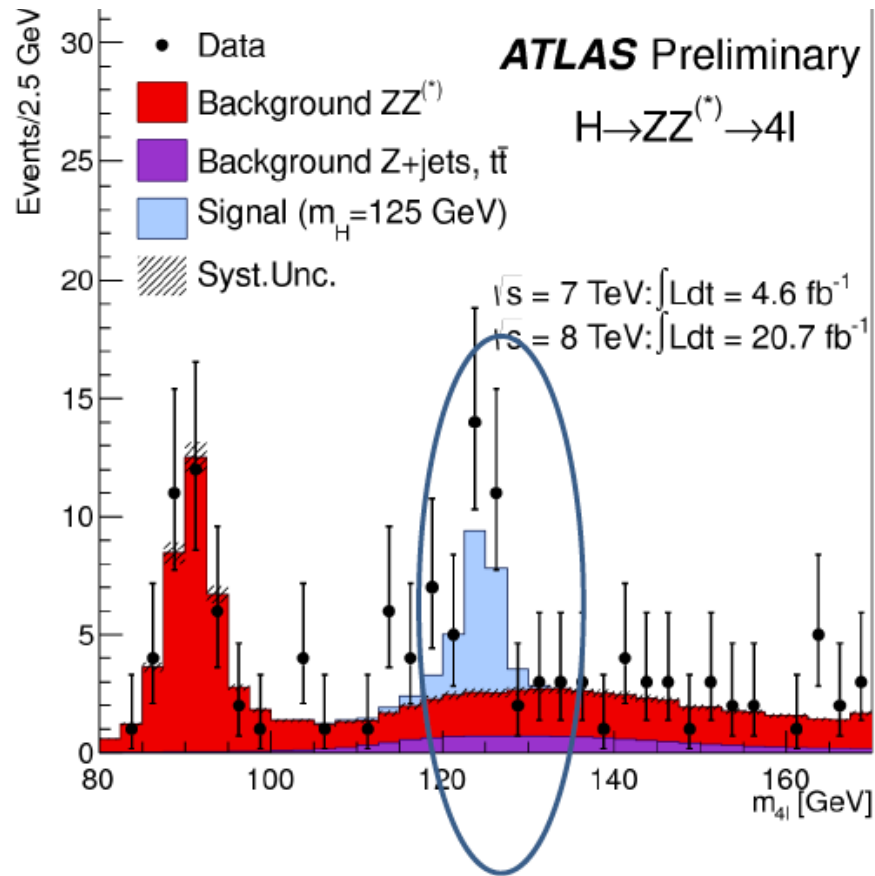
Πως αναζητούμε το Higgs;

Αριθμός γεγονότων



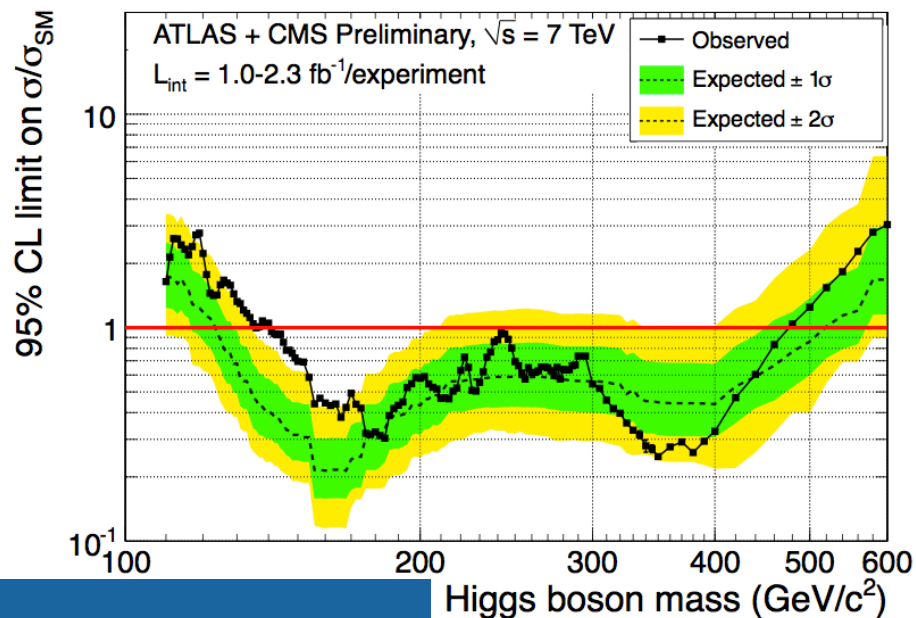
Μάζα του συστήματος των 4 μονίων

Αποτελέσματα του $H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4l$



Το Higgs εμφανίζεται σαν καθαρή κορυφή πάνω σ'ένα σχετικά επίπεδο υπόβαθρο.

Τα πρώτα αποτελέσματα για το σωματίδιο Higgs Δεκέμβριος 2011!



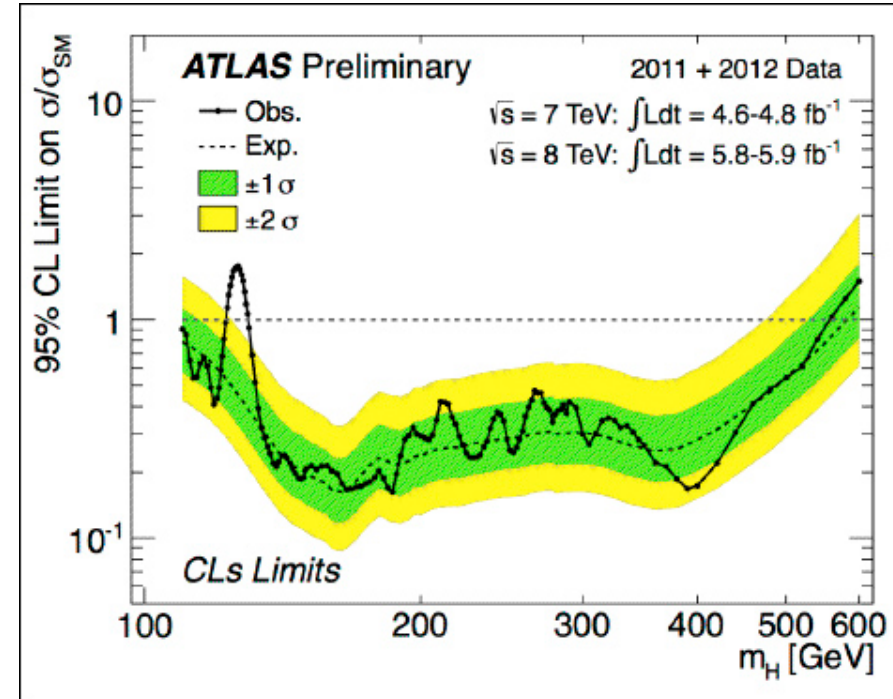
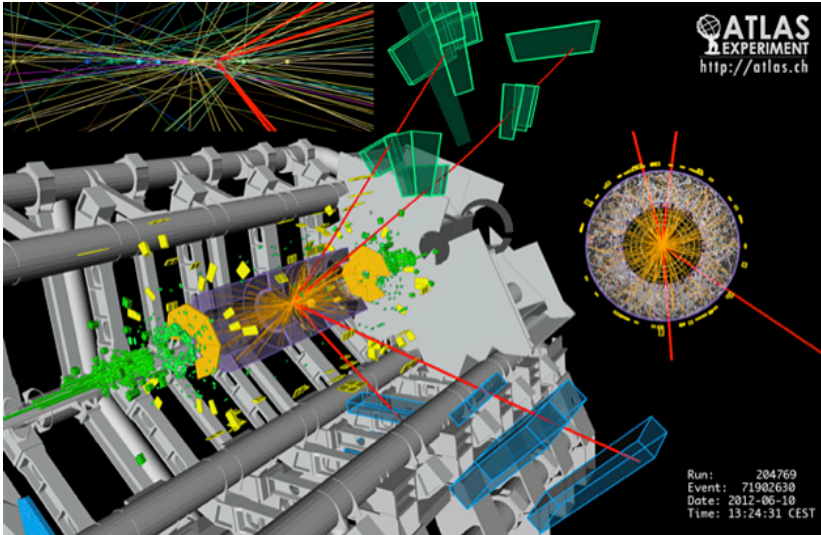
CERN PUBLIC SEMINAR

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'

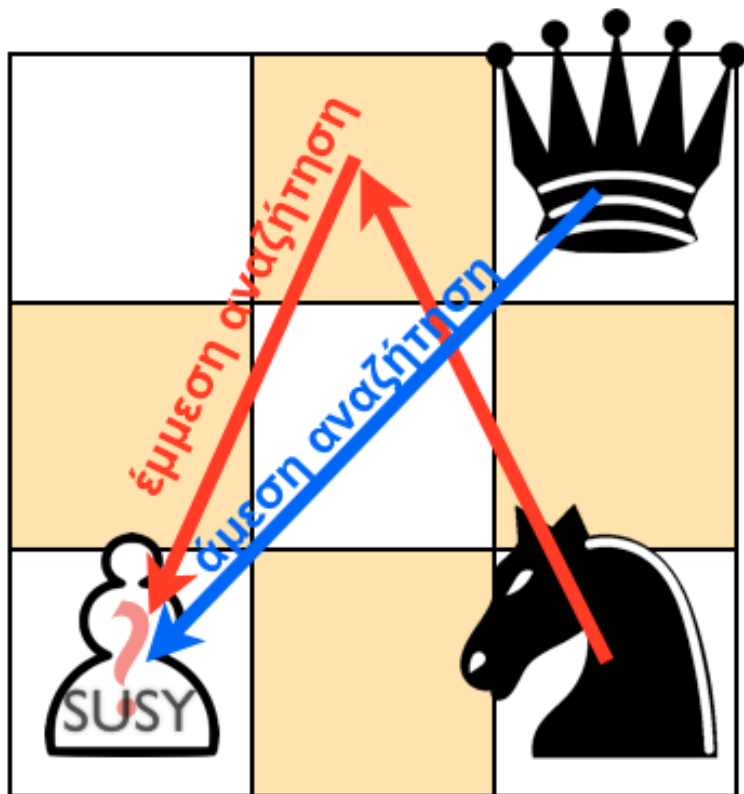
Η επίσημη ανακοίνωση από το CERN για την ανακάλυψη του σωματιδίου Higgs: 4 Ιουλίου 2012!



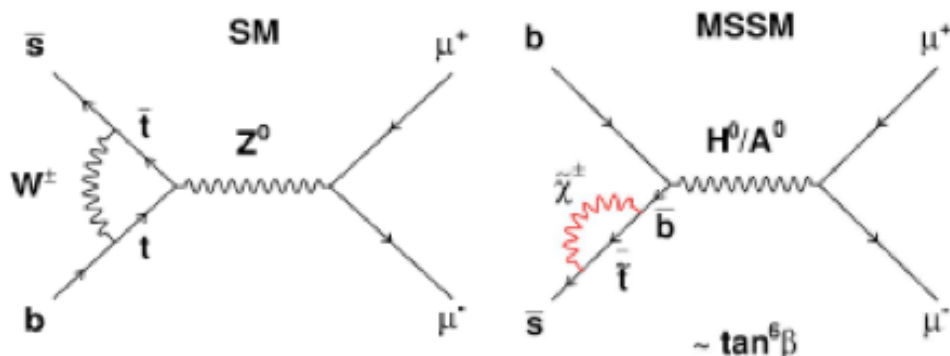
Οι Peter Higgs και Francois Englert συγκινημένοι απευθύνουν το ακρωατήριο μετά την ανακοίνωση της ανακάλυψης του Higgs στις 4 Ιουλίου 2012

Φυσική b-quark b-physics

- Οι σπάνιες διασπάσεις των B-αδρονίων μπορούν να αποδείξουν ή να αποκλείσουν την ισχύ νέων πιθανών μοντέλων φυσικής



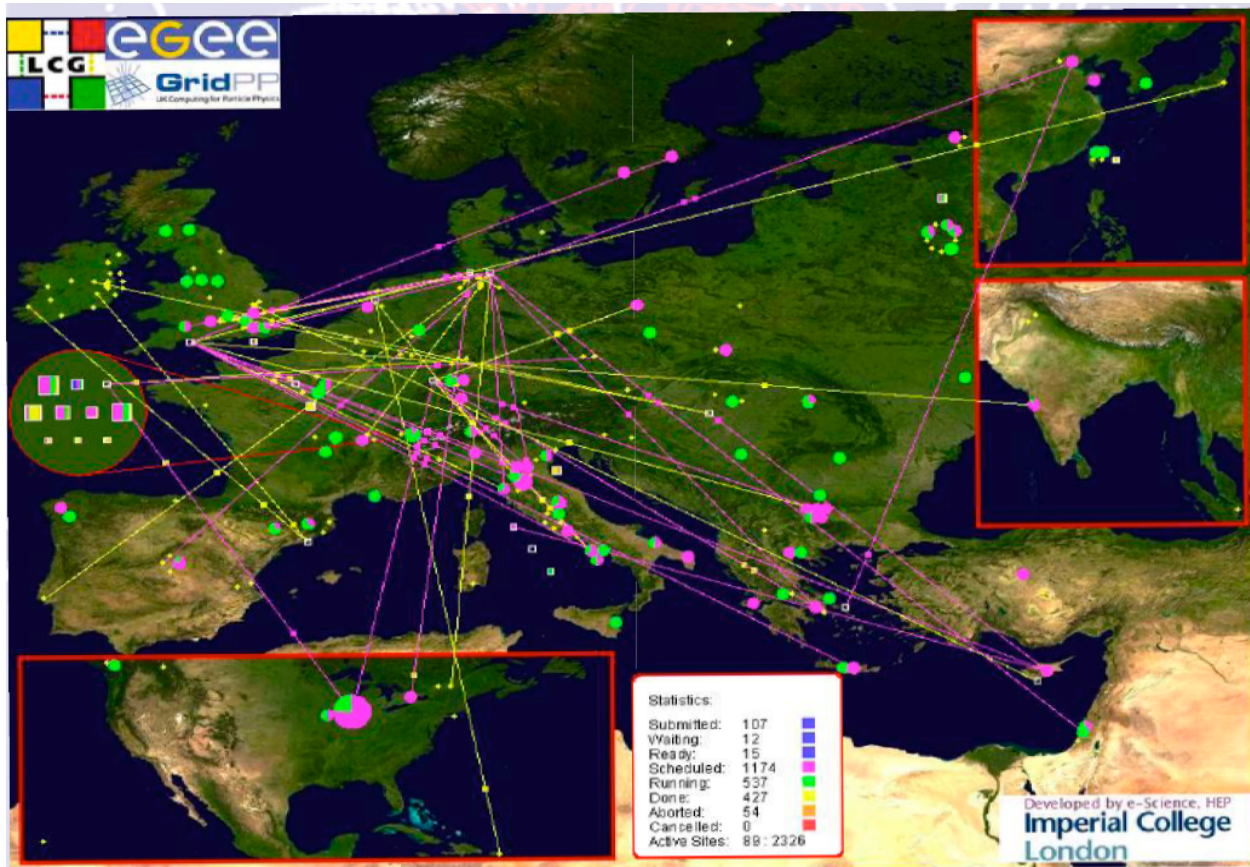
Αναζήτηση της σπάνιας διάσπασης $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$



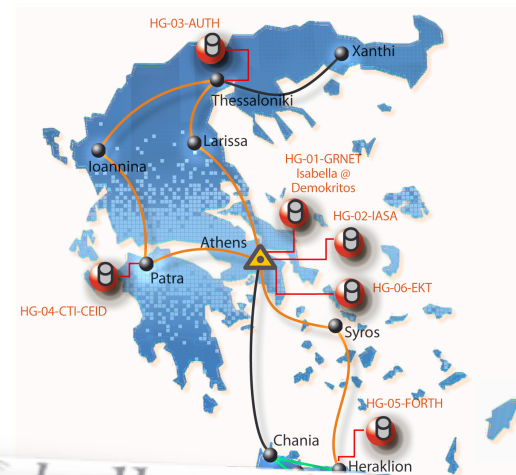
Η πιθανότητα της διάσπασης $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ είναι μια παράμετρος που εξαρτάται έντονα από την ύπαρξη “Νέας Φυσικής” (Υπερσυμμετρία?)

- ➡ Υπερσυμμετρικά μοντέλα προβλέπουν ότι η πιθανότητα διάσπασης του $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι προβλέπει το ΚΠ
- ➡ Πειραματική επιβεβαίωση της πρόβλεψης του ΚΠ μπορεί να περιορίσει την ισχύ διάφορων μοντέλων υπερσυμμετρίας

Ο Παγκόσμιος Ιστός Τεχνολογίας Πλέγματος (GRID)



Το Εργαστήριο
Πυρηνικής έφερε πρώτο
το Grid στο ΑΠΘ.



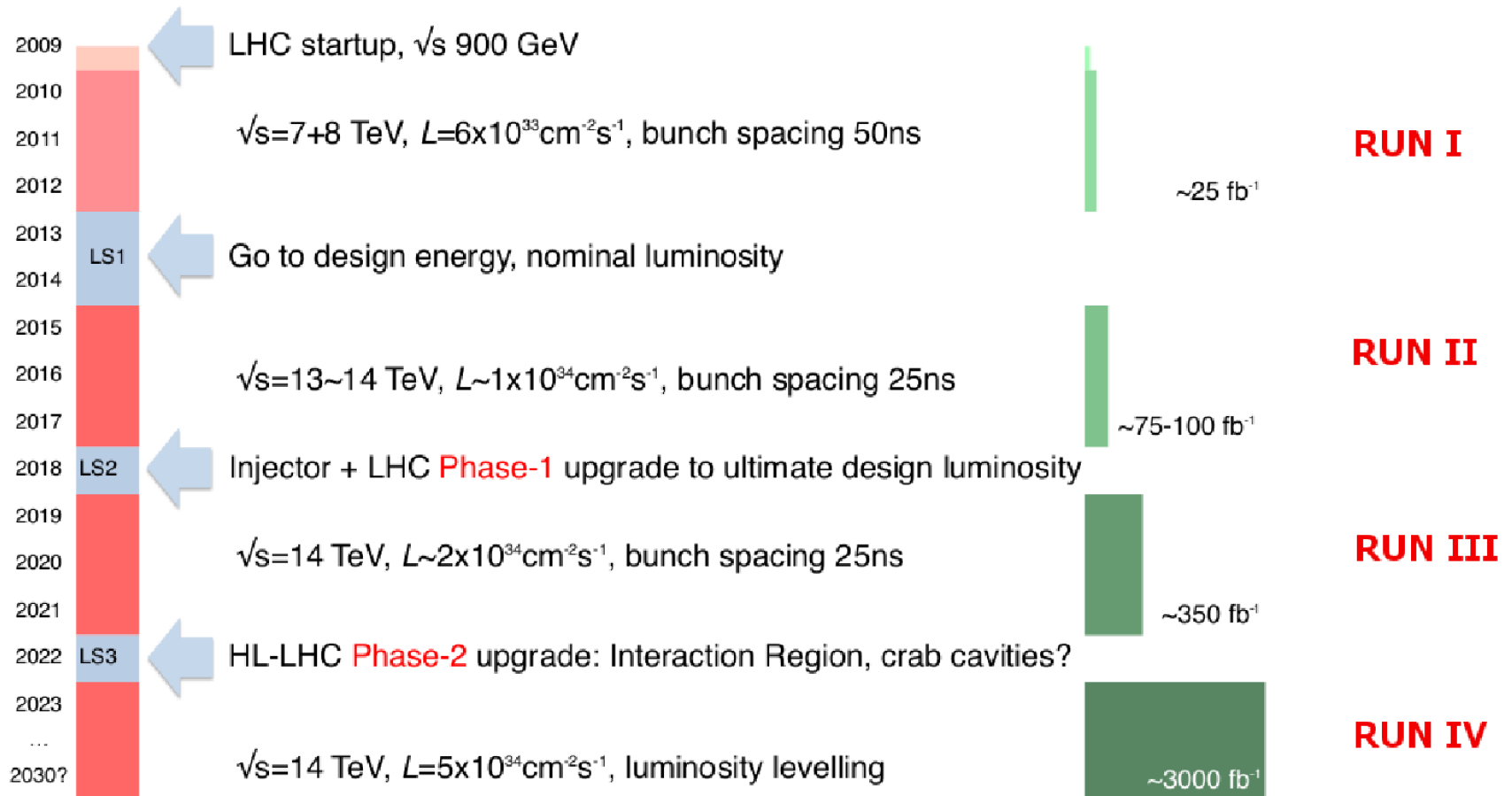
Το Μέλλον (the future)

Νέα ερωτήματα:

- ✧ Αυτό το νέο σωματίδιο έχει τις ιδιότητες του SM Higgs;
- ✧ Πόση είναι η μάζα του;
- ✧ Υπάρχουν άλλα Higgs bosons;
(διάφορα μοντέλα προβλέπουν την ύπαρξη 5 διαφορετικών Higgs)

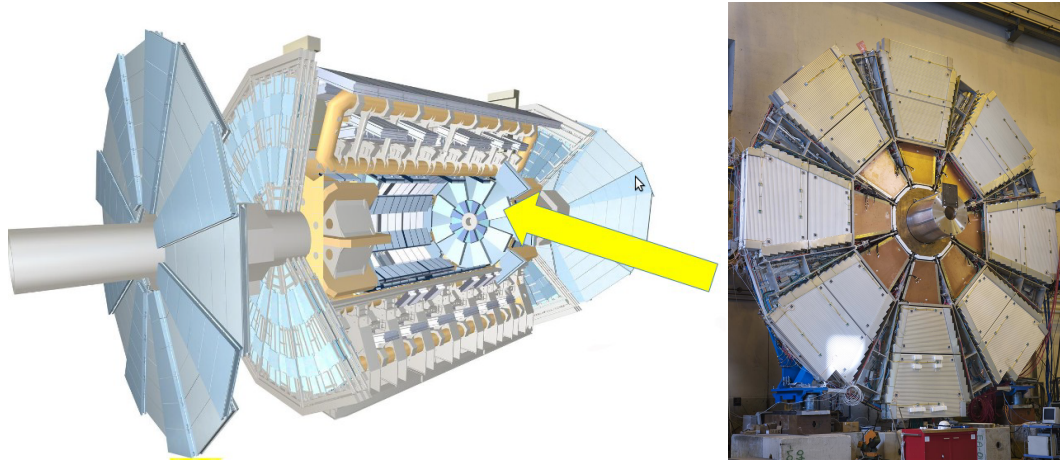
Αυτά τα ερωτήματα θα διερευνηθούν μετά την αναβάθμιση του LHC η οποία θέτει νέες προκλήσεις τόσο τεχνολογικές όσο και ανάπτυξης του λογισμικού.

Αναβάθμιση του LHC

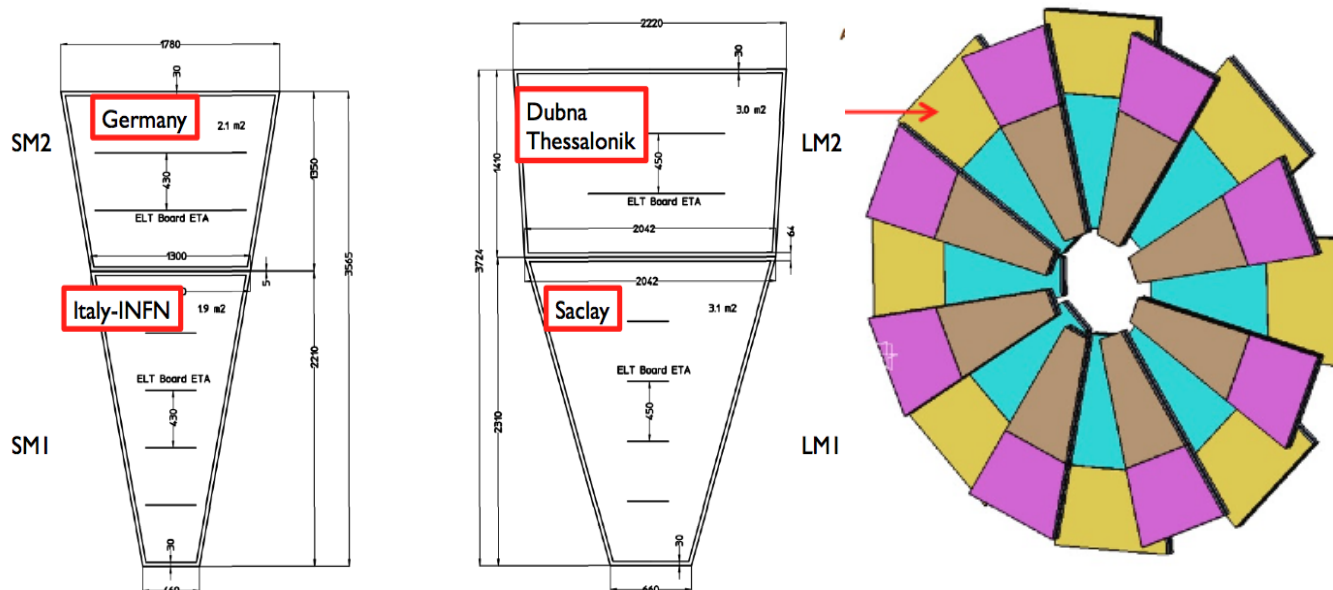


Αναβάθμιση του ATLAS

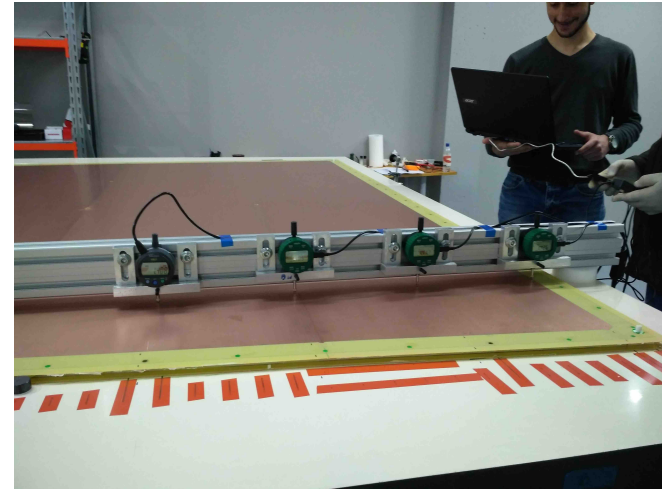
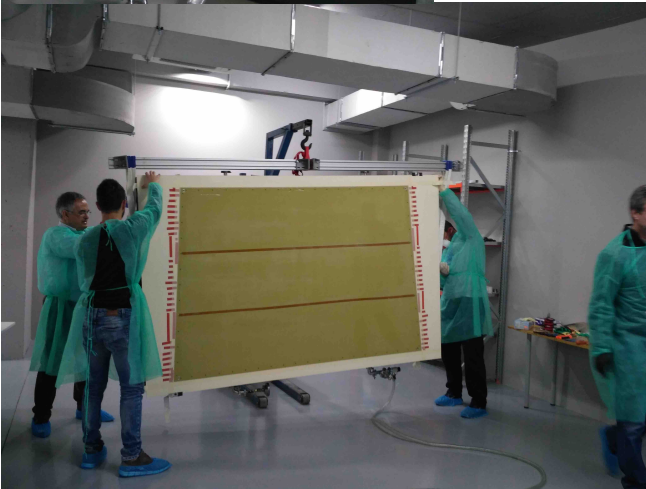
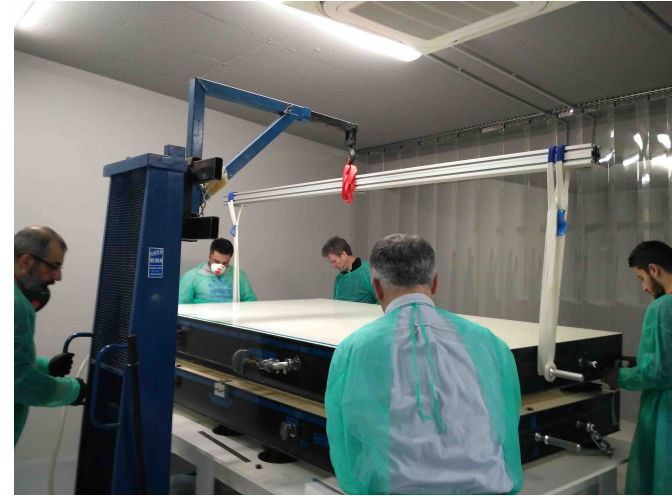
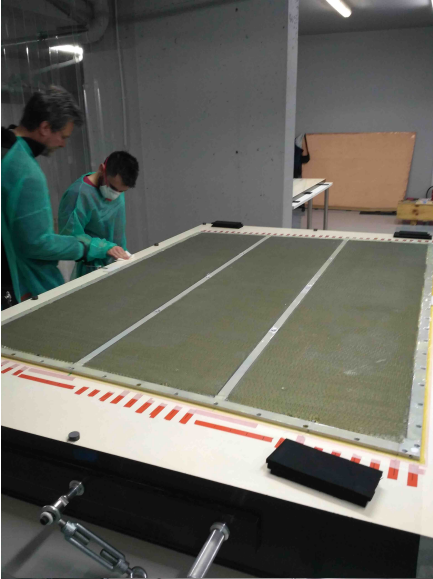
ATLAS Upgrade-New Small Wheel



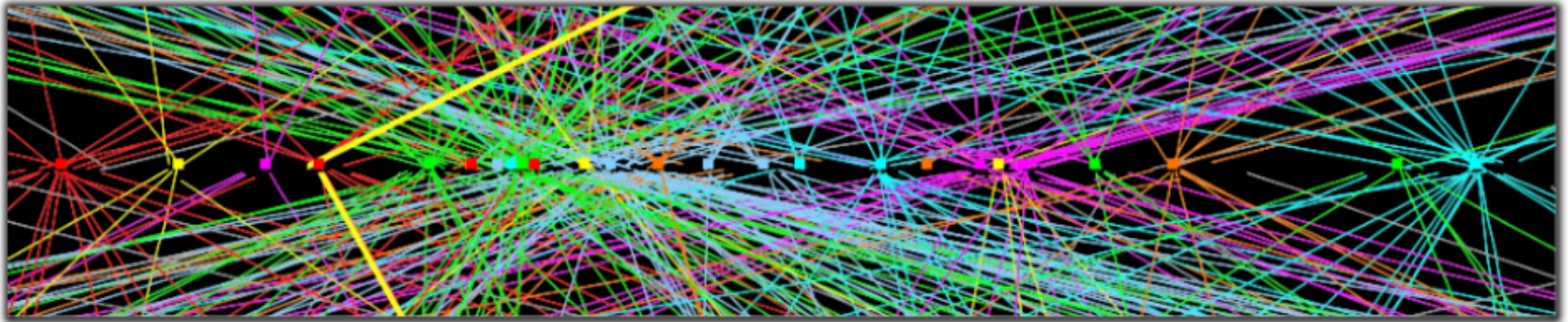
Θα αντικατασταθεί από νέας τεχνολογίας ανιχνευτές (Micromegas- sTGC)



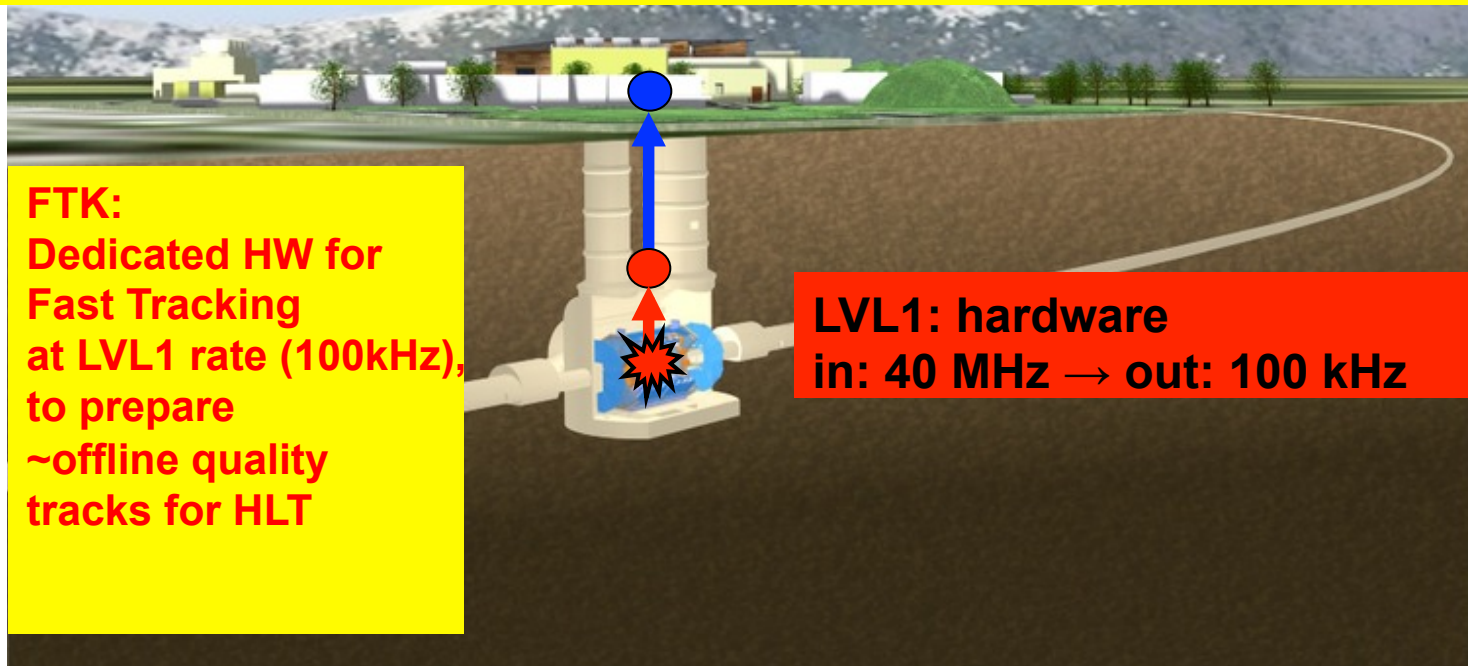
LM2 Module 0.5 at AUTH



FTK (Fast TrackKing) in the ATLAS Trigger & DAQ

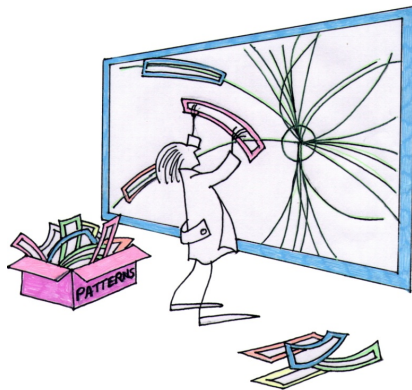


The trigger has to be very sophisticated. Use as much info from the event as possible!

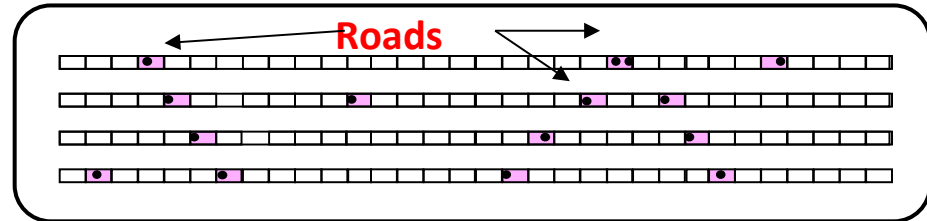


ΑΠΘ στο FTK: tracking in 2 steps

1. Find low resolution track candidates called “roads”. Solve most of the combinatorial problem with dedicated AM chips



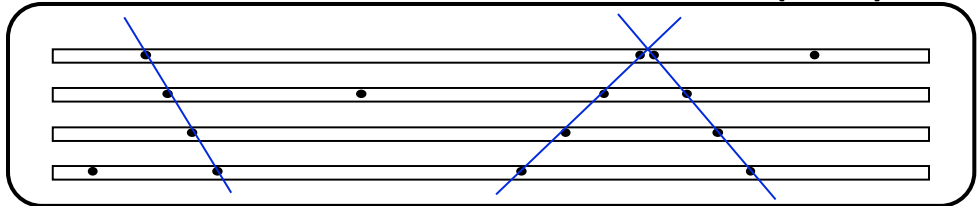
2. Then track fitting inside the roads with FPGAs.
Thanks to 1st step, this is much easier.



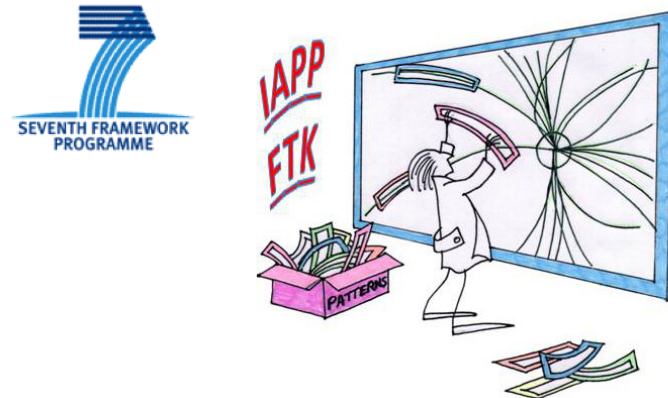
Pattern recognition using pre-stored patterns in Associative Memories (AM)

Originally:

M. Dell'Orso, L. Ristori, NIM A 278, 436 (1989)

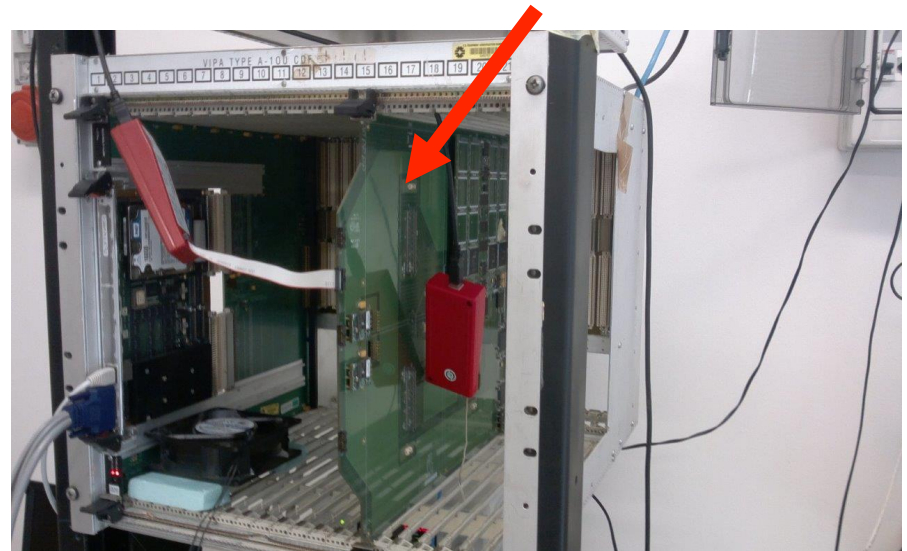


AUTH in FTK via an FP7 IAPP programme (Industry-Academia Pathways & Partnerships)



AUTH (Nuclear & Electronics labs):
Clustering & Track Fitting implementations,
testing, commissioning, monitoring) with
Pisa, CERN, Paris XI&XII, CAEN SpA,
PRISMA Electronics (Alexandroupolis)
which will construct AM boards

**2015: system will have
limited coverage**
**2016: production and
installation for full
barrel and
endcap**
**2017: double number
of processing units
for 3×10^{34} pileup**

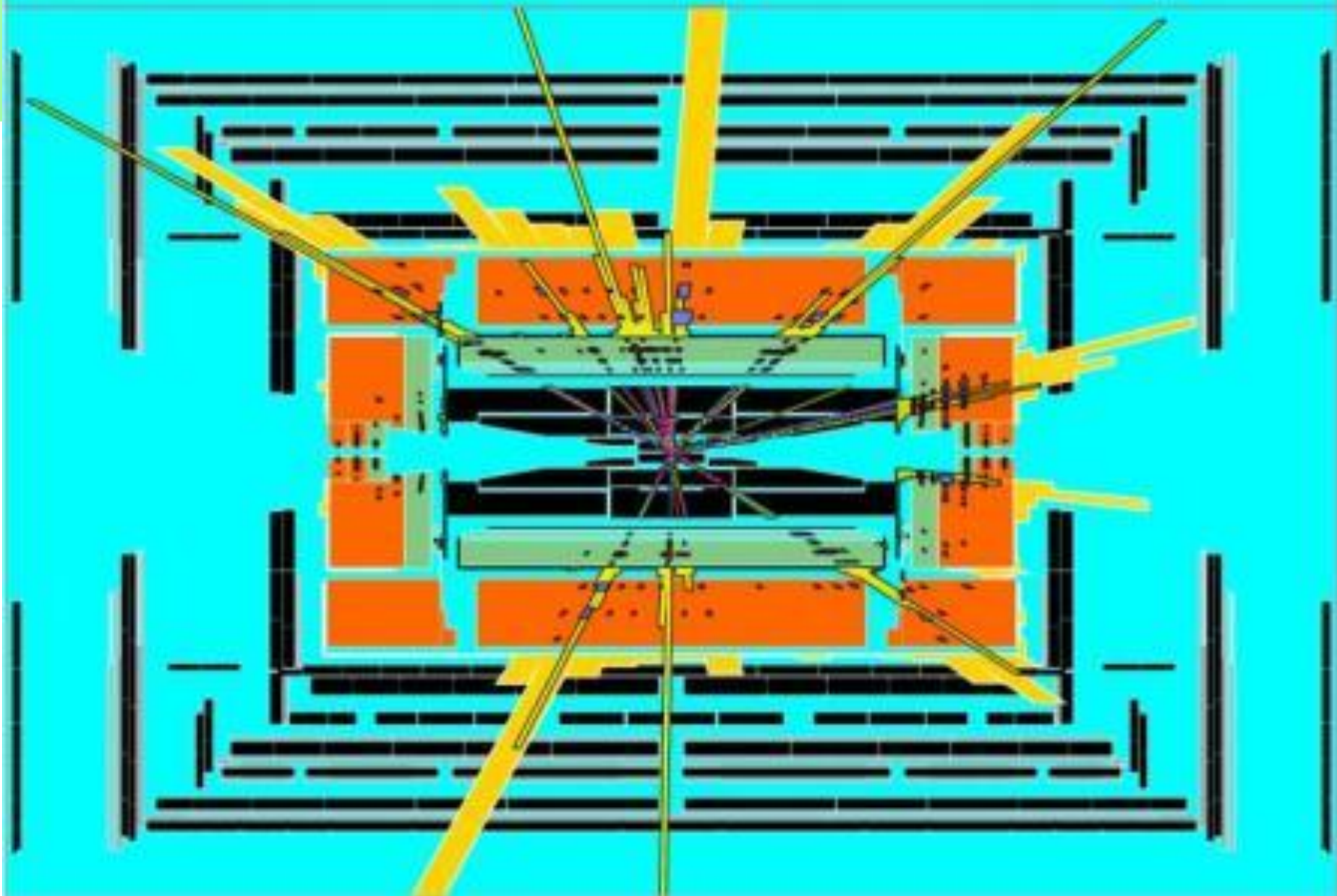


Ανακεφαλαίωση

- 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 σωματίια?

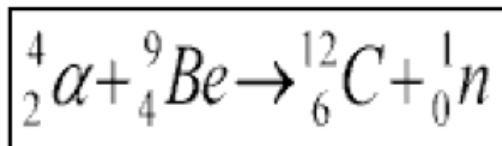
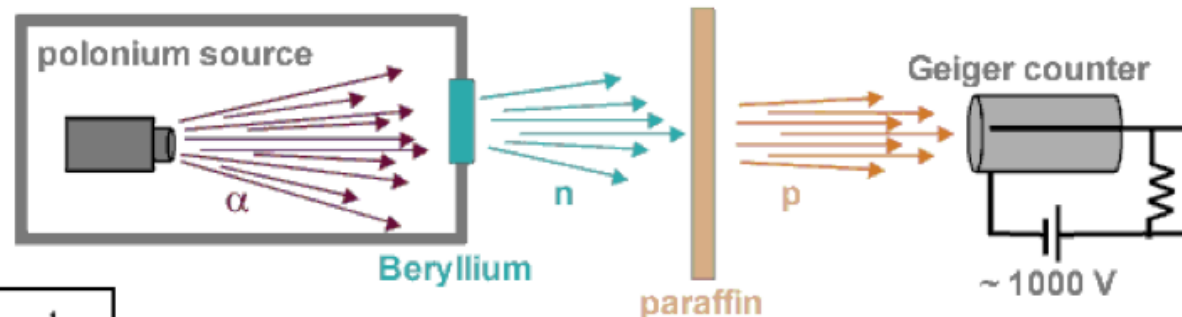
**Ο ανεξιχνίαστος Κόσμος του απειροστού σας
περιμένει για να σας αποκαλύψει τα μυστικά του
Απείρου, του Σύμπαντος**



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



Ιστορική Αναδρομή: Δυνάμεις & Σωματίια

- **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 & Σωματίια

- **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)