

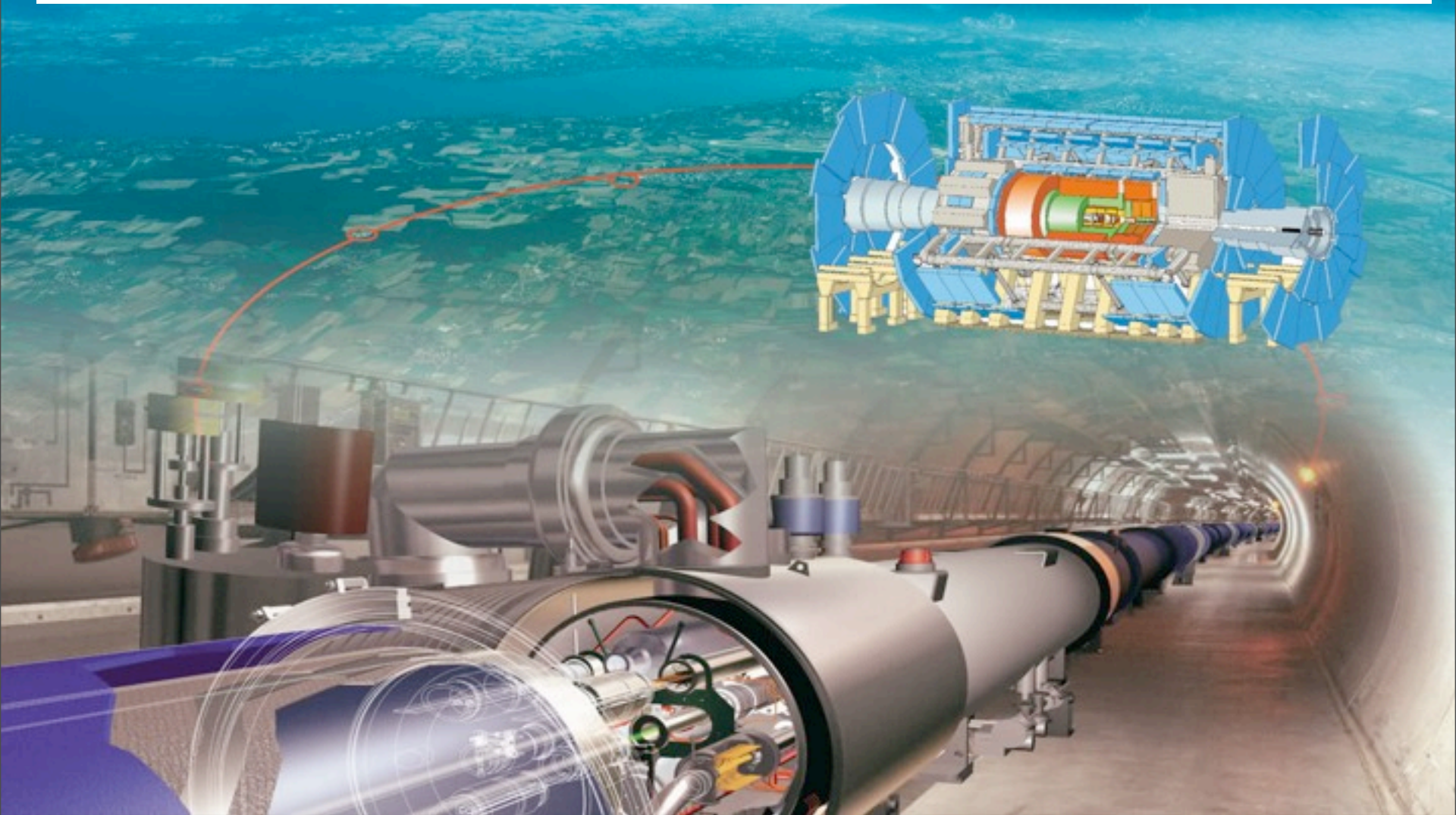
# Ιχνηλατώντας τα Μυστικά του Σύμπαντος

## Τα πιο πρόσφατα αποτελέσματα από το CERN

Χαρά Πετρίδου Καθηγήτρια Φυσικής, Α.Π.Θ.

Εγκαίνια Έκθεσης CERN Καβάλα, 10 Φεβρουαρίου 2012

**Το LHC είναι το μεγαλύτερο Επιστημονικό  
Εγχείρημα του ανθρώπου που θα μας αποκαλύψει  
τα Μυστικά της Αρχής του Σύμπαντος**

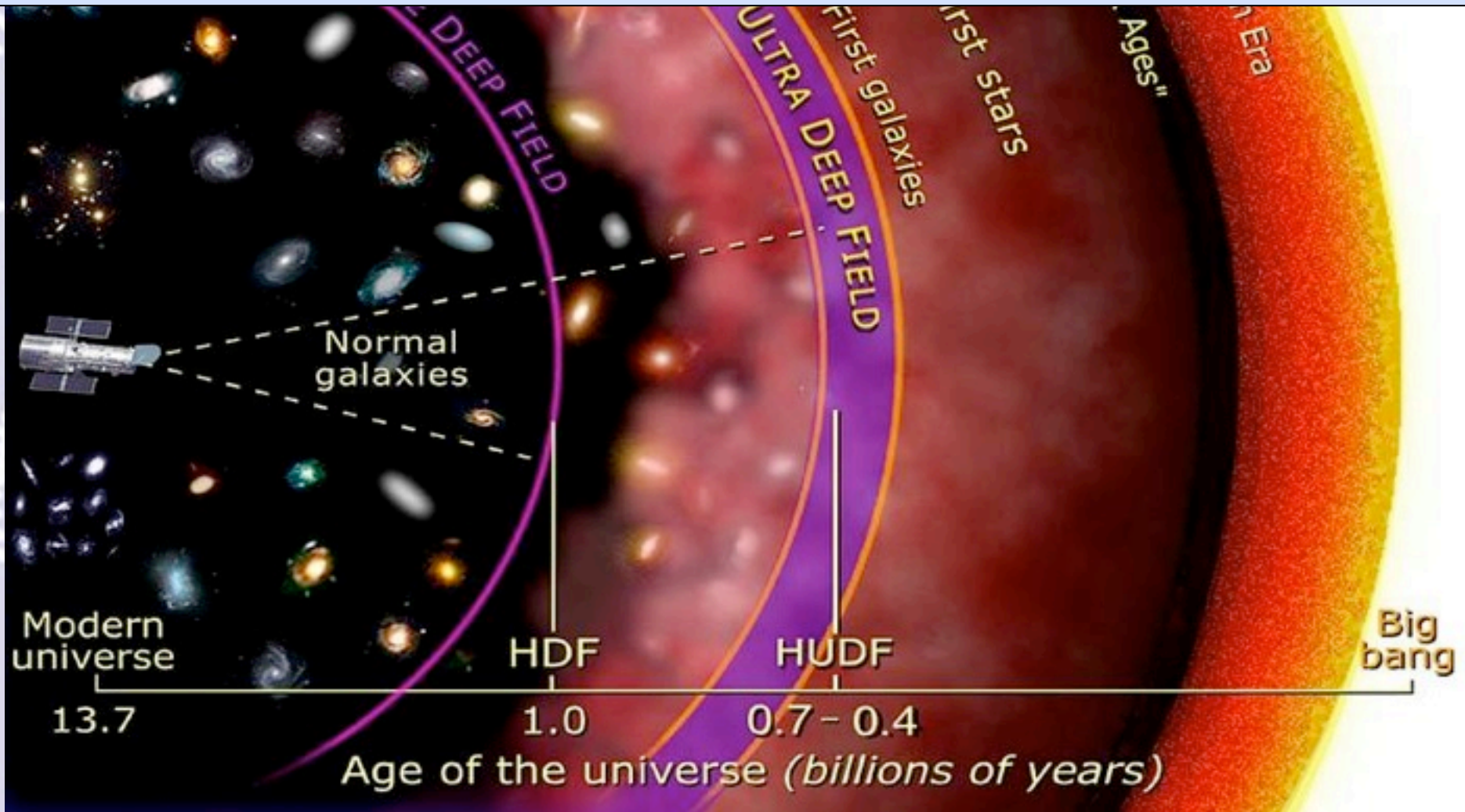


# Περιεχόμενα

- **Η Γνώση μας για τον Κόσμο σήμερα**
- **Το LHC και τα Πειράματα στο CERN**
- **Τι ψάχνουμε-τα αναπάντητα ερωτήματα**
  - Το σωματίδιο Higgs
  - Υπάρχουν άλλες διαστάσεις στη φύση ?
  - Η Σκοτεινή ύλη
- **Μετά από δύο χρόνια λειτουργίας του επιταχυντή...**
  - Τι μαθαίνουμε απο την παρατήρηση των σωματιδίων?
  - Τι μάθαμε για το σωματίδιο Higgs
- **Αντί Συμπεράσματος**

# Την Ιστορία του Σύμπαντος την “Διαβάζουμε” με τα Τηλεσκόπια και τα Διαστημόπλοια

Βλέπουμε το “Νεαρό” Σύμπαν των 300000 ετών !



# Η Ιστορία του Σύμπαντος

Το LHC αντιστοιχεί στις συνθήκες εδώ

**BIG BANG**

Inflation

t	$10^{-44}$	$10^{-37}$ s
T	$10^{32}$	$10^{28}$
E	$10^{19}$	$10^{15}$

possible dark matter relicts

cosmic microwave radiation visible

Με τους επιταχυντές μελετάμε το "Νεογέννητο" Σύμπαν: Δισεκατομμυριοστό του δευτερολέπτου !

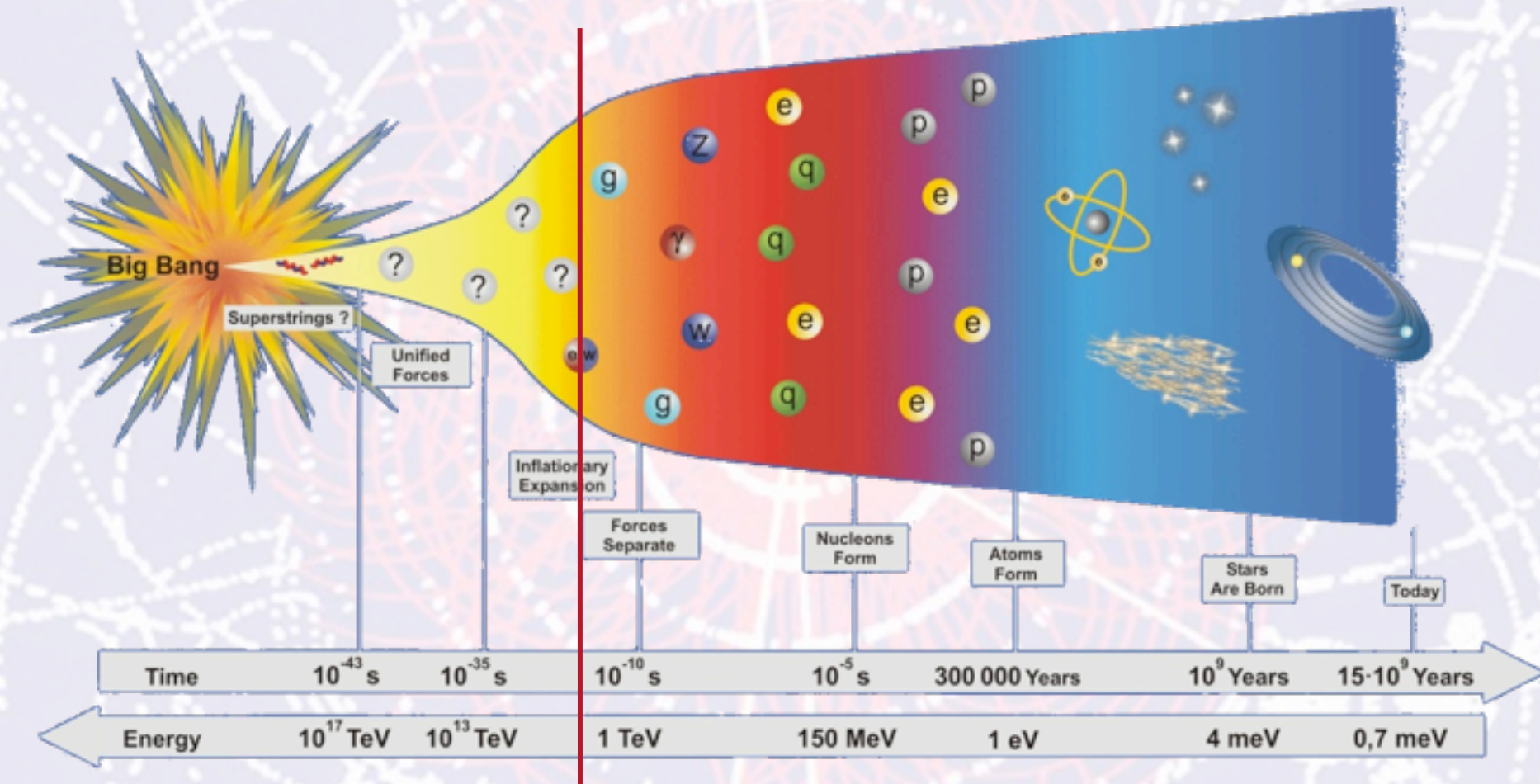
**Key:**

W, Z bosons	meson	photon
quark	baryon	star
gluon	ion	galaxy
electron	atom	black hole
muon		
tau		
neutrino		

$3 \times 10^{-10}$	$10^9$ y	Today
$10^{-12}$	15	$12 \times 10^9$ y (sec.yrs)
	$10^{-12}$	2.7 (Kelvin)
		$2.3 \times 10^{-13}$ (GeV)

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

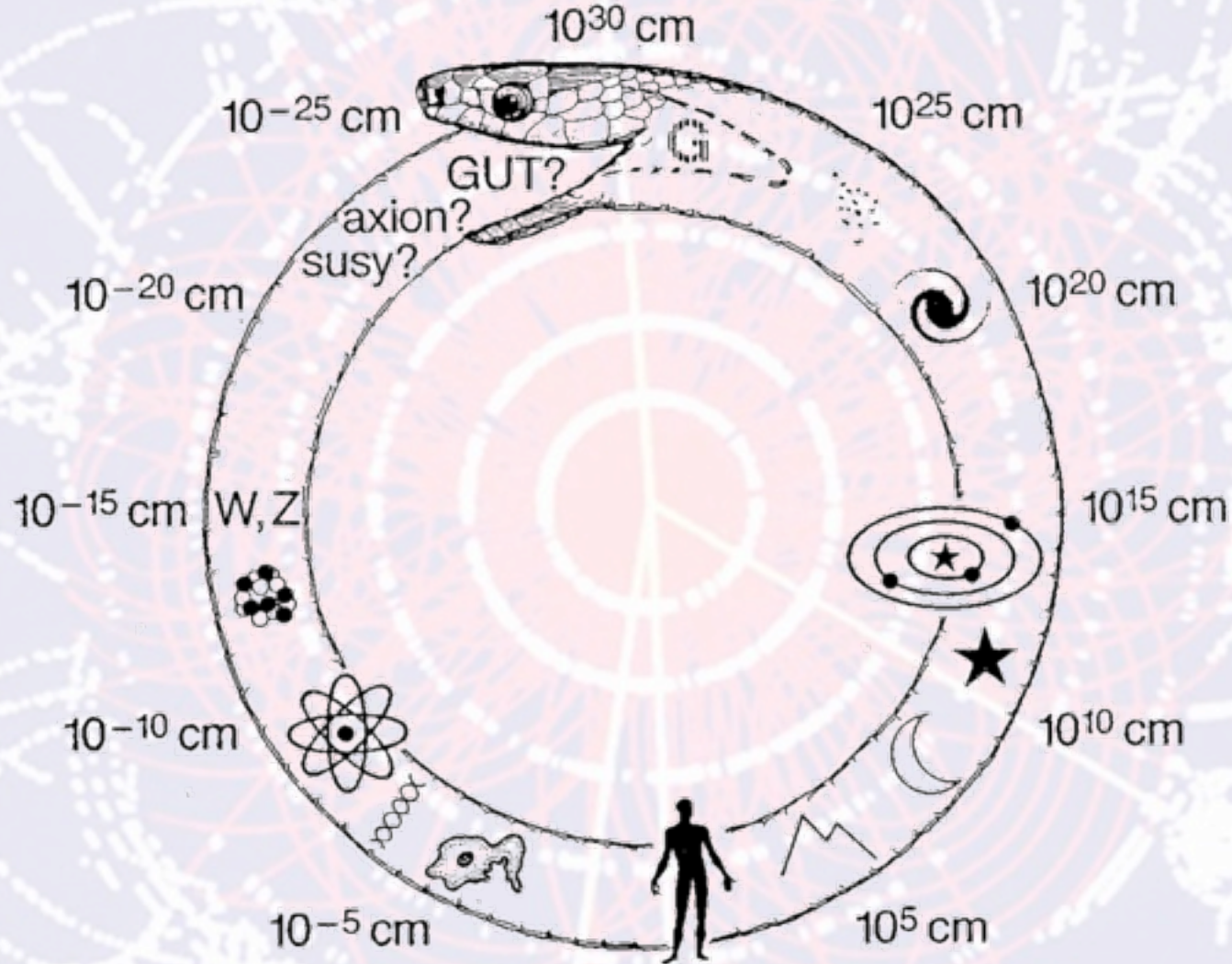
# Ταξίδι σε συνθήκες πρώιμου σύμπαντος



Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων (LHC) στο CERN:  $14 \text{ TeV} \sim 10^{-14} \text{ sec}$

Σημείωση:  $1 \text{ TeV} = 1000 \text{ GeV} =$  ενέργεια όση η μάζα 1000 πρωτονίων

# Το απειροστό συναντάει το απειρο !



Μελετώντας το **απειροστό** παίρνουμε πληροφορίες για **απειρο** !

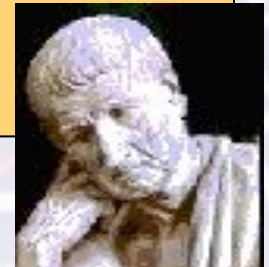
“ Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων είναι ο σύγχρονος τρόπος μιας προσπάθειας αιώνων, του ανθρώπου, να κατανοήσει τους Νόμους της Φύσης ”

Ed Witten



Δημόκριτος (460–371π.Χ):

Η ύλη είναι **ά-τομα** στον **κενό χώρο**



Αριστοτέλης (384–322 π.Χ):

Ο χώρος είναι ένα **συνεχές ύλης**

Πως μελετούμε τα σωματίδια και τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους?



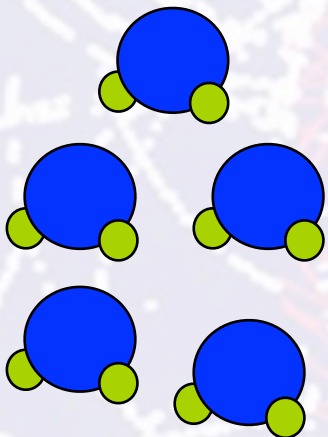
# Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης



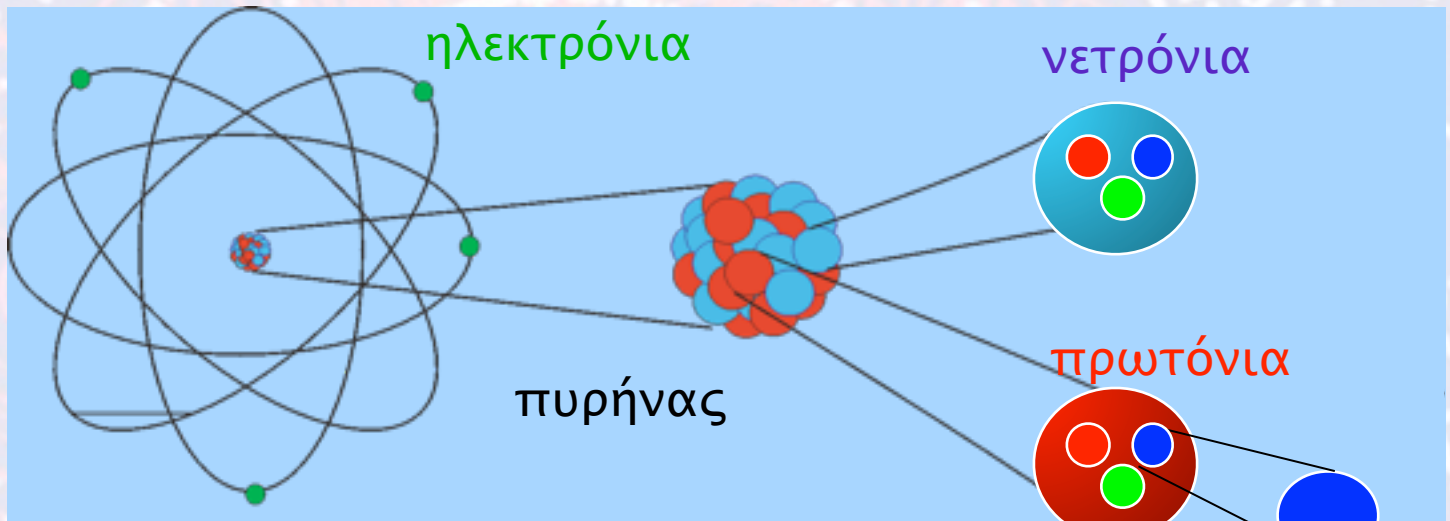
1 m (μέτρο)

1/1,000,000,000

μόρια



H<sub>2</sub>O



άτομα

ηλεκτρόνια

νετρόνια

πυρήνας

πρωτόνια

κουάρκς

1/10

1/10,000

1/10

1/10,000

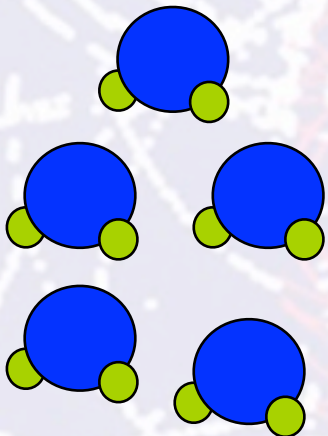
# Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης



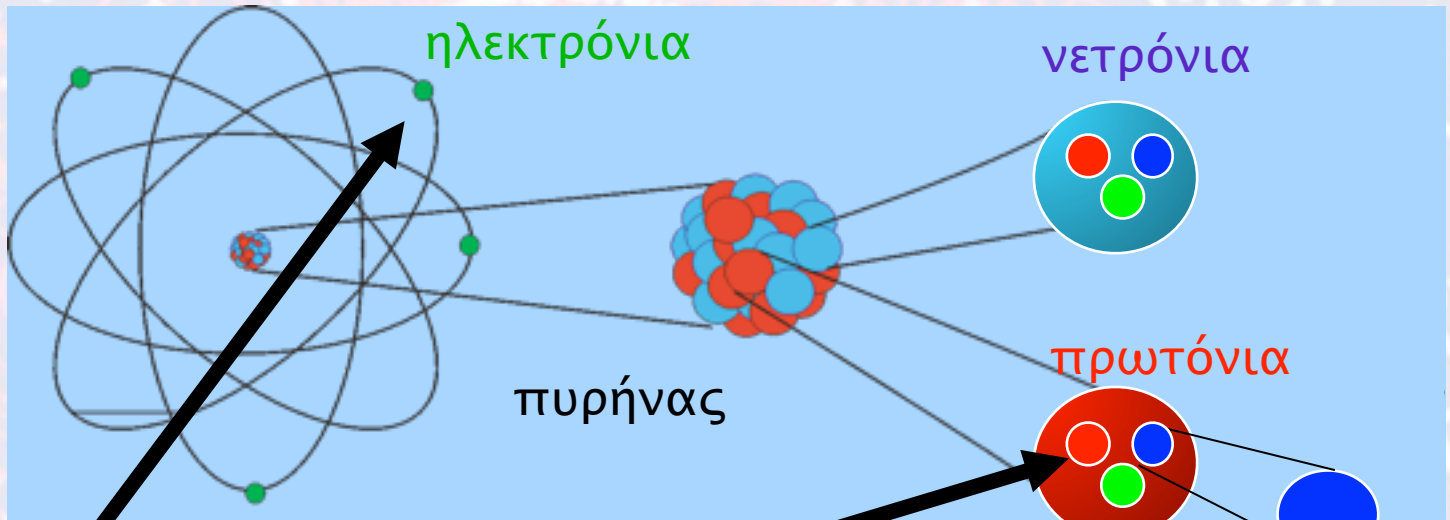
1 m (μέτρο)

1/1,000,000,000

μόρια



H<sub>2</sub>O



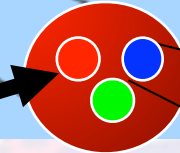
άτομα

πυρήνας

νετρόνια



πρωτόνια

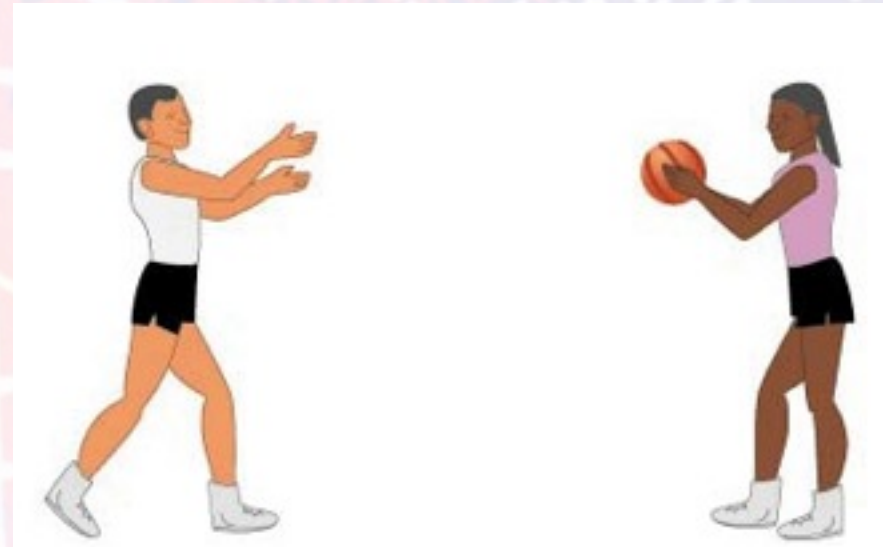


κουάρκ

Ηλεκτρόνια και κουάρκ: δε βλέπουμε δομή – **θεμελιώδη**

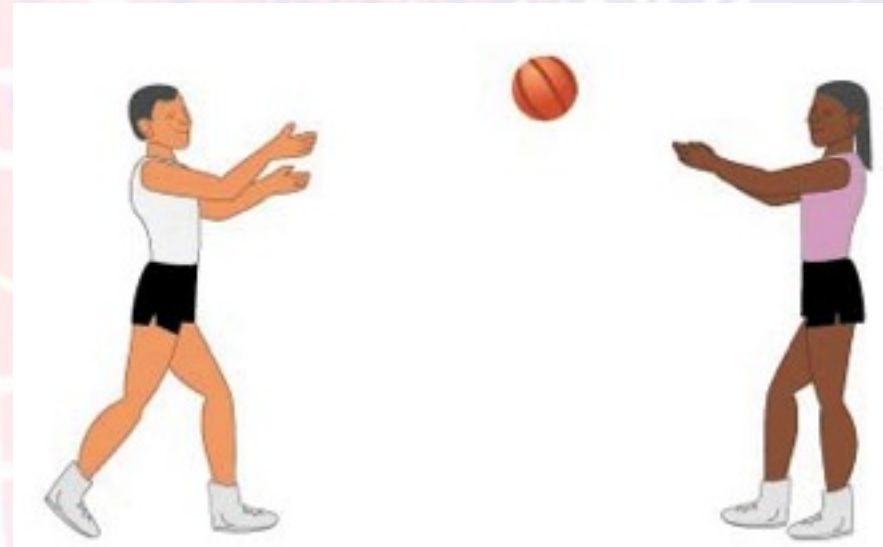
# Υπάρχουν και δυνάμεις

- Τα σωματίδια αισθάνονται το ένα το άλλο – αλληλεπιδρούν με διάφορες δυνάμεις
  - ανταλλάσσοντας ειδικά σωματίδια που είναι οι φορείς της δύναμης



# Υπάρχουν και δυνάμεις

- Τα σωματίδια αισθάνονται το ένα το άλλο - αλληλεπιδρούν με διάφορες δυνάμεις
- ανταλλάσσοντας ειδικά σωματίδια που είναι οι φορείς της δύναμης



# Υπάρχουν και δυνάμεις

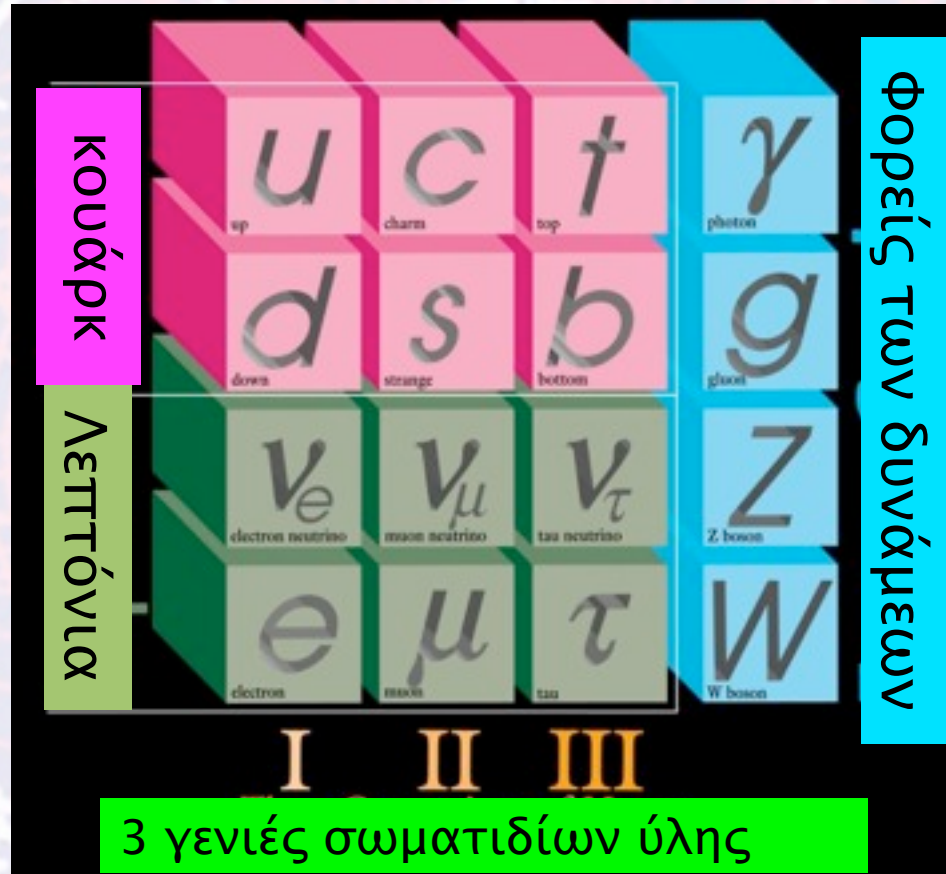
- Τα σωματίδια αισθάνονται το ένα το άλλο – αλληλεπιδρούν με διάφορες δυνάμεις
- ανταλλάσοντας ειδικά σωματίδια που είναι οι φορείς της δύναμης

Τα φορτισμένα σωματίδια ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΟΥΝ μεταξύ τους: έλκονται ή απωθούνται ανταλλάσσοντας μεταξύ τους φωτόνια



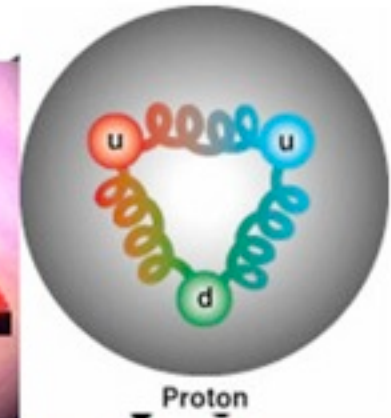
**Το φωτόνιο ( $\gamma$ ) είναι ο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης**

Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης  
Οι δομικοί λίθοι της ύλης !



Οι τρεις Οικογένειες

# Οι τέσσερις Δυνάμεις στη Φύση



	βαρύτητα	ασθενείς	ηλεκτρομα γνητισμός	ισχυρές
Carried By	βαρυτόνιο	$W^+, W^-, Z^0$	φωτόνιο	γκλουόνιο

Οι φορείς των δυνάμεων

# Σήμερα πως μελετούμε τους Νόμους και τις δυνάμεις της Φύσης?

- **Με τους επιταχυντές ...Μια ιστορία των τελευταίων 80 χρόνων !**

Το 1930 ο Ernest Lawrence κατασκευάζει το πρώτο κύκλοτρο σε μέγεθος τραπέζιου και κόστος 25 \$ !



Ένας γραμμικός επιταχυντής του 1960 (ενέργειας 2MeV)



**Σήμερα, μετά από 'δρόμο μακρύ' κατασκευάσαμε το LHC στην υπόγεια σήραγγα του CERN με κόστος ~ 2 Δις ευρώ!  
(3.5TeV πρωτόνια)**

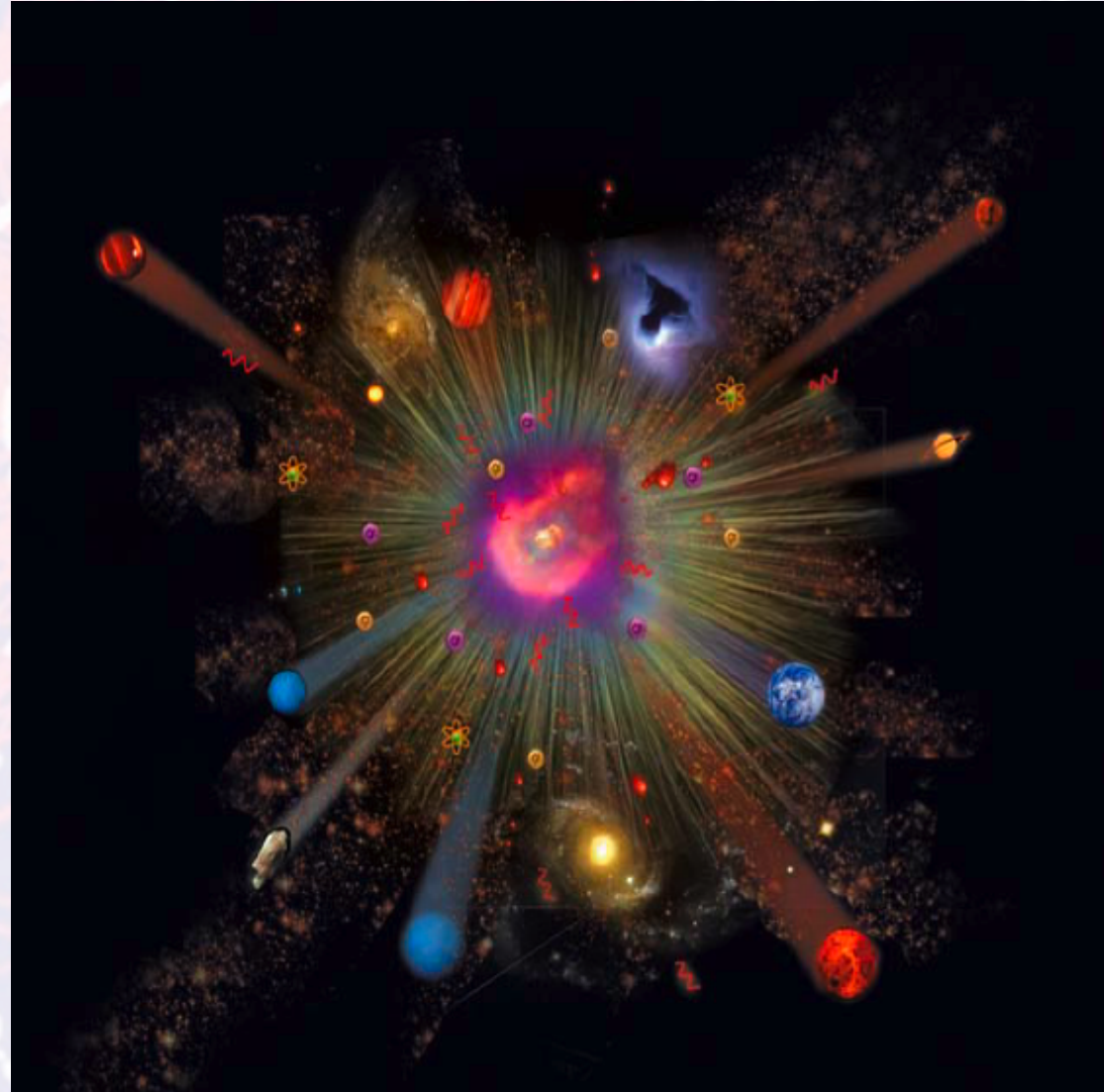


Ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων (LHC) είναι η  
Θερμότερη Γωνιά του Γαλαξία μας

- ... και Ο ψυχρότερος δακτύλιος  
στο Σύμπαν ? 1.9 K (CMBR 2.7 K)

# Οι συγκρούσεις των πρωτονίων στο LHC

- Τα πρωτόνια που συγκρούονται στον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (LHC), προκαλούν θερμοκρασίες 100 000 φορές μεγαλύτερες του ήλιου σε μιά απειροελάχιστη περιοχή στο χώρο.
- Ισοδυναμεί με θερμοκρασία δισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου μετά το Big Bang



Πως μελετούμε τους Νόμους και τις  
δυνάμεις της Φύσης σήμερα?

...και με **Σύνθετους Ανιχνευτές**

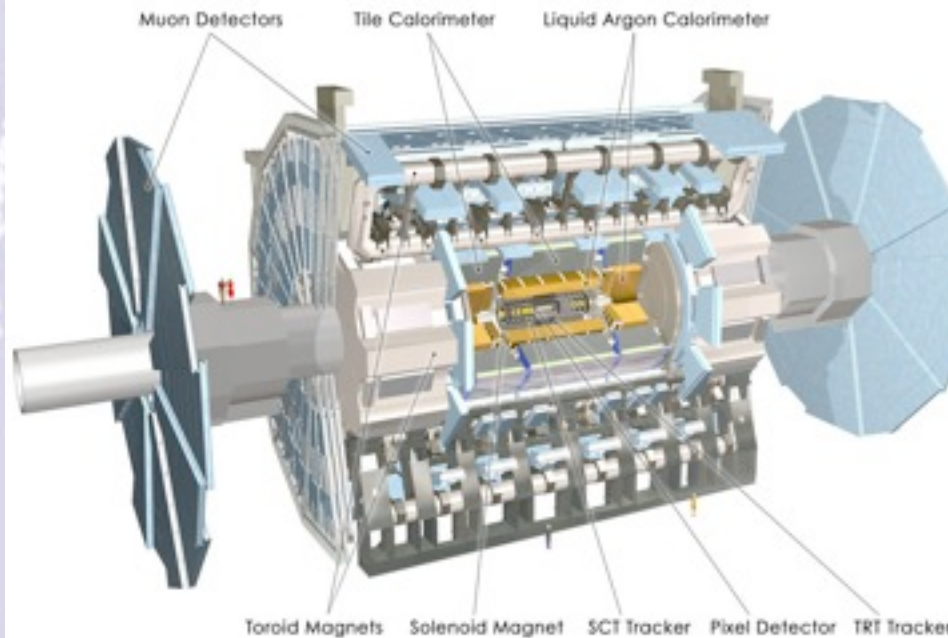


Ο Ανιχνευτής CMS

# Ο Ανιχνευτής ATLAS



Ο ανιχνευτής ATLAS - μια πενταόροφη πολυκατοικία !



# Τέσσερα κύρια πειράματα γίνονται στη σήραγγα του LHC: σε 100 μέτρα βάθος

## Overall view of the LHC experiments.

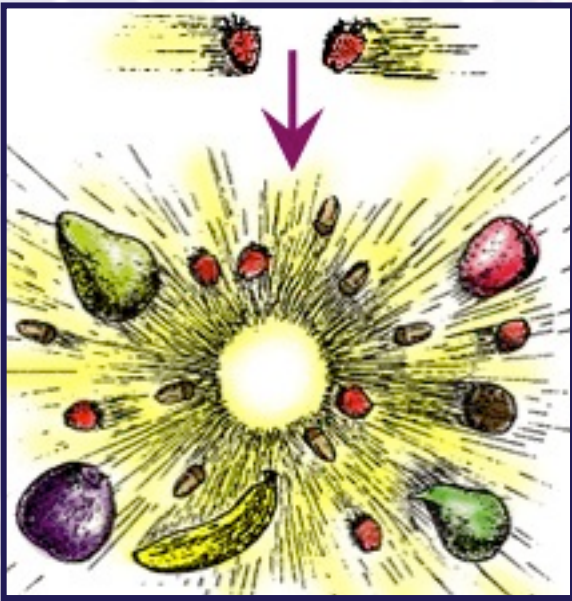
- Η ενέργεια σύγκρουσης των πρωτονίων είναι **7τρις εκατομύρια μπαταρίες του 1 Volt !**



Δύο δέσμες με  $\sim 300$  τρισεκατομ. πρωτόνια (3000 δεσμίδες των 100 δισ) ταξιδεύουν με ταχύτητα 99.9999991% του φωτός,

- Κάνουν  $\sim 11000$  φορές το δευτερόλεπτο τον γύρο του επιταχυντή (27km περίμετρος) και συγκρούονται κάθε φορά στο κέντρο των 4 πειρ

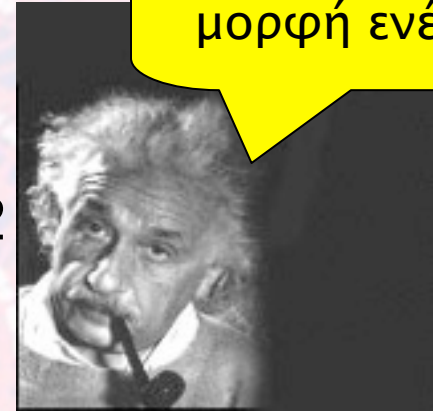
# Οι Συγκρούσεις των πρωτονίων στο LHC



$$E = mc^2$$

ενέργεια

μάζα



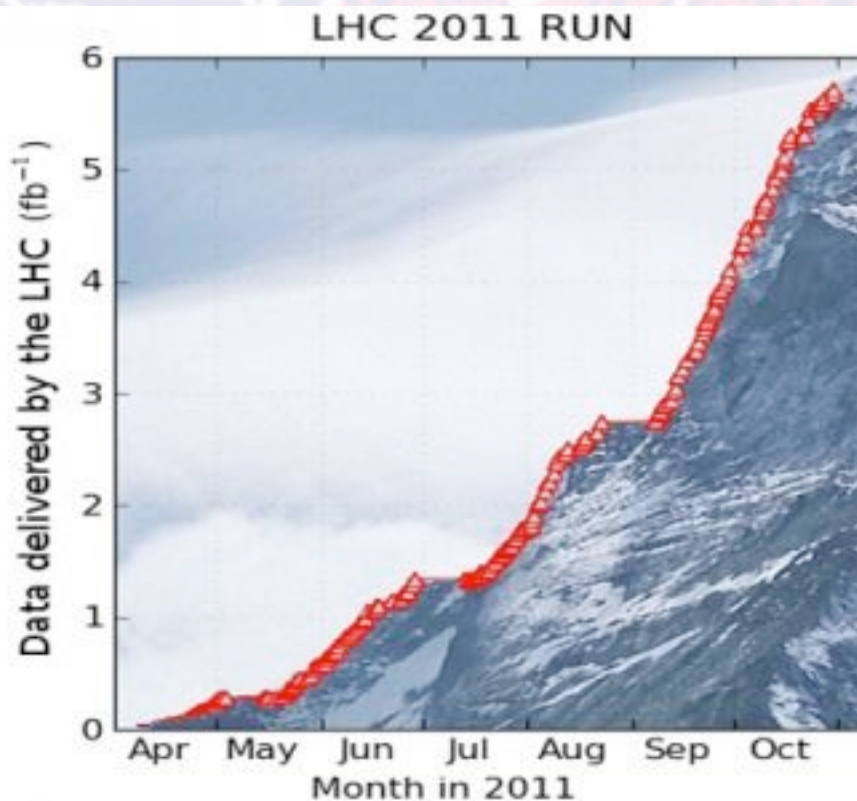
Η μάζα είναι μια μορφή ενέργειας

$c$  = ταχύτητα του φωτός

Για να μάθουμε κάτι από τις συγκρούσεις αυτές χρειαζόμαστε ανιχνευτές για:

- Να μετρήσουμε την ενέργεια και την ορμή των σωματιδίων που παράγονται στις συγκρούσεις
- Να ταυτοποιήσουμε το είδος των σωματιδίων

...Μετά από 2 χρόνια θριάμβου στο LHC...



Αν τα γράφαμε  
σε CD θα  
φτάνανε στην  
άκρη της  
ατμόσφαιρας!  
(~ 20 Km)



ένα "βουνό" από δεδομένα !

Ισοδυναμούν με 10 χρόνια λειτουργίας του επιταχυντή στο Fermilab !

Τι μαθαίνουμε από τα δεδομένα αυτά ?

## Τα Αναπάντητα Ερωτήματα

### ➤ Τι είναι η μάζα?

Γιατί τα σωματίδια έχουν μάζα?  
Υπάρχει το Higgs?

### ➤ ... Μήπως ζούμε σε χώρο πολλών διαστάσεων?...

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

### ➤ Σκοτεινή ύλη

Γιατί το Σύμπαν μας  
αποτελείται κυρίως από  
σκοτεινή ύλη?

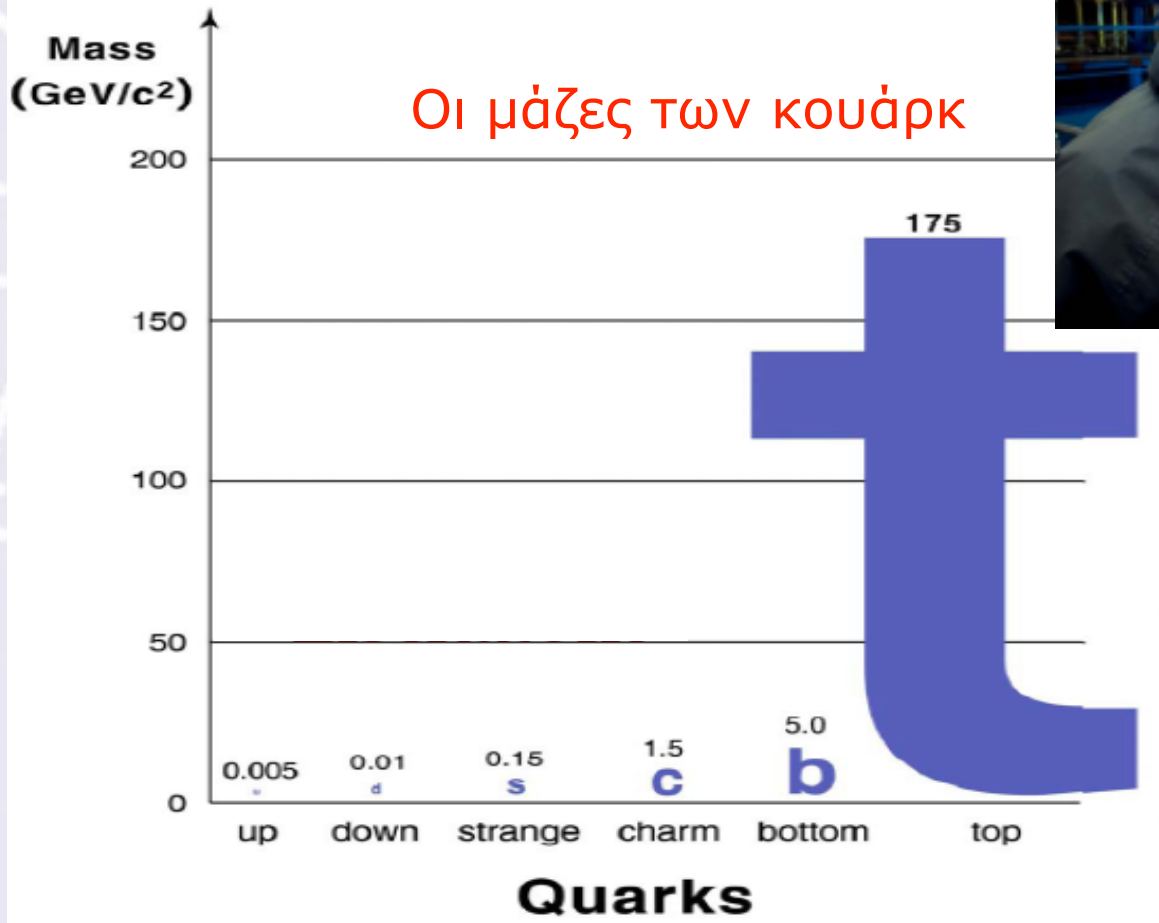
### ➤ Αντιύλη

Που πήγε η αντιύλη στο Σύμπαν μετά  
την μεγάλη έκρηξη?



# Γιατί τα σωματίδια έχουν μάζα ? και μάλιστα τόσο διαφορετικές μάζες?

- Μια πιθανή απάντηση είναι ο 'Μηχανισμός Higgs' που προβλέπει την ύπαρξη του σωματιδίου Higgs (Θεωρία 1964)



Peter Higgs

Το πεδίο Higgs, αν υπάρχει, γεμίζει το σύμπαν και τα σωματίδια που αλληλεπιδρούν μαζί του αποκτούν μάζα !

Μεγάλη ή μικρή ανάλογα με την αλληλεπίδραση

# Μήπως ζούμε σε Χώρο Πολλών Διαστάσεων ? (Extra Dimensions)

Προκύπτει φυσικά στη  
• Θεωρία χορδών  
(string theory)

 string theory

Προβλέπει τον σχηματισμό  
μιας  
Μικρής Μελανής Οπής!

Η ακροβάτης κινείται  
σε μιά διάσταση,  
**ΑΛΛΑ** το έντομο σε  
δύο!

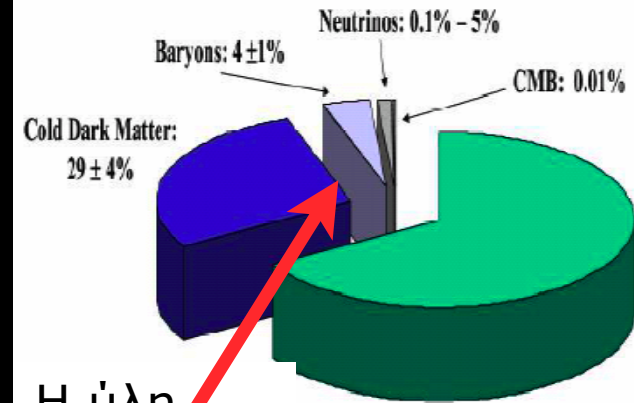
**ΜΟΝΟ** που η μια από  
τις δυό διαστάσεις  
είναι **'ΠΟΛΥ μικρή'**

**Αν υπάρχουν θα είναι ΠΟΛΥ μικρές !**



# Η Σκοτεινή Υλη στο Σύμπαν

Οι Αστρονόμοι λένε ότι υπάρχει μεγάλη ποσότητα σκοτεινής ύλης σε Γαλαξίες και Σμήνη Γαλαξιών



Η ύλη που βλέπουμε ΜΟΝΟ 4%

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

Τα Υπερσυμμετρικά Σωματίδια →

Θα μπορούσαν να είναι η απάντηση

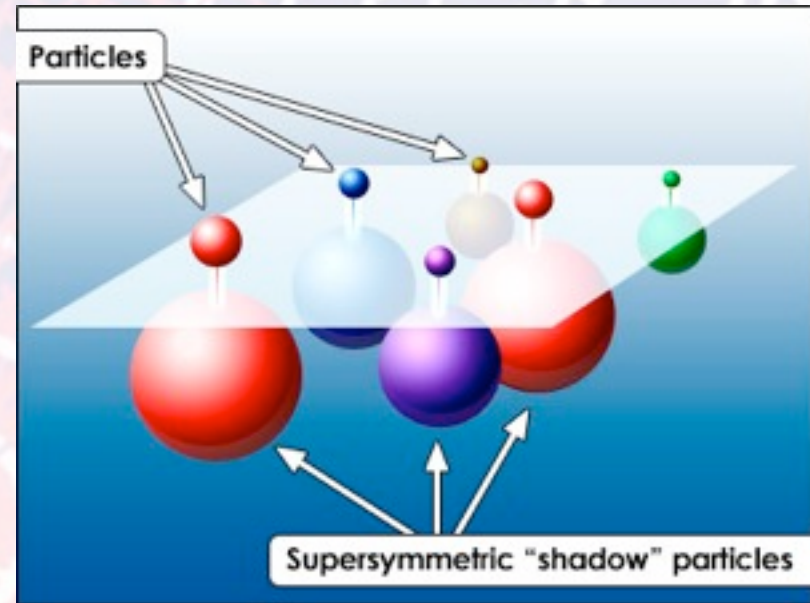
2 Mpc/h

# Υπερσυμμετρία → SuperSymmetry - SUSY

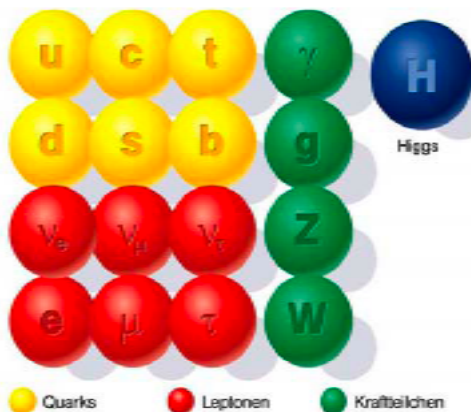
- Προτείνει συμμετρία ανάμεσα στην ύλη (Φερμιόνια) και τις δυνάμεις (Μποζόνια)

## Κίνητρο

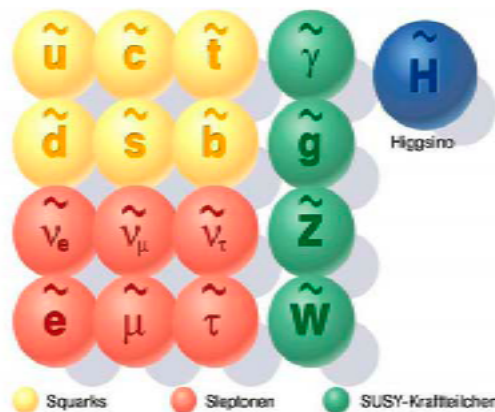
- η ενοποίηση ύλης και δυνάμεων
- η επίλυση προβλημάτων στο Καθιερωμένο Πρότυπο (αποκλίσεις στη μάζα του Higgs)



Τα Καθιερωμένα σωματίδια



Τα Υπερσυμμετρικά (SUSY)



Κάθε σωματίο με σπιν  $s$  έχει το

Υπερσυμμετρικό του ζευγάρι με σπιν

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

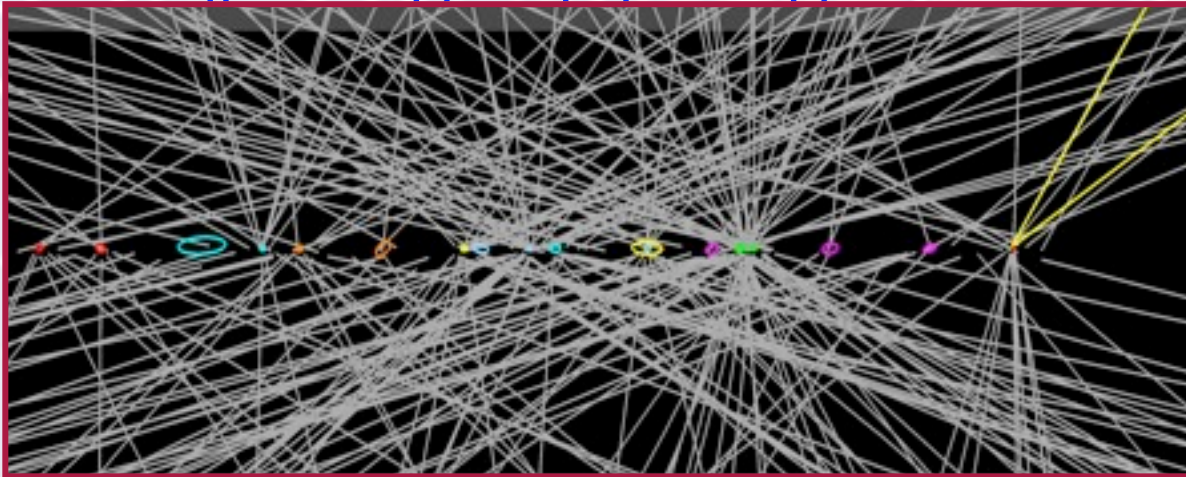
$g$  ( $s=1$ )  $\rightarrow \tilde{g}$   
( $s=1/2$ ) gluino

Πως θα 'δούμε' το Higgs ?  
Πως θα "δούμε" αν ζούμε σε χώρο  
πολλών διαστάσεων?  
Πως θα "καταλάβουμε" αν υπάρχει η  
υπερσυμμετρία?  
Η Σκοτεινή Ύλη ? με το LHC

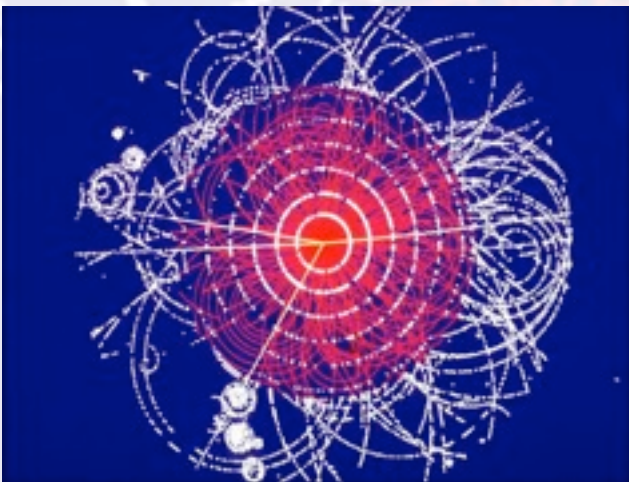
- Τα σωματίδια που δεν ανήκουν στον 'κόσμο μας' παράγονται κατά τις συγκρούσεις και διασπώνται **'ακαριαία'**
- Παρατηρούμε τα σωματίδια που προέκυψαν από τη διάσπαση .... τα παιδιά τους !
- Ζούν **'πολύ'** και τα **'βλέπουμε'** επειδή **'αλληλεπιδρούν'** με τους ανιχνευτές μας
- Στους ανιχνευτές μας **'βλέπουμε'** : **Ηλεκτρόνια, Φωτόνια, Μιόνια, Κουάρκς ⇒ Πίδακες Αδρονίων**

# Πως αναζητούμε το Higgs? ένα παράδειγμα

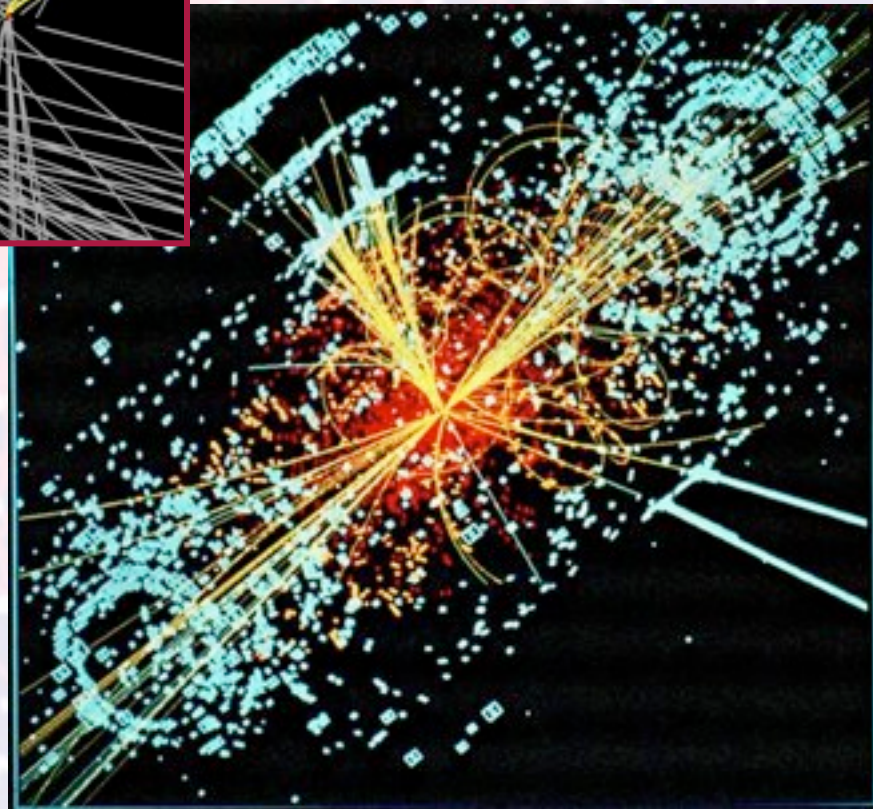
Τι “βλέπει” ο ανιχνευτής μας  
στο σημείο της σύγκρουσης !



Η εικόνα όλου  
του ανιχνευτή

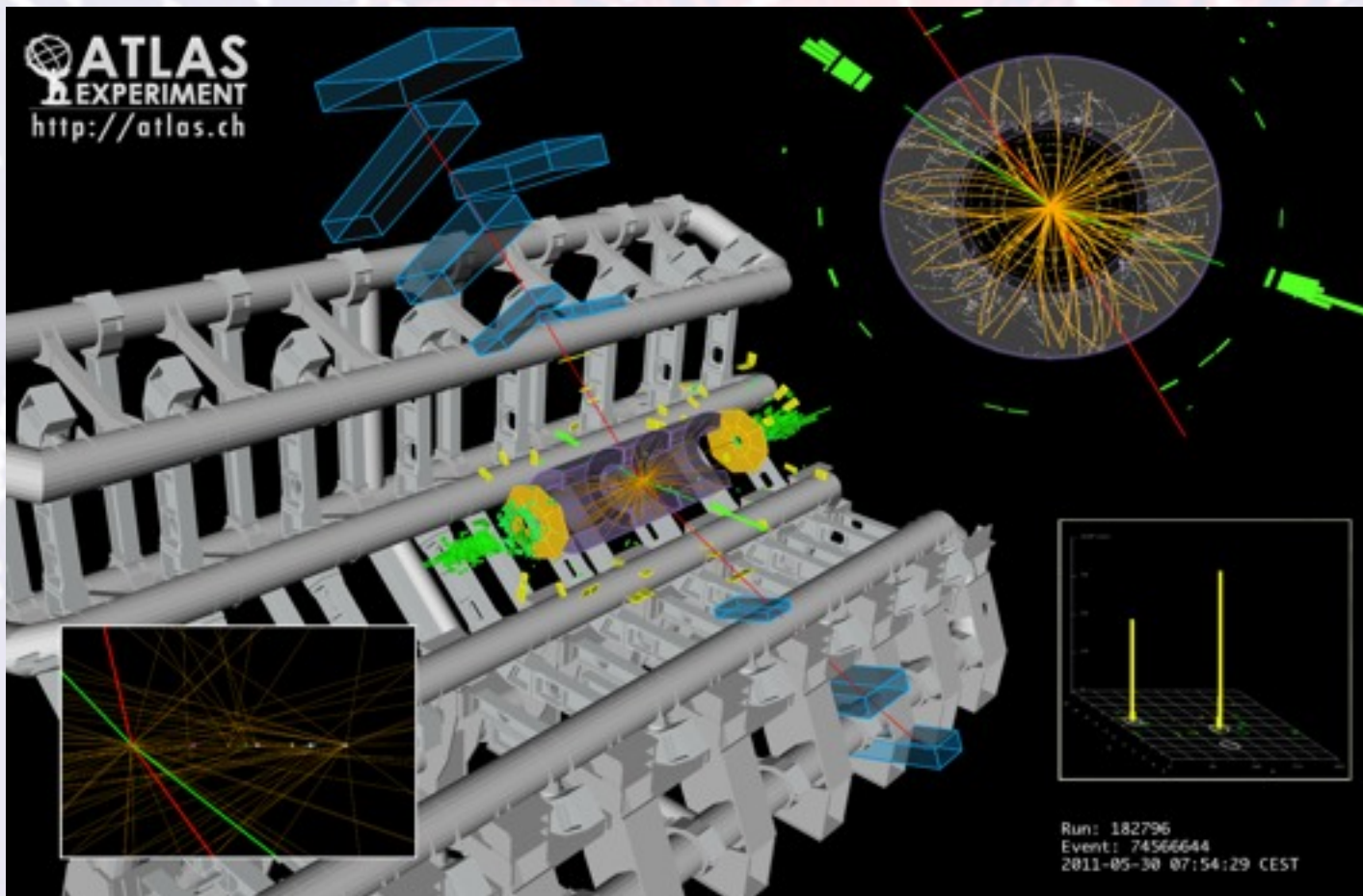


Σε μία  
εγκάρσια  
τομή



# Πως αναζητούμε το Higgs? ένα παράδειγμα

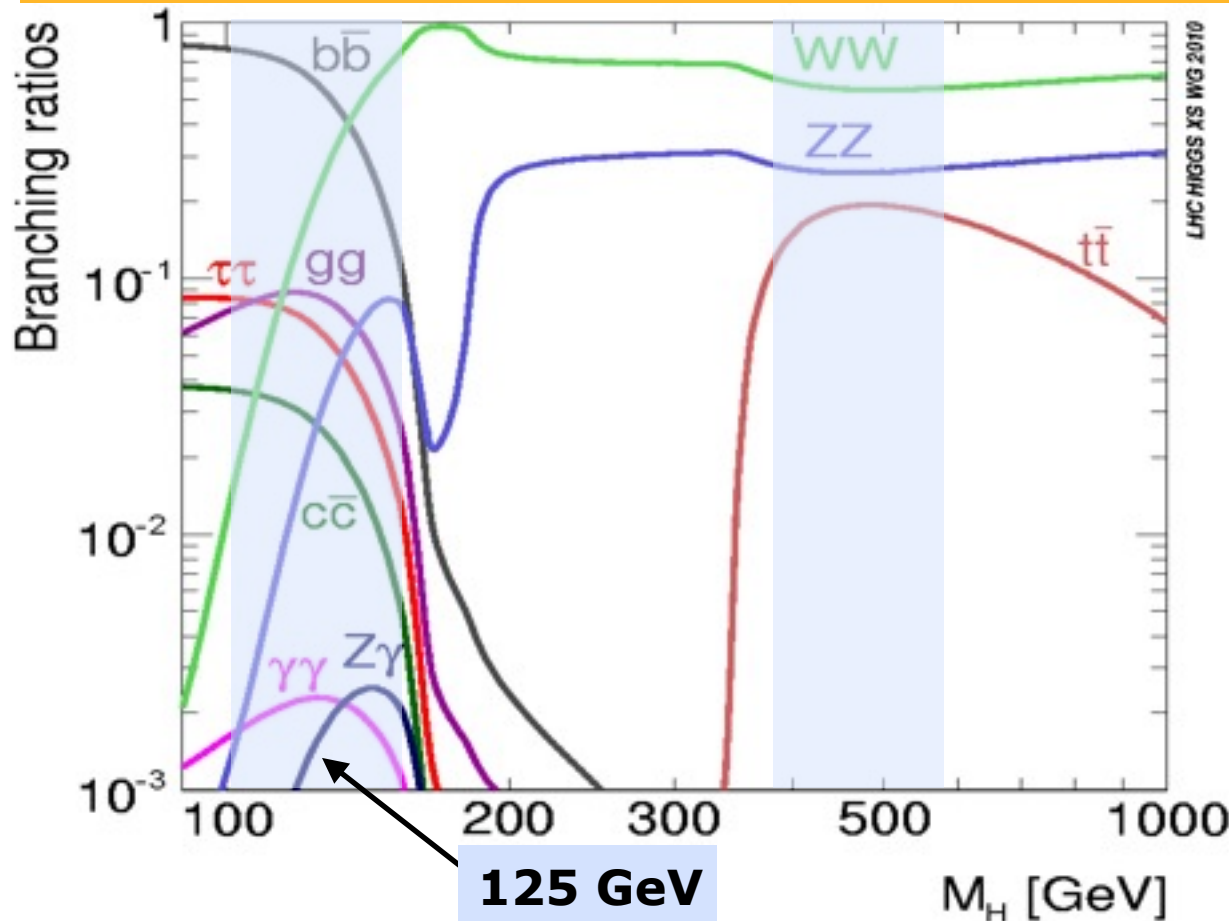
Μετά την ταυτοποίηση όλων των σωματιδίων που παράγονται σ'αυτή τη μία σύγκρουση βλέπουμε αν στη συγκεκριμένη σύγκρουση δημιουργήθηκε ένα σωματίδιο Higgs:  $E = mc^2$



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

# Πως αναζητούμε το Higgs? ένα παράδειγμα

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



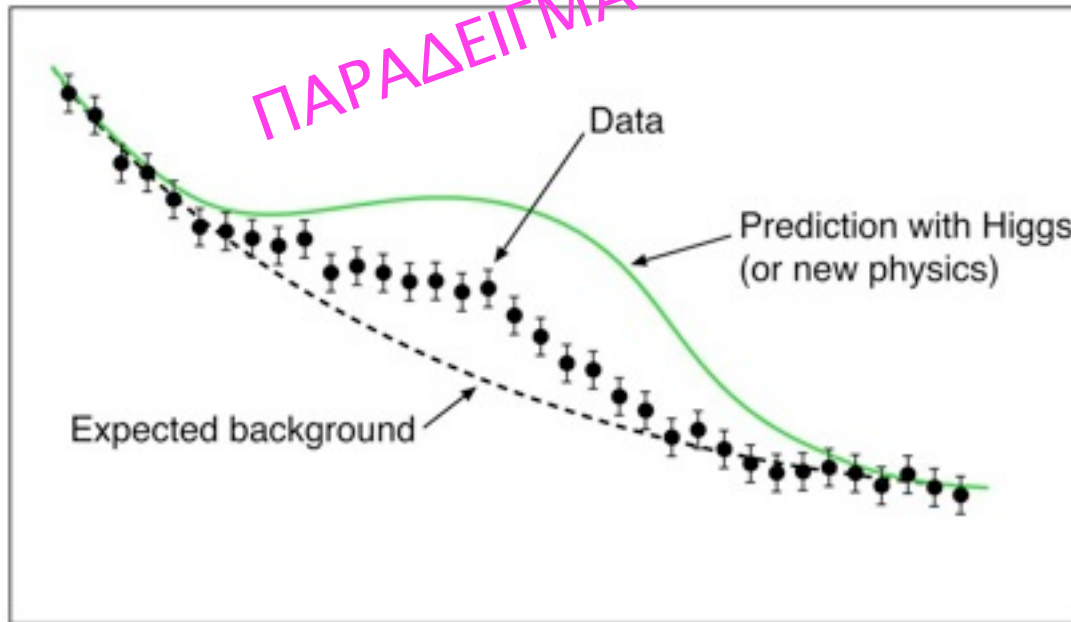
Αναζητούμε  
στον ανιχνευτή  
μας **όλους**  
**τους τρόπους**  
**διάσπασης** για  
κάθε περιοχή  
πιθανής μάζας  
του Higgs



# Αναζητώντας το σωματίδιο Higgs

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

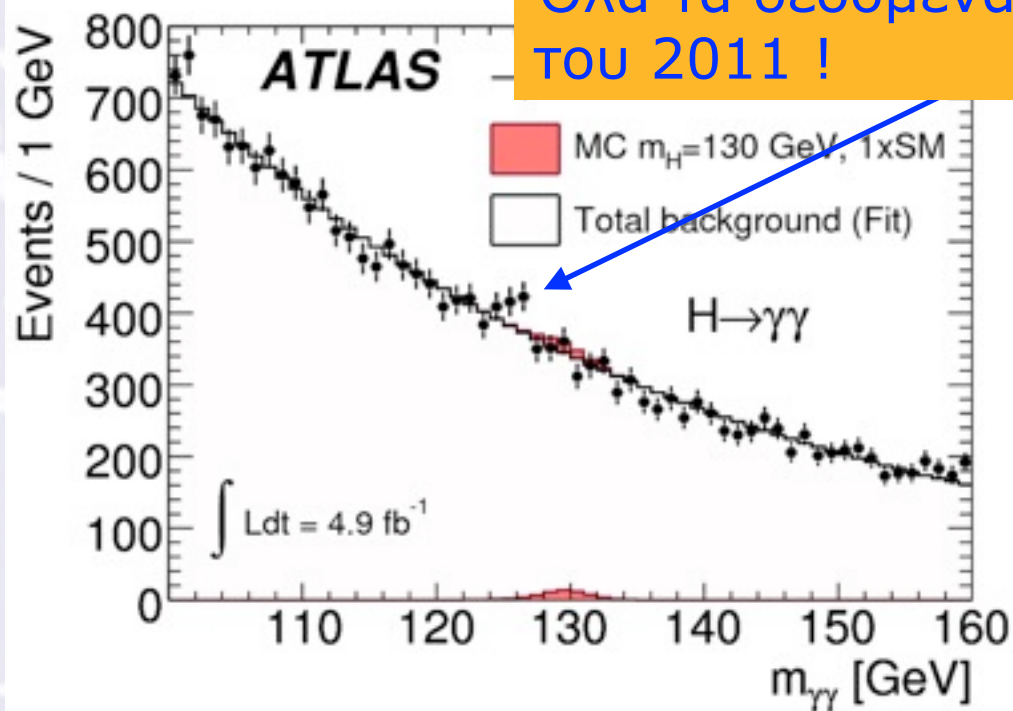
Αριθμός γεγονότων



Μάζα του συστήματος των 4 μονίων

# Πως αναζητούμε το Higgs? ένα παράδειγμα

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



Όλα τα δεδομένα  
του 2011 !

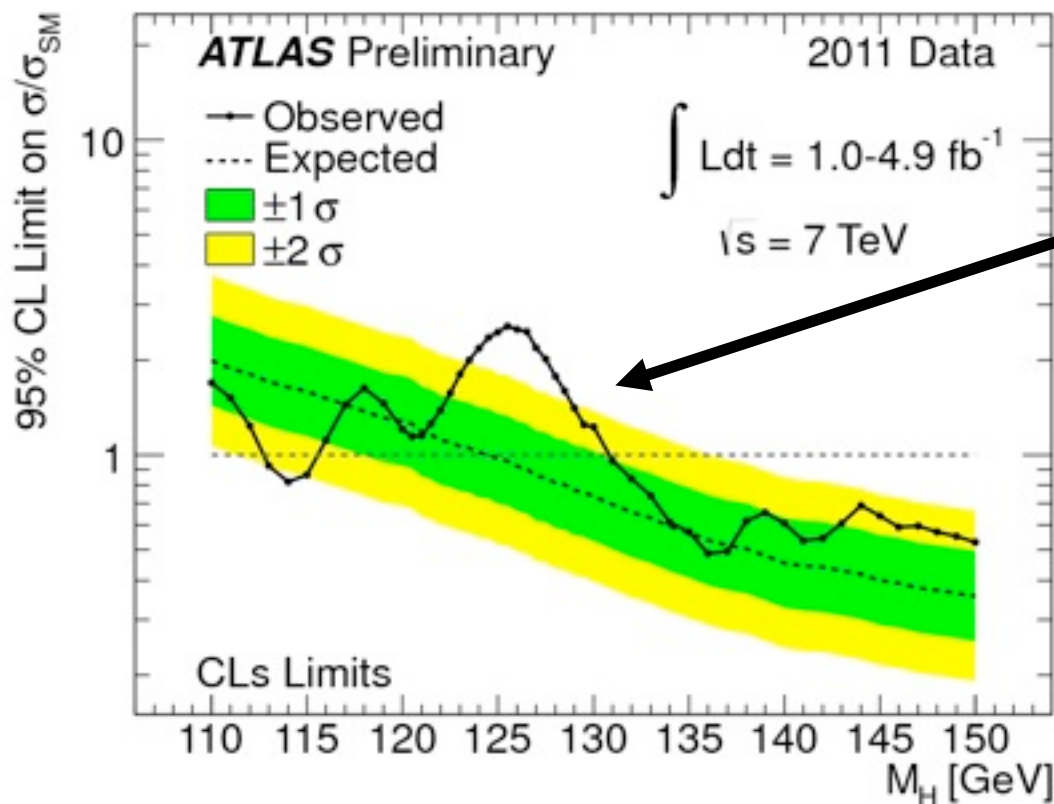
Το Higgs είναι  
**πολύ σπάνιο**:  
...πρέπει να το  
διαχωρίσουμε από  
το θόρυβο !

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

Ελέγχουμε αν έχουμε πλεόνασμα  
γεγονότων σε κάποια περιοχή

# Αναζητώντας το σωματίδιο Higgs

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



Είμαστε 95% σίγουροι ότι το Higgs δεν είναι βαρύτερο από  $\sim 132 \text{ GeV}$

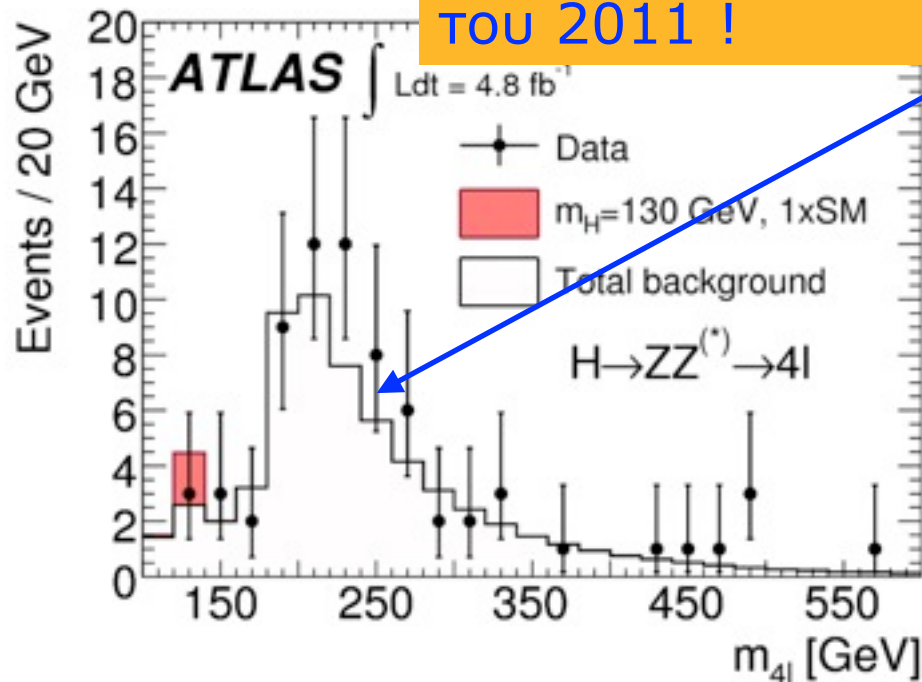
Επίσης, υπάρχει μια συγκέντρωση γεγονότων που συμφωνούν με την υπόθεση ότι το Higgs έχει μάζα  $\sim 125 \text{ GeV}$

Αλλά υπάρχει ακόμα αρκετή πιθανότητα αυτά τα παραπάνω γεγονότα να είναι μια στατιστική έξαρση από γεγονότα υποβάθρου...

# Πως αναζητούμε το Higgs? ένα παράδειγμα

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

Όλα τα δεδομένα  
του 2011 !



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

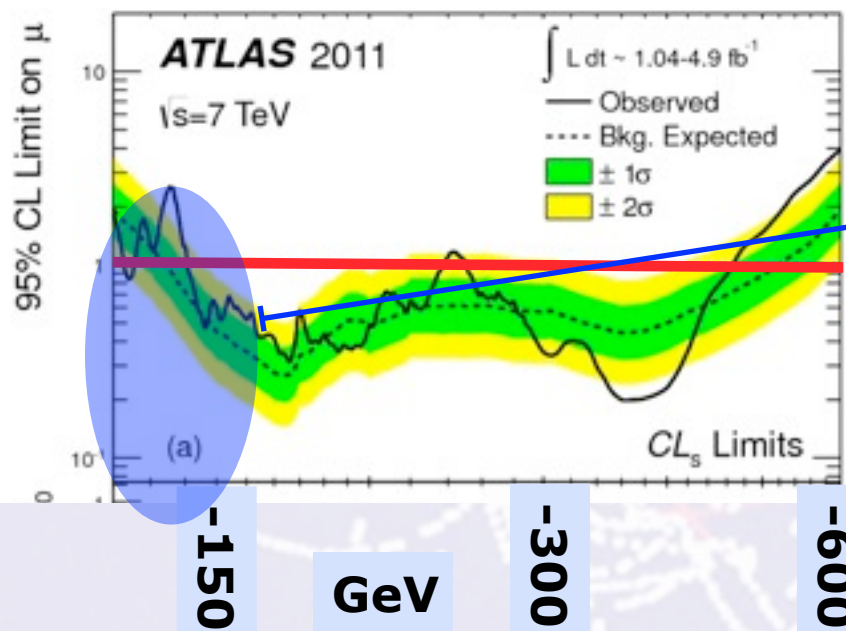
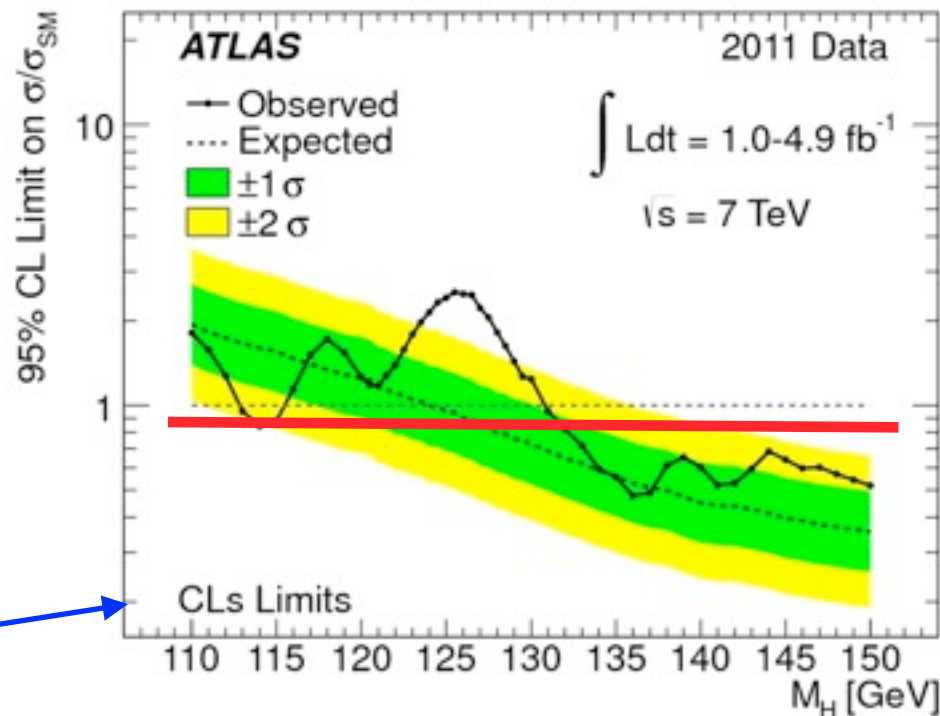
Σε 10 τρις εκατ.  
γεγονότα μπορεί να  
υπάρχει 1 Higgs !

Ελέγχουμε αν έχουμε πλεόνασμα  
γεγονότων σε κάποια περιοχή

# Τα αποτελέσματα από το ATLAS για το Higgs με **ΟΛΑ** τα δεδομένα του 2011 !

Οι ΠΡΩΤΟΙ που τα βλέπετε ! Τα δημοσιεύσαμε 7 Φεβρουαρίου ...

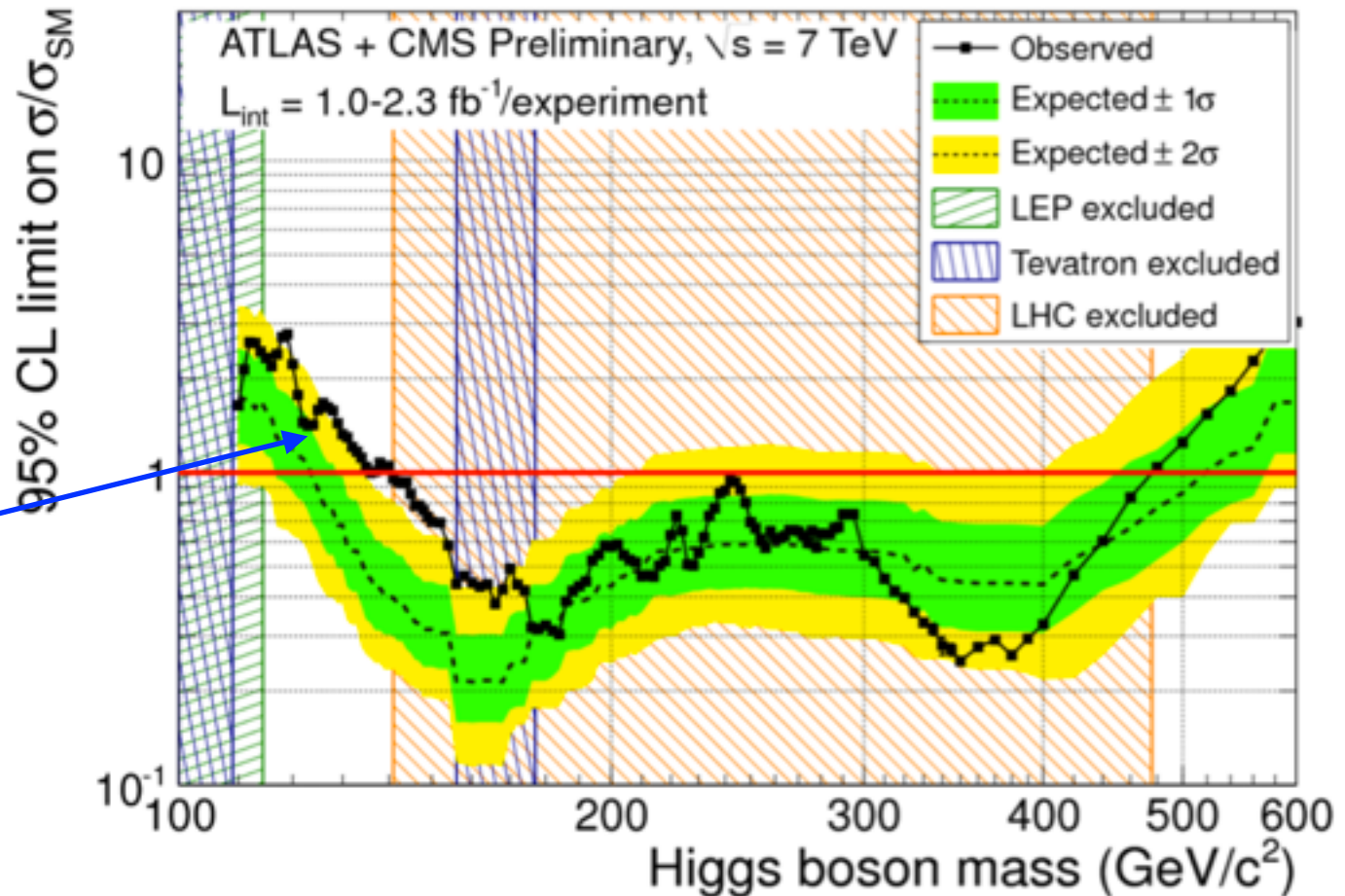
Αποκλείονται μάζες του Higgs:  
112.9-115.5 GeV, 131-238 GeV  
και 251-466 GeV



Μόνο η περιοχή πάνω από την κόκκινη γραμμή **ΔΕΝ** μπορεί να αποκλειστεί !

# Τι έχουμε μάθει για το Higgs? μέχρι σήμερα?

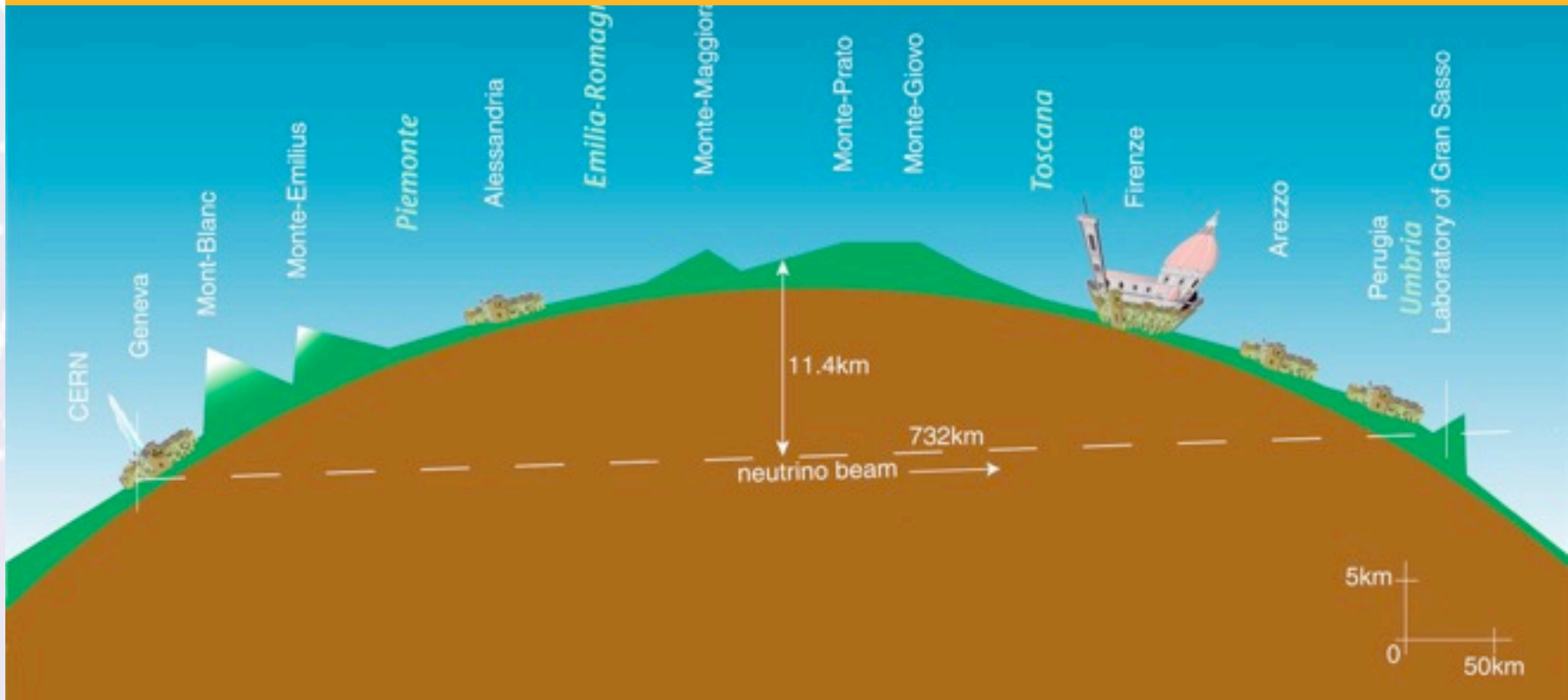
Τι προκύπτει από την συνδυασμένη **στατιστική** ανάλυση των δύο πειραμάτων για όλες τις πιθανές μάζες και όλους τους ανιχνεύσιμους τρόπους διάσπασης



Μόνο η περιοχή πάνω από την κόκκινη γραμμή ΔΕΝ μπορεί να αποκλειστεί!

# Πέρα από το LHC: Τα γρήγορα νετρίνα

Πρόσφατα μετρήθηκαν νετρίνα στο πείραμα OPERA (Gran Sasso-Italy) να φτάνουν από το CERN (730km μακριά, μέσα από την γή) γρηγορότερα από την ταχύτητα του φωτός κατά περίπου 20 εκατομμυριοστά της ταχύτητας του φωτός !

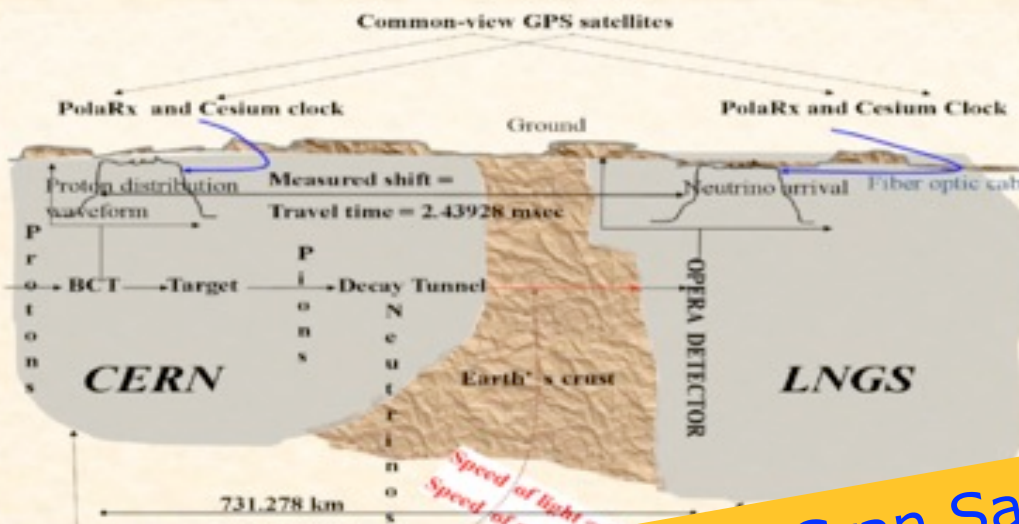


Τα νετρίνα είναι ουδέτερα σωματίδια, με ελάχιστη μάζα και αλληλεπιδρούν σπάνια με την ύλη

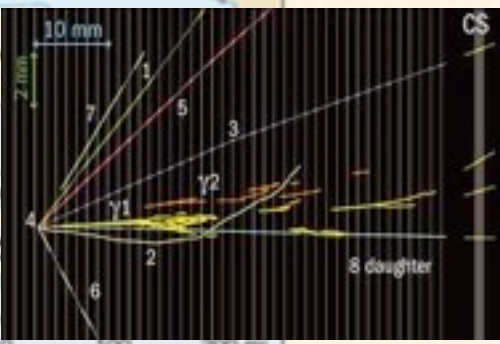
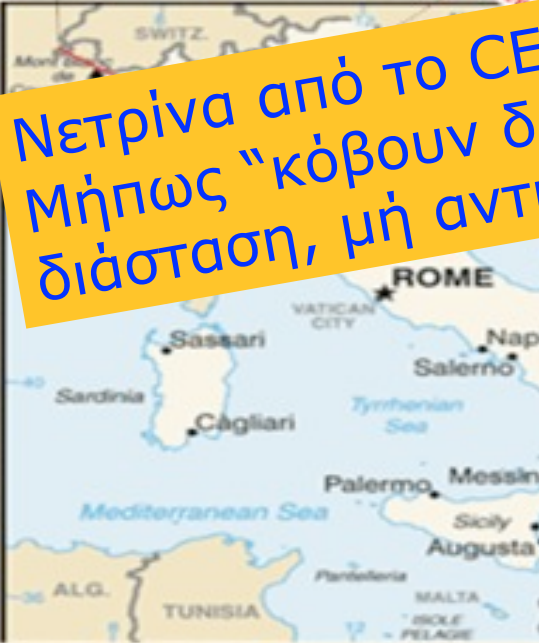
# Πέρα από το LHC: Τα γρήγορα νετρίνα

Αν τα πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαιωθούν οι συνέπειες στους Νομούς της Φύσης θα είναι συναρπαστικές

Η απόσταση (730km) είναι γνωστή με ακρίβεια 20 cm ! και ο χρόνος άφιξης των νετρίνων με ακρίβεια 10ns



Νετρίνα από το CERN στο Gran Sasso.  
Μήπως "κόβουν δρόμο" από κάποια επιπλέον διάσταση, μή αντιληπτή από μάς;!!





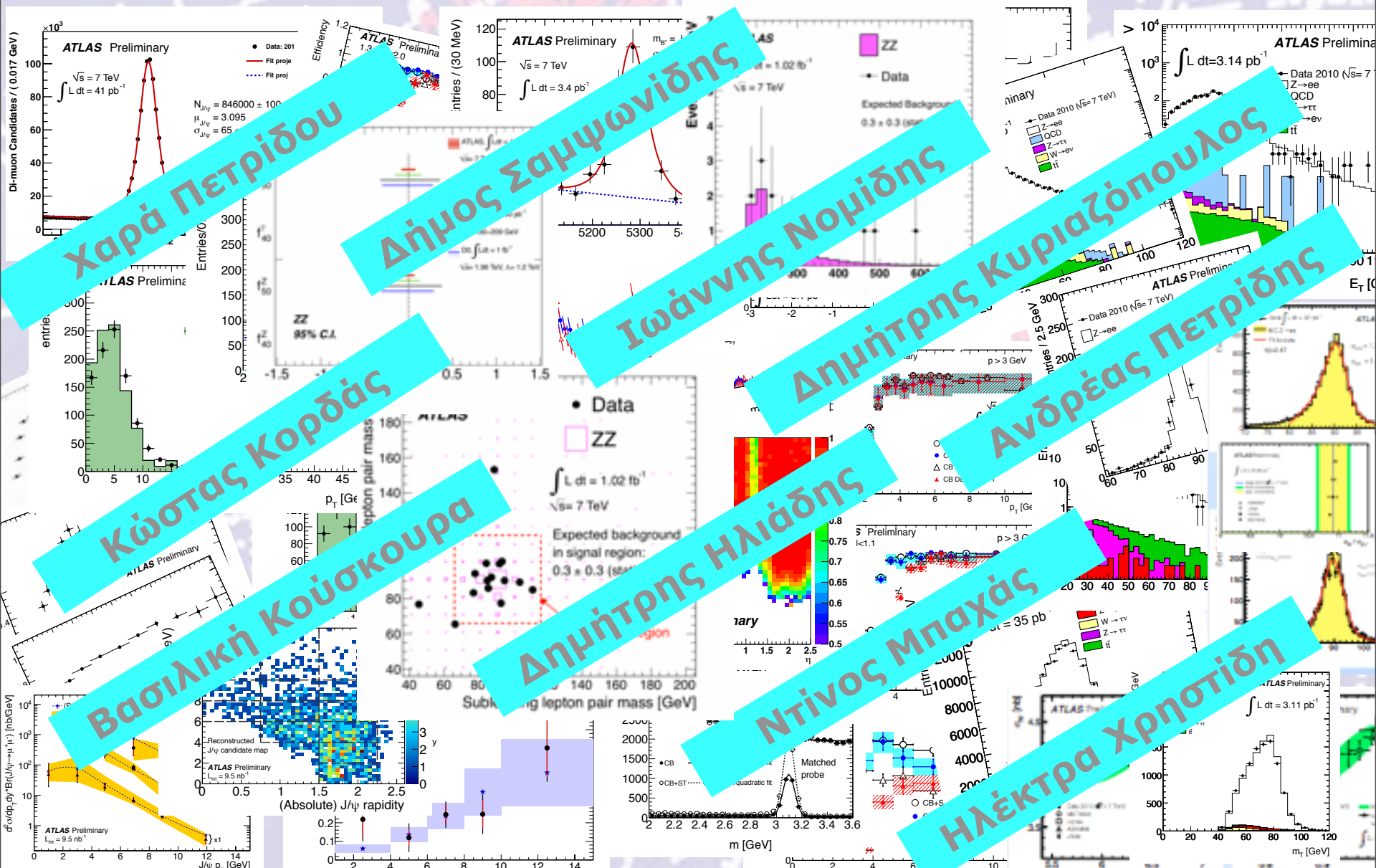
# Αντί Συμπεράσματος....

- Η έρευνα για την κατανόηση των Νόμων της Φύσης βρίσκεται σήμερα στο απόγειό της!
- Οι απαντήσεις της Φυσικής όποιες κι αν είναι:
  - για την ύπαρξη του Higgs,
  - για την ύπαρξη άλλων δυνάμεων στη φύση,
  - για την ύπαρξη επιπλέον διαστάσεωνθα διαμορφώσουν, μέσα στην επόμενη δεκαετία, τον τρόπο που σκεπτόμαστε
- Η Ελλάδα και το Πανεπιστήμιό μας, ειδικότερα, συμμετέχει ενεργά σ'αυτό το γίγνεσθαι. (βλ. επόμενη ομιλία)
  - Το πολυτιμο αυτό κεφάλαιο είναι στα χέρια της Νέας Γενιάς, που αξίζει να το αξιοποιήσει και να συνεχίσει σ'αυτή την πρόκληση
- **Η έκθεση του CERN που βρίσκεται σήμερα εδώ είναι μια πρώτη ευκαιρία για να προβληματιστείτε για την αξία και την σπουδαιότητα της έρευνας**

# Από την ... Πρώτη Μέρα του LHC το ΑΠΘ, μαζί με τα άλλα Ελληνικά Πανεπιστήμια & ΤΕΙ ήταν Παρόν !



# ...Πληθώρα δημοσιευμένων αποτελεσμάτων στο ATLAS με την συμβολή του ΑΠΘ !



Χαρά Πετρίδου

Δήμος Σαμψωνίδης

Ιωάννης Νομίδης

Δημήτρης Κυριαζόπουλος

Ανδρέας Πετρίδης

Κώστας Κορδάς

Βασιλική Κούσκουρα

Δημήτρης Ηλιάδης

Ντίνος Μπαχάς

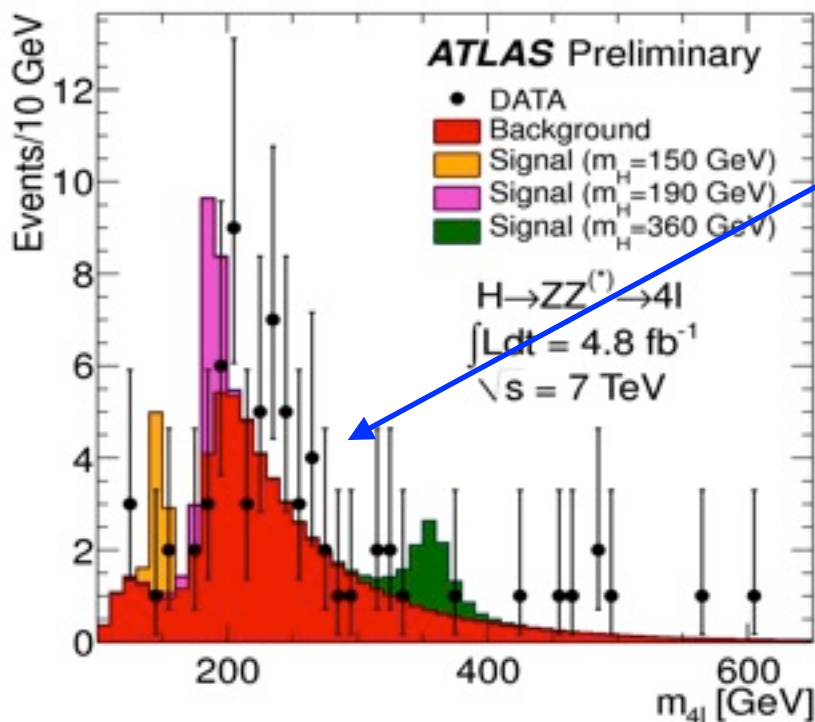
Ηλέκτρα Χρησιτίδη



# Spare Slides

# Πως αναζητούμε το Higgs? ένα παράδειγμα

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



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

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

Ελέγχουμε αν έχουμε πλεόνασμα  
γεγονότων σε κάποια περιοχή

# Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

**Ο στόχος- πρόκληση :**

**Να ανακάλυψουμε το σωματίδιο Higgs  
ή ...νέα σωματίδια**

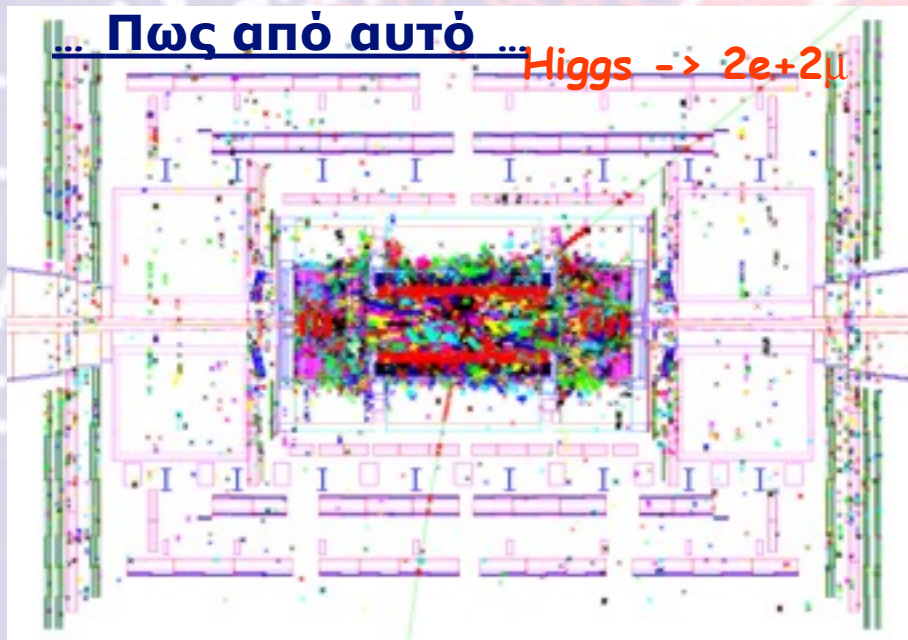
Higgs  $\rightarrow 2e+2\mu$

+ MinBias

# Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

**Ο στόχος- πρόκληση :**

**Να ανακάλυψουμε το σωματίδιο Higgs  
ή ...νέα σωματίδια**

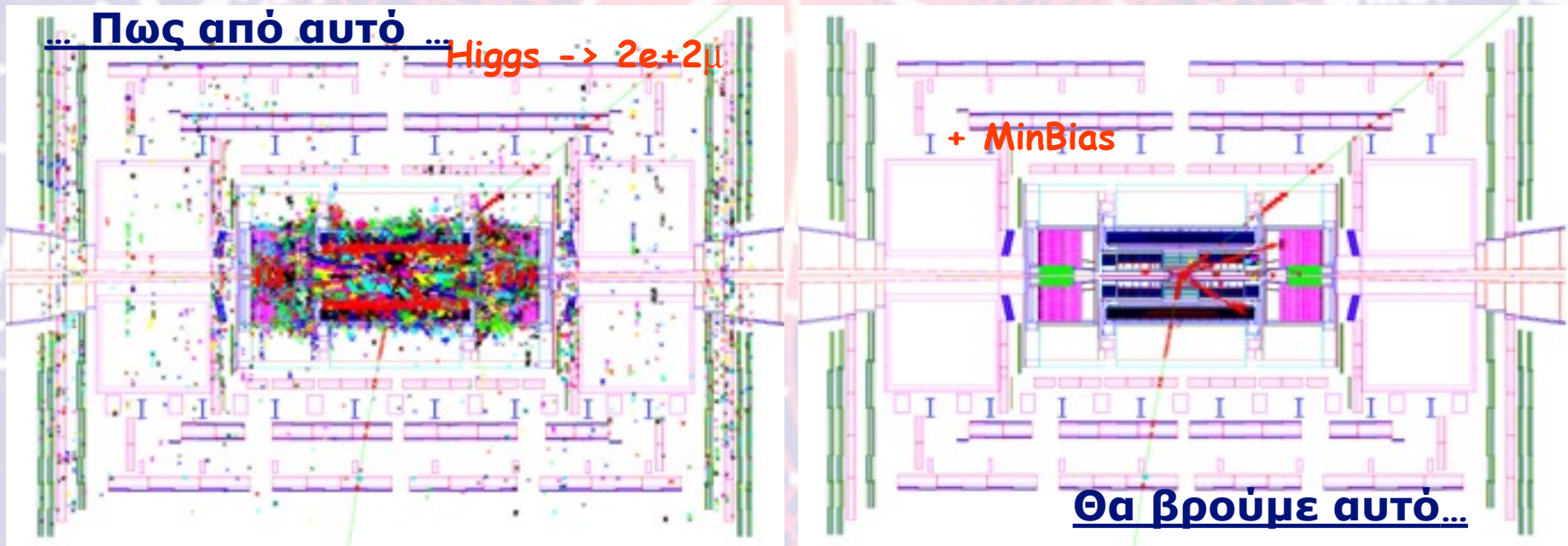


**+ MinBias**

# Το Πείραμα ATLAS στο ΑΠΘ

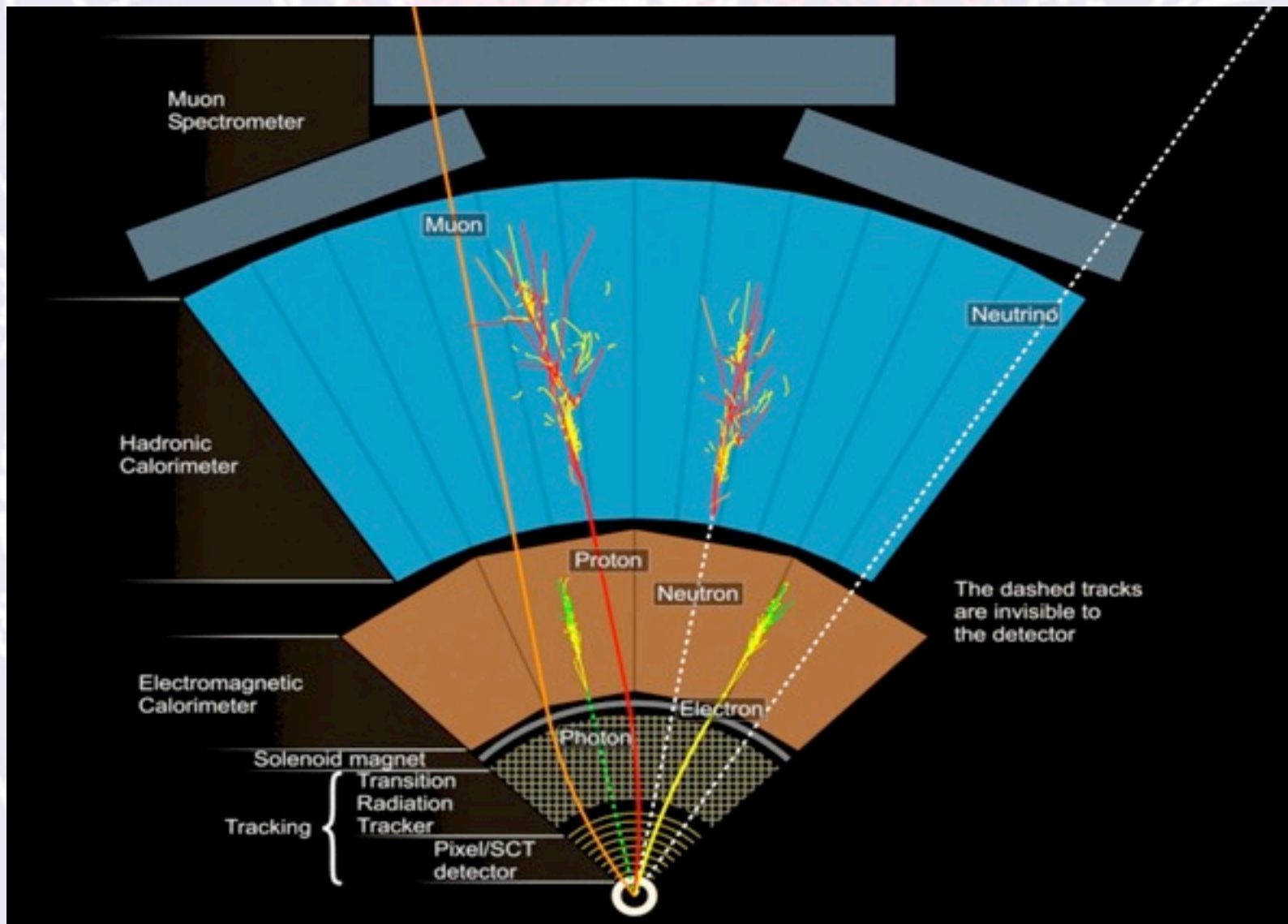
**Ο στόχος- πρόκληση :**

**Να ανακάλυψουμε το σωματίδιο Higgs  
ή ...νέα σωματίδια**

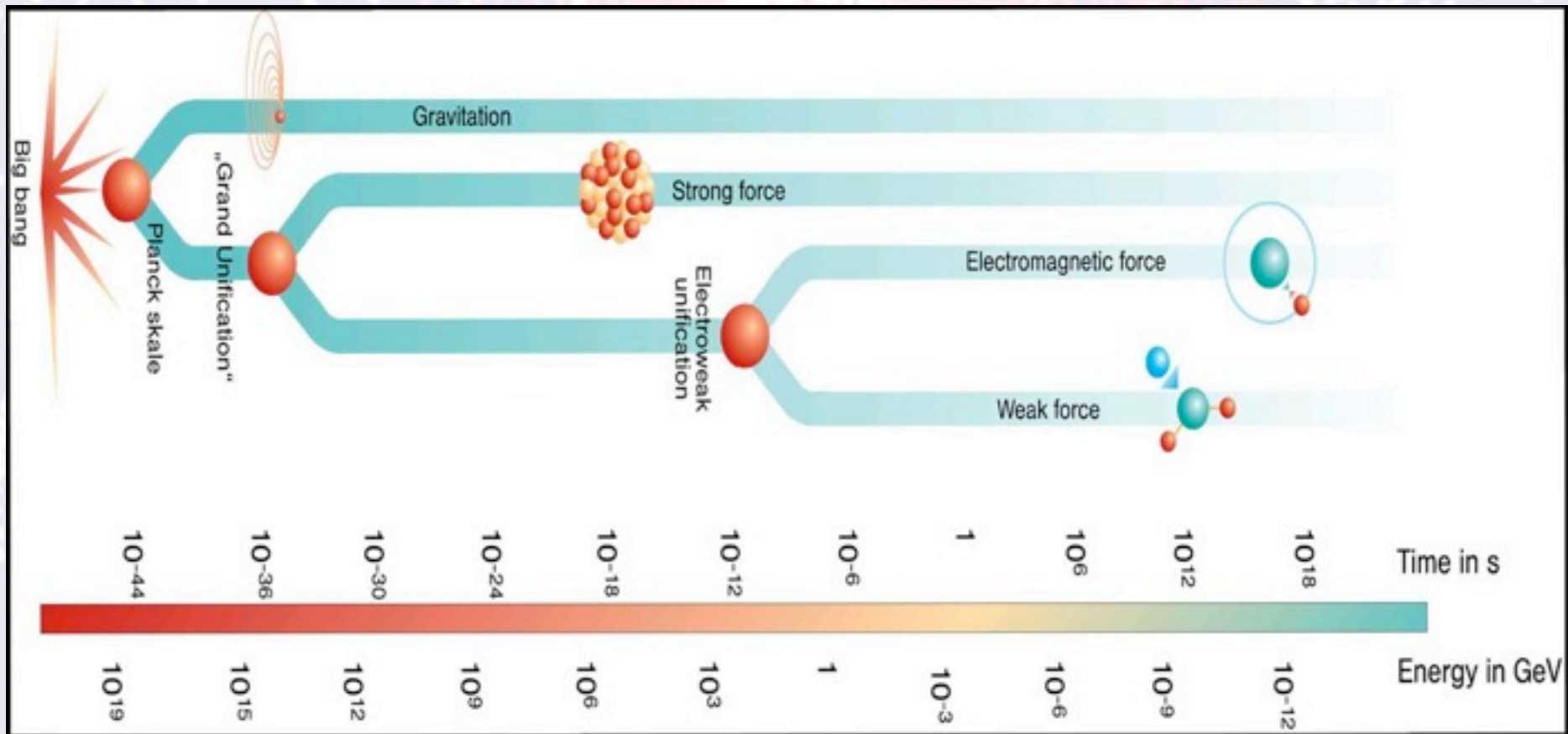




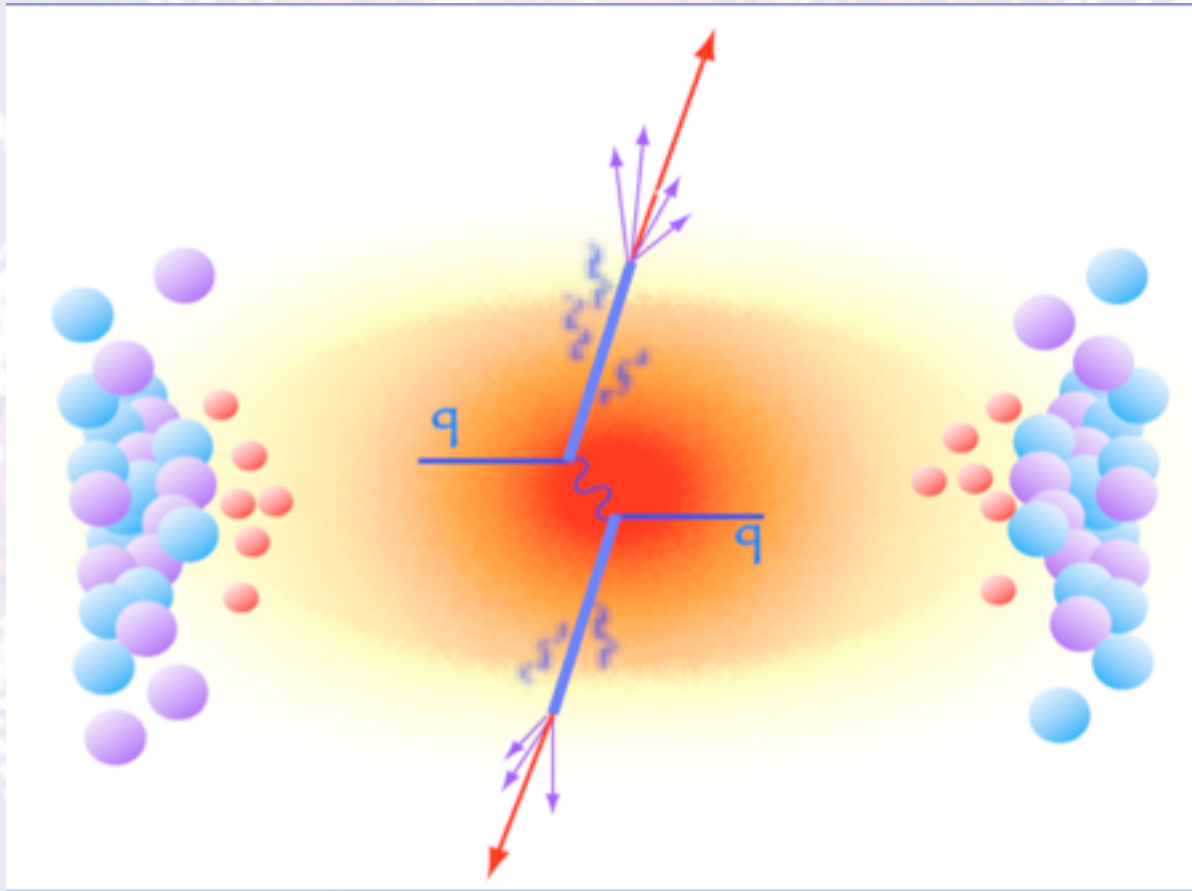
# Πως 'φαίνονται' Ηλεκτρόνια, Φωτόνια,



# Η Ενοποίηση των Αλληλεπιδράσεων



# Οι Συγκρούσεις στο LHC σήμερα

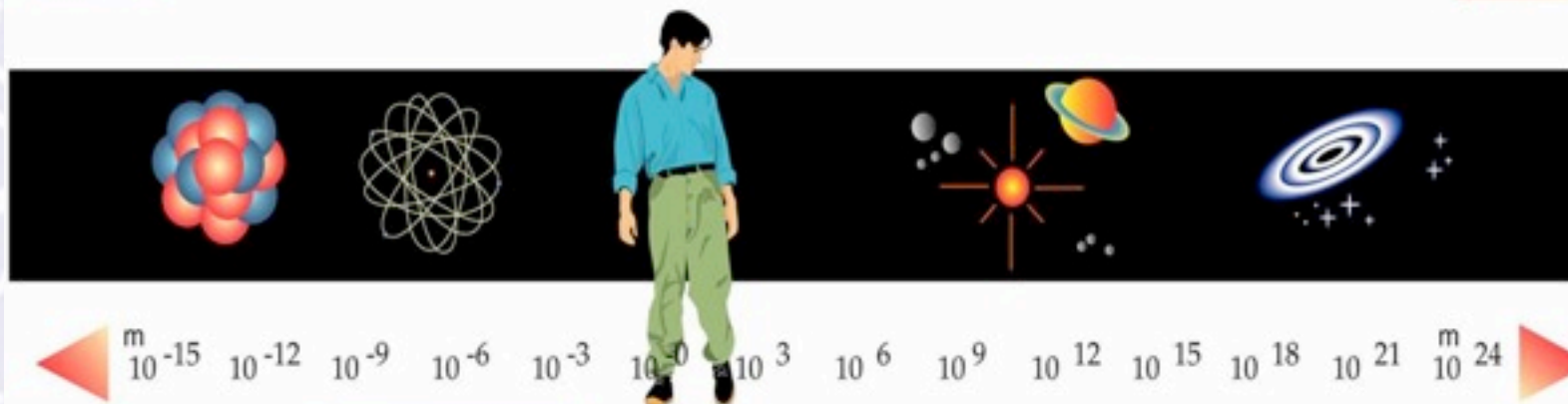
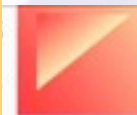


Παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στις συγκρούσεις Pb-Pb η αναμενόμενη κατάσταση της ύλης-φάση: quark-gluon πλάσμα !

# Οι δύο περιοχές στην Έρευνα της Φυσικής

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

Η Αστροφυσική  
μελετά το **'άπειρο'**



Μικροσκόπια

Κιάλια

Οπτικά Τηλεσκόπια  
Ραδιοτηλεσκόπια

Επιταχυντές  
Σωματιδίων &  
Ανιχνευτές

Γυμνό  
μάτι