

Πυρηνική Φυσική και Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων (5ου εξαμήνου, χειμερινό 2016-17)

Τμήμα Τ3: Κ. Κορδάς & Χ. Πετρίδου

Μάθημα 1β

Μια εισαγωγή στο αντικείμενο

Κώστας Κορδάς

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πυρηνική & Στοιχειώδη Ι, Αριστοτέλειο Παν. Θ/νίκης, 29 Σεπτεμβρίου 2016

Στόχος και μέσα

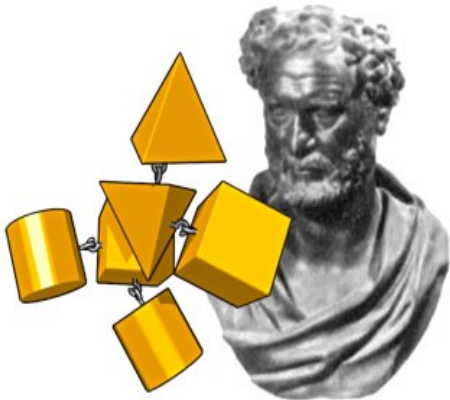
- Στόχος της Πυρηνικής Φυσικής και της Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων:
 - η κατανόηση του σύμπαντος και του κόσμου, της προέλευσης και δομής της ύλης, ο έλεγχος και η αξιοποίηση της γνώσης
- Το εργαστήριό μας
 - Το σύμπαν – παρατήρηση π.χ,
 - ακτινοβολίας γ που εκπέμπουν οι αστέρες
 - κοσμικής ακτινοβολίας 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

Γιατί; Η περιέργεια

- Αναρωτιόμαστε, από τι είναι φτιαγμένος ο κόσμος;



Τι είναι εδώ μέσα;



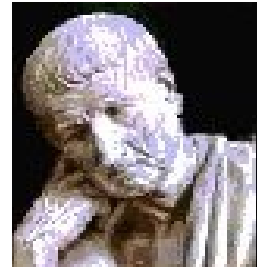
Δημόκριτος (460–371 π.Χ):

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**

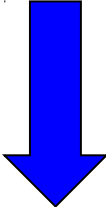


- Πώς μπορούμε να προχωρήσουμε από τις υποθέσεις σε επιστημονικά τεκμηριωμένες θεωρίες;

– “**Με το πείραμα**” - Γαλιλαίος (Galileo Galilei), 1564 – 1642 μ.Χ

1906: Γνωρίζαμε ήδη ότι τα υλικά είναι φτιαγμένα από άτομα

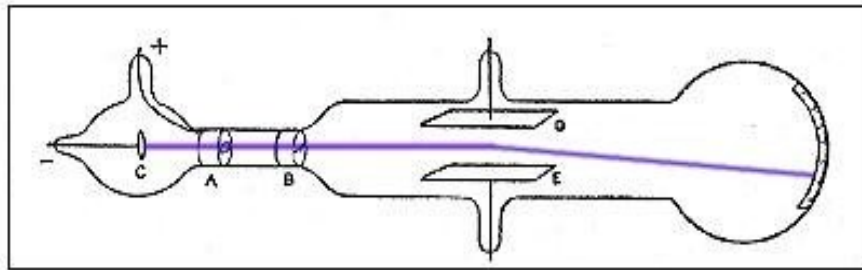
- Αναλύοντας τα δομένα παρατηρήσεων, φτάσαμε να ξέρουμε ότι υπάρχουν άτομα και κενός χώρος
 - Ατομική θεωρία του Dalton, Avogandro κ.α.

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



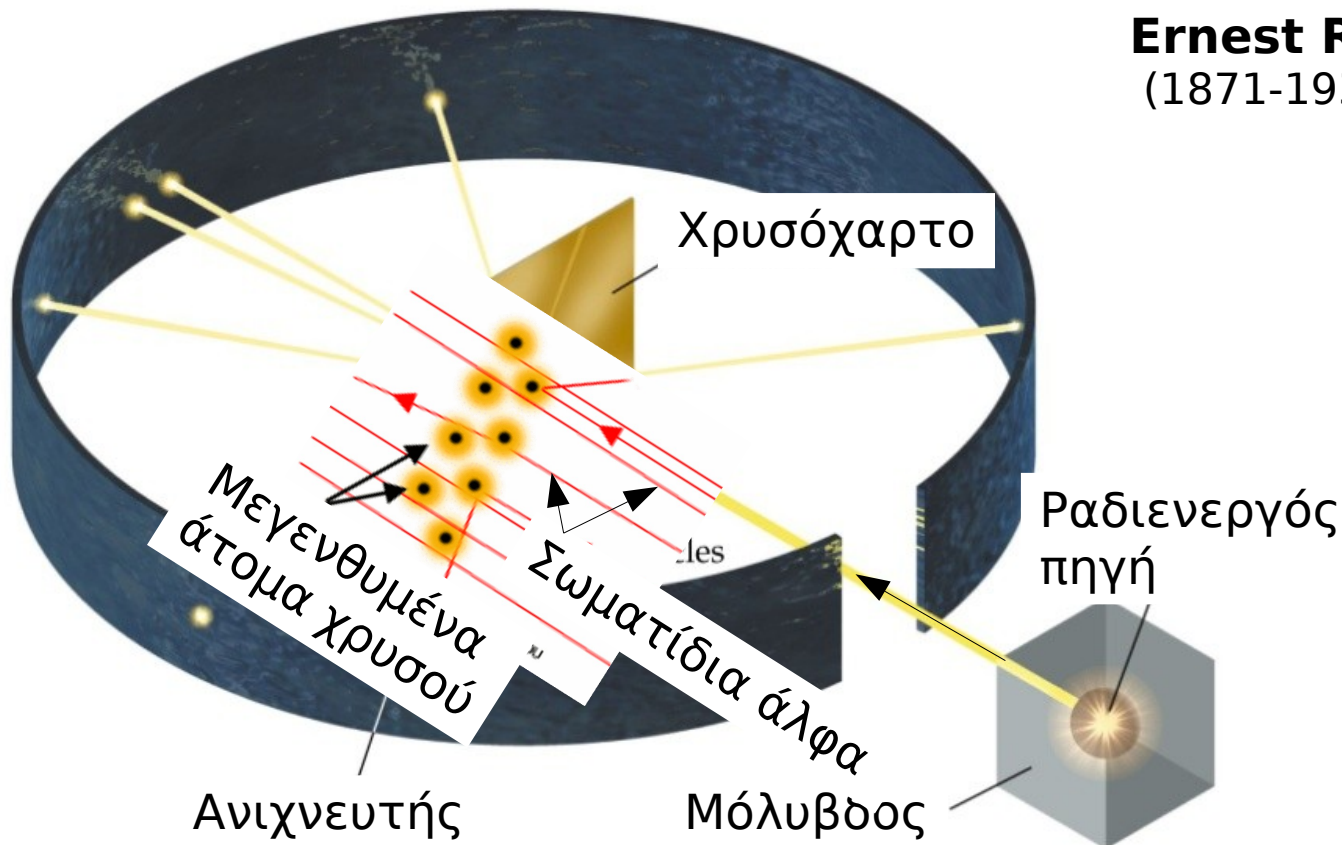
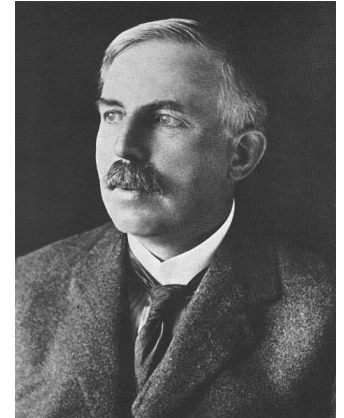
Καθοδικός σωλήνας (cathode ray tube)

- 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

Απάντηση από πειράματα σκέδασης

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

Ernest Rutherford
(1871-1937)



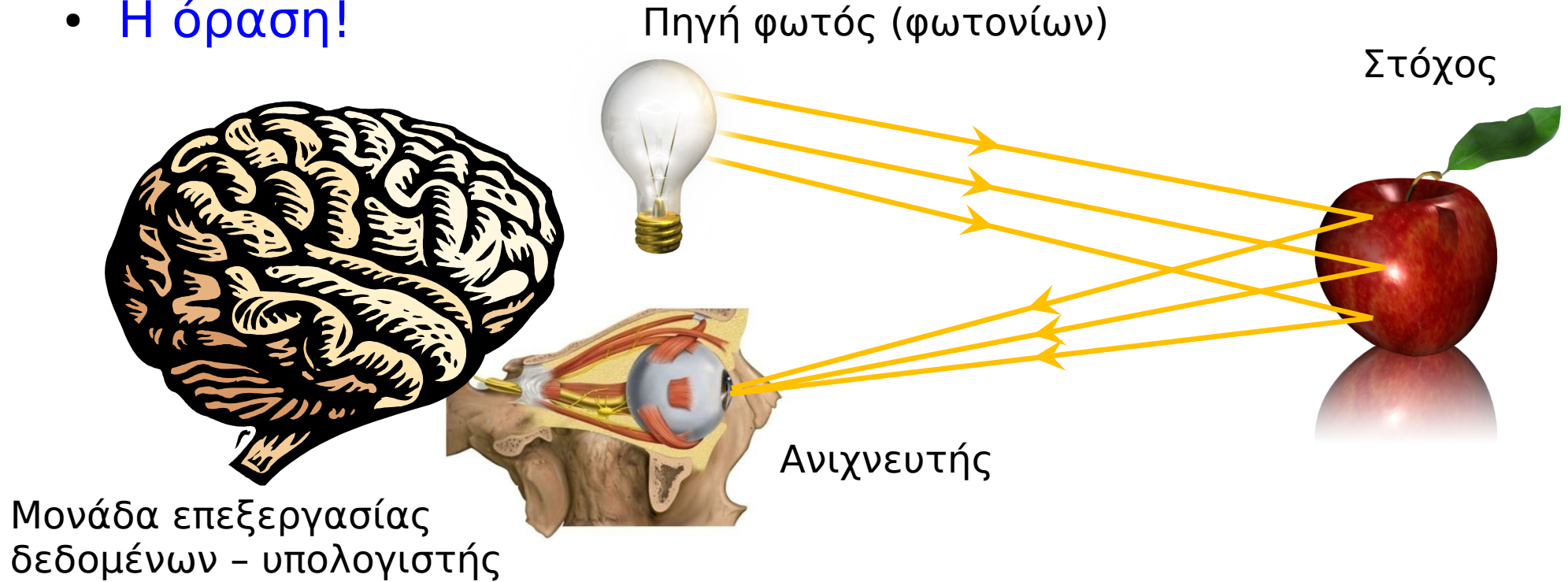
Το άτομο έχει το θετικό του φορτίο συγκεντρωμένο σ' έναν πυρήνα



έτσι εξηγείται η σκέδαση σε μεγάλες γωνίες

Μια καθημερινή εμπειρία σκέδασης

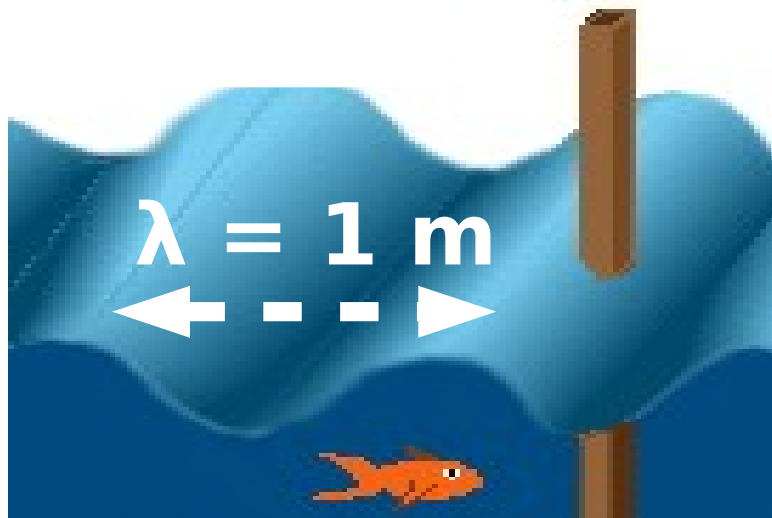
- Η όραση!



- 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:

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



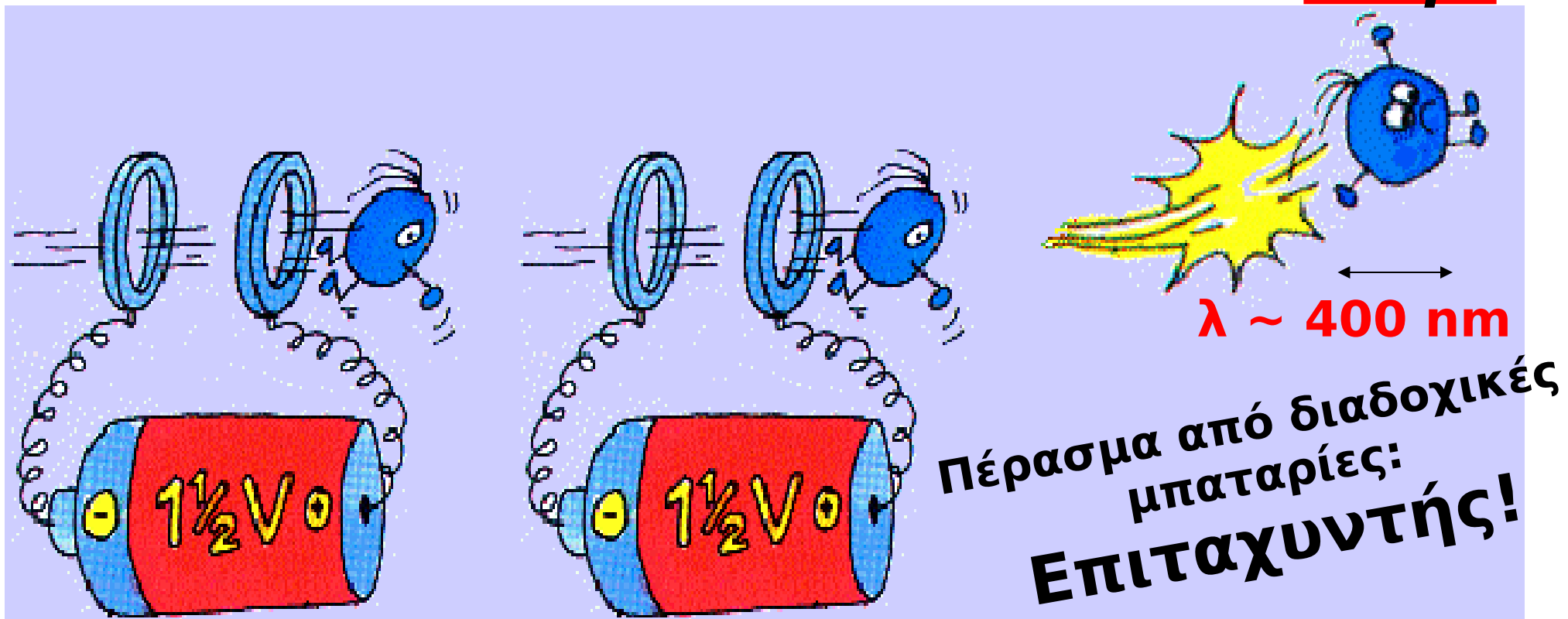
Louis de Broglie (1924)

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

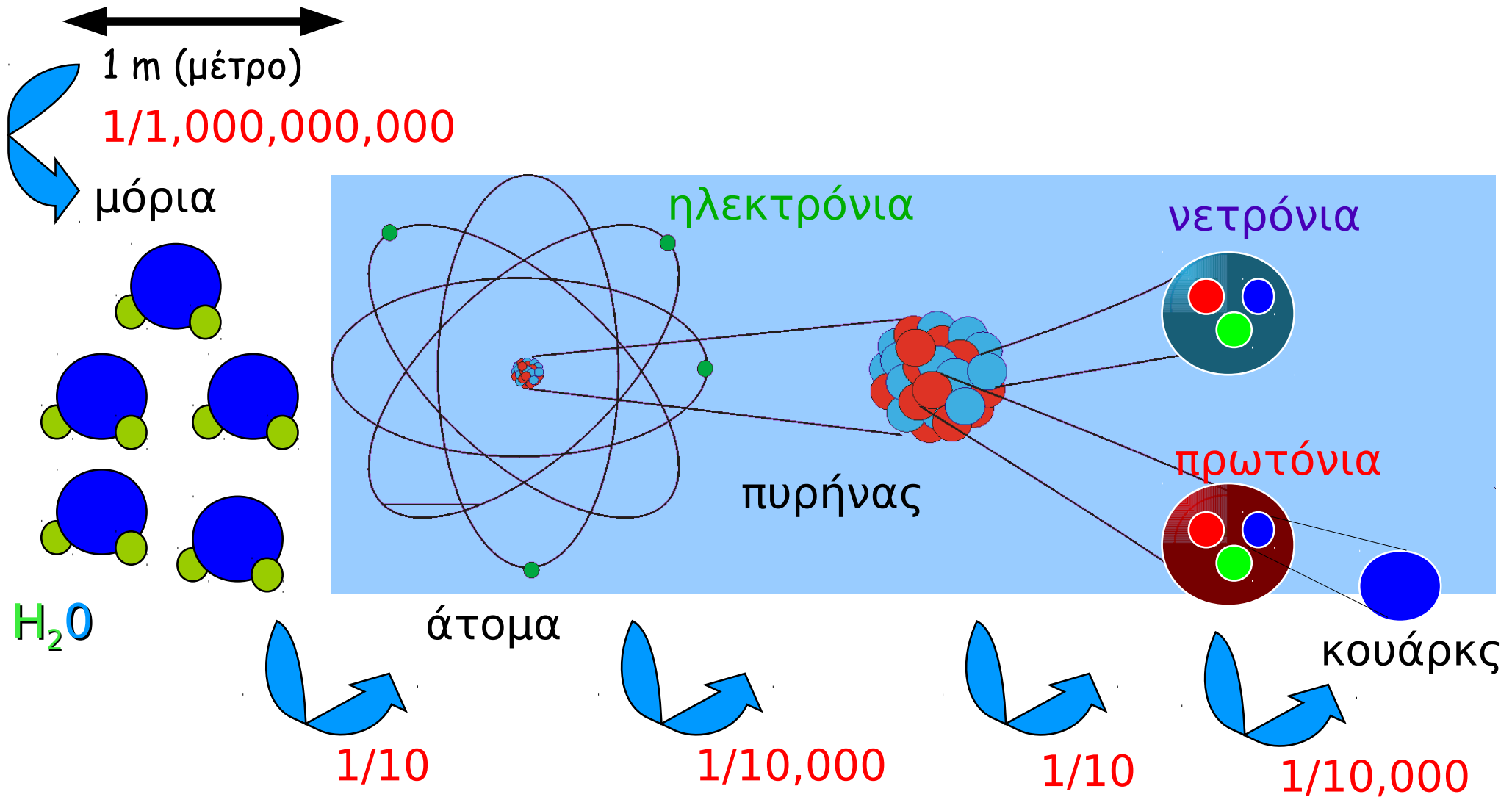
Σωματίδια με το κατάλληλο μήκος κύματος: πώς;

- Κβαντική Φυσική – τα σωματίδια συμπεριφέρονται και ως κύματα
 - Όσο **μεγαλύτερη** είναι η ορμή (= **ταχύτητα** x **μάζα**) ενός σωματιδίου
 - τόσο **μικρότερο μήκος κύματος (λ)** έχει

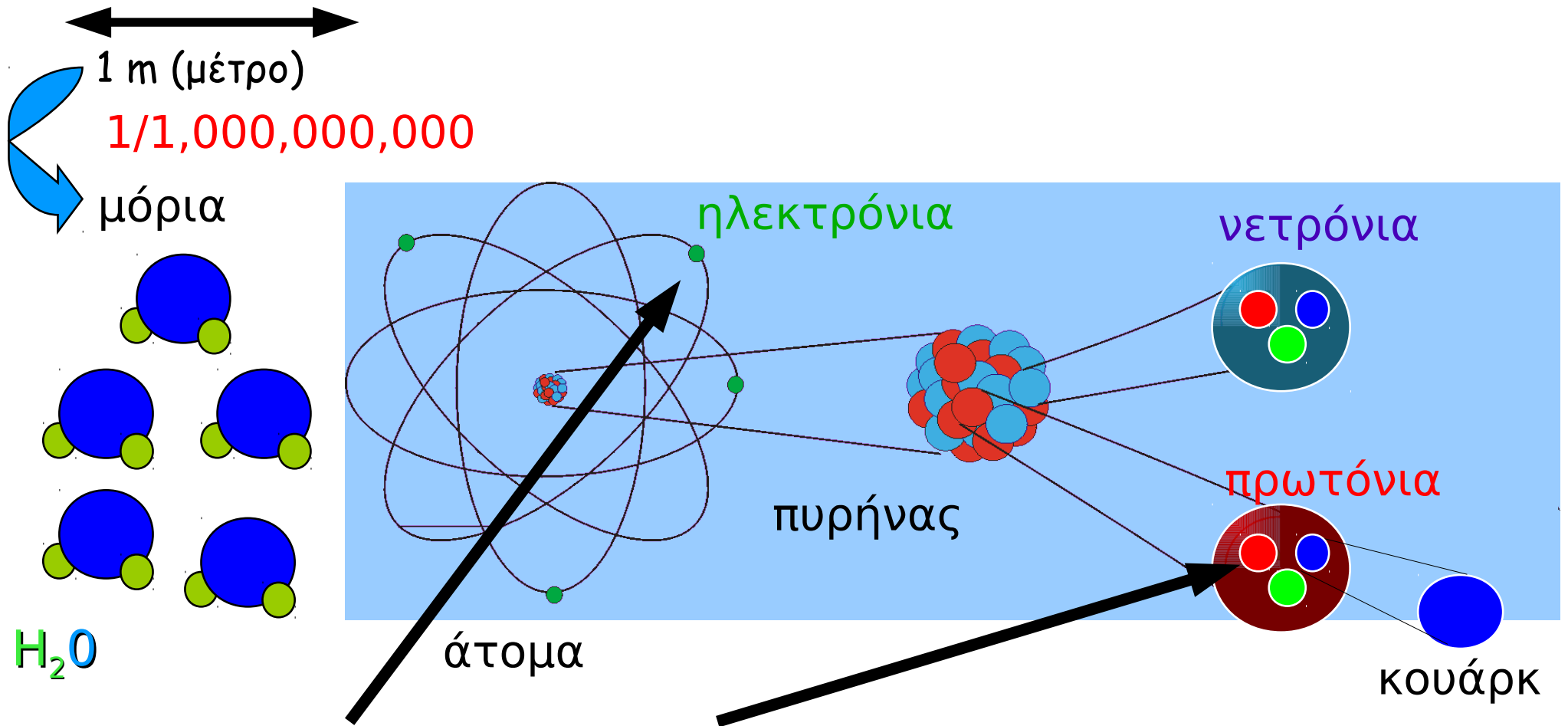
$$\lambda = \frac{h}{p}$$



Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης

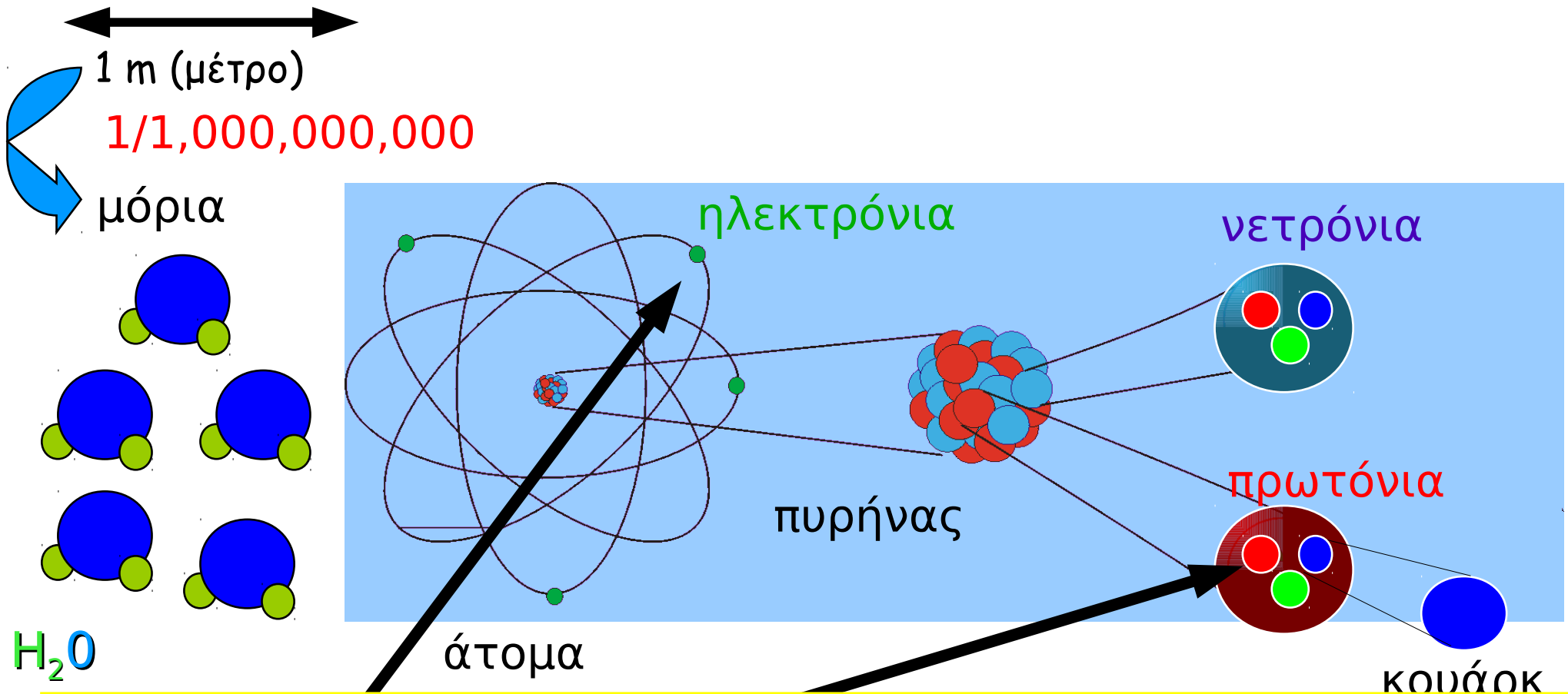


Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης



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

Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης



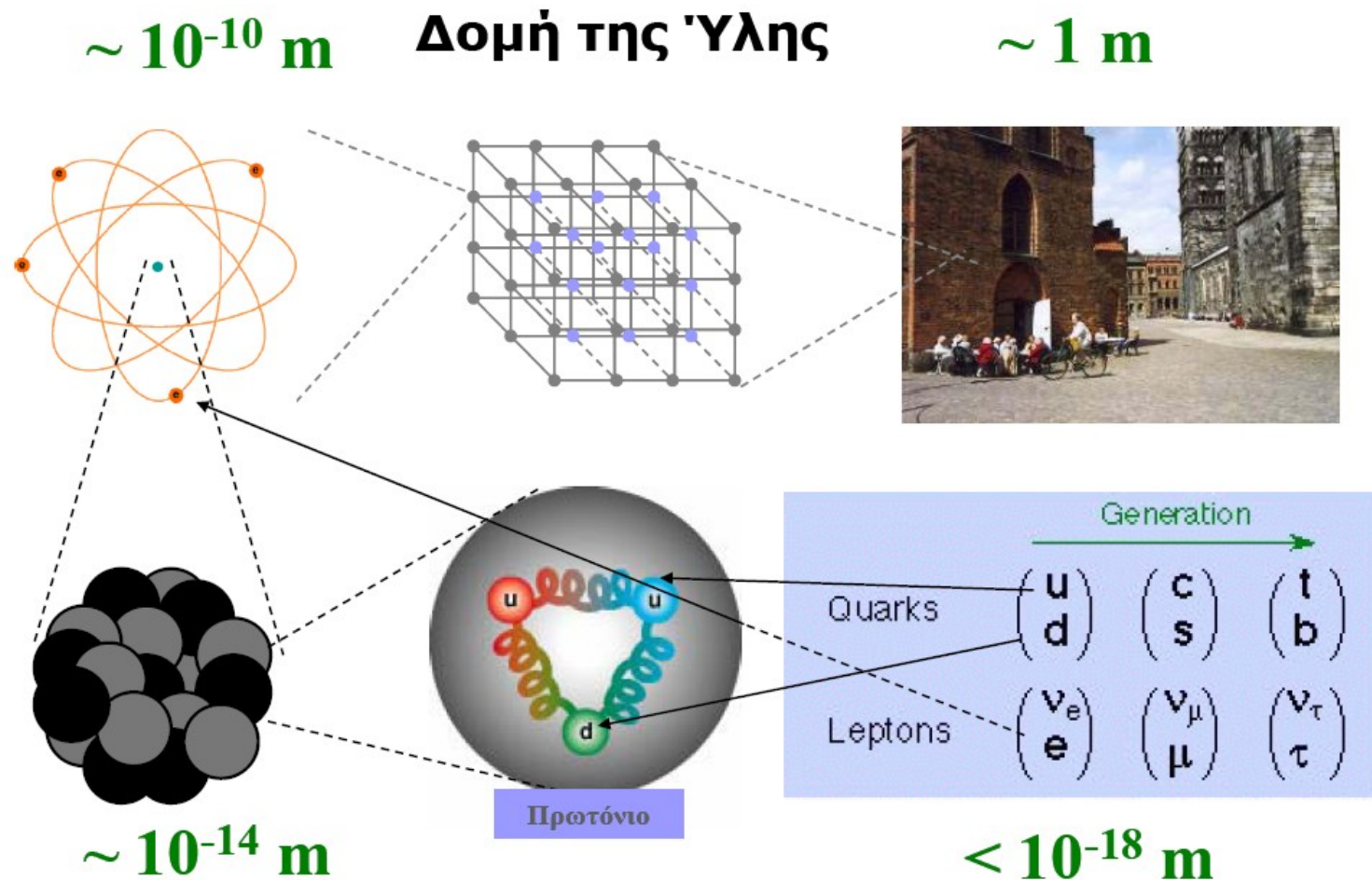
- Ηλεκτρόνια

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

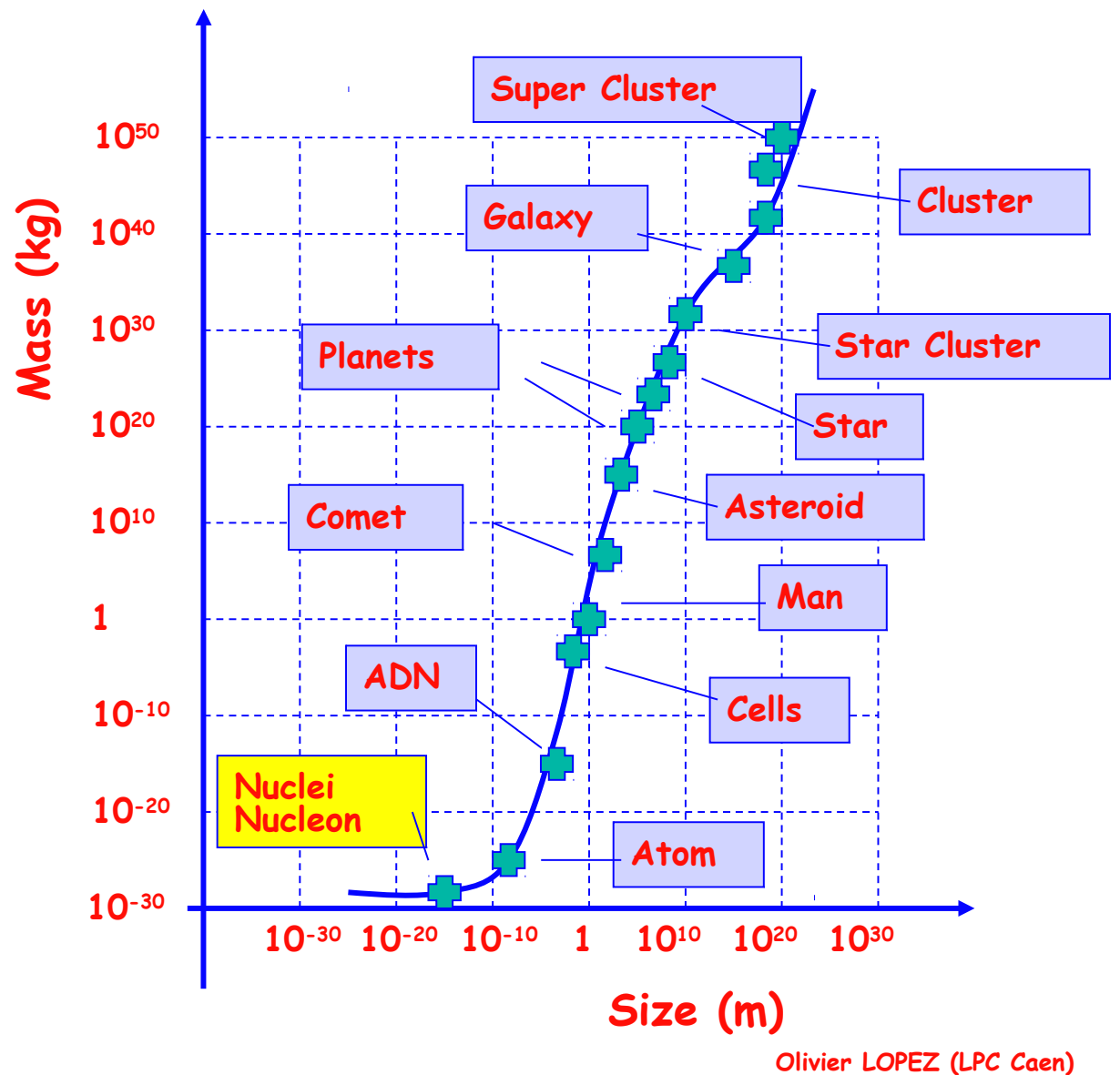
- Πρωτόνια, νετρόνια

+ ~200 παρόμοια αλλά ασταθή σωματίδια, φτιαγμένα από κουάρκ

Μετά από ~100 χρόνια πειραμάτων σκέδασης



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

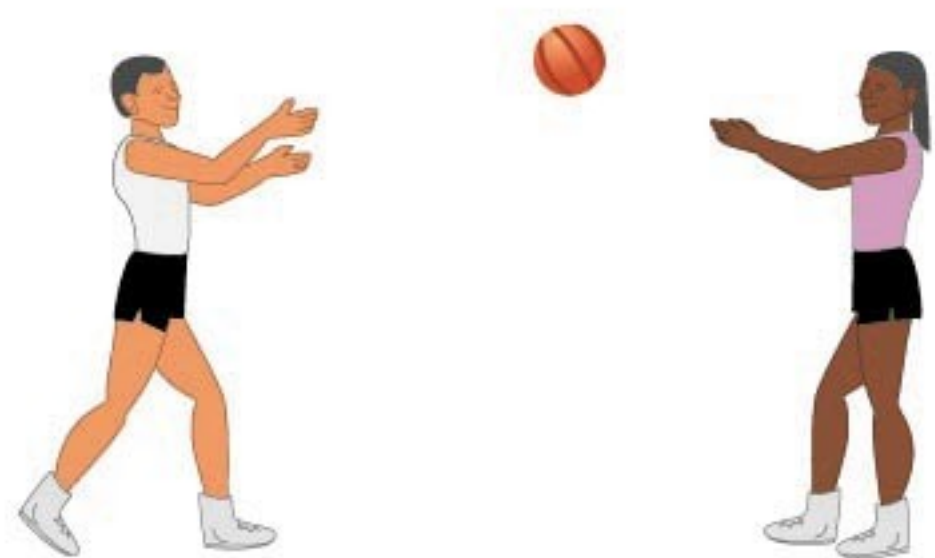
Υπάρχουν και δυνάμεις

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



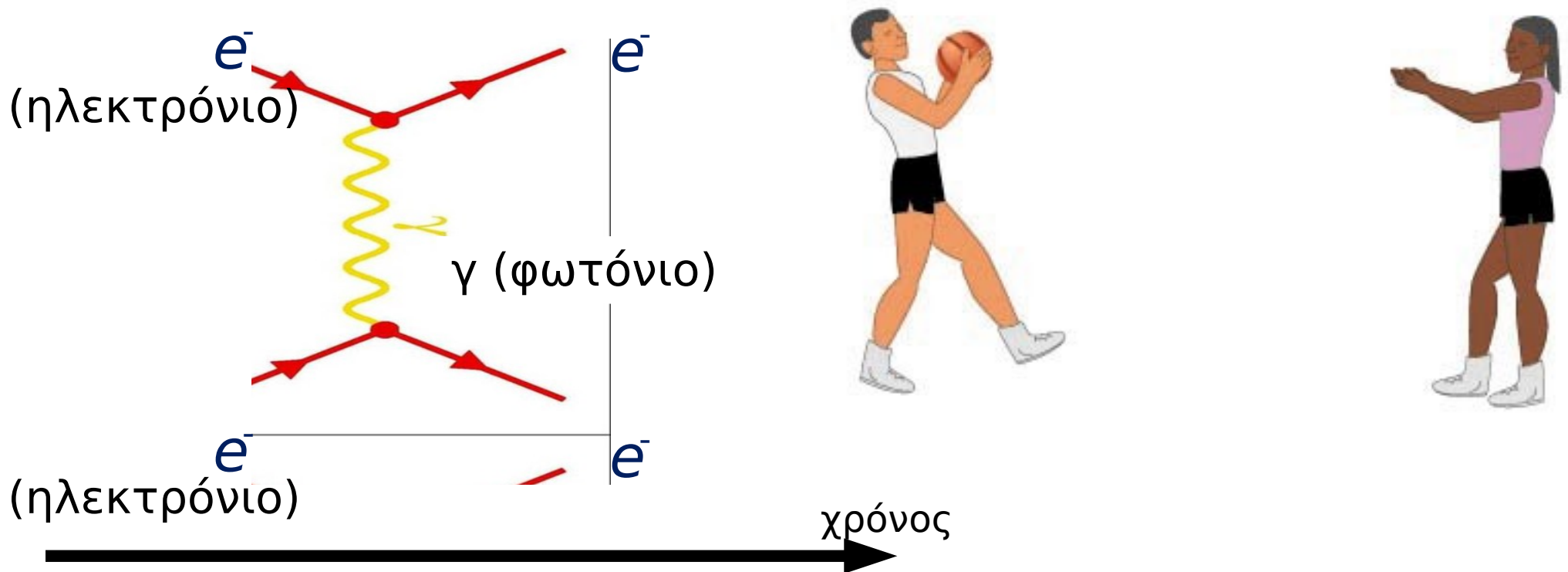
Υπάρχουν και δυνάμεις

- 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
 - ανταλλάσοντας ειδικά σωματίδια που είναι οι φορείς της δύναμης

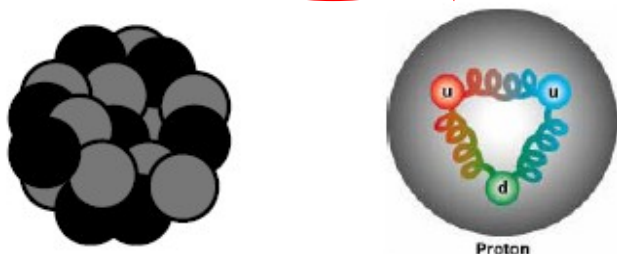


Το φωτόνιο (γ) είναι ο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης

Υπάρχουν και δυνάμεις

Ισχυρές

Μεταδίδονται με τα
γκλουόνια



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

Βαρυτικές

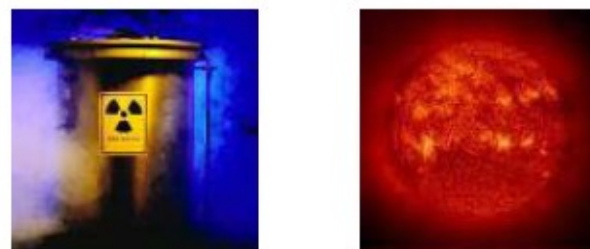
Μεταδίδονται με τα
γκραβιτόνια



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

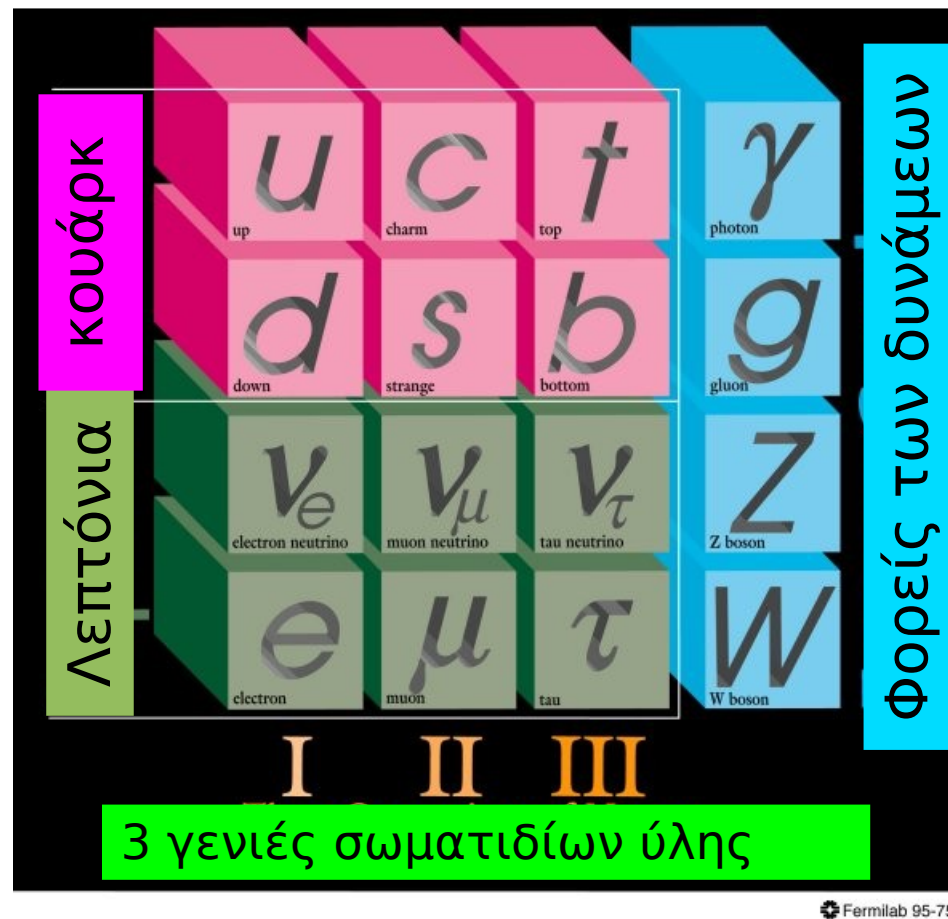
Ηλεκτρομαγνητικές

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



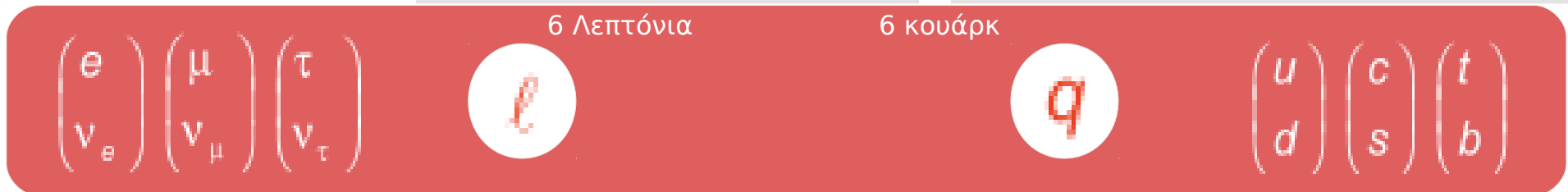
Όλα μαζί – η θεωρία μας για τα δομικά/βασικά συστατικά της ύλης και πώς αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους:

“Το Καθιερωμένο Πρότυπο”

Φερμιόνια

Σωματίδια ύλης

Κάθε κατηγορία σε 3 οικογένειες



Μποζόνια

Διαδότες/φορείς των δυνάμεων

3 δυνάμεις



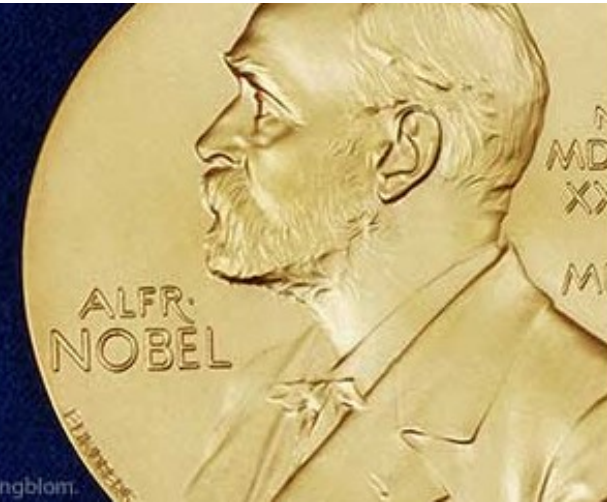
Μποζόνιο Higgs (BEH)



“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

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.”

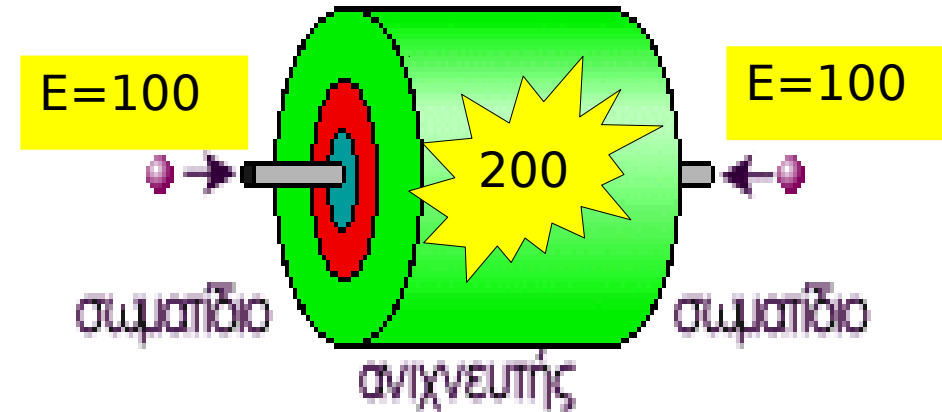
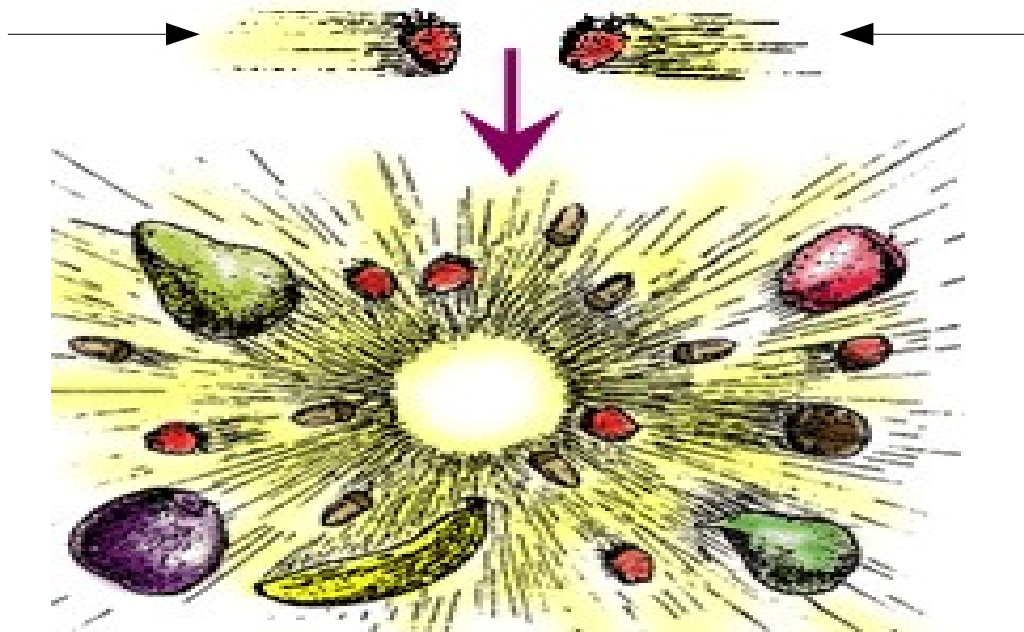


Peter
Higgs

Francois
Englert

Η μέθοδος: 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

$$\lambda = h/p$$

De Broglie (1924)



τηλεσκοπία

- Να ανακαλύπτουμε βαρύτερα σωματίδια
 - Η μάζα είναι μιά μορφή ενέργειας
- Να μελετάμε συνθήκες σαν του πρώιμου σύμπαντος
 - Πολύ Ενέργεια σε μικρό χώρο
→ μεγάλες θερμοκρασίες

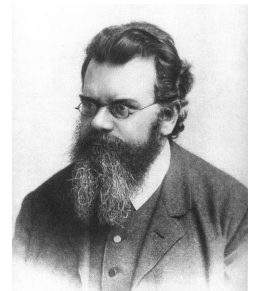
$$E = mc^2$$

Einstein (1905)



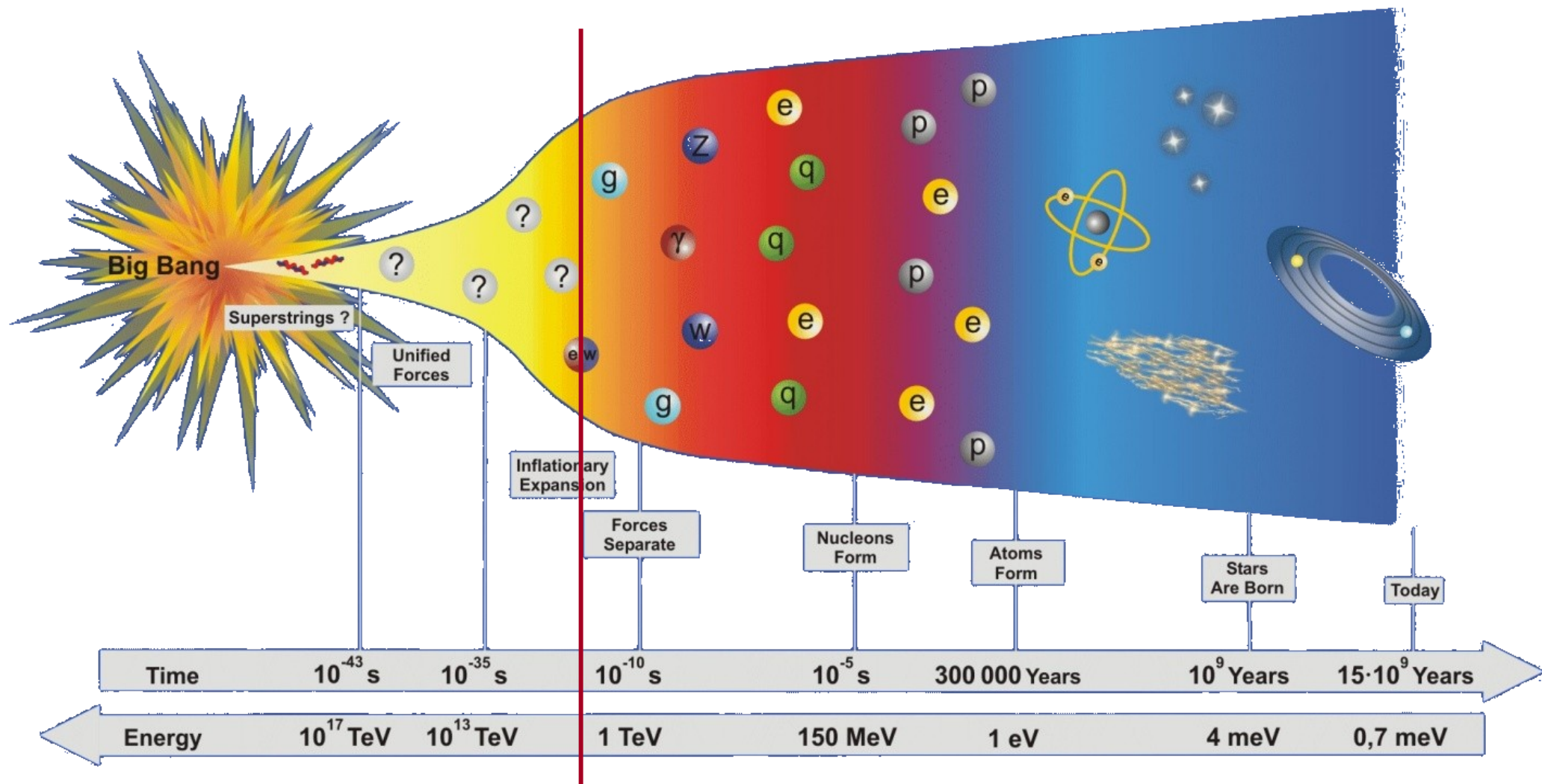
$$E = k T$$

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

Key:

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

14/02/2015

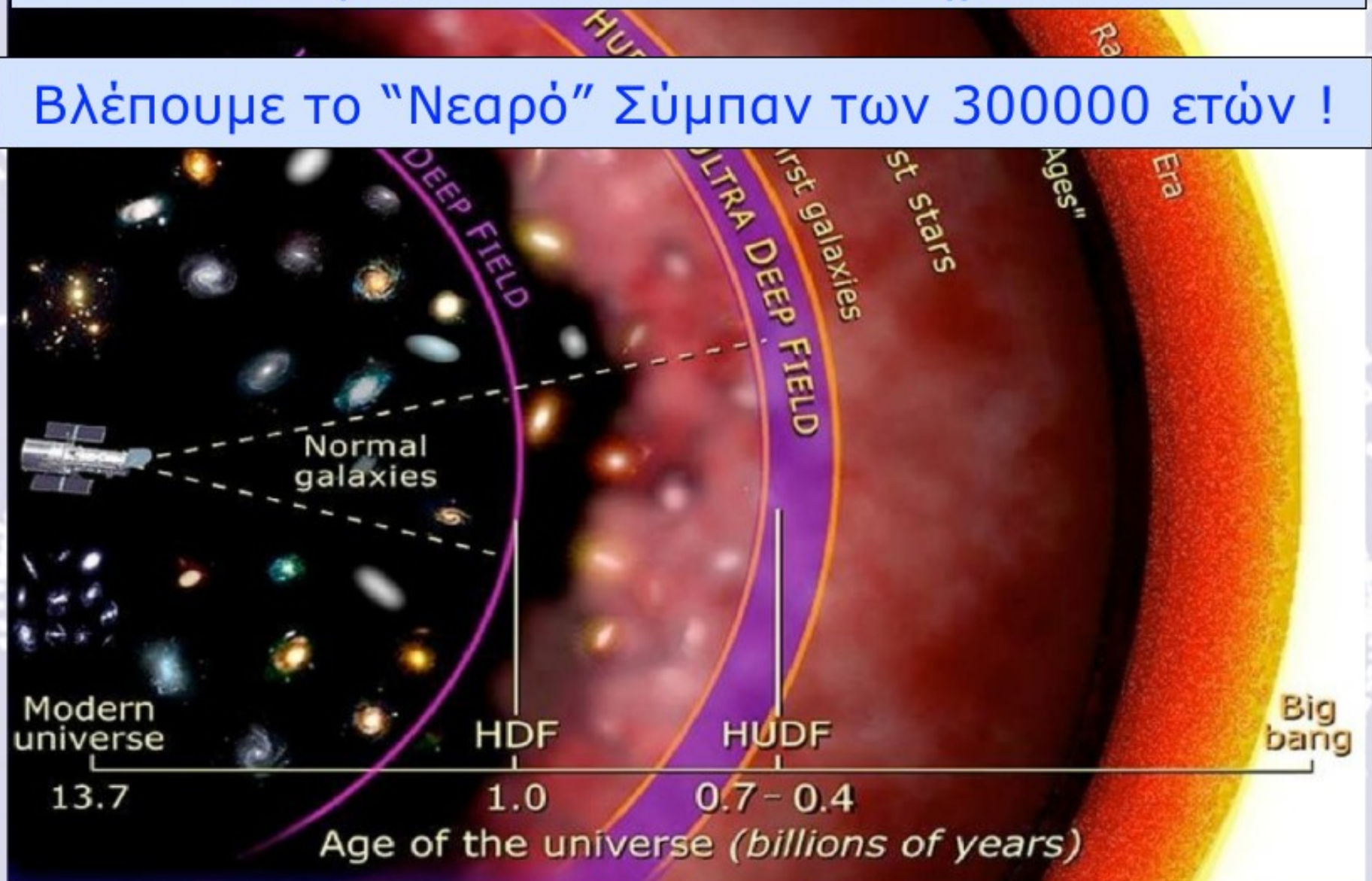
Δ. Σαμψωνίδης - Τα μεγάλα Πειράματα στο CERN

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

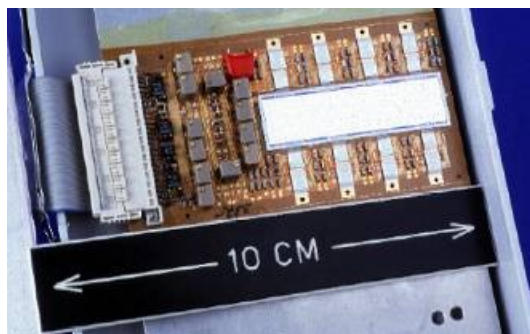
Βλέπουμε το "Νεαρό" Σύμπαν των 300000 ετών !



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
- Κατανόηση των δυνάμεων που τους/τα κυβερνούν
- Μελέτη του τρόπου δημιουργίας των πυρήνων κατανόηση της πυρηνινোসύνθεσης στα άστρα
- Πλάσμα (“σούπα”) από τα συστατικά των πυρήνων
- Σχάση και σύντηξη πυρήνων – παραγωγή ενέργειας
- Εφαρμογές στην Ιατρική (ανιχνευτές ακτονοβολίας, κατασκευή ραδιοϊσοτόπων κλπ).
- Ραδιενέργεια περιβάλλοντος
- κλπ, κλπ...

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

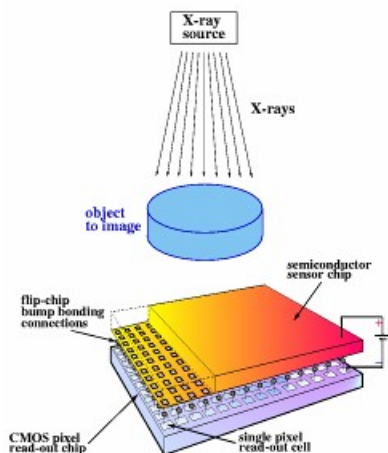


Silicon detector for a Compton camera in nuclear medical imaging

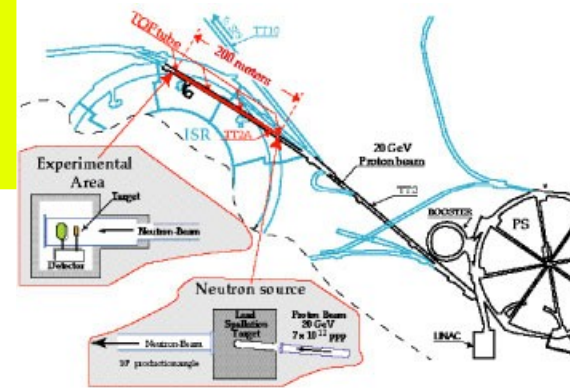
π.χ., διαγνωστικές μέθοδοι στις επιστήμες υγείας



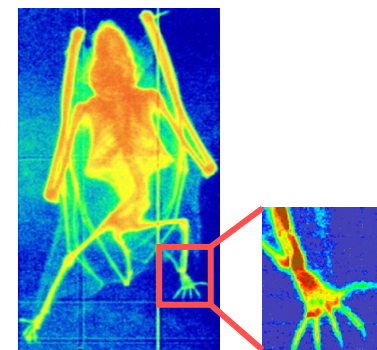
Thin films by sputtering or evaporation



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



Radio-isotope production for medical applications



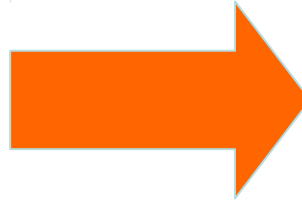
Radiography of a bat, recorded with a GEM detector

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

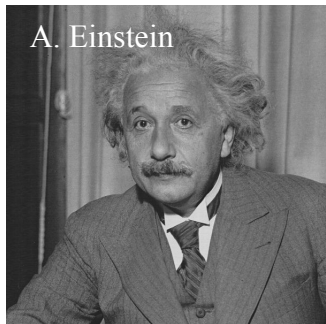
Αλλιώς απλά βελτιώνεις τα ίδια και ποτέ δεν **καινοτομείς**



Αλλαγή παραδείγματος!



Η Βασική Έρευνα ήταν πάντα η κινητήριος δύναμη της **καινοτομίας**



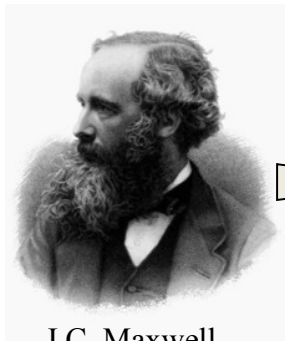
A. Einstein

Σχετικότητα

100%
ΕΠΙΣΤΗΜΗ



For GPS to work, we have to take into account the correction due to time dilation. Otherwise, there would be a position error of around 10m after just 5 minutes of travel-time!



J.C. Maxwell

Ηλεκτρομαγνητισμός

100%
ΕΠΙΣΤΗΜΗ



Telephones use electromagnetic waves to communicate

Επιταχυντές: αναπτύχθηκαν σε εργαστήρια φυσικής και χρησιμοποιούνται σε νοσοκομεία



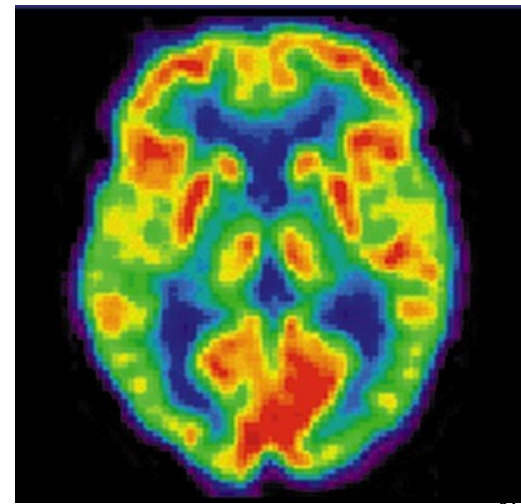
Αround Περί που 9000 από τους ~ 17000 επιταχυντές στον κόσμο σήμερα, χρησιμοποιούνται στην ιατρική.

Η θεραπεία όγκων με δέσμες αδρονίων (π.χ πρωτονίων) είναι μια μέθοδος είναι άνοση σήμερα.

Ανιχνευτές: αναπτύσσονται σε εργαστήρια φυσικής και χρησιμοποιούνται για απεικονίσεις στην ιατρική



PET (Positron Emission Tomography = Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίου) χρησιμοποιεί αντι-ύλη (ποζιτρόνια e^+)



Φυσική και βασική έρευνα → αλλαγή στη θεώρηση του κόσμου

- Κάνουμε Φυσική και βασική έρευνα για να καταλάβουμε αυτό “τον κόσμο τον μικρό, τον μέγα” που ζούμε
- Η παρατήρηση του κόσμου με διάφορα μέσα, αλλάζει τον τρόπο που σκεπτόμαστε. Θυμάστε:
 - Την κατάρριψη του γεωκεντρικού μοντέλου του κόσμου;
 - Τη σχετικότητα του χρόνου;
 - Την αντικατάσταση της βεβαιότητας με την πιθανότητα;

