

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;



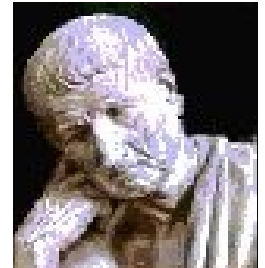
Δημόκριτος (460–371 π.Χ):

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.

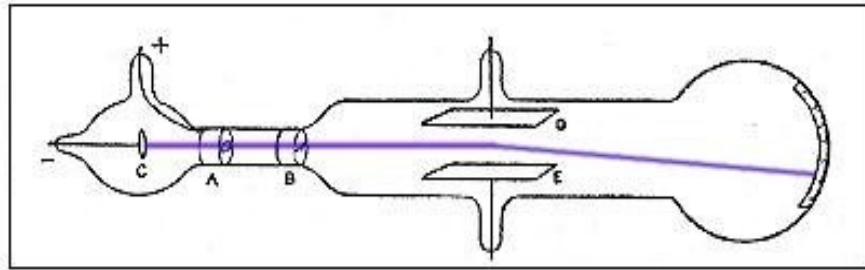
Τα άτομα των 92 στοιχείων (19ος αιώνας)	1. Υδρογόνο (H)	Μάζα $M_H \approx 1.7 \times 10^{-24} \text{ g}$
	2. Ήλιο (He)	
	3. Λίθιο (Li)	
		
		
	92. Ουράνιο (U)	Μάζα $\approx 238 M_H$

↓ Αυξανόμενη μάζα

- 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



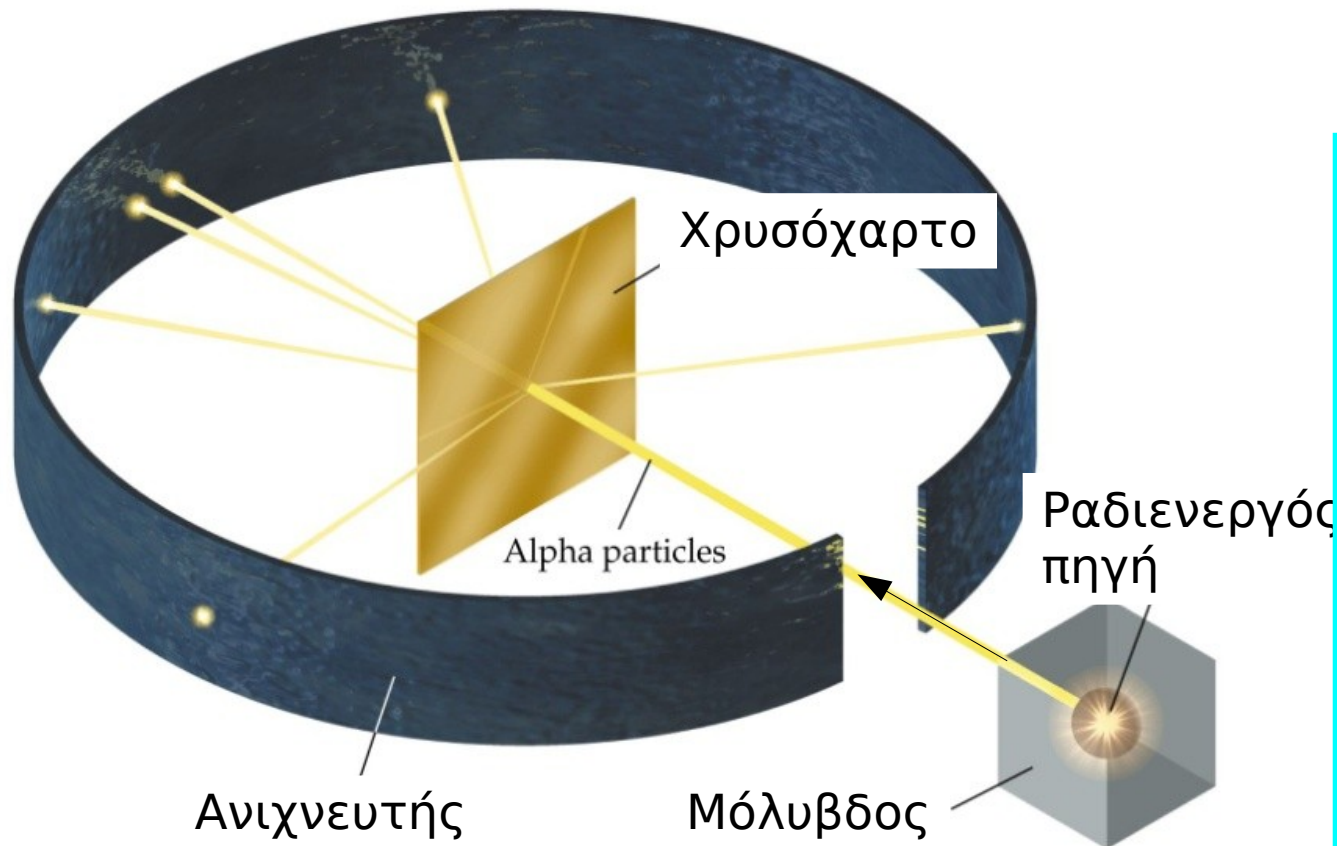
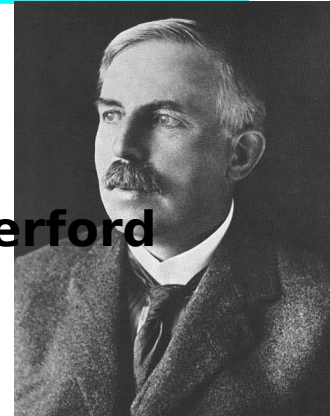
Καθοδικός σωλήνας (cathode ray tube)

- 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

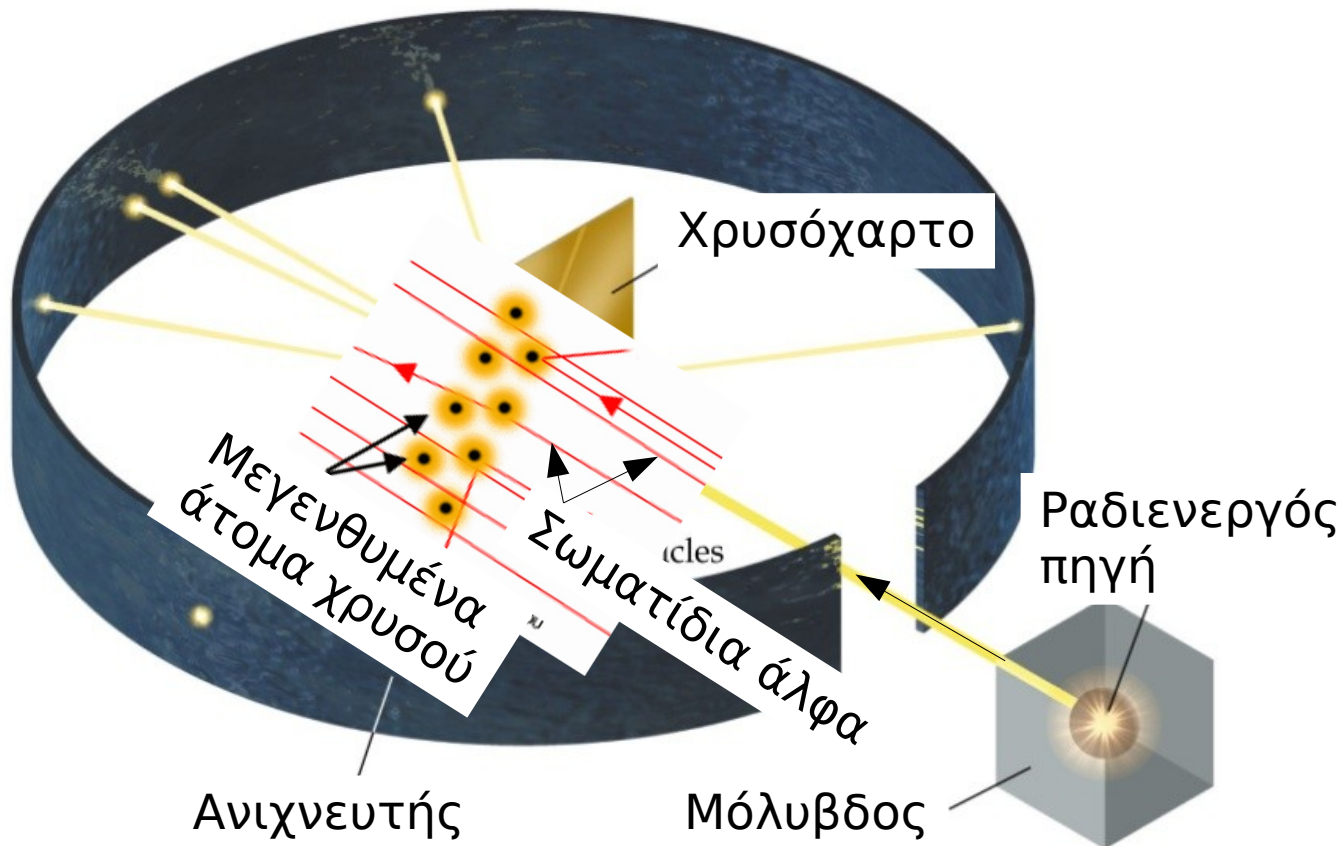
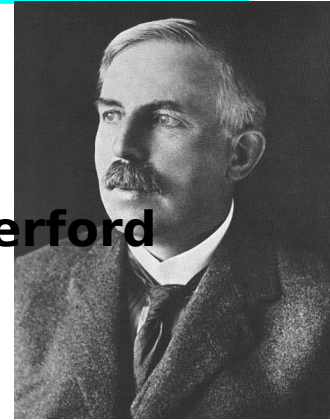
(“σαν να πυροβολείς ένα φύλλο χαρτιού και η σφαίρα να γυρίζει πίσω!”

είπε ο Rutherford)

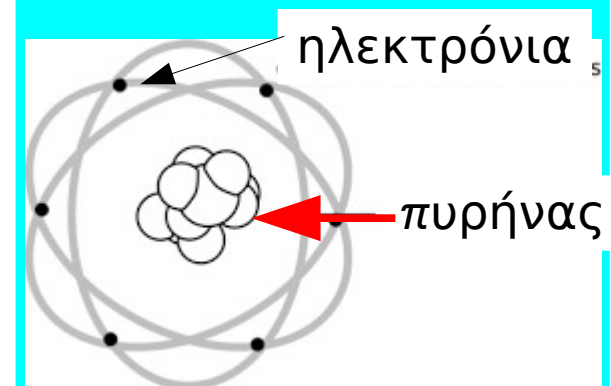
Πώς; Πειράματα “σκέδασης”

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

Ernest Rutherford
(1871-1937)

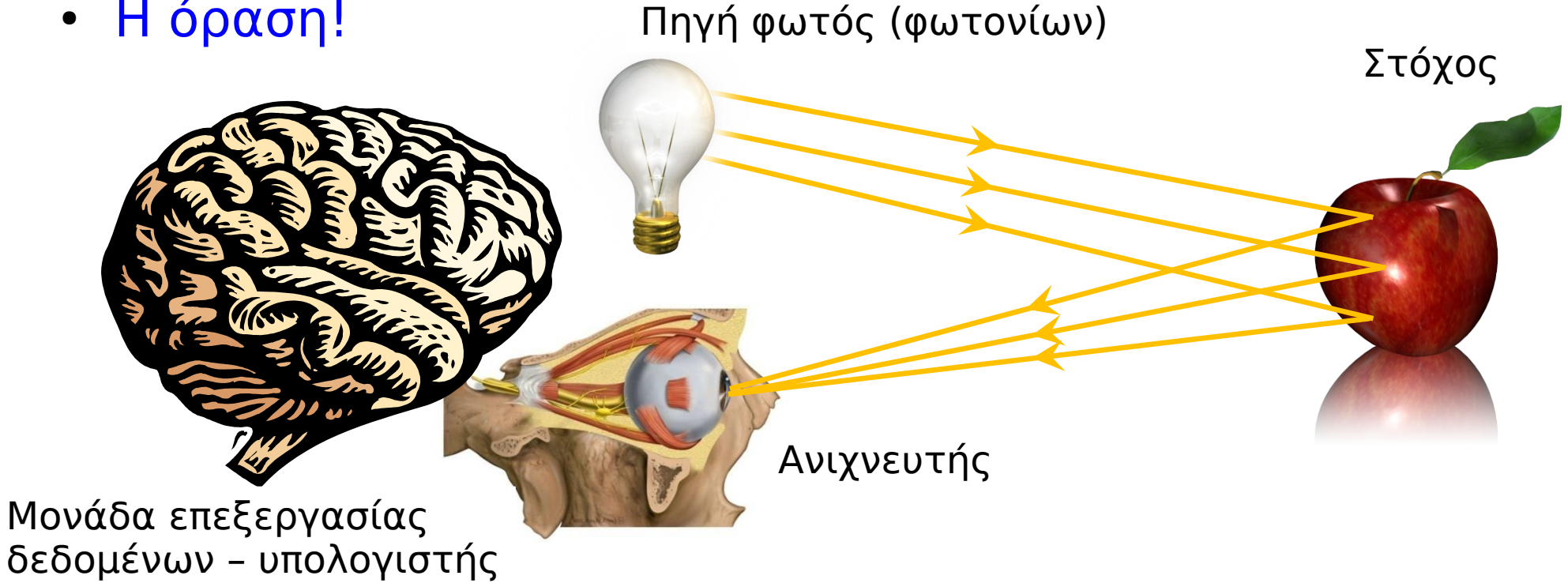


Εξήγηση:
Το **άτομο** έχει το θετικό του φορτίο συγκεντρωμένο σ' έναν **πυρήνα**



Μια καθημερινή εμπειρία σκέδασης

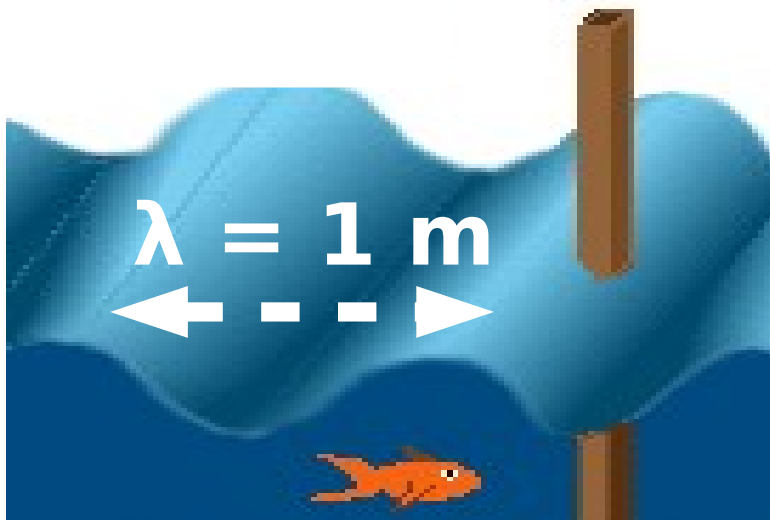
- Η όραση!



- 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



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:

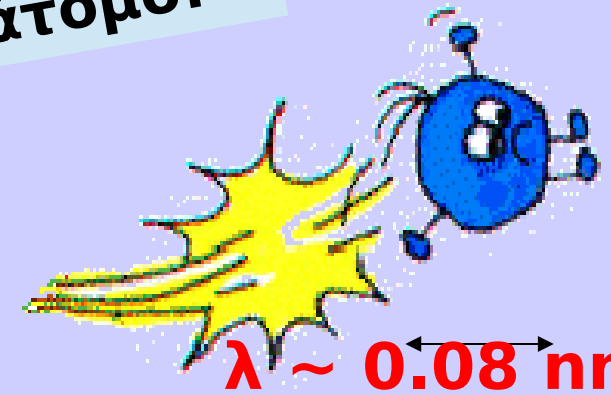
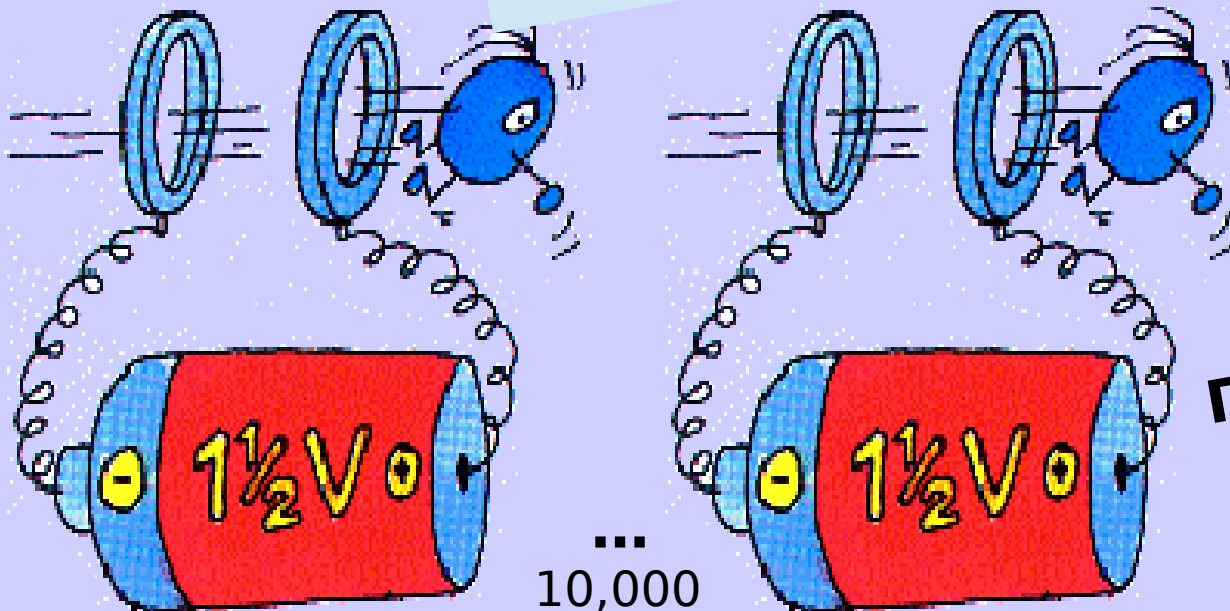
τα σωματίδια συμπεριφέρονται και ως κύματα

- Μεγάλη ορμή (= ταχύτητα x μάζα) ενός σωματιδίου

→ μικρό μήκος κύματος (λ)

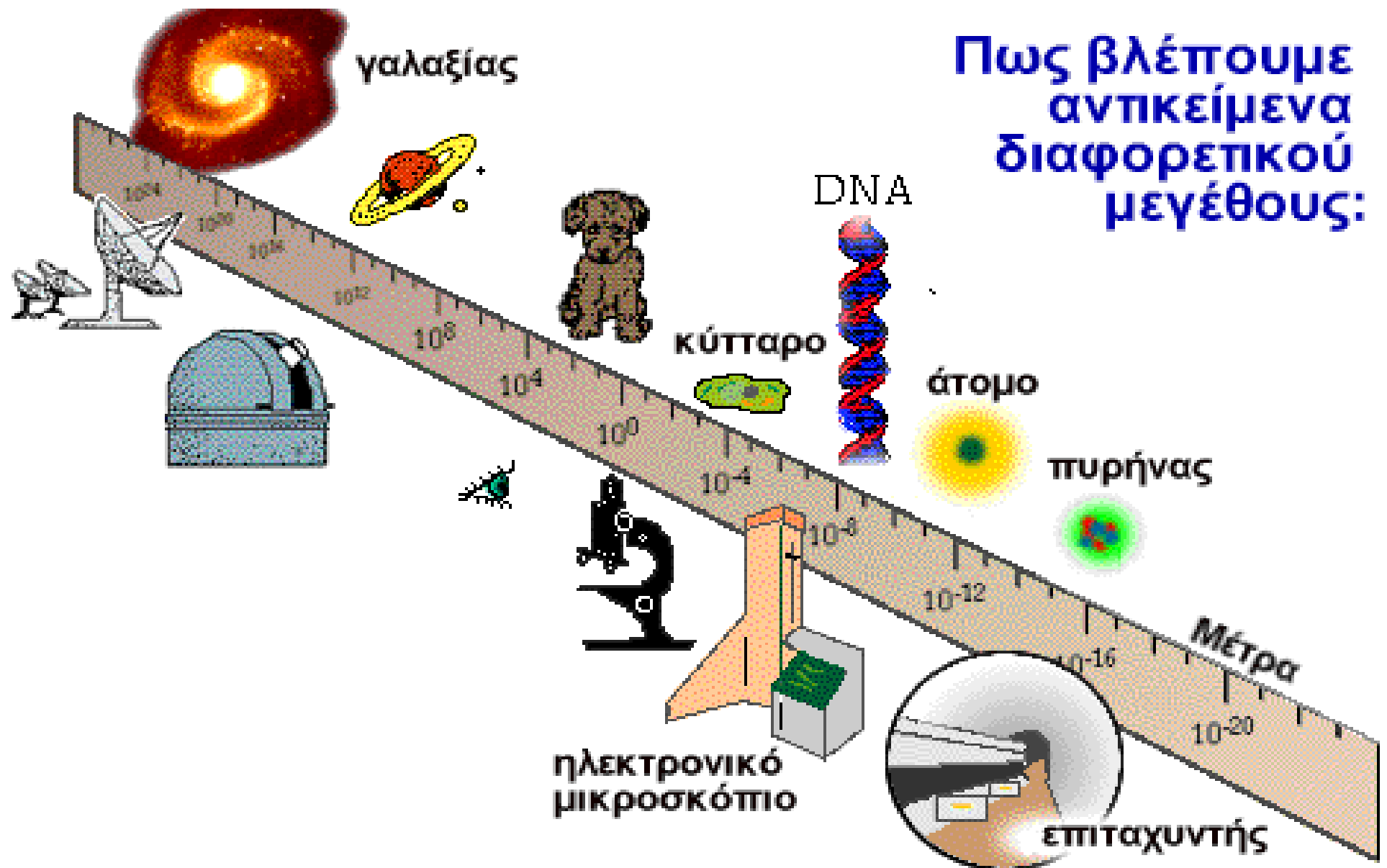
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

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



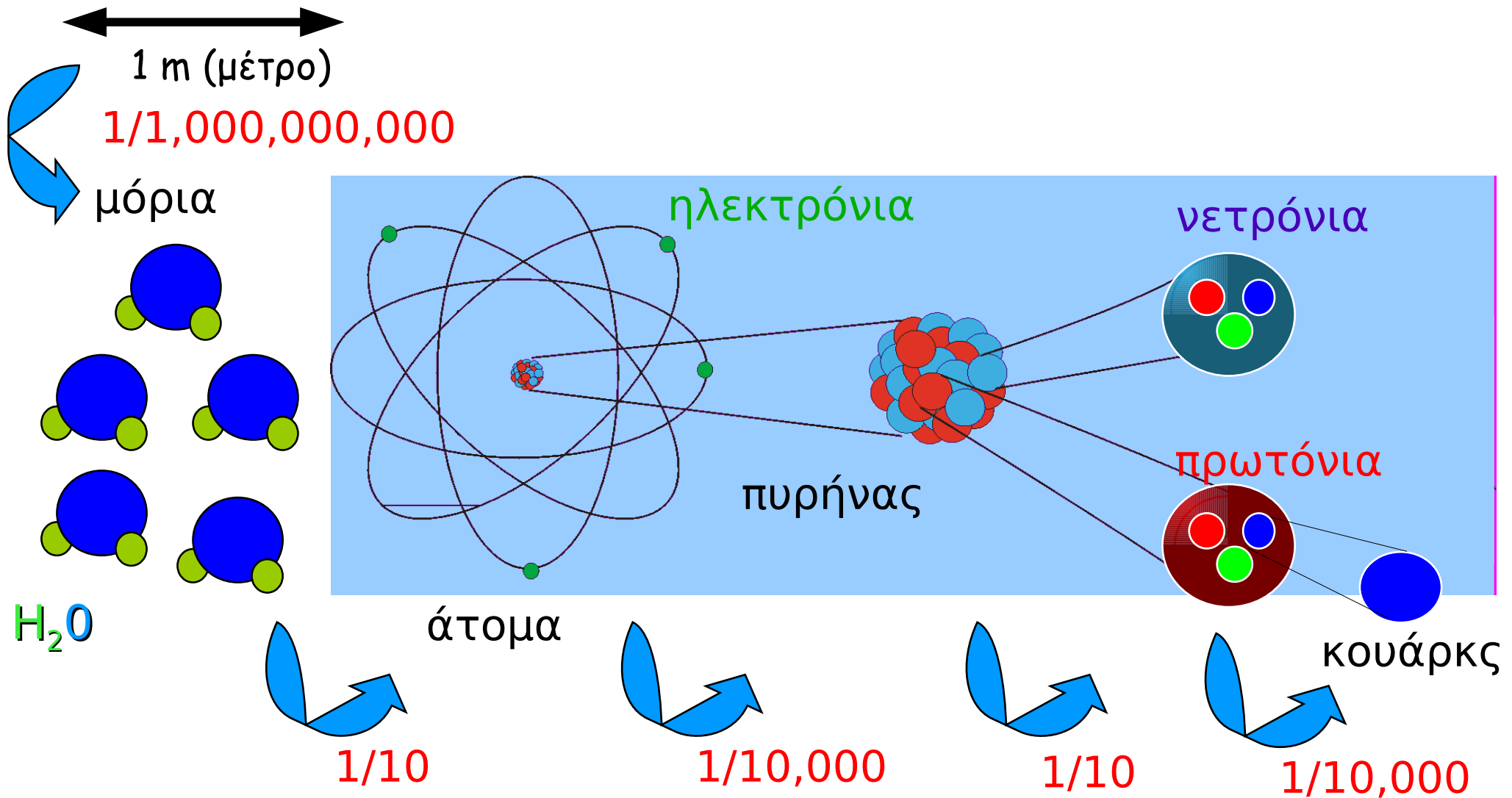
Πέρασμα από διαδοχικές
μπαταρίες:
Επιταχυντής!

Το κατάλληλο εργαλείο ανά περίπτωση – οι επιταχυντές ως μικροσκόπια

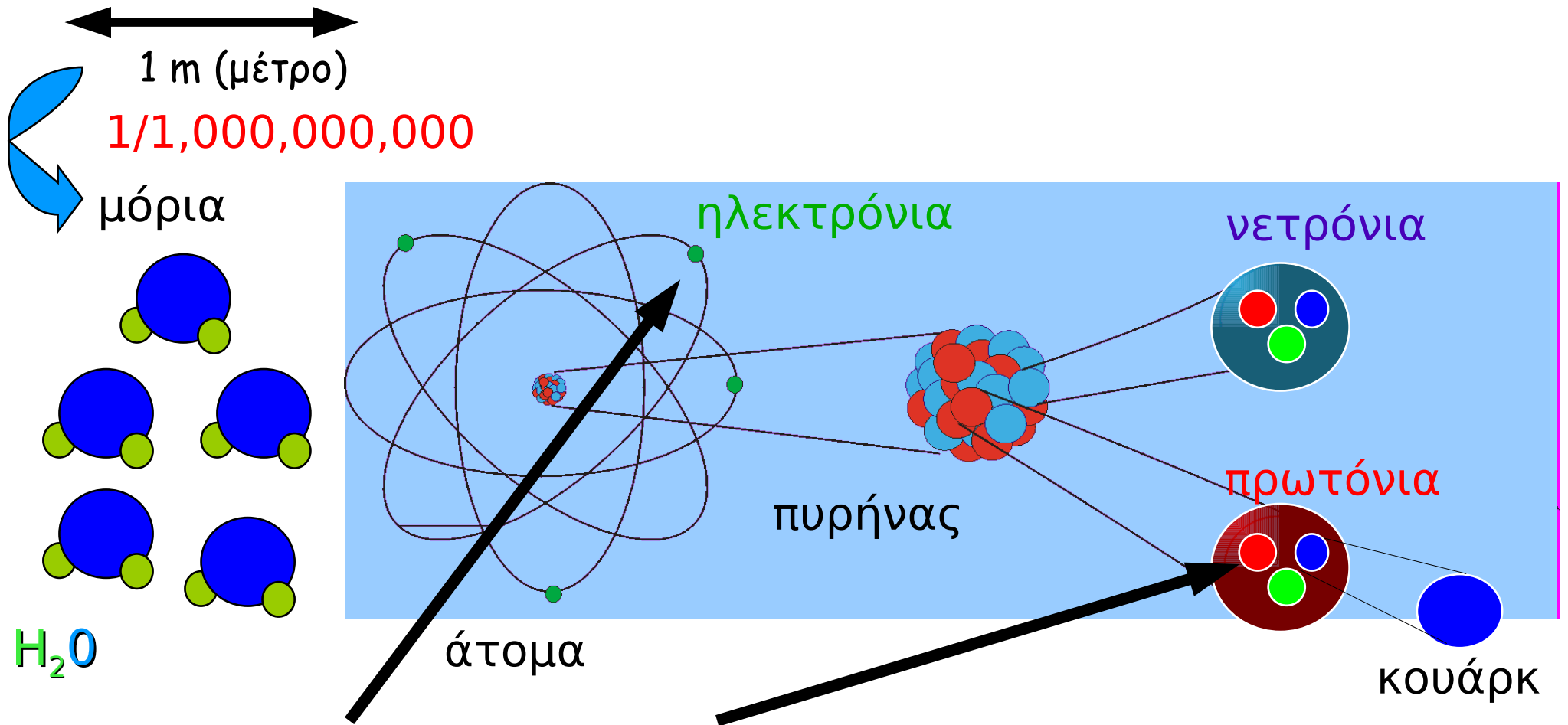


2. Τα βασικά συστατικά της ύλης και οι αλληλεπιδράσεις τους

Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης

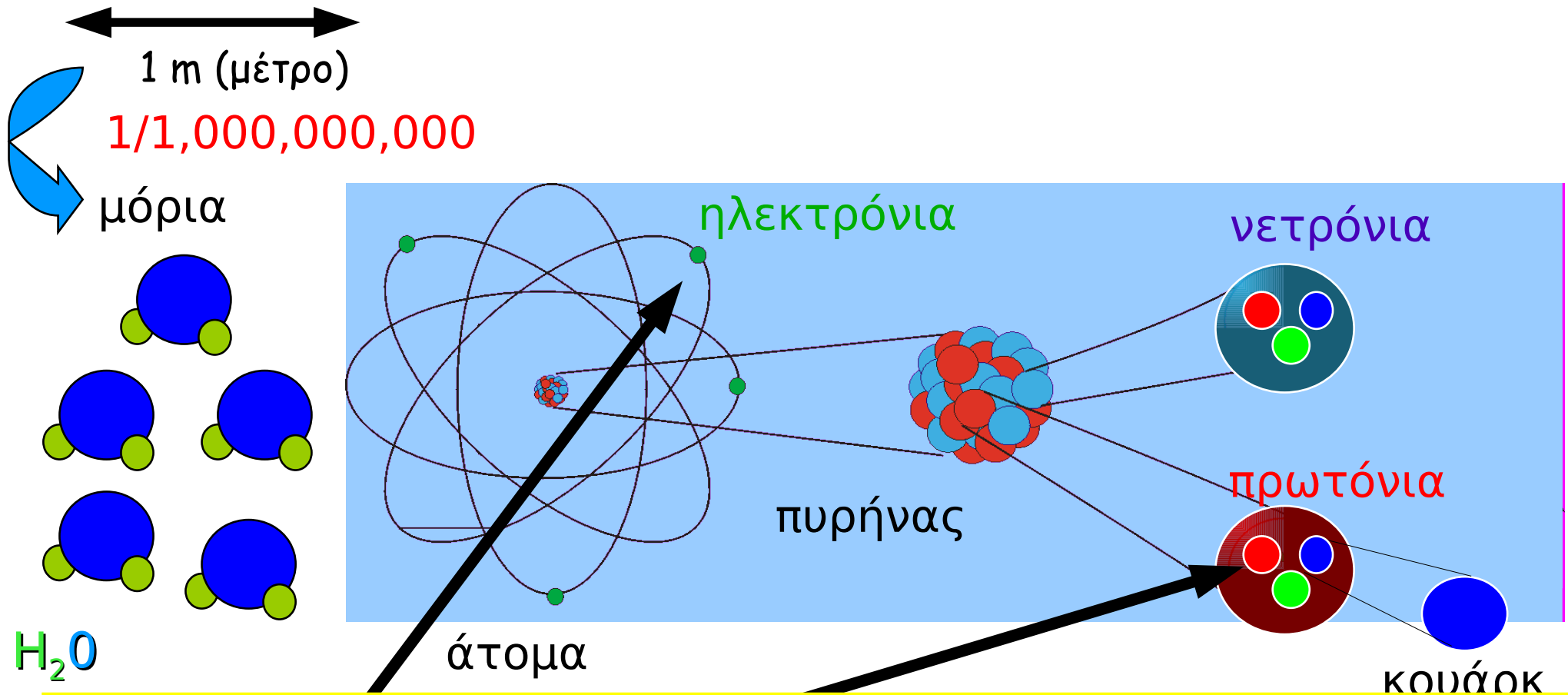


Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης



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**

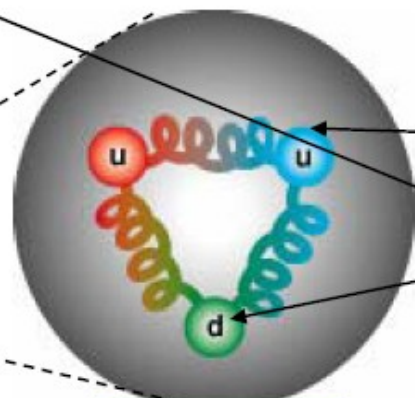
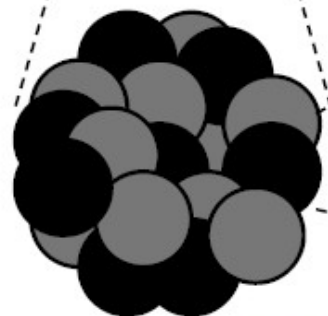
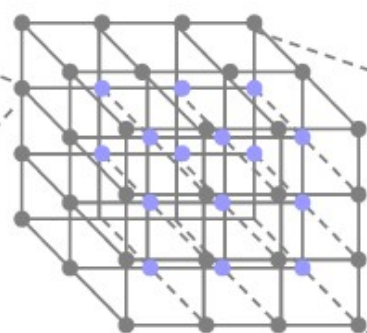
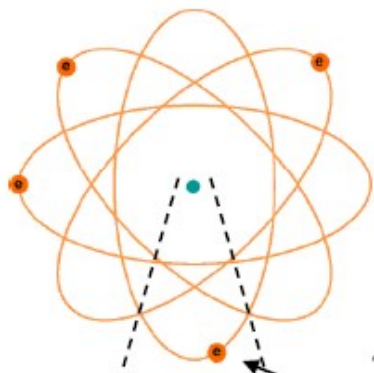
+ ~200 παρόμοια αλλά ασταθή σωματίδια, φτιαγμένα από κουάρκ

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

Quarks

Leptons

Generation →

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

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

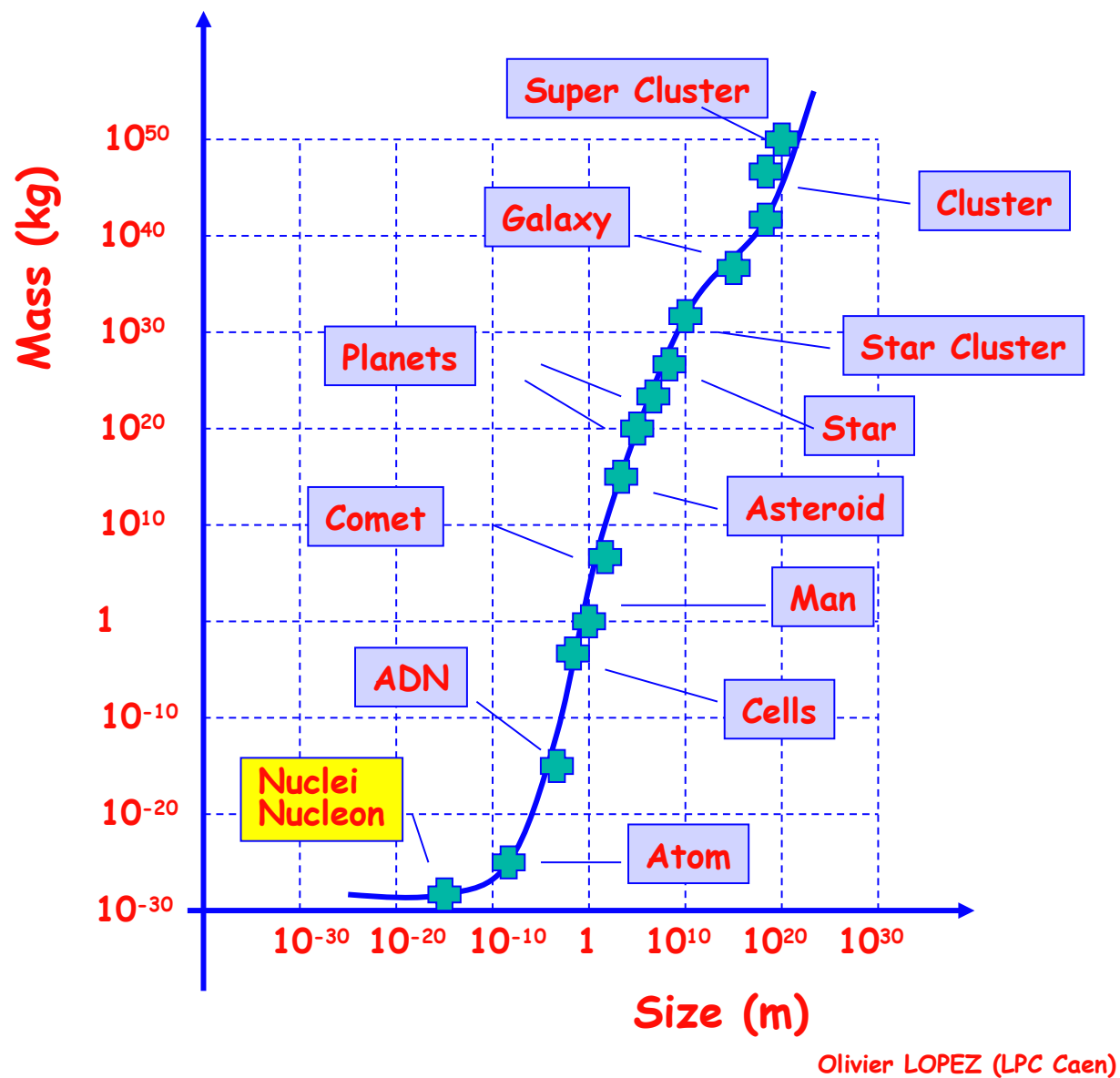
κουάρκ

λεπτόνια

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

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

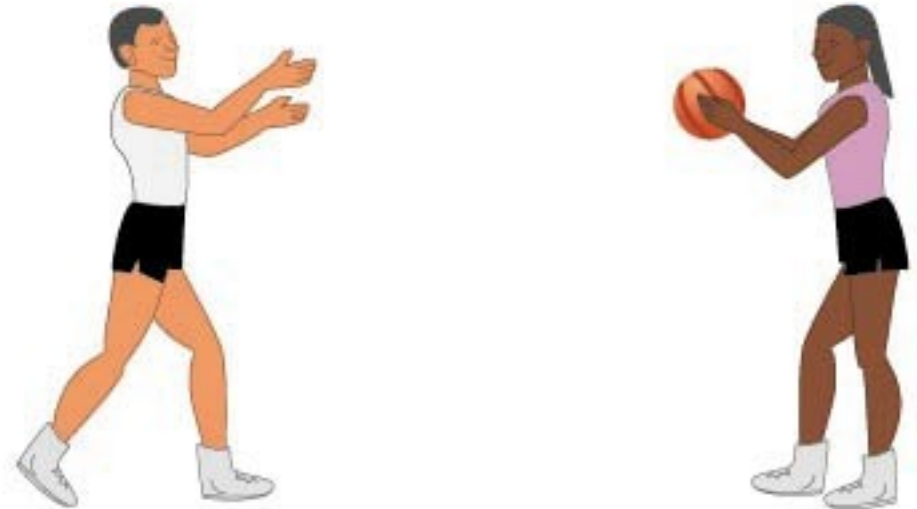
Ένα σύμπαν με αντικείμενα δραματικά διαφορετικών διαστάσεων



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

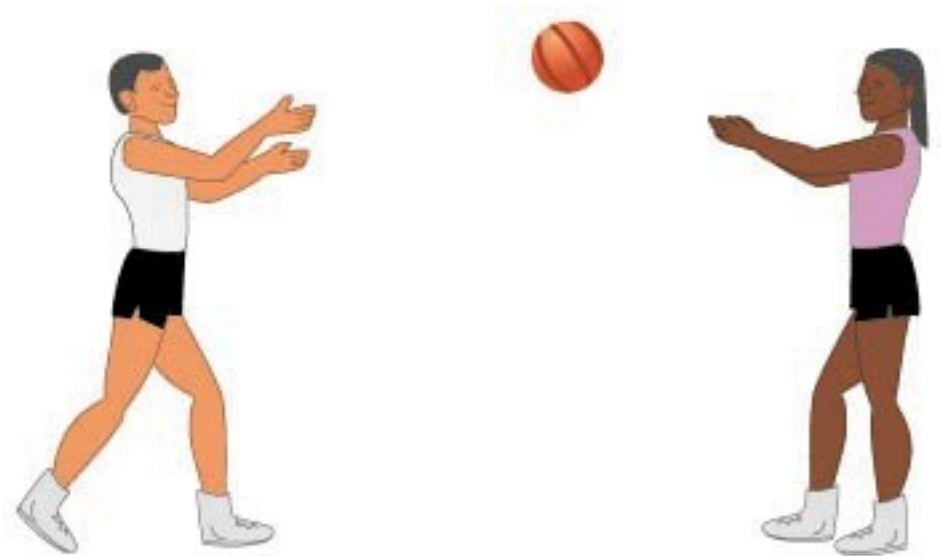
Υπάρχουν και δυνάμεις

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



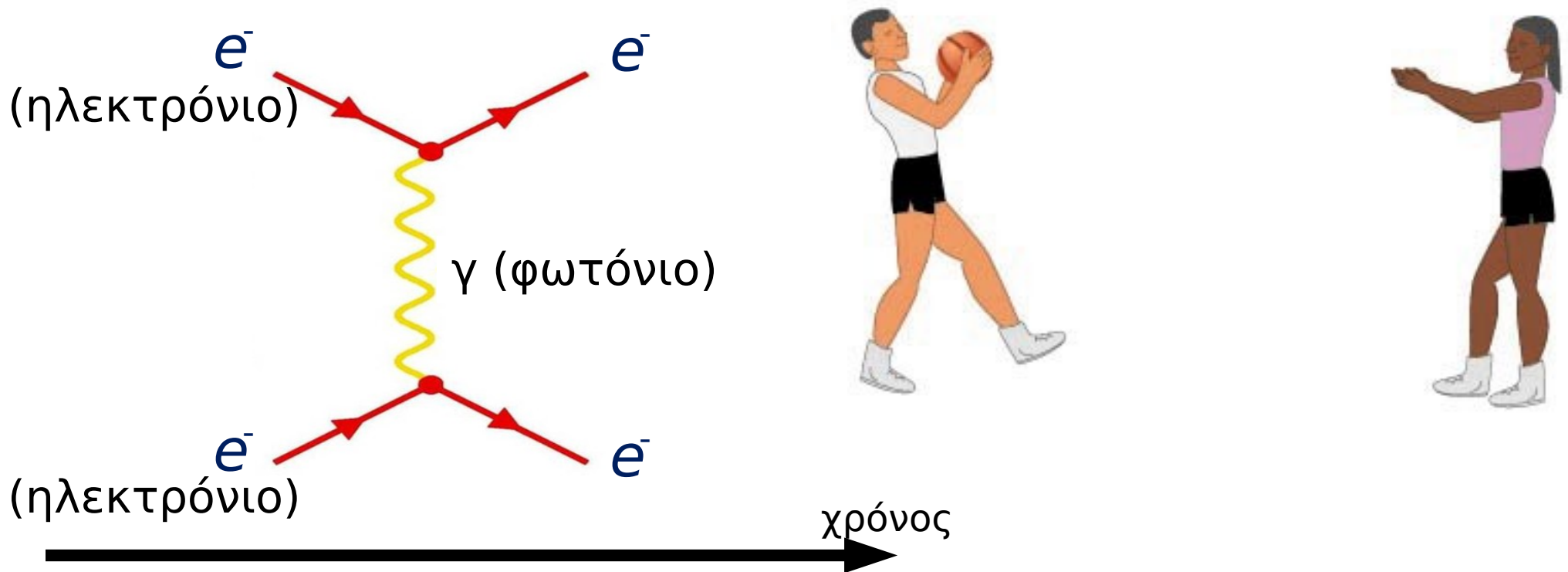
Υπάρχουν και δυνάμεις

- 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
 - ανταλλάσσοντας ειδικά σωματίδια που είναι οι φορείς της δύναμης

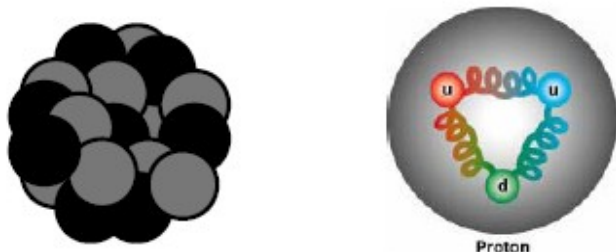


Το φωτόνιο (γ) είναι ο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης

Υπάρχουν και δυνάμεις

Ισχυρές

Μεταδίδονται με τα
γκλουόνια



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

Βαρυτικές

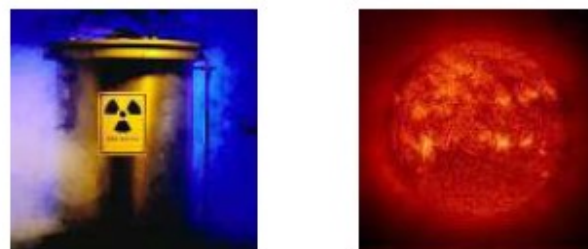
Μεταδίδονται με τα
γκραβιτόνια



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

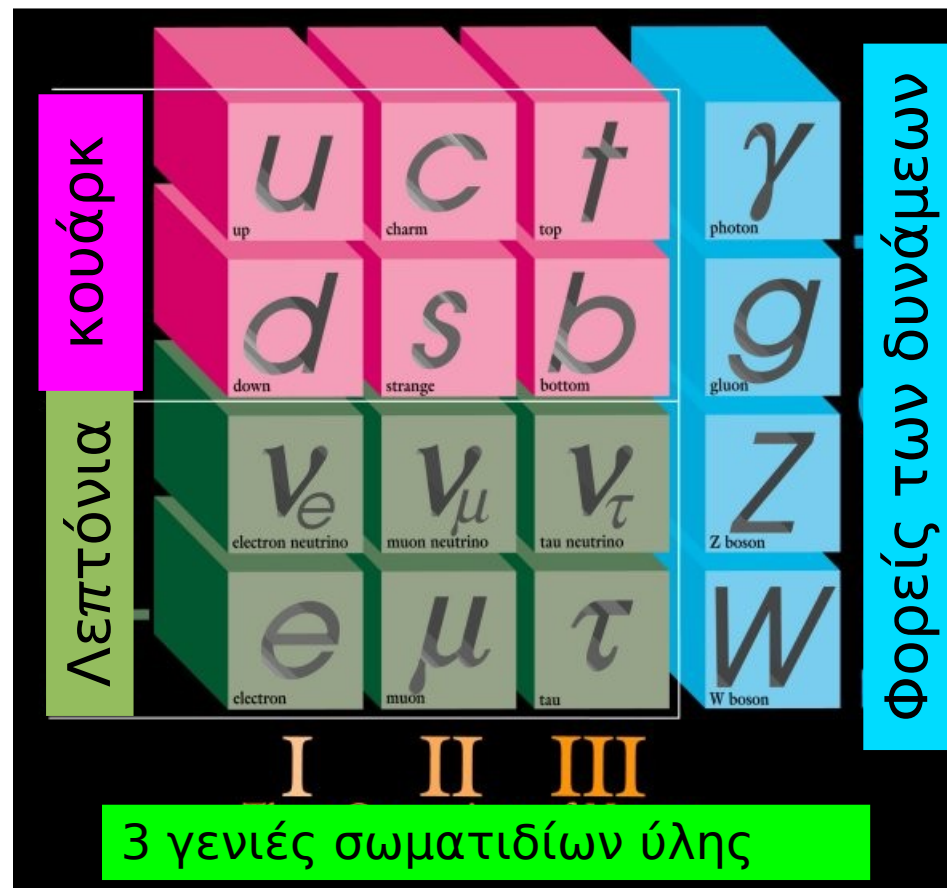
Ηλεκτρομαγνητικές

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



Fermilab 95-759

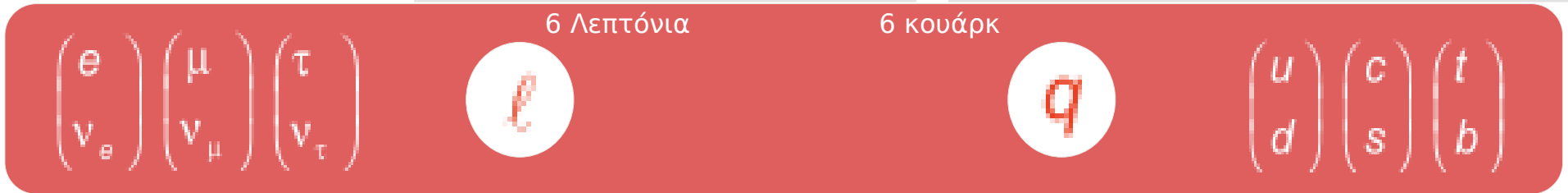
Όλα μαζί – η θεωρία μας για τα δομικά/βασικά συστατικά της ύλης και πώς αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους:

“Το Καθιερωμένο Πρότυπο”

Φερμιόνια

Σωματίδια ύλης

Κάθε κατηγορία σε 3 οικογένειες



Μποζόνια

Διαδότες/φορείς των δυνάμεων

3 δυνάμεις



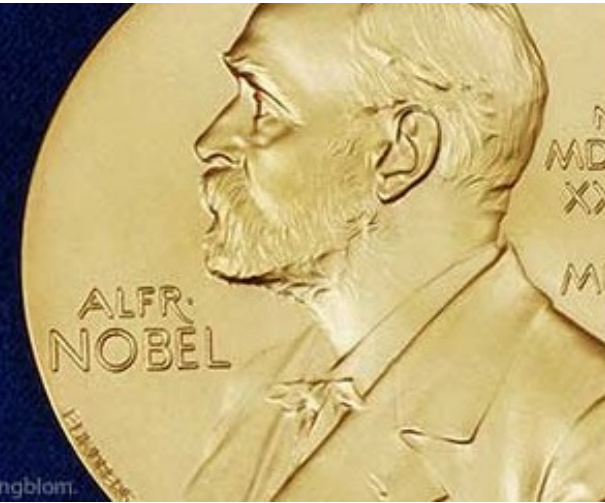
Μποζόνιο Higgs (BEH)



“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



Peter
Higgs

Francois
Englert

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

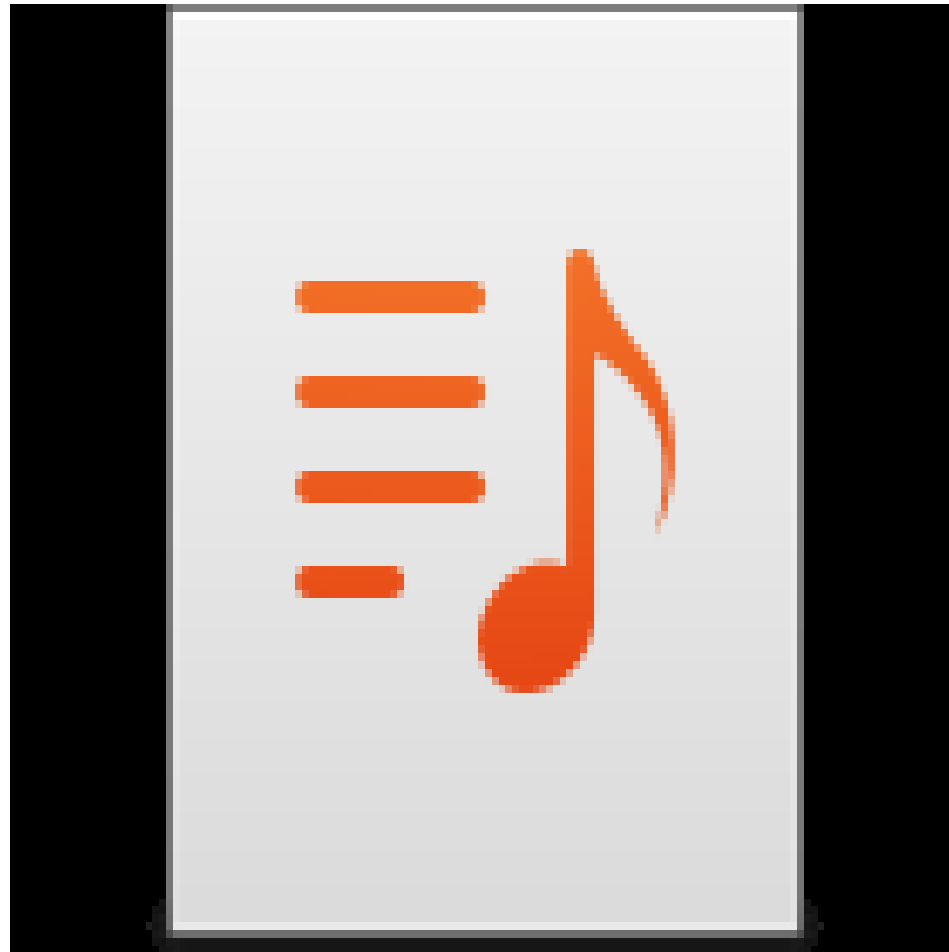
François Englert and Peter Higgs

“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.”

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

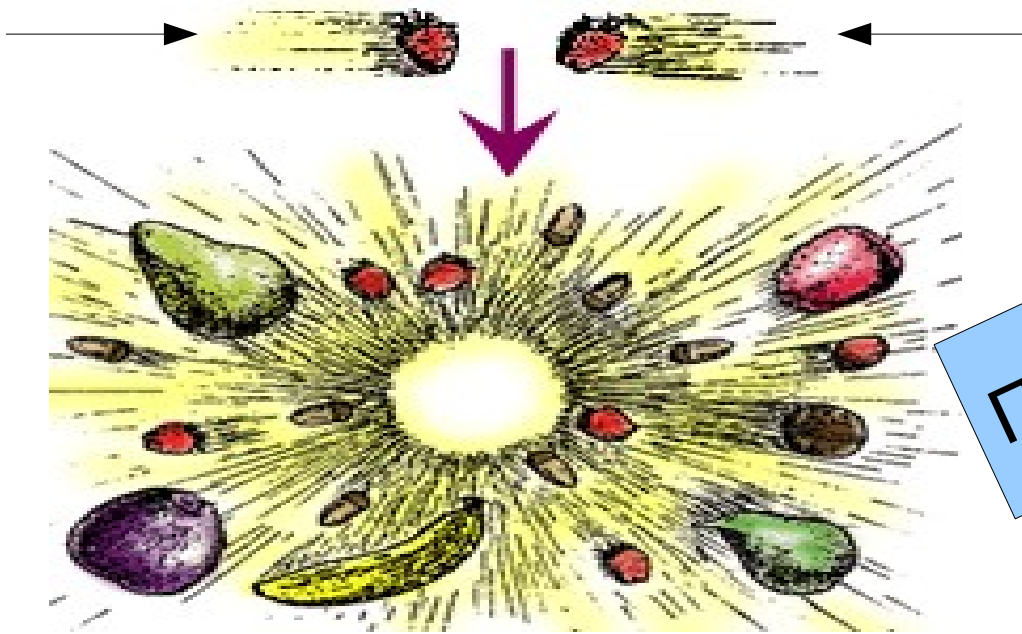
Μια εικόνα είναι 1000 λέξεις:

[./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

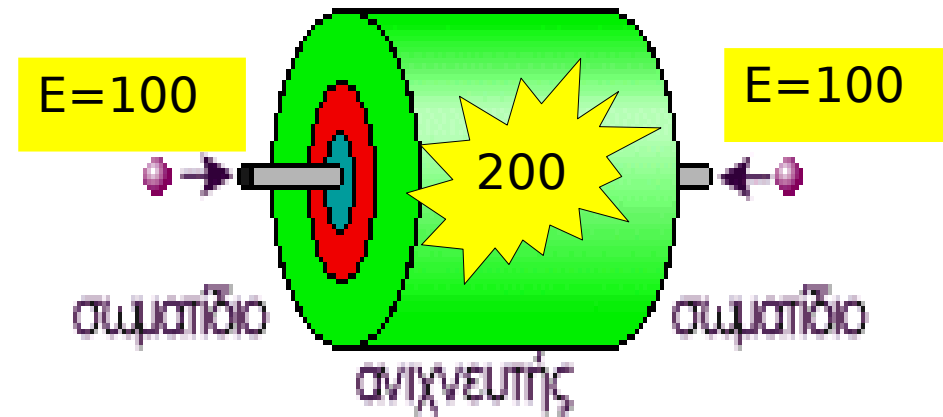
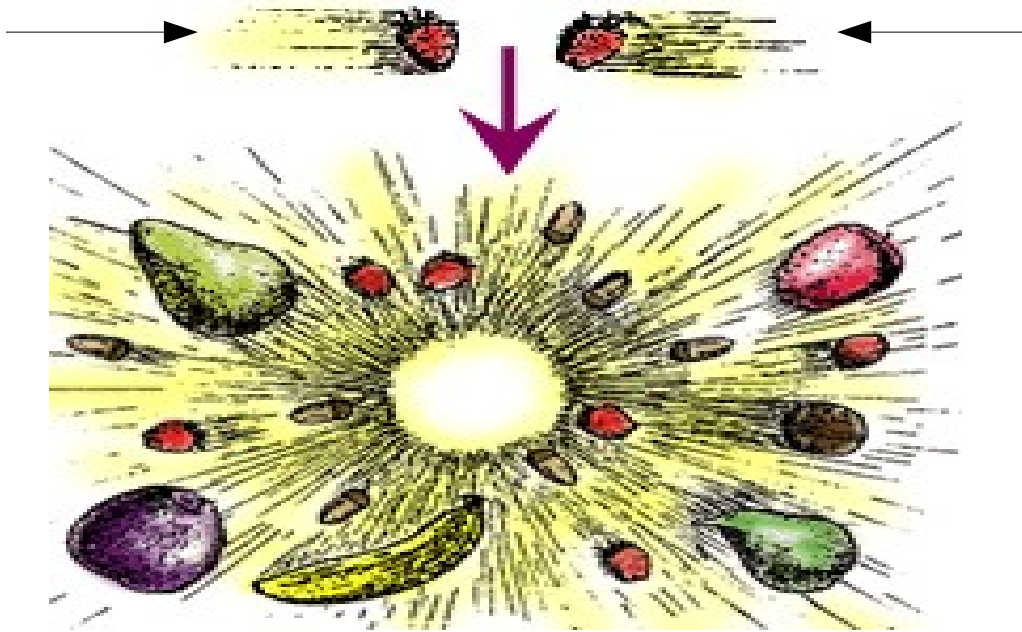
c = ταχύτητα του φωτός



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)

$$\lambda = h/p$$



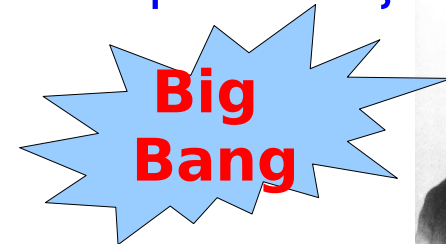
De Broglie (1924)

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 $E = k T$



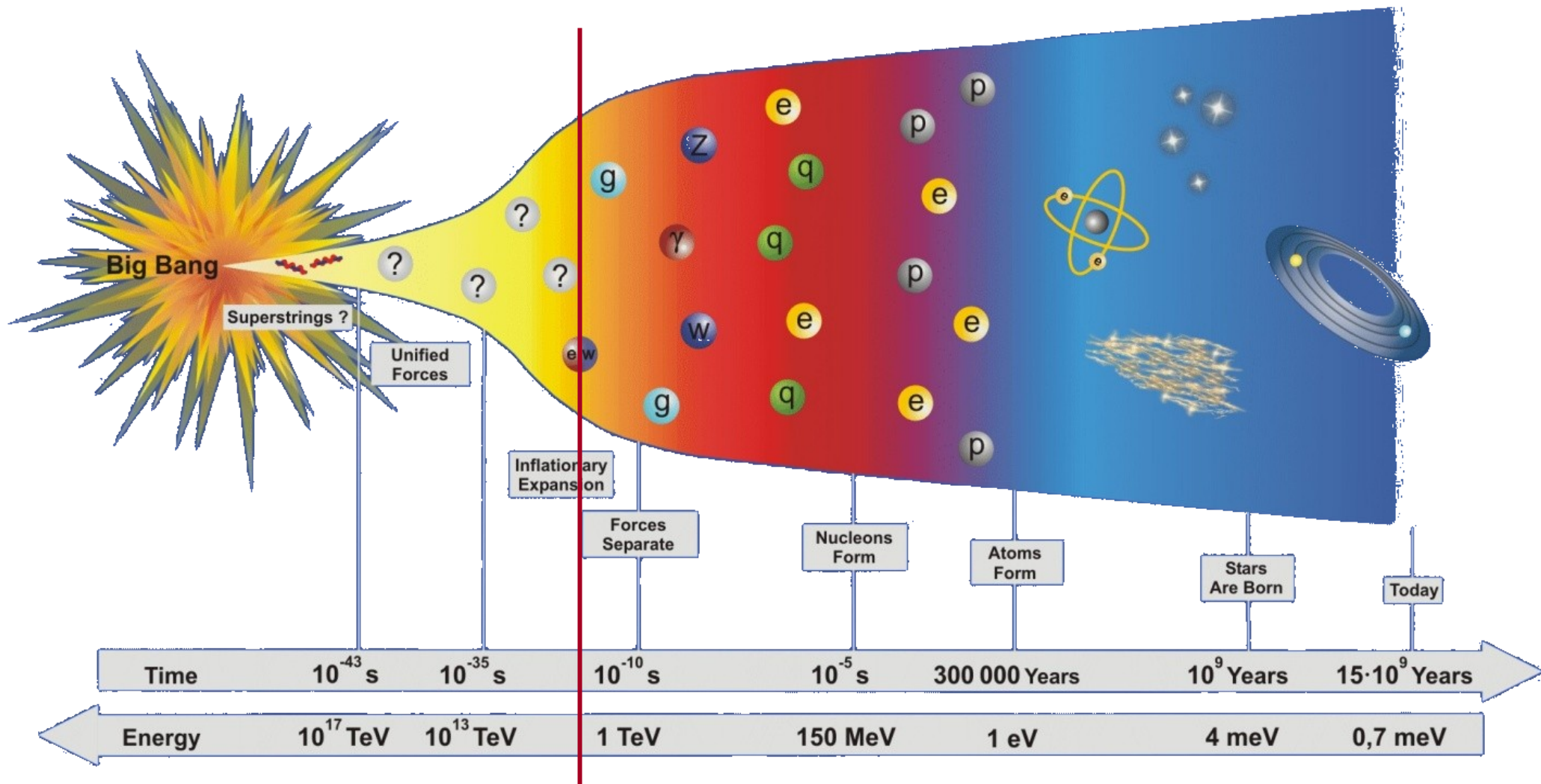
Einstein (1905)



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

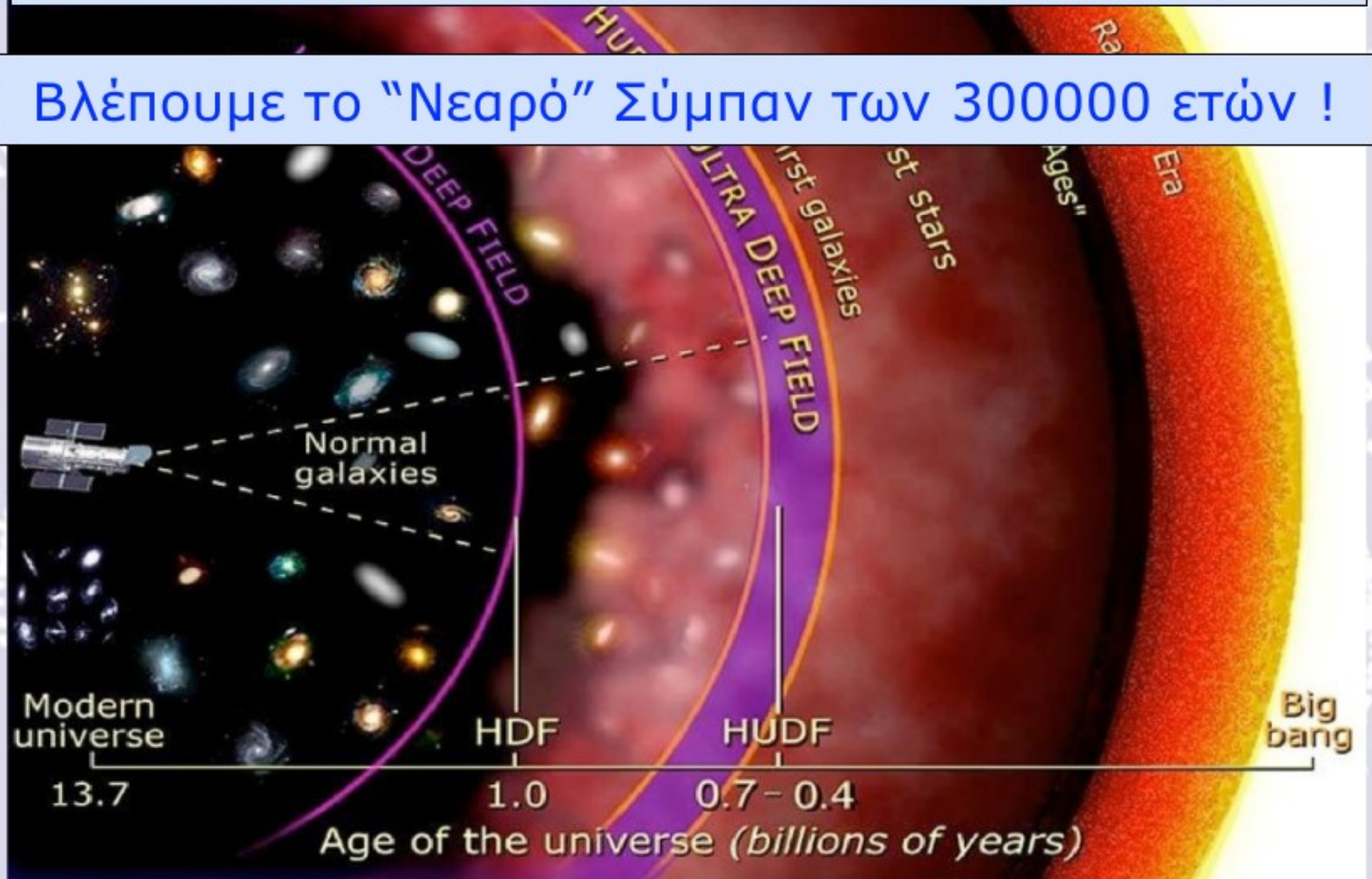
Δ. Σάμψωνίδης - Τα μεγάλα Πειράματα στο CERN

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 Σωματίια

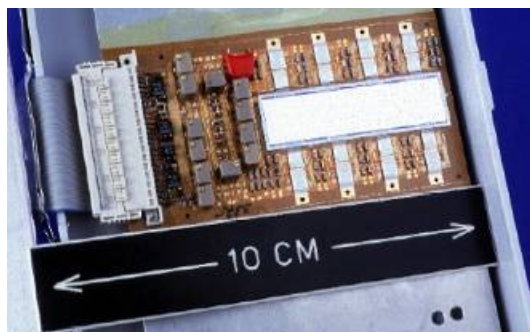
Βασική έρευνα και εφαρμογές

- 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...

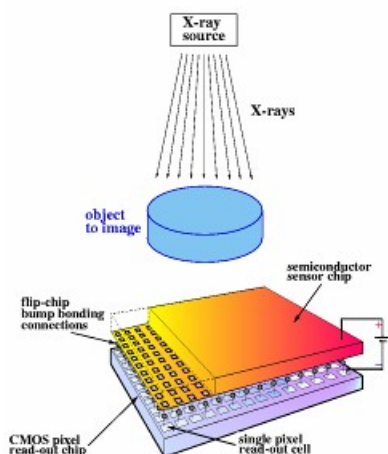
Στα εργαστήρια φέτος θα δείτε φανταστικά πράγματα

- 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

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

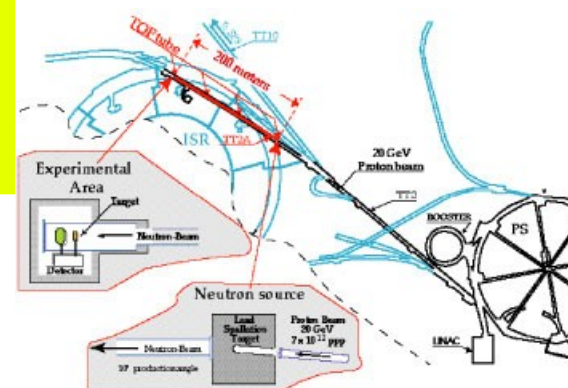


Medipix: Medical X-ray diagnosis with contrast enhancement and dose reduction

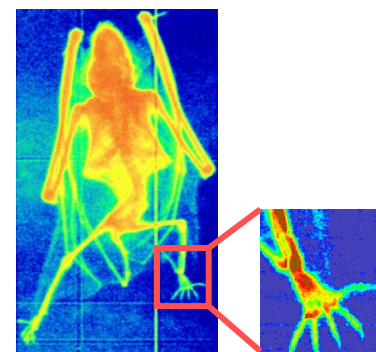
π.χ., διαγνωστικές μέθοδοι στις επιστήμες υγείας



Thin films by sputtering or evaporation



Radio-isotope production for medical applications



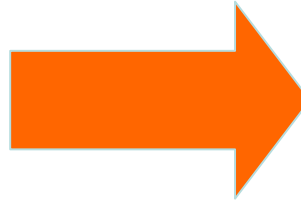
Radiography of a bat, recorded with a GEM detector

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

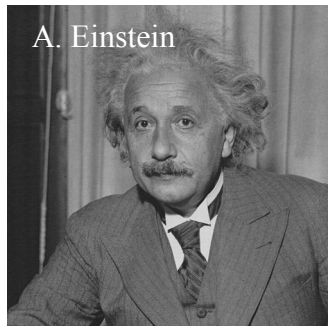
Αλλιώς απλά βελτιώνεις τα ίδια και ποτέ δεν **καινοτομείς**



Αλλαγή παραδείγματος!



Η βασική έρευνα ήταν πάντα η κινητήριος δύναμη των εφευρέσεων



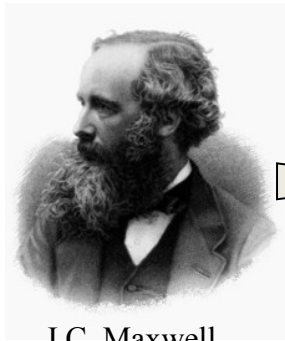
A. Einstein

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



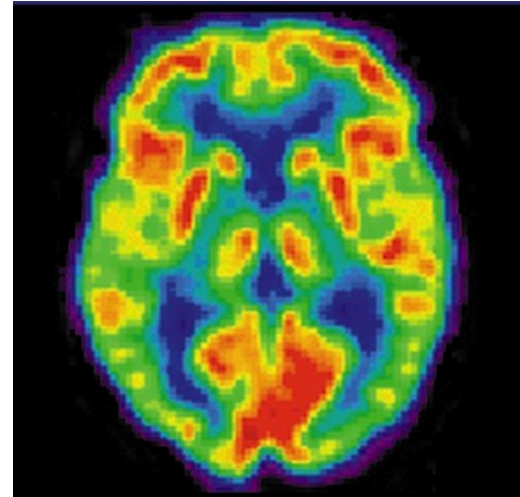
Από τους 17000+ περίπου
επιταχυντές που λειτουργούν
σήμερα στον κόσμο, πάνω από
τους μισούς (> 9000+)
χρησιμοποιούνται στην ιατρική!

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)



N
I
H

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.

