



Εισαγωγή στη Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Διαλέξεις Θ. Αλεξόπουλου, καθ. ΕΜΠ

Τι είναι η Φυσική των Στοιχειωδών Σωματιδίων;

Η Φυσική των Στοιχειωδών Σωματιδίων προσπαθεί να περιγράψει με ένα κοινό τρόπο τα σωματίδια και τις αλληλεπιδράσεις τους. Προσπαθεί να καθορίσει ποια σωματίδια είναι και ποιες αλληλεπιδράσεις είναι θεμελιώδεις.

Είναι επίσης γνωστή ως Φυσική των Υψηλών Ενεργειών μιας και το πιο συνηθισμένο εργαλείο είναι επιταχυντές πολύ μεγάλης ενέργειας. Μεγάλη ενέργεια σημαίνει και μεγάλο μέγεθος μιας και τα φορτισμένα σωματίδια που κινούνται σε κυκλική τροχιά

χάνουν ενέργεια $\sim E^4/R \rightarrow$ μεγαλύτερη ενέργεια = μεγαλύτερη ακτίνα

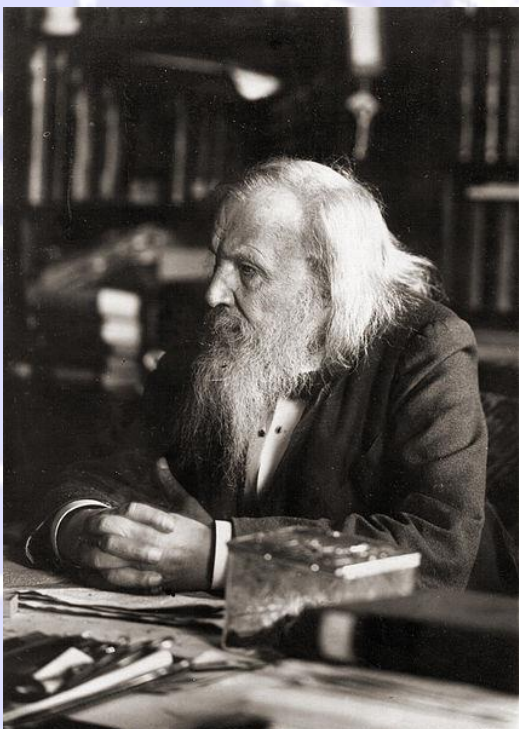
Το αεροδρόμιο της Γενεύης

Ο επιταχυντής LHC έχει περιφέρεια 27 km. Δεν είναι ορατός από ψηλά επειδή βρίσκεται κάτω από το έδαφος σε βάθος μεταξύ 50 – 150 m. Τα μόνα ορατά σημεία είναι τα κτίρια στα 8 σημεία σύγκρουσης των σωματιδίων.



Ο περιοδικός πίνακας του Μεντελέγιεφ

Дмі́трий Іва́нович Менделі́єв



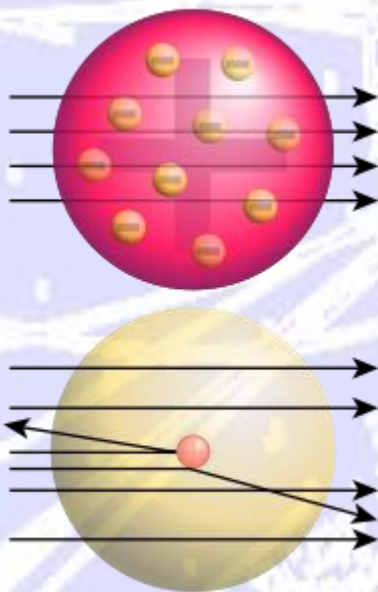
Reihen	Gruppe I. — R ⁰	Gruppe II. — R ⁰	Gruppe III. — R ⁰	Gruppe IV. RH ^a R ⁰	Gruppe V. RH ^a R ⁰	Gruppe VI. RH ^a R ⁰	Gruppe VII. RH R ⁰	Gruppe VIII. — R ⁰
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Su=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

Η παρατήρηση της τάξης – επαναληπτικότητας οδηγεί στη ιδέα ότι τα στοιχεία είναι φτιαγμένα από μικρότερα συστατικά

Πρωτόνια –νετρόνια –ηλεκτρόνια

Το Πείραμα του Rutherford -
ομοιότητα με το μικροσκόπιο

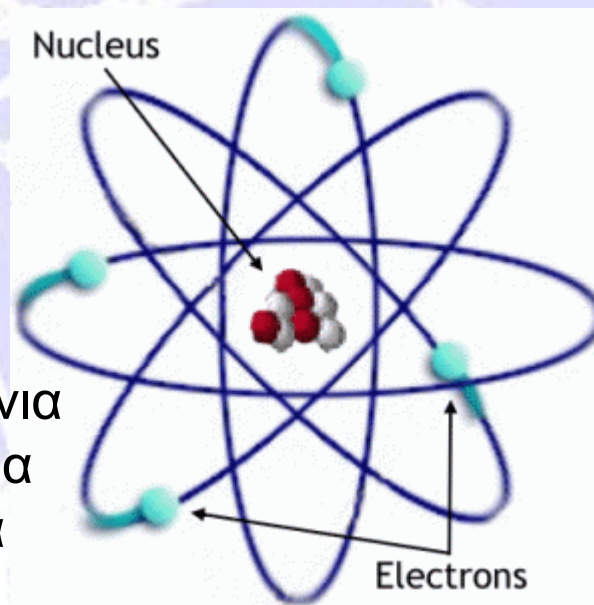


${}^9\text{Be}$

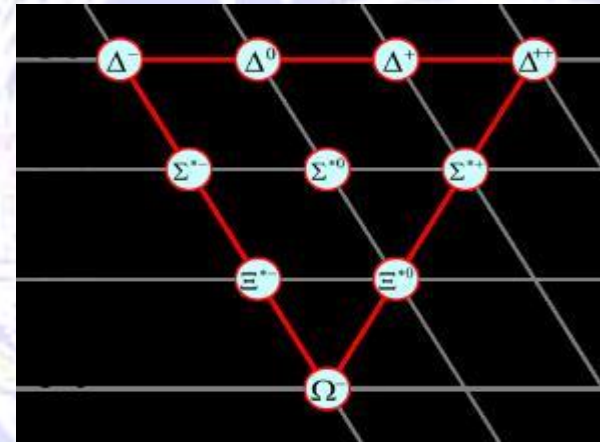
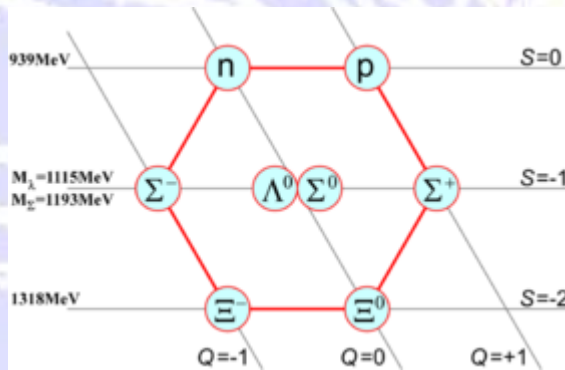
4 ηλεκτρόνια

4 πρωτόνια

5 νετρόνια



Ο ΖΩΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΗΠΟΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ



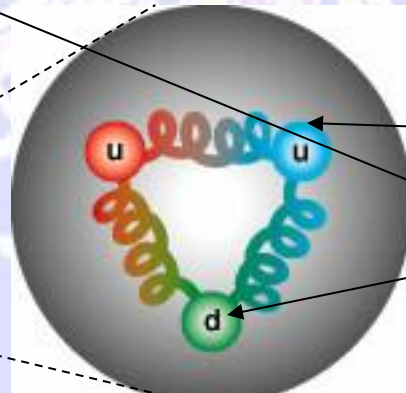
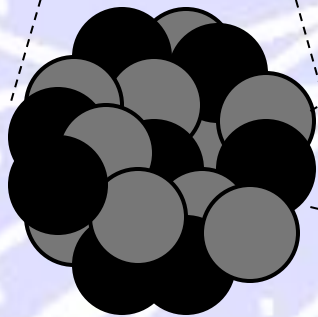
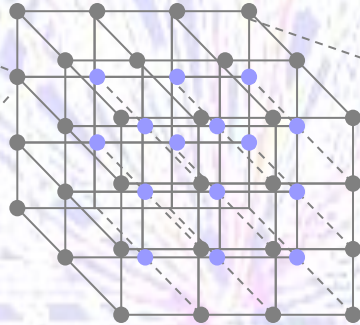
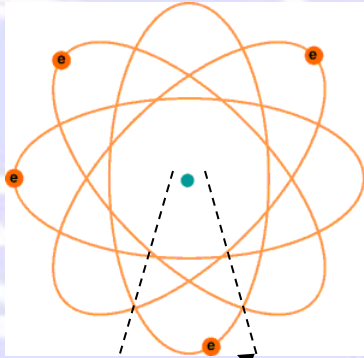
Η παρατήρηση της τάξης – επαναληπτικότητας οδηγεί στη ιδέα ότι και τα σωματίδια αυτά είναι φτιαγμένα από άλλα μικρότερα σωματίδια;

Διαστάσεις της Σωματιδιακής Φυσικής

Δομή της Ύλης

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

$\sim 1 \text{ m}$



Πρωτόνιο

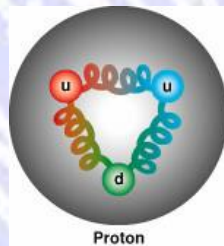
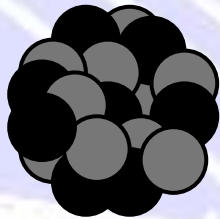
	Generation \rightarrow		
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$
Leptons	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$

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

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

Ισχυρές

Μεταδίδονται με τα γκλουόνια



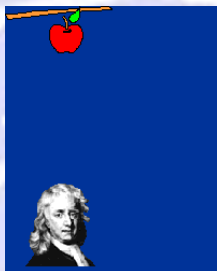
Proton

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

ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ	ΛΕΠΤΟΝΙΑ	ΚΟΥΑΡΚ
<p>ΟΛΗ Η ΣΥΝΘΗΣΗ ΤΗΣ ΔΗΜΗΚΗΣ ΣΕ ΑΥΤΗ ΤΗΝ ΟΜΑΔΑ</p> <p>ΤΑ ΣΩΜΑΤΙΑΔΙΑ ΑΥΤΑ ΥΠΗΡΧΑΝ ΣΤΙΣ ΠΡΩΤΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ ΜΕΤΑ ΤΟ BIG BANG</p>	<p>ηλεκτρόνιο αποτελεί για την ηλεκτρισμό που τις αποτελεί συνολικά φορτίο -1</p> <p>μυόνιο πιο βαρύ από το ηλεκτρόνιο</p> <p>ταυ ακόμα πιο βαρύ</p>	<p>άνω (up) Το πρωτόνιο αποτελείται από δύο ανώ και ένα κάτω quark.</p> <p>κάτω (down) Το νετρόνιο αποτελείται από ένα ανώ και δύο κάτω quark.</p> <p>παράξενο (strange) πιο βαρύ από τα άλλα</p> <p>χαμηλό (bottom) ακόμα πιο βαρύ</p>
	<p>νετρίνο ηλεκτρονίου Ακατάβλητο ακόμα και για την ελαφρώς βαρύτερη μ μύση</p> <p>νετρίνο μυόνιου δημιουργείται μαζί με το μύονιο σε υψηλές ταχύτητες</p> <p>νετρίνο ταυ παρατηρήθηκε το 2000</p>	<p>χαρατωμένο (charm) Σχημάτισε από το άνω</p> <p>ψηλό (top) το βαρύτερο από όλα τα quarks (πιο φανερό quark του πρωτονίου)</p>
	<p>ΑΝΤΙΨΗΦΙΑ Για κάθε σωματίδιο υπάρχει και το αντισωματίδιό του</p>	

Βαρυτικές

Μεταδίδονται με τα γκραβιτόνια



Αναγκάζουν τα αντικείμενα με μάζα να πέφτουν
 Διατηρούν τη γη και τους πλανήτες γύρω από τον ήλιο

Οι Δυνάμεις της Φύσης

Ασθενείς

Μεταδίδονται με τα W & Z⁰



ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ			
ΕΙΔΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ (ΚΒΑΝΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ)	ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΙΣΧΥΡΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-1	8 ΓΚΛΟΥΟΝΙΑ (ΑΜΑΖΑ)	ΑΤΟΜΙΚΟΥΣ ΠΥΡΗΝΕΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	$\sim 10^{-3}$	ΦΩΤΟΝΙΟ (ΑΜΑΖΟ)	ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΤΙΒΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ
ΑΣΘΕΝΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	$\sim 10^{-5}$	ΜΠΟΖΟΝΙΑ Z, W ⁺ , W ⁻ (ΒΑΡΙΑ)	ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΟ ΔΙΑΣΠΑΣΗ Β
ΒΑΡΥΤΗΤΑ	$\sim 10^{-38}$	ΓΚΡΑΒΙΤΟΝΙΑ (;)	ΟΥΡΑΝΙΑ ΣΩΜΑΤΑ

ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ Ν. ΤΡΑΚΑΣ

Η ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΕΙΝΑΙ ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ

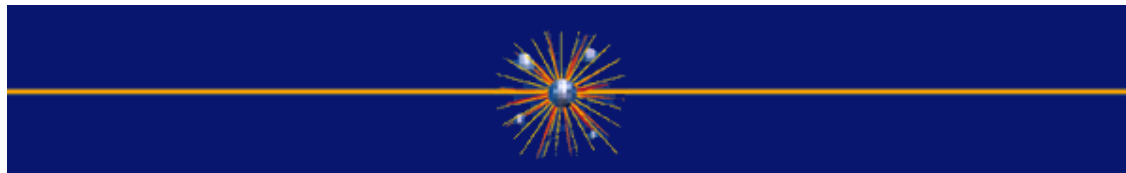
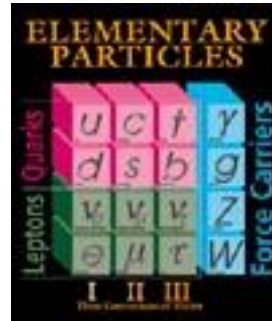
Συγκρατούν τα ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα
 Ευθύνονται για τις χημικές αντιδράσεις
 Ηλεκτρισμός, Φως, Ακτινοβολία ...

Η ιδέα είναι πολύ απλή...

Παίρνοντας τα μικρότερα σωματίδια και δίνοντας τους την υψηλότερη δυνατή ενέργεια.



Από αυτή την απλή ιδέα έχει προέλθει η Φυσική Υψηλών Ενεργειών, η τεχνολογία των επιταχυντικών συστημάτων, και η επανάσταση της γνώσης μας πάνω στην ύλη, χώρο και χρόνο.



Γιατί Χρειαζόμαστε τους Επιταχυντές;

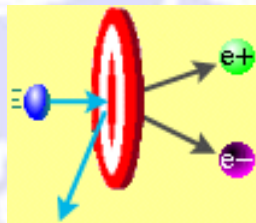
Οι επιταχυντές επιλύουν δυο προβλήματα στους Φυσικούς:

- ✓ Καταρχήν, αφού όλα τα σωματίδια συμπεριφέρονται σαν κύματα, οι φυσικοί χρησιμοποιούν επιταχυντές για να αυξάνουν την ορμή των σωματιδίων, επομένως μικραίνει το μήκος κύματος αρκετά ώστε να μπορούμε να δούμε μέσα στο άτομο.
- ✓ Κατά δεύτερον, η ενέργεια των γρήγορων σωματιδίων χρησιμοποιείται για τη δημιουργία βαριών σωματιδίων τα οποία θέλουμε να μελετήσουμε.



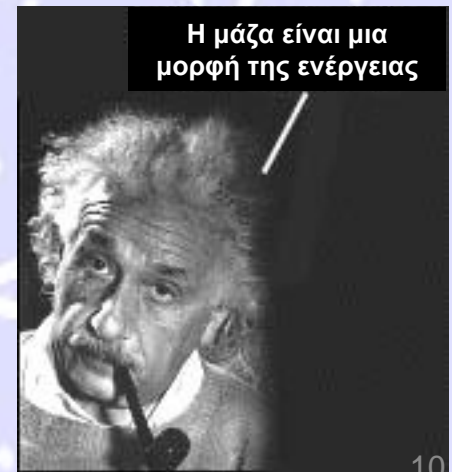
protons

+



anti-protons

$$E=mc^2 !$$



Ανασκόπηση- Τα Βασικά

Βασικά, ένας επιταχυντής επιταχύνει τα σωματίδια σε μεγάλες ταχύτητες με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών πεδίων όπου κτυπούν ένα στόχο ή άλλα σωματίδια. Γύρω από το σύγκρουσης τοποθετούμε ανιχνευτικά συστήματα για να μελετήσουμε τα αποτελέσματα αυτής της αντίδρασης ή γεγονότος.

Οι Επιταχυντές στις Υψηλές Ενέργειες χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες:

• Σταθερού στόχου: Τα σωματίδια κτυπούν ένα ακίνητο στόχο



Ένα φορτισμένο σωματίδιο(e ή p) επιταχύνεται από ένα ηλεκτρικό πεδίο και κτυπά ένα στόχο, που μπορεί να είναι στερεός, υγρός, ή αέριο. Ένας ανιχνευτής καθορίζει Το φορτίο, ορμή, μάζα, κλπ. Των παραγόμενων σωματιδίων.

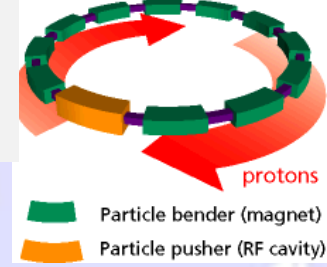
• Συγκρουόμενες δέσμες : δυο δέσμες σωματιδίων διαπερνούν η μια την άλλη



Το πλεονέκτημα: και οι δυο δέσμες έχουν μεγάλη ενέργεια, επομένως θα μπορέσουμε να παράγουμε βαριά σωματίδια από ότι παράγουμε σε πειράματα σταθερού στόχου με την ίδια ενέργεια. Αυτά τα σωματίδια έχουν μεγάλες ορμές (μικρά μήκη κύματος), καλύτερα «μικροσκοπία».


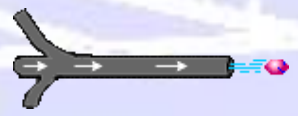
Τύποι Επιταχυντών

Επιταχυντής –
ένα μαγνητικό δαχτυλίδι
Επιταχύνουμε τα σωματίδια με μια ηλεκτρική
‘κλωτσιά’ σε κάθε γύρο

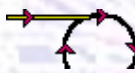


Οι Επιταχυντές ταξινομούνται βασικά σε δυο κατηγορίες:


Γραμμικοί Επιταχυντές (Linacs): Σωματίδια εκτοξεύονται όπως σ' ένα όπλο. Χρησιμοποιούνται στα πειράματα σταθερού στόχου, ως το πρώτο στάδιο επιτάχυνσης σ' ένα κυκλικό επιταχυντή, ή σαν γραμμικοί επιταχυντές.



- Σταθερός στόχος


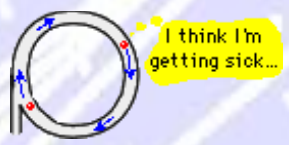


- Ψεκαστήρας σε κυκλικό επιταχυντή




- Γραμμικός επιταχυντής

Κυκλικό Επιταχυντές (Synchrotron): Χρησιμοποιούνται σε πειράματα συγκρουόμενων δεσμών ή αποσπώνται από το δακτύλιο για τα πειράματα σταθερού στόχου. Μεγάλοι μαγνήτες καθοδηγούν το σωματίδιο ώστε να παραμένει σε κυκλική τροχιά.



- Συγκρουόμενες δέσμες



- Αποσπώνται για σταθερό στόχο

Ενεργός διατομή και Φωτεινότητα

- “θεμελιώδης σχέση στις υψηλές ενέργειες”

$$N = L\sigma\epsilon$$

Απόδοση

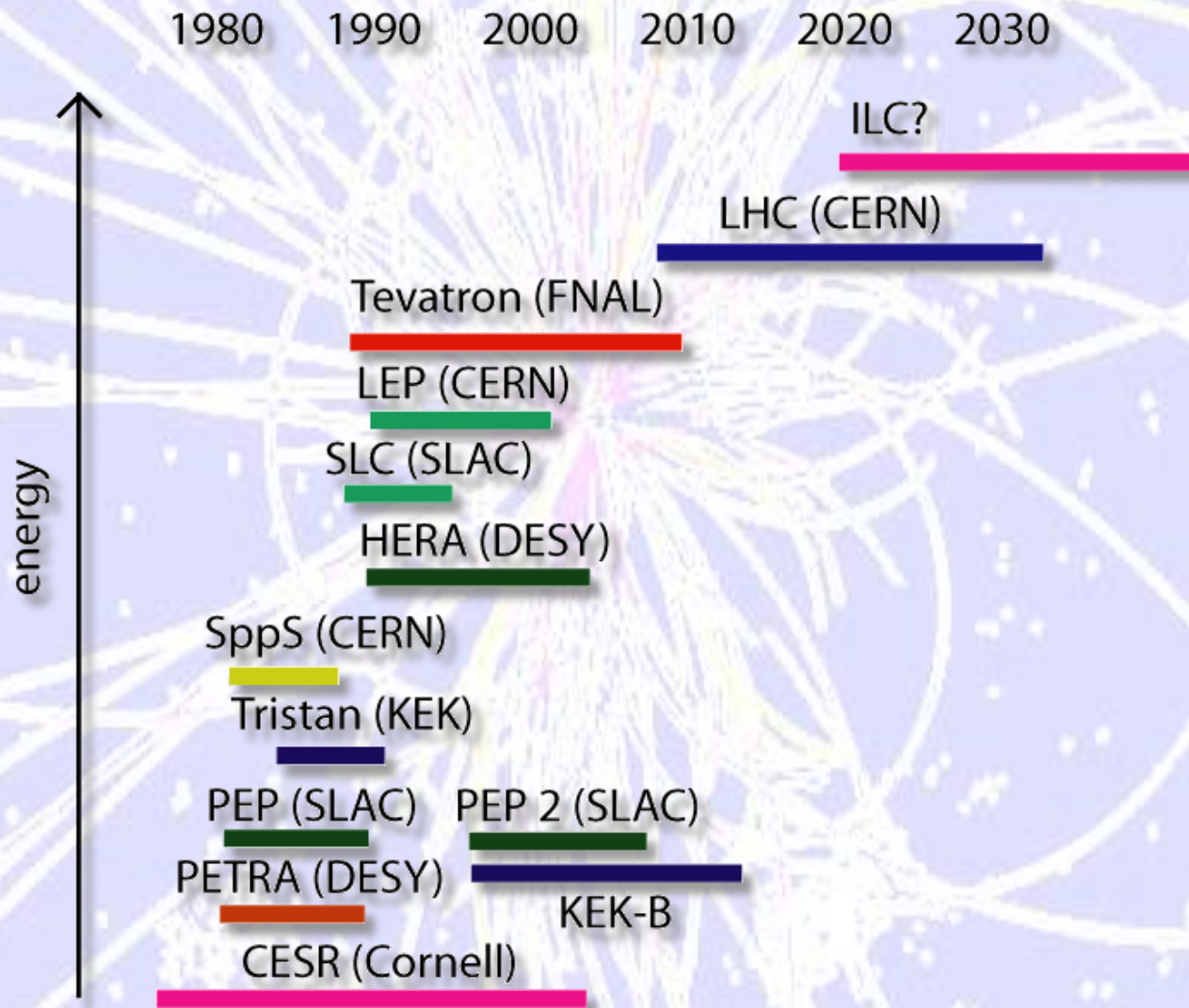
Αριθμός παρατηρημένων γεγονότων

Ολική φωτεινότητα (m^{-2})

Ενεργός διατομή (m^2)

- **φωτεινότητα: αριθμός ανά μονάδα σκεδαζόμενης επιφάνειας ανά μονάδα χρόνου**

Μεγάλοι Επιταχυντές



Επιταχυντές Φορτισμένων Σωματιδίων

Fermilab - ΗΠΑ

CERN - Ευρώπη



Τεχνολογίες “spinoff”

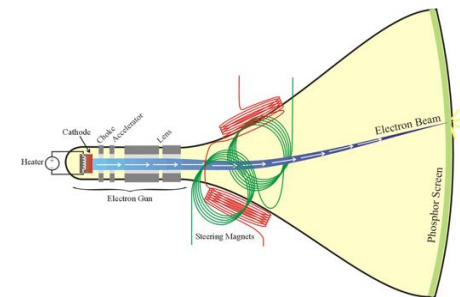
- World Wide Web
- Ιατρική απεικόνιση (MRI, CAT, PET)
- Μεγάλης αποδοτικότητας υπεραγώγιμοι μαγνήτες
- Συστήματα υψηλού κενού
- Κρυογενικά συστήματα
- Υπολογιστές μεγάλων απαιτήσεων
- Γρήγορα ηλεκτρονικά

Μια Μικρή Παρατήρηση

Στο τέλος του 19ου αιώνα η βασική έρευνα είχε μόλις ανακαλύψει το ηλεκτρόνιο. Τώρα καθώς βαδίζουμε στον 21ο αιώνα, δεν μπορεί κανείς να διανοηθεί τη ζωή χωρίς τα ηλεκτρόνια. Αυτά φέρνουν τον ηλεκτρισμό στα σπίτια μας, μεταφέρουν τη φωνή μας μέσα από τα τηλεφωνικά σύρματα και σχηματίζουν τις εικόνες που βλέπουμε στις οθόνες των τηλεοράσεων.

Ποιος ξέρει λοιπόν τι οφέλη θα φέρει η σημερινή βασική έρευνα στο ανθρώπινο γένος στα επόμενα 100 χρόνια.....

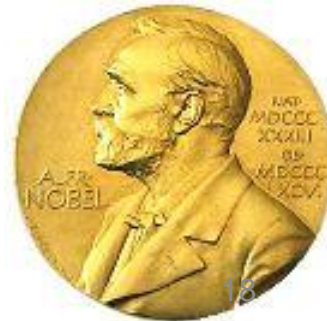
J.J. Thomson



discovered electron in 1897

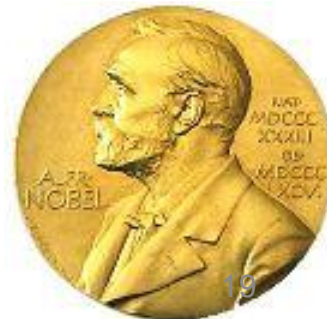
Ιστορία Φυσική Υψηλών Ενεργειών (ΦΥΕ) - (1)

- ~50% Nobel σχετικά με ΦΥΕ
- **1921** A. Einstein - φωτοηλεκτρικό φαινόμενο μαζί με M. Planck (nobel 1918) & Compton (nobel 1927)
- **1922** Neils Bohr - δομή του ατόμου, κβάντωση ενεργειακών επιπέδων μαζί με τους Franck & Hertz (nobel 1925) πείραμα
- **1929** Louis-Victor de Broglie - κυματική ιδιότητα των ηλεκτρονίων. Πείραμα Davisson & Thomson (nobel 1937)
- **1932** Werner Heisenberg **1933** Erwin Schroedinger & Paul Dirac : Κβαντική Θεωρία
- **1936** Carl Anderson - ανακάλυψη ποζιτρονίου. Προβλέφθηκε από την εξίσωση Dirac. Ανακάλυψη αντιπρωτονίου Segrè & Chamberlain (nobel 1959)
- **1935** James Chadwick - ανακάλυψη νετρονίου
- **1939** Ernest Lawrence - Κύκλοτρο



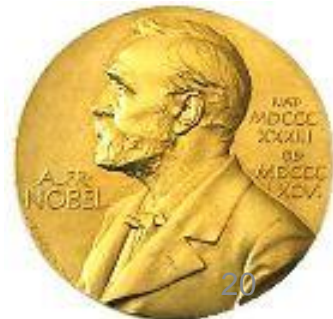
Ιστορία ΦΥΕ - (2)

- **1945** Wolfgang Pauli - απαγορευτική αρχή. Ο Pauli προέβλεψε και την ύπαρξη του νετρίνο.
- **1948** P.M.S. Blackett ανάπτυξη του θαλάμου νεφών. Επίσης Donald Glaser ανάπτυξη θαλάμου φυσαλίδων (nobel 1960) & Georges Charpak ανάπτυξη των πολυσυρματικών αναλογικών θαλάμων (nobel 1992)
- **1949** Hideki Yukawa - μεσόνια. Το π-μεσόνιο του Yukawa ανακαλύφθηκε από τον Powell (nobel 1950)
- **1955** Willis Lamb & Polykarp Kusch - Μέτρηση της λεπτής υφής του υδρογόνου και της μαγνητικής ροπής του ηλεκτρονίου
- **1957** Chen Ning Yang & Tsung-Dao Lee - παραβίαση της parity σε ασθενείς αλληλεπιδράσεις.
- **1961** Robert Hofstadter - σκέδαση ηλεκτρονίων από πυρήνες. Gell-Mann - έδειξε ότι η υφή των αδρονίων είναι υπεύθυνη για το μεγάλο αριθμό μεσονίων και βαρυονίων (nobel 1969). Δομή του νουκλεονίου από "partons" - Friedman, Kendall & Taylor (nobel 1990).
- **1965** Feynman, Schwinger & Tomonaga - QED



Ιστορία ΦΥΕ - (3)

- **1976** Burton Richter & Sam Ting - ανακάλυψη του J/ψ
- **1980** James Cronin & Val Fitch - Παραβίαση της CP στα K
- **1979** Glashow Salam & Weinberg - Ενοποίηση ηλεκτρασθενών. ανακάλυψη των Z^0 και $W^{+/-}$ - Rubbia & van der Meer (nobel 1984). Ηλεκτρασθενής θεωρία - QFT 't Hooft & Veltman (nobel 1999).
- **1982** Ken Wilson - Critical phenomena. Σύνδεση μεταξύ θεωριών πεδίου.
- **1995** Fred Reines - ανακάλυψη του νετρίνο. Ανίχνευση του μ -νετρίνο - Lederman, Schwartz & Steinberger (nobel 1988). Ταλαντώσεις νετρίνο - Ray Davis & Masatoshi Koshiro (nobel 2002).
- **2004** David Gross, David Politzer & Frank Wilczek - QCD
- **2008** - Ypochiro Nambu, Makoto Kobayashi, Toshihide Maskawa - discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics





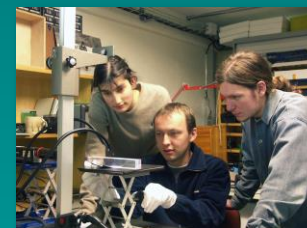
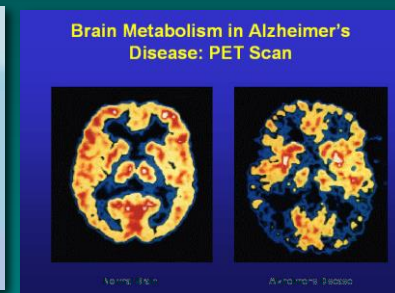
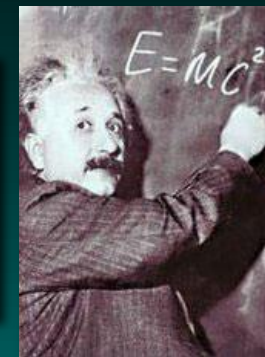
Εισαγωγή

CERN



ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ CERN

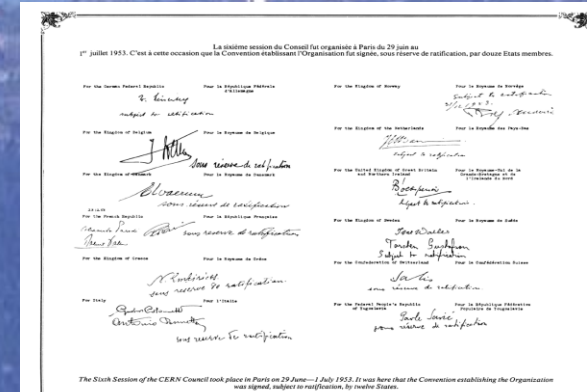
- **Καθορίζει** τα νέα όρια της γνώσης
π.χ. Τα μυστικά του ...τι συναίβει στα πρώτες στιγμές της δημιουργίας του κόσμου?
- **Αναπτύσσει** τις νέες τεχνολογίες για τα επιταχυντές & ανιχνευτές.
Τεχνολογία Η/Υ υπολογιστών - Web και GRID
Ιατρική - διάγνωση & θεραπεία
- **Εκπαιδεύει** τους αυριανούς επιστήμονες & μηχανικούς
- **Ενώνει** τους ανθρώπους από διαφορετικές κουλτούρες



CERN ιδρύθηκε το 1954: 12 Ευρωπαϊκά κράτη

Σήμερα: 20 κράτη-μέλη

- ~ 2300 (προσωπικό)
- ~ 790 other paid personnel
- > 10000 χρήστες
- Προϋπολογισμός (2010) ~1100 MCHF



1954: Η συνθήκη ίδρυσης του οργανισμού – αυθεντικές υπογραφές

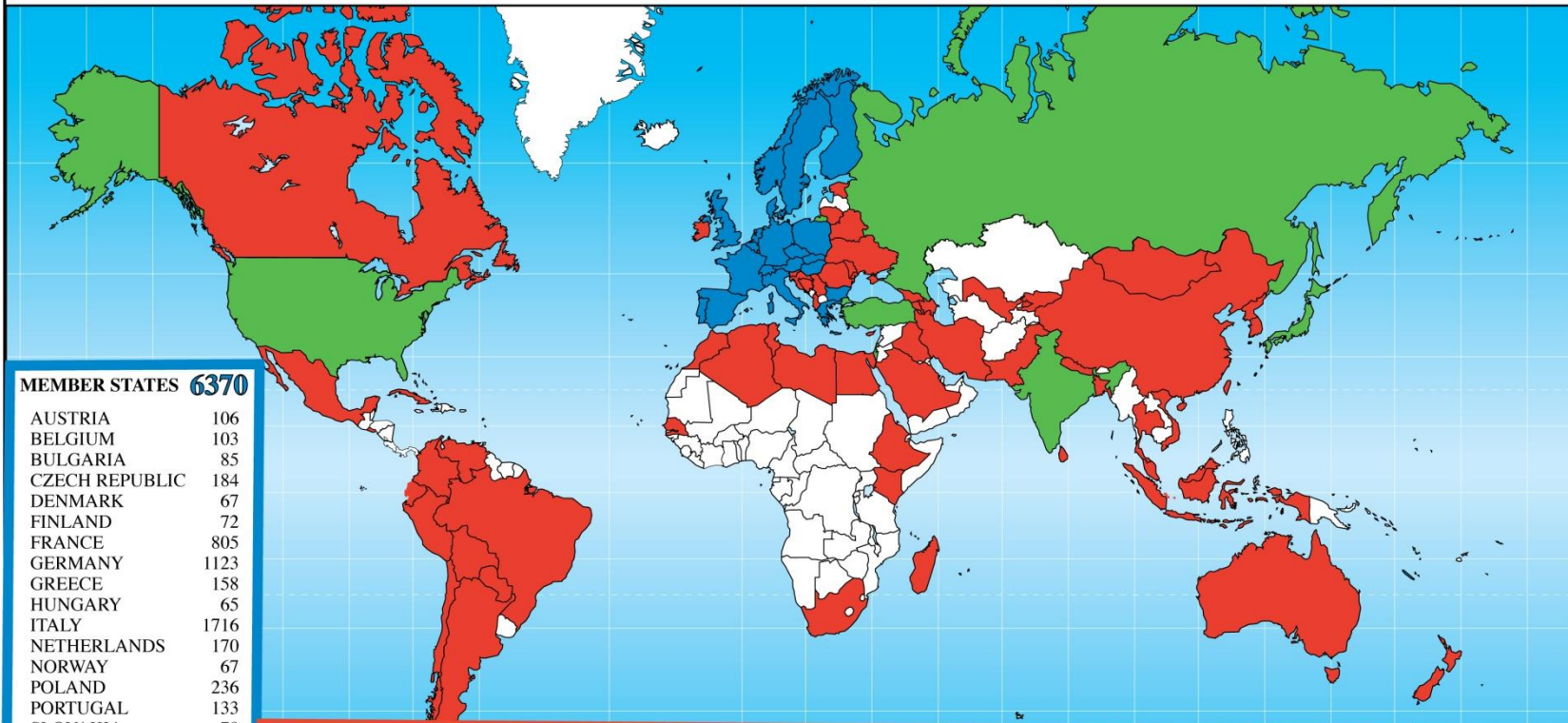
- **20 κράτη-μέλη:** Austria, Belgium, Bulgaria, the Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Italy, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.
- **1 υποψήφια χώρα:** Romania
- **8 Παρατηρητές:** India, Israel, Japan, the Russian Federation, the United States of America, Turkey, the European Commission and UNESCO



CERN σε αριθμούς



Distribution of All CERN Users by Nationality on 20 January 2010



MEMBER STATES 6370

AUSTRIA	106
BELGIUM	103
BULGARIA	85
CZECH REPUBLIC	184
DENMARK	67
FINLAND	72
FRANCE	805
GERMANY	1123
GREECE	158
HUNGARY	65
ITALY	1716
NETHERLANDS	170
NORWAY	67
POLAND	236
PORTUGAL	133
SLOVAKIA	78
SPAIN	330
SWEDEN	67
SWITZERLAND	200
UNITED KINGDOM	605

OBSERVER STATES 2444

INDIA	158
ISRAEL	51
JAPAN	229
RUSSIA	1027
TURKEY	87
USA	892

OTHERS 1205

BRAZIL	79	ESTONIA	9	KYRGYZSTAN	1	MOROCCO	16	SINGAPORE	1
ALBANIA	2	CANADA	136	LEBANON	8	NEPAL	3	SLOVENIA	20
ALGERIA	8	CHILE	3	LITHUANIA	9	NEW ZEALAND	10	SOUTH AFRICA	9
ARGENTINA	11	CHINA	202	LUXEMBOURG	5	PAKISTAN	33	SRI LANKA	6
ARMENIA	24	CHINA (TAIPEI)	41	LIBYA	1	PALESTINE (O.T.)	1	SYRIA	2
AUSTRALIA	20	COLOMBIA	19	MADAGASCAR	3	PARAGUAY	1	THAILAND	1
AZERBAIJAN	5	CROATIA	24	MALAYSIA	7	PERU	2	TUNISIA	5
BANGLADESH	3	CUBA	4	MALTA	3	ROMANIA	101	UKRAINE	40
BELARUS	36	CYPRUS	12	MAURITIUS	1	SAN MARINO	1	UZBEKISTAN	2
BOLIVIA	2	ECUADOR	2	MEXICO	46	SAUDI ARABIA	2	VENEZUELA	5
BOSNIA AND HERZEGOVINA	1	EGYPT	6	MOLDOVA	1	SENEGAL	1	VIET NAM	6
		EL SALVADOR	1	KOREA, D.P.R.	3	SERBIA	34		
				KOREA REP.	85				



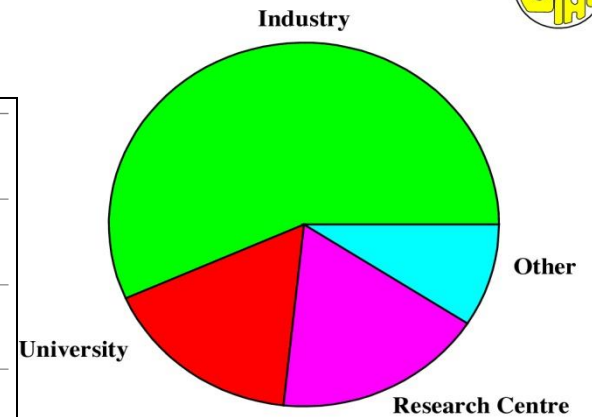
Κατανομή των Επιστημόνων

- και που καταλήγουν;

Survey in March 2009

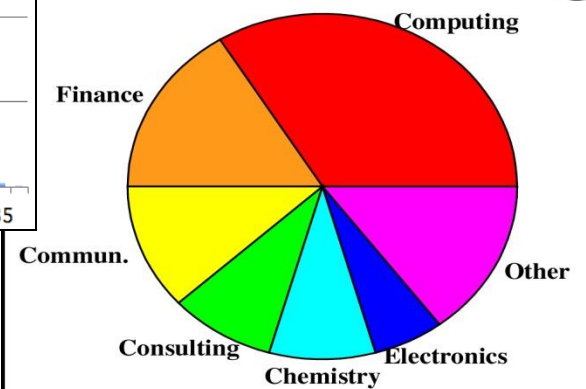
2500 PhD students
in LHC experiments

Status of 1998 (120 PhD's total)



Whereabouts of PhD's

Status of 1998 (68 PhD's total)



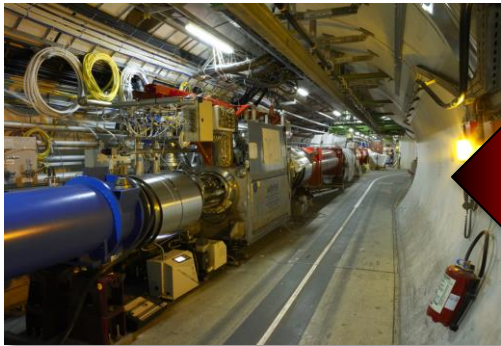
Whereabouts of PhD's in Industry

Δεν παραμένουν όλοι εδώ: που καταλήγουν & τι κάνουν;

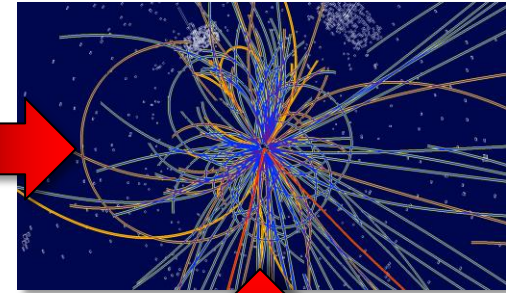
CERN Τεχνολογίες - Καινοτομίες

3 κατηγορίες τεχνολογίας στο CERN

Επιταχυντές
σωματιδίων



Ανίχνευση
σωματιδίων



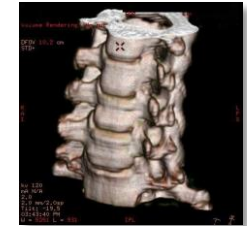
Μεγάλης κλίμακας
Υπολογιστικών Συστημάτων
(Grid)



CERN Τεχνολογίες - Καινοτομίες

Ιατρική Απεικόνιση

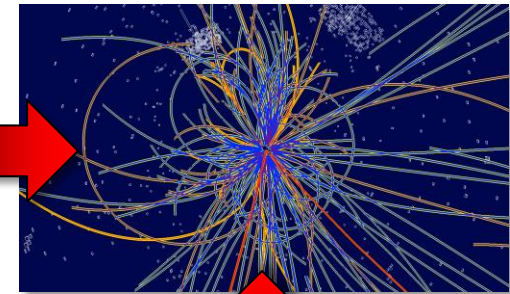
Παράδειγμα: Ιατρικές Εφαρμογές



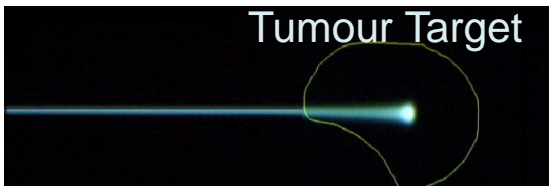
Επιταχυντές
σωματιδίων



Ανίχνευση σωματιδίων

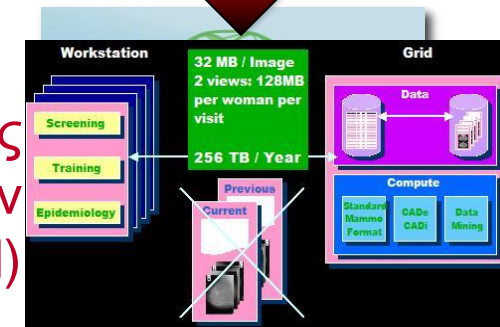


Tumour Target



Δέση φορτισμένων
σωματιδίων χάνουν
ενέργεια στην ύλη

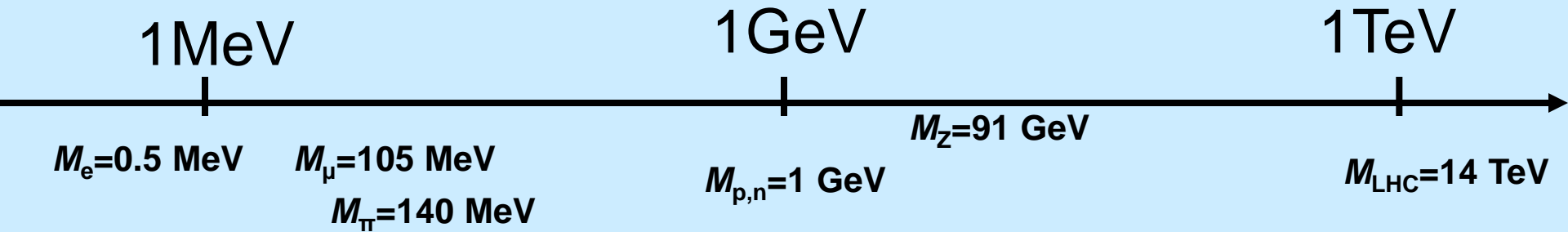
Μεγάλης κλίμακας
Υπολογιστικών Συστημάτων
(Grid)



Σύστημα Grid για ανάλυση & οργάνωση ιατρικών δεδομένων

Αναδρομή στα πρώτα βήματα της Φυσικής Υψηλών Ενέργειών

Μερικές σημαντικές μάζες/μονάδες (2)



Για μήκη συνήθως χρησιμοποιούμε τις μονάδες:

- 1 μm (10^{-6}m), π.χ. χωρική διακριτική ικανότητα ανιχνευτών
- 1 nm (10^{-9}m), μήκος πράσινου φωτός $\lambda=500\text{nm}$
- 1 \AA (10^{-10}m), μέγεθος του ατόμου
- 1 fm (10^{-15}m), μέγεθος πρωτονίου

Για χρόνους, πρακτικές μονάδες είναι:

- 1 μs (10^{-6}s), χρόνος ολίσθησης e σε 5 cm
- 1 ns (10^{-9}s), σχετικιστικό e διανύει 30 cm
- 1 ps (10^{-12}s), μέσος χρόνος ζωής του B μεσονίου

Μονάδες - Ενέργειας

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ fJ}(= 10^{-15} \text{ J}) = 6,241 \times 10^3 \text{ eV}$$

Πχ. Ένα σωματίδιο α έχει φορτίο +2 όταν επιταχυνθεί από μια διαφορά δυναμικού 1000 V αποκτά ενέργεια 2 keV

Για ακτίνες - X ή ακτινοβολία γ έχουμε

$$E = h\nu$$

συχνότητα

Σταθερά του Planck: $6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4,135 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$

$$\lambda = \frac{1,240 \times 10^{-6}}{E}$$

Σε μέτρα

Σε eV

Μερικοί ορισμοί και μονάδες

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

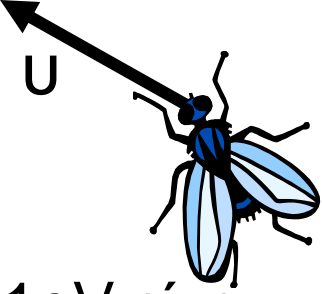
- **ενέργεια E :** μετρούμενη σε eV
- **ορμή p :** μετρούμενη σε eV/c
- **μάζα m_0 :** μετρούμενη σε eV/c²

$$\beta = \frac{v}{c} \quad (0 \leq \beta < 1) \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (1 \leq \gamma < \infty)$$

$$E = m_0 \gamma c^2 \quad p = m_0 \gamma \beta c \quad \beta = \frac{pc}{E}$$

$$K = E - E_0$$

Μερικοί ορισμοί και μονάδες



1eV είναι πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας: $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\text{ J}$

$$m_{\text{fly}} = 1\text{gm} = 5.8 \times 10^{32}\text{ eV}/c^2$$

$$u = 1\text{ m/s} \rightarrow E_{\text{fly}} = 10^{-3}\text{ J} = 6.25 \times 10^{15}\text{ eV}$$



$$E_{\text{LHC}} = 14 \times 10^{12}\text{ eV}$$

Για να αυξήσουμε την ενέργεια στο LHC...

Ολική ενέργεια αντίδρασης:

$$10^{14}\text{ protons} \times 14 \times 10^{12}\text{ eV} = 1 \times 10^8\text{ J}$$

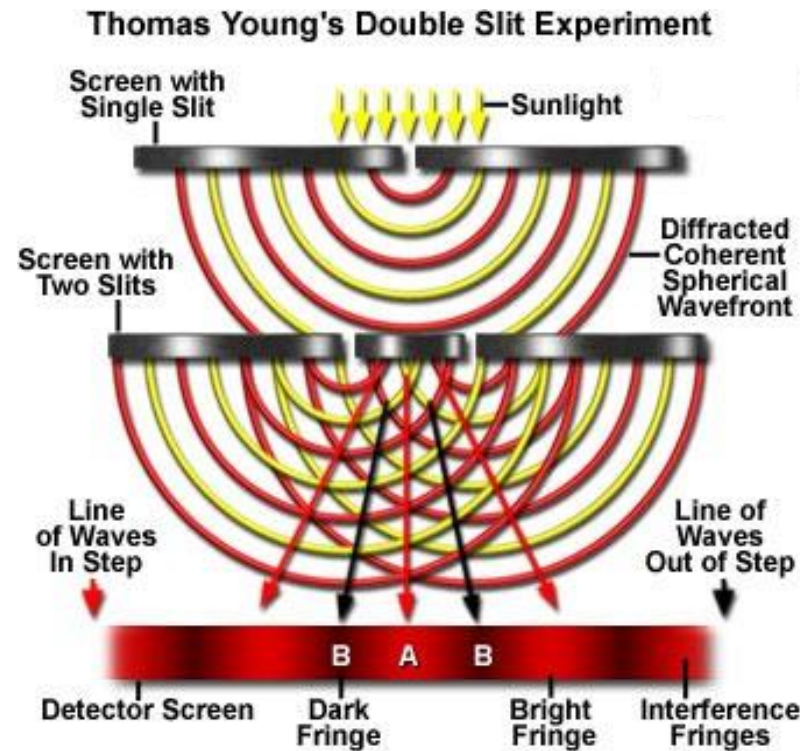
Αυτό αντιστοιχεί σε ένα φορτηγό:

$$m_{\text{truck}} = 100\text{ T and}$$

$$u_{\text{truck}} = 120\text{ Km/h}$$



Το φως παρουσιάζει κυματική υφή!



Thomas Young 1801

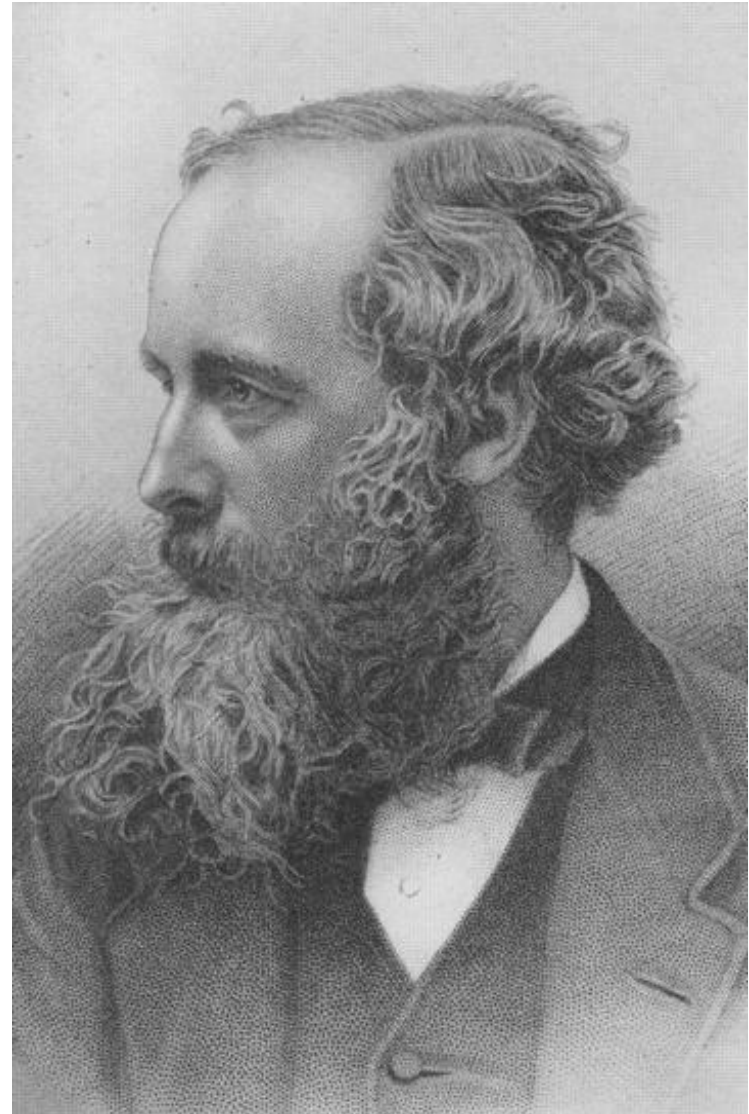
Ηλεκτρομαγνητισμός

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \rho$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \frac{1}{c} \vec{J} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$



Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα

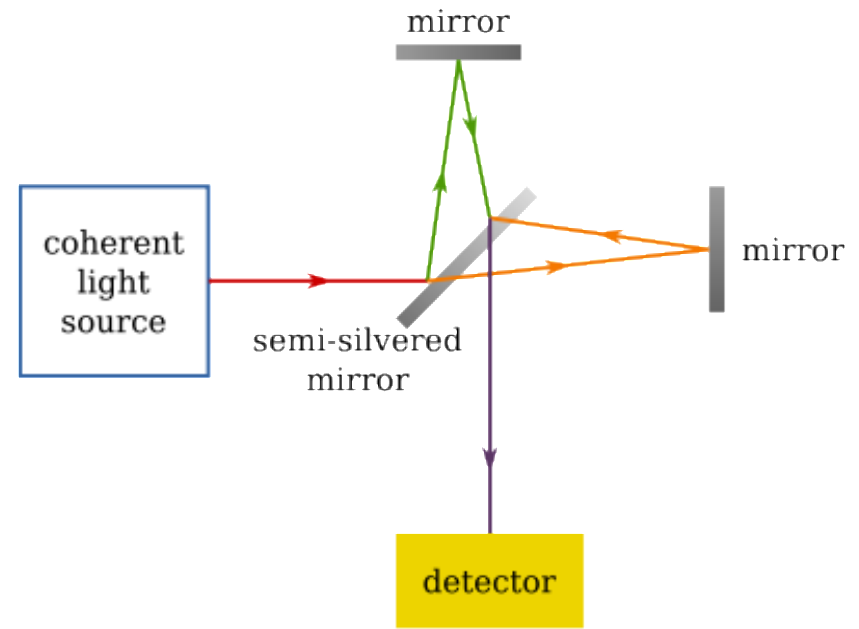
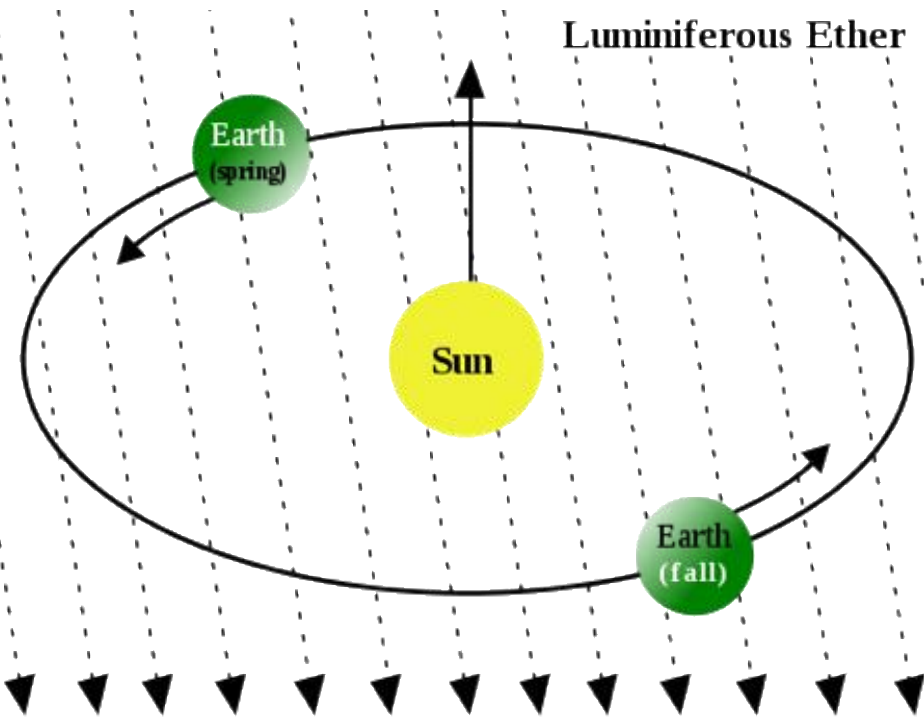

$$E_x = A \cos(kz - \omega t)$$

$$B_y = A \cos(kz - \omega t)$$

$$\omega = ck$$

Ταχύτητα φωτός ανεξάρτητη από την πηγή

Michelson-Morley



speed of light is independent of
velocity through the "ether"

Ταχύτητα φωτός ανεξάρτητη από το σύστημα αναφοράς

Einstein



Αν η ταχύτητα του φωτός είναι σταθερή τότε ο χώρος και χρόνος θα πρέπει να μεταβάλλονται

Μετασχηματισμοί Lorentz

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$x^\mu = (t, x, y, z)$$

$$x'^\mu = \left(\gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right), \gamma (x - vt), y, z \right)$$

θέση & χρόνος δημιουργούν ένα
τετράνυσμα

Τετρανύσματα

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v}$$

$$p^\mu = (E/c, p_x, p_y, p_z)$$

$$p^2 = p^\mu p_\mu = \frac{E^2}{c^2} - p_x^2 - p_y^2 - p_z^2 = m^2 c^2$$

$$E^2 = \vec{p}^2 c^2 + m^2 c^4$$

$$E = \sqrt{\vec{p}^2 c^2 + m^2 c^4}$$

$$\vec{p} = 0 \rightarrow E = m c^2$$

Ενέργεια

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{\vec{p}^2 c^2 + m^2 c^4} \\ &= \sqrt{\gamma^2 m^2 \vec{v}^2 c^2 + m^2 c^4} \\ &= m c \sqrt{\frac{v^2}{1 - v^2/c^2} + c^2} \\ &= m c \sqrt{\frac{v^2 + c^2 - v^2}{1 - v^2/c^2}} \\ &= \gamma m c^2 \end{aligned}$$

Εφαρμογή

a proton with $E = 3.5 \text{ TeV}$

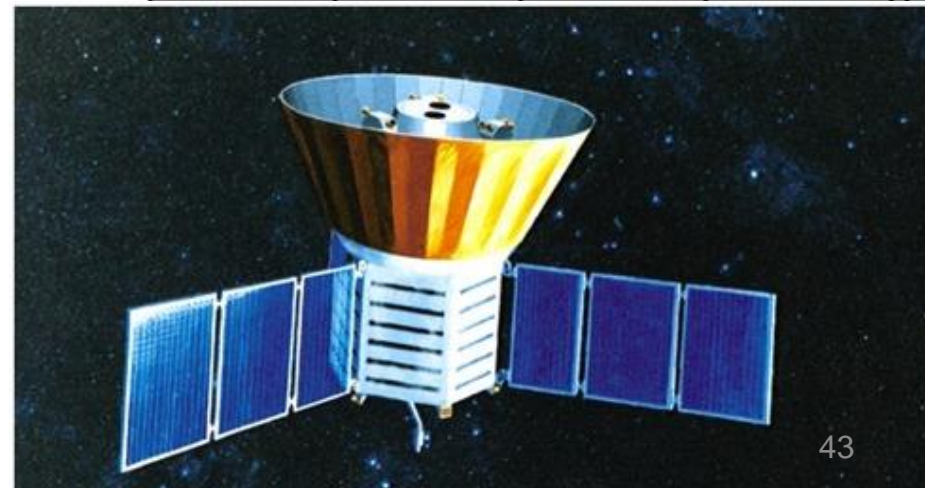
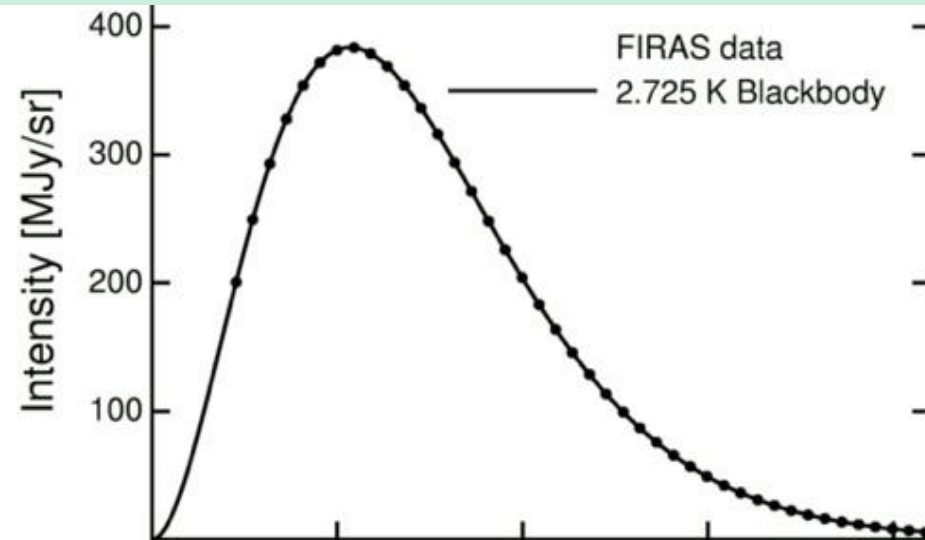
$$m_p = 938 \text{ MeV}/c^2$$

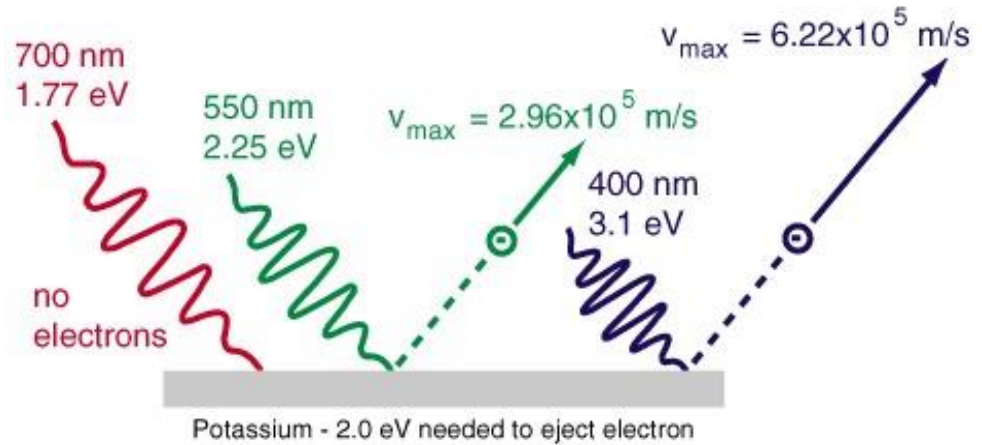
$$\gamma = 3731$$

$$\frac{v}{c} = 0.9999999964$$

Κβαντομηχανική

Ακτινοβολία Μέλανους Σώματος





$$E = hf = \hbar 2\pi f = \hbar \omega$$

Εξήγηση (A. Einstein):

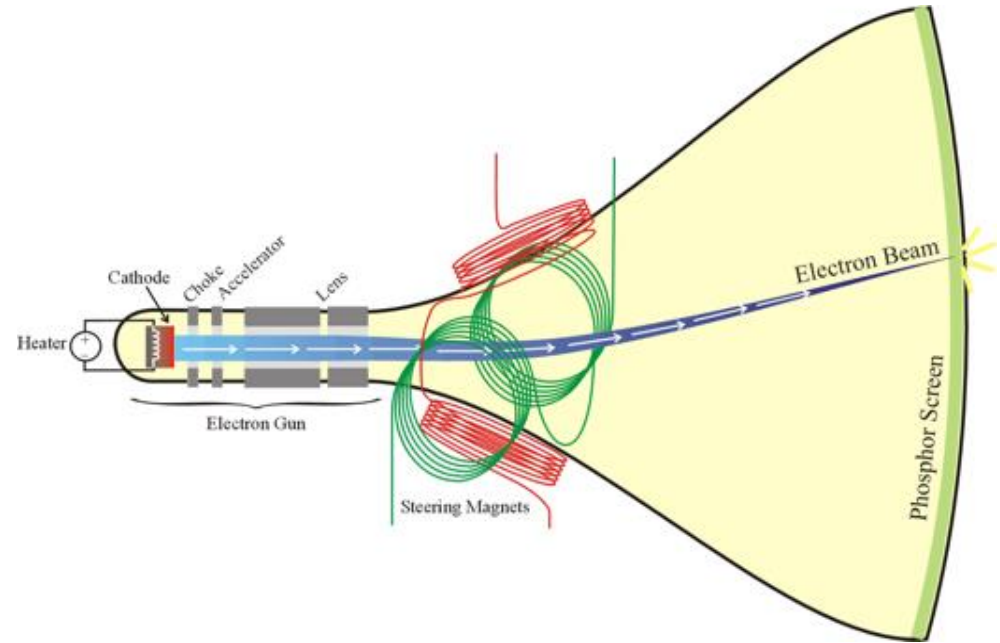
- φως αποτελείται από σωματίδια (φωτόνια)
- Ενέργεια φωτονίων ανάλογη της συχνότητας:

$$E = h \nu$$

(Planck constant $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$)

- Ενέργεια κατωφλίου $E_0 = h\nu_0$: ενέργεια που απαιτείται για τη εξαγωγή ενός ηλεκτρονίου από το άτομο, εξαρτάται από το υλικό της καθόδου.

J.J. Thomson

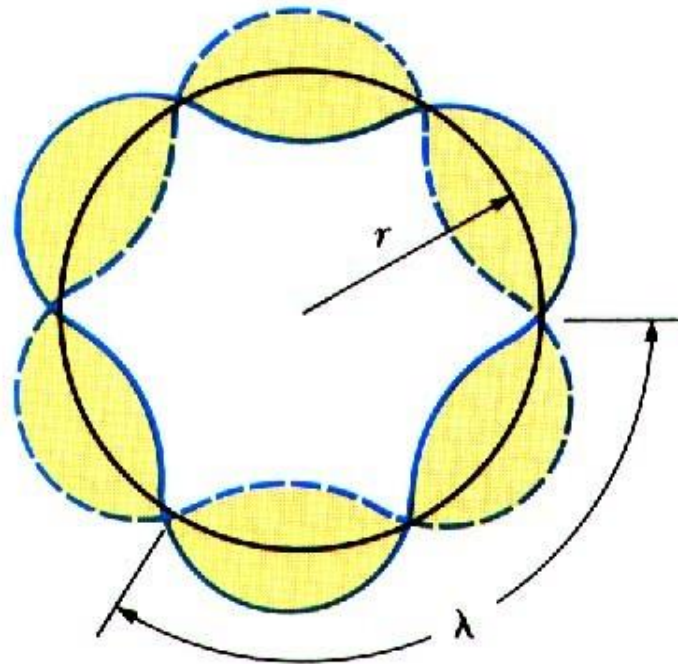


Ανακάλυψη e^- το 1897

Measurement of the electron mass: $m_e \sim M_H/1836$

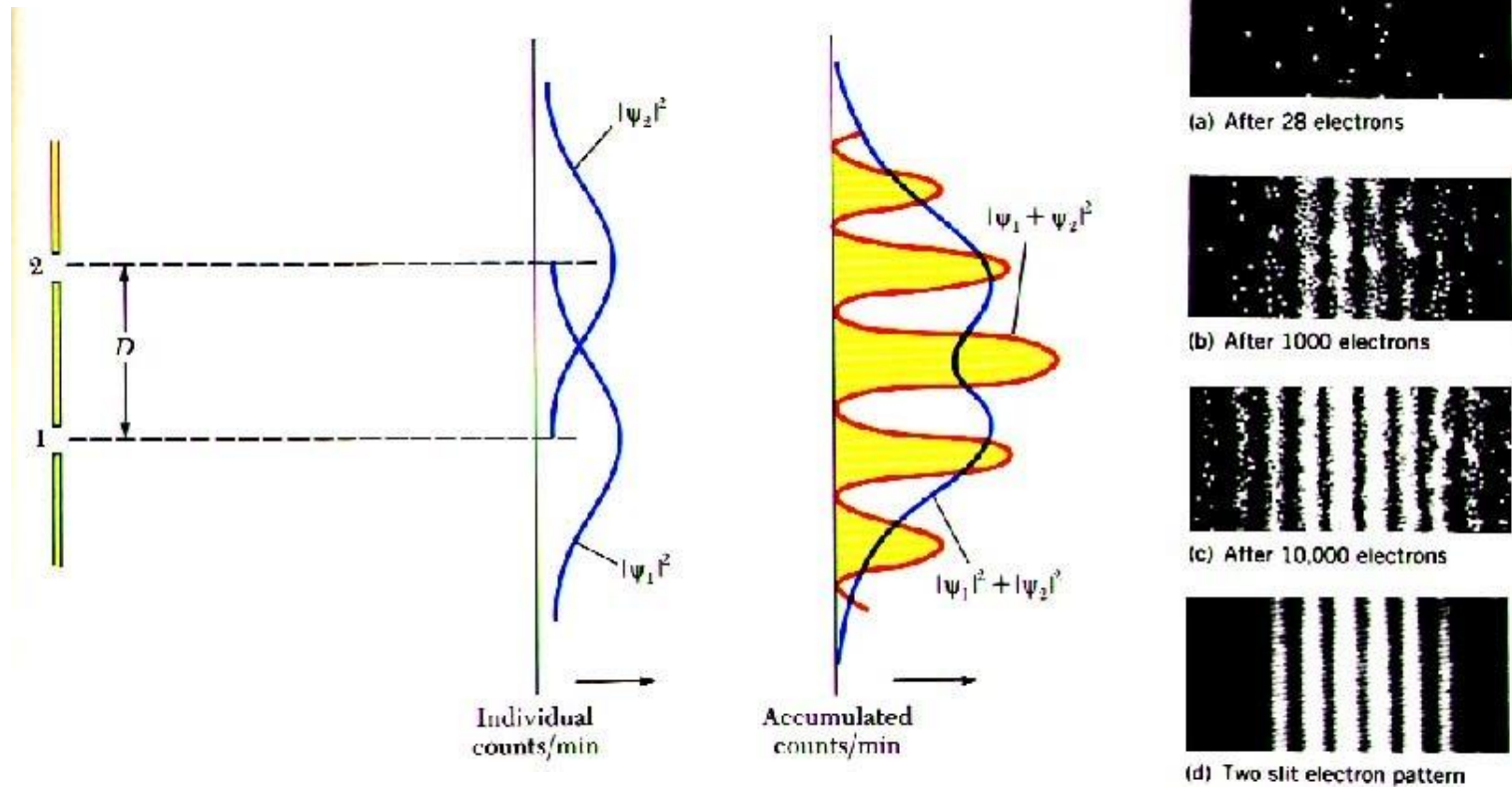
“Could anything at first sight seem more impractical than a body which is so small that its mass is an insignificant fraction of the mass of an atom of hydrogen?” (J.J. Thomson)

Bohr and de Broglie



e^- συμπεριφέρεται ως σωματίδιο

Πείραμα των δυο οπών

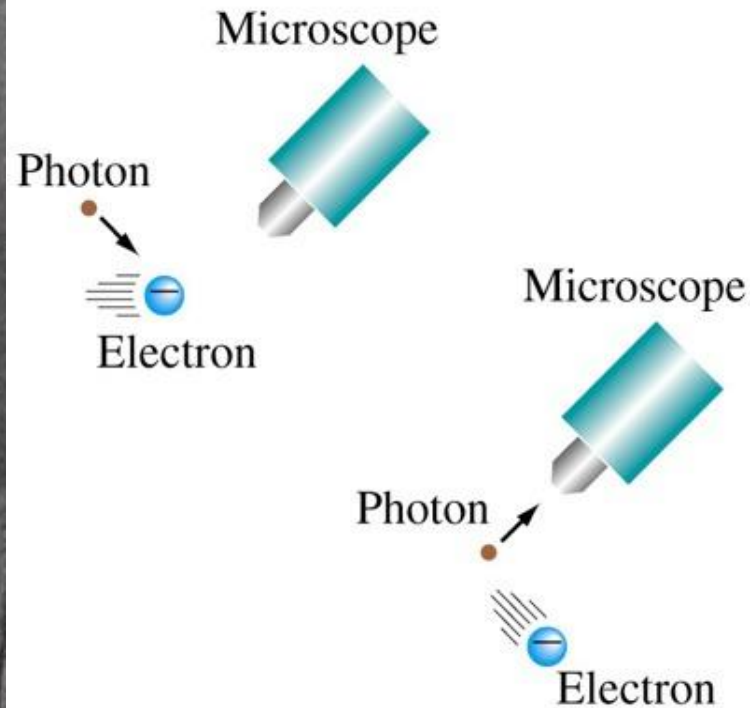


probability = | probability amplitude |²
probability amplitude acts like a wave

Αρχή της αβεβαιότητας



Heisenberg



$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Αντισωματίδια

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της σχετικότητας στην κβαντομηχανική είναι η πρόβλεψη των αντισωματιδίων.

κλασικά: $E=p^2/2m$ που οδηγεί στην εξίσωση του Schrödinger

γραμμικό \rightarrow
$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi$$

Σχετικιστικά: $E^2=p^2c^2+m^2c^4$ που οδηγεί στην εξίσωση Klein-Gordon

2ου βαθμού \rightarrow
$$-\hbar^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = -\frac{\hbar^2}{2m} c^2 \nabla^2 \Psi + m^2 c^2 \Psi$$

οδηγεί σε θετικές και αρνητικές ενέργειες.

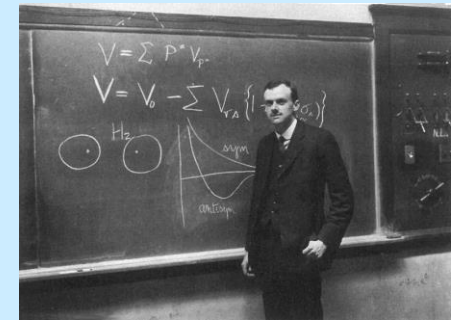
αρνητικές ενέργειες αντισωματίδια με θετική ενέργεια

όλα τα σωματίδια έχουν αντισωματίδια και συνήθως τα σημειώνουμε με μια παύλα πάνω από το σωματίδιο. πχ

$$K^{\circ}, \bar{K}^{\circ}$$

– όμως e^- και e^+ , μ^- και μ^+

– μερικά σωματίδια είναι τα αντισωματίδια του εαυτού τους πχ γ , π^0



Κλασσικά

- διατηρείται ΠΑΝΤΑ η ορμή, \vec{p}
- διατηρείται ΠΑΝΤΑ η μάζα
- Μερικές φορές διατηρείται η κινητική ενέργεια
- διατηρείται ΠΑΝΤΑ η συνολική ενέργεια

– Σχετικιστικά

- διατηρείται ΠΑΝΤΑ η ορμή, \vec{p}
- Μερικές φορές διατηρείται η μάζα
- Μερικές φορές διατηρείται η κινητική ενέργεια
- διατηρείται ΠΑΝΤΑ η συνολική ενέργεια

ΔΙΑΤΗΡΕΙΤΑΙ Η 4-ΟΡΜΗ

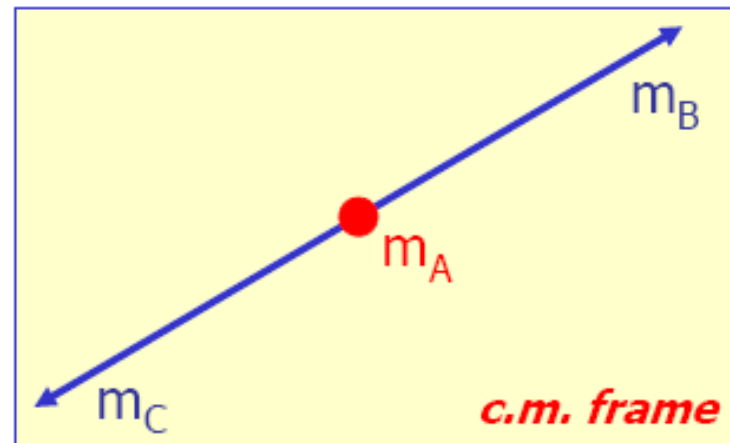
Διάσπαση σωματιδίων

- πριν:

$$p_A = (m_A, \vec{0})$$

- μετά:

$$p_B = (E_B, \vec{p}), \quad p_C = (E_C, -\vec{p})$$



$$E_C = \sqrt{m_C^2 + p^2} = \sqrt{m_C^2 + E_B^2 - m_B^2}$$

$$m_A = E_B + \sqrt{m_C^2 + E_B^2 - m_B^2} \Leftrightarrow$$

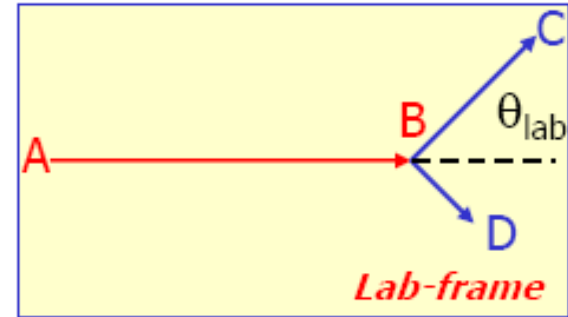
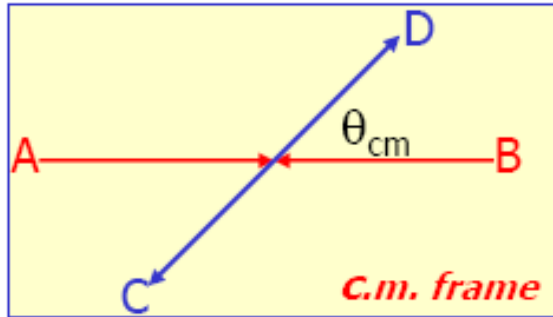
$$(m_A - E_B)^2 = m_C^2 + E_B^2 - m_B^2 \Leftrightarrow$$

$$m_A^2 - 2m_A E_B = m_C^2 - m_B^2 \Leftrightarrow$$

$$E_B = \frac{m_A^2 + m_B^2 - m_C^2}{2m_A}$$

Μεταβλητές Mandelstam

- Η αντίδραση $A+B \rightarrow C+D$ χαρακτηρίζεται από 2 μεταβλητές



στο CM E_A^{CM} & θ_{CM}

στο lab E_A^{lab} & θ_{lab}

$$s = (\vec{p}_A + \vec{p}_B)^2 = (\vec{p}_C + \vec{p}_D)^2 = m_A^2 + m_B^2 + 2E_A E_B - 2\vec{p}_A \cdot \vec{p}_B$$

$$t = (\vec{p}_A - \vec{p}_C)^2 = (\vec{p}_B - \vec{p}_D)^2 = m_A^2 + m_C^2 - 2E_A E_C + 2\vec{p}_A \cdot \vec{p}_C$$

$$u = (\vec{p}_A - \vec{p}_D)^2 = (\vec{p}_B - \vec{p}_C)^2 = m_A^2 + m_D^2 - 2E_A E_D + 2\vec{p}_A \cdot \vec{p}_D$$

- μεταβλητές που παραμένουν αμετάβλητες σε μετασχ. Lorentz

Φερμιόνια & Μποζόνια

Φερμιόνια

Στατιστική Fermi-Dirac
spin ημιακέραιο $\frac{1}{2}\hbar, \frac{3}{2}\hbar, \frac{5}{2}\hbar \dots$

δύο ταυτόσημα φερμιόνια, 1 & 2
έχουν αντισυμμετρική
κυματοσυνάρτηση στην
εναλλαγή

$$\Psi(1, 2) = -\Psi(2, 1)$$

Μποζόνια

Στατιστική Bose-Einstein
spin ακέραιο $0\hbar, 1\hbar, 2\hbar \dots$

δύο ταυτόσημα μποζόνια, 1 & 2
έχουν συμμετρική κυματοσυ-
νάρτηση στην εναλλαγή

$$\Psi(1, 2) = \Psi(2, 1)$$

Θεμελιώδη Φερμιόνια

Fundamental Fermions

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	C charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	S strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

The word "quark" comes from Joyce's *Finnegan's Wake*: "Three quarks for Muster Mark". When Gell-Mann proposed quarks, only the u, d, and s quarks were thought to exist, and even then only as mathematical constructs.

10

Καθιερωμένο Πρότυπο

Το Καθιερωμένο Πρότυπο περιγράφει πώς η ύλη δομείται από μια ομάδα στοιχειωδών σωματιδίων. Περιγράφει επίσης πώς μια άλλη ομάδα σωματιδίων, τα αποκαλούμενα φορείς δυνάμεων, επηρεάζουν τα σωματίδια της πρώτης ομάδας μέσω διαφόρων αλληλεπιδράσεων και με αυτό τον τρόπο δημιουργούν όλες τις δομές που παρατηρούμε στο μικρόκοσμο.

		THREE GENERATIONS OF MATTER			CHARGE:	
		I	II	III		
MATTER CONSTITUENTS:	FERMIONS					
	QUARKS	2.75 UP	1300 CHARM	178000 TOP	$-\frac{2}{3}$	91188 Z^0
		6 DOWN	1110 STRANGE	4500 BOTTOM	$-\frac{1}{3}$	80430 W^+/W^-
		0.511 ELECTRON	105.7 MUON	1777 TAU	± 1	$< 10^{-23}$ PHOTON
	LEPTONS	$< 3 \cdot 10^{-6}$ NEUTRINO e	< 0.19 NEUTRINO μ	< 18.2 NEUTRINO τ	± 1	theory: 0 GLUON
					0	

Καθιερωμένο Πρότυπο (ΚΠ)

Αν και το ονομάζουμε μοντέλο, είναι μια υποψήφια θεωρία των στοιχειωδών σωματιδίων και των αλληλεπιδράσεών τους.

Χτίστηκε «πετραδάκι-πετραδάκι» τα προηγούμενα 50-60 χρόνια βασιζόμενο στα πειραματικά δεδομένα διαφόρων πειραμάτων και σε μερικές καινοτόμες θεωρητικές ιδέες.

Βασίζεται στο μαθηματικό υπόβαθρο της «Κβαντικής θεωρίας πεδίου» (QFT) η οποία θέτει μερικές βασικές/ειδικές ιδιότητες (συμμετρίες).

15 βραβεία Νόμπελ έχουν δοθεί για τις πειραματικές ή θεωρητικές ανακαλύψεις που βοήθησαν το ΚΠ

αρχή: 1936 και το πιο πρόσφατο: 2008!

1936: Ανακάλυψη του ποζιτρονίου, **Victor Frantz Hees & Carl David Anderson**

2008: Ανακάλυψη του μηχανισμού ύπαρξης τουλάχιστον 3 γενιών κουάρκ, **Yoichiro Nambu, Makoto Kobayashi, Toshihide Maskawa**

Οι θεωρητικοί φυσικοί πολλές φορές έχουν προβλέψει την ύπαρξη νέων σωματιδίων και/ή νέες αλληλεπιδράσεις βασιζόμενοι στη γνώση των αλληλεπιδράσεών τους που τα κρατούν σε δέσμιες καταστάσεις. Τα πειράματα έχουν ανακαλύψει αυτά τα σωματίδια!

Άλλες φορές νέα σωματίδια και νέα φαινόμενα έχουν ανακαλυφθεί αναπάντεχα από τους πειραματικούς φυσικούς...

Με αποτέλεσμα να καθοδηγούν τη θεωρία επίσης!

‘Στοιχεία’ → χημικές ενώσεις → μόρια → άτομα →
πυρήνες → κουάρκ, λεπτόνια,



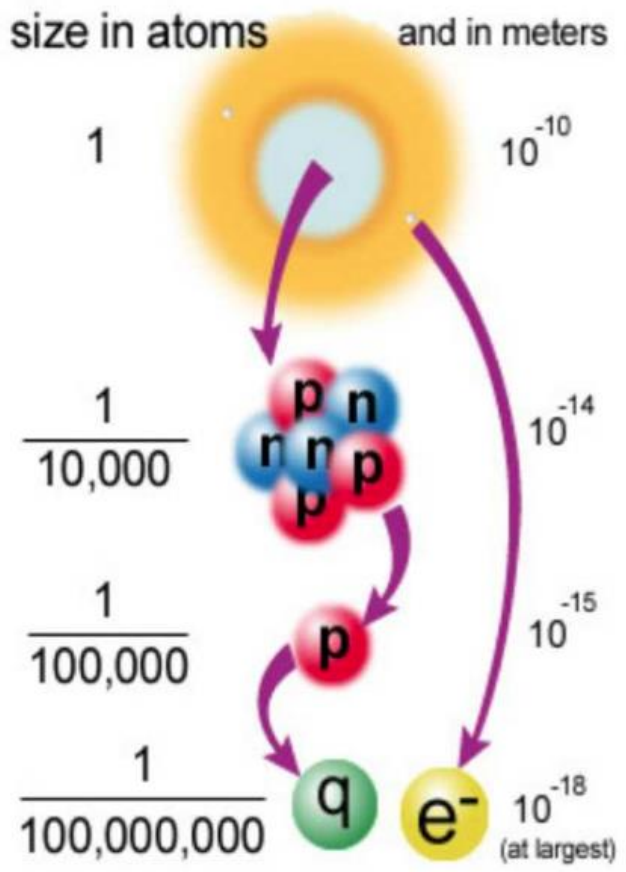
Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Τι πιστεύουμε σήμερα:

Στοιχειώδη σωματίδια είναι τα κουάρκ, τα λεπτόνια
και τα μποζόνια βαθμίδας (φορείς
αλληλεπιδράσεων): φωτόνιο, μποζόνια-W/Z,
γκλουόνιο και....

το μπζόνιο higgs

Οι νόμοι της φύσης (ΚΠ) που έχουμε βρει να δουλεύουν στον μικρόκοσμο, αποστάσεις 10^{-15} fm, και ακόμα σε μικρότερες αποστάσεις, φαίνεται να έχουν σχέση με φαινόμενα που συμβαίνουν σε κοσμολογικούς χρόνους (π.χ. κατά την αρχή του σύμπαντος) αλλά και σε κλίμακες αστρονομικών αποστάσεων (εκατομμύρια μέγα-pc, $pc=30,9 \times 10^{12}$ km=3,26 έτη-φωτός).



Οι θεμελιώδεις λίθοι της ύλης φαίνεται να φέρουν μια κλιμάκωση:

Άτομα ~ Angstrom = 10^{-10} m

Κουάρκ & λεπτόνια τα οποία είναι εκατοντάδες εκατομμύρια φορές πιο μικρότερα από τα άτομα πιστεύουμε ότι είναι σημειακά σωματίδια (προς το παρόν!)

Διάφορα σωματίδια φαίνονται θεμελιώδη σε διαφορετικές κλίμακες!

Έχουμε δυο τρόπους να φτάσουμε στην «καρδιά» της ύλης:

- Μελετώντας συστηματικά τις πειραματικές ιδιότητες της ύλης, όπως μάζα, σπιν, χρόνο ζωής, κ.λπ.
- Χρησιμοποιώντας το φαινόμενο της σκέδασης για να φτάσουμε στην εσωτερική δομή των σωματιδίων.

Για παράδειγμα:

- **Το e^-** : ανακαλύφθηκε κατά λάθος αλλά ταίριαζε με τις συστηματικές παρατηρήσεις των προηγούμενων ετών: 1897-1899
- **Το e^+** : προβλέφθηκε από τη σχετική κβντομηχανική, P. Dirac
- **Το μ** : απλά «εμφανίστηκε» το 1936 από μόνο του αλλά συνέβαλε στην κατανόηση των αλληλεπιδράσεων

- **Το π^+** : προτάθηκε από τον Yukawa (1935), **ν**: προτάθηκε από τον Pauli (1931), και τα δυο ανακαλύφθηκαν σε πειράματα το 1947.
- **Πυρήνες**: βρέθηκαν πειραματικά από τον Rutherford σε πειράματα σκέδασης (1911)
- **Κουάρκ u , d , s** : προτάθηκαν (1961) για να καταλάβουν τις ιδιότητες των σωματιδίων και να μπορέσουν να δημιουργήσουν ένα είδος περιοδικού πίνακα των στοιχειωδών σωματιδίων. Επιβεβαιώθηκαν πειραματικά σε πειράματα σκέδασης το 1966.

Περιοδικός Πίνακας Στοιχειωδών Σωματιδίων

FERMIONS

matter constituents

spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2

Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_L lightest neutrino*	$(0-0.13)\times 10^{-9}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_M middle neutrino*	$(0.009-0.13)\times 10^{-9}$	0
μ muon	0.106	-1
ν_H heaviest neutrino*	$(0.04-0.14)\times 10^{-9}$	0
τ tau	1.777	-1

Quarks spin = 1/2

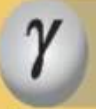



Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.002	2/3
d down	0.005	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	173	2/3
b bottom	4.2	-1/3

Φορείς των Δυνάμεων της Φύσης


BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

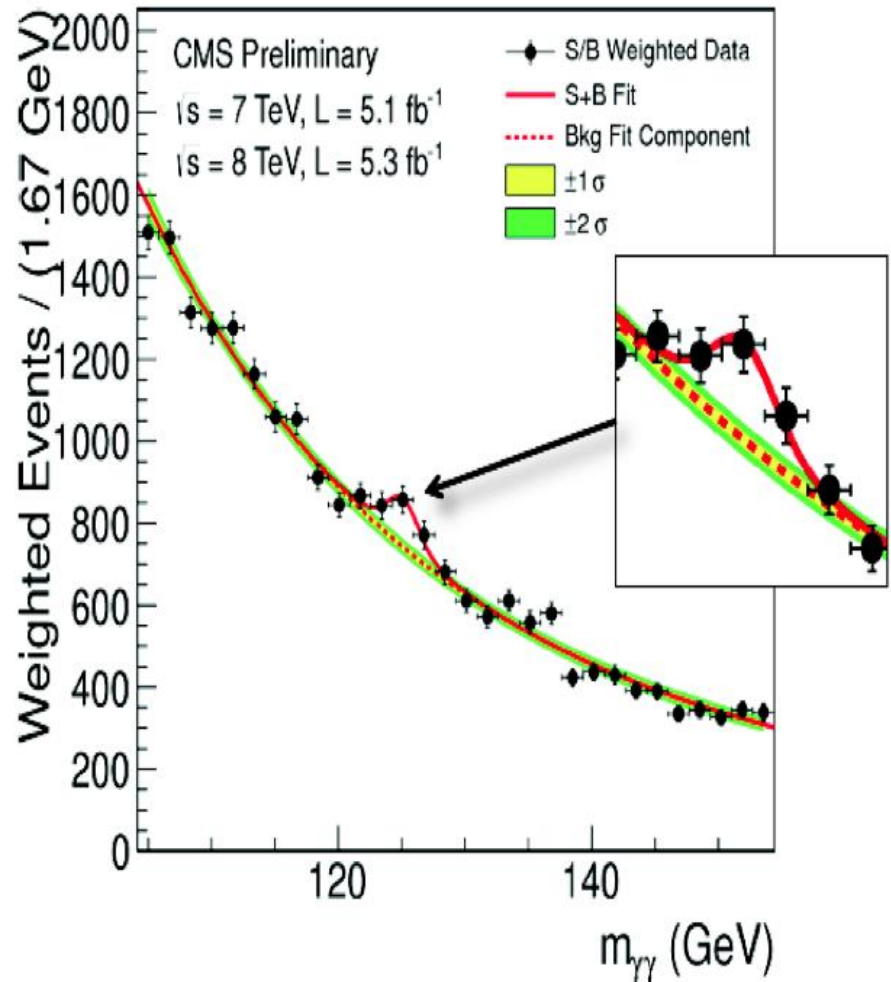
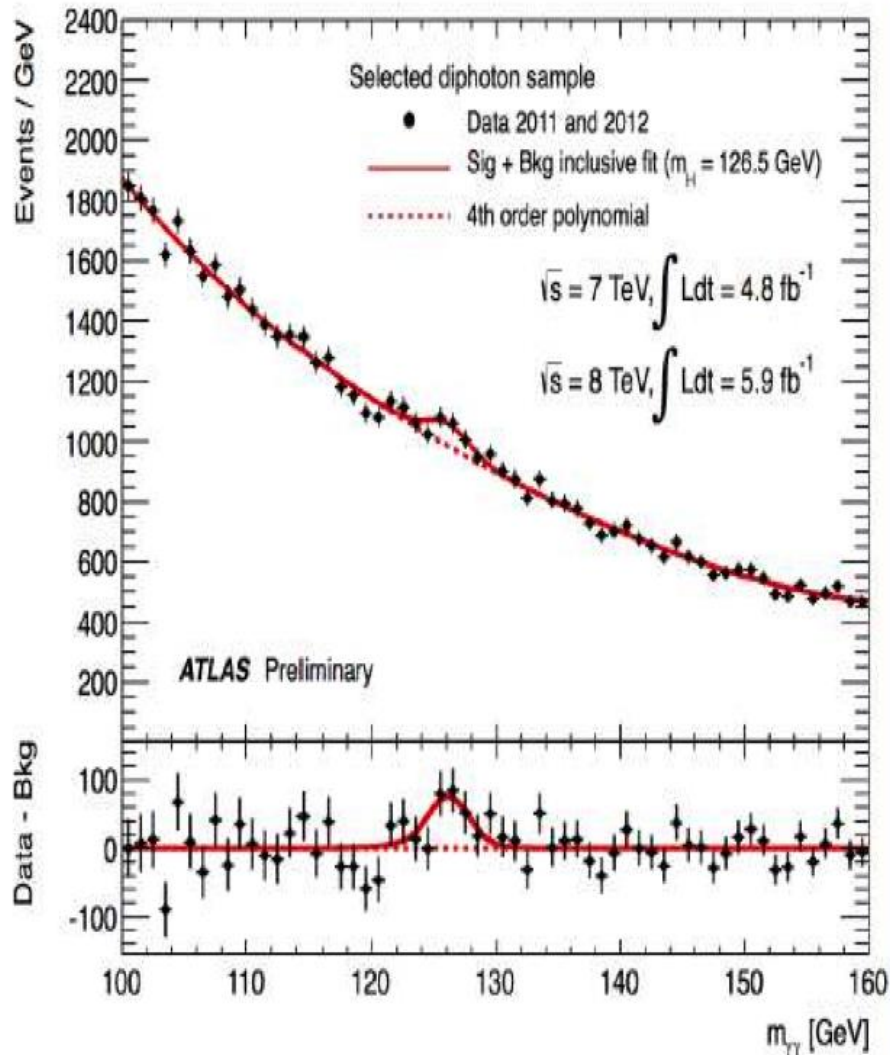
Unified Electroweak spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
 photon	0	0
 W bosons	80.39	-1
 W bosons	80.39	+1
 Z boson	91.188	0

Strong (color) spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
 gluon	0	0

Κατέφθασε και το σωματίδιο higgs







Ο νέος πλέον περιοδικός πίνακας

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
 photon	0	0
 W ⁻	80.39	-1
 W ⁺ W bosons	80.39	+1
 Z boson	91.188	0

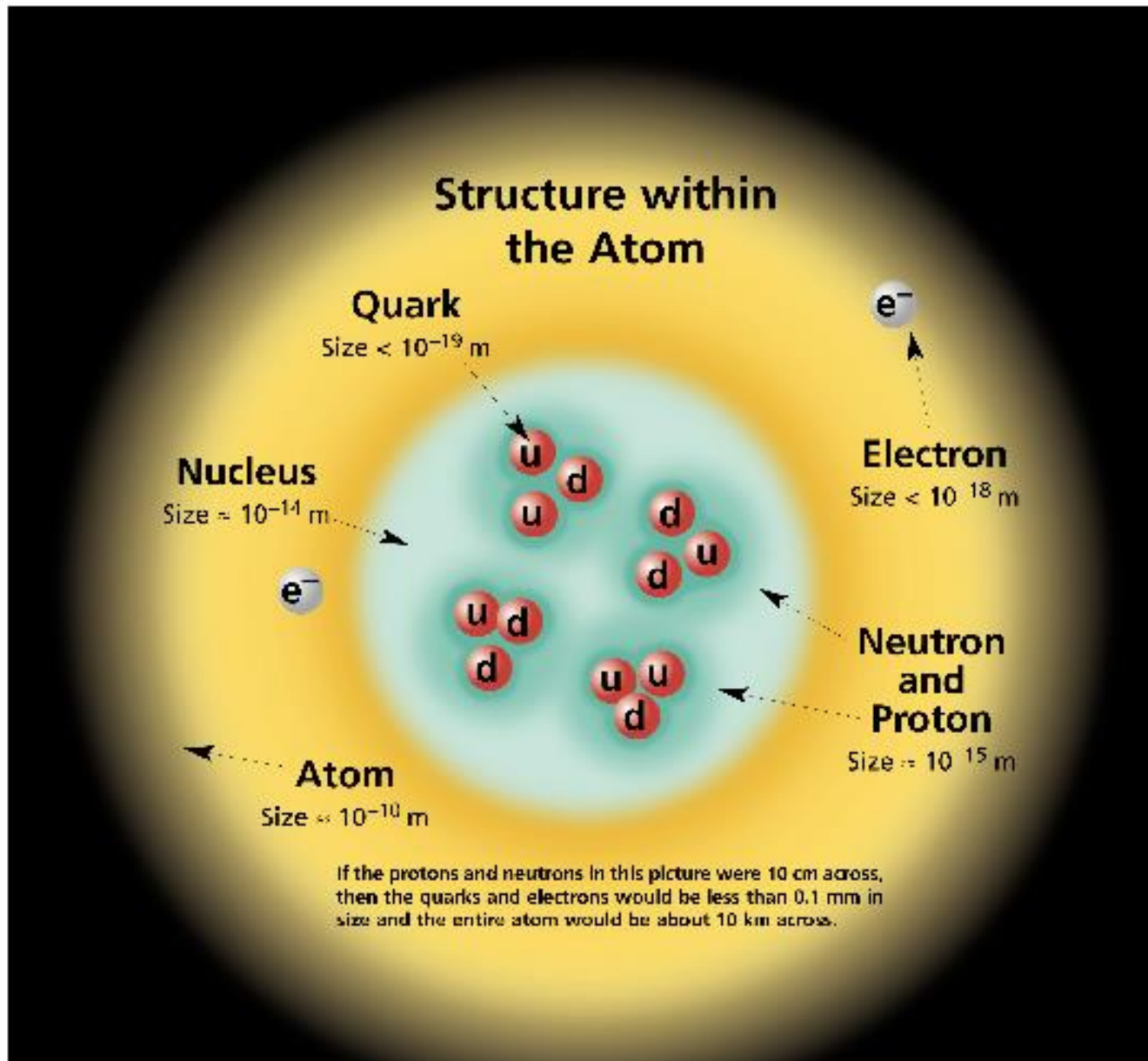
Strong (color) spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
 gluon	0	0

Spin ≠ 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric Charge
H ⁰	??	0

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ



Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

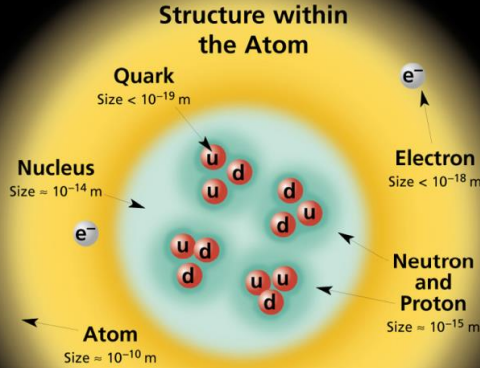
The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

Color Charge
Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called **hadrons**. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: **mesons** $q\bar{q}$ and **baryons** qqq .

Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25}$ GeV s = 1.05×10^{-34} J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is 1.60×10^{-19} coulombs.

The **energy** unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. **Masses** are given in GeV/c² (remember $E = mc^2$), where $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-10}$ joule. The mass of the proton is $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-27}$ kg.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-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

Property	Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)		Strong	
			Flavor	Electric Charge	Fundamental	Residual
Acts on:		Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:		Graviton (not yet observed)	$W^+ W^- Z^0$	γ	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:	10^{-18} m $3 \times 10^{-17} \text{ m}$	10^{-41} 10^{-41}	0.8 10^{-4}	1 1	25 60	Not applicable to quarks
for two protons in nucleus		10^{-36}	10^{-7}	1	Not applicable to hadrons	20

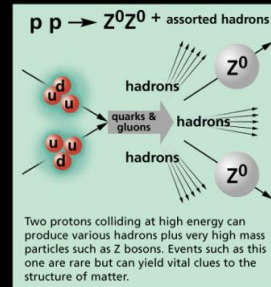
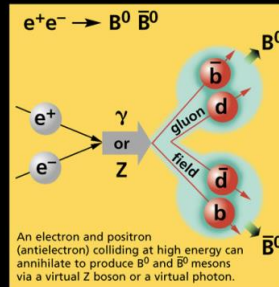
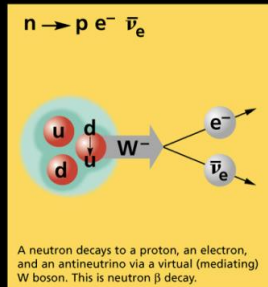
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Matter and Antimatter

For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and $\eta_c = c\bar{c}$, but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

Figures

These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature *The Particle Adventure* at <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:

U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
Stanford Linear Accelerator Center
American Physical Society, Division of Particles and Fields
BURLE INDUSTRIES, INC.

©2000 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

<http://CPEPweb.org>

Βαρυόνια & Μεσόνια

Βαρυόνια

συνδυασμός τριών κουάρκ

qqq

πρωτόνιο $p=(u \ u \ d)$

νετρόνιο $n=(u \ d \ d)$

Λάμδα $\Lambda=(u \ d \ s)$

Μεσόνια

συνδυασμός κουάρκ αντικουάρκ

$q\bar{q}$

πιόνιο (π^+) = $u\bar{d}$

καόνιο (K^0) = $\bar{s}d$

ψ -μεσόνιο = $c\bar{c}$

Βαρυόνια

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

Baryons are fermionic hadrons.
There are about 120 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-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

Μεσόνια

Mesons $q\bar{q}$

Mesons are bosonic hadrons.
There are about 140 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	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

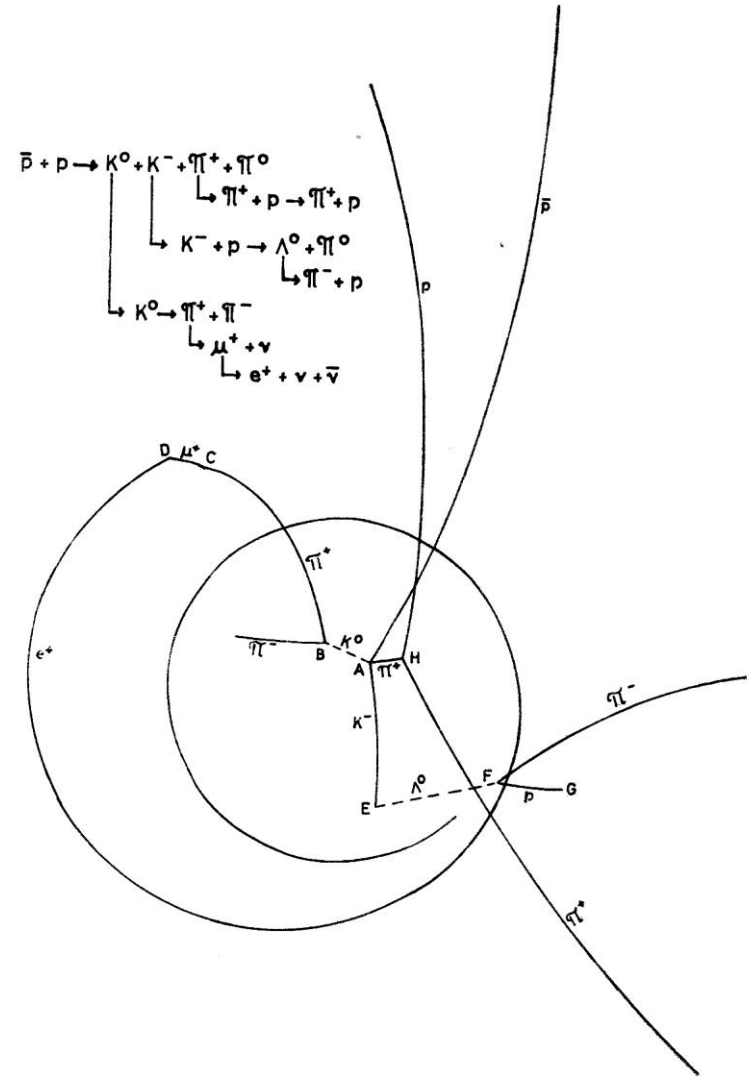
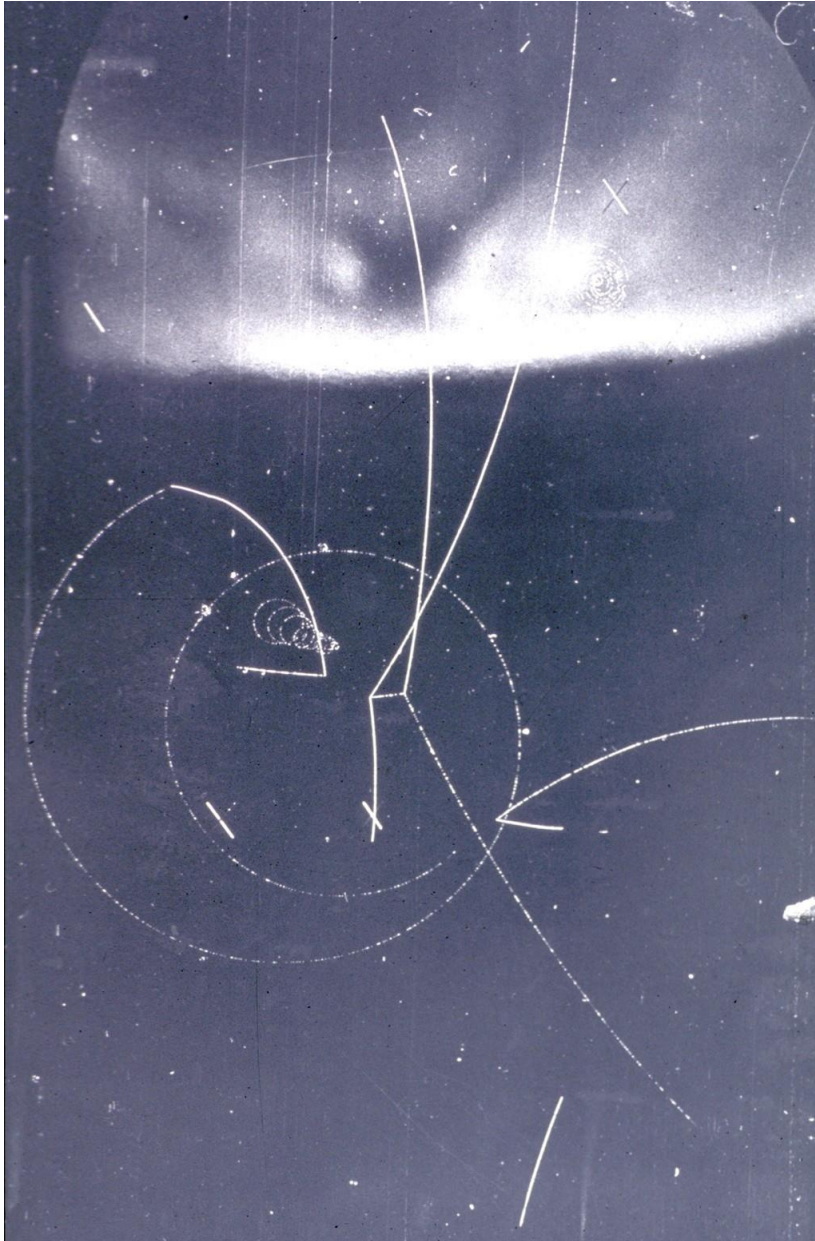
Strong (color) spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

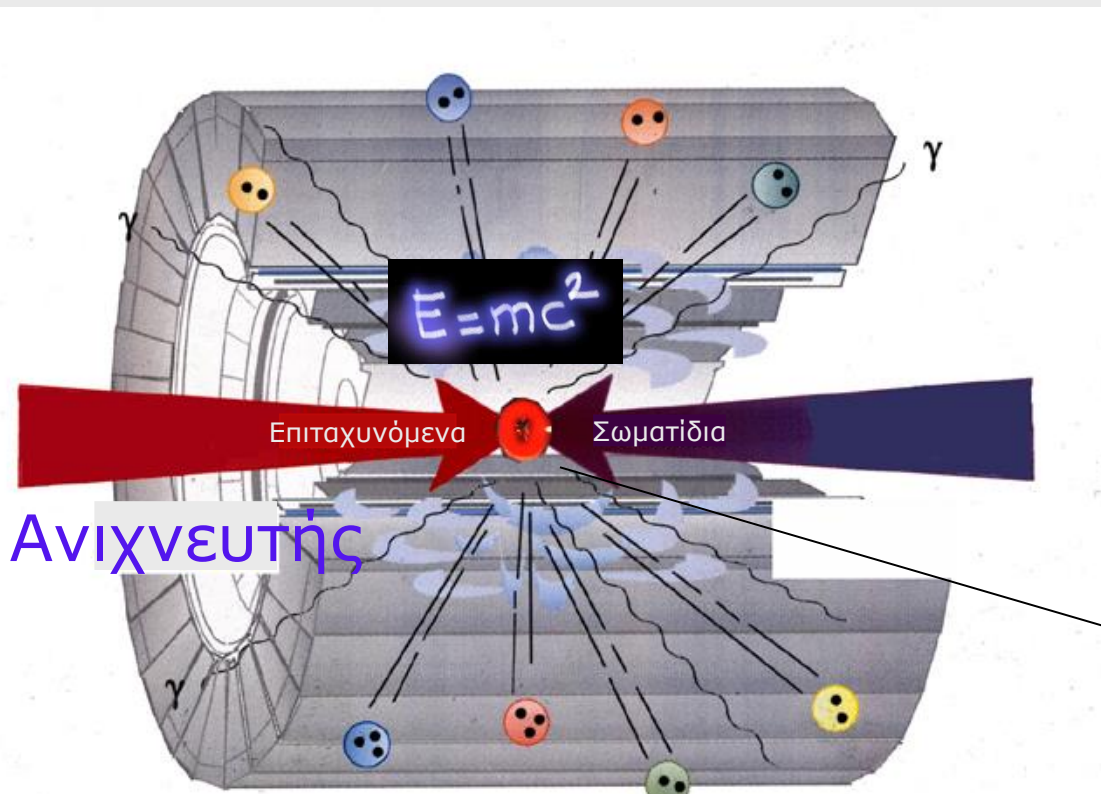
Αλληλεπίδραση & Πεδίο

- Σύμφωνα με την κλασσική εικόνα η αλληλεπίδραση σε κάποια απόσταση χρησιμοποιώντας την έννοια του πεδίου
- Στην κβαντομηχανική θεωρούμε ότι η αλληλεπίδραση γίνεται με την ανταλλαγή κβάντων (μποζονίων). Τα κβάντα έχουν ορμή/ενέργεια τα οποία διατηρούνται μόνο αν η αλληλεπίδραση γίνεται σε ένα χρονικό διάστημα που καθορίζεται από την αρχή της αβεβαιότητας $\Delta E \Delta t > \hbar$. Τα κβάντα λέγονται δυνητικά (virtual).

Παράδειγμα «εξαφάνισης» αντιπρωτονίου σε θάλαμο φυσαλίδων υδρογόνου.



Μέθοδοι της σωματιδιακής φυσικής



1) Συγκέντρωση ενέργειας στα σωματίδια (επιταχυντής)

2) Σύγκρουση σωματιδίων (δημιουργία συνθηκών ανάλογων του Big Bang)

3) Αναγνώριση παραγόμενων σωματιδίων από τον Ανιχνευτή (έρευνα για νέα φαινόμενα)

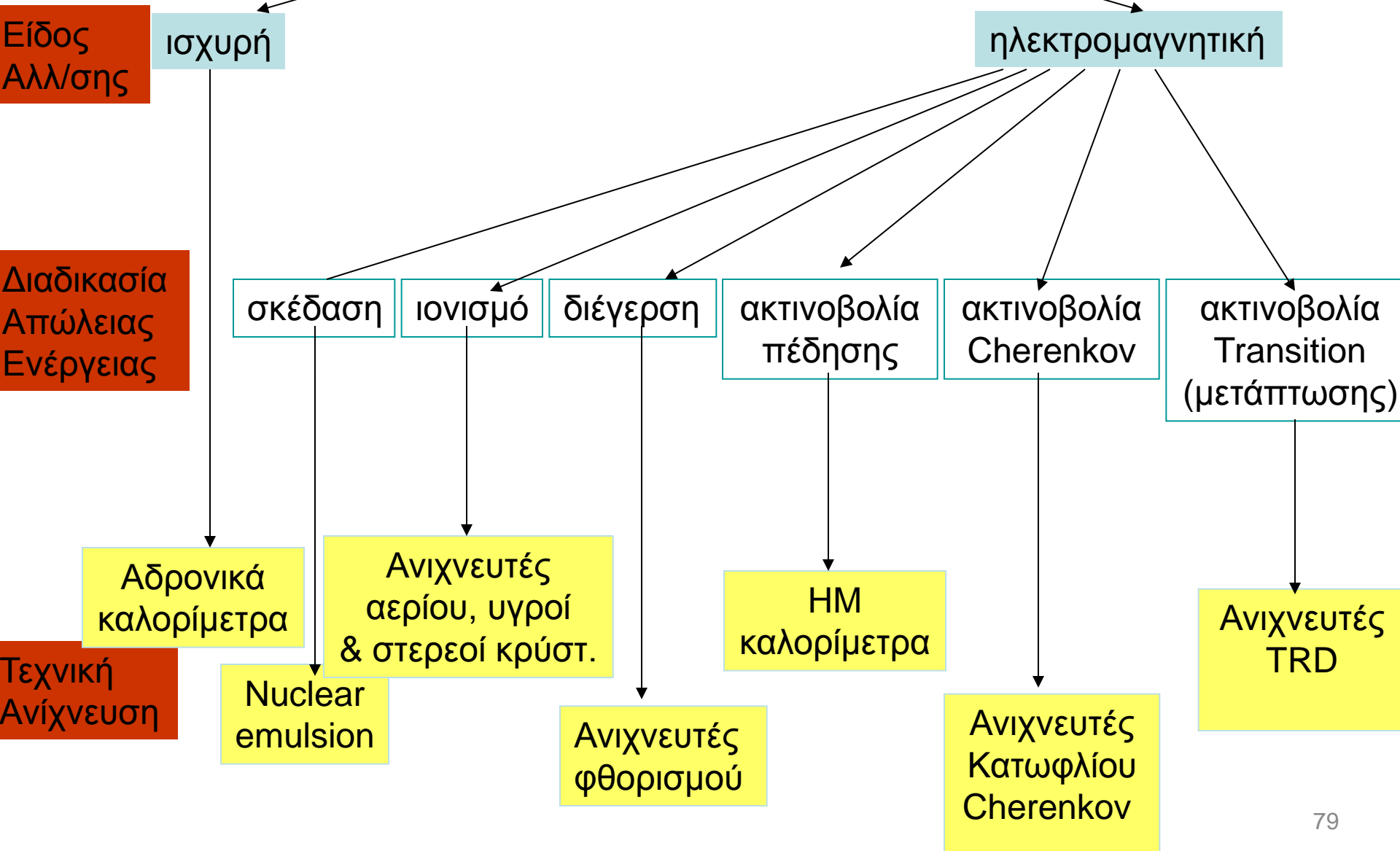
Υπάρχουν αρκετά ομόκεντρα επίπεδα στον ανιχνευτή. Κάθε επίπεδο Εξυπηρετεί διαφορετικό σκοπό:

1. **Tracking** - προσδιορίζεται η τροχιά των σωματιδίων
2. **Καλορίμετρο** - μέτρηση ενέργειας σωματιδίων και φωτονίων
3. **Ταυτοποίηση σωματιδίου**: ξεχωρίζονται οι διάφοροι τύποι των σωματιδίων, πιόνια από πρωτόνια από καόνια, κλπ.

Απώλεια ενέργειας φορτισμένων σωματιδίων

- Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται μέσα στην ύλη αλληλεπιδρά ΗΜ με τα αρνητικά e και τους θετικούς πυρήνες ανταλλάσσοντας φωτόνια. Το αποτέλεσμα αυτών των αλλ/σεων για το φορτισμένο σωματίδιο είναι:
 - Να χάσει ενέργεια,
 - Να αλλάξει κατεύθυνση η τροχιά του,
 - Τελικά να σταματήσει και να απορροφηθεί διανύοντας συνολικά μια απόσταση που ονομάζεται διάστημα εμβέλειας (range).
- Οι μηχανισμοί δια των οποίων χάνει ενέργεια το σωματίδιο είναι:
 - Αλλ/ση Coulomb με τα e και πυρήνες
 - Ατομικές διεγέρσεις
 - Ιονισμό ατόμων
 - ΗΜ ακτινοβολία πέδησης (ακτινοβολείται όταν το σωματίδιο επιβραδύνεται σ' ένα πεδίο Coulomb)
 - Πυρηνικές Αλλ/σεις
 - Ακτινοβολία Cherenkov (όταν ξεπεράσει ένα κατώφλι & αν το υλικό είναι διαφανές)
 - ΗΜ ακτινοβολία μετάπτωσης (transition radiation) (ακτινοβολείται όταν το σωματίδιο κινείται σε υλικό με ασυνεχή διηλεκτρική σταθερά)

Φορτισμένα Σωματίδια



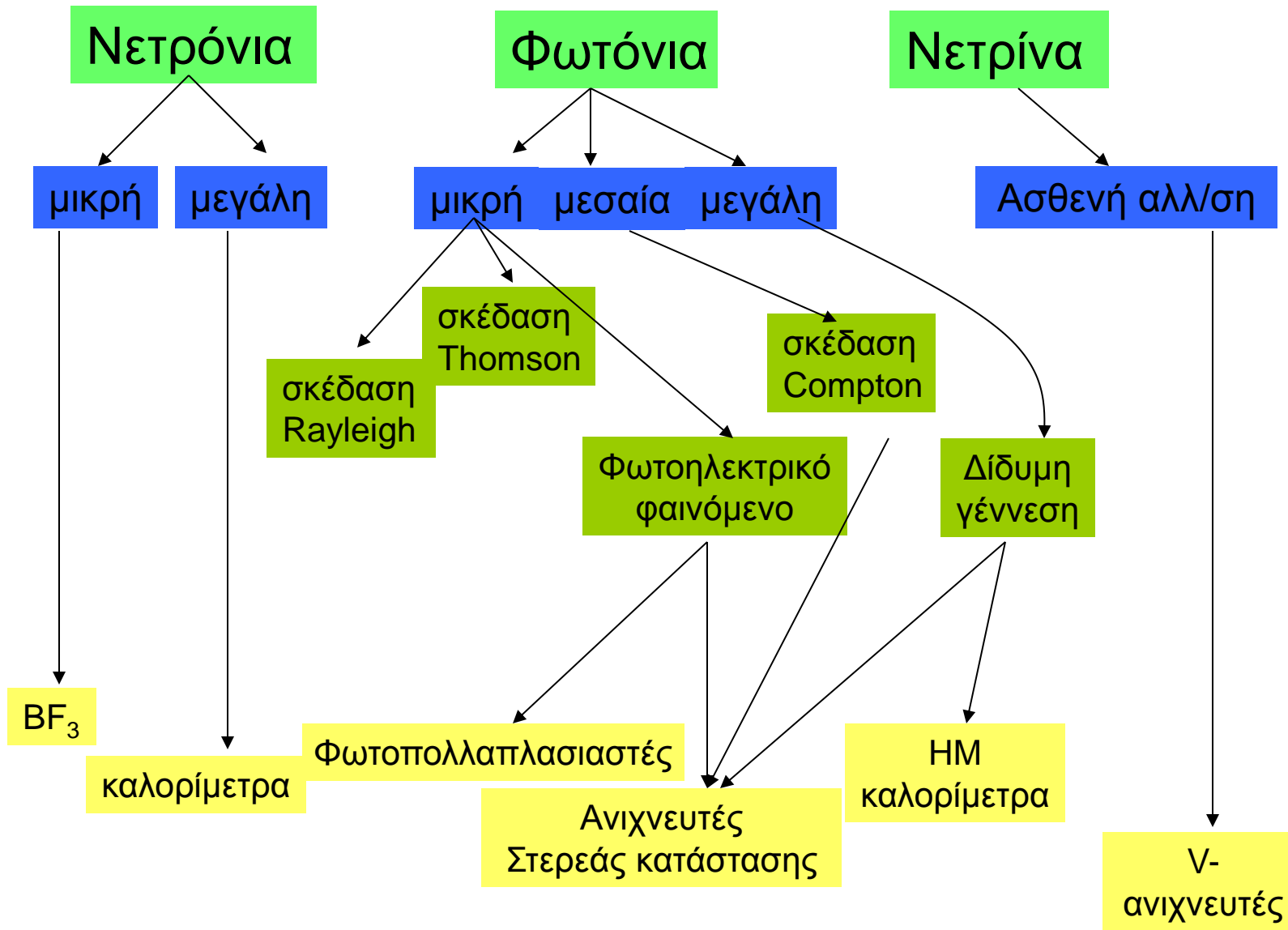
Αφόρτιστα Σωματίδια

Τύπος
σωματιδίου

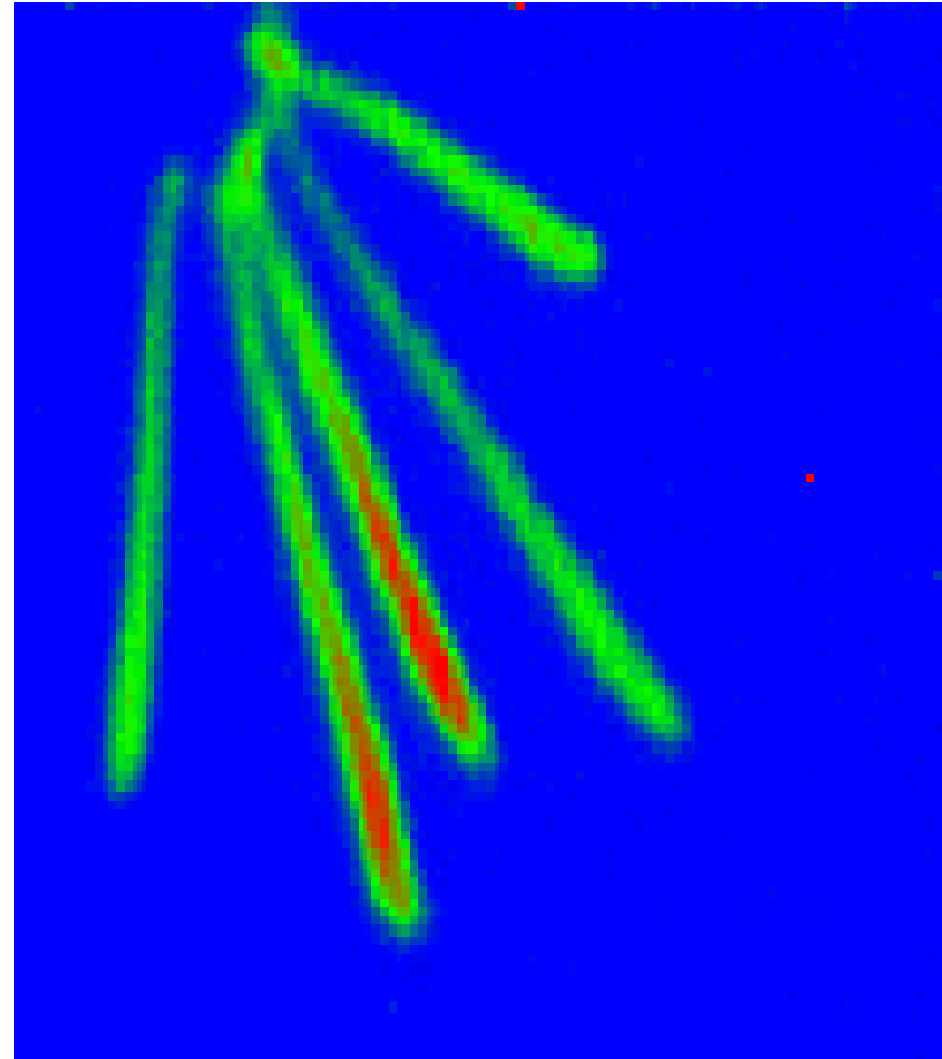
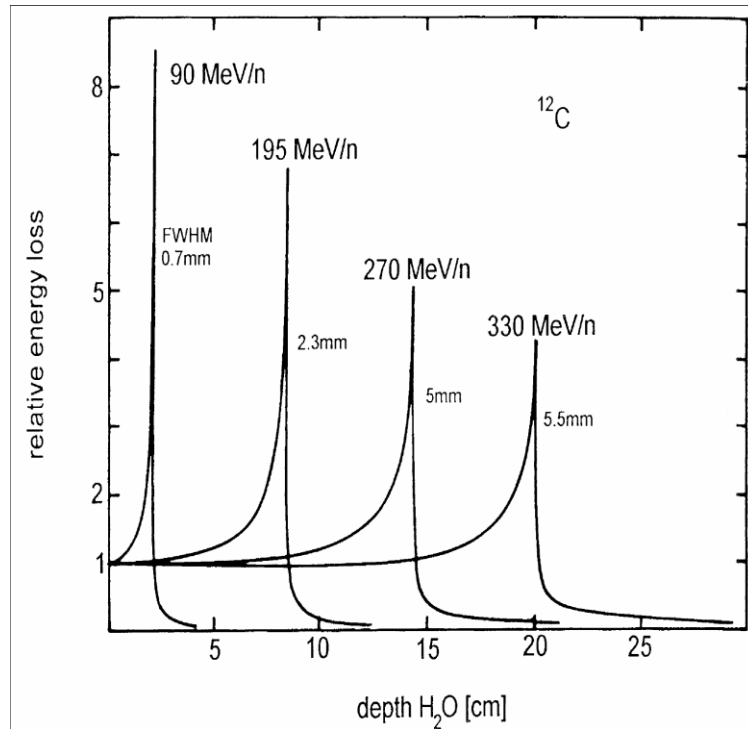
Περιοχή
ενέργειας

Τύπος
Αλλ/σης

Τεχνική
ανίχνευσης

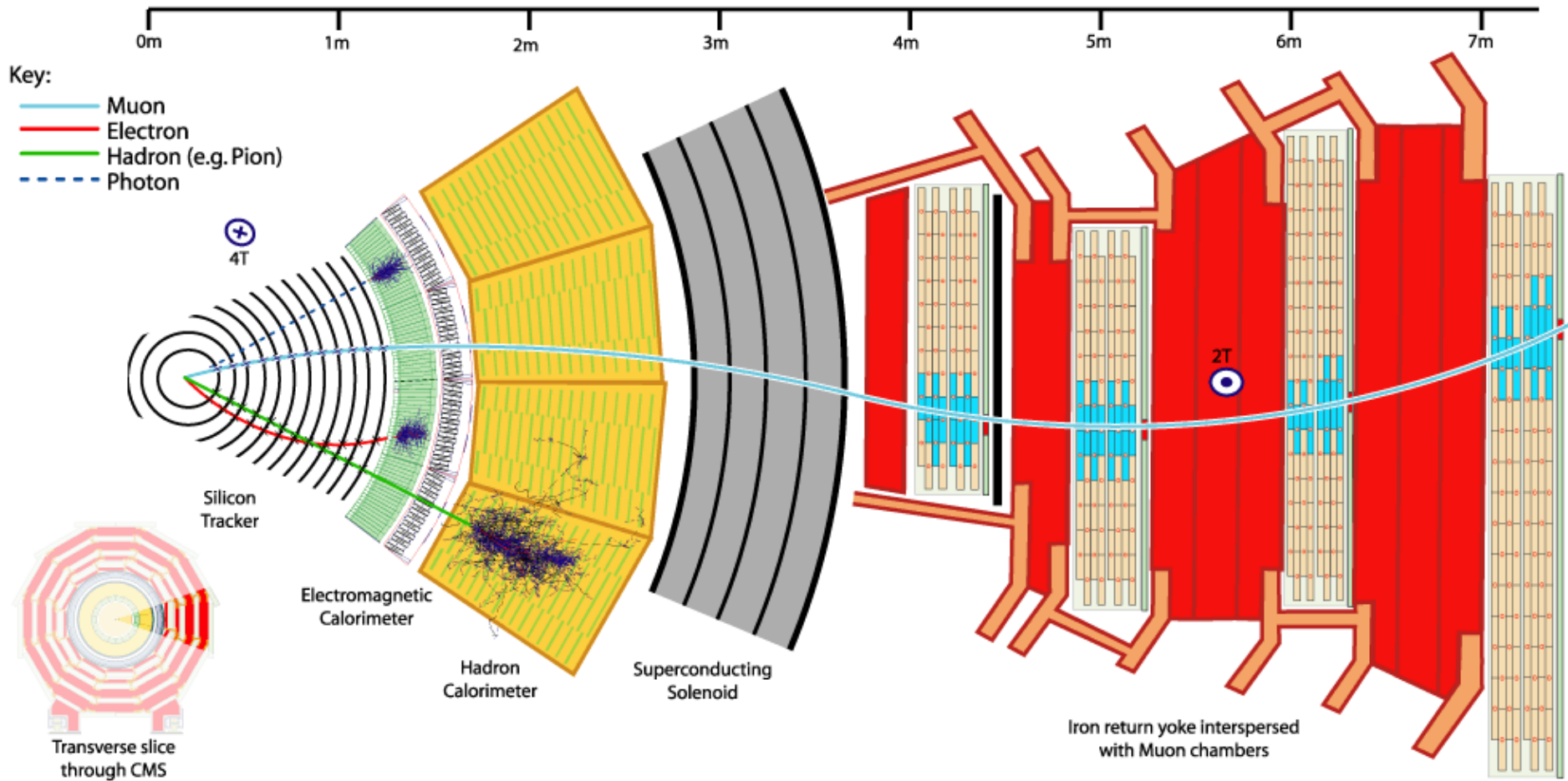


Καμπύλες Bragg

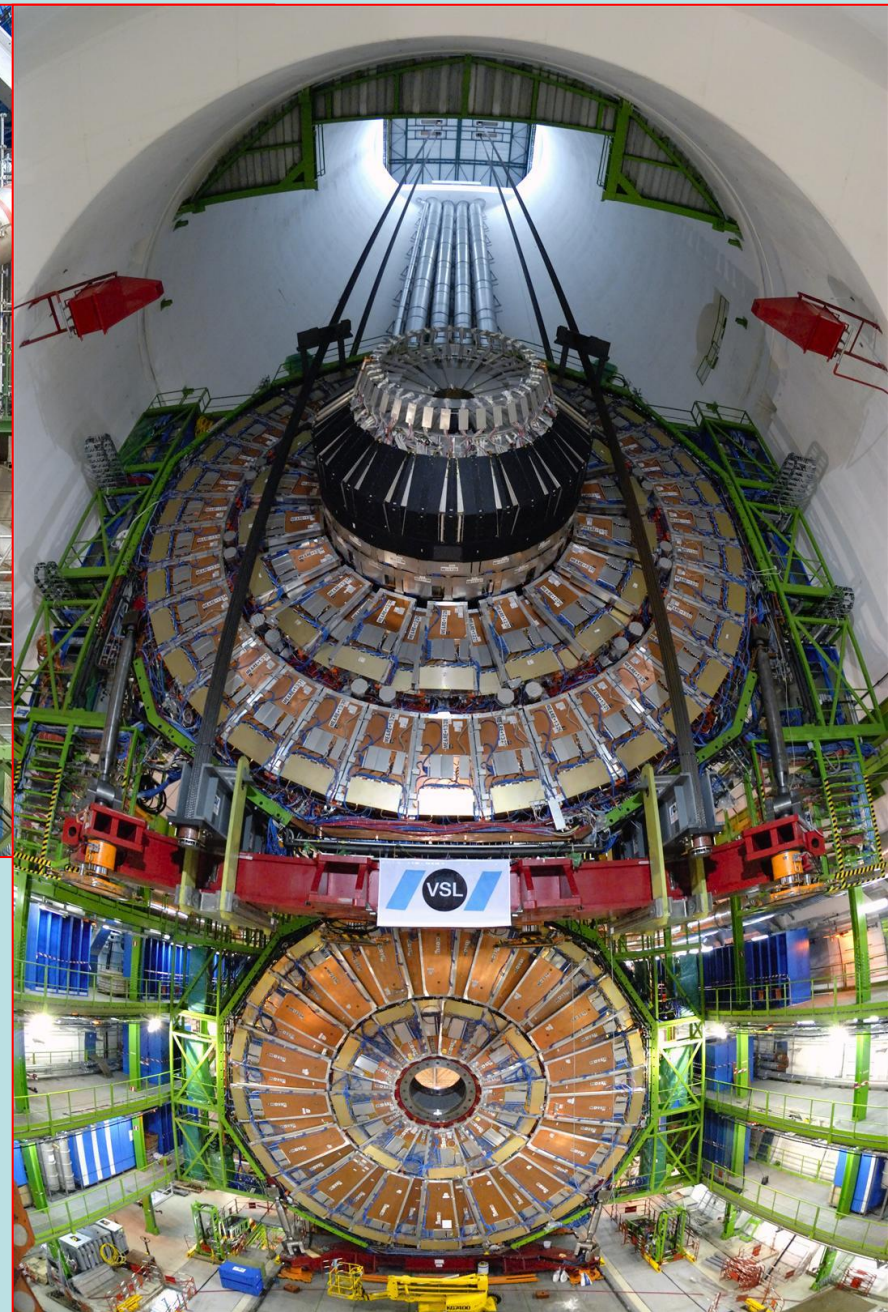
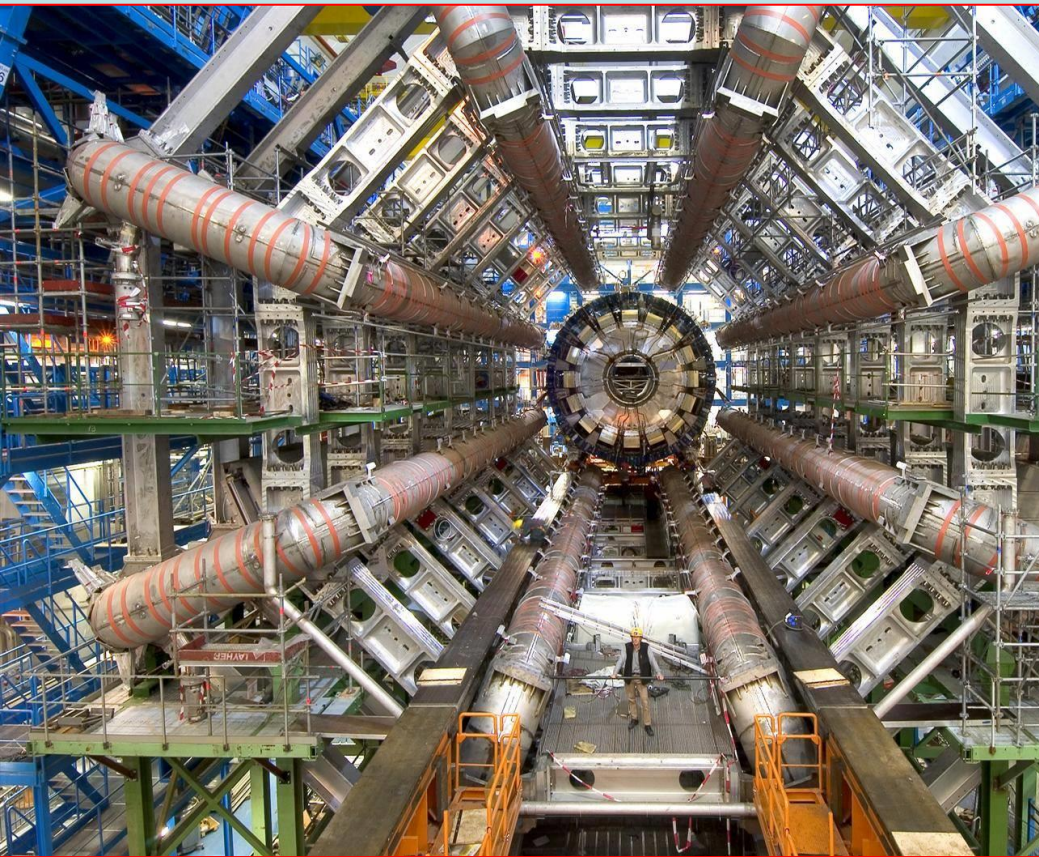


Τροχιές από σωματίδια α
σε ανιχνευτή micro-strip αερίου
 CF_4 όπου καταγράφονται
με τη βοήθεια φθορισμού (scintillation)

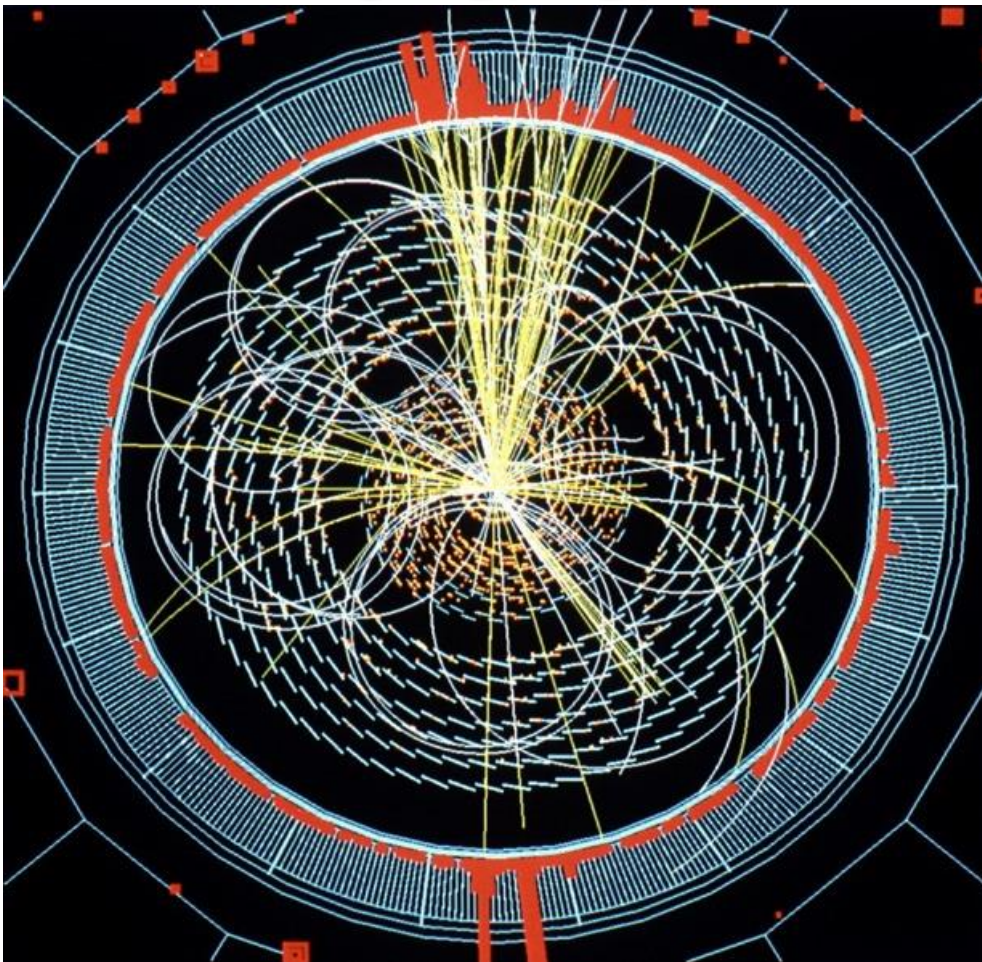
‘Γενικός τύπος’ πειράματος



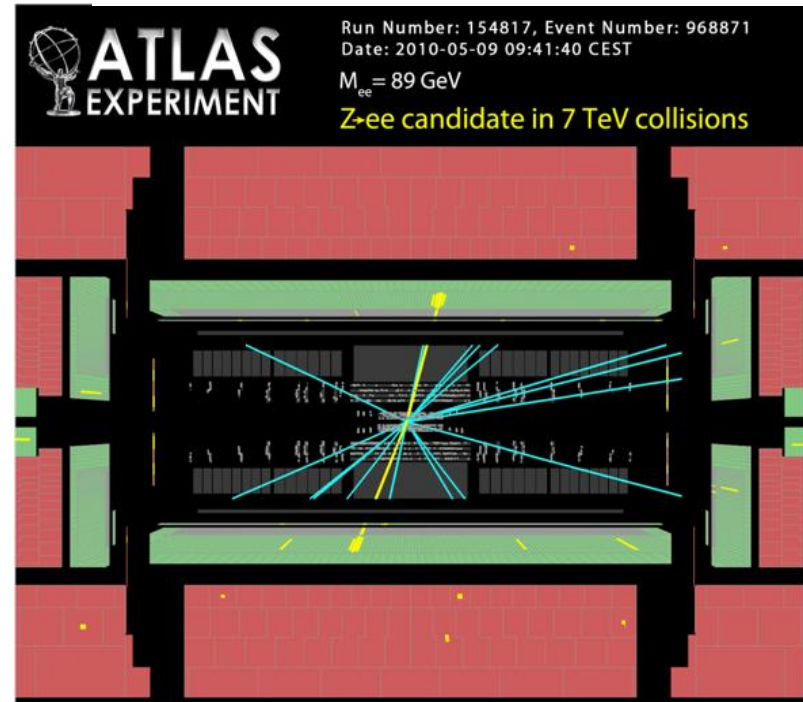
Deflection $\sim BL^2/p \rightarrow$ need high B (s.c.) and large magnets; need high resolution position measurements (10 -100 μ) at large p; also energy and position measurement through total absorption (photon, electron, hadron)



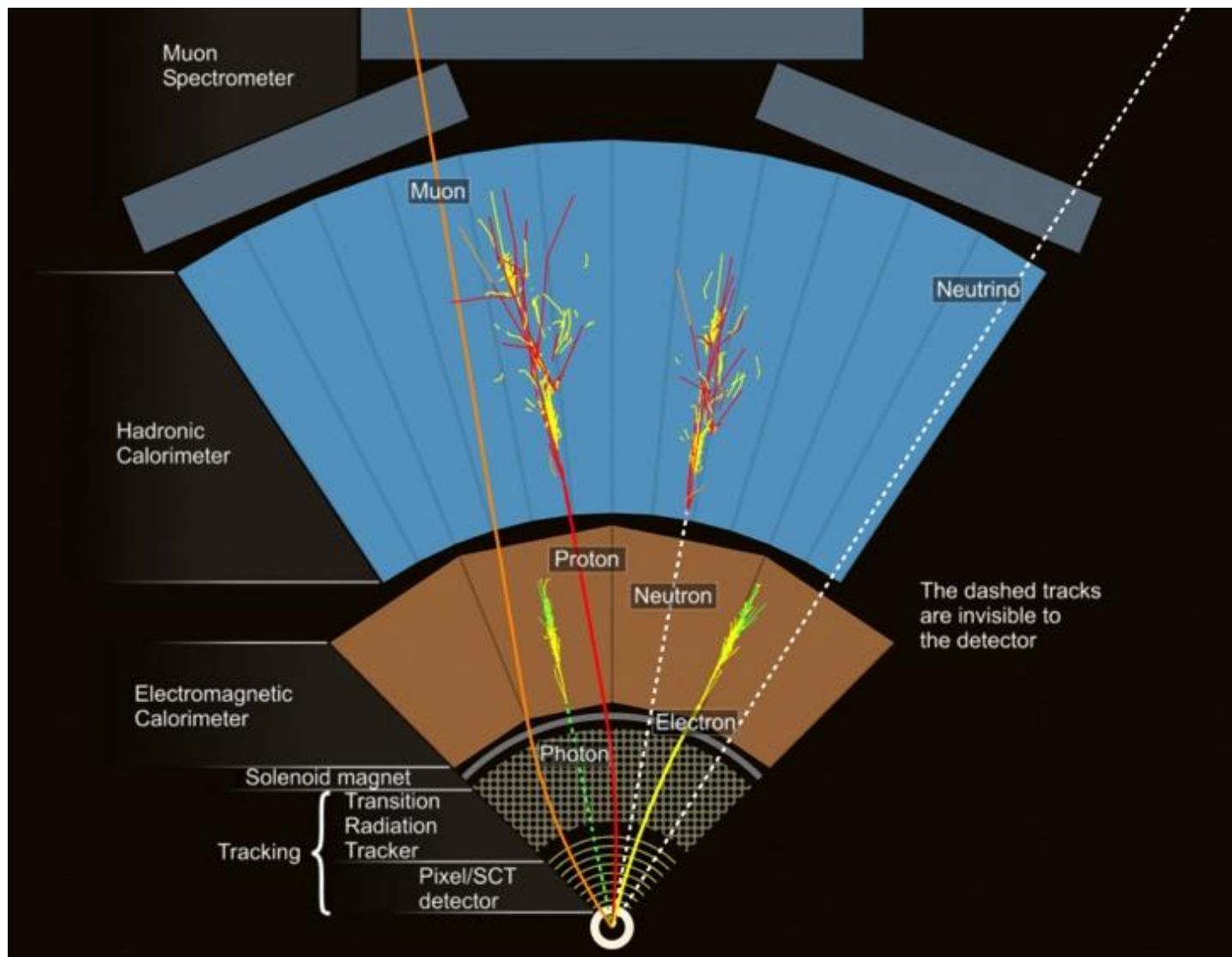
Data



Δεδομένα



Επεξήγηση/ Ανάλυση των Δεδομένων



ATLAS Experiments

Radius: 25 m
Length: 44 m
Weight: 7 kTonnes
100 M electronic chs

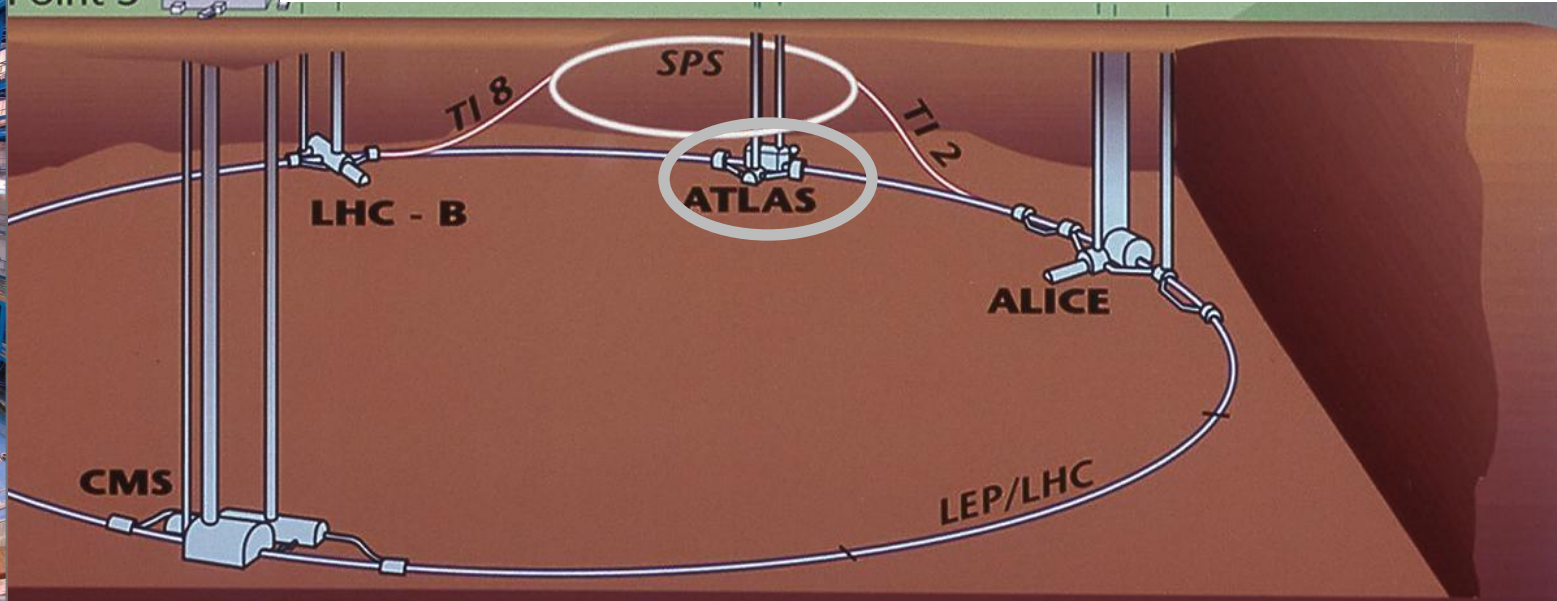
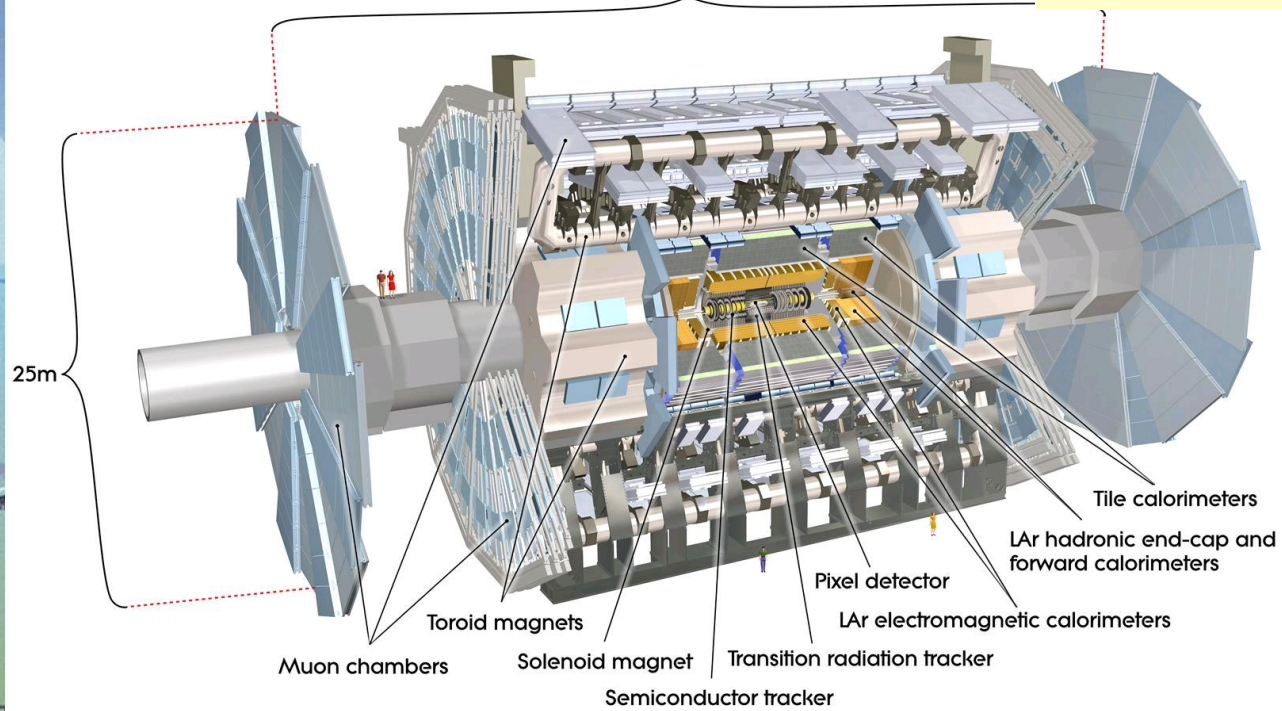
10 MDT chambers
384 Tubes
7000 Tonnes
100 m³ Gas Volume
1000 m² Chamber Area



CMS
Point 5

A Toroidal LHC Apparatus

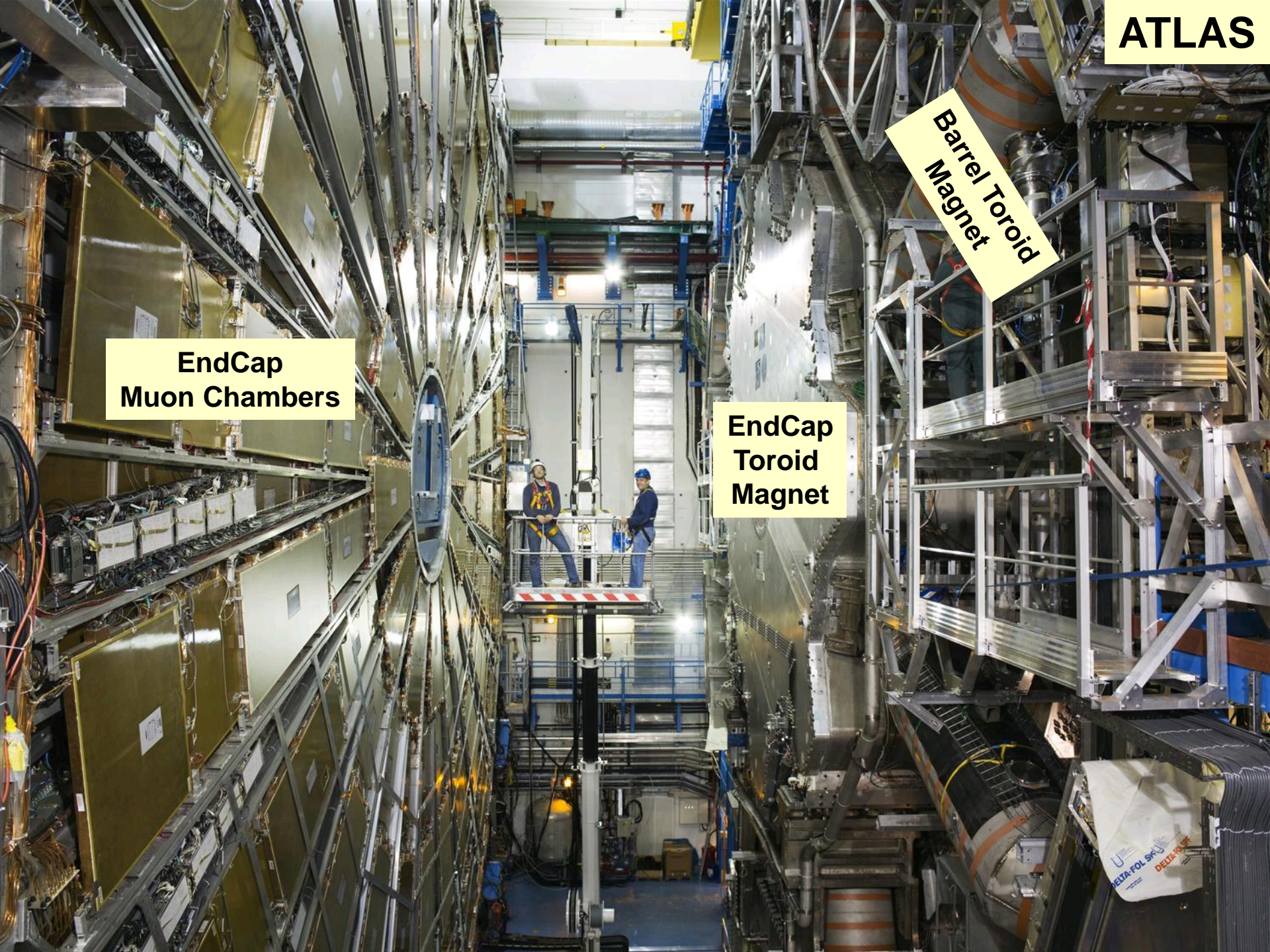
ATLAS

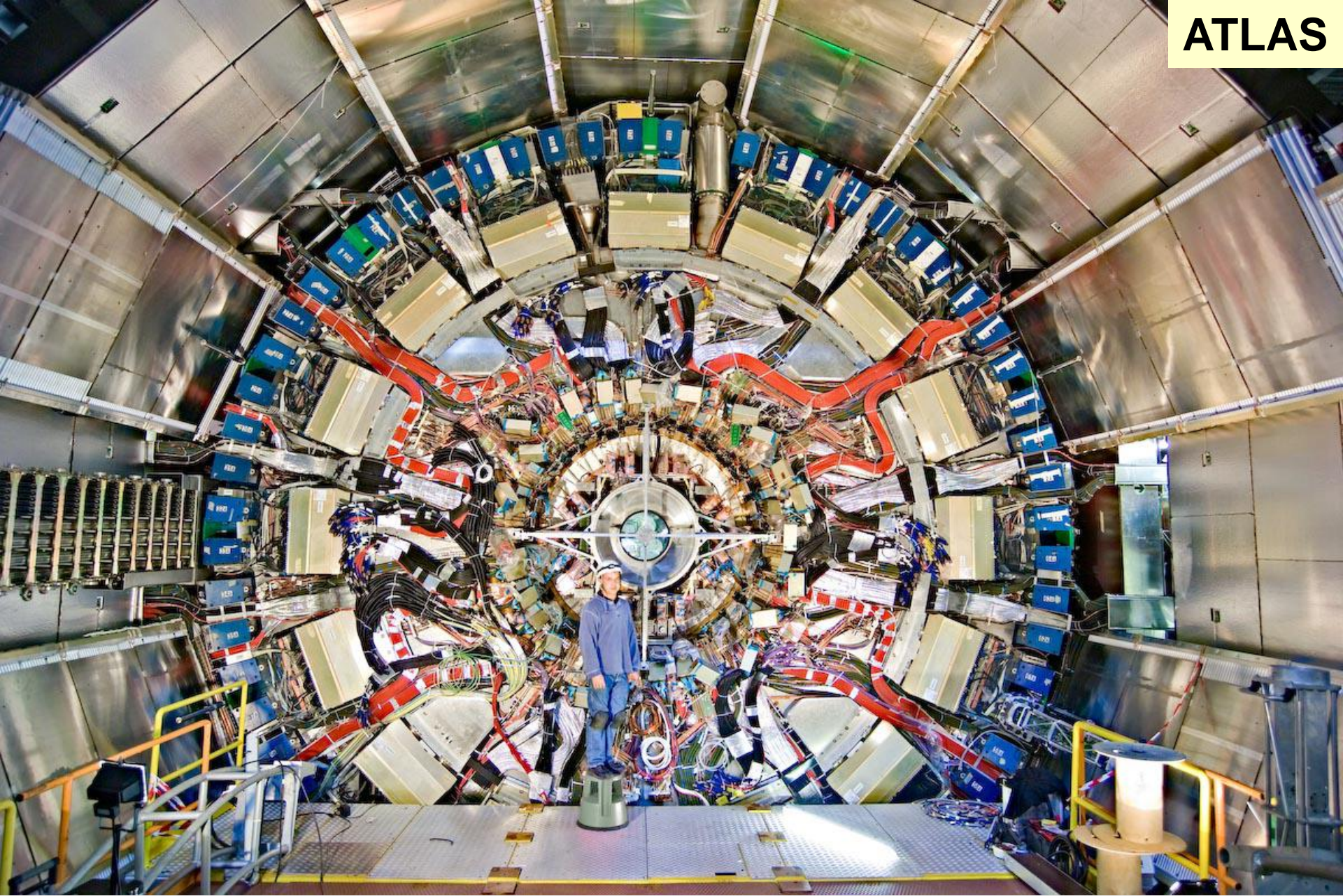


**Barrel Toroid
Magnet**

**EndCap
Muon Chambers**

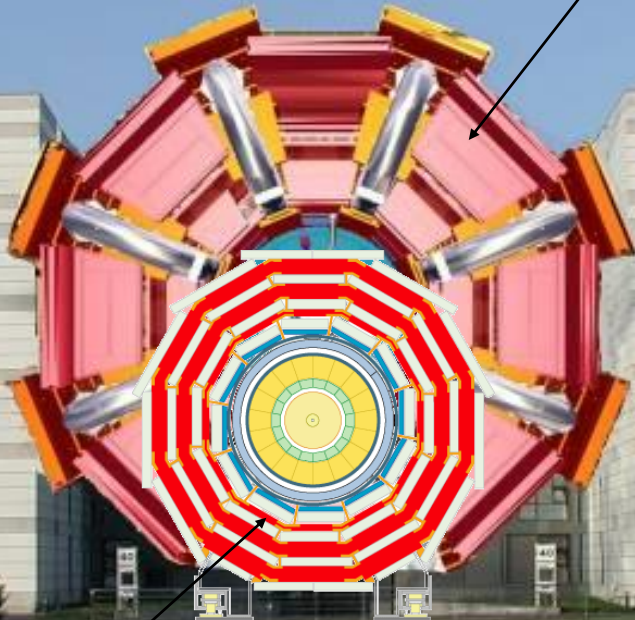
**EndCap
Toroid
Magnet**





Barrel Inner Detector after Installation

ATLAS



CMS

37 countries

167 institutions

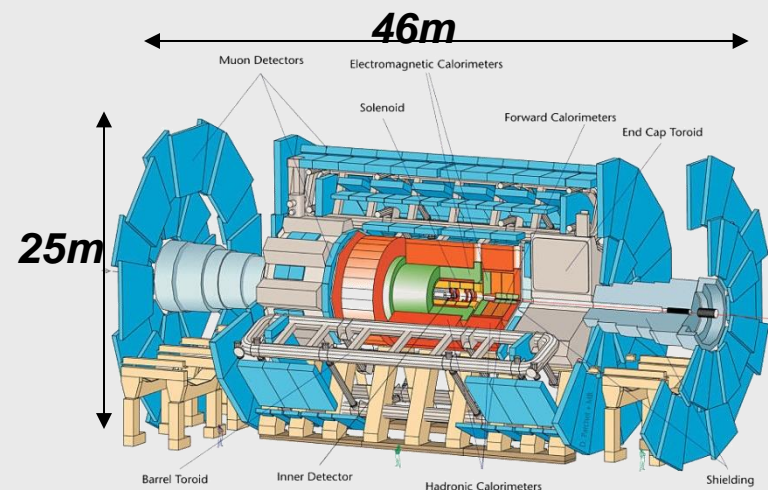
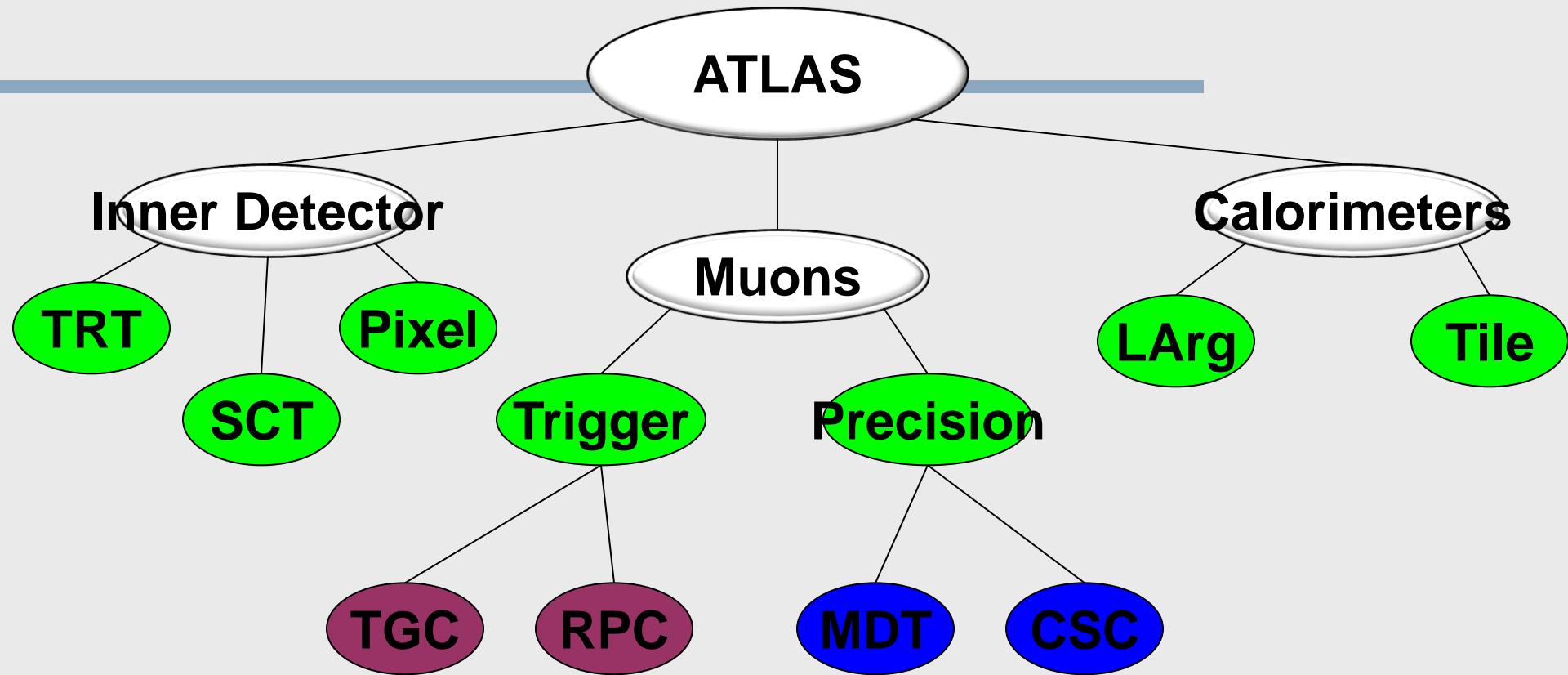
2100 scientific authors



- | | |
|----------------|-------------|
| Argentina | Morocco |
| Armenia | Netherlands |
| Australia | Norway |
| Austria | Poland |
| Azerbaijan | Portugal |
| Belarus | Romania |
| Brazil | Russia |
| Canada | Serbia |
| Chile | Slovakia |
| China | Slovenia |
| Colombia | Spain |
| Czech Republic | Sweden |
| Denmark | Switzerland |
| France | Taiwan |
| Georgia | Turkey |
| Germany | UK |
| Greece | USA |
| Israel | CERN |
| Italy | JINR |
| Japan | |

ATLAS
Collaboration





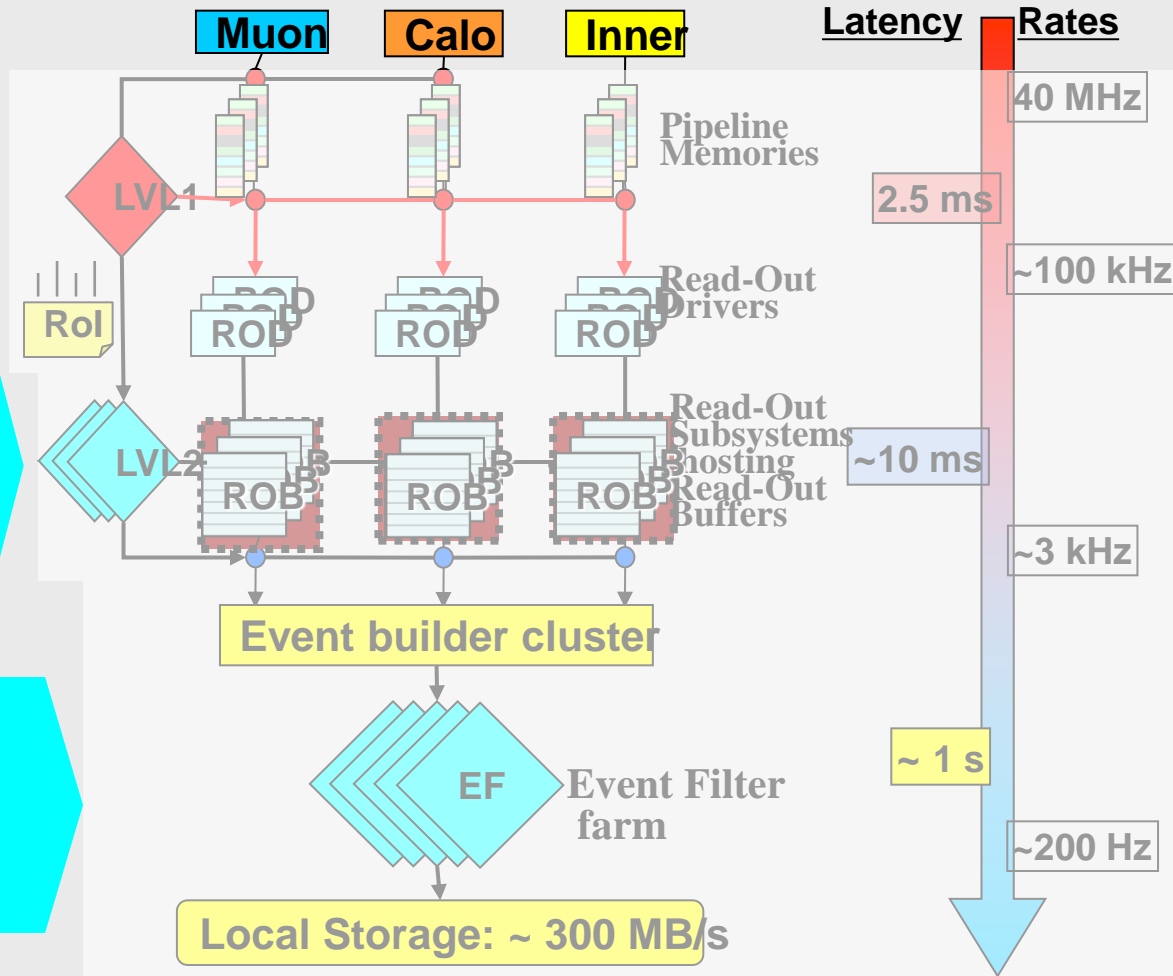
TRT: Transition Radiation Detector
SCT: Silicon Central Tracker
TGC: Thin Gap Chamber
RPC: Resistive Pad Chamber
MDT: Monitored Drift Tubes
CSC: Cathode Strip Chamber

ATLAS Trigger & DAQ

Hardware based (FPGA, ASIC)
Calo/Muon (coarse granularity)

Software (specialised algs)
Uses LVL1 *Regions of Interest*
All sub-dets, *full* granularity
Emphasis on early rejection

Offline-like algorithms
Possibly seeded by *LVL2 result*
Work with *full event*
Full calibration/alignment info



High Level Trigger

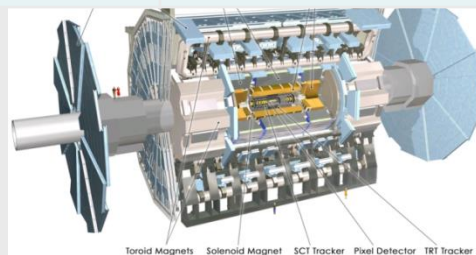
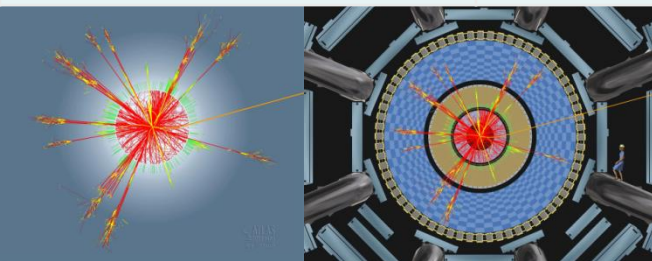
Event Rates

- At beam $L=10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ will be 20 collisions per bunch crossing
- 40 million bunch crossings per sec
- 1 billion collisions per bunch
- L1 filters down to 100 000 events per sec
- L2 filters down to 3 000 events per sec
- L3 filters down to 200 events per sec → write to tape

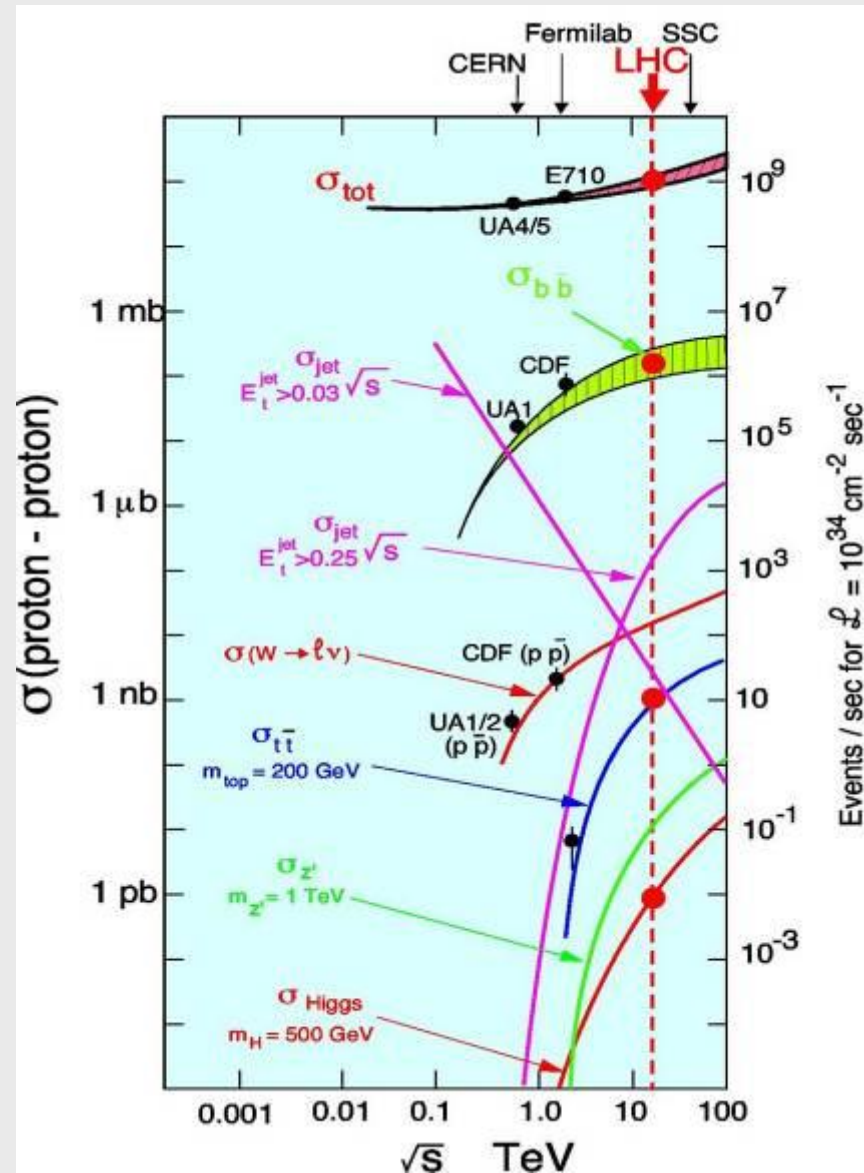
Reduction factor=400
Reduction factor=30
Reduction factor=15

Possible Physics the first year at Luminosity $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Inelastic p-p	10^8	10^{15}	
$W \rightarrow e\nu$	20	10^8	10^4 LEP/ 10^8 TeV
$Z \rightarrow ee$	2	10^7	10^7 LEP
tt	1	10^7	10^4 TeV
bb	10^6	10^{13}	10^9 Belle/BaBar
Higgs $m=120 \text{ GeV}$	0.04	10^5	
gluinos and squarks $m=1 \text{ TeV}$	0.0001	10^3	



Early Physics Landscape



Minimum bias (non-diffractive) cross section $\sim 70 \text{ mb}$

With 100 pb^{-1} “on tape”

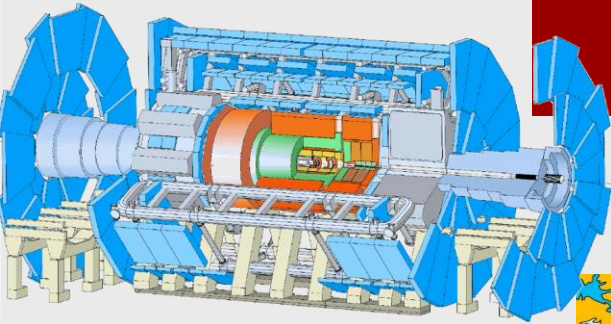
- $10^6 W \rightarrow e\nu$ and $W \rightarrow \mu\nu$
- $10^5 Z \rightarrow ee$ and $Z \rightarrow \mu\mu$
- $10^4 t\bar{t} \rightarrow qq\bar{b} (e/\mu)\nu\bar{b}$

Understanding the detector will be one major goal with these events

Discoveries will come, we expect - but only when we understand the data and the detector properly

Challenge: Large, distributed community

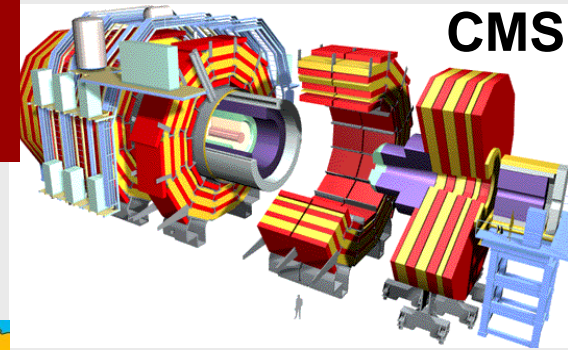
ATLAS



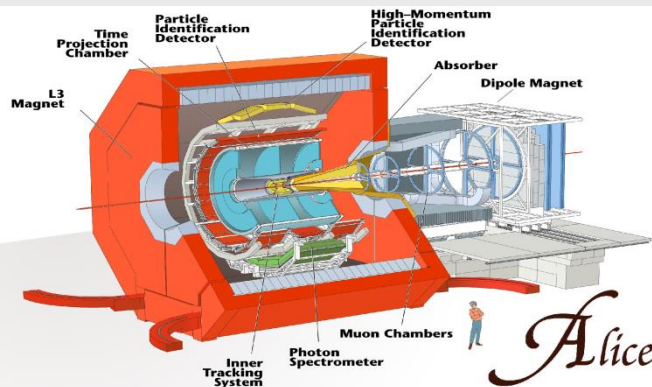
**“Offline” software effort:
1000 person-years
per experiment**



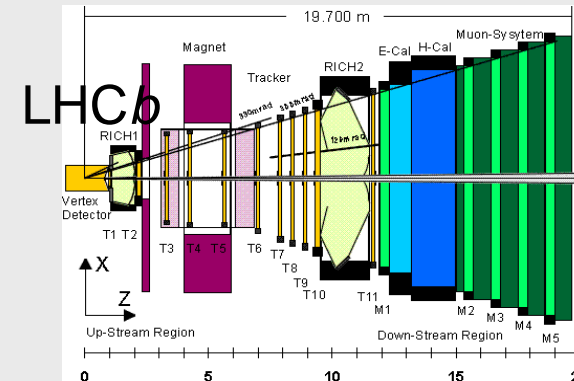
CMS



**Software
life span:
20 years**



**~ 5000 Physicists
around the world
- around the clock**



LHC users and participants Institutes

LCG: The worldwide Grid project



Europe: 267 institutes, 4603 users

Elsewhere: 208 institutes, 1632 users

GRID

Το GRID είναι ένα πρόγραμμα που χρηματοδοτείται από την Ε.Ε.

Σκοπός του είναι η κατασκευή ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ νέας γενιάς η οποία θα έχει την ικανότητα παροχής εντατικής υπολογιστικής ισχύος και ανάλυσης

Εφαρμογές για την καθημερινή πραγματικότητα



Κάλεσμα

Η επιστημονική κοινότητα ζει μοναδικές συναρπαστικές στιγμές ανακάλυψης νέων φαινομένων φυσικής με τη λειτουργία του Μεγάλου Αδρονικού Επιταχυντή LHC!!

Ελπίζουμε ότι πολλοί από εσάς θα εμπνεύσετε στην τάξη σας τους,

ΝΕΑΡΟΥΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥΣ/ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ!!!,

Που θα μας συνοδεύσουν σε αυτή την περιπέτεια των νέων ανακαλύψεων!!