



# Το CERN, η φυσική των σωματιδίων, και η αναζήτηση για το μποζόνιο Higgs

Έρευνα και  
Ανακάλυψη

Τεχνολογία

Εκπαίδευση

Συνεργασία

Καθ. Εμμανουήλ Τσεσμελής (CERN και Παν. Οξφόρδης)

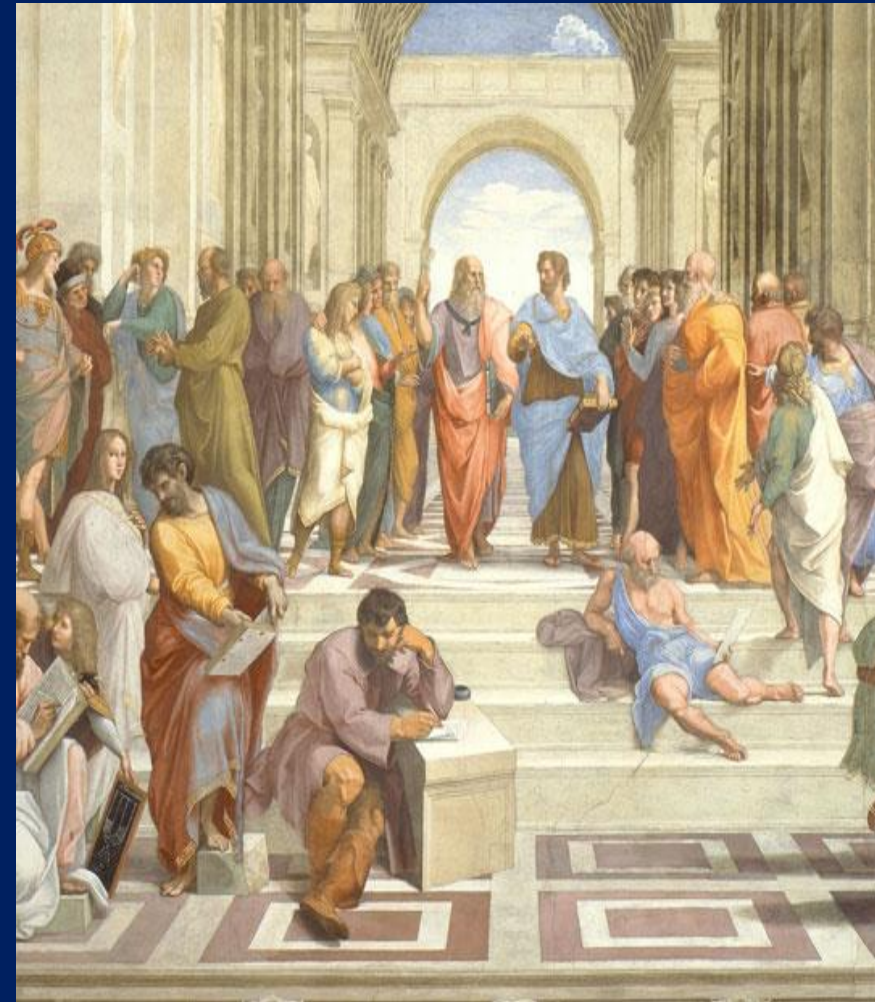
Σεπτέμβριος 2013

# Θεμελιώδη Ερωτήματα

- ▣ Μερικά από τα βασικά ερωτήματα που διατύπωσε σκεπτόμενος ο άνθρωπος από την κλασική αρχαιότητα και νωρίτερα:
  - Ποιός είναι ο κόσμος;
  - Πώς εξελίσσεται;
  - Από που προήλθαμε;
  - Υπάρχουν άλλα σύμπαντα;
  - ; ; ; ; ; ; ;

## Απαντήσεις:

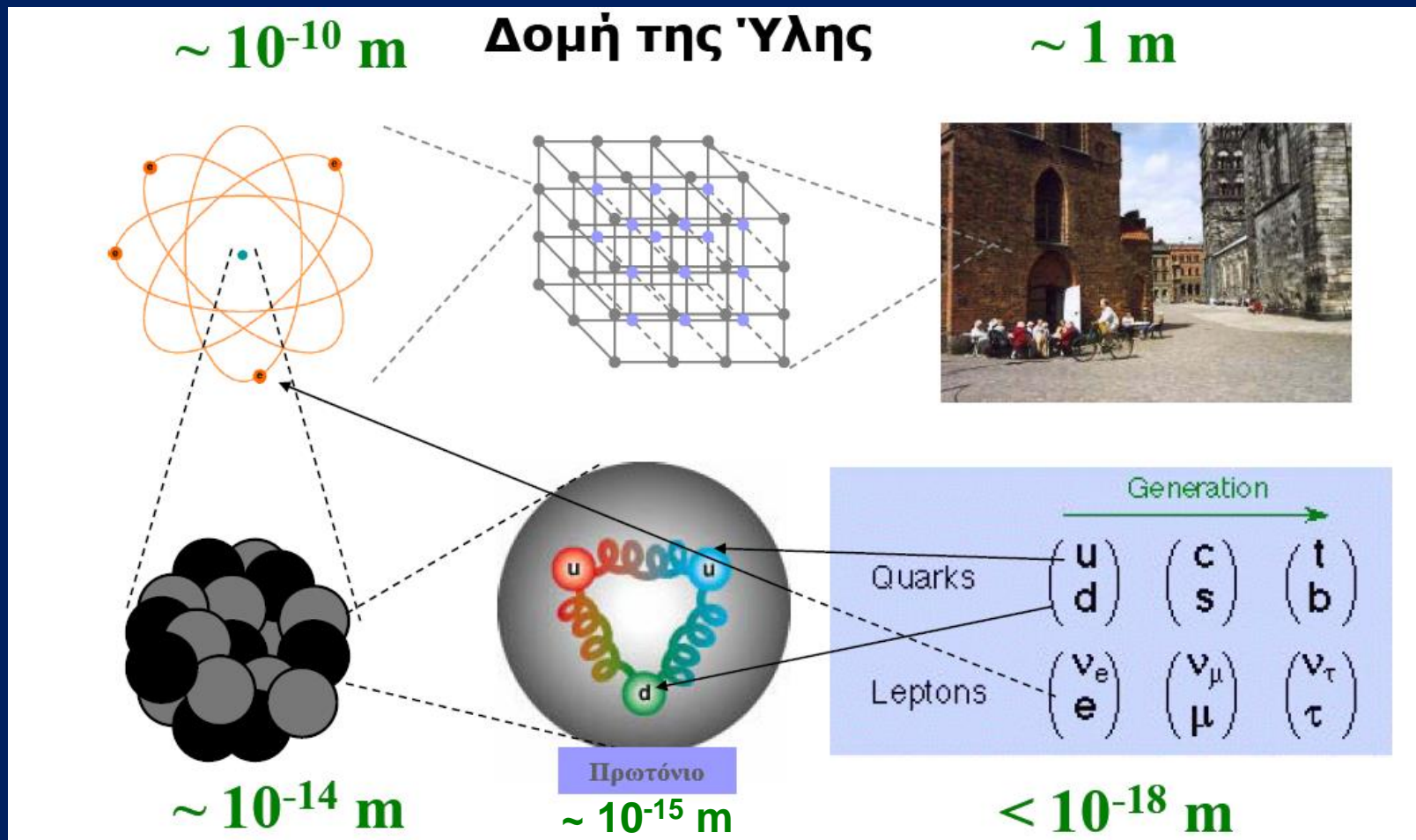
Θεολογικές, Φιλοσοφικές,  
Επιστημονικές



# Τί είναι η Μεγάλη Έκρηξη;

- ▣ Η Μ.Ε. είναι μια τεραστίου μεγέθους **συμπύκνωση** της συνολικά υπάρχουσας ενέργειας και ύλης περιορισμένη σε ελάχιστο χρονικό και χωρικό διάστημα.
- ▣ Υπολογισμοί και παρατηρήσεις υποδεικνύουν ότι η Μ.Ε. προέκυψε πριν από... **13.8 δισ. χρόνια!**
- ▣ Σύμφωνα με την κβαντομηχανική θεωρία η Μ.Ε. είναι μια **τυχαία (;) στατιστική διακύμανση** της πυκνότητας ενέργειας.

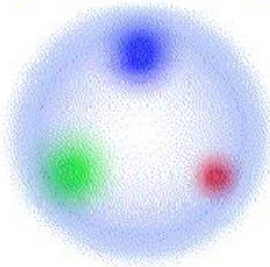
# Διαστάσεις της Σωματιδιακής Φυσικής



# Οι Δομικοί Λίθοι της Ύλης

Quarks (Gell-Mann) 1964

ΧΡΩΜΑΤΑ



Πρωτόνιο

Το σύγχρονο περιοδικό σύστημα των θεμελιωδών λίθων της ύλης

ΓΕΥΣΕΙΣ

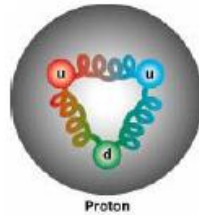
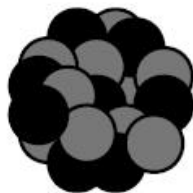
	Quarks		Λεπτόνια	
3η γενιά	 t υψηλό	 b χαμηλό	 τ ταυ	 ν <sub>τ</sub> νετρίνο ταυ
2η γενιά	 c γοητευτικό	 s παράξενο	 μ μιονίο	 ν <sub>μ</sub> νετρίνο μιονίου
1η γενιά	 u άνω	 d κάτω	 e ηλεκτρόνιο	 ν <sub>e</sub> νετρίνο ηλεκτρονίου

συν τα σωματίδια της αντιύλης

# 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

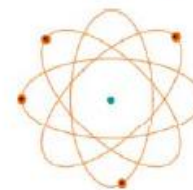
Μεταδίδονται με τα  $W$   
&  $Z^0$



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 ...

# Μεγάλα και Αναπάντητα Ερωτήματα

Ποιά είναι η προέλευση της μάζας ?

Γιατί δεν υπάρχει ισοδύναμη αντι-ύλη?

Τί είναι η αθέατη ή σκοτεινή ύλη?

Ενώνονται όλες οι δυνάμεις μαζί?

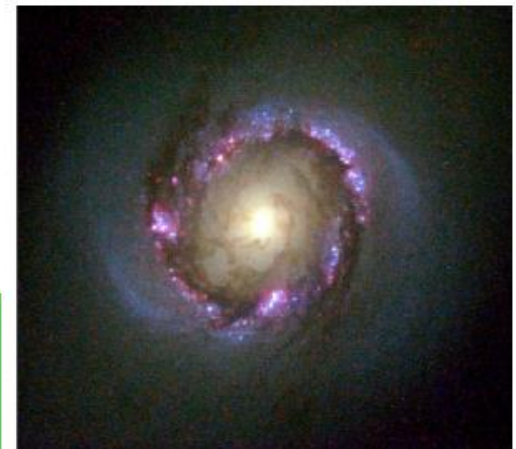
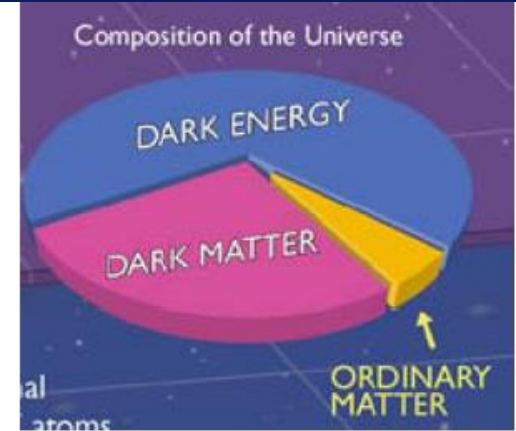
Υπάρχει Υπερσυμμετρία?

Υπάρχουν άλλα είδη δυνάμεων?

Υπάρχει το σωματίδιο higgs?

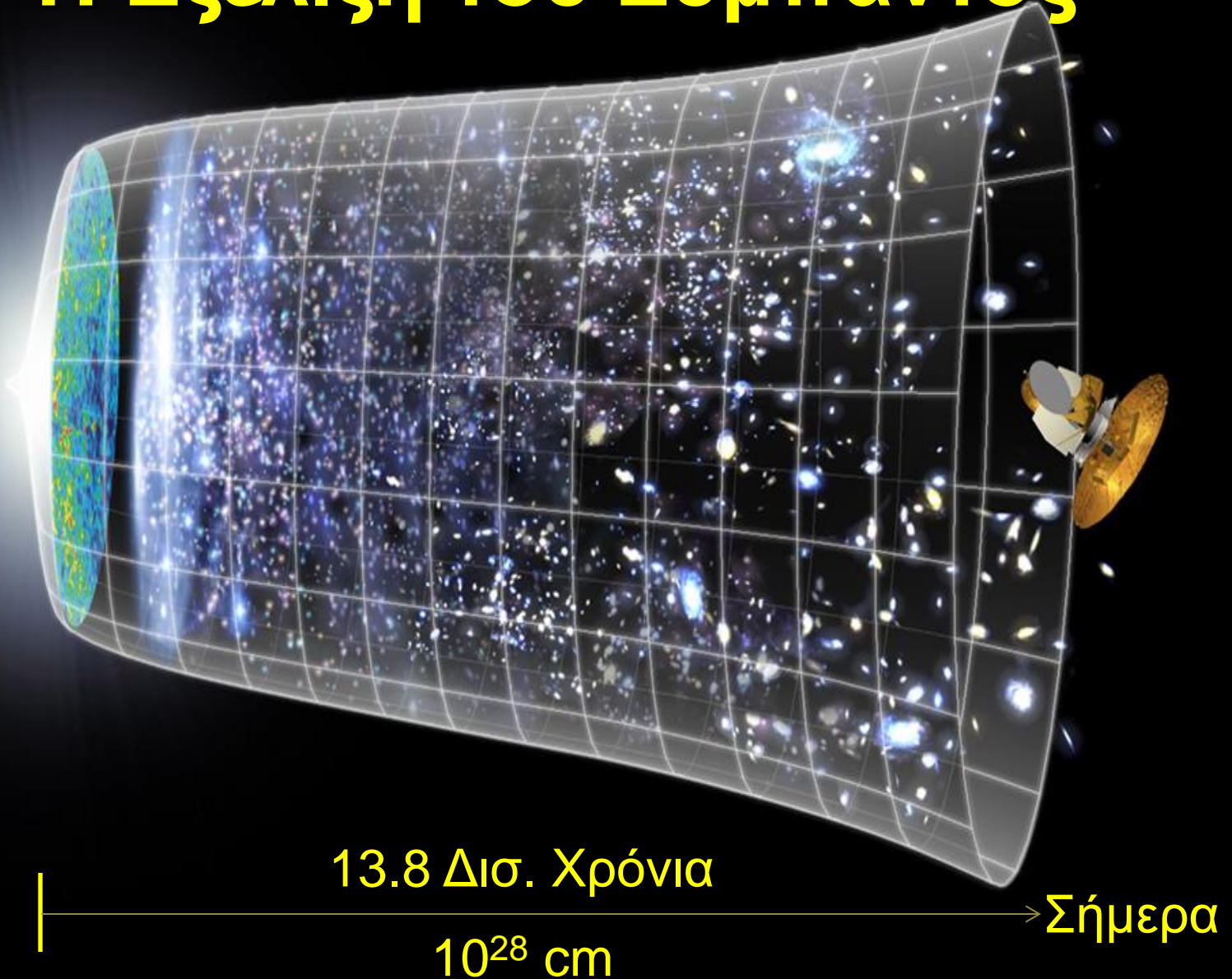


**Το LHC θα βοηθήσει να απαντηθούν τέτοιες ερωτήσεις**



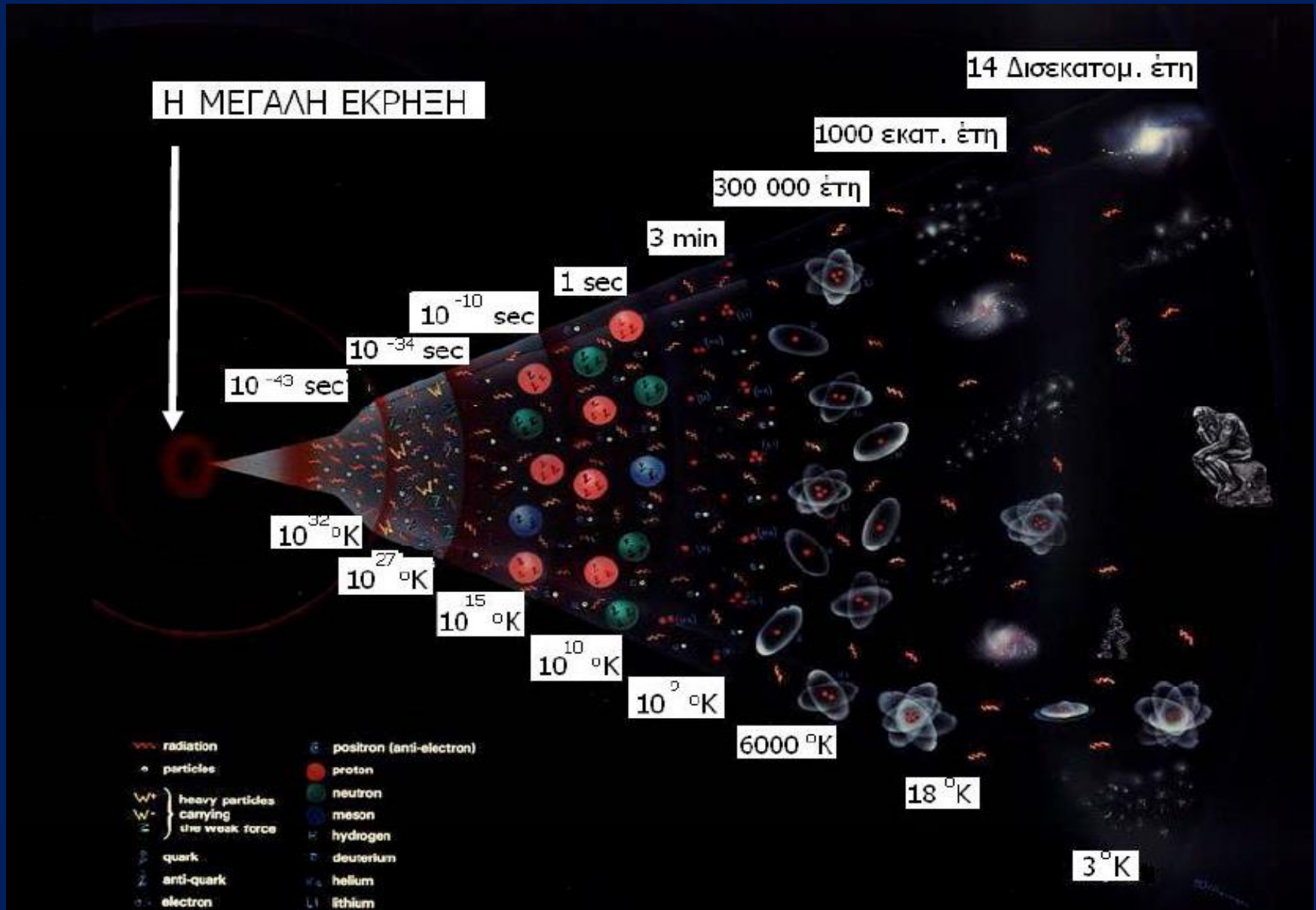
# Η Εξέλιξη του Σύμπαντος

Μεγάλη  
Έκρηξη

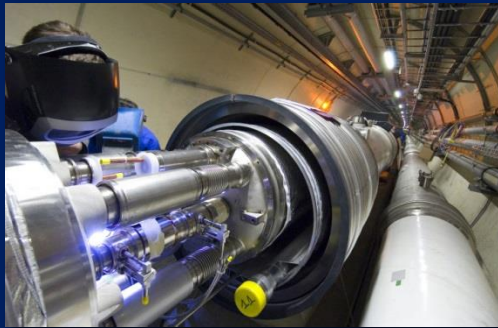
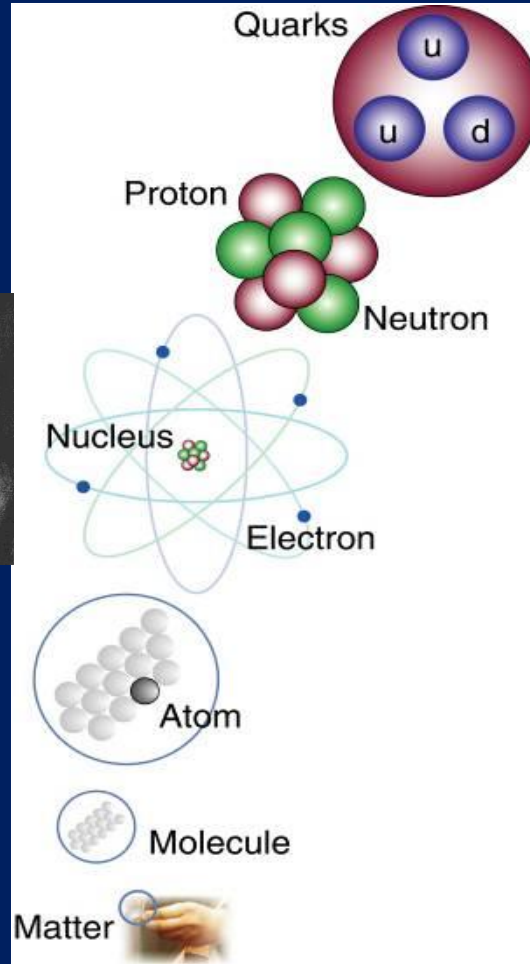
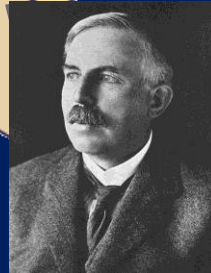
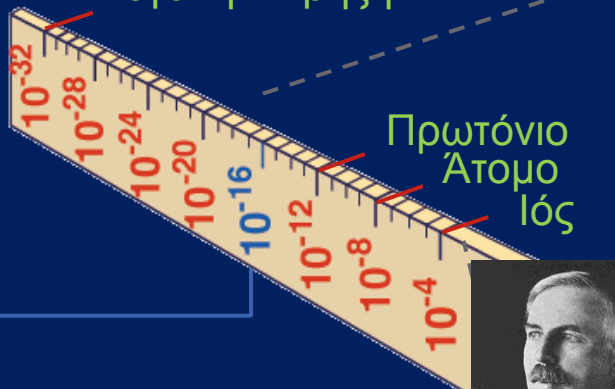




# Το Σύμπαν



Μεγάλη Έκρηξη

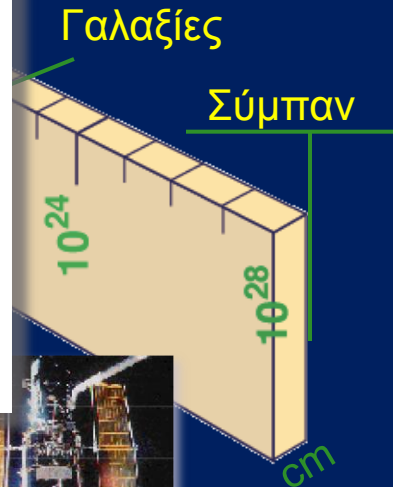


LHC

Super-Μικροσκόπιο



Οι νόμοι της φυσικής στις πρώτες στιγμές μετά την Μεγάλη Έκρηξη. Συμβίωση μεταξύ σωματιδιακή φυσική, αστροφυσική, και κοσμολογία.

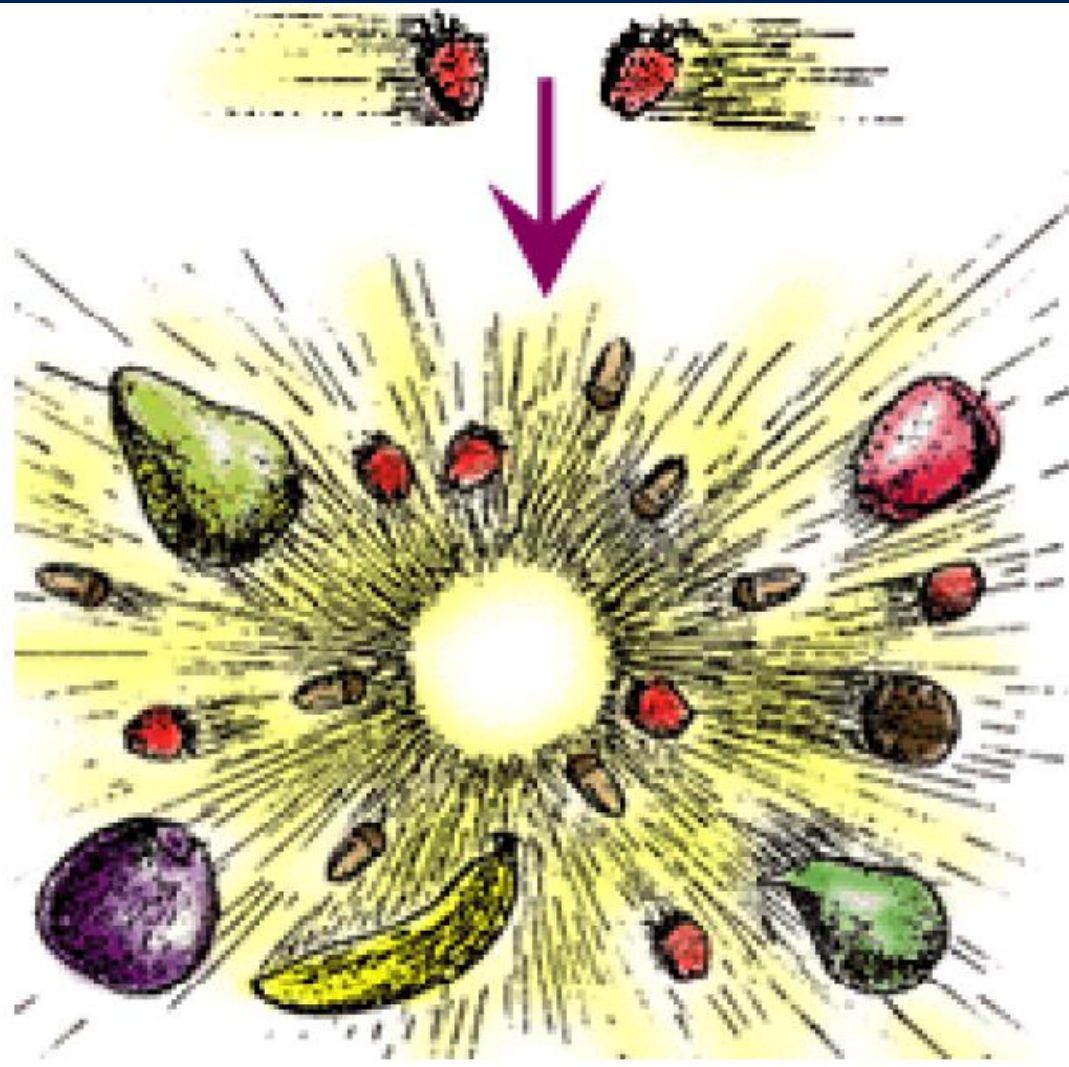


# Μέθοδοι της Σωματιδιακής Φυσικής

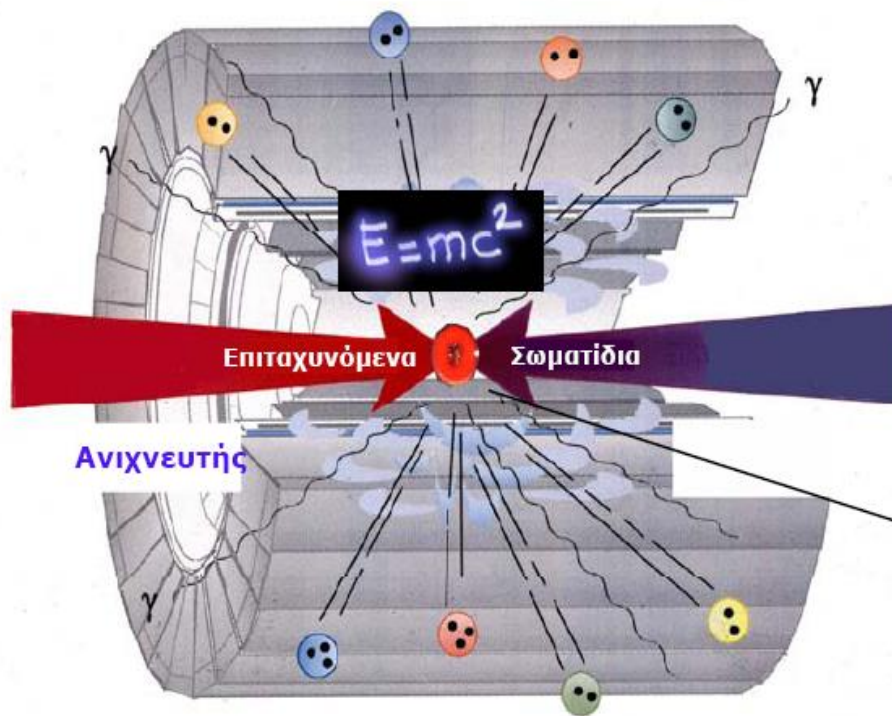


Σχέση του  
Einstein

$$E = mc^2$$



# Μέθοδοι της Σωματιδιακής Φυσικής

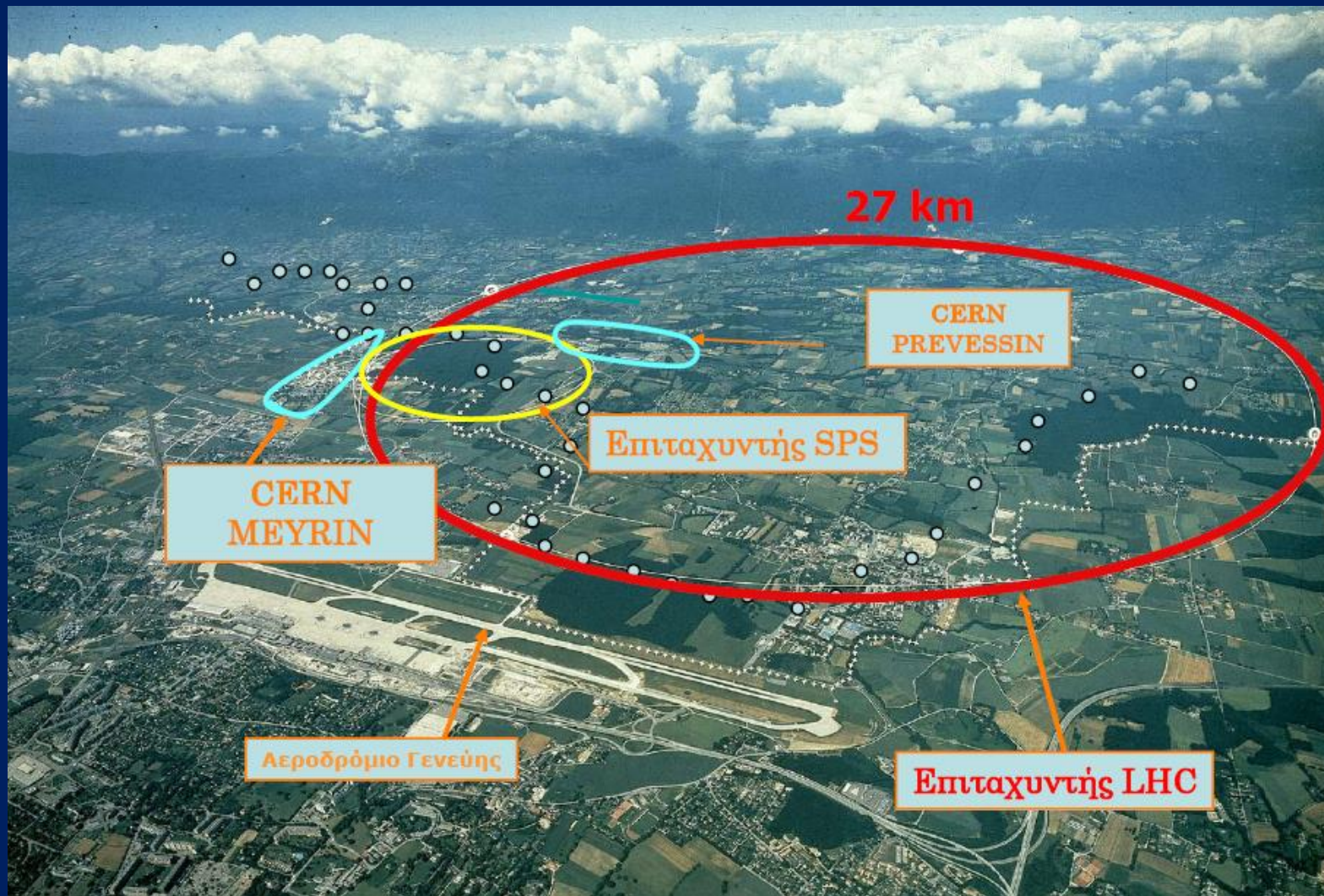


1) Συγκέντρωση ενέργειας στα σωματίδια (**επιταχυντής**)

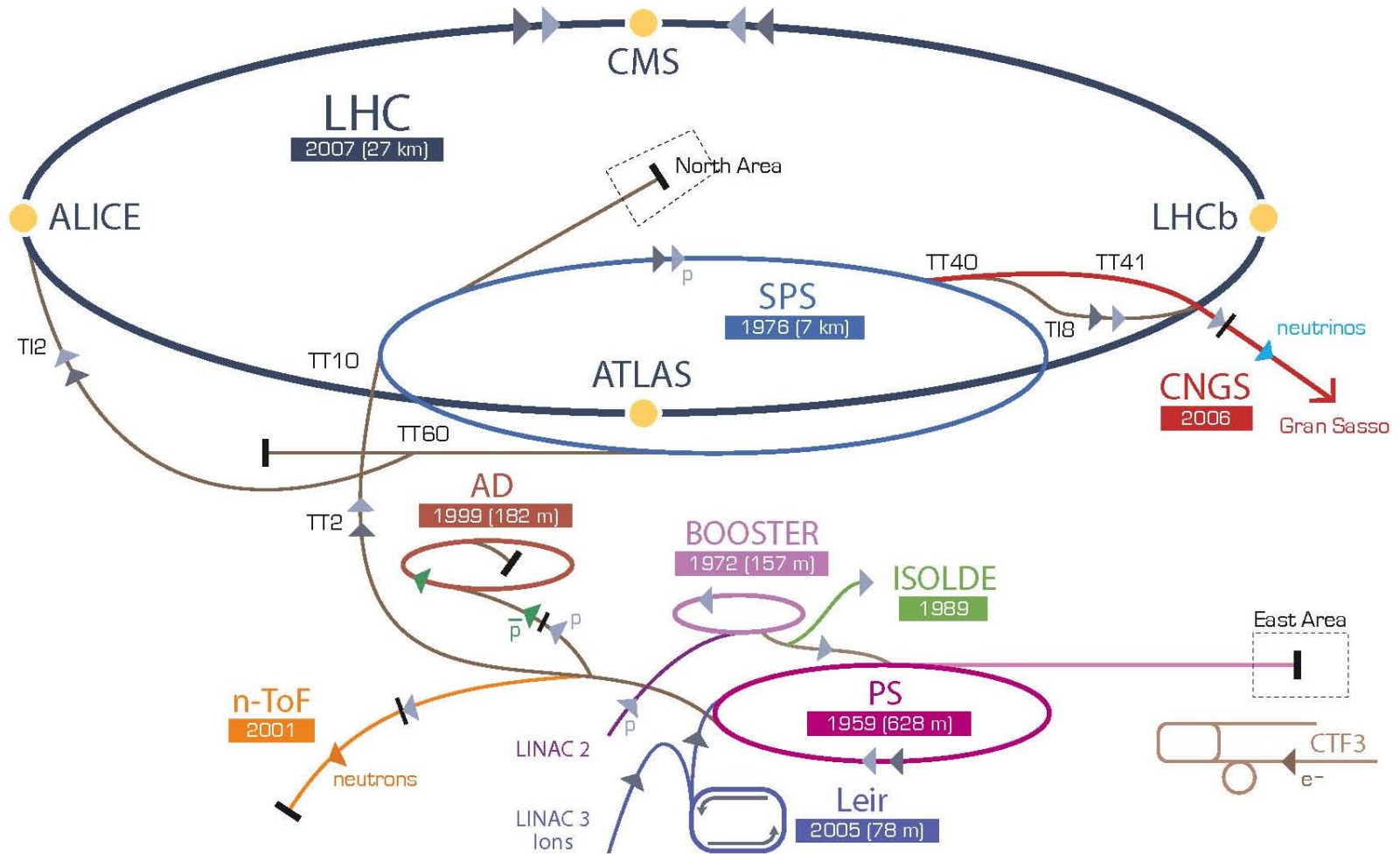
2) **Σύγκρουση** σωματιδίων (δημιουργία συνθηκών ανάλογων του Big Bang)

3) Αναγνώριση παραγόμενων σωματιδίων από τον **Ανιχνευτή** (έρευνα για νέα φαινόμενα)

# Οι Εγκαταστάσεις του CERN



# CERN Accelerator Complex



▶ p [proton] ▶ ion ▶ neutrons ▶  $\bar{p}$  [antiproton] → ↔ proton/antiproton conversion ▶ neutrinos ▶ electron

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

# Έχουμε εισέλθει σε μια νέα εποχή στη βασική επιστήμη

Έναρξη λειτουργίας του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων (LHC), ένα από τα μεγαλύτερα και παγκόσμια επιστημονικά προγράμματα όλων των εποχών. Είναι η πιο συναρπαστική καμπή στην σωματιδιακή φυσική.

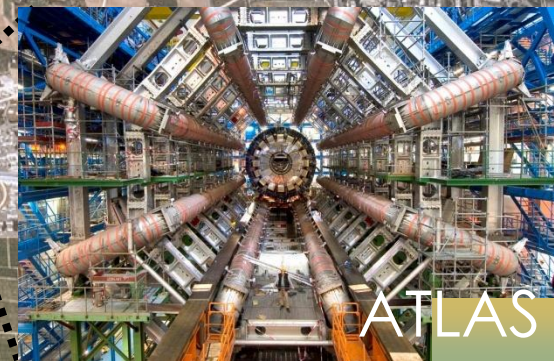


Εξερεύνηση σε νέες υψηλές ενέργειες

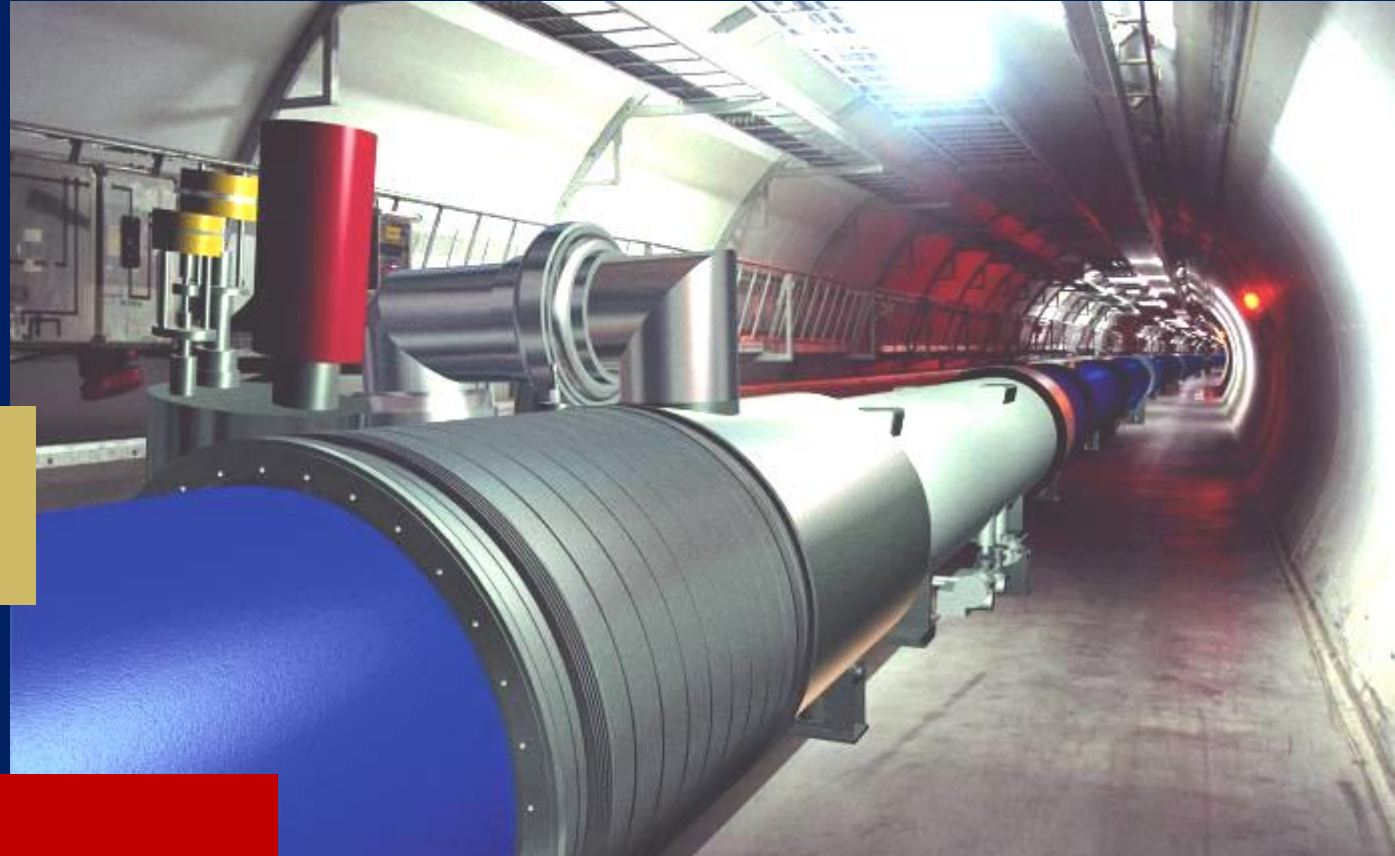


Και τρία μικρότερα  
πειράματα

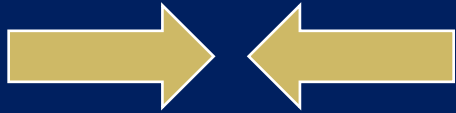
TOTEM  
LHCf  
MoEDAL



# Ο Μεγάλος Αδρονικός Επιταχυντής LHC



7 TeV p + 7 TeV p



Φωτεινότητα =  
 $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$

Κύριοι Στόχοι:

- Προέλευση της μάζας
- Φύση της Σκοτεινής Ύλης
- Αρχέγονη μάζα ύλης
- Ύλη εναντίον αντιύλης

Τα αποτελέσματα του LHC θα καθορίσουν το μέλλον της Φυσικής των Στοιχειωδών Σωματιδίων





**Ο Επιταχυντής LHC**

# Το Ευπαλίνειο όρυγμα

*Ἐμήκυνα δὲ περὶ Σαμίων  
μᾶλλον, ὅτι σφι τρία ἔστι μέγιστα  
ἀπάντων Ἑλλήνων  
ἐξεργασμένα, ὄρεός τε ὑψηλοῦ  
ἕς πεντήκοντα καὶ ἑκατὸν  
ὀργυιάς, τούτου ὄρυγμα  
κάτωθεν ἀρξάμενον,  
ἀμφίστομον. Ἡρόδοτος*

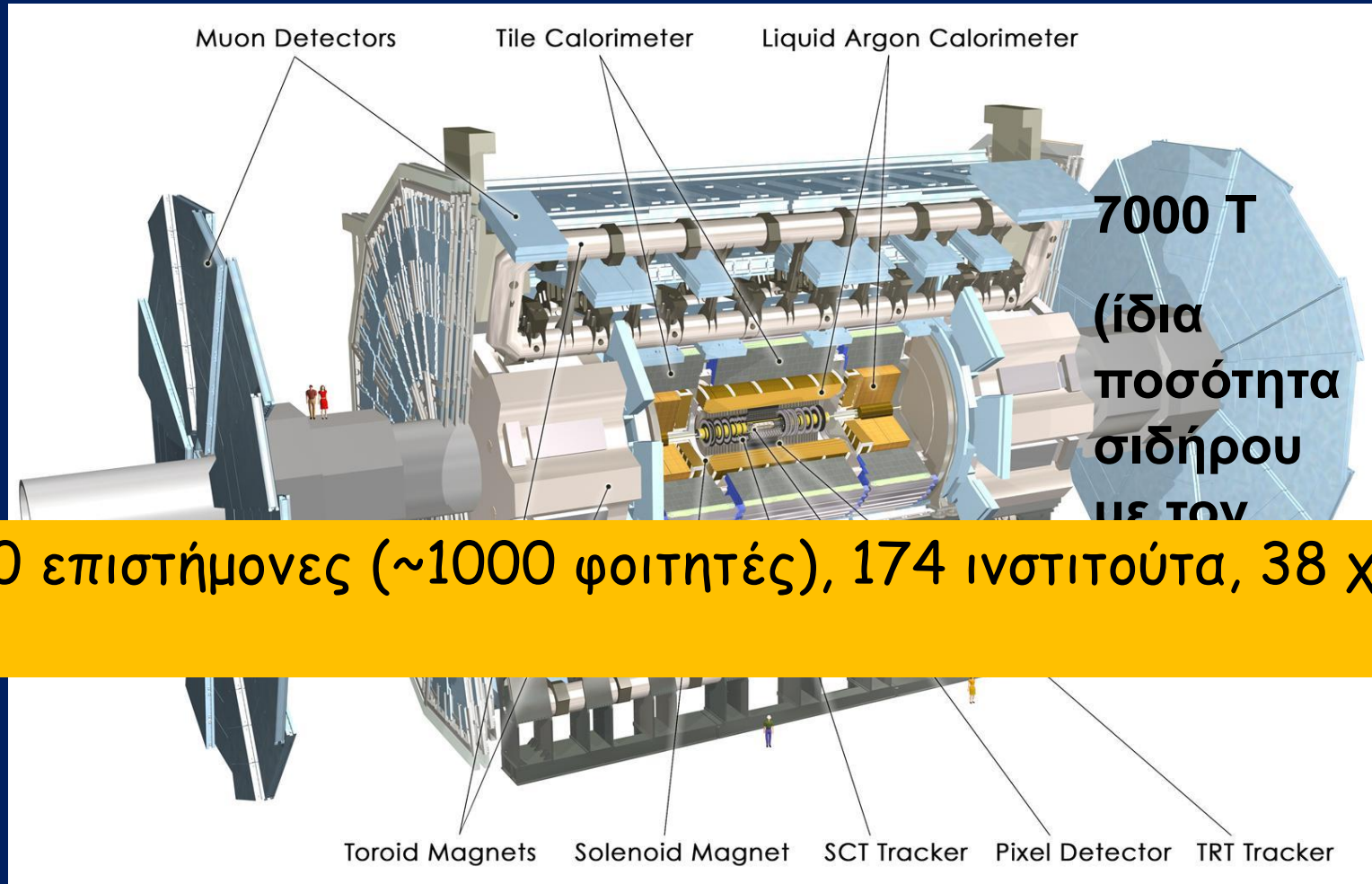


# Χρειαζόμαστε Μεγάλους Ανιχνευτές



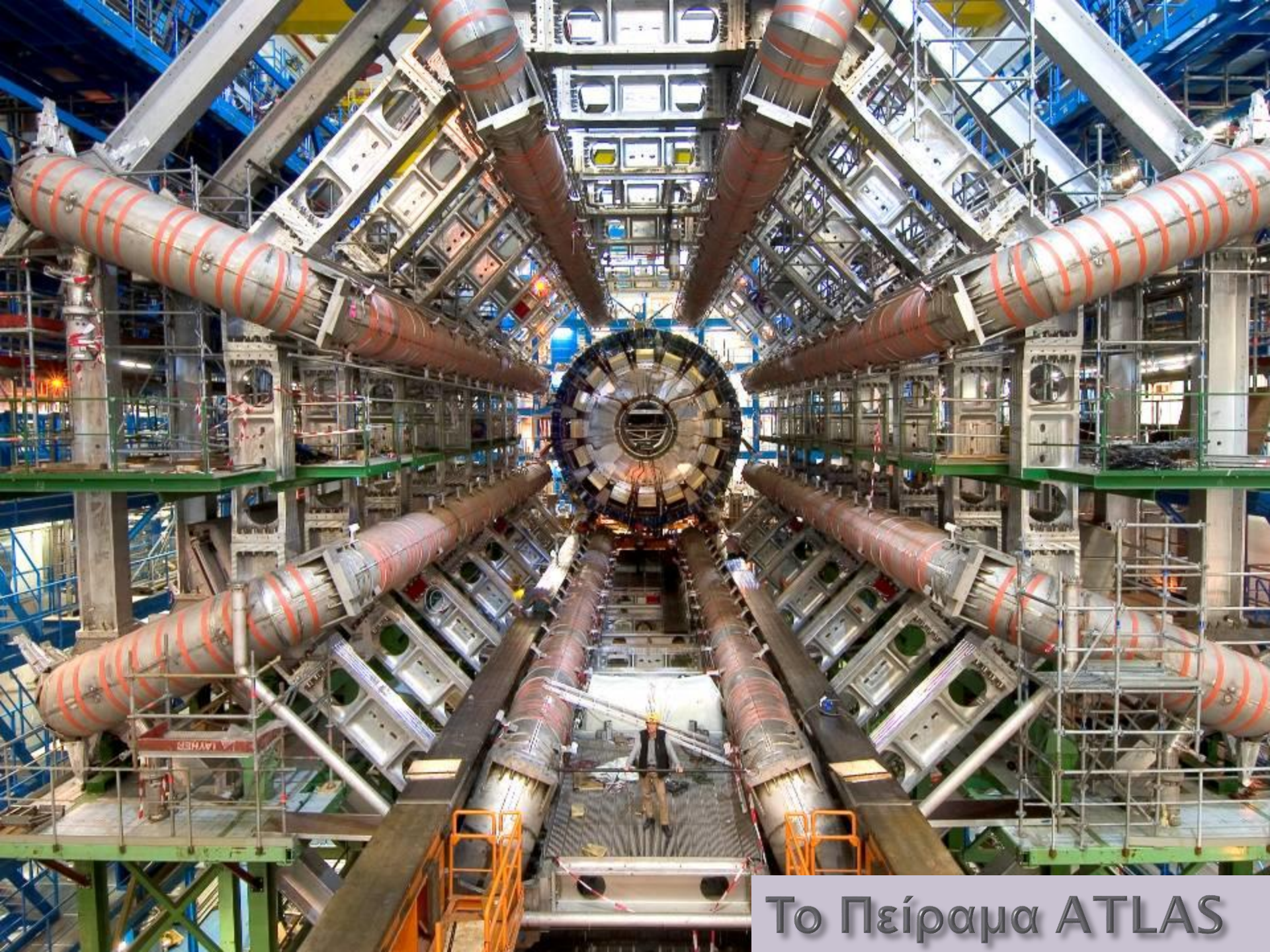
43  $\mu$

22  $\mu$



~ 3000 επιστήμονες (~1000 φοιτητές), 174 ινστιτούτα, 38 χώρες

# ATLAS



Το Πείραμα ATLAS

# Το Πείραμα CMS



Total weight 14000 t  
Overall diameter 15 m  
Overall length 28.7 m

# CMS

MUON ENDCAPS

473 Cathode Strip Chambers (CSC)  
432 Resistive Plate Chambers (RPC)

ECAL 76k scintillating  
PbWO<sub>4</sub> crystals

HCAL Scintillator/brass  
Interleaved ~7k ch

3.8T Solenoid

IRON YOKE

Preshower  
Si Strips ~16 m<sup>2</sup>  
~137k ch

Forward Cal  
Steel + quartz  
Fibers ~2-k ch

Επιστήμονες: ~3200

Ινστιτούτα: 190

Χώρες: 39

Pixel Tracker  
ECAL  
HCAL  
Muons  
Solenoid coil

Pixels & Tracker

- Pixels (100x150 μm<sup>2</sup>)  
~ 1 m<sup>2</sup> ~66M ch
- Si Strips (80-180 μm)  
~200 m<sup>2</sup> ~9.6M ch

MUON BARREL

250 Drift Tubes (DT) and  
480 Resistive Plate Chambers (RPC)

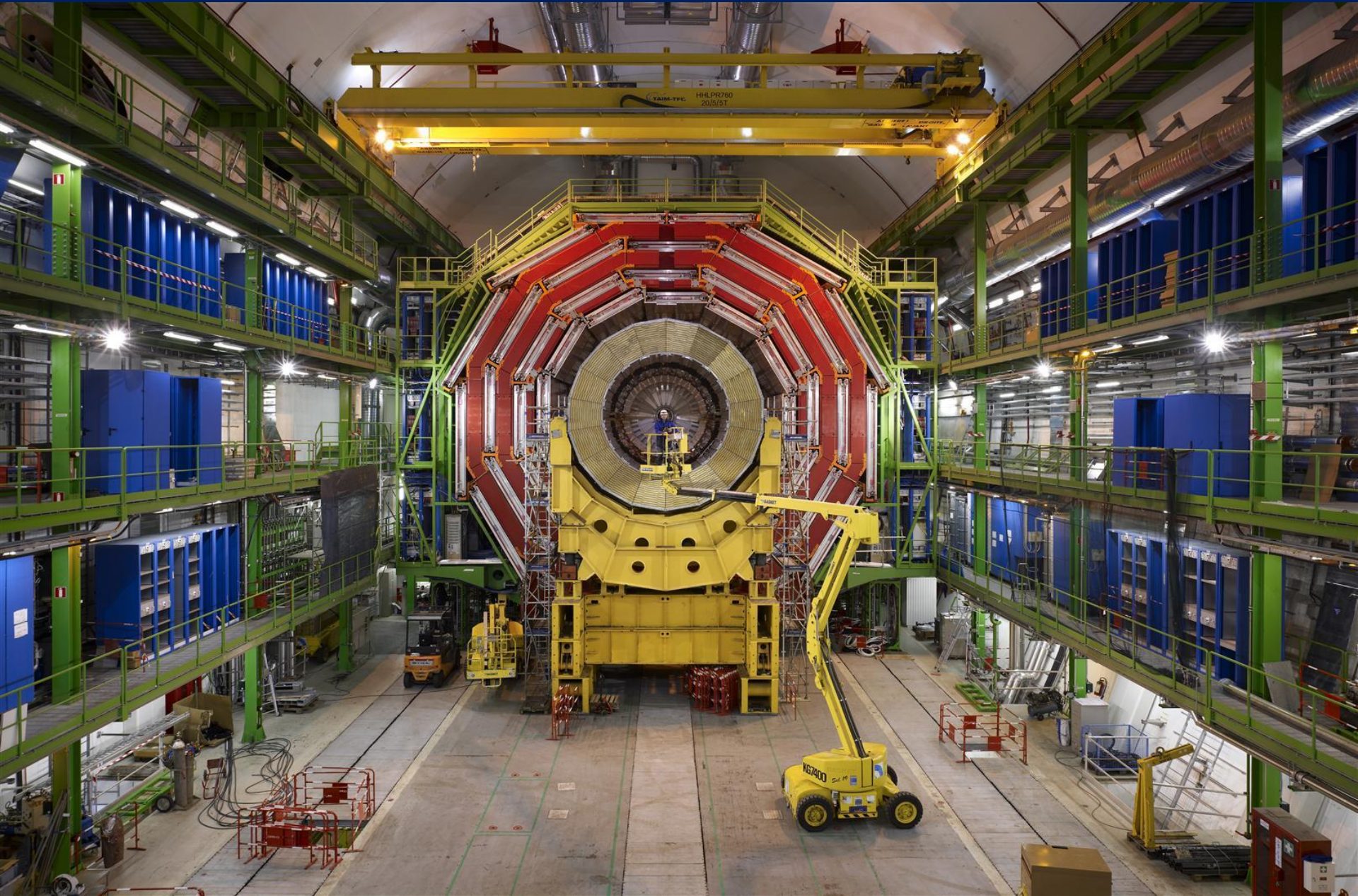
# CMS Collaboration 27/6/2012



The CMS Collaboration: >3200 scientists and engineers,  
>800 students from ~190 Institutions in 39 countries .

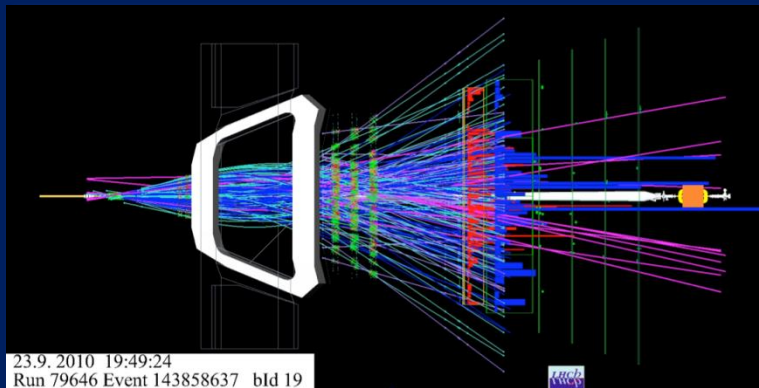
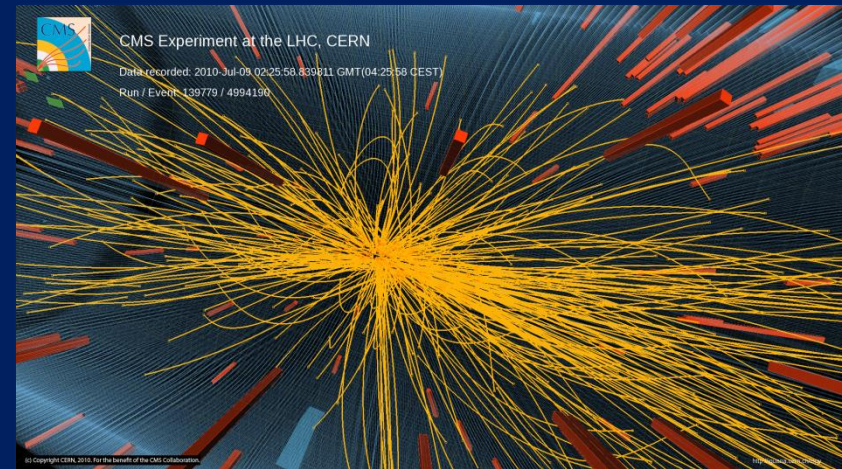
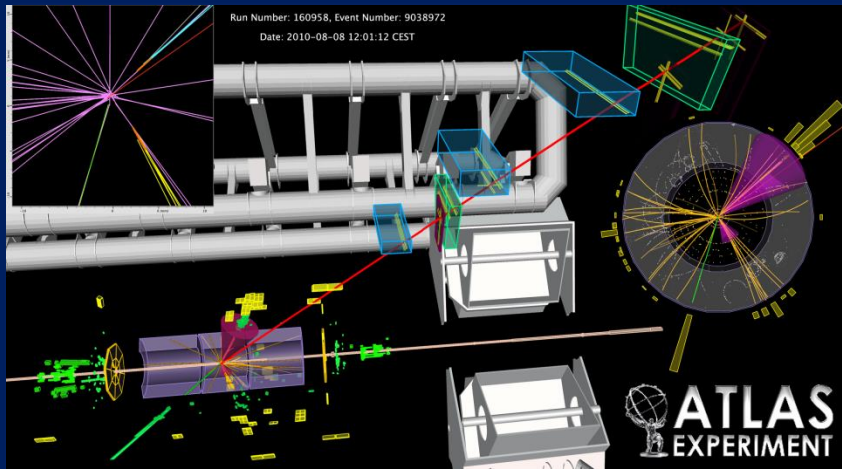


# CMS

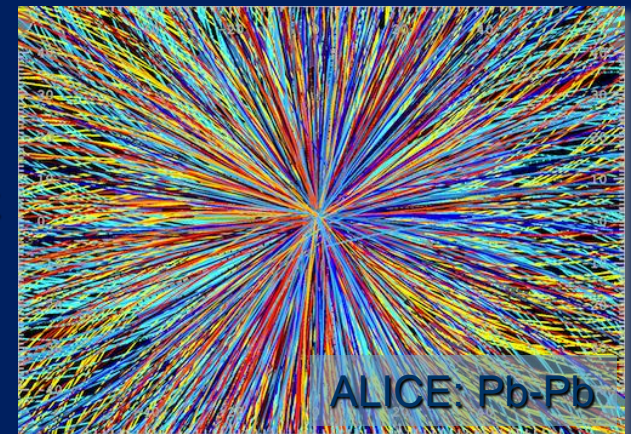


# LHC + Πειράματα: Θεαματική εκκίνηση το 2010

Πρώτες p-p συγκρούσεις σε  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  στις 30 Μαρτίου 2010



Πρώτες Pb-Pb  
συγκρούσεις σε  
 $\sqrt{s} = 2.76 \text{ TeV/N}$   
στις  
7 Νοεμβρίου  
2010



→ Εξαιρετική απόδοση του LHC, των πειραμάτων και του GRID.

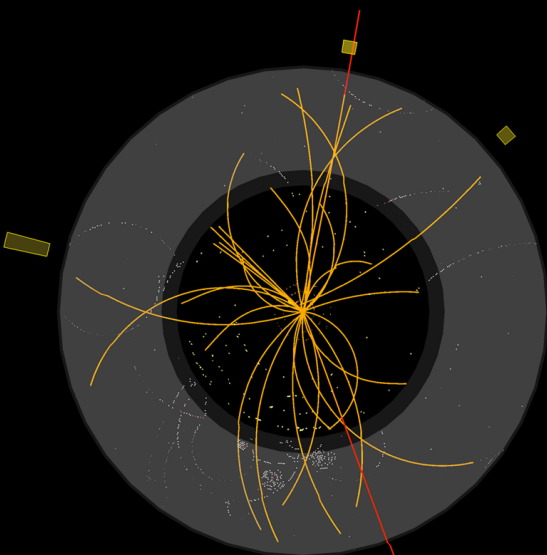


# Η ιστορία μέχρι τώρα ...

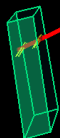


# ATLAS EXPERIMENT

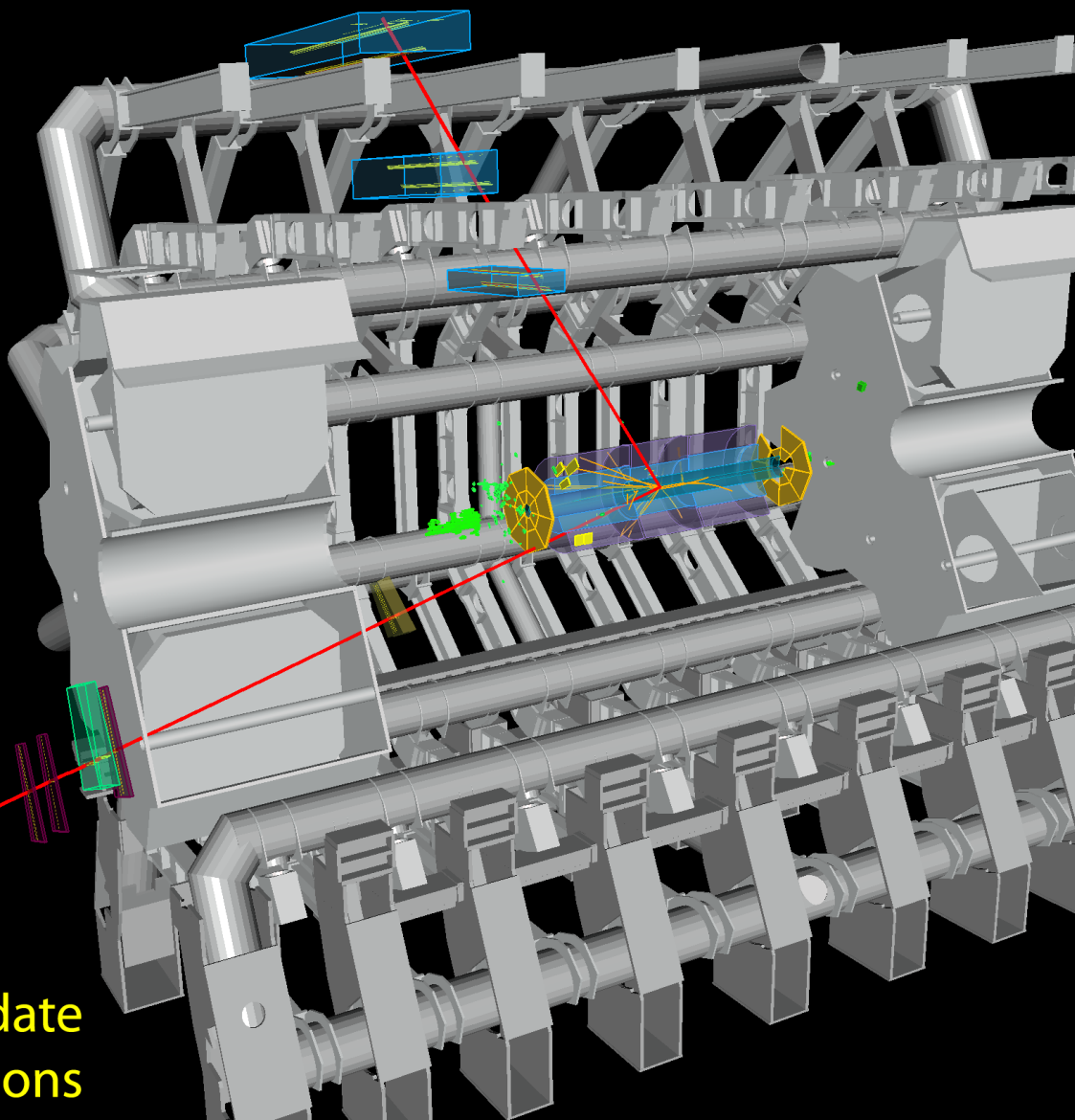
Run: 154822, Event: 14321500  
Date: 2010-05-10 02:07:22 CEST



$p_T(\mu^-) = 27 \text{ GeV}$   $\eta(\mu^-) = 0.7$   
 $p_T(\mu^+) = 45 \text{ GeV}$   $\eta(\mu^+) = 2.2$   
 $M_{\mu\mu} = 87 \text{ GeV}$



**Z $\rightarrow\mu\mu$  candidate  
in 7 TeV collisions**



# Higgs Boson



*Όλα τα σωματίδια παράγονται κατά το Big Bang χωρίς μάζα.*

*Η αλληλεπίδραση με το πεδίο Higgs, τα σωματίδια αποκτούν μάζα.*

*Όσο μεγαλύτερη είναι η αλληλεπίδραση, τόσο μεγαλύτερη είναι η μάζα.*

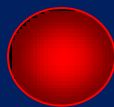
*Το Higgs πεδίο γεμίζει όλο το Σύμπαν.*

*Ο Βρετανός φυσικός Πίτερ Χιγκς πρότεινε (1964) το λεγόμενο μποζόνιο Higgs που σχετίζεται με τον μηχανισμό και τον πεδίο Higgs.*

**Η αλληλεπίδραση με  
το πεδίο Higgs**



**Μηχανική τριβή με  
παχύρρευστο υγρό**



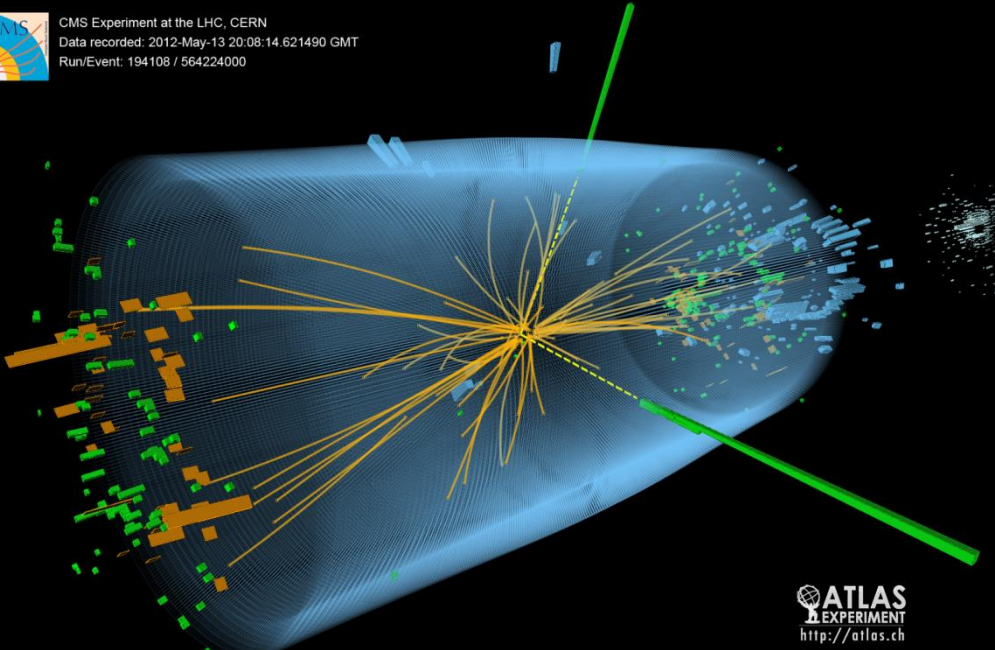
4 ΙΟΥΛΙΟΥ 2012



# Υποψήφιο Γεγονός Μποζόνιο Higgs

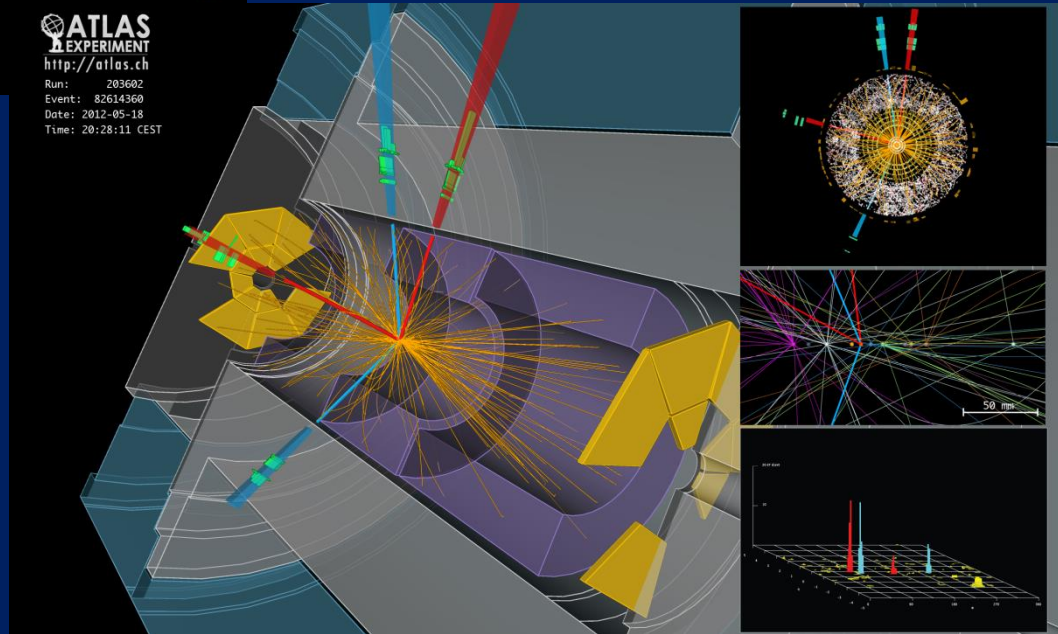
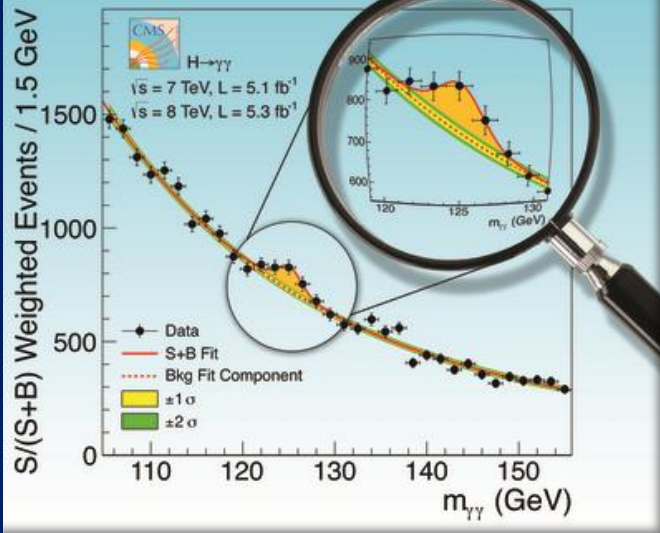


CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000



$$m_{\chi} = 125.3 \pm 0.6 \text{ GeV}$$

ATLAS  
EXPERIMENT  
<http://atlas.ch>  
Run: 203602  
Event: 82614360  
Date: 2012-05-18  
Time: 20:28:11 CEST



# Το CERN και τα ΜΜΕ



Σπάζοντας το τείχος της επικοινωνίας  
Πριν από 24 χρόνια: γεννήθηκε το Web



... και σήμερα;



# Τι είναι το Grid;

- Το **World Wide Web** παρέχει εύκολη πρόσβαση σε πληροφοριακές αποθηκευμένες σε εκατομμύρια διαφορετικές τοποθεσίες.
- Αντίθετα, το **Grid** είναι μία καινούργια υποδομή που παρέχει πρόσβαση σε υπολογιστική ισχύ και ηλεκτρονική μνήμη εκτός ολόκληρο τον κόσμο.

Balloon  
(30 km)

CD stack with  
1 year LHC data!  
(~ 20 km)

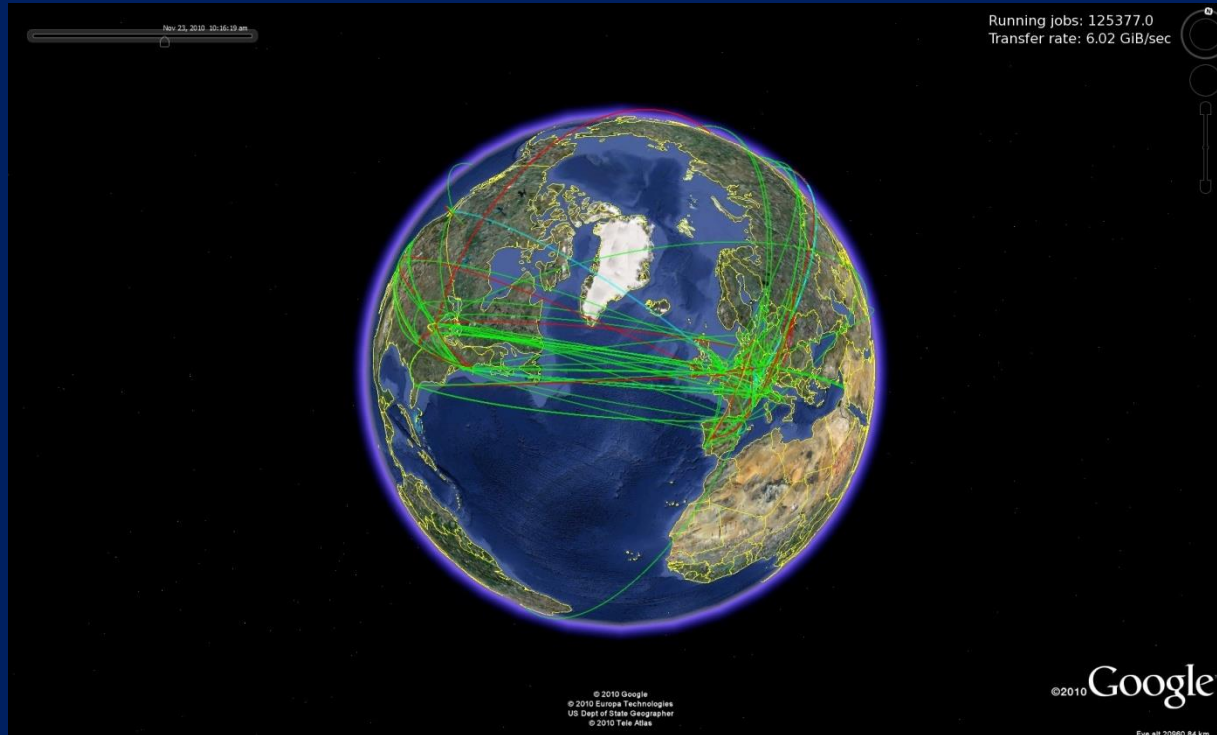
Concorde  
(15 km)

Mt. Blanc  
(4.8 km)



# Σπάζοντας το τείχος της επικοινωνίας: χθες το Web, σήμερα το GRID

Ένα από τα πιο εκτεταμένα συστήματα υπολογιστών στον κόσμο ...



Για την ανάλυση των δεδομένων, δεκάδες χιλιάδες υπολογιστές σε όλο τον κόσμο αξιοποιούνται στο Grid. Το εργαστήριο που έδωσε στον κόσμο το Web, σήμερα κάνει ένα μεγάλο βήμα μπροστά με το Grid.

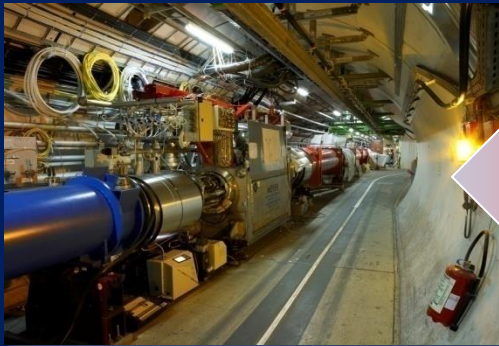
# Ανάπτυξη και Μεταφορά Τεχνολογίας Αιχμής



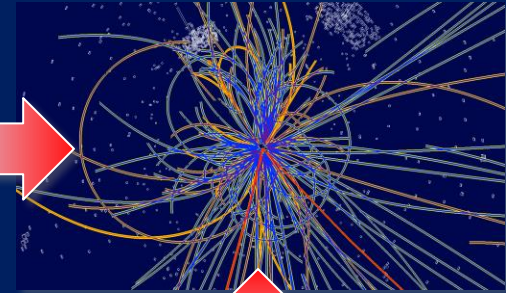
Ιατρική Απεικόνιση

Παράδειγμα: Ιατρική

Επιτάχυνση  
σωματιδίων



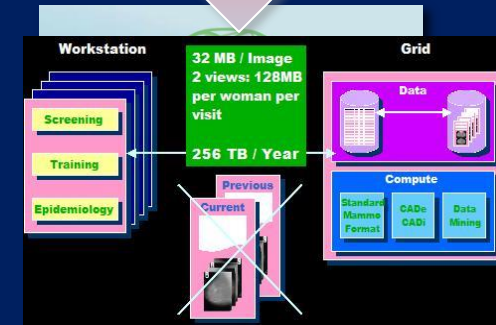
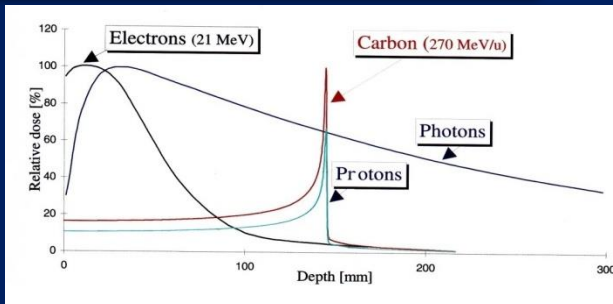
Ανίχνευση σωματιδίων



Tumour Target



Μεγάλης κλίμακας  
υπολογιστών (Grid)



Grid – για την διαχείριση και ανάλυση  
ιατρικών δεδομένων



# Το CERN ως Εκπαιδευτικό Κέντρο



Apprentices

Accelerator School

Doctoral Students

Academic Training

Fellows

Physics School

Exhibitions

CERN-Latin America School

Computing School

Visits

Technical Students

Summer Students

Microcosm

Outreach

Science on Stage

Language Training

Technical Training

Communications Training

Teachers programmes

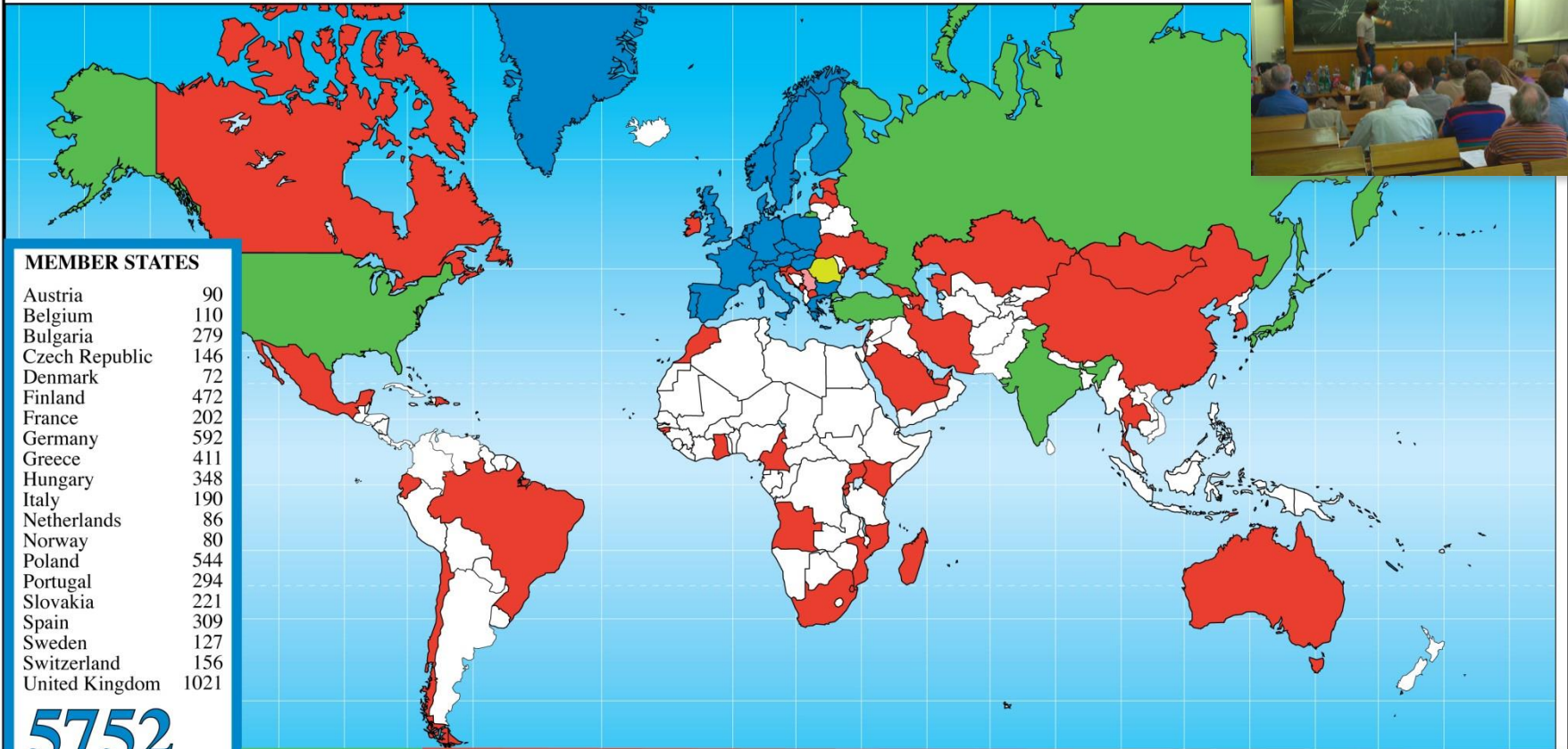
Conferences

Management Training



# CERN ως Εκπαιδευτικό Κέντρο

## Teacher Programme Participants 1998 - 2013



### MEMBER STATES

Austria	90
Belgium	110
Bulgaria	279
Czech Republic	146
Denmark	72
Finland	472
France	202
Germany	592
Greece	411
Hungary	348
Italy	190
Netherlands	86
Norway	80
Poland	544
Portugal	294
Slovakia	221
Spain	309
Sweden	127
Switzerland	156
United Kingdom	1021

**5752**

### CANDIDATE FOR ACCESSION

Romania	12
---------	----

### ASSOCIATE MEMBER IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP

Israel	7
Serbia	14

### OBSERVER STATES

India	2
Japan	5
Russia	163
Turkey	3
USA	65

**238**

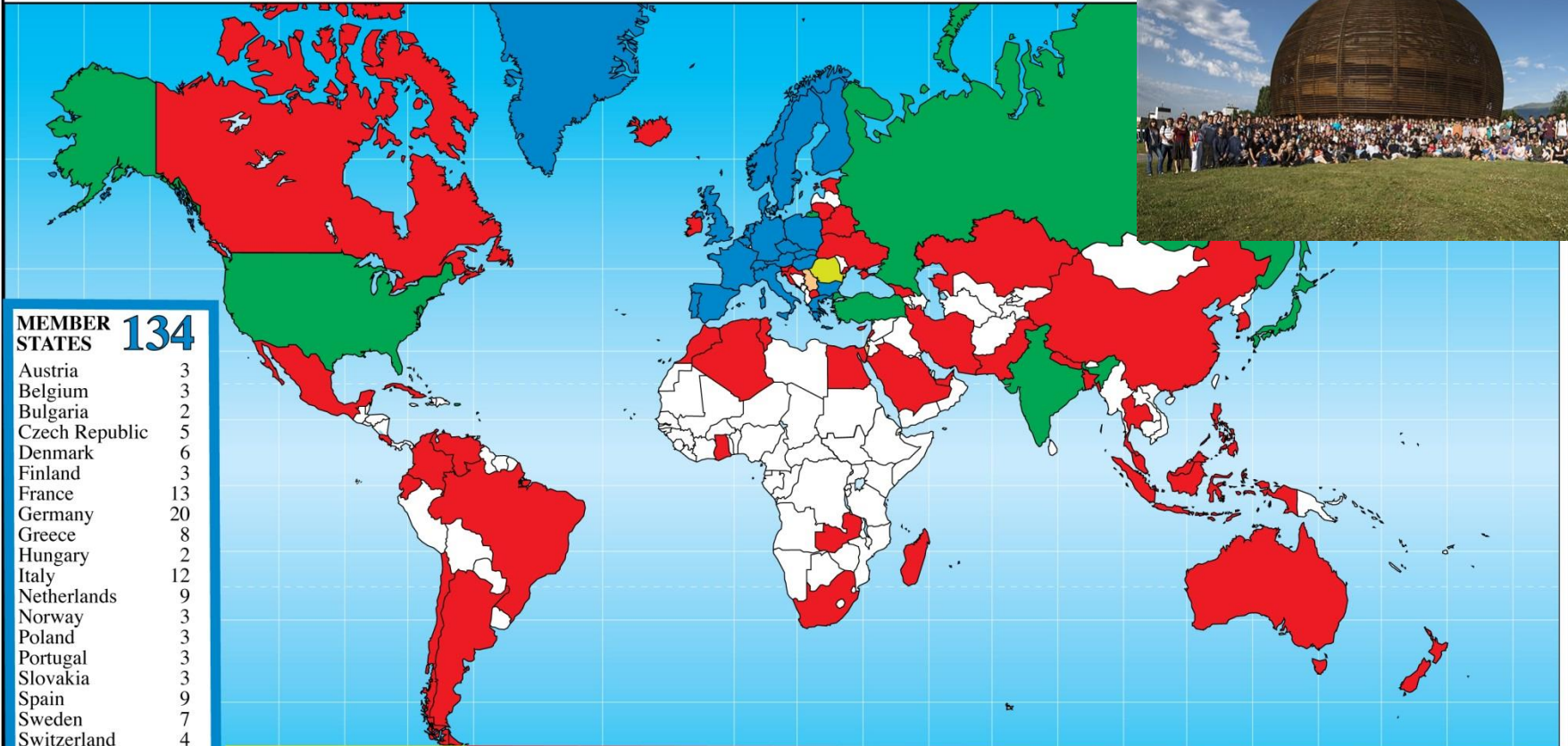
### OTHERS

Angola	4	China	1	Ireland	5	Morocco	2	Swaziland	1
Australia	5	Croatia	1	Kazakhstan	3	Mozambique	17	Thailand	7
Azerbaijan	1	Cyprus	8	Kenya	4	Qatar	1	T.F.Y.R.O.M.	11
Brazil	83	Dominican Rep.	2	Latvia	1	Rwanda	17	Timor-Leste	4
Burundi	1	Ecuador	2	Lebanon	1	Sao Tome	3	Uganda	3
Cameroon	3	Estonia	37	Madagascar	2	Saudi Arabia	1	Ukraine	57
Canada	3	Georgia	55	Malta	36	Singapore	2	U.A.E.	1
Cape Verde	3	Ghana	6	Mexico	6	Slovenia	21		
Chile	3	Guinea Bissau	1	Mongolia	1	South Africa	6		
		Iran	1	Montenegro	13	South Korea	44		

**490**

# Το CERN ως Εκπαιδευτικό Κέντρο

## Summer Students 2013



### MEMBER STATES 134

Austria	3
Belgium	3
Bulgaria	2
Czech Republic	5
Denmark	6
Finland	3
France	13
Germany	20
Greece	8
Hungary	2
Italy	12
Netherlands	9
Norway	3
Poland	3
Portugal	3
Slovakia	3
Spain	9
Sweden	7
Switzerland	4
United Kingdom	16

### OBSERVERS 43

India	7
Japan	5
Russia	9
Turkey	6
USA	16

### CANDIDATE FOR ACCESSION

Romania	3
---------	---

### ASSOCIATE MEMBER IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP

Israel	2
Serbia	2

### OTHERS

Algeria	2	China	5	Estonia	4	Korea, South	2	New Zealand	1	Tunisia	1
Argentina	1	Colombia	1	Georgia	1	Lebanon	1	Pakistan	4	Ukraine	2
Australia	1	Comoros	1	Ghana	1	Lithuania	2	Palestine	1	U.A.E.	2
Bangladesh	1	Costa Rica	1	Hong Kong	4	Madagascar	1	Philippines	1	Venezuela	1
Belarus	1	Croatia	3	Iceland	1	Malaysia	3	Saudi Arabia	1	Zambia	1
Benin	1	Cuba	1	Indonesia	3	Malta	3	Slovenia	1		
Brazil	1	Cyprus	2	Iran	2	Mexico	2	South Africa	2		
Canada	5	Ecuador	3	Ireland	1	Morocco	2	Thailand	2		
Chile	1	Egypt	4	Kazakhstan	1	Nepal	1	T.F.Y.R.O.M.	2		

92

# Το CERN σε Αριθμούς

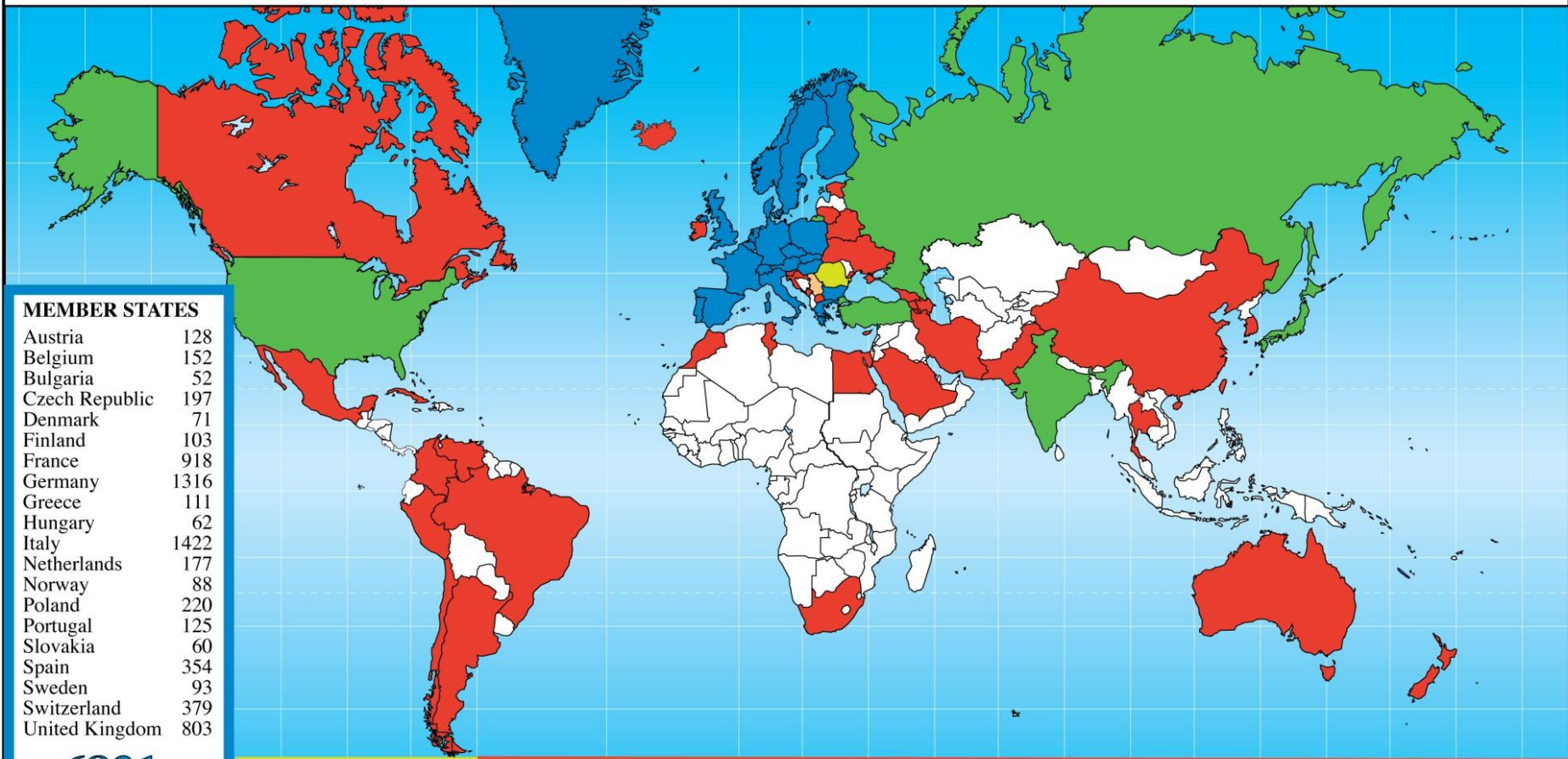
- ▣ ~2300 προσωπικό
- ▣ ~1000 υπότροφοι και πρόσεδρα μέλη
- ▣ >11 000 επιστημονικοί συνεργάτες
- ▣ Προϋπολογισμός (2013) ~1000 MCHF

Ιδρύθηκε το 1954

- ▣ **Κράτη - Μέλη:** Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Γαλλία, Γερμανία, Δανία, Ελβετία, **Ελλάδα**, Ηνωμένο Βασίλειο, Ισπανία, Ιταλία, Νορβηγία, Ολλανδία, Ουγγαρία, Πολωνία, Πορτογαλία, Σλοβακία, Σουηδία, Τσεχία, Φινλανδία
- ▣ **Υποψήφια Χώρα για Ένταξη σε Προχωρημένο Στάδιο** - Ρουμανία
- ▣ **Νέο καθεστώς των Συνδεδεμένων Μελών** – Ισραήλ, Σερβία
- ▣ **Υποψήφιες Χώρες για Ένταξη** – Κύπρος (εν αναμονή κύρωσης), Σλοβενία, Τουρκία (Βραζιλία, Ουκρανία, Πακιστάν, Ρωσία)
- ▣ **Παρατηρητές στο Συμβούλιο:** Ηνωμένες Πολιτείες, Ιαπωνία, Ινδία, Ρωσία, Τουρκία, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, UNESCO

# Κατανομή των Χρηστών του CERN ανά Εθνικότητα (14 / 1 / 2013)

## Distribution of All CERN Users by Location of Institute on 14 January 2013



### MEMBER STATES

Austria	128
Belgium	152
Bulgaria	52
Czech Republic	197
Denmark	71
Finland	103
France	918
Germany	1316
Greece	111
Hungary	62
Italy	1422
Netherlands	177
Norway	88
Poland	220
Portugal	125
Slovakia	60
Spain	354
Sweden	93
Switzerland	379
United Kingdom	803

**6831**

### OBSERVERS

India	146
Japan	238
Russia	883
Turkey	94
USA	1757

**3118**

### CANDIDATE FOR ACCESSION

Romania	88
---------	----

### ASSOCIATE MEMBER IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP

Israel	63
Serbia	31

### OTHERS

Argentina	19	Chile	7	Georgia	10	Morocco	10	Tunisia	1
Armenia	15	China	114	Iceland	4	New Zealand	9	Ukraine	25
Australia	32	China (Taipei)	69	Iran	23	Pakistan	22	Venezuela	1
Azerbaijan	2	Colombia	10	Ireland	8	Peru	2		
Belarus	22	Croatia	24	Korea	96	Saudi Arabia	3		
Brazil	107	Cuba	3	Lithuania	13	Slovenia	30		
Canada	168	Cyprus	7	Malta	1	South Africa	25		
		Egypt	11	Mexico	41	Thailand	5		
		Estonia	17	Montenegro	1	T.F.Y.R.O.M.	2		

**959**

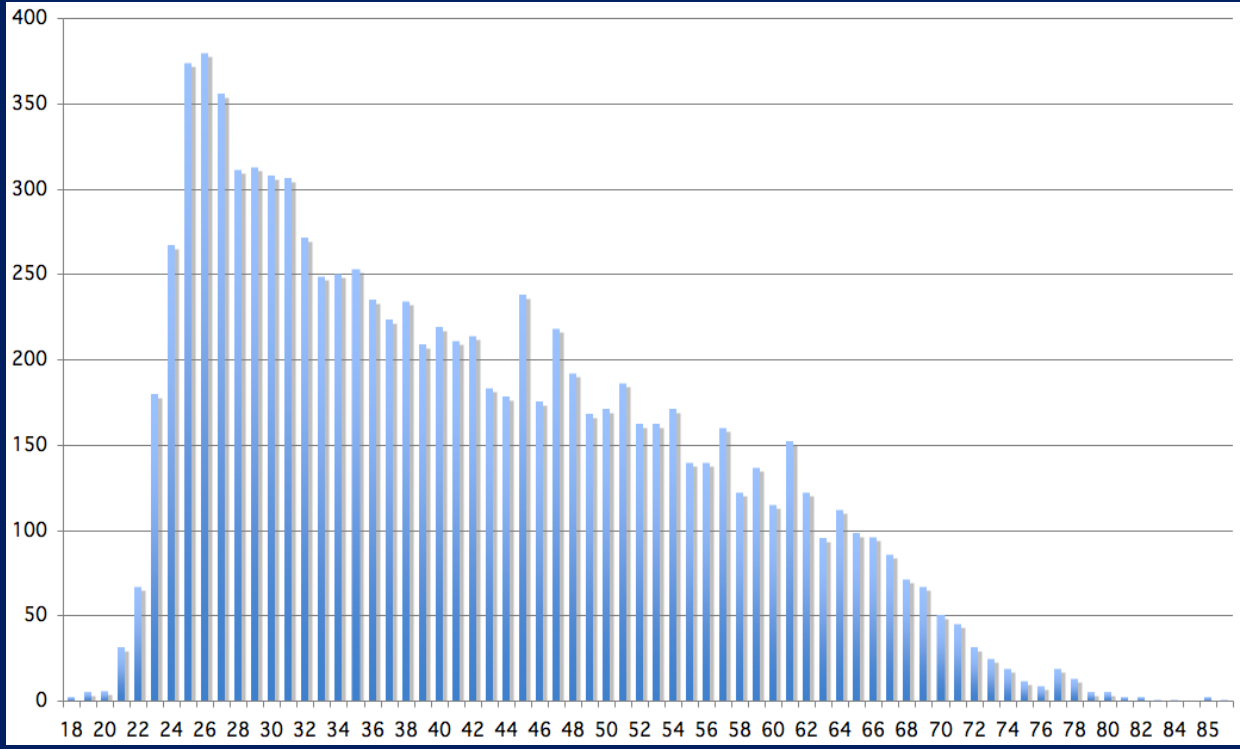


# Η Ηλικιακή Κατανομή των Επιστημόνων

- και πού πάνε στη συνέχεια

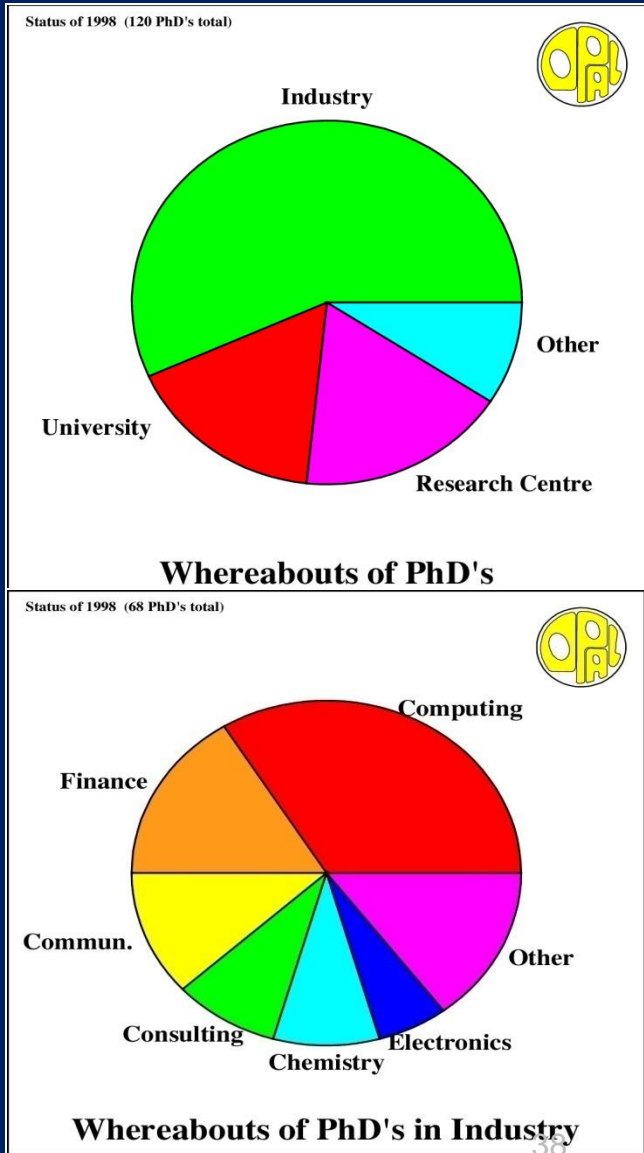


Μάρτιος 2009



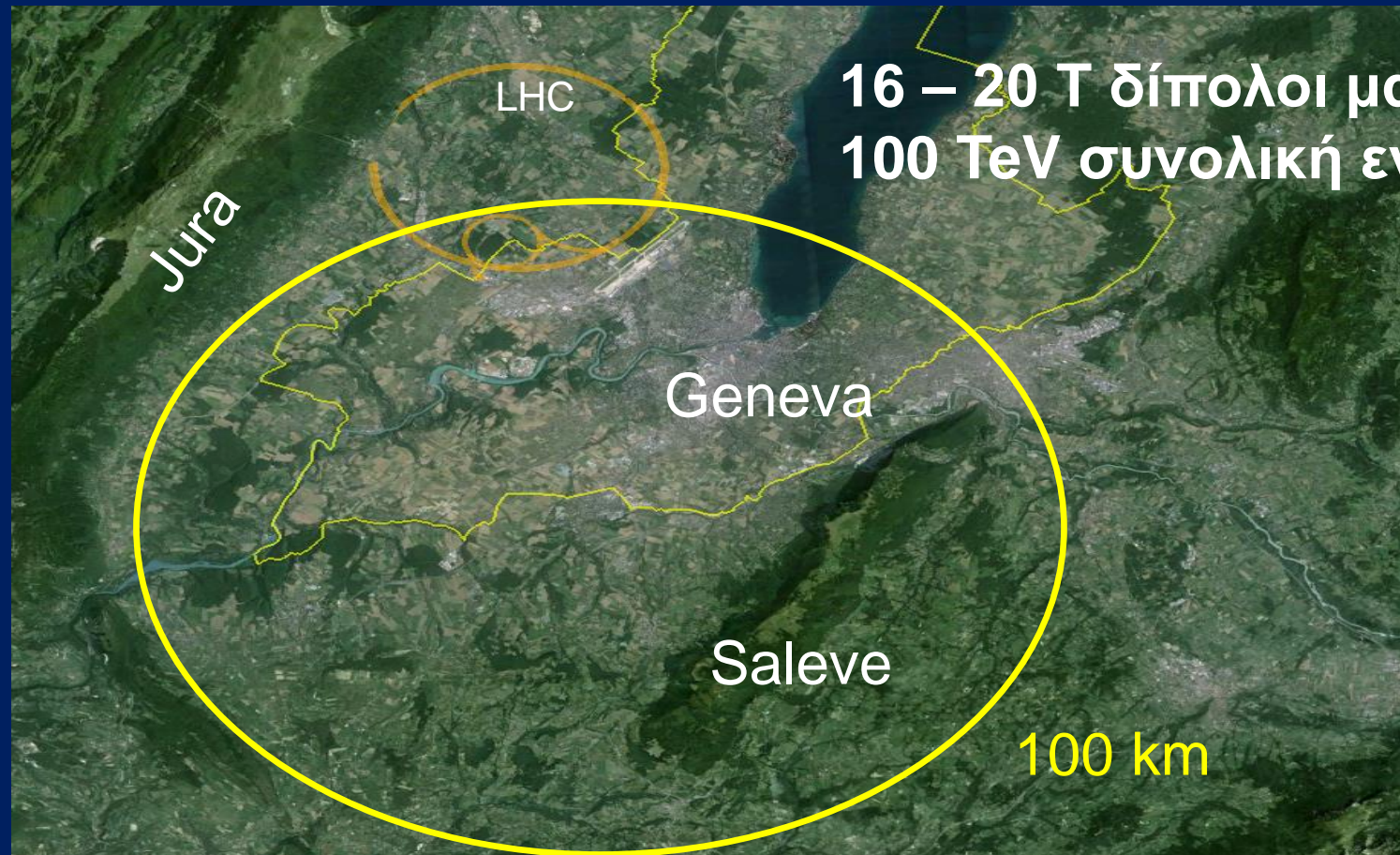
2500 Υποψήφιοι Διδάκτορες  
στα πειράματα LHC

Πού πάνε;



Πέρα από το LHC: Νέες σήραγγες  
80-100 χμ. περιφέρεια

## Very High Energy LHC (VHE-LHC)

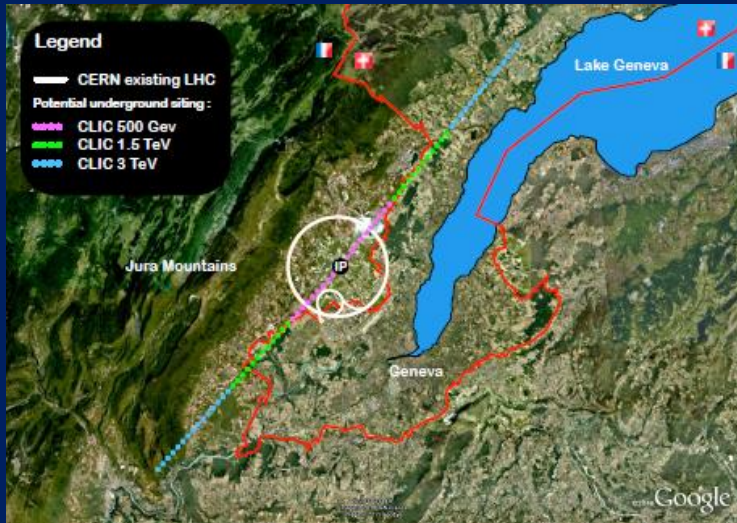


16 – 20 T δίπολοι μαγνήτες  
100 TeV συνολική ενέργεια

# Γραμμικοί Επιταχυντές $e^+e^-$



Διεθνής Γραμμικός Επιταχυντής  
*International Linear Collider (ILC)*



Συμπαγές Γραμμικός Επιταχυντής  
*Compact Linear Collider (CLIC)*



# Ελληνικές Ερευνητικές Ομάδες ΦΥΕ



ΠΕΡΙΟΧΗ	ΟΜΑΔΑ	ΠΕΙΡΑ- ΜΑ	ΘΕ ΩΡ ΙΑ
<b>ΑΘΗΝΑ</b>	<b>ΕΜΠ ΕΚΠΑ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ</b>	<b>X X X</b>	<b>X X X</b>
<b>ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ</b>	<b>ΑΠΘ</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>ΔΥΣΗ</b>	<b>Π. ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>ΑΝΑΤΟΛΗ</b>	<b>Π. ΑΙΓΑΙΟΥ (ΧΙΟΣ)</b>	<b>X</b>	
<b>ΝΟΤΟΣ</b>	<b>Π. ΠΑΤΡΩΝ ΕΑΠ Π. ΚΡΗΤΗΣ</b>	<b>-- X --</b>	<b>X -- X</b>

# Φωτεινό Παράδειγμα Διεθνούς Συνεργασίας



“...η προώθηση επαφών μεταξύ και η ανταλλαγή επιστημών...”

# CERN . . .



- ▣ Ζητά απαντήσεις σε ερωτήσεις για το Σύμπαν.
- ▣ Προωθεί τα όρια της τεχνολογίας αιχμής.
- ▣ Εκπαιδεύει τους επιστήμονες του αύριο.
- ▣ Φέρνει τις χώρες πιο κοντά μέσω της επιστήμης.

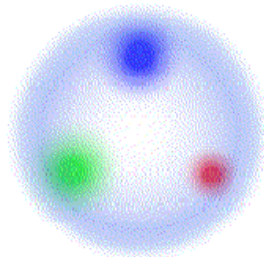
# Επίλογος

Νόμωι γαρ χροϊή, νόμωι γλυκύ, νόμωι πικρόν,  
‘ετεῆι δ’ άτομα και κενόν

Συμβατικά υπάρχει το χρώμα, συμβατικά το γλυκό  
και το πικρό, ενώ στην πραγματικότητα υπάρχουν  
μόνο τα άτομα και το κενό.

ΓΕΥΣΕΙΣ

ΧΡΩΜΑΤΑ



Δημόκριτος 400 π.Χ.