



Το CERN και η Έρευνα Σωματιδιακής Φυσικής

Καθ. Εμμανουήλ Τσεσμελής
Principal Physicist
CERN

Greek Private Educators Visit to CERN 2024
6-8 Μαΐου 2024



Το CERN είναι το μεγαλύτερο εργαστήριο σωματιδιακής φυσικής στον κόσμο.

Στόχος μας είναι να κατανοήσουμε τα πιο θεμελιώδη σωματίδια και τους νόμους του σύμπαντος.

Η Αποστολή του CERN





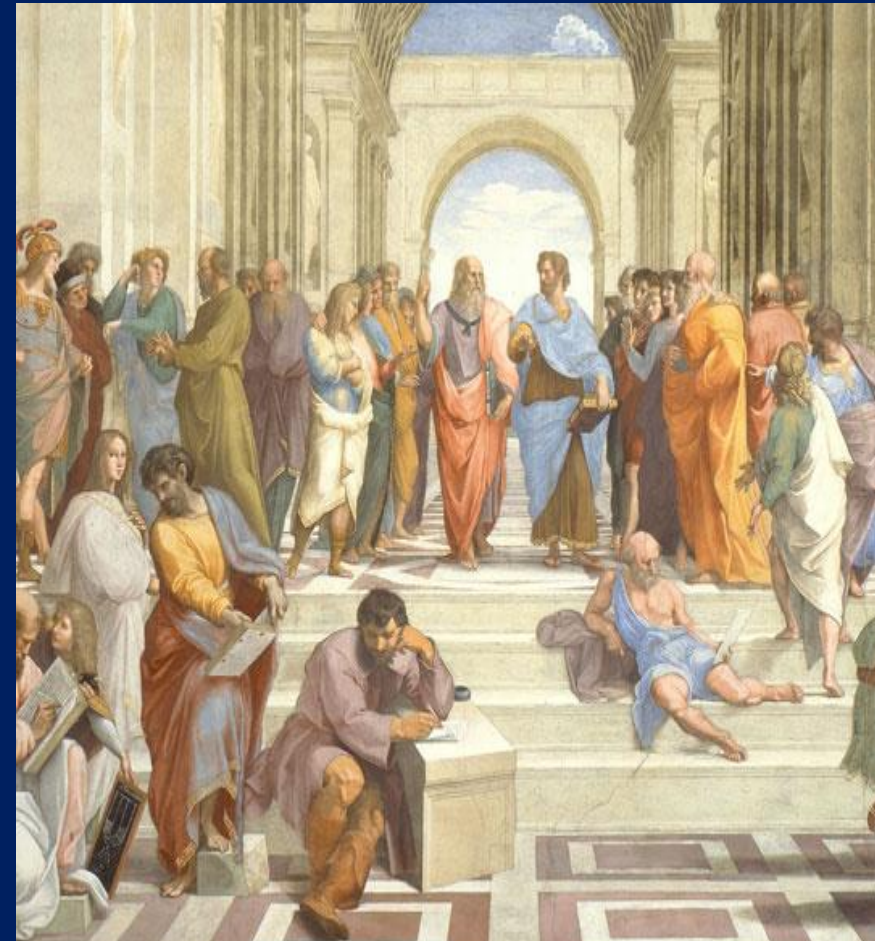
Έρευνα και
Ανακάλυψη

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:

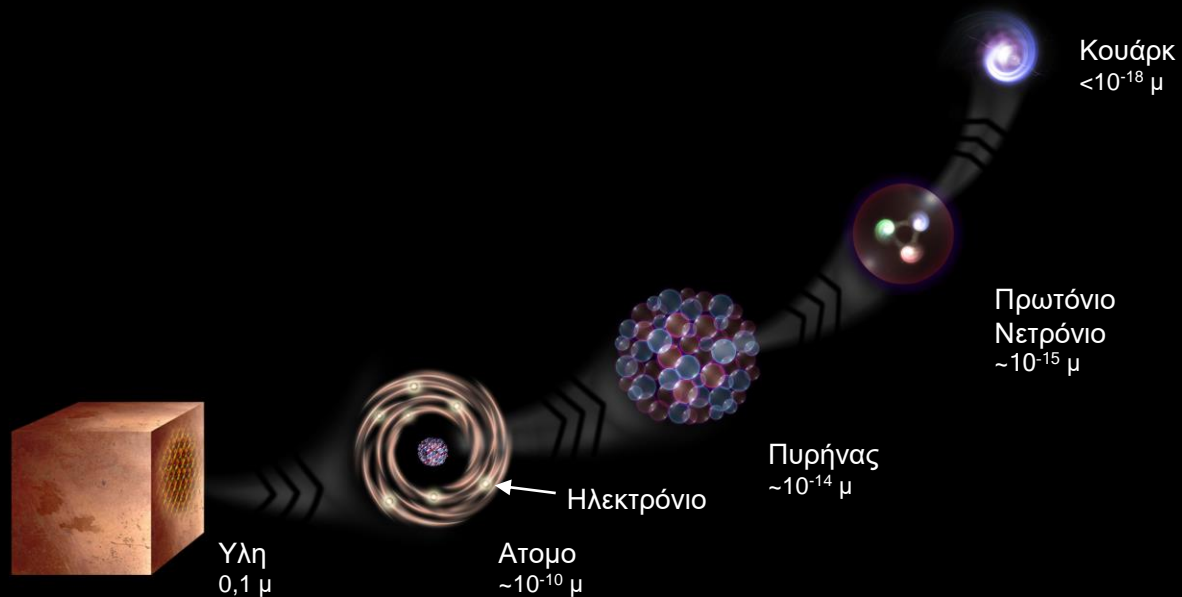
Θεολογικές, Φιλοσοφικές,
Επιστημονικές



Η Σχολή των Αθηνών (Ραφαήλ)

Από τι αποτελείται το σύμπαν;

Μελετάμε τα στοιχειώδη δομικά στοιχεία της ύλης και τις δυνάμεις που ελέγχουν τη συμπεριφορά τους





Πώς ξεκίνησε το σύμπαν;

Αναπαράγουμε τις συνθήκες ένα κλάσμα του δευτερολέπτου μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, για να αποκτήσουμε εικόνα για τη δομή και την εξέλιξη του σύμπαντος.

Από τις κοσμικές ακτίνες στο CERN

Ανακαλύφθηκε πριν από έναν αιώνα...

Ομάδες κοσμικών
ακτίνων
βρέθηκαν να
περιέχουν πολλά
είδη
σωματιδίων...

Το CERN ιδρύθηκε το 1954 για να μελετήσει αυτά τα σωματίδια



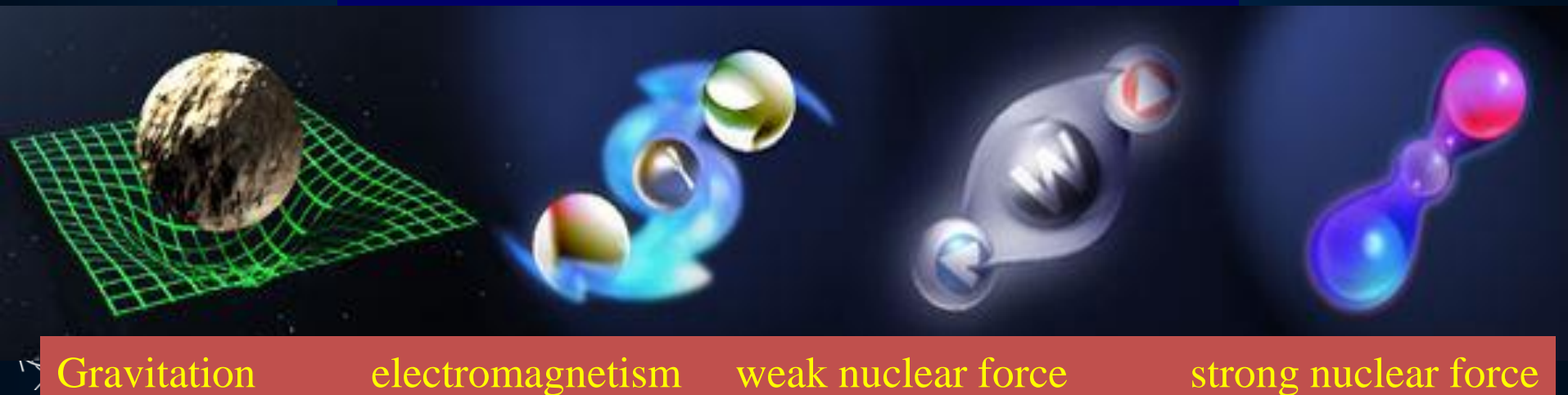
Το Καθιερωμένο Μοντέλο της Σωματιδιακής Φυσικής

= Κοσμικό DNA

The matter particles



The fundamental interactions



Γιατί τα πράγματα ζυγίζουν;

Νεύτων:

Το βάρος είναι **ανάλογο** με τη μάζα

Αϊνστάιν:

Η ενέργεια **σχετίζεται** με τη μάζα

Δεν εξηγούν την προέλευση της μάζας



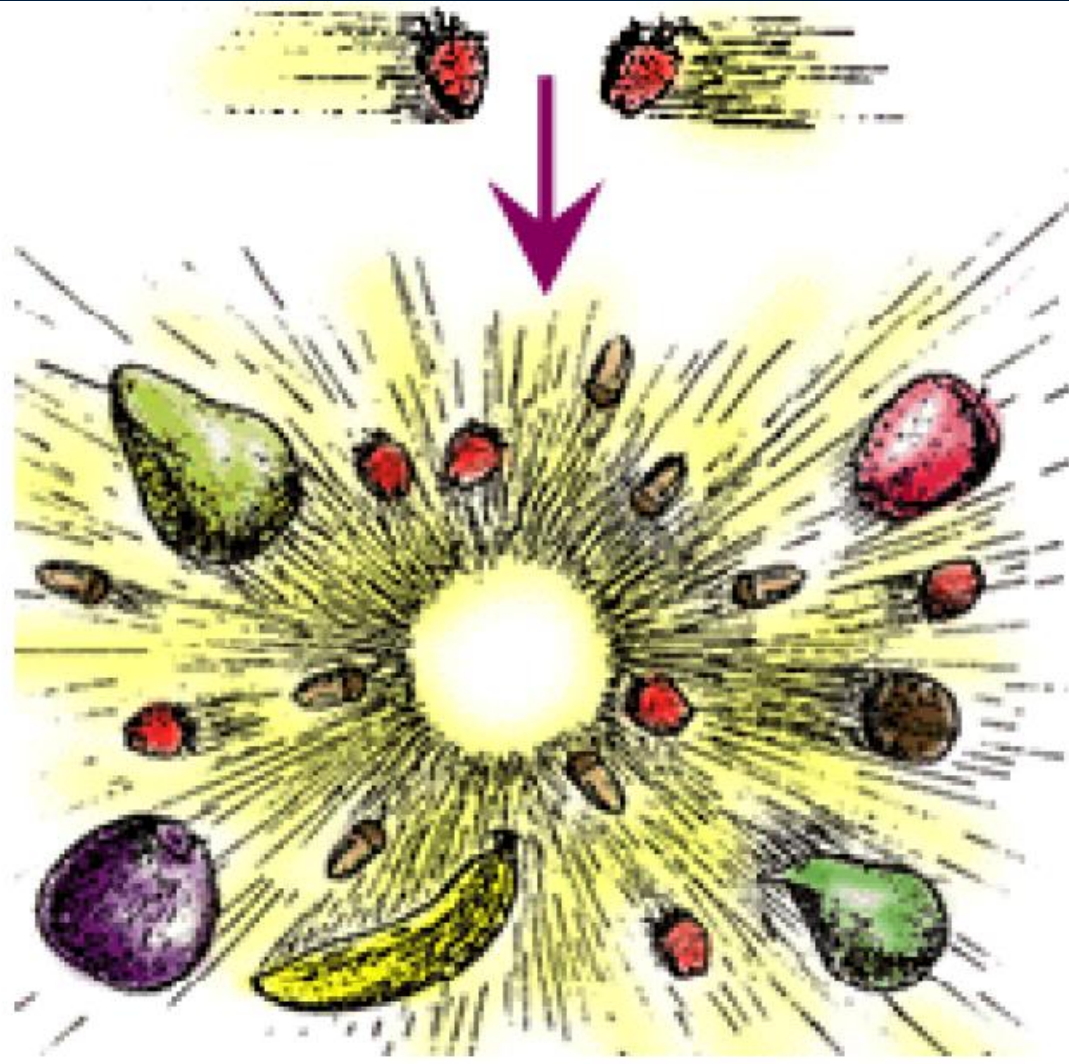
Από που προέρχεται η μάζα;

Λόγω του μηχανισμού Brout-Englert-Higgs (BEH) και του μποζονίου Higgs;

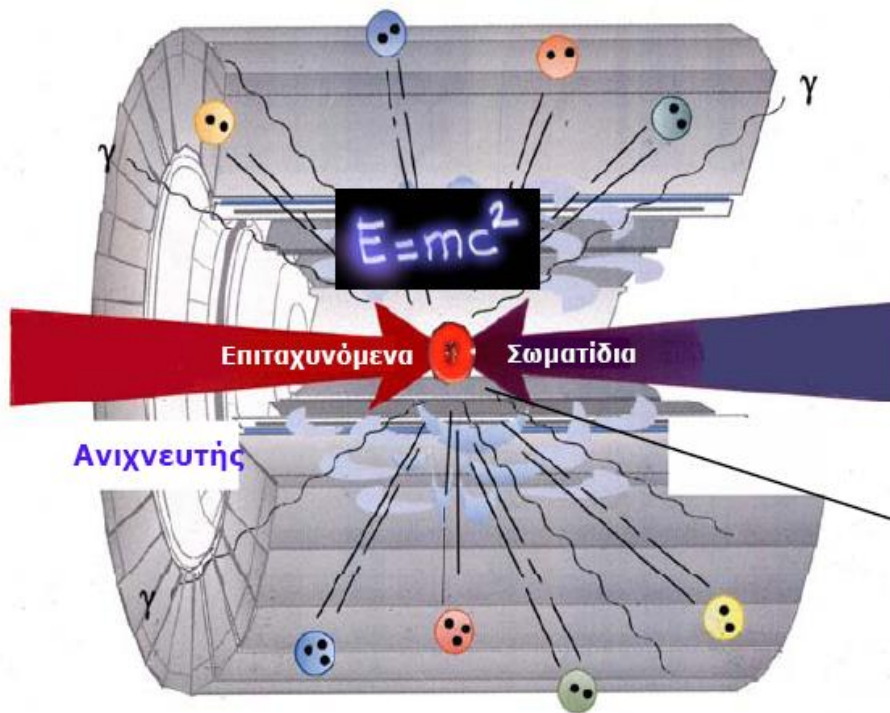
Μέθοδοι της Σωματιδιακής Φυσικής

Σχέση του
Einstein

$$E = mc^2$$



Μέθοδοι της Σωματιδιακής Φυσικής

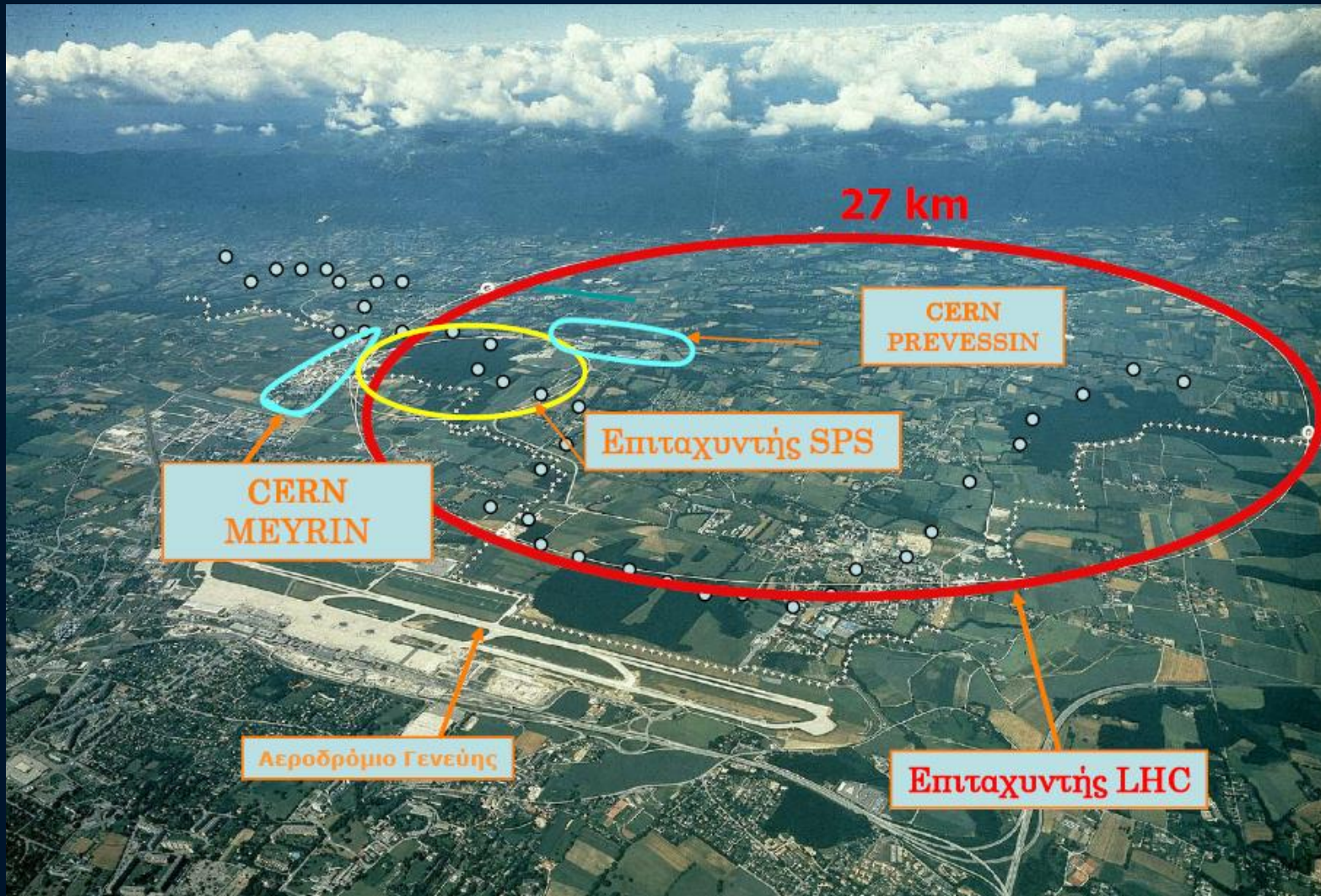


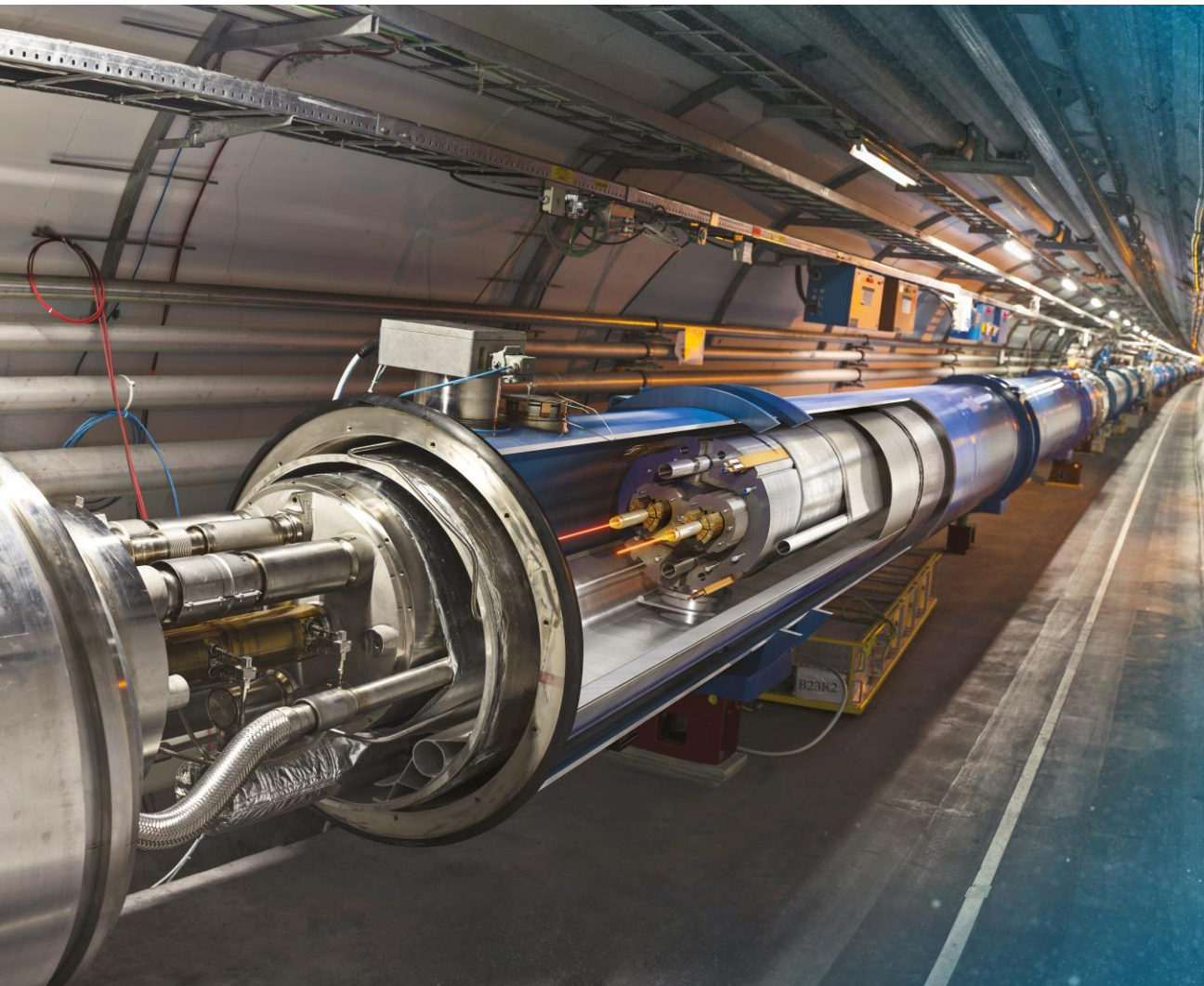
1) Συγκέντρωση ενέργειας στα σωματίδια (**επιταχυντής**)

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

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

Οι Εγκαταστάσεις του CERN





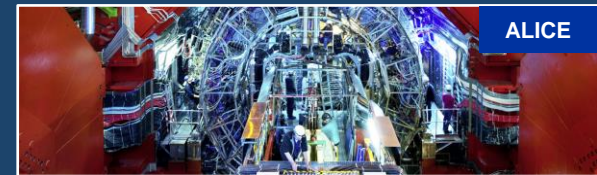
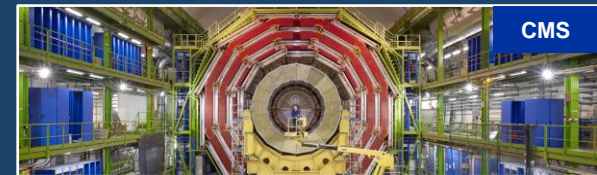
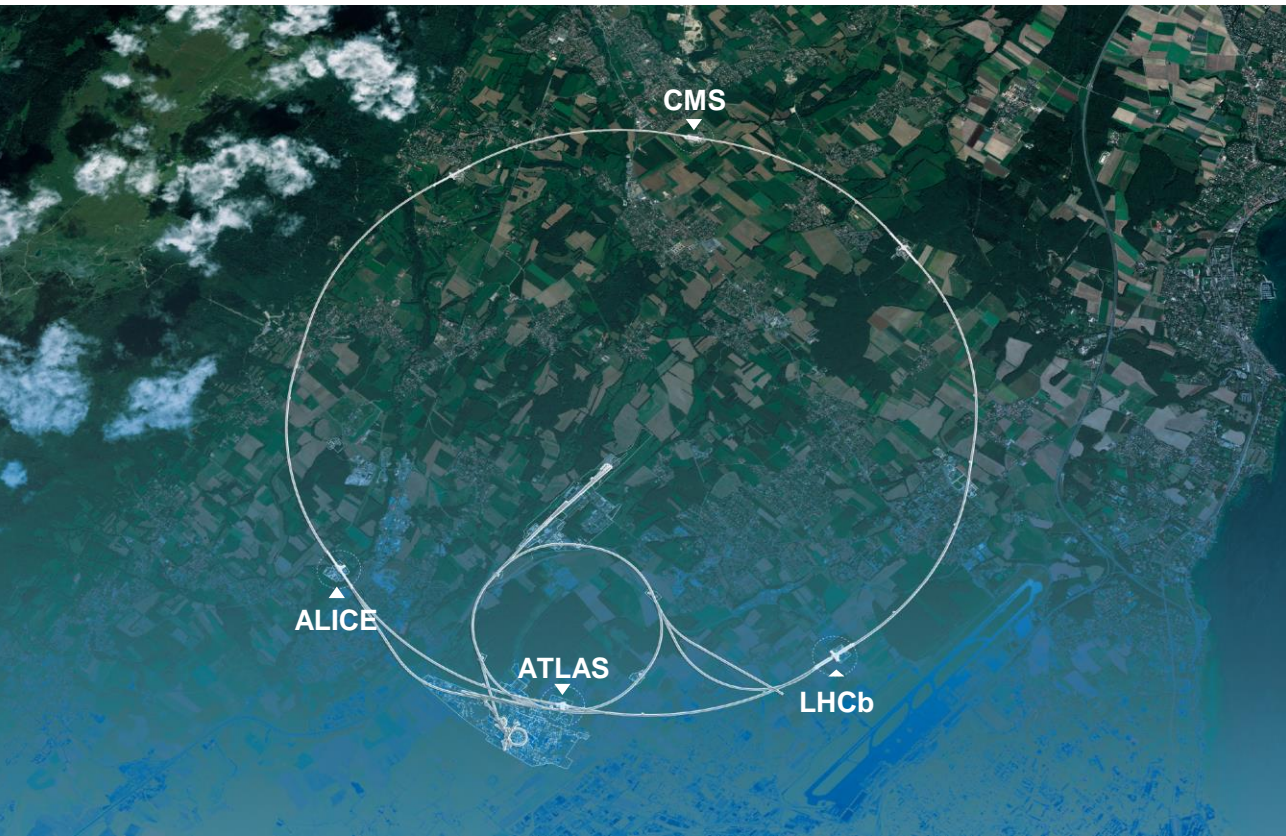
Large Hadron Collider (LHC)

- Περιφέρεια 27 χλμ.
- Σε βάθος περίπου 100 μ. σε υπόγεια σήραγγα
- Οι υπεραγώγιμοι μαγνήτες κατευθύνουν τα σωματίδια γύρω από τον δακτύλιο
- Τα σωματίδια επιταχύνονται για να πλησιάσουν την ταχύτητα του φωτός



Ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι
παρακολούθησαν στην τηλεόραση

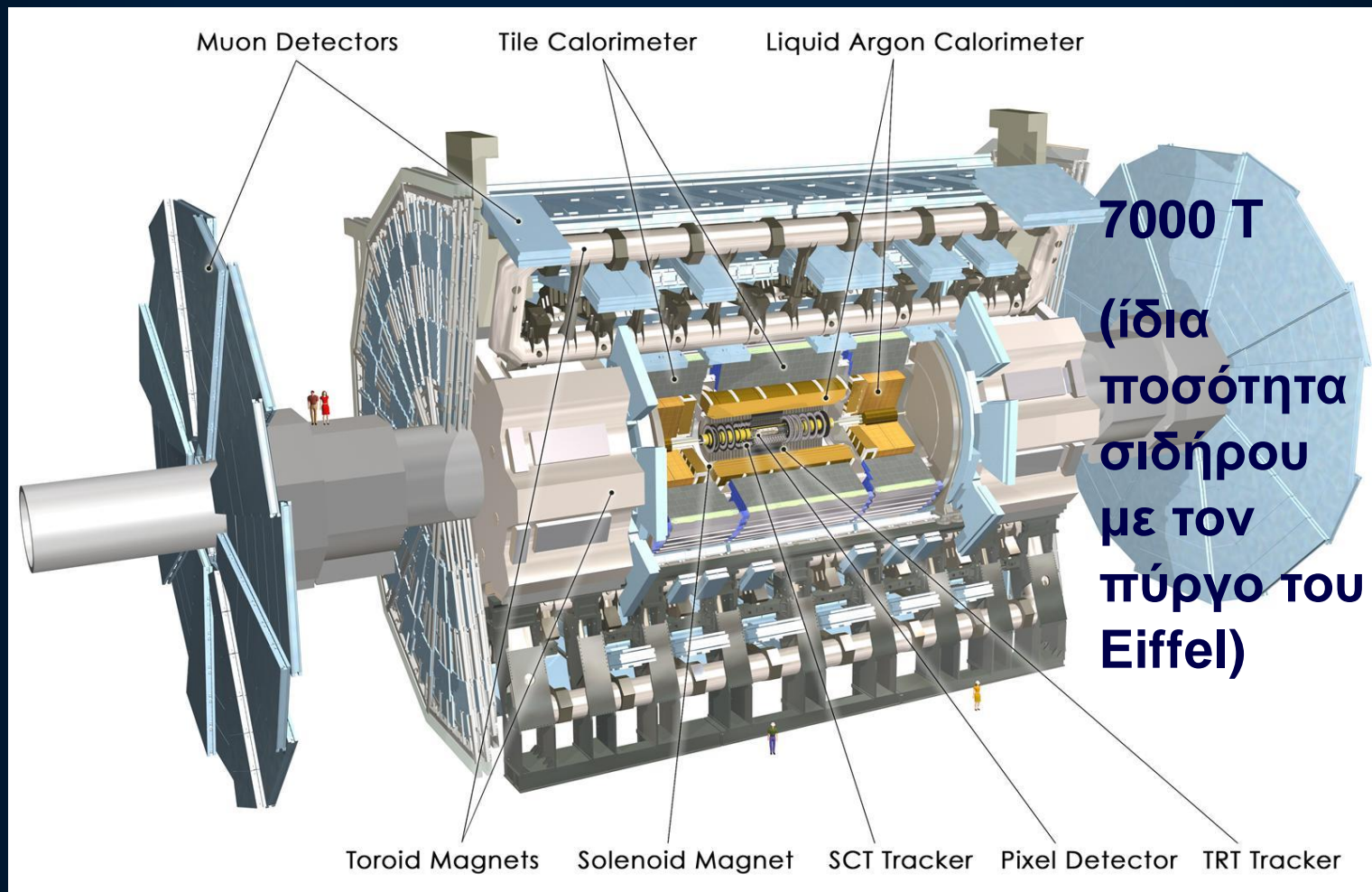
Οι γιγάντιοι ανιχνευτές καταγράφουν τα σωματίδια που σχηματίζονται στα τέσσερα σημεία σύγκρουσης



Χρειαζόμαστε Μεγάλους Ανιχνευτές

43 μ

22 μ



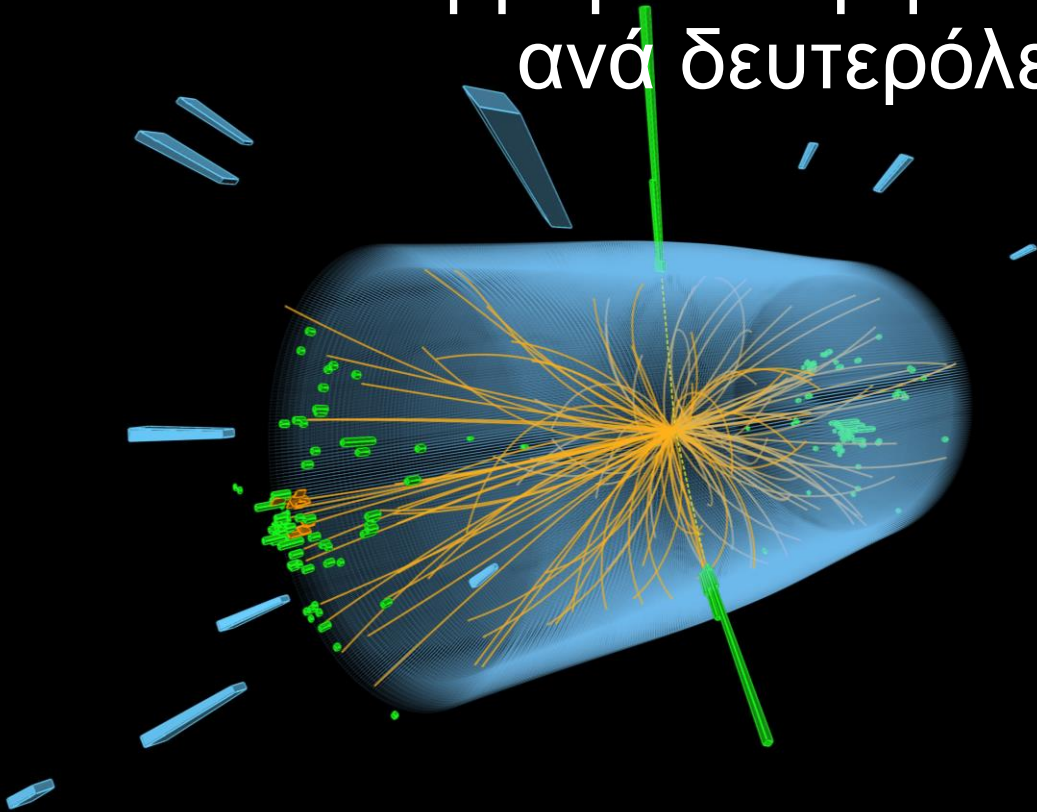
7000 T
(ίδια ποσότητα σιδήρου με τον πύργο του Eiffel)

Toroid Magnets Solenoid Magnet SCT Tracker Pixel Detector TRT Tracker



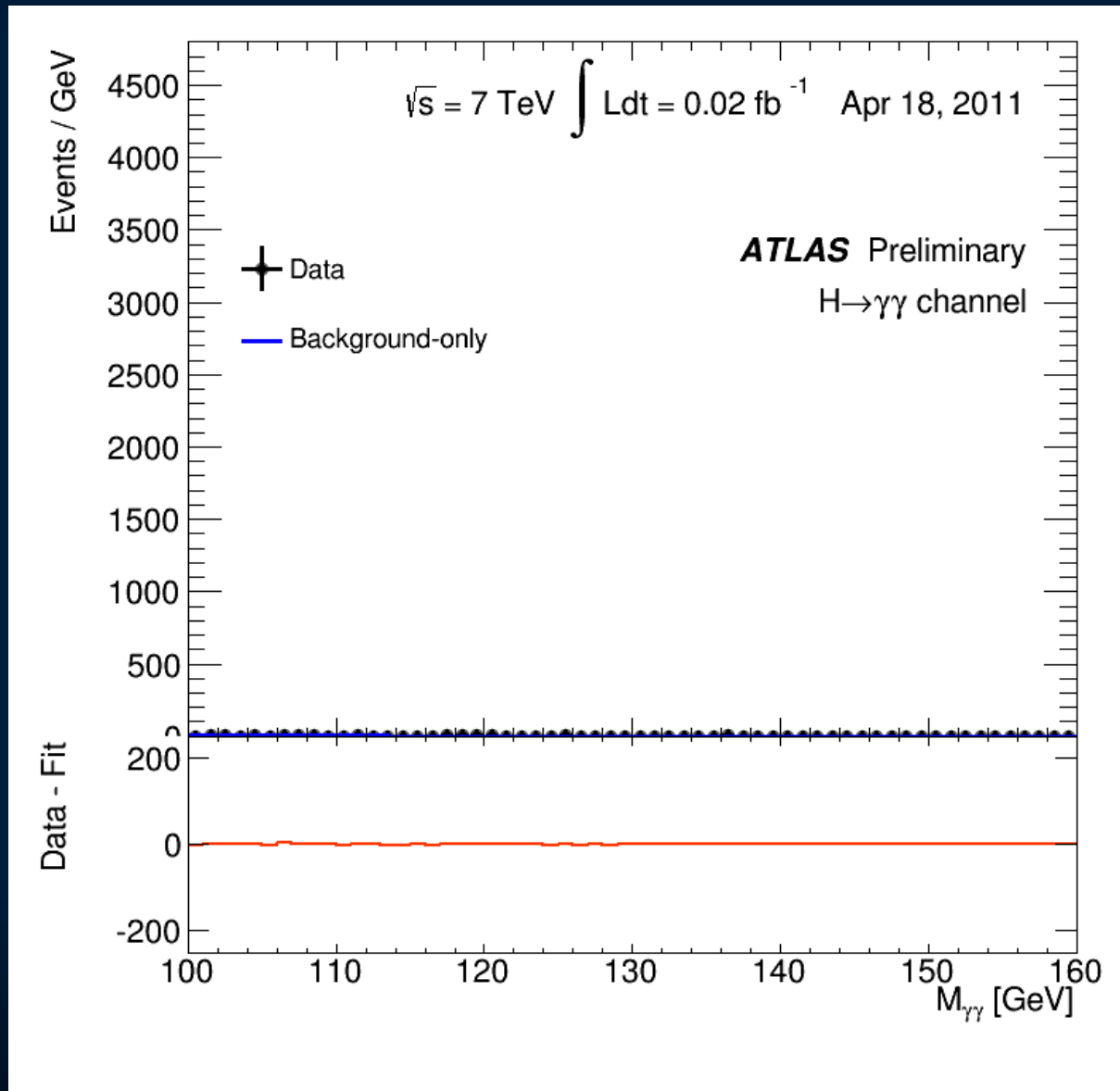
Το Πείραμα ATLAS

Ο LHC παράγει περισσότερες από 1 δισεκατομμύριο συγκρούσεις σωματιδίων ανά δευτερόλεπτο



Η ενέργεια των
σωματιδίων στη
σύγκρουση μετατρέπεται
σε νέα σωματίδια.

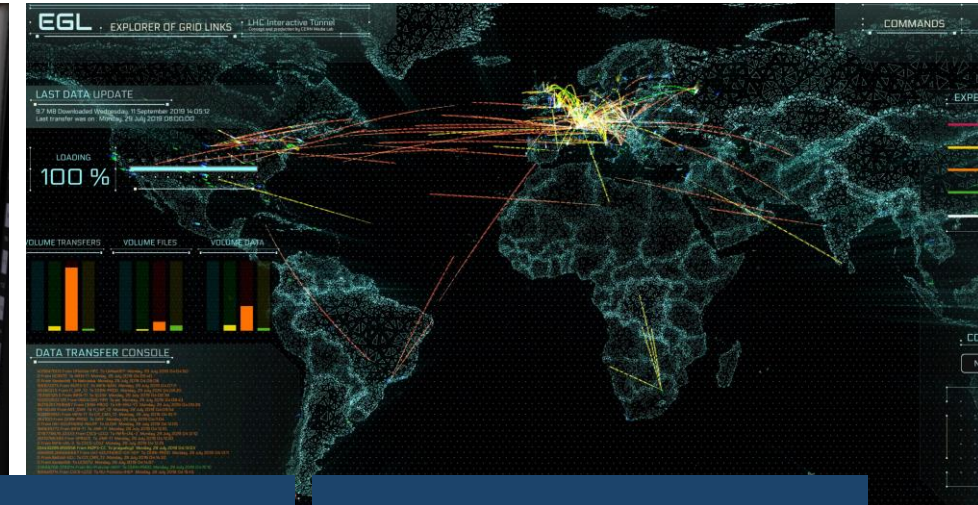
ATLAS Μποζόνιο Higgs



The Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)



Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση, διανομή, επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων.



1.4 εκατομμύρια πυρήνες επεξεργασίας σε περίπου 170 κέντρα δεδομένων και 40 χώρες.

Περισσότερα από 1500 Petabytes δεδομένων από το CERN είναι αποθηκευμένα σε όλο τον κόσμο.

Το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2013



Το βραβείο Νόμπελ Φυσικής 2013 απονεμήθηκε από κοινού στον Francois Englert και Peter W. Higgs "για τη θεωρητική ανακάλυψη ενός μηχανισμού που συμβάλλει στην κατανόηση της προέλευσης της μάζας των υποατομικών σωματιδίων, η οποία πρόσφατα επιβεβαιώθηκε με την ανακάλυψη του προβλεπόμενου στοιχειώδους σωματιδίου, από τα πειράματα **ATLAS** και **CMS** στον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (**LHC**) του **CERN**."

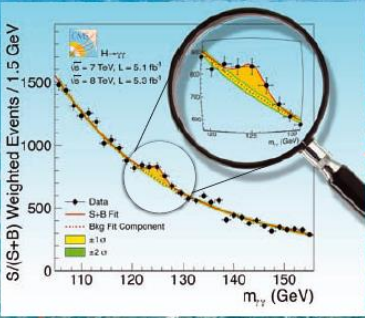
Το αποκορύφωμα ενός αξιόλογου έτος 2012

Volume 712, Issue 3, 6 June 2012 ISSN 0370-2693

ELSEVIER

PHYSICS LETTERS B

Available online at www.sciencedirect.com
SciVerse ScienceDirect

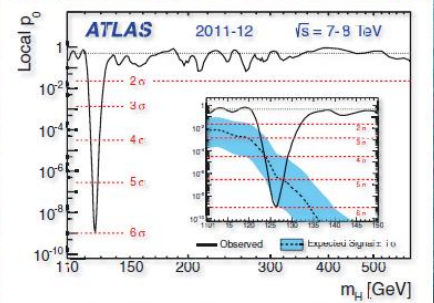


$S/(S+B)$ Weighted Events / 1.5 GeV

m_H (GeV)

Legend:
• Data
— S+B Fit
--- Big Fit Component
■ 1 σ
■ 2 σ

Parameters:
 $\sqrt{s} = 7$ TeV, $L = 5.1 \text{ fb}^{-1}$
 $\sqrt{s} = 8$ TeV, $L = 5.3 \text{ fb}^{-1}$



ATLAS 2011-12 $\sqrt{s} = 7-8$ TeV

Local p_0

m_H [GeV]

Legend:
— Observed
— Expected Signal: 1 σ

Significance levels: 2 σ , 3 σ , 4 σ , 5 σ , 6 σ

<http://www.elsevier.com/locate/physletb>

The Economist

JULY 7TH - 13TH 2012 Economist.com

In praise of charter schools
Britain's banking scandal spreads
Volkswagen overtakes the rest
A power struggle at the Vatican
When Lonesome George met Nora

A giant leap for science



Finding the Higgs boson

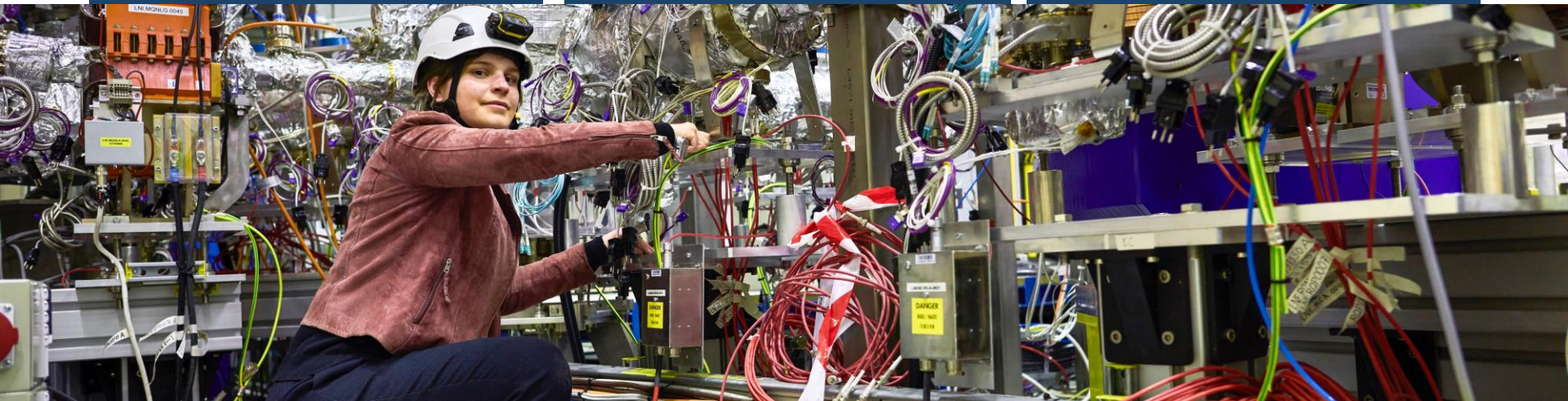


Το CERN έχει ένα ποικίλο επιστημονικό πρόγραμμα

Πυρηνική Φυσική
(ISOLDE)

Έρευνα για την Αντιύλη
(Antiproton Decelerator)

Κοσμικές ακτίνες και σχηματισμός
σύννεφων (CLOUD)



Πειράματα σταθερού στόχου, τα οποία περιλαμβάνουν αναζητήσεις για σπάνια φαινόμενα

Συνεισφορά στην Εγκατάσταση Νετρίνων Long Baseline στις ΗΠΑ (LBNF)

Θεωρητική Φυσική

Υπάρχουν πολλά αναπάντητα ερωτήματα στη θεμελιώδη φυσική

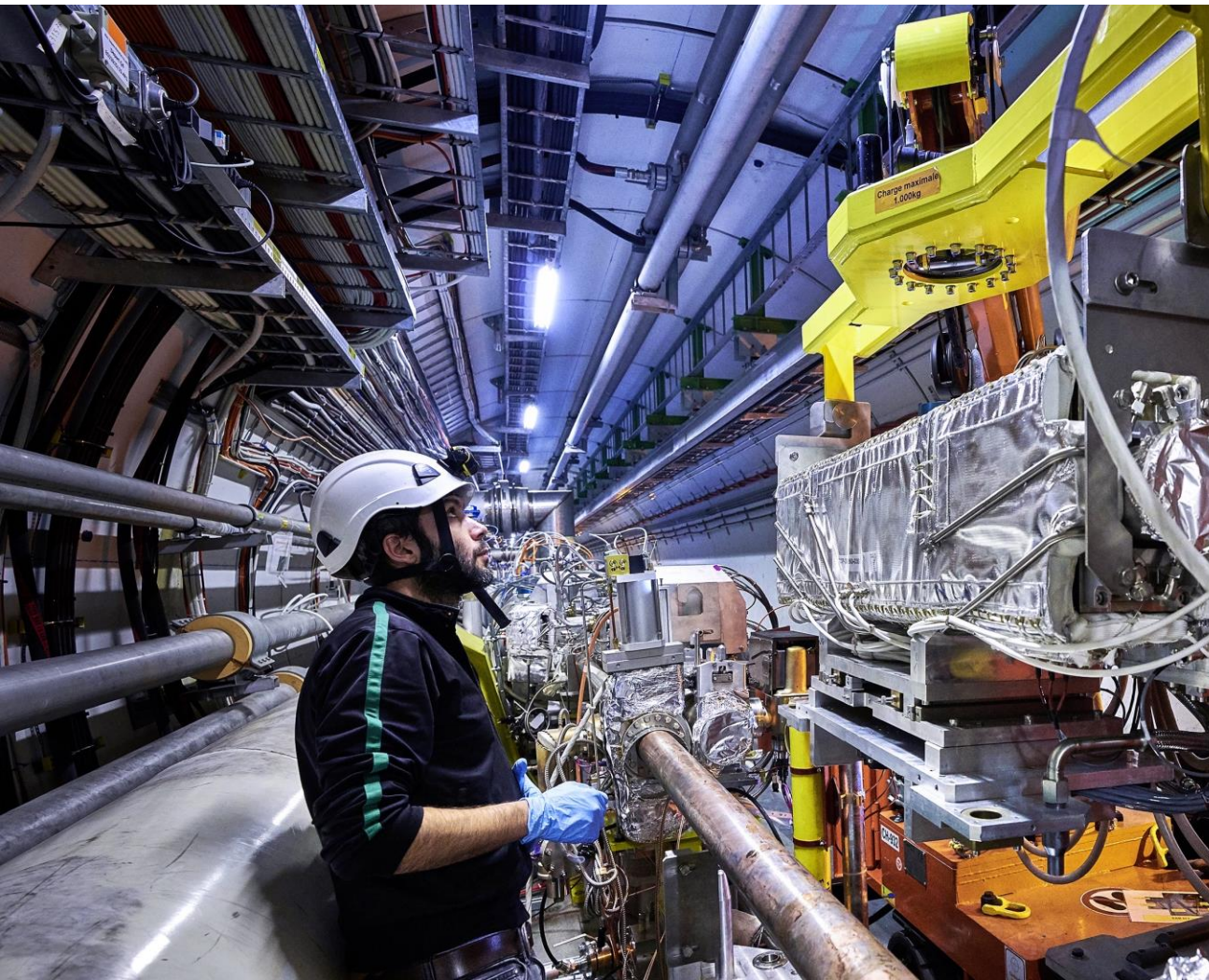
Συμπεριλαμβανομένου

Το 95% της μάζας και της ενέργειας του σύμπαντος είναι άγνωστο.

Υπάρχει μόνο ένα μποζόνιο Higgs και συμπεριφέρεται ακριβώς όπως αναμένεται;

Γιατί το σύμπαν αποτελείται μόνο από ύλη, με σχεδόν καθόλου αντιύλη;

Γιατί η βαρύτητα είναι τόσο αδύναμη σε σύγκριση με τις άλλες δυνάμεις;



Η αναβάθμιση του LHC σε υψηλή φωτεινότητα βρίσκεται σε εξέλιξη

- Το HL-LHC θα χρησιμοποιήσει νέες τεχνολογίες για να παρέχει 10 φορές περισσότερες συγκρούσεις από το LHC.
- Θα δώσει πρόσβαση σε σπάνια φαινόμενα, μεγαλύτερη ακρίβεια και δυνατότητες ανακάλυψης.
- Θα ξεκινήσει να λειτουργεί το 2029 και θα διαρκέσει έως το 2040.

Επιστημονικές προτεραιότητες για το μέλλον

Εφαρμογή των συστάσεων της
επικαιροποίησης του 2020 της **Ευρωπαϊκής
Στρατηγικής για τη Σωματιδιακή Φυσική:**

- Πλήρη εκμετάλλευση του LHC και HL-LHC.
- Οικοδόμηση εργοστασίου Higgs για να κατανοήσουμε περαιτέρω αυτό το μοναδικό σωματίδιο.
- Διερεύνηση της τεχνικής και οικονομικής σκοπιμότητας ενός μελλοντικού επιταχυντή ενεργειακών συνόρων 100 km στο CERN.
- Ενίσχυση της σχετικής Ε&Α.
- Συνεχή υποστήριξη έργων σε όλο τον κόσμο



Συνεργασία



Επιστήμη για την Ειρήνη

Το CERN ιδρύθηκε το 1954 με 12 ευρωπαϊκά κράτη μέλη



23 Member States

Austria – Belgium – Bulgaria – Czech Republic
Denmark – Finland – France – Germany – **Greece**
Hungary – Israel – Italy – Netherlands – Norway
Poland – Portugal – Romania – Serbia – Slovakia
Spain – Sweden – Switzerland – United Kingdom

3 Associate Member States in the pre-stage to membership

Cyprus – Estonia – Slovenia

8 Associate Member States

Brazil – Croatia – India – Latvia – Lithuania – Pakistan
Türkiye – Ukraine

6 Observers

Japan – Russia (suspended) – USA
European Union – JINR (suspended) – UNESCO

Around 50 Cooperation Agreements with non-Member States and Territories

Albania – Algeria – Argentina – Armenia – Australia – Azerbaijan – Bangladesh – Belarus – Bolivia
Bosnia and Herzegovina – Canada – Chile – Colombia – Costa Rica – Ecuador – Egypt – Georgia – Honduras
Iceland – Iran – Jordan – Kazakhstan – Lebanon – Malta – Mexico – Mongolia – Montenegro – Morocco – Nepal
New Zealand – North Macedonia – Palestine – Paraguay – People's Republic of China – Peru – Philippines – Qatar
Republic of Korea – Saudi Arabia – Sri Lanka – South Africa – Thailand – Tunisia – United Arab Emirates – Vietnam

CERN's annual budget
is 1200 MCHF (equivalent
to a medium-sized European
university)

As of 31 December 2023
Employees:
2666 staff, **1002** graduates
Associates:
12 370 users, **1513** others

Ένα εργαστήριο για άτομα από όλο τον κόσμο

Κατανομή όλων των χρηστών του CERN ανά χώρα των ιδρυμάτων
προέλευσής τους στις 31 Δεκεμβρίου 2023



Geographical & cultural diversity
Users of **110 nationalities**
22.5 % women

Member States 7438

Austria 86 – Belgium 129 – Bulgaria 46 – Czech Republic 252
Denmark 47 – Finland 88 – France 842 – Germany 1296
Greece 112 – Hungary 80 – Israel 74 – Italy 1609 – Netherlands 167
Norway 77 – Poland 322 – Portugal 105 – Romania 113
Serbia 38 – Slovakia 67 – Spain 413 – Sweden 106
Switzerland 419 – United Kingdom 950

Associate Member States

in the pre-stage to membership **69**

Cyprus 14 – Estonia 29 – Slovenia 26

Associate Member States 541

Brazil 135 – Croatia 37 – India 145 – Latvia 21 – Lithuania 17 – Pakistan 30
Turkey 129 – Ukraine 27

Observers 3005

Japan 219 – Russia (suspended) 779 – United States of America 2007



Αριθμοί για την Ελλάδα

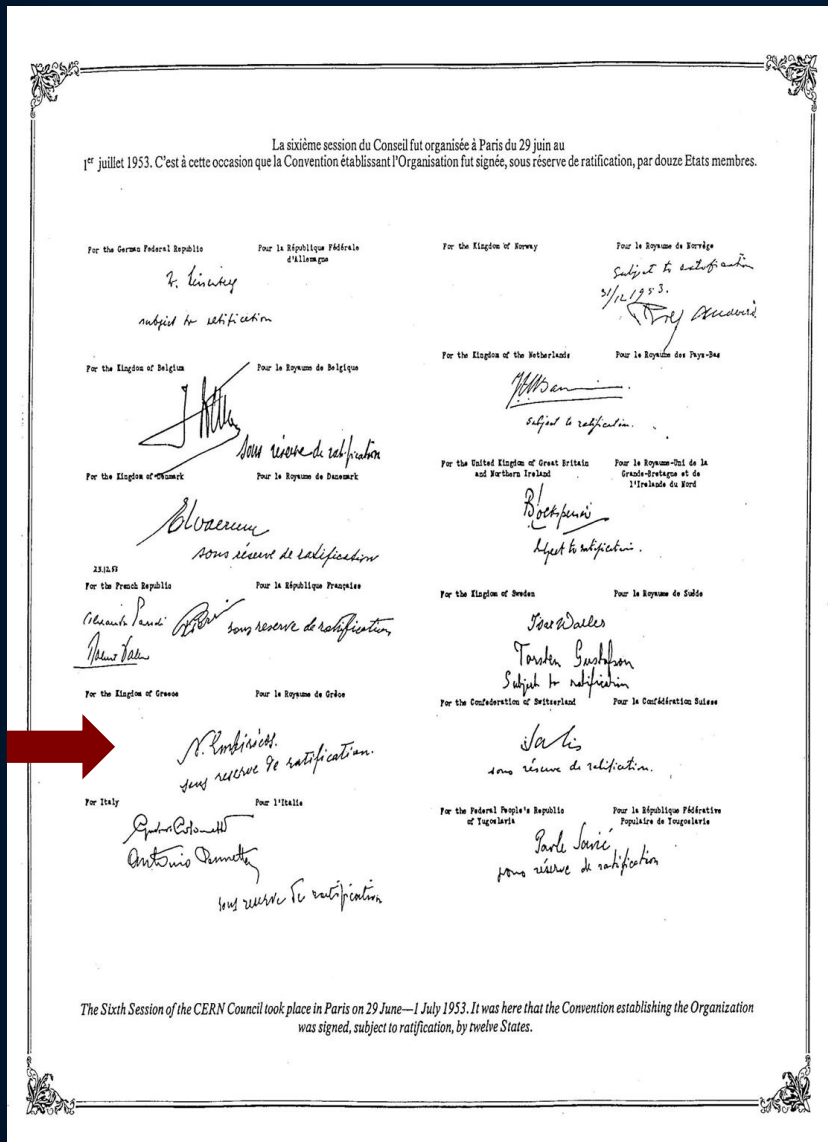
- 31 Δεκεμβρίου 2023
 - 67 Staff
 - 71 Fellows/GRAD
 - 12 Doct. Students
 - 13 Tech. Students
 - 3 Admin. Students

Non-Member States and Territories 1317

Algeria 2 – Argentina 16 – Armenia 16 – Australia 26 – Azerbaijan 3 – Bahrain 3 – Belarus 14 – Canada 206
Chile 45 – China 414 – Colombia 24 – Costa Rica 3 – Cuba 3 – Ecuador 4 – Egypt 24 – Georgia 34 – Hong Kong 15
Iceland 3 – Indonesia 7 – Iran 14 – Ireland 4 – Jordan 3 – Kazakhstan 3 – Kuwait 2 – Lebanon 7 – Madagascar 1
Malaysia 4 – Malta 1 – Mexico 56 – Montenegro 3 – Morocco 18 – New Zealand 2 – Nigeria 2 – Oman 1
Palestine 1 – Peru 3 – Philippines 1 – Republic of Korea 168 – Saudi Arabia 6 – South Africa 61 – Sri Lanka 10
Taiwan 52 – Thailand 17 – Tunisia 4 – United Arab Emirates 10 – Vietnam 1

Λαμπρό Παράδειγμα Διεθνούς Συνεργασίας

Η Συνθήκη του CERN



- Από τη πλευρά της Ελλάδας υπέγραψε ο Καθηγητής Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κ. Ν. Εμπειρικός.



Τεχνολογία και Καινοτομία

Σπάζοντας το τείχος της επικοινωνίας
Πριν από πάνω από 30 χρόνια:
γεννήθηκε το Web στο CERN



... και σήμερα;



Οι τεχνολογικές καινοτομίες του CERN έχουν εφαρμογές σε πολλούς τομείς

Το CERN είναι η γενέτειρα του World Wide Web

Και υπάρχουν πολλά ακόμη παραδείγματα

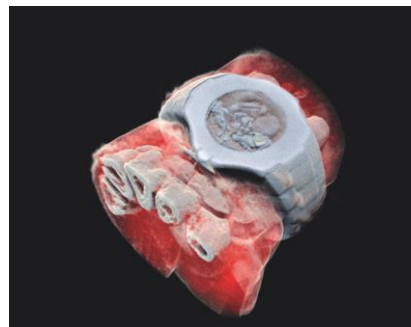
Ιατρική απεικόνιση, θεραπεία καρκίνου, επιστήμη των υλικών, πολιτιστική κληρονομιά, αεροδιαστημική, αυτοκινητοβιομηχανία, περιβάλλον, υγεία και ασφάλεια, βιομηχανικές διαδικασίες.

Οι τεχνολογικές καινοτομίες του CERN έχουν σημαντικές εφαρμογές στην ιατρική και την υγειονομική περίθαλψη



Τεχνολογίες που εφαρμόζονται στο CERN χρησιμοποιούνται επίσης στο PET, για ιατρική απεικόνιση και διαγνωστικά.

Οι τεχνολογίες επιταχυντών εφαρμόζονται στην ακτινοθεραπεία του καρκίνου με πρωτόνια, ιόντα και ηλεκτρόνια.



Οι τεχνολογίες ανιχνευτών Pixel χρησιμοποιούνται για τρισδιάστατη έγχρωμη απεικόνιση ακτίνων X υψηλής ανάλυσης.

Το CERN παράγει καινοτόμα ραδιοϊσότοπα για έρευνα στην πυρηνική ιατρική.



A group of students in a laboratory or workshop setting. They are wearing hard hats (yellow and blue) and safety glasses. They are focused on a large, dark, cylindrical mechanical component mounted on a metal frame. One student in the foreground is adjusting the component. In the background, there are other students and a green exit sign with a white arrow pointing down. A teal circular graphic is overlaid on the left side of the image, containing the text 'Εκπαίδευση και Κατάρτιση'.

Εκπαίδευση και Κατάρτιση

Το CERN ως Εκπαιδευτικό Κέντρο

Apprentices

Accelerator School

Doctoral Students

Academic Training

Fellows

Physics School

Exhibitions

CERN-Latin America School

Computing School

Visits

Γενναιόδωρη και σημαντική υποστήριξη



Summer Schools

Technical Students

Outreach

Microcosm

Technical Training

Science

Language Training

Conferences

Teachers programmes

Communications Training

Management Training

Τα εκπαιδευτικά προγράμματα προσεγγίζουν χιλιάδες καθηγητές και μαθητές από όλο τον κόσμο κάθε χρόνο

300 προπτυχιακοί φοιτητές σε **Θερινά προγράμματα**
>3000 εγγεγραμμένοι **διδάκτορες**.

>1000 **υπότροφοι, τεχνικοί και διδακτορικοί φοιτητές** στην έρευνα και την εφαρμοσμένη φυσική, τη μηχανική και την πληροφορική.

13.304 **εκπαιδευτικοί** από το 1998 και 2000 συμμετέχοντες στο διαδικτυακό σεμινάριο από το 2020.



151.000 **επισκέπτες** σε ξεναγήσεις στο CERN το 2019, από 95 χώρες.

Το CERN συνεργάζεται με πολίτες σε όλο τον κόσμο: επιτόπιες και ταξιδιωτικές **εκθέσεις** σε 15 χώρες, > 1 εκατομμύριο επισκέπτες

Το **Science Gateway** θα ανοίξει το 2023, επεκτείνοντας την προσέγγιση και τον αντίκτυπο του CERN, σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Αριθμοί για την Ελλάδα

4 summer students during 2023

1023 teachers in Teacher Programmes since 1998

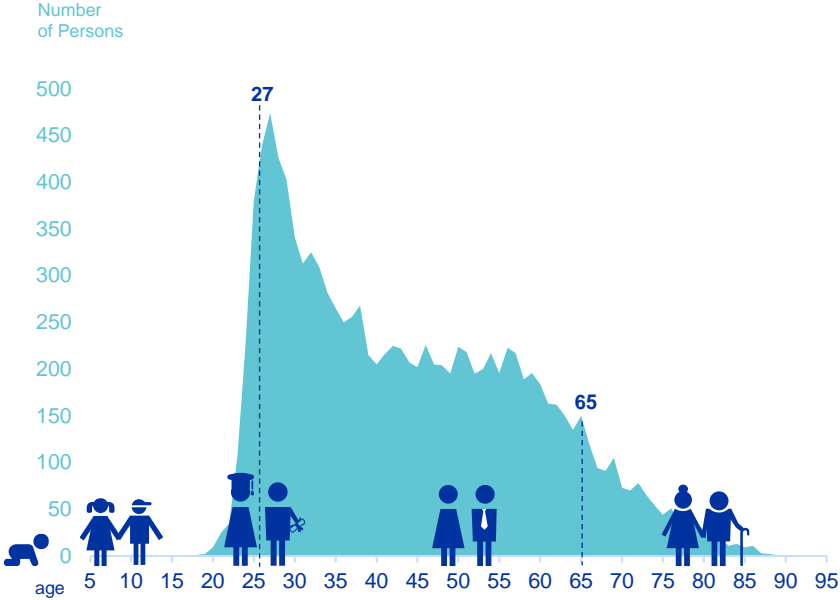
57 teams in BL4S competition since 2014

665 students participating in S'Cool LAB since 2015

8312 Greek visitors in 2019

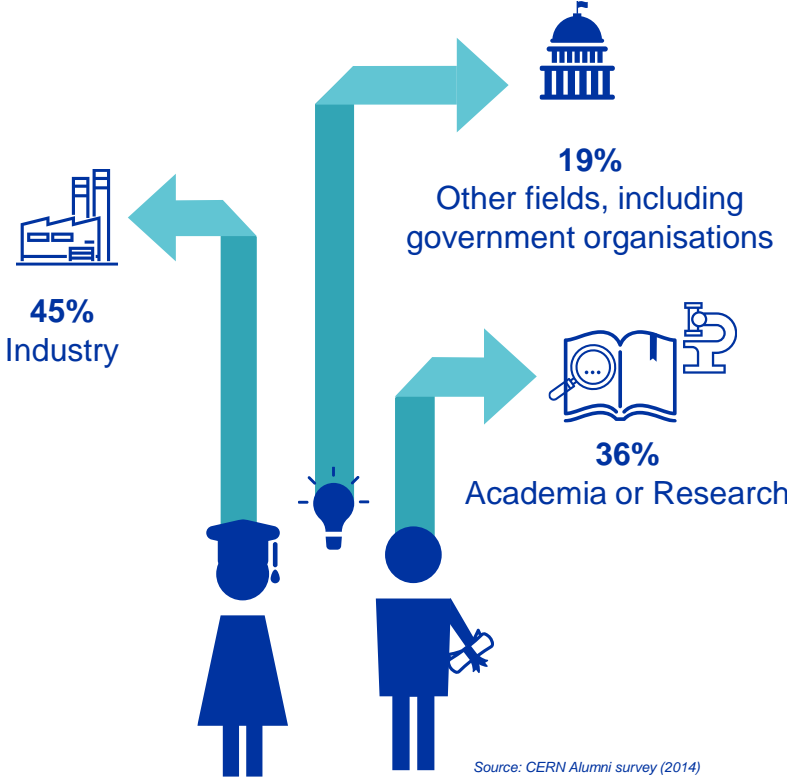


Το CERN ανοίγει έναν κόσμο ευκαιριών σταδιοδρομίας



Age Distribution of Scientists working at CERN

Presentation Greece



PhD and Technical students leaving CERN

Source: CERN Alumni survey (2014)

CERN Science Gateway



Το νέο κέντρο εκπαίδευσης και ενημέρωσης του CERN για όλα τα άτομα ηλικίας άνω των 5 ετών.

Εγκαινιάστηκε στις 7 Οκτωβρίου 2023.

Εκθέσεις, εκπαιδευτικά εργαστήρια, εκδηλώσεις και παραστάσεις.

Εορτασμοί 70ης επετείου του CERN το 2024

Η Ελλάδα έχει μια ισχυρή παράδοση στη σωματιδιακή φυσική

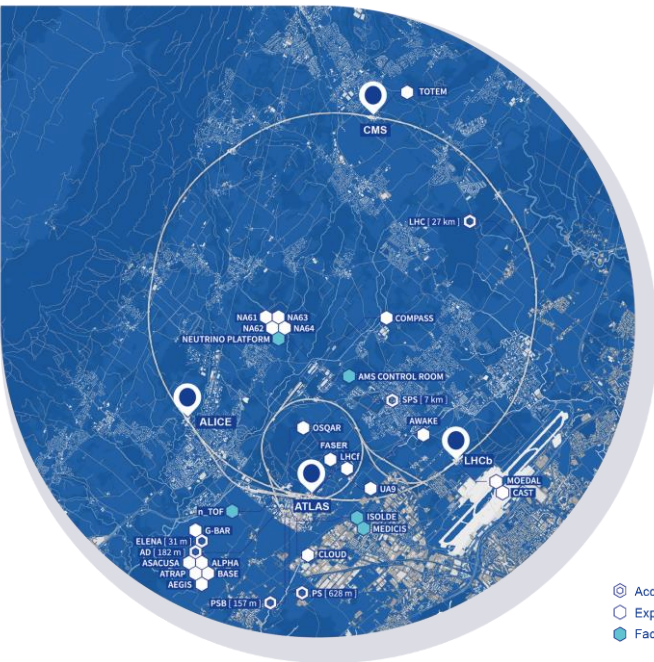


3 Μαΐου 2014: Ο Πρόεδρος της Ελληνικής Δημοκρατίας, ο Αυτού Εξοχότης Κάρολος Παπούλιας επισκέφθηκε το CERN.

- Η Ελλάδα ήταν ένα από τα 12 ιδρυτικά κράτη μέλη του CERN (1954).
- Η Ελλάδα έχει συμμετάσχει σε όλο το φάσμα των ερευνητικών δραστηριοτήτων στο CERN, από την ανάπτυξη ανιχνευτών και υπολογιστών έως πολυάριθμα πειράματα στις εγκαταστάσεις PS, SPS, ISR, SPS Collider & LEP του CERN.
- Οι Έλληνες ερευνητές έχουν κάνει αξιοσημείωτη συμβολή στην πειραματική και θεωρητική φυσική των σωματιδίων.
- Σήμερα, 11 ελληνικά πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα συμμετέχουν σε προγράμματα στο CERN.

Με την ισχυρή και συνεχή υποστήριξη του Υπουργείου Ανάπτυξης και της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Καινοτομίας

Η Ελλάδα συμμετέχει στο πειραματικό πρόγραμμα του CERN



LHC EXPERIMENTS:

ALICE 1 Institute, 6 members

ATLAS 7 Institutes, 84 members

CMS 4 Institutes, 69 members

FIXED TARGET EXPERIMENTS

- **CAST** 4 institutes
- **nTOF** 3 institutes
- **NA61** 1 institute
- **Neutrino Platform 2** institutes

ISOLDE

4 institutes

Greece participates in WLCG with a Tier-2 centre (under MoU):

- University of Ioannina

Η Ελλάδα και το CERN

ATLAS Muon Spectrometer



Πειράματα LHC

Η εκμετάλλευση του **LHC** είναι επί του παρόντος ο κύριος στόχος των Ελλήνων ερευνητών, οι οποίοι έχουν αναλάβει ισχυρή δέσμευση για το LHC, ιδιαίτερα για το **ALICE**, το **ATLAS** και το **CMS**



CMS Preshower Detector

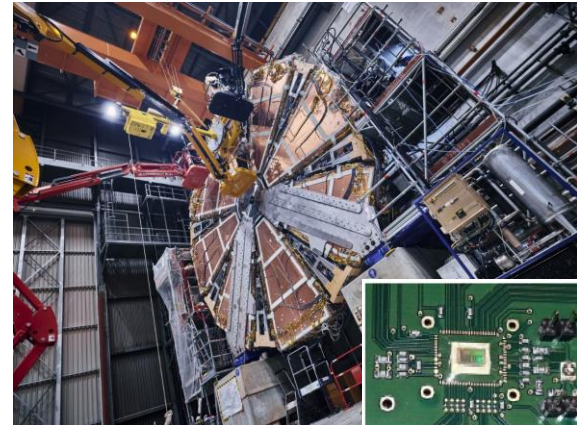
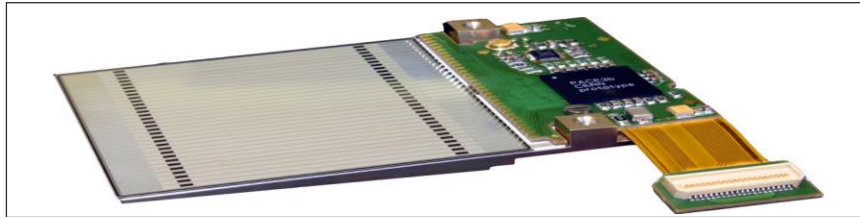
ATLAS

Ελληνικά ινστιτούτα έχουν συμμετάσχει στη σχεδίαση, κατασκευή και θέση σε λειτουργία του **φασματογράφου μιονίων** του ATLAS

CMS

Ελληνικά ινστιτούτα έχουν συμμετάσχει στη σχεδίαση, κατασκευή και θέση σε λειτουργία του ανιχνευτή και το **σύστημα συλλογής δεδομένων** του CMS

Η Ελλάδα και το CERN



CMS Upgrade

ATLAS Upgrade

Αναβάθμιση ATLAS

Ερευνητικές ομάδες από την Ελλάδα έχουν σημαντική εμπειρία στην ανάπτυξη και θέση σε λειτουργία ανιχνευτών αερίων (**Micromegas**) και στην ανάπτυξη ηλεκτρονικών συσκευών **ανάγνωσης και σκανδάλης**.

Αναβάθμιση CMS

Ερευνητικές ομάδες από την Ελλάδα επικεντρώνονται στην ανάπτυξη τεχνολογιών **γρήγορων ηλεκτρονικών** (FPGA, οπτικές ζεύξεις 10-25 Gbps) και **αισθητήρων πυριτίου**.

Συνεργασία Επιταχυντών

Τα ελληνικά ινστιτούτα εμπλέκονται ενεργά στην E&A και τις μελέτες για μελλοντικούς επιταχυντές (**CLIC, FCC**) καθώς και συνεισφέροντας σε μεγάλο βαθμό σε υπάρχοντα έργα (**LHC, HL-LHC**).

Υπάρχουν πολλά αναπάντητα ερωτήματα στη
θεμελιώδη φυσική

**Το CERN θα συνεχίσει να διαδραματίζει
κρίσιμο ρόλο στο ταξίδι της εξερεύνησης**