



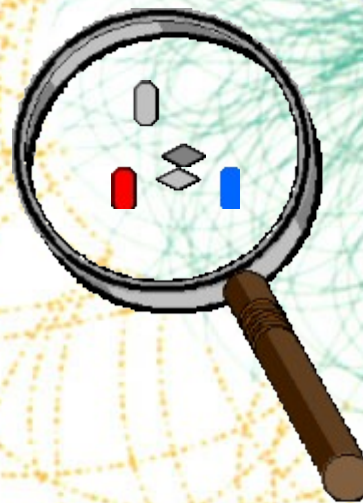
... από τι είμαστε φτιαγμένοι

σύγχρονες θεωρίες, πειράματα και εφαρμογές της
Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων

Νίκος Τράκας
Ομότιμος Καθηγητής
Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών
ΕΜΠ



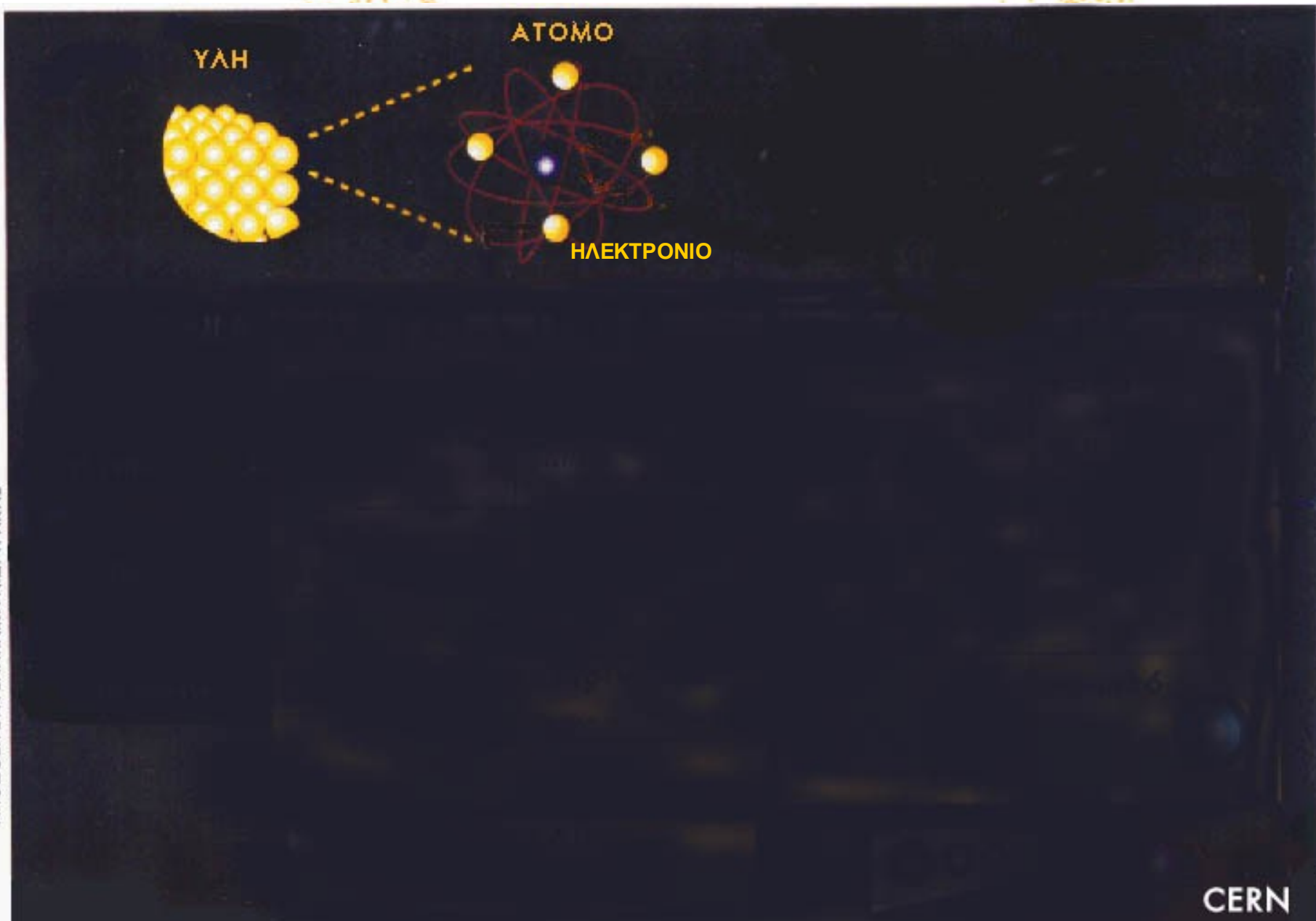
Ο Πίνακας των στοιχειωδών σωματιδίων



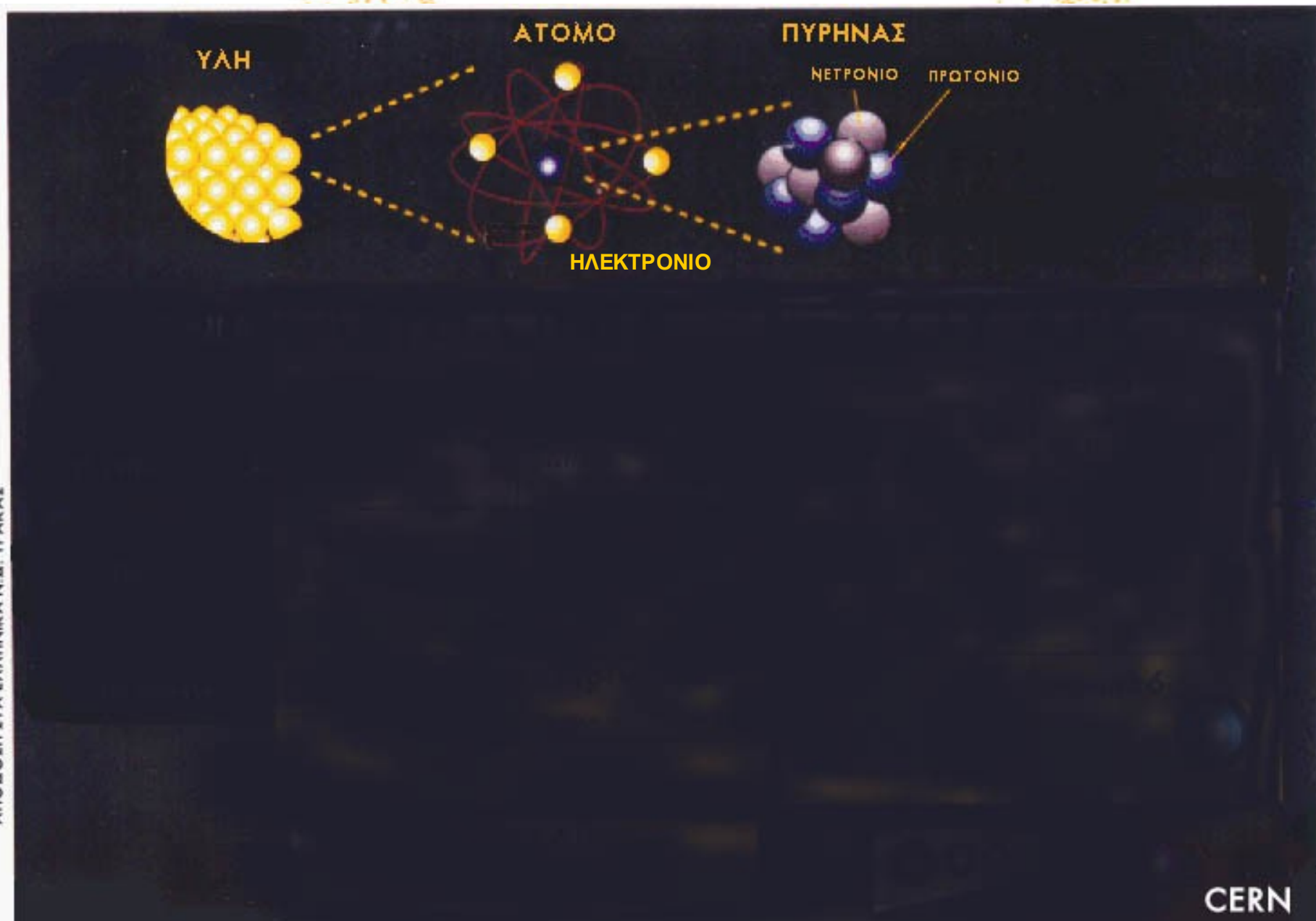
ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
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 Mb	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	⁵⁷⁻⁷¹ * λανθανίδες	⁷² Hf	⁷³ Ta	⁷⁴ W	⁷⁵ Re	⁷⁶ Os	⁷⁷ Ir	⁷⁸ Pt	⁷⁹ Au	⁸⁰ Hg	⁸¹ Th	⁸² Pb	⁸³ Bi	⁸⁴ Po	⁸⁵ At	⁸⁶ Rn
7	⁸⁷ Fr	⁸⁸ Ra	⁸⁹⁻¹⁰³ ** ακτινίδες	¹⁰⁴ Rf	¹⁰⁵ Db	¹⁰⁶ Sg	¹⁰⁷ Bh	¹⁰⁸ Hs	¹⁰⁹ Mt	¹¹⁰ Ds	¹¹¹ Rg	¹¹² Uub						
λανθανίδες			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	
ακτινίδες			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	

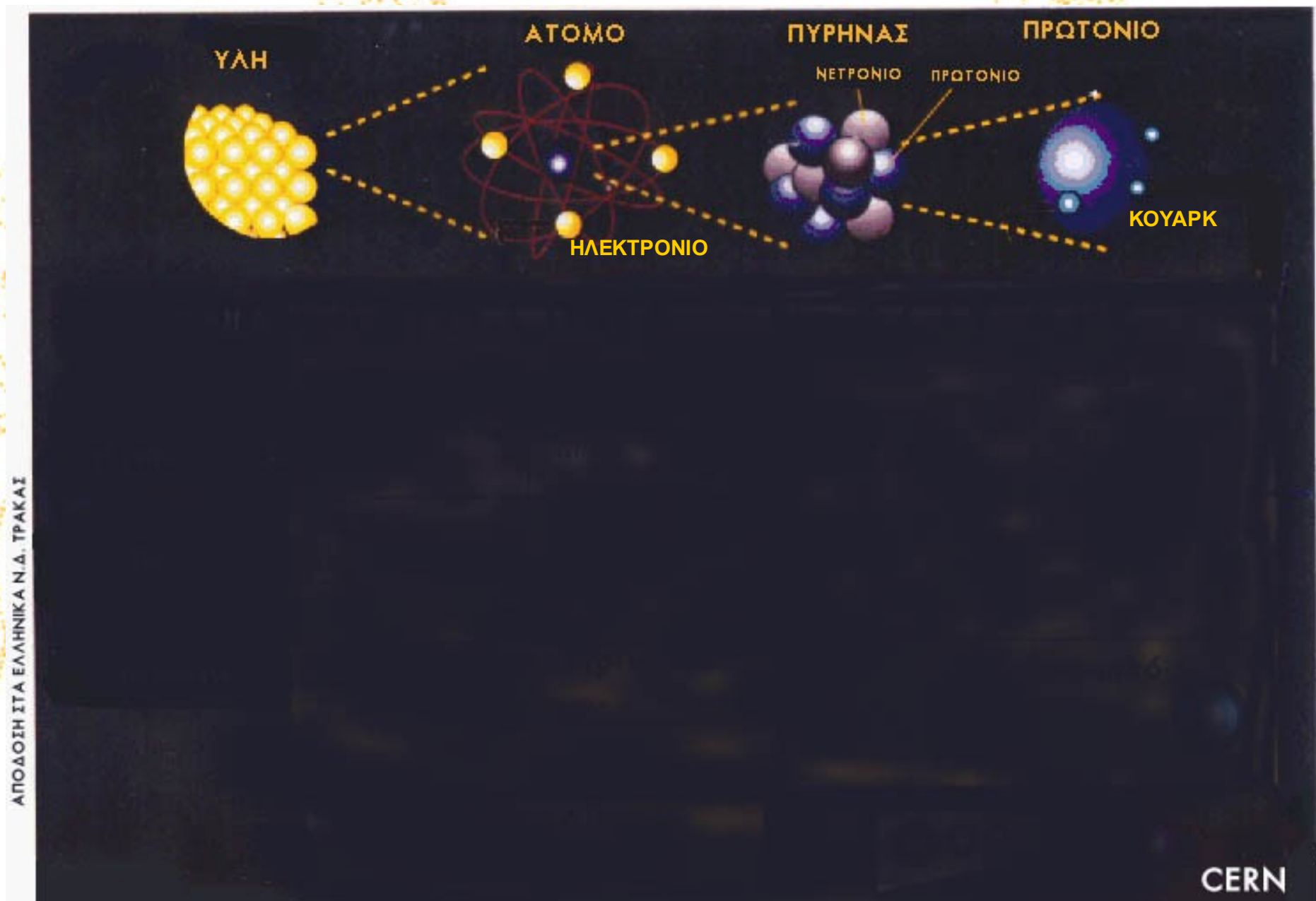
μέταλλα
 αμέταλλα
 ευγενή αέρια

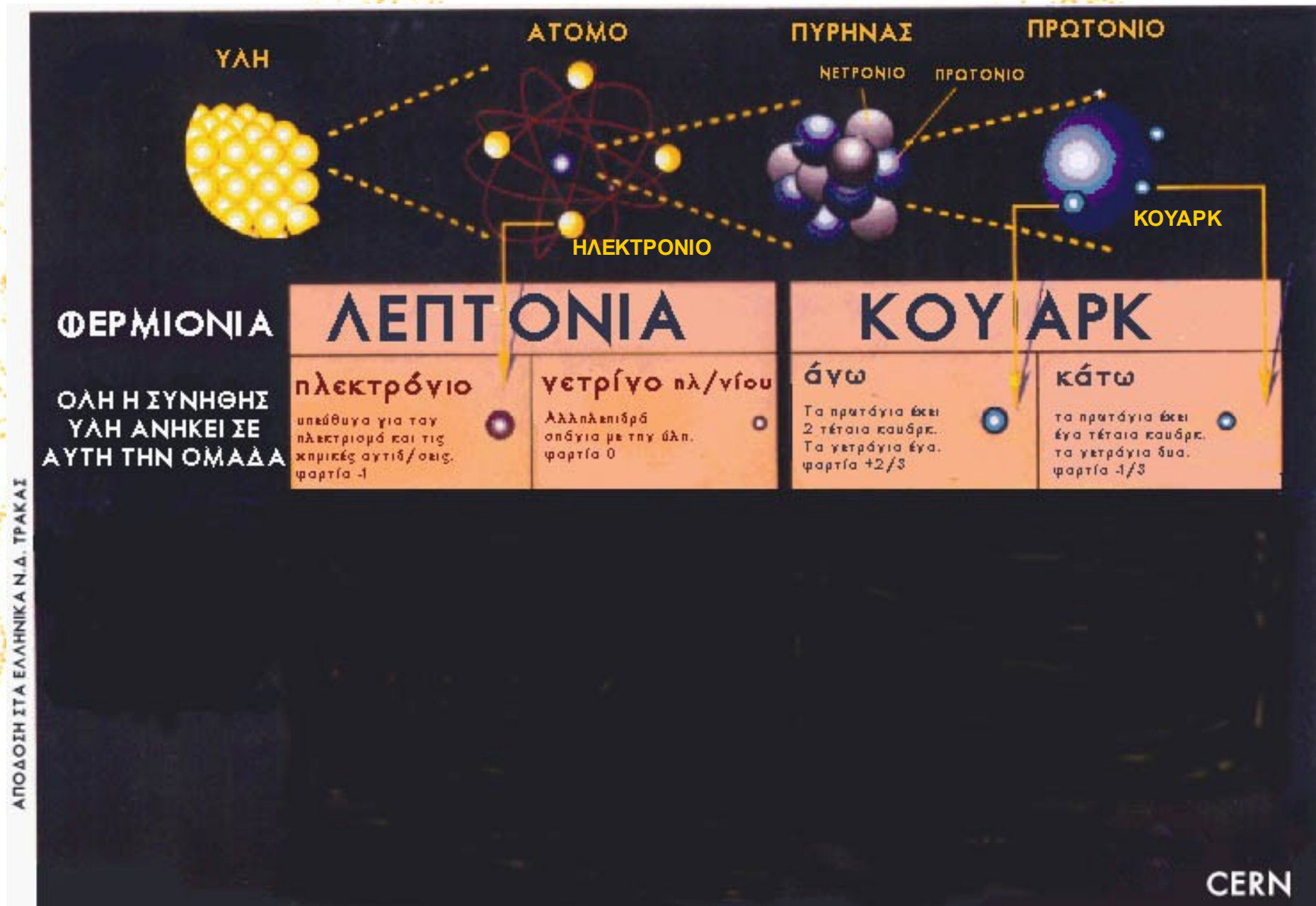


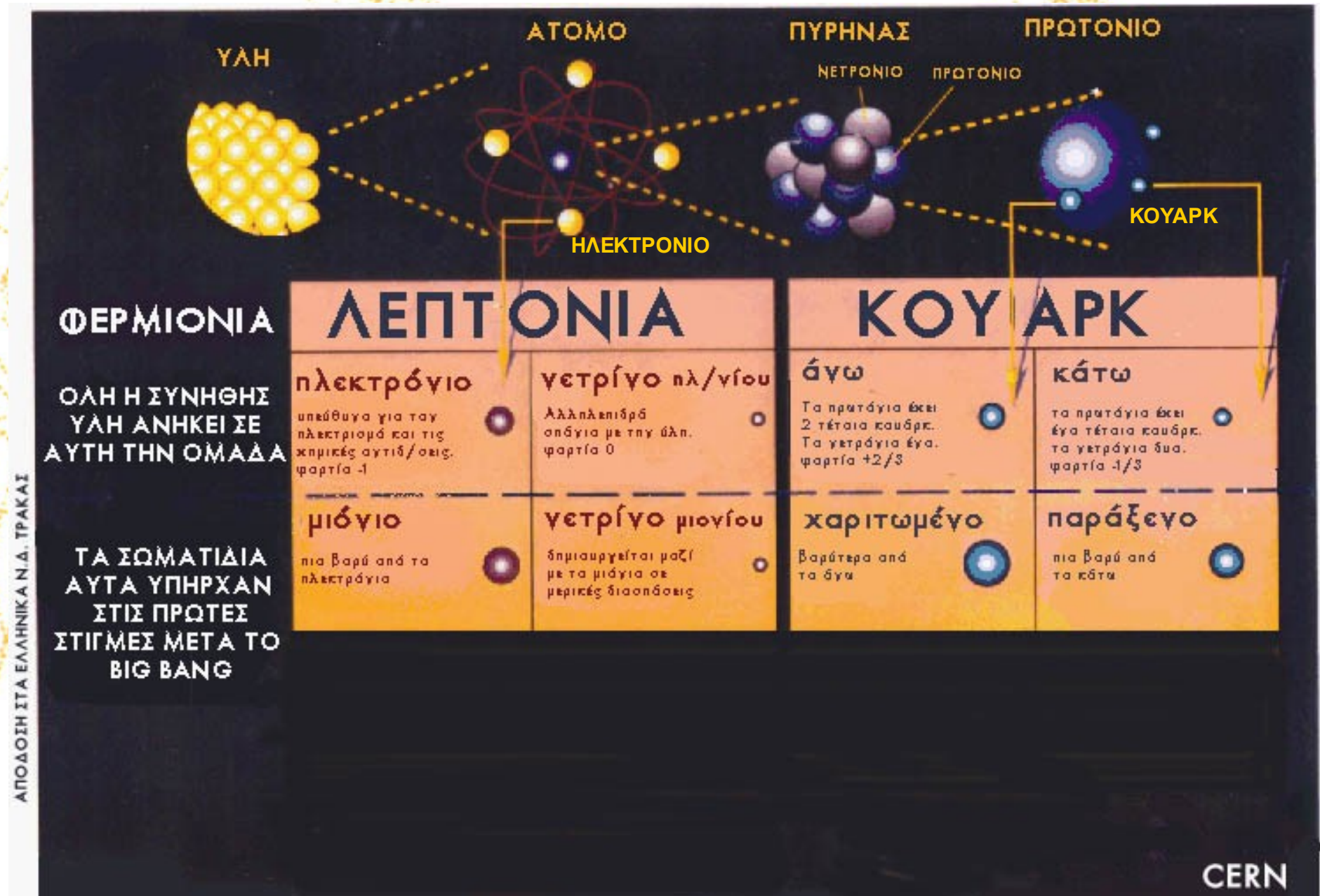
ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ Ν.Δ. ΤΡΑΚΑΣ

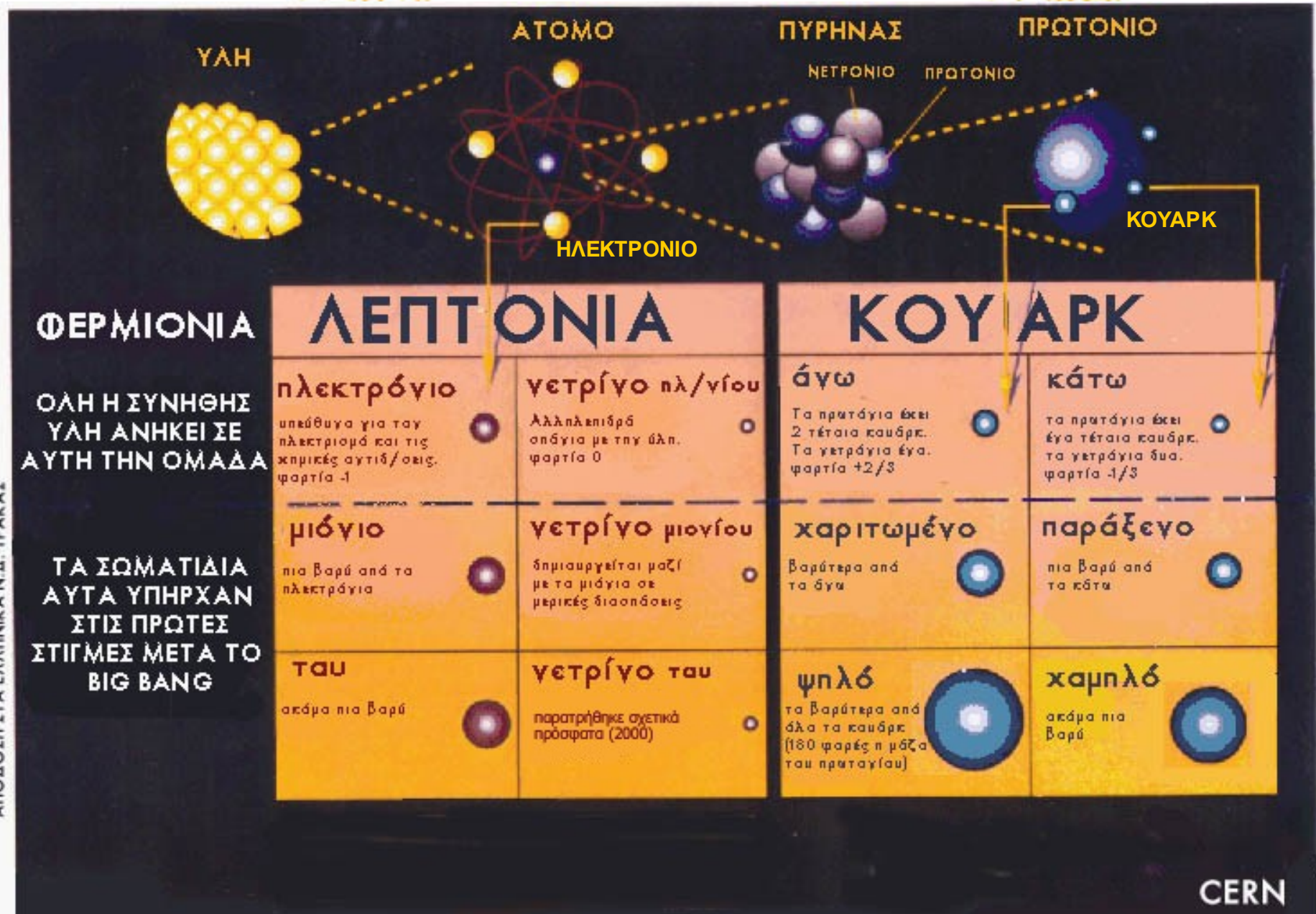


ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ Ν.Δ. ΤΡΑΚΑΣ









ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ Ν.Δ. ΤΡΑΚΑΣ

ΑΤΟΜΟ ΠΥΡΗΝΑΣ ΠΡΩΤΟΝΙΟ

ΦΕΡΜ...

ΟΛΗ Η...
ΥΛΗ Α...
ΑΥΤΗ ΤΙ...

ΤΑ Σ...
ΑΥΤΑ...
ΣΤΙΣ...
ΣΤΙΓΜΕ...
ΒΙΟ...

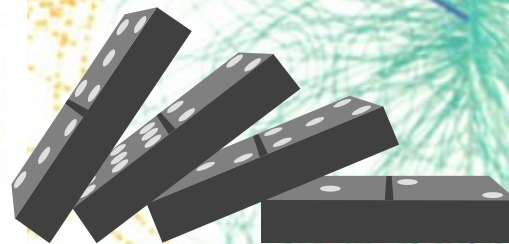
$$F_k = m \frac{v^2}{R}$$

ΑΝΤΙΤΗΛΗ
Για κάθε σωματίδιο υπάρχει
και το αντισωματίδιό του

CERN



... και οι αλληλεπιδράσεις τους



ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ			ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ			ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΤΙΒΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ
ΒΑΡΥΤΗΤΑ			ΟΥΡΑΝΙΑ ΣΩΜΑΤΑ

ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ			ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΙΣΧΥΡΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ			ΑΤΟΜΙΚΟΥΣ ΠΥΡΗΝΕΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ			ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΤΙΒΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ
ΑΣΘΕΝΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ			ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟ ΔΙΑΣΠΑΣΗ Β
ΒΑΡΥΤΗΤΑ			ΟΥΡΑΝΙΑ ΣΩΜΑΤΑ

ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ		ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΙΣΧΥΡΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-1		ΑΤΟΜΙΚΟΥΣ ΠΥΡΗΝΕΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-10^{-3}		ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΤΙΒΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ
ΑΣΘΕΝΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-10^{-5}		ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟ ΔΙΑΣΠΑΣΗ Β
ΒΑΡΥΤΗΤΑ	-10^{-38}		ΟΥΡΑΝΙΑ ΣΩΜΑΤΑ

ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ (ΚΒΑΝΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ)	ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΙΣΧΥΡΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (κουάρκ)	-1	8 ΓΚΛΟΥΟΝΙΑ (ΑΜΑΖΑ) ●	ΑΤΟΜΙΚΟΥΣ ΠΥΡΗΝΕΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (φορτισμένα)	-10^{-3}	ΦΩΤΟΝΙΟ (ΑΜΑΖΟ) ●	ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΤΙΒΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ
ΑΣΘΕΝΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (κουάρκ, λεπτόνια)	-10^{-5}	ΜΠΟΖΟΝΙΑ Z, W^+, W^- (ΜΕΓΑΛΗ ΜΑΖΑ)	ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟ ΔΙΑΣΠΑΣΗ Β
ΒΑΡΥΤΗΤΑ (όλα)	-10^{-38}	ΓΚΡΑΒΙΤΟΝΙΑ (;)	ΟΥΡΑΝΙΑ ΣΩΜΑΤΑ



Η ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΕΙΝΑΙ ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ

CERN



... από το 1967 (Weinberg, Salam, Glashow)

ηλεκτρομαγνητική
ηλεκτροασθενής
αλληλεπίδραση

ασθενής
αλληλεπίδραση

... με τη βοήθεια του σωματιδίου *higgs* που επιτρέπει στα W και Z να έχουν μάζα ενώ το φωτόνιο παραμένει άμαζο

... τα πειράματα που ξεκίνησαν το φθινόπωρο του 2009 είχαν ως κύριο σκοπό την ανακάλυψη του σωματιδίου *higgs*, η οποία (ανακάλυψη) ανακοινώθηκε τον Ιούλιο του 2012



... και άλλη μια διευκρίνιση

... η ισχυρή πυρηνική αλληλεπίδραση μεταξύ των νουκλεονίων (και των άλλων αδρονίων) αντικαθίσταται από την:

**Κβαντική
Χρωμοδυναμική (Gross,
Politzer, Wilzcek)**

... που περιγράφει τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα κουαρκ



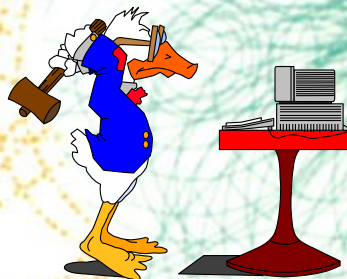
... οι τρεις γενιές των σωματιδίων και το higgs, η Ηλεκτρασθενής αλληλεπίδραση και η Κβαντική Χρωμοδυναμική αποτελούν το:

Καθιερωμένο Πρότυπο (Standard Model)

... που συμφωνεί (με μεγάλη ακρίβεια) με όλα τα έως σήμερα πειράματα



... και τα πειράματα πώς γίνονται;





**... τα σύγχρονα πειράματα
απαιτούν**

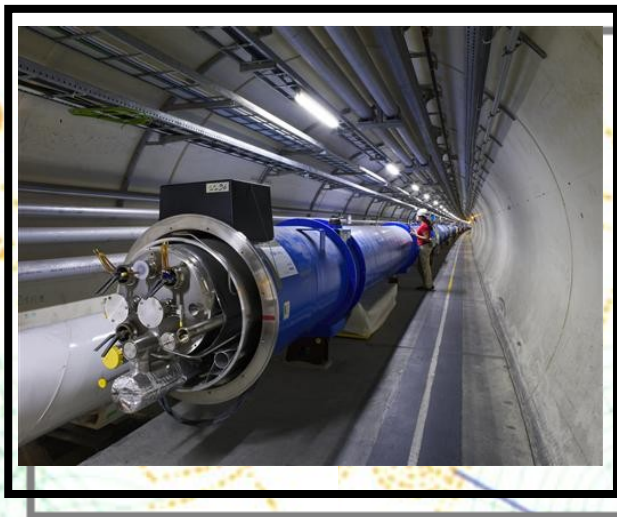
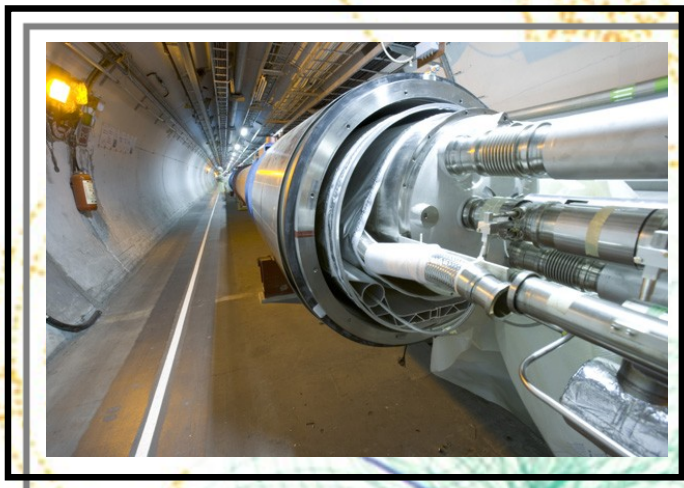
επιταχυντές



ανιχνευτές



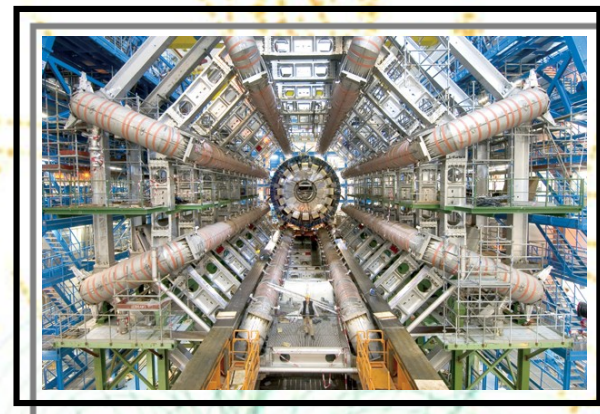
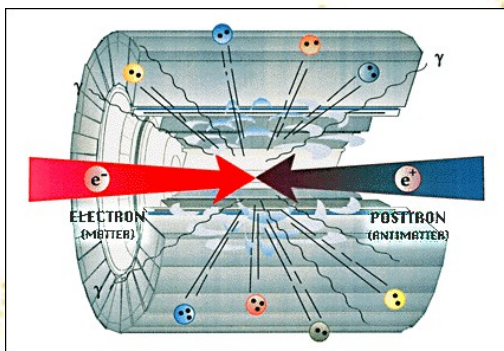




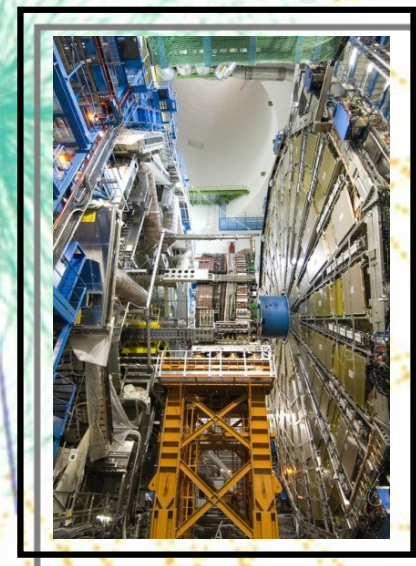
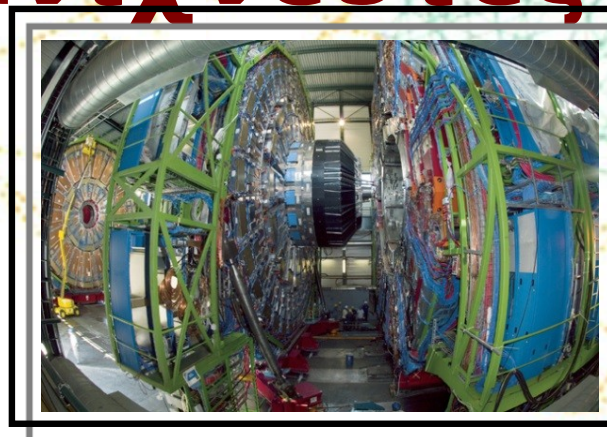
LHC



... βιβλίο Guinness

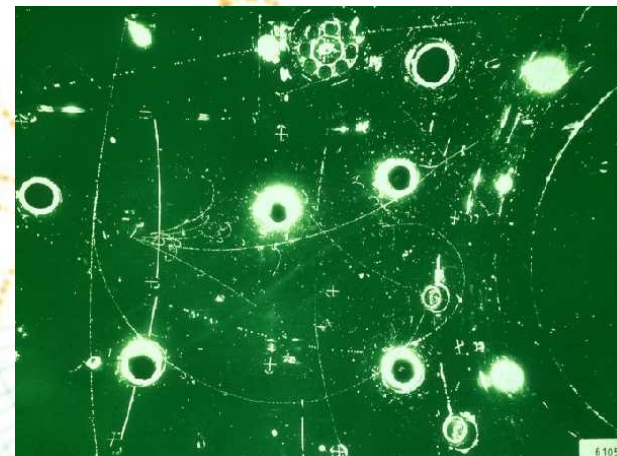


ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ

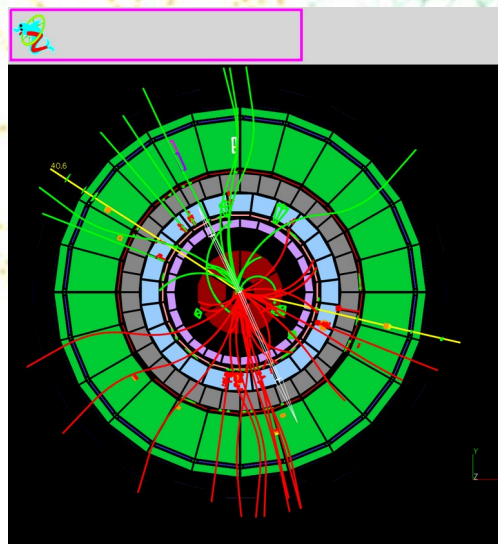
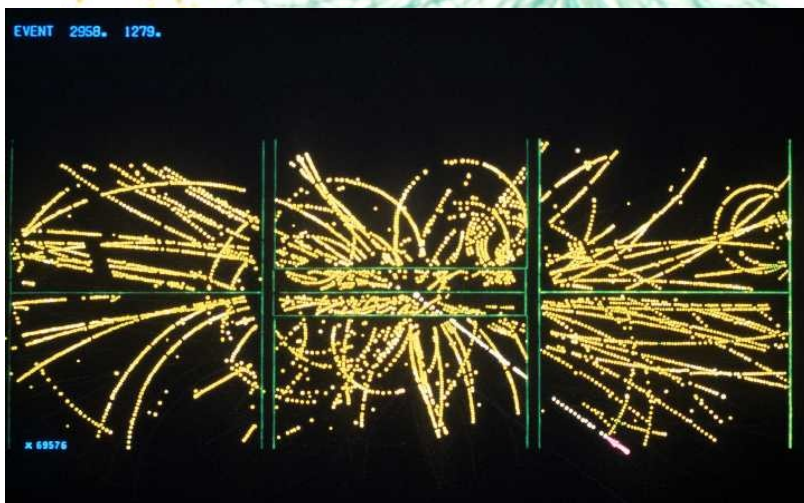
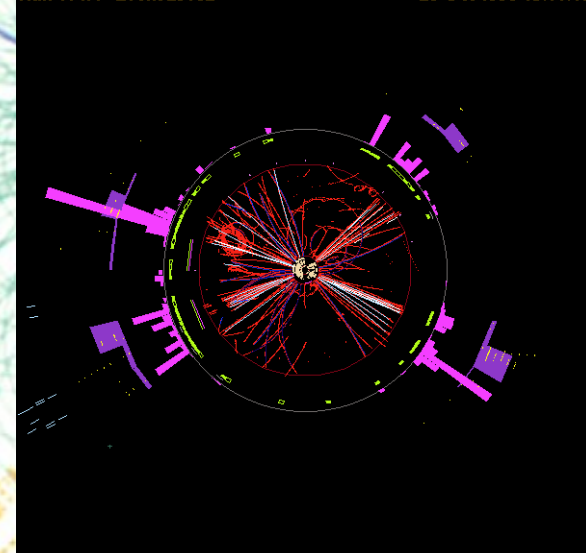




... πώς λειτουργούν οι ανιχνευτές



Run 10477 Event 29062 26 Oct 1998 15:11:40





... δικαιολογούνται τέτοια κονδύλια για βασική έρευνα;

επιταχυντής LHC:
6 δισ. €

κόστος 10 χρόνων
λειτουργίας του LHC

κατασκευή και κόστος
10 χρόνων λειτουργίας
του LHC

υπόσχεση στις Ελληνικές
τράπεζες το 2010:
29 δισ. €

3 ημέρες πόλεμος
το Ιράκ



κόστος ενός
αεροπλανοφόρου



... εφαρμογές

ιατρική


ακτινογραφίες
τομογραφία (PET)



επιταχυντές-
θεραπεία καρκίνου

μαγνήτες



υπεραγώγιοι
μαγνήτες



θερμοκρασία
υγρού He


ηλεκτρικό ρεύμα
10 000A

οθόνες αφής
fast bus



έλεγχος επιταχυντών

έλεγχος ανυψωτών



ηλεκτρονικά

WWW

Tim Berners-Lee



παγκόσμιος ιστός



Χρόνος	Αριθμός εξυπηρετητών
1990	0
1991	0
1992	0
1993	0
1994	~100
1995	~1000
1996	~10000

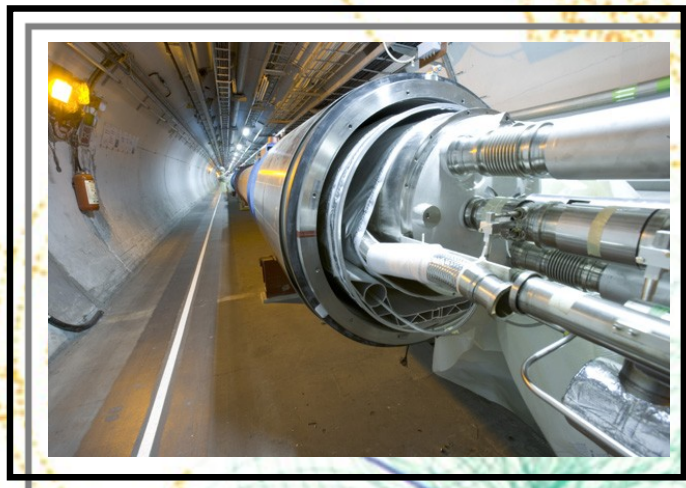


**... η σημερινή βασική
έρευνα
είναι ο “σπόρος” της
αυριανής τεχνολογίας**

**σας
ευχαριστώ**



International
Particle Physics
Outreach Group



ΕΥΣ
ΡΗΥ
Gro

... βιβλίο Guinness

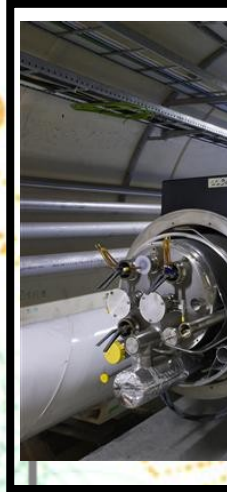
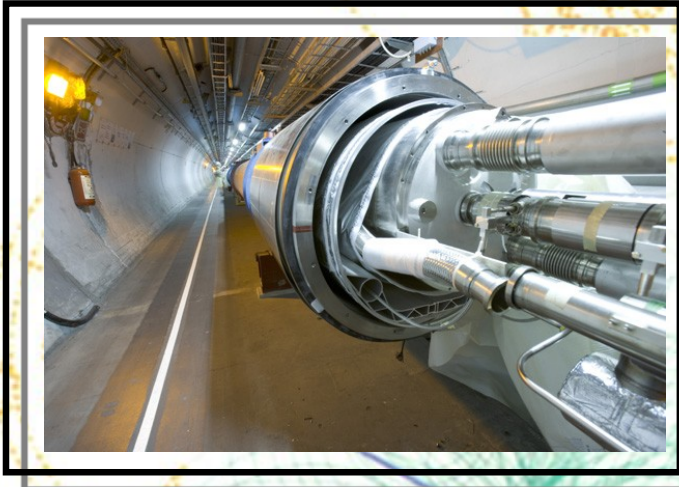
Νίκος Τράκας
ΣΕΜΦΕ/ΕΜΠ



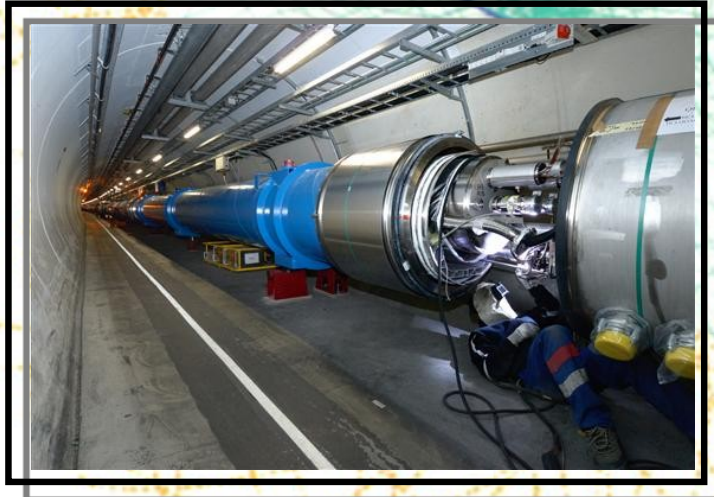
Περικλή 20 Απριλίου 202



International
Particle Physics
Outreach Group



LH



Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
ΦΡΗΥ
:h Gro

... βιβλίο Guinness

Νίκος Τράκας
ΣΕΜΦΕ/ΕΜΠ



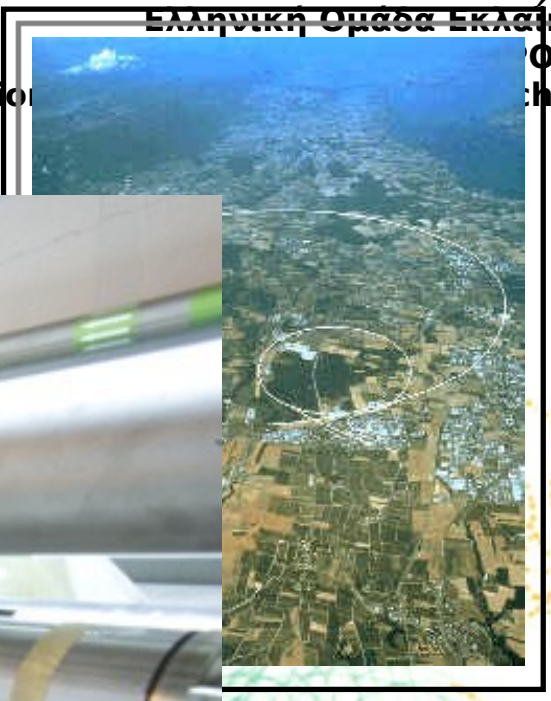
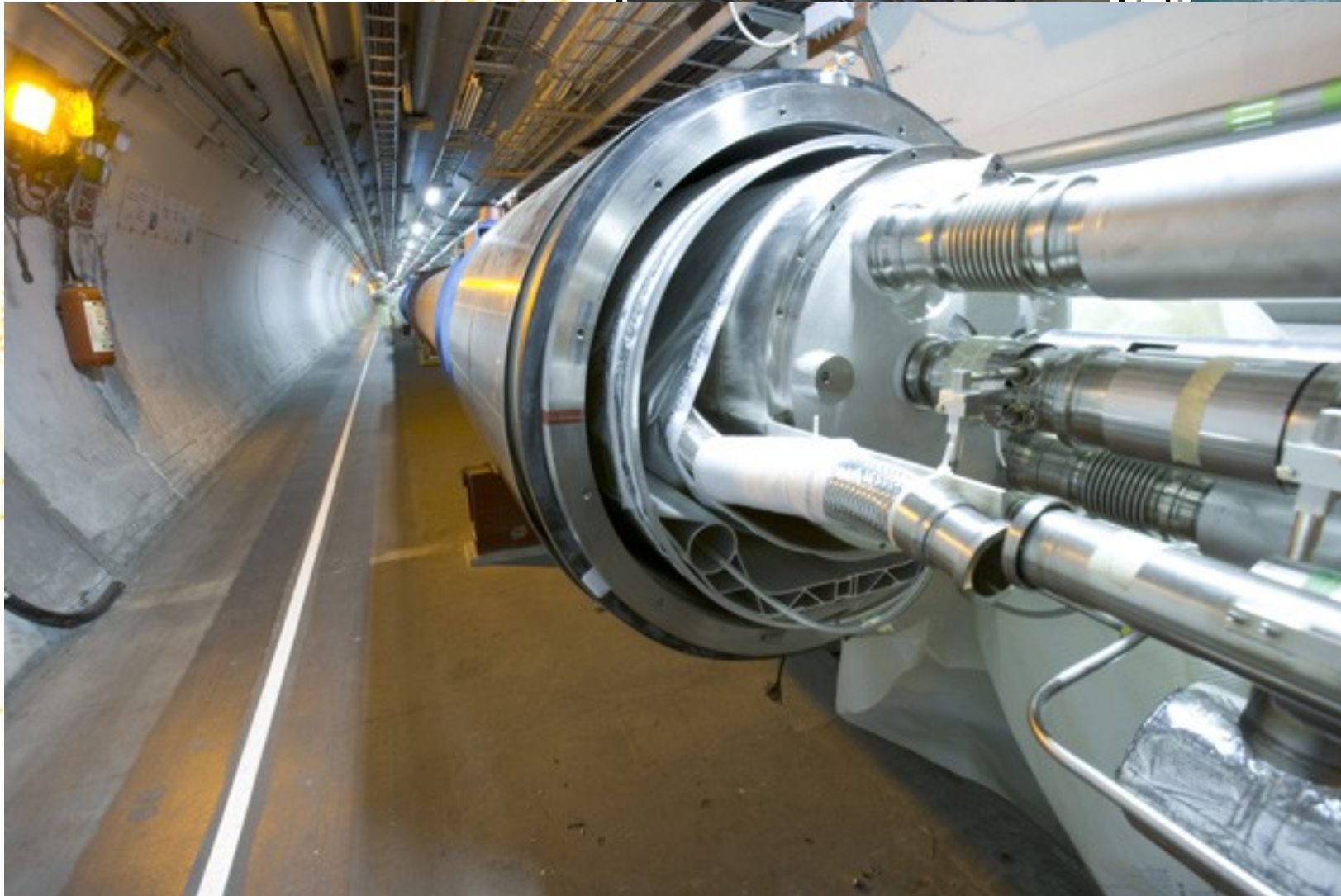
Πέμπτη 20 Απριλίου 202



International
Particle Physics
Outreach Group

International

Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
IPPOG
Outreach Group



... βιβλίο Guinness

Νίκος Τράκας
ΣΕΜΦΕ/ΕΜΠ



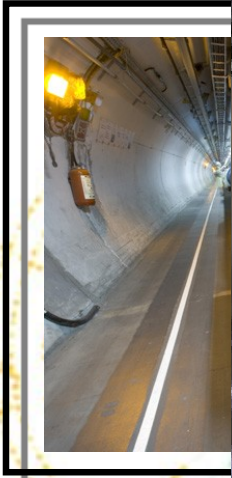
Πέμπτη 20 Απριλίου 2023



International
Particle Physics
Outreach Group

International

Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
IPPOG
Outreach Group



... βιβλίο Guinness

Νίκος Τράκας
ΣΕΜΦΕ/ΕΜΠ



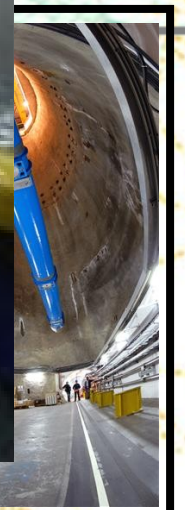
Πέμπτη 20 Απριλίου 2023



International
Particle Physics
Outreach Group

International

Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
IPPOG
Outreach Group



... βιβλίο Guinness

Νίκος Τράκας
ΣΕΜΦΕ/ΕΜΠ



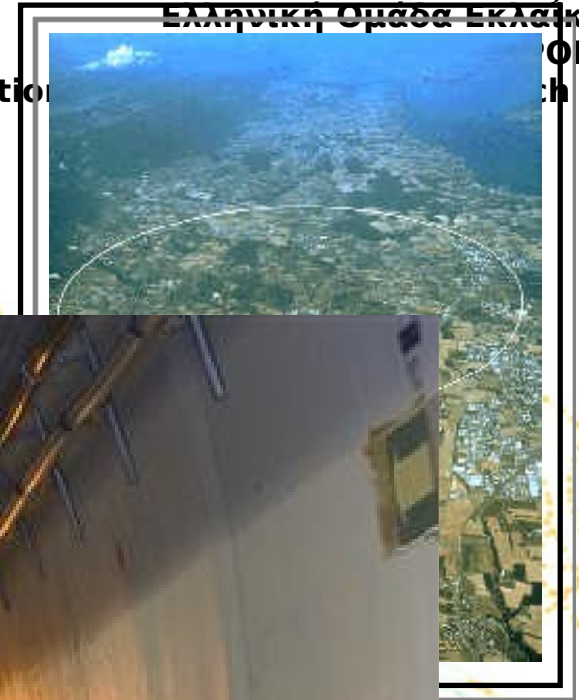
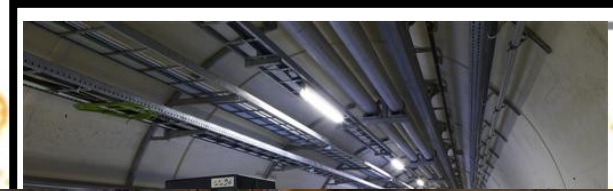
Πέμπτη 20 Απριλίου 202



International
Particle Physics
Outreach Group

International

Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
IPPOG
Outreach Group



... β

Νίκος Τράκας
ΣΕΜΦΕ/ΕΜΠ



Πέμπτη 20 Απριλίου 202



... LHC καταχωρίσεις στο Βιβλίο Guinness

τα πρωτόνια, σε
20', αποκτούν
ταχύτητα ...
η ελεύθερη διαδρομή
ενός πρωτονίου
είναι ...
τα ρεύμα που
διαρρέει τους
μαγνήτες είναι ...
Η θερμοκρασία των
μαγνητών καμπύλωσης
κατανάλωση ενέργειας
του LHC ...

0,999999991

9 10 ώρες πηγαίνουν και
γυρίζουν από τον Πλούτωνα

1 έτος
φωτός

7 000 - 10 000
A

-270 °C

(2 °K)
οικιακή κατανάλωση
του καντονιού της

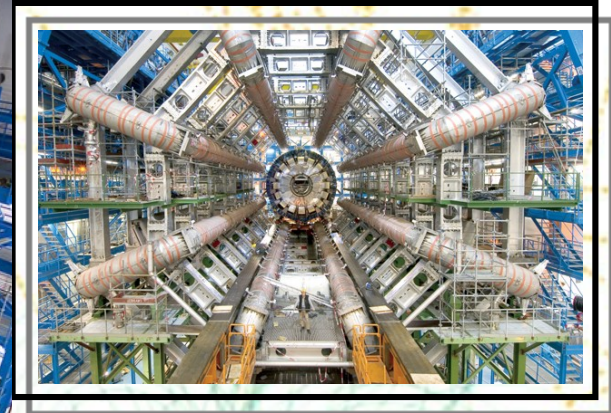
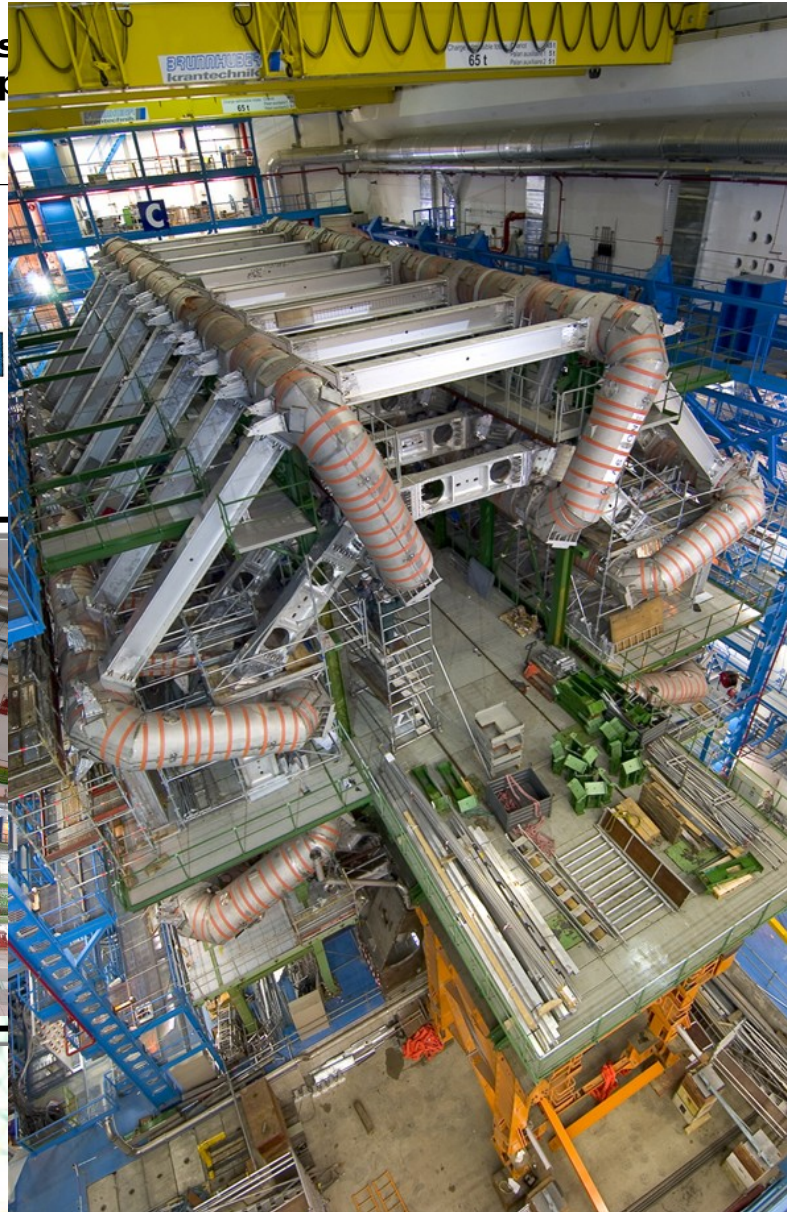
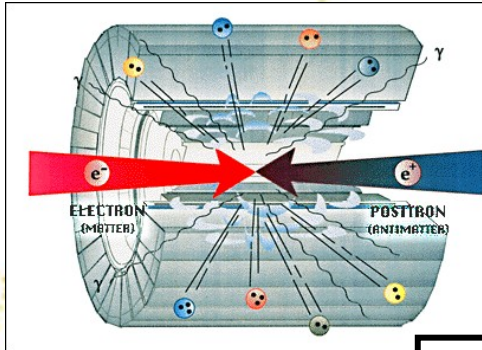
Γενεύης



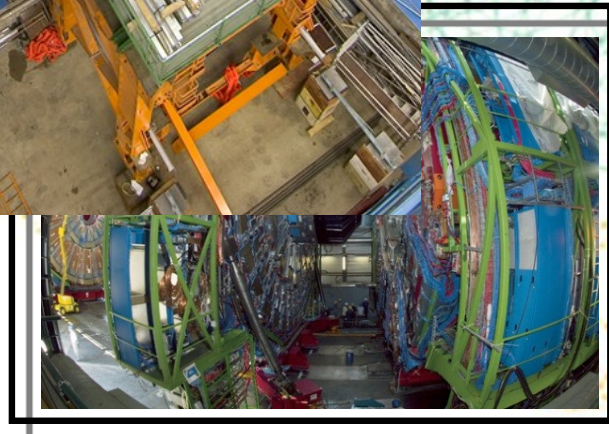
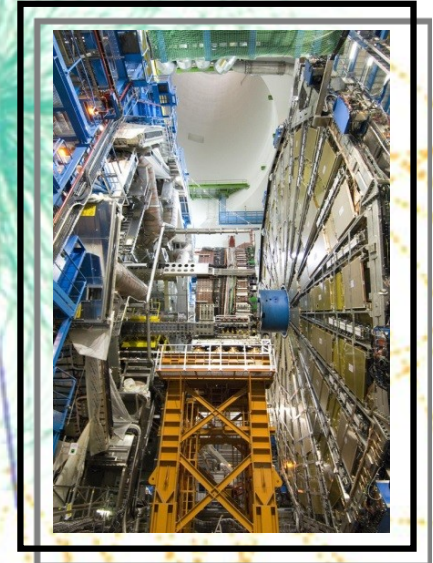


International
Particle Physics
Outreach Group

Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
www.physics.ntua.gr/POPPH
International Particle Physics Outreach Group



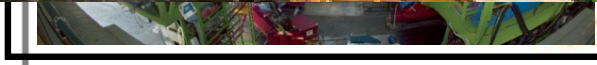
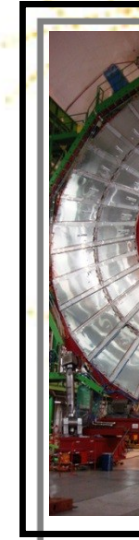
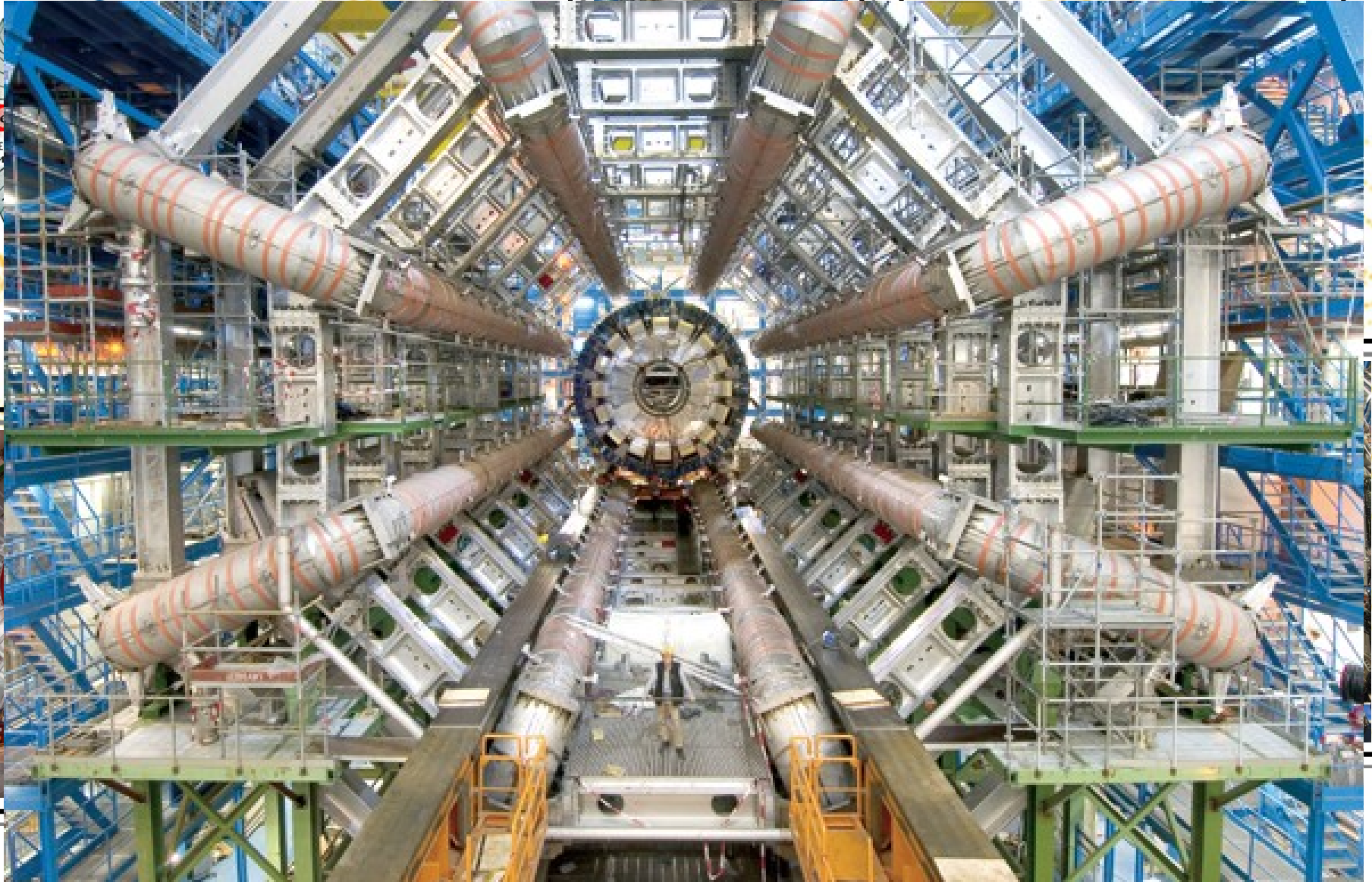
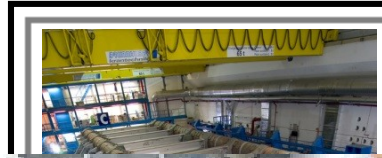
πές





International
Particle Physics
Outreach Group

Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
www.physics.ntua.gr/POPPH
International Particle Physics Outreach Group



Νίκος Τράκας
ΣΕΜΦΕ/ΕΜΠ

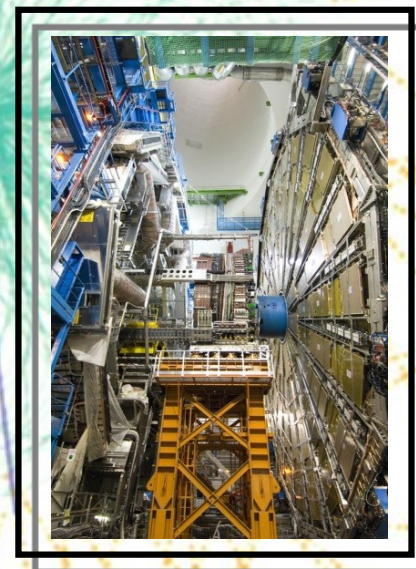
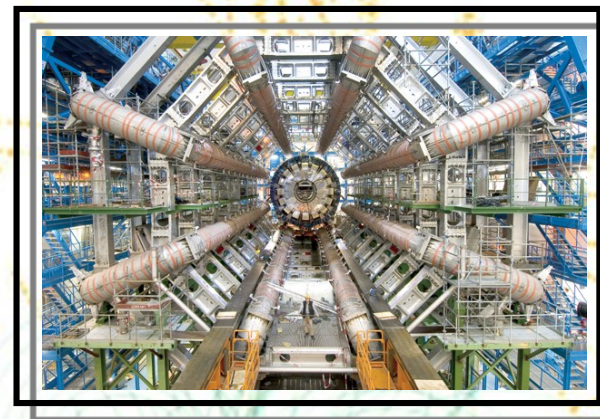
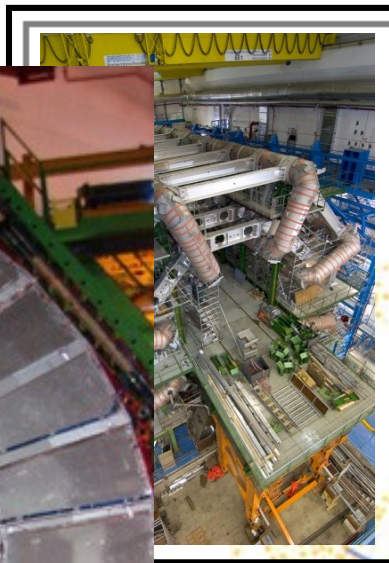
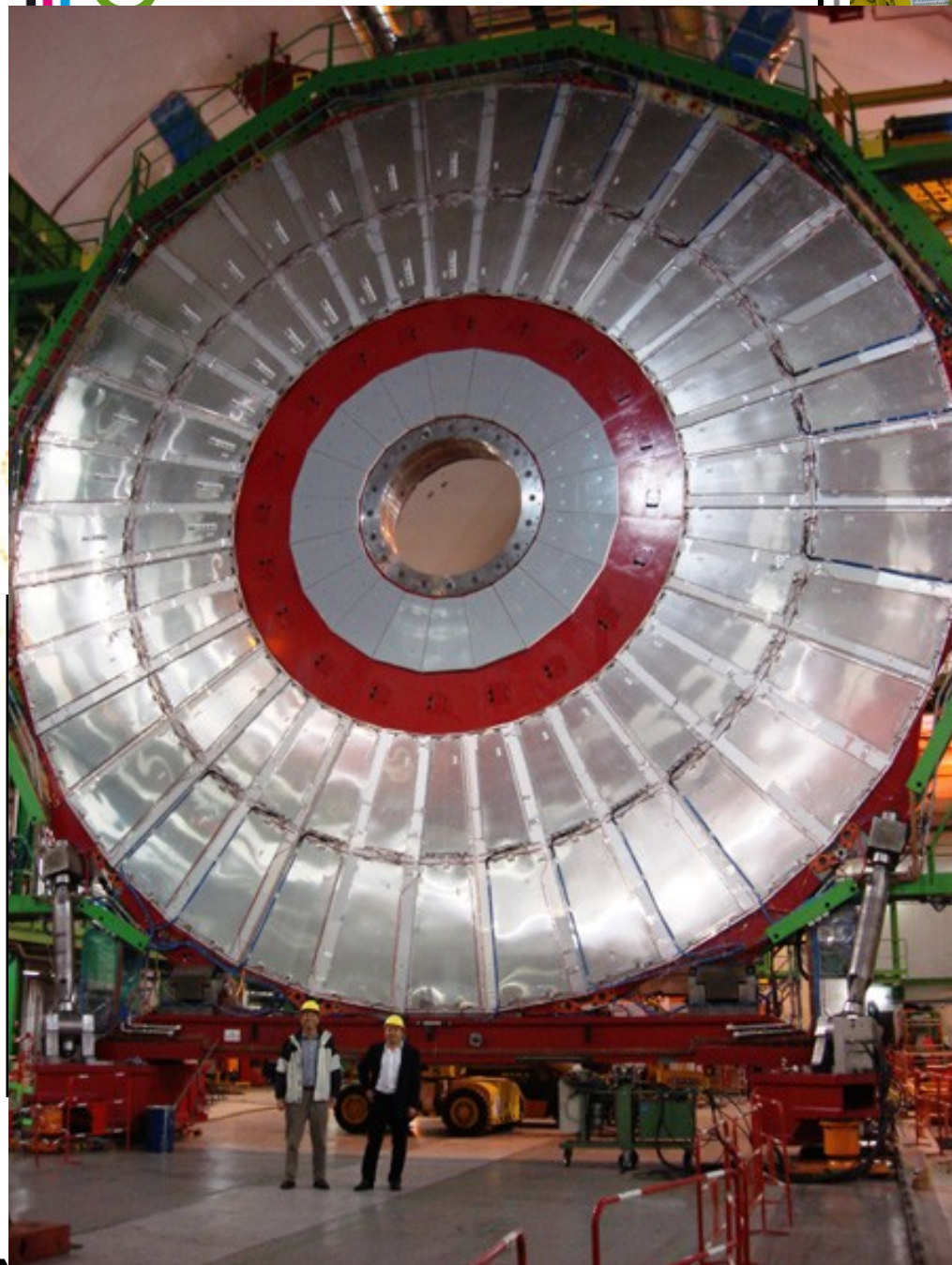


Πέμπτη 20 Απριλίου 202

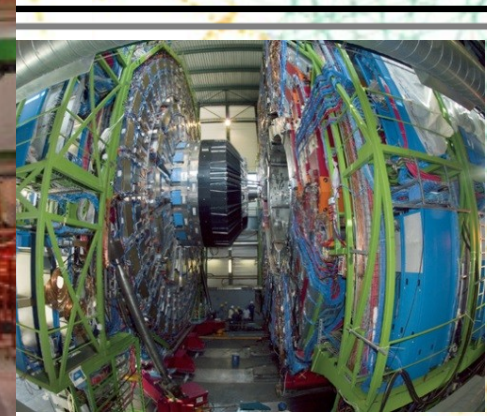


International
Particle Physics
Outreach Group

Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
www.physics.ntua.gr/POPPH
International Particle Physics Outreach Group



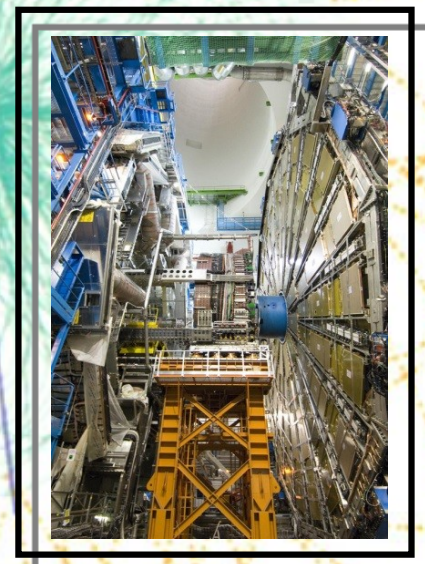
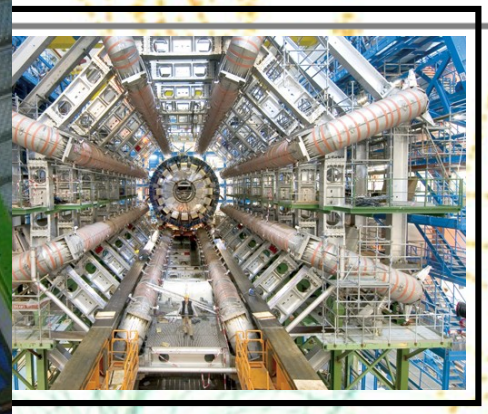
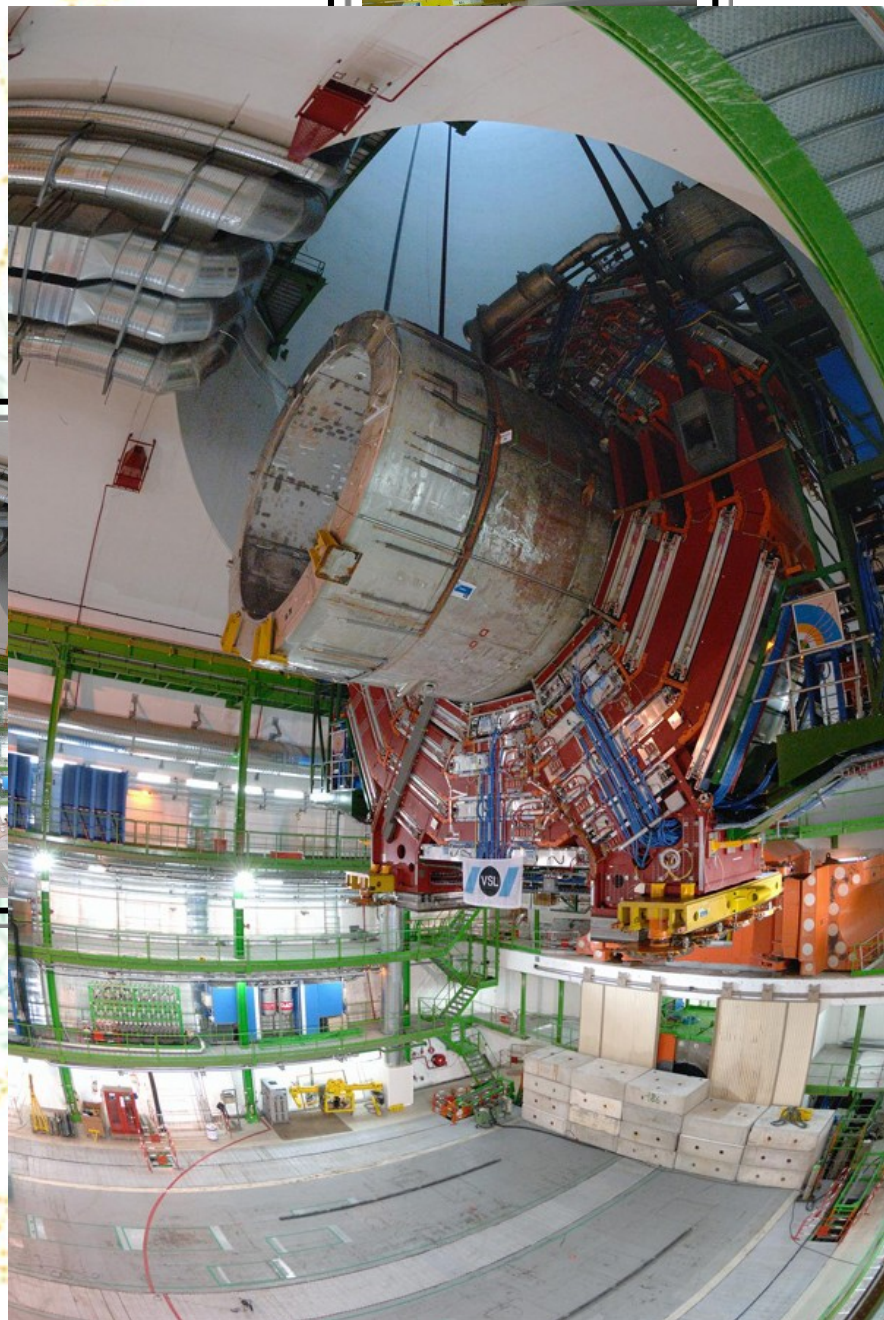
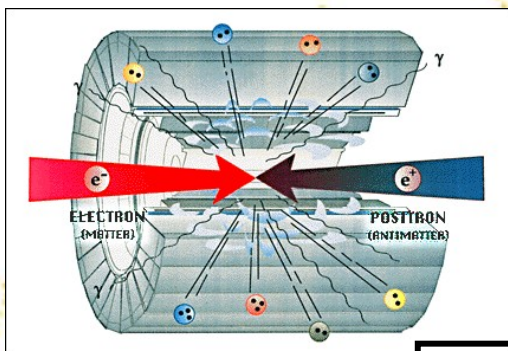
ΧΗΜΕΥΤΕΣ





International
Particle Physics
Outreach Group

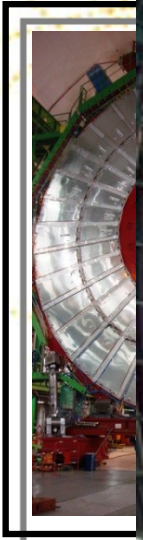
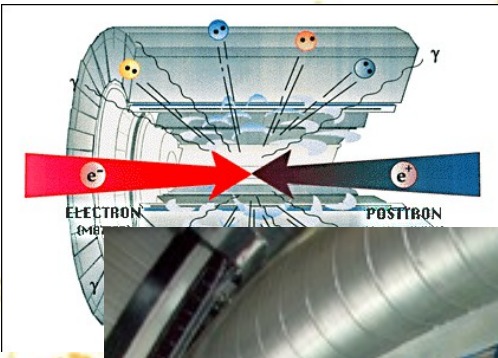
Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
www.physics.ntua.gr/POPPH
International Particle Physics Outreach Group





International
Particle Physics
Outreach Group

Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
www.physics.ntua.gr/POPPHY
International Particle Physics Outreach Group

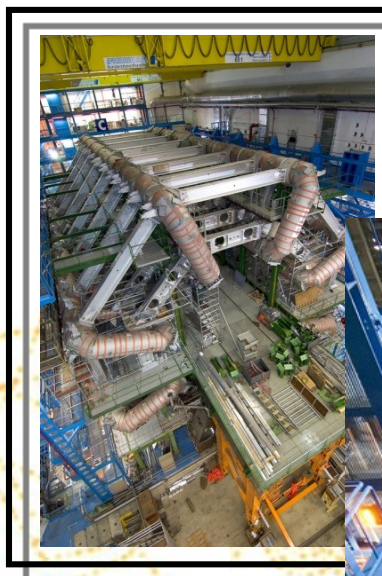
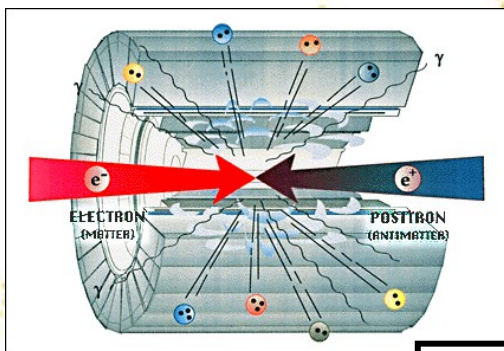




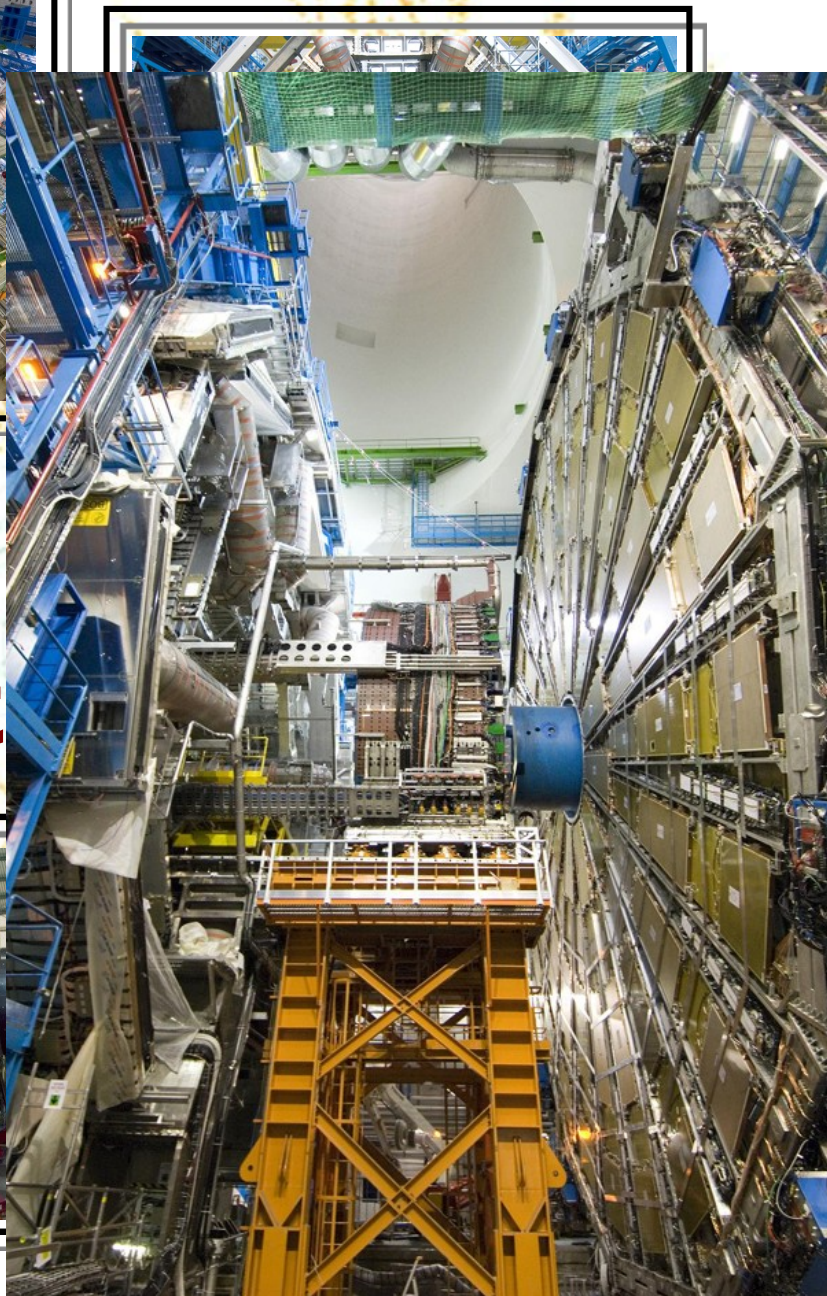
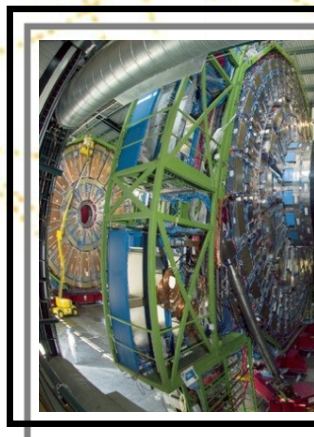
International
Particle Physics
Outreach Group

Ελληνική Ομάδα Εκπαίδευσης
www.physics.ntua.gr/POPPHY

International Particle Physics Outreach Group



...
ΑΝΙΧΝΕ





ιατρικ
ή

μαγνήτ
ες

...
εφαρμογές

ακτινογραφίες

τομογραφία (PET)



επιταχυντές-
θεραπεία καρκίνου

Tim Berners-Lee
Tim Berners-Lee

έλεγχος ανηλευστών



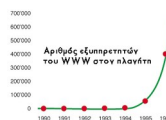
ηλεκτρονικ
ά

WWW

Tim Berners-Lee



παγκόσμιος ιστός







... εφαρμογές

ιατρική

ακτινογραφίες
τομογραφία (PET)



επιταχυντές-θεραπεία καρκίνου





μαγνήτες

υπεραγώγιοι μαγνήτες

θερμοκρασία υγρού He

ηλεκτρικό ρεύμα 10 000A

έλεγχος επιταχυντή

WWW

Tim Berners-Lee



παγκόσμιος ιστός




Χρόνος	Αριθμός εξυπηρετητών
1990	0
1991	~100
1992	~1000
1993	~10000
1994	~100000
1995	~1000000
1996	~4000000




εφαρμογές

ιατρική

ακτινογραφίες
τομογραφία (PET)



επιταχυντές-θεραπεία καρκίνου



οθόνες αφής
fast bus




έλεγχος επιταχυντών



έλεγχος ανιχνευτών



θερμοκρασία υγρού He

ηλεκτρικό ρεύμα 1000A

ηλεκτρονικά

WWW

Tim Berners-Lee



παγκόσμιος ιστός




Χρόνος	Αριθμός εξυπηρετητών
1990	0
1991	0
1992	0
1993	0
1994	~1000
1995	~10000
1996	~100000




... εφαρμογές

ιατρική

ακτινογραφίες
τομογραφία (PET)



επιταγόντες-θεραπεία καρκίνου

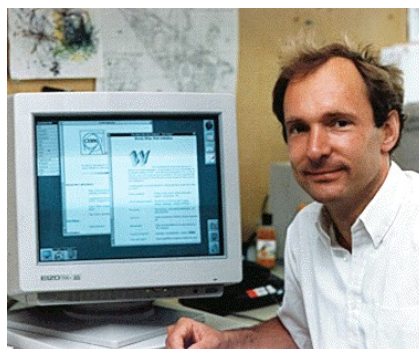


μαγνήτες



έλεγχος επι

Tim Berners-Lee



παγκόσμιος ιστός

WWW





η ανάγκη του σωματιδίου Higgs

θεωρίες που “ευελπιστούν” να περιγράψουν τη φύση πρέπει να είναι και αυτοσυνεπείς (να μην οδηγούν σε αφύσικα συμπεράσματα).

πρέπει να υπακούν ορισμένους κανόνες

έως σήμερα, γνωρίζουμε μόνο ένα τύπο θεωριών που υπακούουν αυτούς τους κανόνες: τις θεωρίες βαθμίδας

οι θεωρίες βαθμίδας δεν επιτρέπουν στους φορείς της αλληλεπίδρασης να έχουν μάζα. δηλαδή: οι μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν τη θεωρία δεν επιτρέπουν ό,τι απαιτείται για την περιγραφή ενός σωματιδίου με μάζα.

για τον ηλεκτρομαγνητισμό (με το άμαζο φωτόνιο) όλα “εν τάξει”.

για την ασθενή αλληλεπίδραση (με βαριά W και Z) όμως



η ανάγκη του σωματιδίου Higgs (2)

πώς περιγράφουμε μια τέτοια αλληλεπίδραση ως ΘB ;
δηλαδή, πώς μπορούμε να εμφανίσουμε όρο μάζας
για τα

σωματίδια φορείς χωρίς να παραβούμε τους κανόνες;
η ιδέα του Higgs (αλλά και των Brout, Englert, Guranlik,
Hagen, Kibble, Nambu) ξεπερνά ακριβώς αυτή τη
δυσκολία εισάγοντας ένα νέο σωματίδιο στη θεωρία,
διαφορετικού τόσο από τα σωματίδια ύλης όσο και από
σωματίδια: του σωματιδίου Higgs

επιλογή κατάλληλων (αλλά αποδεκτών) όρων για το νέο
σωματίδιο, οδηγεί σε όρους μάζας για τα W και Z
που ξεπηδούν από την αλληλεπίδραση του Higgs με αυ
σωματίδια

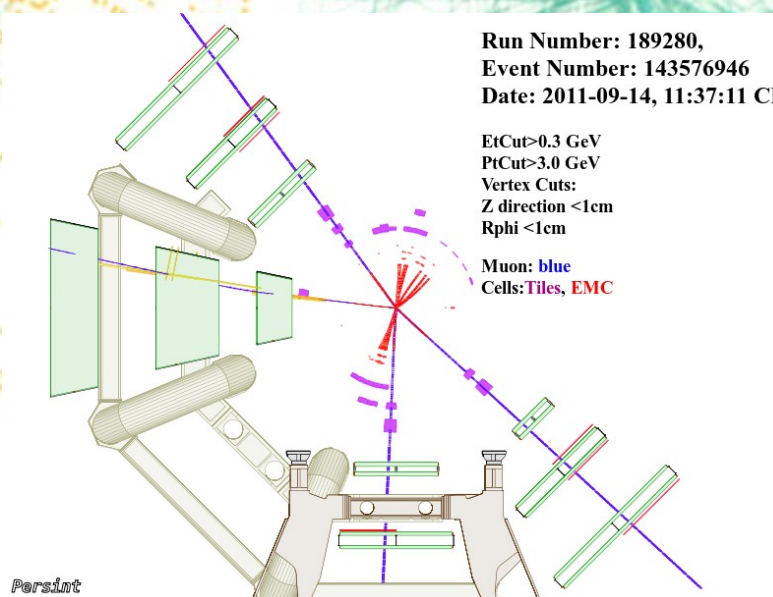
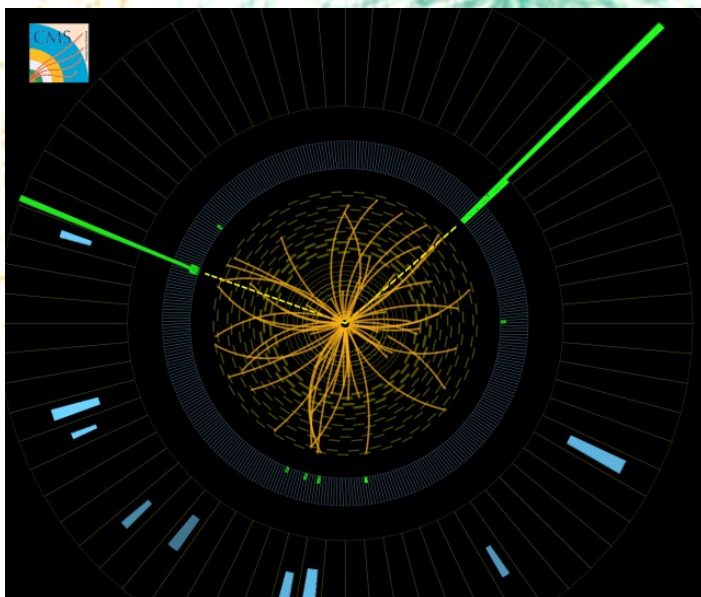


η ανάγκη του σωματιδίου Higgs

ο έλεγχος αυτού του "μηχανισμού" είναι η, κατ' αρχή, παρατήρηση του σωματιδίου Higgs!
είναι πολύ ασταθές σωματίδιο και το παρατηρούμε από προϊόντα της διάσπασής του.

οι πιο "εύκολα" παρατηρούμενες διασπάσεις είναι:

$$H \rightarrow \gamma\gamma \quad \text{και} \quad H \rightarrow (l^+ l^-)(l^+ l^-), \quad \text{όπου} \quad \mu \quad \text{ή} \quad \tau$$





$$E^2 = mc^2 c^2 + p^2 c^2$$

$$m = 0 \text{ (φωτόνιο): } E^2 = p^2 c^2 \Rightarrow p = \frac{E}{c}$$

$$m \neq 0: p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

