

Πυρηνική Φυσική και Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων (5ου εξαμήνου)

Τμήμα Τ2: Κ. Κορδάς & Δ. Σαμψωνίδης

Μάθημα 1β

Μια εισαγωγή στο αντικείμενο

Κώστας Κορδάς

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Στόχος και μέσα

- Στόχος της Πυρηνικής Φυσικής και της Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων:
 - η κατανόηση του σύμπαντος και του κόσμου, της προέλευσης και δομής της ύλης, ο έλεγχος και η αξιοποίηση της γνώσης
- Το εργαστήριό μας
 - Το σύμπαν – παρατήρηση π.χ,
 - Ακτινοβολίας που εκπέμπουν οι αστέρες
 - κοσμικής ακτινοβολίας που προσκρούει στη Γή
 - Τα ανθρώπινα εργαστήρια
 - πηγές ακτινοβολίας – ραδιενεργά υλικά
 - πυρηνικοί αντιδραστήρες
 - επιταχυντές σωματιδίων
 - όπου μπορούμε να αναπαράγουμε συνθήκες του σύμπαντος λίγο μετά τη γέννησή του
 - και μπορούμε να κατασκευάσουμε νέους πυρήνες και σωματίδια που δεν υπάρχουν γύρω μας

1. Γιατί και πώς
παρατηρούμε τον μικρόκοσμο
Τα πειράματα ως προέκταση των
αισθήσεών μας

Γιατί; Η περιέργεια

- Αναρωτιόμαστε, από τι είναι φτιαγμένος ο κόσμος;



Τι είναι εδώ μέσα;



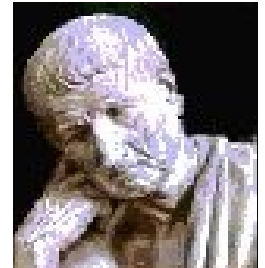
Δημόκριτος (460–371 π.Χ):

Η ύλη αποτελείται από θεμελιώδη
σωμάτια που είναι **ά-τομα** και
υπάρχουν στον κατά τ'άλλα **κενό χώρο**

→ Υπήρχαν όμως κι άλλες ιδέες

Αριστοτέλης (384–322 π.Χ):

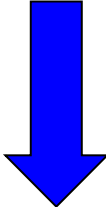
Όλος ο χώρος είναι γεμάτος
από ένα **συνεχές ύλης**



- Πώς μπορούμε να προχωρήσουμε από τις υποθέσεις σε επιστημονικά τεκμηριωμένες θεωρίες;
 - “**Με το πείραμα**” - Γαλιλαίος (Galileo Galilei), 1564 – 1642 μ.Χ

1906: Γνωρίζαμε ήδη ότι τα υλικά είναι φτιαγμένα από άτομα

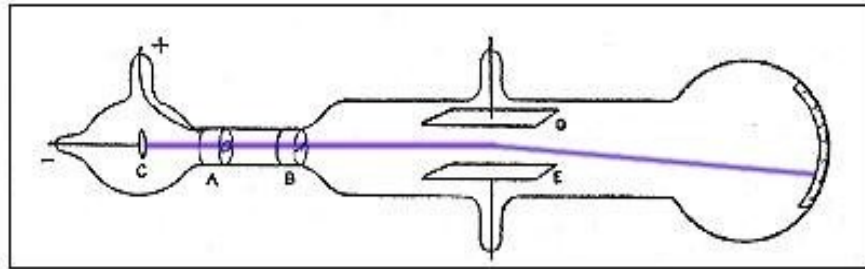
- Αναλύοντας τα δομένα παρατηρήσεων, φτάσαμε να ξέρουμε ότι υπάρχουν άτομα και κενός χώρος
 - Ατομική θεωρία του Dalton, Avogandro κ.α.

Τα άτομα των 92 στοιχείων (19ος αιώνας)	1. Υδρογόνο (H)	Μάζα $M_H \approx 1.7 \times 10^{-24} \text{ g}$
	2. Ήλιο (He)	 Αυξανόμενη μάζα
	3. Λίθιο (Li)	
		
		
	92. Ουράνιο (U)	Μάζα $\approx 238 M_H$

- 1896 ο Becquerel ανακάλυψε ότι πυρήνες ουρανίου ακτινοβολούν (= εκπέμπουν κάτι) → "ραδιενέργεια"
- Η προσπάθεια κατανόησης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας μας έδειξε έναν κρυμμένο κόσμο: τους πυρήνες

1906: Γνωρίζαμε ήδη ότι τα άτομα... τεμαχίζονται

- Τα άτομα έχουν δομή = δεν είναι θεμελιώδη
 - J.J Thomson (πειράματα 1894-1897)
 - το ηλεκτρόνιο είναι συστατικό του ατόμου



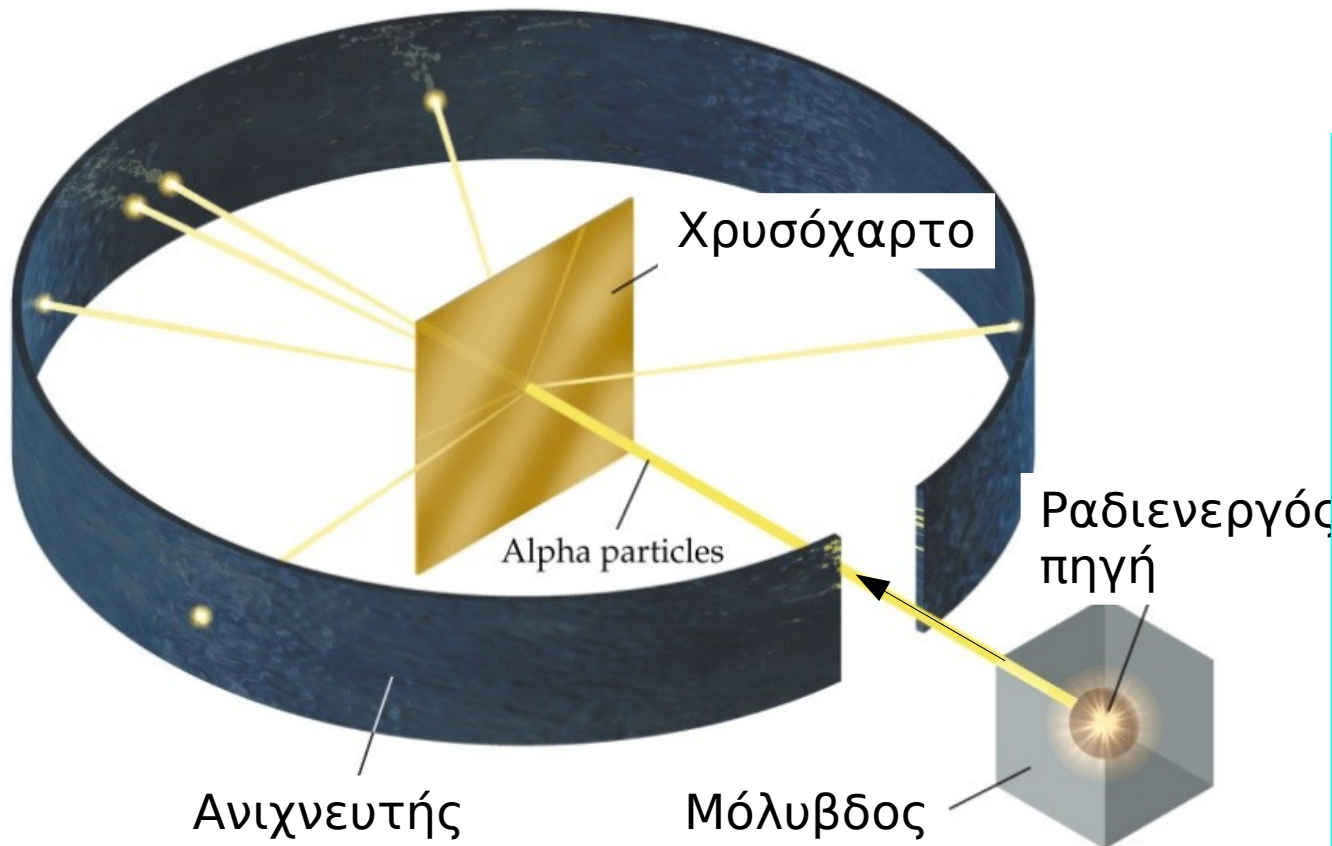
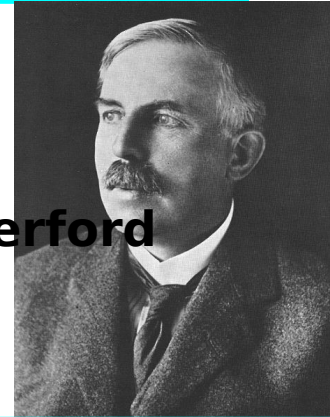
Καθοδικός σωλήνας (cathode ray tube)

- Αλλά, τα άτομα είναι ηλεκτρικά ουδέτερα.
- **Ερώτηση: Πώς είναι κατανεμημένα τα ηλεκτρόνια μέσα στο άτομο;**
 - Είναι το άτομο σαν το σταφιδόψωμο;
 - “Σταφίδες” → τα ηλεκτρόνια
 - “Ζύμη” → το θετικό φορτίο

Πώς; Πειράματα “σκέδασης”

- Ernest Rutherford, Hans Geiger & Ernest Marsden, κάνουν πειράματα σκέδασης σωματιδίων άλφα πάνω σε χρυσόχαρτο (1906)

Ernest Rutherford
(1871-1937)



Είδαν ότι μερικές φορές τα βλήματα (σωματίδια “άλφα”) σκεδάζονταν σε πολύ μεγάλες γωνίες

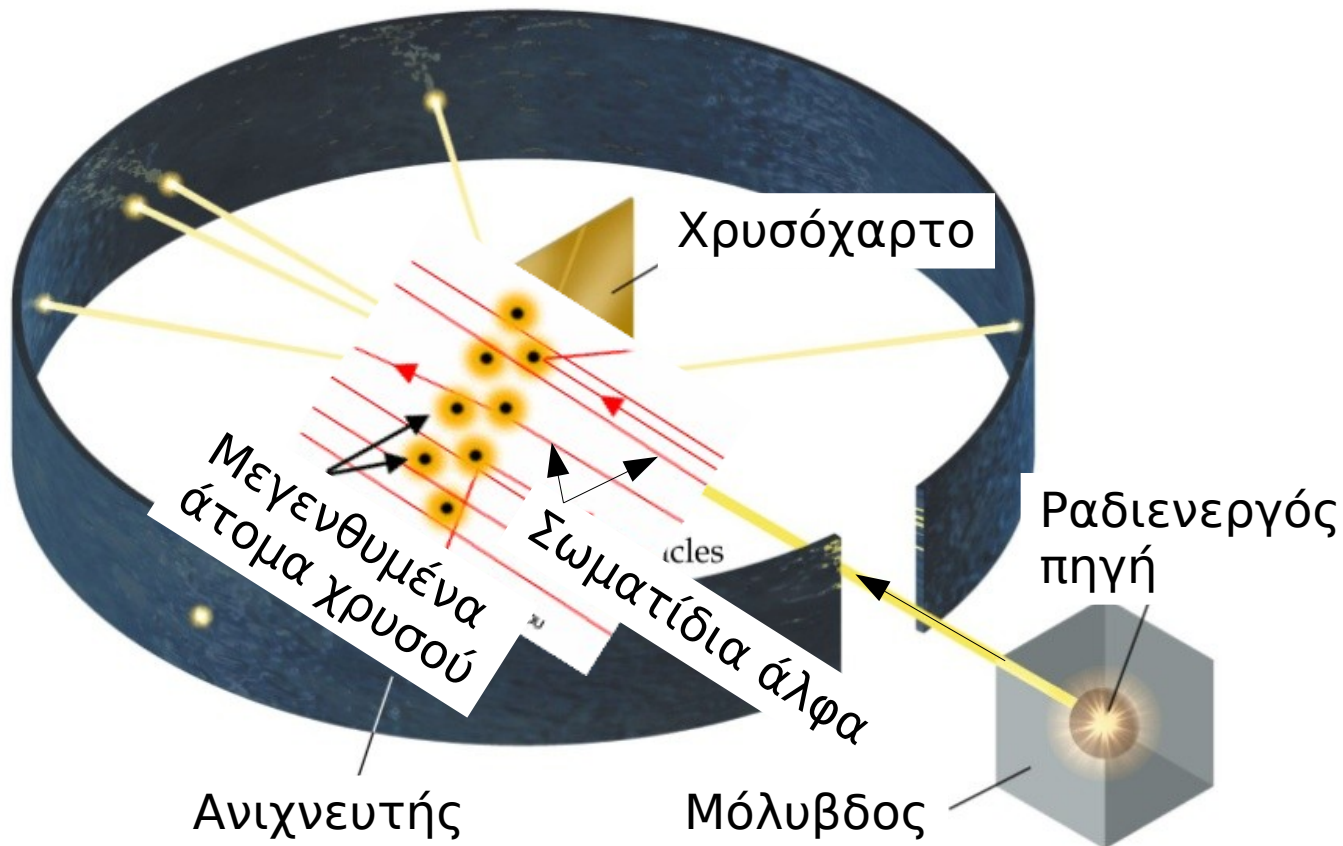
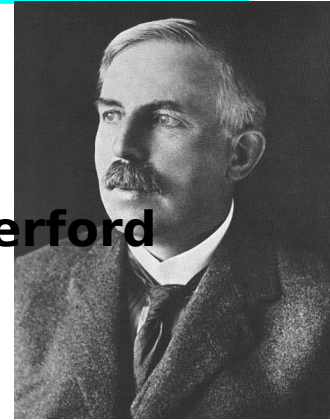
(“σαν να πυροβολείς ένα φύλλο χαρτιού και η σφαίρα να γυρίζει πίσω!”

είπε ο Rutherford)

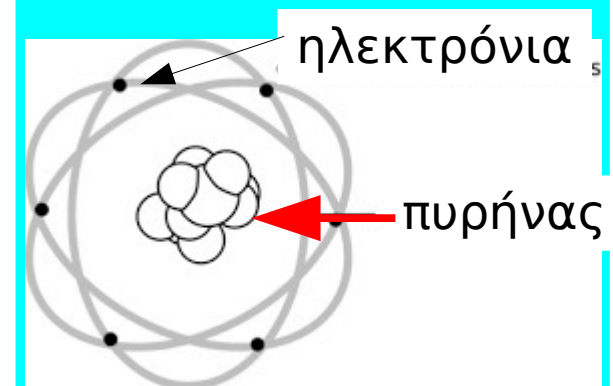
Πώς; Πειράματα “σκέδασης”

- Ernest Rutherford, Hans Geiger & Ernest Marsden, κάνουν πειράματα σκέδασης σωματιδίων άλφα πάνω σε χρυσόχαρτο (1906)

Ernest Rutherford
(1871-1937)

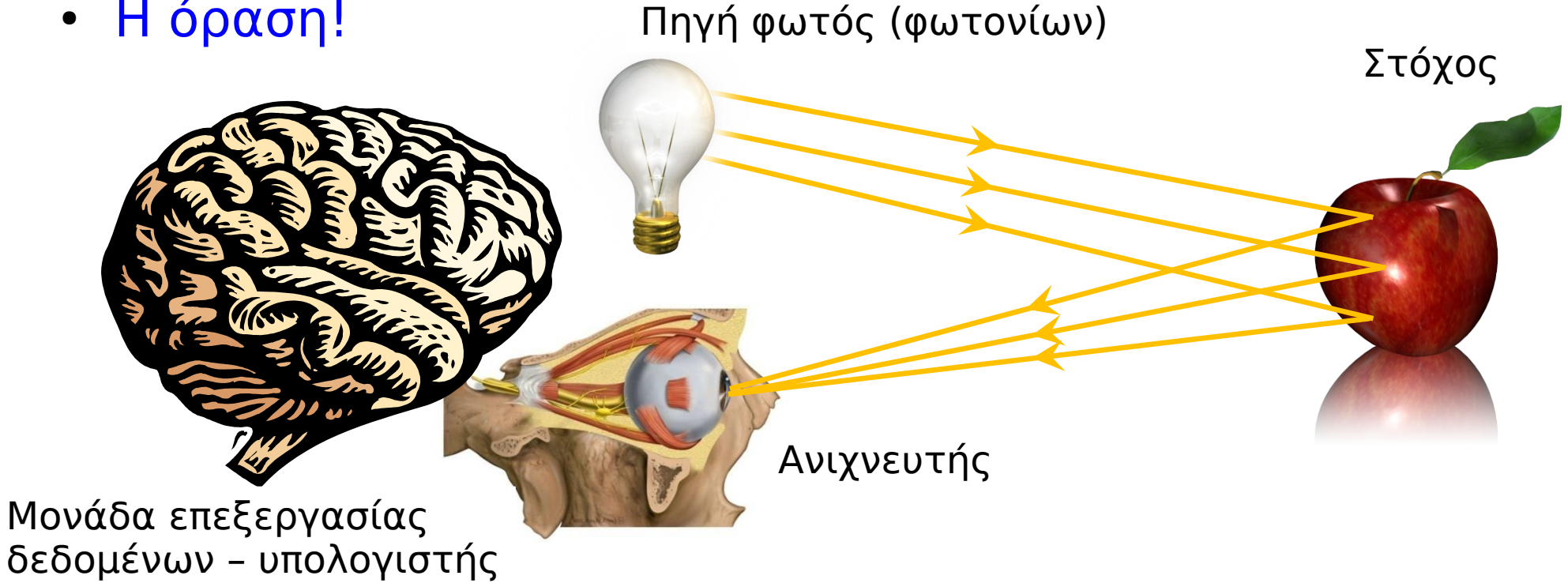


Εξήγηση:
Το **άτομο** έχει το θετικό του φορτίο συγκεντρωμένο σ' έναν **πυρήνα**



Μια καθημερινή εμπειρία σκέδασης

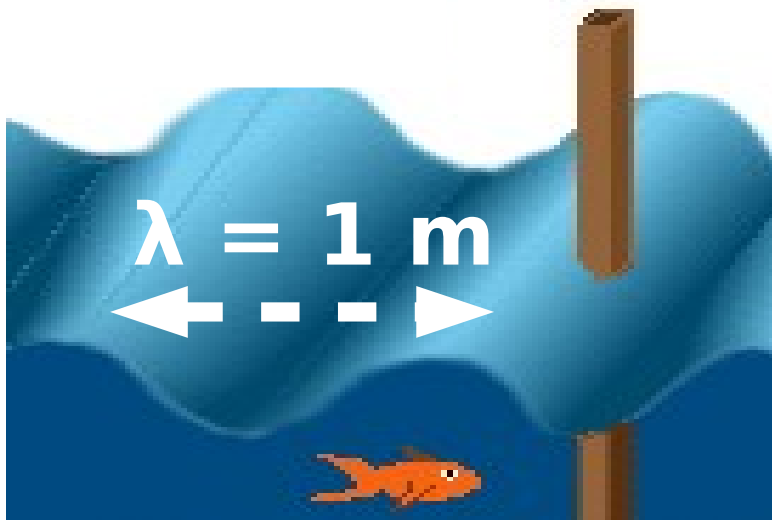
- Η όραση!



- Για να “δούμε” το μήλο, πρέπει να αναλύσουμε τα δεδομένα που ανιχνεύει/μετράει το μάτι μας
 - Ουσιαστικά, ανακατασκευάζουμε το στόχο-μήλο, αναλύοντας τις ιδιότητες των σκεδαζόμενων φωτονίων (τα “δεδομένα” του πειράματος)

Δε βλέπουμε όμως τα άτομα. Γιατί;

- Γιατί το “μήκος κύματος” (λ) του ορατού φωτός είναι πολύ μεγαλύτερο από τις διαστάσεις του ατόμου
 - 5000 φορές μεγαλύτερο, περίπου
 - $\lambda(\text{ορατό}) \sim 500 \text{ nm}$, $R(\text{άτομο}) \sim 10^{-10} \text{ m} = 0.1 \text{ nm}$



Μεγάλο μήκος κύματος



“καλή” (=μικρή) διακριτική ικανότητα
(διακρίνουμε δύσκολα τα μικρά αντικείμενα)

Σωματίδια με το κατάλληλο μήκος κύματος

- Κβαντική Φυσική – τα σωματίδια συμπεριφέρονται και ως κύματα

- Όσο **μεγαλύτερη** είναι η **ορμή p** (= **μάζα** x **ταχύτητα**) ενός σωματιδίου

- τόσο **μικρότερο μήκος κύματος (λ)** έχει:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$



Louis de Broglie (1924)

Σταθερά του Planck = **h** = $6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$

Σωματίδια με... μήκος κύματος



Louis
de Broglie
(1924)

- Κβαντική Φυσική:

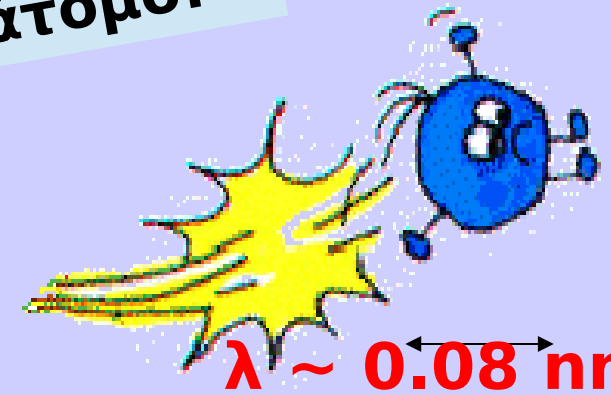
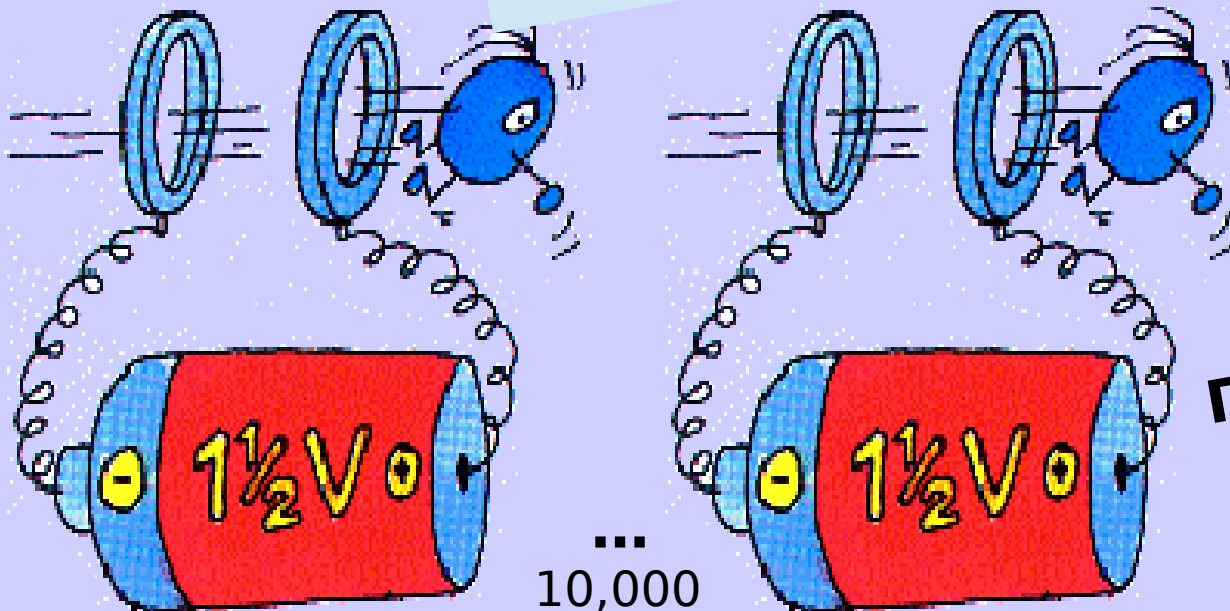
τα σωματίδια συμπεριφέρονται και ως κύματα

- Μεγάλη ορμή (= ταχύτητα x μάζα) ενός σωματιδίου

→ μικρό μήκος κύματος (λ)

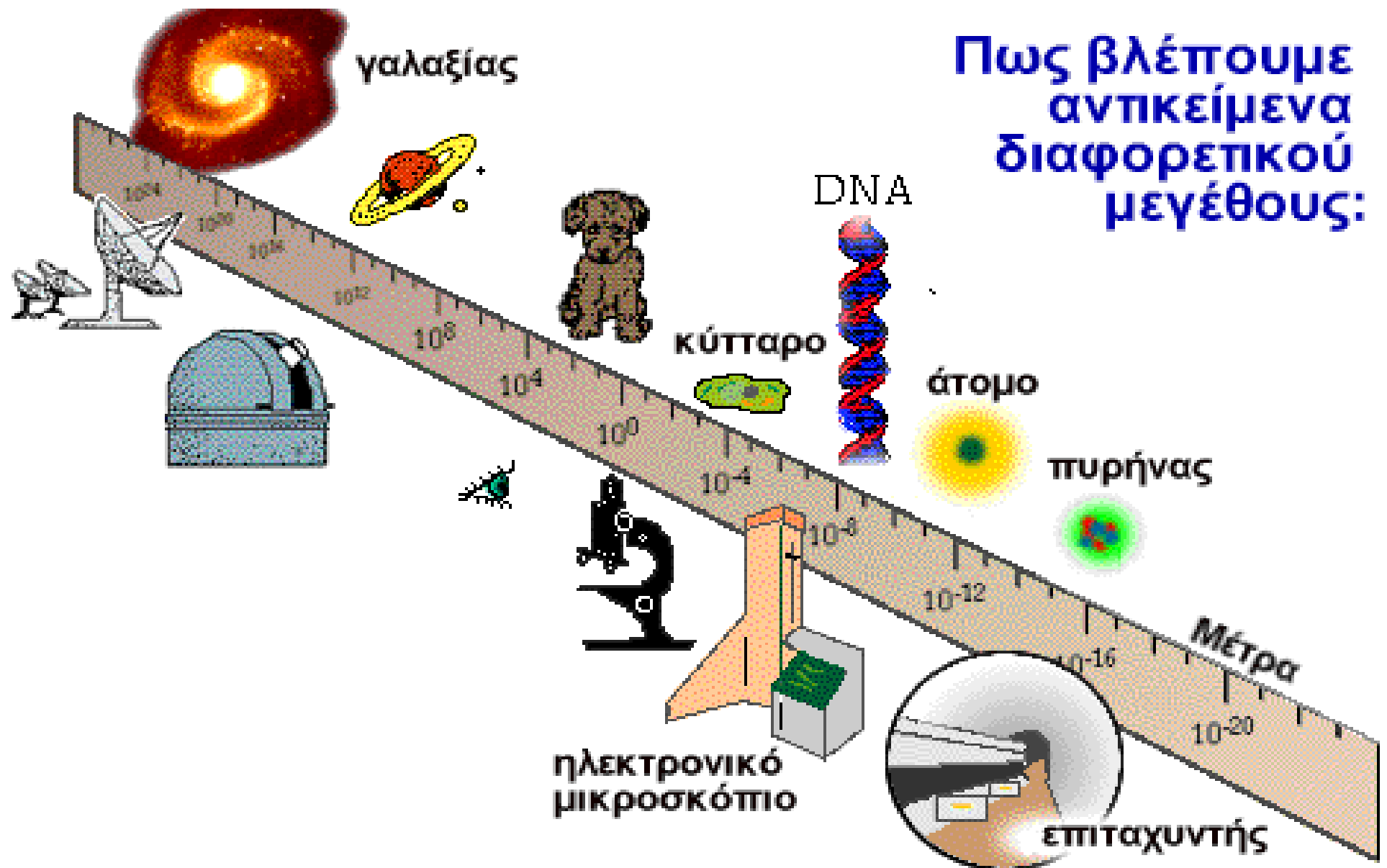
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Με 10,000 μπαταρίες στη σειρά,
θα είχε αρκετά μικρό λ ,
ώστε να διακρίνει ένα άτομο!



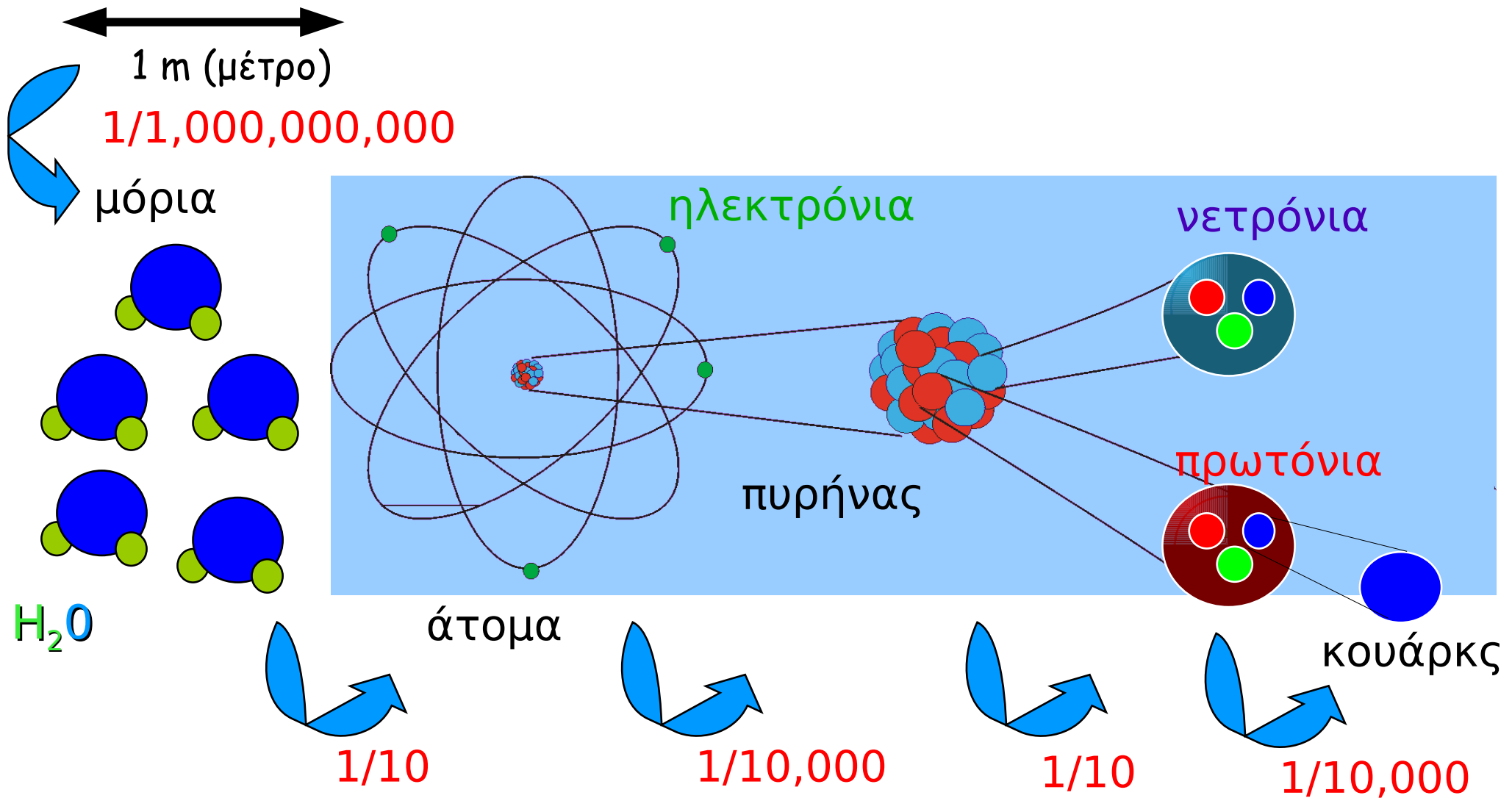
Πέρασμα από διαδοχικές
μπαταρίες:
Επιταχυντής!

Το κατάλληλο εργαλείο ανά περίπτωση – οι επιταχυντές ως μικροσκόπια

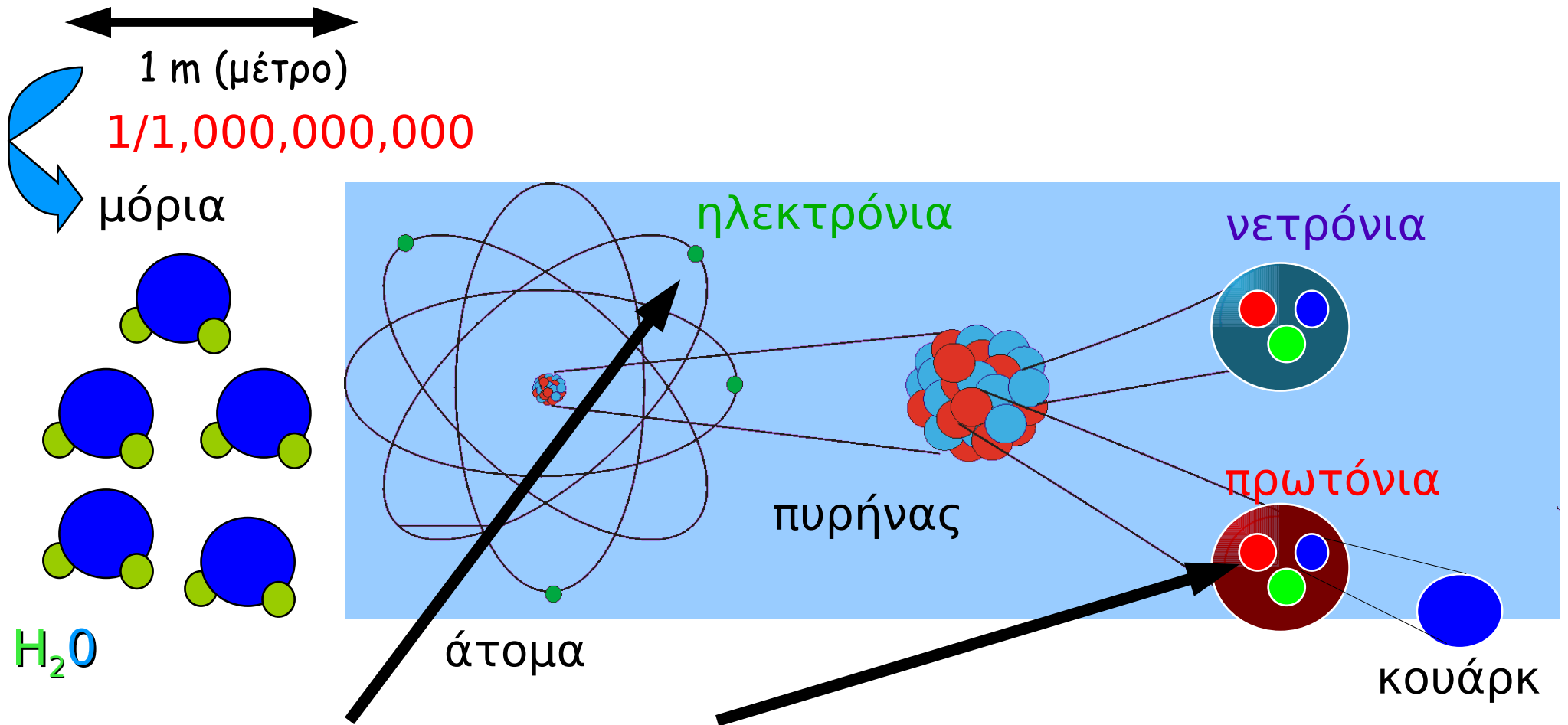


2. Τα βασικά συστατικά της ύλης και οι αλληλεπιδράσεις τους

Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης

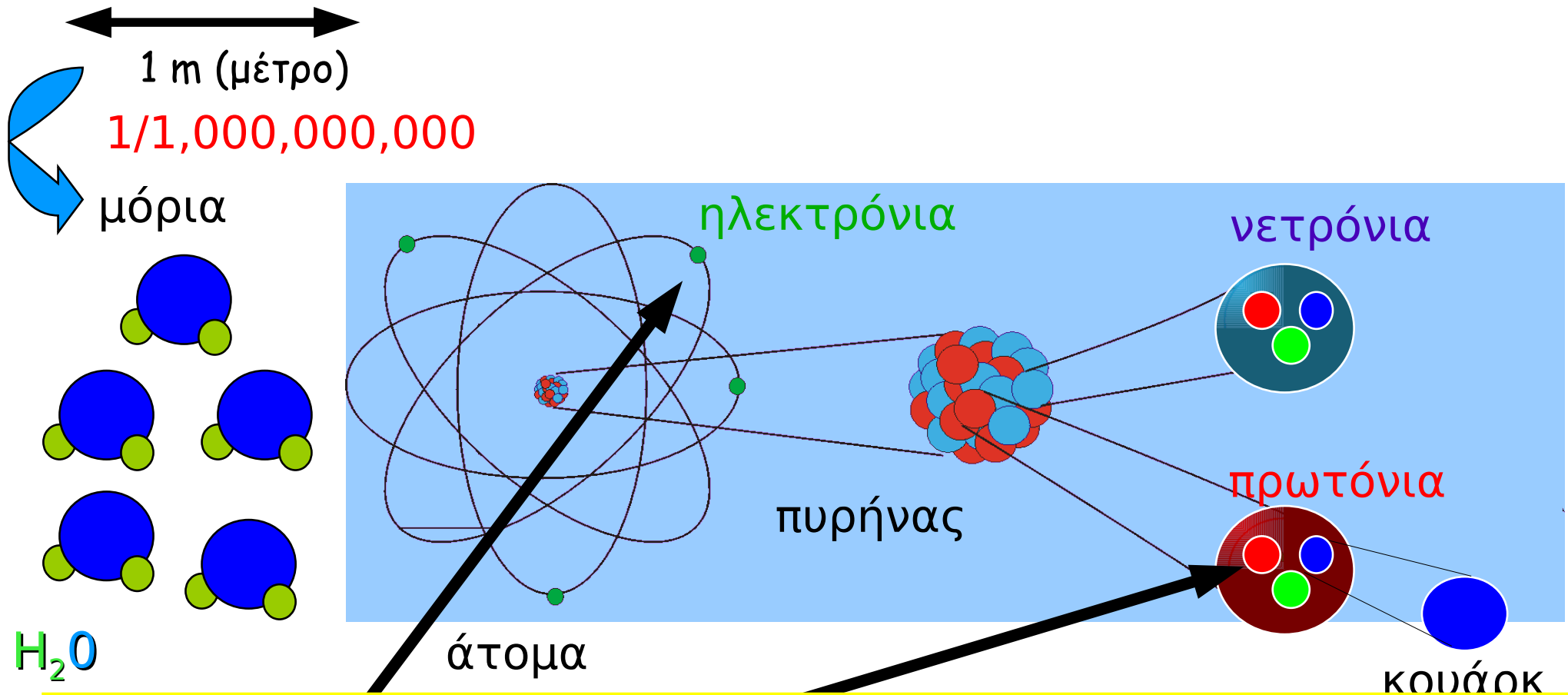


Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης



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

Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης



- **Ηλεκτρόνια**

+ 5 παρόμοια σωματίδια (4 απ' αυτά ασταθή: μ , τ , ν_μ , ν_τ)

- **Πρωτόνια, νετρόνια**

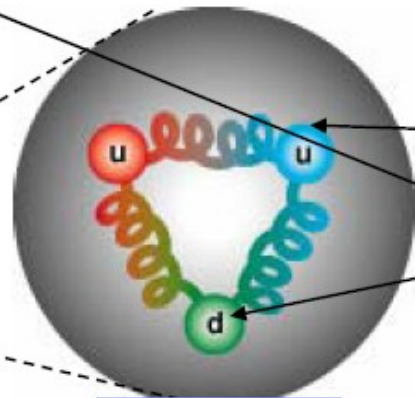
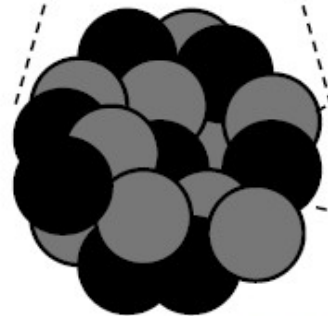
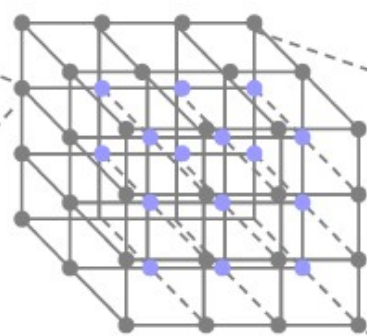
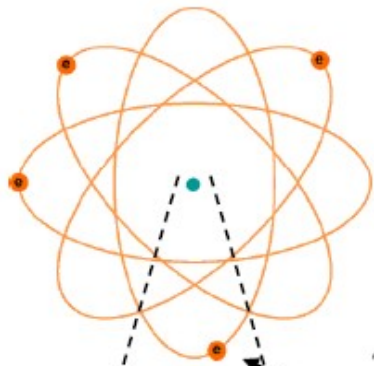
+ ~200 παρόμοια αλλά ασταθή σωματίδια, φτιαγμένα από κουάρκ

Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης γνωρίζουμε τα βασικά (θεμελιώδη) σωματίδια της ύλης

$\sim 10^{-10} \text{ m}$

Δομή της Ύλης

$\sim 1 \text{ m}$



Πρωτόνιο

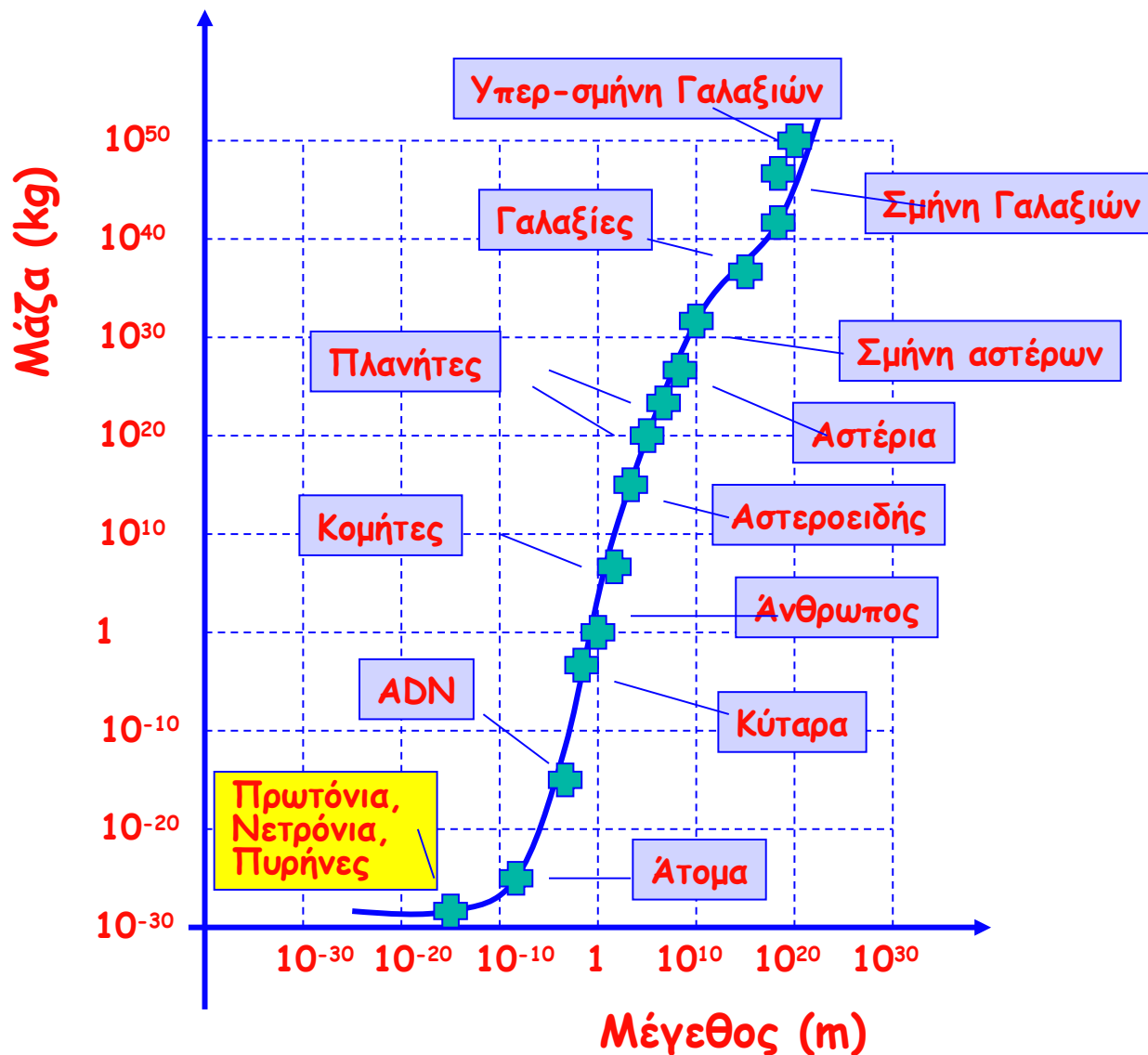
Generation →		
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$	κουάρκ
Leptons	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$	

λεπτόνια

$\sim 10^{-14} \text{ m}$

$< 10^{-18} \text{ m}$

Ένα σύμπαν με αντικείμενα δραματικά διαφορετικών διαστάσεων

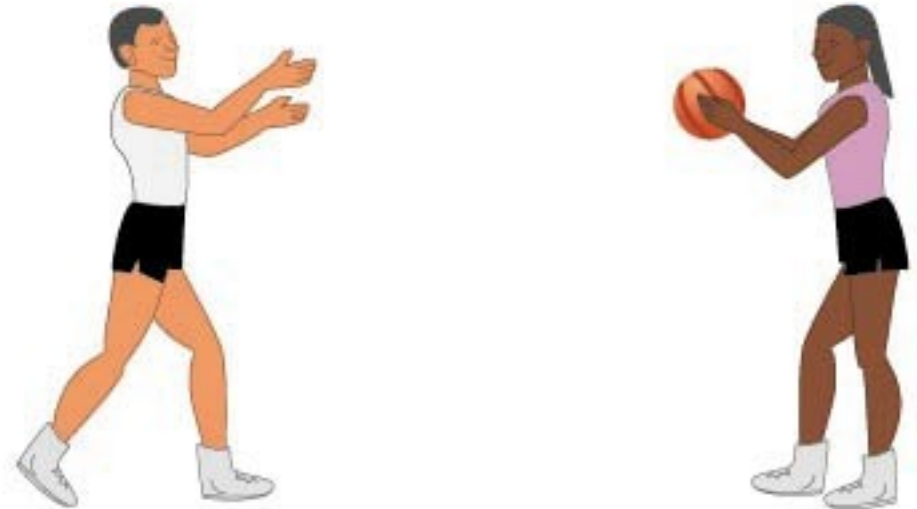


Olivier LOPEZ (LPC Caen)

Τα
στοιχειώδη σωματρία
και οι πυρήνες
είναι το πρώτο βήμα
σε μια ιεραρχία όλο
και πιο σύνθετων
συστημάτων

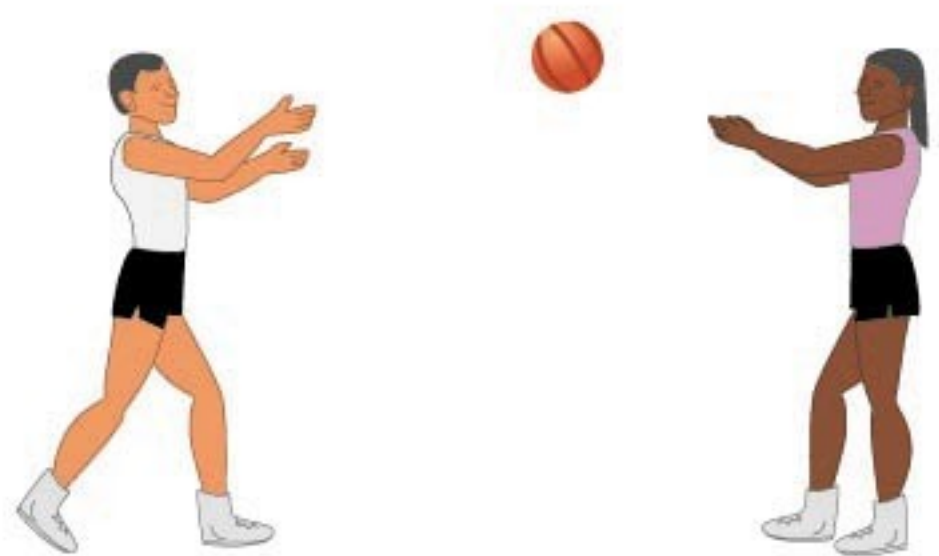
Υπάρχουν και δυνάμεις

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



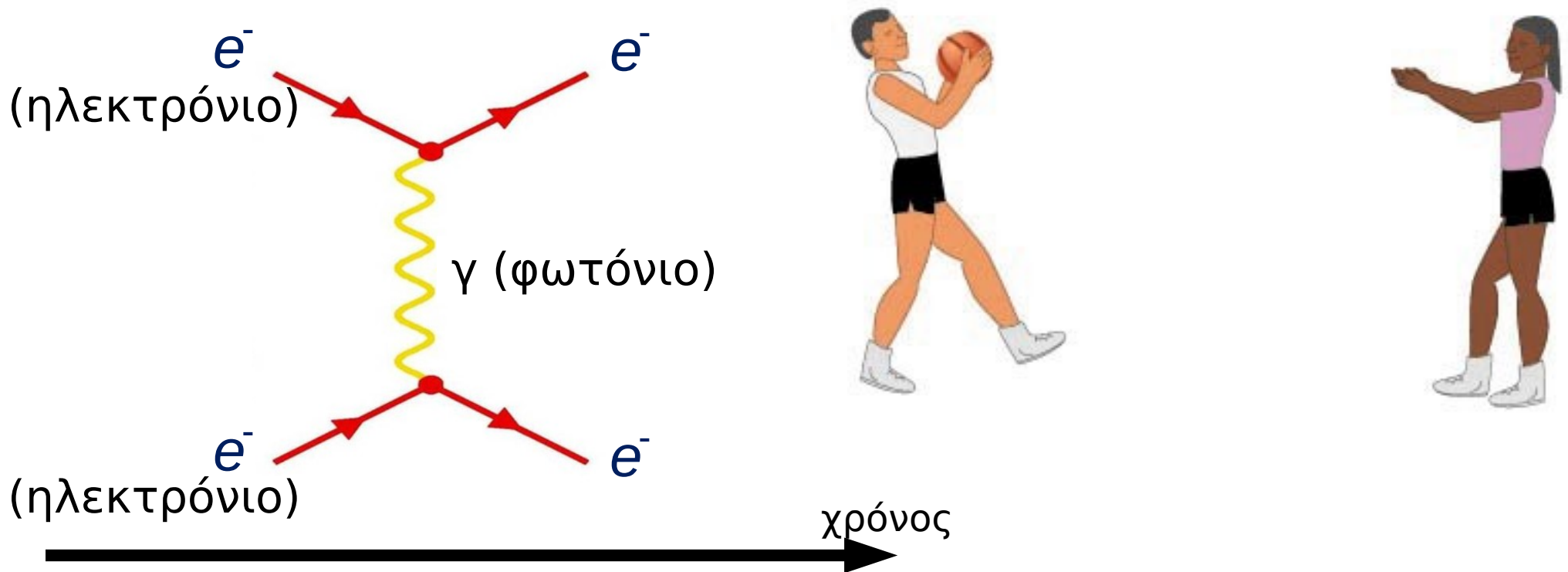
Υπάρχουν και δυνάμεις

- 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

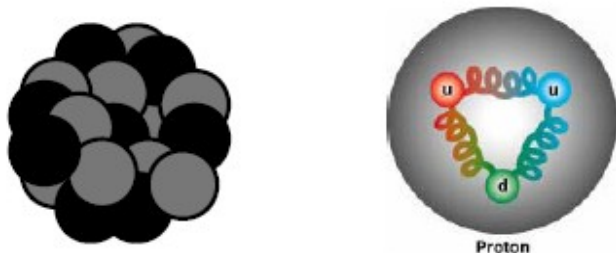


Το φωτόνιο (γ) είναι ο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης

Υπάρχουν και δυνάμεις

Ισχυρές

Μεταδίδονται με τα
γκλουόνια



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

Βαρυτικές

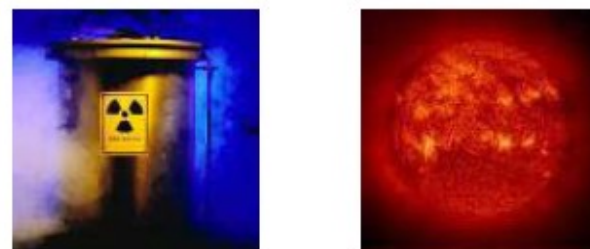
Μεταδίδονται με τα
γκραβιτόνια



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

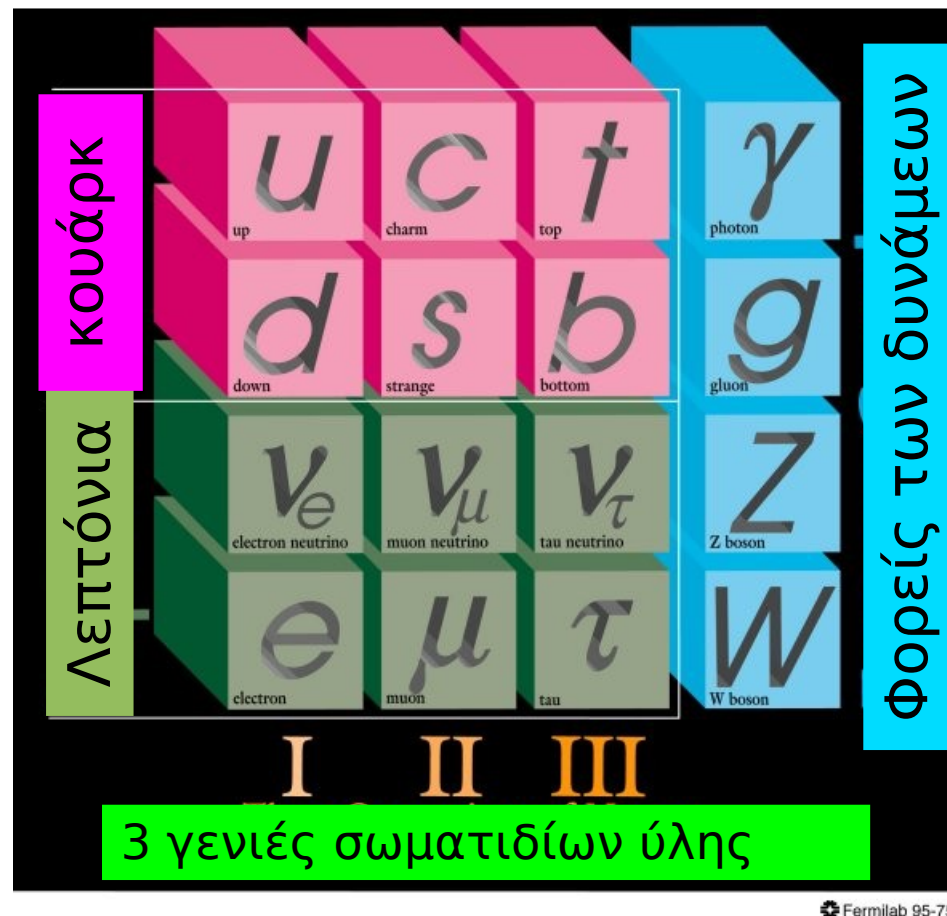
Ηλεκτρομαγνητικές

Μεταδίδονται με φωτόνια



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

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



Όλα μαζί – η θεωρία μας για τα δομικά/βασικά συστατικά της ύλης και πώς αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους:

“Το Καθιερωμένο Πρότυπο”

Φερμιόνια

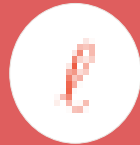
Σωματίδια ύλης

Κάθε κατηγορία σε 3 οικογένειες

6 Λεπτόνια

6 κουάρκ

$$\begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

Μποζόνια

Διαδότες/φορείς των δυνάμεων

3 δυνάμεις

Φωτόνιο

3 “Ασθενή” Μποζόνια (Weak Bosons)

8 Γκλουόνια

Ηλεκτρομαγνητική δύναμη



Ασθενής δύναμη

Ισχυρή δύναμη

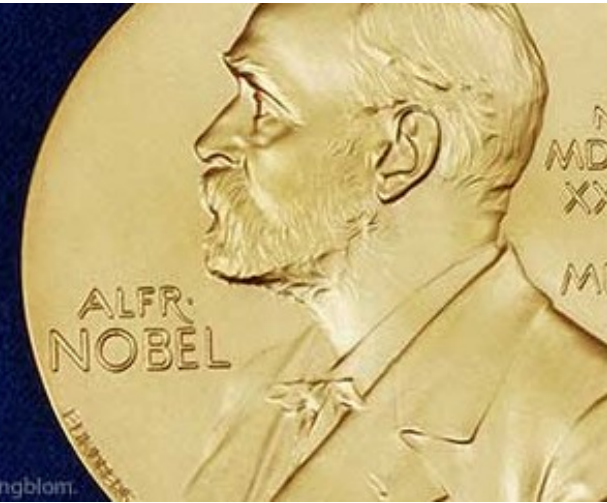
Μποζόνιο Higgs (BEH)



“Σπάει” την Ηλεκτρασθενή Συμμετρία
Δίνει μάζα στα **στοιχειώδη σωματίδια**

2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert
Peter W. Higgs



© The Nobel Foundation, Photo: Lovisa Engblom.

8 Οκτωβρίου 2013

Η Βασιλική Σουηδική Ακαδημία Επιστημών αποφάσισε να απονείμει το βραβείο Nobel Φυσικής του 2013 στους

François Englert and Peter Higgs

“για τη θεωρητική ανακάλυψη ενός μηχανισμού που συνεισφέρει στην κατανόηση της μάζας των υποατομικών σωματιδίων, και ο οποίος μηχανισμός επιβεβαιώθηκε πρόσφατα μέσω της ανακάλυψης του προβλεπόμενου θεμελιώδους σωματιδίου από τα πειράματα ATLAS και CMS στον Μεγάλο Συγκρουστήρα Αδρονίων του CERN.”



Peter
Higgs

Francois
Englert

Ως φυσικοί θέλουμε να μελετήσουμε τον κόσμο και να βρούμε τους νόμους που τον διέπουν

- **Θεωρίες : Μαθηματικά Μοντέλα της πραγματικότητας**
 - Η **Κβαντομηχανική** είναι η βάση της περιγραφής όλων των φαινομένων του υλικού κόσμου γύρω μας, ιδιαίτερα των μικρότερων και στοιχειωδέστερων συστατικών του.
 - Οι γνωστοί νόμοι της κλασικής φυσικής πχ η Μηχανική, ο Ηλεκτρομαγνητισμός, η Θερμοδυναμική, αναδύονται ως το κλασικό όριο των θεμελιωδών κβαντικών νόμων.
 - Παραδοσιακά, οι τομείς εφαρμογής της Κβαντικής Φυσικής είναι η Ατομική και Πυρηνική Φυσική, και η Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων.
 - Τις τελευταίες όμως δεκαετίες, η Κβαντική Φυσική έχει διευρύνει τους τομείς εφαρμογής της σε όλη την Φυσική, και αλλού (πχ Κβαντική Βιολογία, Κβαντικοί Υπολογιστές)

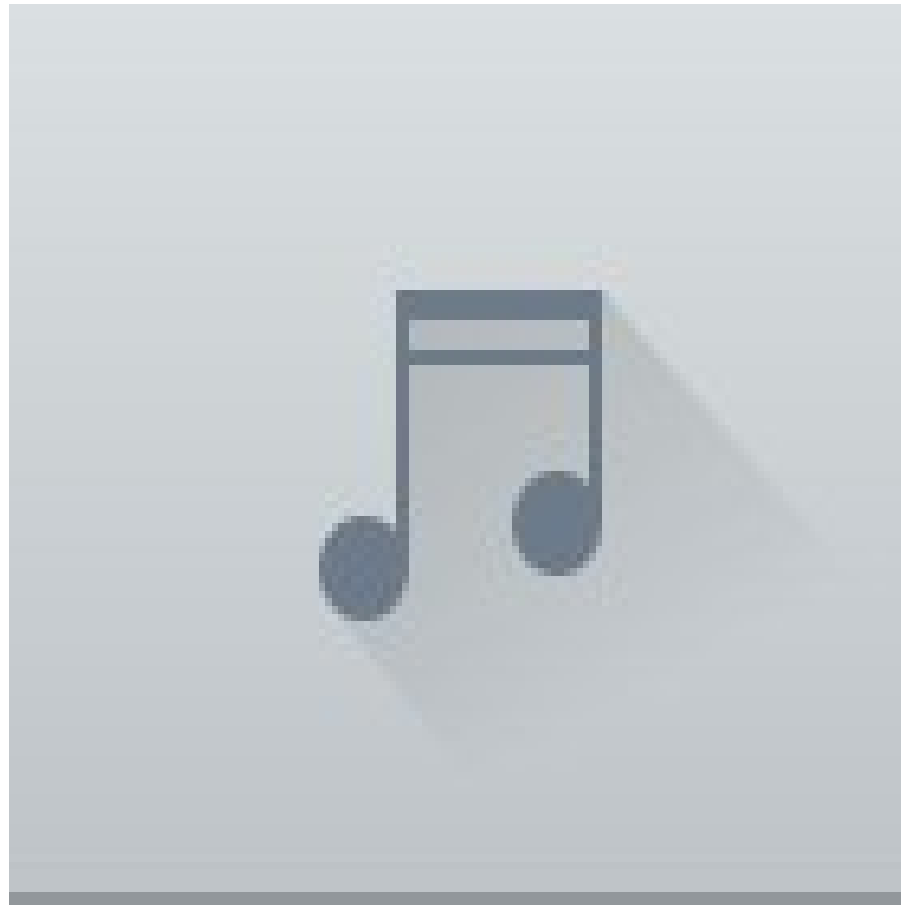
Ως φυσικοί θέλουμε να μελετήσουμε τον κόσμο και να βρούμε τους νόμους που τον διέπουν

- **Πειράματα:** διεξάγονται “στο εργαστήριο”:
 - Το σύμπαν – παρατήρηση:
 - Ακτινοβολίας που εκπέμπουν οι αστέρες
 - κοσμικής ακτινοβολίας που προσκρούει στη Γή
 - Ανθρώπινα εργαστήρια:
 - πηγές ακτινοβολίας – ραδιενεργά υλικά
 - πυρηνικοί αντιδραστήρες
 - επιταχυντές σωματιδίων
 - όπου μπορούμε να αναπαράγουμε συνθήκες του σύμπαντος λίγο μετά τη γέννησή του
 - και μπορούμε να κατασκευάσουμε νέους πυρήνες και σωματίδια που δεν υπάρχουν γύρω μας
 - Με ειδικά όργανα - ανιχνευτικές διατάξεις
 - Και ανάλυση των πειραματικών δεδομένων με στατιστικές μεθόδους

3. Πώς παράγουμε σωματίδια;
Επιταχυντές ως μικροσκόπια
και ως... τηλεσκόπια.
Η σχέση τους με τη
“Μεγάλη Έκρηξη” (Big Bang)

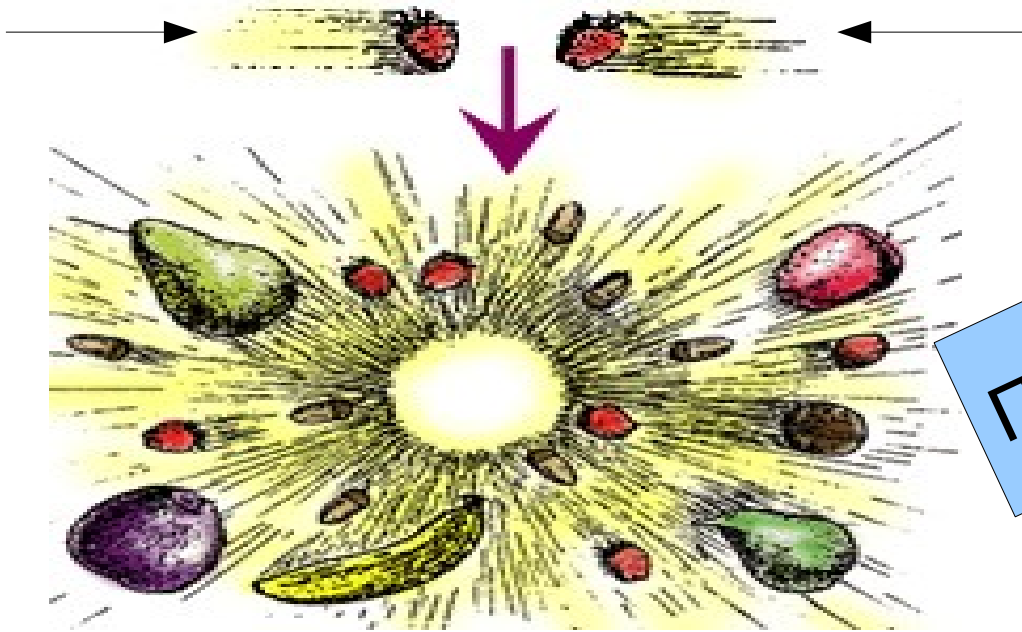
Μια εικόνα είναι 1000 λέξεις:

./LHC-event.mov



Πώς παράγουμε σωματίδια; Στην πράξη η σκέδαση είναι κάπως έτσι:

- Πειράματα σκέδασης - συγκρούσεις σωματιδίων



Παράγονται "νέα" σωματίδια!

$$E = mc^2$$

ενέργεια

μάζα

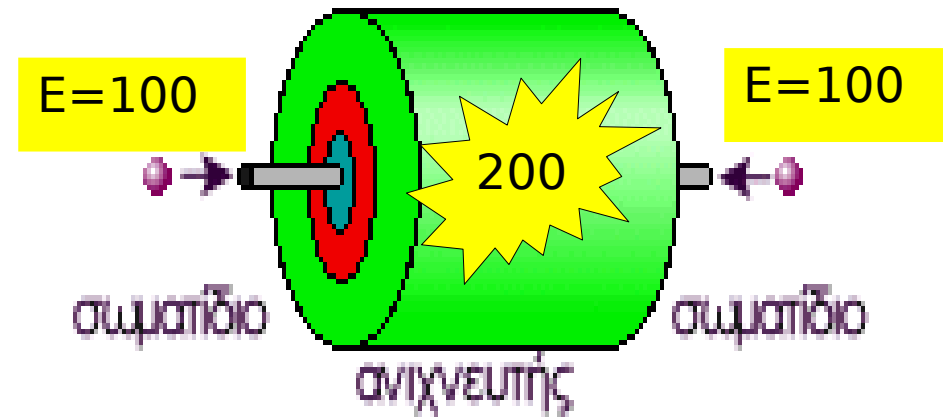
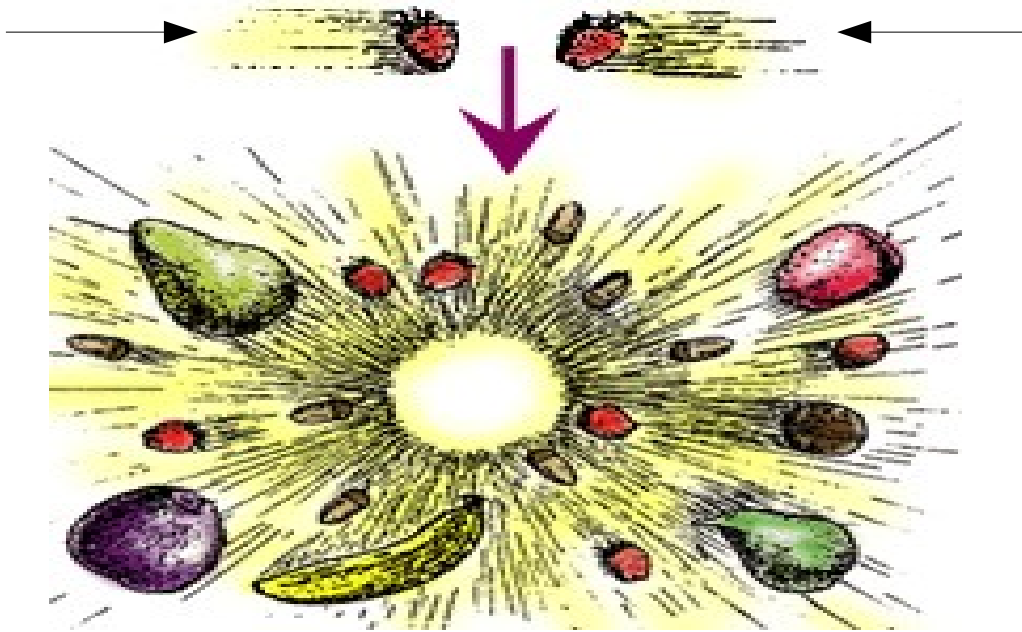
c = ταχύτητα του φωτός



Η μάζα είναι μια μορφή ενέργειας

Παράγουμε και ανιχνεύουμε σωματίδια

- Πειράματα σκέδασης - συγκρούσεις σωματιδίων



$$E = mc^2$$

ενέργεια μάζα

c = ταχύτητα του φωτός



Η μάζα είναι μια μορφή ενέργειας

Επιταχυντές – σημαντικό εργαλείο έρευνας

- Οι μεγάλες ενέργειες συγκρούσεων επιτρέπουν:

μικροσκοπία

- Να κοιτάμε όλο και πιο βαθιά στην ύλη
 - Μεγάλη Ενέργεια → μικρό μήκος κύματος (ορμή)

$$\lambda = h/p$$



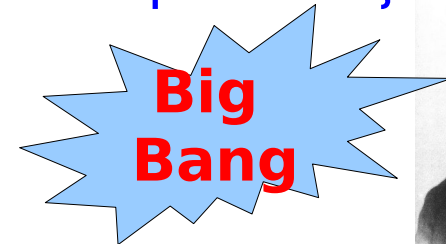
De Broglie (1924)

τηλεσκοπία

- Να ανακαλύπτουμε βαρύτερα σωματίδια
 - Η μάζα είναι μιά μορφή ενέργειας $E = mc^2$
- Να μελετάμε συνθήκες σαν του πρώιμου σύμπαντος
 - Πολύ Ενέργεια σε μικρό χώρο
→ μεγάλες θερμοκρασίες $E = k T$



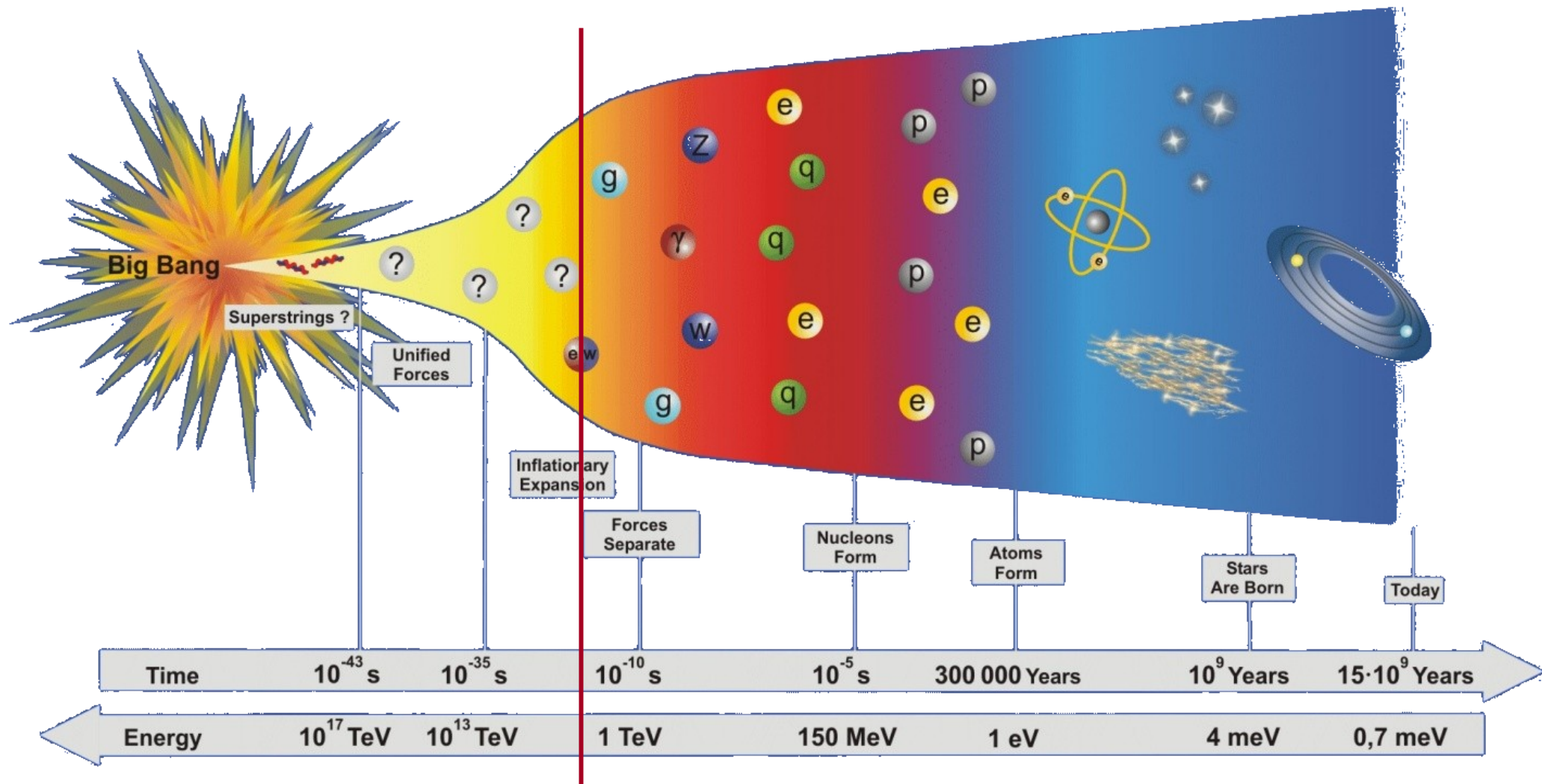
Einstein (1905)



Boltzman (~1900)

Μελετάμε φαινόμενα και σωματίδια που δεν είναι πιά “ορατά” ή υπαρκτά στον σύμπαν

Ταξίδι σε συνθήκες πρώιμου σύμπαντος



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

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

Η Ιστορία του Σύμπαντος

Το LHC αντιστοιχεί
στις συνθήκες εδώ

BIG BANG

Inflation

possible dark matter relicts

cosmic microwave radiation visible

Δεν έχουμε
φώς από την εποχή
αυτή → επιταχυντές!

Key:

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

Έχουμε
φώς από τότε και μετά: τηλεσκόπια

14/02/2015

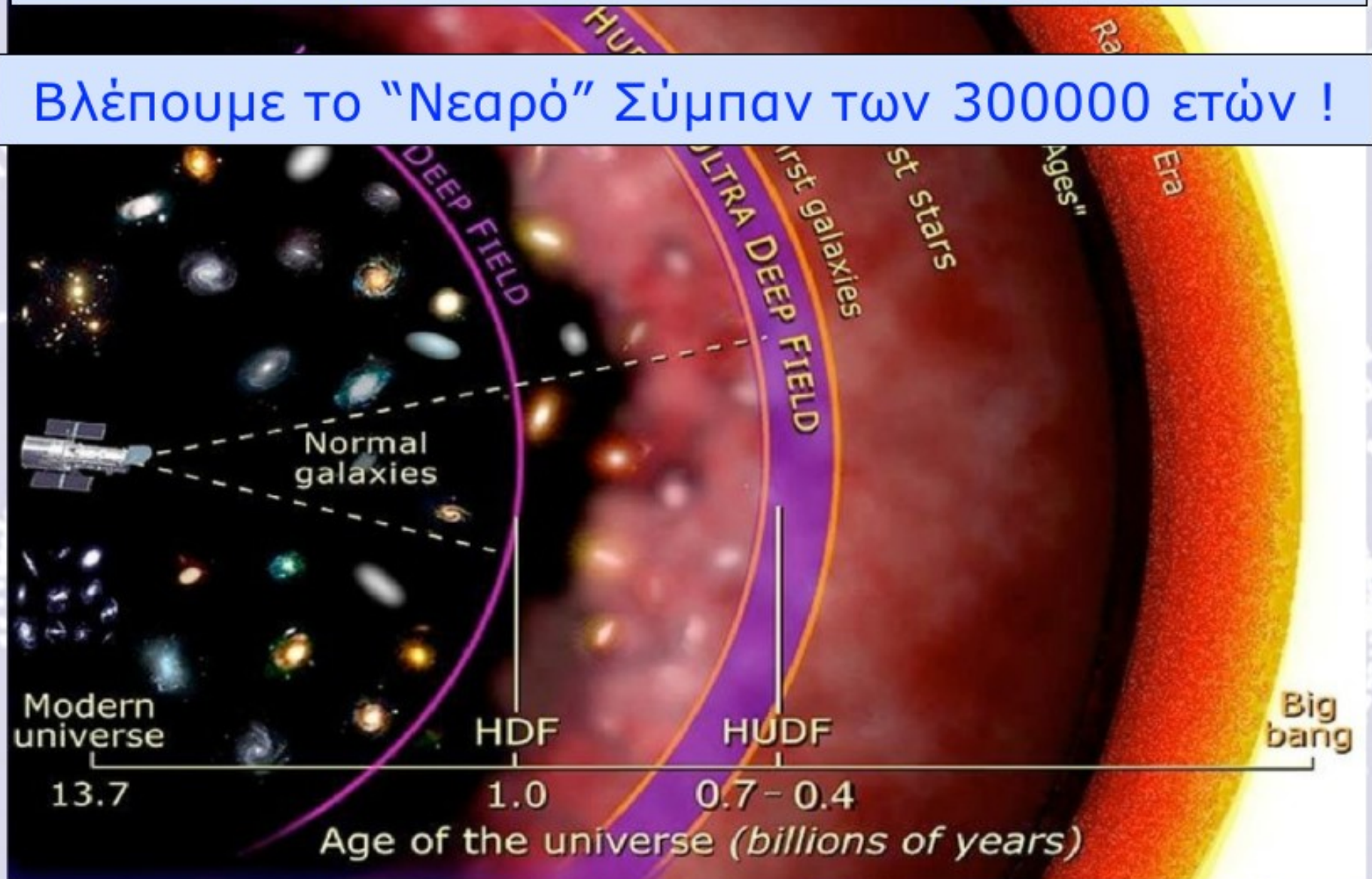
Δ. Σάμψωνίδης - Τα μεγάλα Πειράματα στο CERN

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

Το σύμπαν $>300k$ ετών το παρατηρούμε με τηλεσκόπια

Την Ιστορία του Σύμπαντος την "Διαβάζουμε" με τα Τηλεσκόπια και τα Διαστημόπλοια

Βλέπουμε το "Νεαρό" Σύμπαν των 300000 ετών !



4. Βασική έρευνα και εφαρμογές στην Πυρηνική φυσική και τα Στοιχειώδη Σωματίδια

Βασική έρευνα και εφαρμογές

- Από τι είναι φτιαγμένος ο κόσμος και με ποιές δυνάμεις αλληλεπιδρούν τα συστατικά του;
- Ανακάλυψη / κατασκευή νέων πυρήνων και νέων σωματιδίων στο εργαστήριο
- Μελέτη του τρόπου δημιουργίας των πυρήνων κατανόηση της πυρηνινোসύνθεσης στα άστρα
- Πλάσμα (“σούπα”) από τα συστατικά των πυρήνων
- Σχάση και σύντηξη πυρήνων – εφαρμογές στην παραγωγή ενέργειας
- Ανίχνευση ακτονοβολίας, κατασκευή ραδιοϊσοτόπων, μαγνητικός συντονισμός, κλπ - εφαρμογές στην ιατρική.
- Ραδιενέργεια περιβάλλοντος - ραδιοχρονολόγηση κλπ
- κλπ, κλπ...

Στα εργαστήρια φέτος θα δείτε φανταστικά πράγματα

- Εργαστήριο Ατομικής , 5ου εξαμήνου:

- Πώς μπορείς “να παράγεις” ηλεκτρόνια,
- πώς τα “βλέπεις” = “ανιχνεύεις”,
- Πώς τα χρησιμοποιείς για να “δείς” χαρακτηριστικά της ύλης
- Πώς ξέρουμε ότι τα άτομα έχουν καθορισμένες ενεργειακές στάθμες,
- Μέτρηση της σταθεράς του Planck, κλπ

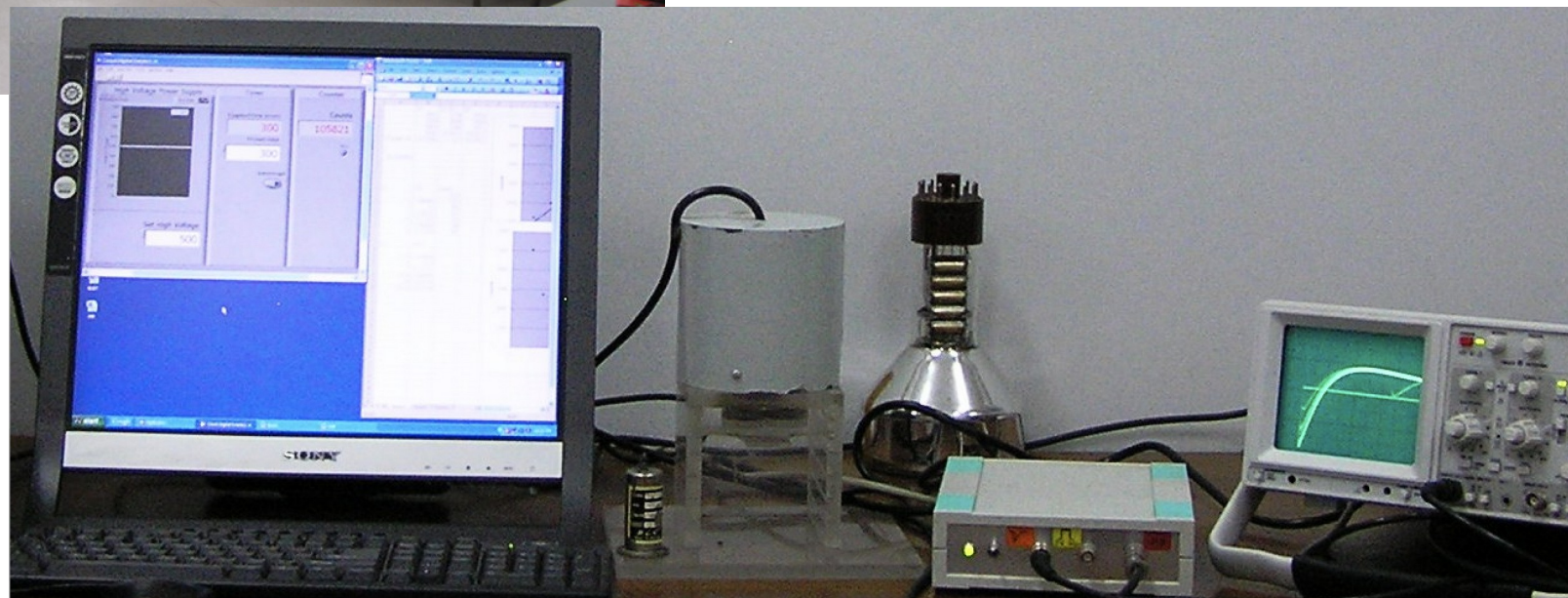
- Εργαστήριο Πυρηνικής, 6ου εξαμήνου:

- Πώς ανιχνεύεις ακτινοβολία από τους πυρήνες και τι μαθαίνεις απ' αυτήν για τους πυρήνες;
 - Απαρίθμηση, ένα-ένα σωματίο που εκπέμπεται
 - Μέτρηση της ενέργειας ενός ηλεκτρονίου ή φωτονίου
 - Χαρακτηριστικά των ανιχνευτικών διατάξεων, κλπ

Εργαστήριο Πυρηνικής Φυσικής (6ο εξ.)



Ανιχνευτές αερίου γεμίσματος
Geiger-Muller



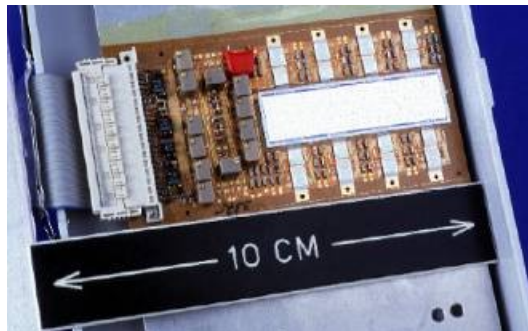
Εργαστήριο Πυρηνικής Φυσικής (6ο εξ.)



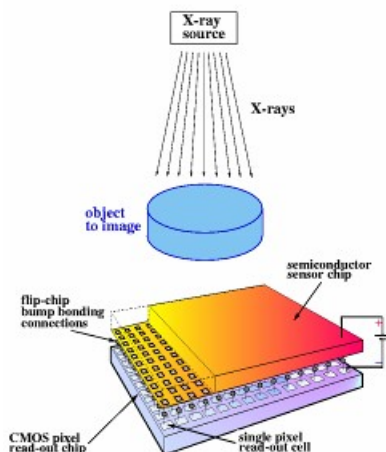
Σpektροσκοπία ακτίνων γάμμα



Βέβαια, για να κάνουμε την έρευνά μας ωθούμε την τεχνολογία κι έτσι αναπτύσσουμε και μεταφέρουμε τεχνολογίες αιχμής που βελτιώνουν τη ζωή μας



Silicon detector for a Compton camera in nuclear medical imaging

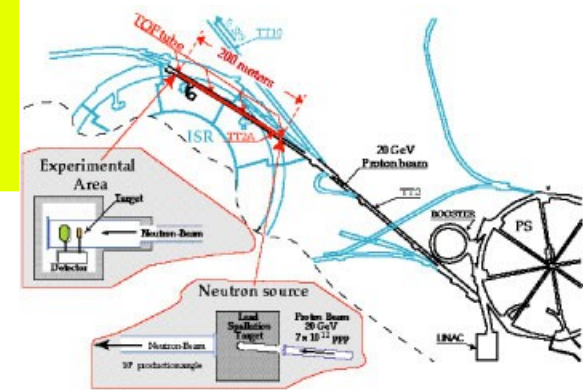


Medipix: Medical X-ray diagnosis with contrast enhancement and dose reduction

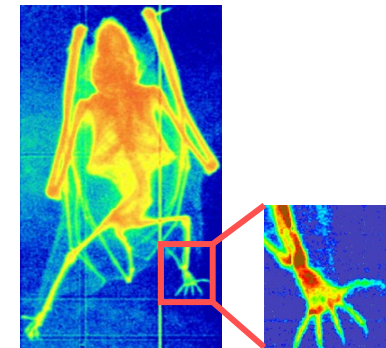
π.χ., διαγνωστικές μέθοδοι στις επιστήμες υγείας



Thin films by sputtering or evaporation



Radio-isotope production for medical applications



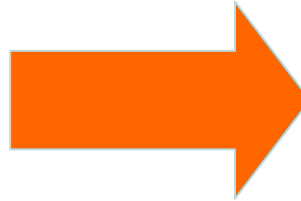
Radiography of a bat, recorded with a GEM detector

Το τεράστιο κέρδος από τη **βασική έρευνα**
όμως είναι ότι μόνο αυτή οδηγεί σε
δραστικές αλλαγές!

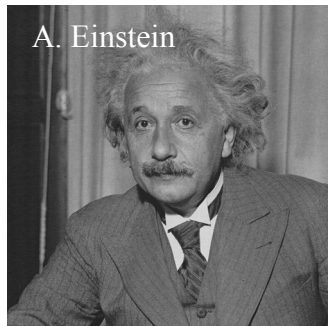
Αλλιώς απλά βελτιώνεις τα ίδια και ποτέ δεν **καινοτομείς**



Αλλαγή παραδείγματος!



Η βασική έρευνα ήταν πάντα η κινητήριος δύναμη των εφευρέσεων



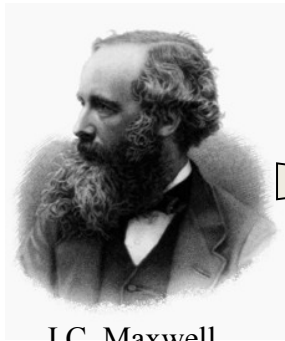
A. Einstein

Σχετικότητα

100%
ΕΠΙΣΤΗΜΗ



Για να δουλέψει το GPS πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η διόρθωση από τη διαστολή χρόνου, Αλλιώς μετά από 5 λεπτά στο αυτοκίνητο, θα είχαμε απόκλιση 10 μέτρων



J.C. Maxwell

Ηλεκτρομαγνητισμός

100%
ΕΠΙΣΤΗΜΗ



Τα τηλέφωνα επικοινωνούν με ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Επιταχυντές : αναπτύχθηκαν στα εργαστήρια φυσικής και τώρα πιά χρησιμοποιούνται στα νοσοκομεία



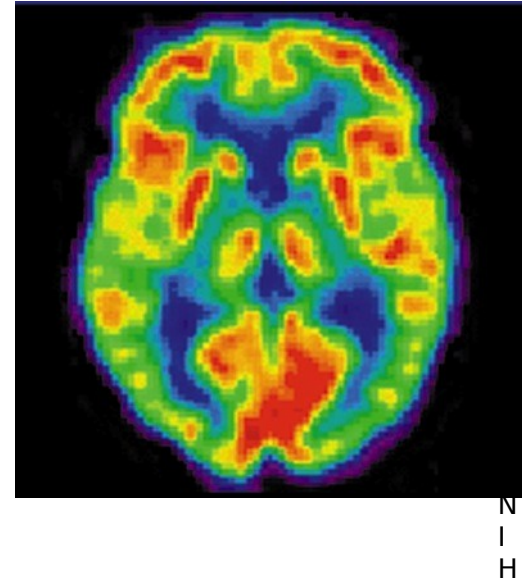
Από τους 17000+ περίπου
επιταχυντές που λειτουργούν
σήμερα στον κόσμο, πάνω από
τους μισούς (> 9000+)
χρησιμοποιούνται στην ιατρική!

Μια μέθοδος που έχει ανάπτυξη
σχετικά πρόσφατα είναι η
θεραπεία όγκων με δέσμες
πρωτονίων και άλλων “αδρονίων”

Ανιχνευτές: αναπτύχθηκαν στα εργαστήρια φυσικής χρησιμοποιούνται και στην απεικόνιση στην ιατρική



Π.χ., η Τομογραφία Εκπομπής
Ποζιτρονίου (PET = Positron Emission
Tomography) χρησιμοποιεί αντι-ύλη
(ποζιτρόνια = αντι ηλεκτρόνια)



Βασική έρευνα → φέρνει σημαντικές αλλαγές στη θεώρηση του κόσμου

- **Το κυρίως κίνητρο:** κάνουμε βασική έρευνα για να καταλάβουμε αυτό “τον κόσμο τον μικρό, τον μέγα”
- **Η παρατήρηση του κόσμου με διάφορα μέσα, αλλάζει τον τρόπο που σκεπτόμαστε.** Π.χ:
 - Η κατάρριψη του γεωκεντρικού μοντέλου του κόσμου.
 - Η σχετικότητα του χρόνου.
 - Η αντικατάσταση της βεβαιότητας με την πιθανότητα.



Ποιοί είμαστε

- **Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Φυσικής Στοιχειώδων Σωματιδίων**
 - **Εργαστήριο** Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής
 - **Εργαστήριο** Επιταχυντικών Συστημάτων και Οργανολογικών Εφαρμογών
 - **Σπουδαστήριο** Θεωρητικής Φυσικής

Εργαστήριο Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής

Εργαστήριο Επιταχυντικών Συστημάτων & Οργανολογικών Εφαρμογών



ΤΖΑΜΑΡΙΑΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

Καθηγητής

**Διευθυντής
του
Εργαστηρίου Ατομ&ΠυρΦυσ**



ΛΙΟΛΙΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

Καθηγητής



ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Καθηγητής



ΣΑΒΒΙΔΗΣ ΗΛΙΑΣ

Καθηγητής



ΚΙΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Καθηγητής

Εργαστήριο Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής Εργαστήριο Επιταχυντικών Συστημάτων & Οργανολογικών Εφαρμογών



ΣΑΜΨΩΝΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Καθηγητής

Διευθυντής
του
Εργαστηρίου Επιταχ&Οργαν



ΣΤΟΥΛΟΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

Καθηγητής



ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

Αναπληρωτής Καθηγητής



ΚΟΡΔΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής

Σπουδαστήριο Θεωρητικής Φυσικής



ΠΕΤΚΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

Καθηγητής

Διευθυντής
του
Σπουδαστηρίου



ΛΑΛΑΖΗΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Καθηγητής



ΓΑΙΤΑΝΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής



ΜΟΥΣΤΑΚΙΔΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής



ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΚΟΣΜΑΣ

ΕΔΙΠ

Ερευνητικά Αντικείμενα

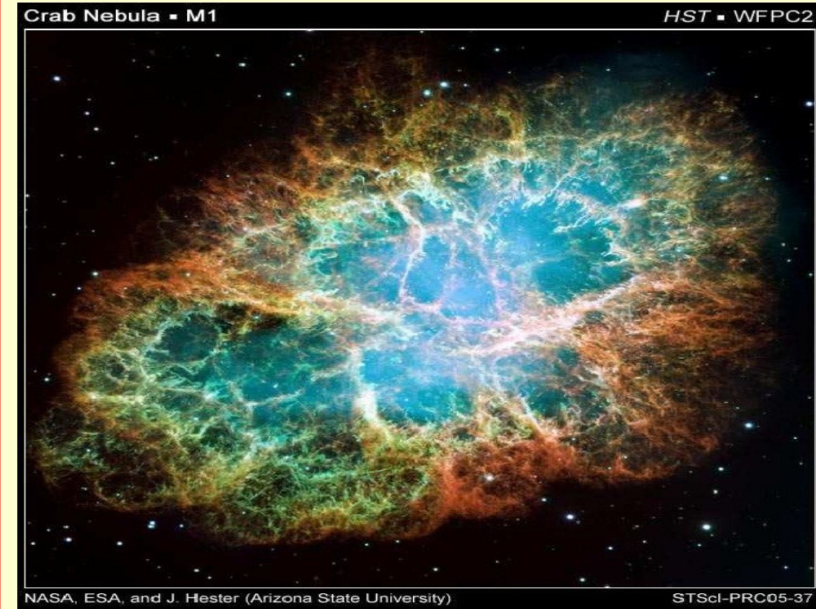
- **Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Φυσικής Στοιχειώδων Σωματιδίων**
 - **Εργαστήριο** Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής
 - **Εργαστήριο** Επιταχυντικών Συστημάτων και Οργανολογικών Εφαρμογών
 - **Σπουδαστήριο** Θεωρητικής Φυσικής

Σπουδαστήριο

- Η Σύγχρονη Θεωρητική Φυσική έχει επεκτείνει το πεδίο ερευνητικής δραστηριότητας της σε όλους τους Τομείς της Φυσικής, από τα μικρότερα στοιχειώδη συστατικά της, τους πυρήνες, τα άτομα και τα στερεά, μέχρι την αστροφυσική και την κοσμολογία.
- Σχέση της Κβαντικής Φυσικής με την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας και την Βαρύτητα:
 - Τα τελευταία χρόνια μετά την ανάδυση της Θεωρίας Χορδών και της Ολογραφίας, έγινε σαφές ότι ακόμη και η Βαρύτητα είναι μια κατά βάση Κβαντική Θεωρία όταν την εξετάζουμε πχ σε πολύ μεγάλες καμπυλότητες κοντά σε μελανές οπές, ή σε υψηλές ενέργειες όπως κοντά στο Big Bang.
 - Με αυτόν τον τρόπο, η Κοσμολογία και η μελέτη Αστροφυσικών Συστημάτων έγινε αντικείμενο μελέτης της Κβαντικής Φυσικής με πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα.

Καταστατική εξίσωση της πυρηνικής ύλης: Σχέση Ενέργειας (“Θερμοκρασία”) – Πυκνότητας

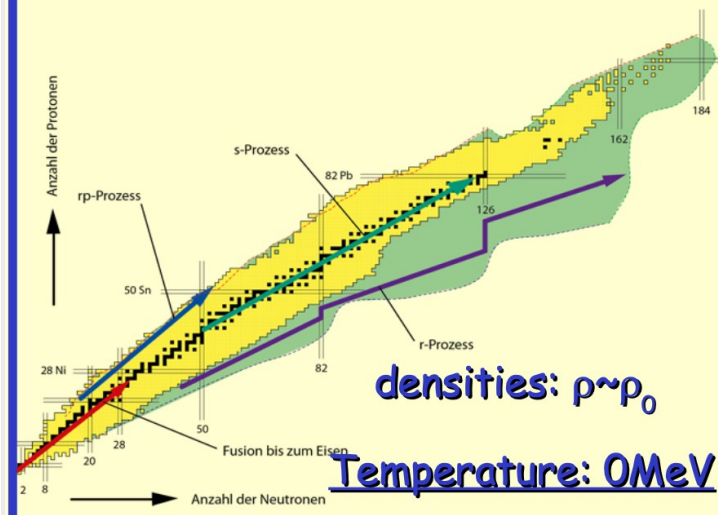
Neutron stars
(mass & radius)



densities: $\rho \sim (8-10)\rho_0$

Temperature: $\sim 0 \text{ MeV}$

finite nuclei

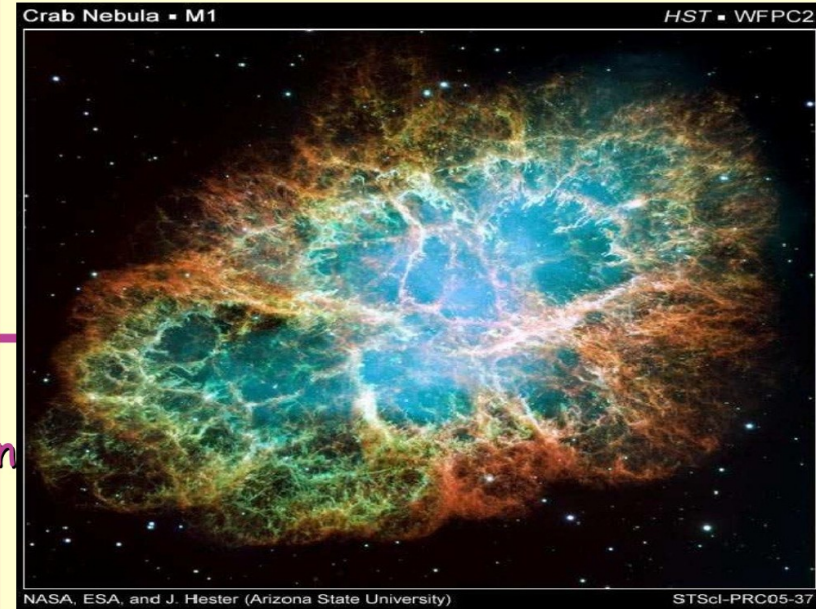


**Neutron Stars (NS) –
Αστέρες Νετρονίων:**
“κοσμικών διαστάσεων
πυρήνες” από $p, n, e, \dots$

το πυκνότερο υλικό (από
ορατή ύλη) στο σύμπαν:
1.5-2 x μάζα Ήλιου σε ακτίνα
10km

Καταστατική εξίσωση της πυρηνικής ύλης: Σχέση Ενέργειας (“Θερμοκρασία”) - Πυκνότητας

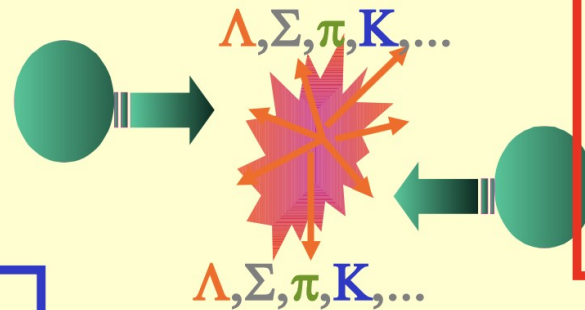
Neutron stars
(mass & radius)



densities: $\rho \sim (8-10)\rho_0$

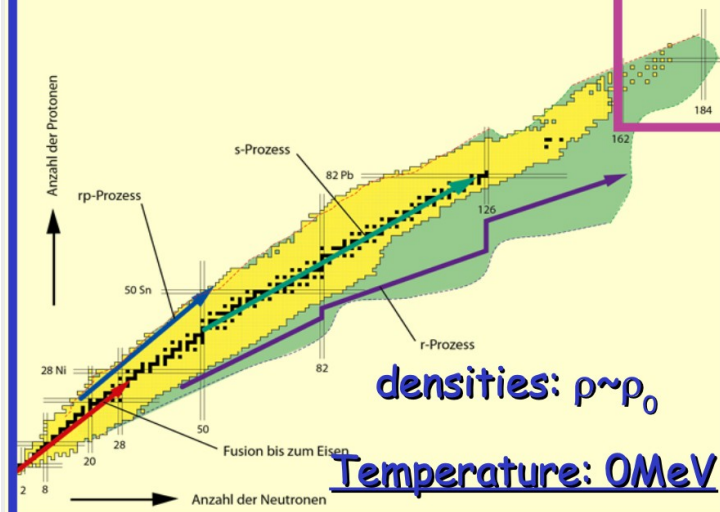
Temperature: ~ 0 MeV

Heavy-ion collisions
(collective flow, meson production)



densities: $\rho \sim 5\rho_0$
Temperature: 5-50 MeV

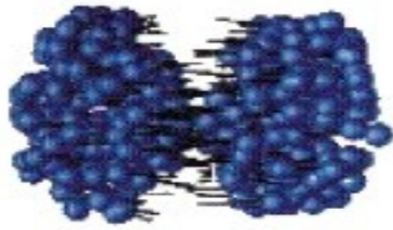
finite nuclei



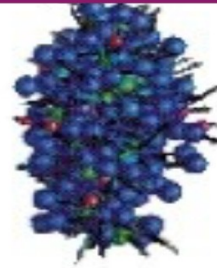
Συγκρούσεις βαρέων
ιόντων

Μεγάλη πυκνότητα και
θερμοκρασία
Παραγωγή σωματιδίων
με βαρύτερα κουάρκ

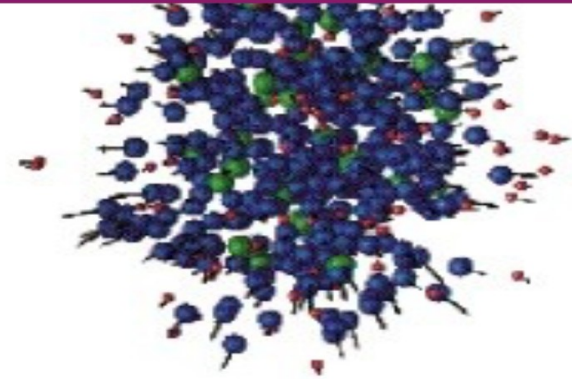
Cosmic matter in the Lab: Heavy-ion collisions



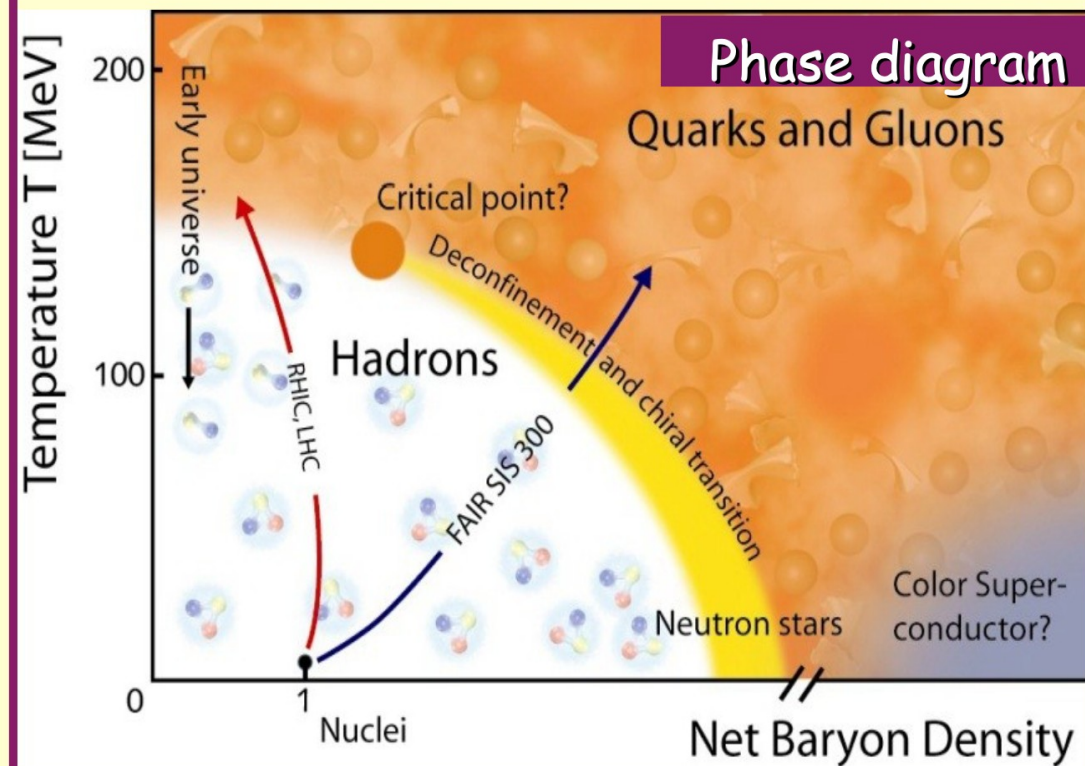
two colliding
nuclei



formation of highly
compressed and
heated collision zone
 $\tau = 10^{-23}$ s



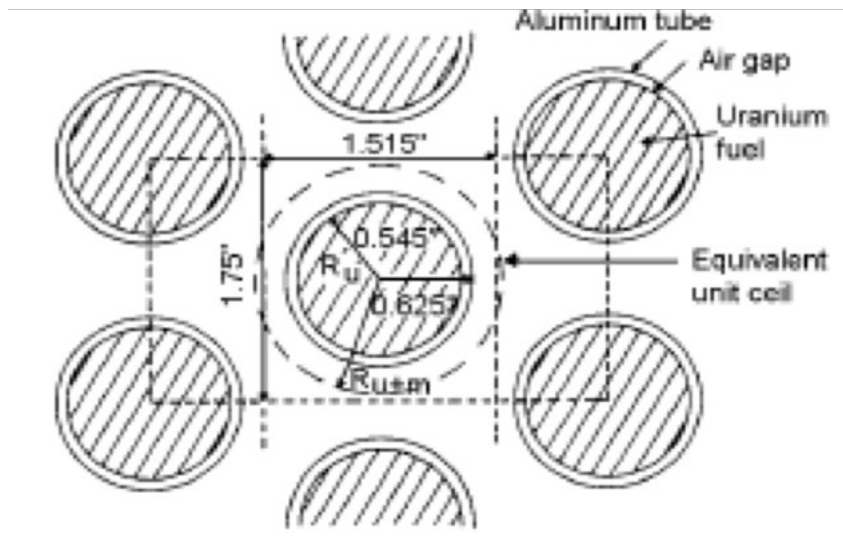
explosion of
collision zone



Το Εργαστήριο είναι υπό την εποτεία της Ελληνικής και της Διεθνούς Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΙΑΕΑ)



Υποκρίσιμος Πυρηνικής Αντιγραστήρας



Μέτρηση ενεργότητας δειγμάτων, δοσιμετρία, ραδιενέργεια περιβάλλοντος

Σύγκριση δειγμάτων και μέτρηση ενεργότητάς τους



PRESEPARATOR
10 micrometers and above

STAGE 0
9.0 – 10

STAGE 1
5.8 – 9.0

STAGE 2
4.7 – 5.8

pharynx

STAGE 3
3.3 – 4.7

trachea & primary
bronchi

STAGE 4
2.1 – 3.3

secondary
bronchi

STAGE 5
1.1 – 2.1

terminal
bronchi

STAGE 6
0.65 – 1.1

alveoli

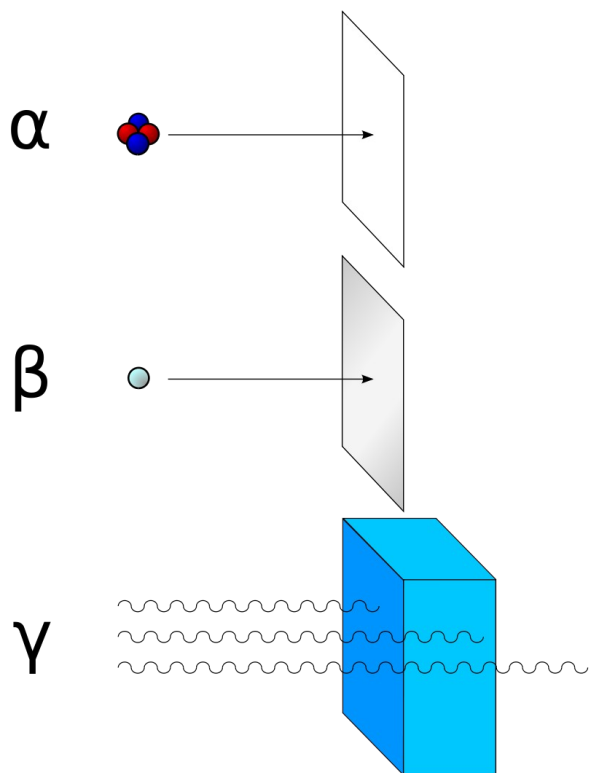
STAGE 7
0.43 – 0.65

alveoli

“Impactor”
για συγκράτηση
σωματιδίων σαν αυτά που
κρατάει το
αναπνευστικό μας

Πυρήνες και “Ραδιενέργεια”

- **Ραδιενέργεια:** το φαινόμενο της **εκπομπής σωματιδίων** (**α** : “**άλφα**” ή **β** : “**βήτα**”) ή **ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας** (**γ** : “**γάμμα**”) από **τους πυρήνες** ορισμένων χημικών στοιχείων, που γι' αυτό το λόγο ονομάζονται ραδιενεργά.



Ακτίνες α , β , γ ..:

- **σωματίδια α** (“**άλφα**” = πυρήνες He = 2 πρωτόνια και 2 νετρόνια)
- **σωματίδια β** (“**βήτα**” = ηλεκτρόνια)
- **σωματίδια γ** (“**γάμμα**” = ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία)

Μέτρηση ενεργότητας δειγμάτων, δοσιμετρία, ραδιενέργεια περιβάλλοντος

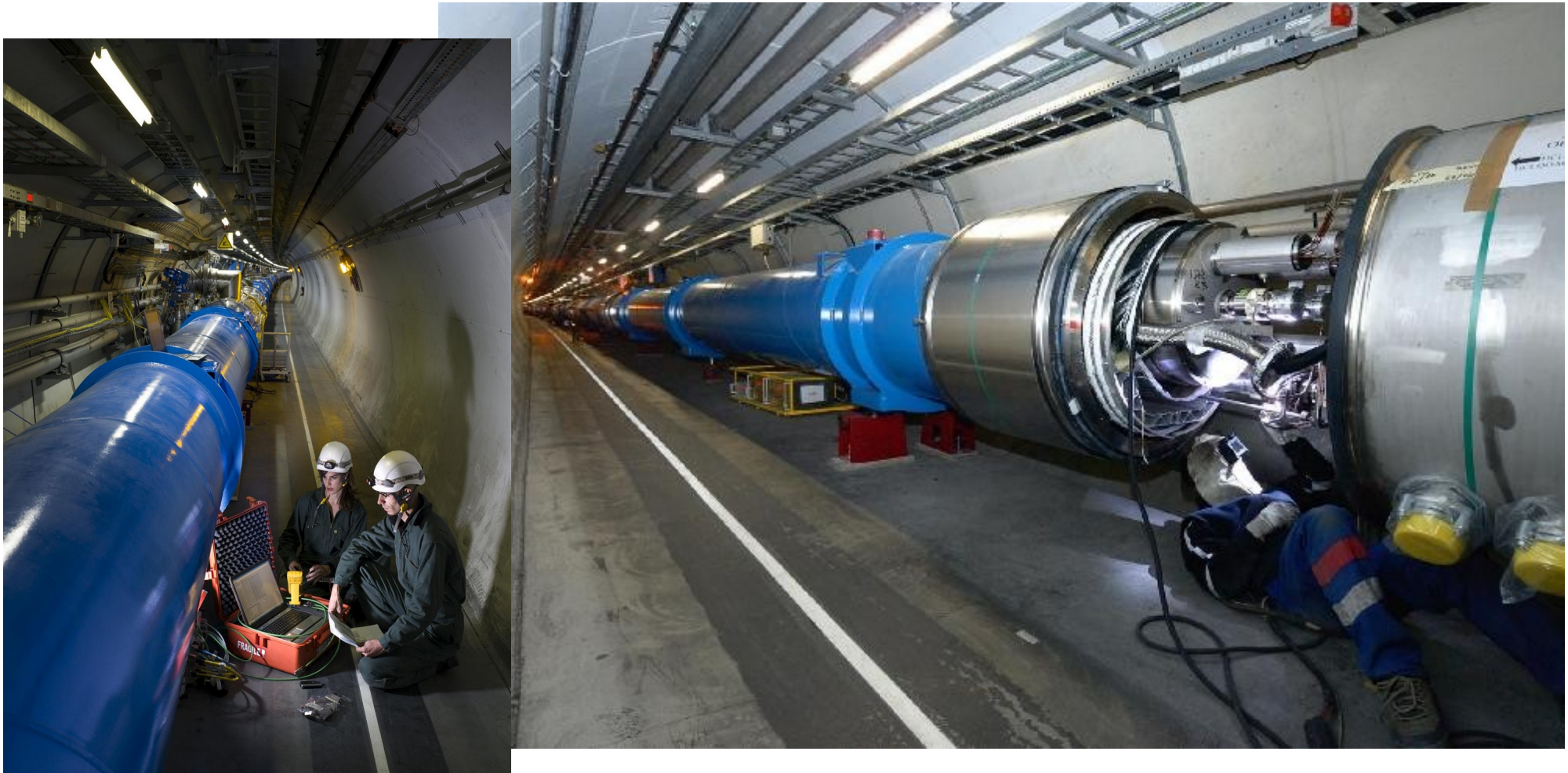
- Μετρήσεις της φυσικής ακτινοβολίας , από ιατρικές εφαρμογές, αλλά και από πυρηνικά ατυχήματα
 - Θερμικώς και Οπτικώς Προτρεπομένη Φωταύγεια
 - Δοσιμετρία Ιοντοντιζουσών ακτινοβολιών στην Ιατρική Φυσική (Ακτινογιάγνωση, ακτινοθεραπεία)
 - Δοσιμετρία Αποστείρωσης (Φαρμάκων, Προϊόντων)
 - Χρονολογήσεις αρχαίων κεραμικών και έλεγχοι αυθεντικότητας
 - Γεωλογικές Χρονολογήσεις
 - Δοσιμετρία Ατυχημάτων Ακτινοβολίας
 - Chernobyl,
 - Fukushima (1η δημοσίευση μετά το ατύχημα)
 - Φωτιές στο δάσος Chernobyl (Απρ. 2020, 1η)
 - Μεταστοιχείωση πυρηνικών καταλοίπων
 - Εύρεση ορφανών πηγών

Εργαστήριο – Αστροσωματιδιακή και Σωματιδιακή

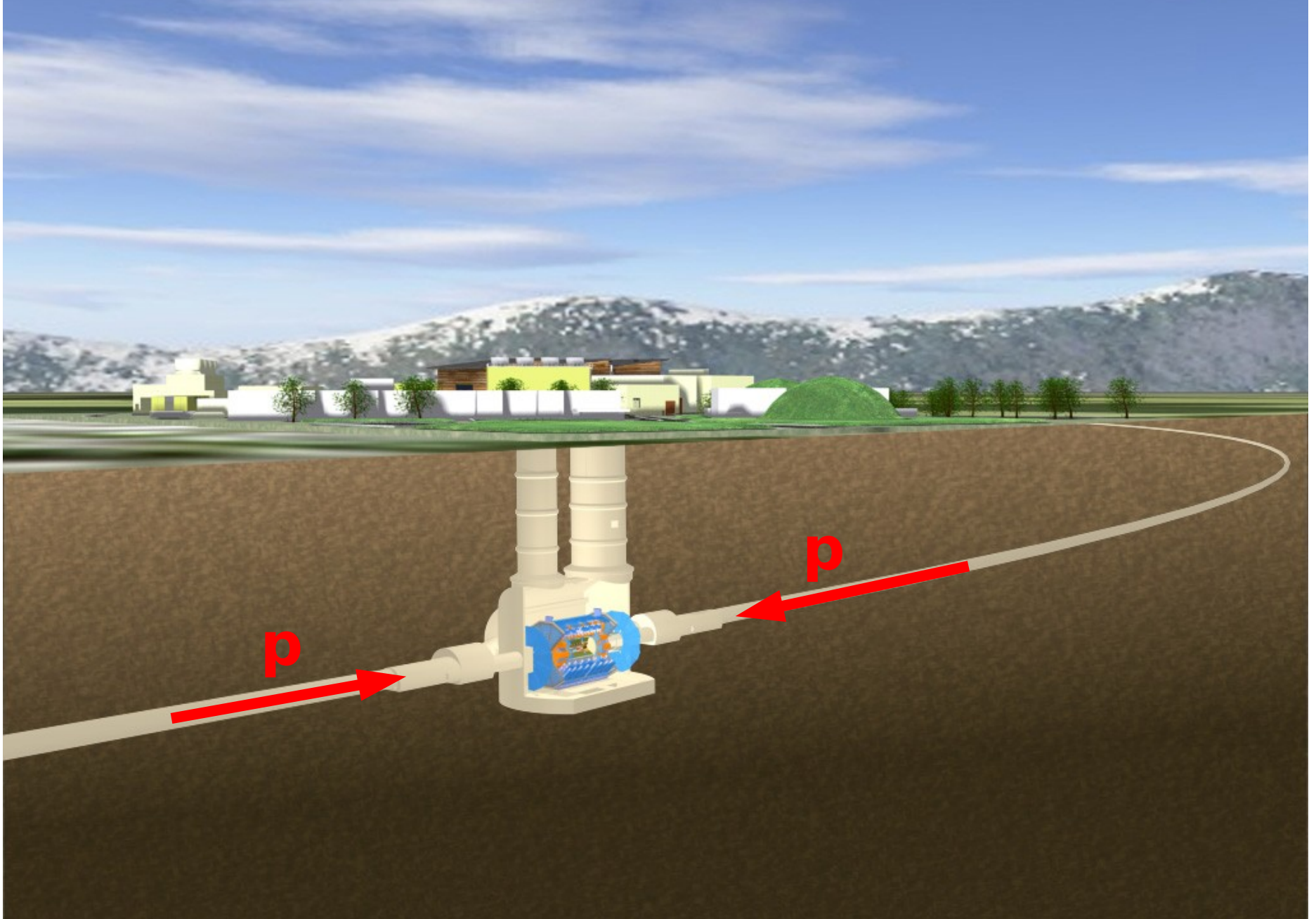
- Πείραμα ATLAS στο Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (LHC) στο CERN:
 - Κατασκευή ανιχνευτών στο εργαστήριό μας και εγκατάστασή τους στο πείραμα
 - Συλλογή δεδομένων από συγκρούσεις πρωτονίων
 - Ανάλυση δεδομένων από συγκρούσεις πρωτονίων
 - χρήση προχωρημένων στατιστικών μεθόδων
 - μετρήσεις παραμέτρων του Καθιερωμένου Προτύπου και αναζήτηση Νέας Φυσικής

Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων στο CERN

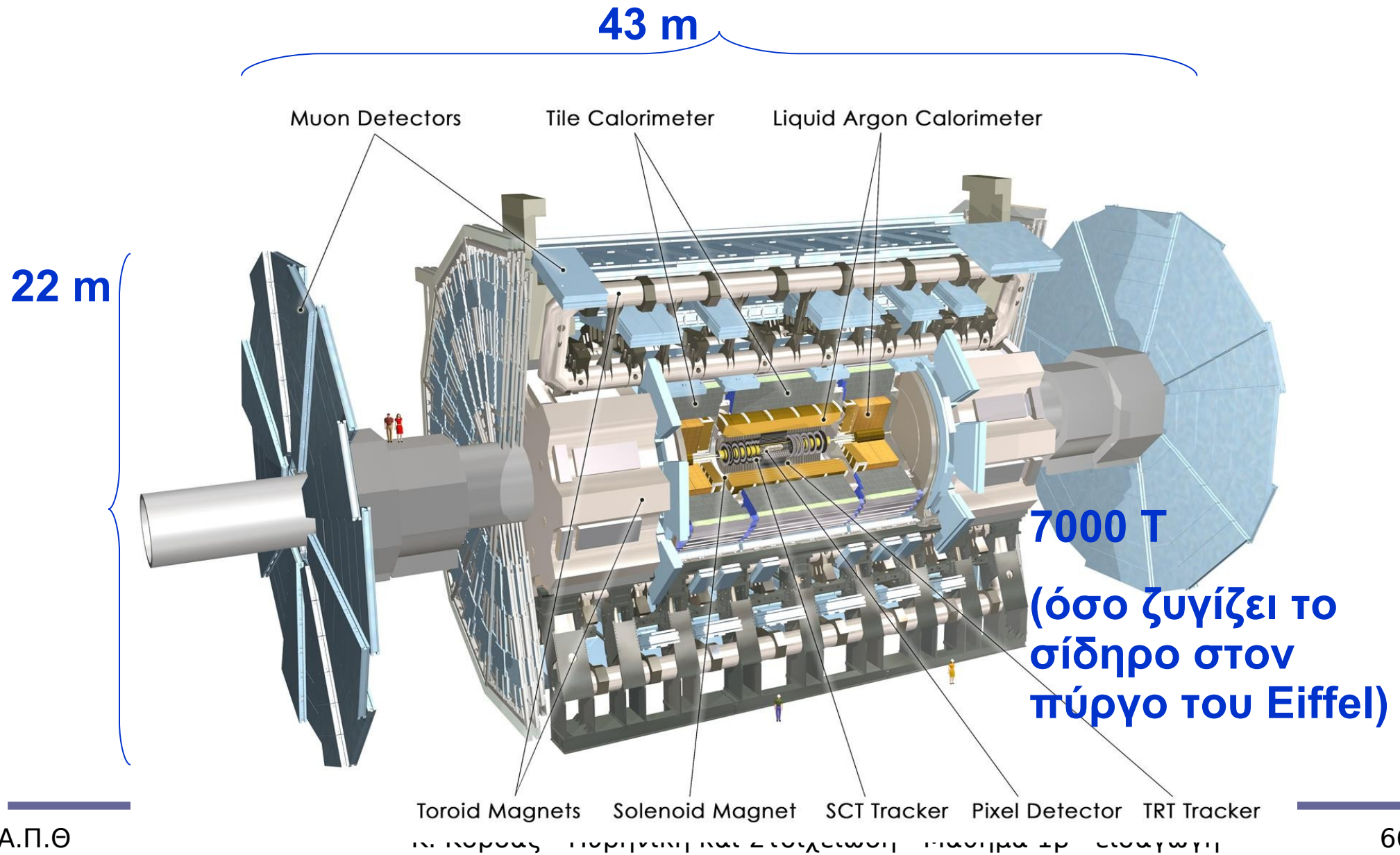
Από τις γρηγορότερες πίστες του πλανήτη, και απ'τα πιο άδεια και κρύα (**1.9 K = -271.1 C**) μέρη του σύμπαντος
→ κενό και θερμοκρασίες μέσα στους σωλήνες του επιταχυντή καλύτερα απ'του μεσοαστρικού χώρου!



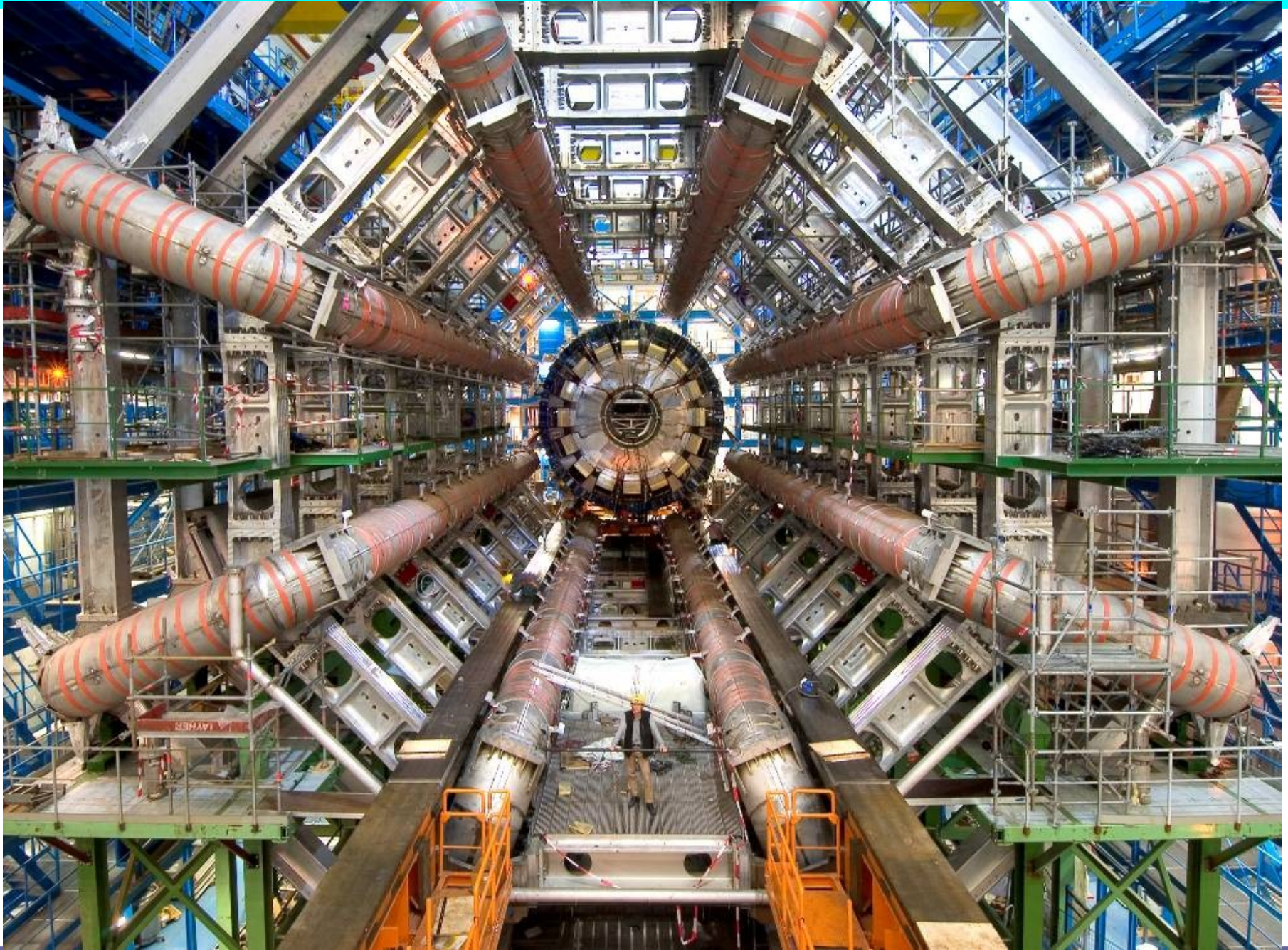
Το πείραμα ATLAS στο τούνελ του LHC



Χρειαζόμαστε ανιχνευτές για να μάθουμε τι παράχθηκε στις συγκρούσεις που παρέχει ο επιταχυντής



ATLAS

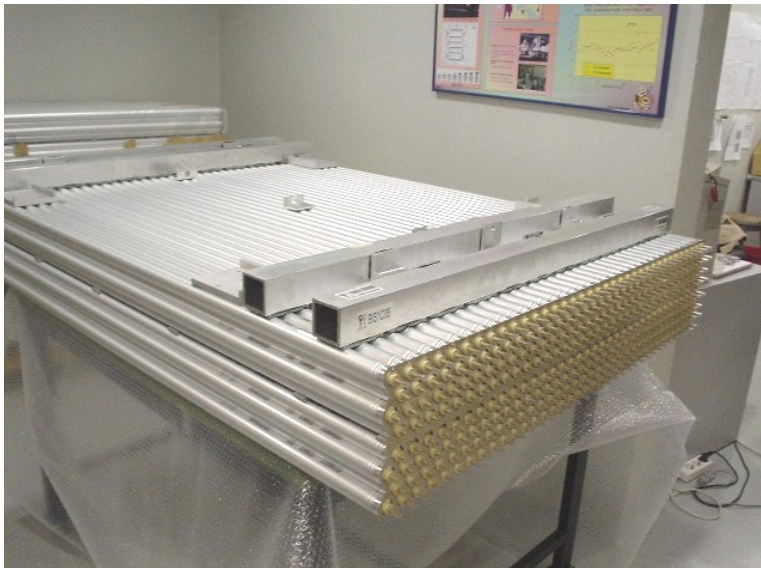
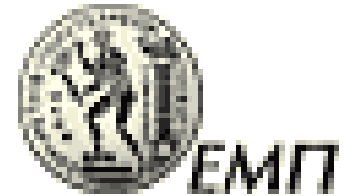


Ελληνική Συμμετοχή στο ATLAS



Συνεργασία τριών Πανεπιστημίων

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



- **Κατασκευή και έλεγχος 112 BIS chambers στην Ελλάδα (10% του Muon Tracking System)**

Το Α.Π.Θ στην κατασκευή του ATLAS

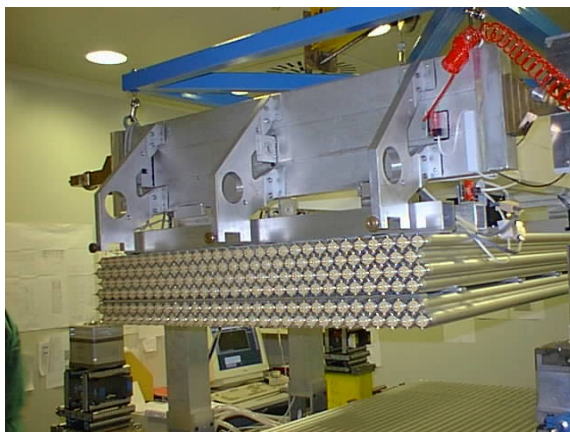


Τμ. Φυσικής,
Εργ. Πυρηνικής
κ. Πετρίδου

Τμ. Μηχανολόγων
Μηχ.
Εργ. Εργαλειομηχανων
κ. Μπουζάκης

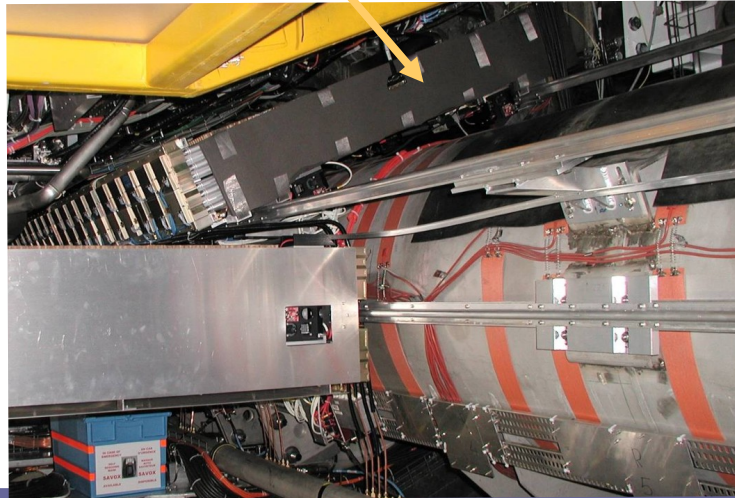
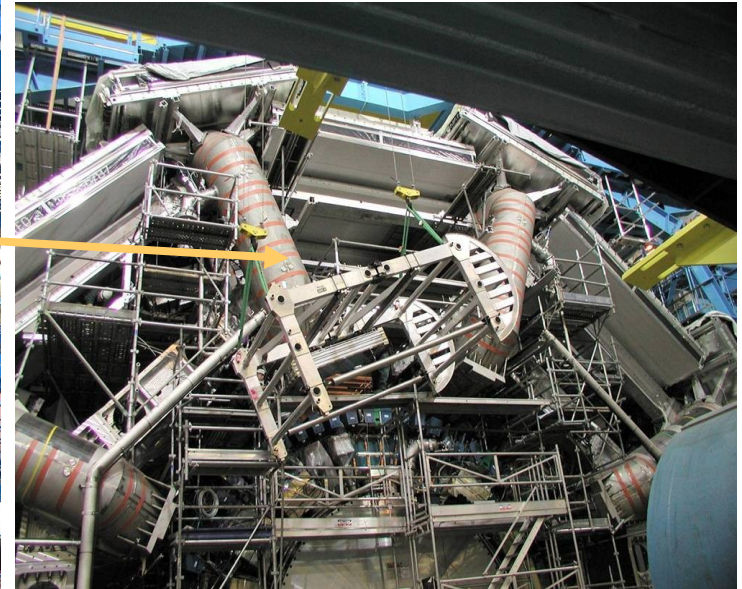
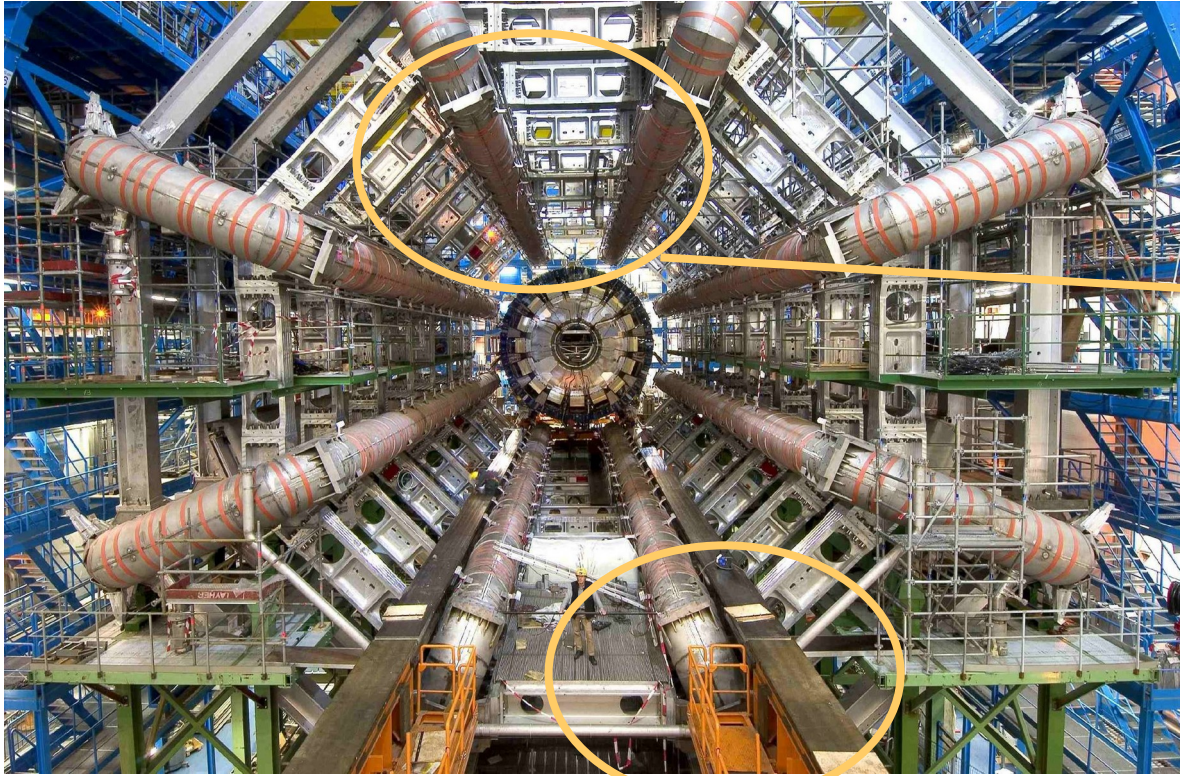
1998-2004 Κατασκευή των θαλάμων BIS

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



Θα δείτε
πρωτότυπους
τέτοιους
ανιχνευτές
στο εργαστήριο
Πυρηνικής
στο υπόγειο

Οι Ελληνικοί θάλαμοι στο ATLAS

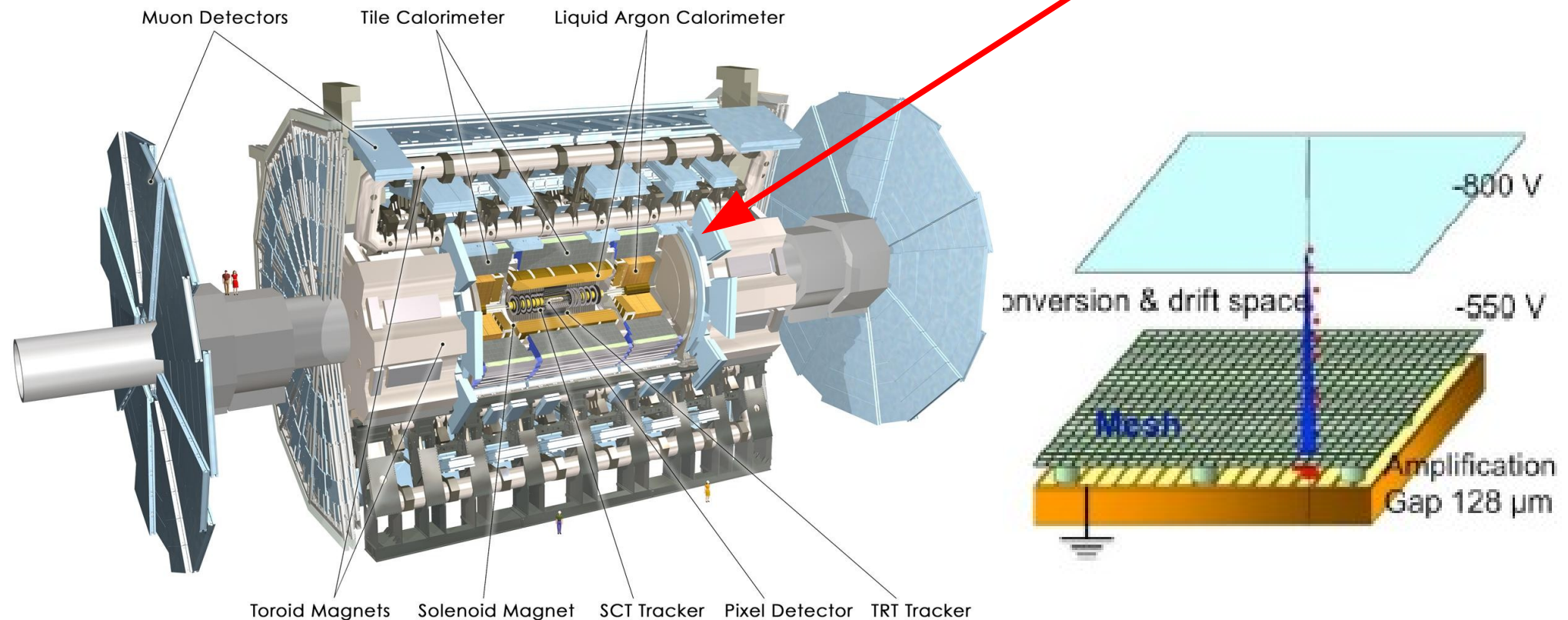


Οι Ελληνικοί θάλαμοι
μιονίων που
κατασκευάστηκαν στο
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θ/νίκης εγκαταστημένοι
στο πείραμα ATLAS

(συνεργασία με Μετσόβειο
και Καποδιστριακό)

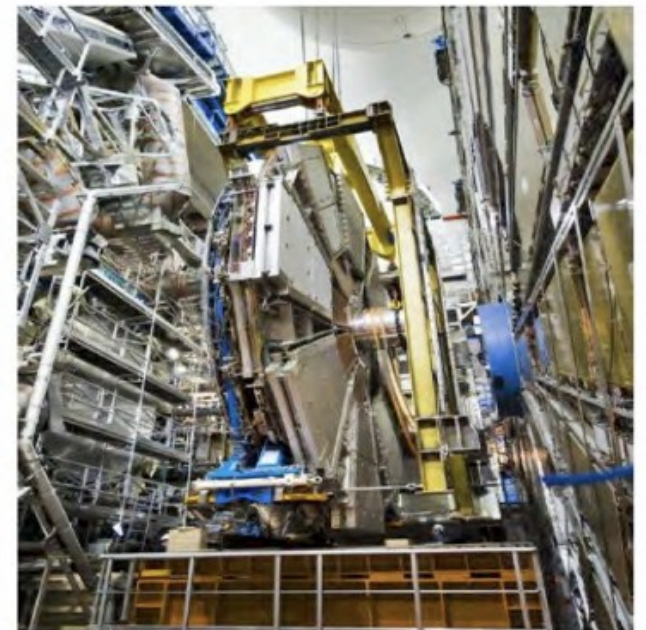
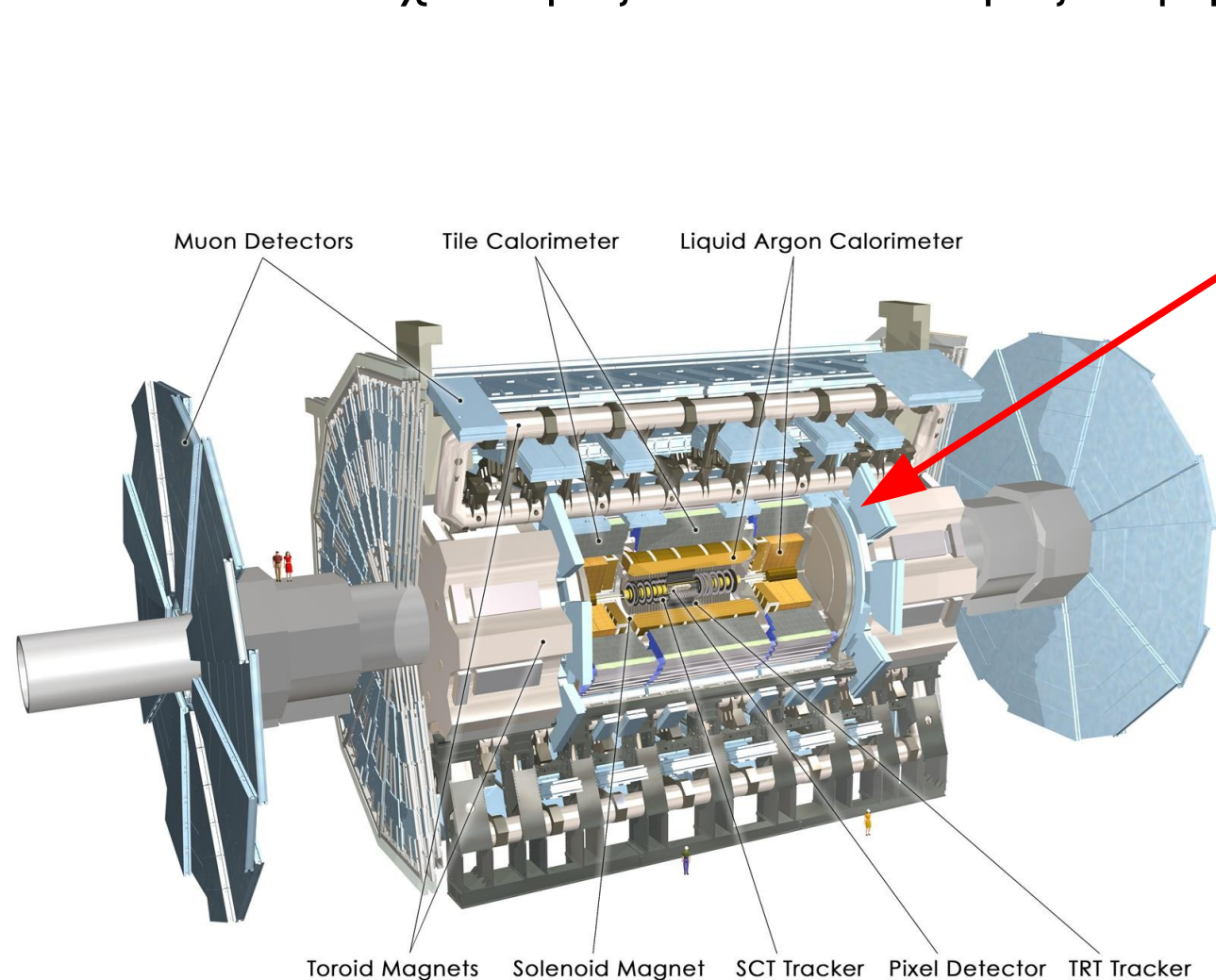
“New Small Wheel” για ανίχνευση μιονίων με τεχνολογία MicroMegas

- Οι ανιχνευτές δεν ζούν για πάντα, και ίσως να μην έχουν πιά τα χαρακτηριστικά (ταχύτητα, διακριτική ικανότητα) να λειτοθργήσουν σε πολύ συχνότερες και πυκνότερες συγκρούσεις.
 - Αντικατάσταση ανιχνευτών μιονίων στα “καπάκια” του ATLAS → το “New Small Wheel” με τεχνολογία MicroMegas



“New Small Wheel” για ανίχνευση μιονίων με τεχνολογία MicroMegas

- Οι ανιχνευτές δεν ζούν για πάντα, και ίσως να μην έχουν πιά τα χαρακτηριστικά (ταχύτητα, διακριτική ικανότητα) να λειτοθργήσουν σε πολύ συχνότερες και πυκνότερες συγκρούσεις.

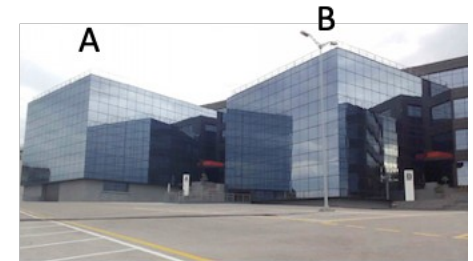


Παραγωγή στο εργαστήριο

LM2 Drift panels production @ AUTH

Aim: The production and test of 96+9 Drift panels equipped with mesh sent to Dubna for the chamber assembly (quadruplet)

- New Laboratory for detector construction established (360 m²)
- Based in the Center of Interdisciplinary Research and Innovation of AUTH
- New Clean Room (145 m², *Grade D*),
- 2 extra spaces for complementary activities + a small workshop



Preparation room-1



Preparation room-2



Workshop

Παραγωγή στο εργαστήριο

bare panels construction

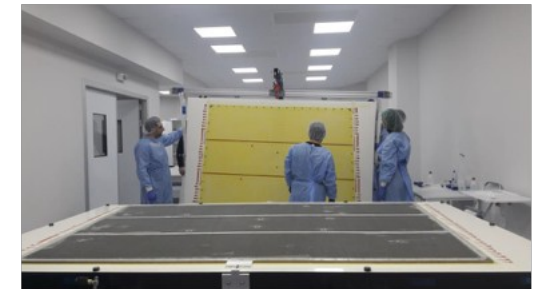
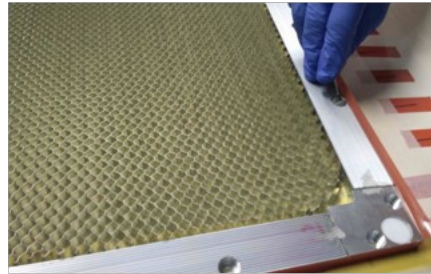
Bare Panel Gluing

Frame preparation

PCBs preparation

Honeycomb

Gluing



2 days

Αποστολή

Shipment to Dubna

- The drift panels are sent to Dubna for the quadruplet assembly



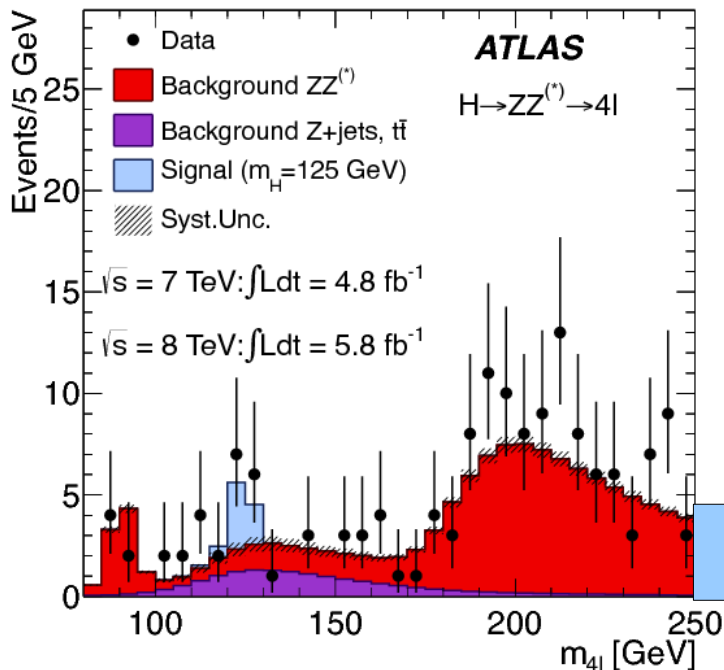
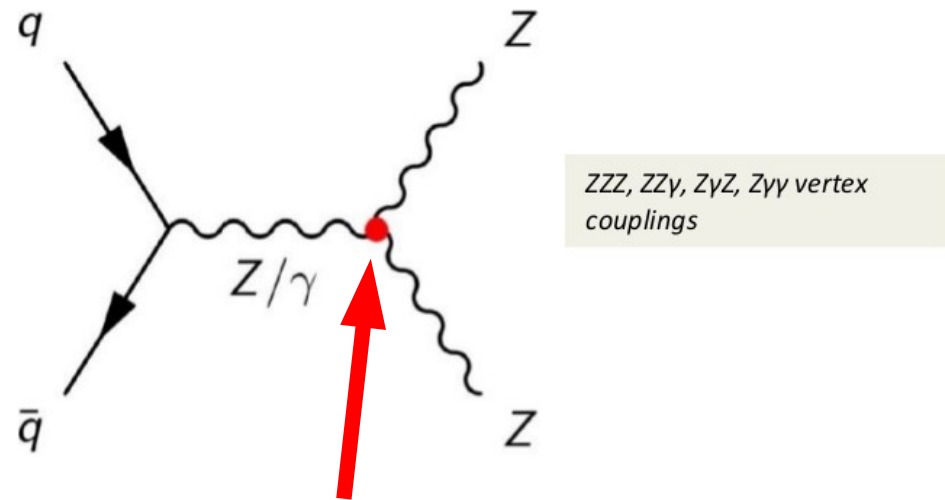
- 24 panels will be sent (8 Quadruplets) next week
- 60 panels have sent so far

Ομάδα κατασκευής



Αναλύσεις των γεγονότων για νέες ανακαλύψεις, π.χ, “ανώμαλη” παραγωγή δύο μποζονίων Z (“γεγονότων ZZ”)

Αυτός ο τρόπος παραγωγής δύο μποζονίων Z δεν επιτρέπεται από την Καθιερωμένη Θεωρία μας:



Αν υπάρχουν τέτοιες “ανώμαλες” συζεύξεις, Τότε: θα παρατηρήσουμε πολύ περισσότερα γεγονότα με μεγάλη μάζα (ZZ) σε σχέση με αυτά που περιμένουμε από την Καθιερωμένη Θεωρία μας, που είναι το κόκκινο

?

Εργαστήριο – Αστροσωματιδιακή και Σωματιδιακή

- Ανάπτυξη και μελέτη ανιχνευτικών διατάξεων αερίου γεμίσματος, σε συνεργασία με το εργαστήριο Saclay (Παρίσι)
 - Ανιχνευτής “picosecond” (τύπου MicroMegas)
 - υπερ-ακριβής χρονισμός της άφιξης σωματιδίων (25ps για μίονια)
 - Σφαιρικός αναλογικός απαριθμητής του ΑΠΘ
 - ανιχνευτής πολύ χαμηλού υποβάθρου
- Εφαρμογές σε μετρήσεις φυσικής
 - Ανίχνευση νετρίνων από αστροφυσικές πηγές, γαλαξιακές ή εξωγαλαξιακές → νέα “αστρονομία νετρίνων” (KM3Net)
 - Μελέτη ταλαντώσεων νετρίνων (κοινοπραξία ENUBET)
- Αναζήτηση σκοτεινής ύλης – ηλιακά αξιόνια – πείραμα CAST, IAXO