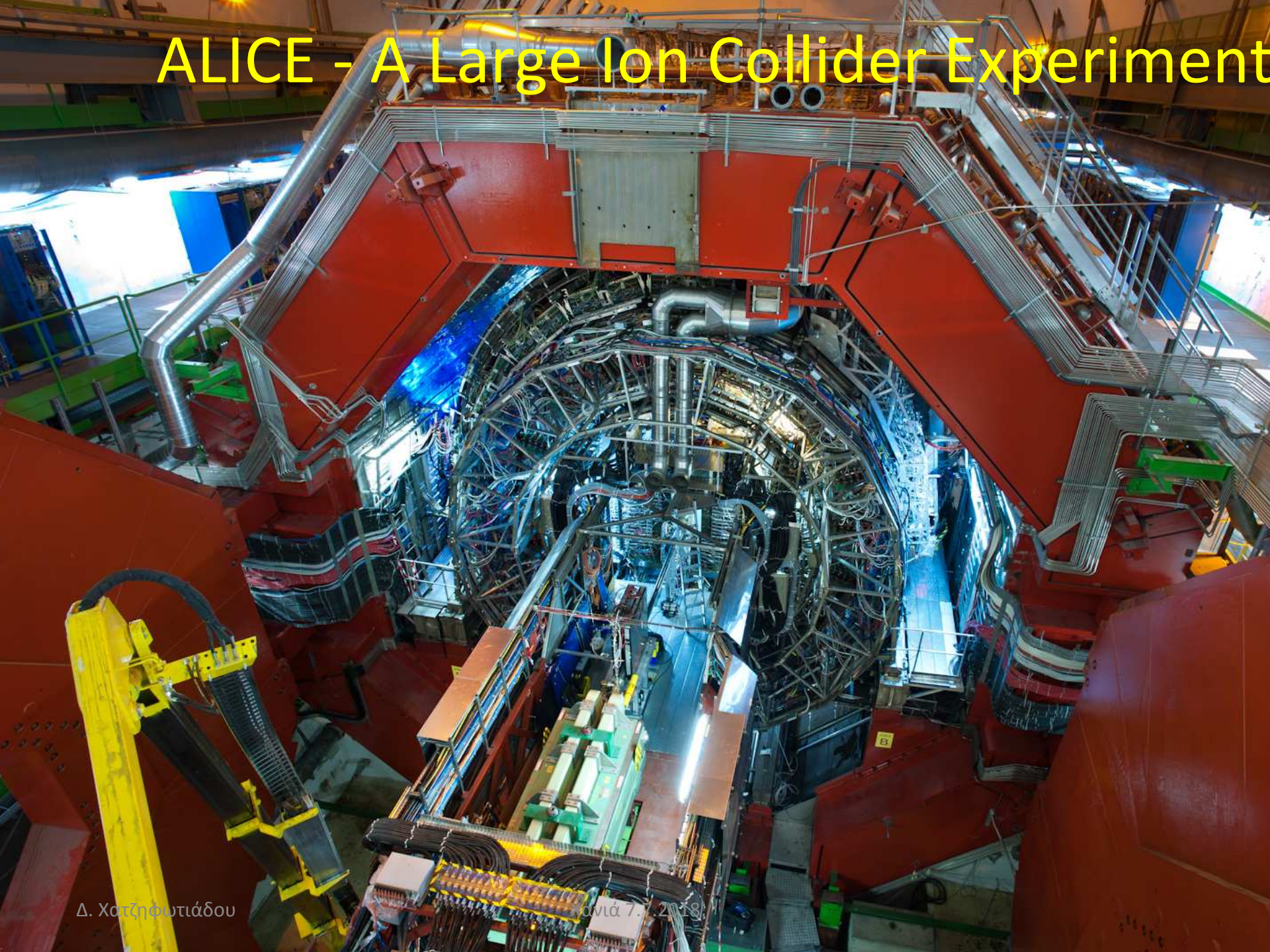


ALICE - A Large Ion Collider Experiment



Βαριά ιόντα στο LHC

ισότοπο Pb^{208}

82 πρωτόνια και 126 νετρόνια

$\rightarrow \text{Pb}^{29+} \rightarrow \text{Pb}^{54+} \rightarrow \text{Pb}^{82+}$

(γυμνοί πυρήνες μολύβδου)

Ολική ενέργεια $7 \text{ TeV} \times 82 = 574 \text{ TeV}$

(1148 TeV στο σημείο σύγκρουσης)



Μικρή ράβδος μολύβδου

Pb^{208} (2 cm, 500 mg)

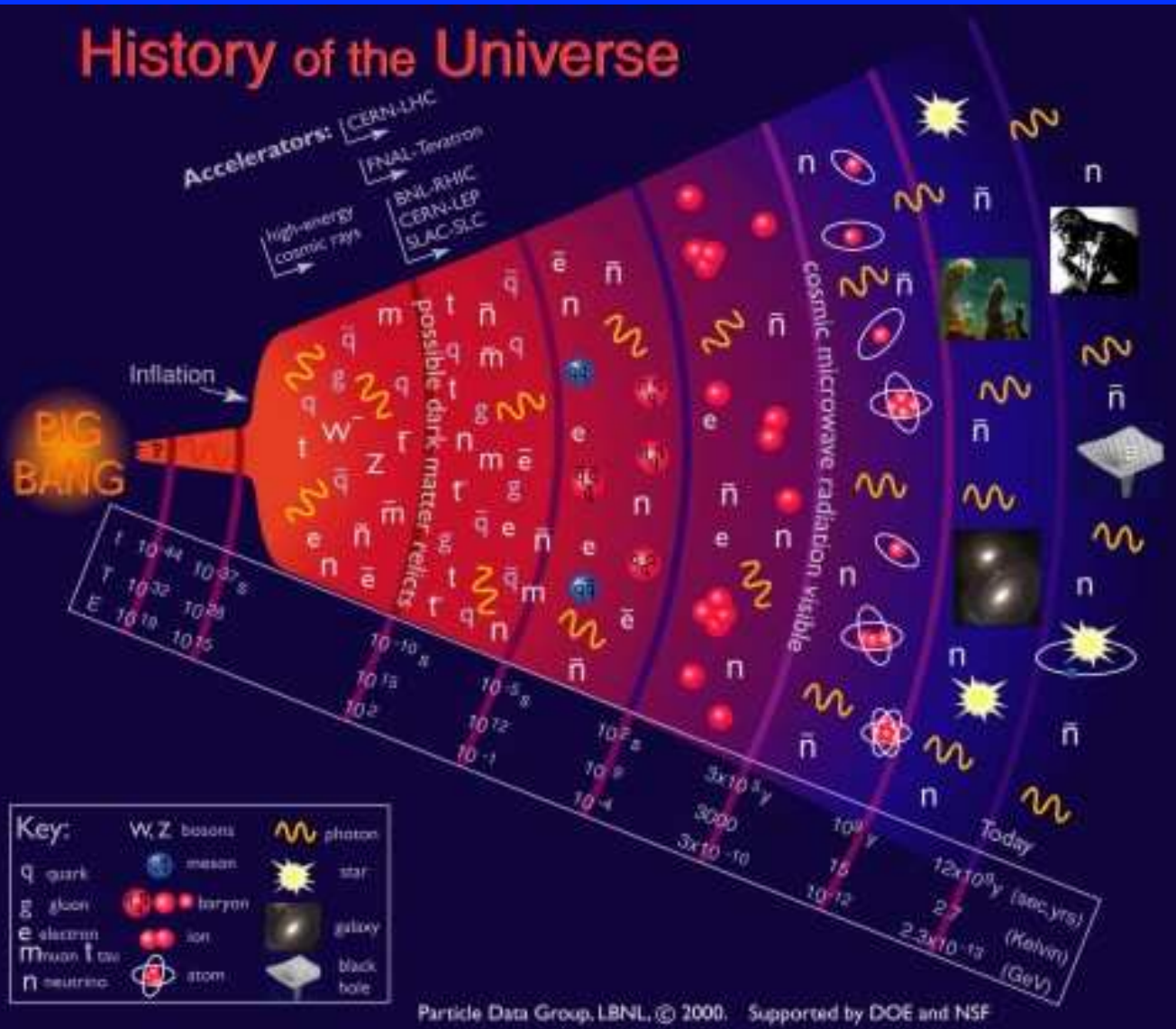
Θερμαίνεται σε 500°C και
εξαερώνεται. Ένα ισχυρό
ηλεκτρικό ρεύμα βγάζει
ηλεκτρόνια από τα άτομα

Απο τις συγκρούσεις βαριών ιόντων..

Η πυρηνική ύλη θερμαίνεται σε θερμοκρασίες $\sim 250\,000$ φορές υψηλότερες από αυτή στο κέντρο του ήλιου και συμπιέζεται σε τέτοιες πυκνότητες που η πυραμίδα του Χέοπος θα χωρούσε σ'ένα κεφάλι καρφίτσας

Ποιο είναι το ιδιαίτερο ενδιαφέρον που παρουσιάζουν οι συγκρούσεις βαριών ιόντων;

Πριν από 13.7 δισεκατομμύρια χρόνια το σύμπαν γεννήθηκε από μια **μεγάλη έκρηξη (Big Bang)**



Εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου μετά τη γέννηση του σύμπαντος, όλη η ύλη αποτελείται από κουάρκ και γλουόνια που κινούνται ελεύθερα

QUARK GLUON PLASMA

Καθώς το σύμπαν διαστέλεται και ψύχεται, τα κουάρκ και τα γλουόνια «φυλακίζονται» για πάντα μέσα στα αδρόνια, από τα οποία σήμερα παραμένουν μόνο πρωτόνια και νετρόνια

Συγκρούοντας πυρήνες μολύβδου με πολύ υψηλή ενέργεια αναδημιουργούμε τις συνθήκες πυκνότητας και θερμοκρασίας που υπήρχαν κλάσματα του δευτερολέπτου μετά το Big Bang (**Mini Big Bang**)

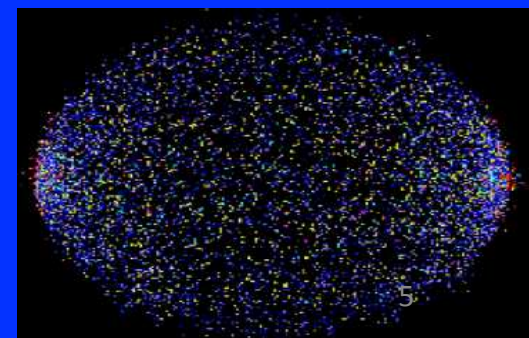
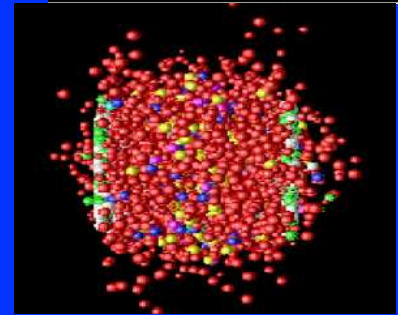
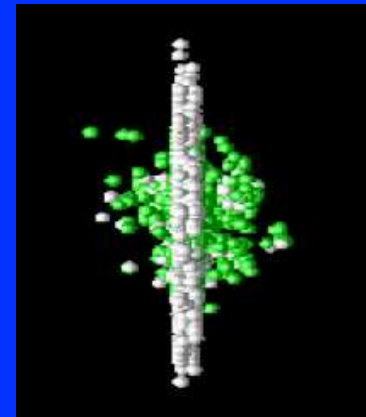
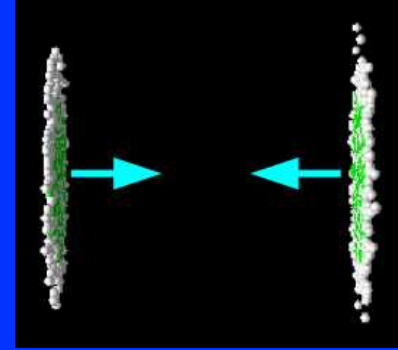
Τα πρωτόνια και τα νετρόνια λειώνουν – τα κουάρκ και τα γλουόνια που είναι δεσμευμένα μέσα τους ελευθερώνονται

Δημιουργείται μια σταγόνα της πρωταρχικής κατάστασης της ύλης (QUARK GLUON PLASMA, QGP)

Που ζει ελάχιστα

Μελετώντας τις ιδιότητές της

- Θα κατανοήσουμε καλύτερα τις διαδικασίες που συνέβησαν τα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου στη ζωή του σύμπαντος
- Θα κατανοήσουμε καλύτερα την ισχυρή αλληλεπίδραση, και
- πώς τα πρωτόνια και νετρόνια αποκτούν τη μάζα τους



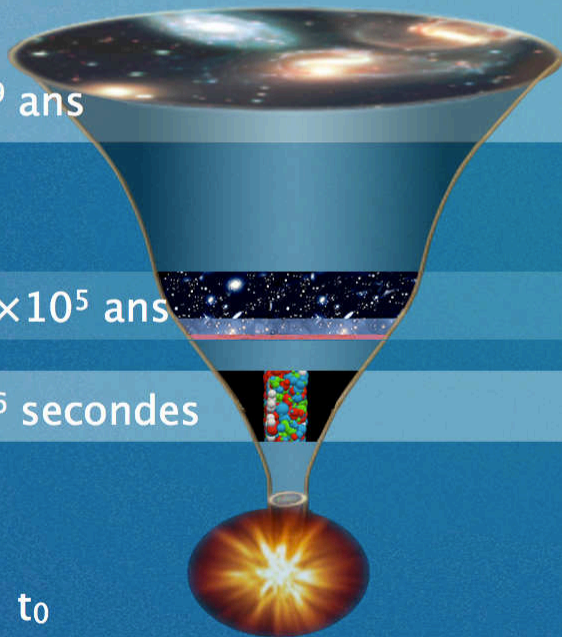
BIG BANG

Aujourd'hui:
 $t_0 + 13.8 \times 10^9$ ans

CMB: $t_0 + 3.8 \times 10^5$ ans

QGP: $t_0 + 10^{-6}$ secondes

t_0

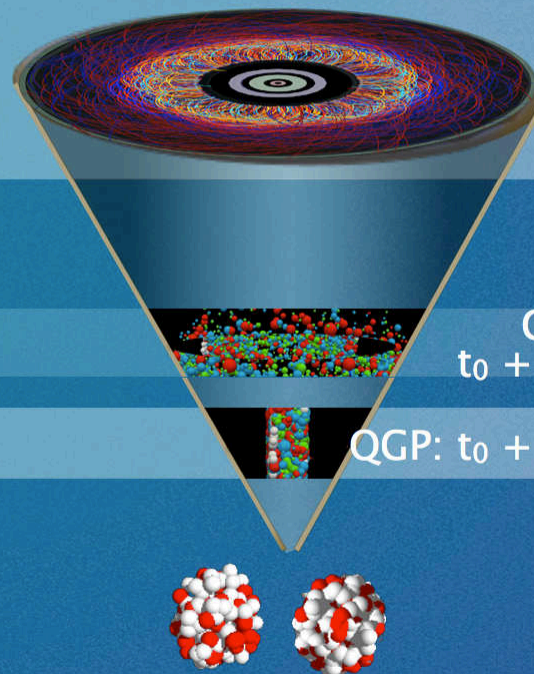


LITTLE BIG BANG

Gaz de hadrons:
 $t_0 + 10^{-23}$ secondes

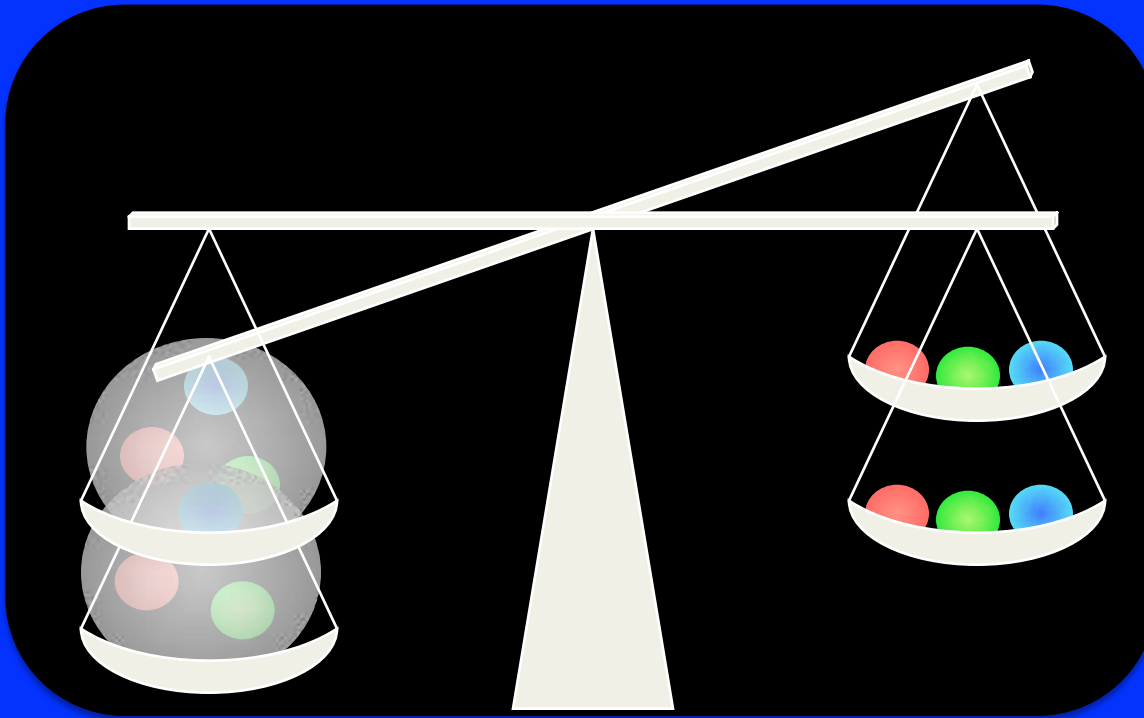
QGP: $t_0 + 10^{-24}$ secondes

t_0



Το πείραμα ALICE μελετάει τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις

Πώς δημιουργείται η μάζα των αδρονίων;

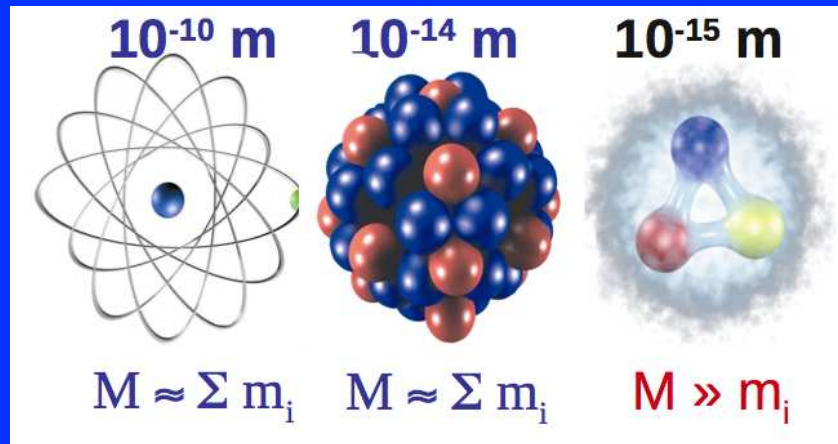


Δημιουργία της μάζας

Άτομο

πυρήνας

νουκλεόνιο



Στα νουκλεόνια (πρωτόνια και νετρόνια) η μάζα δεν καθορίζεται από το άθροισμα των μαζών των συστατικών αλλά κυρίως από την ενέργεια που περιέχεται στην κίνηση των κουάρκ και από την ενέργεια των γλουονίων

Παράδειγμα πρωτόνιο (uud) μάζα 938 MeV/c²

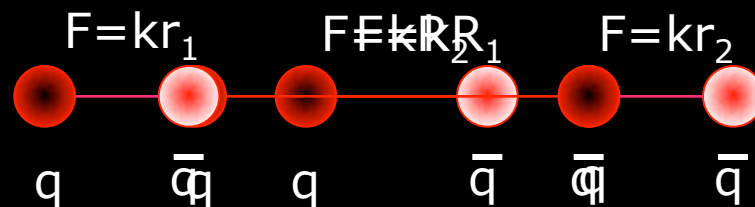
Μάζα up quark : 1.7 – 3.3 MeV/c²

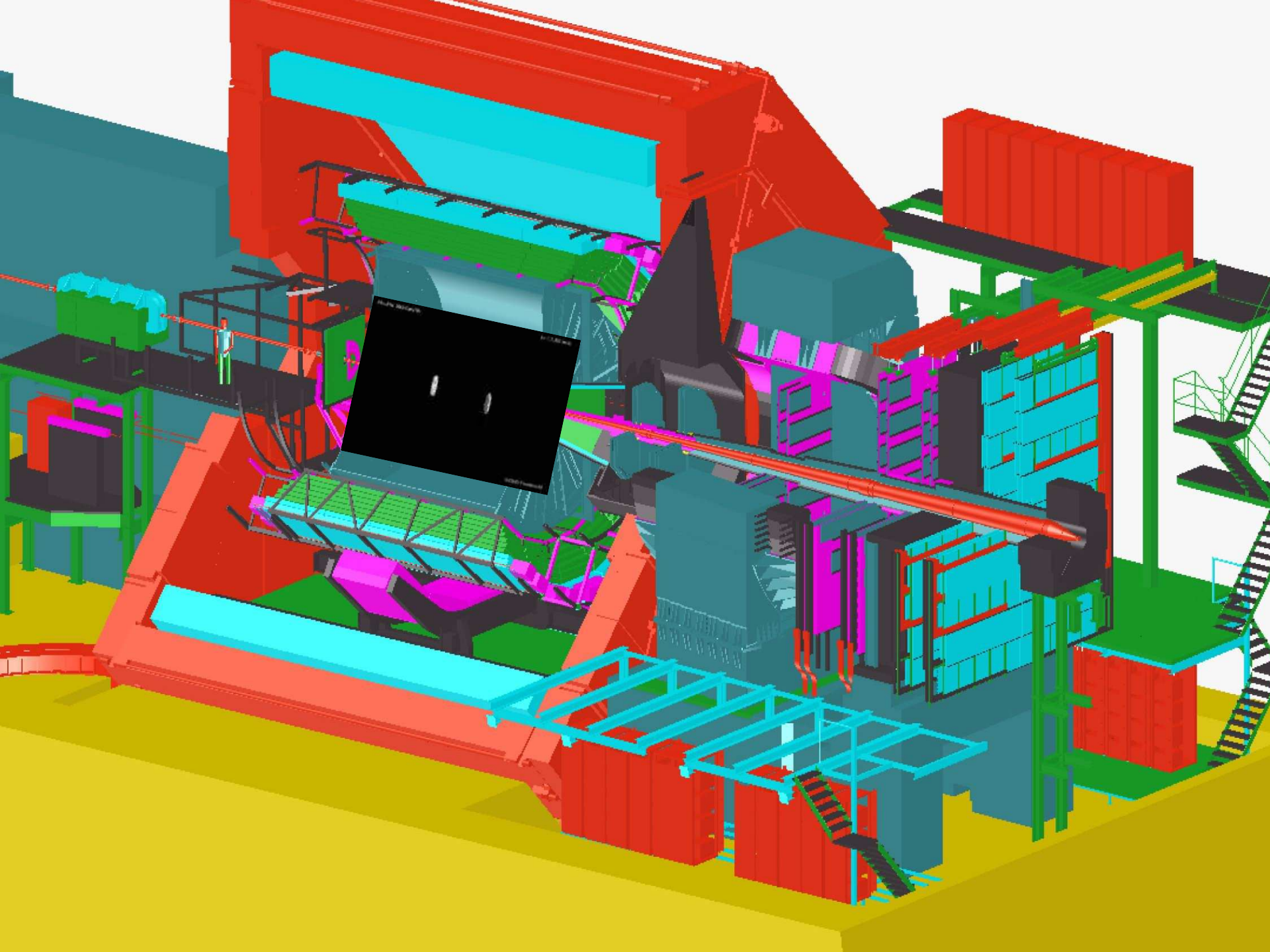
Μάζα down quark : 4.1 – 5.8 MeV/c²

Αθροισμα : 7.5 -12.4 MeV/c²

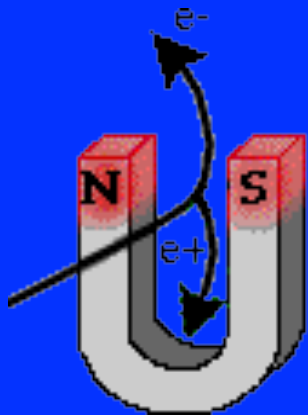
Το πείραμα ALICE μελετάει τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις

Γιατί τα κουάρκ είναι μόνιμα εγκλωβισμένα μέσα στα αδρόνια;





Το μαγνητικό πεδίο



Ταυτοποιεί το φορτίο

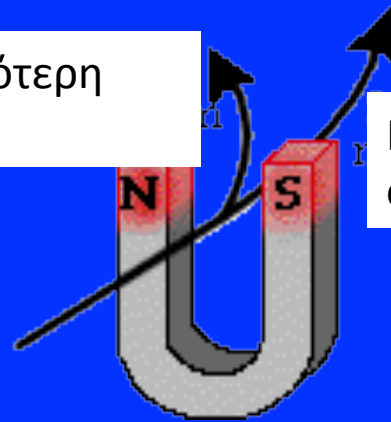
p = ορμή
 R = ακτίνα καμπυλότητας
 B = μαγνητικό πεδίο
 q = φορτίο

$$R = p/qB$$

Μικρότερη
ορμή

Μεγαλύτερη
ορμή

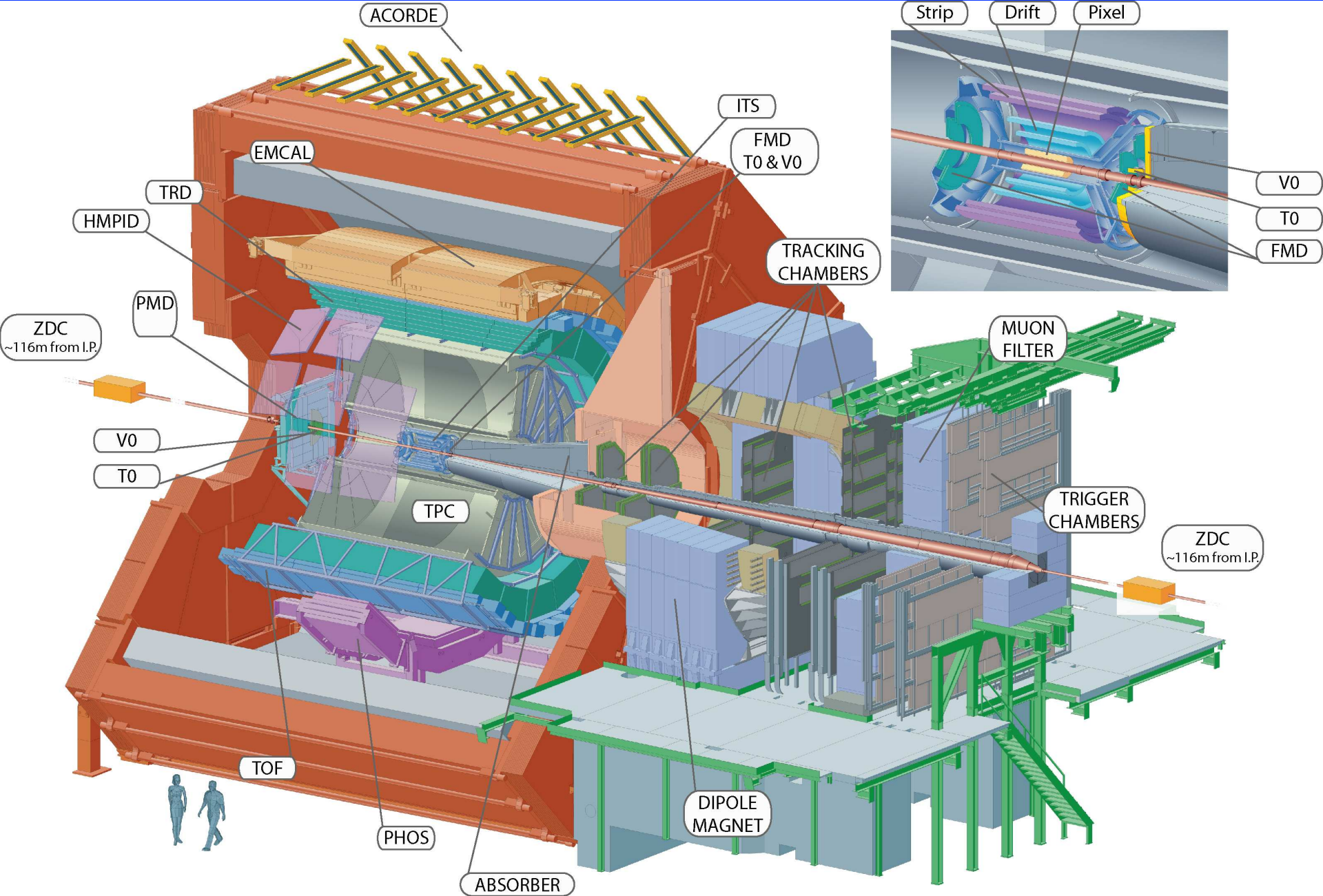
Μετράει την ορμή



Ανιχνευτές

- «Βλέπουν» τα σωματίδια που παράγονται από συγκρούσεις δεσμών ή συγκρούσεις δέσμης σε σταθερό στόχο
- Η ανίχνευση στηρίζεται στις αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων με το υλικό του ανιχνευτή που έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού σήματος
- Δίνουν πληροφορίες για:
 - το είδος του σωματιδίου (ταυτοποίηση)
 - την τροχιά του σωματιδίου (ανιχνευτές ιχνών) και την ορμή
 - την ενέργεια του σωματιδίου (καλορίμετρα ή θερμιδόμετρα)

Τα περισσότερα από τα σωματίδια που παράγονται από τις συγκρούσεις ζουν ελάχιστα – διασπώνται ακαριαία και βλέπουμε τα «παιδιά» τους, τα προϊόντα της διάσπασής τους. Στους ανιχνευτές «βλέπουμε» ηλεκτρόνια, φωτόνια, μίονια, πιόνια, καόνια, πρωτόνια και πίδακες αδρονίων (από κουάρκς)



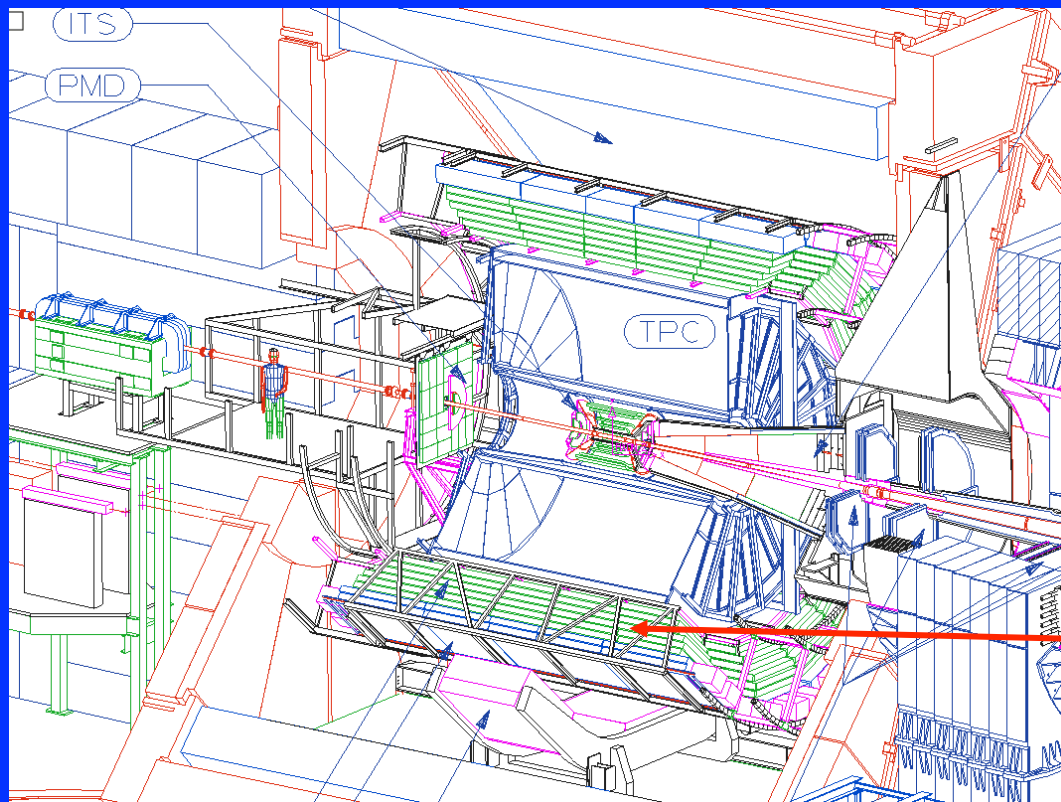
16m x 16 m x 26 m 10 000 τονοι σε 56 m βάθος (@ point 2 of LHC)

Χανιά 7.7.2018

- Για κάθε σωματίο :
- βρίσκουμε την τροχιά, βρίσκουμε το τετραδιάνυσμα της ορμής
- Βρίσκουμε το σημείο από όπου προέρχεται με ακρίβεια μm
- το ταυτοποιούμε
- Αναγνωρίζουμε ενδιαφέροντα γεγονότα σε λιγότερο από 100 μs

ALICE : 18 διαφορετικά ανιχνευτικά συστήματα

- Γύρω από το σημείο της αλληλεπίδρασης έχουμε τοποθετήσει ανιχνευτές ,όπως...

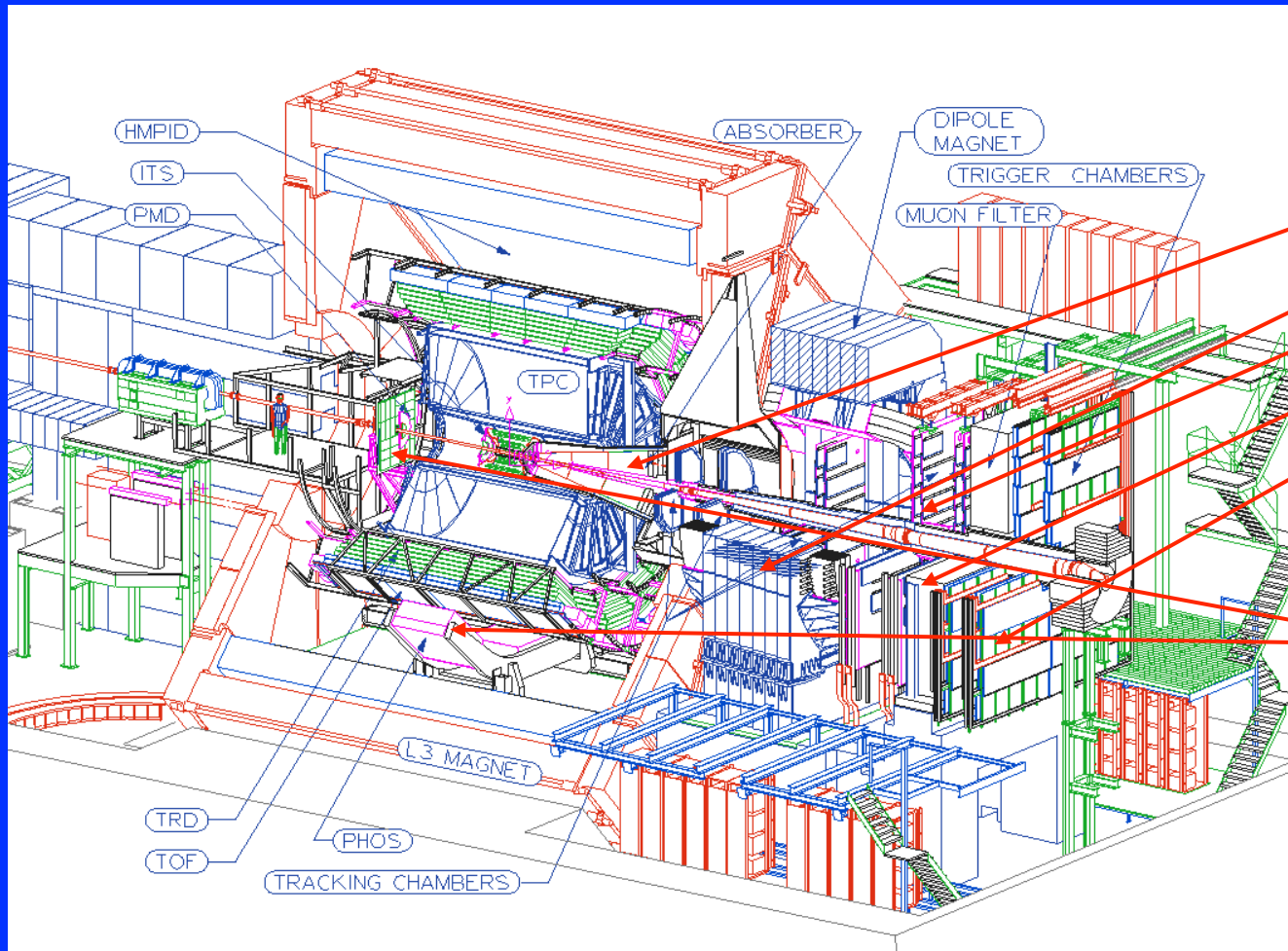


Εσωτερικός ανιχνευτής
ιχνών (ITS): p , pid

Time projection
chambre (TPC) : p , pid

Transition radiation
detector (TRD) : e^-
Time Of Flight (TOF):
 pid

... και μερικοί πιο εξειδικευμένοι ανιχνευτές



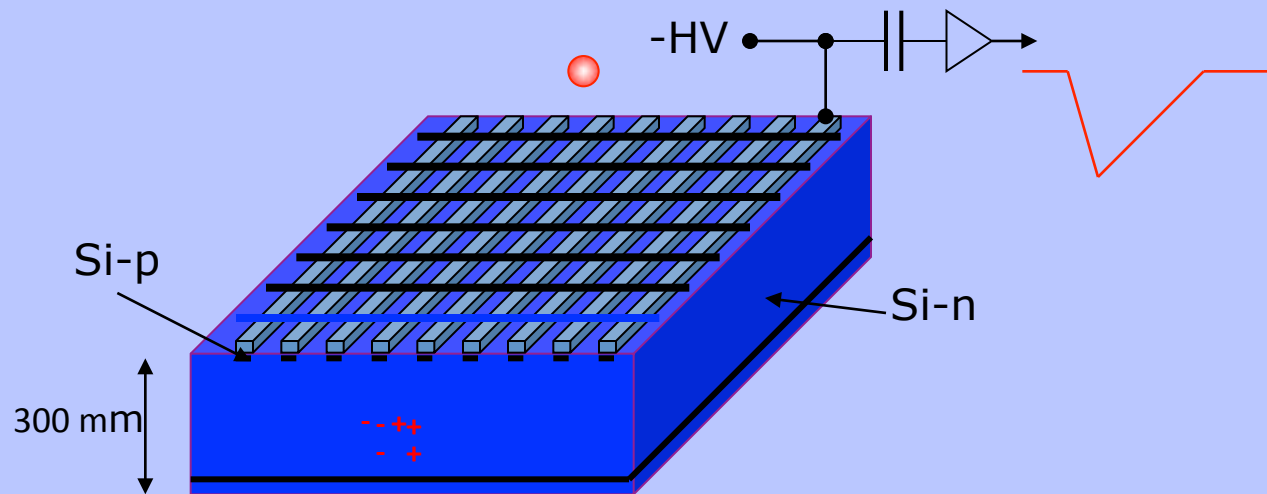
Φασματόμετρο
μιονίων :

- Απορροφητής
- Μαγνητ. δίπολο
- Ανιχν. Ιχνών μ
- Φίλτρο
- Trigger

Ανιχνευτές
φωτονίων

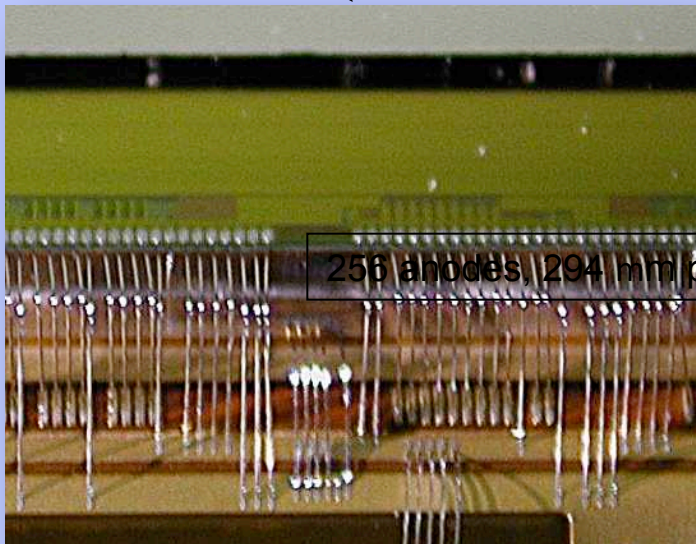
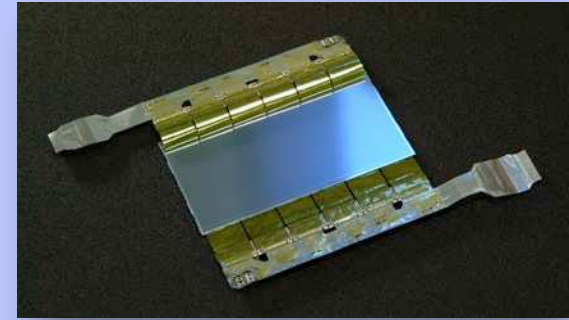
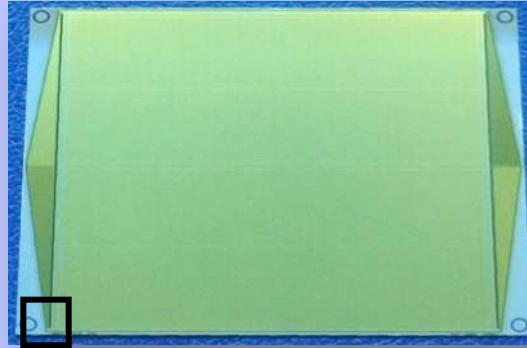
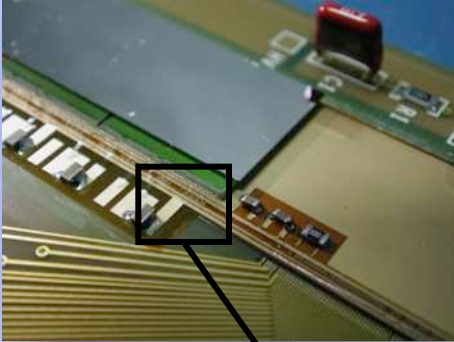
Ανιχνευτές πυριτίου

- Εσωτερικό σύστημα ανιχνευτών ιχνών: 6 στρώματα από διόδους Si που δίνουν 2D πληροφορία θέσης

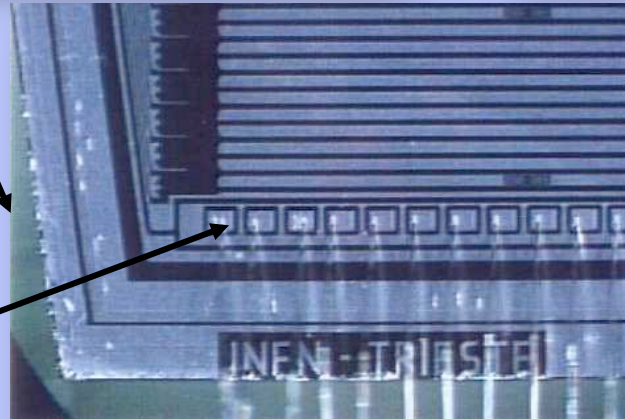


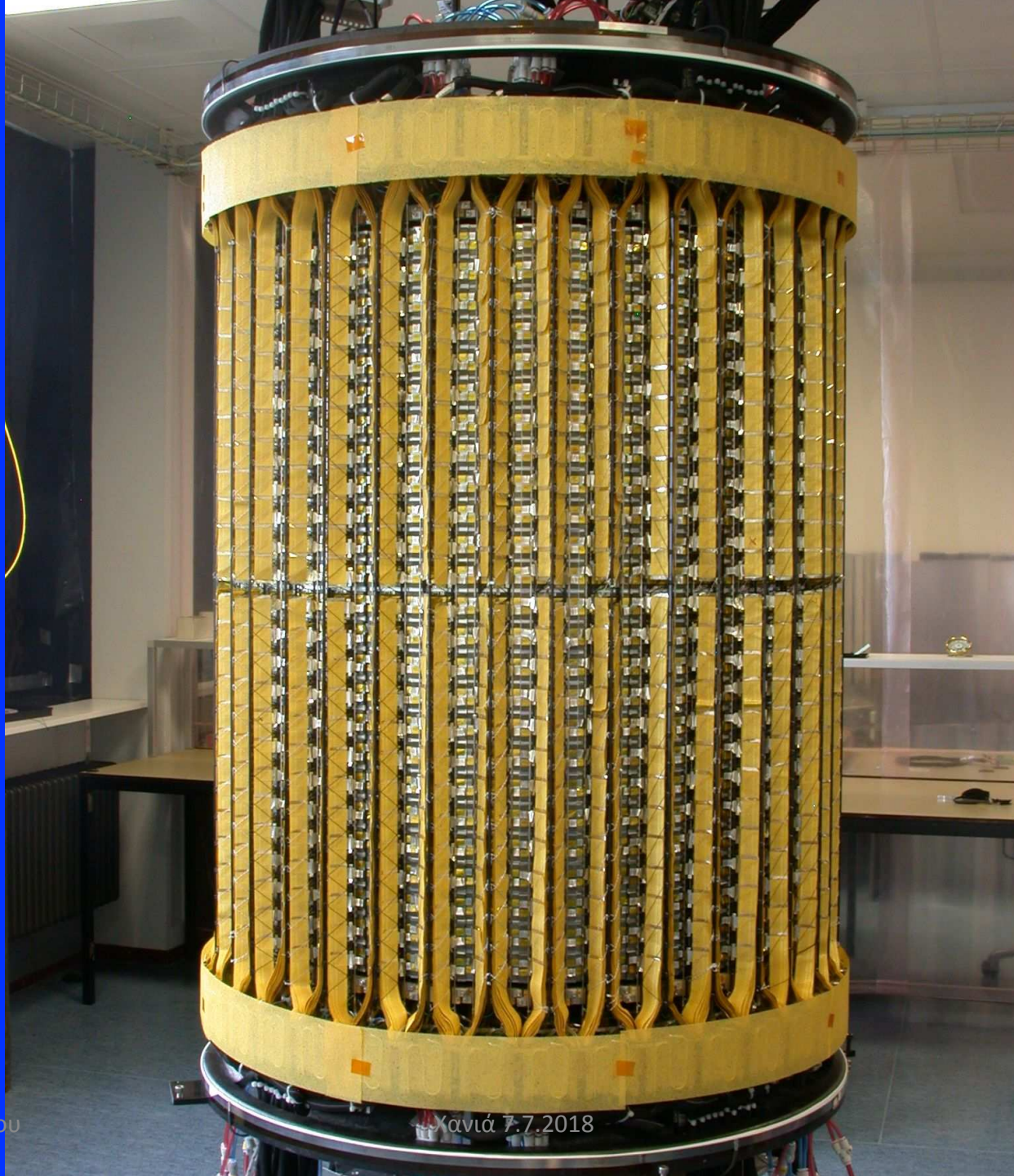
(> 10 εκατομμύρια κανάλια)

3 τεχνολογίες Si

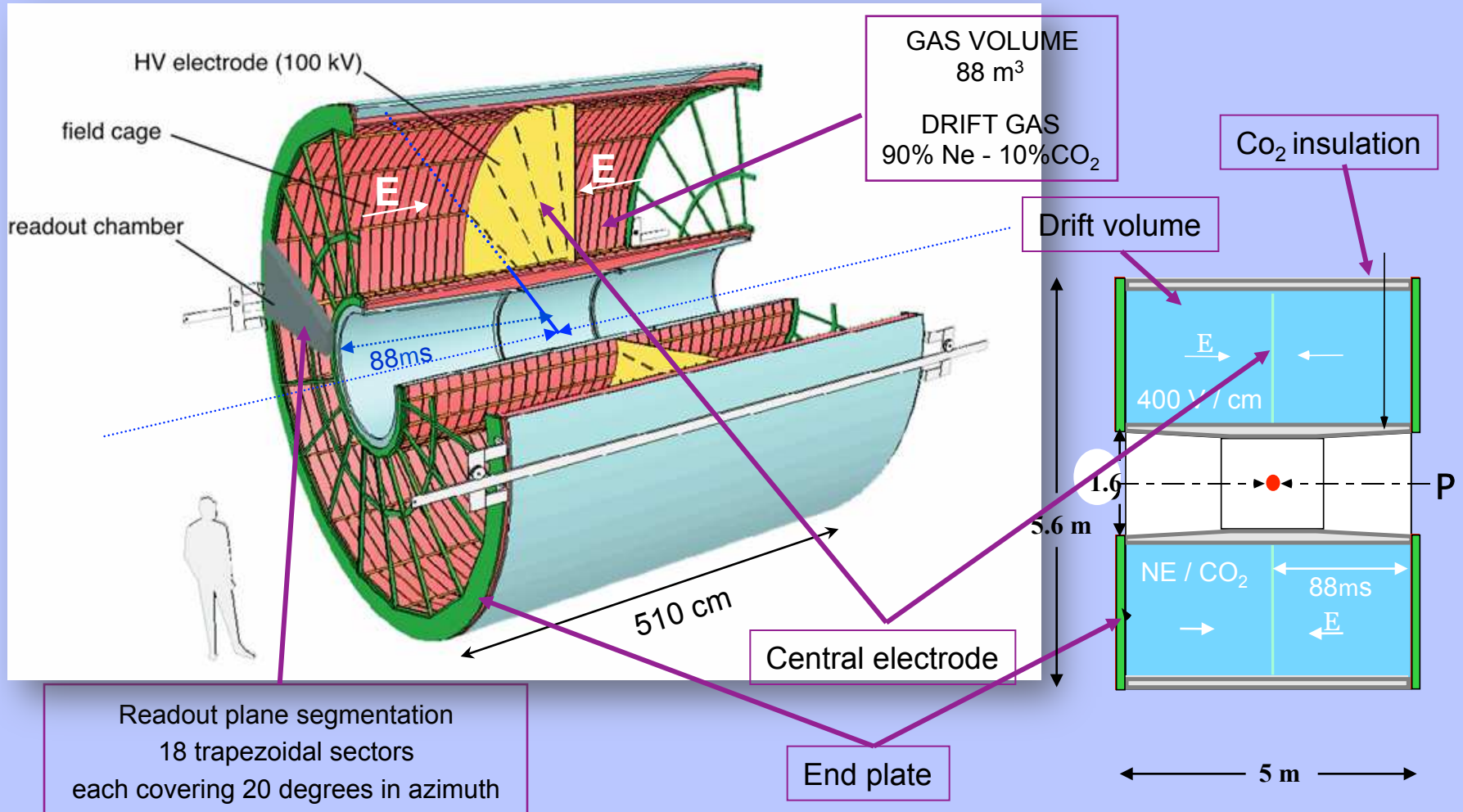


256 anodes, 294 mm pitch





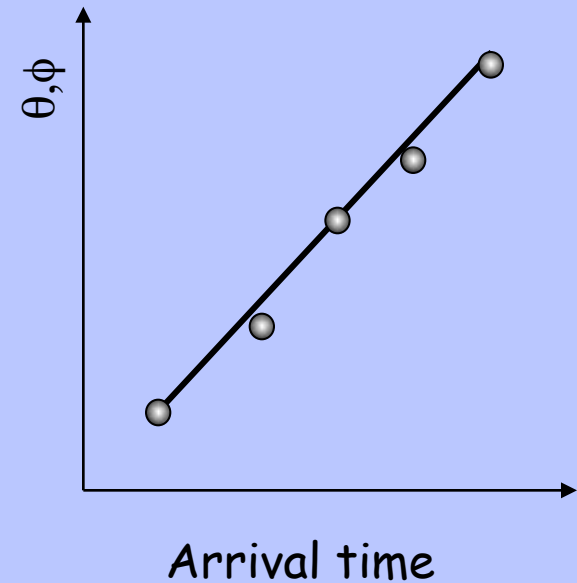
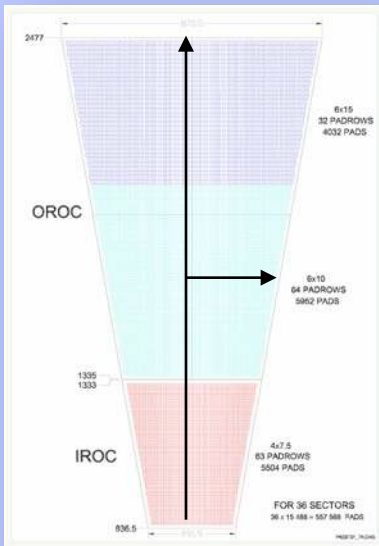
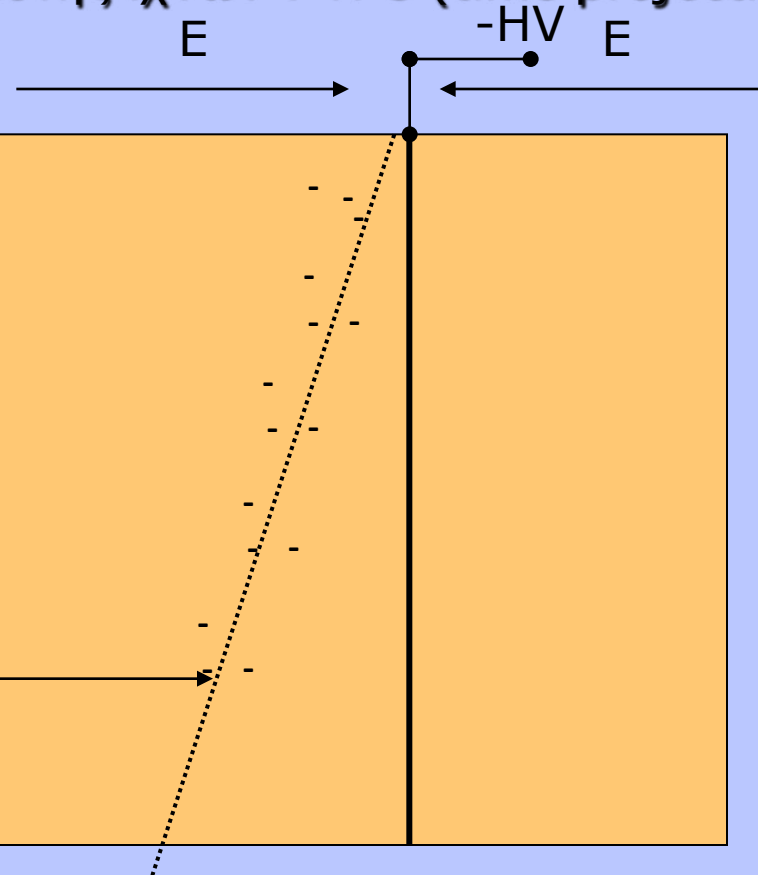
Time Projection Chamber

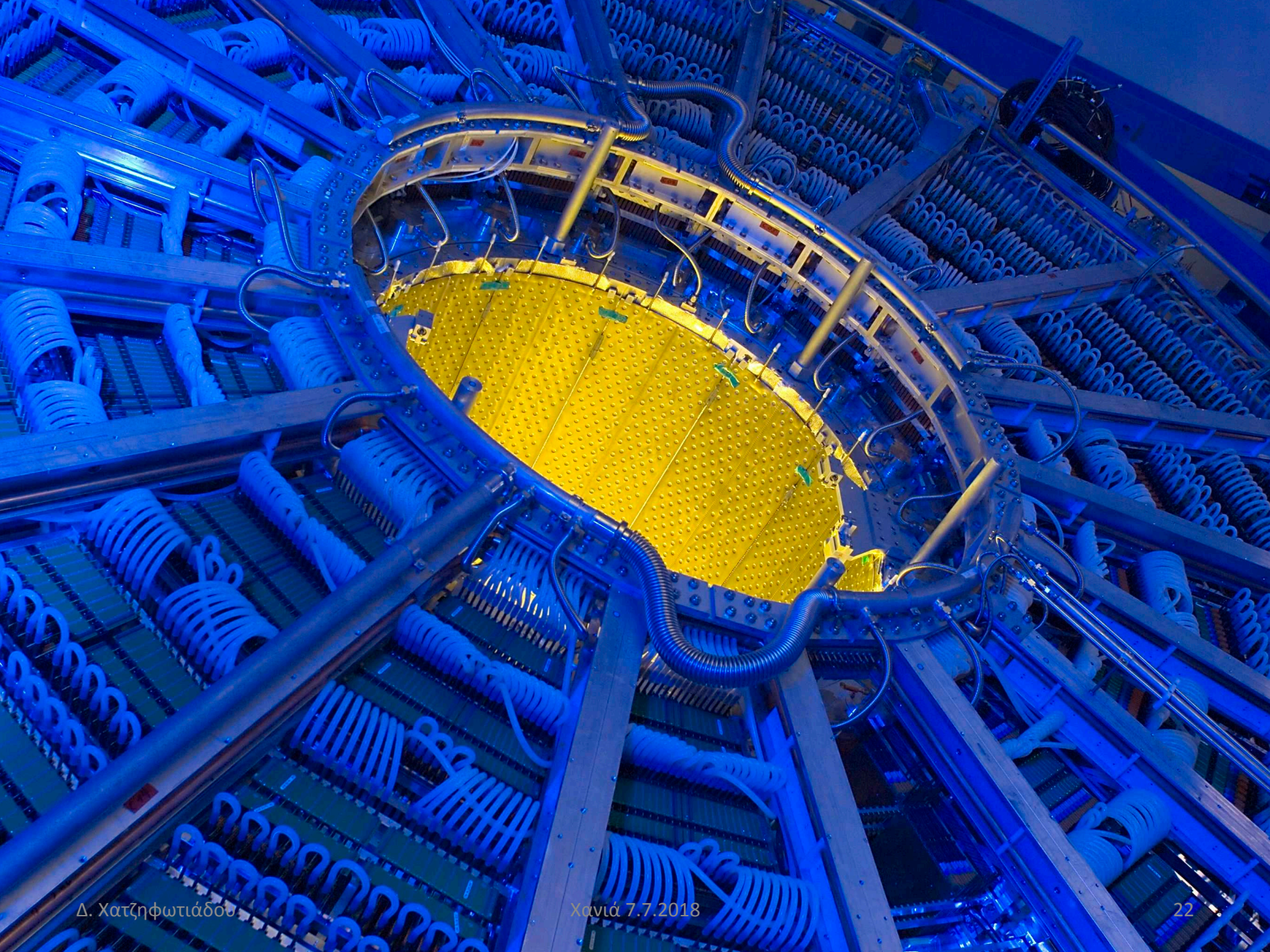


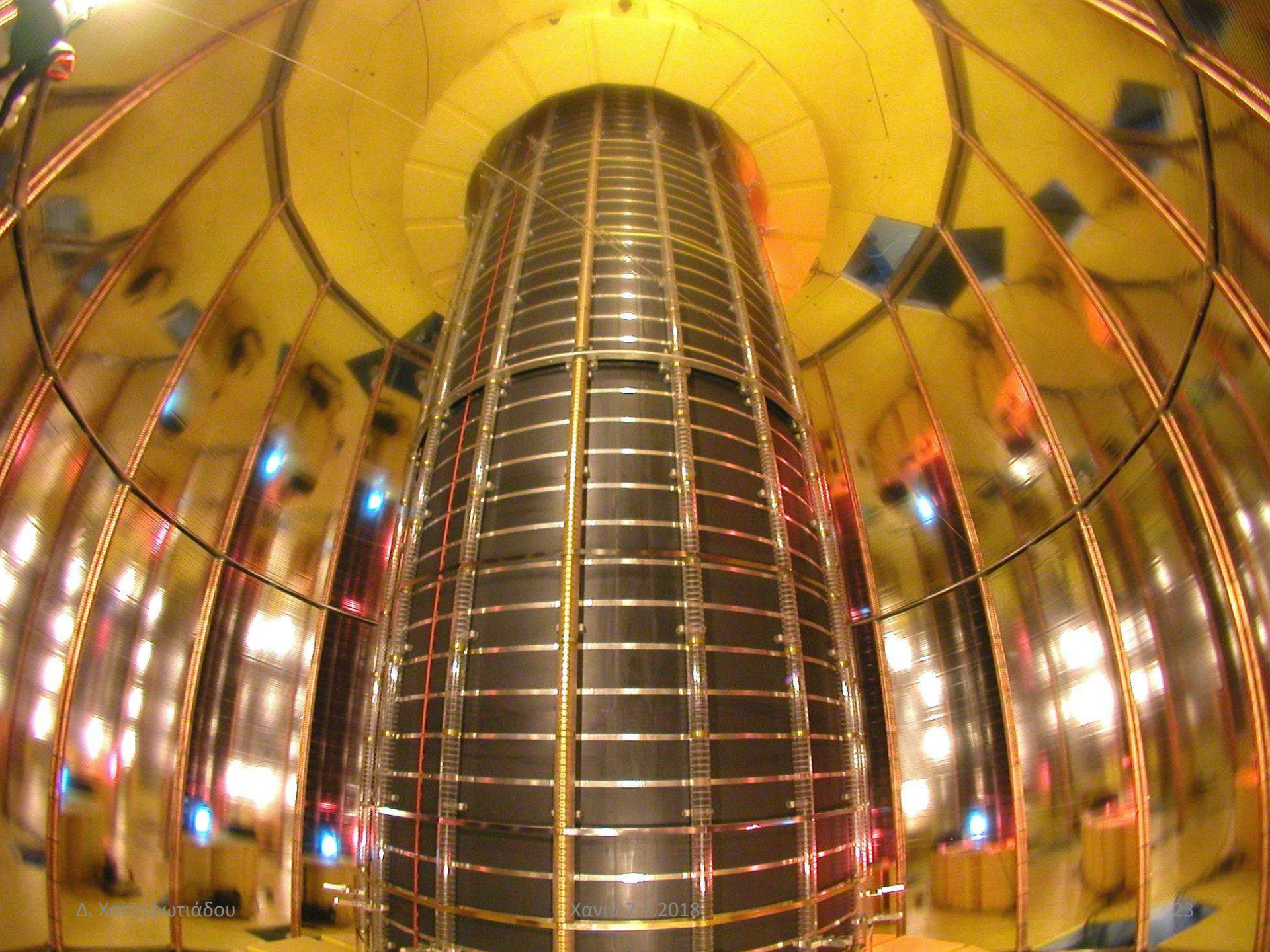
TPC : λειτουργία

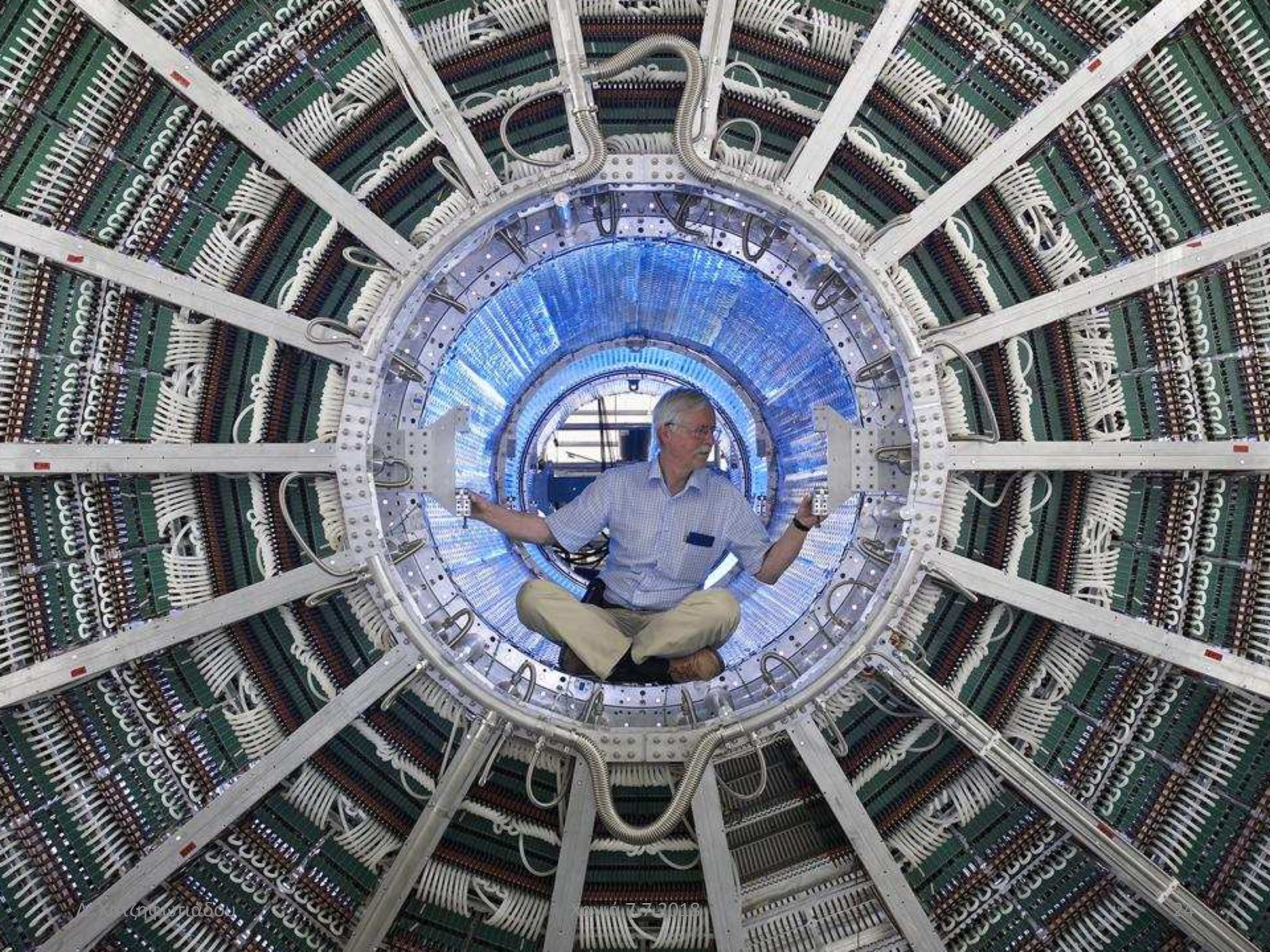


- Ο βασικός ανιχνευτής ιχνών : TPC (time projection chamber)



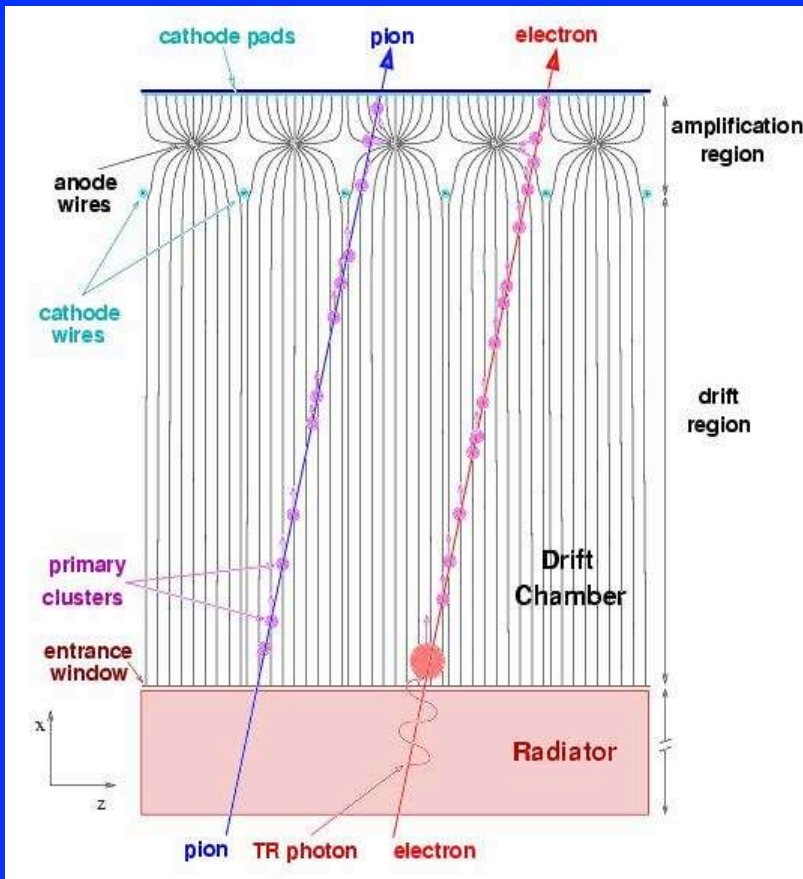






Transition Radiation Detector

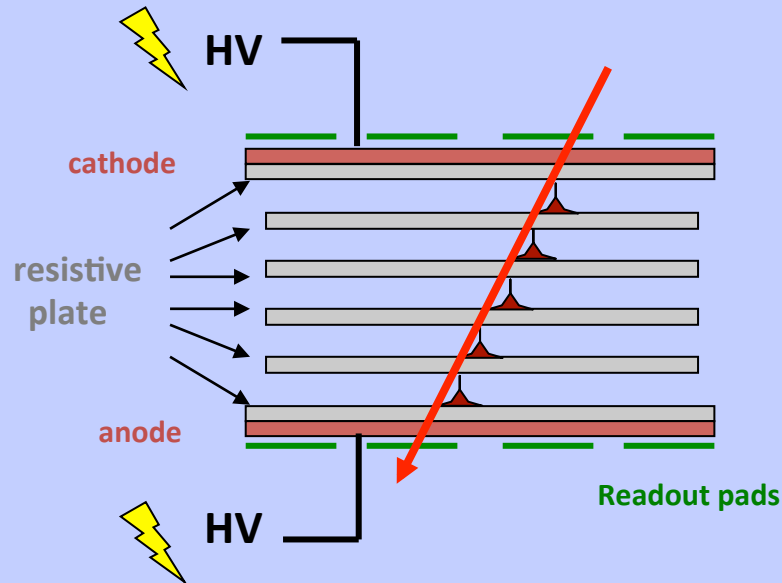
- Ξεχωρίζει ηλεκτρόνια από πιόνια



- Όταν ένα σχετικιστικό σωματίο διασχίζει ένα ανομοιογενές μέσο εκπέμπεται ακτινοβολία X
- Επιλέγουμε το μέσο ώστε μόνο τα ηλεκτρόνια να εκπέμπουν ακτινοβολία μετάβασης
- Ανιχνεύουμε τόσο τα φορτισμένα σωματία όσο και την ακτινοβολία X
- Θάλαμος πολλών συρμάτων με ένα βαρύ αέριο (Xe)



Time of Flight



Multigap Resistive Plate Chamber

Μετράει το χρόνο πτήσης (από το σημείο δημιουργίας μέχρι το σημείο ανίχνευσης) φορτισμένων σωματιδίων με ακρίβεια **70 ps**

Χρόνος και μήκος διαδρομής (γνωστή από τους ανιχνευτές ιχνών) δίνουν την ταχύτητα

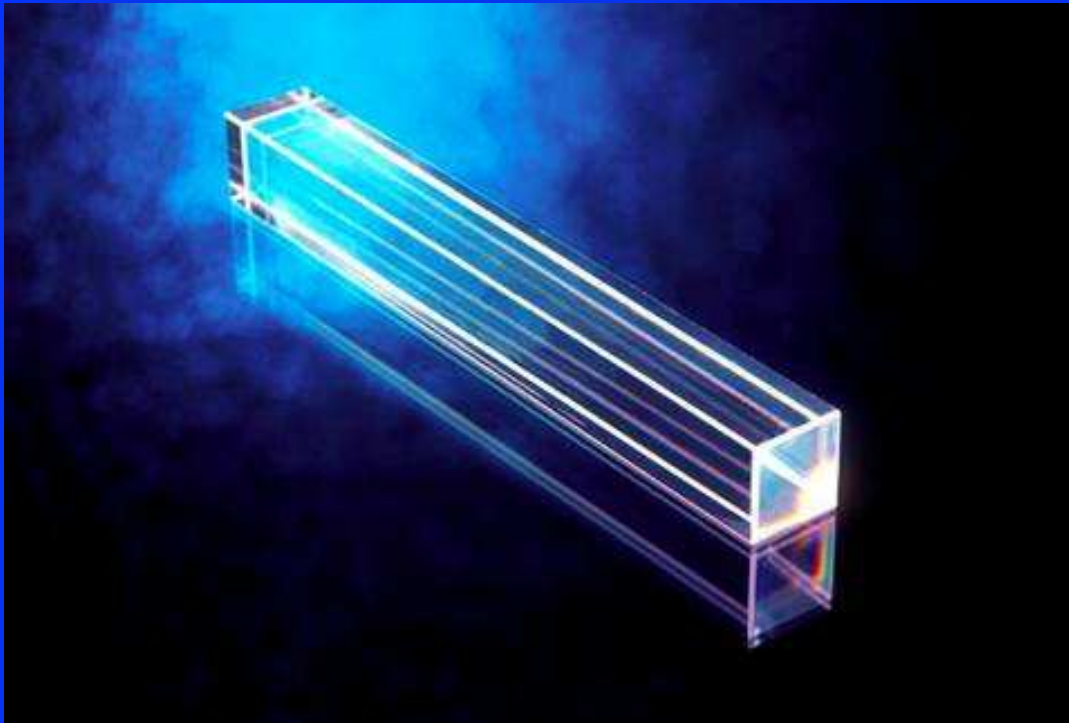
Απο τους ανιχνευτές ιχνών βρίσκουμε την ακτίνα καμπυλότητας της τροχιάς, άρα την ορμή

Ορμή και ταχύτητα μας δίνουν τη μάζα, άρα ταυτοποιούμε τα σωματίδια



PHOS : PHOton Spectrometer

PbWO_4 : Βαρύ σαν μολύβι και διαφανές σαν γυαλί



Ηλεκτρομαγνητικό καλορίμετρο

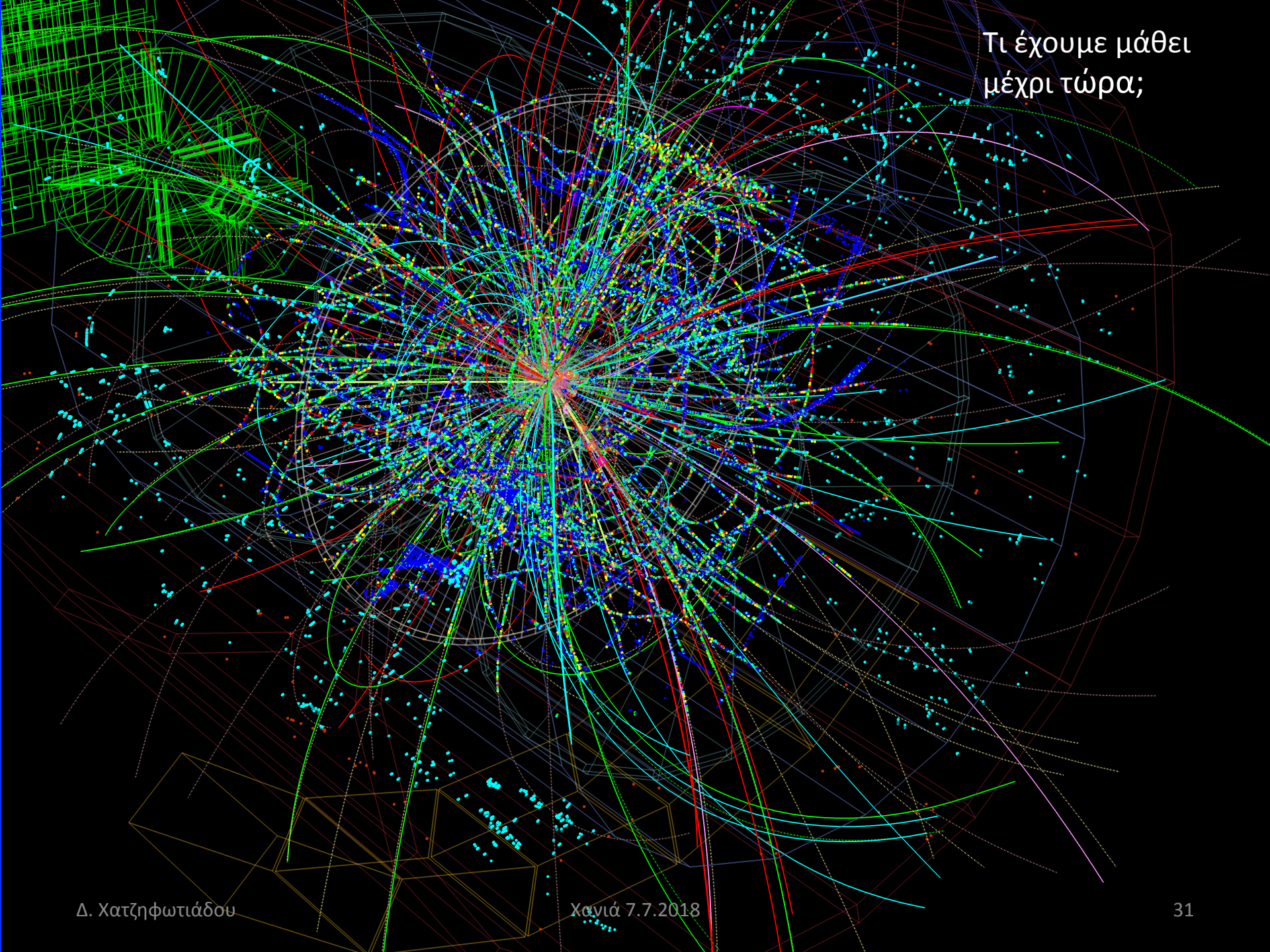
- Τα φωτόνια μετατρέπονται σε ζεύγη ηλεκτρονίων - ποζιτρονίων
- Τα ηλεκτρόνια διεγείρουν τα άτομα του κρυστάλλου
- Τα άτομα αποδιεγείρονται εκπέμποντας φως (φωτόνια UV)
- Τα φωτόνια UV ανιχνεύονται στη μια άκρη του κρυστάλλου από μια φωτοδίοδο, που μετατρέπει τα φωτόνια σε ηλεκτρόνια



Ηλεκτρικό σήμα



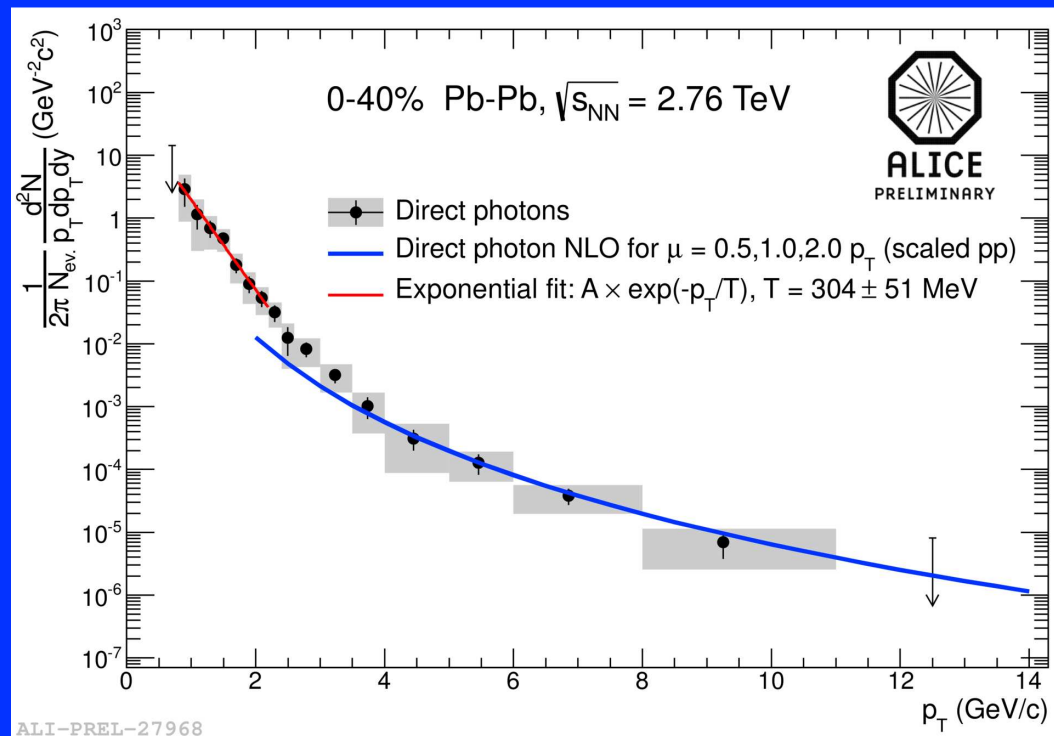
Τι έχουμε μάθει
μέχρι τώρα;



Η υψηλότερη θερμοκρασία που δημιούργησε ο άνθρωπος

Θερμικά φωτόνια, που εκπέμπονται από το πλάσμα κουάρκ και γκλουονίων, δίνουν πληροφορία για την αρχική θερμοκρασία του συστήματος.

Από την αντίστροφη κλίση της κατανομής αυτών των φωτονίων βρίσκουμε ότι η θερμοκρασία του συστήματος που δημιουργείται από τις συγκρούσεις ιόντων μολύβδου είναι μερικά τρισεκατομύρια βαθμοί **Kelvin**.

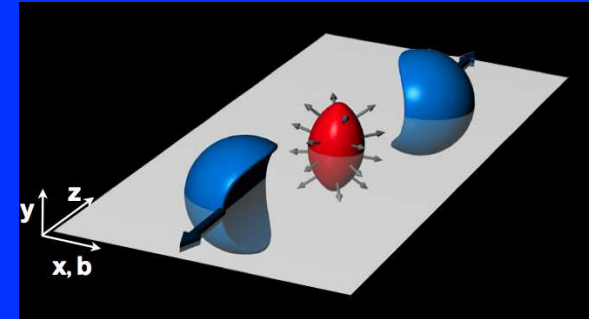


250 000 φορές υψηλότερη από τη θερμοκρασία στο κέντρο του ήλιου

Ενα τέλειο υγρό στο LHC

Η ύλη που σχηματίζεται από τις συγκρούσεις βαριών ιόντων αναμενόταν αρχικά να συμπεριφέρεται σαν αέριο πλάσμα. Αντί γι' αυτό, φαίνεται να συμπεριφέρεται σαν τέλειο υγρό, με συντονισμένη συλλογική κίνηση (ροή) των σωματιδίων που το συνιστούν.

Η πυκνή ύλη που δημιουργείται από τη σύγκρουση ρέει σχεδόν χωρίς τριβή (όπως το νερό, που έχει μικρό ιξώδες) και όχι όπως το μέλι που έχει μεγάλο ιξώδες

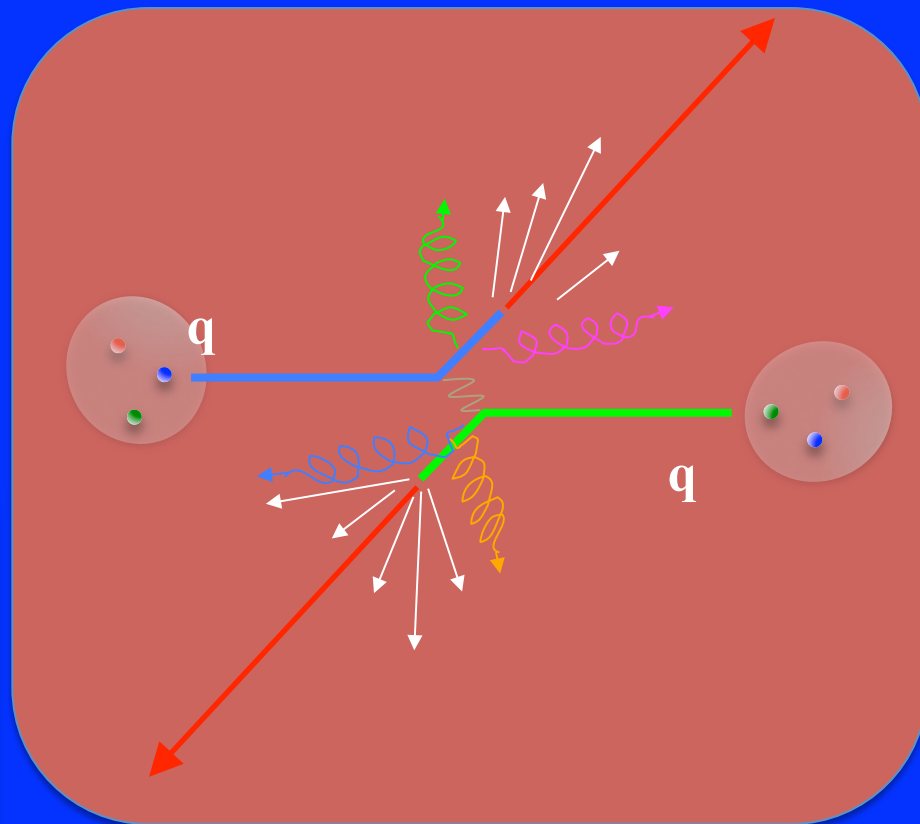
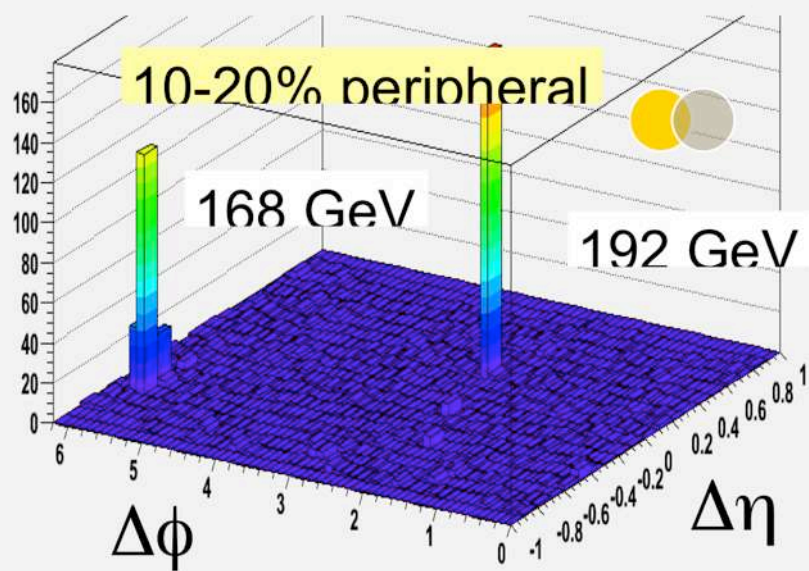


Σχήμα αμυγδάλου
Πολύ περισσότερα
αδρόνια παράλληλα στο
επίπεδο της
αλληλεπίδρασης παρά
στο κάθετο προς αυτό

Ήδη είχε ανακοινωθεί από τα πειράματα στο RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) στο Brookhaven (USA), όπου συγκρούονται πυρήνες χρυσού με ενέργεια 13 φορές μικρότερη

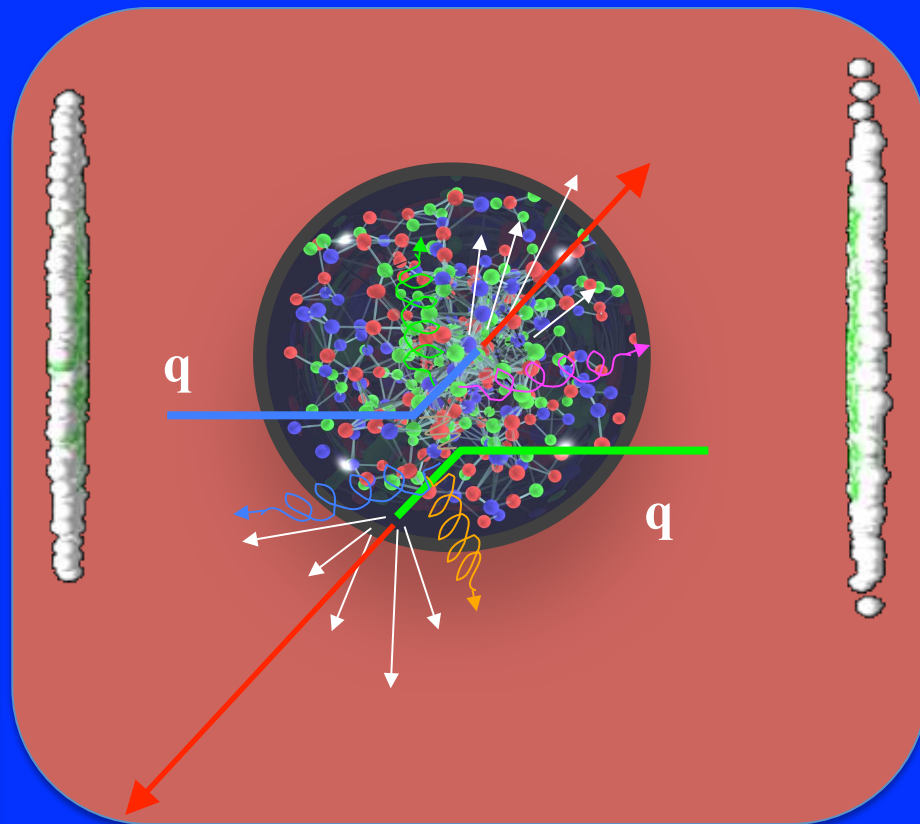
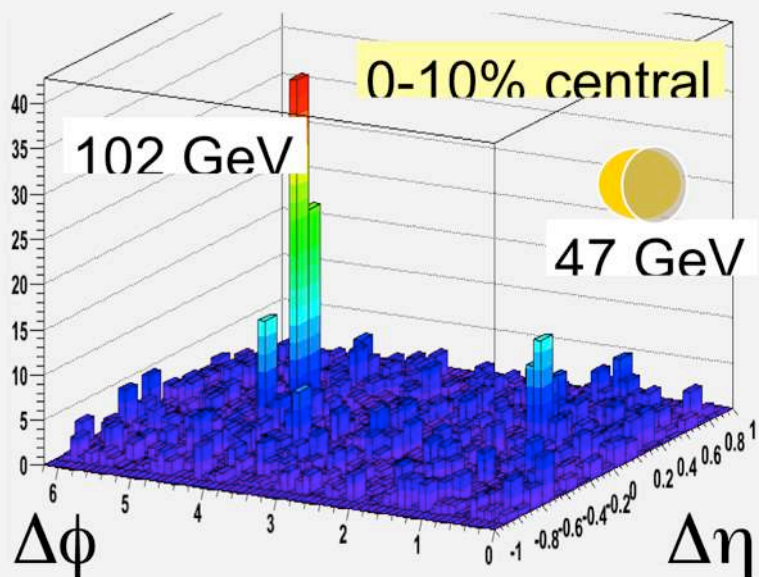
Ενα από τα πιο θεαματικά αποτελέσματα από τα πειράματα βαριών ιόντων

Πίδακες αδρονίων



Απόπνιξη των πιδάκων μέσα στο QGP

Ο πίδακας που παράγεται κοντά στην επιφάνεια από το QGP έχει μεγάλη ενέργεια ενώ εκείνος που διασχίζει το QGP απορροφιάται και σκεδάζεται από το πυκνό μέσο χάνοντας μεγάλο μέρος της ενέργειάς του





Σας ευχαριστώ πολύ