CERN, LHC, πειράματα

Δέσποινα Χατζηφωτιάδου, CERN και INFN Bologna

CERN : Ευρωπαικός Οργανισμός Πυρηνικής Έρευνας (Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire)

Ιδρύθηκε το 1954 από 12 Ευρωπαικά κράτη
Σήμερα έχει 22 κράτη-μέλη

Κράτη-μέλη: Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Τσεχική Δημοκρατία, Δανία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ουγγαρία, Ισραήλ, Ιταλία, Ολλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία, και Ηνωμένο Βασίλειο

Associate Member States: Ινδία, Λιθουανία, Πακιστάν, Τουρκία, Ουκρανία

Associate Member States in the pre-stage to Membership: Κύπρος, Σερβία, Σλοβενία

Observers to Council: Ιαπωνία, Ρωσία, ΗΠΑ, Ευρωπαική Ένωση, JINR, και UNESCO

Distribution of All CERN Users by Nationality on 12 January 2016

MEMBER STATES	7319
Austria	106
Belgium	125
Bulgaria	88
Czech Republic	217
Denmark	56
Finland	102
France	858
Germany	1267
Greece	216
Hungary	79
Israel	63
Italy	1974
Netherlands	164
Norway	63
Poland	302
Portugal	113
Slovakia	111
Spain	399
Sweden	90
Switzerland	220
United Kingdom	706

ASSOCIATE MEMBERS	224
Pakistan	58
Turkey	166

OBSERVERS	2775
India	284
Japan	316
Russia	1071
USA	1104

STATES IN ACCESSION TO MEMBERSHIP	176
Romania	131
Serbia	45

OTHERS	
Albania	4
Algeria	8
Argentina	24
Armenia	27
Australia	31
Azerbaijan	11
Bangladesh	7
Belarus	50
Bolivia	2
Bosnia & Herzegovina	1
Brazil	135
Cameroon	2
Canada	154
Central African Rep.	1
Chile	20
China	421
Colombia	38
Costa Rica	1
Croatia	38
Cuba	13
Cyprus	19
Ecuador	4
Egypt	24
El Salvador	1
Estonia	15
Georgia	44
Iceland	4
Indonesia	10
Iran	54
Iraq	1
Ireland	20
Jordan	8
Kazakhstan	1
Kenya	2
Korea, D.P.R.	4
Korea Rep.	151
Latvia	1
Lebanon	12
Libya	1
Lithuania	30
Luxembourg	2
Madagascar	4
Malaysia	18
Malta	5
Mauritius	1
Mexico	84
Montenegro	2
Morocco	13
Nepal	7
New Zealand	6
Oman	1
Palestine (O.T.).	7
Peru	6
Philippines	4
Qatar	1
San Marino	1
Saudi Arabia	1
Senegal	1
Singapore	3
Sint Maarten	1
Slovenia	27
South Africa	31
Sri Lanka	3
Syria	1
Taiwan	
Thailand	
T.F.Y.R.O.	
Tunisia	
Ukraine	
Uzbekistan	
Venezuela	
Viet Nam	
Zimbabwe	
	182

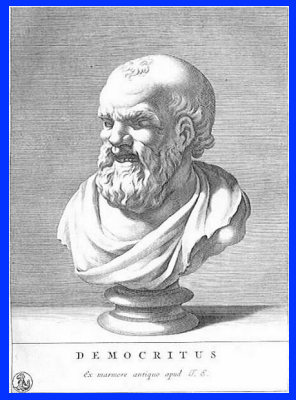
Στο CERN, το Ευρωπαικό εργαστήριο φυσικής στοιχειωδών σωματιδίων, μελετάμε:

- πώς είναι φτιαγμένος ο κόσμος (τα συστατικά του στην πιο στοιχειώδη μορφή)
- τους νόμους διέπουν τη λειτουργία του σύμπαντος

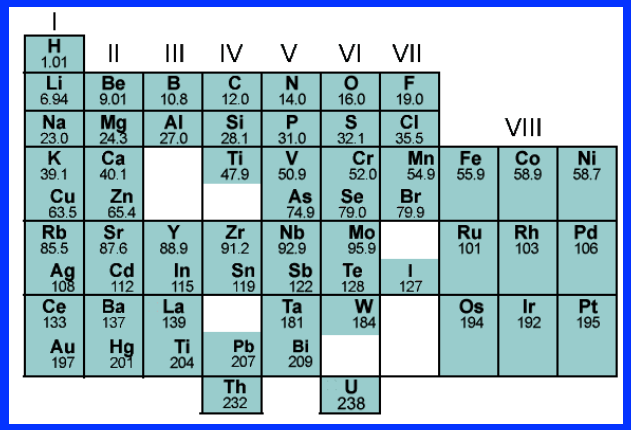
Τα εργαλεία που χρησιμοποιούμε:

- Επιταχυντές
- Ανιχνευτές

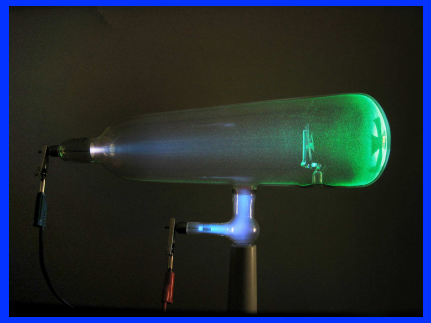
Ο Δημόκριτος πίστευε ότι η ύλη αποτελείται από αδιαίρετα στοιχεία, τα άτομα



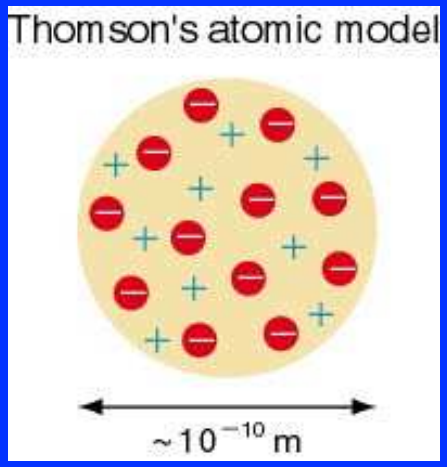
Περιοδικός πίνακας των στοιχείων του Mendeleev(1869) – 80 διαφορετικά αδιαίρετα άτομα



JJ Thomson

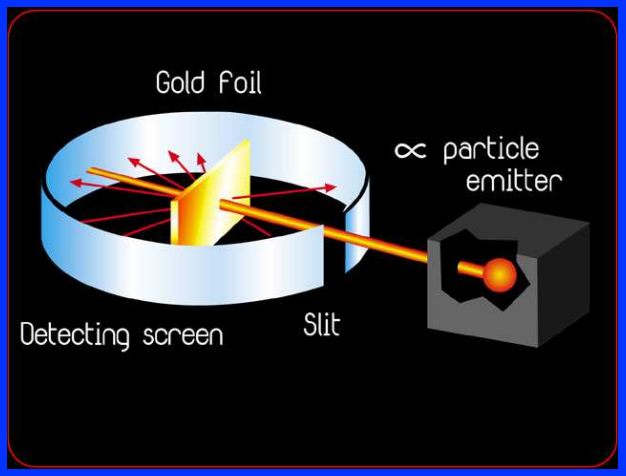


Ανακάλυψη του ηλεκτρονίου με τον σωλήνα καθοδικών ακτίνων (1896)
πρώτο στοιχειώδες σωμάτιο

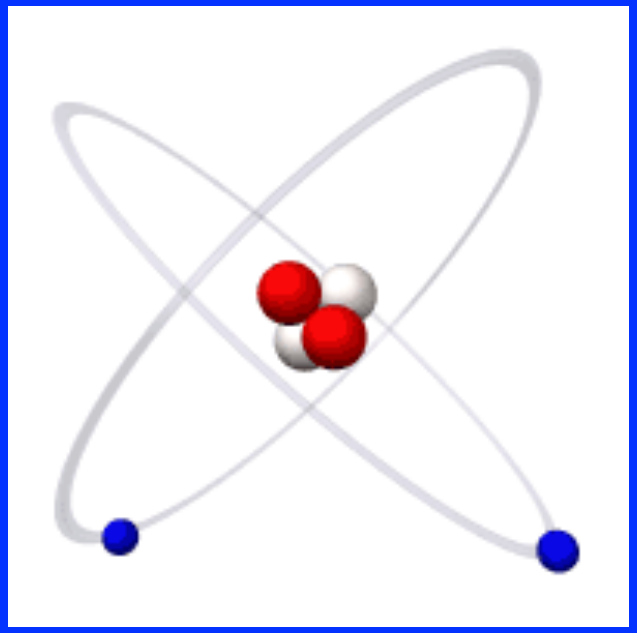


Μοντέλο σταφιδόψωμου του Thomson (1904)

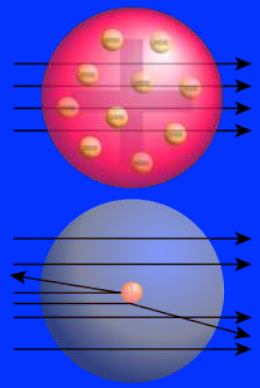
2011 : επέτειος 100 χρόνων από την εισαγωγή του ατομικού μοντέλου του Rutherford



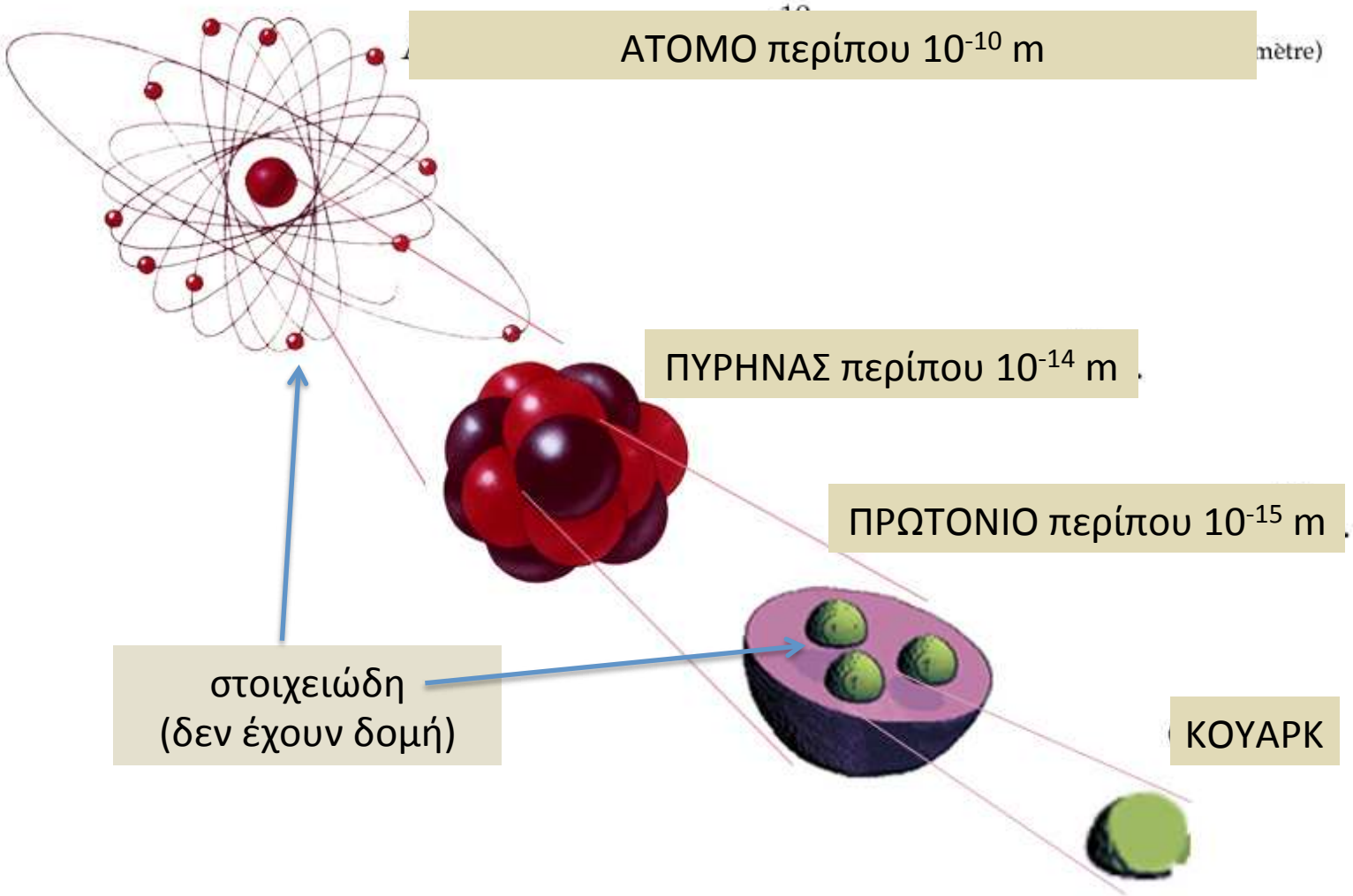
πείραμα σκέδασης άλφα
Geiger – Marsden



Ernest Rutherford



Πυρήνας: σχεδόν όλη η μάζα, θετικό φορτίο – το άτομο είναι κυρίως άδειο
Αργότερα βρέθηκε ότι ο πυρήνας αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια



Il y a environ onze milliards de milliards d'atomes de fer dans un milligramme de fer !

D.Bertola / ZERN

Περιοδικό σύστημα των στοιχειωδών σωματιδίων

	Quarks		Leptons	
Generation 3	t Top	b Bottom	τ Tau	ν_τ Tau-neutrino
Generation 2	c Charm	s Strange	μ Muon	ν_μ Muon-neutrino
Generation 1	u Up	d Down	e Electron	ν_e Electron-neutrino

μάζα

φορτίο 2/3 φορτίο -1/3 φορτίο -1 φορτίο 0

Στην φύση : στοιχειώδη σωμάτια της πρώτης γενιάς ΜΟΝΟ

Αυτά της δεύτερης και τρίτης γενιάς διασπώνται στα ελαφρύτερα
Τα έχουμε δει σε πειράματα με επιταχυντές

Ολα τα σωμάτια έχουν και τα αντισωμάτιά τους, με αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο

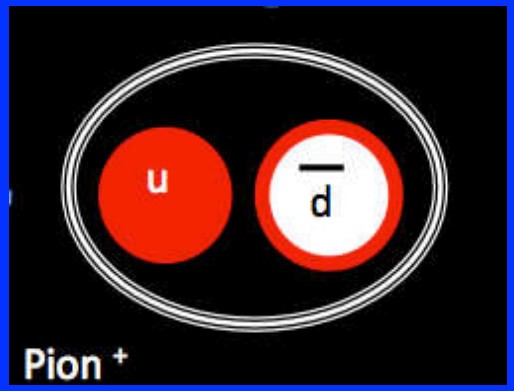
Εγκλωβισμός των κουάρκ (Quark Confinement)

Τα κουάρκ δεν μπορούν να υπάρξουν ελεύθερα

Τα βρίσκουμε μόνο δέσμια μέσα στα αδρόνια

Βαρυόνια αποτελούνται από 3 κουάρκ

Μεσόνια αποτελούνται από ζεύγος κουάρκ αντικουάρκ



Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryons are fermionic hadrons.

These are a few of the many types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	**uud**	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	antiproton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	–1	0.938	1/2
n	neutron	**udd**	0	0.940	1/2
Λ	lambda	**uds**	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	**sss**	–1	1.672	3/2

Mesons $q\bar{q}$

Mesons are bosonic hadrons

These are a few of the many types of mesons.

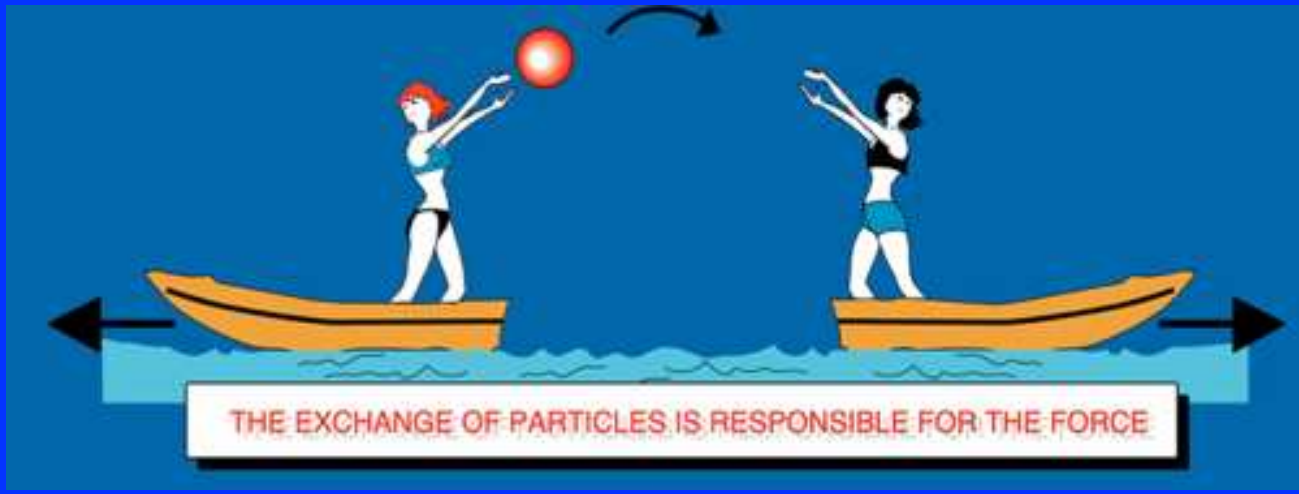
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	–1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.776	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

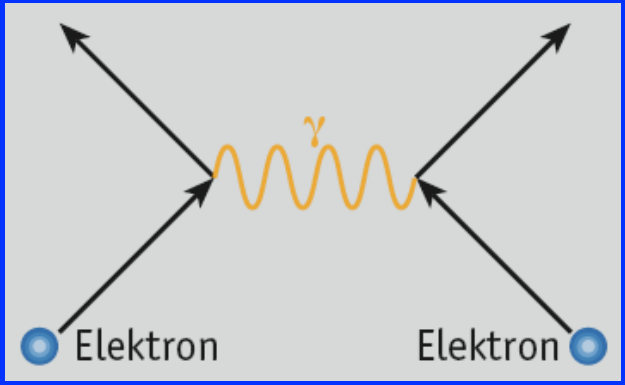
Οι δυνάμεις στη φύση

Τα σωματίδια αλληλεπιδρούν -αισθάνονται το ένα το άλλο– με διάφορες δυνάμεις

ανταλλάσοντας ειδικά σωματίδια που είναι οι φορείς της δύναμης

Τα φορτισμένα σωματίδια ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΟΥΝ μεταξύ τους:
έλκονται ή απωθούνται ανταλλάσσοντας μεταξύ τους φωτόνια
Το φωτόνιο (γ) είναι ο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης





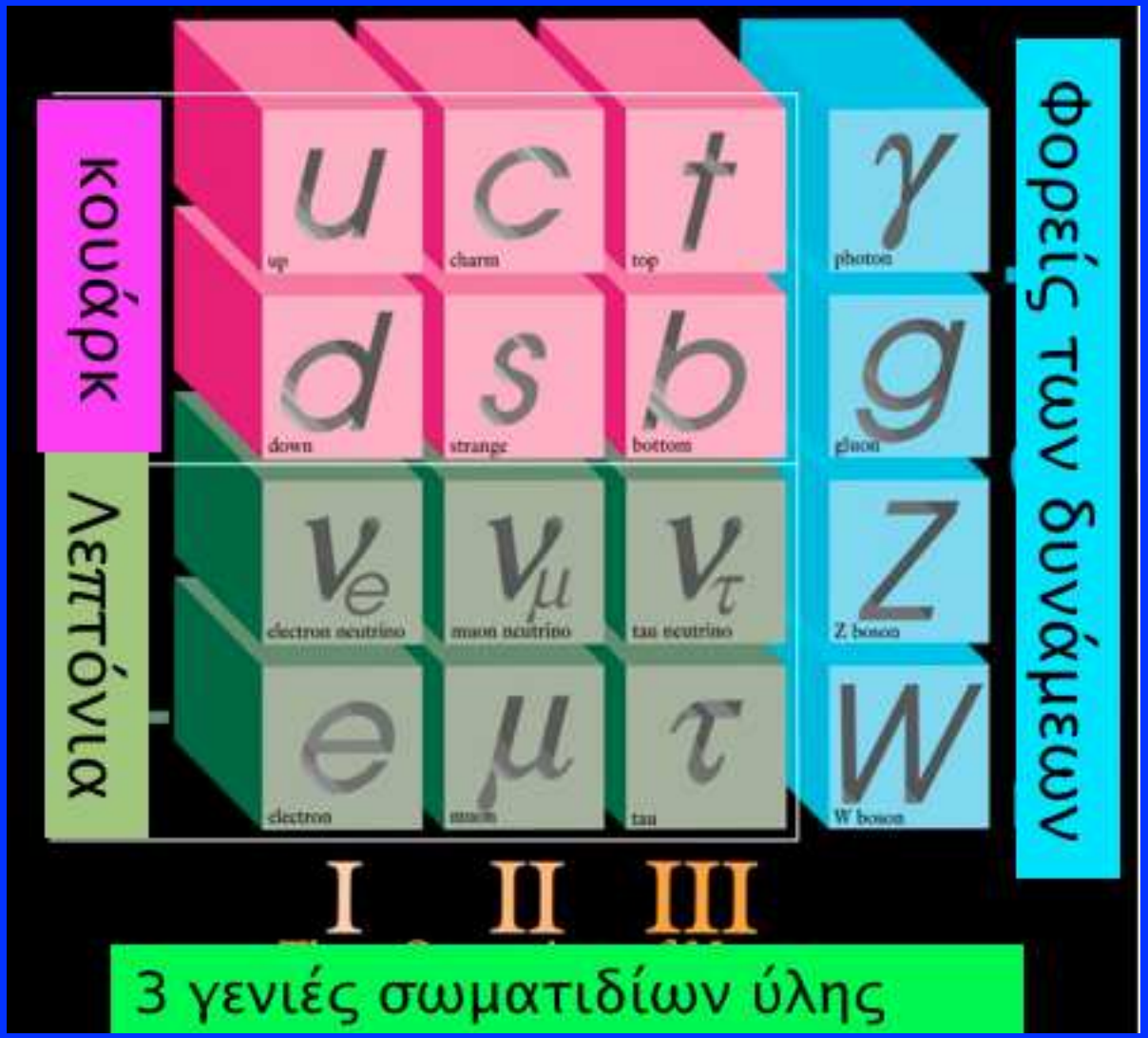
Διάγραμμα Feynman

Το Καθιερωμένο Πρότυπο (The Standard Model)

Τα στοιχειώδη σωμάτια είναι φερμιόνια

Στατιστική Fermi-Dirac

Spin ημιακέραιο (1/2, 3/2,...)



Οι φορείς των δυνάμεων είναι μποζόνια

Στατιστική Bose-Einstein

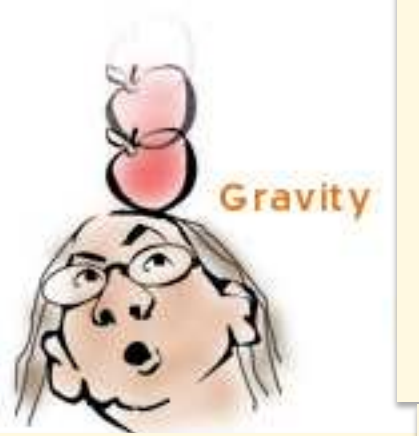
Spin ακέραιο (0, 1, 2,..)

4 θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις

4 θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις

βαρυτικά φαινόμενα
Κινήσεις ουρανίων σωμάτων
ισχύς: 10^{-39}
Εμβέλεια: άπειρη
Φορέας: βαρυτόνιο;

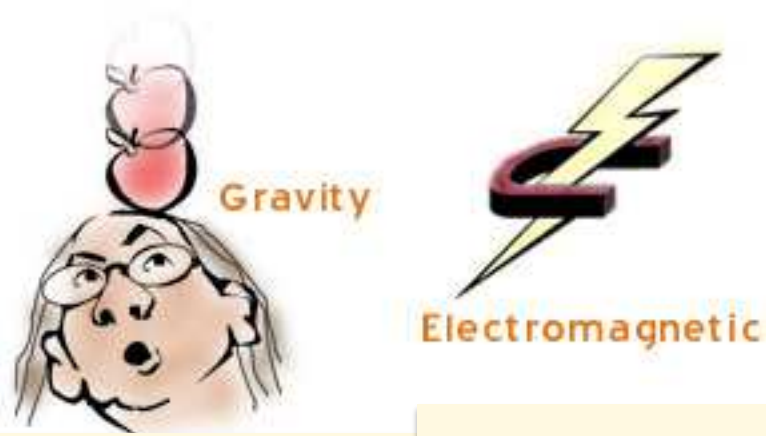
βαρυτική



4 θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις

βαρυτικά φαινόμενα
Κινήσεις ουρανίων σωμάτων
ισχύς: 10^{-39}
Εμβέλεια: άπειρη
Φορέας: βαρυτόνιο;

βαρυτική



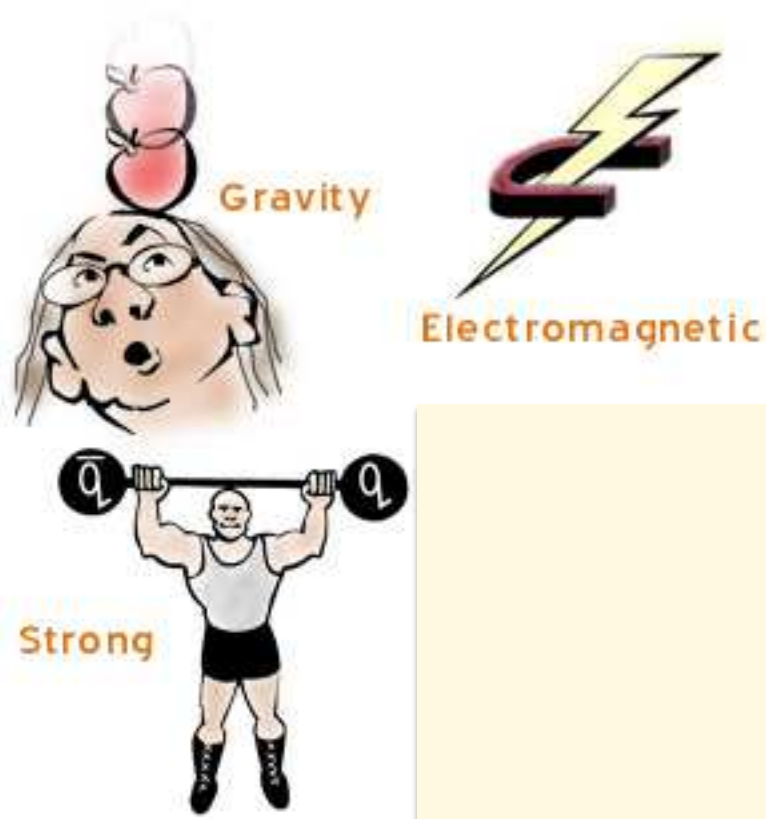
Ατομο
Ηλεκτρικά/μαγνητικά φαινόμενα
ισχύς: 1/137
Εμβέλεια: άπειρη
Φορέας: φωτόνιο

ηλεκτρομαγνητική

4 θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις

βαρυτικά φαινόμενα
Κινήσεις ουρανίων σωμάτων
ισχύς: 10^{-39}
Εμβέλεια: άπειρη
Φορέας: βαρυτόνιο;

βαρυτική



Ατομο
Ηλεκτρικά/μαγνητικά φαινόμενα
ισχύς: 1/137
Εμβέλεια: άπειρη
Φορέας: φωτόνιο

ηλεκτρομαγνητική

Σταθερότητα των πυρήνων, εγκλωβισμός των κουάρκ
ισχύς: 1
Εμβέλεια: 10^{-15} m
Φορέας: γλουόνιο

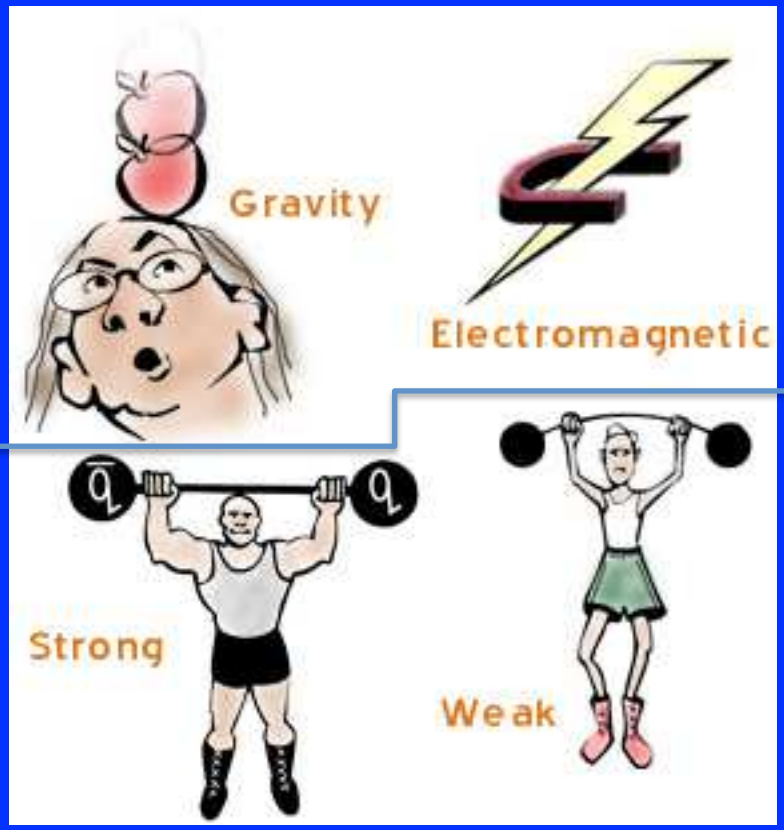
ισχυρή

4 θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις

βαρυτικά φαινόμενα
Κινήσεις ουρανίων σωμάτων
ισχύς: 10^{-39}
Εμβέλεια: άπειρη
Φορέας: βαρυτόνιο;

βαρυτική

Αντιλαμβανόμαστε τα αποτελέσματά τους



Ατομο
Ηλεκτρικά/μαγνητικά φαινόμενα
ισχύς: 1/137
Εμβέλεια: άπειρη
Φορέας: φωτόνιο

ηλεκτρομαγνητική

Σταθερότητα των πυ-ρήνων, εγκλωβισμός των κουάρκ
ισχύς: 1
Εμβέλεια: 10^{-15} m
Φορέας: γλουόνιο

ισχυρή

Δεν τις αντιλαμβανόμαστε εύκολα στον μακρόκοσμο

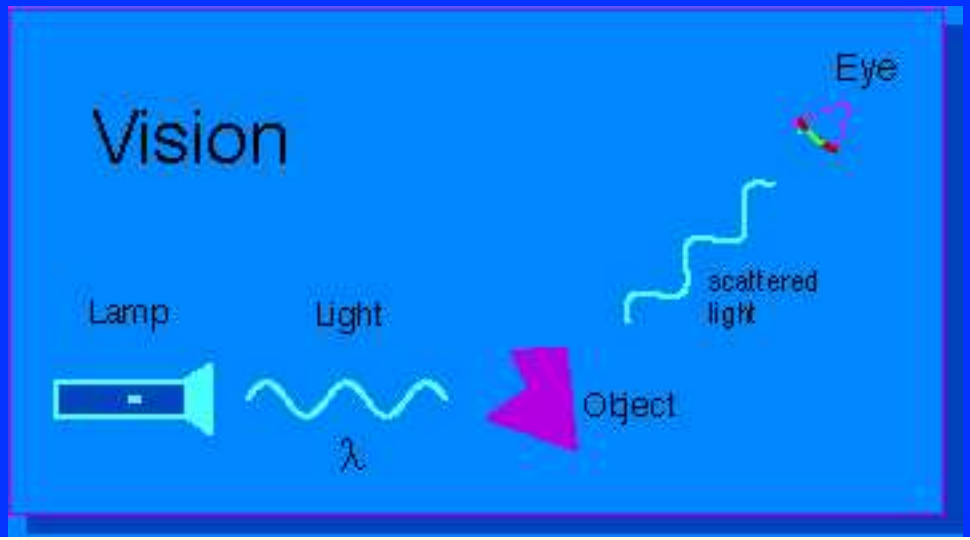
Ραδιενεργός βήτα διάσπαση
$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}$
ισχύς: 10^{-5}
Εμβέλεια: 10^{-18} m
Φορέας: W,Z-μποζόνια

ασθενής

Πώς βλέπουμε τα αντικείμενα

Βλέπουμε τα αντικείμενα σκεδάζοντας ορατό φως επάνω τους

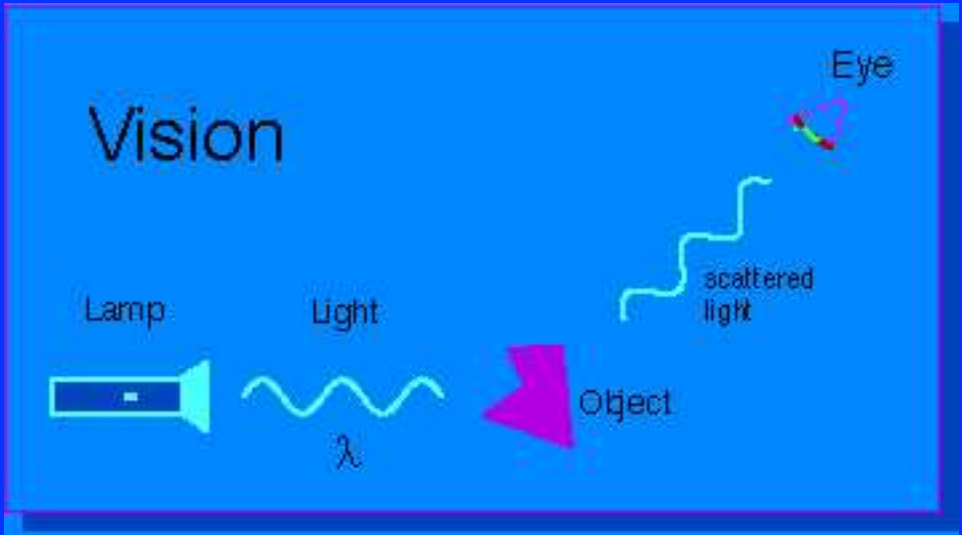
λ = 400-700 nm



Πώς βλέπουμε τα αντικείμενα

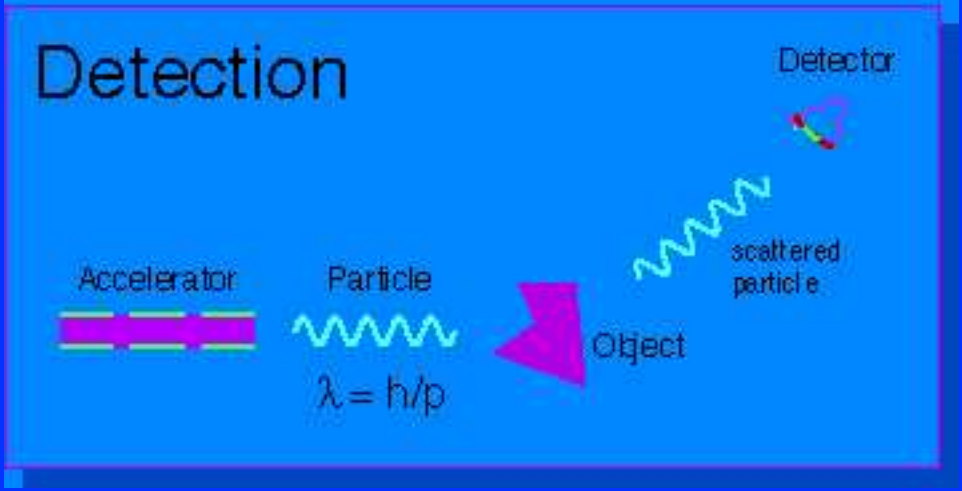
Βλέπουμε τα αντικείμενα σκεδάζοντας ορατό φως επάνω τους

λ = 400-700 nm



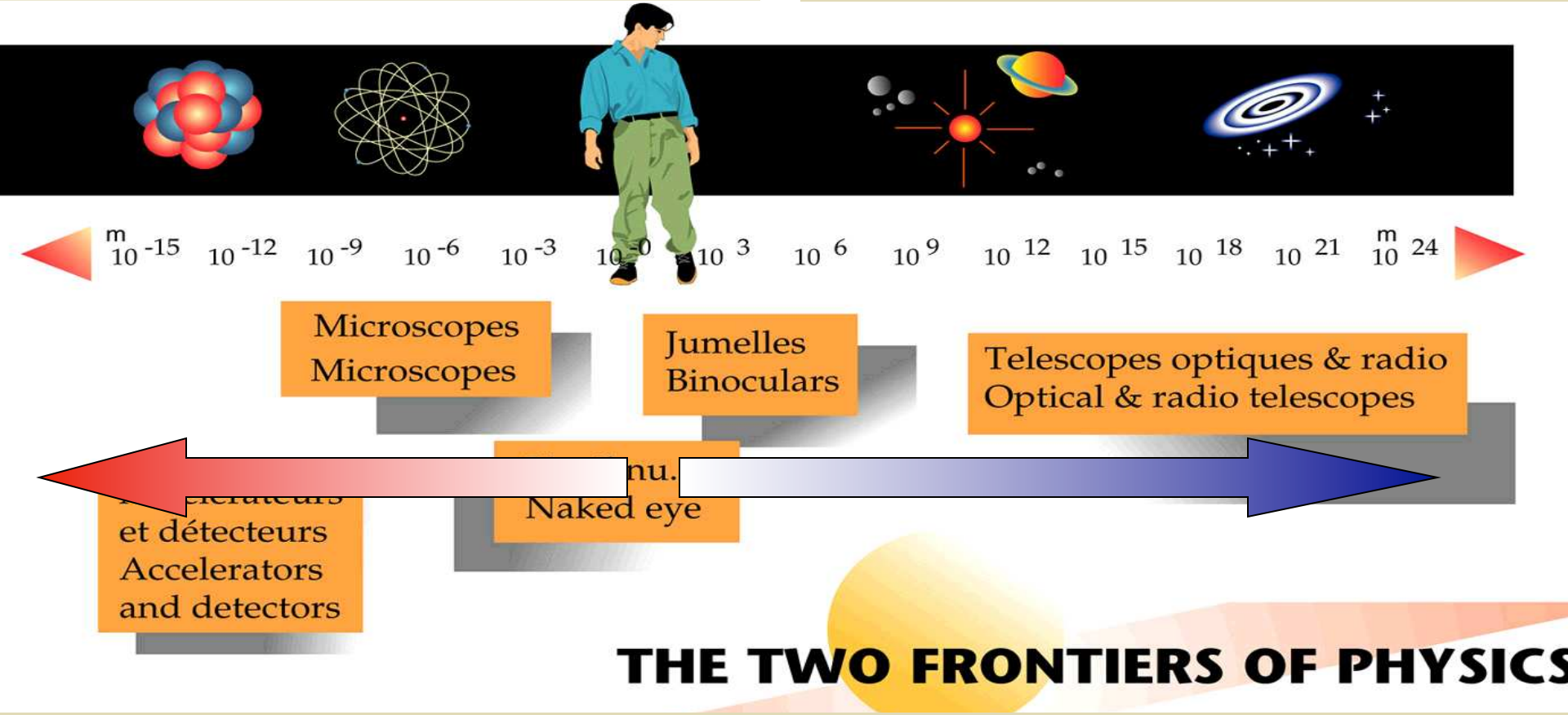
Βλέπουμε μικρότερα αντικείμενα σκεδάζοντας σωματίδια επάνω τους

$\lambda = h/p$



Η φυσική των σωματιδίων μελετάει
την ύλη στις πιο μικρές διαστάσεις

Η αστροφυσική μελετάει
την ύλη στις πιο μεγάλες διαστάσεις

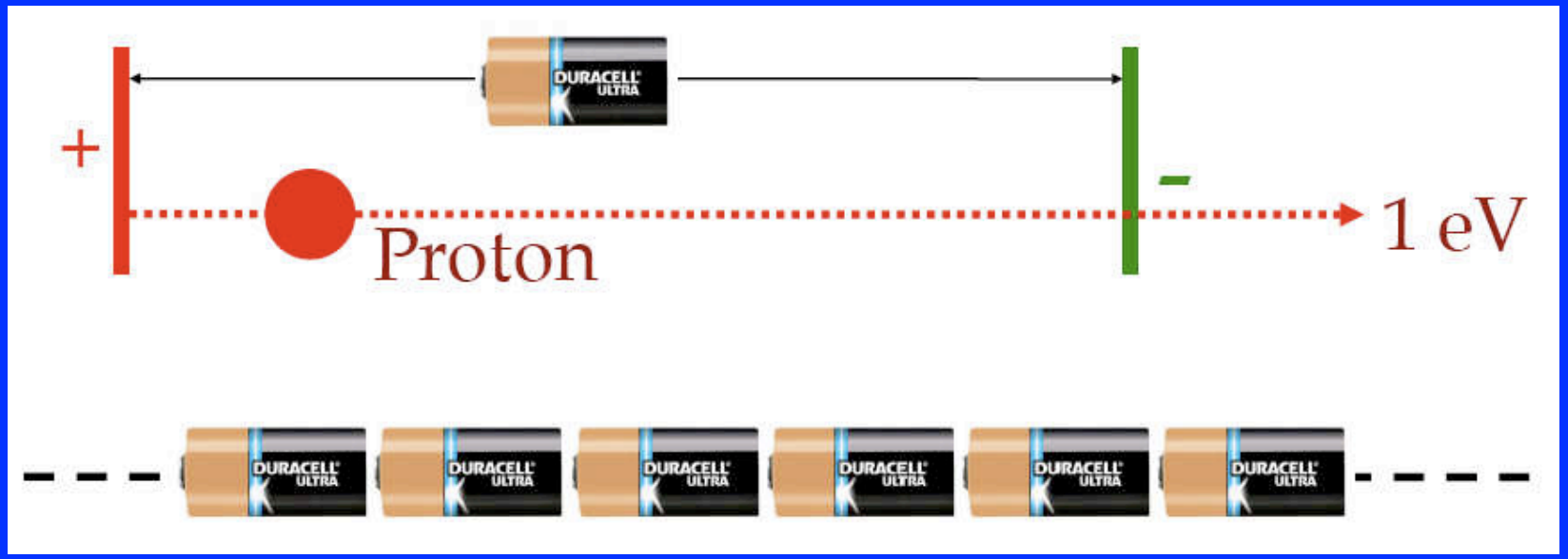


Τα δύο μέτωπα της φυσικής

Οι επιταχυντές χρειάζονται για τη μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων και των δυνάμεων

Επιταχυντές

Η ενέργεια που αποκτά φορτίο q μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο με διαφορά δυναμικού U: $E = q \bullet U$



Για το LHC θα χρειαζόμασταν 7000 τρισεκατομύρια μπαταρίες του 1 V

Μονάδες ενέργειας

1 eV = 1.6 x 10^{-19} Joule

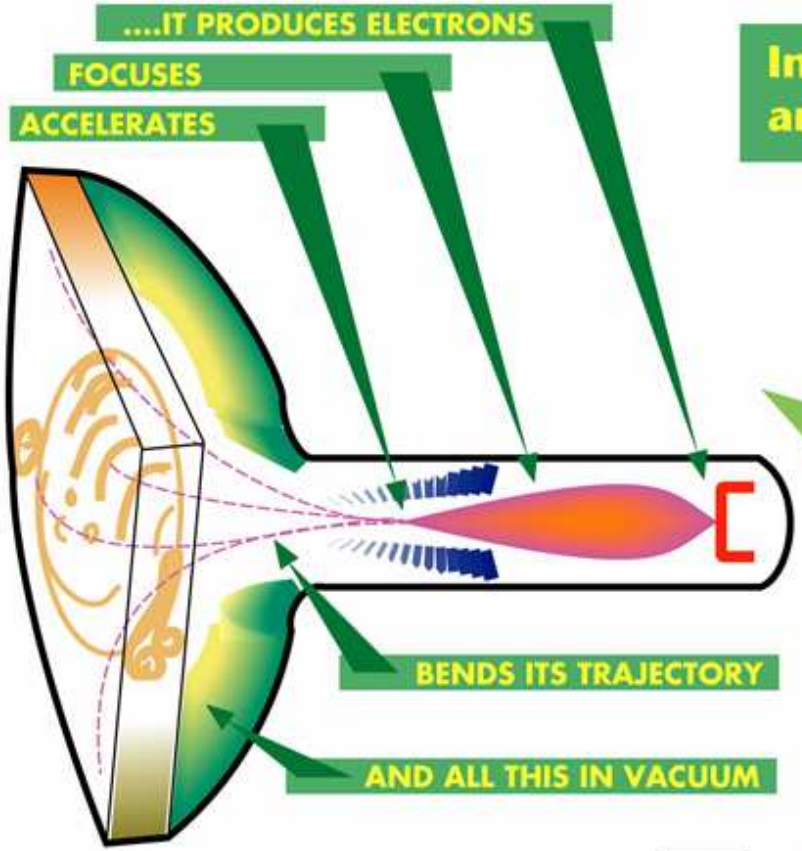
Η ενέργεια που αποκτά το στοιχειώδες φορτίο (του ηλεκτρονίου) όταν επιταχυνθεί από διαφορά δυναμικού 1 Volt

1 keV = 10^3 eV = 1000 eV
1 MeV = 10^6 eV = 1 000 000 eV
1 GeV = 10^9 eV = 1 000 000 000 eV
1 TeV = 10^{12} eV = 1 000 000 000 000 eV

Ισοδυναμία μάζας –ενέργειας $E = mc^2$

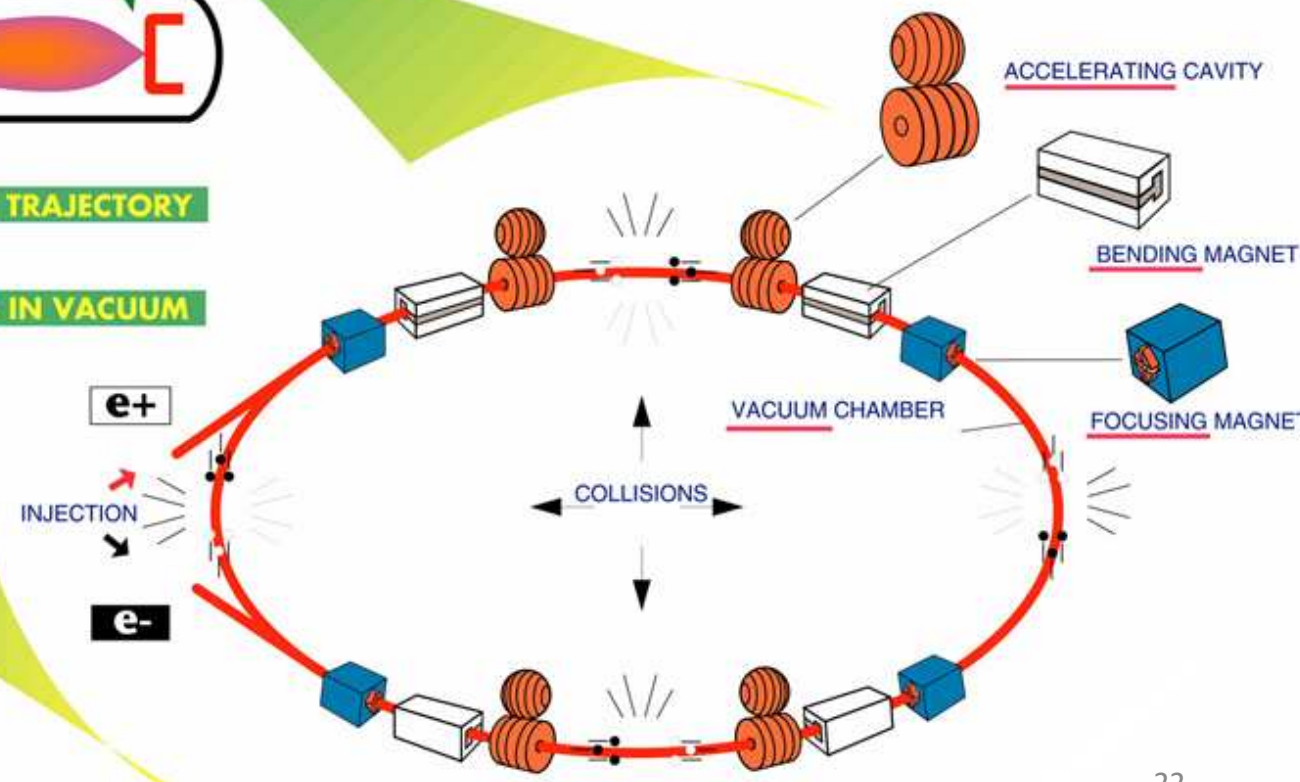
c=1 φυσικές μονάδες
και η μάζα εκφράζεται σε μονάδες ενέργειας

DID YOU KNOW YOUR TELEVISION SET IS AN ACCELERATOR ?

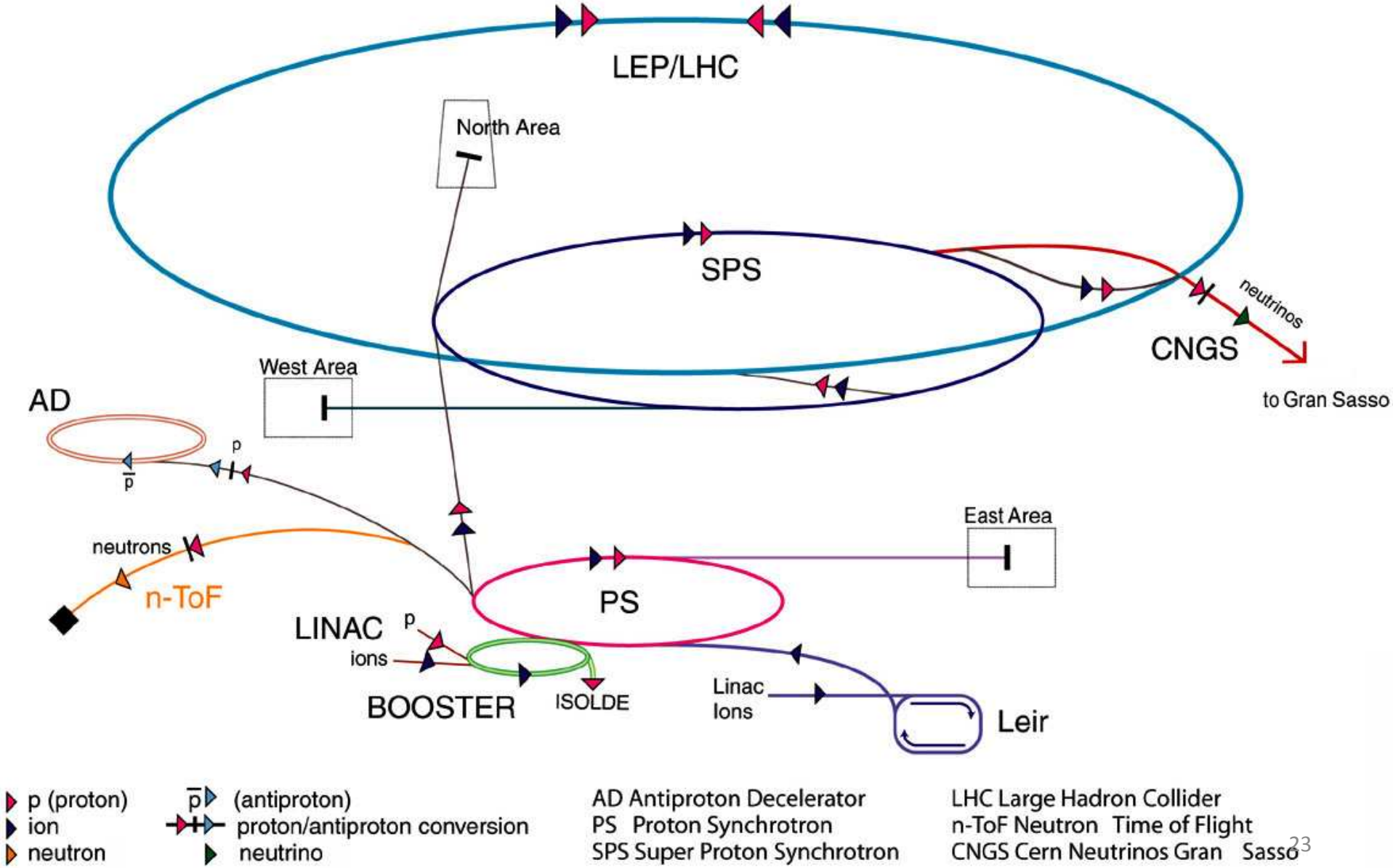


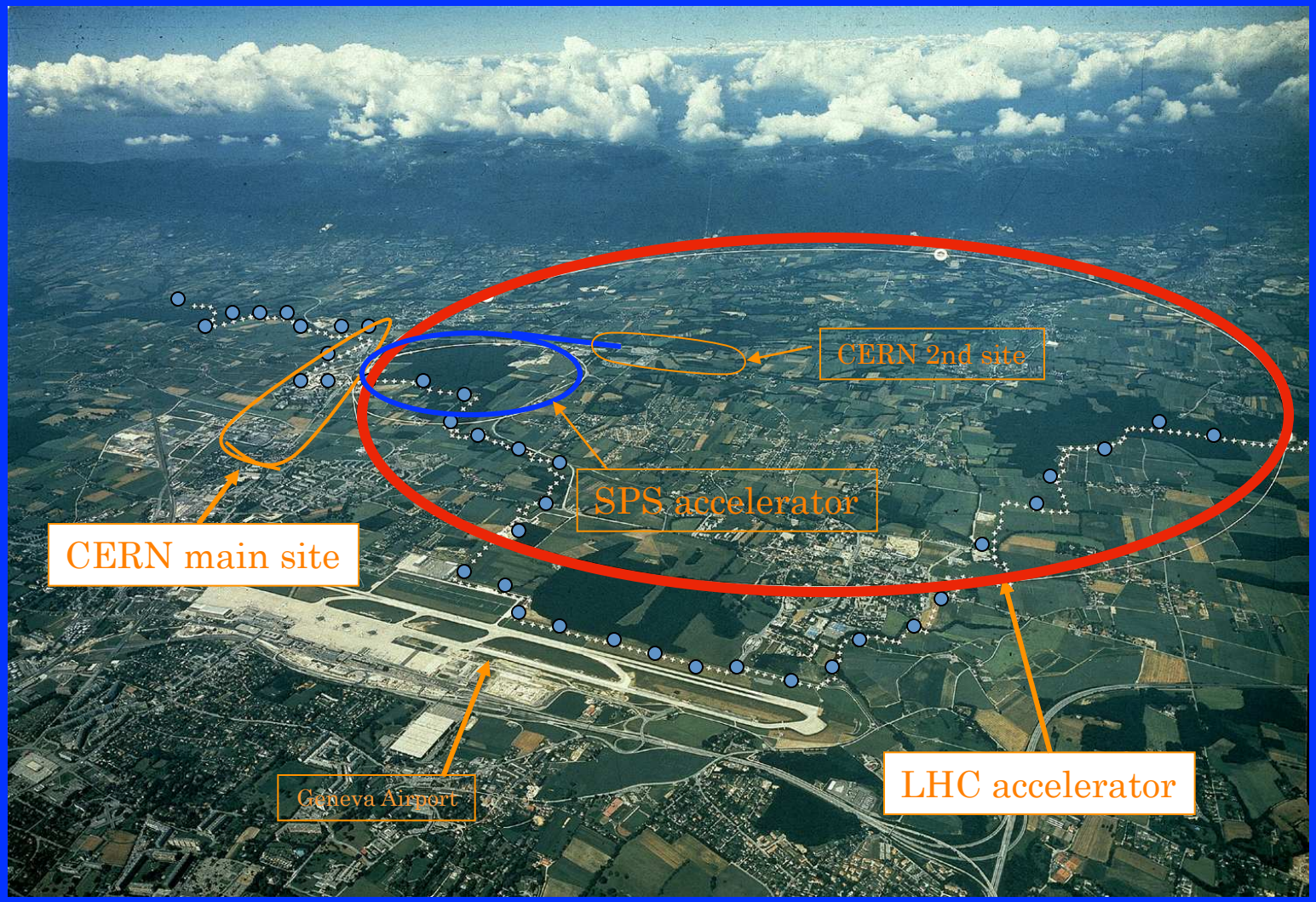
In your TV set, the electrons are accelerated to 20000 volts.

In LEP, they are accelerated to 100 000 000 000 volts.

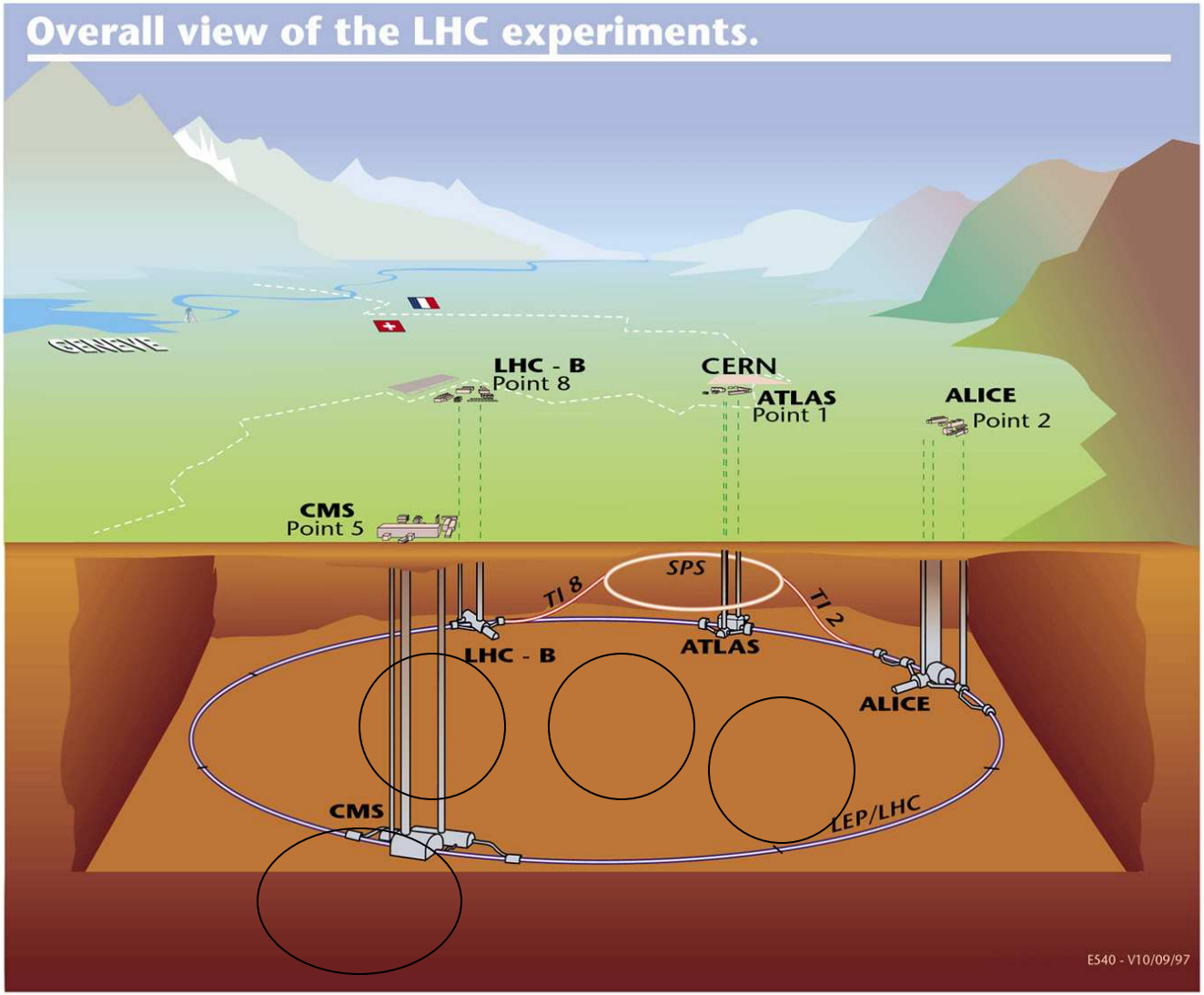


Η αποστολή του CERN ειναι να φτιάχνει τους επιταχυντές για τα πειράματα ΦΥΕ




CERN 2nd site
SPS accelerator
CERN main site
Geneva Airport
LHC accelerator

Ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων LHC (Large Hadron Collider)

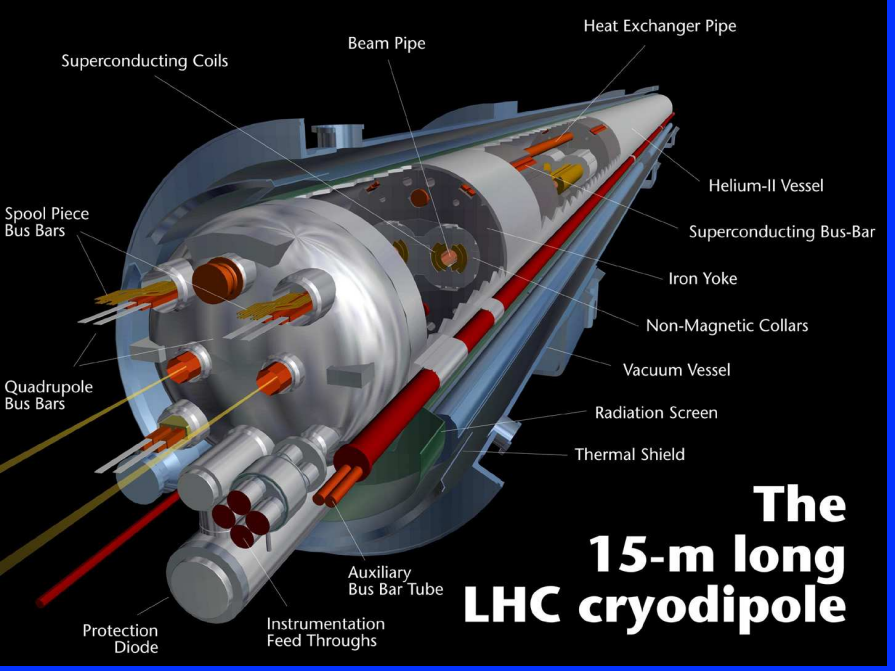


Ο μεγαλύτερος επιταχυντής του κόσμου σε διαστάσεις (δακτύλιος με περίμετρο 27 km)

Στο LHC συγκρούονται δέσμες πρωτονίων με την μεγαλύτερη ενέργεια στον κόσμο (13 TeV και θα φτάσουν τα 14 TeV)

Το LHC είναι το πιο ψυχρό μέρος του σύμπαντος - οι υπεραγώγιμοι μαγνήτες του λειτουργούν σε 1.9 K (ψύξη με υγρό ήλιο)

Βρίσκεται μέσα σ’ ενα τούνελ σε 100 μέτρα βάθος



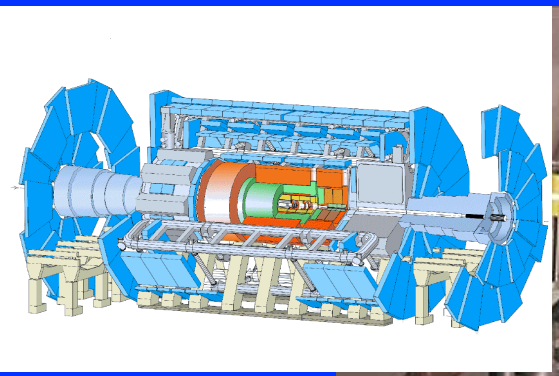
393 τετραπολικοί μαγνήτες εστιάζουν τις δέεσμες

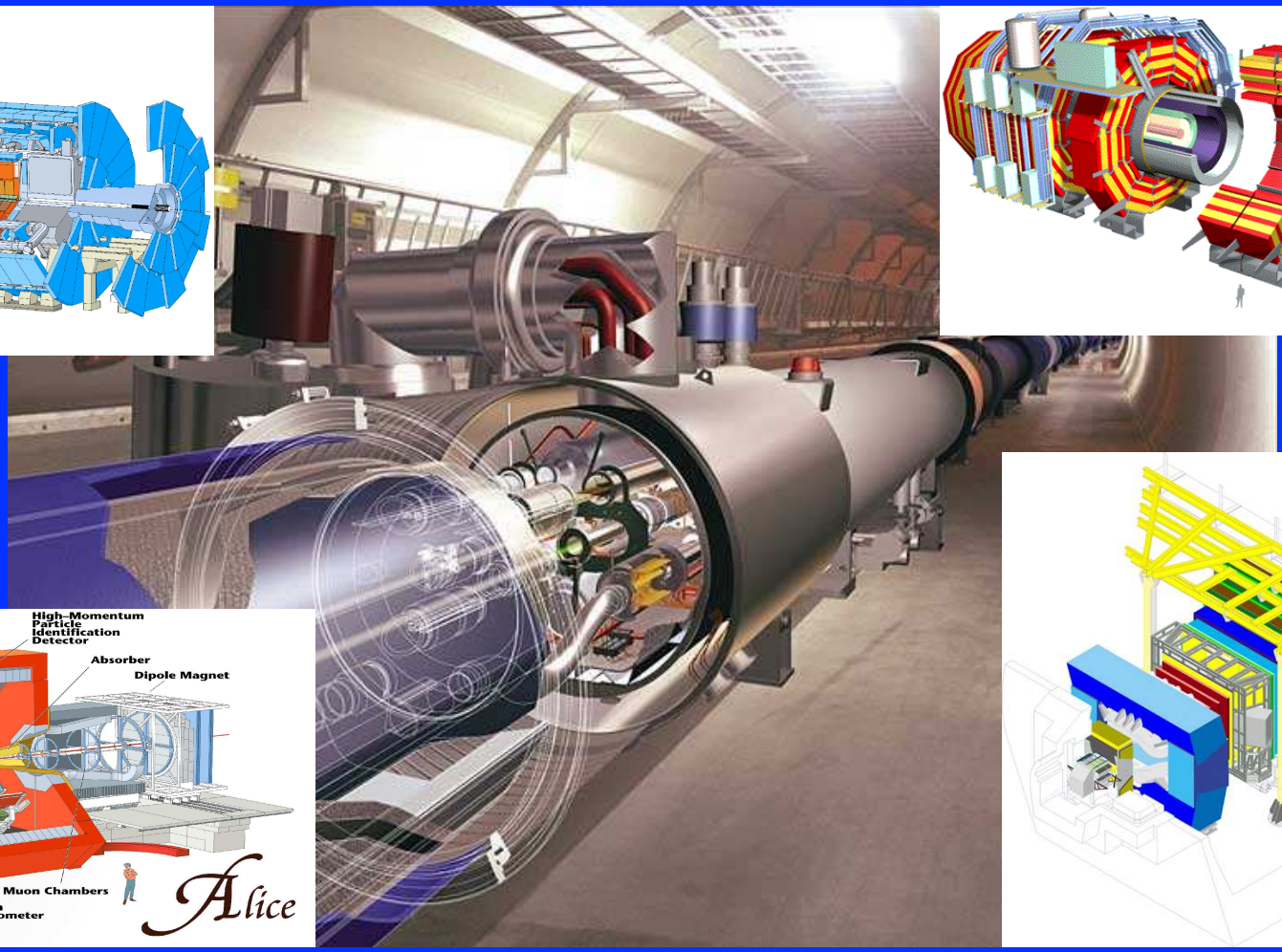
1232 μαγνητικά δίπολα στρέφουν τις δέσμες

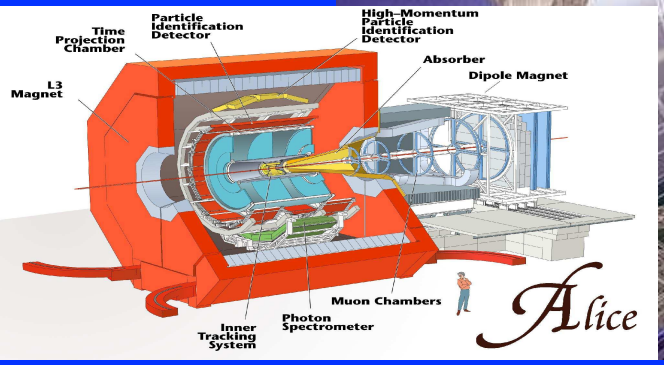
8 κοιλότητες ραδιοσυχνοτήτων για κάθε δέσμη, τοποθετημένες ανά 4 σε ένα cryomodule, επιταχύνουν τις δέσμες

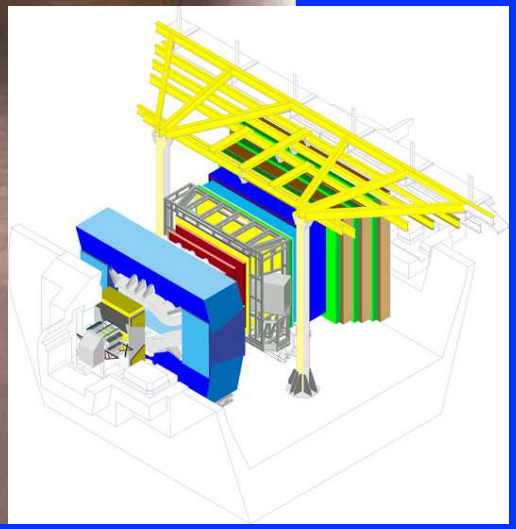
Οι δέσμες κυκλοφορούν μέσα σε σωλήνες με πολύ υψηλό κενό, 10^{-13} atm

4 μεγάλα πειράματα είναι εγκατεστημένα στον δακτύλιο του LHC

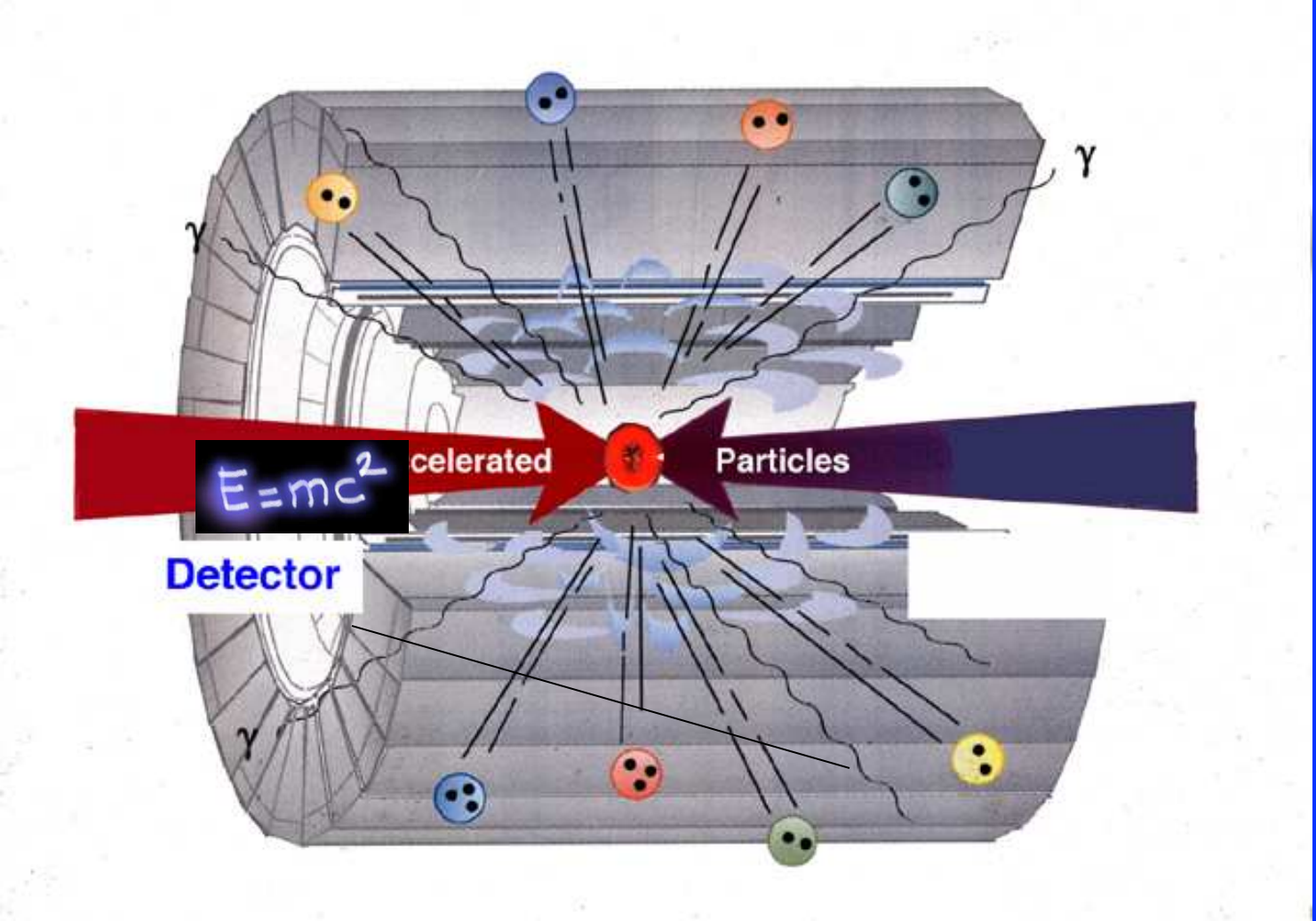








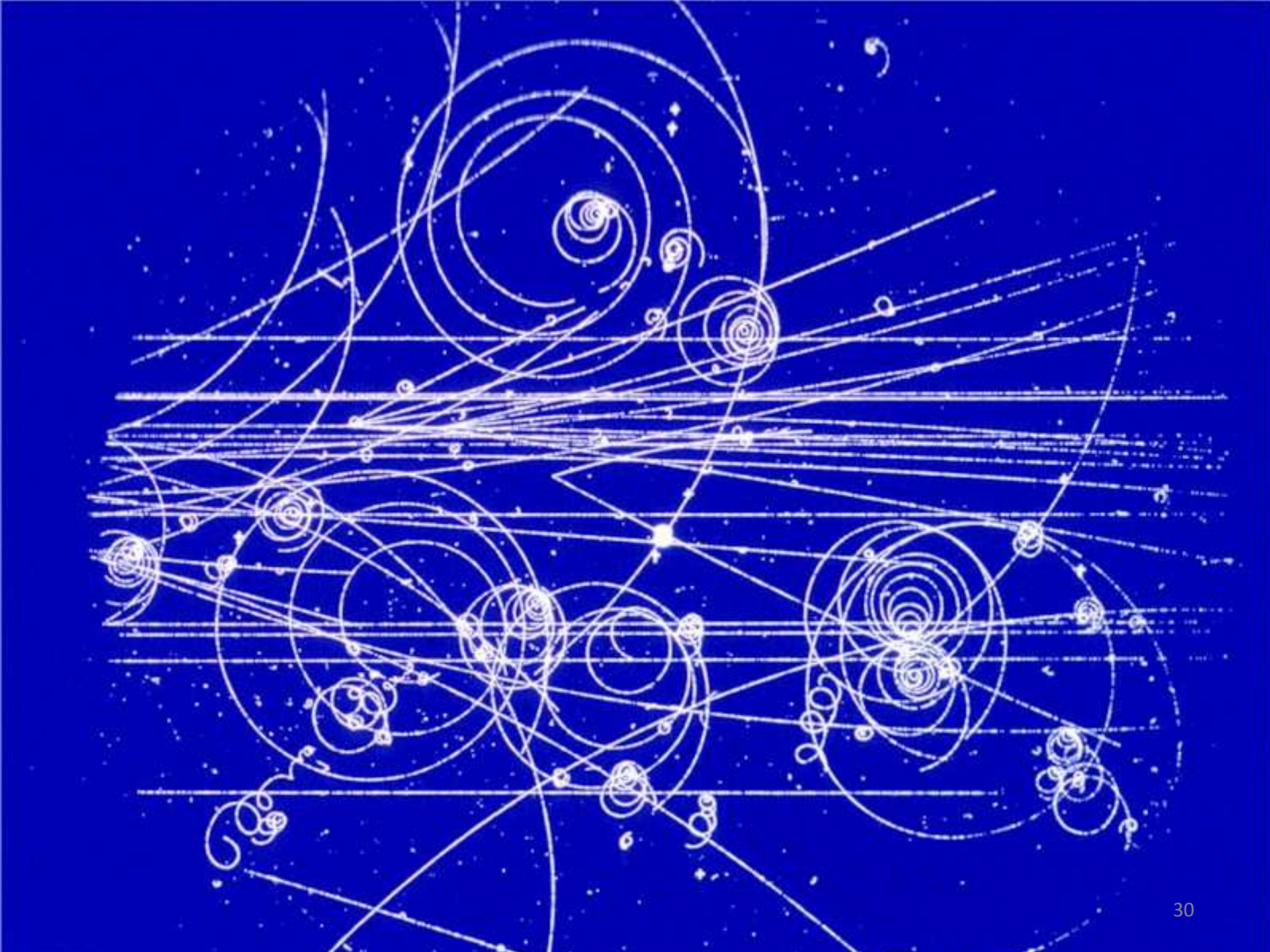
Πρώτες συγκρούσεις δεσμών πρωτονίων το Νοέμβρη του 2009 (900 GeV)
Πρώτες συγκρούσεις δεσμών πρωτονίων στην ενέργεια των 7 TeV το Μάρτη του 2010
Πρώτες συγκρούσεις δεσμών πρωτονίων στην ενέργεια των 13 TeV τον Ιούνιο του 2015



1) Συγκεντρώνουμε ενέργεια πάνω στα πρωτόνια επιταχύνοντάς τα	2) Τα πρωτόνια συγκρούονται – η ενέργειά τους απελευθερώνεται στο σημείο της σύγκρουσης	3) Παράγονται καινούργια σωμάτια λόγω μετατροπής ενέργειας σε μάζα

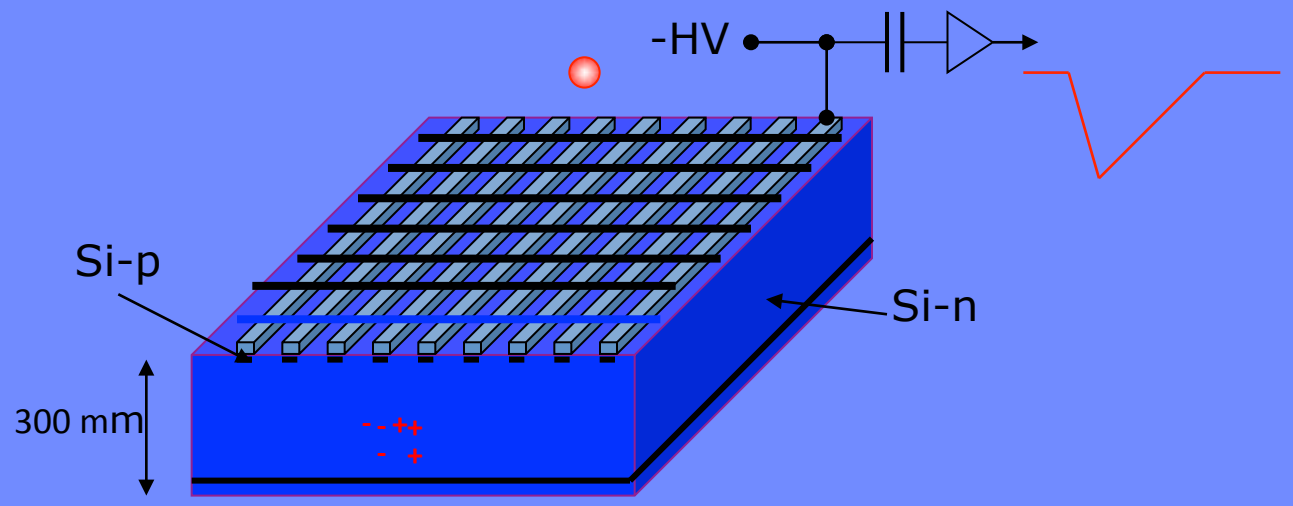
“βλέπουμε” αυτά τα νέα σωμάτια και μετράμε τα χαρακτηριστικά τους με τους ανιχνευτές

Πως «βλέπουμε» τα σωματίδια;

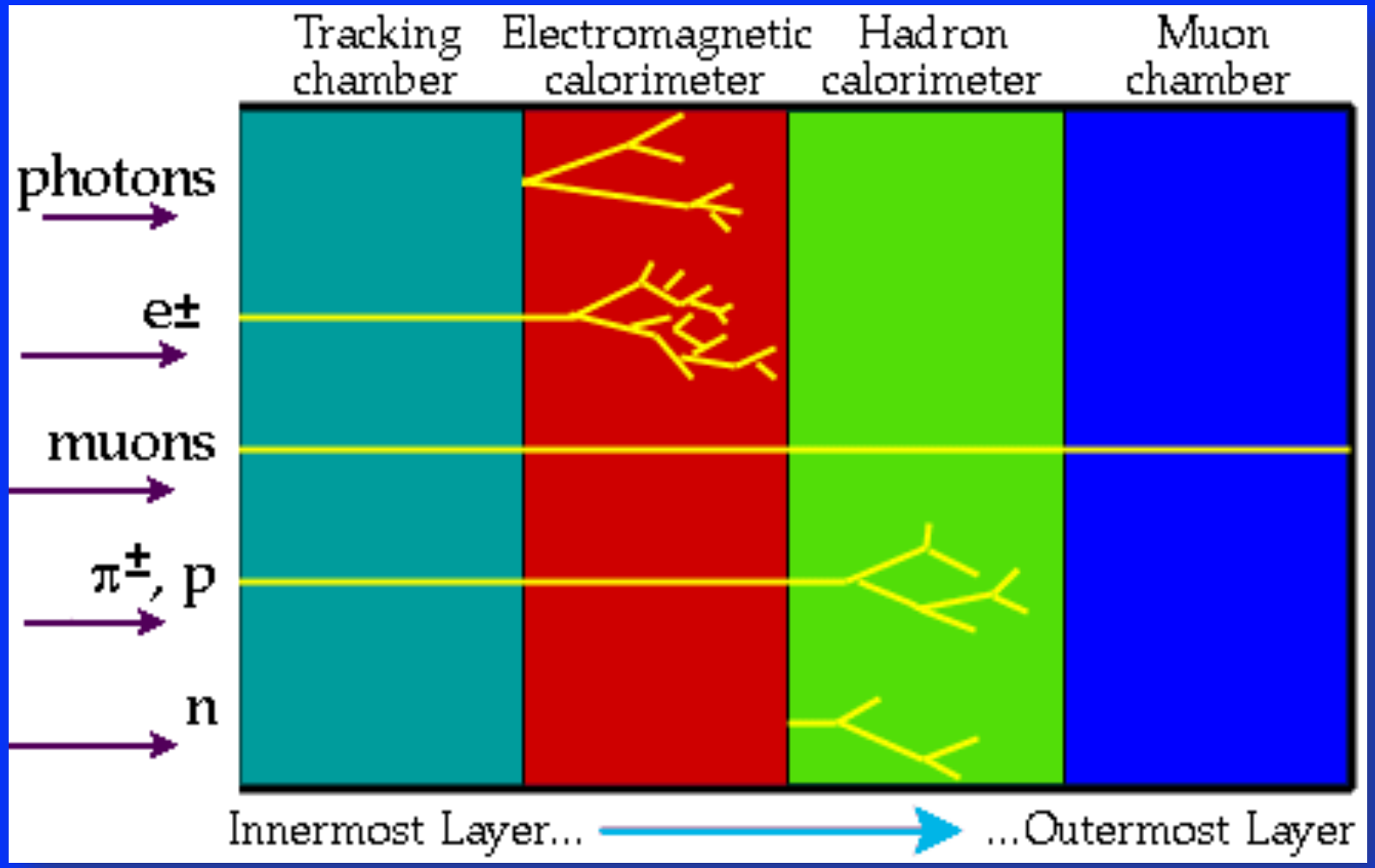


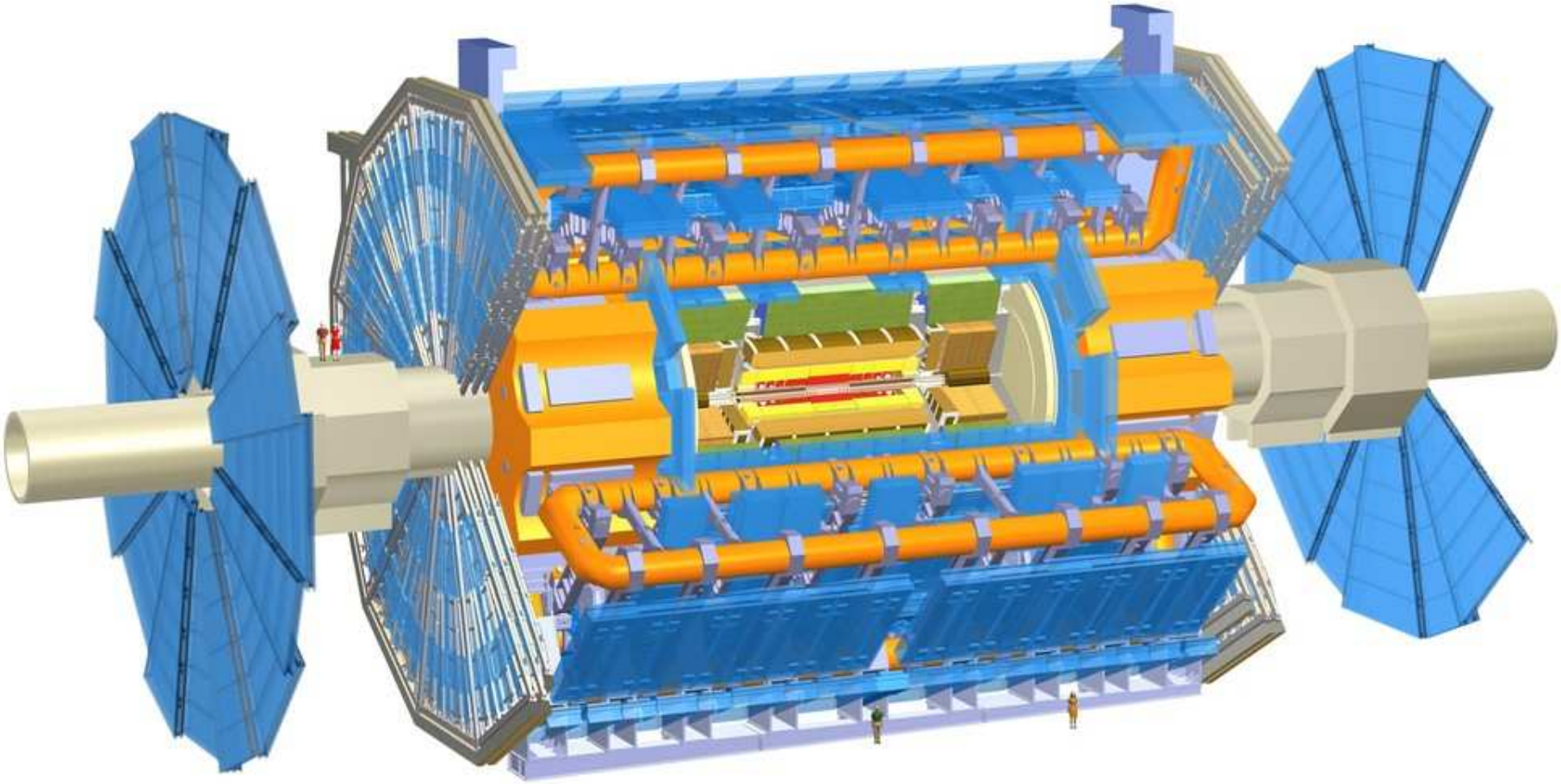
Παράδειγμα ανιχνευτή ιχνών

ανιχνευτές πυριτίου (διόδοι Si) : δίνουν 2D πληροφορία θέσης για φορτισμένα σωματίδια



Η ανίχνευση στηρίζεται στις αλληλεπιδράσεις των φορτισμένων σωματιδίων με το υλικό του ανιχνευτή που έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού σήματος

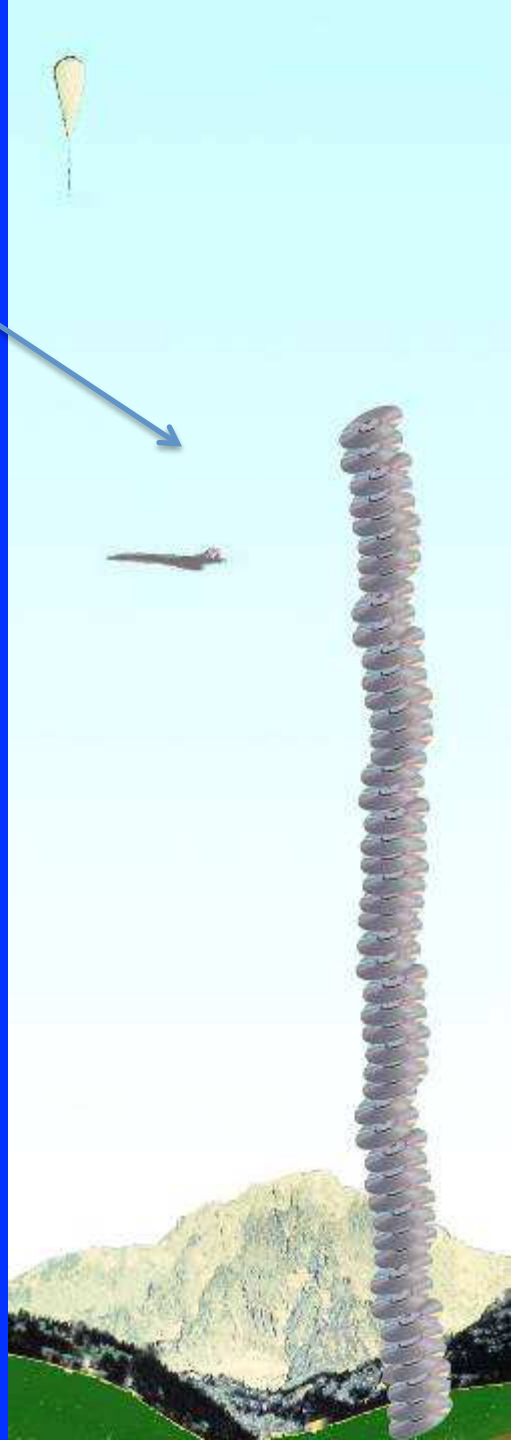

Tracking chamber
Electromagnetic calorimeter
Hadron calorimeter
Muon chamber
photons
e±
muons
π±, p
n
Innermost Layer...
...Outermost Layer



25 m x 25 m x 46 m 7000 τόνοι

Για κάθε σύγκρουση οι ανιχνευτές παράγουν ηλεκτρικά σήματα που μετατρέπονται σε ψηφιακές πληροφορίες. Αυτές διαβάζονται και καταγράφονται από υπολογιστές

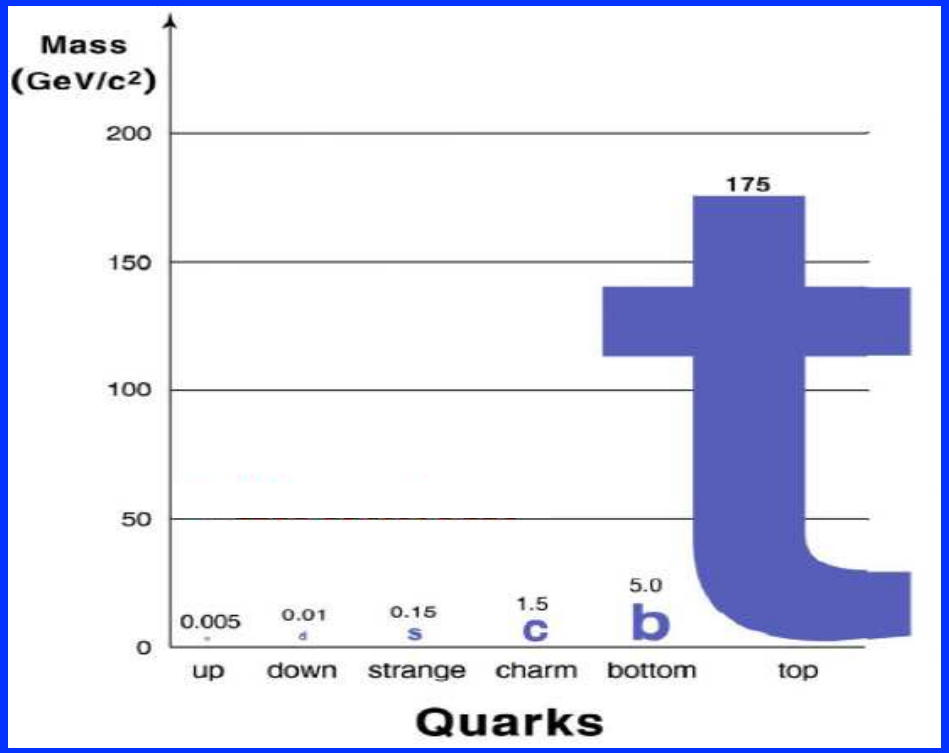
20 km CD το χρόνο απο τα πειράματα του LHC



Χιλιάδες υπολογιστές σε εκατοντάδες υπολογιστικά κέντρα σε όλο τον κόσμο συνδεδεμένοι στο grid μοιράζονται την υπολογιστική τους δύναμη και τα συστήματα αποθήκευσης πληροφορίας για την ανάλυση των δεδομένων

The GRID

Γιατί τα σωματίδια έχουν μάζα;
Γιατί έχουν τόσο διαφορετικές μάζες;



Το Καθιερωμένο Πρότυπο προβλέπει ότι οι μάζες των σωματιδίων είναι μηδενικές.

Το πεδίο Higgs γεμίζει το σύμπαν και η αλληλεπίδραση των σωματιδίων με αυτό τους δίνει μάζα, μεγάλη ή μικρή, ανάλογα με την ισχύ της αλληλεπίδρασης. Με το πεδίο Higgs συνδέεται το μποζόνιο Higgs

Πιθανή απάντηση ο Μηχανισμός Higgs* που προβλέπει και την ύπαρξη του σωματιδίου Higgs

***Englert-Brout-Higgs-Guralnik-Hagen-Kibble** mechanism

Ο Peter Higgs επισκέπτεται το πείραμα ALICE
CERN Open Day - Απρίλιος 2008

Higgs update seminar – CERN - 4 July 2012 a historic day for CERN

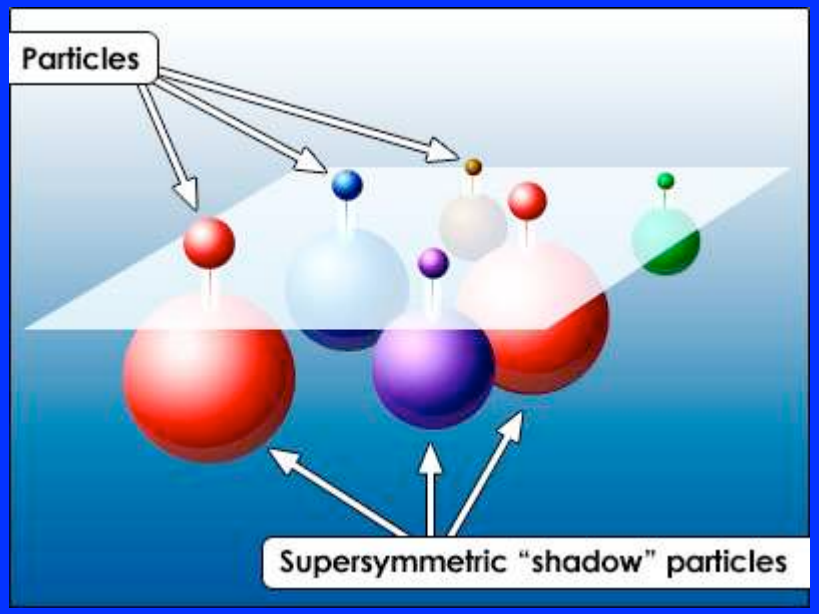
Ανακοινώθηκε η ανακάλυψη ενός καινούριου μποζονίου

© 2012 CERN

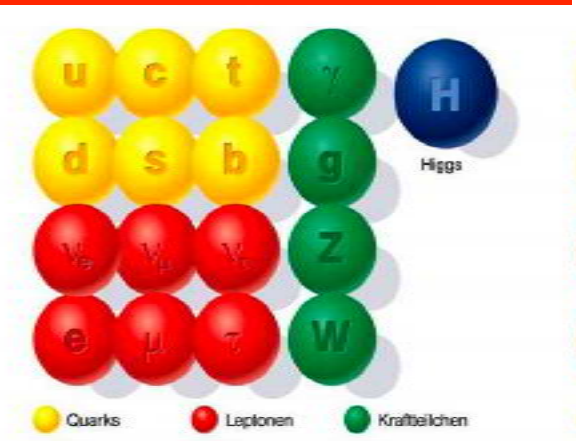
Υπερσυμμετρία – SUperSYmmetry (SUSY)

Συμμετρία ανάμεσα στην ύλη (στοιχειώδη σωμάτια -> φερμιόνια) και τις δυνάμεις (φορείς των δυνάμεων -> μποζόνια)

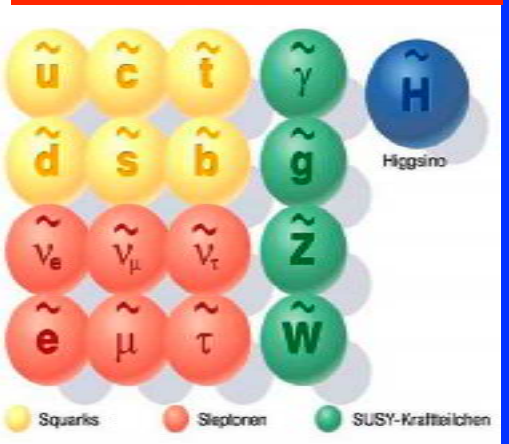
Τι χρειάζεται ;
Για να ενοποιήσει τις δυνάμεις
Για να λύσει προβλήματα στο καθιερωμένο πρότυπο (αποκλίσεις στη μάζα του Higgs)



σωμάτια καθιερωμένου προτύπου



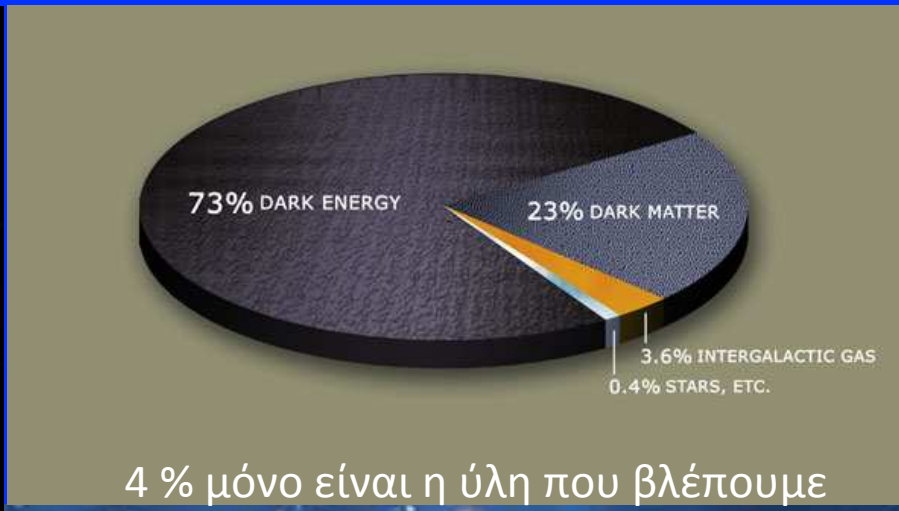
Υπερσυμμετρικα σωματια



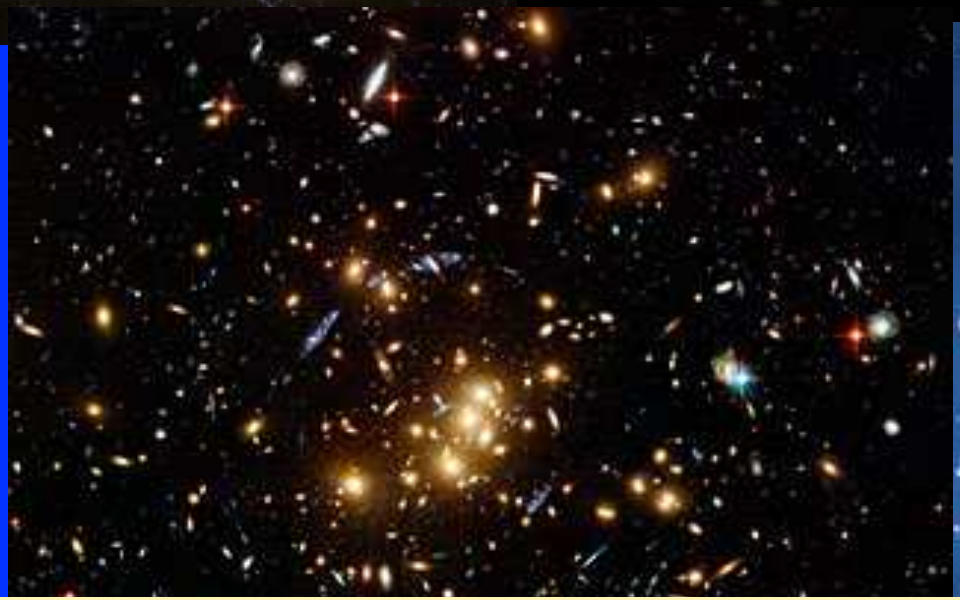
Καθε σωμάτιο με spin s έχει το υπερσυμμετρικό του με spin s-1/2

Quark (s=1/2) -> squark (s=0)
Gluon (s=1) -> gluino (s=1/2)

Σκοτεινή ύλη



4 % μόνο είναι η ύλη που βλέπουμε

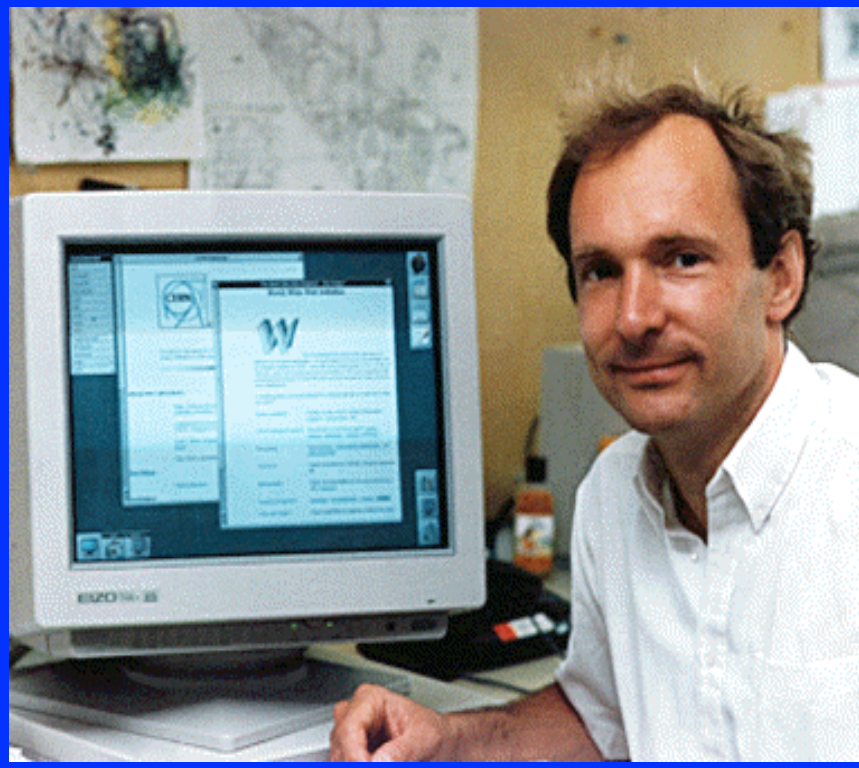


Τα υπερσυμμετρικά σωματίδια θα μπορούσαν να είναι η απάντηση

Από τα βαρυτικά της αποτελέσματα - ταχύτητες περιστροφής γαλαξιών – ξέρουμε ότι στο σύμπαν υπάρχει μεγάλη ποσότητα σκοτεινής ύλης - ύλης που δεν εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και άρα δεν την βλέπουμε

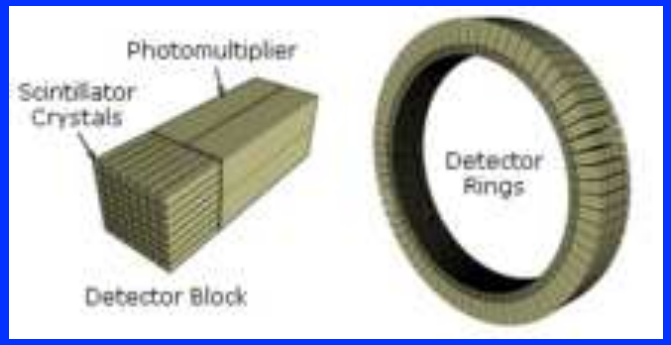
World Wide Web

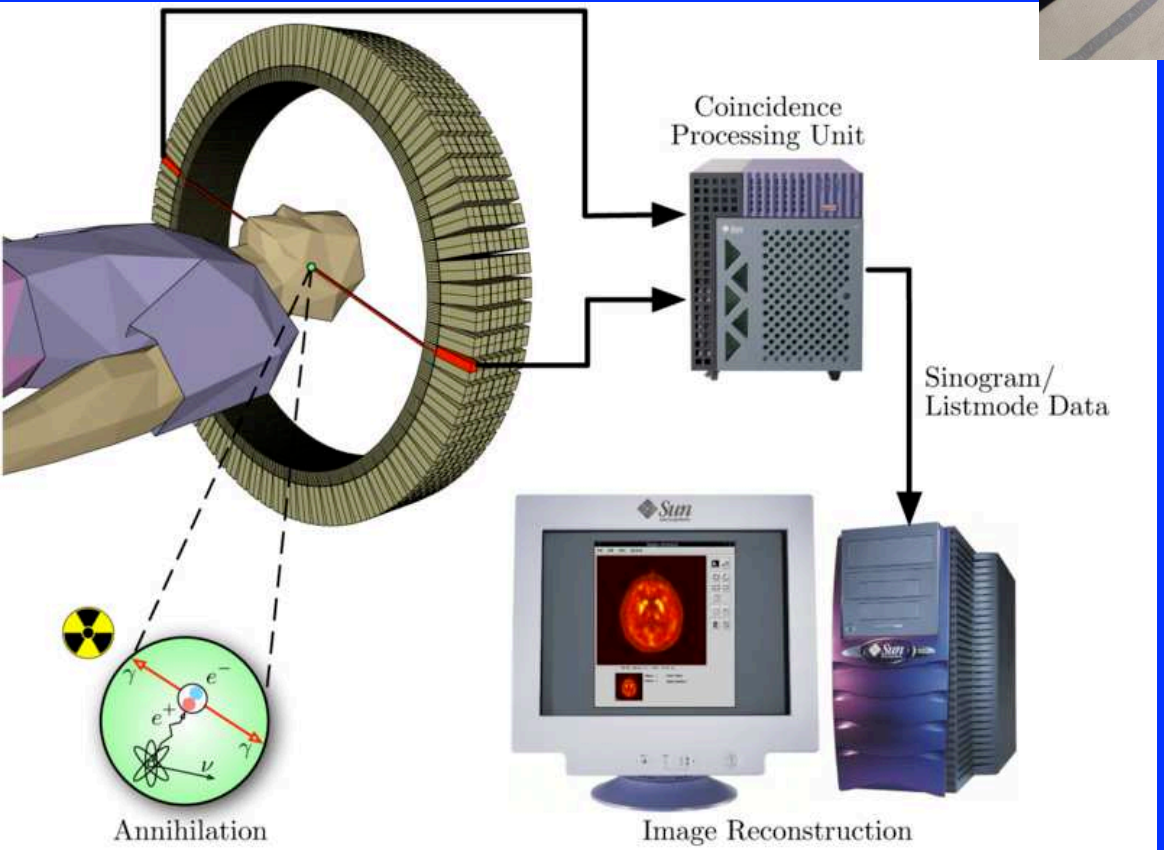
Επινοήθηκε από τον Tim Berners-Lee,
Ερευνητή στο CERN, το 1989,
Για να ικανοποιήσει τις ανάγκες των φυσικών σε Ινστιτούτα σε όλο τον κόσμο να μοιράζονται αυτόματα τις πληροφορίες



Το WWW σε συνδυασμό με το Internet έχει αλλάξει τον τρόπο ζωής μας

Positron Emission Tomography (PET)

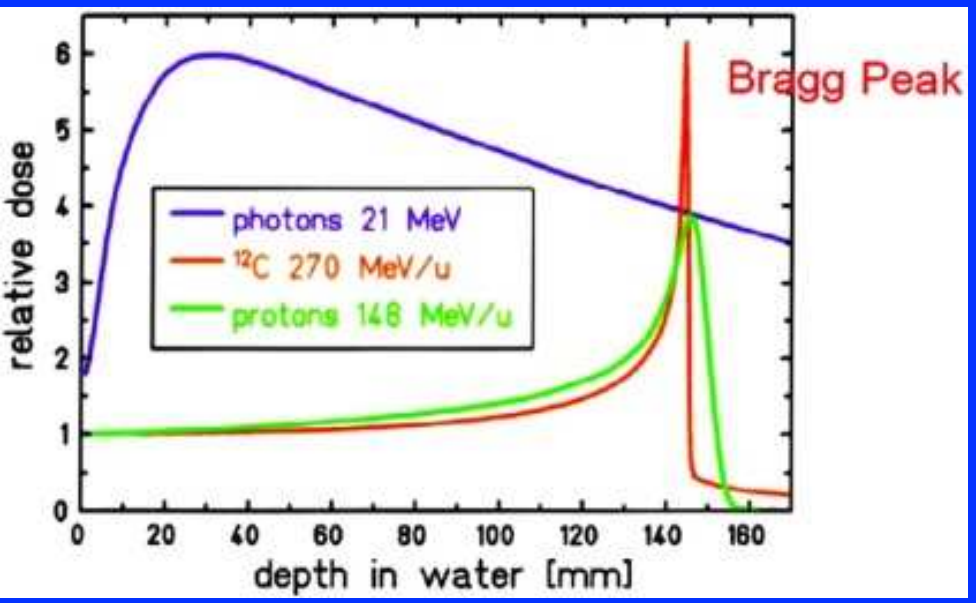




Και πολλά άλλα spin-offs

- επιταχυντές στην ιατρική
  Παραγωγή ραδιοισοτόπων
  Ακτινοβόληση ασθενών
- Τεχνολογία υψηλού κενού
- Τεχνολογία υπεραγώγιμων μαγνητών
- Κρυογενικά συστήματα
- Γρήγορα ηλεκτρονικά
- Γρήγοροι υπολογιστές

Θεραπεία με αδρόνια



Με πρωτόνια ή ιόντα άνθρακα μπορούμε να ρυθμίσουμε σε τι βάθος αποτίθεται η μέγιστη ενέργεια και να καταστρέψουμε μόνο τον όγκο και όχι τους υγιείς ιστούς

Αντί για συμπέρασμα

- Η έρευνα του μικρόκοσμου μας βοηθάει να κατανοήσουμε τον κόσμο μας και τους νόμους που διέπουν τη λειτουργία του

- Η ανάπτυξη της τεχνολογίας που είναι απαραίτητη για τη βασική έρευνα βρίσκει αναρίθμητες εφαρμογές που βελτιώνουν τη ζωή

Το CERN μας παρέχει τα εργαλεία

Πέρα όμως από αυτά, το CERN

- Εκπαιδεύει τους αυριανούς επιστήμονες και μηχανικούς

- Ενώνει τους ανθρώπους από διαφορετικές κουλτούρες

Ευκαιρίες για νέους και εκπαιδευτικά προγράμματα

- Summer students
- Doctoral students
- Technical students
- Administrative students
- CERN fellows

- High School Teachers' Programmes (international / national)
- High School Students Internships Programmes

- Positions (HR Department) web pages

- Visits
- Virtual visits
- Participation in masterclasses
- Beamline for schools competition

επιπλέον

Η Ελλαδα στο CERN

- Η Ελλάδα είναι ένα από τα 12 ιδρυτικά μέλη του CERN
- Ελληνικές ερευνητικές ομάδες ομάδες συμμετέχουν
- Στο πείραμα ATLAS του LHC (Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστήμιο Αθήνας, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο)
- Στο πείραμα CMS του LHC (Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Πανεπιστήμιο Αθήνας, Δημόκριτος)
- Στο πείραμα ALICE του LHC (Πανεπιστήμιο Αθηνας)
- Στο πείραμα CAST (Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστήμιο Αθήνας, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Δημόκριτος, Πανεπιστήμιο Πάτρας)

- Πολλοί Ελληνες θεωρητικοί συνεργάζονται με το τμήμα θεωρητικής φυσικής
- Διάφοροι Ελληνες έχουν θέσεις στο CERN
- Πολλοί νέοι κάνουν διδακτορικά συμμετέχοντας στα πειράματα του LHC, το CAST η σε θέματα φυσικής επιταχυντών

Ευκαιρίες για νέους

- Summer students
- Doctoral students
- Technical students
- Administrative students
- CERN fellows

- High School Teachers' Programme

- Positions (HR Department) web pages

- Visits
- Virtual visits
- Participation in masterclasses

Εχουμε πάρει κάποια απάντηση μέχρι τώρα;

Μας χρειάζεται μεγάλη ολική φωτεινότητα

Υπενθύμιση
Τα φαινόμενα που μελετάμε είναι στατιστικά.
Αναζητούμε φαινόμενα σπάνια (που συμβαίνουν με πολύ μικρή πιθανότητα)

$$N = L\sigma\varepsilon$$

απόδοση

αριθμός παρατηρημένων γεγονότων

Ολική φωτεινότητα (m^{-2})

Ενεργός διατομή (m^2)

Ενεργός διατομή :
μετριέται σε barn: 1 barn = 10^{-24} cm^2 = 10^{-28} m^2
Ολική φωτεινότητα :
μετριέται σε αντίστροφες μονάδες της ενεργού διατομής inverse barns (b^{-1})

Στο LHC : φωτεινότητα 10^{33} $cm^{-2}s^{-1}$ (και αργότερα 10^{34} $cm^{-2}s^{-1}$)
έχουμε περίπου 2 x 10^7 seconds/year ολ. Φωτ. 20 inverse femtobarns (fb^{-1})

ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ : 5 σ στατιστική σημαντικότητα (πιθανότητα ένα σε τρία εκατομύρια το φαινόμενο να είναι στατιστική διακύμανση)

Το καινούριο μποζόνιο που ανακαλύφθηκε ανακοινώθηκε σαν "Higgs-like"

Για να βεβαιωθούμε αν είναι το Higgs που προβλέπεται από το καθιερωμένο πρότυπο ή κάτι άλλο (SUSY) πρέπει να απαντηθούν τα εξής

1. Παρατηρούμε όλες τις δυνατές διασπάσεις που προβλέπονται από το καθιερωμένο πρότυπο;
2. Οι διασπάσεις που παρατηρούμε συμβαίνουν με τη σωστή πιθανότητα;
3. Ποιές είναι οι βασικές ιδιότητες του καινούριου μποζονίου(spin, parity)?

Ματά από παρουσίαση πρόσφατων αποτελεσμάτων στο Moriond conference την προηγομενη βδομάδα:

Η καθοριστική ιδιότητα που θα μας επιτρέψει να πούμε αν είναι η όχι το σωμάτιο Higgs λέγεται spin. Αν το σωμάτιο αυτό έχει spin μηδέν, τότε είναι το Higgs. Αν όχι, τότε είναι κάτι διαφορετικό και δυνατόν να συνδέεται με τη βαρύτητα. Ολη η ανάλυση μέχρι τώρα δείχνει ότι έχει spin μηδέν, χωρίς όμως να μπορεί να αποκλείσει τελείως τη δυνατότητα να έχει spin δύο.

- Τα πρωτόνια μπαίνουν στο LHC σε πακέτα (με 100 δισεκατομύρια πρωόονια) κάθε 25 ns;

- Επιταχύνονται από 450 GeV στα 3.5 TeV

- Φτάνουν σε ταχυτητα 99.9999991% της ταχύτητας του φωτός

- 40 εκατομύρια φορές/s τα πακέτα περνούν από τα σημεία σύγκρουσης

- Τα πρωτόνια κάνουν το γύρο του LHC 11245 φορές/s
- 31.2 MHz crossing rate
- 20 συγκρούσεις κατά μέσο όρο (100 σε 100 δισεκατομύρια πρωτόνια)
- 600 εκατομύρια συγκρούσεις το δευτερόλεπτο

- Μετά από φιλτράρισμα, 100 συγκρούσεις το δευτερόλεπτο

- 1 Megabyte πληροφορίες από κάθε σύγκρουση
- 0.1 Gigabyte / δευτερόλεπτο
- 10^{10} συγκρούσεις το χρόνο
- 10 Petabyte το χρόνο

1 Megabyte (1MB)
Ψηφιακή φωτογραφία

1 Gigabyte (1GB) = 1000MB
DVD movie

1 Terabyte (1TB) = 1000GB
Παγκόσμια ετήσια παραγωγή βιβλίων

1 Petabyte (1PB) = 1000TB
Ετήσια παραγωγή ενός από τα πειράματα του LHC

1 Exabyte (1EB) = 1000 PB
Παγκόσμια ετήσια παραγωγή πληροφορίας

Μήπως ζούμε σε χώρο πολλών διαστάσεων (extra dimensions);

Ο ακροβάτης κινείται σε μια διάσταση
Το έντομο κινείται σε δύο διαστάσεις, αλλά η μια είναι πολύ μικρή

Μπορεί να υπάρχουν επιπλέον διαστάσεις αλλά θα είναι τόσο μικρές που δεν μπορούμε να τις αντιληφθούμε

Αν υπάρχουν επιπλέον διαστάσεις, θα μπορούσαν να εξηγήσουν το μυστήριο της βαρύτητας: γιατί είναι τόσο ασθενέστερη από όλες τις άλλες δυνάμεις

Ίσως δρα μερικώς σε μια άλλη διάσταση

Η θεωρία των χορδών (string theory) επίσης απαιτεί επιπλέον διαστάσεις