

March 2024

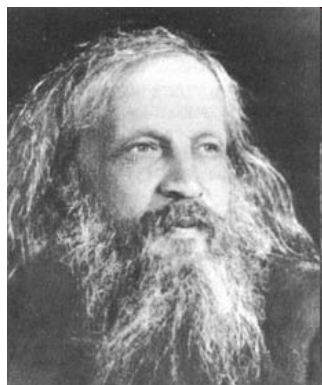
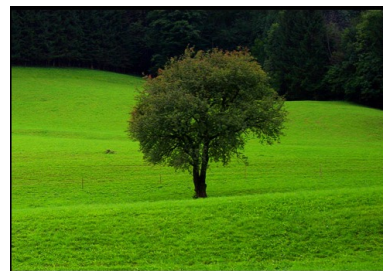
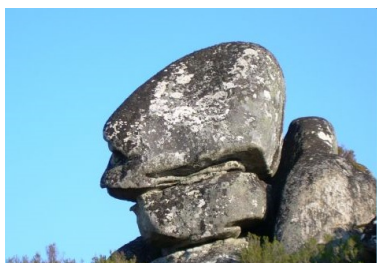
Εισαγωγή στη Σωματιδιακή Φυσική

Αλέξανδρος Απτίκης & Φώτης Πτωχός



Γιατί υπάρχουν τόσες διαφορετικές μορφές ύλης και αντικείμενα?





Mendeleiev
(1867)

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt										
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb			
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No			

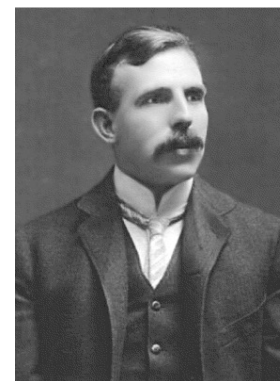
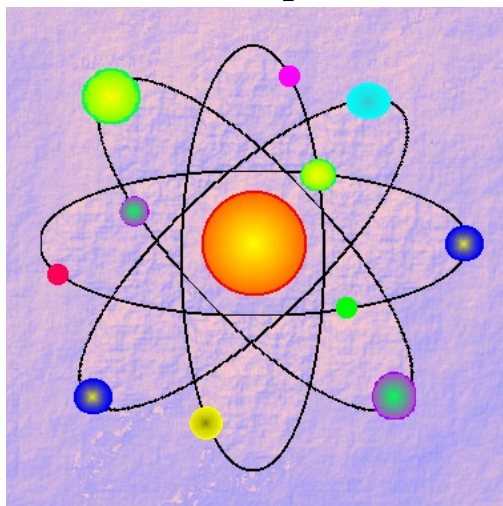
Περιοδικός Πίνακας

H																		He
Li	Be									B	C	N	O	F	Ne			
Na	Mg									Al	Si	P	S	Cl	Ar			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt										
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb			
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No			



Περιοδικός Πίνακας

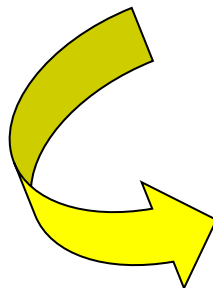
Άτομο



Rutherford
(1909)



Bohr
(1913)

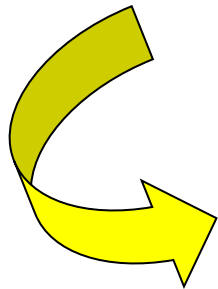
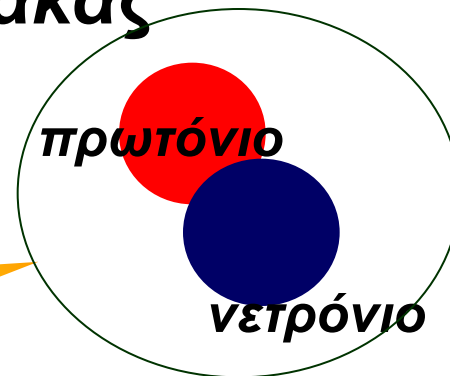
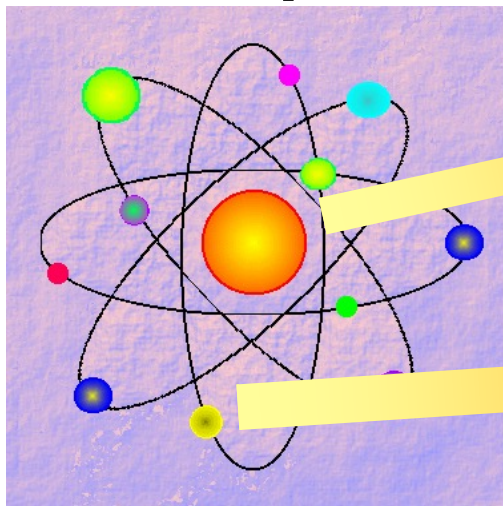


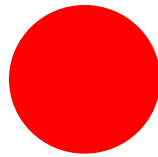
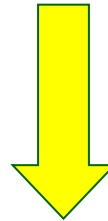
H																			He
Li	Be									B	C	N	O	F	Ne				
Na	Mg									Al	Si	P	S	Cl	Ar				
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt											
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb				
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No				



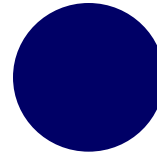
Περιοδικός Πίνακας

Άτομο





πρωτόνιο



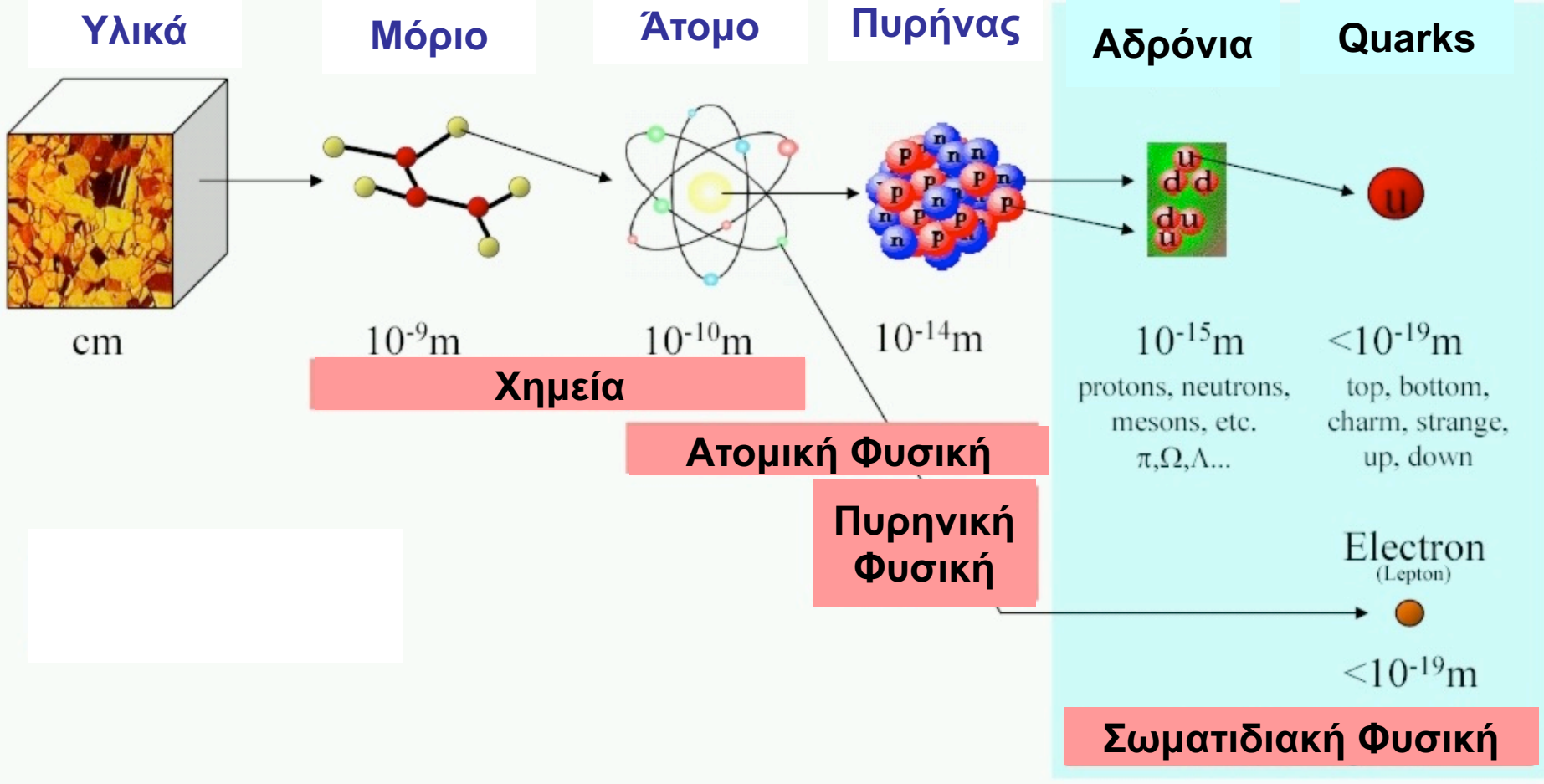
νετρόνιο



ηλεκτρόνιο

- ❖ Είναι τα σωματίδια αυτά τα θεμελιώδη?...
- ❖ ...Μήπως και αυτά είναι σύνθετα σωματίδια?...

Η Σωματιδιακή Φυσική μελετά τις ερωτήσεις αυτές για να δώσει κάποιες απαντήσεις



Μάζα πρωτονίου = $1.67 \times 10^{-27} \text{ Kg} = 938.3 \text{ MeV}/c^2 \sim 1 \text{ GeV}/c^2$

Ύλη

1932

ρ, η, e ν

1937

μ

1940s

μεσόνια π, Κ

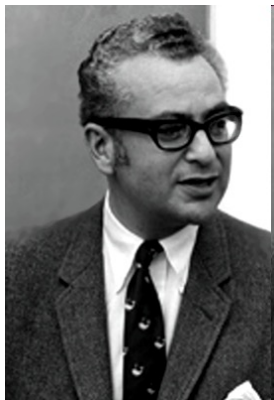
1950s

βαρυόνια Λ, Δ, Σ, ...

...Σήμερα ξέρουμε ~300 στοιχειώδη σωματίδια

Το 1964 προτάθηκε η ιδέα των

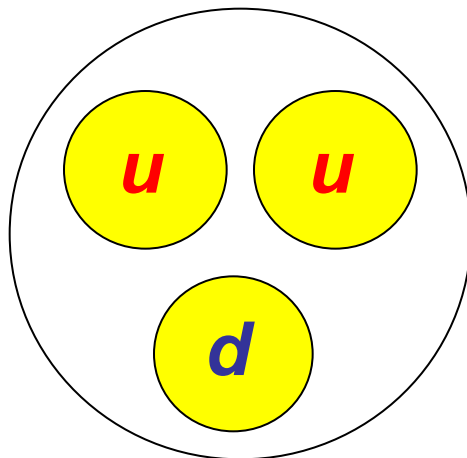
quarks



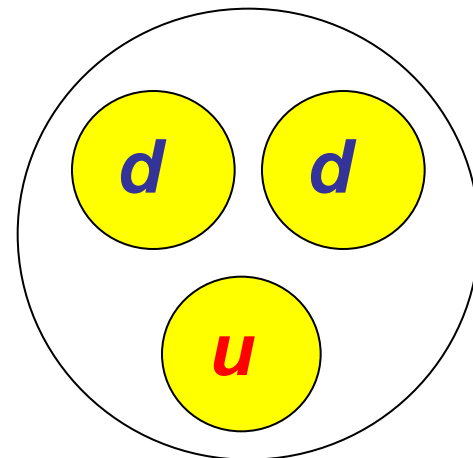
σαν τα στοιχειώδη σωματίδια, με μη ακέραιο ηλεκτρικό φορτίο, τα οποία υπάρχουν με διαφορετικές προσωπικότητες ή γεύσεις

Zweig

Gell-Mann

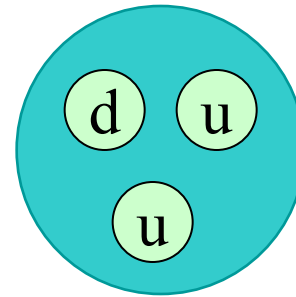


πρωτόνιο



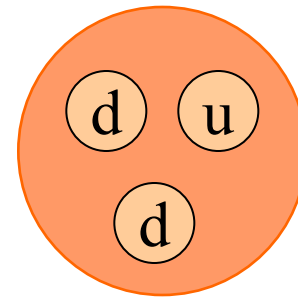
νετρόνιο

Από τι είναι κατασκευασμένο ένα πρωτόνιο?

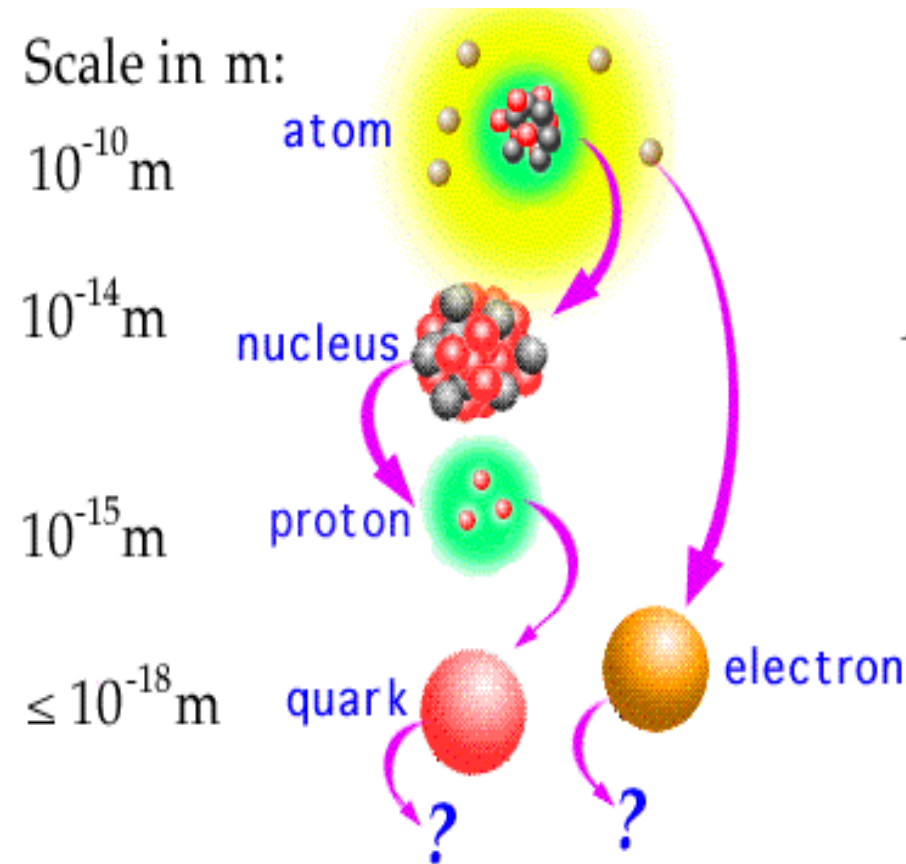


$$\left. \begin{array}{l} q(u) = +2/3 \\ q(d) = -1/3 \end{array} \right\} q(p) = +1$$

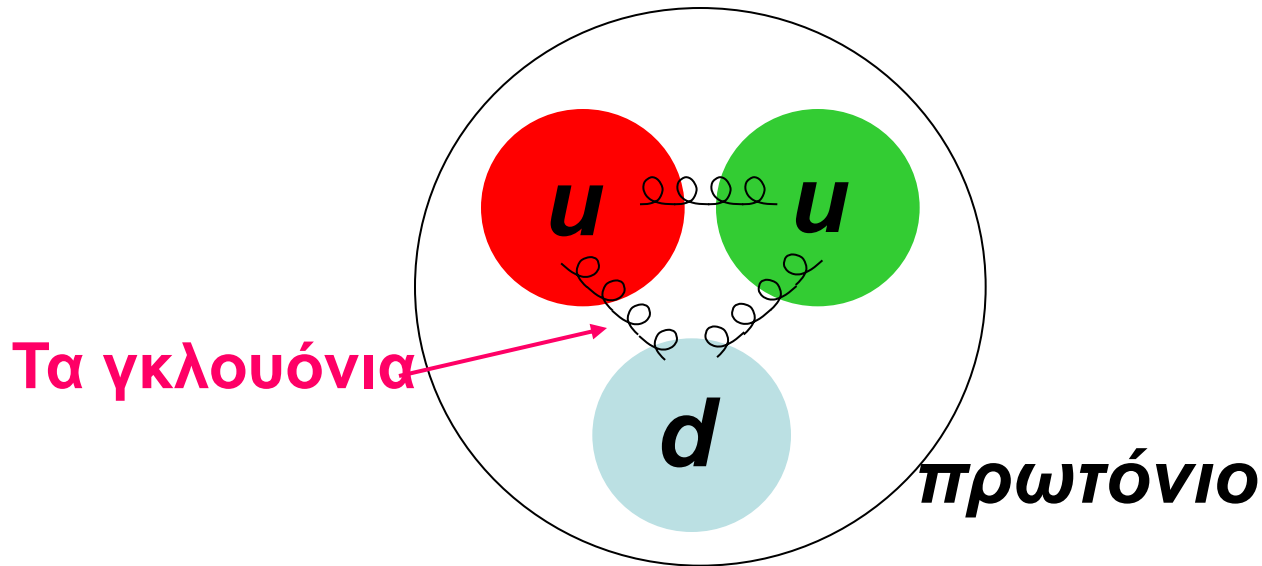
...και ένα νετρόνιο?



$$q(n) = -1/3 - 1/3 + 2/3 = 0$$



★ Τι κρατά τα quarks μαζί ?

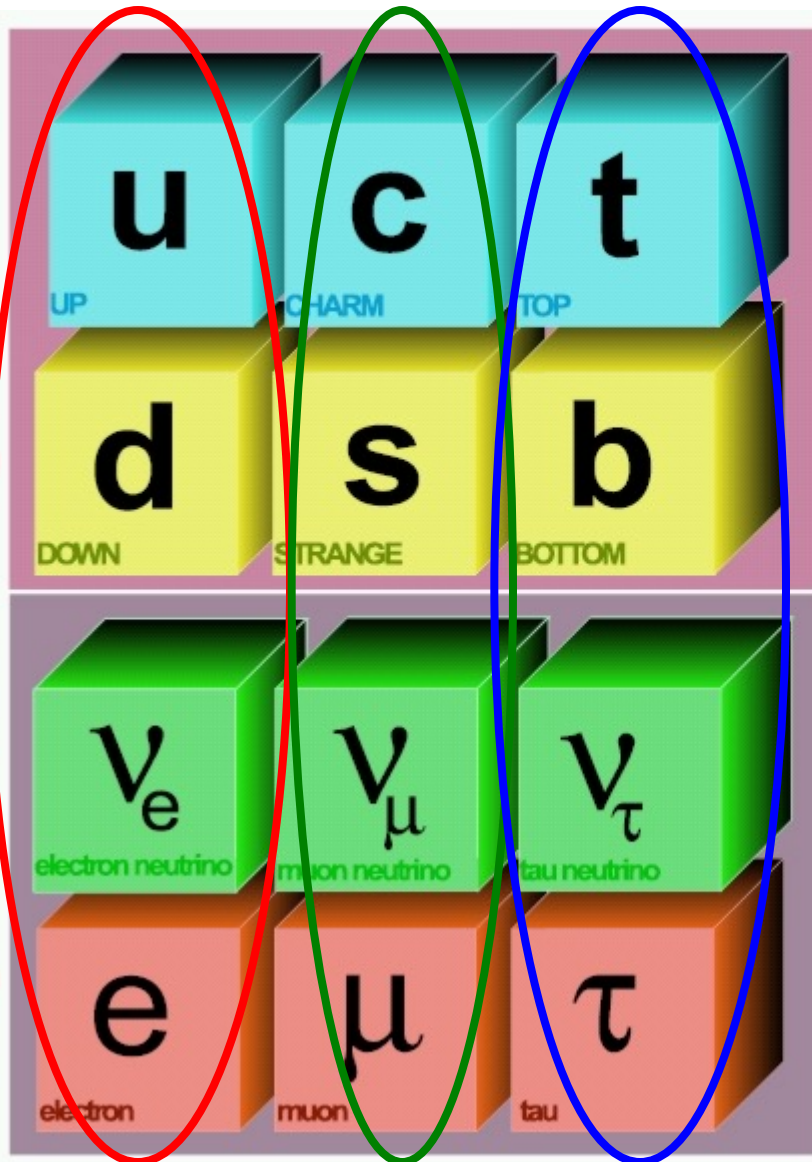


★ Ποτέ μα ποτέ δεν μπορούμε να δούμε ένα ελεύθερο quark

★ Γιατί?
...

Στοιχειώδη σωματίδια

λεπτόνια
quarks



1897
1^η ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ:

u, d, e^-, ν_e

2^η ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ:

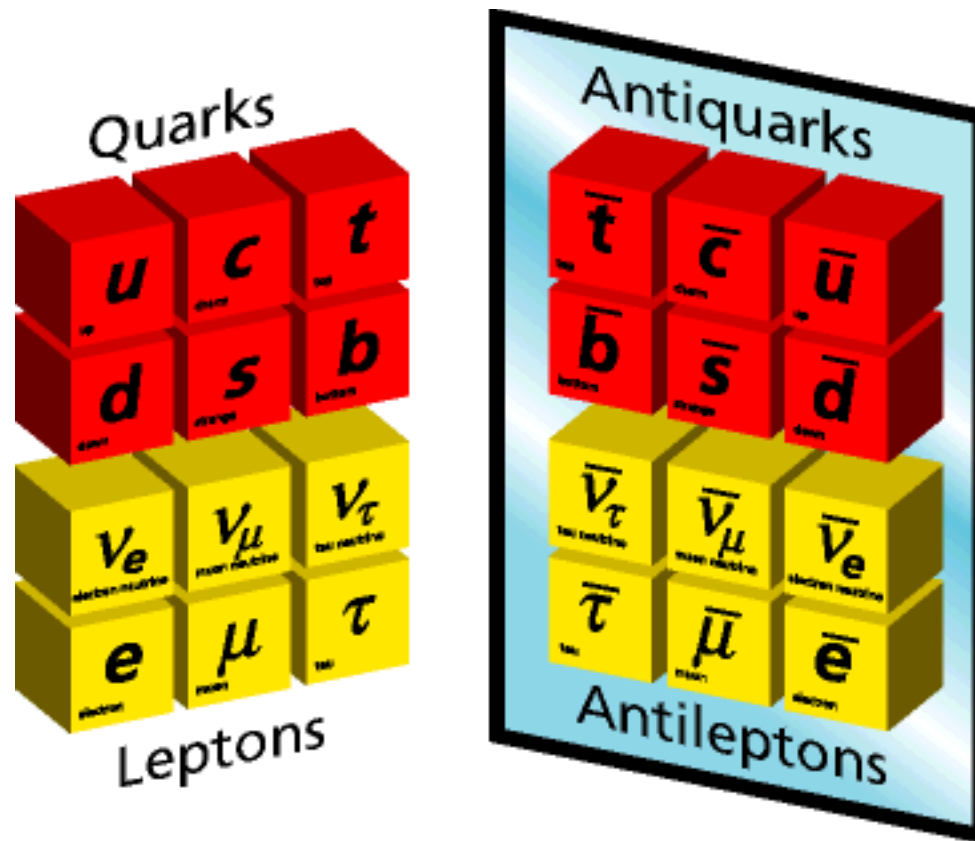
c, s, μ^-, ν_μ

3^η ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ:

t, b, τ^-, ν_τ

1995

ΑΝΤΙ-ύλη

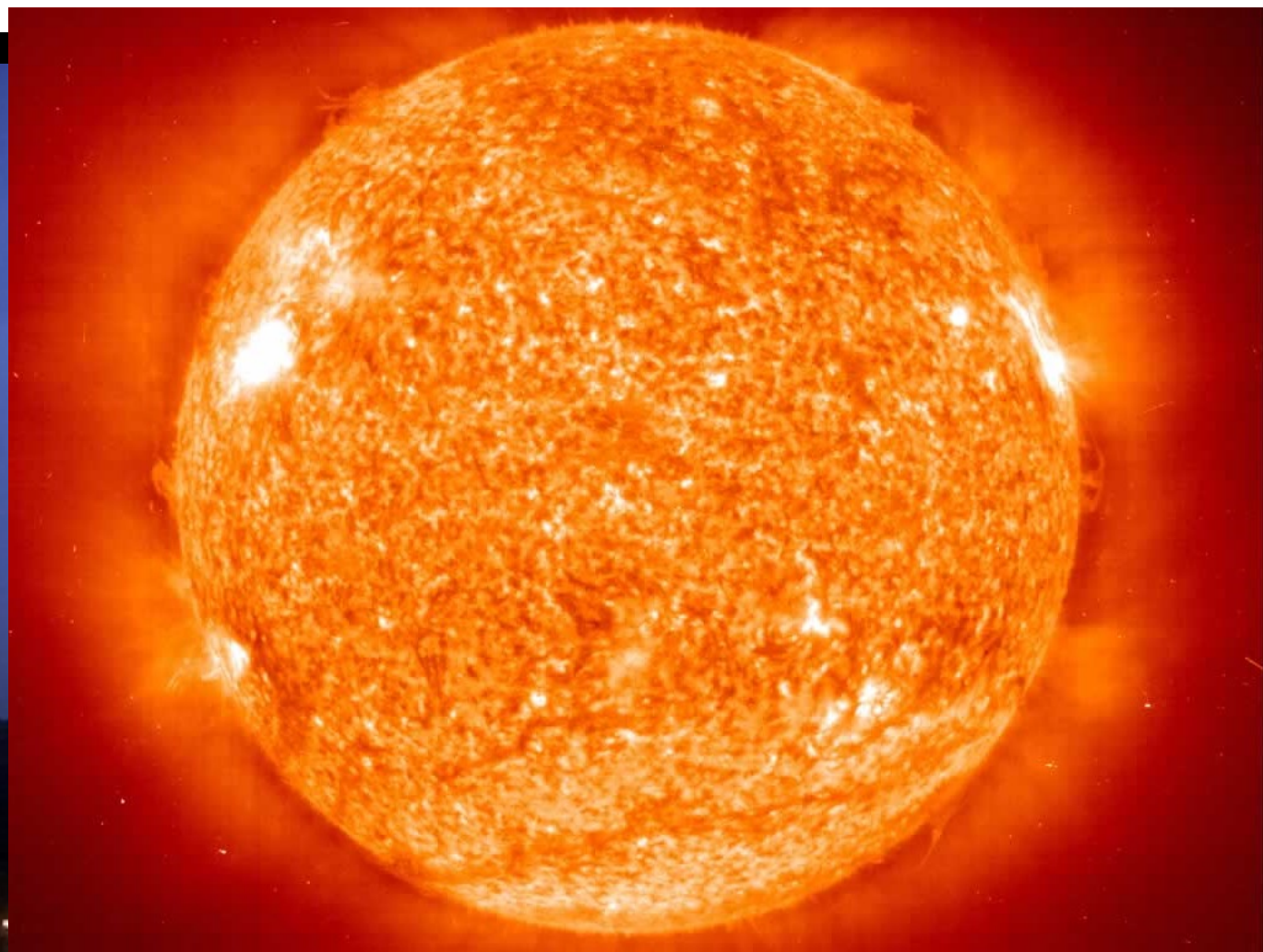


Κάθε σωματίδιο έχει το αντισωματίδιό του, που έχει την ίδια μάζα αλλά αντίθετους κβαντικούς αριθμούς

ηλεκτρόνιο, e^- : $q(e^-) = -1$, $spin = -1/2$, $m(e^-) = 9.1 \times 10^{-28}$ gr.

ποζιτρόνιο, e^+ : $q(e^+) = +1$, $spin = +1/2$, $m(e^+) = 9.1 \times 10^{-28}$ gr.

Αλληλεπιδράσεις

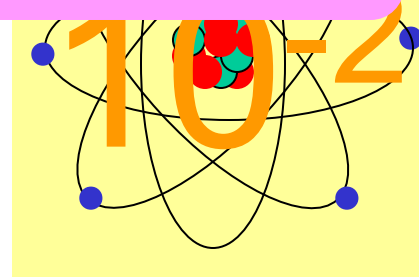


Όλες αυτές οι αλληλεπιδράσεις είναι εκδηλώσεις μόνο

4 βασικών αλληλεπιδράσεων

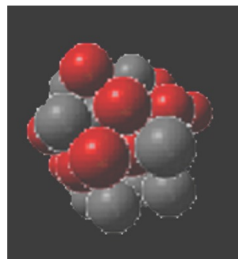


βαρυτική δύναμη



άτομο

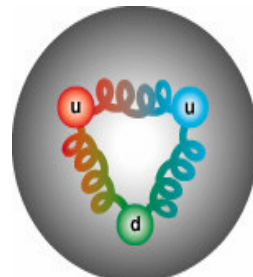
ηλεκτρομαγνητική δύναμη



πυρήνας

Ισχυρή δύναμη

1



Proton

β-διάσπαση

Πυρήνας
 137

ασθενής δύναμη

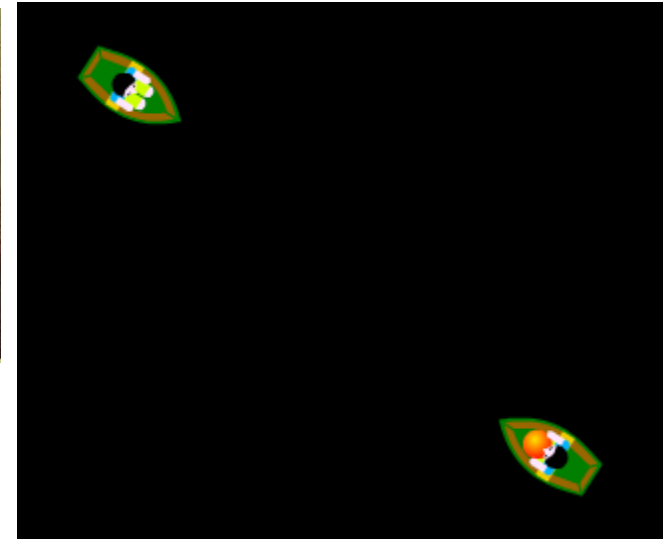
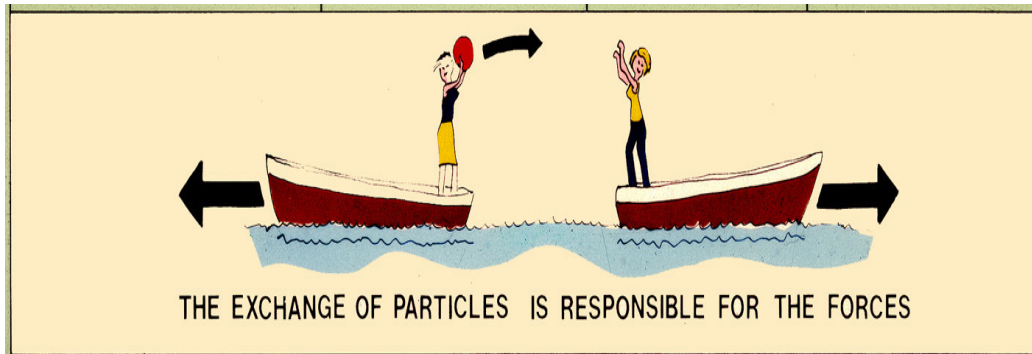
10^{-5}

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$d \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e$$

Οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις

Παράγονται με την ανταλλαγή ενός διαδότη - φορέα



Τα σωματίδια της ύλης αλληλεπιδρούν από απόσταση ανταλλάσσοντας ένα σωματίδιο φορέα της αλληλεπίδρασης

Καθώς η μάζα του φορέα της δύναμης αυξάνει, η ισχύς αλλά και η απόσταση που δρα η δύναμη ελατώνεται.

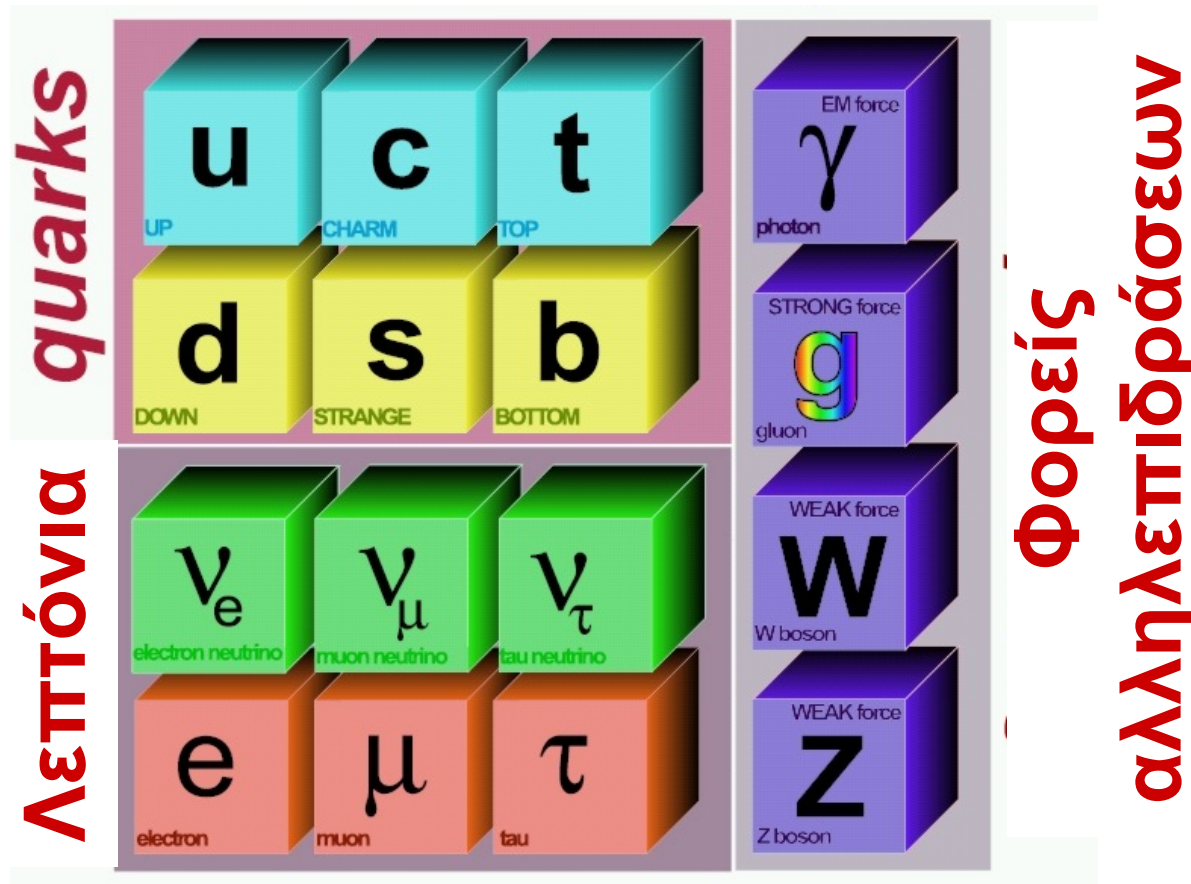
Τύπος αλληλεπίδρασης	Φορέας Δύναμης
Ηλεκτρομαγνητική	γ (φωτόνιο)
Ισχυρή	g (γκλουόνιο)
Ασθενής	μποζόνια W, Z
Βαρυτητική	G (βαρυτόνιο)

Δεν έχει βρεθεί
ακόμα πειραματικά

Καθιερωμένο Πρότυπο

Σε μια κβαντική περιγραφή της ύλης και των νόμων των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των σωματιδίων δεν ξέρουμε πως να συμπεριλάβουμε την βαρύτητα.

Ωστόσο οι υπόλοιπες αλληλεπιδράσεις περιγράφονται πολύ καλά από ένα θεωρητικό μοντέλο, το Καθιερωμένο Πρότυπο (Standard Model) οι προβλέψεις του οποίου έχουν επιβεβαιωθεί από το πείραμα



Standard Model



(~1980)

Συστατικά της ύλης

Αλληλεπιδράσεις

Το μοντέλο αυτό απαιτεί ότι οι φορείς των δυνάμεων δεν έχουν μάζα αλλά ξέρουμε ότι η απαίτηση αυτή δεν ικανοποιείται → **πρόβλημα προέλευσης της μάζας**

Σωματίδιο Higgs

Ο βρετανός φυσικός Dr. Peter Higgs πρότεινε (1964) τον λεγόμενο μηχανισμό Higgs:

Όλα τα σωματίδια θα είχαν δημιουργηθεί κατά το Big Bang χωρίς μάζα, αλλά αλληλεπιδρούν με το πεδίο Higgs, και αποκτούν μάζα, η οποία είναι μεγαλύτερη ανάλογα με την ισχύ της αλληλεπίδρασης με το Higgs. Το πεδίο αυτό εκτείνεται σε όλο το σύμπαν.

Αλληλεπίδραση με
το πεδίο Higgs



Ανάλογη με την
τριβή σε ένα υγρό



Σωματίδιο Higgs

Ο βρετανός φυσικός Dr. Peter Higgs πρότεινε (1964) τον λεγόμενο μηχανισμό Higgs:

Όλα τα σωματίδια θα είχαν δημιουργηθεί κατά το Big Bang χωρίς μάζα, αλλά αλληλεπιδρούν με το πεδίο Higgs, και αποκτούν μάζα, η οποία είναι μεγαλύτερη ανάλογα με την ισχύ της αλληλεπίδρασης με το Higgs. Το πεδίο αυτό εκτείνεται σε όλο το σύμπαν.

Αλληλεπίδραση με
το πεδίο Higgs



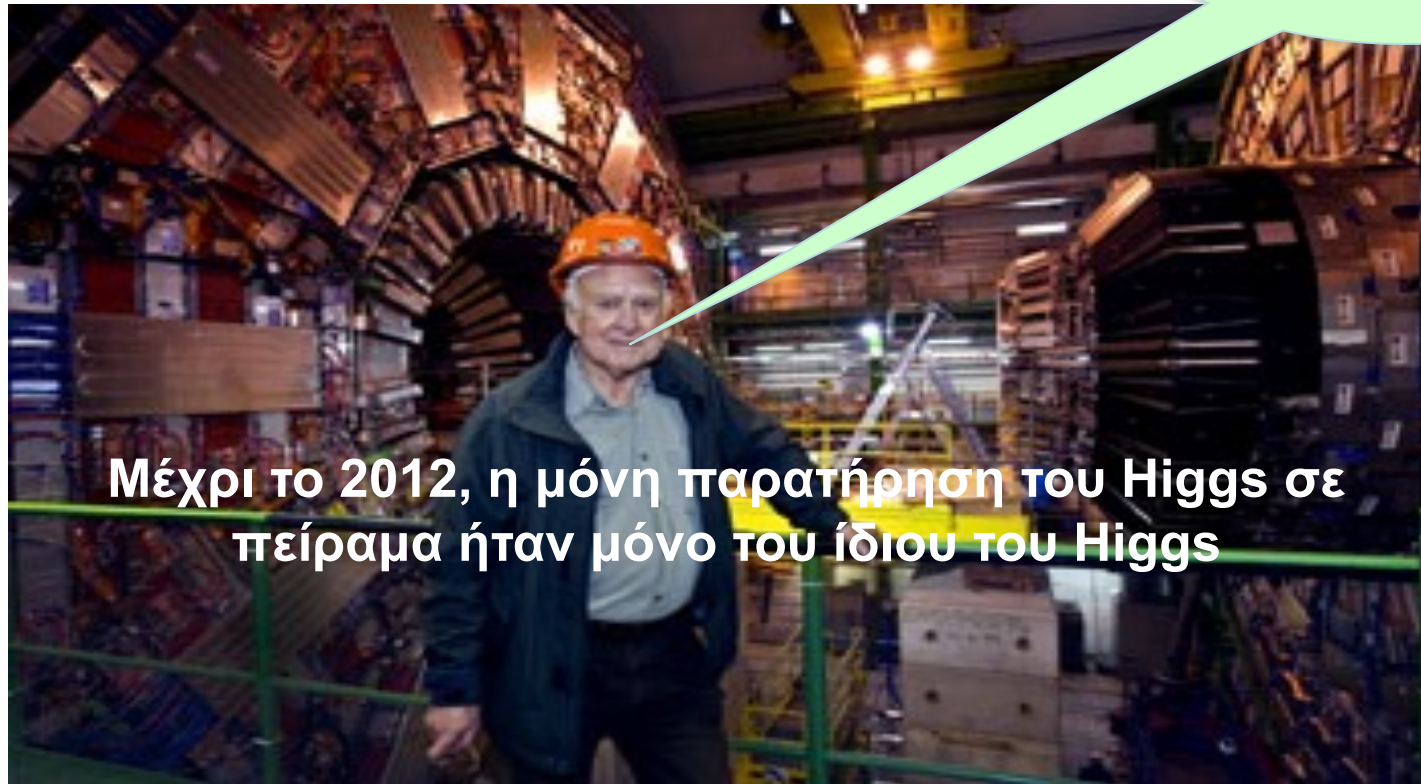
Ανάλογη με την
τριβή σε ένα υγρό



Σωματίδιο Higgs

Το σωματίδιο αυτό διέφευγε παρατήρησης για 50 περίπου χρόνια και ήταν ένα από τους κύριους στόχους του προγράμματος φυσικής του LHC στο CERN

Hi! I' m Higgs!
Peter Higgs



Μέχρι το 2012, η μόνη παρατήρηση του Higgs σε πείραμα ήταν μόνο του ίδιου του Higgs

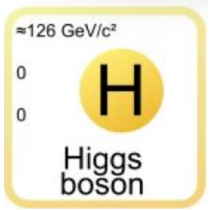
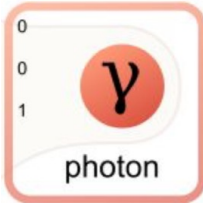
$$\begin{aligned}\mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\ & + i \bar{\psi} \not{D} \psi + \text{h.c.} \\ & + \chi_i \gamma_{ij} \chi_j \phi + \text{h.c.} \\ & + |D_m \phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$



mass →	2.3 MeV/c ²	1.275 GeV/c ²	173.07 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3
spin →	1/2	1/2	1/2
	u	c	t
	up	charm	top
	d	s	b
	down	strange	bottom
QUARKS			
mass →	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²
charge →	-1	-1	-1
spin →	1/2	1/2	1/2
	e	μ	τ
	electron	muon	tau
	ν_e	ν_μ	ν_τ
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino
LEPTONS			
mass →	< 2.2 eV/c ²	< 0.17 MeV/c ²	< 15.5 MeV/c ²
charge →	0	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2
	ν_e	ν_μ	ν_τ
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino



$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{2}\partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e + \\
 & \frac{1}{2}ig_s^2(\bar{q}_i^\sigma \gamma^\mu q_j^\sigma)g_\mu^a + G^a \partial^2 G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu G^a G^b g_\mu^c - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
 & M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}\partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2}M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \frac{1}{2}\partial_\mu H \partial_\mu H - \\
 & \frac{1}{2}m_h^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \frac{1}{2c_w^2}M \phi^0 \phi^0 - \beta_h [\frac{2M^2}{g^2} + \\
 & \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2}(H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-)] + \frac{2M^4}{g^2} \alpha_h - igc_w [\partial_\nu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
 & W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - ig_s w [\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - A_\nu (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
 & W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- W_\nu^+ W_\nu^- + \\
 & \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\mu^+ Z_\nu^0 W_\nu^- - Z_\mu^0 Z_\nu^0 W_\mu^+ W_\nu^-) + \\
 & g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w [A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\nu^+ W_\mu^-) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-] - g\alpha [H^3 + H \phi^0 \phi^0 + 2H \phi^+ \phi^-] - \\
 & \frac{1}{8}g^2 \alpha_h [H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 H^2] - \\
 & g M W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2}ig [W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - \\
 & W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0)] + \frac{1}{2}g [W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) - W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \\
 & \phi^+ \partial_\mu H)] + \frac{1}{2}g \frac{1}{c_w} (Z_\mu^0 (H \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) - ig \frac{s_w^2}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \\
 & ig_s w M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - ig \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + \\
 & ig_s w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \frac{1}{4}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- [H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-] - \\
 & \frac{1}{4}g^2 \frac{1}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 [H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-] - \frac{1}{2}g^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
 & W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2}ig^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}g^2 s_w A_\mu \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
 & W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - g^2 \frac{s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - \\
 & g^1 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - \bar{e}^\lambda (\gamma \partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda \gamma \partial \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma \partial + m_u^\lambda) u_j^\lambda - \\
 & \bar{d}_j^\lambda (\gamma \partial + m_d^\lambda) d_j^\lambda + ig_s w A_\mu [-(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{2}{3}(\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3}(\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda)] + \\
 & \frac{ig}{4c_w} Z_\mu^0 [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{1}{3}s_w^2 - \\
 & 1 - \gamma^5) u_j^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 - \gamma^5) d_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda) + \\
 & (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\kappa C_{\lambda\kappa}^\dagger \gamma^\mu (1 + \\
 & \gamma^5) u_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} \frac{m_e^\lambda}{M} [-\phi^+ (\bar{\nu}^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \phi^- (\bar{e}^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda)] - \\
 & \frac{g}{2} \frac{m_e^\lambda}{M} [H (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + i\phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda)] + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ [-m_d^\kappa (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\kappa) + \\
 & m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\kappa) + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- [m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\kappa) - m_u^\kappa (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \\
 & \gamma^5) u_j^\kappa) - \frac{g}{2} \frac{m_u^\lambda}{M} H (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_d^\lambda}{M} H (\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{ig}{2} \frac{m_u^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \\
 & \frac{ig}{2} \frac{m_d^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda)] + \bar{X}^+ (\partial^2 - M^2) X^+ + \bar{X}^- (\partial^2 - M^2) X^- + \bar{X}^0 (\partial^2 - \\
 & \frac{M^2}{c_w^2}) X^0 + \bar{Y} \partial^2 Y + igc_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + ig_s w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - \\
 & \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + igc_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + ig_s w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- Y - \\
 & \partial_\mu \bar{Y} X^+) + igc_w Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \partial_\mu \bar{X}^- X^-) + ig_s w A_\mu (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \\
 & \partial_\mu \bar{X}^- X^-) - \frac{1}{2}g M [\bar{X}^+ X^+ H + \bar{X}^- X^- H + \frac{1}{c_w^2} \bar{X}^0 X^0 H] + \\
 & \frac{1-2c_w^2}{2c_w} ig M [\bar{X}^+ X^0 \phi^+ - \bar{X}^- X^0 \phi^-] + \frac{1}{2c_w} ig M [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \\
 & ig M s_w [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \frac{1}{2}ig M [\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0]
 \end{aligned}$$



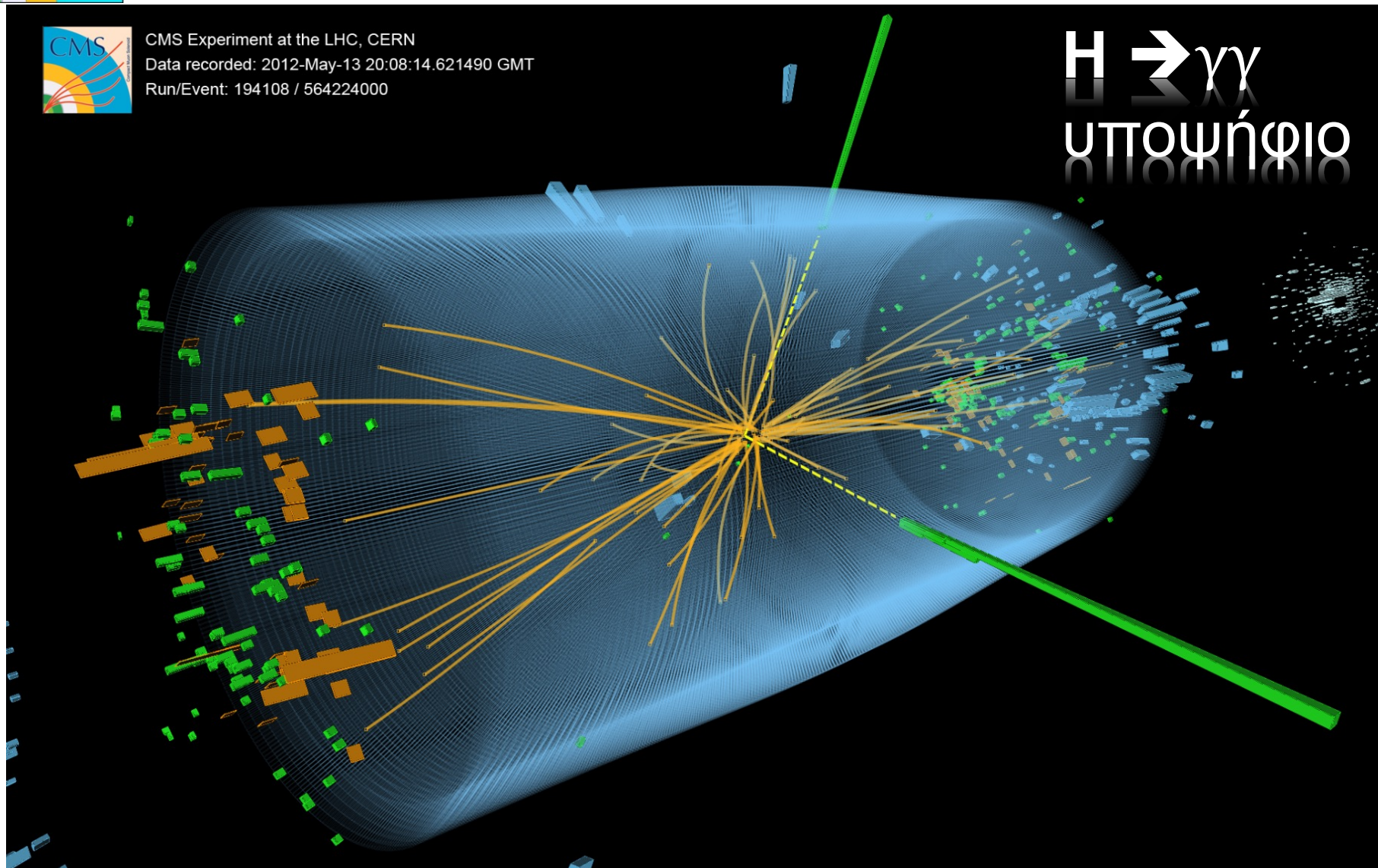


Αναζήτηση του Higgs ($H \rightarrow \gamma\gamma$)



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

$H \rightarrow \gamma\gamma$
ΥΠΟΨΗΦΙΟ



γεγονός υποψήφιο για $H \rightarrow \gamma\gamma$



Αναζήτηση του Higgs ($H \rightarrow \gamma\gamma$)

Mass Resolution

$$\Delta m_H / m_H < 1\%$$

αμείωτο υπόβαθρο:

$q\bar{q} \rightarrow \gamma\gamma$

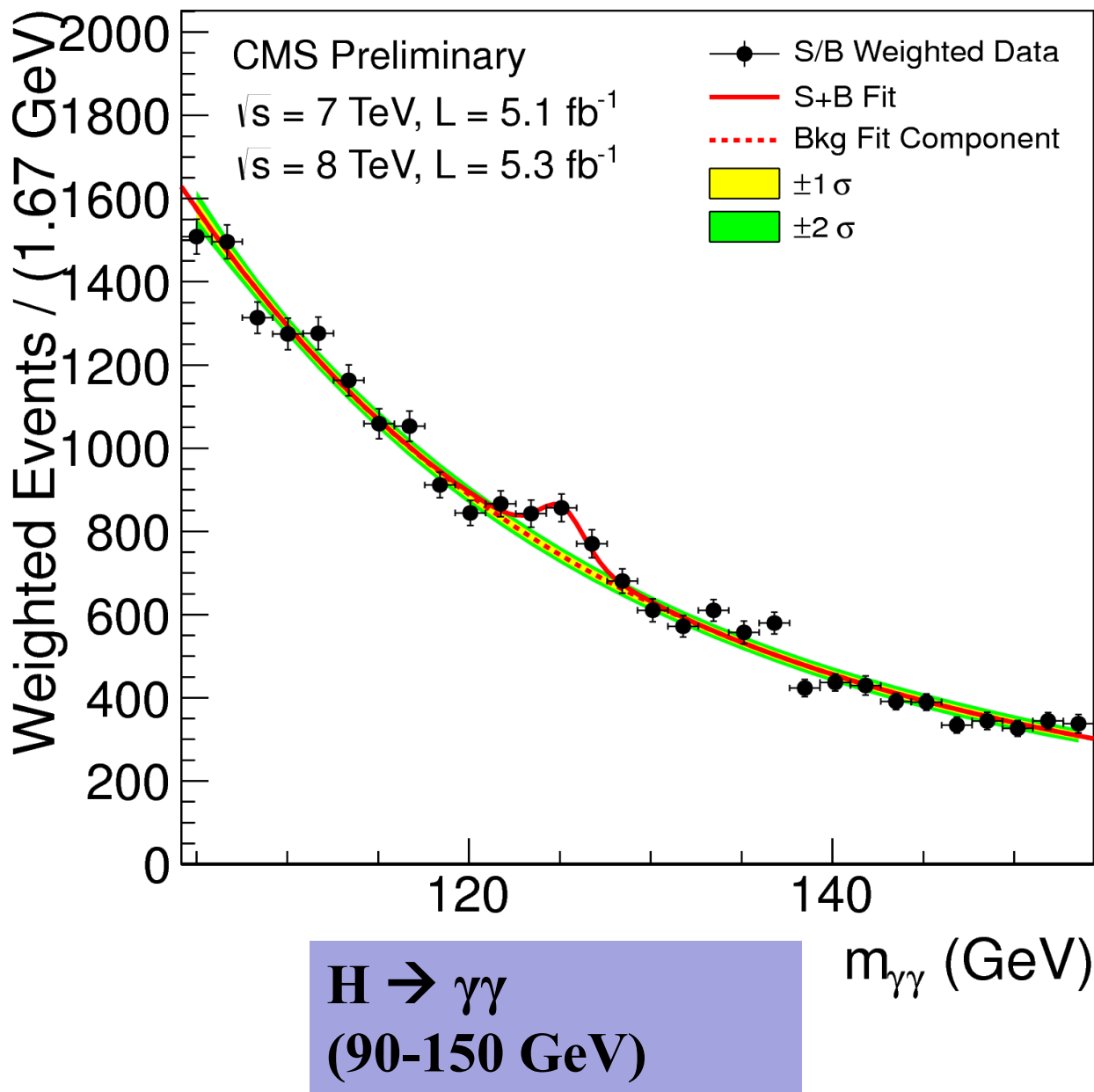
$g\bar{g} \rightarrow \gamma\gamma$

απομονωμένη δίδυμος γένεση

κυρίως μειώσιμο υπόβαθρο:

$g + \text{jet}$ όπου "jet" = $\pi_0 \rightarrow \gamma\gamma$

Λιγότερο από 15% του αμείωτου υποβάθρου

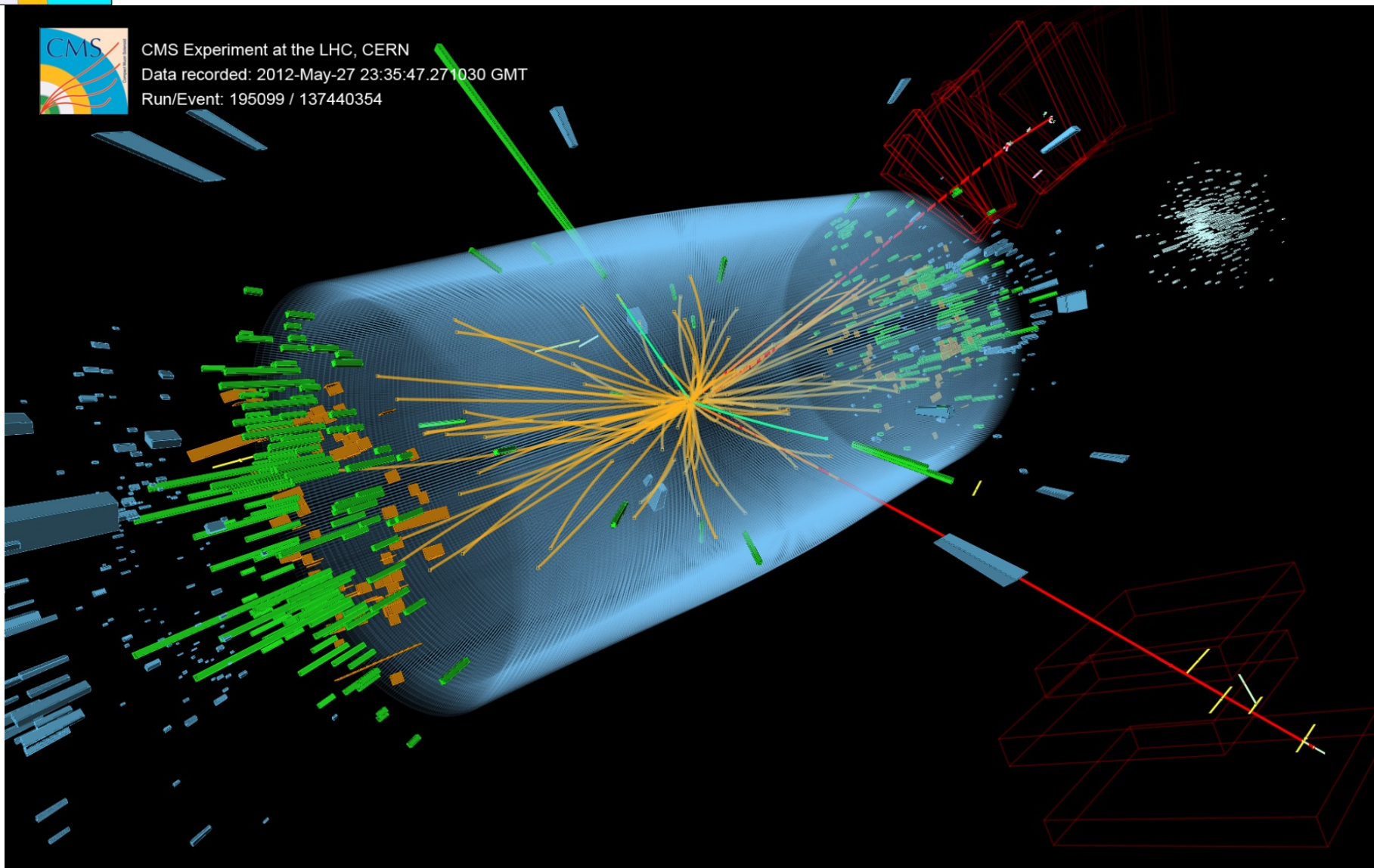




Αναζήτηση του Higgs (H→ZZ→4 λεπτόνια)



CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354



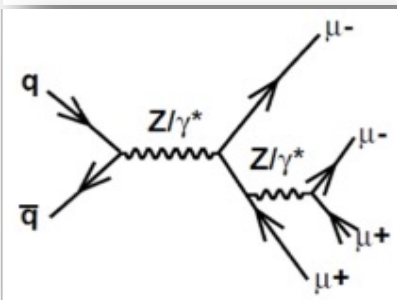
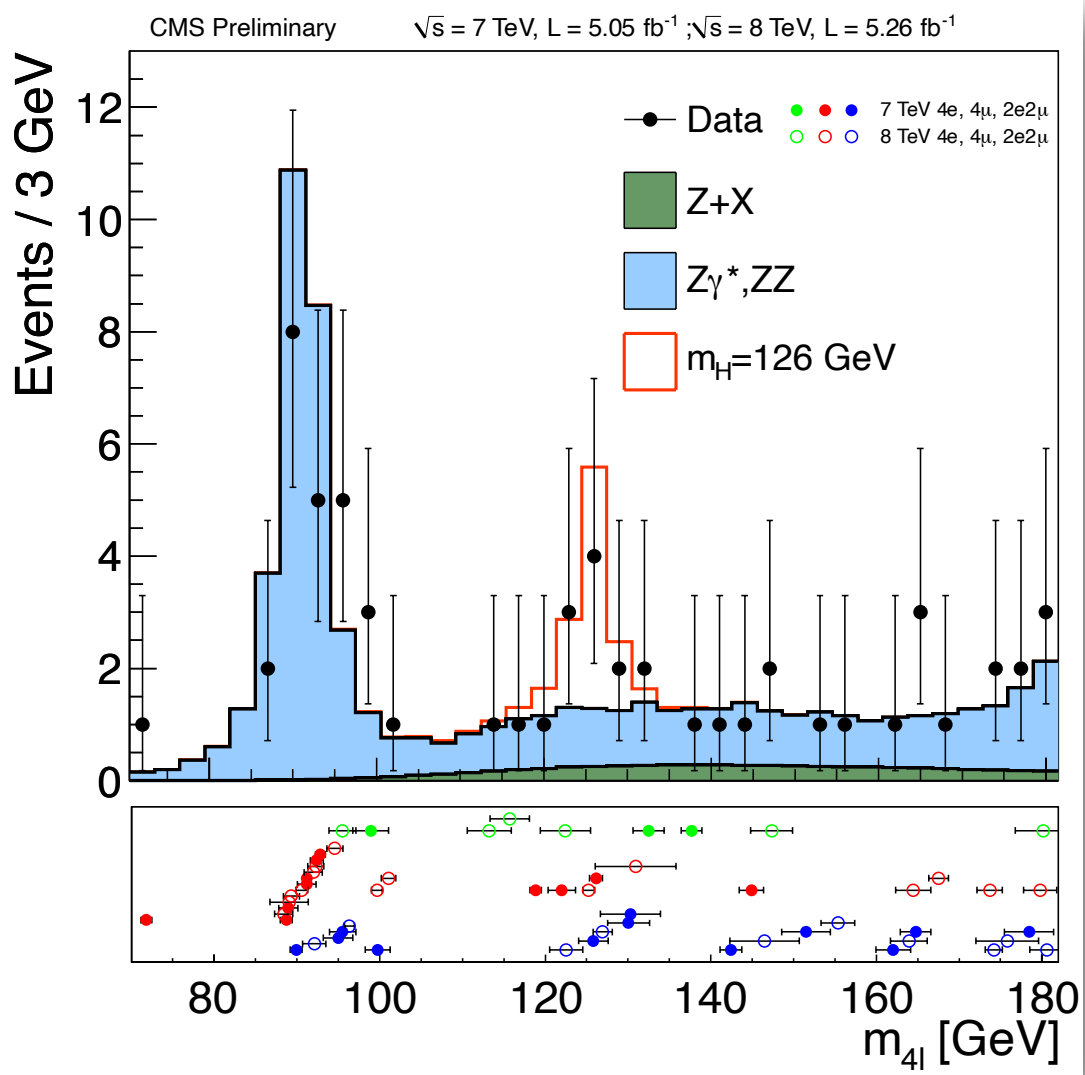
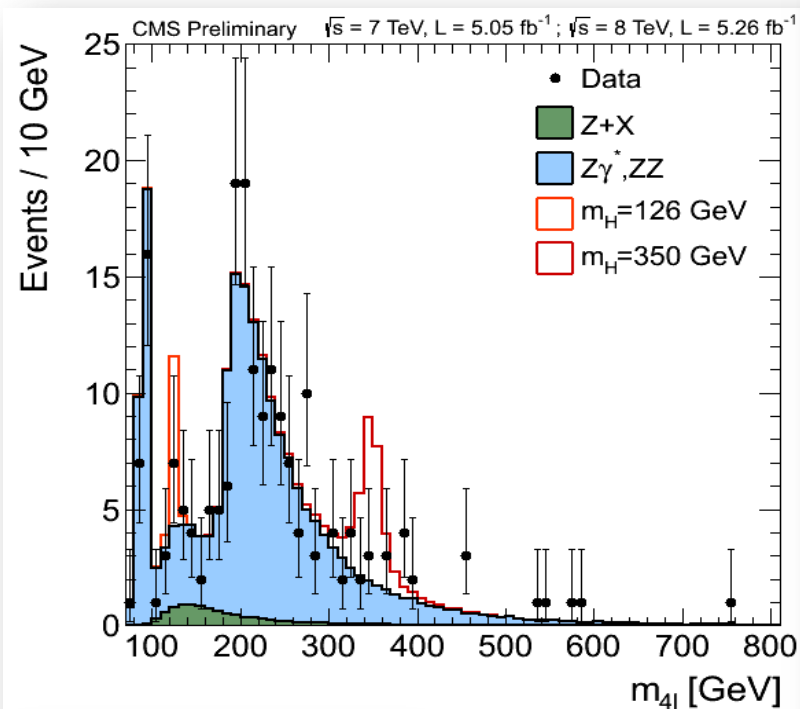
3/19/24

γεγονός υποψήφιο για H→ZZ→ 2e, 2μ

27



Κανάλι $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$ λεπτόνια



164 γεγονότα
 αναμένονταν
 172 μετρήθηκαν

Αναζήτηση του Higgs

Όλα τα κανάλια, συνδυασμένη
σημαντικότητα για SM Higgs $>7\sigma$

**Βραβείο Nobel 2013
(F. Englert, P. Higgs)**

“for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN’s Large Hadron Collider”

Δεδομένα 7 TeV: 3.0 σ
Δεδομένα 8 TeV: 3.8 σ

ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ μετά από σχεδόν 50 χρόνια !

Με το καθιερωμένο Πρότυπο, περιγράφουμε όχι μόνο τι υπάρχει και γίνεται στον πλανήτη μας αλλά και στο υπόλοιπο ηλιακό μας σύστημα, τον ήλιο, τους γαλαξίες, τους αστέρες που βλέπουμε.

Αλλά αυτά είναι όλα που υπάρχουν στο σύμπαν?

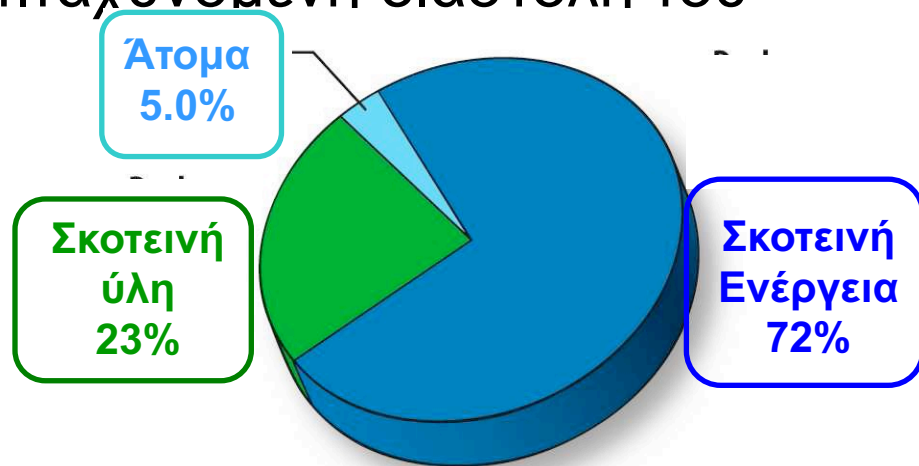
ΟΧΙ!!!

Έχουμε πειραματικές ενδείξεις για:

❖ **σκοτεινή ύλη** (μη ορατή στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας) η οποία είναι ψυχρή ύλη, και

❖ **σκοτεινή ενέργεια**, άγνωστης προέλευσης που γεμίζει το σύμπαν και προκαλεί την επιταχυνόμενη διαστολή του

**Ολική ενέργεια
στο σύμπαν**



Ποια τα προβλήματα χρειάζεται να λυθούν?

- ❑ Το πρόβλημα της προέλευσης της μάζας (Higgs) και το γεγονός ότι είναι τόσο διαφορετική για διάφορα σωματίδια
- ❑ Ποια η φύση της σκοτεινής ενέργειας
- ❑ Ποιος τύπος σωματιδίου είναι υπεύθυνο για την σκοτεινή ύλη, το οποίο επηρεάζεται μόνο από την βαρυτητική δύναμη
- ❑ Στην αρχή του σύμπαντος, (big bang), η ύλη και αντιύλη υπήρχαν σε ίσες ποσότητες → γιατί επικράτησε η ύλη και τι απέγινε η αντιύλη
- ❑ Τα νεutrino, ν , έχουν μάζα? Ταλαντώσεις μεταξύ των ειδών ...

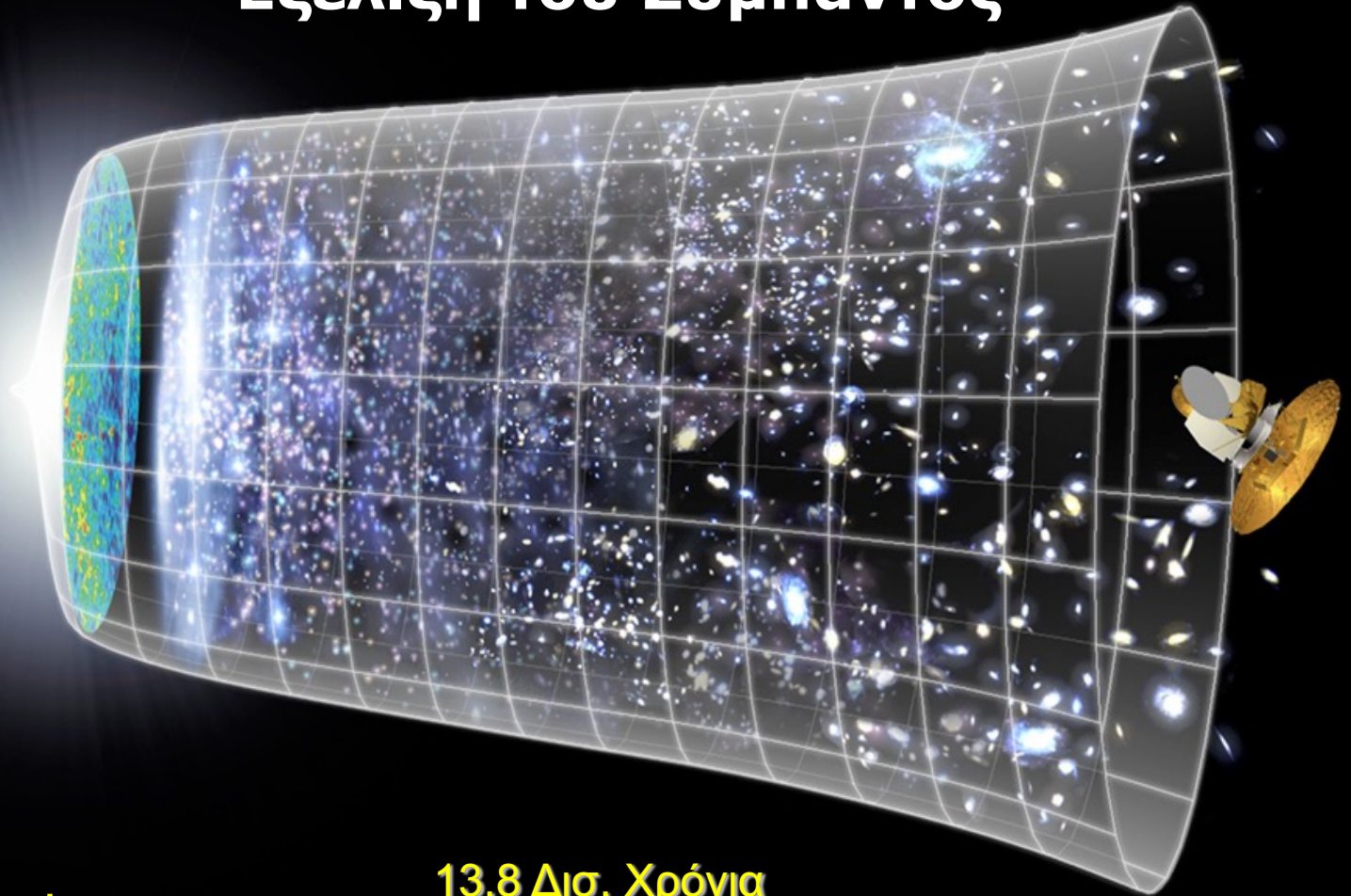
Εν συντομία, υπάρχει μια καλύτερη θεωρία από αυτή του Καθιερωμένου Προτύπου που να προσαρμόζεται στις ενέργειες και απαιτήσεις του σημερινού μας σύμπαντος?

Προσπαθούμε να βρούμε απαντήσεις σε αυτό με πειράματα συγκρούσεων σωματιδίων.

Μικρόκοσμος → Μακρόκοσμος = Σύμπαν

Εξέλιξη του Σύμπαντος

Μεγάλη
Έκρηξη

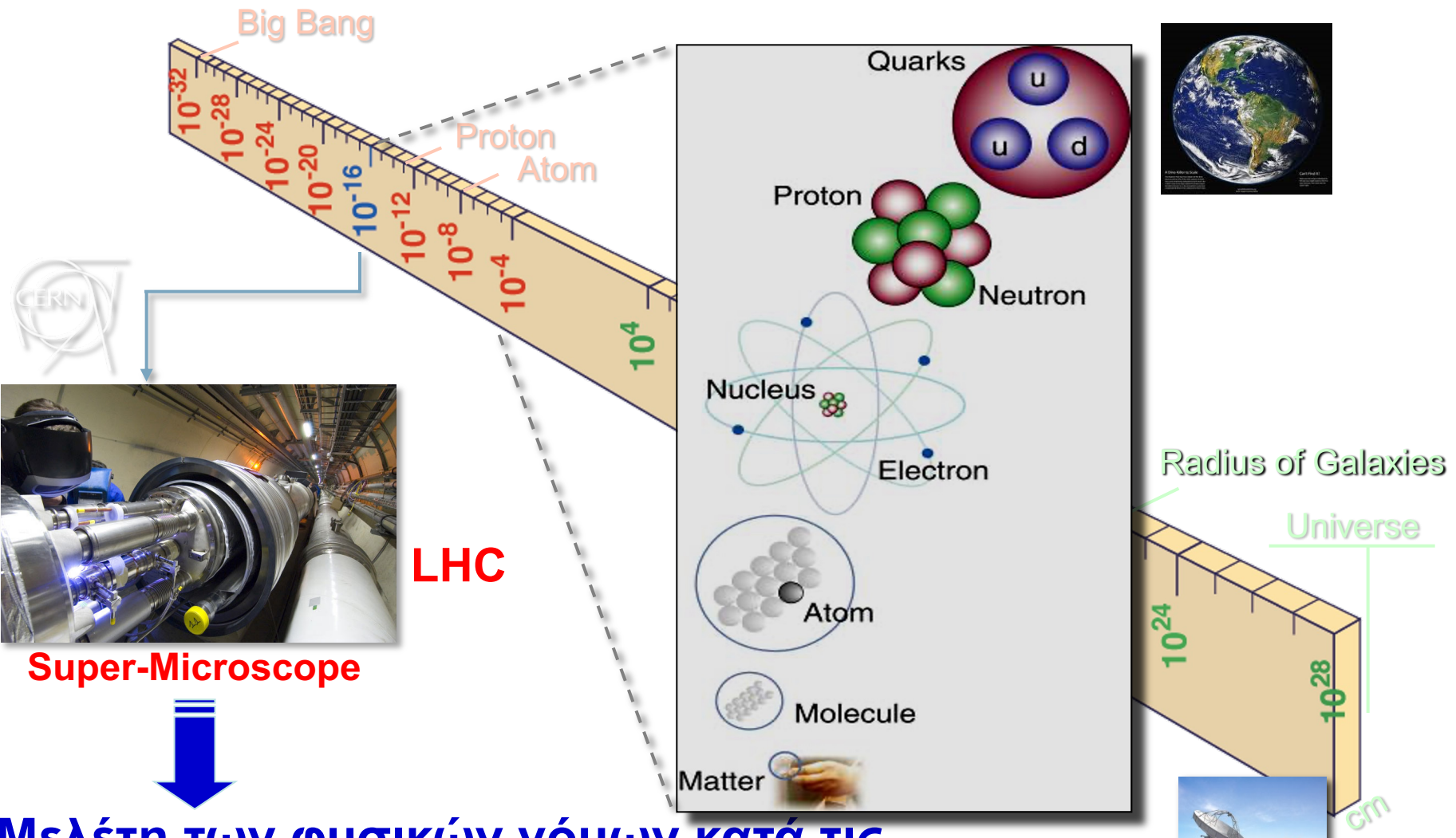


13.8 Δισ. Χρόνια

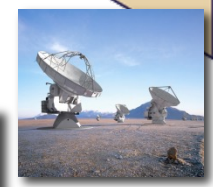
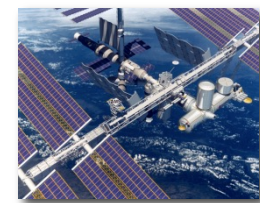
10^{28} cm

Σήμερα

Μικρόκοσμος vs Μακρόκοσμος



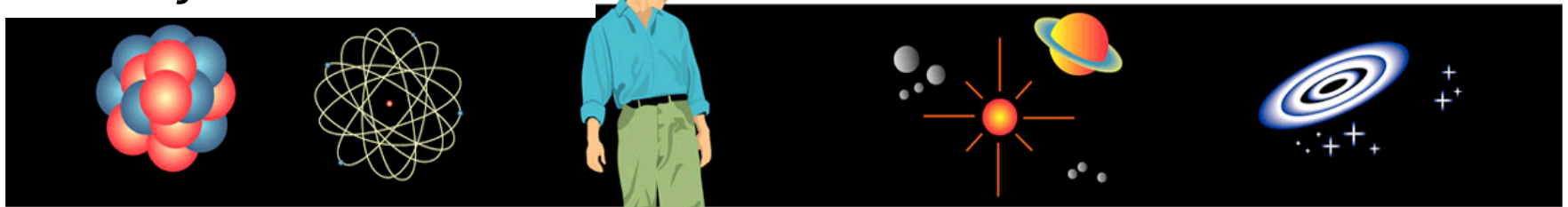
Μελέτη των φυσικών νόμων κατά τις πρώτες στιγμές μετά το Big Bang
Σωματιδιακή Φυσική - Κοσμολογία



Επιταχυντές: εργαλεία της σωματιδιακής φυσικής

Η σωματιδιακή φυσική μελετά την ύλη στις μικρότερες δυνατές διαστάσεις

Η αστροσωματιδιακή φυσική μελετά την ύλη στις μεγαλύτερες δυνατές διαστάσεις



10^{-15} 10^{-12} 10^{-9} 10^{-6} 10^{-3} 10^0 10^3 10^6 10^9 10^{12} 10^{15} 10^{18} 10^{21} 10^{24} m

**Επιταχυντές
και ανιχνευτές**

Μικροσκόπια

Κυάλια

**Οπτικά τηλεσκόπια και
ραδιοτηλεσκόπια**

**Διαφορετικοί τύποι συσκευών/ανιχνευτών απαιτούνται
για να εξερευνήσουμε αντικείμενα διαφορετικών διαστάσεων**

Παρατήρηση μικρών αντικειμένων

Η διακριτική ικανότητα εξαρτάται από το μήκος της χρησιμοποιούμενης ακτινοβολίας

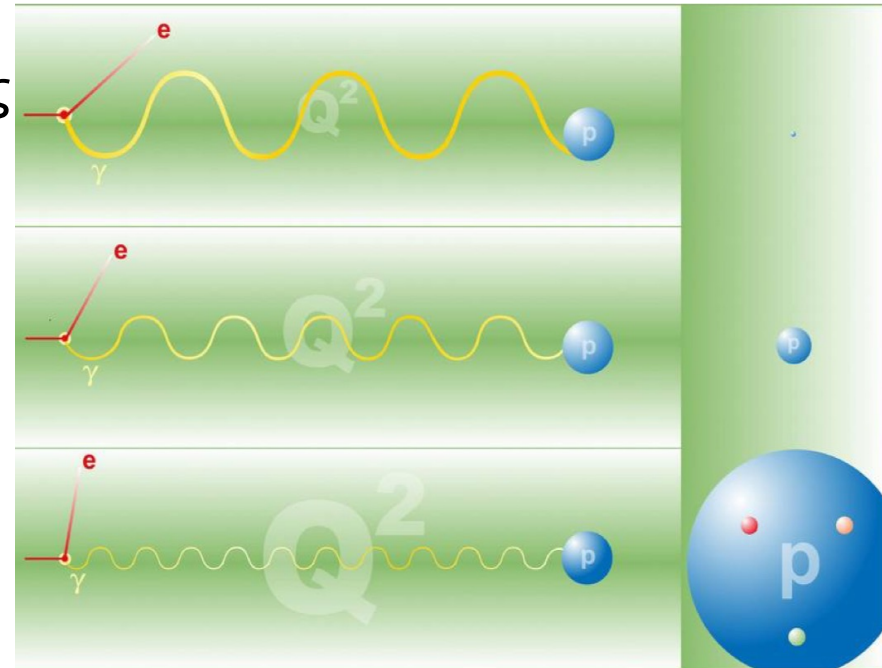
de Broglie:
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Όσο μεγαλύτερη η ενέργεια τόσο μεγαλύτερη η ορμή

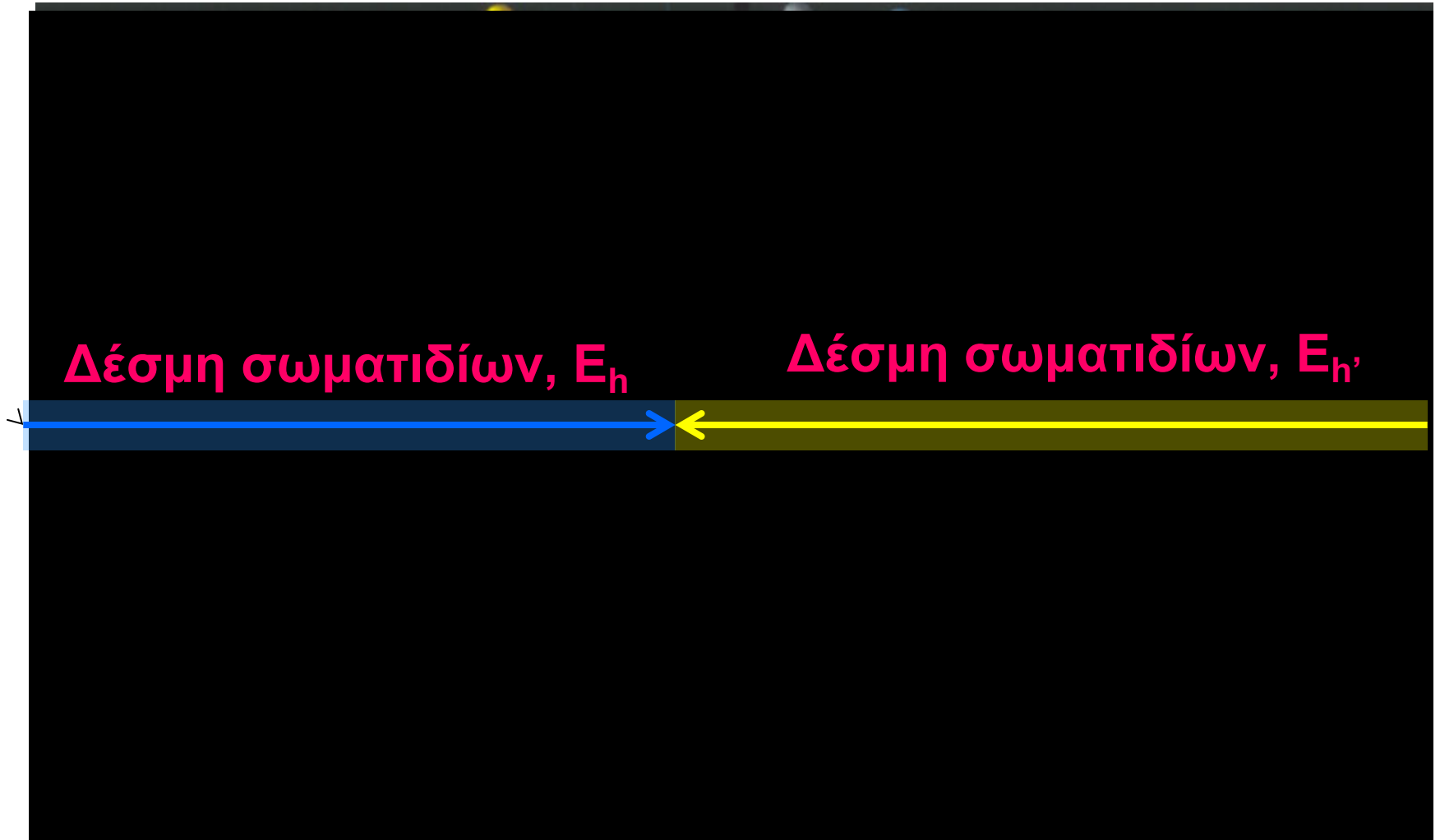
➔ Μικρότερη μήκη κύματος σε μεγάλες ενέργειες

Πρωτόνια ενέργειας 7 TeV αντιστοιχούν σε μήκος κύματος 10^{-18} m

Για να φθάσουμε σε τόσο μεγάλες ενέργειες χρειαζόμαστε επιταχυντές



Συγκρούσεις σωματιδίων σε πολύ υψηλές ενέργειες



Φυσική στους Επιταχυντές του CERN



CERN - LHC
27 km περίμετρος

Lac Lemman
Genève

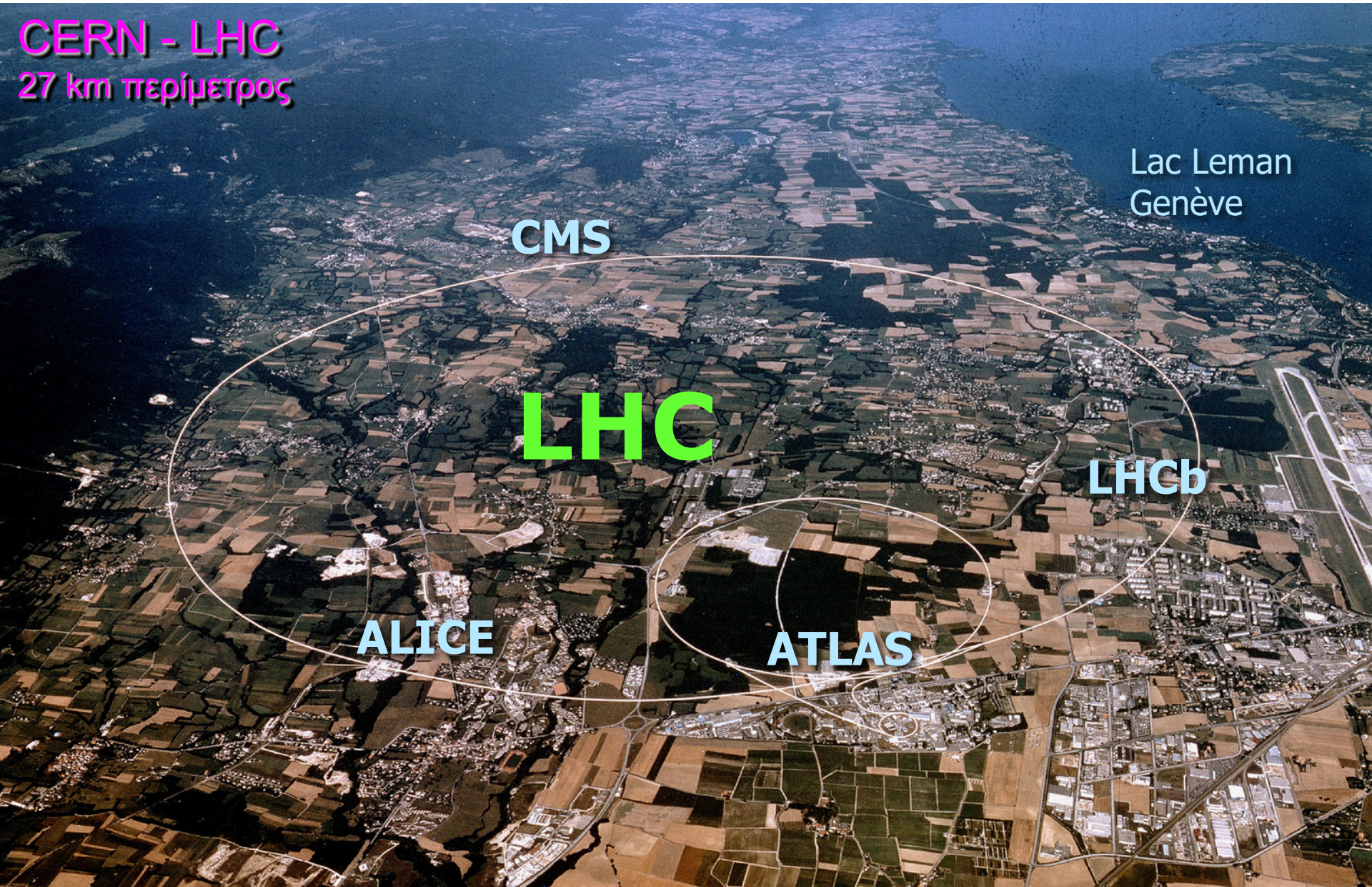
CMS

LHC

LHCb

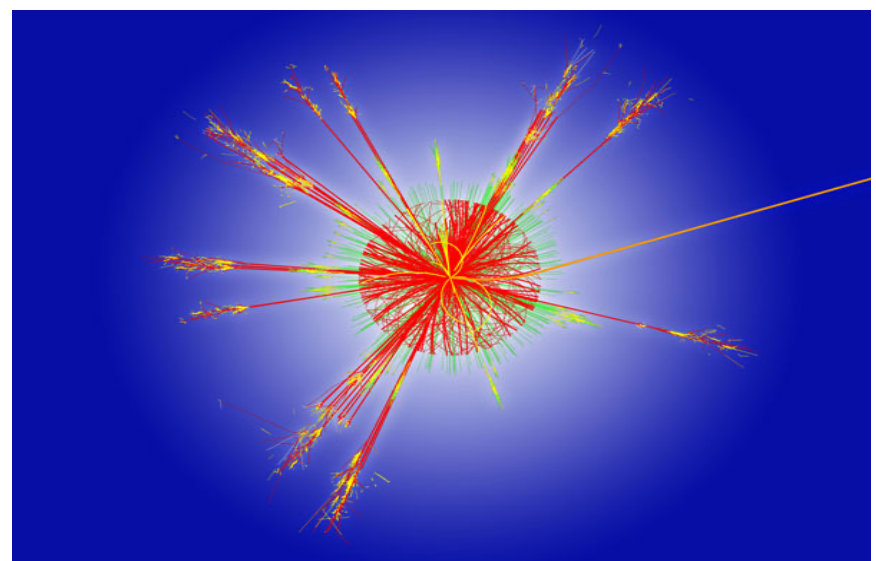
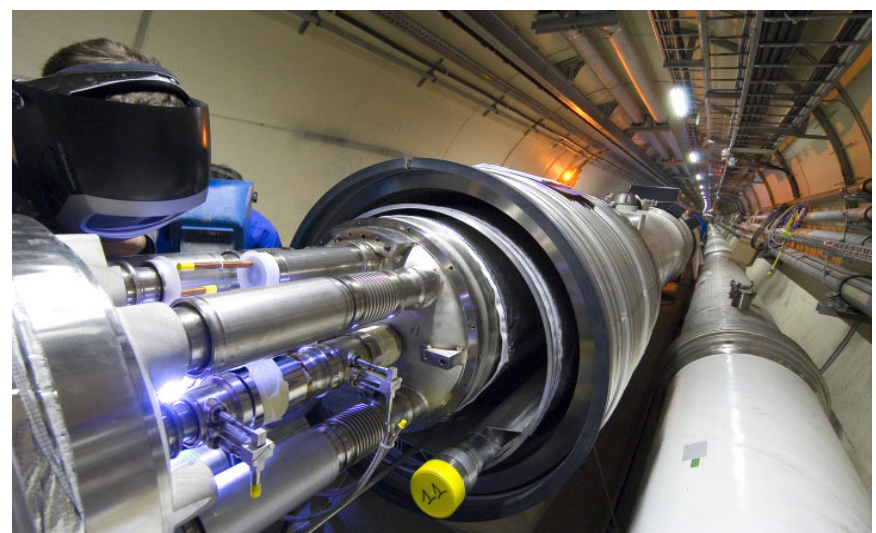
ALICE

ATLAS



Υψηλότερες ταχύτητες
27Km, 11000/sec, 99.999999991% c

Μεγαλύτερο κενό
πίεση στον σωλήνα 10^{-13} atm



από τα πιο κρύα μέρη στο
Σύμπαν (beam tube -271 °C)

πιο θερμό μέρος στο Γαλαξία 38
κρούσεις 10^9 x θερμοκρασία Ήλιου

LHC

Ο LHC αποτελείται από δύο αντίθετα κινούμενες δέσμες πρωτονίων

Κάθε δέσμη αποτελείται από 2808 «βαγόνια» με πρωτόνια

Κάθε «βαγόνι» αποτελείται από 100 δισεκατομύρια πρωτόνια (10^{11})

Κάθε «βαγόνι» καλύπτει το μήκος του δακτυλιδιού του επιταχυντή 11,000 φορές ανά δευτερόλεπτο

Κάθε 25ns (25×10^{-9} sec) 2 «βαγόνια» συγκρούονται στους ανιχνευτές

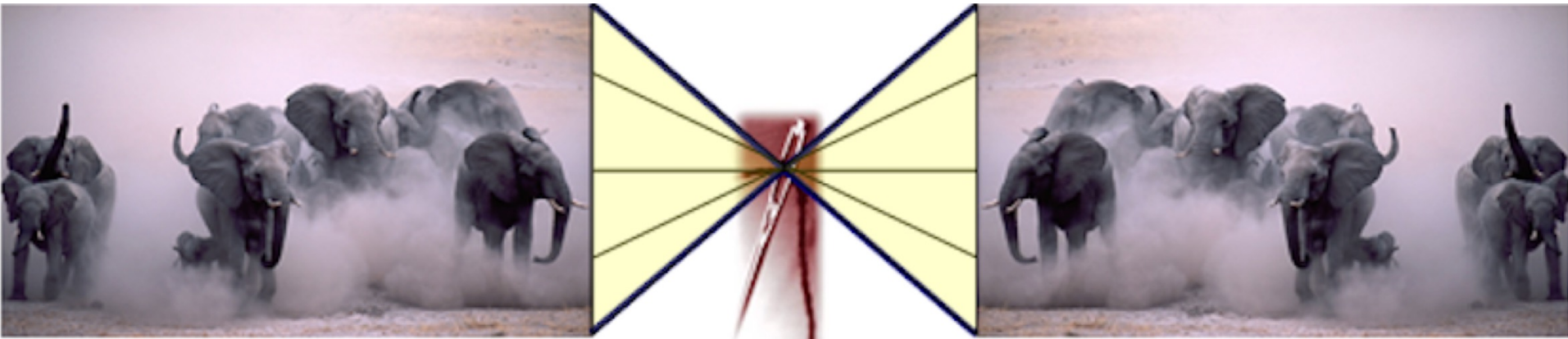
Περίπου 25 συγκρούσεις για κάθε σύγκρουση «βαγονιών»

Η ολική ενέργεια της δέσμης είναι περίπου 750 MJoule!

Η κατανάλωση ισχύος για την λειτουργία του LHC τόση όση για την ηλεκτροδότηση μιας πόλης 500,000 κατοίκων

Τί είναι 750 MJoule

Η ενέργεια 120 ελεφάντων σε σύγκρουση με άλλους 120 ελέφαντες



120 ελέφαντες με 40km/h

120 ελέφαντες με 40km/h



Η ενέργεια ενός πρωτονίου είναι ίση με την ενέργεια ενός κουνουπιού που πετά (1μJ)

Βελόνα:
0.3mm διάμετρος

Διαστάσεις δέσμη πρωτονίων
στο σημείο σύγκρουσης:
0.03mm διάμετρος

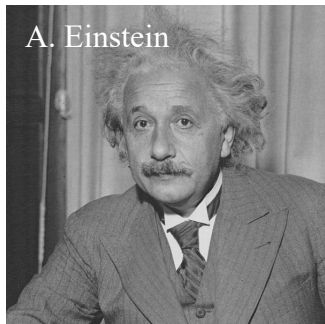
Δεν ασχολούμαστε μόνο με συγκρούσεις σωματιδίων....



Before the particle accelerator

Το CERN, τα σωματίδια, οι
επιταχυντές και οι ανιχνευτές
σχετίζονται με την καθημερινή ζωή

Η θεμελιώδης έρευνα πάντα είναι ο οδηγός για καινοτομίες



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



Telephones use electromagnetic waves to communicate

Επιταχυντές: αναπτύχθηκαν σε εργαστήρια φυσικής και χρησιμοποιούνται σε νοσοκομεία



Περίπου 9000 από τους 17000 επιταχυντές σε λειτουργία χρησιμοποιούνται στην ιατρική

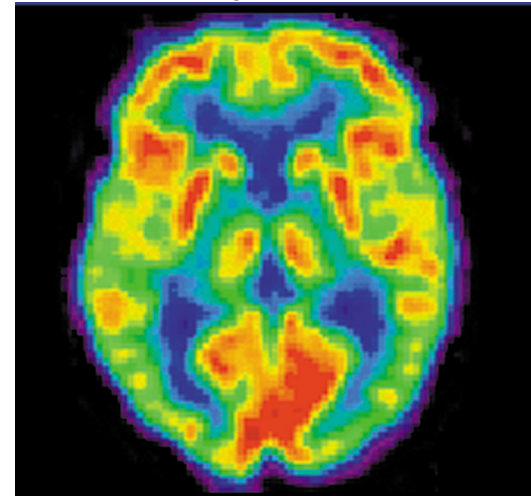
Η θεραπεία με αδρόνια χρησιμοποιείται για καταπολέμηση καρκίνου

Courtesy of IBA

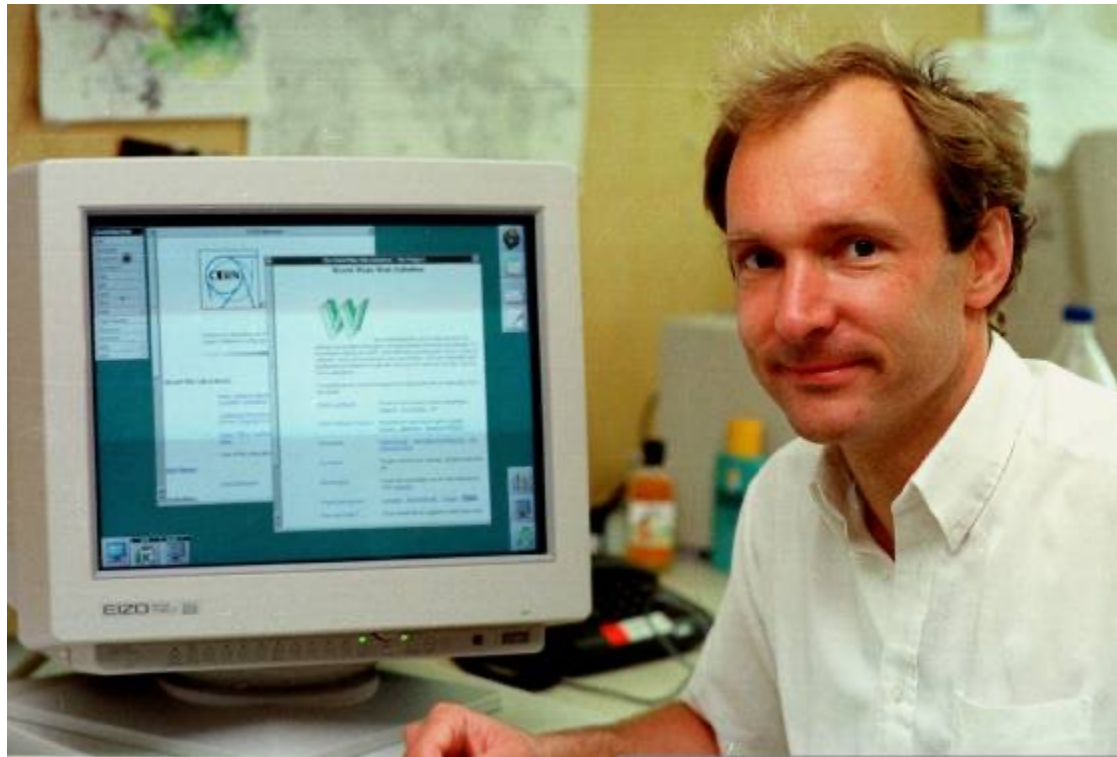
Ανιχνευτές: αναπτύχθηκαν σε εργαστήρια και χρησιμοποιούνται σε ιατρικές απεικονίσεις



PET (Positron Emission Tomography) χρησιμοποιεί αντιύλη (positrons).



Άλλα ενδιαφέροντα ... WWW
30 years old! (1989)



Tim John Berner-Lee

Puzzle της σωματιδιακής φυσικής..



Είναι ακόμα ασυμπλήρωτο...

Ελπίζω κάποιοι/κάποιες από εσας να βοηθήσουν να συμπληρωθεί!!