



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΜΑΡΙΑ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

Ο Ανιχνευτής Ακτινοβολίας Μετάβασης του Πειράματος ALICE

ΚΟΝΤΟΥΛΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ

A.M. 200800077

ΑΘΗΝΑ 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θέλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου και αναπληρώτρια καθηγήτρια στο τμήμα Φυσικής του ΕΚΠΑ , κα. Βασιλείου Μαρία , η οποία με βοήθησε και συνέβαλε καθοριστικά στην πραγματοποίηση αυτής της εργασίας. Την ευχαριστώ για την στήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
1. Το Πείραμα ALICE	1
1.1. Εισαγωγή	1
1.2. Γενικά για τον ανιχνευτή	3
1.3. Εσωτερικό σύστημα ανίχνευσης τροχιάς (Inner Tracking System)	3
1.3.1. Σκοπός του ανιχνευτή	3
1.3.2. Δομή του ανιχνευτή	6
1.4. T0 ανιχνευτής	9
1.5. V0 ανιχνευτής	11
1.6. Θάλαμος χρονικής προβολής (Time Projector Chamber)	11
1.7. Ανιχνευτής ακτινοβολίας μετάβασης (Transition Radiation Detector)	14
1.7.1. Φυσική και σχεδιαστικές απαιτήσεις	16
1.7.2. Αρχή λειτουργίας	16
1.8. Θάλαμοι χρόνου πτήσης (Time Of Flight)	18
1.9. Ανιχνευτής ταυτοποίησης σωματιδίων υψηλής ορμής (High Momentum Particle Identification Detector)	18
1.10. Φασματόμετρο φωτονίων (Photon Spectrometer)	19
1.11. Φασματόμετρο Μιονίων (Muon Spectrometer)	21
1.12. Ανιχνευτής πολλαπλότητας φωτονίων (Photon Multiplicity Detector)	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	22
2. Ανιχνευτής ακτινοβολίας μετάβασης του ALICE (The ALICE Transition Radiation Detector)	22
2.1. Απαιτήση του ALICE TRD	22
2.2. Ακτινοβολία μετάβασης	23
2.3. Σχεδίαση του ανιχνευτή	24
2.3.1. Ο ακτινοβολητής	24
2.3.2. Ο Ανιχνευτής	27
2.4. Αρχή Λειτουργίας του TRD	29
2.4.1. Ιδιότητες-Χαρακτηριστικά Σήματος	30
2.4.2. Απόρριψη ουράς	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	33
3. Πρότυπος Θάλαμος TRD	33

3.1.	Εισαγωγή	33
3.2.	Πειραματική Διάταξη	33
3.2.1.	Είδη Ακτινοβολητών	36
3.3.	Το πρόγραμμα Ανάλυσης AnaBeam.C	39
3.4.	Πειραματικά αποτελέσματα	39
3.4.1.	Σύγκριση των ακτινοβολητών Sandwich - Regular 1- Regular 2	45
3.4.2.	Συμπεράσματα	60
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

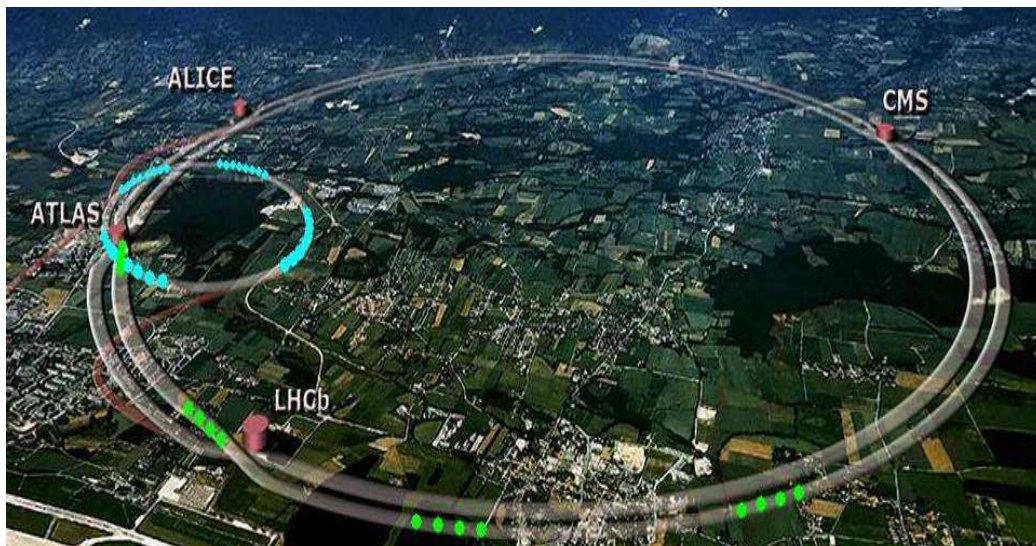
1. Το Πείραμα ALICE

1.1. Εισαγωγή

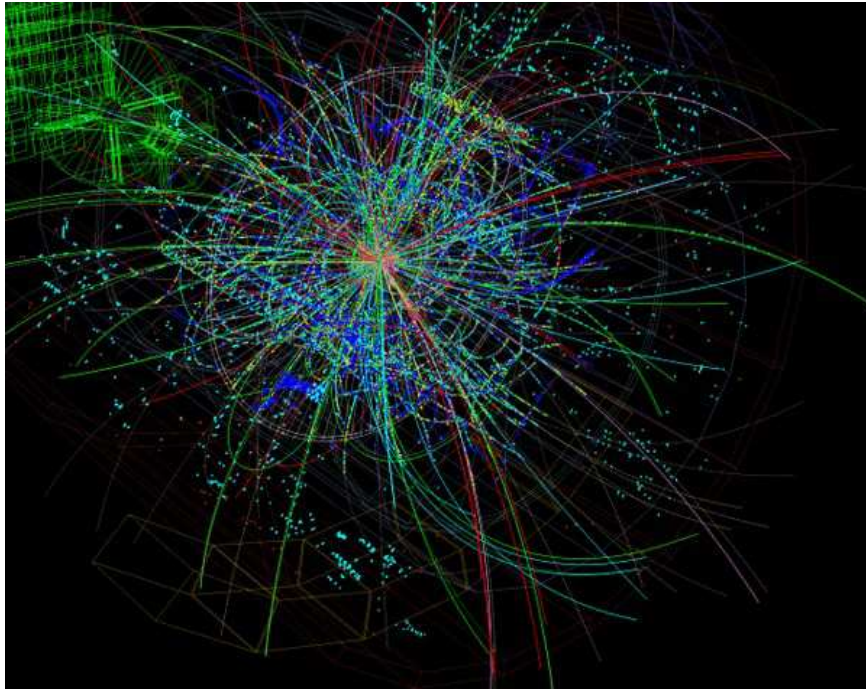
Το ανήσυχο πνεύμα της ανθρώπινης φυλής οδήγησε σε αξιοθαύμαστες ανακαλύψεις και στην βελτίωση του τρόπου ζωής μας. Η δίψα για γνώση όμως δεν επιτρέπει στους επιστήμονες να εφησυχαστούν ποτέ. Έτσι, δημιουργήθηκαν ισχυροί επιταχυντές σωματιδίων και οργανώθηκαν πειράματα με την συνεργασία επιστημόνων πολλών χωρών με απώτερο σκοπό να δημιουργηθούν οι συνθήκες που επικράτησαν στις πρώτες στιγμές της γέννησης του σύμπαντος! [1]

Το ευρωπαϊκό κέντρο πυρηνικών ερευνών CERN διαθέτει τον μεγάλο αδρονικό επιταχυντή σωματιδίων LHC ο οποίος επιταχύνει δύο δέσμες σωματιδίων σε αντίθετες κατευθύνσεις. Το ALICE (A Large Ion Collider Experiment) είναι ένα από τα επτά πειράματα που βρίσκονται στην περιφέρεια των 27 χιλιομέτρων της κυκλικής διαδρομής που διανύουν οι δέσμες. Τα άλλα έξι πειράματα είναι τα ATLAS, CMS, TOTEM, LHCb, LHCf, MoEDAL.[2]

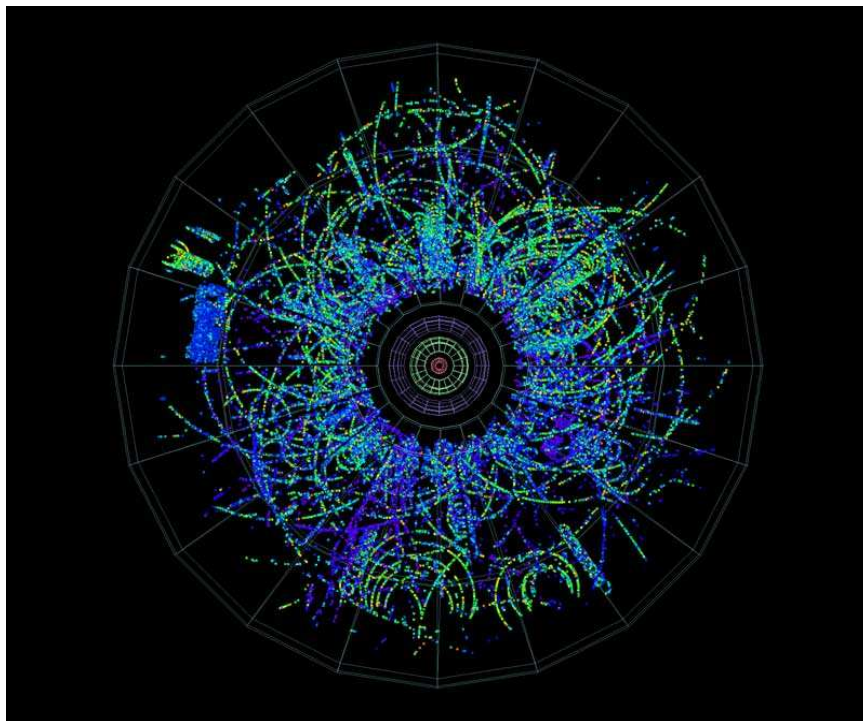
Ο σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη των ιδιοτήτων της ακραίας θερμής και πυκνής ύλης στις συγκρούσεις βαρέων ιόντων σε ενέργεια κέντρου μάζας $\sqrt{s_{NN}} = 5.5$ TeV. Για τον σκοπό αυτό το πείραμα ALICE απασχολεί πάνω από 1500 φυσικούς, μηχανικούς και τεχνικούς, συμπεριλαμβανομένων 350 φοιτητών, από 37 χώρες.



Εικόνα 1.1.1 Τοποθεσία του πειράματος ALICE.



Εικόνα 1.1.2 Αλληλεπίδραση p - Pb . Καταγράφηκε από το πείραμα ALICE στις 13 Σεπτεμβρίου 2012 σε ενέργεια κέντρου μάζας ίση με 5.02 TeV.



Εικόνα.1.1.3 Μία από τις πρώτες καταγραφές σύγκρουσης $Pb - Pb$ στον LHC του CERN , από τον ανιχνευτή του πειράματος ALICE .

1.2. Γενικά για τον ανιχνευτή

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν οι βασικές συνιστώσες του ανιχνευτή ALICE. Το όνομά του μεταφράζεται ως «Αλίκη» και πιθανόν αναφέρεται στην Αλίκη της χώρας των θαυμάτων, όπου πράγματι ο μικρόκοσμος αποτελεί έναν άγνωστο και θαυμαστό κόσμο για εξερεύνηση. Στις εικόνες 1.2.1 και 1.2.2 φαίνεται η βασική δομή του ανιχνευτή ALICE.

Τα βασικά μέρη του ανιχνευτή είναι τα εξής:

1	Εσωτερικό σύστημα ανίχνευσης τροχιάς	Inner Tracking System	I.T.S.
2	Ανιχνευτές εμπρόσθιας πολλαπλότητας και σκανδαλισμού	Forward Multiplicity and Trigger Detectors	F.M.D
3	Θάλαμος χρονικής προβολής	Time projector chamber	T.P.C
4	Ανιχνευτής ακτινοβολίας μετάβασης	Transition Radiation Detector	T.R.D
5	Θάλαμοι χρόνου πτήσης	Time of Flight	T.O.F
6	Ταυτοποίηση σωματιδίων υψηλών ορμών	High Momentum Particle Identification	H.M.P.I.D
7	Φασματόμετρο φωτονίων	Photon Spectrometer	PHO.S. C.P.V.
8	Μαγνήτης L3	L3 Magnet	L3 MAGNET
9	Απορροφητής	Absorber	ABSORBER
10	Θάλαμοι ανίχνευσης	Tracking Chambers	
11	Φίλτρο μιονίων	Muon Filter	
12	Θάλαμοι ώθησης	Trigger Chambers	
13	Μαγνήτης δίπολου	Dipole Magnet	
14	Ανιχνευτής πολλαπλότητας φωτονίων	Photon Multiplicity Detector	P.M.D.

1.3. Εσωτερικό σύστημα ανίχνευσης τροχιάς (Inner Tracking System)

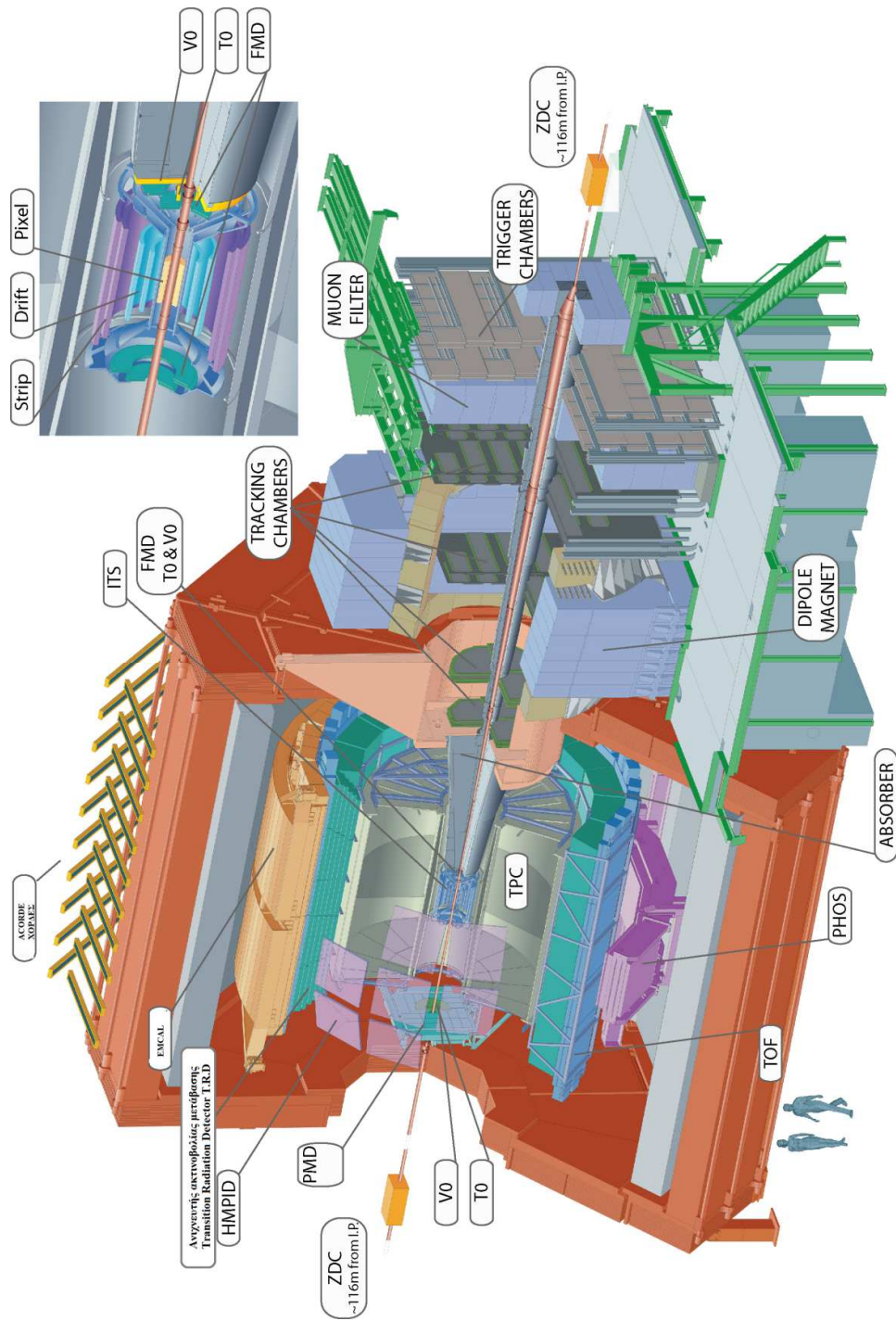
1.3.1. Σκοπός του ανιχνευτή

Ο ανιχνευτής ITS [3],[4] αποτελεί έναν από τους βασικούς ανιχνευτές του κεντρικού τμήματος του ανιχνευτή ALICE. Οι βασικές λειτουργίες του συνοψίζονται στα εξής:

- Ο προσδιορισμός του σημείου της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων (vertex) με ακρίβεια της τάξης των 100μm.
- Η ανακατασκευή των δευτερευόντων σημείων αλληλεπίδρασης από τις διασπάσεις υπερονίων και D και B μεσονίων.
- Η αναγνώριση σωματιδίων με ορμή μικρότερη των 200MeV/c.
- Η βελτιστοποίηση της γωνιακής ακρίβειας και της ακρίβειας στον προσδιορισμό της ορμής για σωματίδια τα οποία ανακατασκευάζονται στον ανιχνευτή TimeProjection Chamber (TPC).
- Η ανακατασκευή σωματιδίων τα οποία διασχίζουν νεκρές περιοχές του TPC, που κατά συνέπεια αυτός αδυνατεί να ανακατασκευάσει.



Εικόνα 1.2.1 Ο ανιχνευτής του πειράματος ALICE



Εικόνα 1.2.2 Ο ανιχνευτής του πειράματος ALICE.

1.3.2. Δομή του ανιχνευτή

Ο ανιχνευτής ITS είναι τοποθετημένος περιμετρικά του σωλήνα μέσα στον οποίο και ταξιδεύουν οι δέσμες (beam pipe). Σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες λειτουργίες του, ο τρόπος με τον οποίο έχει τοποθετηθεί, βοηθά και την μηχανική υποστήριξη του σωλήνα, αφού εμποδίζει την ύπαρξη μικρών μετακινήσεων. Ο σωλήνας της δέσμης, είναι ένας σωλήνας κυλινδρικού σχήματος, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από βηρύλλιο πάχους 800μm. Είναι τοποθετημένος ομοαξονικά με τα στρώματα του ITS και η εξωτερική του ακτίνα είναι 6 cm.

Όπως φαίνεται στις Εικόνες 1.3.2.1 – 1.3.2.5, ο ITS αποτελείται από έξι κυλινδρικές επιφάνειες ανιχνευτών ημιαγωγού (πυριτίου), οι οποίοι καλύπτουν ακτίνα από 4cm έως 43cm.

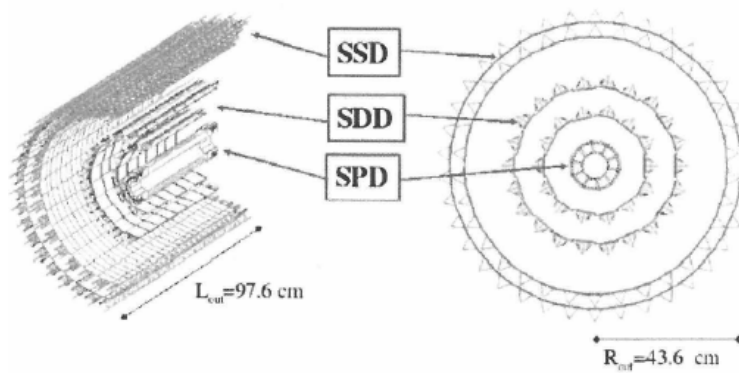
Συγκεκριμένα, το μήκος της εξωτερικής ακτίνας καθορίζεται από την αναγκαιότητα να μπορούν να ταυτοποιηθούν οι τροχιές που εντοπίζονται στον ITS με αυτές που εντοπίζονται στον TPC, ενώ η εσωτερική ακτίνα καθορίζεται από την ακτίνα του σωλήνα της δέσμης. Ο ανιχνευτής καλύπτει και εύρος ωκύτητας $|η| < 0.9$. Ο αριθμός των ανιχνευτών, η επιλογή της θέσης τους αλλά και ο τρόπος κατάτμησης των επιφανειών τους, έγιναν με τρόπο ώστε να βελτιστοποιείται η διαδικασία εντοπισμού τροχιών και να μεγιστοποιείται η διακριτική ικανότητα του παράγοντα κρούσης

Λόγω της υψηλής πυκνότητας σωματιδίων που αναμένεται να προκύψει κατά την κρούση βαρέων ιόντων (της τάξης των 50 σωματιδίων ανά cm^2 για την εσώτερη επιφάνεια), για την εξασφάλιση της απαραίτητης διακριτικής ικανότητας της παραμέτρου κρούσης οι ανιχνευτές που έχουν τοποθετηθεί στα δύο εσωτερικά τμήματα του ανιχνευτή είναι Silicon Pixel Detectors (SPD) ενώ για τα δύο ενδιάμεσα τμήματα Silicon Drift Detectors (SDD). Στα δύο εξώτερα τμήματα του ανιχνευτή, όπου η πυκνότητα σωματιδίων αναμένεται να είναι μικρότερη του ενός σωματιδίου ανά cm^2 , έχουν τοποθετηθεί double-sided Silicon microStrip Detectors (SDD). Οι τέσσερις εξωτερικές επιφάνειες έχουν αναλογική ανάγνωση σήματος και άρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αναγνώριση σωματιδίων μέσω της μέτρησης του λόγου dE/dx στη μη σχετικιστική περιοχή. Ο θάλαμος αναλογικής ανάγνωσης έχει αρκετά μεγάλο εύρος έτσι ώστε να επιτρέπει την μέτρηση του λόγου dE/dx για σωματίδια χαμηλής ορμής ακόμα και για την χαμηλότερη τιμή της ορμής για την οποία είναι δυνατόν να γίνει ανακατασκευή τροχιάς. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά δίνουν στον ITS την ικανότητα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα για την μέτρηση του φάσματος σωματιδίων με χαμηλή τιμή της εγκάρσιας ορμής.

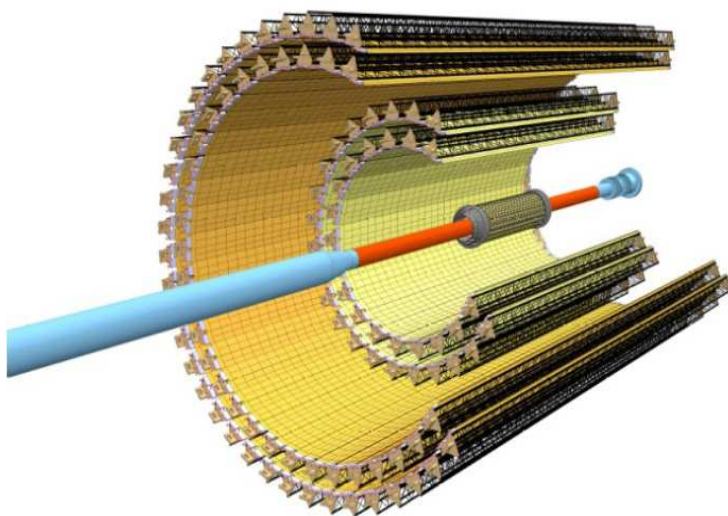
Η ακρίβεια που χαρακτηρίζει τόσο την ορμή όσο και την παράμετρο κρούσης, για σωματίδια χαμηλής ορμής επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από φαινόμενα πολλαπλής σκέδασης στο εσωτερικό του υλικού του ανιχνευτή. Για τον λόγο αυτό η ποσότητα υλικού που αντιστοιχεί στον ενεργό όγκο του ανιχνευτή πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή. Οι ανιχνευτές ημιαγωγού, προκειμένου να είναι σε θέση να μετρήσουν την πυκνότητα ιονισμού (drift και strip) και να παρέχουν αποδεκτή τιμή του λόγου σήματος προς τον θόρυβο, θα πρέπει να έχουν ελάχιστο πάχος υλικού της τάξης των 300μm. Επιπρόσθετα, οι ανιχνευτές θα πρέπει να υπερκαλύπτουν ο ένας τον άλλον προκειμένου να καλύπτουν πλήρως κάθε γωνία μέτρησης.



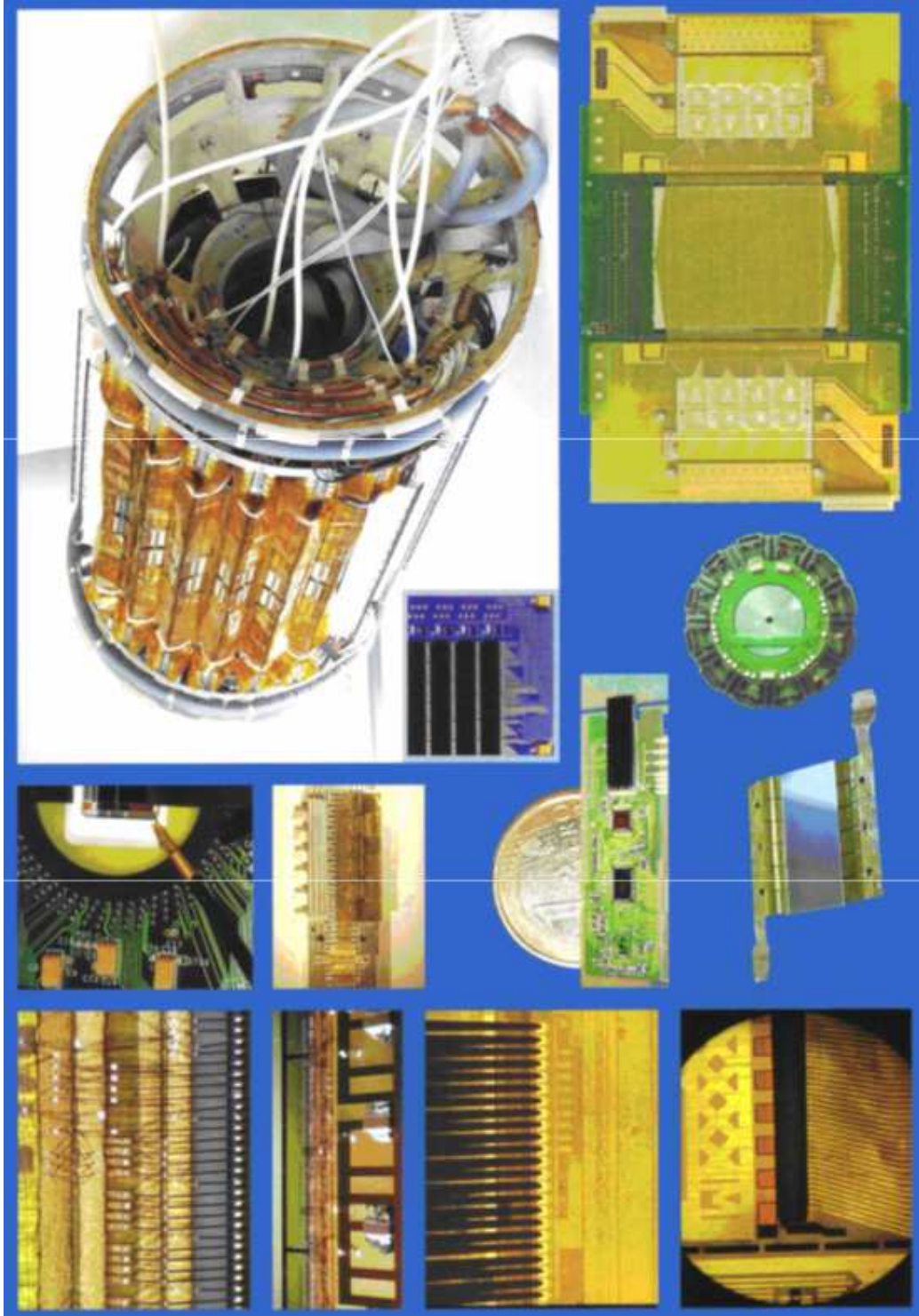
Εικόνα 1.3.2.1. Ο I.T.S.



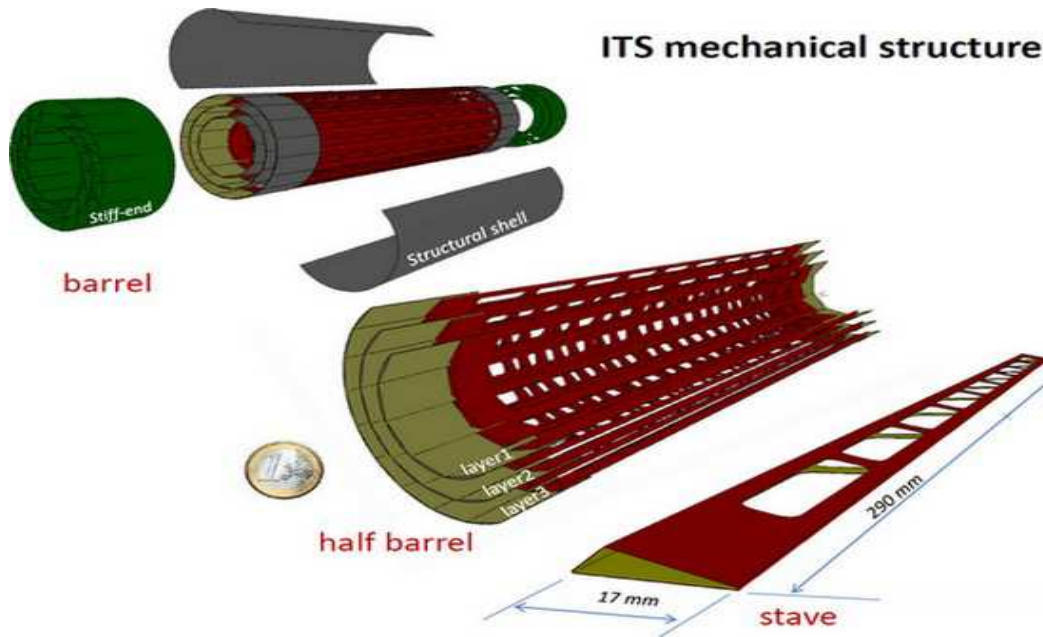
Εικόνα 1.3.2.2 Η διάταξη του I.T.S.



Εικόνα 1.3.2.3 Το εσωτερικό του I.T.S.



Εικόνα 1.3.2.4 Λεπτομέρειες στον I.T.S.



Εικόνα 1.3.2.5 Το εσωτερικό του I.T.S και η μηχανική δομή του

1.4. T0 ανιχνευτής

Ο T0 [5] είναι ο γρήγορος ανιχνευτής χρονομέτρησης και σκανδαλισμού για το πείραμα ALICE. Τα δεδομένα από τον T0 είναι κρίσιμα όχι μόνο για την εξαγωγή του ακριβή χρόνου αλληλεπίδρασης αλλά επίσης και για την κανονικοποίηση ανάμεσα στις αλληλεπιδράσεις πρωτονίου - πρωτονίου και βαρέων ιόντων. (εικόνες 1.4.1 και 1.4.2)

Ο T0 ανιχνευτής εκπληρώνει τις ακόλουθες λειτουργίες:

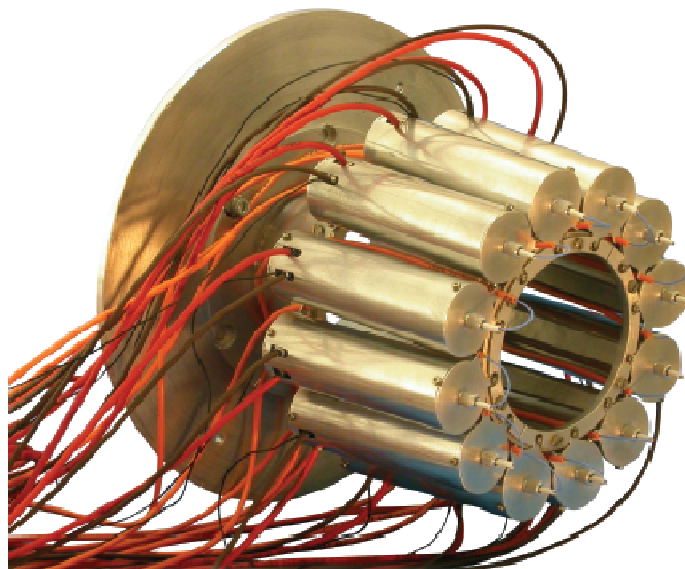
- ✓ Μεταφέρει μια «πρώτη αφύπνιση» στον ανιχνευτή TRD.
- ✓ Δίνει ένα ακριβή αρχικό σήμα για την ταυτοποίηση του σωματιδίου στο θάλαμο χρόνου πτήσης.

Οι λειτουργίες σκανδαλισμού που πληρεί ο T0:

- ✓ Προσεγγίζει την θέση της κορυφής.
- ✓ Εκτιμάει τη πολλαπλότητα των γεγονότων.



Εικόνα 1.4.1 Ο ανιχνευτής T0.



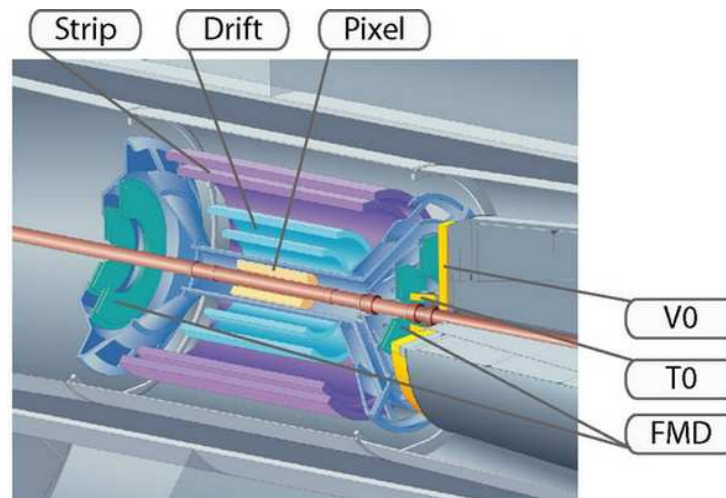
Εικόνα 1.4.2 Ο ανιχνευτής T0.

1.5. V0 ανιχνευτής

Ο ανιχνευτής V0 [6] αποτελείται από δύο διατάξεις μέτρησης σπινθηρισμών. Είναι τοποθετημένος και στις δύο πλευρές του σημείου αλληλεπίδρασης που καλούνται V0Left και V0Right. Ο μετρητής V0R βρίσκεται ακριβώς δεξιά προς την αντίθετη πλευρά του βραχίονα μιονίων και καλύπτει το φασματόμετρο, ενώ ο μετρητής V0L είναι τοποθετημένος 3.5m μακριά από την κορυφή σύγκρουσης στην αντίθετη πλευρά.

Είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να δίνει:

- ✓ Σκανδαλισμό στην κεντρικότητα Pb-Pb.
- ✓ Πληροφορίες πολλαπλότητας
- ✓ Έλεγχο φωτεινότητας



Εικόνα 1.5.1 Ανιχνευτής V0

1.6. Θάλαμος χρονικής προβολής (Time Projector Chamber)

Η ανίχνευση των σωματιδίων συνεχίζεται κι έξω από το ITS σε ένα μεγάλο ανιχνευτή TPC – θάλαμο χρονικής προβολής [7], (εικόνες 1.6.1 και 1.6.2).

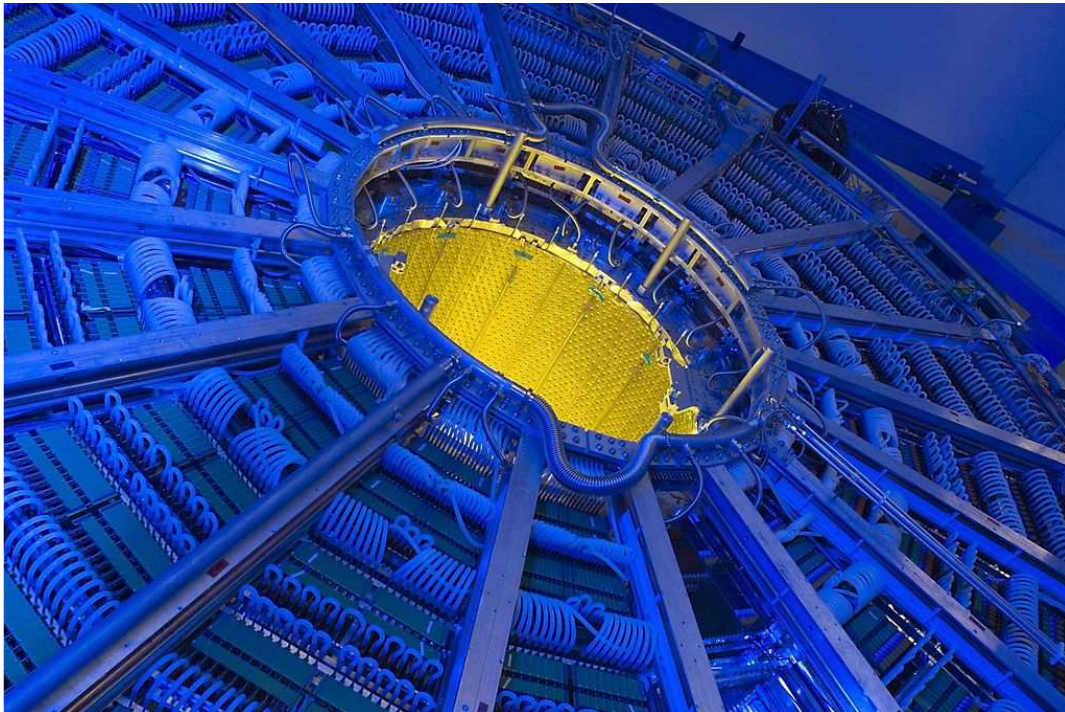
Ο ανιχνευτής TPC του ALICE είναι ένας κύλινδρος όγκου 88m^3 γεμάτος με αέριο το οποίο διαιρείται σε δύο κατευθυντήριες περιοχές με το κεντρικό ηλεκτρόδιο τοποθετημένο στο κέντρο του άξονά του. Το πεδίο του κλωβού εξασφαλίζει ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο κατά μήκος του z –άξονα. Τα φορτισμένα σωματίδια που διέρχονται από τον TPC ionίζουν το αέριο ελευθερώνοντας ηλεκτρόνια τα οποία εκτρέπονται προς τα τελευταία κυλινδρικά στρώματα. Η απαραίτητη ενίσχυση

σημάτων παρέχεται μέσω μιας χιονοστιβάδας κοντά στα ανοδικά σύρματα τα οποία είναι συνδεδεμένα για τη λήψη σήματος.

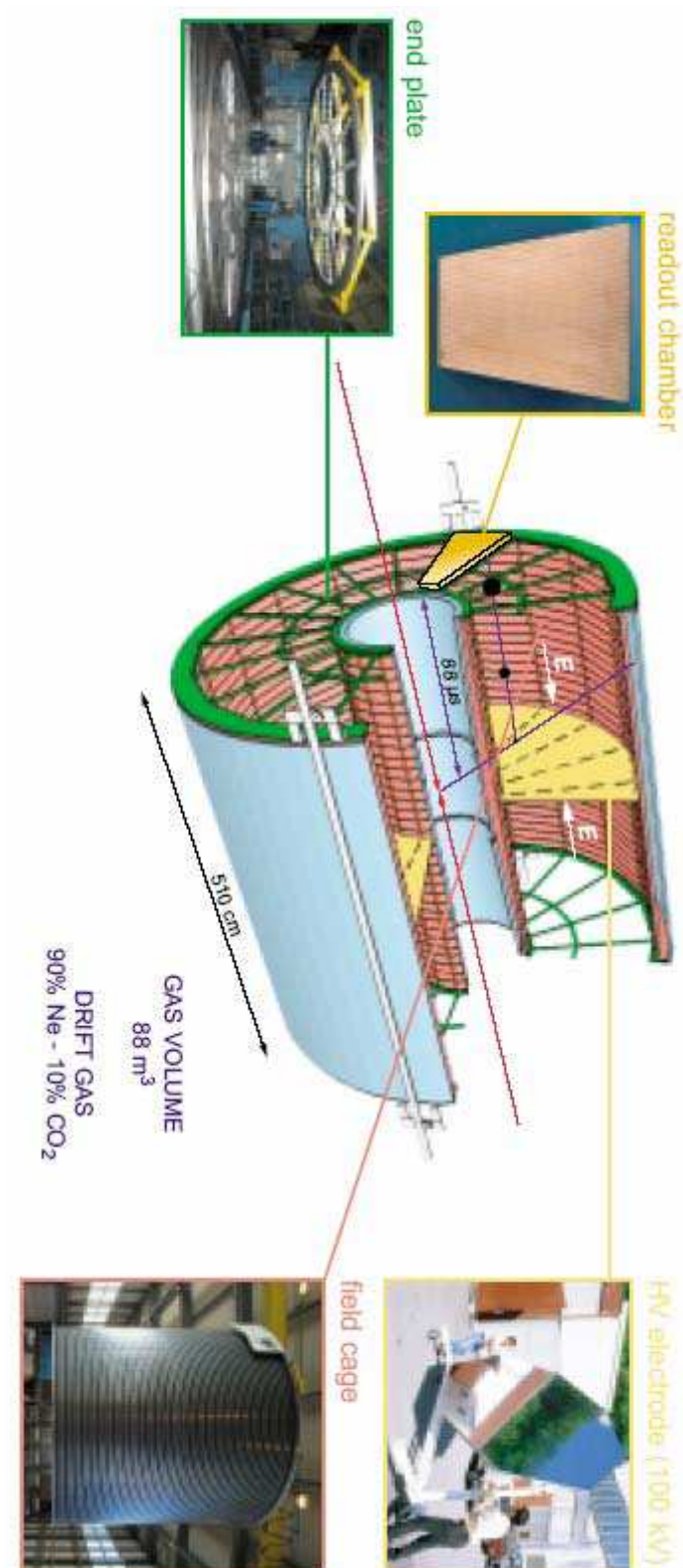
Κινούμενα από τα σύρματα ανόδου προς τα περιβάλλοντα ηλεκτρόδια, τα θετικά ιόντα που δημιουργούνται στη χιονοστιβάδα προκαλούν ένα θετικό τρέχον σήμα στο επίπεδο των πλακιδίων ανάγνωσης. Αυτό το τρέχον σήμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από έναν γρήγορο χρόνο ανόδου (λιγότερο από 1 ns) και με μια μακριά ουρά με ένα αρκετά σύνθετο σχήμα, φέρει ένα φορτίο που, για τον ελάχιστο ιονισμό σωματιδίου, είναι περίπου 4.8 fC. Η ανάγνωση του σήματος γίνεται από τα 570132 πλακίδια ανάγνωσης που διαμορφώνουν το επίπεδο καθόδου.

Οι αναμενόμενες υψηλές πυκνότητες σωματιδίων κάνουν τον ανιχνευτή να πρέπει να έχει το ελάχιστο δυνατό σφάλμα για να μην επηρεαστούν η ευαισθησία αναγνώρισης και η ικανότητα ανάλυσης του ανιχνευτή ως σύνολο. Παρόλο που επιλέχθηκε μία κλασσική κυλινδρική διάταξη (κατάλληλη για πειράματα με συγκρούσεις) τα άλλα χαρακτηριστικά του ανιχνευτή διαφέρουν κατά πολύ με τα άλλα πεδία κλωβών.(Εικόνα 1.6.3)

Οι ALICE TPC θάλαμοι ανάγνωσης σχεδιάστηκαν για την υψηλή πυκνότητα που αναμένεται σε συγκρούσεις βαρέων ιόντων στις LHC. Το μέγεθος των πλακιδίων ανάγνωσης των εσωτερικών θαλάμων έχει ελαχιστοποιηθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε το σήμα που εισάγεται σε αυτές, μετά την ενίσχυσή του από τα αναλογικά καλώδια ανόδου, να είναι ορατό και πάνω από τον ηλεκτρονικό θόρυβο ($S/N > 20$). Αυτό απαιτεί τη σχεδίαση ηλεκτρονικών ώστε να μην υπάρχει εκεί (όσο αυτό είναι εφικτό) θόρυβος.



Εικόνα 1.6.1. Ο θάλαμος χρονικής προβολής.



Εικόνα 1.6.2. Ο θάλαμος χρονικής προβολής.



Εικόνα 1.6.3. Ο κλωβός πεδίου.

1.7. Ανιχνευτής ακτινοβολίας μετάβασης (Transition Radiation Detector)

Ηλεκτρόνια και ποζιτρόνια μπορούν να διαχωριστούν από άλλα φορτισμένα σωματίδια μέσω της ακτινοβολίας μετάβασης (ακτίνες X που εκπέμπονται όταν τα σωματίδια διέρχονται από πολλά επίπεδα λεπτών υλικών). Η ακτινοβολία μετάβασης παίζει σημαντικό ρόλο στον εξοπλισμό τεχνικών για τους ανιχνευτές.

Όταν ένα υπερσχετικιστικό φορτισμένο σωματίδιο διασχίζει τη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο μέσων διαφορετικών διηλεκτρικών ιδιοτήτων, η απότομη αλλαγή στο ηλεκτρικό πεδίο προκαλεί την εκπομπή H/M ακτινοβολίας. Εάν η ενέργεια των σωματιδίων είναι πολύ υψηλή, τα εκπεμπόμενα φωτόνια είναι ακτίνες X που μπορούν να συλλεχθούν εύκολα. Η ακτινοβολία μετάβασης αναφέρθηκε πρώτη φορά από τον V L Ginzburg και τον I M Frank το 1944, και το 1957 ο G M Garibian έδειξε ότι είναι εφικτό η ακτινοβολία μετάβασης να χρησιμοποιηθεί σε ανιχνευτές (TRDs). Από τότε οι TRDs (Εικόνα 1.7.1) έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε διάφορα πειράματα, κυρίως στη φυσική υψηλών ενεργειών και στην αστροφυσική.

Η ακτινοβολία μετάβασης έχει τρία σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που επηρεάζουν τη σχεδίαση αυτών των ανιχνευτών:

- ✓ η συνολική ενέργεια ακτινοβολίας που εκπέμπεται στο υπερσχετικιστικό όριο είναι ανάλογη του παράγοντα Lorentz γ (η

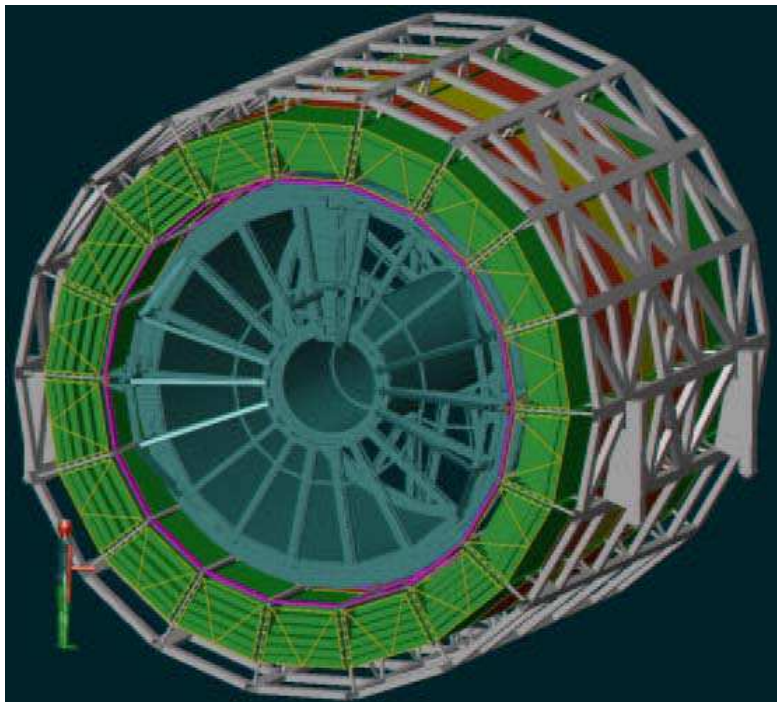
αναλογία της συνολικής ενέργειάς του σωματιδίου προς τη μάζα ηρεμίας του).

- ✓ ο μέσος αριθμός φωτονίων που εκπέμπονται από κάθε διαχωριστική επιφάνεια είναι σχετικά μικρός (περίπου 1/137).
- ✓ τα εκπεμπόμενα φωτόνια κινούνται ουσιαστικά στην ίδια κατεύθυνση με τα φορτισμένα σωματίδια.

Το πρώτο χαρακτηριστικό ευνοεί δύο σημαντικές εφαρμογές είτε για τη διάκριση των σωματιδίων με διαφορετικές μάζες αλλά ίδιας ορμής, είτε για τη μέτρηση της ενέργειας ενός γνωστού σωματιδίου.

Σύμφωνα με το δεύτερο χαρακτηριστικό, προκειμένου να υπάρξει ένας σημαντικός αριθμός φωτονίων, απαιτούνται πολλά στρώματα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε μέσω πολλών ισαπέχοντων ελασμάτων είτε μέσω ακανόνιστων ακτινοβολητών από ελαφρά στοιχεία/ίνες.

Το τρίτο χαρακτηριστικό έχει αρνητικές συνέπειες, επειδή ένα φορτισμένο σωματίδιο εκπέμπει ακτινοβολία, αν δεν απομακρυνθεί, ιονίζει την περιοχή ανίχνευσης των εκπεμπόμενων φωτονίων. Αυτή η επίδραση απαιτεί την προσεκτική σχεδίαση των ανιχνευτών ακτινοβολίας και την επαρκή ανάλυση των δεδομένων.



Εικόνα 1.7.1. Ο TRD

1.7.1. Φυσική και σχεδιαστικές απαιτήσεις

Σε συνδυασμό με το TPC [7] και ITS [4], ο TRD [8] χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση των ηλεκτρονίων. Έτσι, μπορούμε να μελετήσουμε:

- ✓ την παραγωγή ελαφρών και βαριών μεσονίων.
- ✓ τις ημιλεπτονικές μεταπτώσεις των αδρονίων με charm και beauty quarks μέσω του μονοηλεκτρονικού καναλιού.
- ✓ τα συσχετιζόμενα $d\bar{d}$ και $b\bar{b}$ ζεύγη μέσω των συγκρούσεων των ηλεκτρονίων στο κεντρικό βαρέλι και τα μίονια στον εμπρόσθιο βραχίονα μιονίων.
- ✓ σωματίδια υψηλών ενεργειών E_t μέσα από τις αρκετές τροχιές υψηλών ορμών p_t σε μία μονάδα του TRD.

Ο TRD χωρίζεται σε 18 τομείς στην αζιμουθιακή κατεύθυνση. Κάθε τομέας υποδιαιρείται σε 5 στοίβες στη διαμήκη κατεύθυνση και αποτελείται από 6 στρώματα στην αξονική κατεύθυνση. Συνολικά υπάρχουν 540 μονάδες ατομικών ανιχνευτών που καλύπτουν 750 m^2 και αποτελούνται από 1,200,000 κανάλια ανάγνωσης. Η μεγαλύτερη ενότητα έχει μήκος 159 cm, πλάτος 120 cm, ύψος 13 cm.

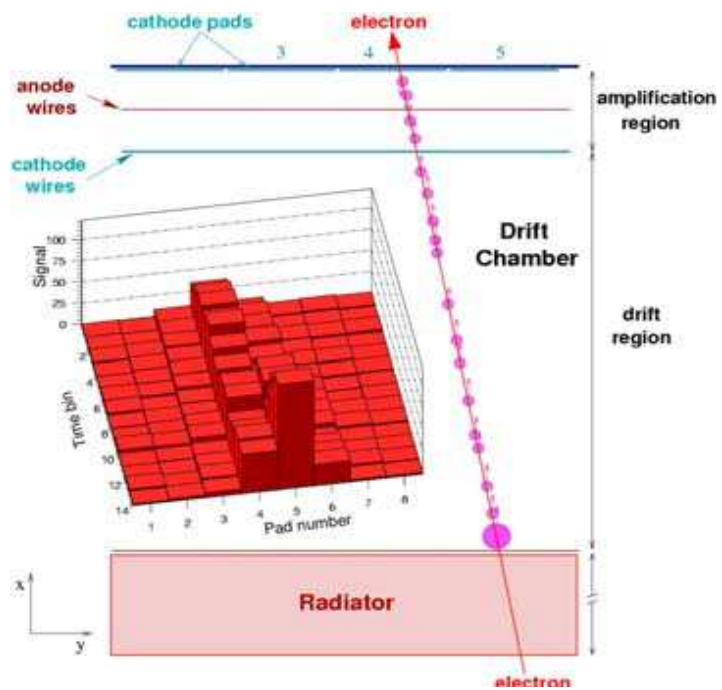
1.7.2. Αρχή λειτουργίας

Ένας TRD θάλαμος αποτελείται από έναν ακτινοβολητή, μία περιοχή ολίσθησης και μετατροπής, με μείγμα Xe/CO₂ σε αναλογίες 85%/15% και έναν πολλαπλών συρμάτων αναλογικό τομέα με ένα επίπεδο ανάγνωσης.

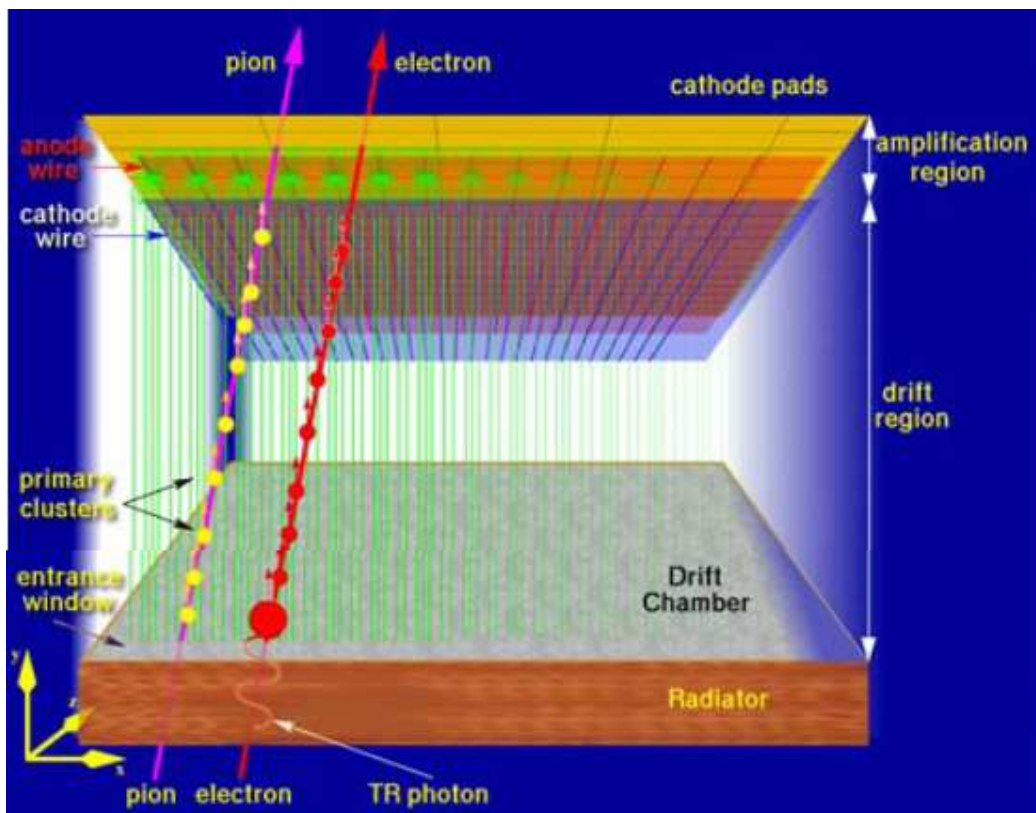
Όταν ένα σωματίδιο διέρχεται από το υλικό παράγονται φωτόνια ακτινοβολίας μετάβασης. Το σωματίδιο προωθείται στο θάλαμο αερίου, ionίζοντας το αέριο κατά μήκος της τροχιάς του. Τα ηλεκτρόνια ionισμού αλλά και τα αρχικά σωματίδια, παρασύρονται στη περιοχή ενίσχυσης και παράγουν χιονοστοιβάδες ηλεκτρονίων γύρω από την άνοδο. Κάθε χιονοστοιβάδα στέλνει ένα σήμα στα καθοδικά επίπεδα και από κει λαμβάνεται το δείγμα και αποθηκεύεται.

Τα συστατικά του ακτινοβολητή επιλέχθηκαν με βάση την απόδοση της ακτινοβολίας μετάβασης, την πυκνότητα της ακτινοβολίας και της μηχανικής σταθερότητας. Ο ακτινοβολητής έχει ως βάση ίνες πολυπροπυλενίου με πάχος 3.2 cm (διάμετρος ίνας 17μm). Ο ακτινοβολητής είναι συμπιεσμένος πλευρικά, ανάμεσα σε δύο φύλλα Rohacell HF71 πάχους 8 cm το καθένα. Αυτός ο συνδυασμός δοκιμάστηκε για την απόδοση του με επιθυμητά αποτελέσματα.

Ο θάλαμος αερίου διαιρείται σε δύο κομμάτια μέσα από ένα στρώμα καθοδικών συρμάτων: στην περιοχή που παρασύρονται τα ηλεκτρόνια (3 cm) και στον πολυσυρματικό αναλογικό θάλαμο (0.7 cm). Ένα ηλεκτρικό πεδίο ολίσθησης τίθεται στα 700V / cm ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο ολίσθησης και στα καθοδικά ηλεκτρόδια. Η ταχύτητα ολίσθησης είναι 2.5cm/μs. Στον πολυσυρματικό αναλογικό θάλαμο τα δευτερογενή ηλεκτρόνια ενισχύονται με απολαβή ενίσχυσης περίπου 5000.



Εικόνα 1.7.2.1. Αρχή λειτουργίας.



Εικόνα 1.7.2.2. Αρχή λειτουργίας.

1.8. Θάλαμοι χρόνου πτήσης (Time Of Flight)

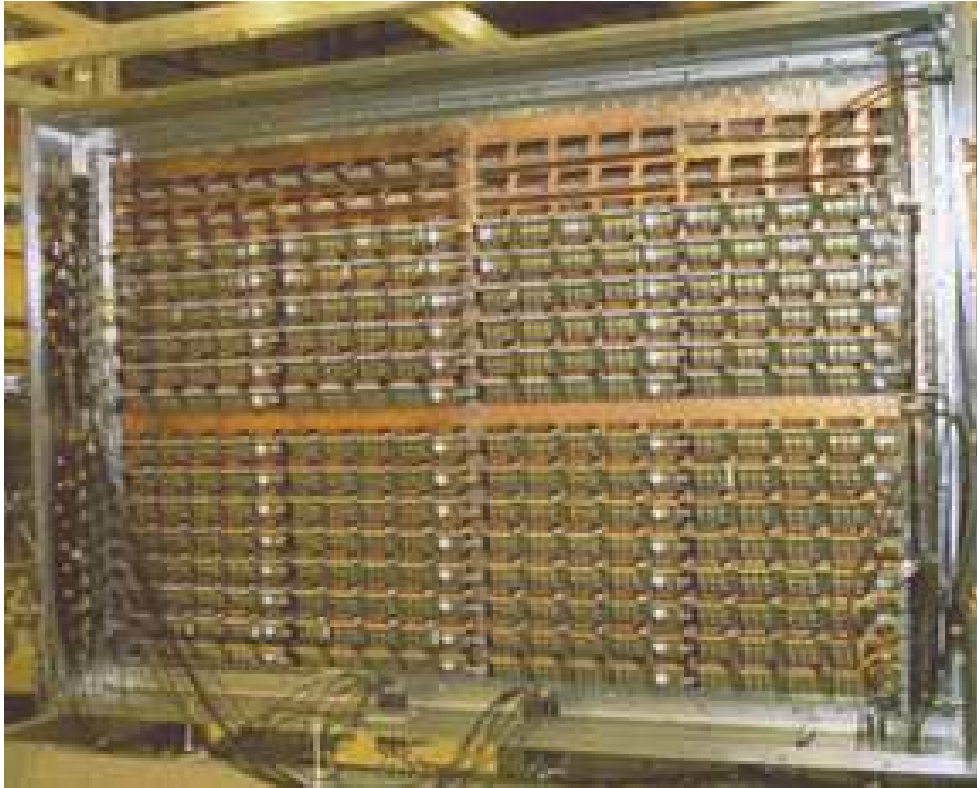
Ο ανιχνευτής Time-Of-Flight (TOF) [9] προτάθηκε το 1999 και παρουσιάστηκε στο ALICE TDR στις αρχές του 2000 για την αναγνώριση βαρέων σωματιδίων σε ολόκληρη την κεντρική περιοχή. Οι στόχοι του TOF απαιτούν:

- ✓ Μεγάλη αποδοχή (2 μονάδες ωκότητας)
- ✓ Μεγάλη αποδοτικότητα (>95%)
- ✓ Άριστο πραγματικό χρόνο ανάλυσης (< 100 ps)
- ✓ Διακριτική ικανότητα κατάλληλη για το περιβάλλον του ALICE (50 Hz/cm²)
- ✓ Καλή ομοιομορφία απόκρισης
- ✓ Ευκολία κατασκευής και συναρμολόγησης

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω χρησιμοποιείται η τεχνολογία των Multigap Resistive Plate Chambers.

1.9. Ανιχνευτής ταυτοποίησης σωματιδίων υψηλής ορμής (High Momentum Particle Identification Detector)

Ο ανιχνευτής αυτός αποτελείται από ανιχνευτές Cherenkov και έχει σαν στόχο την αναγνώριση των αδρονίων στην περιοχή ορμών από περίπου 2 GeV/c έως 5 GeV/c. Η εκπομπή φωτονίων Cherenkov γίνεται σε ακτινοβολητή από υγρό φρέον (C₆F₁₄) πάχους 10 mm και η μετατροπή τους σε ηλεκτρόνια με φωτοκάθοδο από CsI. Η συλλογή των φωτοηλεκτρονίων γίνεται από πολυσυρματικούς θαλάμους μέσω πλακιδίων διαστάσεων 8 x 8 mm². Ο κάθε ανιχνευτής έχει διαστάσεις 1.3 x 1.3 m². Ο HMPID [10] αποτελείται συνολικά από 7 τέτοιες μονάδες ανιχνευτών οι οποίες τοποθετούνται στο πάνω μέρος του κεντρικού τμήματος ($\theta = 90^\circ$), εξωτερικά από το σύστημα TOF, σε απόσταση περίπου 5 m από τον άξονα της δέσμης. Καλύπτει μόνο την περιοχή γωνιών $\Delta\phi \approx \Delta\theta \approx 55$ ($|\eta| \leq 0.5$).



Εικόνα 1.9 ο H.M.P.I.D.

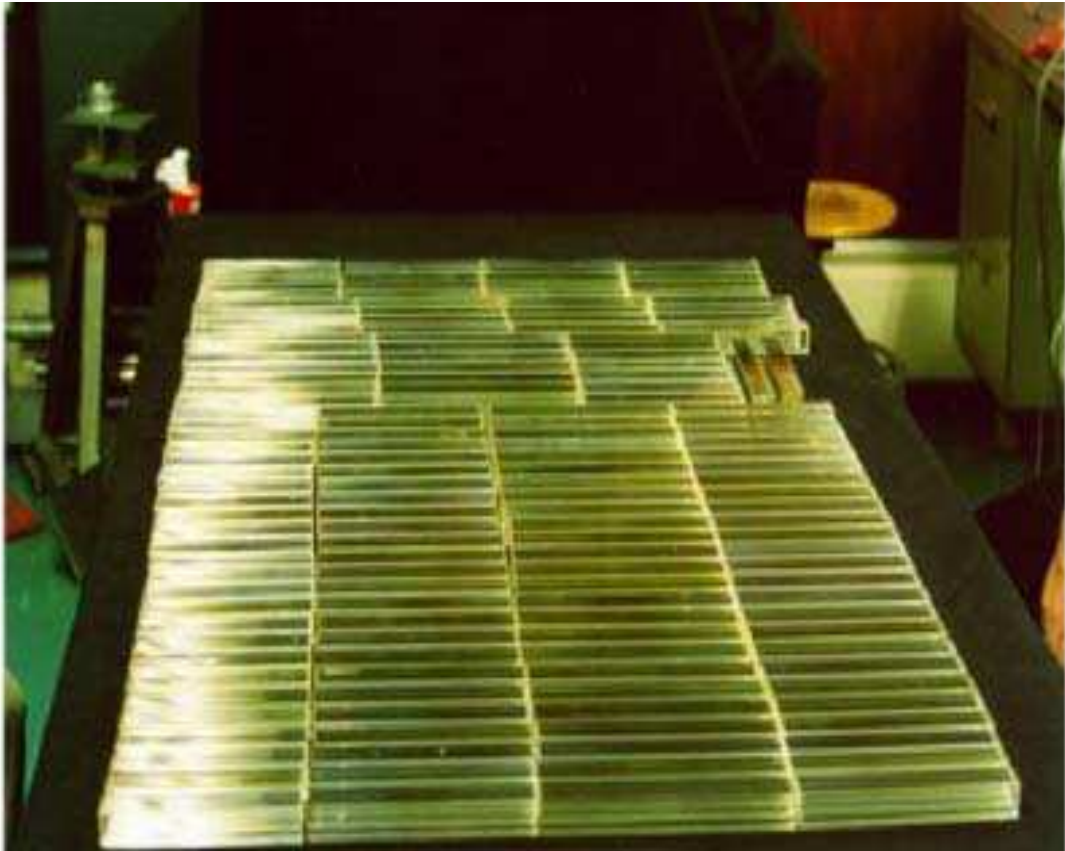
1.10. Φασματόμετρο φωτονίων (Photon Spectrometer)

Το Φασματόμετρο φωτονίων [11] (PHOS) (Εικόνα 1.10.1) – όπως και ο HMPID – έχει περιορισμένη γωνιακή κατάληψη σε αντιδιαμετρική θέση από αυτόν. Σχεδιάστηκε για να ανιχνεύσει τα φωτόνια υψηλής ενέργειας τα οποία εκπέμπονται στα πρώτα στάδια της σύγκρουσης (direct photons) και τα μεσόνια π^0 , η, η μελέτη της παραγωγής των οποίων σε μεγάλες εγκάρσιες ορμές περιέχει πληροφορία σχετικά με την κατάσταση του μέσου από το οποίο εκπέμφθηκαν.

Ο ανιχνευτής είναι ηλεκτρομαγνητικό καλορίμετρο αποτελούμενο από 17000 κρυστάλλους σπινθηριστή PbWO_4 διαστάσεων $2.2 \times 2.2 \times 1.8 \text{ cm}^3$. Για την αύξηση της παραγωγής φωτός στους κρυστάλλους ο ανιχνευτής λειτουργεί στην θερμοκρασία των -25°C . Μπροστά από το καλορίμετρο υπάρχει πολυσυρματικός θάλαμος για την καταγραφή και απόρριψη των φορτισμένων σωματίων. Η απόρριψη του σήματος των αφόρτιστων αδρονίων γίνεται κατά την ανάλυση των δεδομένων με όριο στο πλάτος

του παραγόμενου καταιγισμού. Ο ανιχνευτής PHOS έχει επιφάνεια 8 m^2 και είναι τοποθετημένος σε ακτινική απόσταση 5 m στο κάτω μέρος του κεντρικού τμήματος του πειράματος καλύπτοντας εύρος αζιμουθιακής γωνίας $\Delta\phi = 100^\circ$ και ψευδοωκότητας $|\eta| \leq 0.12$.

Μετράει τα φωτόνια στην περιοχή ορμών $0.5 - 10 \text{ GeV}/c$ και τα π^0 , η, με $1 - 10 \text{ GeV}/c$ επιτυγχάνοντας ενεργειακή διακριτική ικανότητα της τάξης 1%, 10% αντίστοιχα, ενώ η μεγάλη χωρική διαμέριση του επιτρέπει την ανακατασκευή των π^0 έως ορμή της τάξης των $30 \text{ GeV}/c$.



Εικόνα 1.10.1. PHOS

1.11. Φασματόμετρο Μιονίων (Muon Spectrometer)

Στην εμπρόσθια περιοχή του πειράματος, έξω από το σωληνοειδές μαγνητικό πεδίο του κεντρικού τμήματος, υπάρχει το φασματόμετρο μιονίων [12],[13],[14], το οποίο μελετάει την παραγωγή των βαρέων μεσονίων J/Ψ ($m = 3.1 \text{ GeV}/c^2$), Ψ' ($m = 3.7 \text{ GeV}/c^2$), Y ($m = 9.5 \text{ GeV}/c^2$), Y' ($m = 10 \text{ GeV}/c^2$), Y'' ($m = 10.4 \text{ GeV}/c^2$), ανιχνεύοντας τα ζεύγη μιονίων στα οποία διασπώνται. Καλύπτει την περιοχή $2.5 \leq \eta \leq 4.0$ και σχεδιάστηκε ώστε να επιτύχει διακριτική ικανότητα στον προσδιορισμό της ανταλλοιώτης μάζας των μιονικών ζευγών καλύτερη από 100 MeV . Αποτελείται από εμπρόσθιο απορροφητή και απορροφητή σε μικρή γωνία, το μαγνητικό διπολικό πεδίο, τους ανιχνευτές τροχιών, έναν ακόμη απορροφητή (muon filter) και τους ανιχνευτές σκανδαλισμού (trigger chambers). Κατά μήκος του φασματομέτρου υπάρχουν συνολικά 5 ζεύγη πολυσυρματικών θαλάμων, οι οποίοι αποτελούν τους ανιχνευτές καταγραφής των τροχιών των μιονίων.

1.12. Ανιχνευτής πολλαπλότητας φωτονίων (Photon Multiplicity Detector)

Ο ανιχνευτής PMD [15] βρίσκεται σε απόσταση $z = 5.8 \text{ m}$ από το σημείο σύγκρουσης. Έχοντας εσωτερική και εξωτερική ακτίνα 0.85 m και 2 m αντίστοιχα, καλύπτει το τμήμα της ψευδοωκότητας $1.8 \leq \eta \leq 2.6$.

Σχεδιάστηκε για τη μέτρηση του πληθυσμού των φωτονίων και των φορτισμένων αδρονίων με κύριο στόχο να ανιχνεύει πιθανές μεγάλες στατιστικές διακυμάνσεις στις τιμές τους, από γεγονός σε γεγονός, πράγμα που αποτελεί χαρακτηριστική ένδειξη για σχηματισμό αποπροσανατολισμένου χειραλικού συμπυκνώματος. Αποτελείται από preshower ανιχνευτές κυψελωτής διάταξης (preshower honeycomb array). Το πέρασμα ενός φωτονίου δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικό καταιγισμό ο οποίος προκαλεί σήμα με περισσότερες της μίας κυψελίδες από συρματικούς θαλάμους (honeycomb proportional chambers), ενώ αντίθετα το πέρασμα ενός φορτισμένου αδρονίου δίνει σήμα μόνο σε μία. Ο ηλεκτρομαγνητικός καταιγισμός προκαλείται από στρώμα μολύβδου (converter) το οποίο βρίσκεται ανάμεσα σε δύο στρώματα κυψελωτών θαλάμων. Το ένα στρώμα χρησιμοποιείται για την καταγραφή του καταιγισμού ενώ το άλλο λειτουργεί ως ανιχνευτής charged particle veto. Συνολικά ο PMD αποτελείται από 200000 κυψελίδες από συρματικούς θαλάμους επιφάνειας 1 cm^2 η κάθε μία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Ανιχνευτής ακτινοβολίας μετάβασης του ALICE (The ALICE Transition Radiation Detector)

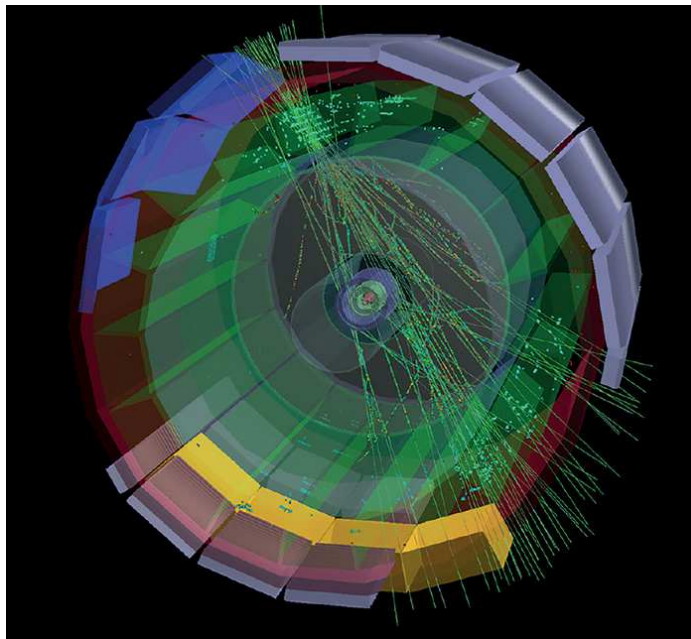
2.1. Απαίτηση του ALICE TRD

Σε συνδυασμό με το TPC και ITS, ο TRD χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση των ηλεκτρονίων. Έτσι, μπορούμε να μελετήσουμε:

- ✓ την παραγωγή ελαφρών και βαρέων μεσονίων.
- ✓ τις ημιλεπτονικές μεταπτώσεις των αδρονίων με charm και beauty quarks μέσω του μονοηλεκτρονικού καναλιού.
- ✓ τα συσχετιζόμενα $d\bar{d}$ και $b\bar{b}$ ζεύγη μέσω των συγκρούσεων των ηλεκτρονίων στο κεντρικό βαρέλι και τα μίονια στον εμπρόσθιο βραχίονα μιονίων.
- ✓ σωματίδια υψηλών ενεργειών E_t μέσω των τροχιών υψηλών ορμών p_t σε μία μονάδα του TRD.

Αυτές οι φυσικές απαιτήσεις οδηγούν στην τοποθέτηση του TRD έξω από το TPC που ξεκινάει από μία ακτίνα 2.9 m και φτάνει στα 3.7 m, έχει μήκος 7 m.

Ο TRD χωρίζεται σε 18 τομείς στην αζιμουθιακή κατεύθυνση. Κάθε τομέας υποδιαιρείται σε 5 υποτομείς στη διαμήκη κατεύθυνση και αποτελείται από 6 στρώματα στην αξονική κατεύθυνση. Συνολικά υπάρχουν 540 μονάδες ατομικών ανιχνευτών που καλύπτουν 750 m^2 και αποτελούνται από 1,200,000 κανάλια ανάγνωσης. Η μεγαλύτερη ενότητα έχει μήκος 159 cm, πλάτος 120 cm, ύψος 13 cm.



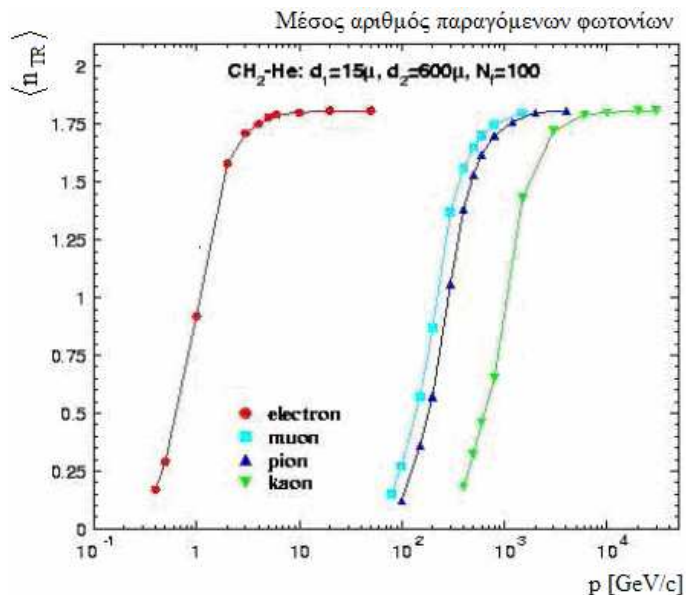
Εικόνα 2.1.1. ο TRD

2.2. Ακτινοβολία μετάβασης

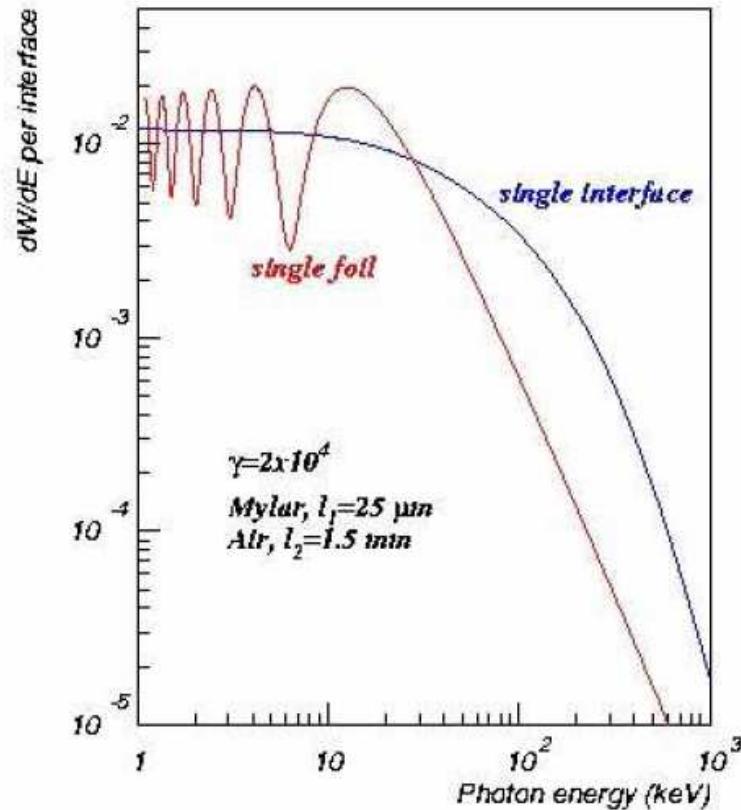
Η ακτινοβολία μετάβασης TR [16],[17],[18] προβλέφθηκε από τους Ginzburg και Frank το 1946 και τα χαρακτηριστικά τους έχουν μελετηθεί από καιρό και θεωρητικά και πειραματικά. Οι TRDs έχουν χρησιμοποιηθεί και χρησιμοποιούνται σε πολλά πειράματα όπως NOMAD [19], ZEUS [20], PHENIX [21], ATLAS [22].

Η ακτινοβολία μετάβασης TR εκπέμπεται όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο με σχετικιστική ορμή διαπερνάει την επιφάνεια δύο μέσων με διαφορετικές διηλεκτρικές σταθερές. Η παραγωγή TR είναι ανάλογη προς τον παράγοντα Lorentz. Αφού η ζώνη σχηματισμού είναι περίπου ανάλογη με το γ^2 , ο μηχανισμός παραγωγής και το φαινόμενο καταστολής συμβάλλουν στον κορεσμό της παραγωγής TR για ένα σωματίδιο με υψηλότερο παράγοντα Lorentz. Ο αριθμός των εκπεμπόμενων φωτονίων TR είναι περίπου ανάλογος με τον παράγοντα Lorentz του σωματιδίου.

Στην εικόνα 2.2.1 φαίνεται ο αριθμός των εκπεμπόμενων φωτονίων TR για ηλεκτρόνια (κόκκινο), μίονια (θαλασσί), πιόνια (μπλε) και καόνια (πράσινο) συναρτήσει της ορμής. Περισσότερα από ένα φωτόνια TR μπορούν να εκπεμφθούν όταν ο παράγοντας Lorentz είναι μεγαλύτερος από 2000, που αντιστοιχεί σε ορμή ηλεκτρονίων περίπου 1 GeV/c και πιονίων περίπου 280 GeV/c. Επομένως από το 1 GeV/c στα 280 GeV/c, τα ηλεκτρόνια μπορούν να ταυτοποιηθούν ανιχνεύοντας την ακτινοβολία μετάβασης. Η εικόνα 2.2.2 δείχνει το διαφορικό ενεργειακό φάσμα ανά διαχωριστική επιφάνεια, το μπλε χρώμα αναφέρεται για ακτινοβολητή μίας διαχωριστικής επιφάνειας και το κόκκινο για ακτινοβολητή ενός ελάσματος (η αυτοαπορρόφηση δεν λαμβάνεται υπόψη). Ας ξεκαθαρίσουμε για ακόμα μία φορά ότι η μονή διαχωριστική επιφάνεια είναι ο ακτινοβολητής που έχει μόνο ένα σύνορο, ενώ στην περίπτωση του μονού ελάσματος είναι ο ακτινοβολητής ο οποίος έχει δύο σύνορα. Στο μονό έλασμα υπάρχει μία διακύμανση εξαιτίας του φαινομένου της ζώνης σχηματισμού. Η απορρόφηση στον ακτινοβολητή προκαλεί την καταστολή της απόδοσης της TR για φωτόνια με χαμηλότερες ενέργειες. Αυτή είναι και η αιτία, που το εκπεμπόμενο φωτόνιο TR είναι μαλακές ακτίνες x και η γωνία εκπομπής ανάλογη του $1/\gamma$.



Εικόνα 2.2.1 Εξάρτηση της ορμής από τον αριθμό των παραγόμενων φωτονίων ακτινοβολίας μετάβασης



Εικόνα 2.2.2 Το φάσμα της ακτινοβολίας μετάβασης για μονή διαχωριστική επιφάνεια και μονό έλασμα.

2.3. Σχεδίαση του ανιχνευτή

Ο ανιχνευτής TRD αποτελείται από δύο τμήματα, το ένα είναι ο ακτινοβολητής (radiator) ο οποίος παράγει τα φωτόνια ακτινοβολίας μετάβασης και το άλλο τμήμα είναι ο ανιχνευτής που ανιχνεύει αυτή την ακτινοβολία. Στον TRD του ALICE, ο ακτινοβολητής αποτελείται από τις εκατοντάδες ίνες mat και ο θάλαμος ανάγνωσης τοποθετείται πίσω από τον ακτινοβολητή για να ανιχνεύσει τα φωτόνια TR.

2.3.1. Ο ακτινοβολητής

Ο ακτινοβολητής (radiator) (Εικόνα 2.3.1.1) αποτελεί τη μονάδα του TRD που παράγεται η ακτινοβολία μετάβασης. Εκτός από το γεγονός του ότι πρέπει να παρέχει ικανοποιητική απόδοση ακτινοβολίας μετάβασης πρέπει τόσο τα γεωμετρικά του όσο και τα μηχανικά του μέρη να ικανοποιούν τις ανάγκες του πειράματος.

Αφού η πιθανότητα εκπομπής ενός φωτονίου TR ανά διαχωριστική επιφάνεια είναι πολύ μικρή (ανάλογη της σταθεράς λεπτής υφής), πρέπει ο ακτινοβολητής να έχει πολλές διαχωριστικές επιφάνειες, έτσι ώστε η πιθανότητα να είναι μεγάλη. Επομένως

το υλικό του ακτινοβολητή μπορεί να διανεμηθεί σε στρώσεις όπως έναν κανονικό σωρό από ελάσματα ή σε μια ανώμαλη δομή όπως τις μορφές ή σε ίνες. Οι ίνες, όμως, έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι πολύ ευκολότερα να χειριστούν και να κατασκευαστούν. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν μικρό ατομικό αριθμό, ώστε η αυτοαπορρόφηση του εκπεμπόμενου φωτονίου TR να είναι ελάχιστη. Στο πείραμα ALICE, έξι στρώσεις TRD εγκαταστάθηκαν, όπου κάθε μία έχει πλήρη αζιμουθιακή κάλυψη. Πρέπει να προσέξουμε ώστε ο ακτινοβολητής να μην επιβαρύνεται από τη βαρύτητα, αφού τα κεκλιμένα ελάσματα κάτω από την επίδραση της βαρυτικής δύναμης παραμορφώνονται.

Συνοψίζοντας, ο ανιχνευτής αποτελείται από έξι όμοιες στρώσεις κάθε μία από τις οποίες καλύπτει πλήρως την αζιμουθιακή κατεύθυνση. Επιπλέον, πρέπει η συνολική ποσότητα που σκιάζει τους άλλους ανιχνευτές να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Άρα τα μεταλλικά πλαίσια που χρησιμοποιούνται δεν είναι πολλά. Ακόμα και να θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε εκατοντάδες ελάσματα, ο ομοιόμορφος διαχωρισμός τους θα ήταν αδύνατος αν σκεφτούμε το προβλεπόμενο μέγεθος του radiator και τη γεωμετρία του collider. Συγκεκριμένα θα χρειαζόνταν 540 radiators, πράγμα ανεπιθύμητο.

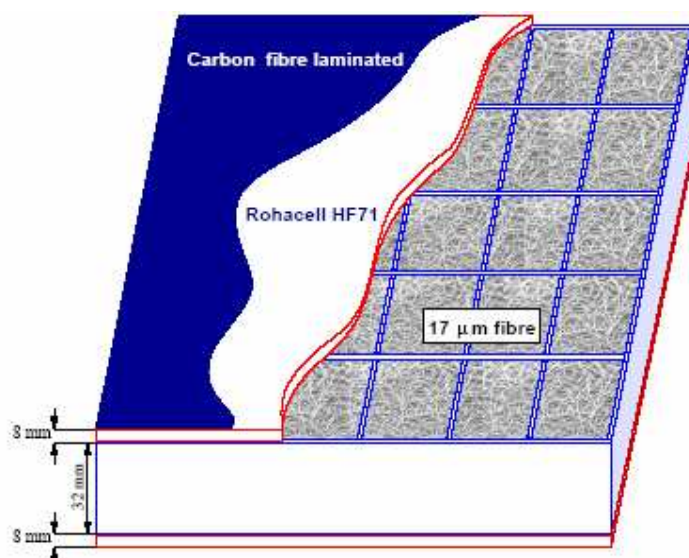
Οι radiators με ίνες είναι προσεγγίσεις των radiators με ελάσματα αλλά το πάχος των ινών είναι τέτοιο που μπορεί να διαχωριστεί σε δύο επάλληλα σύνορα και ο διαχωρισμός αυτός είναι ανάλογος με τα μετρούμενα σωματίδια. Από την άλλη, ο αφρός με την ακανόνιστη δομή του παρέχει και τυχαίο προσανατολισμό των συνόρων και μεταβλητό κενό μεταξύ τους. Αμέσως καταλαβαίνουμε ότι η απόκριση του TRD radiator με ίνες είναι συγκρίσιμος με το radiator με ελάσματα ενώ ο radiator με αφρό είναι κατά τι λιγότερο αποδοτικός από αυτό με τις ίνες. Οι μηχανικές του, όμως, ιδιότητες τον κάνουν ανώτερο κατά πολύ.

Οι απαιτήσεις, λοιπόν, του TRD radiator συνοψίζονται ως εξής:

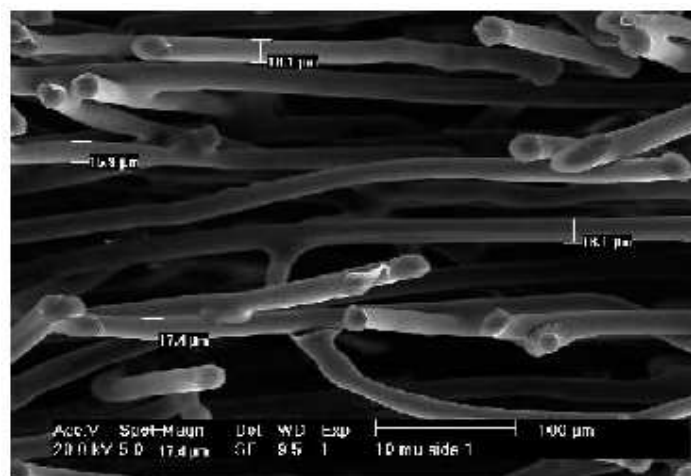
- ✓ Πρέπει να παράγει ακτινοβολία μετάβασης με αρκετή απόδοση ενώ το πάχος του να μην υπερβαίνει τα 4,8cm.
- ✓ Πρέπει να στηρίζει το παράθυρο και να μειώνει τις αποκλίσεις που προκαλούνται από την πίεση αερίου και μάλιστα κάτω από το 1mm.
- ✓ Οι 6 στρώσεις του πρέπει να μην ξεπερνούν το 15% του μήκους της ακτινοβολίας.

Οι ιδιότητες των υλικών του radiator:

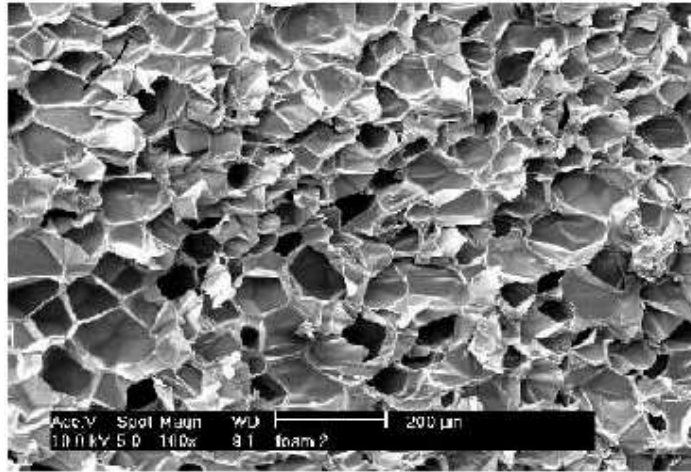
material	density [g/cm ³]	Radiation length X ₀ [g/cm ²]	absolute thickness [cm]	X/X ₀ [×10 ⁻³]
PMI form	0.075	40.6	2×0.8	2.96
PP fiber	0.074	44.6	3.0	5.30



Εικόνα 2.3.1.1 Σχεδιασμός του ακτινοβολητή του ανιχνευτή TRD



Εικόνα 2.3.1.2 Ίνες πολυπροπυλενίου



Εικόνα 2.3.1.3 Αφρός Rohacell

2.3.2. Ο Ανιχνευτής

Αν και οι TRD είναι πολλοί, βασίζονται στην ίδια βασική αρχή σχεδιασμού του radiator (ακτινοβόλο σώμα) και των μονάδων ανίχνευσης.

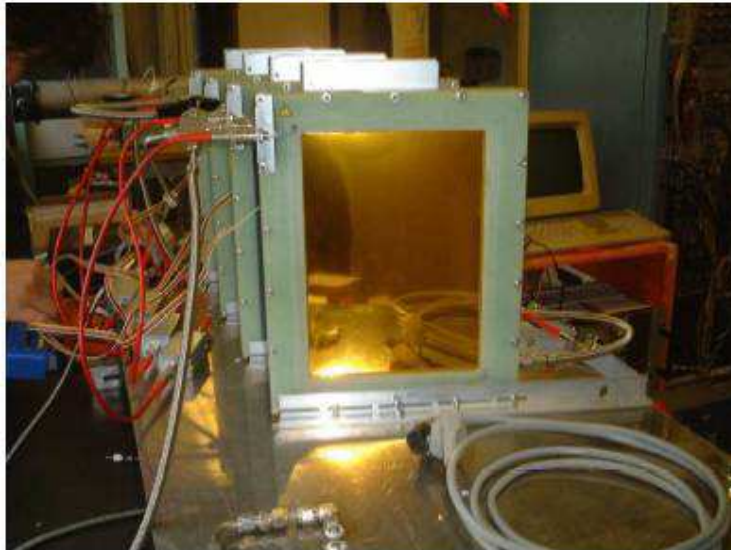
Ένας τέτοιος ανιχνευτής προϋποθέτει τη συμμαχία της φυσικής της πληροφορικής και των ηλεκτρονικών. Τα ηλεκτρονικά του TRD είναι αναγκαίο να καταγράφουν όλα τα πιθανά σήματα που προέρχονται από τα χιλιάδες φορτισμένα σωματίδια. Προϋπόθεση στα ηλεκτρονικά είναι η υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων καθώς και αξιοπιστία των υπολογιστικών μονάδων.

Ο ανιχνευτής πρέπει να έχει μεγάλη διακριτική ικανότητα έτσι ώστε να μπορεί να ανιχνεύσει φωτόνια TR με ενέργεια γύρω στα 10 keV. Για τον λόγο αυτό, στο θάλαμο ολίσθησης τοποθετούμε ένα βαρύ ευγενές αέριο.

Δεδομένου ότι το μήκος απορρόφησης του Xe είναι 1cm για ένα φωτόνιο με ενέργεια 10 keV, τα συστατικά του αερίου του θαλάμου είναι 85% Xe και το 15% CO₂. Το αέριο CO₂ χρησιμοποιείται για να διατηρεί τη θερμοκρασία σταθερή. Τα περισσότερα φωτόνια TR απορροφώνται κοντά στο παράθυρο εισόδου του θαλάμου ολίσθησης και περίπου το 95% των φωτονίων TR απορροφώνται στην περιοχή ολίσθησης. Ο θάλαμος ολίσθησης έχει μία περιοχή όπου εισάγεται το αέριο και μία περιοχή ενίσχυσης. Η περιοχή ολίσθησης και η περιοχή ενίσχυσης χωρίζονται από το επίπεδο των καθόδων. Η περιοχή ολίσθησης είναι 30 mm ενώ η περιοχή ενίσχυσης 7 mm. Τα ανοδικά σύρματα βολφραμίου ή χρυσού έχουν διάμετρο 20 μm. Αντίστοιχα οι κάθοδοι έχουν διάμετρο 75μm. Το σήμα επάγεται στο καθοδικό επίπεδο με ορθογώνια pads των 8.0 x 7.5 = 6.0cm². (Εικόνες 2.3.2.1, 2.3.2.2, 2.3.2.3)

Οι προδιαγραφές του θαλάμου ανάγνωσης:

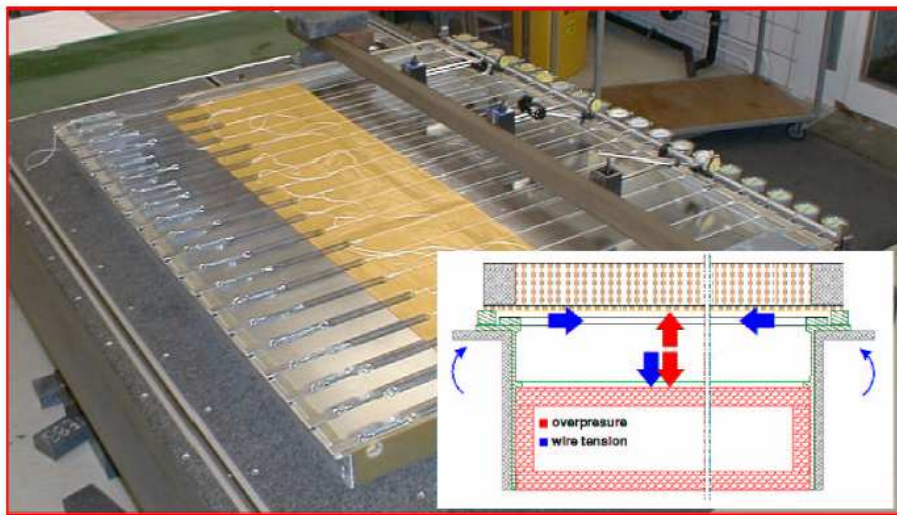
Typical pad size	$0.75 \times 8.0 = 6.0 \text{ cm}^2$
Detector Gas	Xe (85%), CO ₂ (15%)
Depth of drift region	3 cm
Depth of amplification region	0.7 cm
Distance between pad plane and anode wire plane	0.35 cm
Distance between anode and cathode wire plane	0.35 cm
Anode wire pitch	5 mm
Cathode wire pitch	2.5 mm
Drift field	0.7 kV/cm
Drift velocity	1.5 cm/μs
Potential at entrance window	-2.1 kV
Potential at cathode wire	0 kV (GND)
Potential at anode wire	1.5 kV
Potential at cathode plane	0 kV (GND)
Gain	$> 5 \times 10^3$



Εικόνα 2.3.2.1 Πρόσθιο τμήμα της μονάδας TRD χωρίς ακτινοβολητή



Εικόνα 2.3.2.2 Οπίσθιο τμήμα της μονάδας TRD χωρίς ακτινοβολητή

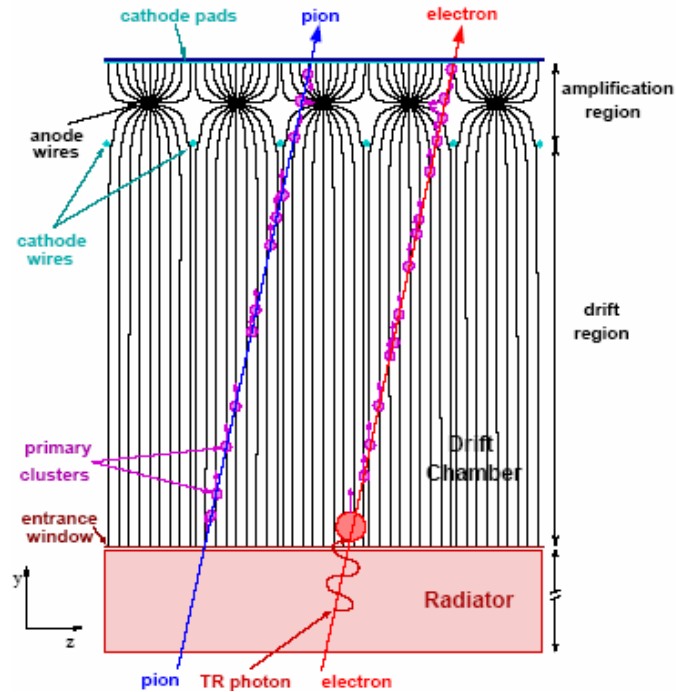


Εικόνα 2.3.2.3 Θάλαμος

2.4. Αρχή Λειτουργίας του TRD

Όταν καόνια, πιόνια και ηλεκτρόνια ορμής μικρότερης από 1GeV/c περνούν από μία ενότητα TRD και διασχίζουν το radiator δεν παρατηρούμε κανένα φαινόμενο που μας ενδιαφέρει. Όταν, όμως, ηλεκτρόνια με ορμή κοντά στο 1GeV/c διασχίζουν το radiator

παράγουν φωτόνια ακτίνων X ενέργειας από 5 έως 30KeV σε αυτόν και δημιουργούνται ζεύγη ιόντων και ηλεκτρονίων. Καθώς από το radiator μπαίνουν στην περιοχή ολίσθησης τα ηλεκτρόνια ολισθαίνουν λόγω του ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου προς την περιοχή ενίσχυσης με αποτέλεσμα να δημιουργούνται χιονοστιβάδες ηλεκτρονίων στα ανοδικά σύρματα. Τα ηλεκτρόνια της χιονοστιβάδας απορροφώνται γρήγορα από τα σύρματα ενώ τα ιόντα απομακρύνονται αργά και επάγουν ρεύμα δίνοντας ένα σήμα (δηλαδή κάνουν induce και παίρνουμε το σήμα). Με ένα συγκεκριμένο παράγοντα Lorenz μπορούμε να διακρίνουμε τα ηλεκτρόνια από άλλα φορτισμένα σωματίδια. (Εικόνα 2.4.1)



Εικόνα 2.4.1 Αρχή λειτουργίας του TRD

2.4.1. Ιδιότητες-Χαρακτηριστικά Σήματος

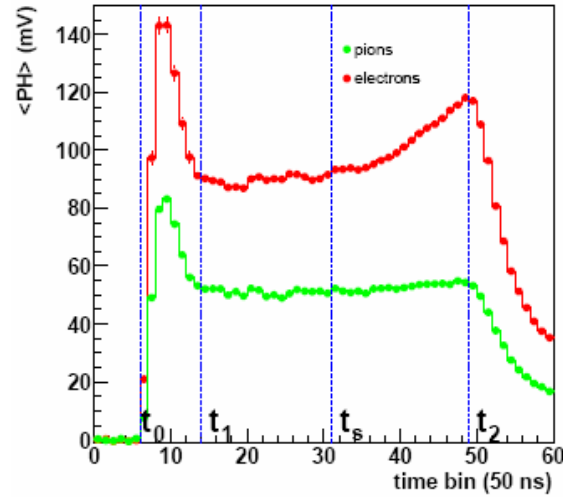
Η Εικόνα 2.4.1.1 δείχνει το μέσο ύψος παλμού, $\langle PH \rangle$ (Pulse Height), των ηλεκτρονίων και πιονίων ως συνάρτηση του χρόνου ολίσθησης, μετρημένα σε 60 bins των 50 ns το καθένα. Τα δεδομένα παίρνονται για ορμή στα 3 GeV/c, ανοδική τάση στα 1.54kV και καθοδική τάση στα -1.92kV.

❖ Επεξήγηση των χρόνων που αναγράφονται στην Εικόνα 2.4.1.1

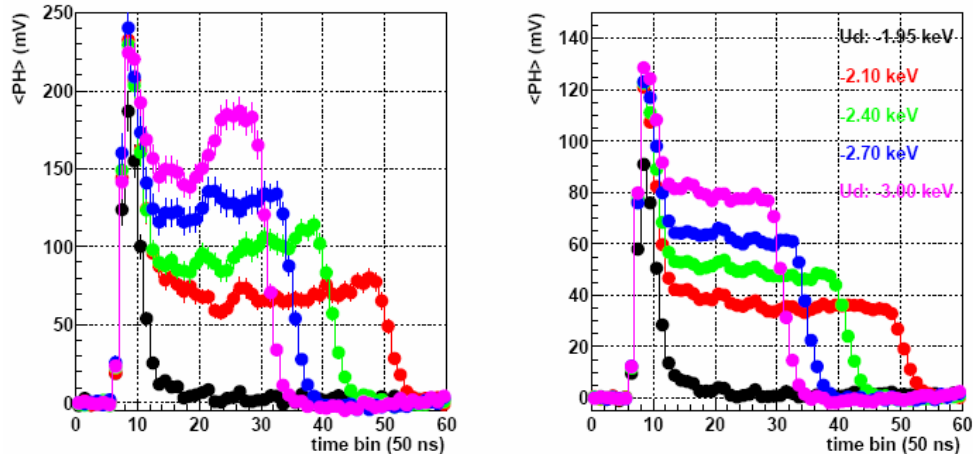
Το σημείο έναρξης του σήματος είναι στο έκτο bin ($t_0 = 0.3\text{ns}$). Από t_0 έως t_1 είναι η περιοχή ενίσχυσης. Η περιοχή ολίσθησης τελειώνει στο t_2 . Λόγω των ουρών που προκαλούνται από τα ιόντα, υπάρχει ασάφεια ως προς τον καθορισμό του t_2 . Είναι ο t_2 ,

όμως, ο χρόνος όπου η περιοχή κόρου ολίσθησης τελειώνει. Τέλος, ο χρόνος $t_s = (t_1 + t_2) / 2$ είναι ο χρόνος που καθορίζεται το σήμα S/N (signal/noise).

Παρατηρούμε ότι το σήμα των ηλεκτρονίων παρουσιάζει μια εμφανή αύξηση καθώς ο χρόνος (ολίσθησης) αυξάνει. Η κορυφή στο t_2 δείχνει ότι το περισσότερο μέρος της ακτινοβολίας μετάβασης απορροφάται κοντά στο παράθυρο εισόδου του θαλάμου. Η κορυφή στο t_2 παρουσιάζει μία ουρά για μικρότερους χρόνους η οποία υποδηλώνει ότι ένα μέρος της ακτινοβολίας μετάβασης έχει διεισδύσει στο θάλαμο λόγω της υψηλής ενέργειάς της.



Εικόνα 2.4.1.1 Μέσο ύψος παλμού, $\langle PH \rangle$ (Pulse Height), για ηλεκτρόνια και πόνια ως συνάρτηση του χρόνου ολίσθησης



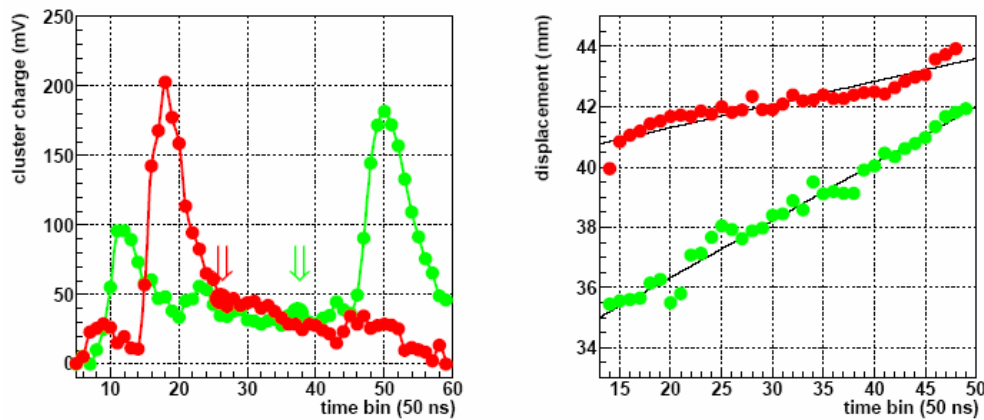
Εικόνα 2.4.1.2 Το μέσο ύψος παλμού για ηλεκτρόνια (αριστερά) και πόνια (δεξιά) συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης, για διάφορες τάσεις ολίσθησης. Η ορμή είναι 3 GeV/c, η τάση ανόδου 1.6kV.

2.4.2. Απόρριψη ουράς

Στην εικόνα 2.4.2.1 η ουρά του σήματος είναι αποτέλεσμα της αργής κίνησης των ιόντων που απομακρύνονται από την άνοδο. Αυτή η αργή κίνηση επάγει ένα σήμα αργής ανόδου. Το σήμα ενός time bin διαρκεί περισσότερο από το αμέσως επόμενο time bin προκαλώντας την ουρά. Αυτή η συσχέτιση ανάμεσα στα time bins κάνει τη γωνιακή ανάλυση και την ανάλυση θέσης ευαίσθητες στις διακυμάνσεις εναπόθεσης φορτίου Landau.

Για να ξεφορτωθούμε τη συστηματική επίδραση της ουράς των ιόντων, η επονομαζόμενη απόρριψη ουράς εφαρμόζεται στο σήμα ως μία off-line διαδικασία που φιλτράρει τη ουρά των ιόντων από το σήμα.

Το φαινόμενο της ουράς επίσης φαίνεται στην εικόνα 2.4.2.1. Στα αριστερά φαίνονται δύο σήματα. Το σήμα στην είσοδο του θαλάμου παριστάνεται με το πράσινο ιστόγραμμα (μεγάλος χρόνος ολίσθησης) ενώ το κόκκινο παριστάνει το σήμα στην έξοδο (μικρός χρόνος ολίσθησης). Τα βελάκια με το αντίστοιχο χρώμα δείχνουν το μέσο χρόνο φορτίου. Στα δεξιά φαίνεται το εκτόπισμα από το κέντρο.



Εικόνα 2.4.2.1 Αριστερά: δύο σήματα στην περιοχή ολίσθησης. Ο μέσος χρόνος φορτίου δείχνεται με τα βελάκια. Οι αντίστοιχες μετατοπίσεις δείχνονται δεξιά. Όσο μικρότερος είναι ο μέσος χρόνος φορτίου, τόσο μικρότερη είναι η μετατόπιση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Πρότυπος Θάλαμος TRD

3.1. Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό μελετάει το μέσο ύψος παλμού συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης, την κατανομή του πλάτους στα πλακίδια και το φάσμα του εναποτιθέμενου φορτίου για διάφορους ακτινοβολητές, έτσι ώστε να δούμε ποιος ακτινοβολητής είναι πιο αποδοτικός, αλλά και ποιος ικανοποιεί τις απαιτήσεις του ALICE. Οι κατανομές λαμβάνονται με τη βοήθεια του προγράμματος AnaBeam.C [23].

3.2. Πειραματική Διάταξη

Ο πρότυπος θάλαμος [24] έχει ακριβώς την ίδια δομή με αυτόν που χρησιμοποιείται, είναι μικρότερος, όμως, ως προς το μέγεθος. Η μορφή της διάταξης φαίνεται στην εικόνα 3.2.1 Εκτός από τον πρότυπο TRD, η διάταξη περιλαμβάνει και άλλους ανιχνευτές η λειτουργία των οποίων συζητείται αμέσως παρακάτω.

Τα πιόνια και τα ηλεκτρόνια ξεχωρίζονται χρησιμοποιώντας κατώφλια σύμπτωσης σε έναν ανιχνευτή Cherenkov (Ch) και ένα μολυβδύαλο καλορίμετρο (Pbgl). Ο ανιχνευτής Cherenkov περιέχει CO₂ σε πίεση 0.15 bar [25], . Τρεις σπινθηριστές (S1 S2 S3) χρησιμοποιούνται για το triggering (δηλαδή δίνουν την έναρξη και τη λήξη, με άλλα λόγια καθορίζουν τον σκαναλισμό της δέσμης [24]) και τέσσερις Silicon detectors (ανιχνευτές πυριτίου) SD₁ - SD₄ χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς (δηλαδή για τον προσδιορισμό της δέσμης). Τρεις θάλαμοι ολίσθησης (Drift Chambers) DC₂ – DC₄ παρέχουν μετρήσεις για την εναπόθεση ενέργειας με ή χωρίς ακτινοβολητή και χρησιμεύουν για την ανάλυση ταυτοποίησης ηλεκτρονίων και πιονίων. Τα TR φωτόνια που παράγονται στον ακτινοβολητή μπροστά από το μαγνήτη ανιχνεύονται ξεχωριστά από τη δέσμη στο DC₁ θάλαμο ολίσθησης. Οι τέσσερις θάλαμοι ολίσθησης DC έχουν Xe/CO₂ σε αναλογία 85%/15% και τάση ανόδου 1.54kV για τους δύο πρώτους ενώ 1.5kV για τους υπολοίπους.

Η τάση ολίσθησης είναι -1.9kV, ενώ η ενίσχυση είναι 5700 για τους DC₁, DC₂ και 3320 για τους DC₃, DC₄. Επίσης ο 1 και 2 έχουν 16 πλακίδια ενώ οι 3 και 4 έχουν 8 πλακίδια.

Η απορρόφηση φωτονίων γίνεται ελάχιστη με τη χρήση ενός σωλήνα με ήλιο (He – pipe). Ο σωλήνας είναι από Plexiglas μήκους 80cm και βρίσκεται ανάμεσα στον ακτινοβολητή και τον πρώτο θάλαμο ολίσθησης. Ο σωλήνας είναι τοποθετημένος μέσα σε μαγνητικό πεδίο περίπου 0.5 με 1 Tesla που δημιουργείται από ένα μαγνήτη. Το μήκος του μαγνήτη είναι περίπου μισό μέτρο και η κλίση της ακτινοβολίας διατηρείται σταθερή μεταβάλλοντας το μαγνητικό πεδίο μέχρι και 1T. Σκοπός του μαγνήτη είναι να εκτρέψει και να διαχωρίσει τα φορτισμένα σωματίδια της δέσμης [26].

Όπως αναφέραμε, για να διαχωριστεί η δέσμη των ηλεκτρονίων από τα πιόνια χρησιμοποιούμε τα δεδομένα των ανιχνευτών Cherenkov και Pb – glass. Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο διέρχεται από κάποιο διηλεκτρικό υλικό με ταχύτητα $v > c_n$ τότε

εκπέμπεται ακτινοβολία Cherenkov. Η εκπομπή αυτή γίνεται μέσα σε μία κωνική επιφάνεια γωνίας 2θ , όπου:

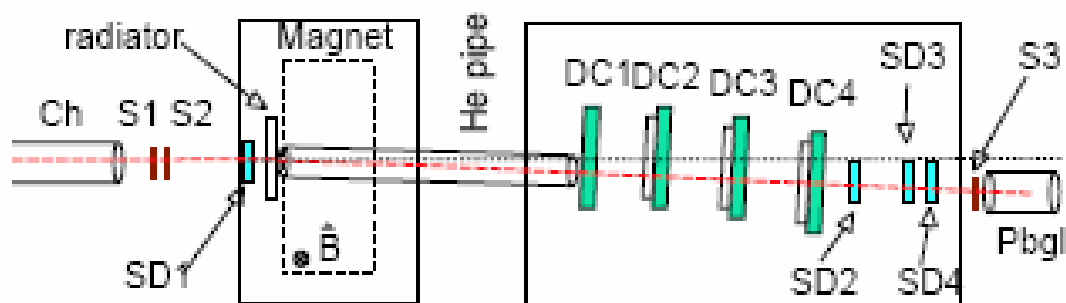
$$\theta = \cos^{-1}(1/\beta n)$$

Το φορτισμένο σωματίδιο δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο, με αποτέλεσμα να πολώνει το υλικό μέσα στο οποίο διέρχεται. Επειδή τα άτομα θέλουν να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση, τα δίπολα αποδίδουν αυτή την ενέργεια σε μορφή Η/Μ ακτινοβολίας που λέγεται Cherenkov. Στις χαμηλές ενέργειες, δηλαδή χαμηλές ταχύτητες, έχουμε συμμετρική πόλωση, η ακτινοβολία Cherenkov που εκπέμπεται λόγω συμμετρίας συμβάλει με αποτέλεσμα να αλληλοαναιρεθεί και άρα δεν παρατηρούμε τίποτα. Στις υψηλές ενέργειες, δηλαδή στις υψηλές ταχύτητες υπάρχει ασυμμετρία στην πόλωση, άρα η ακτινοβολία είναι παρατηρήσιμη. Επειδή η ακτινοβολία αυτή εξαρτάται τόσο από τη μάζα όσο από την ορμή του διαδιδόμενου σωματιδίου μπορούμε να ξεχωρίσουμε τελικά τα πιόνια από τα ηλεκτρόνια [27].

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζουμε τα κατώφλια για διάφορες ορμές των ανιχνευτών Pb glass (Pb) και Cherenkov (C) τόσο για τα ηλεκτρόνια όσο για τα πιόνια.

p [GeV/c]	ηλεκτρόνια C>10	Πιόνια C<10
10	Pb>1140	Pb<2000
8	Pb>870	Pb<1250
6	Pb>650	Pb<1100
5	Pb>550	Pb<740
4	Pb>410	Pb<590
3	Pb>330	Pb<430
2	Pb>160	Pb<280
1.5	Pb>120	Pb<200
1	Pb>90	Pb<120

Πίνακας 3.1 Οι τιμές κατωφλίου των δύο ανιχνευτών διαχωρισμού ηλεκτρονίων - πιονίων για διάφορες ορμές των σωματιδίων της δέσμης.



Εικόνα 3.2.1 Η διάταξη του small stack

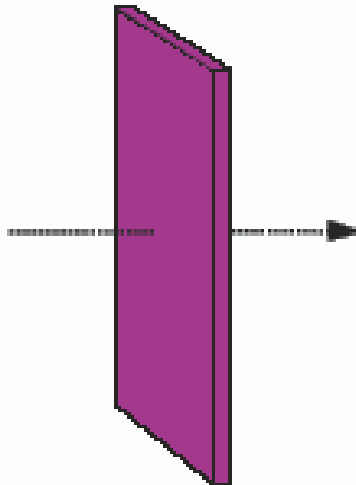


Εικόνα 3.2.2 εικόνα εγκατάστασης, μαγνήτης, σωλήνα ηλίου, ακτινοβολητής, DC και SD

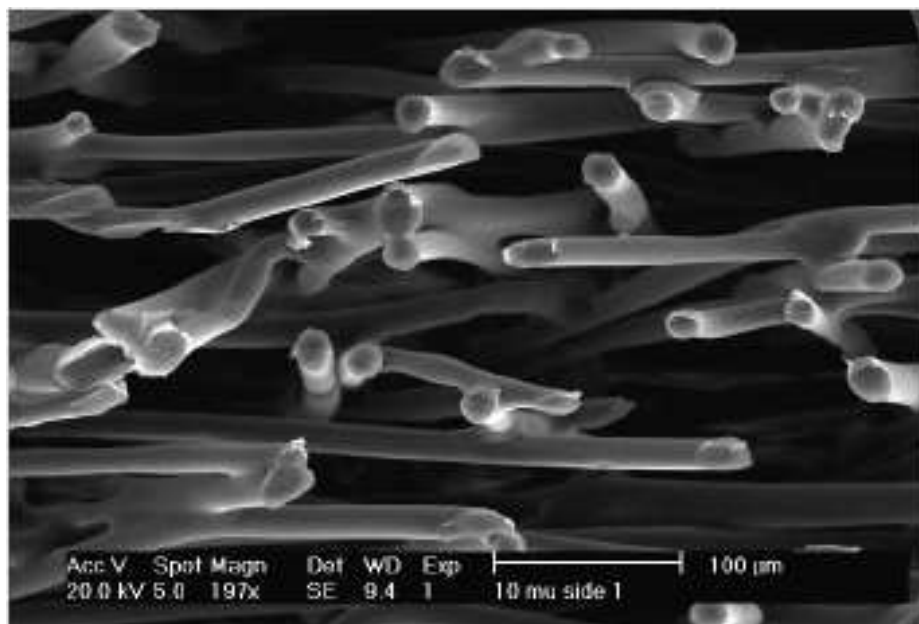
3.2.1. Είδη Ακτινοβολητών

Έχουμε τα παρακάτω είδη ακτινοβολητών:

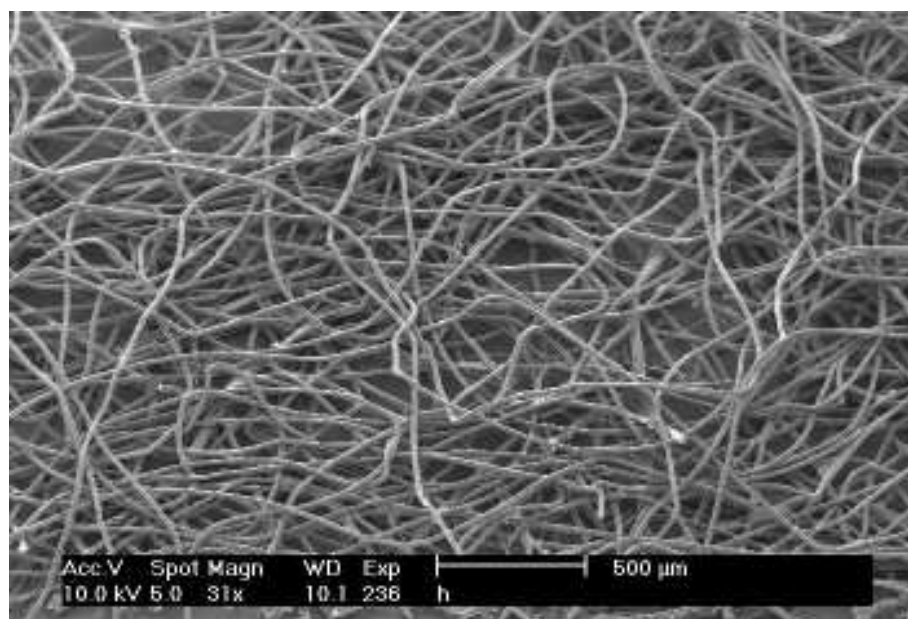
- **Dummy:** αποτελείται από plexiglass με $X/X_0 = 0.7\%$. Δε δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. (Εικόνα 3.2.1.1)
- **Pure fiber:** αποτελείται από ίνες πολυπροπυλενίου (0.09gr/cm^3) με $X/X_0 = 0.7\%$. Η διάμετρος της ίνας είναι $17\mu\text{m}$ και αποτελείται από 18 mats και 14 φύλλα. (Εικόνες 3.2.1.2, 3.2.1.3)
- **Rohachel HF71:** αποτελείται από αφρό πυκνότητας $0,071\text{ gr/cm}^3$, πάχους 48mm και έχει $X/X_0=0,7\%$. (Εικόνα 3.2.1.4)
- **Regular 1:** αποτελείται από φύλλα πολυπροπυλενίου, 120 φύλλα με μεταξύ τους απόσταση $500\mu\text{m}$ και $X/X_0=0,6\%$. (Εικόνα 3.2.1.5)
- **Regular 2:** αποτελείται από φύλλα πολυπροπυλενίου, 220 φύλλα με μεταξύ τους απόσταση $250\mu\text{m}$ και $X/X_0=1,4\%$. (Εικόνα 3.2.1.6)
- **Sandwich:** αποτελείται από ίνες πολυπροπυλενίου συνολικού πάχους 32mm και εξωτερικά από αφρό Rohachel. Οι δύο πλάκες πλαισίου έχουν πάχος 8mm έκαστος. Διαθέτει 8 στρώματα με $X/X_0=1.06\%$.



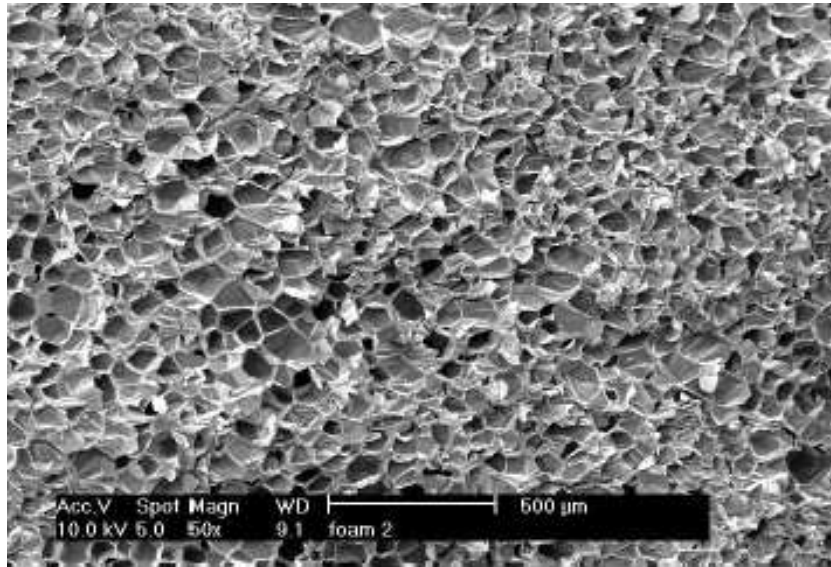
Εικόνα 3.2.1.1 ακτινοβολητής Dummy



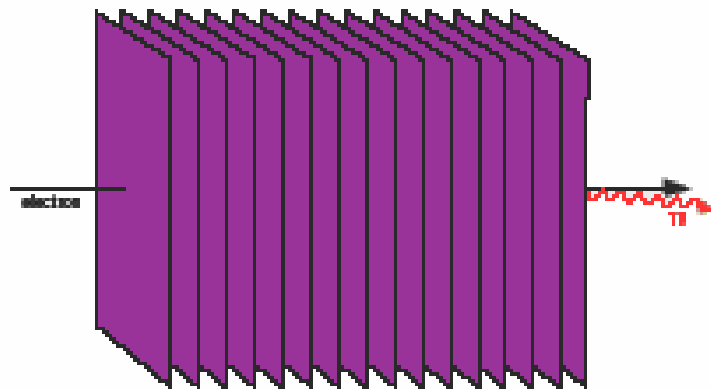
Εικόνα 3.2.1.2 ακτινοβολητής Pure σε zoom 100μm



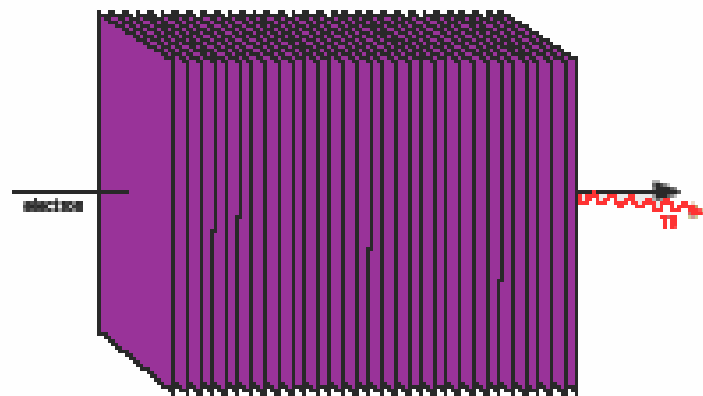
Εικόνα 3.2.1.3 ακτινοβολητής Pure σε zoom 500μm



Εικόνα 3.2.1.4 ακτινοβολητής Rohachel σε zoom 500μm



Εικόνα 3.2.1.5 διάταξη ακτινοβολητή Regular1



Εικόνα 3.2.1.6 διάταξη ακτινοβολητή Regular2

3.3. Το πρόγραμμα Ανάλυσης AnaBeam.C

Η βασική λειτουργία του προγράμματος Anabeam.C είναι να διαβάζει δεδομένα, να τα εισάγει σε πίνακες, να κάνει επιλογή κατάλληλων αρχείων από συγκεκριμένες βιβλιοθήκες και να δημιουργεί τα πολυπόθητα σχεδιαγράμματα.

Προγραμματίζουμε αυτό για $N = 10.000$ events και time bins = 60 για κάθε FADC 50 ns. Οι παράμετροι του προγράμματος είναι ο αριθμός του αρχείου (δηλ. για κατάλληλες ορμές) και ο αριθμός των γεγονότων που θα τρέξουμε.

Στην αρχή ορίζονται οι functions που ορίζουν τα ιστογράμματα για δημιουργία, αποθήκευση και εκτέλεση. Μετά, γίνεται η ταυτοποίηση των ηλεκτρονίων, και αρχίζει η ανάλυσή μας.

Όπως είπαμε, το Anabeam.C διαβάζει τα data από το αρχείο και εμφανίζει στη οθόνη μας τον αριθμό των θαλάμων ολίσθησης και των time bins καθώς επίσης και το μέγεθός τους. Καλώντας τις κατάλληλες ρουτίνες, ταξινομεί τα data της θέσης της δέσμης η οποία «μετράται» από τους ανιχνευτές του καλορίμετρου και του Cherenkov σε πίνακες. Με το loop ορίζει μεταβλητές για τα υπόλοιπα ιστογράμματα. Η κατανομή του πλάτους του σήματος στα πλακίδια είναι το άθροισμα όλων των σημάτων των time bins. Αργότερα, κάνει τα ιστογράμματα συναρτήσεως των time bins και ολοκληρώνοντας σε συγκεκριμένα time bins φτιάχνει τα ιστογράμματα για τη κατανομή του εναποτιθέμενου φορτίου.

Η ταυτοποίηση των ηλεκτρονίων γίνεται με τη function η οποία μέσα από τις τιμές κατωφλίων, που έχουν ήδη οριστεί, δίνει διαφορετικές τιμές για τα πιόνια και έτσι ξεχωρίζουμε τα μεν από τα δε. Τέλος, ορίζεται το είδος των ιστογραμμάτων και αργότερα η αποθήκευσή τους.

3.4. Πειραματικά αποτελέσματα

Στη συνέχεια παρατίθεται η ανάλυση όλων των ιστογραμμάτων που λάβαμε με τη βοήθεια του AnaBeam.C. Όλα τα επόμενα διαγράμματα αφορούν ορμές 10GeV/c μια και το είδος του ακτινοβολητή είναι Sandwich. Τα ηλεκτρόνια απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, ενώ τα πιόνια με μπλε.

→ Στο σχήμα 3.4.1 έχουμε το μέσο ύψος παλμού συναρτήσεως του χρόνου ολίσθησης για τον ακτινοβολητή Sandwich και για ορμή 10GeV/c. Να επισημάνουμε ότι η τιμή μηδέν στον άξονα του χρόνου είναι αυθαίρετη ώστε να έχουμε μέτρηση της Baseline.

Πάνω αριστερά βλέπουμε τα αποτελέσματα του θαλάμου DC_1

Πάνω δεξιά βλέπουμε τα αποτελέσματα του θαλάμου DC_2

Κάτω αριστερά βλέπουμε τα αποτελέσματα του θαλάμου DC_3

Κάτω δεξιά βλέπουμε τα αποτελέσματα του θαλάμου DC_4

Παρατηρούμε ακτινοβολία μετάβασης από τα ηλεκτρόνια και στους τέσσερις θαλάμους ολίσθησης γιατί έχουν radiator μπροστά τους (αυτό φαίνεται από τις δεύτερες οξείες κορυφές).

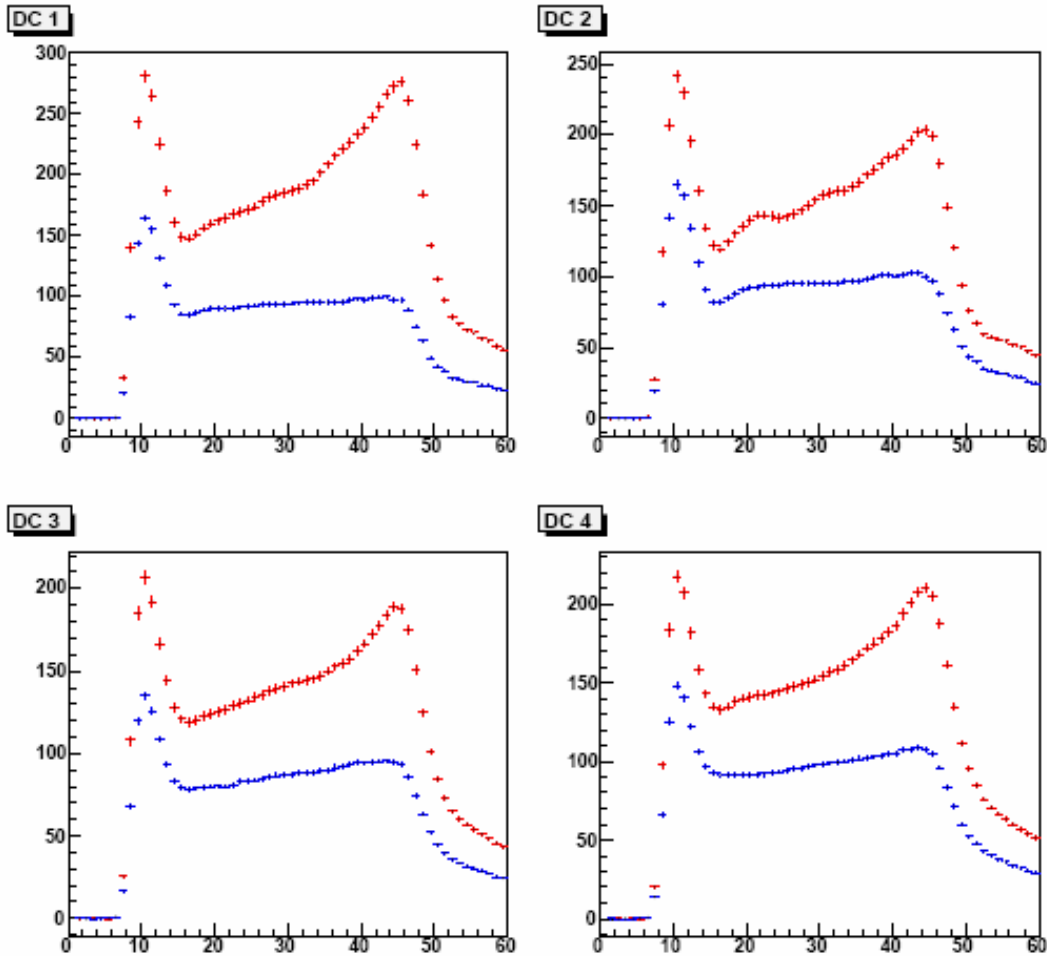
Η κορυφή των κατανομών στην αρχή του άξονα του χρόνου προέρχεται από τα αρχικά συσσωματώματα στην περιοχή ενίσχυσης, όπου ο ιονισμός συμβαίνει και στις δύο πλευρές της ανόδου, με άμεση συνέπεια να προστίθεται το σήμα που προέρχεται από τις δύο πλευρές την ίδια χρονική στιγμή. Μετά από την πρώτη κορυφή

ακολουθεί το πλατώ το οποίο δεν είναι τίποτα άλλο από τον ιονισμό στην περιοχή ολίσθησης.

Στην συνέχεια, η κατανομή των ηλεκτρονίων αυξάνεται σημαντικά σε αντίθεση με τη σταθερή κατανομή των πιονίων (σε αυτήν την περιοχή). Αυτό το σημείο είναι το πιο σπουδαίο στάδιο της ανάλυσης διότι αυτή η κορυφή προέρχεται από την ακτινοβολία μετάβασης που εκπέμπουν τα ηλεκτρόνια στην περιοχή εισόδου του ανιχνευτή. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας μετάβασης από τον ανιχνευτή προστίθεται στην απόθεση ενέργειας λόγω ιονισμού στο αέριο, με συνέπεια το πλάτος σήματος, δηλαδή η απόθεση φορτίου των ηλεκτρονίων σε μεγαλύτερους χρόνους, να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτό των πιονίων.

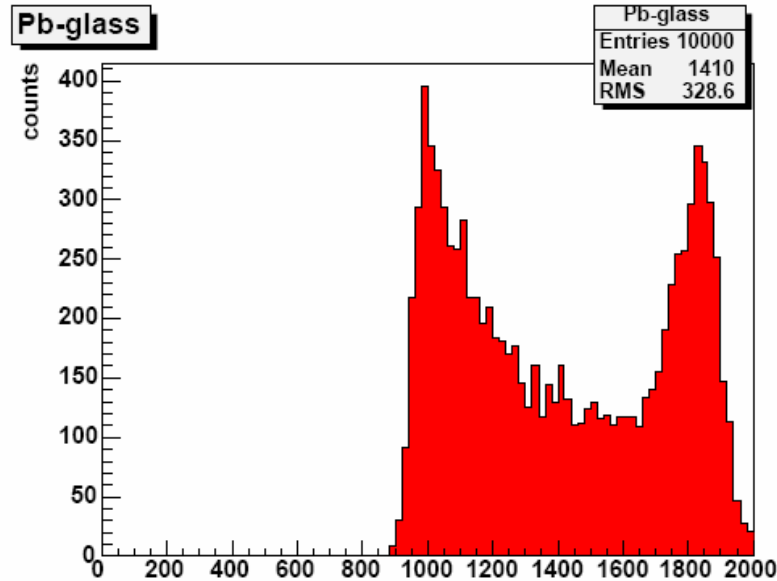
Μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι εφόσον η κορυφή της ακτινοβολίας μετάβασης δεν ξεκινάει απότομα, αλλά αντίθετα εμφανίζει μια ουρά προς τους μικρότερους χρόνους ολίσθησης, θα πρέπει η ακτινοβολία μετάβασης να απορροφάται στα ενδότερα σημεία του θαλάμου και όχι στην είσοδο του.

Επίσης, η ουρά που σχηματίζεται δεξιά των κατανομών οφείλεται στο γεγονός ότι τα θετικά ιόντα του Xe λόγω της μεγάλης τους μάζας κινούνται αργά και επομένως χρειάζονται αρκετό χρόνο για να φτάσουν στην άνοδο και να δώσουν, τελικά, σήμα σε χρόνο μεγαλύτερο από ότι διαρκεί ένα time bin.



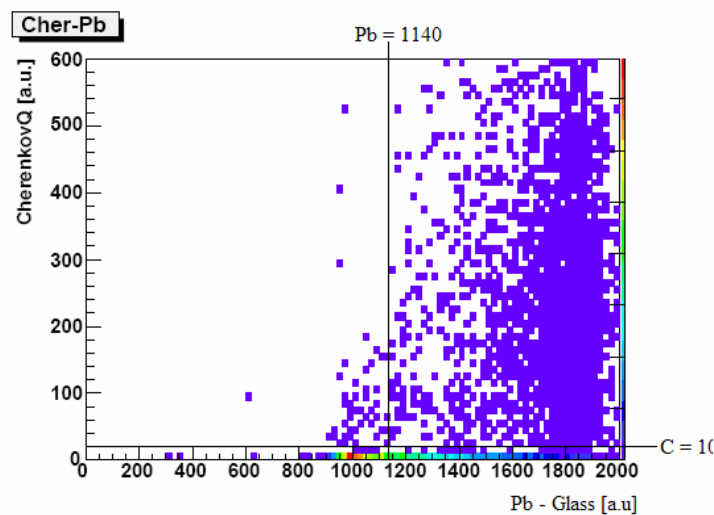
Σχήμα 3.4.1 Μέσο ύψος παλμού συναρτήσει των time bins [50ns] για Sandwich radiator

→ Στο σχήμα 3.4.2 παρουσιάζουμε τις μετρήσεις του Pb glass. Παρατηρούμε δύο κορυφές: η πρώτη στις χαμηλές ενέργειες προέρχεται από τα πόνια ενώ η δεύτερη είναι των ηλεκτρονίων λόγω του καταιγισμού. (Ορμή $p = 10 \text{ GeV/c}$).



Σχήμα 3.4.2 Αποτελέσματα Pb-glass

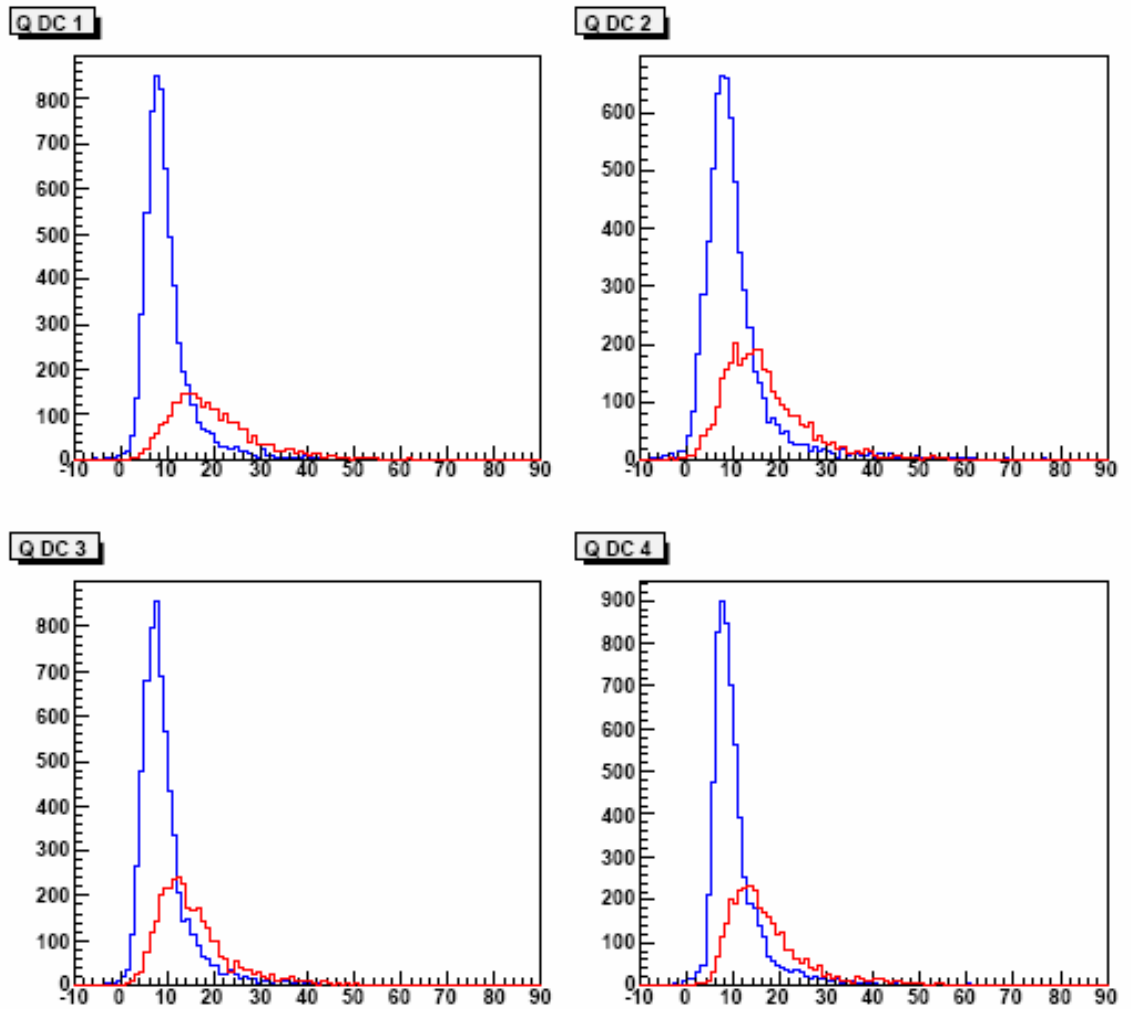
→ Στο σχήμα 3.4.3 παρουσιάζουμε τις μετρήσεις του ανιχνευτή Cherenkov για ακτινοβολητή sandwich συναρτήσεως των μετρήσεων του Pb - Glass. Από τον πίνακα 4.1 και το Σχήμα 3.4.3 μπορούμε να διαχωρίσουμε τα πόνια από τα ηλεκτρόνια. Οι βοηθητικές γραμμές που έχουν σχεδιαστεί διαχωρίζουν τα ηλεκτρόνια από τα πόνια και καθορίζουν τις τιμές του κατωφλίου για την συγκεκριμένη ορμή που μελετάμε. (ορμή $p = 10 \text{ GeV/c}$).



Σχήμα 3.4.3 Μετρήσεις ανιχνευτή Cherenkov συναρτήσεως του pb-glass

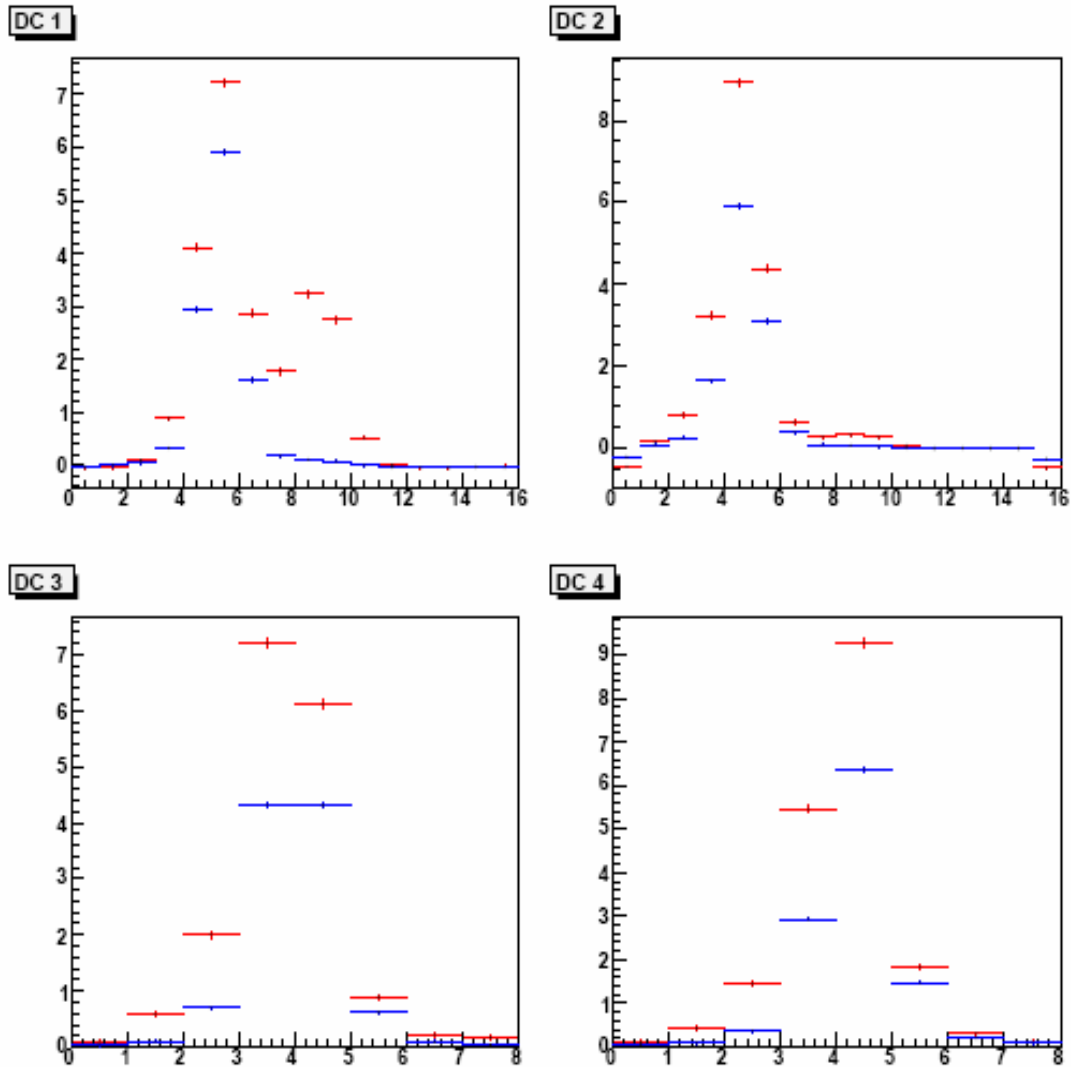
→ Στο σχήμα 3.4.4 παρουσιάζεται το φάσμα απόθεσης φορτίου για τον Sandwich ακτινοβολητή με ορμή $p = 10\text{GeV}/c$. Παρατηρούμε ότι η κατανομή των ηλεκτρονίων είναι μετατοπισμένη προς τα δεξιά στον άξονα των ενεργειών σε σχέση με την κατανομή των πιονίων, γεγονός που οφείλεται στην πρόσθετη απόθεση του φορτίου που προέρχεται από την ακτινοβολία μετάβασης.

Τα φάσματα αυτά χρησιμοποιούνται ως κατανομές πιθανότητας σε προσομοιώσεις με σκοπό να εκτιμηθεί ο παράγοντας απόρριψης των πιονίων για την προτεινόμενη διαμόρφωση του ALICE TRD.



Σχήμα 3.4.4 Φάσματα ολοκλήρωσης συναρτήσεως των time bins [50ns]

→ Στο σχήμα 3.4.5 βλέπουμε την κατανομή του πλάτους σήματος στα πλακίδια για τον sandwich radiator και στους τέσσερις θαλάμους DC1 – DC4.



Σχήμα 3.4.5 Κατανομή του σήματος στα pads.

→ Στο σχήμα 3.4.6 βλέπουμε τα διαγράμματα θέσης της δέσμης για ακτινοβολητή sandwich.

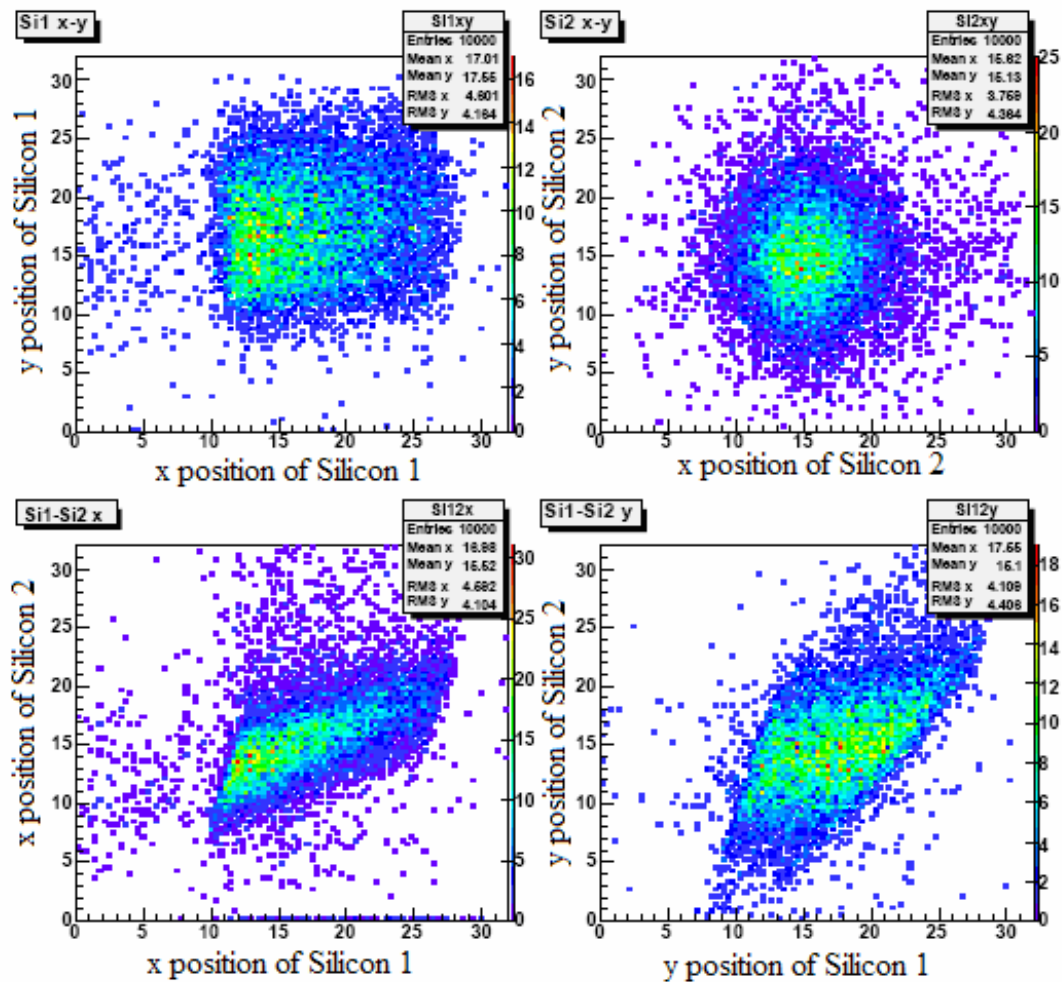
Συγκεκριμένα:

Πάνω αριστερά βλέπουμε τις μετρήσεις του Si1 x - y

Πάνω δεξιά βλέπουμε τις μετρήσεις του Si2 x - y

Κάτω αριστερά συγκρίνονται οι μετρήσεις του Si1 –Si2 στον x άξονα

Κάτω δεξιά συγκρίνονται οι μετρήσεις του Si1 –Si2 στον y άξονα



Σχήμα 3.4.6 Si Strips

3.4.1. Σύγκριση των ακτινοβολητών Sandwich - Regular 1- Regular 2

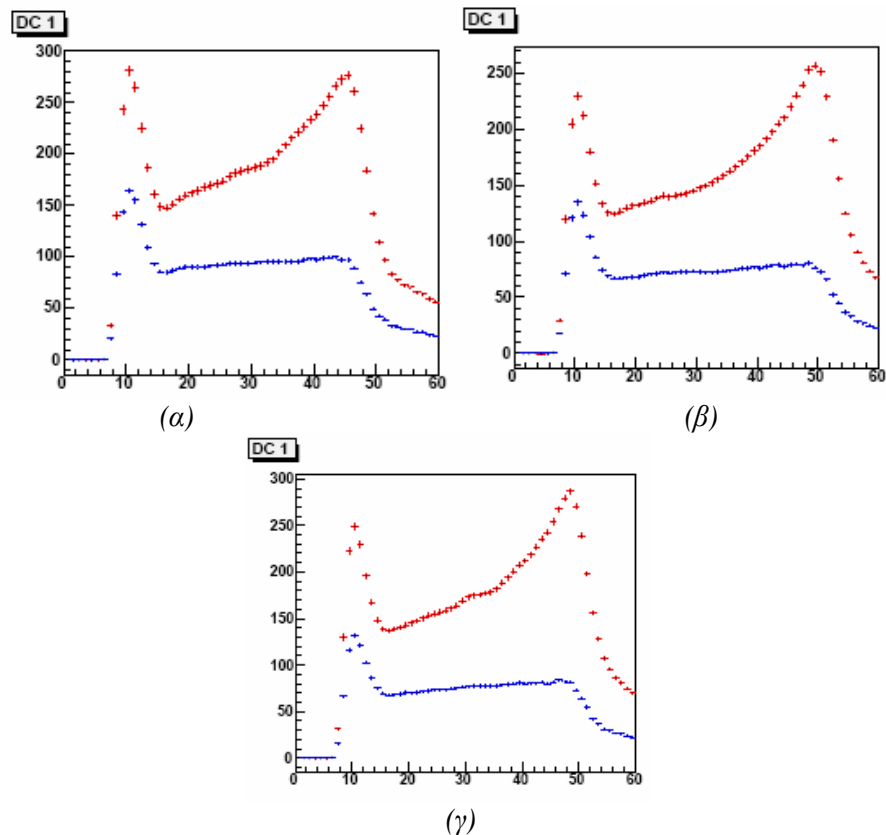
Σκοπός μας είναι να συγκρίνουμε τους ακτινοβολητές Sandwich, Regular 1 και Regular 2, επομένως θα παρουσιάσουμε μόνο τα αποτελέσματα του θαλάμου DC1.

Την πρώτη φορά τοποθετήθηκε μπροστά του ακτινοβολητή Sandwich ενώ μετά του Regular 1 και τέλος του Regular 2. Οι ορμές που θα μας απασχολήσουν είναι 10,8,6,4,2 GeV/c.

Στα επόμενα σχήματα για κάθε ορμή θα παρουσιάζονται διαδοχικά

- το μέσο ύψος παλμού συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης,
- το φάσμα ολοκλήρωσης και αυτό συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης
- η κατανομή του σήματος στα πλακίδια σε όλους τους θαλάμους ολίσθησης.

→ Το σχήμα 3.4.1.1 παρουσιάζει το μέσο ύψος παλμού συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης για ορμές $p = 10$ GeV/c, στο α) είναι τα αποτελέσματα του ακτινοβολητή Sandwich στο β) έχουμε τοποθετήσει Regular 1 ακτινοβολητή ενώ στο γ) Regular 2.



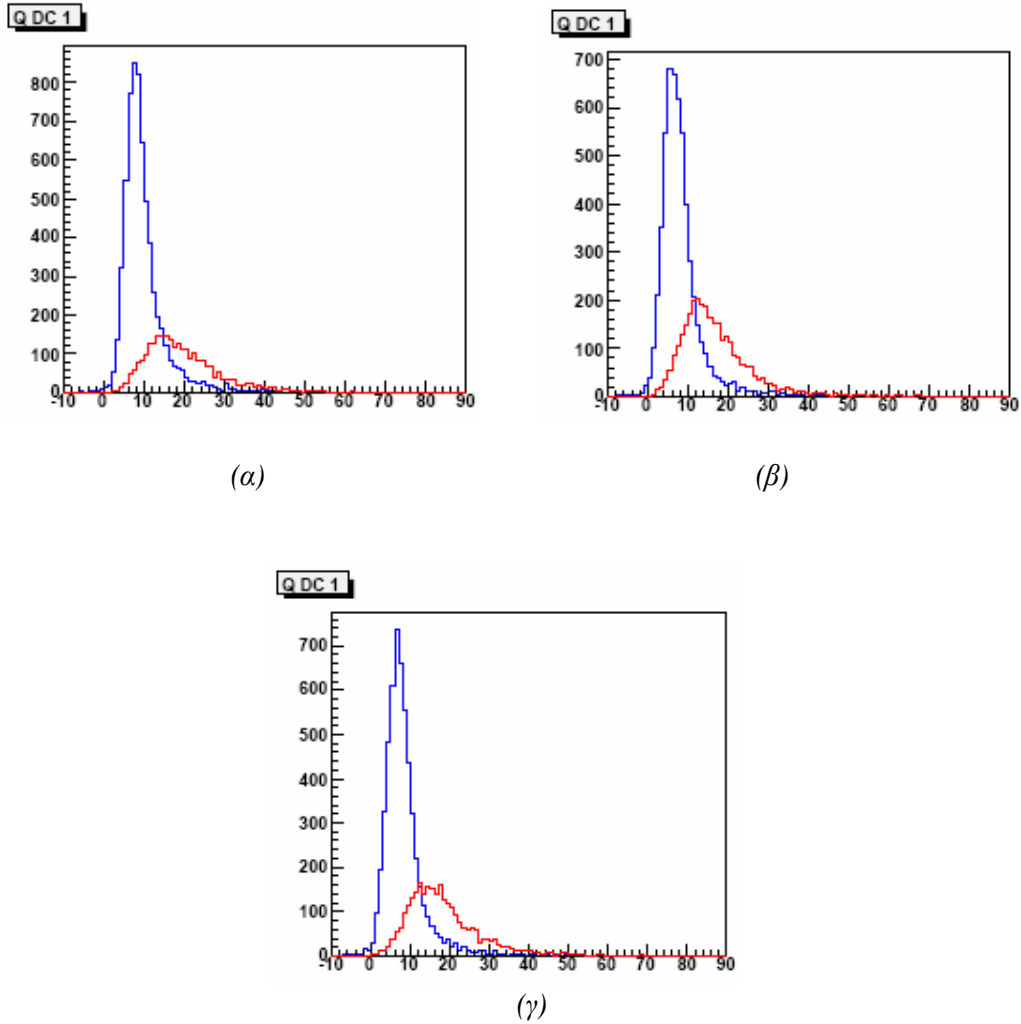
Σχήμα 3.4.1.1 Μέσο ύψος παλμού [mV] συναρτήσει των time bins [50ns] για ορμή $p = 10$ GeV/c και ακτινοβολητή

(α) Sandwich

(β) Regular 1

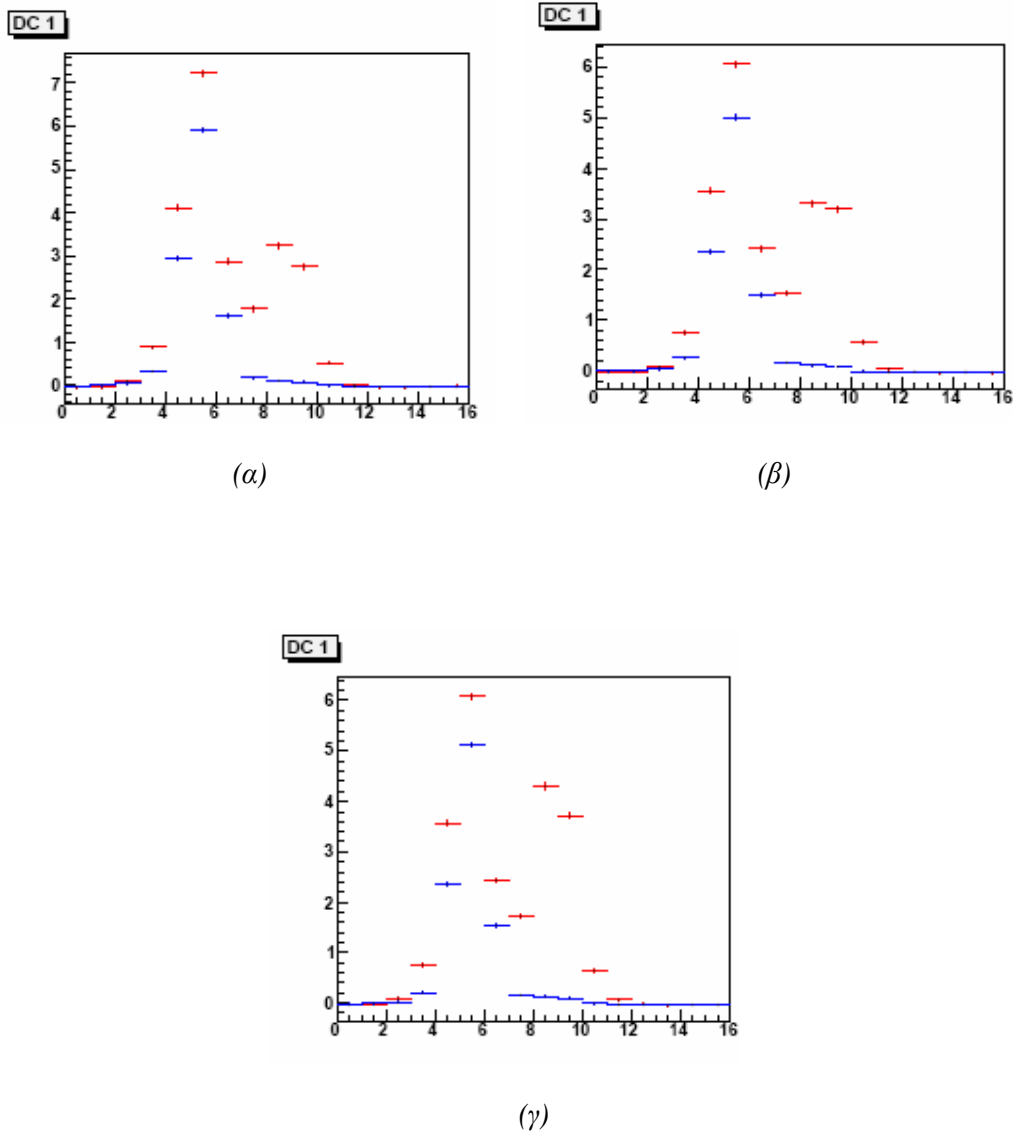
(γ) Regular 2

→ Στο σχήμα 3.4.1.2 έχουμε το φάσμα ολοκλήρωσης για ορμές $p = 10 \text{ GeV/c}$, στο α) έχουμε τα αποτελέσματα του ακτινοβολητή Sandwich στο β) Regular 1 ακτινοβολητή ενώ στο γ) Regular 2.



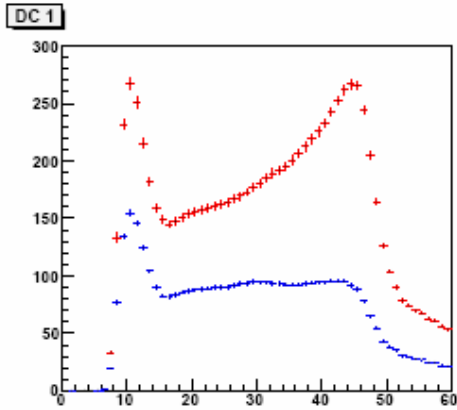
Σχήμα 3.4.1.2 Φάσματα ολοκλήρωσης συναρτήσει των *time bins* [50ns] για ορμή $p = 10 \text{ GeV/c}$ και ακτινοβολητή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

→ Στο σχήμα 3.4.1.3 παρατηρούμε την κατανομή του σήματος στα πλακίδια για τον
 α) sandwich radiator β) Regular 1 γ) Regular 2 στον θάλαμο DC1, για ορμή $p = 10$
 GeV/c.

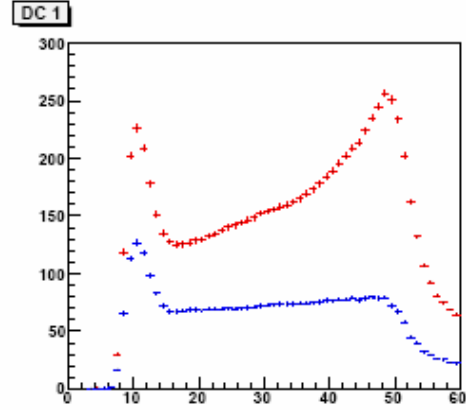


Σχήμα 3.4.1.3 Κατανομή του σήματος στα pads για ορμή $p = 10$ GeV/c και ακτινοβολιγή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

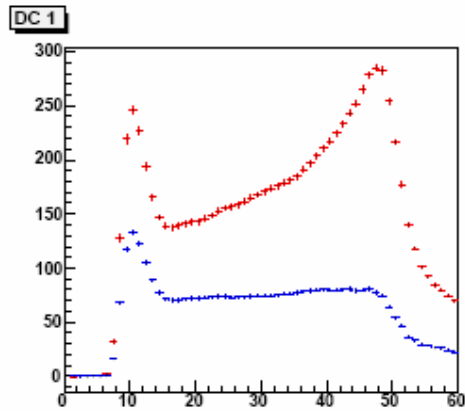
→ Το σχήμα 3.4.1.4 παρουσιάζει το μέσο ύψος παλμού συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης για ορμές $p = 8 \text{ GeV/c}$, στο α) είναι τα αποτελέσματα του ακτινοβολητή Sandwich στο β) έχουμε τοποθετήσει Regular 1 ακτινοβολητή ενώ στο γ) Regular 2.



(α)



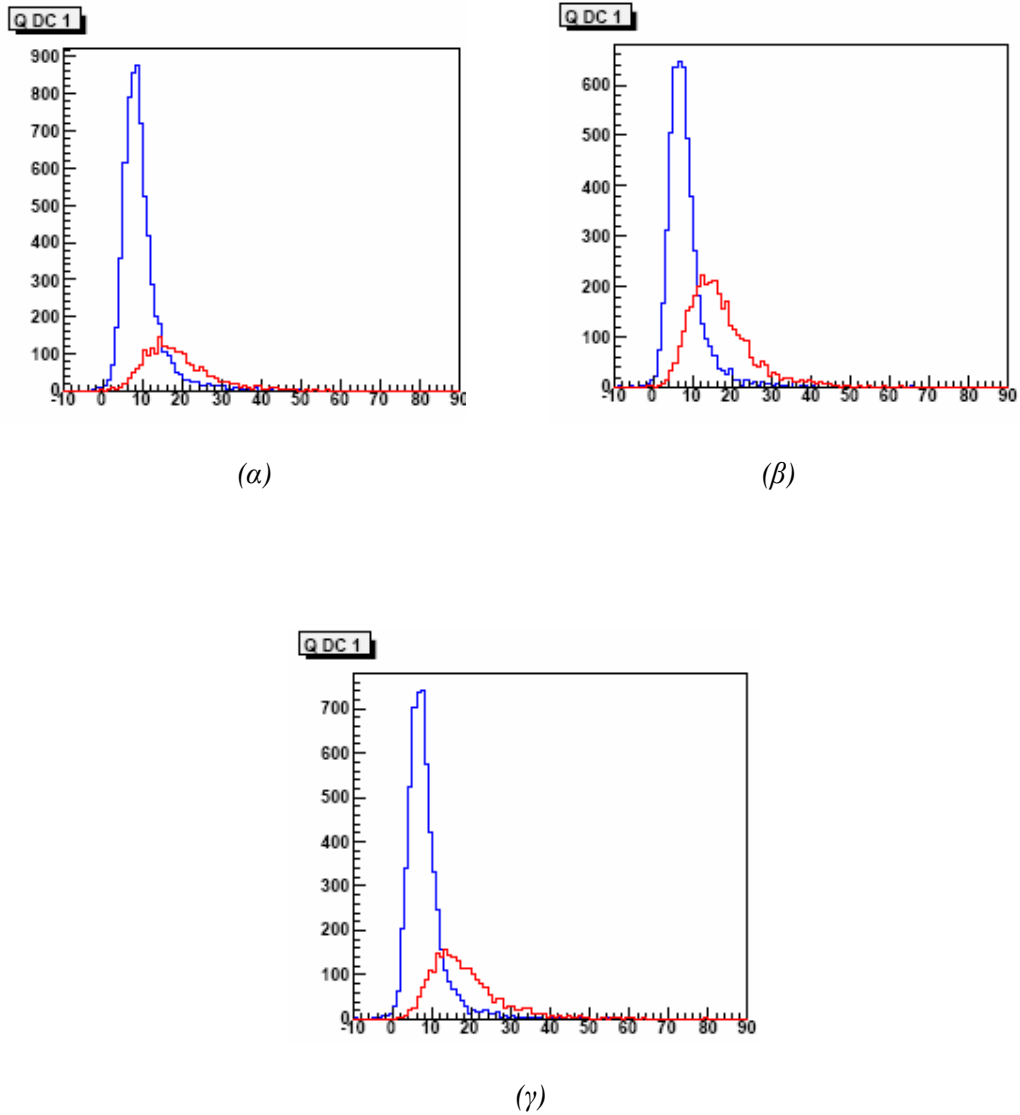
(β)



(γ)

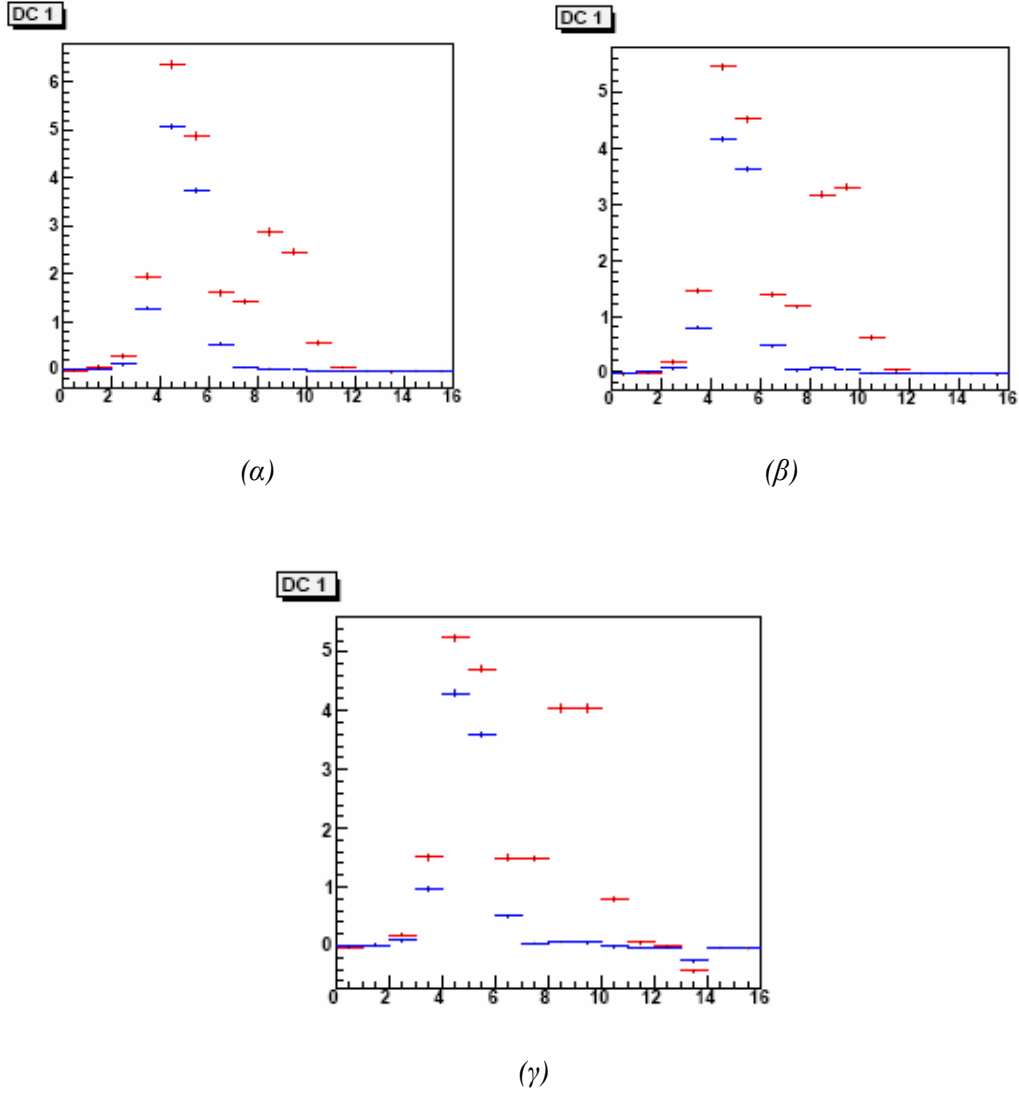
Σχήμα 3.4.1.4 Μέσο ύψος παλμού [mV] συναρτήσει των time bins [50ns] για ορμή $p = 8 \text{ GeV/c}$ και ακτινοβολητή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

→ Στο σχήμα 3.4.1.5 έχουμε το φάσμα ολοκλήρωσης για ορμές $p = 8 \text{ GeV}/c$, στο α) έχουμε τα αποτελέσματα του ακτινοβολητή Sandwich στο β) Regular 1 ακτινοβολητή ενώ στο γ) Regular 2.



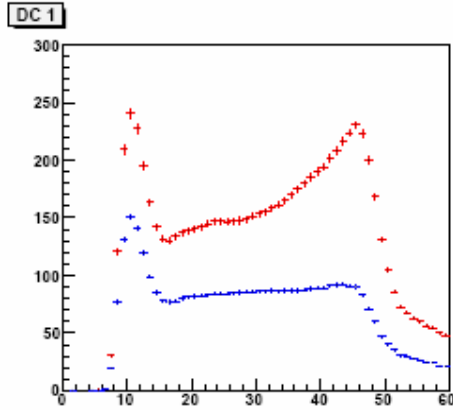
Σχήμα 3.4.1.5 Φάσματα ολοκλήρωσης συναρτήσει των *time bins* [50ns] για ορμή $p = 8 \text{ GeV}/c$ και ακτινοβολητή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

→ Στο σχήμα 3.4.1.6 παρατηρούμε την κατανομή του σήματος στα πλακίδια για τον
 α) sandwich radiator β) Regular 1 γ) Regular 2 στον θάλαμο DC1, για ορμή $p = 8$
 GeV/c.

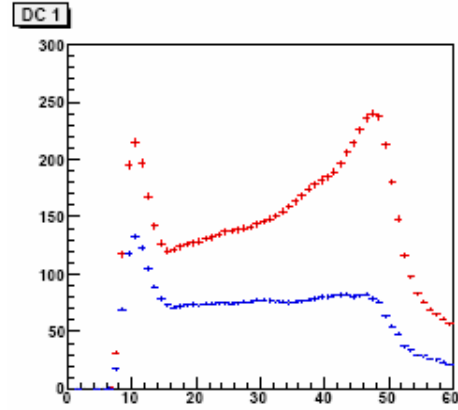


Σχήμα 3.4.1.6 Κατανομή του σήματος στα *pads* για ορμή $p = 8$ GeV/c και ακτινοβολητή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

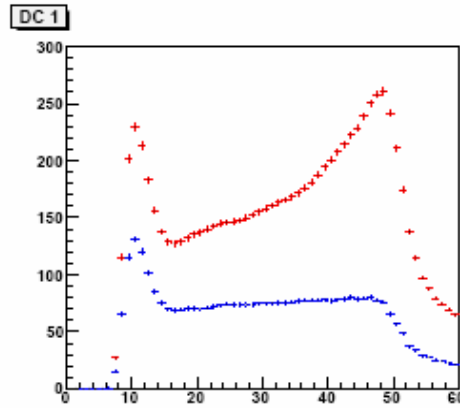
→ Το σχήμα 3.4.1.7 παρουσιάζει το μέσο ύψος παλμου συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης για ορμές $p = 8 \text{ GeV}/c$, στο α) είναι τα αποτελέσματα του ακτινοβολητή Sandwich στο β) έχουμε τοποθετήσει Regular 1 ακτινοβολητή ενώ στο γ) Regular 2.



(α)



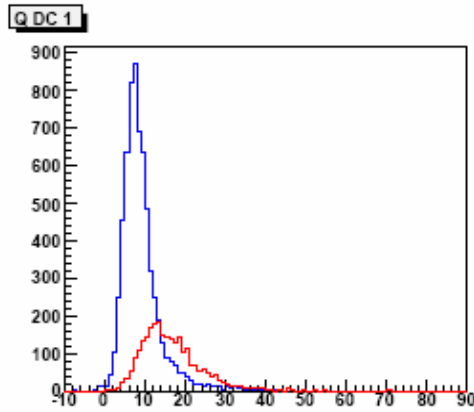
(β)



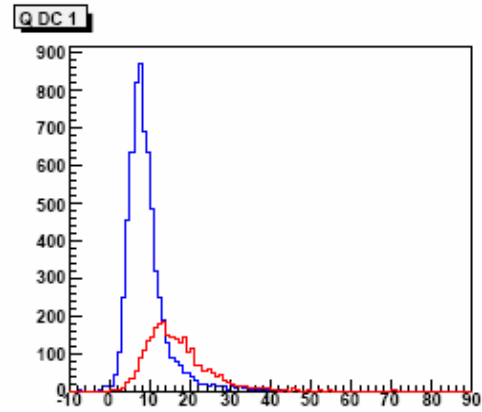
(γ)

Σχήμα 3.4.1.7 Μέσο ύψος παλμου [mV] συναρτήσει των time bins [50ns] για ορμή $p = 6 \text{ GeV}/c$ και ακτινοβολητή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

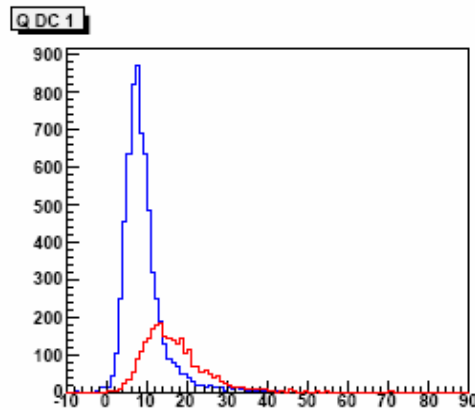
→ Στο σχήμα 3.4.1.8 έχουμε το φάσμα ολοκλήρωσης για ορμές $p = 6 \text{ GeV}/c$, στο α) έχουμε τα αποτελέσματα του ακτινοβολητή Sandwich στο β) Regular 1 ακτινοβολητή ενώ στο γ) Regular 2.



(α)



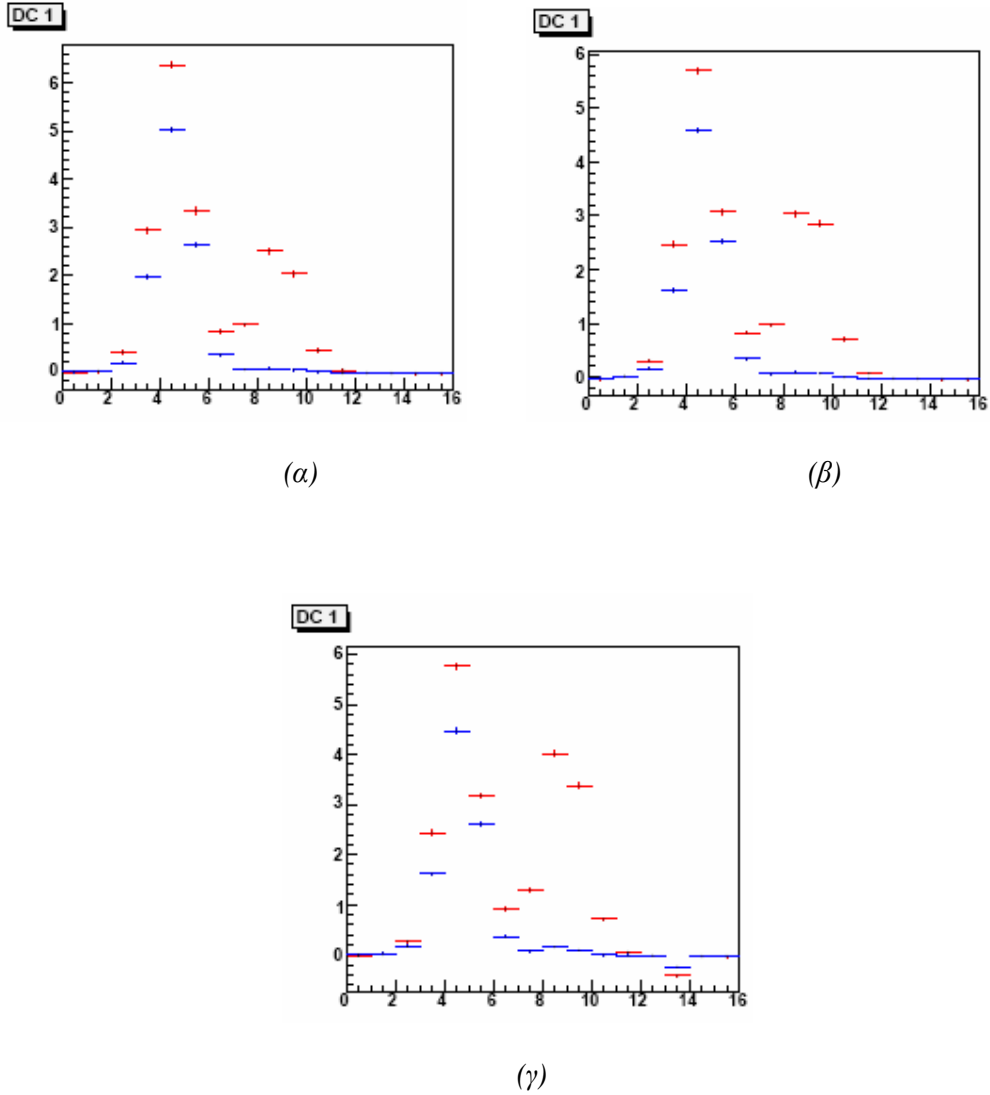
(β)



(γ)

Σχήμα 3.4.1.8 Φάσματα ολοκλήρωσης συναρτήσει των *time bins* [50ns] για ορμή $p = 6 \text{ GeV}/c$ και ακτινοβολητή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

→ Στο σχήμα 3.4.1.9 παρατηρούμε την κατανομή του σήματος στα πλακίδια για τον
 α) sandwich radiator β) Regular 1 γ) Regular 2 στον θάλαμο DC1, για ορμή $p = 6$
 GeV/c.



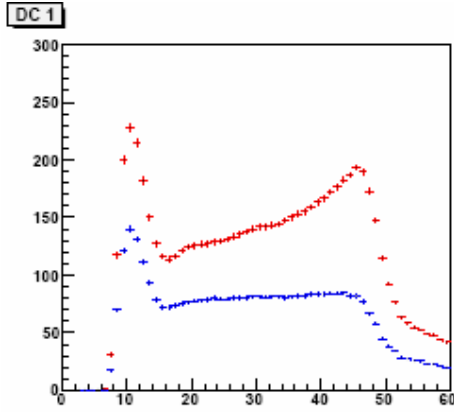
Σχήμα 3.4.1.9 Κατανομή σήματος στα pads για ορμή $p = 6$ GeV/c και ακτινοβολητή

(α) Sandwich

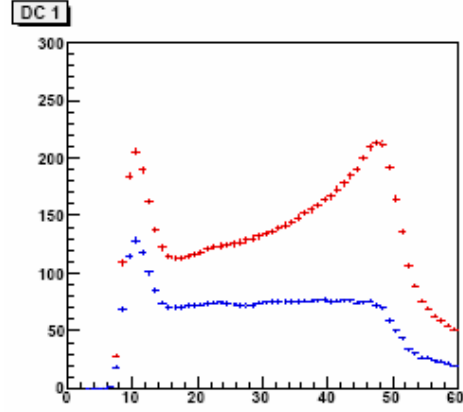
(β) Regular 1

(γ) Regular 2

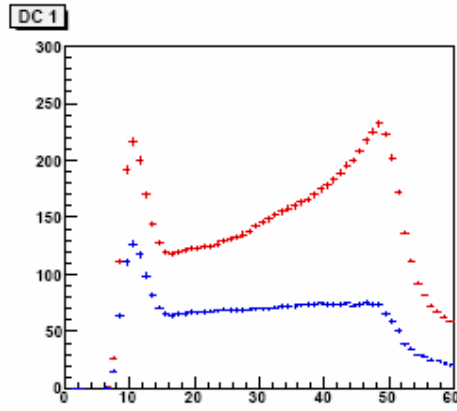
→ Το σχήμα 3.4.1.10 παρουσιάζει το μέσο ύψος παλμού συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης για ορμές $p = 4 \text{ GeV}/c$, στο α) είναι τα αποτελέσματα του ακτινοβολητή Sandwich στο β) έχουμε τοποθετήσει Regular 1 ακτινοβολητή ενώ στο γ) Regular 2.



(α)



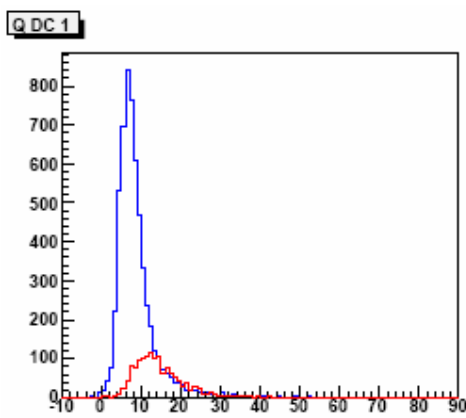
(β)



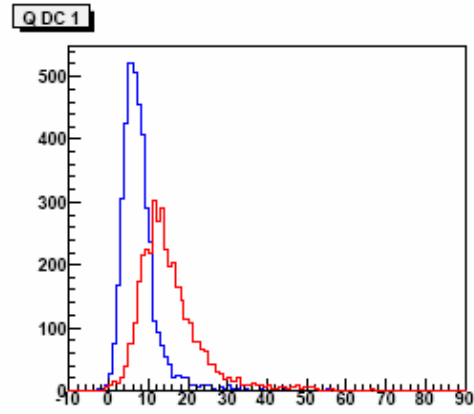
(γ)

Σχήμα 3.4.1.10 Μέσο ύψος παλμού [mV] συναρτήσει των time bins [50ns] για ορμή $p = 4 \text{ GeV}/c$ και ακτινοβολητή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

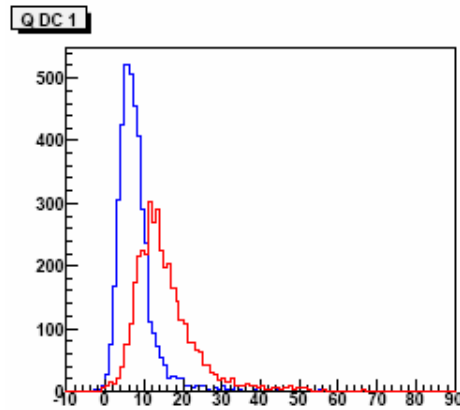
→ Στο σχήμα 3.4.1.11 έχουμε το φάσμα ολοκλήρωσης για ορμές $p = 4 \text{ GeV}/c$, στο α) έχουμε τα αποτελέσματα του ακτινοβολητή Sandwich στο β) Regular 1 ακτινοβολητή ενώ στο γ) Regular 2.



(α)



(β)



(γ)

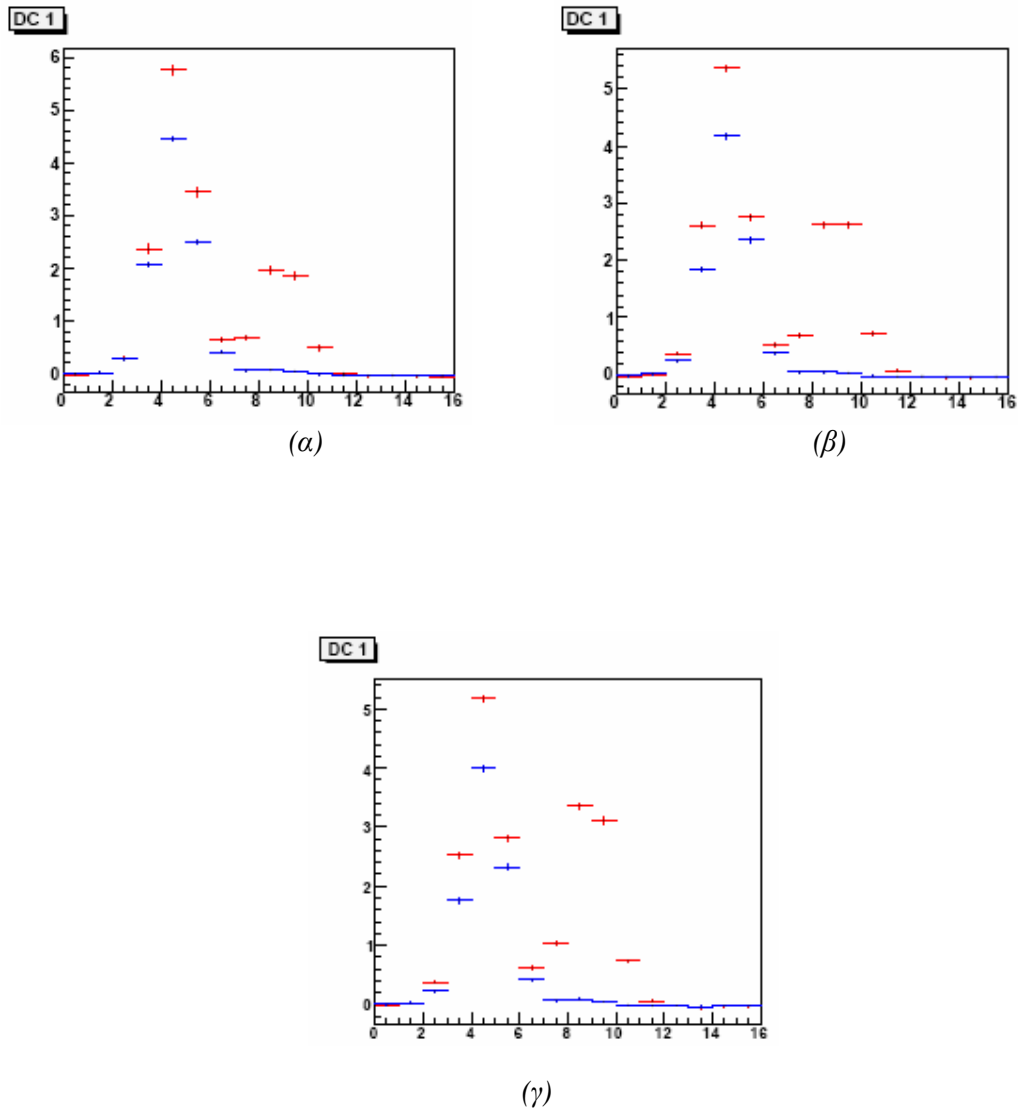
Σχήμα 3.4.1.11 Φάσματα ολοκλήρωσης συναρτήσει των *time bins* [50ns] για ορμή $p = 4 \text{ GeV}/c$ και ακτινοβολητή

(α) Sandwich

(β) Regular 1

(γ) Regular 2

→ Στο σχήμα 3.4.1.12 παρατηρούμε την κατανομή του σήματος στα πλακίδια για τον α) sandwich radiator β) Regular 1 γ) Regular 2 στον θάλαμο DC1, για ορμή $p = 4$ GeV/c.



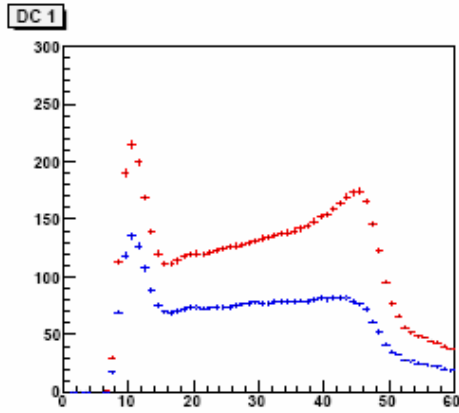
Σχήμα 3.4.1.12 Κατανομή σήματος στα pads για ορμή $p = 4$ GeV/c και ακτινοβολητή

(α) Sandwich

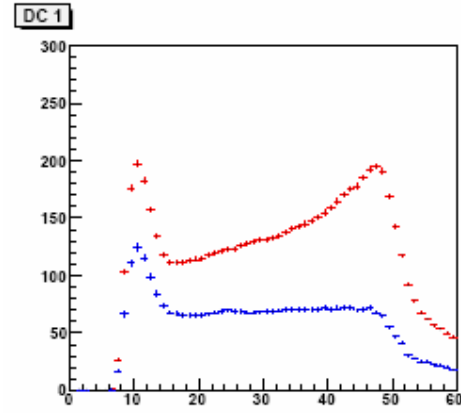
(β) Regular 1

(γ) Regular 2

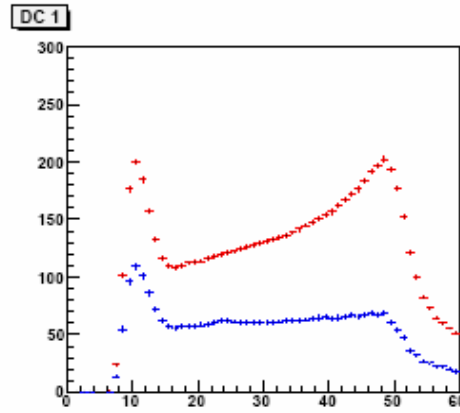
→ Το σχήμα 3.4.1.13 παρουσιάζει το μέσο ύψος παλμού συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης για ορμές $p = 2 \text{ GeV}/c$, στο α) είναι τα αποτελέσματα του ακτινοβολητή Sandwich στο β) έχουμε τοποθετήσει Regular 1 ακτινοβολητή ενώ στο γ) Regular 2.



(α)



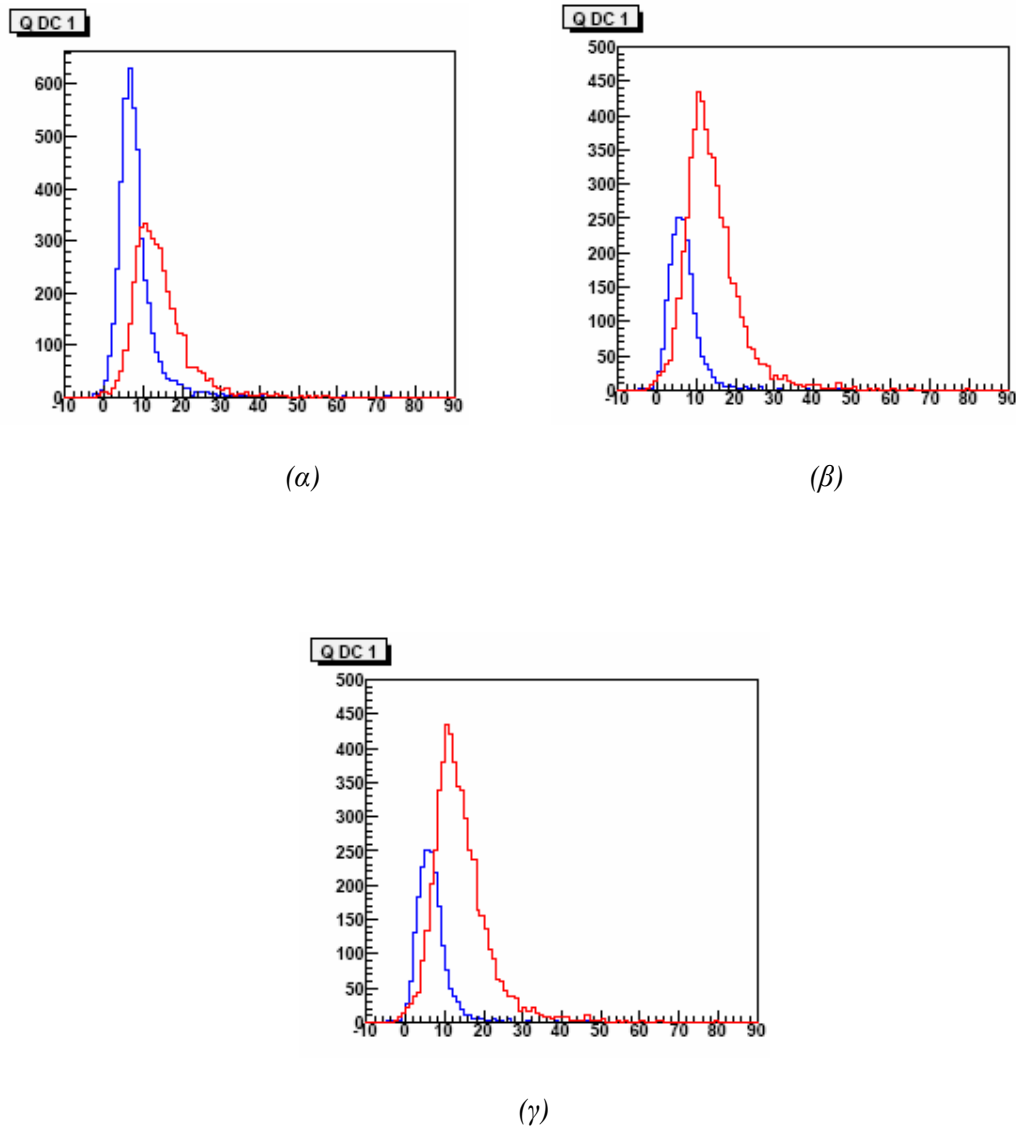
(β)



(γ)

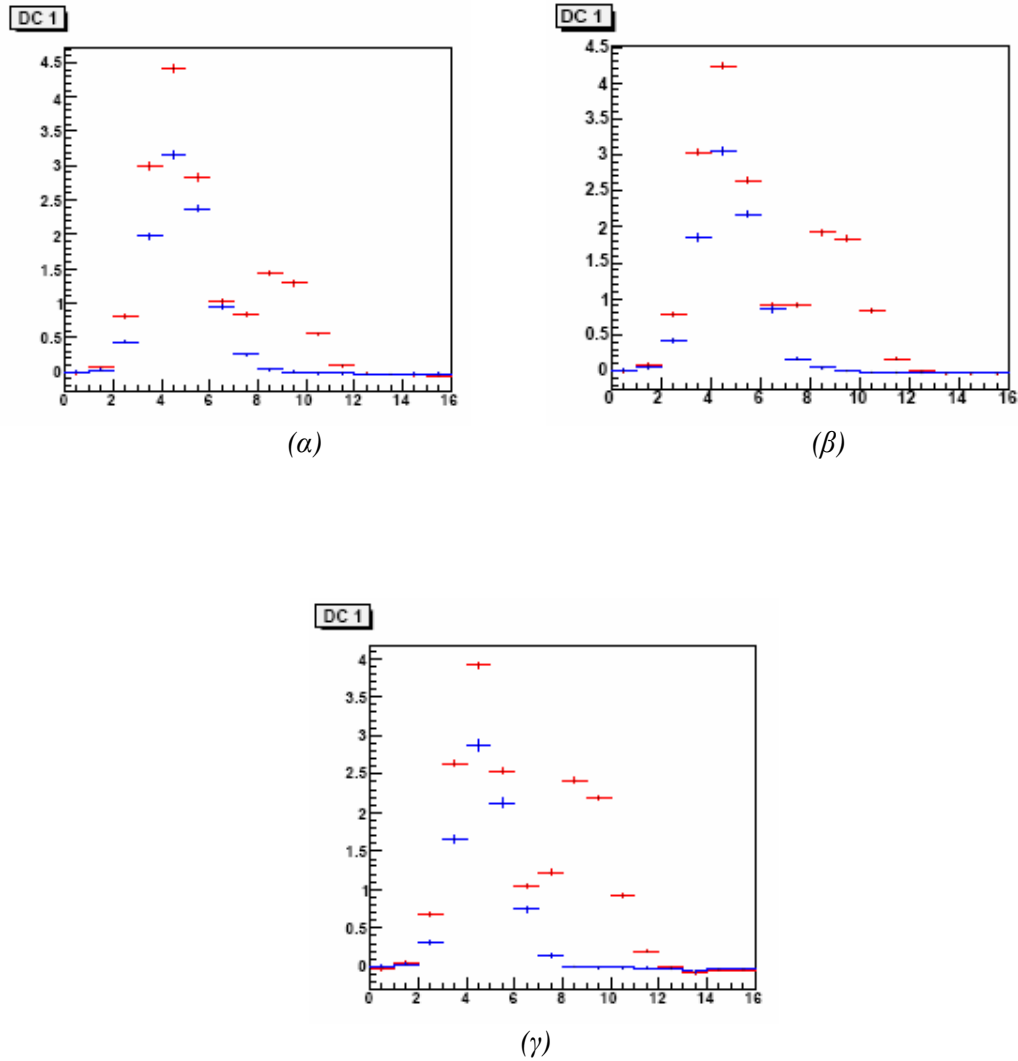
Σχήμα 3.4.1.13 Μέσο ύψος παλμού [mV] συναρτήσει των time bins [50ns] για ορμή $p = 2 \text{ GeV}/c$ και ακτινοβολητή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

→ Στο σχήμα 3.4.1.14 έχουμε το φάσμα ολοκλήρωσης για ορμές $p = 2 \text{ GeV}/c$, στο α) έχουμε τα αποτελέσματα του ακτινοβολητή Sandwich στο β) Regular 1 ακτινοβολητή ενώ στο γ) Regular 2.



Σχήμα 3.4.1.14 Φάσματα ολοκλήρωσης συναρτήσει των *time bins* [50ns] για ορμή $p = 2 \text{ GeV}/c$ και ακτινοβολητή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

→ Στο σχήμα 3.4.1.15 παρατηρούμε την κατανομή του σήματος στα πλακίδια για τον α) sandwich radiator β) Regular 1 γ) Regular 2 στον θάλαμο DC1, για ορμή $p = 2$ GeV/c.



Σχήμα 3.4.1.15 Κατανομή σήματος στα pads για ορμή $p = 2$ GeV/c και ακτινοβολητή
 (α) Sandwich
 (β) Regular 1
 (γ) Regular 2

3.4.2. Συμπεράσματα

Από όλη την ανάλυση που έχει προηγηθεί μπορούμε να καταλήξουμε σε αρκετά συμπεράσματα αλλά θα επισημάνουμε τα βασικότερα.

Για μικρές ορμές (2 και 4 GeV/c), από τις κατανομές του σήματος συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης μπορούμε να καταλάβουμε ότι την καλύτερη απόδοση στην ακτινοβολία μετάβασης την εμφανίζει ο Regular 2, ακολουθεί ο Regular 1 και τέλος ο Sandwich, δίχως όμως αυτό να επάγει ότι η απόδοση του Sandwich δεν είναι καλή. Η διαφορά του ακτινοβολητή Regular 1 και 2 αν και βασίζονται ακριβώς στην ίδια λειτουργία και έχουν το ίδιο περιεχόμενο ο Regular 2 έχει περισσότερα φύλλα και επομένως υπερτερεί του Regular 1.

Από τις κατανομές του πλάτους του σήματος στα pads, τα αποτελέσματα, δίχως σημαντική διαφορά, είναι λίγο καλύτερα από τους Regular (με καλύτερο τον Regular 2 για τον λόγο που αναφέραμε) από αυτά του Sandwich.

Στις μεσαίες ορμές, από τα διαγράμματα του πλάτους σήματος συναρτήσει του χρόνου ολίσθησης πάλι ο Regular 2 έχει την καλύτερη απόδοση, αλλά το σημαντικό είναι ότι ο sandwich τείνει να προσεγγίσει την συμπεριφορά του Regular 2. Στο φάσμα, καλύτερη απόδοση έχουν κατά σειρά Regular 1, sandwich και Regular 2.

Στις μεγάλες ορμές, η απόδοση του Sandwich είναι πολύ καλή και μάλιστα επιθυμητή. Στην κατανομή του πλάτους σήματος ως συνάρτηση του χρόνου ολίσθησης παρατηρούμε μικρές διαφορές μεταξύ των ακτινοβολητών, αλλά διαφαίνεται ότι καλύτερη απόδοση κατά σειρά έχει ο Sandwich μετά ο Regular 1 και τέλος ο Regular 2. Όσο για την κατανομή του πλάτους του σήματος στα πλακίδια ακολουθείται η ίδια σειρά, όπως και προηγουμένως. Στο φάσμα του εναποτιθέμενου φορτίου ο Regular 2 εμφανίζει αναμφισβήτητη την καλύτερη απόδοση, ενώ οι άλλοι δύο έχουν την ίδια συμπεριφορά.

Μπορούμε να διαπιστώσουμε, επίσης, ότι η συμπεριφορά του ακτινοβολητή Sandwich δεν αλλάζει ούτε με μηχανικές αλλαγές, ούτε με την πάροδο του χρόνου.

Από όλα τα προηγούμενα, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι οι Regular έχουν την καλύτερη απόδοση και ακολουθεί ο Sandwich, δίχως, όμως, η απόδοση του να διαφέρει σημαντικά.

Η γεωμετρία και το μηχανικά μεγάλο μέγεθος του TRD του πειράματος ALICE, καθώς και η απαίτηση της μέγιστης απόδοσης στην απόθεση φορτίου όπως και το συνολικό πάχος του υλικού οδηγούν στην επιλογή του Sandwich Radiator.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html>
2. http://www.veriorama.com/article_item.php?id=70&category=category&order_type=desc
3. <http://www.ts.infn.it/experiments/alice/alice-its/welcome.html>
<http://cdsweb.cern.ch/search.py?recid=43679>
4. "Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Inner Tracking System", ALICE Collaboration, CERN-LHCC-2013-024
5. <http://fmd.nbi.dk/>
6. <http://alice-project-v0.web.cern.ch/alice-project-v0>
7. "Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Time Projection Chamber", ALICE Collaboration, CERN-LHCC-2013-020
8. T. Gunji, "Study of Electron Identification Capability of the ALICE TRD", A Dissertation for Master of Science, University of Tokyo (2009)

"TRD Technical Design Report", ALICE Collaboration, ALICE-DOC-2004-009 v.1

T. Mahmoud, "Development of the Readout Chamber of the ALICE Transition Radiation Detector and Evaluation of its Physics Performance in the Quarkonium Sector", PhD thesis (2004)

<http://www-alice.gsi.de/trd/index.html>
9. "ALICE Time-Of-Flight system (TOF):Technical Design Report", ALICE Collaboration, CERN-LHCC-2000-012
10. "ALICE high-momentum particle identification:Technical Design Report", ALICE Collaboration, CERN-LHCC-98-019 (1998)
11. V.I. Manko et al, "Photodiode read – out of the ALICE photon Spectrometer PbWO₄ crystals", CERN-ALICE-PUB-99-25 (1999)
12. Gines Martinez, "The Muon Spectrometer of the ALICE experiment", ALICE Collaboration, Nucl. Phys. A 749, 313-319 (2005)
13. "Technical Design Report of the Dimuon Forward Spectrometer", ALICE Collaboration, CERN / LHCC 2000–046
14. "Technical Design Report for the Muon Forward Tracker", ALICE Collaboration, CERN-LHCC-2015-001

15. "PMD Technical Design Report", ALICE Collaboration, ALICE-DOC-2004-007 v.1
16. Loyal Durand, "Transition radiation from ultra-relativistic particles", Phys. Rev. D 11, 89 (1975)

J.D. Jackson, Classical Electrodynamics, John Wiley & Sons (1962)
17. X. Artru, G.B. Yodh, G. Mennessier, "Practical theory of multilayered transition radiation detector", Phys. Rev. D 12, 1289 (1975)
18. <http://www.cerncourier.com/main/article/41/10/5>
19. G.B. Bassompierre et al., "Performance of the NOMAD transition radiation detector", Nucl. Instr. Meth. 411, 63 (1998)
20. R.D Appuhn et al., "Transition radiation detectors for electron identification beyond 1 GeV/c", Nucl. Instr. Meth. 263, 309 (1988)
21. E.O'Brien et al., "A transition radiation detector which features accurate tracking and dE/dx particle identification", ALICE Collaboration, IEEE Trans. Nucl. Sc. 40, 153 (1993)
22. T. Akesson et al., "Particle identification performance of a straw transition radiation tracker prototype", ALICE Collaboration, Nucl. Instr. Meth. A 372, 70 (1996)
23. <http://www-linux.gsi.de/~andronic/trd/tests/oct04/index.html>
24. O. Busch, "Results from prototype tests for the ALICE TRD", ALICE Collaboration, Nucl. Instr. Meth. A 525, 153-157 (2004)
25. A. Andronic, "Electron identification performance with ALICE TRD prototypes", ALICE Collaboration, Nucl. Instr. Meth. A 522, 40-44 (2004)
26. O. Busch et al, "Transition radiation spectroscopy with prototypes of the ALICE TRD", ALICE Collaboration, Nucl. Instr. Meth. A 522, 45-49 (2004)
27. W. Blum, L. Rolandi, "Practical Detection with Drift Chamber", Springer (1993)