



**Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών**  
**Σχολή Θετικών Επιστημών**  
**Τμήμα Φυσικής**  
Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

**Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας και**  
**απόδοσης σε ανιχνευτές Micromegas με**  
**δεδομένα από δοκιμαστικές δέσμες στο CERN**

**Παναγιώτης Μπέλλος**

Αθήνα 2016



**Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών**  
**Σχολή Θετικών Επιστημών**  
**Τμήμα Φυσικής**  
Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

**Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας και  
απόδοσης σε ανιχνευτές Micromegas με  
δεδομένα από δοκιμαστικές δέσμες στο CERN**

Τριμελής επιτροπή : Δημήτριος Φασουλιώτης, αναπληρωτής καθηγητής ΕΚΠΑ  
Χριστίνα Κουρκουμέλη, καθηγήτρια ΕΚΠΑ  
Ιωάννης Γκιάλας, καθηγητής Πανεπιστημίου Αιγαίου

## «Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας και απόδοσης σε ανιχνευτές MicroMegas με δεδομένα από δοκιμαστικές δέσμες στο CERN»

Ο μεγάλος επιταχυντής αδρονίων (LHC) του CERN μέσα στα επόμενα χρόνια πρόκειται να αναβαθμιστεί ώστε να παράγει μεγαλύτερη στιγμιαία φωτεινότητα (luminosity). Ένα μέρος του ανιχνευτή μιονίων του πειράματος ATLAS, το small wheel, θα πρέπει να αντικατασταθεί ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει στις νέες συνθήκες. Το ένα από τα δύο είδη ανιχνευτών που θα τοποθετηθούν στο New Small Wheel είναι θάλαμοι MicroMegas. Οι θάλαμοι MicroMegas αποτελούν μία από τις πιο σύγχρονες διατάξεις στα πλαίσια της εξέλιξης των ανιχνευτών αερίου και έχουν πολύ υψηλές επιδόσεις. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση δύο κατασκευαστικά διαφορετικών τύπων θαλάμων MicroMegas ώστε να επιλεγεί ο καταλληλότερος για τοποθέτηση στο New Small Wheel του πειράματος ATLAS.

## “Comparison of spatial resolution and efficiency in MicroMegas chambers with data of test beams from CERN”

The Large Hadron Collider at CERN in the next few years is going to be upgraded to produce larger luminosity. A part of the muon spectrometer of ATLAS experiment, the Small Wheel, will be replaced to withstand the new conditions. One of the two types of detectors that will be placed in the New Small Wheel is the MicroMegas chambers. The MicroMegas chambers are one of the most recent developments in gaseous detectors and they have very high performance. The purpose of this study is to compare two slightly different types of MicroMegas chambers to choose the more appropriate to be placed in the New Small Wheel.

Περιεχόμενα.....	5
<b>1. Το πείραμα ATLAS.....</b>	<b>7</b>
1.1 Ο LHC.....	7
1.2 Ο ανιχνευτής ATLAS.....	8
1.2.1 Ο εσωτερικός ανιχνευτή.....	9
1.2.2 Τα θερμιδόμετρα.....	10
1.2.3 Ο Ανιχνευτής Μιονίων.....	11
1.2.4 Η Διάταξη Μαγνητών.....	12
1.2.5 Τα ηλεκτρονικά του ATLAS.....	12
1.3 Το New Small Wheel.....	14
1.3.1 Το παρόν small wheel.....	14
1.3.2 Το New Small Wheel.....	15
<b>2. Ανιχνευτές αερίου.....</b>	<b>17</b>
2.1 Αλληλεπίδραση βαρέων φορτισμένων σωματιδίων με την ύλη.....	17
2.2.1 Ιονισμός .....	19
2.2.2 Τύποι ανιχνευτών αερίου.....	21
2.3 Ανιχνευτές MicroMegas.....	25
<b>3. Ανάλυση δεδομένων.....</b>	<b>28</b>
3.1 Οι J chambers.....	28
3.2 Το στήσιμο των δοκιμαστικών δεσμών.....	28
3.3 Λήψη δεδομένων.....	29
3.4 Επεξεργασία δεδομένων.....	30
3.4.1 Διόρθωση φαινομένου Cross-Talk.....	31
3.4.2 Εξαγωγή φυσικών ποσοτήτων από το φορτίο των λωρίδων.....	31
3.5 Ανάλυση δεδομένων.....	31
3.5.1 Οι μέθοδοι ανακατασκευής της θέσης.....	35
3.6 Αποτελέσματα.....	38
3.6.1 Χωρική διακριτική ικανότητα.....	38
3.6.2 Γωνιακή διακριτική ικανότητα.....	41
3.6.3 Χρονική διακριτική ικανότητα.....	45
3.7 Συμπεράσματα.....	47
<b>Παράρτημα</b>	
A : Ιστογράμματα χωρικής διακριτικής ικανότητας.....	49
B : Ιστογράμματα γωνιακής διακριτικής ικανότητας.....	51
Γ : Ιστογράμματα χρονικής διακριτικής ικανότητας.....	53
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>55</b>



# 1. Το πείραμα ATLAS

---

Το CERN (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire "Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών") είναι το μεγαλύτερο πειραματικό κέντρο ερευνών σωματιδιακής φυσικής στον κόσμο και βρίσκεται δυτικά της Γενεύης, στα σύνορα Ελβετίας και Γαλλίας. Για την ανίχνευση του σωματιδίου Higgs καθώς και για την διερεύνηση κι άλλων θεωριών το 1998 άρχισε εκεί η κατασκευή του επιταχυντή LHC. Ο LHC ( Large Hadron Collider ) λειτούργησε για πρώτη φορά το 2008 και είναι αυτή τη στιγμή ο μεγαλύτερος επιταχυντής σωματιδίων στον κόσμο όντας ικανός να επιταχύνει και να συγκρούει 2 δέσμες σωματιδίων σε ενέργεια που μπορεί να φτάσει τα 7 TeV για κάθε δέσμη. Ο LHC κείται σε ένα κυκλικό τούνελ περιφέρειας 27 km σε βάθος 50-175 m κάτω από την επιφάνεια.

## 1.1 Ο LHC

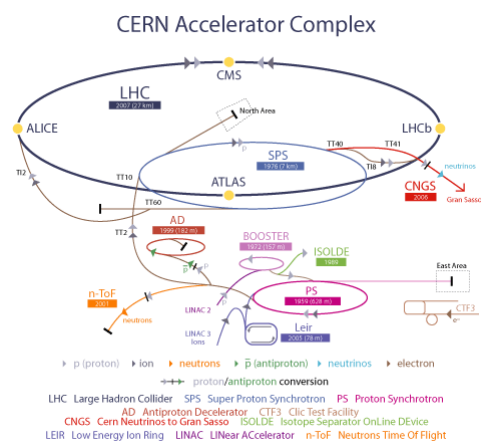
Ο LHC αποτελείται από δυο παράλληλους κυκλικούς σωλήνες μέσα στους οποίους κυκλοφορούν δέσμες σωματιδίων. Οι δέσμες δεν είναι συνεχείς αλλά αποτελούνται από διακριτά πακέτα. Οι σωλήνες διατηρούνται σε υψηλό κενό για να μην εμποδίζεται η κίνηση των σωματιδίων. Επίσης οι σωλήνες διασταυρώνονται σε 4 σημεία δίνοντας την δυνατότητα σύγκρουσης των 2 δεσμών.

Μια διάταξη από 1232 διπολικούς μαγνήτες δημιουργεί πεδίο μέχρι 8.3 T για να κρατάει τις δέσμες σε κυκλική τροχιά ενώ άλλοι 392 τετραπολικοί τις κρατάνε εστιασμένες ώστε να αυξάνεται η πιθανότητα αλληλεπίδρασης κατά την σύγκρουση. Περίπου 96 τόνοι υγρό He χρησιμοποιούνται για την ψύξη των υπεραγωγίμων αυτών μαγνητών σε θερμοκρασία 1.9K καθιστώντας τον LHC το ψυχρότερο σημείο στην γη.

Ηλεκτρικά πεδία και κοιλότητες ραδιοσυχνότητας κατά μήκος των σωλήνων παρέχουν επιτάχυνση στα σωματίδια. Οι κοιλότητες ραδιοσυχνότητας βρίσκονται περιοδικά κατά μήκος του σωλήνα, έτσι κάθε φορά που τα σωματίδια περνούν από μια τέτοια κοιλότητα ένα μέρος της ενέργειας των ραδιοκυμάτων μεταφέρεται σε αυτά.

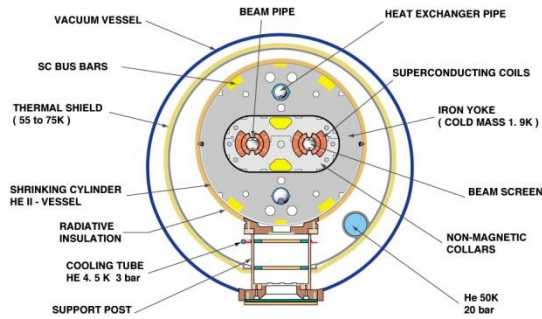
Πριν όμως μπουν στον κύριο επιταχυντή τα σωματίδια επιταχύνονται σε μια σειρά από μικρότερους επιταχυντές. Αρχικά τα πρωτόνια παράγονται και επιταχύνονται μέχρι τα 50 MeV στον LINAC 2 ο οποίος τα αποστέλλει στον Proton Synchrotron Booster (PSB) όπου φτάνουν στα 1.4 GeV. Από εκεί πηγαίνουν στον Proton Synchrotron (PS) και φτάνουν σε ενέργεια 26 GeV και τέλος πριν μπουν στον LHC επιταχύνονται στο Super Proton Synchrotron (SPS) για περίπου 20 λεπτά μέχρι τα 450 GeV. Όταν ο LHC τρέχει σε πλήρη ισχύ τα πρωτόνια φτάνουν μέσα σε 20 λεπτά τα 7 TeV δηλαδή ταχύτητα 0.999999991c. Σε αυτήν την ταχύτητα περιστρέφονται 11.000 φορές το δευτερόλεπτο στον δακτύλιο και διατηρούνται εκεί για 10-24 ώρες μέχρι να συγκρουστούν σε ένα από τα 4 σημεία διασταύρωσης των σωλήνων.

Ο LHC είναι σχεδιασμένος να παρέχει στιγμιαία φωτεινότητα  $10\text{-}34\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  με ρυθμό συγκρούσεως πακέτων 40 MHz. Ενώ το κάθε πακέτο αποτελείται από περίπου 1011 σωματίδια. Κάθε δέσμη έχει 2808 πακέτα απέχοντα χρονικά κατά 25 ns.



Σχήμα 1.1 (α) Η διάταξη επιταχυντών του CERN

CROSS SECTION OF LHC DIPOLE



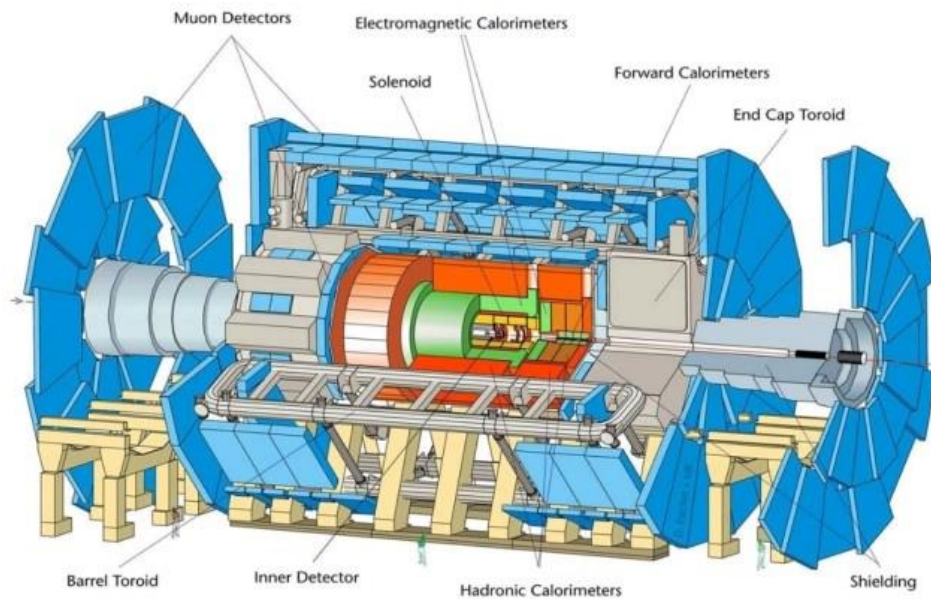
(β) Διατομή του LHC

## 1.2 Ο ανιχνευτής ATLAS

Ο ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus) είναι ένας από τους 7 ανιχνευτές σωματιδίων κατά μήκος του LHC. Ο ATLAS έχει κυλινδρικό σχήμα μήκος 44 m, διάμετρο 25 m και ζυγίζει περίπου 7000 τόνους. Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε τον Αύγουστο του 2008 και είναι κι αυτός ο μεγαλύτερος ανιχνευτής στον κόσμο. Όταν οι δέσμες που κυκλοφορούν στον LHC συγκρούονται στο κέντρο του ATLAS ένα πλήθος σωματιδίων με μεγάλο εύρος ενεργειών παράγεται. Ο ATLAS είναι σχεδιασμένος ώστε να μπορεί να μετρήσει το μεγαλύτερο δυνατό εύρος σημάτων, έτσι είναι ικανός να ανιχνεύσει οποιασδήποτε νέα φυσική διαδικασία ή σωματίδιο προκύψει. Προηγούμενα πειράματα στο Tevatron ή τον LEP είχαν επίσης σχεδιαστεί με αυτήν την φιλοσοφία, ωστόσο οι υψηλότερες δυνατότητες του LHC (πολύ υψηλότερη ενέργεια και ρυθμός συγκρούσεων σωματιδίων) απαιτούν ο ATLAS να είναι μεγαλύτερος και πολυπλοκότερος από κάθε προηγούμενο ανιχνευτή. Καθώς η ενέργεια των παραγομένων σωματιδίων αυξάνεται ο ανιχνευτής πρέπει να είναι ικανός να σταματήσει αυτά τα σωματίδια και να μετρήσει την ενέργεια, την ορμή, την μάζα, το φορτίο καθώς και το spin τους. Για να μπορεί να ανιχνεύσει όλα τα σωματίδια που παράγονται από τις συγκρούσεις των δεσμών ο ανιχνευτής αποτελείται από διαδοχικά στρώματα επί μέρους ανιχνευτών που ανιχνεύουν διαφορετικούς τύπους σωματιδίων. Τα μονά σωματίδια που δεν μπορούν να ανιχνευτούν απευθείας είναι τα νετρίνα τα οποία εντοπίζονται παρατηρώντας ένα έλλειμμα ενέργειας σε κάποιο γεγονός.

Ο ATLAS αποτελείται από μια σειρά ομόκεντρων κυλινδρικών διατάξεων γύρω από το σημείο σύγκρουσης των δεσμών. Αποτελείται από 4 βασικά μέρη τον εσωτερικό ανιχνευτή τα θερμιδόμετρα τον ανιχνευτή μιονίων κ το σύστημα μαγνητών. Κάθε ένα από αυτά τα μέρη αποτελείται από πολλαπλά στρώματα.





Σχήμα 1.2 Ο ανιχνευτής ATLAS

### 1.2.1 Ο εσωτερικός ανιχνευτής

Ο εσωτερικός ανιχνευτής του ATLAS συνδυάζει υψηλής ευκρίνειας ανιχνευτές στις εσωτερικές ακτίνες με συνεχή στοιχεία προσδιορισμού τροχιάς στις εξωτερικές όλα περιεχόμενα στο κεντρικό σωληνοειδές το οποίο παράγει μαγνητικό πεδίο 2 T. Η μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται γύρω από την κορυφή αλληλεπίδρασης χρησιμοποιώντας semiconductor pixel detectors ακολουθούμενους από έναν silicon microstrip detector. Τυπικά για κάθε τροχιά ο pixel detector συνεισφέρει 3 και ο microstrip 4 χωρικά σημεία. Σε μεγαλύτερες ακτίνες παρέχονται τυπικά 36 σημεία από τον ανιχνευτή λεπτών σωλήνων (straw tube tracker). Η εξωτερική ακτίνα του εσωτερικού ανιχνευτή είναι 1.15 m και το συνολικό του μήκος 7 m. Στην κεντρική περιοχή οι υψηλής ευκρίνειας ανιχνευτές είναι τοποθετημένοι σε ομόκεντρους κυλίνδρους γύρω από τον άξονα των δεσμών ενώ οι εμπρόσθιοι ανιχνευτές βρίσκονται σε δίσκους κάθετους στις δέσμες.

#### 1.2.1.1 Ο Pixel Detector

Ο Pixel Detector είναι το πλέον εσωτερικό κομμάτι του ανιχνευτή και η λειτουργία του είναι να μετράει τις τροχιές των παραγομένων σωματιδίων όσο το δυνατόν εγγύτερα στο σημείο αλληλεπίδρασης με μεγάλη ακρίβεια. Δίνει 3 μετρήσεις ακριβείας και προσδιορίζει τη παράμετρο κρούσης και την δυνατότητα του εσωτερικού ανιχνευτή να ανιχνεύει σωματίδια με μικρή διάρκεια ζωής όπως B-Hadrons. Το σύστημα αποτελείται από τρεις κυλίνδρους με μέση ακτίνα 5, 9 και 12 cm με 1456 λειτουργικές μονάδες (modules) αντίστοιχα και τρεις δίσκους σε κάθε πλάι με ακτίνα από 9 έως 15 cm (288 modules). Κάθε λειτουργική μονάδα έχει 62.4 mm μήκος και 21.4 mm πλάτος με 46080 pixels που διαβάζονται από 16 chips κάθε ένα από τα οποία εξυπηρετεί μια περιοχή από 18 έως 160 pixels. Τα chips ανάγνωσης πρέπει να αντέχουν πάνω από 300 kGy ιονίζουσας ακτινοβολίας και πάνω από  $5 \cdot 10^{14}$  νετρόνια ανά  $\text{cm}^2$  για δέκα χρόνια. Τυπικά 3 στρώματα pixels διασχίζονται από κάθε τροχιά.

#### 1.2.1.2 Ο Semi-Conductor Tracker

Ο Semi-Conductor Tracker (SCT) βρίσκεται στην μέση του εσωτερικού ανιχνευτή. Είναι παρόμοιος σε λειτουργία με τον Pixel Detector αλλά με μακριές στενές λωρίδες αντί για pixels. Είναι σχεδιασμένος να παρέχει μετρήσεις σε 8 σημεία κάθε τροχιάς σε ενδιάμεσες ακτίνες συνεισφέροντας στην μέτρηση της ορμής, της παραμέτρου κρούσης και της θέσης της κορυφής αλληλεπίδρασης. Στην κεντρική περιοχή 8 στρώματα μικρολωρίδων πυριτίου παρέχουν ακριβείς μετρήσεις σημείων σε  $r$ ,  $\phi$  και  $z$  συντεταγμένες. Κάθε ανιχνευτής πυριτίου έχει επιφάνεια  $6.36 \times 6.40 \text{ cm}^2$  με 780 αναγνώσιμες λωρίδες πλάτους 80  $\mu\text{m}$  και μήκους 12.6 cm. Οι κεντρικές μονάδες είναι κατασκευασμένες από κυλίνδρους ιών άνθρακα σε ακτίνες 30.0, 37.3, 44.7, και 52.0 cm. Οι εμπρόσθιες μονάδες είναι παρόμοιας κατασκευής αλλά χρησιμοποιούν κωνικές λωρίδες ευθυγραμμισμένες ακτινικά.

#### 1.2.1.3 Ο Transition Radiation Tracker

Ο Transition radiation Tracker (TRT) είναι το τελευταίο και εξωτερικό μέρος του εσωτερικού ανιχνευτή. Βασίζεται στην χρήση λεπτών σωλήνων οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν με υψηλή απόδοση λόγω της μικρής διαμέτρου τους και της απομόνωσης των αισθητηρίων συρμάτων μέσα σε λεπτούς θαλάμους αερίου. Η ικανότητα αναγνώρισης ηλεκτρονίων επιτυγχάνεται με την προσθήκη Ξένου (Xe) ώστε να ανιχνεύονται τα φωτόνια της ακτινοβολίας μετάβασης που δημιουργούνται μεταξύ των κυλίνδρων. Κάθε κύλινδρος έχει διάμετρο 4 mm και είναι εφοδιασμένος με ένα επίχρυσο σύρμα W-Re. Το μέγιστο μήκος των κυλίνδρων είναι 144 cm στην κεντρική περιοχή η οποία περιλαμβάνει 50000 από αυτά. Οι εμπρόσθιες-οπίσθιες περιοχές περιλαμβάνουν 320000. Ο συνολικός αριθμός των αναγνώσιμων καναλιών είναι 420000. Κάθε κανάλι παρέχει μία μέτρηση του χρόνου ολίσθησης προσφέροντας χωρική διακριτική ικανότητα 170 $\mu\text{m}$  ενώ έχει δυο ανεξάρτητα κατώφλια. Αυτά επιτρέπουν στον ανιχνευτή να διακρίνει μεταξύ των ιχνών της τροχιάς που περνούν το χαμηλό κατώφλι και της ακτινοβολίας μετάβασης που περνάει το υψηλό. Το μείγμα αερίων είναι Xe(70%) -CO<sub>2</sub>(27%)-O<sub>2</sub>(3%) με συνολικό όγκο 3 m<sup>3</sup>. Ο κεντρικός τομέας είναι κατασκευασμένος από ανεξάρτητες μονάδες με 329 ως 793 σωλήνες η κάθε μια, καλύπτοντας ακτινικό εύρος από 57 ως 107 cm ενώ η εμπρόσθιος αποτελείται από 18 δίσκους.

### 1.2.2 Τα Θερμιδόμετρα

Τα θερμιδόμετρα βρίσκονται έξω από τον σωληνοειδή μαγνήτη που περιβάλλει τον εσωτερικό ανιχνευτή. Σκοπός τους είναι να μετράνε την ενέργεια των σωματιδίων απορροφώντας τα. Υπάρχουν 2 θερμιδόμετρα το ηλεκτρομαγνητικό και το αδρονικό. Και τα δυο λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο, απορροφούν ενέργεια σε υψηλής πυκνότητας μέταλλο και περιοδικά δειγματοληπτούν το σχήμα των πιδάκων βρίσκοντας έτσι την ενέργεια του αρχικού σωματιδίου.

#### 1.2.2.1 Το Ηλεκτρομαγνητικό Θερμιδόμετρο

Το ηλεκτρομαγνητικό θερμιδόμετρο απορροφά ενέργεια από φορτισμένα σωματίδια και φωτόνια. Έχει μεγάλη ακρίβεια τόσο στην μέτρηση της ενέργειας όσο και στο σημείο απορρόφησης. Η γωνιά μεταξύ της κατεύθυνσης του σωματιδίου και της κατεύθυνσης της

δέσμης και η γωνιά της με το κάθετο επίπεδο μετρούνται με ακρίβεια σχεδόν 0.025 rad. Τα υλικά απορρόφησης είναι μόλυβδος και ανοξείδωτο ατσάλι με υγρό αργό ως δειγματοληπτικό υλικό. Επίσης χρησιμοποιείται ψυκτικό ώστε να διατηρεί το θερμιδόμετρο επαρκώς ψυχρό.

#### 1.2.2.2 Το Αδρονικό Θερμιδόμετρο

Το Αδρονικό θερμιδόμετρο απορροφά σωματίδια που περνάνε από το ηλεκτρομαγνητικό θερμιδόμετρο και αλληλεπιδρούν ισχυρά, δηλαδή κυρίως αδρόνια. Είναι λιγότερο ακριβές σε αμφότερες τις μετρήσεις ενέργειας και σημείου απορρόφησης. Το υλικό απορρόφησης είναι ατσάλι με πλακίδια σπινθηρισμών τα οποία δειγματοληπτούν την ενέργεια που εναποτίθεται. Το κέντρικο μέρος του θερμιδομέτρου είναι 8 m σε διάμετρο και καλύπτει 12 m μήκος.

### 1.2.3 Ο Ανιχνευτής Μιονίων

Ο ανιχνευτής μιονίων είναι το εξωτερικό κομμάτι του ATLAS εκτεινόμενος σε ακτίνα από 4.25 ως 11 m. Το μεγάλο μέγεθος απαιτείται για να μετράει με ακρίβεια την ορμή των μιονίων τα οποία διαπερνούν όλα τα άλλα στοιχεία του ανιχνευτή. Η λειτουργία του είναι βασική γιατί τα μόνια είναι βασικά στοιχεία σε έναν μεγάλο αριθμό διαφορετικών φυσικών διαδικασιών και επειδή η συνολική ενέργεια των σωματιδίων σε ένα γεγονός δεν μπορεί να μετρηθεί ακριβώς αν τα μόνια αγνοηθούν. Ο ανιχνευτής έχει παρόμοια λειτουργία με αυτή του εσωτερικού ανιχνευτή με τις τροχιές των μιονίων να κάμπτονται λόγω παρουσίας μαγνητικού πεδίου ώστε να μπορεί να μετρηθεί η ορμή τους. Έχει σχεδόν ένα εκατομμύριο αναγνώσιμα κανάλια και τα στρώματα του ανιχνευτή έχουν συνολική επιφάνεια 12000 m<sup>2</sup>.

Για ψευδοωκύτητες  $\eta \leq 1,0$  η μαγνητική κάμψη παρέχεται από τον τοροειδή μαγνήτη όπως και για τιμές  $1.4 < \eta < 2.7$ . Για ενδιάμεσες τιμές οι οποίες αντιστοιχούν σε μια μεταβατική περιοχή, η μαγνητική κάμψη γίνεται με ένα συνδυασμό των τριών μαγνητών. Αυτή η διαμόρφωση των μαγνητών παρέχει ένα πεδίο κάθετο στις τροχιές των μιονίων, ενώ ελαχιστοποιεί την απώλεια σε διακριτική ικανότητα λόγω πολλαπλών σκεδάσεων. Στην κεντρική περιοχή οι τροχιές μετρώνται σε ανιχνευτές διευθετημένους σε τρεις κυλινδρικούς σταθμούς γύρω από τον άξονα της δέσμης. Στην μεταβατική και στις εμπρόσθιες περιοχές οι ανιχνευτές τοποθετούνται κάθετα στη δέσμη, επίσης σε 3 σταθμούς.

Σε όλο σχεδόν το εύρος ψευδοωκυτήτων, η ακριβής μέτρηση των συντεταγμένων των τροχιών που είναι κάθετες στο μαγνητικό πεδίο παρέχεται από τους θαλάμους ελεγχόμενης ολίσθησης (Monitored Drift Tubes). Οι θάλαμοι MDT καλύπτουν το 99,5% της επιφάνειας του ανιχνευτή και παρέχουν μεγάλης ακρίβειας μετρήσεις. Δεν παρέχουν όμως πληροφορία σχετικά με την δεύτερη συντεταγμένη της τροχιάς (η οποία είναι παράλληλη προς το μαγνητικό πεδίο) και τον σκανδαλισμό. Για μεγάλες ψευδοωκύτητες και για περιοχές κοντά στο σημείο αλληλεπίδρασης, χρησιμοποιούνται οι ανιχνευτές καθοδικών ταινιών (Cathode Strip Chambers), οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη διαμέριση και μπορούν να ανταπεξέλθουν στη μεγάλη ροή σωματιδίων και στο υψηλό υπόβαθρο. Επιπλέον παρέχουν πληροφορία και για την δεύτερη συντεταγμένη μέσω των ανοδικών τους συρμάτων.

Το σύστημα σκανδαλισμού καλύπτει ψευδοωκότητες  $\eta < 2.4$  και αποτελείται από θαλάμους επιπέδων μεγάλης αντίστασης (Resistive Plate Chambers) οι οποίοι καλύπτουν την κεντρική περιοχή και από θαλάμους λεπτού χάσματος (Thin Gap Chambers) οι οποίοι καλύπτουν τις εμπρόσθιες περιοχές. Οι δύο τύποι θαλάμων σκανδαλισμού δίνουν γρήγορα σήματα με χρονική διακριτική ικανότητα λίγων ns, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον σκανδαλισμό πρώτου επιπέδου και την ταυτοποίηση της σύγκρουσης των δεσμών πρωτονίων. Επιπλέον παρέχουν πληροφορία για την δεύτερη συντεταγμένη των τροχιών, η οποία είναι κάθετη στην πρώτη, δηλαδή σε κατεύθυνση σχεδόν παράλληλη με το μαγνητικό πεδίο. Η δυνατότητα μέτρησης της δεύτερης συντεταγμένης από τους θαλάμους σκανδαλισμού έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ταιριάζει με την γεωμετρική αποδοχή των θαλάμων ακριβείας MDT και CSC.

#### 1.2.4 Το σύστημα Μαγνητών

Τέλος το σύστημα μαγνητών που χρησιμοποιείται για την καμπύλωση των τροχιών των φορτισμένων σωματιδίων και της μέτρησης της ορμής τους. Στον ATLAS υπάρχουν δυο διατάξεις υπεραγωγίων μαγνητών, ο σωληνοειδής και οι τοροειδείς.

Ο εσωτερικός σωληνοειδής παράγει μαγνητικό πεδίο 2T περιβάλλον τον εσωτερικό ανιχνευτή. Έχει μήκος 5.3 m διάμετρο 2.4 m και το βάρος του είναι 5.7 τόνοι. Ο αγωγός είναι σύνθετος και αποτελείται από ένα επίπεδο υπεραγωγίμο καλώδιο τοποθετημένο στο κέντρο ενός σταθεροποιητή αλουμινίου τετραγωνικής διατομής.

##### 1.2.4.2 Οι Τοροειδείς Μαγνήτες

Η διάταξη τοροειδών μαγνητών της κεντρικής περιοχής αποτελείται από 8 πηνία συναρμολογημένα ακτινικά και συμμετρικά γύρω από τον άξονα των δεσμών. Κάθε πηνίο έχει αξονικό μήκος 23.5 m και εκτείνεται ακτινικά από τα 9.4 στα 20 m. Το συνολικό τους βάρος είναι 830 τόνοι. Το πεδίο που δημιουργούν μπορεί να φτάσει ως τα 3.9 T, παρέχοντας 2 ως 6 Tm ισχύ στρέψης.

Η εμπρόσθια και οπίσθια διάταξη αποτελείται επίσης από 8 πηνία συναρμολογημένα ακτινικά και συμμετρικά γύρω από τον άξονα των δεσμών. Κάθε πηνίο έχει αξονικό μήκος 5m και εκτείνεται ακτινικά από 1.65 ως 10.7 m. το συνολικό τους βάρος είναι 239 τόνοι. Το μέγιστο πεδίο που παρέχεται είναι 4.1 T με ισχύ στρέψης 4 ως 8 Tm.

#### 1.2.5 Τα ηλεκτρονικά του ATLAS

##### 1.2.5.1 Το σύστημα σκανδαλισμού

Ο Σκανδαλισμός 1ου επιπέδου δουλεύει με ένα υποσύνολο πληροφοριών από τα θερμιδόμετρα και τον ανιχνευτή μιονίων. Απαιτούνται 2 ms για να φτάσει στην απόφαση του συμπεριλαμβανομένης της καθυστέρησης στα καλώδια. Όλα τα δεδομένα από τον ανιχνευτή πρέπει να αποθηκεύονται σε pipeline memories μέχρι η LVL1 απόφαση να είναι διαθέσιμη.

Τα γεγονότα που πέρασαν από το LVL1 πρέπει να διατηρηθούν ώστε να υποστούν περαιτέρω ανάλυση. Τα δεδομένα για αυτά τα γεγονότα μεταφέρονται σε προσωρινές μνημες ανάγνωσης όπου παραμένουν μέχρι να αποφασιστεί αν περνάνε τον σκανδαλισμό

LVL2. Τα δεδομένα μπορούν να προσπελαστούν επιλεκτικά από τον σκανδαλισμό LVL2 ο οποίος χρησιμοποιεί περιοχές ενδιαφέροντος προσδιορισμένες από τον σκανδαλισμό LVL1. Ο σκανδαλισμός LVL2 φιλτράρει την επιλογή των υποψήφιων αντικειμένων χρησιμοποιώντας δεδομένα από όλα τα μέρη του ανιχνευτή συμπεριλαμβανόμενου του εσωτερικού ανιχνευτή ο οποίος δεν λαμβάνεται υπ' όψιν από τον σκανδαλισμό LVL1. Με αυτόν τον τρόπο ο ρυθμός μπορεί να πέσει περίπου στο 1 kHz. Πολλά γεγονότα αναλύονται ταυτόχρονα από το σκανδαλισμό LVL2 χρησιμοποιώντας παράλληλη επεξεργασία και μια μέση χρονική καθυστέρηση μέχρι 10 ms θεωρείται επαρκής.

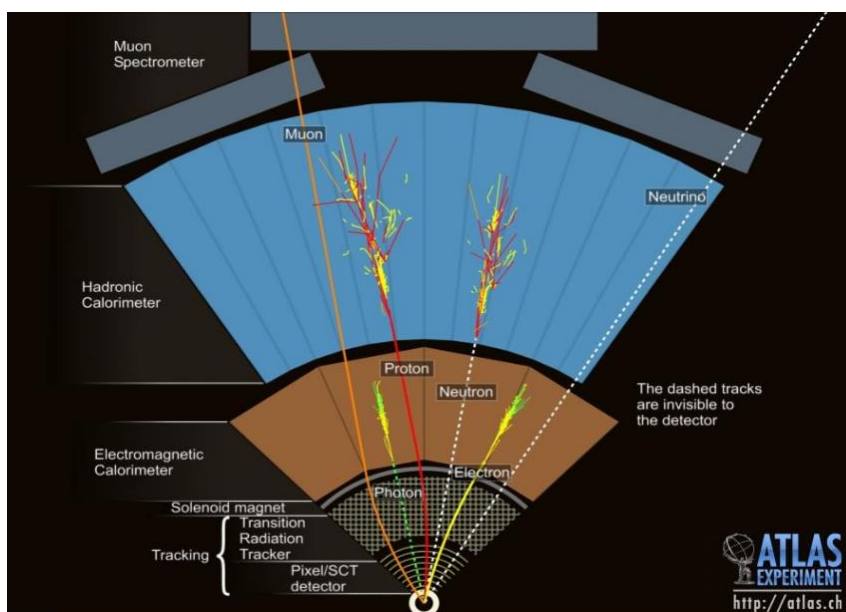
#### 1.2.5.2 Το σύστημα συλλογής δεδομένων

Για να γεγονότα που πέρασαν από τον σκανδαλισμό LVL2 γίνεται ανακατασκευή τους. Κάθε αναγνώσιμο buffer περιέχει κομμάτια από διάφορα γεγονότα για ένα μικρό μέρος κάποιου ανιχνευτή. Ο ανακατασκευαστής γεγονότων συλλέγει όλα τα κομμάτια του κάθε γεγονότος σε μια μοναδική μνήμη, την μνήμη του επεξεργαστή επιλογής γεγονότων. Η ανακατασκευή του γεγονότος πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας data switch.

Η διαδικασία επιλογής γεγονότων γίνεται με την χρήση παράλληλων επεξεργασιών δρώντας πάνω στα πλήρη δεδομένα του γεγονότος. Τα πολύπλοκα κριτήρια επιλογής της ανάλυσης off-line θα χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον real-time. Η διαδικασία για κάθε γεγονός μπορεί να διαρκέσει περίπου 1 s σε έναν 1000 MIPS (Million Instructions Per Second) επεξεργαστή (σήμερα οι επεξεργαστές είναι των 100-200 MIPS).

#### 1.2.5.3 το σύστημα υπολογισμού

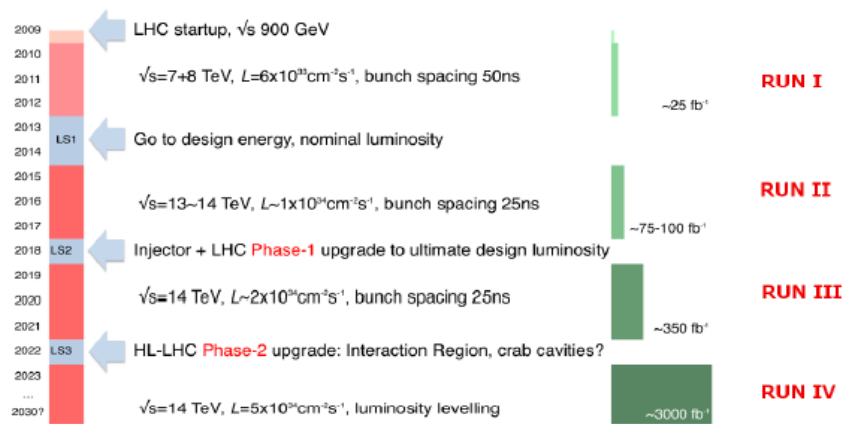
Το σύστημα υπολογισμού του ATLAS είναι σχεδιασμένο να αναλύει δεδομένα τα οποία παράγονται από τον ανιχνευτή. Η ποσότητα των δεδομένων είναι τεραστία. Ένα ισοδύναμο 50000 σημερινών υπολογιστών χρειάζεται για να αναλυθεί η ποσότητα των δεδομένων. Η επεξεργασία των δεδομένων λοιπόν θα γίνει από κοινού με πολλούς ερευνητές στα ινστιτούτα του ATLAS ανά τον κόσμο.



Σχήμα 1.3 Ίχνη των σωματιδίων στον ανιχνευτή ATLAS

## 1.3 To New Small Wheel

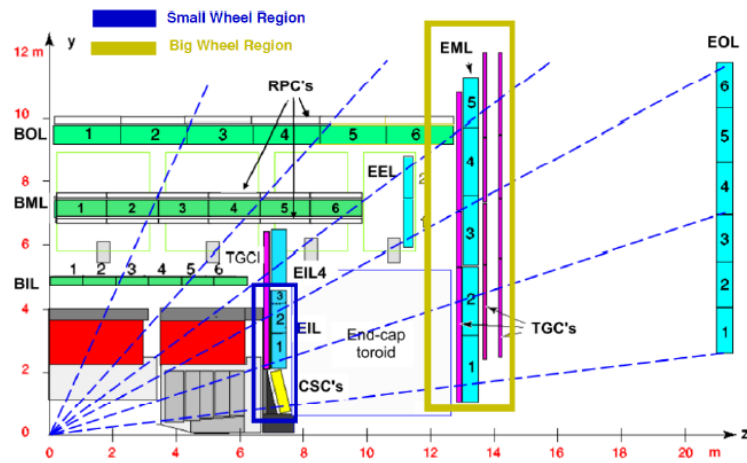
Ο LHC πρόκειται να αναβαθμιστεί σε 3 στάδια δίνοντας την δυνατότητα σημαντικής επέκτασης της έρευνας. Το 2013-14 ο επιταχυντής στάματησε την λειτουργία του (Long Shutdown 1) και αναβαθμίστηκε ώστε να μπορεί να παράγει δέσμες ενέργειας 7 TeV η κάθε μία, από 4 που ήταν αρχικά. Η φωτεινότητα αυξήθηκε επίσης από  $6 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  σε περίπου  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Το 2018 θα γίνει η δεύτερη αναβάθμιση με την φωτεινότητα να διπλασιάζεται. Τέλος μια ακόμα αναβάθμιση σχεδιάζεται μετά το 2022 κατά την οποία η φωτεινότητα θα φτάσει τα  $5 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Η αύξηση της φωτεινότητας θα βελτιώσει σημαντικά την ενεργό διατομή όλων των αλληλεπιδράσεων δίνοντας έτσι μεγαλύτερη στατιστική βεβαιότητα στα αποτελέσματα των πειραμάτων.



1.4 Το πρόγραμμα των αναβαθμίσεων του LHC

### 1.3.1 Το παρόν Small Wheel

Με την φωτεινότητα να ξεπερνάει τα  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ο ανιχνευτής μιονίων και συγκεκριμένα ο πρώτος ακραίος σταθμός (Small wheel) θα χρειαστεί αναβάθμιση για να μπορεί να ανταπεξέλθει στην αυξημένη ροή σωματιδίων.



Σχήμα 1.5 Ο ανιχνευτής μιονίων

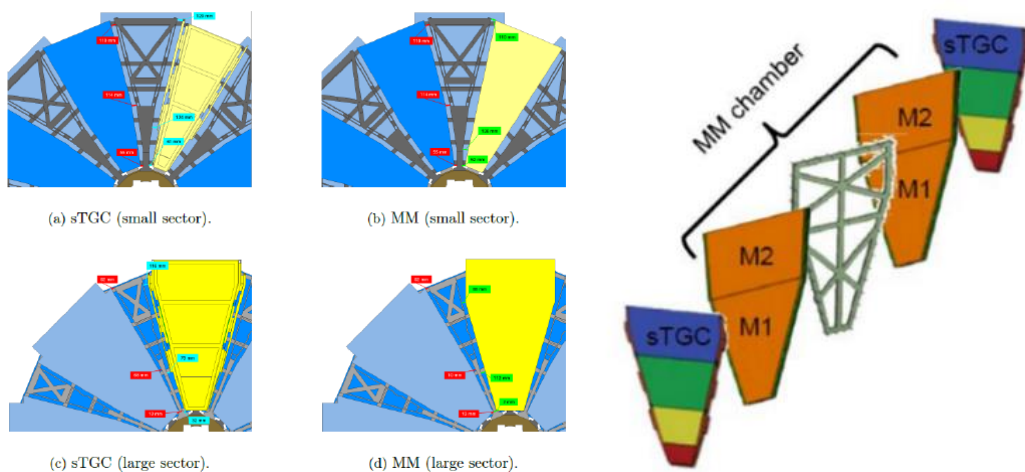
Το Small Wheel αποτελείται από TGCs και CSCs ανιχνευτές και καλύπτει την περιοχή  $1.0 < |\eta| < 2.7$ . Υπάρχουν δύο σημαντικοί λόγοι που προτείνεται η αντικατάστασή του. Με την αύξηση της φωτεινότητας ανάμενεται να μειωθεί η απόδοση και η χωρική διακριτική ικανότητα, με αποτέλεσμα την μείωση της ακρίβειας στην ορμή των μιονίων που είναι ζωτικής σημασίας. Επίσης, οι παρόντες ανιχνευτές δεν μπορούν να ανακατασκευάσουν καλά το διάνυσμα της τροχιάς των σωματιδίων με αποτέλεσμα πολλά πρωτόνια να περνάνε το Level 1 trigger και να εμφανίζονται σαν fake μίονια. Έτσι το μεγαλύτερο μέρος των γεγονότων που καταγράφονται από το ανιχνευτή αποτελούν fake γεγονότα υποβάθρου.

### 1.3.2 To New Small Wheel

Το New Small Wheel λοιπόν αναμένεται να λύσει αυτά τα προβλήματα. Οι επιθυμητές προδιαγραφές του είναι

- Λειτουργία σε ρυθμό εισερχομένων σωματιδίων  $10 \text{ kHz/cm}^2$
- Χωρική διακριτική ικανότητα  $60 \mu\text{m/τμήμα τροχιάς}$
- Γωνιακή διακριτική ικανότητα  $0.3 \text{ mrad/τμήμα τροχιάς}$
- Καλή ικανότητα διαχωρισμού δύο τροχιών
- Trigger capability BCID angle  $\approx 1 \text{ mrad}$
- Απόδοση 99%
- Ανθεκτικότητα σε έκθεση σε ακτινοβολία
- Καλή αντοχή στον χρόνο

Οι τεχνολογίες ανιχνευτών που εγκρίθηκαν για τοποθέτηση στο New Small Wheel είναι οι Thin Gap Chambers και οι θάλαμοι MicroMegas.



Σχήμα 1.6 Η σχεδίαση του New Small Wheel

Η γεωμετρία του υπόλοιπου πειράματος επιβάλλει το NSW να τοποθετηθεί στην περιοχή  $|z| = 6780 \text{ mm} - 7890 \text{ mm}$  με multilayers από sTGC και MMs δεξιά και αριστερά του σημείου σύγκρουσης. Η απαίτηση για συμβατότητα με τους υπάρχοντες ανιχνευτές και το σύστημα ευθυγράμμισης του endcap όρισε το NSW να χωριστεί σε 16 τομείς θαλάμων ακριβείας, όπου 8 τομείς θα είναι μεγάλοι, και 8 μικροί. Λαμβάνοντας υπόψιν το υψηλό υπόβαθρο που θα δέχεται ο ανιχνευτής, αλλά και την αλλοίωση αυτού με το πέρασ του χρόνου, κάθε multilayer σχεδιάστηκε με 8 επίπεδα από sTGC και Micromegas, έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε την απαιτούμενη απόδοση, ακόμα κι αν κάποιο ή κάποια μεμονωμένα επίπεδα δε λειτουργούν σωστά. Κάθε multilayer αποτελείται από 4 sTGC και 4 Micromegas, τοποθετημένα με τη σειρά sTGC - MM - MM - sTGC, ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόσταση μεταξύ των sTGC των δυο multilayers. Επιπροσθέτως, πρέπει να συνυπολογίσουμε τις συνθήκες κάτω από τις οποίες θα λειτουργεί το πείραμα, όπως η υγρασία και η θερμοκρασία, για τον καθορισμό του μεγέθους και των υλικών κατασκευής του NSW.



## 2. Ανιχνευτές MicroMegas

Οι ανιχνευτές MicroMegas αποτελούν μια πολύ σύγχρονη εξέλιξη ανιχνευτών αερίου. Οι ανιχνευτές αυτού του είδους εκμεταλλεύονται τον ιονισμό που προκαλούν τα διερχόμενα σωματίδια, ώστε να ανακατασκευάσουν την τροχιά τους. Αν βρίσκονται σε περιβάλλον στο οποίο υπάρχει μαγνητικό πεδίο, από την καμπύλωση της τροχιάς των φορτισμένων σωματιδίων μπορούν να ανακατασκευάσουν το φορτίο και την ορμή τους.

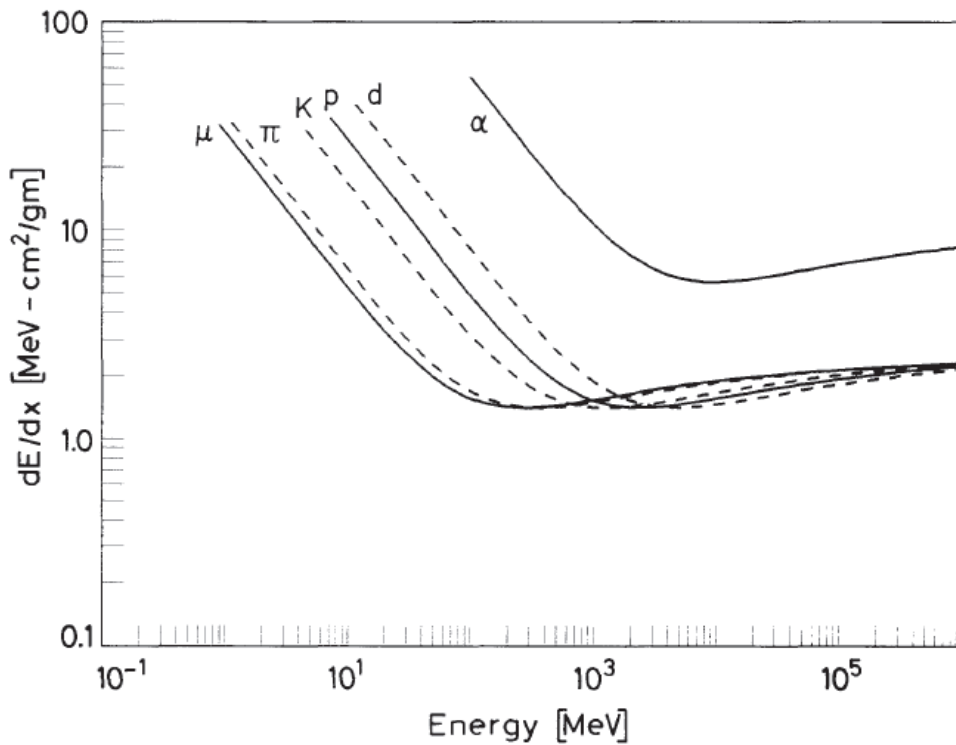
### 2.1 Αλληλεπίδραση βαρέων φορτισμένων σωματιδίων με την ύλη

Τα φαινόμενα που παρατηρούνται κατά την διείσδυση της ακτινοβολίας στην ύλη είναι διαφορετικά για κάθε είδος ακτινοβολίας. Η σημαντικότερη διαφορά είναι ότι οι ακτινοβολίες που αποτελούνται από φορτισμένα σωματίδια έχουν την ιδιότητα να ιονίζουν την ύλη μέσα από την οποία διέρχονται, ενώ οι ουδέτερες δεν προκαλούν άμεσο ιονισμό. Στις φορτισμένες ακτινοβολίες ανήκουν τα ηλεκτρόνια και τα βαρέα φορτισμένα σωματίδια, των οποίων η μάζα είναι πολύ μεγαλύτερη αυτής των ηλεκτρονίων. Στις μη φορτισμένες ακτινοβολίες ανήκουν τα νετρόνια και τα φωτόνια.

Λόγω του ότι οι ανιχνευτές MicroMegas προορίζονται για τον ανιχνευτή μιονίων θα αναφέρθούμε μόνο στην περίπτωση των βαρέων φορτισμένων σωματιδίων καθώς τα μόνια ανηκούν σε αυτήν την κατηγορία. Γενικά υπάρχουν αρκετοί τρόποι αλληλεπίδρασης ενός φορτισμένου σωματιδίου με την ύλη καθώς μπορεί να σκεδαστεί ελαστικά ή μη από τα ηλεκτρόνια, ή τους πυρήνες, ή ακόμα να εκπέμψει ακτινοβολία Cerenkov ή πέδης. Ο κύριος μηχανισμός αλληλεπίδρασης όμως είναι η μη ελαστική σκέδαση με τα εξωτερικά ηλεκτρόνια των ατόμων. Στις μη ελαστικές αυτές σκεδάσεις ενέργεια από το διερχόμενο σωματίδιο μεταφέρεται στα εξωτερικά ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα να έχουμε φαινόμενα διεγέρσεων και ιονισμών. Επειδή τα βαρέα φορτισμένα σωματίδια έχουν πολύ μεγαλύτερη μάζα από τα ηλεκτρόνια η απόκλιση που προκαλείται στην τροχιά τους είναι αμελητέα. Η απώλεια ενέργειας των διερχόμενων σωματιδίων αν και οφείλεται σε πολλές και πολύπλοκες διαδικασίες μπορεί να υπολογιστεί από κάποιες ημιεμπειρικές σχέσεις όπως η εξίσωση Bethe Block που ακολουθεί

$$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle = \frac{4\pi}{m_e c^2} \frac{nZ^2}{\beta^2} \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \left[ \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2}{I \cdot (1 - \beta^2)} \right) - \beta^2 \right]$$

Η απώλεια ενέργειας συναρτήσει της ενέργειας για διάφορα σωματίδια φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 2.1 Απώλεια ενέργειας σωματιδίων κατά την διέλευση μέσα από υλη

Λόγω της απώλειας ενέργειας μέσα στην υλή τα σωματίδια μπορεί τελικά να σταματήσουν. Το μήκος που θα διανύσει ένα σωματίδιο δεν είναι δεδομένο γιατί οι αλληλεπιδράσεις είναι στατιστικής φύσης. Παρ' όλα αυτά για τα βαρέα φορτισμένα σωματίδια η διακύμανση είναι μικρή. Έτσι πρακτικά όλα μπορούν να περάσουν έναν ανιχνευτή αερίου χωρίς να σταματήσουν.

## 2.2 Ανιχνευτές αερίου

Ένας ανιχνευτής αερίου αποτελείται από ένα αέριο μείγμα που βρίσκεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Μια διαφορά δυναμικού εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια (άνοδος-κάθοδος) έτσι ώστε να δημιουργηθεί ηλεκτρικό πεδίο. Όταν ένα σωματίδιο περάσει από τον όγκο του αερίου ionίζει κάποια άτομά του και δημιουργεί ζευγάρια ιόντων-ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια μαζεύονται στην άνοδο και τα ιόντα στην κάθοδο. Η συλλογή του φορτίου προκαλεί μια πρόσκαιρη πτώση του δυναμικού στα ηλεκτρόδια δημιουργώντας έναν ηλεκτρικό παλμό από τον οποίο καταγράφεται το γεγονός. Οι ανιχνευτές αερίου έχουν συνήθως μόνο ανοδικά ηλεκτρόδια αφού το ρόλο της καθόδου τον παίζουν τα τοιχώματα του ανιχνευτή. Για αέριο χρησιμοποιείται κάποιο ευγενές αέριο έτσι ώστε τα ηλεκτρόνια να έχουν μικρή πιθανότητα να ξανασυλληφθούν από τα άτομα του αερίου κατά την διαδρομή τους προς το σύρμα.

## 2.2.1 Ιονισμός

Όπως αναφέραμε η διέλευση ενός σωματιδίου μέσα από ένα αέριο δημιουργεί ζεύγη ιόντων ηλεκτρονίων. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται πρωτόγενής ιονισμός. Υπάρχει περίπτωση όμως τα ηλεκτρόνια από τον πρωτογενή ιονισμό να αποκτήσουν αρκετή ενέργεια για να προκαλέσουν δευτερογενείς ιονισμούς. Ο αριθμός όλων των ζευγών που θα δημιουργηθούν δίνεται από την παράμετρο  $W$  σύμφωνα με την σχέση

$$N = \frac{\Delta E}{W}$$

όπου  $\Delta E$  η απώλεια ενέργειας του σωματιδίου την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε από την σχέση Bethe-Bloch. Ο αριθμός παραγωγμένων ζευγών ανά μονάδα μήκους διαδρομής μέσα στο αέριο είναι

$$n = \frac{dE}{dx} \frac{1}{W}$$

Το  $W$  αν και εξαρτάται από πολλά φυσικά μεγέθη έχει ένα πολύ περιορισμένο εύρος τιμών κυμαινόμενο από 25 ως 45 eV περίπου.

Gas	Z	Density ( $\times 10^{-4} \text{g/cm}^3$ )	$I_e$ (eV)	$W$ eV/pair	$dE/dx$ (keV/cm)	$n_p$ (ip/cm)	$n_t$ (ip/cm)
$H_2$	2	0.8	15.4	37	0.34	5.2	9.2
$He$	2	1.6	24.6	41	0.32	5.9	7.8
$N_2$	14	11.7	15.5	35	1.96	10	56
$O_2$	16	13.3	1.2	31	2.26	22	73
$Ne$	10	8.4	21.6	36	1.41	12	39
$Ar$	18	17.8	15.8	26	2.44	29	94
$Kr$	36	34.9	14.0	24	4.60	22	192
$Xe$	54	54.9	12.1	22	6.76	44	307
$CO_2$	22	18.6	13.7	33	3.01	34	91
$CH_4$	10	6.7	10.8	28	1.48	46	53

Πίνακας 2.1 Φυσικά μεγέθη αερίων σχετιζόμενα με τον ιονισμό

Το ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόζεται στον όγκο του αερίου κάνει τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα να ολισθαίνουν προς το αντίστοιχο ηλεκτρόδιο. Η ταχύτητα με την οποία ολισθαίνουν όμως διαφέρει σημαντικά. Τα πολύ βαρύτερα ιόντα κινούνται πολύ αργότερα σε σχέση με τα ελαφρά ηλεκτρόνια. Για τα ιόντα η ταχύτητα ολίσθησης δίνεται από την σχέση

$$v_d = \mu_+ \cdot \frac{E}{P}$$

όπου  $\mu_+$  η κινητικότητα,  $E$  το ηλεκτρικό πεδίο και  $P$  η πίεση του αερίου. Η αργή κίνηση των ιόντων συνιστά πρόβλημα καθώς αυξάνει σημαντικά τον νεκρό χρόνο του ανιχνευτή. Για αυτό σε κάποιες περιπτώσεις προτιμάται το σήμα να λαμβάνεται μόνο από το ανόδιο ηλεκτρόδιο που μαζεύει τα ηλεκτρόνια. Για κινητικότητες της τάξης του  $1 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  τα

θετικά ιόντα έχουν ταχύτητα περίπου 1 m/s στις συνθήκες που επικρατούν σε έναν τυπικό ανιχνευτή.

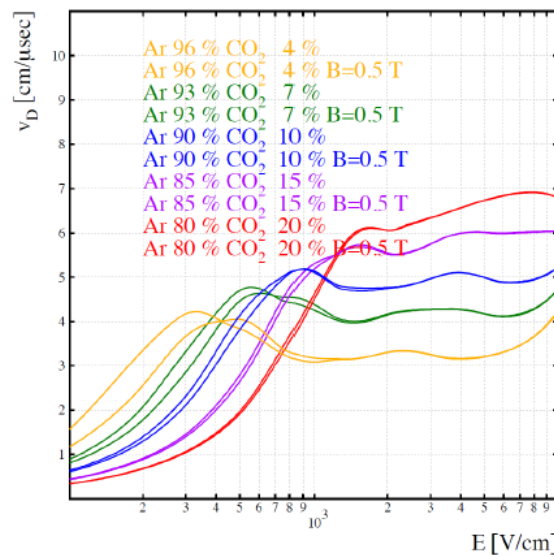
Gas	$\lambda(\times 10^{-5} \text{ cm})$	$D(\text{cm}^2/\text{s})$	$\mu(\text{cm}^2 \text{s}^{-1} \text{V}^{-1})$
$H_2$	1.8	0.34	13.0
$He$	2.8	0.26	10.2
$Ar$	1.0	0.04	1.7
$O_2$	1.0	0.06	2.2
$H_2O$	1.0	0.02	0.7

Πίνακας 2.2 Φυσικά μεγέθη αερίων σχετιζόμενα με την διάχυση

Τα ηλεκτρονια τώρα κινούνται με ταχύτητες 3-4 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από τα ιόντα λόγω της μικρότερης μάζας τους. Η ταχύτητα τους μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά από την σχέση

$$v_d = \frac{2eEl_{mt}}{3m_e\bar{v}_e}$$

Όπου  $l_{mt}$  το μέσο διάστημα μεταξύ των κρούσεων των ηλεκτρονίων. Χρησιμοποιώντας την θεωρία της μεταφοράς ηλεκτρονίων στα αέρια (theory of electron transport in gases) είναι δυνατόν να εξαγάμε πολύ πιο ακριβείς εκφράσεις. Παρ' όλα αυτά οι διαφορικές εξισώσεις που προκύπτουν είναι αρκετά πολύπλοκες και η συνήθης μέθοδος είναι να υπολογίζουμε την ταχύτητα ολίσθησης με την βοήθεια λογισμικών προσομοίωσης όπως το Garfield.



Διάγραμμα 2.2 ταχύτητες ολίσθησης συνήθων αερίων όπως προέκυψαν από το Garfield

Βασικά χαρακτηριστικά της ταχύτητας ολίσθησης είναι ότι πέραν κάποιας έντασης ηλεκτρικού πεδίου η εξάρτηση από την ένταση γίνεται πολύ ασθενής. Επίσης η ταχύτητα επηρεάζεται ελάχιστα από την ύπαρξη μαγνητικού πεδίου.

Τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα που δημιουργούνται ολισθαίνουν μεταξύ των πολλαπλών σκεδάσεων. Αυτό τα κάνει να διαχέονται γύρω από την αναμενόμενη τροχιά τους κατά μήκος των δυναμικών γραμμών. Διάχυση συμβαίνει ούτως ή άλλως και λόγω της θερμικής κίνησης. Η πυκνότητα των ιόντων ή των ηλεκτρονίων λόγω της θερμικής διάχυσης ακολουθεί μια ισότροπη τρισδιάστατη γκαουσιανή κατανομή με

$$\sigma = \sqrt{6Dt}$$

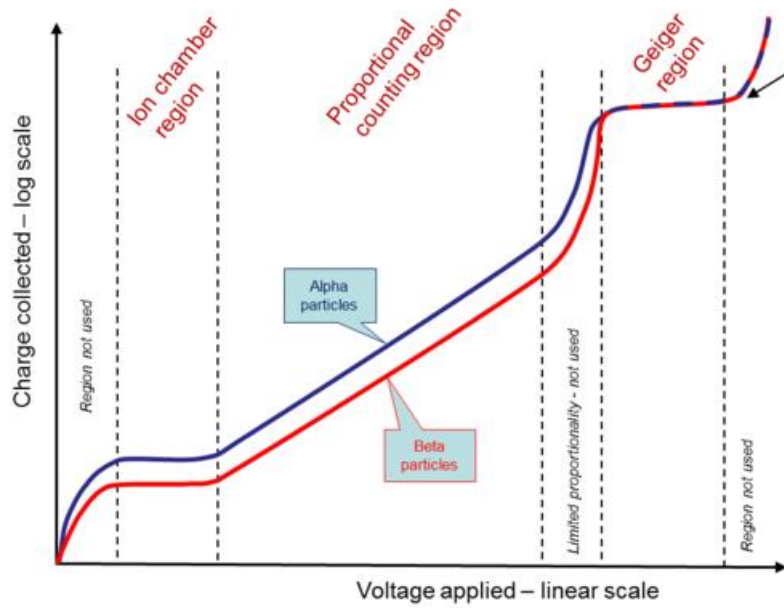
όπου D ο συντελεστής διάχυσης και t ο χρόνος.

Με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου η περιγραφή του φαινομένου διάχυσης γίνεται πιο περίπλοκη καθώς πλέον η κατανομή γίνεται ανισότροπη έχοντας διαφορετικό  $\sigma$  για την παράλληλη και την κάθετη διεύθυνση στο ηλεκτρικό πεδίο.

Ένα τελευταίο σημαντικό φαινόμενο που εκμεταλλεύονται τα περισσότερα είδη ανιχνευτών αερίου είναι το φαινόμενο της χιονοστιβάδας. Αν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ξεπεράσει κάποια τιμή τότε τα περισσότερα από τα ηλεκτρόνια του πρωτογενούς ιονισμού κερδίζουν αρκετή ενέργεια για να προκαλέσουν κι αυτά ιονισμούς. Η διαδικασία συνεχίζεται και από τα ηλεκτρόνια του δευτερογενούς ιονισμού δημιουργώντας έτσι μια χιονοστιβάδα φορτίου γνωστή ως χιονοστιβάδα Townsend. Επίσης είναι δυνατόν τα ηλεκτρόνια που προέκυψαν από τους ιονισμούς να διεγείρουν τα εσωτερικά ηλεκτρόνια των ατόμων, τα οποία όταν επιστρέφουν στην βασική τους κατάσταση εκπέμπουν φωτόνια αρκετά μεγάλης ενέργειας ώστε να προκαλέσουν κι αυτά ιονισμό. Έτσι μπορούν να δημιουργηθούν χιονοστιβάδες και σε άλλα σημεία μακριά από την τροχιά του διελθόντος σωματιδίου.

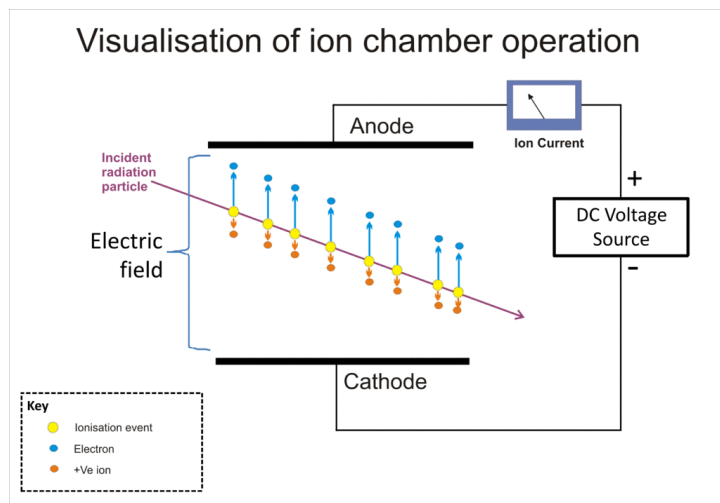
### 2.2.2 Τυποί ανιχνευτών

Οι ανιχνευτές αερίου ανάλογα με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που εφαρμόζεται λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο (διάγραμμα 2.3). Το ηλεκτρικό πεδίο όπως αναφέραμε αποτρέπει την επανασύνδεση των ζευγών ιόντων-ηλεκτρονίων ωθώντας τα προς τα αντίστοιχα ηλεκτρόδια. Για σχετικά μικρό ηλεκτρικό πεδίο τα ζεύγη δεν αποκτούν αρκετή ενέργεια για να φτάσουν στα ηλεκτρόδια και επανασυνδέονται. Αυτή η περιοχή τιμών του ηλεκτρικού πεδίου λέγεται περιοχή επανασύνδεσης. Σε αυτήν την περιοχή προφανώς δεν λειτουργεί κανένας ανιχνευτής.



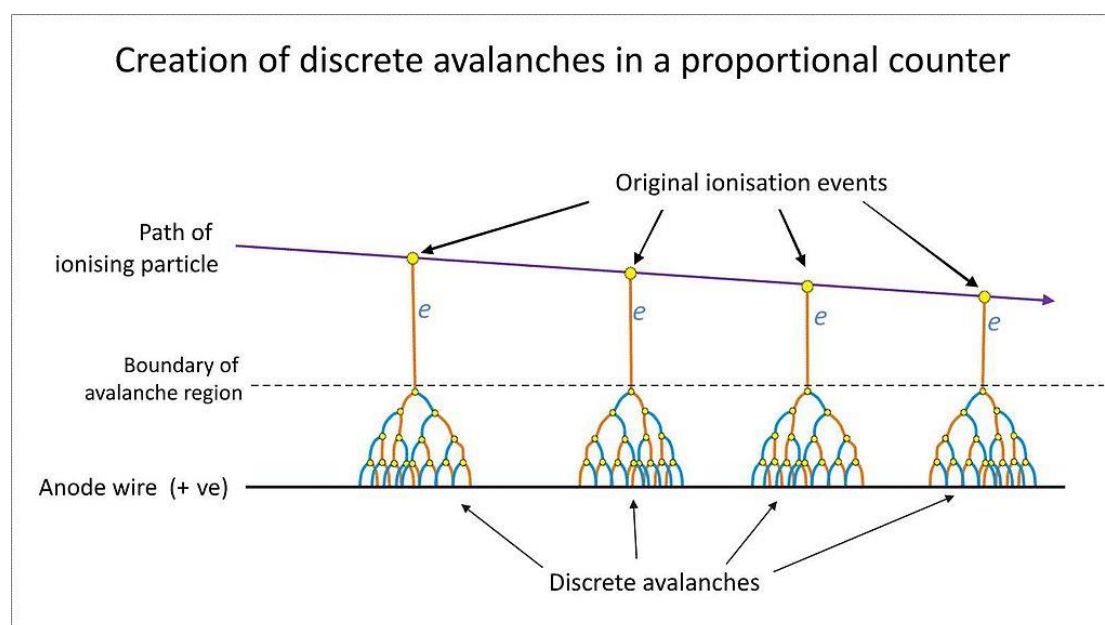
Διάγραμμα 2.3 Περιοχές λειτουργίας ανιχνευτών αερίου

Όταν η ένταση γίνει περίπου  $100 \text{ V/cm}$  περνάμε στην περιοχή ιονισμού. Σ' αυτήν την περιοχή το πεδίο είναι αρκετά ισχυρό ώστε να μπορεί να ωθήσει όλα τα ζεύγη στα ηλεκτρόδια. Αν το σήμα προέχεται και από τα δύο ηλεκτρόδια τότε το ύψος του παλμού είναι ίσο με την ενέργεια που εναποτέθηκε, και ο ανιχνευτής μπορεί να λειτουργήσει σαν φασματόμετρο ενέργειας διακρίνοντας επίσης αν το διελθόν σωματίδιο ήταν ηλεκτρόνιο ή κάποιο άλλο βαρύ φορτισμένο σωματίδιο. Το ύψος που παλμού που δημιουργείται είναι αρκετά μικρό, της τάξης των μερικών mV και χρειάζεται εξωτερική ενίσχυση. Τέλος λόγω της αργής συγκέντρωσης των ιόντων ο νεκρός χρόνος του θαλάμου είναι της τάξης του 1ms. Οι ανιχνευτές που λειτουργούν σε αυτήν την περιοχή τιμών ηλεκτρικού πεδίου λέγονται θάλαμοι ιονισμού (σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 Θάλαμος ιονισμού

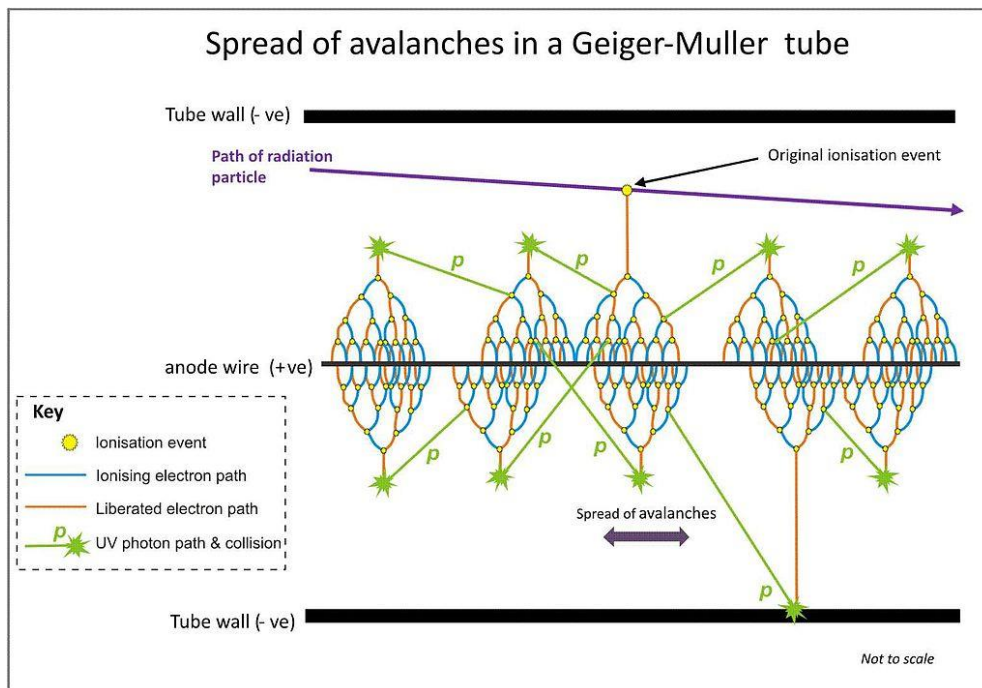
Περαιτέρω αύξηση της έντασης του πεδίου στα περίπου 500V/cm μας οδηγεί στην περιοχή αναλογικότητας. Στην περιοχή αναλογικότητας η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι αρκετά μεγάλη ώστε τα ηλεκτρόνια που παράχτηκαν από τον πρωτογενή ιονισμό να αποκτήσουν αρκετή ενέργεια ώστε να προκαλέσουν δευτερογενείς ιονισμούς. Έτσι παράγονται χιονοστιβάδες ηλεκτρονίων. Ο πολλαπλασιασμός των αρχικών ζευγών εξαρτάται από τον πολλαπλασιαστικό παράγοντα του αέριου και μπορεί να φτάσει μέχρι και  $10^5$ . Η διαδικασία τερματίζεται με την προσθήκη κάποιου οργανικού αερίου. Ο παλμός που δημιουργείται είναι αρκετά ισχυρότερος και φτάνει στα 100mV περίπου. Το ύψος του παλμού είναι ανάλογο του αριθμού των ζευγών που δημιουργηθήκαν και άρα ανάλογο της ενέργειας που εναποτέθηκε. Έτσι οι ανιχνευτές που λειτουργούν σε αυτήν την περιοχή μπορούν να λειτουργήσουν και ως φασματομέτρα ενέργειας διακρίνοντας επίσης αν το διελθόν σωματίδιο ήταν ηλεκτρόνιο ή κάποιο άλλο βαρύ φορτισμένο σωματίδιο. Ο νεκρός χρόνος λόγω του ισχυρότερου πεδίου που κάνει τα ζεύγη να κινούνται γρηγορότερα είναι της τάξης των 0.1ms. Οι ανιχνευτές που λειτουργούν σε αυτήν την περιοχή λέγονται αναλογικοί απαριθμητές.



Σχήμα 2.2 Αναλογικός θάλαμος

Αν το ηλεκτρικό πεδίο φτάσει περίπου στα 1000V/cm περνάμε στην περιοχή Geiger-Muller. Σε αυτήν την περιοχή το πεδίο είναι αρκετά ισχυρό ώστε να διεγείρονται πολλά άτομα εκπέμποντας φωτόνια τα οποία με την σειρά τους ιονίζουν άλλα άτομα κ.ο.κ. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι χιονοστιβάδες γεμίζουν όλον τον όγκο του ανιχνευτή. Για να αποσβεστεί αυτή η διαδικασία όμως δεν φτάνει η προσθήκη κάποιου οργανικού αερίου και χρειάζεται τα ηλεκτρόδια να είναι συνδεδεμένα με μια πολύ μεγάλη αντίσταση φόρτου. Αυτή η μέθοδος όμως αυξάνει σημαντικά τον νεκρό χρόνο στα 10ms περίπου. Ανιχνευτές που δουλεύουν σε αυτήν την περιοχή έχουν μεγάλη ευαισθησία στην καταμέτρηση γεγονότων ελαφρών ιονισμών καθώς και ένα μόνο αρχικό ζεύγος αρκεί για να καταγραφεί το γεγονός. Ο παλμός που παίρνουμε είναι της τάξης του 1V αλλά το ύψος του είναι

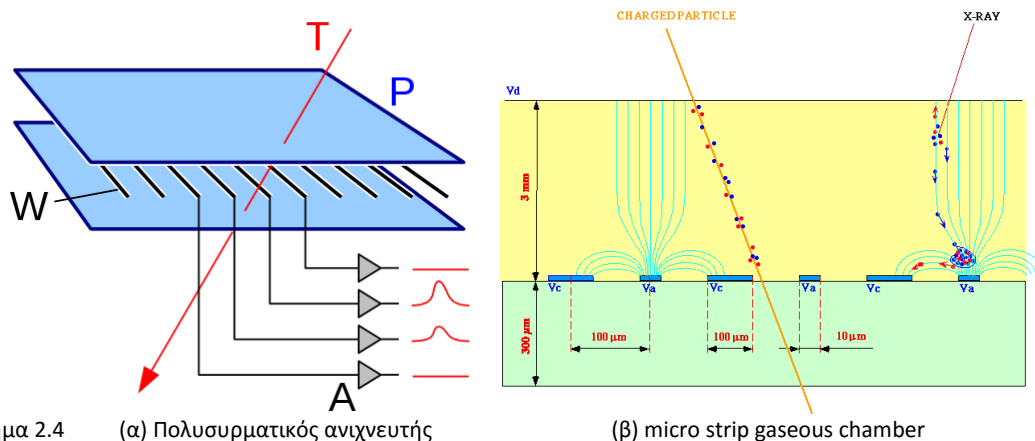
ανεξάρτητο της ενέργειας που εναποτέθηκε. Οι ανιχνευτές που λειτουργούν σε αυτή την περιοχή είναι γνωστοί ως απαριθμητές Geiger-Muller.



Σχήμα 2.3 Ανιχνευτής Geiger-Miller

Οι ανιχνευτές αέριου εξελίχθηκαν σημαντικά με την πάροδο των χρόνων. Η πρώτη σημαντική καινοτομία ήταν η τοποθέτηση ενός πλέγματος συρμάτων αντί ενός μεμονωμένου σύρματος. Έτσι κατέστη δυνατόν να καταγράφεται και η θέση του γεγονότος από την κατανομή φορτίου στα σύρματα. Κατασκευαστήκαν έτσι οι πολυσυρματικοί αναλογικοί απαριθμητές (σχήμα 2.4 (α)).

Η δεύτερη σημαντική βελτίωση επιτεύχθηκε με την αντικατάσταση των συρμάτων από αγώγιμες λωρίδες. Κατασκευάστηκαν έτσι οι micro strip gaseous chambers (σχήμα 2.4 (β)). Οι λωρίδες μπορούν να κατασκευαστούν με πολύ μικρό πλάτος, μικρότερο ακόμα και από τη διάμετρο των συρμάτων. Αυτό βελτίωσε σημαντικά την χωρική διακριτική ικανότητα των ανιχνευτών.



Σχήμα 2.4 (α) Πολυσυρματικός ανιχνευτής

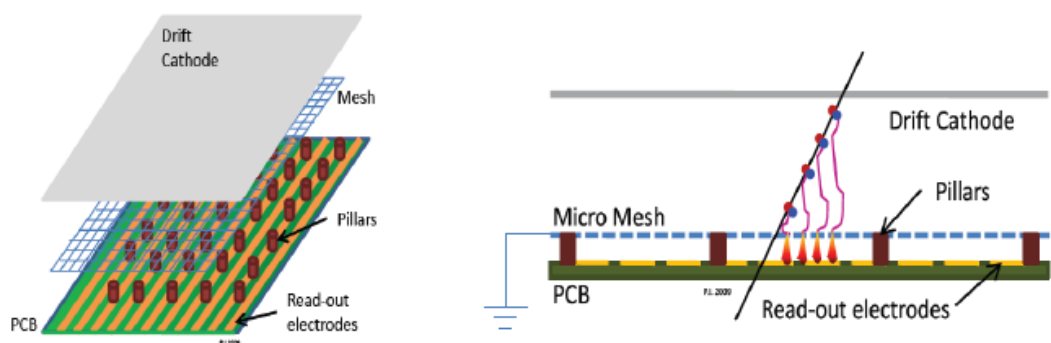
(β) micro strip gaseous chamber



## 2.3 Ανιχνευτές MicroMegas

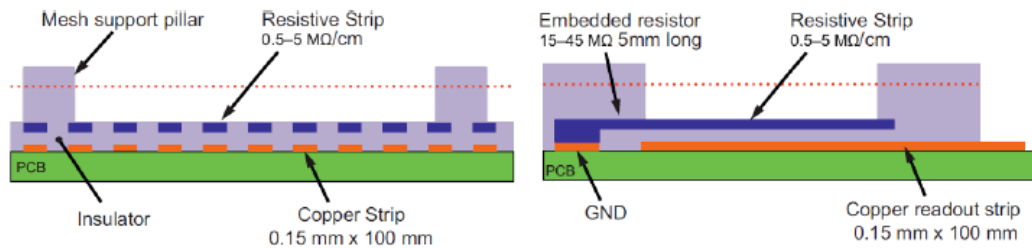
Μια πιο πρόσφατη σημαντική βελτίωση έγινε το 1996 όταν οι Ι. Γιοματάρης και G. Charpak πρότειναν την δημιουργία των MicroMegas. Οι ανιχνευτές MicroMegas πήραν το όνομά τους από τα αρχικά των λέξεων **Micro Mesh Gaseous Structure**.

Το βασικό χαρακτηριστικό του ανιχνευτή είναι ότι ο χώρος του χωρίζεται από ένα πλέγμα το οποίο δημιουργεί 2 περιοχές με πολύ διαφορετικές εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου. Στην πρώτη περιοχή, την περιοχή ολίσθησης, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι της τάξης των 100 V/cm. Η περιοχή ολίσθησης έχει εύρος μερικά mm. Όταν περάσει ένα σωματίδιο από την περιοχή ολίσθησης δημιουργεί ζεύγη ιόντων-ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια κατευθύνονται προς πλέγμα το οποίο βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό ενώ τα ιόντα προς το απέναντι τοίχωμα. Το πεδίο έχει τέτοια μορφή ώστε τα ηλεκτρόνια να περνάνε από τις τρύπες του πλέγματος και να μην πέφτουν πάνω σε αυτό. Περνώντας από το πλέγμα τα ηλεκτρόνια εισέρχονται στην περιοχή ενίσχυσης. Η περιοχή ενίσχυσης έχει πολύ μεγαλύτερο ηλεκτρικό πεδίο της τάξης των 50 kV/cm και πολύ μικρότερο εύρος της τάξης των 100 μm. Εκεί λόγω του μεγαλύτερου ηλεκτρικού πεδίου δημιουργούνται χιονοστιβάδες ηλεκτρονίων οι οποίες τελικά συλλέγονται από αγώγιμες λωρίδες στην βάση του θαλάμου. Τα θετικά ιόντα των χιονοστιβάδων συλλέγονται από το πλέγμα.



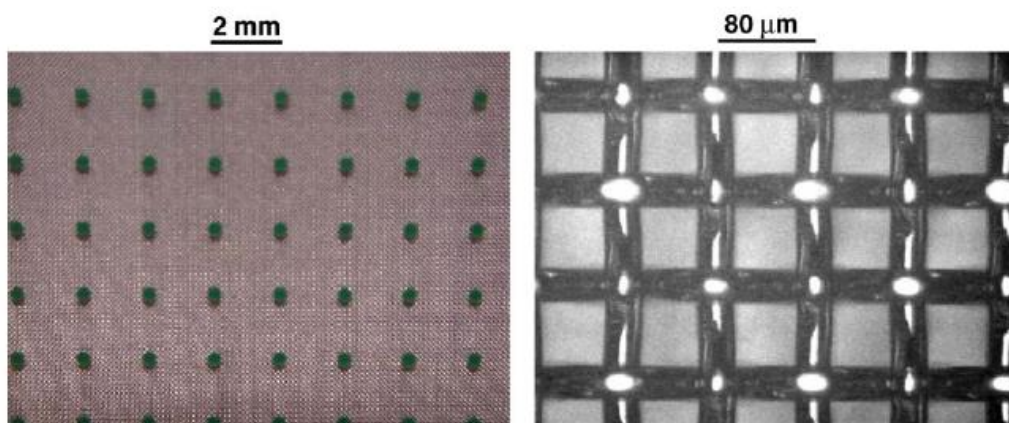
Σχήμα 2.5 Ανιχνευτής MicroMegas

Οι ανοδικές χάλκινες λωρίδες με μία επίστρωση χρυσού, πλάτους 200μm, εφαρμόζονται σε υπόστρωμα 1mm. Το πάχος κάθε λωρίδας είναι 5μm. Οι ιδιαίτερα λεπτές λωρίδες κατασκευάζονται εύκολα μέσω διαδικασίας εναπόθεσης κενού, κατά την οποία κάθε άτομο/μόριο του υλικού εναποτίθεται πάνω σε κάποιο υπόστρωμα χωριστά. Πετυχαίνουμε έτσι σημαντική μείωση στο μέγεθος των διάκενων μεταξύ των διαδοχικών λωρίδων. Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι οι σπινθηρισμοί που δημιουργούνται μεταξύ του πλέγματος και των λωρίδων οι οποίοι καταστρέφουν τις λωρίδες και τα ηλεκτρονικά τους, αλλά επιπλέον ρίχνουν την τάση ενίσχυσης αυξάνοντας κατά πολύ τον νεκρό χρόνο του ανιχνευτή. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα οι αγώγιμες λωρίδες καλύφθηκαν με ένα μονωτικό στρώμα πάχους 64μm με μονωτικές λωρίδες στο πάνω μέρος αυτού συνδεδεμένες με την υψηλή τάση μέσω αντίστασης διαφυγής.



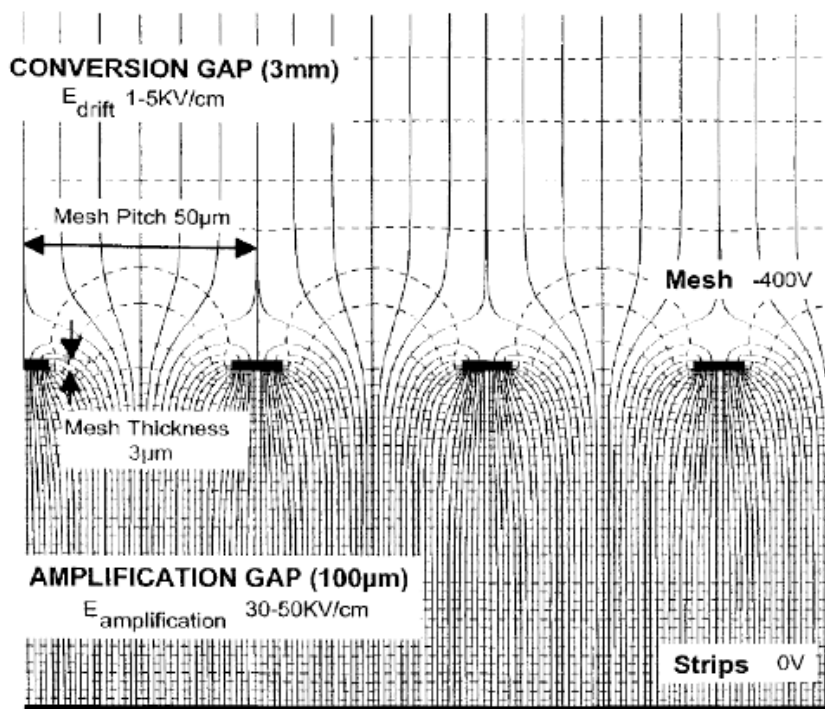
Σχήμα 2.6 Οι λωρίδες του ανιχνευτή MicroMegas

Το πλέγμα ήταν φτιαγμένο από νικέλιο (πάχους 3μm) με ανοίγματα διαμέτρου 17 μm ανά 25 μm μέσω μίας διαδικασίας που είναι γνωστή ως electroforming technique. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται στη κατασκευή είναι καλύτερη του 1μm. Πλέον χρησιμοποιείται η τεχνική woven wire mesh που μειώνει σημαντικά το κόστος κατασκευής ενός ανιχνευτή καθώς το συγκεκριμένο κομμάτι μπορεί να κατασκευαστεί από μία ποικιλία μετάλλων σε αρκετές βιομηχανίες παγκόσμια. Είναι ακόμη πολύ πιο εύχρηστο και ανθεκτικό διευκολύνοντας τη διαδικασία ενσωμάτωσης του στο σώμα του ανιχνευτή. Οι πυλώνες που συγκρατούν το πλέγμα κατασκευάζονται πλέον από karton. Η διάμετρος τους ήταν 100 μm και απέχουν μεταξύ τους 2 mm απόσταση.



Σχήμα 2.7 (α) Οι πυλώνες του ανιχνευτή MicroMegas (β) Το πλέγμα του ανιχνευτή MicroMegas

Χρησιμοποιώντας ένα micromesh μικρού πάχους, υπό την προϋπόθεση ότι ο λόγος του ηλεκτρικού πεδίου στις δύο περιοχές του ανιχνευτή είναι μεγαλύτερος του δέκα, καμία από τις δυναμικές γραμμές που ξεκινούν από την πάνω επιφάνεια του πλέγματος δεν έχει το πέρασ της στην κάτω επιφάνεια του. Σαν συνέπεια το μεγαλύτερο ποσοστό των ηλεκτρονίων που δημιουργούνται στην περιοχή ολίσθησης διέρχονται μέσω των οπών στην περιοχή ενίσχυσης. Η συγκεκριμένη μορφή των δυναμικών γραμμών είναι υπεύθυνη και για την ταχύτατη "απορρόφηση" των θετικών ιόντων, αφού καταλήγουν στο πλέγμα, ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα συγκέντρωσης φορτίου.



Σχήμα 2.8 Το ηλεκτρικό πεδίο του ανιχνευτή MicroMegas

Όλα τα μέρη του ανιχνευτή περικλείονται αεροστεγώς σε μία κατασκευή ανοξείδωτου χάλυβα. Το αέριο που χρησιμοποιήθηκε αρχικά ήταν μείγμα Ar και CH<sub>4</sub> σε ατμοσφαιρική πίεση ενώ πλέον χρησιμοποιείται μείγμα Ar με CO<sub>2</sub> σε αναλογία 90/10 περίπου.

Τα πλεονεκτήματα του ανιχνευτή MicroMegas είναι

- Γρήγορη συλλογή ιόντων. Η συντριπτική πλειοψηφία των ιόντων δημιουργείται στο amplification gap, δηλαδή πολύ κοντά στο πλέγμα, έτσι συλλέγονται γρήγορα δίνοντας στον ανιχνευτή πολύ μεγάλη ταχύτητα.
- Καταγραφή χρόνου. Οι χιονοστιβάδες ξεκινάνε όλες από το ίδιο σημείο δίνοντας έτσι την δυνατότητα να καταγραφεί ο χρόνος ολίσθησης του ηλεκτρονίου που τις δημιούργησε επιτρέποντας στον ανιχνευτή να ανακατασκευάζει την τροχιά του σωματίδιου με την μέθοδο μTPC.
- Οι λεπτές αγώγιμες λωρίδες και το μικρό εύρος του amplification gap που αποτρέπει την διάχυση του φορτίου των χιονοστιβάδων δίνουν στον ανιχνευτή πολύ καλή χωρική διακριτική ικανότητα.
- Τέλος οι MicroMegas έχουν πάρα πολύ καλή απόδοση

## 3. Ανάλυση Δεδομένων

Για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την μελέτη των θάλαμων MicroMegas δημιουργήθηκε στο ATLAS η ομάδα MAMMA (Μιον ATLAS MicroMegas Activity). Η ομάδα έχει ήδη κατασκευάσει πολλά είδη θαλάμων MicroMegas τα οποία μελέται σε πειράματα στο CERN, το DESY και το ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος.

### 3.1 Οι J chambers

Προκείμενου να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του NSW έχουν κατασκευαστεί λοιπόν πολλά διαφορετικά είδη θαλάμων MM τα οποία μελετώνται και συγκρίνονται μεταξύ τους ώστε να επιλεχτεί το καταλληλότερο είδος. Τα 2 είδη των θαλάμων που θα μελετήσουμε και θα συγκρίνουμε στην παρούσα μελέτη ονομάζονται J chambers και διαφέρουν μεταξύ τους στο ύψος της περιοχής ενίσχυσης. Η καινοτομία των J θαλάμων αφορά τον τρόπο που τοποθετείται το πλέγμα στους πυλώνες. Ενώ σε όλα τα προηγούμενα είδη θαλάμων το πλέγμα ήταν ενσωματωμένο μέσα στους πυλώνες, στους J θαλάμους το πλέγμα τοποθετείται από πάνω δίνοντας την δυνατότητα αφαίρεσης και επανατοποθέτησης.

Η συγκεκριμένη μελέτη αφορά την σύγκριση των δύο διαφορετικών τύπων J θαλάμων ως προς την χωρική, γωνιακή και χρονική διακριτική ικανότητα.

### 3.2 Το στήσιμο των δοκιμαστικών δεσμών

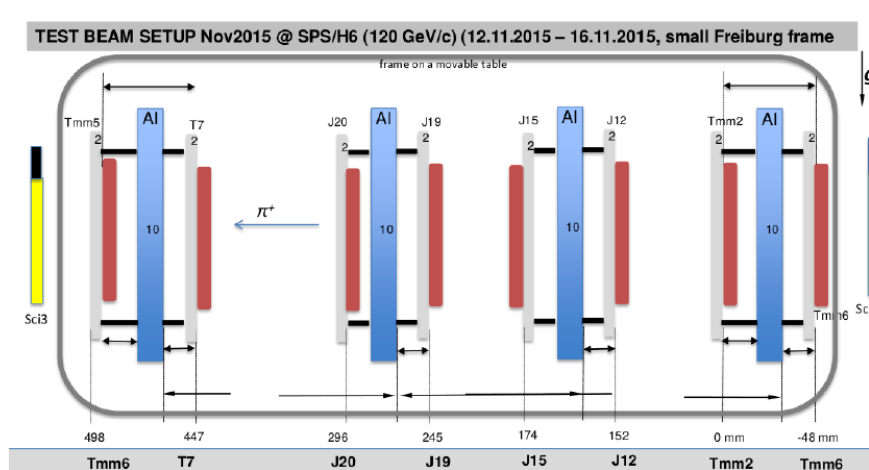
Για την συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 2 J θάλαμοι από το κάθε είδος καθώς και 4 ακόμα θάλαμοι διαφορετικού τύπου σαν θάλαμοι αναφοράς. Οι 8 θάλαμοι τοποθετήθηκαν στην σειρά και ακτινοβολήθηκαν με δέσμη πιονιών ενέργειας 120 GeV. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά όλων των θαλάμων που συμμετείχαν στο πείραμα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Chambers technical characteristics				
Chamber	Tmm2-5-6	T7	J12-15	J19-20
Amplification gap	128μm	128μm	128μm	100μm
Drift gap	5mm	5mm	5mm	5mm
Strip pitch	250μm	400μm	400μm	400μm
Mesh type	Bulk	Bulk	Floating	Floating
Size	10×10cm	10×10cm	10×10cm	10×10cm
Gas	93:7 Ar-CO <sub>2</sub>	93:7 Ar-CO <sub>2</sub>	93:7 Ar-CO <sub>2</sub>	93:7 Ar-CO <sub>2</sub>
Strips direction	x and y	x	x	x
Resistive strips	Yes	Yes	Yes	Yes

Πίνακας 3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά θαλάμων πειράματος

Μπροστά και πίσω από τους 8 θάλαμους τοποθετήθηκαν δύο σπινθηριστές σαν σκανδαλιστές του πειράματος. Διέλευση σωματιδίου και από τους δύο σπινθηριστές απαιτείται ώστε να σκανδαλιστούν οι θάλαμοι.

Το πείραμα έλαβε μέρος στο SPS του CERN με την δέσμη H6.



Σχήμα 3.1 Η διάταξη της δοκιμαστικής δέσμης

Οι θάλαμοι μελετώνται υπό διαφορετικές συνθήκες (runs) που περιλαμβάνουν διάφορες τάσεις, γωνίες, θέσεις, αέρια κτλ.

Τα δεδομένα που αναλύθηκαν αφορούν 4 διαφορετικά runs. Τα χαρακτηριστικά των runs φαίνονται παρακάτω.

Runs technical characteristics					
Run	Events	Drift Voltage	Amplification Voltage	Angle	Particles
15073	20k	300V	Tmm:550V, T7:500V, J12-15:580V, J19-20:500V	0°	$\pi^+$ 120GeV
15110	30k	300V	Tmm:550V, T7:510V, J12-15:560V, J19-20:510V	10°	$\pi^+$ 120GeV
15093	30k	300V	Tmm:550V, T7:530V, J12-15:580V, J19-20:530V	20°	$\pi^+$ 120GeV
15081	30k	300V	Tmm:550V, T7:530V, J12-15:580V, J19-20:530V	29°	$\pi^+$ 120GeV

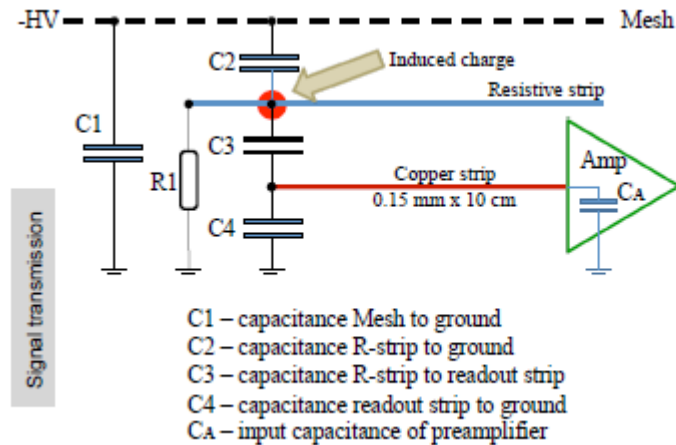
Πίνακας 3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά των runs του πειράματος

### 3.3 Λήψη των δεδομένων

Στους MicroMegas chambers όπως αναφέραμε το φορτίο συλλέγεται από αγώγιμες λωρίδες στην βάση του θαλάμου.

Για το σύστημα συλλογής δεδομένων (Data Acquisition System - DAQ) η ομάδα RD51 Collaboration ανέπτυξε το Scalable Readout System (SRS) για τη ψηφιοποίηση και τη μετάδοση των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, το σήμα των λωρίδων ανάγνωσης διαβάζεται από τις κάρτες APV25 (Analog Pipeline Voltage chips). Αυτές οι κάρτες βασίζονται στην

τεχνολογία CMOS, έχουν 128 κανάλια, και σκοπός τους είναι η αποστολή αναλογικών CR-RC σημάτων στα 40 MHz. Έπειτα, αυτά αποστέλονται μέσω HDMI καλωδίων στις SRS ADC κάρτες, όπου και ψηφιοποιούνται και αποστέλλονται στο DAQ PC. Το φορτίο συλλέγεται στα κανάλια ανά 25 ns.



Σχήμα 3.2 Ισοδύναμο κύκλωμα ανιχνευτή MicroMegas

### 3.4 Επεξεργασία δεδομένων

#### 3.4.1 Διόρθωση φαινομένου Cross-Talk

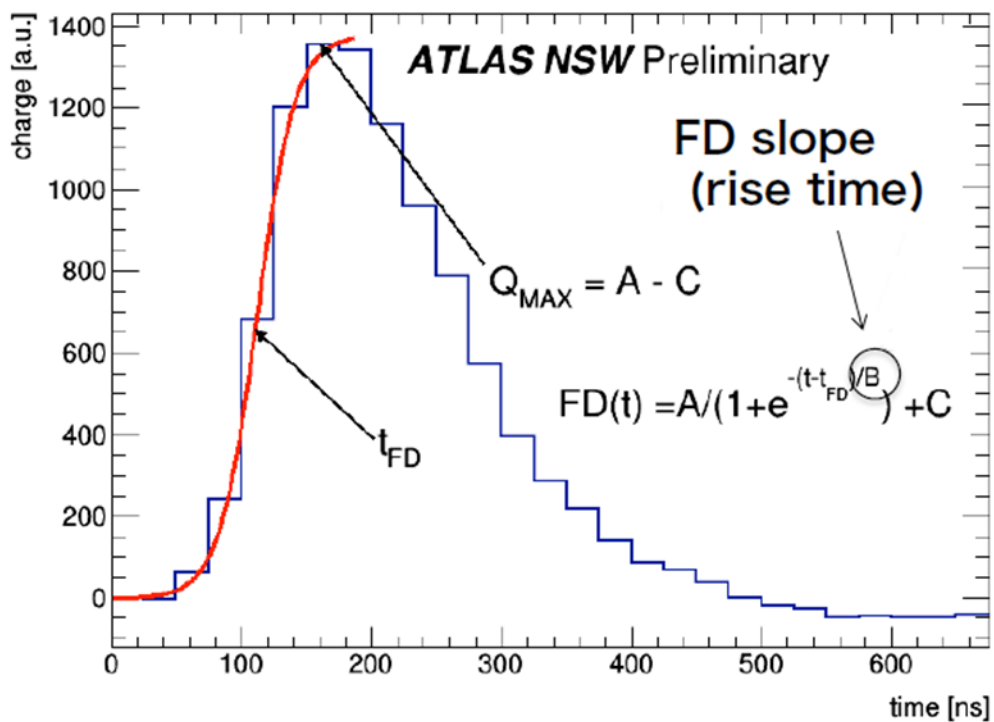
Ένα φαινόμενο που παρατηρείται στα ηλεκτρονικά των ανιχνευτών είναι το cross-talk, κατά το οποίο φαίνεται να καταγράφεται σήμα σε λωρίδες οι οποίες δεν χτυπήθηκαν. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν το ηλεκτρικό πεδίο μίας λωρίδας που καταγράφει πραγματικό σήμα επηρεάζει και τα γειτονικά ηλεκτρονικά, αλλά και όταν φορτίο επάγεται από μία λωρίδα σε μία διπλάνη που δεν έχει χτυπηθεί.

Καθώς το cross-talk δημιουργεί επιπλέον θόρυβο στην ανάλυσή μας, η ομάδα MAMMA φρόντισε να το μελετήσει, ώστε να μπορέσουμε να αφαιρέσουμε τουλάχιστον το μεγαλύτερο μέρος αυτού. Ο αλγόριθμος στον οποίο κατέληξε η ομάδα συγκρίνει τα φορτία από δύο λωρίδες που σχετίζονται μεταξύ τους με ένα cross-talk map με το λόγο  $f = q_{CHa} / q_{CHb}$  όπου  $q_{CHa}$  το φορτίο της CHa λωρίδας που κατέγραψε πραγματικό φορτίο και  $q_{CHb}$  το φορτίο που επάχθηκε στην άλλη λωρίδα. Αν ο λόγος είναι μικρότερος του 10% τότε το συνολικό φορτίο και των δύο καναλιών επαναορίζεται ως το φορτίο της CHa και μηδενίζεται το φορτίο της CHb. Αν ο λόγος είναι μεγαλύτερος του 10% τότε στο φορτίο της CHa προστίθεται η ποσότητα  $f \cdot q_{CHa}$  η οποία ταυτόχρονα αφαιρείται από την CHb

### 3.4.2 Εξαγωγή φυσικών ποσοτήτων από το φορτίο των λωρίδων

Το φορτίο σε κάθε λωρίδα δεν συλλέγεται στιγμιαία, αλλά ακολουθεί μια αναμενόμενη κατανομή στον χρόνο. Οι λωρίδες στις οποίες το φορτίο ακολουθεί αυτήν την κατανομή θεωρείται ότι χτυπήθηκαν και η κατανομή του φορτίου προσαρμόζεται με μια Fermi-Dirac συνάρτηση. Οι 3 παράμετροι της Fermi-Dirac μας δίνουν το μέγιστο φόρτιο, το χρονικό διάστημα συλλογής του, καθώς και τον χρόνο κατά τον οποίο χτυπήθηκε η λωρίδα. Η μορφή της συνάρτησης Fermi-Dirac καθώς και τα μεγέθη που αντιπροσωπεύουν οι παράμετροί της φαίνονται παρακάτω.

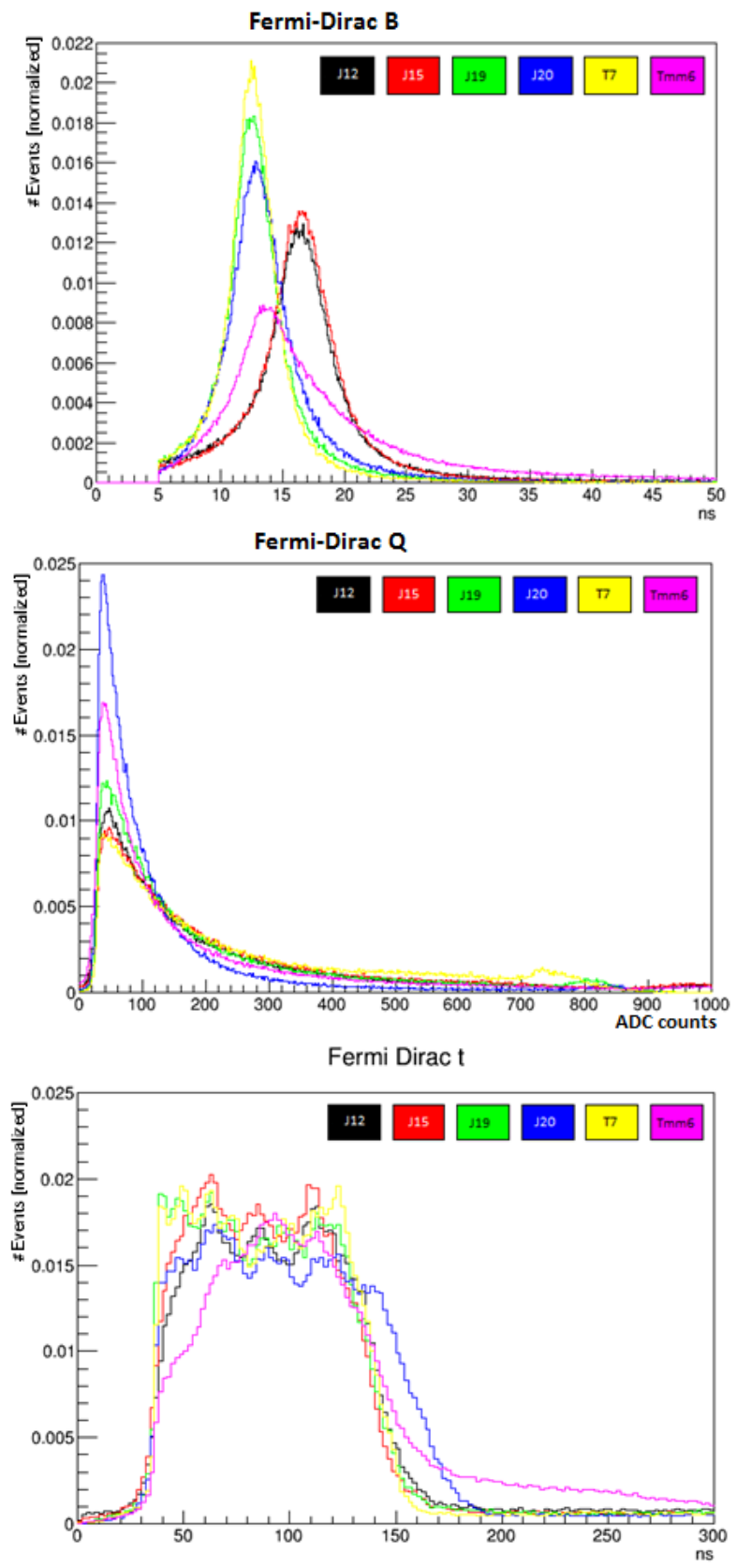
$$Q(t) = \frac{Q_{max}}{1 + e^{\frac{-(t-t_{FD})}{B}}}$$



Διάγραμμα 3.1 Αναμενόμενη κατανομή φορτίου προσαρμοσμένη με συνάρτηση Fermi-Dirac

### 3.5 Ανάλυση δεδομένων

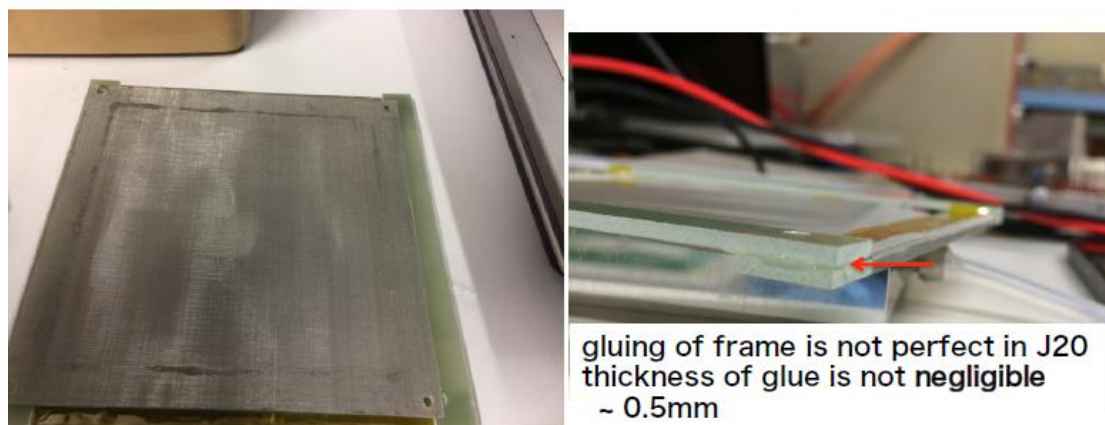
Στα παρακάτω ιστογράμματα βλέπουμε την κατανομή των παραμέτρων της συνάρτησης FD για τους θαλάμους του πειράματος μας.



Διάγραμμα 3.2 (α) Κατανομή παραμέτρου B (β) κατανομή παραμέτρου Q (γ) Κατανομή παραμέτρου  $t_{FD}$



Το πρώτο πράγμα που παρατηρούμε είναι ότι οι κατανομές του J20 δεν είναι ίδιες με του J19 παρ' όλο που κατασκευαστικά είναι ίδιοι. Ο θάλαμος J20 όπως έχει διαπιστωθεί και από τους υπεύθυνους του πειράματος έχει κατασκευαστικές ατέλειες (σχήμα 3.3).



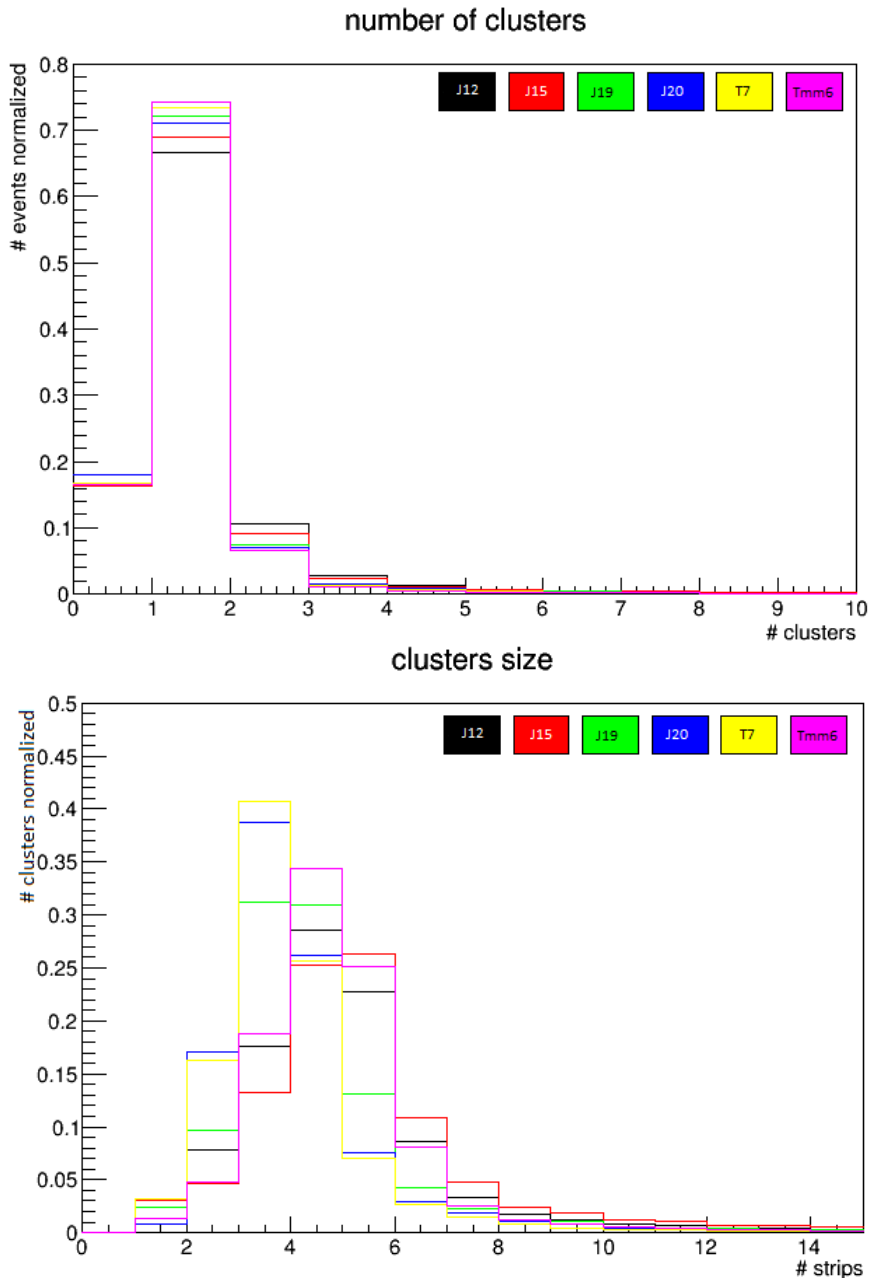
Drift gap at center position seems to be large...

Σχήμα 3.3 Φωτογραφίες θαλάμου J20

Παρατηρούμε επίσης τις μικρότερες τιμές της παραμέτρου B στους J19 και J20 σε σχέση με τους J12 και J15. Αυτό σημαίνει ότι το φορτίο συλλέγεται πιο γρήγορα από τις λωρίδες, όπως θα περίμεναμε λόγω του μικρότερου amplification gap.

Τέλος ο θάλαμος T7 φαίνεται να έχει συμπεριφορά πιο κοντινή με τους J20-J19 παρά με τους J12-J15. Αυτό συμβαίνει γιατί αν και θεωρητικά έχει amplification gap 128μm όπως οι 12 και 15 στην πραγματικότητα λόγω της συμπίεσης του πλέγματος με το πάνω μέρος του πυλώνα, το κάτω μέρος του πυλώνα συμπιέζεται κι αυτό φτάνοντας τελικά σε ύψος περίπου 100μm όπως στους J19 και 20.

Διαδοχικά χτυπημένες λωρίδες με μέγιστο κενό 2 λωρίδων μεταξύ τους ορίζουν ένα συσσωμάτωμα (cluster). Η κατανομή του αριθμού των clusters καθώς και το μέγεθος τους για κάθετη πρόσπτωση φαίνονται στα παρακάτω ιστογράμματα.



Διάγραμμα 3.3 (α) αριθμός clusters ανά γεγονός (β) αριθμός λωρίδων ανά cluster

Παρατηρούμε κατ' αρχήν ότι ένας πολύ μεγάλος αριθμός γεγονότων δεν έχει κανέναν cluster. Αυτό οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στον σκανδαλισμό και όχι στην απόδοση των θαλάμων η οποία ελέγχθηκε εξετάζοντας αν έχει καταγράψει cluster σε έναν θάλαμο όταν έχουν καταγράψει cluster τουλάχιστον 3 από τους θαλάμους αναφοράς και βρέθηκε να ξεπερνάει το 99%. Το δεύτερο πράγμα που παρατηρούμε είναι ότι η κατανομή του αριθμού των clusters είναι περιπουί ίδια σε όλους τους θαλάμους με την πλειοψηφία των γεγονότων να έχουν μόνο έναν cluster.

Το μέγεθος των clusters όμως φαίνεται να είναι μεγαλύτερο για τους J12, J15, Tmm6 από ότι για τους J19, J20 και T7 λόγω του μεγαλύτερου διαθέσιμου χώρου για χιονοστιβάδες που είναι ο κύριος λόγος διάχυσης του φορτίου.

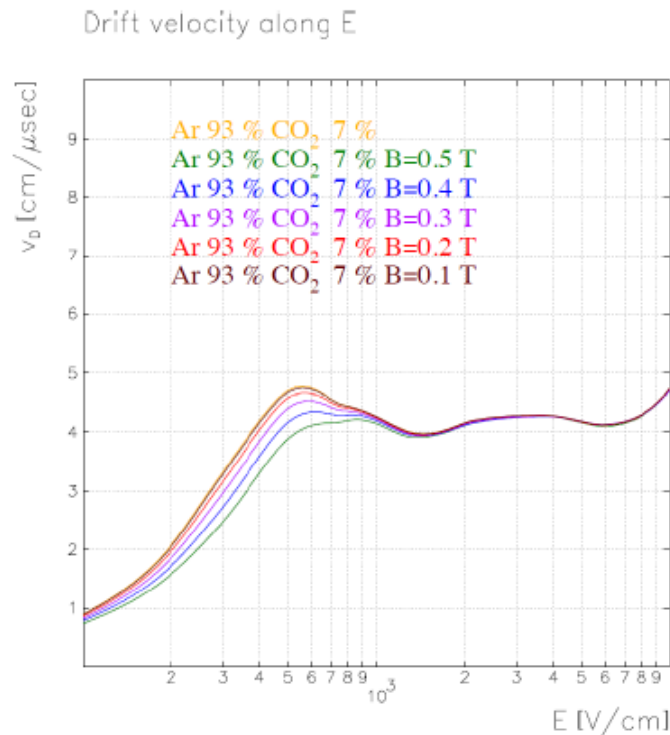
### 3.5.1 Οι μέθοδοι ανακατασκευής θέσης-τροχιάς

#### 3.5.1.1 Η centroid μέθοδος

Στην centroid μέθοδο η θέση του σωματιδίου προσδιορίζεται από το κέντρο μάζας του φορτίου του cluster. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο γεγονότα με έναν cluster, αφού αν υπάρχουν περισσότεροι, δεν έχουμε ακόμα τρόπο να ξεχωρίσουμε ποιος δημιουργήθηκε όντως από το διελθόν σωματίδιο και ποιος είναι θόρυβος.

#### 3.5.1.2 Η μTPC μέθοδος

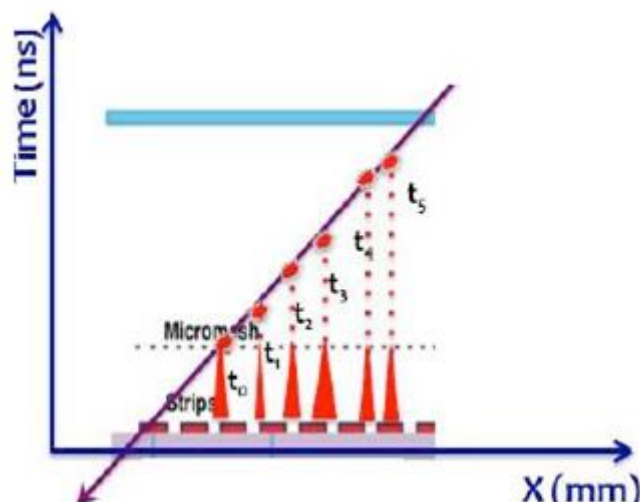
Στην μέθοδο μTPC η θέση του σωματιδίου ανάκατασκευάζεται μέσω της ανακατασκευής της τροχιάς του μέσα στον θάλαμο. Αντιστοιχούμε ένα σημείο σε κάθε λωρίδα που χτυπήθηκε. Η θέση του σημείου στον άξονα x δίνεται από την θέση της λωρίδας, ενώ στον άξονα z από την σχέση  $z = u_D \cdot t_{FD}$ , όπου  $u_D$  η ταχύτητα ολίσθησης του συγκεκριμένου αερίου, την οποία παίρνουμε από προσομοιώσεις, και για το συγκεκριμένο αέριο με την συγκεκριμένη τάση ολίσθησης έχει τιμή 0.047mm/ns όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 3.4 Ταχύτητα ολίσθησης όπως προέκυψε από το λογισμικό προσομείωσης Garfield

Από τον χρόνο  $t_{FD}$  που κατέγραψε η κάθε λωρίδα αφαιρείται ο χρόνος κατωφλίου  $t_1$ . Η κατανομή των χρόνων που χτυπήθηκαν οι λωρίδες προσαρμόζεται με δύο συναρτήσεις Fermi-Dirac. Οι χρόνοι  $t_1$  και  $t_2$  αντιπροσωπεύουν την αρχή και το τέλος των χιονοστιβάδων και ορίζουν το χρονικό παράθυρο ολίσθησης των ηλεκτρονίων. Έπειτα τα σημεία προσαρμόζονται με μία ευθεία και ανακατασκευάζουμε την θέση σαν το σημείο της ευθείας που αντιστοιχεί στο μέσο του drift gap ( $z=2.5\text{mm}$ ). Το amplification gap δεν λαμβάνεται υπ' όψιν σε αυτή την μέθοδο, θεωρούμε δηλαδή ότι οι λωρίδες βρίσκονται στο

επίπεδο του πλέγματος. Με την μTPC μέθοδο μπορούμε προφανώς να ανακατασκευάσουμε και την γωνία με την οποία εισήλθε το σωματίδιο στον θάλαμο καθώς και τον χρόνο (σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4 Ανακατασκευή τροχιάς με την μέθοδο μTPC

Τέλος για να κόψουμε όσο το δυνατόν τον θόρυβο θέτουμε κάποια κριτήρια στους clusters, τις λωρίδες, αλλά και συνολικά το γεγονός.

Τα κριτήρια των clusters είναι:

- Διαγραφή μικρών clusters με αριθμό λωρίδων έως και 2. Τέτοιοι clusters είναι πιθανότατα θόρυβος αφού είδαμε ότι ακόμα και σε κάθετη πρόσπτωση η πλειοψηφία των clusters έχει τουλάχιστον 3 λωρίδες (διάγραμμα 3.5 (α)).
- Ένας cluster ανά γεγονός, αφού δεν έχουμε τρόπο αν υπάρχουν περισσότεροι να διαλέξουμε αυτόν που πραγματικά προέκυψε από το διελθόν σωματίδιο. Λόγω αυτής της αδυναμίας χάνουμε περίπου το 20% των γεγονότων (διάγραμμα 3.5 (β)).

Τα κριτήρια των λωρίδων είναι:

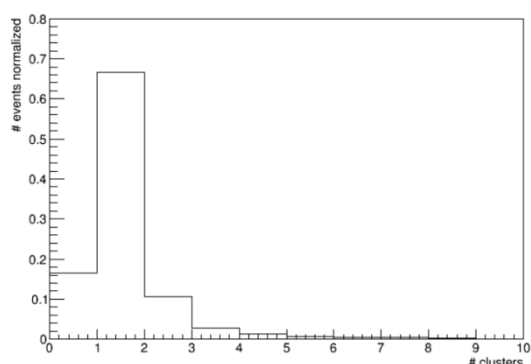
- Διαγραφή λωρίδων έξω από το χρονικό παράθυρο ολίσθησης,  $30\text{ns} < t_{FD} < 160$ . Παρατηρούμε από την κατανομή του χρόνου που χτυπήθηκαν οι λωρίδες ότι κάποιες από αυτές φαίνεται να χτυπήθηκαν σε μη ρεαλιστικούς χρόνους, οπότε πιθανότατα πρόκειται για θόρυβο ή αποτυχημένες προσαρμογές. Για αυτό η κατανομή των χρόνων που χτυπήθηκαν οι λωρίδες προσαρμόζεται με δύο συναρτήσεις Fermi-Dirac, όπως αναφέραμε, και όσες λωρίδες έχουν χτυπηθεί αρκετά έξω από το χρονικό παράθυρο που σχηματίζουν οι χρόνοι  $t_1$  και  $t_2$  δεν λαμβάνονται υπ' όψιν (διάγραμμα 3.5 (γ)).
- Διαγραφή κορεσμένων λωριδών με μέγιστο φορτίο άνω των 1700 ADC counts. Όπως ξέρουμε από προγενέστερες μελέτες οι λωρίδες υφίστανται κορεσμό μη

καταγράφοντας το σωστό φορτίο με αποτέλεσμα να εξάγεται λανθασμένη πληροφορία (διάγραμμα 3.5 (δ)).

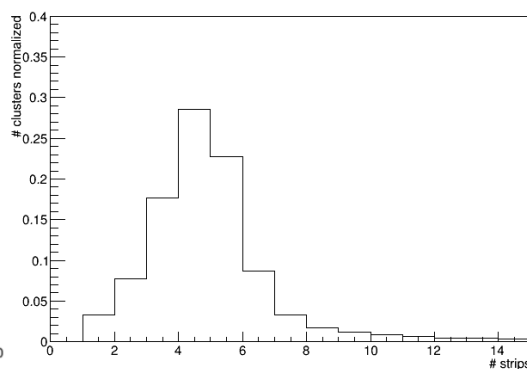
Και τέλος για να κρατήσουμε τελικά το γεγονός:

- Απαίτηση τουλάχιστον 3 λωρίδων που έχουν περάσει τα προηγούμενα κριτήρια για ανάκατασκευή της τροχιάς.
- Απαίτηση το fit να έχει πιθανότητα  $\chi^2/\text{DoF}$  μεγαλύτερη του  $10^{-5}$ . Σε κάποια γεγονότα το fit της τροχιάς δεν πετυχαίνει καλά, είτε λόγω θορύβου, είτε λόγω διέλευσης δεύτερου σωματιδίου στον νεκρό χρόνο του θαλάμου (διάγραμμα 3.5 (ε)).

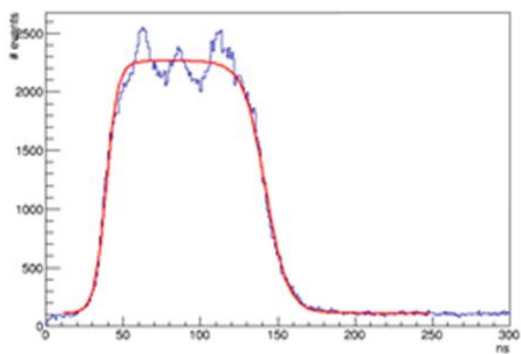
Αν το γεγονός περάσει όλα τα κριτήρια περιμένουμε μια τροχιά όπως στο διάγραμμα 3.5 (στ).



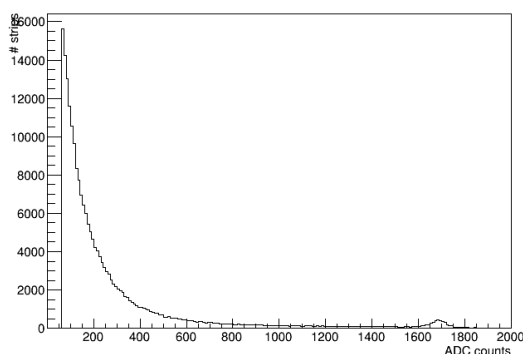
Διάγραμμα 3.5 (α) Αριθμός clusters ανά γεγονός



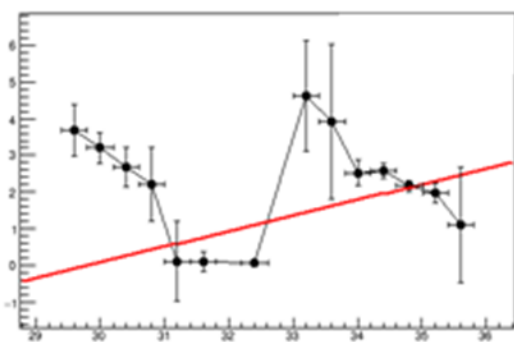
(β) Αριθμός λωρίδων ανά cluster



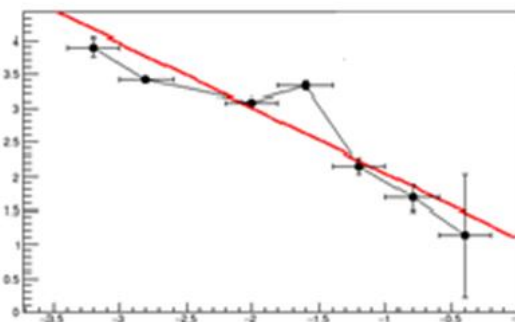
(γ) Κατανομή χρόνων  $\tau_{fd}$



(δ) Κατανομή μέγιστου φορτίου



(ε) Προσαρμογή μικρής πιθανότητας



(στ) Επιτυχής προσαρμογή

## 3.6 Αποτελέσματα

### 3.6.1 Χωρική διακριτική ικανότητα

Για να μετρηθεί η χωρική διακριτική ικανότητα των θαλάμων δεδομένου ότι έχουν ικανότητα καλύτερη από την εστίαση της δέσμης πρέπει να μετρηθεί χρησιμοποιώντας ζευγάρια θαλάμων. Μετρώντας δηλαδή την σχετική θέση που κατέγραψαν δύο θάλαμοι

$$x = x_{ch1} - x_{ch2}$$

Η καλύτερη επιλογή θα ήταν να ζευγαρώσουμε τους θαλάμους ίδιου τύπου, όμως όπως είδαμε ο J20 έχει κατασκευαστικές ατέλειες και δεν είναι κατάλληλος για να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα. Έτσι για να συγκριθούν οι δύο τύποι J θαλάμων θα επιλεγούν τα ζευγάρια J12-T7 και J19-T7. Δηλαδή θα χρησιμοποιήσουμε έναν θάλαμο από το κάθε είδος που θέλουμε να συγκρίνουμε και τον θάλαμο αναφοράς T7 δεδομένου ότι είναι πιο κοντά στους J τεχνικά. Η διακριτική ικανότητα ξέρουμε ότι είναι συνάρτηση της γωνίας οπότε θα την μετρήσουμε για runs διαφορετικών γωνιών. Στις  $10^\circ$  θα εφαρμόσουμε και τις 2 μεθόδους (centroid, μTPC) ώστε να διαπιστώσουμε ποια δουλεύει καλύτερα. Το σφάλμα της σχετικής θέσης είναι

$$\sigma_x = \frac{\sigma(x_{ch1} - x_{ch2})}{\sqrt{2}}$$

οπότε γεμίζουμε τα ιστογράμματα κατευθείαν με την ποσότητα  $(x_{ch1} - x_{ch2})/\sqrt{2}$ . Η κατανομή που προκύπτει έχει μέση τιμή διάφορη του μηδενός γιατί οι θάλαμοι δεν είναι τέλεια ευθυγραμμισμένοι. Τέλος η κατανομή προσαρμόζεται με μία διπλή Gaussian συνάρτηση. Από την διπλή Gaussian συνάρτηση προκύπτουν δύο διακριτικές ικανότητες. Η διακριτική ικανότητα πυρήνα είναι το μικρότερο  $\sigma$ , ενώ η βεβαρημένη διακριτική ικανότητα ορίζεται ως

$$\sigma_1\beta + \sigma_2(1 - \beta)$$

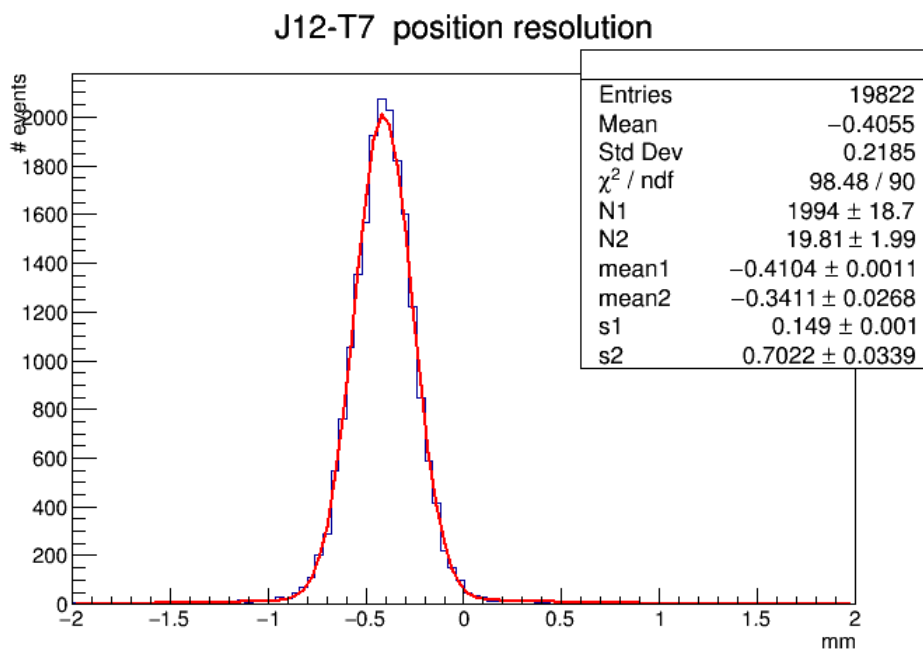
όπου  $\beta$  και  $1 - \beta$  το ποσοστό συμμετοχής των κανονικοποιημένων Gaussian για συνάρτηση της μορφής

$$\alpha \cdot \beta \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \cdot e^{-\frac{(x-m_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \alpha \cdot (1 - \beta) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \cdot e^{-\frac{(x-m_2)^2}{2\sigma_2^2}}$$

Δεδομένου ότι κατανομές που χρησιμοποιούνται για το fit δεν είναι κανονικοποιημένες ο συντελεστής  $\beta$  δίνεται συναρτήσει των  $N_1$  και  $N_2$  που φαίνονται στα ιστογράμματα από την σχέση

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_2 \cdot N_2}{\sigma_1 \cdot N_1}}$$

Ένα ενδεικτικό ιστόγραμμα τέτοιας κατανομής φαίνεται παρακάτω. Τα ιστογράμματα με τα αποτελέσματα από όλα τα runs παρατίθενται στο παράρτημα.



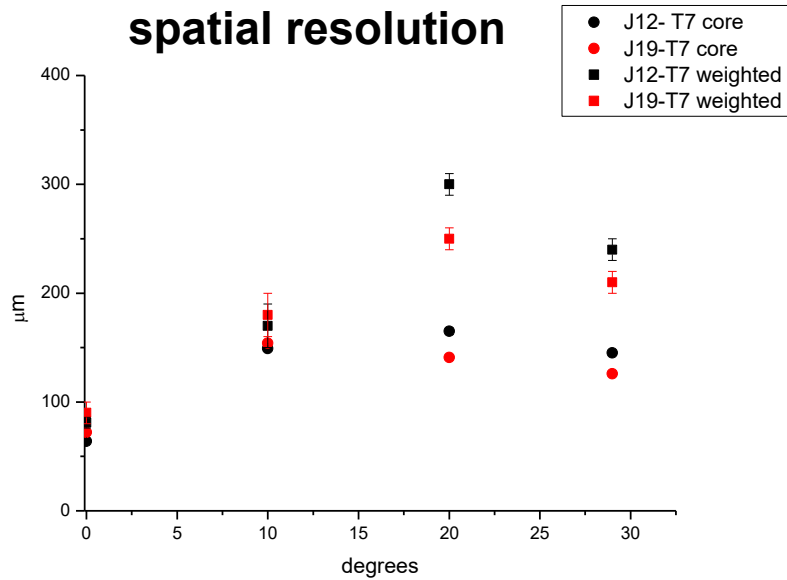
Διάγραμμα 3.6 Κατανομή ποσότητας  $(x_{ch1} - x_{ch2})/\sqrt{2}$

Εξετάστηκε επίσης αν το φαινόμενο των πολλαπλών σκεδάσεων στο υλικό των θαλάμων μπορεί να επηρεάσει σε κάποιο βαθμό την ανάλυση μας. Για τον λόγο αυτόν μετρήθηκε η διακριτική ικανότητα δύο ακόμα ζευγών με το ζεύγος του J12 να έχει λιγότερους παρεμβαλλόμενους θάλαμους αυτή τη φορά. Στα ζεύγη με τον T7, το ζεύγος J19-T7 είχε έναν παρεμβάλομενο θάλαμο, ενώ το ζεύγος J12-T7 είχε 3. Τα δύο επιπλέον ζεύγη που μελετήθηκαν είναι το Tmm6-J19 με 3 παρεμβαλλόμενους θαλάμους και το Tmm6-J12 με έναν. Παρατηρούμε ότι η διακριτική ικανότητα είναι και πάλι περίπου ίδια.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της χωρικής διακριτικής ικανότητας και η εξάρτησή της από την γωνία εισόδου του σωματιδίου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα αντίστοιχα.

Spatial resolution				
chambers	J12-T7	J19-T7	J12-Tmm6	J19-Tmm6
angle				
0° core	64.4 ±0.8μm	72.2 ±0.6μm	66.0 ±0.6μm	64.7 ±0.9μm
0° weighted	81 ±5μm	90 ±10μm	82 ±2μm	81.5 ±0.8μm
10° centroid core	149 ±1μm	154 ±1μm		
10° centroid weighted	170 ±20μm	180 ±20μm		
10° μTPC core	314 ±7μm	247 ±6μm		
10° μTPC weighted	780 ±50μm	650 ±40μm		
20° core	165 ±3μm	141 ±2μm		
20° weighted	300 ±10μm	250 ±10μm		
29° core	145 ±2μm	126 ±2μm		
29° weighted	242 ±10μm	210 ±10μm		

Πίνακας 3.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα χωρικής διακριτικής ικανότητας

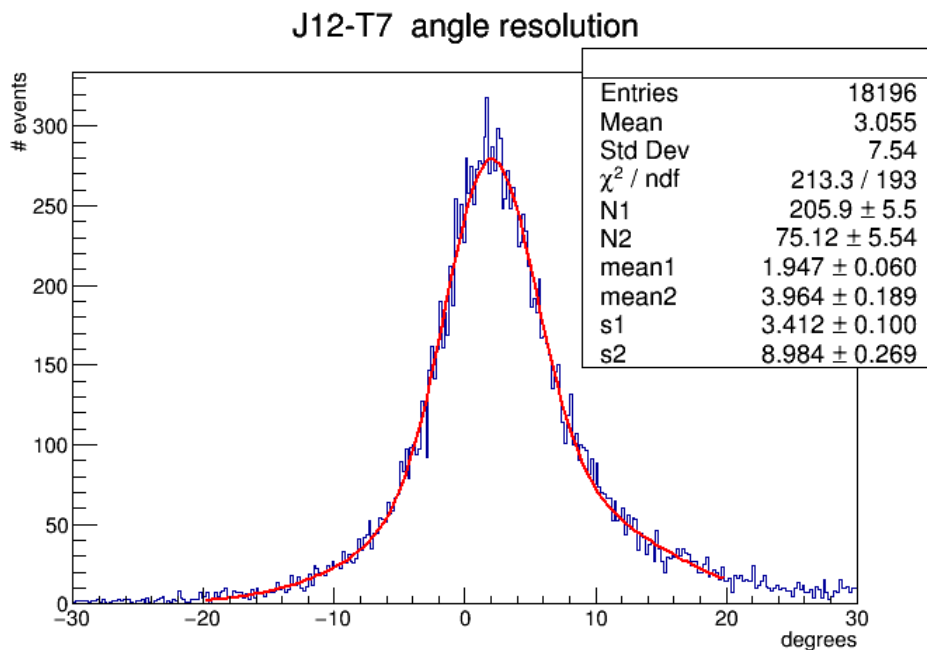


Διάγραμμα 3.7 Χωρική διακριτική ικανότητα συναρτήσει της γωνίας

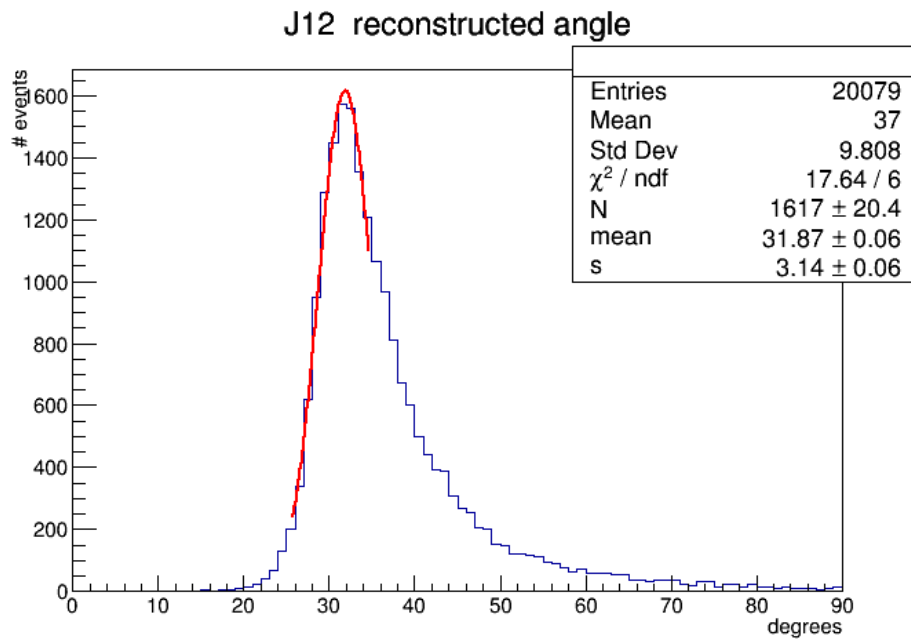


### 3.6.2 Γωνιακή διακριτική ικανότητα

Η ανακατασκευή της γωνίας δεν ακολουθεί Gaussian κατανομή όπως θα δούμε έτσι καλύτερος τρόπος μέτρησης της διακριτικής ικανότητας είναι και πάλι με την μέθοδο της σχετικής γωνίας. Επιλέγουμε πάλι τα ίδια ζεύγη και γεμίζουμε τα ιστογράμματα αντίστοιχα με την ποσότητα  $(\varphi_{ch1} - \varphi_{ch2})/\sqrt{2}$ . Οι κατανομές της διακριτικής ικανότητας (διάγραμμα 3.8) προσαρμόζονται και πάλι με μία διπλή Gaussian συνάρτηση και προκύπτουν δύο διακριτικές ικανότητες οι οποίες ορίζονται όπως είδαμε παραπάνω. Επίσης παραθέτουμε και τα ιστογράμματα ανακατασκευής της γωνίας (διάγραμμα 3.9) τα οποία μπορούν να προσαρμοστούν με μια Gaussian συνάρτηση σε ένα περιορισμένο εύρος γύρω από την κορυφή δίνοντας και μια εκτίμηση για την γωνιακή διακριτική ικανότητα ενός μεμονωμένου θαλάμου. Η γωνιακή διακριτική ικανότητα είναι και αυτή συνάρτηση της γωνίας οπότε μελετάται σε διαφορετικές γωνίες. Τα ιστογράμματα με τα αποτελέσματα από όλα τα runs παρατίθενται στο παράρτημα.



Διάγραμμα 3.8 Κατανομή ποσότητας  $(\varphi_{ch1} - \varphi_{ch2})/\sqrt{2}$



3.9 Κατανομή ανακατασκευασμένης γωνίας

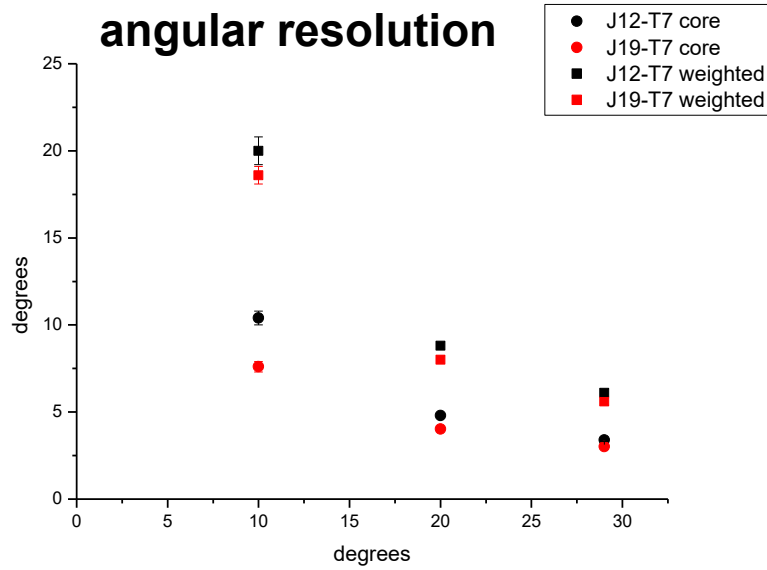
Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της ανακατασκευής της γωνίας, της γωνιακής διακριτικής ικανότητας και της εξάρτησή της από την γωνία εισόδου του σωματιδίου φαίνονται στους παρακάτω πίνακες και διάγραμμα αντίστοιχα.

Angular resolution		
chambers	J12-T7	J19-T7
10° core	$10.4 \pm 0.4^\circ$	$7.6 \pm 0.3^\circ$
10° weighted	$20.0 \pm 0.8^\circ$	$18.6 \pm 0.5^\circ$
20° core	$4.8 \pm 0.1^\circ$	$4.03 \pm 0.09^\circ$
20° weighted	$8.8 \pm 0.2^\circ$	$8.0 \pm 0.2^\circ$
29° core	$3.4 \pm 0.1^\circ$	$3.02 \pm 0.08^\circ$
29° weighted	$6.1 \pm 0.2^\circ$	$5.7 \pm 0.2^\circ$

Angle reconstruction		
chambers	J12	J19
10°	$22 \pm 6^\circ$	$17 \pm 5^\circ$
20°	$27 \pm 4^\circ$	$23 \pm 3^\circ$
29°	$32 \pm 3^\circ$	$30 \pm 3^\circ$

Πίνακας 3.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα (α) γωνιακής διακριτικής ικανότητας (β) ανακατασκευής της γωνίας

Παρατηρούμε ότι στις μικρές γωνίες οι θάλαμοι ανακατασκευάζουν την γωνία σε αρκετά μεγαλύτερες τιμές.



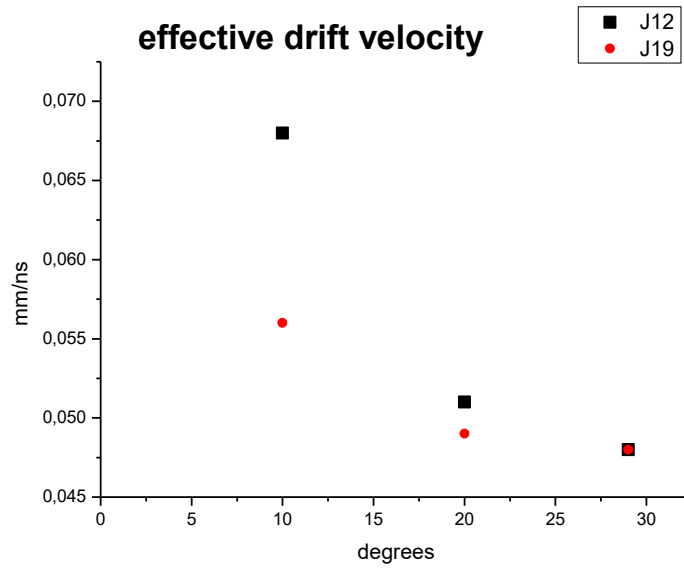
Διάγραμμα 3.8 Γωνιακή διακριτική ικανότητα συναρτήσει της γωνίας

Η μεγάλη υπερεκτίμηση της γωνίας υποδεικνύει ότι κάποιο σφάλμα υπεισέρχεται στον χρόνο που μετράνε οι λωρίδες. Για να κατανοήσουμε αυτό το φαινόμενο υπολογίσαμε την ταχύτητα ολίσθησης, που προκύπτει από το drift gap διηρημένο από το χρονικό παράθυρο ολίσθησης ( $u=5mm/\Delta t$ ). Υπενθυμίζουμε ότι σε όλα τα run έχουμε θέσει την ταχύτητα ολίσθησης  $0.047mm/ns$  όπως προέκυψε από την προσομοίωση του Garfield. Η effective ταχύτητα ολίσθησης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα.

$$v_{Def} = \frac{5mm}{t_2 - t_1}$$

Effective drift velocity				
chambers	J12		J19	
angle	$\Delta t$	$u$	$\Delta t$	$u$
10°	103 ns	48 $\mu m/ns$	103 ns	48 $\mu m/ns$
20°	97 ns	51 $\mu m/ns$	101 ns	51 $\mu m/ns$
29°	73 ns	69 $\mu m/ns$	89 ns	56 $\mu m/ns$

Πίνακας 3.5 Χρονικό παράθυρο και effective ταχύτητα ολίσθησης

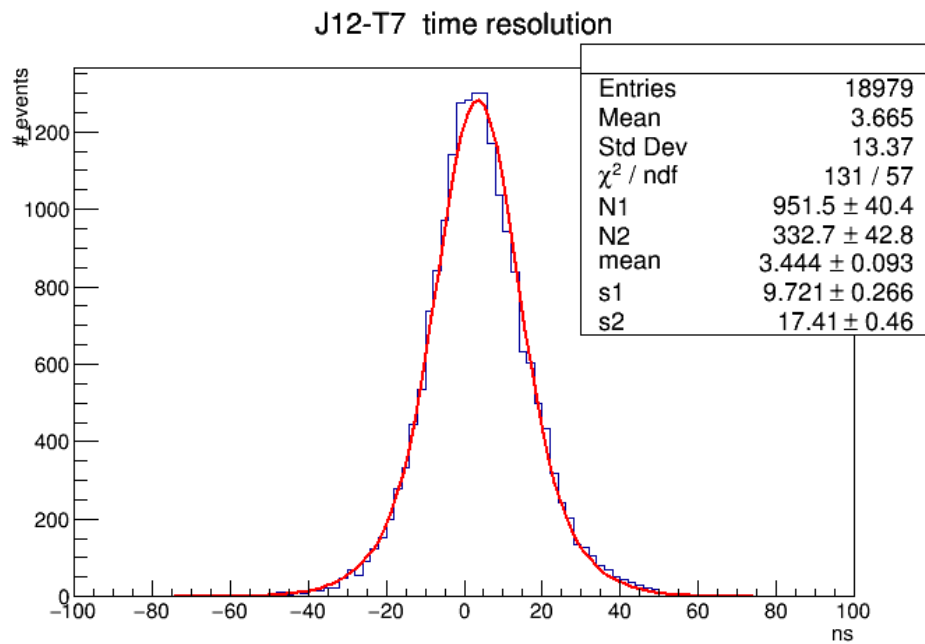


Διάγραμμα 3.9 Effective ταχύτητα ολίσθησης συναρτήσει της γωνίας

Η εξάρτηση της ταχύτητας ολίσθησης από την γωνία είναι ένα φαινόμενο που αναδεικνύει ευθέως την προβληματική μέτρηση του χρόνου που αντιστοιχούμε στις λωρίδες στην μέθοδο μTPC. Αυτό συμβαίνει στις μικρές γωνίες κυρίως γιατί χιονοστιβάδες από διαφορετικά ηλεκτρόνια χτυπάνε ίδιες λωρίδες. Η προσαρμογή στην χρονική κατανομή του φορτίου γίνεται μόνο σε ένα περιορισμένο εύρος (μέχρι το μέγιστο φορτίο) χάνοντας έτσι την πληροφορία από ενδεχόμενη δεύτερη χιονοστοιβάδα. Το μικρότερο εύρος του amplification gap στον θάλαμο J19 περιορίζει κάπως το φαινόμενο αφού μειώνει την διάχυση των χιονοστοιβάδων.

### 3.6.3 Χρονική διακριτική ικανότητα

Τέλος μελετήθηκε η χρονική διακριτική ικανότητα. Σαν χρόνο που χτυπήθηκε ο θάλαμος ορίζουμε τον χρόνο που χτυπήθηκε η πρώτη λωρίδα (μικρότερο  $t_{FD}$ ) που συμμετέχει στην ανακατασκευή της τροχιάς. Η ανακατασκευή του χρόνου δεν ακολουθεί γκαουσιανή κατανομή, οπότε εφαρμόζουμε και πάλι την μέθοδο του σχετικού χρόνου γεμίζοντας τα τα ιστογράμματα με την ποσότητα  $(t_{ch1} - t_{ch2})/\sqrt{2}$  (διάγραμμα 3.10). Παραθέτουμε και ένα ιστόγραμμα ανακατασκευής του χρόνου (διάγραμμα 3.11).



Διάγραμμα 3.10 Κατανομή ποσότητας  $(t_{ch1} - t_{ch2})/\sqrt{2}$

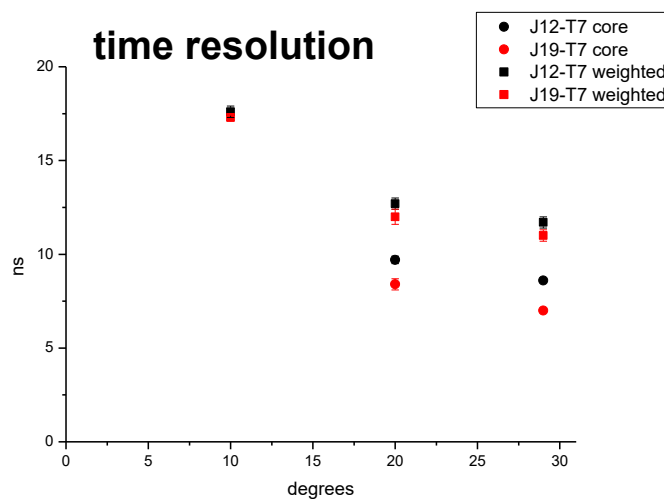


Διάγραμμα 3.11 Κατανομή ανακατασκευής χρόνου

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της χρονικής διακριτικής ικανότητας και της εξάρτησή της από την γωνία εισόδου του σωματιδίου φαίνονται στους παρακάτω πίνακες και διάγραμμα αντίστοιχα. Τα ιστογράμματα με τα αποτελέσματα από όλα τα runs παρατίθενται στο παράρτημα.

Time resolution		
chambers	J12-T7	J19-T7
angle		
10° weighted	17.6 ±0.3 ns	17.3 ±0.2 ns
20° core	9.7 ±0.2 ns	8.4 ±0.3 ns
20° weighted	12.7±0.3 ns	12.0 ±0.4 ns
29° core	8.6 ±0.1 ns	7.0 ±0.1 ns
29° weighted	11.7 ±0.3ns	11.1 ±0.3ns

Πίνακας 3.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα χρονικής διακριτικής ικανότητας



Διάγραμμα 3.11 Χρονική διακριτική ικανότητα συναρτήσει της γωνίας

### 3.7 Συμπεράσματα

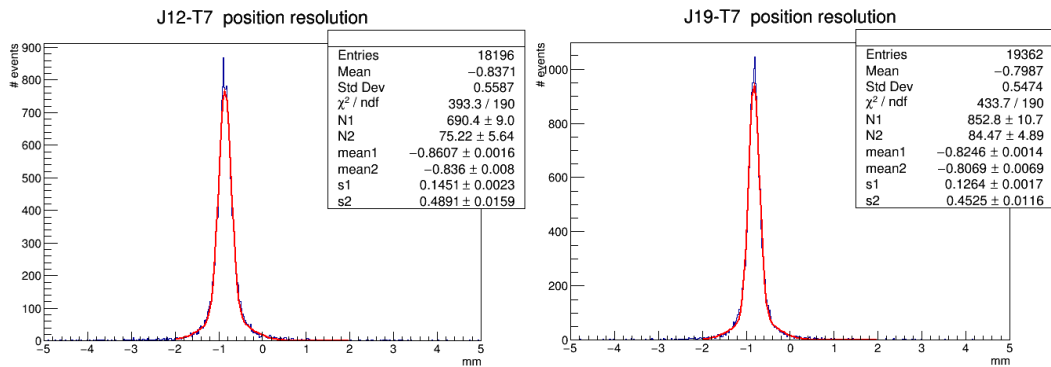
- Στον J19 το φορτίο συλλέγεται πιο απότομα από ότι στους J12 και J15.
- Όλοι οι θάλαμοι παρουσιάζουν περίπου ίδια κατανομή αριθμού clusters ανά γεγονός. Το μέγεθος των clusters είναι λίγο μικρότερο στον J19 από ότι στους J12 και J15.
- Η χωρική διακριτική ικανότητα του J19 με την μέθοδο μTPC είναι 10-20% καλύτερη από του J12. Με την centroid μέθοδο συμπεριφέρονται περίπου το ίδιο.
- Η γωνιάκη διακριτική ικανότητα του J19 είναι επίσης καλύτερη από αυτή του J12 περίπου 10-20% και αυτό οφείλεται στην ικανότητά του να ανακατασκευάζει την γωνία πλησιέστερα στην πραγματική της τιμή και ακριβέστερα. Και οι δύο θάλαμοι όμως έχουν πρόβλημα στην ανακατασκευή της γωνίας που οφείλεται στο γεγονός ότι χιονοστιβάδες από διαφορετικά ηλεκτρόνια χτυπούν τις ίδιες λωρίδες. Αυτό αντικατοπτρίζεται στην effective ταχύτητα ολίσθησης η οποία αποκλίνει πολύ περισσότερο από την τιμή της προσομείωσης στον J12 από ότι στον J19.
- Τέλος η χρονική διακριτική ικανότητα του J19 είναι κι αυτή καλύτερη 1 με 2ns περίπου.



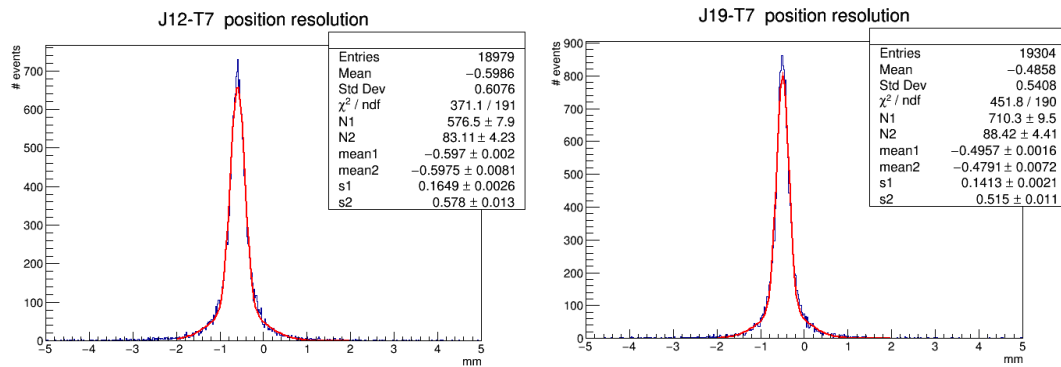


## Παράρτημα Α : Ιστογράμματα χωρικής διακριτικής ικανότητας

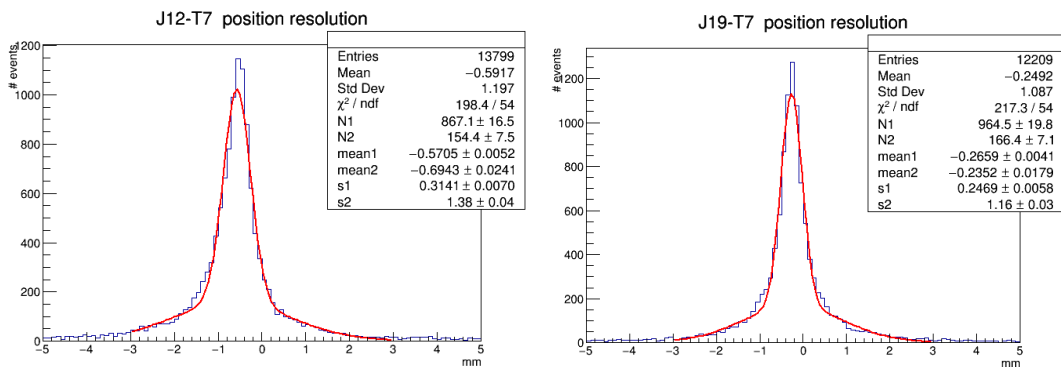
Run 15081, 29<sup>0</sup>



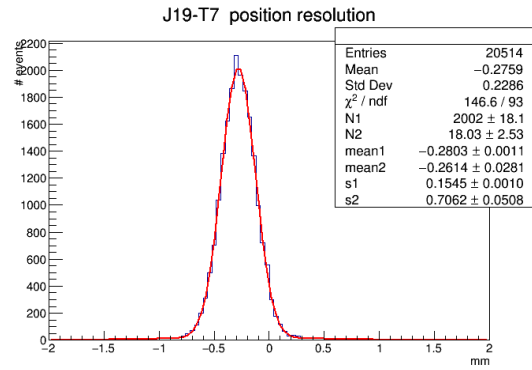
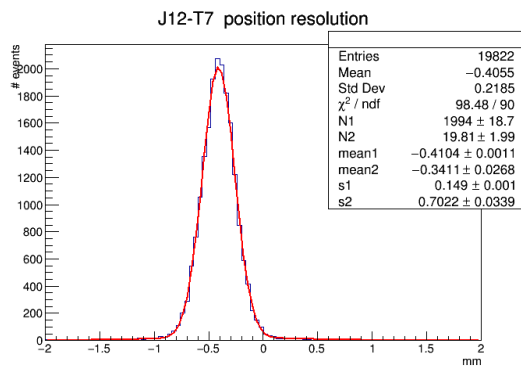
Run 15093, 20<sup>0</sup>



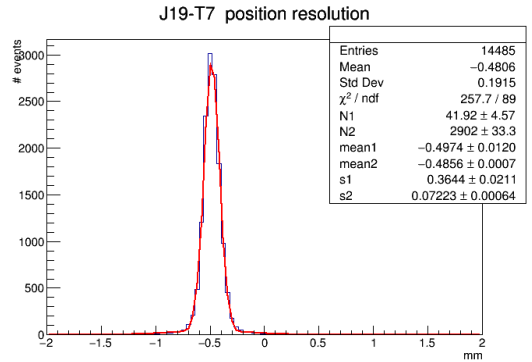
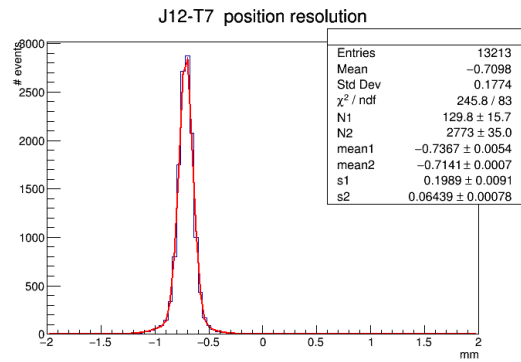
Run 15110, 10<sup>0</sup>,  $\mu\text{TPC}$



Run 15110, 10<sup>0</sup>, cendroid

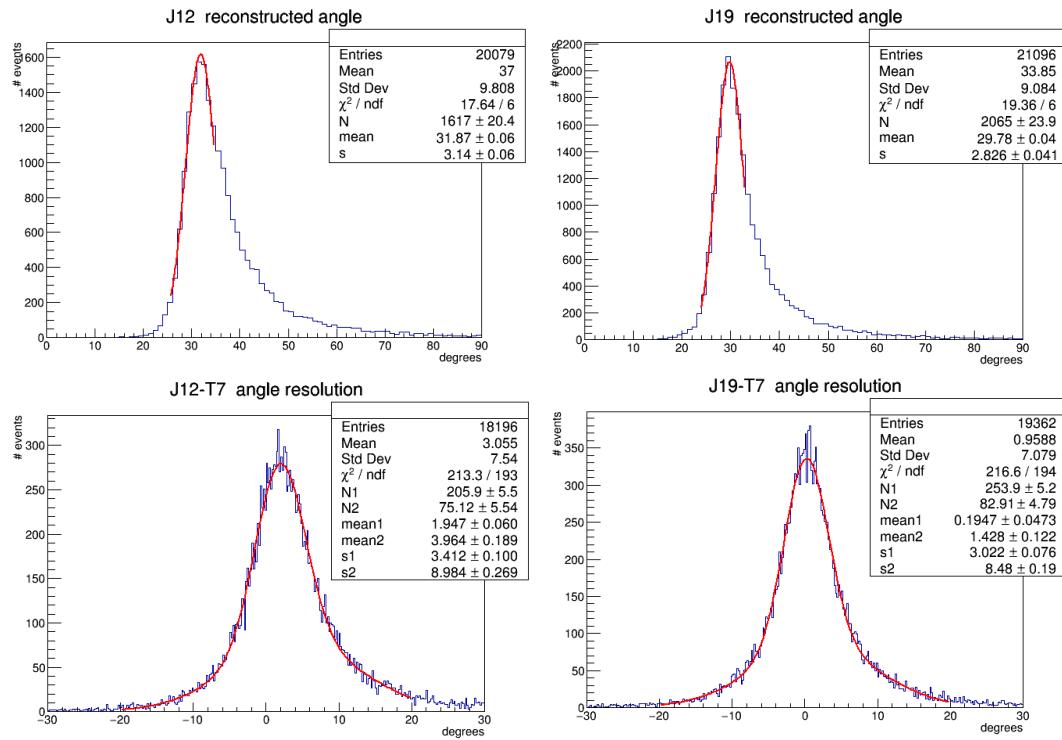


Run 15073, 0<sup>0</sup>

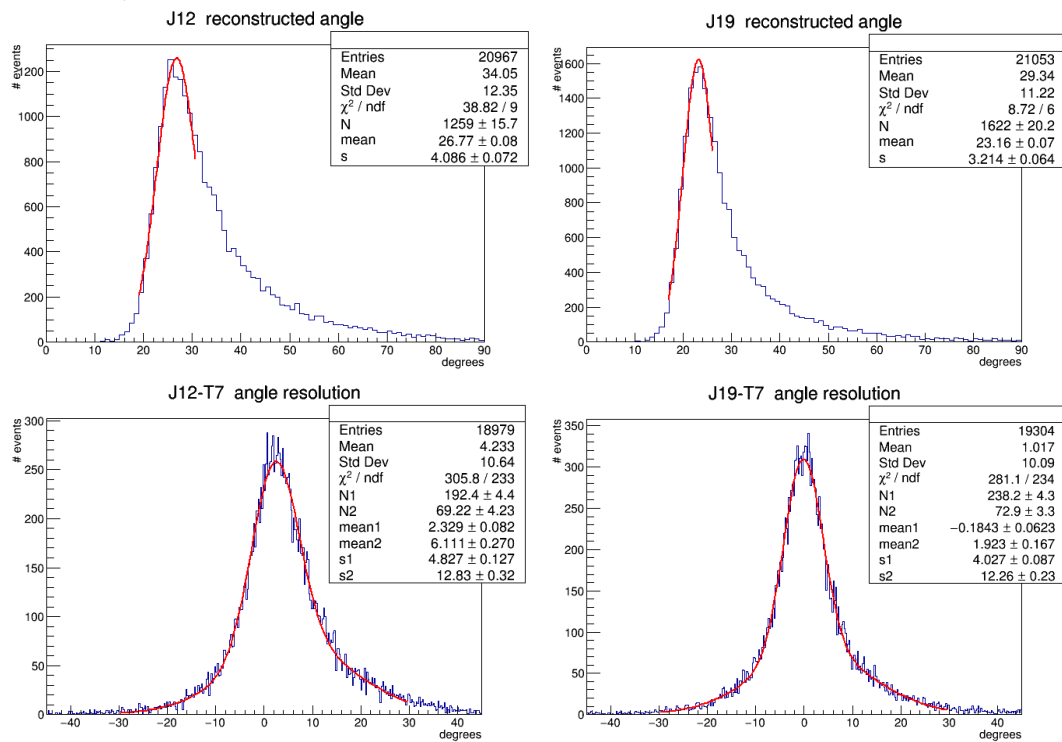


## Παράρτημα Β : Ιστογράμματα γωνιακής διακριτικής ικανότητας

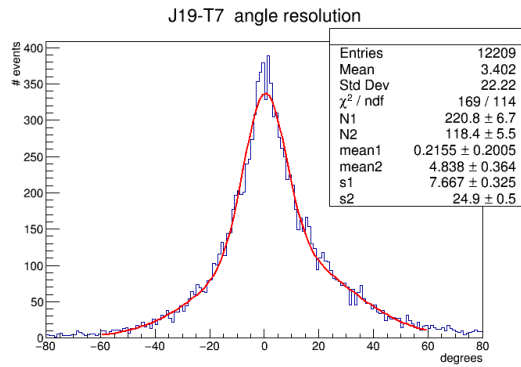
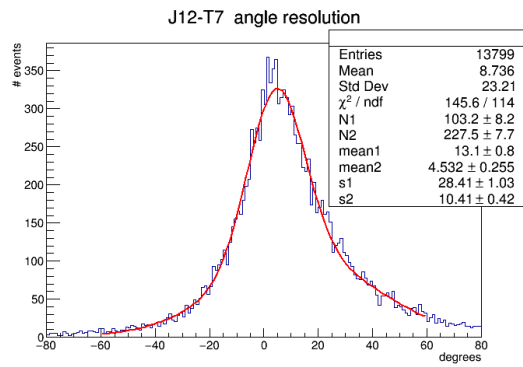
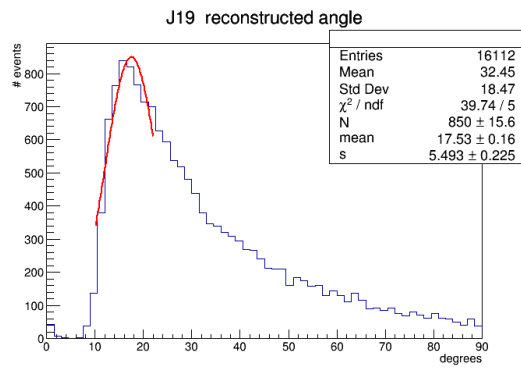
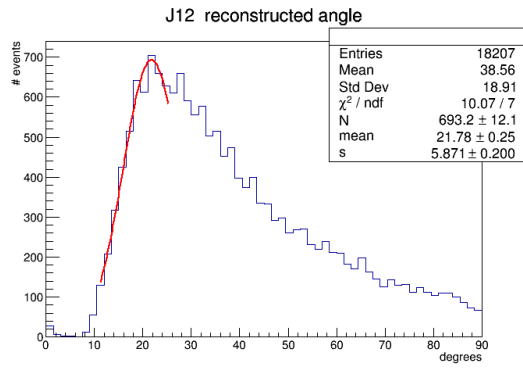
Run 15081, 29<sup>0</sup>



Run 15093, 20<sup>0</sup>

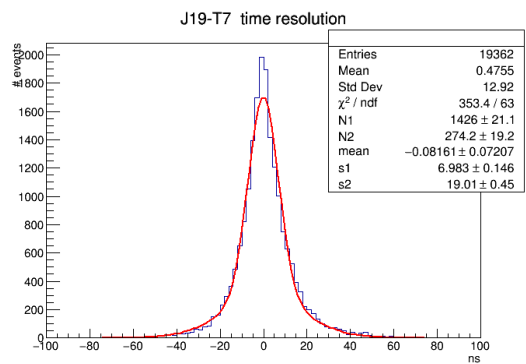
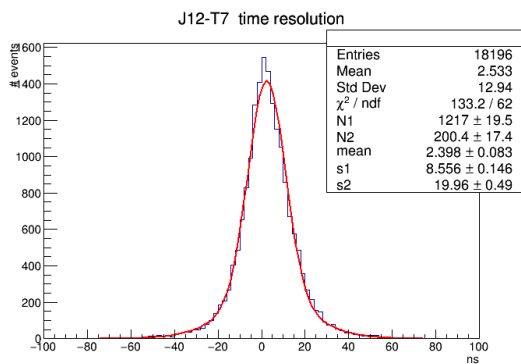
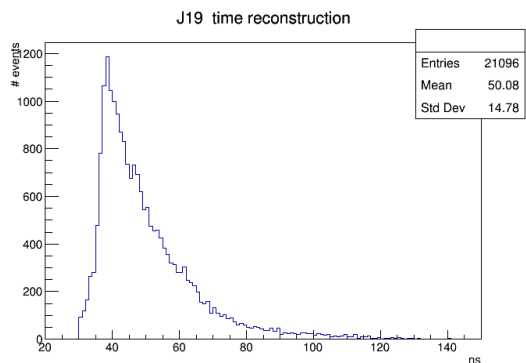
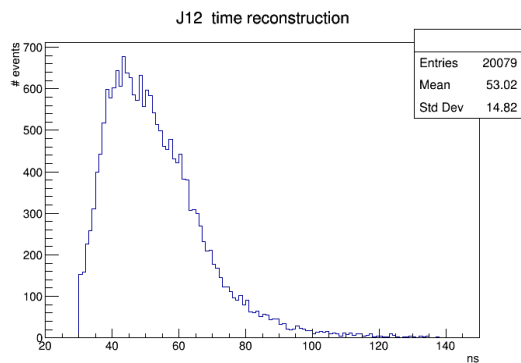


Run 15110, 10<sup>0</sup>

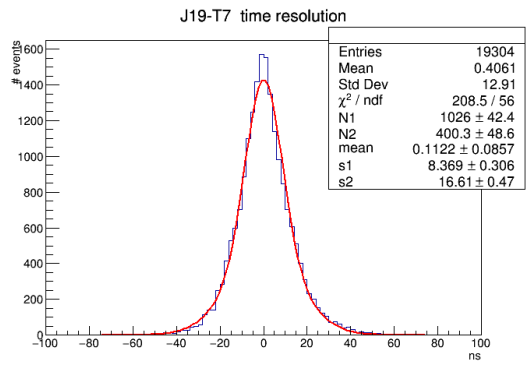
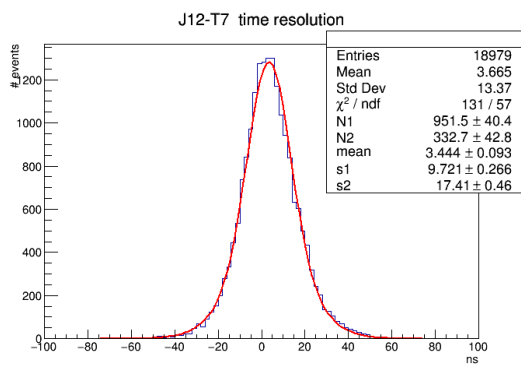
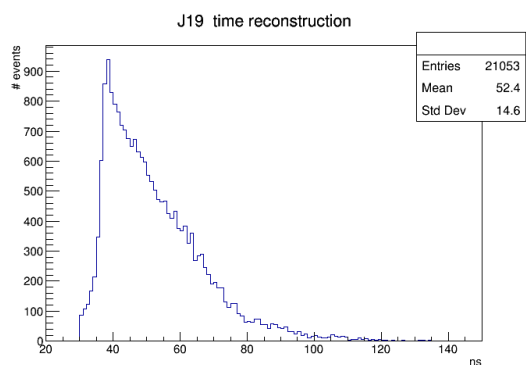
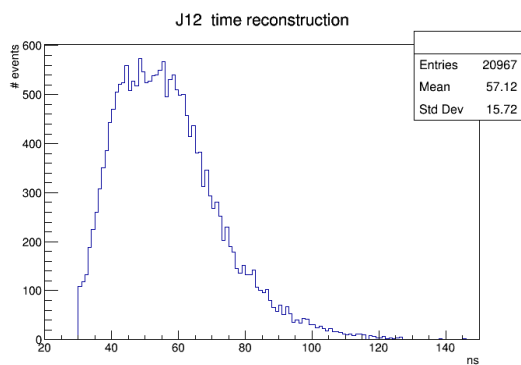


# Παράρτημα Γ : Ιστογράμματα χρονικής διακριτικής ικανότητας

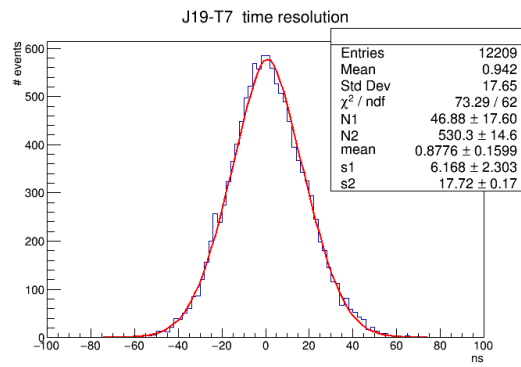
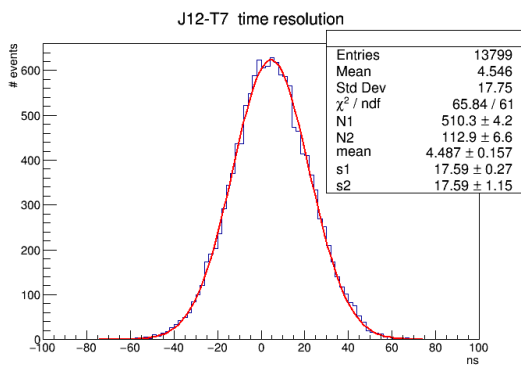
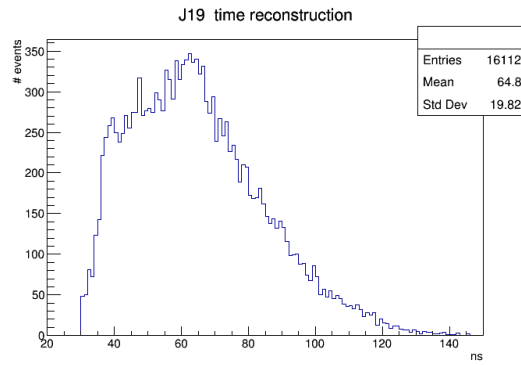
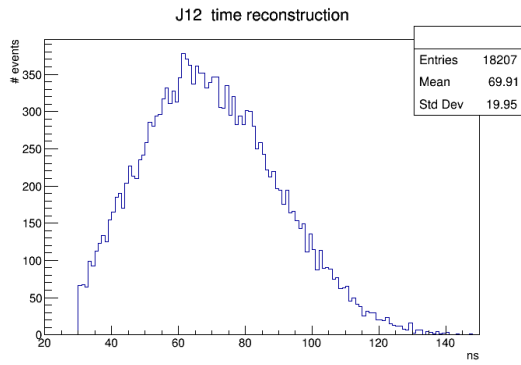
Run 15081, 29<sup>0</sup>



Run 15093, 20<sup>0</sup>



Run 15110, 10<sup>0</sup>



## Βιβλιογραφία

- [1] Alexopoulos, T. and Burnens, J. and de Oliveira, R. and Glonti, G. and Pizzirusso, O. and Polychronakos, V. and Sekhniaidze, G. and Tsipolitis, G. and Wotschack, J. A spark-resistant bulk-micromegas chamber for high-rate applications Nucl. Instrum. Meth. A640 (2011), 110-118
- [2] Syed Naeem Ahmed. Physics and Engineering of Radiation Detection, Academic Press Inc. Published by Elsevier (2007).
- [3] ATLAS Collaboration Technical Design Report, New Small Wheel. CERN-LHCC-2013-006, ATLAS-TDR-020 (2013)
- [4] Richard Fernow Introduction to Experimental Particle Physics . Cambridge University Press; Reprint edition (March 31, 1989)
- [5] Giomataris, Y. and Rebourgeard, P. and Robert, J. P. and Charpak, Georges MICRO-MEGAS: A High granularity position sensitive gaseous detector for high particle ux environments. Nucl. Instrum. Meth. A376 (1996) 29-35
- [6] Iakovidis, Georgios Research and Development in Micromegas Detector for the ATLAS Upgrade. Natl. Tech. U., Athens (2014-10-13)
- [7] Iodice M. Micromegas Detectors for the Muon Spectrometer Upgrade of the ATLAS Experiment. ATL-MUON-PROC-2014-009 (2014)
- [8] Konrad Kleinknecht Detectors for Particle Radiation . Cambridge University Press; 2 edition (January 28, 1999)
- [10] Κωσταντίνος Ντέκας. Μελέτη ανιχνευτή MicroMegας σε δοκιμαστική δέσμη πιονίων 120 GeV/c στο H6/SPS/CERN. Αθήνα (2012)
- [11] Ntekas Konstantinos The ATLAS New Small Wheel Upgrade Project. Proceedings, 3rd International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics , PoS TIP2014 (2014) 331
- [12] Μαρία Μπούρα-Βιστάλινα. Σύγκριση χωρικής διακριτικής ικανότητας και απόδοσης σε ανιχνευτές MicroMegας για διαφορετικά αέρια λειτουργίας, Αθήνα (2016)
- [13] Particle Data Group, Olive K. et al Review of Particle Physics Chin. Phys. C, 38, 090001 (2014)

