



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ MICROMEΓAS ΜΕ ΔΕΣΜΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Νικόλαου Δ. Καραστάθη

Επιβλέπων: Γεώργιος Τσιπολίτης
Αν. Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ MICROMEΓΑΣ ΜΕ ΔΕΣΜΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Νικόλαου Δ. Καραστάθη

Επιβλέπων: Γεώργιος Τσιπολίτης
Αν. Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Οκτώβριο του 2010.

.....
-Θεόδωρος Αλεξόπουλος-
-Καθηγητής-

.....
-Ευάγγελος Γαζής-
-Καθηγητής-

.....
-Τσιπολίτης Γεώργιος-
-Αν. Καθηγητής-

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

.....
Νικόλαος Δ. Καραστάθης
Πτυχιούχος σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	17
1.1	Ανίχνευση Διαδικασιών	17
1.1.1	Φωτόνια	17
1.1.2	Φορτισμένα Σωματίδια	18
1.2	Ενεργειακές Απώλειες	20
1.3	Βεληνεκές Ηλεκτρονίων	21
1.4	Διέγερση κι Ιονισμός	22
1.5	Ηλεκτρονική Χιονοστιβάδα	23
1.6	Κίνηση Φορτισμένων Σωματιδίων σε Αέρια	25
1.7	Ανιχνευτές Αερίου	26
1.7.1	Multi-Wire Proportional Chambers	27
1.7.2	Ανιχνευτές Αερίου με Μικροδομή (MicroPattern Gaseous Detectors	29
1.8	Απόδοση Ανιχνευτή (Efficiency)	31
1.9	Ενεργειακή Διακριτική Ικανότητα (Energy Resolution)	33
2	Ο Ανιχνευτής MicroMegas	37
2.1	Εισαγωγή	37
2.2	Περιγραφή του Ανιχνευτή	38
2.3	Λειτουργία σε Δύο Διαστάσεις	41
2.4	Νέα γενιά - Resistive Micromegas	42
3	MAMMA Test Beam	47
3.1	Το CERN	47
3.2	Ο LHC κι ο Ανιχνευτής ATLAS	47
3.3	RD51 Collaboration και το MAMMA Group	48
3.4	Test Beam Ιουλίου 2010	50
3.4.1	Πειραματική διάταξη	51
3.4.2	Τα Ηλεκτρονικά	53
3.4.3	Χαρακτηριστικά Θαλάμων	55
4	Ανάλυση των Δεδομένων	59
4.1	Εισαγωγή	59
4.2	Μελέτη Θαλάμων	60
4.2.1	Ο Θάλαμος R11	60
4.2.2	Ο Θάλαμος R12	75

4.2.3 Ο Θάλαμος P_3	89
4.3 Επίλογος	93
A □ Αριθμοί Runs	95
B □ Διαγράμματα Garfield	101
B.1 Ταχύτητα Ολίσθησης	101
B.2 Εγκάρσια Διάχυση	103
B.3 Διαμήκης Διάχυση	105
B.4 Συντελεστής Townsend	107
B.5 Μέσος ελεύθερος χρόνος έως τον ιονισμό	109
Γ □ ROOT Scripts	111

Κατάλογος πινάκων

1.1 Το βεληνεκές ηλεκτρονίων με διάφορες τιμές ενέργειας καθώς διασχίζουν αέριο Ar σε σύγκριση με αέριο Kr.	22
1.2 Παράγοντας Fano για κατηγορίες ανιχνευτών κι ηλεκτρόνια σε διαφορετικά αέρια.	35
2.1 Χαρακτηριστικές τιμές παραμέτρων λειτουργίας ενός ανιχνευτή Micromegas	41
3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά θαλάμων.	58
4.1 High voltage drift scan στον θάλαμο R11.	61
4.2 High voltage drift scan στον θάλαμο R12.	75
4.3 Ευθείες μεταξύ των σημείων στο διάγραμμα τ συναρτήσεως του λόγου.	84
4.4 Χαρακτηριστικά των υποδοχέων.	89

Κατάλογος σχημάτων

1.1	Ενεργός διατομή διαδικασιών φωτονίων συναρτήσει ενέργειας	18
1.2	Κατανομή Landau	20
1.3	Απώλεια ενέργειας συναρτήσει της ορμής για διαφορετικά σωματίδια.	21
1.4	Ο συντελεστής Townsend για τα ευγενή αέρια.	24
1.5	Δημιουργία ηλεκτρονιακής χιονοστιβάδας.	24
1.6	Σχηματική αναπαράσταση ενός MWPC.	27
1.7	Ηλεκτρικό πεδίο MWPC.	28
1.8	Χρονική και χωρική εξέλιξη ηλεκτρονιακής χιονοστιβάδας σε έναν MWPC.	28
1.9	Αναπαράσταση λήψης δεδομένων από την κάθοδο ενός MWPC.	29
1.10	Αναπαράσταση δύο τροχιών σε έναν MWPC.	30
1.11	Σχηματική αναπαράσταση ενός MSGD.	31
1.12	Σχηματική αναπαράσταση ενός ανιχνευτή GEM.	31
1.13	Το πλέγμα GEM του ανιχνευτή GEM.	32
1.14	Ηλεκτρικό πεδίο σε ανιχνευτή GEM.	32
1.15	Η απόδοση μιας ανιχνευτικής διάταξης.	33
1.16	Παράλληλη δέσμη σωματιδίων διέρχεται από ανιχνευτή μήκους L	33
1.17	Σημειακή πηγή εκπέμπει σε απόσταση d από τον ανιχνευτή.	34
1.18	Η ενεργειακή διακριτική ικανότητα μπορεί να απεικονισθεί με το Γ της κατανομής.	34
1.19	Υπέρθωση παλμικού σήματος και ηλεκτρονικού θορύβου.	36
2.1	Αναπαράσταση αλληλεπίδρασης σε ανιχνευτή micromegas.	38
2.2	Σχηματική αναπαράσταση του micromegas.	39
2.3	Ένα pillar σε μεγέθυνση.	40
2.4	Ηλεκτρικό πεδίο γύρω από το micromesh.	40
2.5	TPC mode του ανιχνευτή micromegas.	41
2.6	Μεγέθυνση των strips για ανάγνωση δεδομένων στο επίπεδο.	42
2.7	Μεγέθυνση του resistive micromesh.	43
2.8	Αναπαράσταση διαφορών resistive από non resistive micromegas.	44
2.9	Resistive micromegas με χρήση resistive paste.	44
2.10	Resistive micromegas με χρήση resistive film.	45
3.1	Περιφέρεια του LHC.	48
3.2	Ο ανιχνευτής ATLAS.	49
3.3	Φωτογραφίες από το test beam στον Δημόκριτο.	50
3.4	Πειραματική διάταξη του test beam.	52

3.5	Φωτογραφίες από το test beam στο CERN.	54
3.6	Trigger logic block diagram	55
3.7	Η διάταξη των ηλεκτρονικών στο control room.	56
3.8	Η δομή των ηλεκτρονικών για τη καταγραφή των δεδομένων.	57
3.9	Το on-line display.	57
4.1	Ταχύτητα ολίσθησης.	61
4.2	Ποσοστό γεγονότων με τουλάχιστον έναν cluster.	62
4.3	Ο αριθμός των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO ₂ – 85 : 15.	63
4.4	Ο αριθμός των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO ₂ – 93 : 7.	64
4.5	Εγκάρσια Διάχυση.	65
4.6	Συγκριτικό διάγραμμα για το μέγεθος των clusters στα δύο αέρια.	66
4.7	Το μέγεθος των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO ₂ – 85 : 15.	67
4.8	Το μέγεθος των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO ₂ – 93 : 7.	68
4.9	Η Landau MPV στον R11 για τα δύο αέρια.	69
4.10	Το συνολικό φορτίο των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO ₂ – 85 : 15.	70
4.11	Το συνολικό φορτίο των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO ₂ – 93 : 7.	71
4.12	Η θέση των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO ₂ – 85 : 15.	73
4.13	Η θέση των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO ₂ – 93 : 7.	74
4.14	Διαφάνεια του θαλάμου R11.	75
4.15	Ταχύτητα ολίσθησης.	76
4.16	Ο αριθμός των clusters στον R12 για τα δύο αέρια.	77
4.17	Ποσοστό γεγονότων με τουλάχιστον έναν cluster.	78
4.18	Η σχετική θέση των clusters στον R12 για τα δύο αέρια.	79
4.19	Συγκριτικό διάγραμμα για το μέγεθος των clusters στα δύο αέρια.	80
4.20	Το μέγεθος των clusters στον R12 για τα δύο αέρια.	81
4.21	Η μέση τιμή της Gaussian συναρτήσεως του ηλεκτρικού πεδίου στον θάλαμο R12.	82
4.22	Η παράμετρος τ της $\Gamma(2)$ συνάρτησης για τα δύο αέρια.	83
4.23	Το συνολικό φορτίο των clusters στον θάλαμο R12.	86
4.24	Το συνολικό φορτίο των clusters για τα δύο αέρια στον R12.	87
4.25	Η παράμετρος τ συναρτήσεως του λόγου των πεδίων στον θάλαμο R12.	87
4.26	MPV συναρτήσεως της τ	88
4.27	Το διορθωμένο συνολικό φορτίο των clusters.	88
4.28	Οι υποδοχείς του θαλάμου P3.	89
4.29	Οι αριθμοί των clusters στον θάλαμο P3.	90
4.30	Το μέγεθος των clusters στον θάλαμο P3.	91
4.31	Συνολικό φορτίο των clusters στον θάλαμο P3.	92
4.32	Η θέση των clusters στον θάλαμο P3.	92

Ο ανιχνευτής Micromegas διανύει ήδη τη δεύτερη δεκαετία ζωής του και ήδη προσφέρει πολλά υποσχόμενες ιδιότητες (καλή χωρική ακρίβεια, αντοχή στην ακτινοβολία, υψηλός ρυθμός μέτρησης, καλή ενεργειακή διακριτική ικανότητα κ.α.) οι οποίες τον καθιστούν κατάλληλο για ένα εύρος εφαρμογών από την Φυσική Υψηλών Ενεργειών έως τη βιομηχανική παραγωγή. Στη συγκεκριμένη εργασία, θάλαμοι που κατασκευάστηκαν από το MAMMA Group του CERN δοκιμάστηκαν σε δέσμη (Ιούλιος 2010) και μερικά από τα αποτελέσματα παρουσιάζονται.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κομμάτι της εργασίας, θα παρουσιαστεί το θεωρητικό υπόβαθρο για τις κύριες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό ενός ανιχνευτή αερίου καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά των ανιχνευτών εν γένει (κεφάλαιο 1). Στη συνέχεια θα αναπτυχθεί η δομή του ανιχνευτή Micromegas και θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά που τον καθιστούν άξιο υποψήφιο για το φασματοσκόπιο του ATLAS καθώς και η τεχνολογία των resistive micromegas που αποτελεί την νεότερη γενιά του ανιχνευτή (κεφάλαιο 2).

Το δεύτερο κομμάτι της εργασίας αφορά το test beam του MAMMA Group. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι στόχοι του test beam, η πειραματική διάταξη και τα ηλεκτρονικά που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και πληροφορίες για τους θαλάμους που εξετάστηκαν. Τέλος, ένας αριθμός από διαγράμματα και ιστογράμματα παρουσιάζονται τα οποία συνοψίζουν τα βασικά σημεία της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στα αποτελέσματα του test beam.

Εν κατακλείδι, μπορούμε να πούμε ότι ο ανιχνευτής Micromegas στη πρόσφατη γενιά των resistive strips, απαλλαγμένος από το πρόβλημα των sparks, συνδυάζει την εξαιρετική διακριτική ικανότητα με την ομαλή λειτουργία σε δέσμη σωματιδίων. Όντας υποψήφιος για την αναβάθμιση του φασματοσκοπίου, τα χαρακτηριστικά του που παρουσιάζονται και στα αποτελέσματα που μελετήθηκαν φαίνονται να τον ωθούν προς αυτή την κατεύθυνση.

Abstract

The Micromegas detector is already in its second decade of life and already offers many promising qualities (good spatial resolution, radiation hardness, high rate measurements, good energy resolution, etc.) which make it suitable for a range of applications from High Energy Physics to industrial production. In this study, chambers built by the MAMMA Group at CERN have been tested on beam (July 2010) and some of the results are presented.

Specifically, in the first part of the thesis, the theoretical background for the main processes taking place inside a gas detector and the essential characteristics of the detectors in general are presented (Chapter 1). Consequently, the structure of the Micromegas detector is described and the characteristics which make it worthy candidate for the spectrometer of ATLAS as well as the technology of resistive micromegas, which is the newest generation of the detector are mentioned (section 2).

The second part of thesis revolves around the test beam of the MAMMA Group. Chapter 3 presents the objectives of the test beam, the set up and electronics that were used and the technical specifications of the chambers under study. Finally, a number of plots and histograms are presented that centralize the main points of the physics analysis conducted on the results of the MAMMA test beam.

In conclusion, it can be safely assumed that the latest generation of resistive micromegas, being spark free, combines the excellent resolution with the smooth operation on a beam. Being a candidate for the upgrade of the ATLAS spectrometer the characteristics presented by the results of this analysis work on its favor.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την πτυχιακή εργασία μου , θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους δασκάλους και καθηγητές μου όλα αυτά τα χρόνια, για την αγάπη που μου ενέπνευσαν στη μόρφωση και ιδιαιτέρως όλους αυτούς που με καθοδήγησαν και με βοήθησαν καθ' όλη τη διάρκεια τόσο της πειραματικής διαδικασίας όσο και της συγγραφής της εργασίας.

Κατ' αρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου κύριο Γεώργιο Τσιπολίτη, ο οποίος με τη διδασκαλία του κίνησε αρχικά το ενδιαφέρον μου και στη συνέχεια την αγάπη μου για την Πειραματική Φυσική Υψηλών Ενεργειών. Θερμές ευχαριστίες για την ευκαιρία που μου έδωσε να δουλέψω μαζί του σε θέματα σύγχρονης έρευνας, για τις συμβουλές του σε θέματα Φυσικής κι όχι μόνο καθώς και το κίνητρο που συνεχίζει να μου δίνει για να συνεχίσω την προσπάθεια.

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου κύριο Θεόδωρο Αλεξόπουλο, ο οποίος όλα αυτά τα χρόνια συνέβαλλε στο να αποκτήσω το μεράκι για την έρευνα, για τις συμβουλές του κατά την ανάλυση των δεδομένων και κυρίως για την υπομονή του στον καταϊγισμό ερωτήσεων στον οποίον τον υπέβαλα κατά τις νυχτερινές ώρες εργασίας στη Γενεύη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμη τον καθηγητή μου κύριο Ευάγγελο Γαζή για την υποστήριξη του, καθώς χωρίς την βοήθεια του τόσο σε θεωρητικά όσο και σε διαδικαστικά θέματα η εργασία αυτή δεν θα είχε ολοκληρωθεί.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ ανήκει στους δικούς μου ανθρώπους, στην οικογένεια μου, που χωρίς την ψυχολογική και υλική υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια δε θα μπορούσα να φτάσω έως εδώ, καθώς και στους φίλους μου για τις ώρες ξεγνοιασιάς που περνάμε, οι οποίες αποτελούν πανάκεια για όλα τα προβλήματα που εμφανίζονται στη ζωή μου, ενώ παράλληλα θα ήθελα να τους ζητήσω συγγνώμη για τις μέρες που τους παραμελούσα κατά τη διάρκεια της εργασίας αυτής αλλά και σε κάθε ξεταστική περίοδο.

*"If I have seen further than others, it is by standing upon the shoulders of giants."
Sir Isaac Newton*

1.1 Ανίχνευση Διαδικασιών

Η θεμελίωση των επιστημών είναι η πειραματική επιβεβαίωση και η ικανότητα επανάληψης μιας σειράς μετρήσεων για μια φυσική διαδικασία. Από την απαρχή της Πυρηνικής Φυσικής και της Φυσικής Υψηλών Ενεργειών κύριος στόχος των ερευνητών ήταν η δημιουργία μιας ανιχνευτικής διάταξης η οποία θα είναι ικανή να μετατρέπει την πληροφορία (πχ ενέργεια, ορμή σωματιδίων) που κρύβεται σε μια φυσική διαδικασία σε μια μορφή κατανοητή από τους ερευνητές. Συνεπώς, όταν αναφερόμαστε σε μια ανιχνευτική διάταξη στην ουσία αναφερόμαστε στο υλικοτεχνικό και λογισμικό υλικό που είναι απαραίτητο ώστε να λειτουργήσει ως σύνολο ο ανιχνευτής. Για την ανίχνευση μια οποιαδήποτε διαδικασία της Φύσης είναι αναγκαία η αλληλεπίδραση μαζί της με κάποιον τρόπο. Υπό αυτό το σκεπτικό γίνεται εύκολα κατανοητό πως διαφορετικά είδη διαδικασιών απαιτούν και διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης από τον ερευνητή.

1.1.1 Φωτόνια

Καθώς μια δέσμη φωτονίων έντασης I_0 περνάει διαμέσω ενός υλικού πάχους χ , η αλληλεπίδραση με αυτό προκαλεί εκθετική μείωση της αρχικής έντασης η οποία ακολουθεί τον νόμο

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu\chi}$$

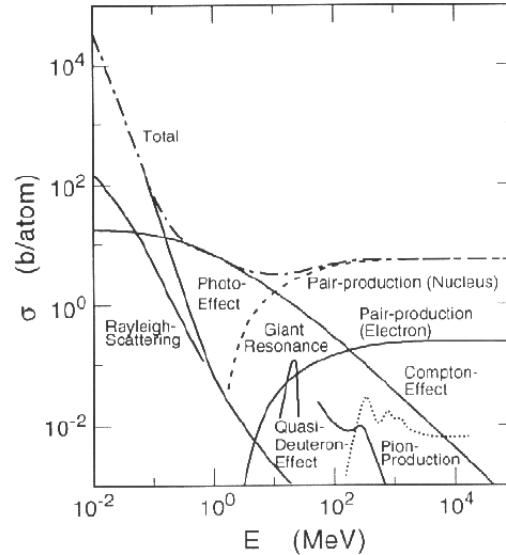
όπου $\mu = N\sigma_{tot}$ είναι ο συντελεστής απορρόφησης του υλικού (κοινώς μετρούμενος σε cm^2g^{-1}), N η πυκνότητα των ατόμων του υλικού και σ η ολική ενεργός διατομή ανά άτομο. Η ολική ενεργός διατομή για την αλληλεπίδραση των φωτονίων αποτελείται από τα επιμέρους

$$\sigma_{tot} = \Phi_{pc} + Z_{cs} + \tau_{pp}$$

όπου ο κάθε όρος αντιστοιχεί στην ενεργό διατομή σε κάθε μια από τις διαδικασίες αλληλεπίδρασης των φωτονίων με την ύλη: φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ¹ (*photoelectric conversion*, $\gamma + atom \rightarrow ion + e^-$), σκέδαση Compton (*Compton scattering*, $\gamma + e^- \rightarrow \gamma + e^-$) και δίδυμη γέννηση (*pair production*, $\gamma + nucleus \rightarrow e^- + e^+ + nucleus$) αντίστοιχα. Η πιθανότητα πραγματοποίησης της κάθε διαδικασίας,

¹Η ερμηνεία του φαινομένου από τον Albert Einstein κέρδισε το βραβείο Nobel Φυσικής το 1921.

με άλλα λόγια η ενεργός διατομή της διαδικασίας, εξαρτάται κυρίως από την ενέργεια των προσπίπτοντων σωματιδίων. Στο Σχήμα 1.1 φαίνεται η σχέση που συνδέει την ενεργό διατομή με την ενέργεια της δέσμης.



Σχήμα 1.1: Η ενεργός διατομή των κύριων διαδικασιών αλληλεπίδρασης των φωτονίων με την ύλη σε συνάρτηση με την ενέργεια των φωτονίων. Στην εικόνα πέρα από τις τρεις κύριες διαδικασίες φαίνονται κι η σκέδαση Rayleigh κι η δίδυμη γένεση σε ηλεκτρικό πεδίο.

Μια άλλη έκφραση της έντασης της δέσμης των φωτονίων προκύπτει χρησιμοποιώντας τη μέση ελεύθερη διαδρομή λ

$$I = I_0 \cdot e^{-\lambda x}$$

όπου η μέση ελεύθερη διαδρομή ορίζεται ως $\lambda = (\mu \cdot \rho)^{-1}$.

Οι προαναφερθέντες μηχανισμοί, όπως είναι εμφανές κι από το Σχήμα 1.1 εμφανίζονται σε διαφορετικά εύρη ενεργειών. Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, κατά το οποίο ένα φωτόνιο συναντά ένα ατομικό ηλεκτρόνιο και απορροφάται προσδίδοντας ενέργεια στο ηλεκτρόνιο ίση με

$$E_e = E_\gamma - E_{binding}$$

όπου $E_{binding}$ η ενέργεια δέσμευσης του ηλεκτρονίου από τον πυρήνα, αποδεικνύεται πως ισχύει η σχέση για την ενεργό διατομή

$$\Phi_{pe} = 4\alpha\Phi_0 \left(\frac{m_e c^2}{h\nu} \right)^{7/2} Z^5$$

όπου $\alpha = 1/137$ η σταθερά της λεπτής υφής, $\Phi_0 \approx 6.651 \cdot 10^{-25} \text{ cm}^2$ και Z ο ατομικός αριθμός του υλικού του "στόχου". Σε αυτή τη σχέση διακρίνουμε πόσο σημαντικό ρόλο παίζει ο ατομικός αριθμός του στοιχείου για την ενεργό διατομή του εκάστοτε μηχανισμού, γεγονός που βρίσκει άμεση εφαρμογή στην διαδικασία σχεδιασμού μιας ανιχνευτικής διάταξης.

1.1.2 Φορτισμένα Σωματίδια

Παρά το γεγονός πως τα φορτισμένα σωματίδια όταν διέρχονται διαμέσω ενός υλικού αλληλεπιδρούν με πολλούς διαφορετικούς μηχανισμούς, η κύρια αλληλεπίδραση που μελετάται είναι η ηλεκτρομαγνη-

τική αλληλεπίδραση καθώς είναι πιο πιθανή από τις υπόλοιπες (ισχυρή, ασθενής) κι είναι κι η μοναδική που το αποτέλεσμα της είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως ανιχνεύσιμο σήμα από μια μετρητική συσκευή. Κύριο μέλημα αποτελεί λοιπόν η μελέτη της αλληλεπίδρασης Coulomb ανάμεσα στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από την προσπίπτουσα δέσμη φορτισμένων σωματιδίων, αλλά κι από το υλικό-στόχο και του αποτελέσματος της αλληλεπίδρασης αυτής, δηλαδή την διέγερση ή ακόμη και τον ιονισμό των ατόμων του υλικού. Θα πρέπει να τονιστεί σε αυτό το σημείο, πως η συνεισφορά άλλων μηχανισμών ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης, όπως για παράδειγμα η ακτινοβολία πέδησης (bremsstrahlung), ακτινοβολία Čerenkov κι η ακτινοβολία μετάβασης (transition radiation), είναι αμελητέα σε ότι αφορά τους ανιχνευτές αερίου.

Μια έκφραση για την απώλεια ενέργειας ενός φορτισμένου σωματιδίου το οποίο διέρχεται μέσα από ένα υλικό ατομικού αριθμού Z αποτελεί η συνάρτηση των Bethe και Bloch η οποία στο πλαίσιο της σχετικιστικής κβαντικής μηχανικής μπορεί να γραφεί ως

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi N_{\alpha} r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[\ln \left(\frac{2m_e u^2 \gamma^2 W_{max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 \right]$$

που όμως στην πράξη χρησιμοποιείται με ορισμένους παράγοντες διόρθωσης οπότε και παίρνει τη μορφή

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi N_{\alpha} r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[\ln \left(\frac{2m_e u^2 \gamma^2 W_{max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 - \delta - 2\frac{C}{Z} \right] \quad (1.1)$$

στην οποία έχουν εισαχθεί τα κάτωθι

r_e : η ακτίνα του ηλεκτρονίου από κλασικιστική σκοπιά

m_e : η μάζα του ηλεκτρονίου

N_{α} : ο αριθμός Avogadro

I : το μέσο έργο αφαίρεσης ενός ατομικού ηλεκτρονίου

A : ατομικό βάρος

W_{max} : μέγιστη μεταφερόμενη ενέργεια σε μια σύγκρουση

ρ : πυκνότητα του υλικού

z : φορτίο σε μονάδες e

β : u/c του προσπίπτοντος σωματιδίου

γ : $1/\sqrt{1-\beta^2}$

δ : διόρθωση πυκνότητας

C : διόρθωση φλοιού

όπου θα πρέπει να προσδιορίσουμε ότι η μέγιστη μεταφερόμενη ενέργεια υπολογίζεται για κατά μέτωπο συγκρούσεις για τις οποίες η ρελατιβιστική κινηματική δύο σωμάτων δίνει

$$W_{max} = \frac{2m_e c^2 \eta^2}{1 + 2s\sqrt{1 + \eta^2 + s^2}}$$

με $\eta = \beta \cdot \gamma$ και $s = m_e/M$.

Σε ό,τι αφορά τον παράγοντα δ στη σχέση 1.1, αυτός αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως παράγοντας πυκνότητας και η εισαγωγή του στην σχέση είναι αποτέλεσμα του ότι το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ενός σωματιδίου τείνει να πολώνει τα άτομα του υλικού μέσα στο οποίο κινείται. Από αυτή την πόλωση τα ηλεκτρόνια τα οποία βρίσκονται μακριά από την τροχιά της προσπίπτουσας δέσμης θωρακίζονται και συνεπώς αλληλεπιδρούν ασθενέστερα απ' ότι αυτά που γειτνιάζουν στη δέσμη. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως *φαινόμενο πυκνότητας*.

Ακόμη ο παράγοντας C ο οποίος χαρακτηρίζεται ως διόρθωση φλοιού έρχεται να συμπληρώσει την φόρμουλα 1.1 ώστε να περιλαμβάνει και φαινόμενα στα οποία η ταχύτητα του προσπίπτοντος σωματιδίου είναι μικρότερη από την τροχιακή ταχύτητα των δεσμευμένων ηλεκτρονίων. Σε τέτοιο ενεργειακό επίπεδο, η υπόθεση ότι το ηλεκτρόνιο είναι ακίνητο σε σχέση με το προσπίπτον σωματίδιο δεν στέκει. Ένας εμπειρικός νόμος για την διόρθωση αυτή είναι για $\eta > 0.1$ η εξής

$$C(I, \eta) = (0.422377\eta^{-2} + 0.0304043\eta^{-4} - 0.00038106\eta^{-6}) \times 10^{-6} I^2 + (3.850190\eta^{-2} - 0.1667989\eta^{-4} + 0.00157955\pi^{-6}) \times 10^{-9} I^3$$

Τέλος, συχνά χρησιμοποιούμε το ανηγμένο πάχος του υλικού το οποίο ορίζεται ως $x = X \cdot \rho$ μετρούμενο σε $g \cdot cm^{-2}$ οπότε κι η σχέση 1.1 γράφεται στη μορφή

$$\frac{dE}{dx} = \frac{1}{\rho} \frac{dE}{dX}$$

1.2 Ενεργειακές Απώλειες

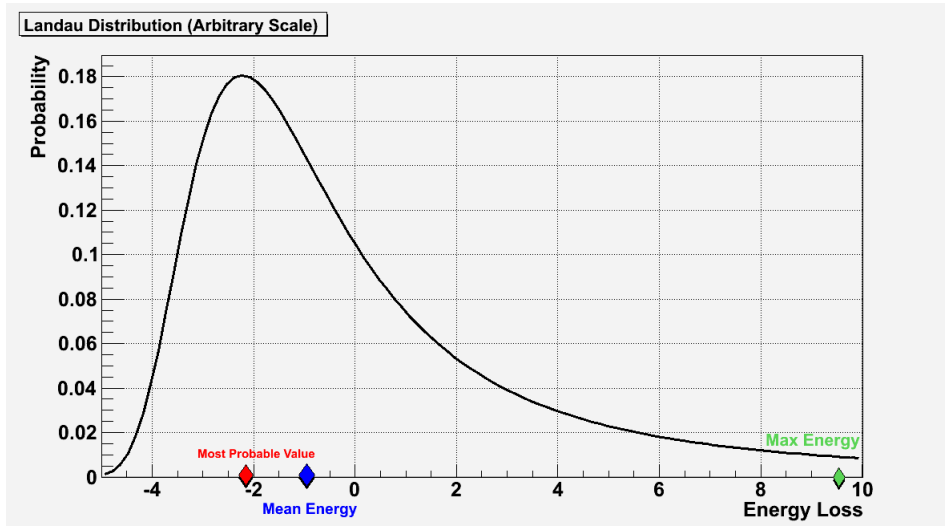
Παρά το γεγονός ότι η Bethe-Bloch μας δίνει τη μέση τιμή των ενεργειακών απωλειών, στατιστικές διακυμάνσεις στον αριθμό των συγκρούσεων λαμβάνουν μέρος στο ποσοστό της ενέργειας το οποίο μεταφέρεται σε κάθε σύγκρουση. Η συνεισφορά του στατιστικού αυτού φαινομένου καλείται *συνεισφορά Landau*. Η μορφή της κατανομής αυτής δίνεται από τη σχέση

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\lambda + e^{-\lambda})}$$

που με λ συμβολίζεται η κανονικοποιημένη απόκλιση από την πιο πιθανή ενεργειακή απώλεια $(\Delta E)_{mp}$, όταν ΔE είναι η πραγματική απώλεια και ξ η μέση ενεργειακή απώλεια:

$$\lambda = \frac{\Delta E - (\Delta E)_{mp}}{\xi}$$

$$\xi = K\rho \frac{Z z^2}{A \beta^2}$$



Σχήμα 1.2: Λόγω της στατιστικής φύσης των συγκρούσεων στις ενεργειακές απώλειες πρέπει να εισάγεται και η συνεισφορά Landau, η οποία έχει την μορφή που αναπαριστάται εδώ (η κλίμακα είναι αυθαίρετη). Η κορυφή της είναι γνωστή ως Landau MPV (Most Probable Value).

Η κορυφή σε αυτό το διάγραμμα, ή όπως αποκαλείται η *most probable value (mpv)* της κατανομής Landau, δίνει την πιο πιθανή τιμή απώλειας ενέργειας $(\Delta E)_{mp}$. Παρατηρούμε ακόμη ότι η κατανομή έχει μια ουρά στην περιοχή υψηλών ενεργειακών απωλειών, η οποία οφείλεται στις ακτίνες δ^2 (ή ηλεκτρόνια δέλτα). Αυτή η ουρά αναγκάζει την μέση τιμή ξ των ενεργειακών απωλειών να μετατοπίζεται προς τα δεξιά, δηλαδή σε υψηλότερες τιμές.

1.3 Βεληνεκές Ηλεκτρονίων

Κατά τον ιονισμό, τα ηλεκτρόνια που εκτινάσσονται μπορούν να έχουν ενεργειακές τιμές έως ένα κατώφλι μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής E_{max} . Ηλεκτρόνια με ενέργεια μερικών keV είναι γνωστά ως ακτίνες δ . Η πιθανότητα να εκτιναχθεί ένα ηλεκτρόνιο με συγκεκριμένη ενέργεια E είναι

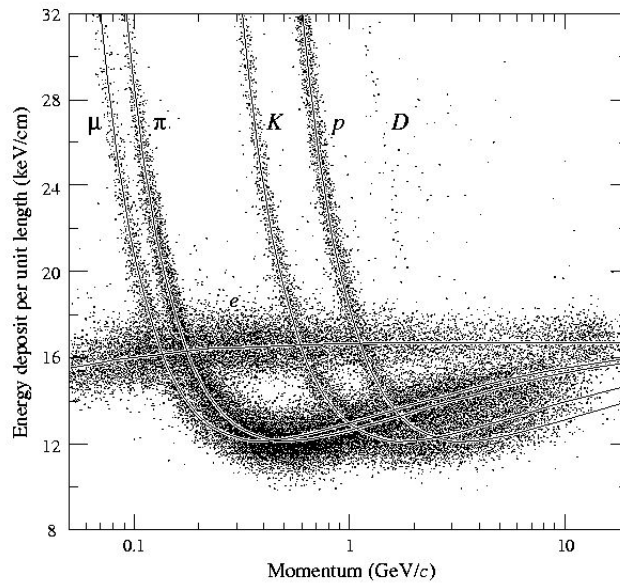
$$P(E) = K \frac{Z \rho X}{A \beta^2 E^2}$$

που στην ουσία είναι ο πρώτος όρος της σχέσης Bethe-Bloch.

Ο αριθμός των ακτίνων- δ που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη ή ίση με E_0 δίνεται ως

$$N(E \geq E_0) = \int_{E_0}^{E_{max}} P(E) dE = W \left(\frac{1}{E_0} - \frac{1}{E_{max}} \right) \approx \frac{W}{E_0}$$

όπου η προσέγγιση ισχύει για $E_0 \ll E_{max}$.



Σχήμα 1.3: Η απώλεια ενέργειας ως συνάρτηση της ορμής του σωματιδίου για διάφορα σωματίδια όπως αυτή υπολογίζεται από την σχέση Bethe-Bloch. Όπως φαίνεται σωματίδια με ορμή μεγαλύτερη του $1 GeV$ έχουν την ίδια ενεργειακή απώλεια. Η περιοχή αυτή ονομάζεται πλατό ελάχιστης ιονιστικής ικανότητας (minimum ionization plateau).

Για τα ηλεκτρόνια- δ ισχύει ότι εκπέμπονται σε μια γωνία της οποίας το συνημίτονο δίνεται από τη

² δ -rays

Ενέργεια (keV)	Εβέλεια στο Ar (μm)	Εμβέλεια στο Kr (μm)
0.3	18	8
0.5	30	14
0.75	47	22
1	65	31
5	505	241
7	832	397
10	1450	692
12	1947	930

Πίνακας 1.1: Το βεληνεκές ηλεκτρονίων με διάφορες τιμές ενέργειας καθώς διασχίζουν αέριο Ar σε σύγκριση με αέριο Kr.

$$\cos^2 \theta = \frac{E}{E_{max}}$$

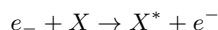
άρα σε μεγάλες ενέργειες (αρκετά keV) $\cos \theta \rightarrow 0 \iff \theta = 90^\circ$.

Μέσα στο υλικό και συγκεκριμένα, αφού μιλάμε για ανιχνευτές αερίου, μέσα στο αέριο, τα ηλεκτρόνια ανάλογα με την ενέργεια τους διανύουν ένα συγκεκριμένο μήκος σκεδαζόμενα ελαστικά και ανελαστικά από τα μόρια του αερίου. Το ολικό βεληνεκές R_{tot} για ηλεκτρόνιο ενέργειας E κατά μήκος της τροχιάς υπολογίζεται ολοκληρώνοντας την Bethe-Bloch, απαιτώντας το ολοκλήρωμα αυτό να δίνει την ολική ενέργεια. Παρ' όλα αυτά όμως, επειδή όπως προαναφέρθηκε οι συγκρούσεις μεταξύ σωματιδίων της δέσμης και του υλικού είναι μια στατιστική διαδικασία, διακυμάνσεις του αριθμού των συγκρούσεων επηρεάζουν το συνολικά υπολογιζόμενο βεληνεκές. Έτσι είναι σύνηθες να χρησιμοποιείται ένα πρακτικό βεληνεκές R_{pr} που συνήθως είναι δύο ή τρεις φορές μικρότερο από το R_{tot} κι εν γένει είναι αποτέλεσμα της απορρόφησης του μέσου. Εμπειρικά, για ενέργειες μερικών εκατοντάδων keV ισχύει για το πρακτικό βεληνεκές

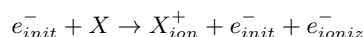
$$R_{pr} = 0.71 \cdot E^{1.72} \quad E[\text{MeV}]$$

1.4 Διέγερση κι Ιονισμός

Η ποσότητα ενέργειας που χάνεται με τη διέλευση της δέσμης των φορτισμένων σωματιδίων διαμέσω του αερίου αποδίδεται στα άτομα του αερίου με αποτέλεσμα την διέγερση τους ή τον ιονισμό τους. Για τη διέγερση απαιτείται μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας ίση με το ενεργειακό χάσμα μεταξύ των ενεργειακών σταθμών του ατόμου του αερίου. Έτσι για να διεγερθεί ένα άτομο σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη θα πρέπει το ηλεκτρόνιο-βλήμα να φέρει ενέργεια ίση με τη διαφορά $E_{final} - E_{initial}$ των σταθμών μετάβασης. Η διέγερση συμβολίζεται ως



όπου με X^* συμβολίζεται η διεγερμένη κατάσταση του ατόμου. Μια τέτοια αντίδραση που απαιτεί συγκεκριμένο ποσό ενέργειας ονομάζεται συντονισμένη αντίδραση και συνήθεις τιμές για την ενεργό διατομή (cross section) είναι της τάξης $\sigma \sim 10cm^2$. Όσο το άτομο βρίσκεται στη διεγερμένη κατάσταση είναι δυνατό να παίρνει μέρος σε άλλες αντιδράσεις, οι οποίες πιθανόν να έχουν ως αποτέλεσμα τον ιονισμό. Αντίθετα, στον ιονισμό δεν απαιτείται συγκεκριμένο ποσό ενέργειας για την πραγματοποίησή του, υπάρχει όμως ένα κατώτατο ενεργειακό κατώφλι κάτω από το οποίο δεν είναι δυνατός ο ιονισμός του ατόμου. Ο ιονισμός συνήθως συμβολίζεται ως



όπου απεικονίζεται ο διαχωρισμός του ατόμου σε ένα θετικό ιόν κι ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Η ενεργός διατομή αυτής της αντίδρασης είναι της τάξης του $\sigma \sim 10^{-16} \text{ cm}^2$. Σε ένα μεγάλο ποσοστό αυτών των ιονισμών η ενέργεια που αποδίδεται στο εξαγόμενο ηλεκτρόνιο είναι αρκετά υψηλή ώστε το ίδιο ηλεκτρόνιο είναι δυνατό να προκαλέσει μετέπειτα ιονισμούς. Οι δύο αυτές κατηγορίες ιονισμών διαχωρίζονται με τους όρους *πρωτογενής* και *δευτερογενής* ιονισμός. Ένας επιπλέον μηχανισμός ιονισμού που απαντάται συνήθως στα ευγενή αέρια, τα οποία μάλιστα χρησιμοποιούνται κατά κόρων στους ανιχνευτές αερίου, είναι η δημιουργία μοριακών ιόντων. Σύμφωνα με αυτόν τον μηχανισμό ένα αέριο με θετικά ιόντα αντιδρά με ένα ουδέτερο άτομο ίδιου τύπου για τη δημιουργία ενός μοριακού ιόντος.

Η διαδικασία του ιονισμού είναι στατιστικής φύσης καθώς δεν είναι δεδομένη η ενεργειακή απώλεια του φορτισμένου σωματιδίου μέσα στον όγκο του αερίου. Το συνολικό αποτέλεσμα του ιονισμού ως διαδικασία είναι το αλγεβρικό άθροισμα του πρωτογενή κι όλων των δευτερογενών ιονισμών που πραγματοποιούνται ανεξάρτητα από τον μηχανισμό με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν. Αριθμητικά ο αριθμός των συνολικών ζευγών ηλεκτρονίων-ιόντων που δύναται να παραχθεί δίνεται από τη σχέση

$$n_T = \frac{\Delta E}{W_i} \quad (1.2)$$

όπου ΔE είναι το συνολικό ποσό ενέργεια που χάνεται και W_i η μέση τιμή ενέργειας που απαιτείται για τη δημιουργία ενός ζεύγους ηλεκτρονίου-ιόντος. Το φυσικό ενδιαφέρον της σχέσης αυτής βρίσκεται κρυμμένο στο γεγονός ότι ο αριθμός των ζευγών είναι ανεξάρτητος από το είδος του αρχικού προσπίπτοντος σωματιδίου, αλλά κι από το αέριο. Επιπροσθέτως, η μέση τιμή της ενέργειας W_i που χρησιμοποιείται στη σχέση 1.2 διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση (efficiency) του ανιχνευτή και την ενεργειακή διακριτική ικανότητα (energy resolution) του.

1.5 Ηλεκτρονιακή Χιονοστιβάδα

Μετά τη δημιουργία του ζεύγους ηλεκτρονίου-ιόντος, τα αντίθετα φορτισμένα μέρη του ζεύγους έλκονται από το ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει σε μια ανιχνευτική διάταξη κι η πτώση τάσης που δημιουργούν στον ανιχνευτή χρησιμοποιείται ως παλμικό σήμα. Αν παρ' όλα αυτά η ένταση του πεδίου σε κάποια περιοχή του ανιχνευτή είναι υψηλή, τότε ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να αποκτήσει αρκετή ενέργεια ώστε να ιονίσει κι άλλο ένα άτομο. Έτσι ο συνολικός αριθμός των φορέων φορτίου αυξάνεται. Έτσι το ύψος του παλμού ΔU αυξάνεται κατά έναν παράγοντα A ο οποίος αντικατοπτρίζει τον παράγοντα ενίσχυσης, με αποτέλεσμα

$$\Delta U = -\frac{eN}{C} \cdot A$$

Το ενεργειακό όφελος ανάμεσα σε δύο συγκρούσεις είναι

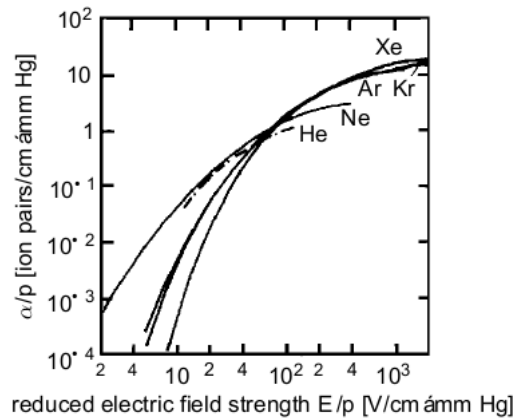
$$\Delta E_{kin} = eE \cdot \lambda$$

όπου υποθέτουμε ότι το πεδίο \vec{E} δεν αλλάζει κατά μήκος ενός λ (μέση ελεύθερη διαδρομή). Αν η ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι χαμηλότερη από το κατώφλι ιονισμού (I_{ion}), τότε χάνει ενέργεια χωρίς να ιονίσει. Αν όμως ξεπερνάει αυτό το κατώφλι τότε ιονίζει τα άτομα του αερίου. Η πιθανότητα για ένα ηλεκτρόνιο να διασχίσει απόσταση $\lambda > \lambda_{ion} = I_{ion}/(eE)$ χωρίς να συγκρουσθεί είναι $e^{-\lambda_{ion}/\lambda}$. Αφού ένα ηλεκτρόνιο εκτελεί $1/\lambda$ συγκρούσεις ανά μονάδα μήκους, τότε ο συνολικός αριθμός ιονισμών ανά μονάδα μήκους, γνωστός κι ως ο πρώτος παράγοντας Townsend, γράφεται ως

$$\alpha = \frac{1}{\lambda} e^{-\lambda_{ion}/\lambda} \quad (1.3)$$

Αν ληφθεί υπόψιν ότι η μέση ελεύθερη διαδρομή είναι αντιστρόφως ανάλογη της πίεσης τότε η σχέση 1.3 γράφεται ως

$$\frac{\alpha}{p} = A \cdot e^{\frac{B}{E/p}}$$

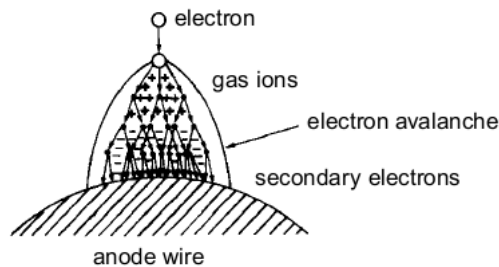


Σχήμα 1.4: Ο συντελεστής Townsend για τα ευγενή αέρια.

όπου A και B σταθερές. Συνεπώς, αν N_0 είναι τα αρχικά ηλεκτρόνια τότε ο αριθμός των ηλεκτρονίων $N(x)$ που έχουν παραχθεί σε μήκος x δίνεται ως

$$dN(x) = \alpha N(x) dx \iff N(x) = N_0 e^{\alpha x} = N_0 \cdot e^{\int_{r_k}^{r_i} \alpha(x) dx} = N_0 \cdot A$$

Συνεπώς το μετρούμενο ύψος του παλμού θα είναι ανάλογο του παραγόμενου ιονισμού, διαμέσω του παράγοντα ενίσχυσης A . Ο παράγοντας αυτός αυξάνει εκθετικά με την τάση της ανόδου και παρ' ότι ο αναλυτικός υπολογισμός του είναι δύσκολος, η μέτρηση του είναι σχετικά απλή διαδικασία. Αν έχουμε N_0 αρχικούς φορείς φορτίου, τότε το συνολικό φορτίο δίνεται ως $Q = e \cdot N_0 \cdot A$. Με γνωστό το Q και το N_0 ο παράγοντας A υπολογίζεται εύκολα.



Σχήμα 1.5: Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας μιας ηλεκτρονιακής χιονοστιβάδας κοντά σε ένα καλώδιο ανόδου. Λόγω της διάχυσης του αερίου η χιονοστιβάδα παίρνει το σχήμα σταγόνας.

Σε συγκρούσεις ηλεκτρονίων με άτομα ή μόρια αερίου σε ηλεκτρικά πεδία υψηλής έντασης λαμβάνουν χώρα όχι μόνο ιονισμοί, αλλά και διεγέρσεις. Η αποδιέγερση των ατόμων αυτών γίνεται με την εκπομπή φωτονίου. Όμως τα φωτόνια αυτά έχουν τη δυνατότητα να παράξουν επιπλέον ηλεκτρόνια εξαιτίας του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Αυτός ο μηχανισμός της συνεχούς δημιουργίας φορέων φορτίου ονομάζεται ηλεκτρονιακή χιονοστιβάδα. Αν η πιθανότητα παραγωγής ενός ηλεκτρονίου από τη χιονοστιβάδα είναι γ , τότε ο αριθμός των επιπλέον ηλεκτρονίων που παράγονται από τα αρχικά N_0 είναι

$\gamma(N_0A)$. Αυτά βέβαια πολλαπλασιάζονται κι έτσι στην δεύτερη γενιά θα υπάρχουν $\gamma(N_0A) \cdot A = \gamma N_0 A^2$ φωτοηλεκτρόνια κ.ο.κ. Ο παράγοντας γ ονομάζεται δεύτερος (ή ειδικός) παράγοντας Townsend.

Η διαδικασία σχηματισμού της χιονοστιβάδας γίνεται στην γύρω περιοχή της ανόδου. Θα πρέπει να σημειωθεί δε ότι το μισό από το συνολικό φορτίο που παράγεται, δημιουργείται στην τελευταία γενιά της χιονοστιβάδας. Επειδή τέλος η μέση ελεύθερη διαδρομή των ηλεκτρονίων είναι της τάξης των μm , η όλη διαδικασία δεν απαιτεί περισσότερο από $10 - 20 \mu m$.

1.6 Κίνηση Φορτισμένων Σωματιδίων σε Αέρια

Ένα κρίσιμο σημείο για την κατανόηση των αρχών λειτουργίας των ανιχνευτών αερίου είναι ο τρόπος κίνησης των ηλεκτρονίων και των ιόντων στο αέριο μείγμα του ανιχνευτή. Οι δύο κύριοι μηχανισμοί που λαμβάνουν μέρος είναι η ολίσθηση (drift) και η διάχυση (diffusion).

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο, οι φορείς φορτίου που δημιουργούνται κατά τον ιονισμό χάνουν γρήγορα την ενέργεια τους από τις συνεχείς συγκρούσεις με τα μόρια του αερίου, θερμοποιούνται και τελικά επανασυνδέονται. Η κινητική ενέργεια τους οφείλεται στη θερμότητα και είναι ίση με $E_{kin} = \frac{3}{2}kT \approx 0.04eV$ (STP). Η κατανομή που ακολουθούν οι ταχύτητες των σωματιδίων αυτών είναι η κατανομή Maxwell με μέση ταχύτητα

$$u = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

απ' όπου φαίνεται ότι για την ίδια θερμοκρασία η μέση ταχύτητα των ιόντων είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη των ηλεκτρονίων λόγω της μεγαλύτερης μάζας τους. Σε θερμοκρασία δωματίου, η ταχύτητα του ηλεκτρονίου είναι της τάξης των $10^6 cm/s$, ενώ των θετικών ιόντων της τάξης των $10^4 cm/s$.

Επιπροσθέτως, σύμφωνα με την κινηματική θεωρία των αερίων, μια συγκεντρωμένη κατανομή φορτίου που διαχέεται λόγω συνεχών συγκρούσεων αν αποτελείται από N σωματίδια τότε η εξάρτηση του N από το μήκος διάχυσης x σε χρόνο t θα ακολουθεί κατανομή Gauss

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N_0}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-x^2/4Dt}$$

όπου με N_0 συμβολίζουμε τον συνολικό αριθμό των φορτισμένων σωματιδίων και με D το συντελεστή διάχυσης. Η τυπική απόκλιση της διάχυσης για τον χώρο ($r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$) δίνεται ως

$$\sigma(r) = \sqrt{6Dt}$$

ενώ ο συντελεστής διάχυσης υπολογίζεται ως

$$D = \frac{1}{3}u\lambda \quad (1.4)$$

όπου με λ συμβολίζεται τη μέση ελεύθερη διαδρομή του φορέα φορτίου στο αέριο. Για τα τέλεια αέρια το λ εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{kT}{\sigma_0 p} \quad (1.5)$$

όπου με σ_0 συμβολίζεται η ολική ενεργός διατομή για μια σύγκρουση με ένα μόριο του αερίου. Έτσι με βάση την σχέση 1.5 η σχέση 1.4 γίνεται

$$D = \frac{2}{3\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{(kT)^3}{m}}$$

Στην αντίθετη περίπτωση, όπου υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο, οι φορείς φορτίου επιταχύνονται κατά μήκος των δυναμικών γραμμών του. Η επιτάχυνση αυτή όμως δεν είναι συνεχής, αλλά διακόπτεται από

τις συγκρούσεις με τα άτομα του αερίου, γεγονός που περιορίζει τη μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί το σωματίδιο μέσα στο αέριο. Η μέση ταχύτητα που αποκτάται είναι γνωστή ως ταχύτητα ολίσθησης (drift velocity) του φορτίου και σε σύγκριση με τη θερμική ταχύτητα η μέση ταχύτητα ολίσθησης των ιόντων είναι κατά πολύ μικρότερη, η δε ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη θερμική.

Είναι χρήσιμο να ορίσουμε την ευκινησία (mobility) ενός φορτίου με τη σχέση

$$\mu = \frac{u_d}{|\vec{E}|}$$

όπου u_d είναι η ταχύτητα ολίσθησης. Για σταθερή πίεση του αερίου, η ευκινησία είναι σταθερή. Στα τέλεια αέρια όμως, όπου τα κινούμενα φορτία παραμένουν σε θερμική ισορροπία, η ευκινησία σχετίζεται με τη σταθερά διάχυσης ως

$$\frac{D}{\mu} = \frac{kT}{e}$$

Η ευκινησία των ηλεκτρονίων είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την ευκινησία των ιόντων κι εξαρτάται από την ένταση \vec{E} του ηλεκτρικού πεδίου και είναι δυνατόν να έχουν τιμή της τάξης των $10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ σε πεδία $1 \text{ kV/cm} \cdot \text{atm}$. Αυτός είναι κι ο λόγος που κατά τον ιονισμό τα αντιθέτως κινούμενα ιόντα και ηλεκτρόνια σχηματίζουν τη μορφή σταγόνας γύρω από την περιοχική της ανόδου.

1.7 Ανιχνευτές Αερίου

Από την ανακάλυψη της ακτινοβολίας τέθηκε το ερώτημα της βέλτιστης ανίχνευσης της από μετρητικές συσκευές. Σύντομα έγινε ξεκάθαρο πως το βέλτιστο μέσο για χρήση θα ήταν ένα μείγμα αερίου, λόγω της μεγάλης κινητικότητας των ηλεκτρονίων. Με την ανάπτυξη πολλών γενιών ανιχνευτικών διατάξεων, μία από τις οποίες, οι MultiWired Proportional Chambers (MWPC) του G. Charpak, κέρδισε το βραβείο Nobel το 1992, φάνηκαν τα πλεονεκτήματα χρήσης ανιχνευτών αερίου για τα πειράματα Φυσικής Υψηλών ενεργειών. Μερικά από αυτά τα πλεονεκτήματα είναι

- Καλή χρονική διακριτική ικανότητα
- Χωρική διακριτική ικανότητα (μερικές δεκάδες μm)
- Ενεργειακή διακριτική ικανότητα
- Ικανότητα ανίχνευσης σε υψηλές συχνότητες λήψης δεδομένων (10^4 μετρήσεις $\text{mm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
- Ικανότητα αυτο-σκανδαλισμού.³
- Χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης.

Στη σύγχρονη έρευνα η πλειονότητα των ανιχνευτικών διατάξεων χρησιμοποιεί ένα πλήθος από ανιχνευτές αερίου και μάλιστα η χρήση τους έχει εξαπλωθεί για την επίτευξη στόχων σε άλλους ερευνητικούς και βιομηχανικούς κλάδους εκτός της Φυσικής Υψηλών Ενεργειών.

Οι ανιχνευτές αερίου λειτουργούν εκμεταλλευόμενοι το φαινόμενο του ιονισμού, το οποίο προκαλείται από την ακτινοβολία καθώς αυτή διέρχεται από το αέριο. Στην απλούστερη του μορφή ένας μετρητής αερίου αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια στα οποία εφαρμόζεται υψηλή τάση. Ο χώρος ανάμεσα στα ηλεκτρόδια γεμίζει με αέριο. Η ακτινοβολία περνώντας από το αέριο εναποθέτει μέρος ή ολόκληρη την ενέργεια της δημιουργώντας ζεύγη ιόντων-ηλεκτρονίων. Τόσο τα ιόντα όσο και τα ηλεκτρόνια φέρουν φορτίο και συνεπώς κινούνται μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο υπό την ύπαρξη δυναμικού. Η κίνηση αυτή προκαλεί ένα ρεύμα στα ηλεκτρόδια το οποίο είναι δυνατό να μετρηθεί (integrating chamber) ή με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτρονικών να μετατραπεί σε έναν παλμό (pulse chamber), έτσι ώστε κάθε παλμός να αντιστοιχεί σε ένα σωματίδιο.

³Self-triggered Operation: Η διαδικασία κατά την οποία ένα σήμα από την ίδια ανιχνευτική διάταξη χρησιμοποιείται για την εκκίνηση μιας ακόλουθης διαδικασίας (πχ της λήψης δεδομένων).

Μέσα σε ένα ιονισμένο αέριο, αν δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα κινούνται σε τυχαίες κατευθύνσεις με κινητική ενέργεια $\frac{3}{2}kT$ (όπου k η σταθερά του Boltzmann και T η θερμοκρασία). Με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου και οι δύο φορείς αποκτούν ταχύτητα με κατεύθυνση σύμφωνη με τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου, τα ηλεκτρόνια κινούνται προς το θετικό ηλεκτρόδιο και τα ιόντα προς το αρνητικό.

Οι σημαντικότερες τομές στη κατηγορία των ανιχνευτών αερίου εισήχθησαν από τους Multi-Wire Proportional Counters (MWPC) και τους Micro-Pattern Gaseous Detectors (MPGD).

1.7.1 Multi-Wire Proportional Chambers

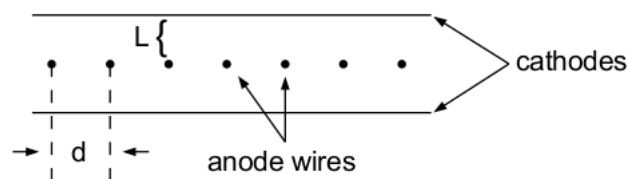
Ένας multiwire proportional chamber (MWPC) είναι στην ουσία ένας επίπεδος αναλογικός απαριθμητής χωρίς διαχωριστικές επιφάνειες. Το σχήμα του ηλεκτρικού πεδίου είναι σχεδόν ομογενές, εκτός από μια περιοχή γύρω από τα καλώδια ανόδου. Θεωρώντας ότι οι άνοδοι βρίσκονται στο $y = 0$ και $x = 0, \pm d, \pm 2d, \dots$ στο καρτεσιανό επίπεδο (βλ. σχήμα 1.7) τότε το δυναμικό παίρνει την αναλυτική μορφή

$$U(x, y) = \frac{CV}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{2\pi L}{d} - \ln \left[4 \left(\sin^2 \frac{\pi x}{d} + \sinh^2 \frac{\pi y}{d} \right) \right] \right\}$$

όπου L, d τα γεωμετρικά στοιχεία του ανιχνευτή (βλ. σχήμα 1.6), V η τάση της ανόδου, ϵ_0 η επιδεκτικότητα του κενού και C η χωρητικότητα ανά μονάδα μήκους που δίνεται ως

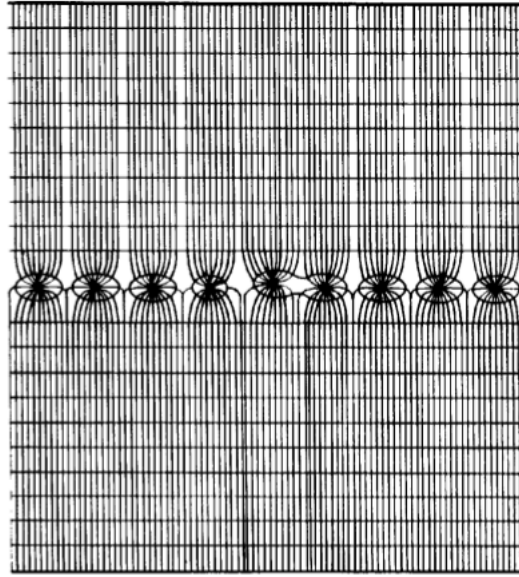
$$C = \frac{4\pi\epsilon_0}{2 \left(\frac{\pi L}{d} - \ln \frac{2\pi r_i}{d} \right)}$$

όπου με r_i συμβολίζεται η ακτίνα κάθε καλωδίου της ανόδου.



Σχήμα 1.6: Το σχεδιάγραμμα της διάταξης ενός multiwire proportional chamber. Οι άνοδοι βρίσκονται σε απόσταση L από τις πλάκες καθόδου και σε απόσταση d μεταξύ τους

Ο MWPC είναι μια ανιχνευτική διάταξη που βασίζεται στο ιονισμό των ατόμων του αερίου που περιέχει. Ένα από τα φαινόμενα τα οποία συμβάλλουν στη λήψη σήματος από τον ανιχνευτή είναι η χιονοστιβάδα ηλεκτρονίων (electron avalanche). Επειδή η πλειονότητα του φορτίου δημιουργείται κοντά στην περιοχή της ανόδου, το σήμα που χρησιμοποιείται είναι εκείνο των αργά κινούμενων προς την κάθοδο θετικών ιόντων. Η χρονική εξέλιξη δημιουργίας της χιονοστιβάδας σε έναν MWPC φαίνεται στο σχήμα 1.8. Ένα αρχικό ηλεκτρόνιο ολισθαίνει προς την άνοδο (a), το ηλεκτρόνιο επιταχύνεται από το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο στην εγγύς περιοχή της ανόδου με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκτήσει αρκετή ενέργεια ικανή για να ιονίσει επιπλέον άτομα του αερίου. Αυτή είναι κι η στιγμή που η δημιουργία της χιονοστιβάδας ξεκινάει (b). Ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα που δημιουργήθηκαν κατά τον ιονισμό βρίσκονται ουσιαστικά στον ίδιο χώρο. Ο πολλαπλασιασμός των φορέων φορτίου τελειώνει όταν το πεδίο των θετικών ιόντων που έχει δημιουργηθεί εξουδετερώνει εν μέρει το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Μετά τη δημιουργία των φορέων, ιόντα και ηλεκτρόνια ολισθαίνουν σε διαφορετικές κατευθύνσεις (c). Το ηλεκτρονιακό νέφος κινείται προς την άνοδο και πλαταίνει ελάχιστα λόγω της πλευρικής διάχυσης. Ανάλογα με την διεύθυνση του προσπίπτοντος αρχικού ηλεκτρονίου δύναται να υπάρχει μια μικρή ασυμμετρία στην κατανομή των φορέων φορτίου γύρω από την άνοδο. Σε αυτή την περίπτωση, εξαιτίας της χρήσης παχέος καλωδίου για την άνοδο, αλλά και λόγω της απορρόφησης των φωτονίων η δημιουργία



Σχήμα 1.7: Το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό ενός multiwire proportional chamber. Οι γραμμές αναπαριστούν τις δυναμικές γραμμές. Είναι εμφανές ότι το πεδίο είναι ομογενές στο μεγαλύτερο μέρος του χώρου εκτός από την περιοχή γύρω από τις ανόδους.

της χιονοστιβάδας περιορίζεται στην κατεύθυνση της ανόδου στην οποία προσέπεσε το πρωταρχικό ηλεκτρόνιο (d). Στο τελευταίο στάδιο, το νέφος των ιόντων υποχωρεί ριζικά ολισθαίνοντας προς την κάθοδο (e).

Όσον αφορά τα μίγματα αερίων που χρησιμοποιούνται στους MWPC's, αυτά είναι κυρίως μίγματα ευγενών αερίων όπως Ar , Xe με προσθήκες CO_2 , CH_4 , ισοβουτάνιου και λοιπών υδρογοναθράκων. Οι ενίσχυση που επιτυγχάνεται σε αυτά τα αέρια είναι της τάξης του 10^5 , ενώ για να επιτευχθεί γρήγορη λήψη σήματος χρησιμοποιούνται αέρια με μεγάλη ηλεκτρονιακή ευκινησία. Για παράδειγμα, σε μείγμα $CF_4 : C_4H_{10} - 10 : 90$ η χρονική διακριτική ικανότητα (time resolution) είναι της τάξης των $4.1ns$.

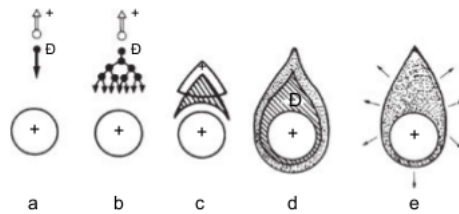
Όταν σε έναν θάλαμο η πιθανότητα για επεξεργασία της αναλογικής πληροφορίας δε χρησιμοποιείται και τη θέση της παίρνει η εφαρμογή ενός κατωφλιού όπου μόνο σήματα πάνω από αυτό γίνονται αποδεκτά, τότε ο θάλαμος χρησιμοποιείται ως ανιχνευτής τροχιών (tracker, track detector). Αν η απόσταση μεταξύ δύο ανόδων είναι $d = 2mm$ τότε η τυπική απόκλιση της χωρικής διακριτικής ικανότητας δίνεται από

$$\sigma(x) = \frac{d}{\sqrt{12}} = 557\mu m$$

Ο κύριος λόγος που περιορίζει την ελαχιστοποίηση της απόστασης d μεταξύ των καλωδίων της ανόδου είναι η ηλεκτροστατική απώθηση που αναπτύσσεται μεταξύ τους. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνεται υπόψη κατά τη κατασκευή του MWPC και η θέση του καλωδίου είναι σταθερή αν και μόνο αν η τάση T που αναπτύσσεται σε αυτό είναι

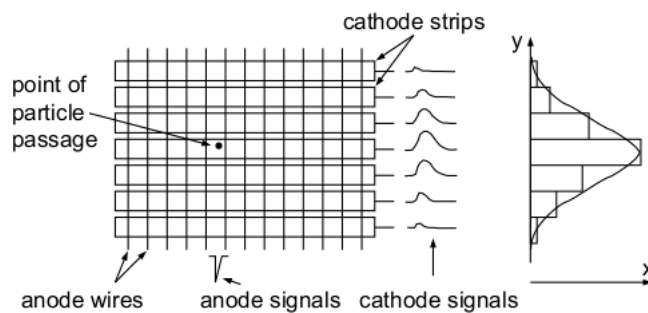
$$V \leq \frac{d}{lC} \sqrt{4\pi\epsilon_0 T}$$

όπου με V είναι η τάση της ανόδου, l το μήκος του καλωδίου και C η χωρητικότητα ανά μονάδα μήκους του ανιχνευτή. Είναι εμφανές πως σε μακρύτερα καλώδια θα πρέπει να ασκηθεί μεγαλύτερη τάση και



Σχήμα 1.8: Χρονική και χωρική εξέλιξη ηλεκτρονιακής χιονοστιβάδας σε έναν MWPC.

σε περίπτωση που η τάση αυτή ξεπεράσει τα όρια αντοχής, τότε θα πρέπει να στηρίζονται με τοπικούς συνδέσμους. Αυτό όμως μειώνει την απόδοση του ανιχνευτή.



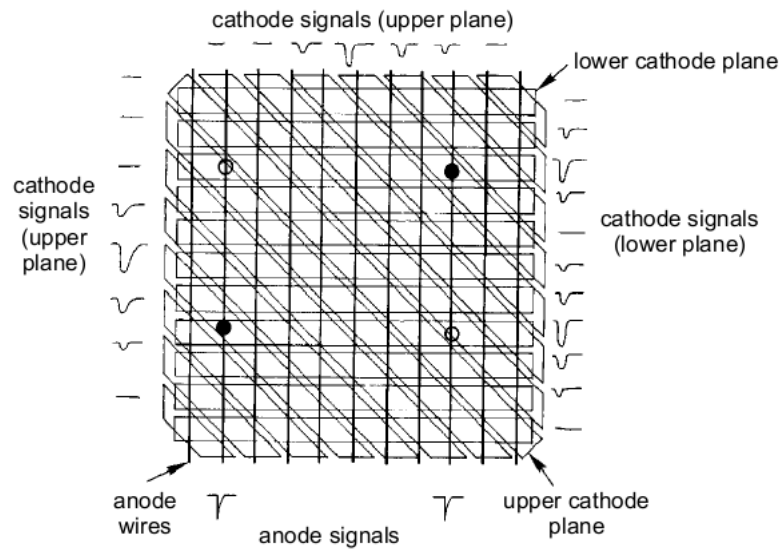
Σχήμα 1.9: Αναπαράσταση λήψης δεδομένων από την κάθοδο ενός MWPC.

Οι MWPC's παρέχουν σχετικά μικρή χωρική διακριτική ικανότητα της τάξης των $600\mu\text{m}$. Επιπλέον, εξαιτίας της κατασκευής τους από καλώδια, δίνουν τη συντεταγμένη του σήματος η οποία είναι κάθετη στο επίπεδο του καλωδίου. Βελτίωση αυτού του προβλήματος αποτελεί η χρήση ενός ακόμη MWPC εφαπτόμενο στον πρώτο με τα καλώδια του κάθετα σ' αυτόν. Επιπρόσθετα με το σήμα των ανόδων, είναι δυνατή και η καταγραφή του σήματος στην κάθοδο με την διαχώρηση της σε επιπλέον μέρη (strips ή pads). Η συντεταγμένη κατά μήκος του καλωδίου δίνεται από το βαρύκεντρο των φορτίων, το οποίο λαμβάνεται από τα σήματα που επάχθηκαν στην κάθοδο. Ανάλογα με τον διαχωρισμό της καθόδου, η χωρική διακριτική ικανότητα κατά μήκος των καλωδίων μπορεί να φτάσει τα $\approx 50\mu\text{m}$. Στην περίπτωση πολλαπλών σημάτων (hits) ο διαχωρισμός της καθόδου θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αποφεύγεται η σύγχυση. Η αύξηση όμως των τμημάτων της καθόδου αυξάνει δραστικά τον αριθμό των καναλιών ανάγνωσης (readout channels) του ανιχνευτή, επιβαρύνοντας την διαδικασία λήψης δεδομένων.

1.7.2 Ανιχνευτές Αερίου με Μικροδομή (MicroPattern Gaseous Detectors)

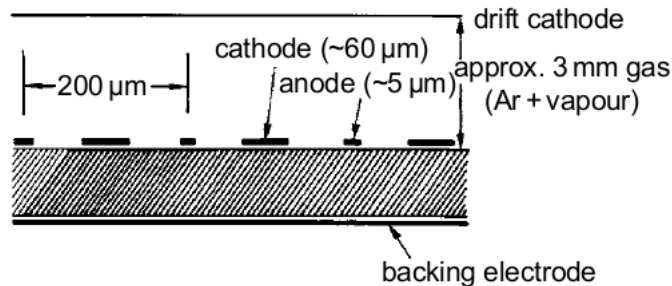
Η κατασκευή των MWPC's απλοποιείται δραματικά, αυξάνοντας παράλληλα την σταθερότητα και την χρησιμότητα του ανιχνευτή, αν αντί για χρήση καλωδίων γίνει χρήση ταινιών (strips) ή επίπεδων μπλοκ (dots ή pads) ή ημιαγωγικών επιφανειών. Στην παρούσα φάση, η τεχνολογία των micropattern gaseous detectors (MPGD) είναι ευρέως διαδεδομένη και αποκτά ολοένα και περισσότερα μέλη στην οικογένεια της, παράλληλα με ένθερμους υποστηρικτές. Ο ανιχνευτής MicroMegas που μελετάται σε αυτή την εργασία, ανήκει σε αυτή την κατηγορία ανιχνευτικών διατάξεων.

Οι ανιχνευτές αερίου με μικροταινίες (MicroStrip Gaseous Detectors - MSGD) είναι στην ουσία μια σμίκρυνση των MWPC κατά έναν παράγοντα 20 εκατοστών. Η τυπική απόσταση μεταξύ των strips είναι



Σχήμα 1.10: Αναπαράσταση του προβλήματος αναγνώρισης δύο διαφορετικών σωματιδίων λόγω της περιορισμένης χωρικής διακριτικής ικανότητας σε έναν MWPC.

100 – 200 μm και το κενό για το αέριο κυμαίνεται από 2 – 10mm. Αυτές οι διαστάσεις είναι δυνατές γιατί πλέον οι διαστάσεις των ηλεκτροδίων έχουν μειωθεί δραστικά με τη χρήση της λιθογραφίας. Τα καλώδια αντικαταστάθηκαν με strips τα οποία είναι συμπυκνωμένα σε ένα λεπτό υπόστρωμα. Τα strips της καθόδου διατάσσονται ανάμεσα στα strips της ανόδου επιτρέποντας έτσι βελτίωση στην ποιότητα του ηλεκτρικού πεδίου και ταυτόχρονα γρήγορη απομάκρυνση των θετικών ιόντων. Η διαχώριση της καθόδου γίνεται είτε σε strips, είτε σε pixels επιτρέποντας έτσι λήψη πληροφορίας σε δύο διαστάσεις.



Σχήμα 1.11: Σχηματική αναπαράσταση ενός microstrip gaseous detector.

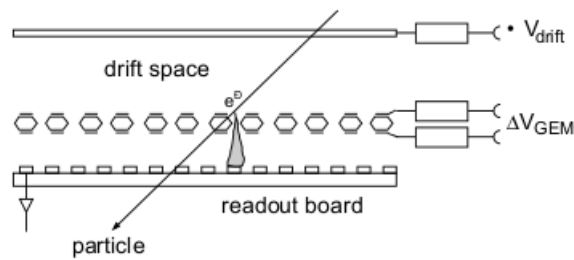
Η ενίσχυση ενός MSGC μπορεί να φτάσει της τάξης του 10^4 . Η χωρική διακριτική ικανότητα για ιονισμό φτάνει τα 20 – 30 μm rms, ενώ για σωματίδια με ελάχιστη ιονιστική ικανότητα (minimum ionizing particles - MIP) εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης.

Τα πλεονεκτήματα των MSGD συνοπτικά είναι

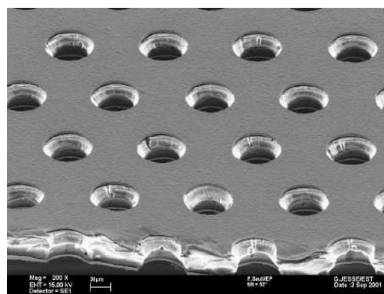
- 1 Μεγάλη χωρική διακριτική ικανότητα

- 2 Μικρός νεκρός χρόνος (dead time) καθώς τα strips της ανόδου και της καθόδου είναι κοντά οπότε ο χρόνος ολίσθησης των ιόντων ελαττώνεται.
- 3 Αυξημένη αντοχή στην ακτινοβολία καθώς είναι μικρή η ευαίσθητη περιοχή των καναλιών ανάγνωσης
- 4 Ικανότητα λειτουργίας σε μεγάλη συχνότητα πρόσπτωσης σωματιδίων (rate).

Όμως οι MSGD είναι επιρρεπείς στην παλαίωση και στις βλάβες από ηλεκτρικές εκκενώσεις. Για την αποφυγή αυτών των μειονεκτημάτων προτάθηκαν καινούριοι σχεδιασμοί : ο ανιχνευτής MicroMegas κι ο GEM. Καθώς ο ανιχνευτής MicroMegas θα αναπτυχθεί εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο, θα γίνει εδώ μια αναφορά για τον ανιχνευτή GEM.



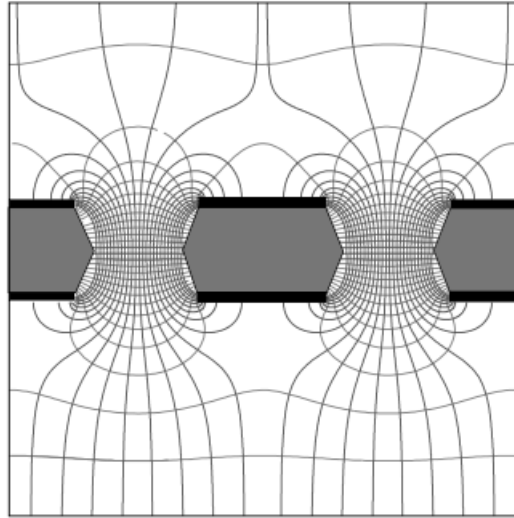
Σχήμα 1.12: Σχηματική αναπαράσταση ενός ανιχνευτή GEM. Ο χώρος ολίσθησης χωρίζεται από τα κανάλια λήψης δεδομένων με μια επίπεδη πλάκα με μικρο-οπές.



Σχήμα 1.13: Λήψη με χρήση μικροσκοπίου. Το πλέγμα του ανιχνευτή GEM. Χαρακτηριστικά εμφανίζονται οι οπές.

Ο ανιχνευτής Gas Electron Multiplier (GEM) αποτελείται από ένα λεπτό ($\approx 50\mu m$) μονωτικό φύλλο καλυμμένο με φιλμ μετάλλου στο οποίο έχουν δημιουργηθεί με χημική διαδικασία κυκλικές οπές διαμέτρου $50 - 100\mu m$ με απόσταση $100 - 200\mu m$ μεταξύ τους. Τα μεταλλικά φιλμ έχουν διαφορετικά μεταξύ τους δυναμικά ώστε να επιτρέπουν τον πολλαπλασιασμό των ηλεκτρονίων στις οπές. Το ηλεκτρικό πεδίο στον ανιχνευτή αναπαριστάται στο σχήμα 1.14. Ένας ανιχνευτής GEM αποτελείται από μια κάθοδο ολίσθησης διαχωρισμένη από ένα ή περισσότερα στρώματα GEM και μια άνοδο στην οποία γίνεται η λήψη δεδομένων (βλ. σχήμα 1.12). Τα ηλεκτρόνια καθοδηγούνται από το ηλεκτρικό πεδίο στο GEM όπου αισθάνονται το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο στις οπές του GEM αρχίζοντας έτσι τον σχηματισμό χιονοστιβάδας. Τα περισσότερα από τα δευτερογενή ηλεκτρόνια θα ολισθήσουν προς την άνοδο ενώ η πλειονότητα των ιόντων θα συλληχθεί από τα ηλεκτρόδια του GEM. Ένα GEM μπορεί να προσφέρει ενίσχυση έως μερικές χιλιάδες η οποία είναι αρκετή για την ανίχνευση mip στη λεπτή στρώση αερίου.

Χρησιμοποιώντας δύο ανιχνευτές GEM τον έναν πάνω στον άλλον μπορεί να αποκτηθεί βέλτιστη συνολική ενίσχυση ενώ παράλληλα η χαμηλή ενίσχυση σε κάθε επίπεδο προσφέρει καλύτερο κατώφλι ως προς τις ηλεκτρικές εκκενώσεις.



Σχήμα 1.14: Σχηματική αναπαράσταση του ηλεκτρικού πεδίου σε έναν ανιχνευτή GEM.

1.8 Απόδοση Ανιχνευτή (Efficiency)

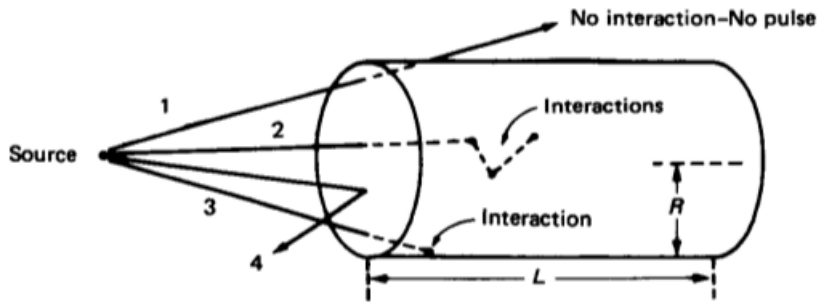
Όταν ένα σωματίδιο διέρχεται μέσα από έναν ανιχνευτή, τότε δεν είναι βέβαιη η καταγραφή της αλληλεπίδρασης που θα προκαλέσει στη διάταξη. Ανάλογα με την ενέργεια και τον τύπο του σωματιδίου, την γεωμετρία και το υλικό του ανιχνευτή μπορεί είτε να μην αφήσει σήμα (βλ. σωματίδιο 1 στην 1.15), είτε το σήμα που θα αφήσει θα είναι ισχνό ώστε να μην είναι δυνατή η καταγραφή του από τα υπάρχοντα ηλεκτρονικά (βλ. σωματίδιο 3 στην 1.15), είτε να μην καταφέρει να εισέλθει στον όγκο του ανιχνευτή εμποδιζόμενο από το υλικό κατασκευής του (βλ. σωματίδιο 4 στην 1.15). Στην βέλτιστη περίπτωση όπου το σωματίδιο θα εισέλθει στον ανιχνευτή, θα αλληλεπιδράσει με το αέριο και θα αφήσει ανιχνεύσιμο σήμα (βλ. σωματίδιο 2 στην 1.15), τότε ορίζεται ως απόδοση του ανιχνευτή το κλάσμα των ανιχνευθέντων σωματιδίων προς τον συνολικό αριθμό των προσπίπτοντων σωματιδίων.

$$\epsilon = \frac{\text{αριθμός ανιχνευθέντων σωματιδίων}}{\text{συνολικός αριθμός προσπίπτοντων σωματιδίων}}$$

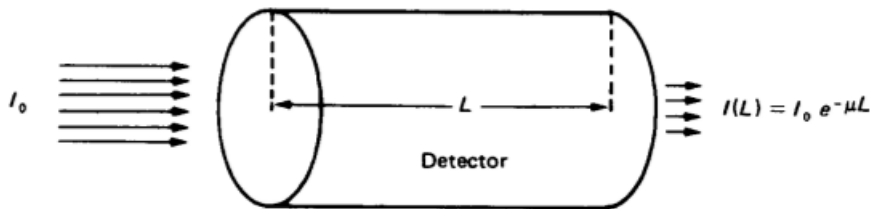
Όπως είναι προφανές, η απόδοση μιας ανιχνευτικής συσκευής εξαρτάται άμεσα από

- Τον τύπο και την ενέργεια της ακτινοβολίας
- Την πυκνότητα και το υλικό κατασκευής του ανιχνευτή
- Τα διαθέσιμα ηλεκτρονικά

Η απόδοση ενός ανιχνευτή μπορεί να καθοριστεί είτε με μέτρηση, είτε με υπολογισμό. Κατά τη διάρκεια των χρόνων έχουν δοκιμασθεί πολλές μέθοδοι, αλλά η απλούστερη και πιθανώς η ακριβέστερη μέθοδος υπολογισμού της απόδοσης είναι με τη χρήση μιας βαθμονομημένης πηγής, δηλαδή πηγή γνωστής ενεργότητας. Υποθέτοντας ότι η πηγή είναι μονοενεργειακή, σημειακή και ιστροπική εκπέμποντας



Σχήμα 1.15: Η απόδοση μιας ανιχνευτικής διάταξης αντικατοπτρίζει το ποσοστό των αντιδράσεων που δύναται να ανιχνεύσει η μετρητική συσκευή. Αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του ανιχνευτή παράγουν σήμα κι αν αυτό είναι υψηλότερο από ένα κατώφλι που τίθεται στον discriminator τότε καταγράφονται.



Σχήμα 1.16: Παράλληλη δέσμη σωματιδίων διέρχεται από ανιχνευτή μήκους L

S σωματίδια ανά δευτερόλεπτο και πως r είναι η μέση τιμή των μετρούμενων σωματιδίων ανά δευτερόλεπτο και Ω η στερεά γωνία τότε η απόδοση δίνεται ως

$$\epsilon(E) = \frac{r}{\Omega \cdot F(E) \cdot S}$$

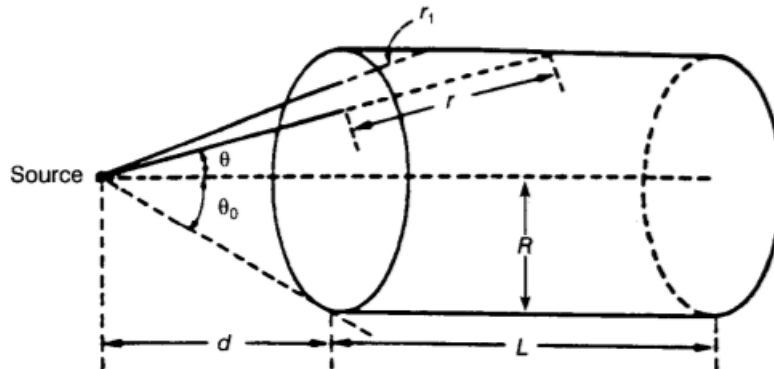
όπου $F(E) = \prod_n^i f_i(E)$ ο συνδυασμός όλων των διορθωτικών παραγόντων που υπεισέρχονται στα αποτελέσματα κι εξαρτάται από την ενέργεια των προσπίπτοντων σωματιδίων. Παρ' ότι συνήθως ο υπολογισμός της απόδοσης γίνεται με απευθείας μέτρηση, ο αναλυτικός προσδιορισμός της είναι χρήσιμος καθώς αναδεικνύει σημαντικές παραμέτρους. Για παράδειγμα, έστω ότι η παράλληλη δέσμη του σχήματος 1.16 προσπίπτει στον ανιχνευτή μήκους L . Η πιθανότητα τουλάχιστον μιας αλληλεπίδρασης ενός φωτονίου στον ανιχνευτή θα είναι $1 - e^{-\mu L}$. Αν μονάχα μια αλληλεπίδραση αρκεί για να παράγει ανιχνεύσιμο σήμα τότε η απόδοση είναι προφανώς

$$\epsilon = 1 - e^{-\mu L}$$

όπου ξανά η ϵ εξαρτάται από το μήκος L του ανιχνευτή, την ενέργεια του φωτονίου και την πυκνότητα του υλικού. Τα πράγματα όμως περιπλέκονται όταν θεωρήσουμε την σημειακή, μονοενεργειακή, ιστροπική πηγή του σχήματος 1.17. Η πιθανότητα αλληλεπίδρασης είναι ξανά $1 - e^{-\mu r(\theta)}$ και η πιθανότητα εκπομπής φωτονίου σε γωνία ανάμεσα σε θ και $\theta + d\theta$ είναι $\frac{1}{2} \sin \theta d\theta$. Αν ξανά μια αλληλεπίδραση και μόνο είναι αρκετή για να δημιουργήσει ανιχνεύσιμο σήμα τότε η απόδοση του ανιχνευτή είναι

$$\epsilon(E) = \frac{\int_0^{\theta_0} S(1 - e^{-\mu \cdot r(\theta)}) \cdot \frac{1}{2} \sin \theta d\theta}{\frac{S}{2} \int_0^{\theta_0} \sin \theta d\theta}$$

απ' όπου φαίνεται εύκολα πως η απόδοση εξαρτάται άμεσα από τη γεωμετρία του ανιχνευτή.



Σχήμα 1.17: Σημειακή, ιστροπική, μονοενεργειακή πηγή εκπέμπει σε απόσταση d από τον κυλινδρικό ανιχνευτή.

1.9 Ενεργειακή Διακριτική Ικανότητα (Energy Resolution)

Η ποιότητα μιας ανιχνευτικής διάταξης η οποία χρησιμοποιείται για μετρήσεις ενέργειας χαρακτηρίζεται από το πλάτος και το ύψος του παλμού που καταγράφεται για σωματίδια ίδιας ενέργειας. Όμως ακόμη και στην περίπτωση που κάθε σωματίδιο αποδίδει την ίδια ακριβώς ενέργεια στην ανιχνευτική συσκευή, η μορφή του παλμού δε θα είναι ίδια αλλά θα διαφέρει εξ' αιτίας

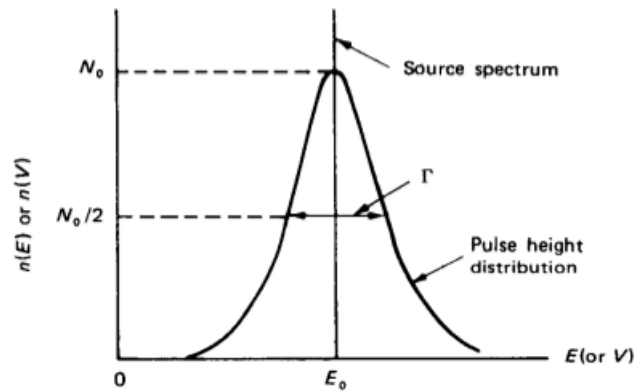
- των στατιστικών διακυμάνσεων του αριθμού των φορέων φορτίου που δημιουργούνται στον ανιχνευτή
- του ηλεκτρονικού θορύβου από τον ανιχνευτή, τον ενισχυτή, τον προενισχυτή
- της ατελούς συλλογής φορτίου που δημιουργήθηκε στον ανιχνευτή.

Το πλάτος, μετρούμενο στο ήμισυ του ύψους του μέγιστου σημείου (Full Width at Half Maximum - FWHM) συμβολίζεται με Γ . Η ικανότητα του ανιχνευτή να ανιχνεύσει σωματίδια διαφορετικών ενεργειών, δηλαδή η ενεργειακή διακριτική ικανότητα, δίνεται είτε σε σχέση με το Γ σε μονάδες ενέργειας, είτε σε σχέση με τον λόγο $R(E_0)$ σε ποσοστό, όπου

$$R(E_0) = \frac{\Gamma}{E_0}$$

Τη σημαντικότερη συνεισφορά στον καθορισμό της ενεργητικής διακριτικής ικανότητας μιας ανιχνευτικής διάταξης έχουν οι τρεις παράγοντες που προαναφέρθηκαν.

Στατιστικές Διακυμάνσεις: Όπως προαναφέρθηκε, για τους ανιχνευτές αερίου είναι σημαντικές μόνο οι αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του ανιχνευτή και δημιουργούν ζεύγη ιόντων-ηλεκτρονίων. Οι στατιστικές αποκλίσεις του αριθμού των ζευγών, όπως αυτός δίνεται στη σχέση 1.2, είναι λογικό να ληφθούν ως την τετραγωνική ρίζα, δηλαδή



Σχήμα 1.18: Η ενεργειακή διακριτική ικανότητα μπορεί να απεικονισθεί με το Γ της κατανομής.

$$\sigma = \sqrt{\frac{E}{W_i}} \quad (1.6)$$

όμως πειραματικά έχει αποδειχθεί πως οι διακυμάνσεις είναι πολύ μικρότερες από αυτή την τιμή. Οι παρατηρούμενες στατιστικές διακυμάνσεις εκφράζονται μέσω του παράγοντα Fano⁴ F , όπου

$$F = \frac{(\text{τυπική απόκλιση του αριθμού ζευγών που δημιουργούνται})^2}{\text{αριθμός ζευγών που δημιουργείται}}$$

έτσι η 1.6 γίνεται

$$\sigma = \sqrt{\frac{F \cdot E}{W_i}}$$

Οι δύο ακραίες τιμές του παράγοντα Fano είναι 0 (μηδενικές στατιστικές διακυμάνσεις) και 1 (ο αριθμός των παραγόμενων ζευγών ακολουθεί στατιστική Poisson). Ενδεικτικές τιμές του παράγοντα Fano δίνονται στον πίνακα 1.2.

Το πλάτος Γ της Gaussian κατανομής σχετίζεται με την τυπική απόκλιση ως

$$\Gamma = 2\sqrt{2\ln 2}W_i\sigma \approx 2.355W_i\sigma$$

ή χρησιμοποιώντας τον παράγοντα Fano

$$\Gamma = 2\sqrt{2\ln 2}W_iFE$$

απ' όπου φαίνεται ότι το πλάτος εξαρτάται από την τετραγωνική ρίζα της ενέργειας. Τέλος, συγκρίνοντας τις συνεισφορές των στατιστικών διακυμάνσεων για δύο διαφορετικούς ανιχνευτές προκύπτει ότι

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\Gamma_1/E}{\Gamma_2/E} = \sqrt{\frac{W_1F_1}{W_2F_2}}$$

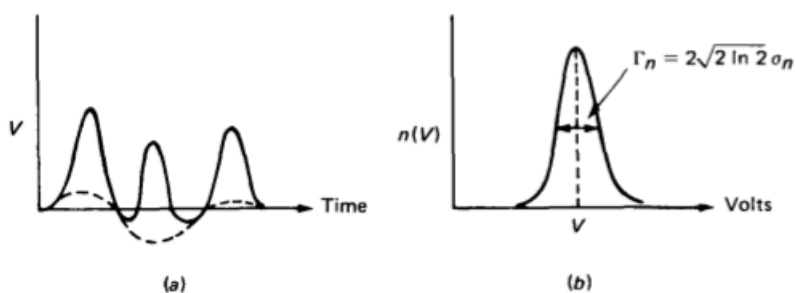
⁴Ugo Fano (28 Ιουλ. 1912 - 13 Φεβ. 2001) : Αμερικανός θεωρητικός φυσικός και βιοφυσικός, γεννημένος στην Ιταλία. Δούλεψε δίπλα στους E. Fermi και W. Heisenberg κατά τη διάρκεια της καριέρας του πάνω στην ατομική και μοριακή Φυσική και την Φυσική της Ραδιενέργειας. Επιστημονική του κληρονομιά τα Fano resonance profile, Fano factor, Fano effect, Lu-Fano plot, Fano-Lichten mechanism και Fano theorem.

Αέριο - Μείγμα	Παράγοντας Fano
Ne	0.17
Ar	0.17
Xe	0.17
Ar:C ₂ H ₂ -99.5:0.5	0.09
Ar:Xe-20:80	0.21
Ar:Xe-80:20	0.16
Ar:Kr-80:20	0.12
Kr:Xe-80:20	0.21

Πίνακας 1.2: Παράγοντας Fano για κατηγορίες ανιχνευτών κι ηλεκτρόνια σε διαφορετικά αέρια.

και συνεπώς ο ανιχνευτής με το μικρότερο W_i θα έχει καλύτερη διακριτική ικανότητα. Αναφορικά, ένας ημιαγώγιμος ανιχνευτής ($W_i \sim 3eV, F < 0.1$) θα έχει καλύτερη διακριτική ικανότητα από έναν ανιχνευτή αερίου ($W_i \approx 30eV, F \approx 0.2$).

Ηλεκτρονικός Θόρυβος: Ο ηλεκτρονικός θόρυβος αποτελείται από μια διακύμανση της τάσης γύρω από το μηδέν με μέση τιμή $\langle u_n \rangle \neq 0$. Αν δεν υπάρχει θόρυβος τότε το FWHM της κατανομής είναι μηδέν. Αν όμως υπάρχει τότε στην τάση των παλμών προστίθενται οι τάσεις διακυμάνσεων του θορύβου κι έτσι οι παλμοί ίδιων σωματιδίων δεν είναι ίσοι σε ύψος κι έτσι οι παλμοί δημιουργούν μια Gaussian κατανομή με κέντρο την τάση V που θα είχαν αν δεν υπήρχε θόρυβος και πλάτος $\Gamma_n = 2\sqrt{2\ln 2}\sigma_n$ (βλ. σχήμα 1.19).



Σχήμα 1.19: (α) Οι παλμοί υπερτίθενται στον θόρυβο κι έτσι στο (β) έχουμε μια κατανομή το πλάτος της οποίας εξαρτάται από την τυπική απόκλιση του θορύβου σ_n

Η ποσότητα που συχνά χρησιμοποιείται για τον ηλεκτρονικό θόρυβο είναι ο λόγος σήμα προς θόρυβο (S/N) που ορίζεται ως

$$(S/N) = \frac{\text{μέσο ύψος παλμού}}{\text{τυπική απόκλιση θορύβου}} = \frac{V}{\sigma_n} = \frac{2\sqrt{2\ln 2}}{R}$$

οπότε

$$R = \frac{2\sqrt{2\ln 2}}{V/\sigma_n}$$

απ' όπου φαίνεται πως υψηλοί λόγοι (S/N) σημαίνουν υψηλή διακριτική ικανότητα.

Ατελής Συλλογή Φορτίου Στους ανιχνευτές αερίου το φαινόμενο της ατελούς συλλογής φορτίου συμβάλλει λιγότερο σε σχέση με τις στατιστικές διακυμάνσεις. Αντίστοιχα, στους ημιαγώγιμους ανιχνευτές η ατελής συλλογή φορτίου οφείλεται στον εγκλωβισμό των φορέων. Το ποσό φορτίου που εγκλωβίζεται είναι ανάλογο με την ενέργεια που εναποτίθεται στον ανιχνευτή, η οποία με τη σειρά της είναι ανάλογη με την ενέργεια των προσπίπτοντων σωματιδίων. Συνεπώς, η διακριτική ικανότητα εξαρτάται από το φαινόμενο εγκλωβισμού των προσπίπτοντων σωματιδίων κι επηρεάζεται περισσότερο όταν τα σωματίδια έχουν υψηλή ενέργεια. Συνήθως, το φαινόμενο της ατελούς συλλογής φορτίου συμπεριλαμβάνεται στις στατιστικές διακυμάνσεις.

Ο Ανιχνευτής MicroMegas

Στο κομμάτι αυτό θα μελετηθεί ο ανιχνευτής Micromegas και θα παρουσιαστούν οι υπό μελέτη θάλαμοι.

2.1 Εισαγωγή

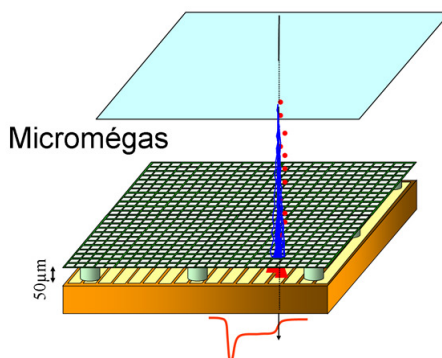
Ο ανιχνευτής Micromegas (MICROMESH Gaseous Structure) ανήκει στην κατηγορία των MicroPattern Gaseous Detectors (MPGD) κι ήταν μια πρόταση των J. Collar και Γ. Γιοματάρη στα μέσα της δεκαετίας του '90. Αρχικά, ο ανιχνευτής αποτελούσε μια εναλλακτική πρόταση για την ανίχνευση φωτονίων χαμηλής ενέργειας ($1 - 10 \text{ keV}$), αλλά με την πάροδο του χρόνου κέρδισε τις εντυπώσεις με τα πλεονεκτήματα που προσφέρει έναντι στους υπόλοιπους ανιχνευτές αερίου. Ο Micromegas (uM) είναι ανιχνευτής υψηλής ενίσχυσης ο οποίος δεν απαιτεί τη χρήση επιπρόσθετου προενισχυτή. Η τεχνική του βασίζεται στη τεχνολογία των MPGD, η οποία ως γνωστόν προσφέρει

- σταθερότητα
- ταχεία απόκριση
- καλή ενεργειακή και χωρική διακριτική ικανότητα
- υψηλή απόδοση
- υψηλή ακρίβεια
- ανθεκτικότητα στην ακτινοβολία
- δυνατότητα χρησιμοποίησης ακόμα και σε πειράματα με σπάνια γεγονότα αν το υπόβαθρο είναι μικρό.

Ο ανιχνευτής έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε πειράματα όπως το COMPASS (COmmon Muon Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy, CERN), το NA48 (μελέτη της παραβίασης της συμμετρίας CP, CERN), το CAST (CERN Axion Solar Telescope, CERN), το n-TOF (Neutron Time Of Flight, CERN), ενώ έχει προταθεί για την επερχόμενη αναβάθμιση του ανιχνευτή ATLAS ως μέρος του συστήματος ανίχνευσης μιονίων καθώς και για τον μελλοντικό ILC (International Linear Collider) ως αδρονικό καλορίμετρο. Επιπλέον, μελετάται για τα πειράματα νετρίνων χαμηλής ενέργειας όπως το HELLAZ και το NOSTOS.

2.2 Περιγραφή του Ανιχνευτή

Ο ανιχνευτής είναι μια ασύμμετρη κατασκευή που το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του έναντι στους υπόλοιπους ανιχνευτές αερίου, είναι το γεγονός ότι είναι ιδανικός για μετρήσεις μικρής ενέργειας που και πρέπει να έχει ένας παλμός προκειμένου να είναι δυνατή η καταγραφή του από τα ηλεκτρονικά. Η διαφορά του στη γεωμετρία που καθιστά δυνατή την ανίχνευση αυτών των παλμών είναι η διαμέριση του όγκου του ανιχνευτή σε δύο επιμέρους περιοχές, οι οποίες δε διαχωρίζονται πλέον από ένα επίπεδο με σύρματα, αλλά από ένα πλέγμα, γνωστό ως micromesh, που αποτελεί την κάθοδο της ανιχνευτικής διάταξης.

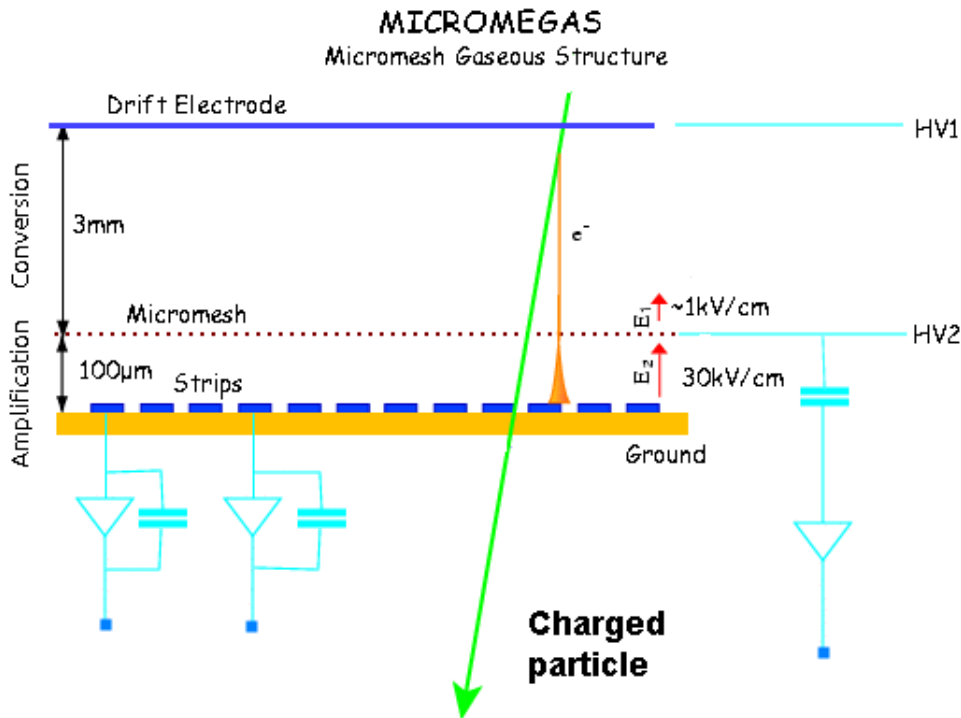


Σχήμα 2.1: Αναπαράσταση μιας αλληλεπίδρασης στο εσωτερικό ανιχνευτή micromegas. Είναι εμφανής η διαχώριση σε δύο περιοχές καθώς και η χιονοστιβάδα που δημιουργείται και συλλέγεται από τα strips.

Η αρχή λειτουργίας του micromegas φαίνεται στο σχήμα 2.2. Το πρώτο τμήμα που διασχίζει ένα προσπίπτον ηλεκτρόνιο είναι το ηλεκτρόδιο ολίσθησης (drift electrode). Μετά από αυτό, το σωματίδιο βρίσκεται στην περιοχή μετατροπής (conversion region), η οποία έχει μέγεθος μερικά mm μέχρι το micromesh. Η τάση σε αυτή την περιοχή είναι της τάξης του $1keV/cm$. Στην περιοχή αυτή γίνεται η αρχική αλληλεπίδραση του σωματιδίου με τον ανιχνευτή και δημιουργούνται τα ζεύγη ιόντων-ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια οδηγούνται από το ηλεκτρικό πεδίο να διασχίσουν το micromesh και να συνεχίσουν στην επόμενη περιοχή, ενώ τα ιόντα συλλέγονται από το micromesh.

Η περιοχή ανάμεσα στο micromesh και στην άνοδο καλείται περιοχή ενίσχυσης κι εκτείνεται για περίπου $100\mu m$. Η άνοδος αποτελείται από αγώγιμα μικροστοιχεία (strips) που είναι τυπωμένα πάνω σε μονωτική πλακέτα (Printed Circuit Board - PCB). Κατά την κατασκευή του ανιχνευτή, η πρόκληση είναι να παραμείνει το κενό ανάμεσα στην άνοδο και στο micromesh σταθερό καθ' όλη την επιφάνεια του ανιχνευτή. Για να γίνει κάτι τέτοιο υλοποιούνται μικροί μονωτικοί στύλοι (pillars, βλ. σχήμα 2.3) οι οποίοι εναποθέτονται με φωτογραφικές μεθόδους και καλύπτουν ελάχιστο μέρος του ανιχνευτή ($\approx 1\%$).

Ο ρόλος του micromesh δεν είναι μόνο να διαχωρίζει την περιοχή μετατροπής από την περιοχή ενίσχυσης (amplification region). Είναι κατασκευασμένο από χαλκό ($5\mu m$) με μια διαδικασία που βασίζεται στην τεχνική της φωτολιθογραφίας κι επιτρέπει την χάραξη ανοιγμάτων $25\mu m$ με βήμα $50\mu m$. Επιπροσθέτως, επιτρέπει την διέλευση των ηλεκτρονίων στην περιοχή ενίσχυσης ενώ παράλληλα αποτρέπει τα θετικά ιόντα που δημιουργούνται κατά την χιονοστιβάδα να κάνουν το ίδιο. Στο πλέγμα εφαρμόζεται τάση της τάξης των $500mV$ ώστε ο λόγος του ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή ενίσχυσης και στην περιοχή μετατροπής να είναι μεγάλος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος, τόσο μεγαλύτερος είναι κι ο αριθμός των ηλεκτρονίων που εισέρχονται στη περιοχή ενίσχυσης. Η ύπαρξη μικρού λόγου καθιστά το πλέγμα μη διαπερατό μειώνοντας έτσι την διαφάνεια (transparency) του και κατ' επέκταση του ανιχνευτή. Στην περιοχή ενίσχυσης, η ηλεκτρονική χιονοστιβάδα ξεκινάει με μεγάλη ευκολία καθώς το χωρικό

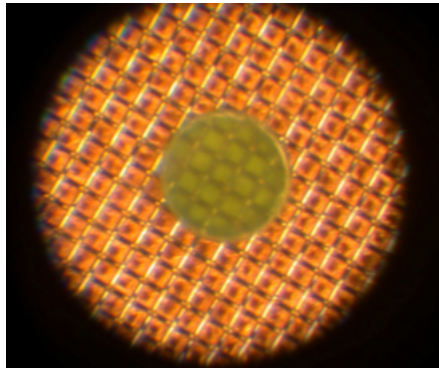


Σχήμα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση του ανιχνευτή Micromegas. Το micromesh χωρίζει τον όγκο του ανιχνευτή στις περιοχές μετατροπής (conversion) και ενίσχυσης (aplification) ο οποίος και τερματίζει στο επίπεδο των strips.

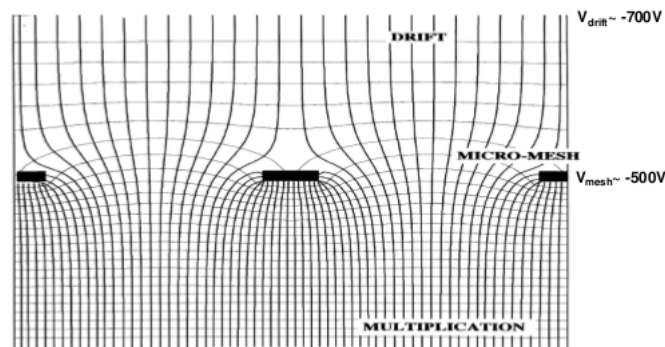
κενό ανάμεσα στο πλέγμα και στην άνοδο είναι πολύ μικρό, ενώ ταυτόχρονα το ηλεκτρικό πεδίο είναι αρκετά μεγάλο (έως της τάξης των $40kV/cm$).

Τα ηλεκτρόνια που διέσχισαν το micromesh περνώντας στην περιοχή ενίσχυσης συνεχίζουν προς την άνοδο. Η άνοδος αποτελείται από έναν αριθμό (συνήθως 96) χάλκινων strips με τυπικό μέγεθος $150nm \times 100\mu m$ που γειώνονται, με τη βοήθεια ενός προενισχυτή με χαμηλό θόρυβο και υψηλή ενίσχυση, σε μια μια μονωτική στρώση.

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία του ανιχνευτή για να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση είναι η γνώση της μορφής του ηλεκτρικού πεδίου κοντά στο πλέγμα. Το ομογενές πεδίο που επιθυμείται για την περιοχή ενίσχυσης είναι εύκολα υλοποιήσιμο παρά την μικρή διάσταση της περιοχής αυτής. Συνεπώς, είναι αναμενόμενη η εύκολη δημιουργία μιας ηλεκτρονιακής χιονοστιβάδας. Το πρόβλημα έγκειται στη μορφή του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τις εγχοπές του πλέγματος, όπου γνωρίζουμε ότι παραμορφώνεται και χάνει την ομοιογένειά του. Η γνώση του βαθμού αυτής της παραμόρφωσης κι εν γένει της μορφής του πεδίου στις ειδικές αυτές περιοχές είναι απαραίτητη για την επίτευξη της απόδοσης και της διαφάνειας του ανιχνευτή. Οι δυναμικές γραμμές που ξεκινούν από το ηλεκτρόδιο ολίσθησης καταλήγουν περνώντας μέσα από το πλέγμα στα strips. Όπως όμως είναι εμφανές και στο σχήμα 2.4 η πυκνότητα τους μεταβάλλεται άρδην μετά την διέλευση τους από το micromesh. Αυτό αναδεικνύει την διαφορά της έντασης των ηλεκτρικών πεδίων στις δύο αυτές περιοχές. Η ενίσχυση κατά τη διέλευση από το πλέγμα είναι αμελητέα σε σχέση με την συνολική και γι' αυτό δε λαμβάνεται υπ' όψιν, το οποίο αποτελεί και μια ειδοποιό διαφορά ανάμεσα στον micromegas και τους υπόλοιπους MSGD. Τέλος, σε μερικές περιπτώσεις είναι βολικό να αυξηθεί το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή μετατροπής με σκοπό να παραχθεί κάποια προενίσχυση.



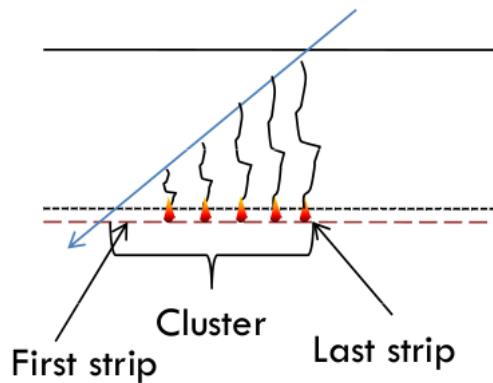
Σχήμα 2.3: Μεγέθυνση από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ενός pillar διαμέτρου $250\mu\text{m}$.



Σχήμα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από το micromesh. Η πυκνότητα των δυναμικών γραμμών στην περιοχή ενίσχυσης είναι χαρακτηριστική της έντασης του πεδίου στην περιοχή αυτή σε σχέση με την αντίστοιχη στην περιοχή ολίσθησης.

Το γεγονός ότι η απόσταση ανάμεσα στα διάκενα του πλέγματος είναι μικρή, η χρονική διασπορά κατά μήκος της τροχιάς του σωματιδίου είναι πολύ μικρή. Συνεπώς, ο micromegas προσφέρει εξαιρετική χρονική διακριτική ικανότητα. Επιπλέον, σε μια μη κάθετη στην ενεργό περιοχή τροχιά, η ανάπτυξη της χιονοστιβάδας είναι κάθετη προς την άνοδο κι έτσι το σήμα επάγεται σε μια μικρή περιοχή των καναλιών ανάγνωσης, με αποτέλεσμα η ανιχνευτική διάταξη να προσφέρει εξίσου εξαιρετική χωρική διακριτική ικανότητα. Το χαρακτηριστικό αυτό, της μικρής περιοχής συγκέντρωσης των ηλεκτρονίων δίνει την δυνατότητα στον micromegas να λειτουργήσει ως θάλαμος χρονικής προβολής (Time Projection Chamber, TPC). Με γνωστή την πληροφορία των strips που έδωσαν σήμα, καθώς και τον χρόνο στον οποίο δόθηκε το σήμα, είναι απλός ο καθορισμός της τροχιάς ενός σωματιδίου μέσα στον θάλαμο. Τέλος, η υψηλή ενίσχυση που δύναται να επιτευχθεί είναι χαρακτηριστική ιδιότητα όλων των MPGD.

Το σήμα στην άνοδο (strips) ή στην κάθοδο (micromesh) δημιουργείται από την κίνηση των αρνητικών ηλεκτρονίων προς την άνοδο και των θετικά φορτισμένων ιόντων προς την κάθοδο αντίστοιχα. Το σήμα του φορτίου των ιόντων στο πλέγμα έχει τυπικό χρόνο απόκρισης περίπου 100ns , το οποίο εξαρτάται από την περιοχή ενίσχυσης αλλά και από το μίγμα του αερίου που χρησιμοποιείται. Αντίθετα, το σήμα των ηλεκτρονίων στην άνοδο είναι πολύ γρηγορότερο λόγω της αυξημένης ευκινησίας μ των ηλεκτρονίων. Στον micromegas, η γρήγορη συλλογή των ιόντων εξαλείφει την επίδραση του φαινομένου



Σχήμα 2.5: Σχηματική αναπαράσταση για το πως μπορεί ο ανιχνευτής micromegas να χρησιμοποιηθεί ως time projection chamber για μη κάθετες στην active area τροχιές. Γνωρίζοντας την ταυτότητα του πρώτου και του τελευταίου strip τα οποία έδωσαν σήμα, καθώς και τη χρονική διάρκεια συλλογής του φορτίου, εύκολα με ένα 2D scatter plot μπορεί κάποιος να έχει μια πρώτη εκτίμηση για την τροχιά του προσπίπτοντος σωματιδίου.

Παράμετρος	Χαρακτηριστική Τιμή
Χωρική Διακριτική Ικανότητα	12 μ m (rms)
Χρονική Διακριτική Ικανότητα	0.2ns (rms)
Ενεργειακή Διακριτική Ικανότητα	11%
Rise time για γρήγορο σήμα	< 1ns
Signal to noise (S/N) για MIP	>100

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικές τιμές παραμέτρων λειτουργίας ενός ανιχνευτή Micromegas

χωρικού φορτίου (space charge effect¹) το οποίο περιορίζει την ενίσχυση στους περισσότερους ανιχνευτές αερίου για λειτουργία σε περιβάλλον με υψηλής συχνότητας συγκρούσεις. Ο micromegas και οι MPGD γενικότερα είναι ανιχνευτές με αντοχή στην ακτινοβολία. Καθώς το ηλεκτρικό πεδίο είναι ομογενές σε όλη την περιοχή ενίσχυσης η ανάπτυξη δυσάρεστων φαινομένων όπως ο πολυμερισμός κατά την διάρκεια της χιονοστιβάδας έχουν μικρό αποτέλεσμα.

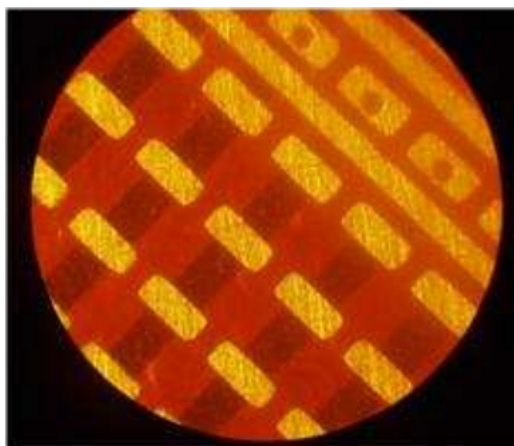
2.3 Λειτουργία σε Δύο Διαστάσεις

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, ο ανιχνευτής micromegas αποτελείται από το ηλεκτρόδιο ολίσθησης, την περιοχή μετατροπής που εκτείνεται μέχρι και το καθοδικό ηλεκτρόδιο του micromesh, και την περιοχή ενίσχυσης η οποία με τη σειρά της εκτείνεται μέχρι το επίπεδο με τα strips ανάγνωσης, τα οποία τοποθετούνται πάνω σε μια πλακέτα από μονωτικό Kαρτον (PCB). Στο επίπεδο αυτό, υπάρχουν

¹Το space charge είναι φαινόμενο κατά το οποίο μια πυκνή κατανομή διακριτών σημειακών φορτίων αντιμετωπίζεται ως συνεχής χωρική κατανομή. Εμφανίζεται όταν φορείς φορτίου αποβάλλονται από μια περιοχή αφήνοντας πίσω τους ομόλογους τους φορείς. Έτσι, είτε το νέφος των φορέων αυτών δημιουργεί ένα χωρικό φορτίο, είτε το νέφος των ομολόγων τους. Συχνή είναι και η εμφάνιση του σε διηλεκτρικά καθώς στο αγώγιμο μέσο το φορτίο γρήγορα θωρακίζεται. Παρατηρήθηκε πρώτα από τον Thomas Edison (1847-1931), γι' αυτό κι αποκαλείται και "Edison effect", αλλά είναι συχνό σε πολλές συσκευές κενού.

καταμετρημένες παράλληλα χάλκινες λωρίδες (strips) με ίδιο μήκος, ίδια μεταξύ τους απόσταση και ίδια αντίσταση ανά μονάδα επιφάνειας, ανάλογα με τον ανιχνευτή. Έχοντας τα strips παράλληλα το ένα στο άλλο, ο micromegas δίνει χωρική πληροφορία μόνο για έναν καρτεσιανό άξονα καθώς ο δεύτερος άξονας του επιπέδου είναι ελεύθερη μεταβλητή με όρια το μήκος του strip.

Είναι δυνατό να κατασκευαστούν strips που να εκτείνονται και στους δύο άξονες, υπερθέτοντας ένα επίπεδο με strips παράλληλα στον x άξονα κι ένα επίπεδο με strips παράλληλα στον y άξονα. Μια τέτοια κατασκευή φαίνεται στο σχήμα 2.6. Σε αυτή τα strips, πλάτους $350\mu m$ έχουν κατασκευαστεί με τεχνολογία εκτύπωσης κυκλωμάτων πάνω στην πλακέτα από Καρτον. Για την ελαχιστοποίηση του ηλεκτρονικού θορύβου καθώς και για την αποφυγή του crosstalk, οι γραμμές μεταφοράς που συνδέουν τα strips που αντιστοιχούν στον x άξονα τοποθετούνται στη μια πλευρά της PCB, ενώ αντίστοιχα οι γραμμές μεταφοράς που συνδέουν τα strips που αντιστοιχούν στον y άξονα στην αντίθετη πλευρά της PCB και περνούν μέσα από τις οπές.



Σχήμα 2.6: Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο των strips σε δύο διαστάσεις για την ανάγνωση δεδομένων σε ολόκληρο το επίπεδο της ενεργού περιοχής του ανιχνευτή.

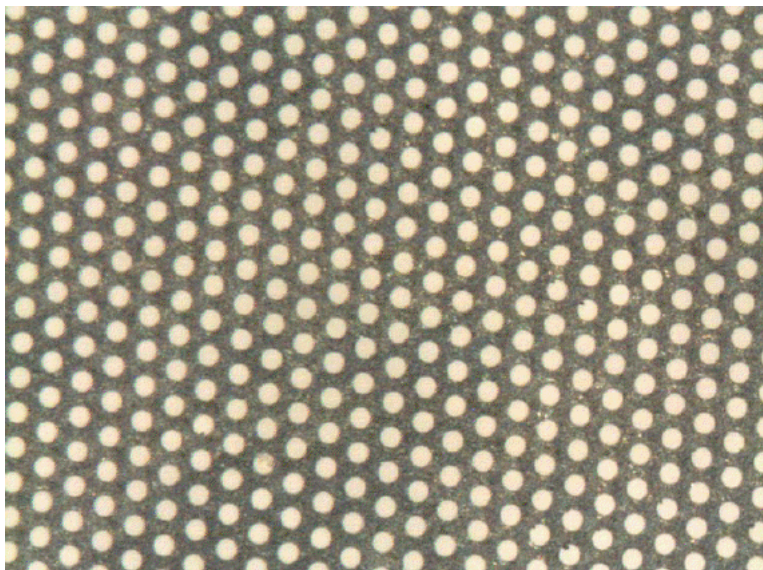
2.4 Νέα γενιά - Resistive Micromegas

Το κύριο χαρακτηριστικό του micromegas που αποτελεί το γεγονός ότι κατασκευάζεται με χρήση μικροηλεκτρονικής τεχνολογίας η οποία παρέχει την ακρίβεια στη λεπτομέρεια που απαιτεί ένας ανιχνευτής ώστε να αποκτήσει την πρωτοφανή χωρική διακριτική ικανότητα του micromegas. Παρ' όλα αυτά, η λεπτή δομή των ηλεκτροδίων κάνει τους ανιχνευτές εύθραυστους κι εύκολα θα μπορούσε ένας σπινθήρας (spark), για παράδειγμα, κατά την λειτουργία τους να τους καταστρέψει.

Αναζητώντας την απάντηση για το τι είναι spark και πως μπορεί να αποφευχθεί, γίνεται προφανές ότι σε μικρής ποιότητας ανιχνευτικές διατάξεις (κάτι που δεν αφορά ανιχνευτικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται σε πειράματα), λόγω της μικρής απόστασης ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο, με άλλα λόγια την περιοχή ενίσχυσης, διάφορες ατέλειες (πχ αμυχές, αιχμηρές άκρες, σκόνη κλπ) μπορούν να προκαλέσουν αύξηση του νεκρού χρόνου² ή ακόμα και βλάβη. Αυτή είναι και η αιτία που η ποιότητα για τους MPGD πρέπει να είναι καλύτερη από οποιαδήποτε άλλη ανιχνευτική διάταξη αερίου. Όπως έχει καθιερωθεί, σε ανιχνευτές υψηλής ποιότητας που λειτουργούν σε χαμηλές συχνότητες συγκρού-

²Νεκρός χρόνος: ο χρόνος κατά τον οποίο μετά από την αρχή της διαδικασίας καταγραφής ενός γεγονότος η ανιχνευτική διάταξη δεν δύναται να επεξεργαστεί άλλο γεγονός. Είναι χαρακτηριστικό όλων των ανιχνευτών κι εισάγεται λόγω της πεπερασμένης ταχύτητας καταγραφής των ηλεκτρονικών.

σεων ($10Hz/mm^2$) η μέγιστη ενίσχυση καθορίζεται από το όριο Raether³ στο οποίο η χιονοστιβάδα μετατρέπεται σε συνεχή κυματίζουσα ταινία (streamer). Σε υψηλές συχνότητες συγκρούσεων, λόγω φυσικών φαινομένων, η μέγιστη ενίσχυση μειώνεται δραστικά καθώς αυξάνεται η συχνότητα. Συστηματικές μελέτες έδειξαν ότι οι εκφορτίσεις στους MPGD κατά την διάρκεια μακροχρόνιας χρήσης είναι πρακτικά αναπόφευκτες. Προτάθηκαν τεχνικές για την μείωση των βλαβών του ανιχνευτή από sparks (πχ διάτμηση των ηλεκτροδίων για να μειωθεί η χωρητικότητα που συμβάλλει στην εκφόρτιση) όμως όλες είχαν περιορισμένη επιτυχία, ιδιαίτερα σε δέσμες σωματιδίων με μεγάλη ιονιστική ικανότητα. Στη σύγχρονη έρευνα μελετάται η κατασκευή ανιχνευτών αερίου με μικροδομή (MPGD) με ηλεκτρόδια με αυξημένη αντίσταση (resistive electrodes) αποκομίζοντας έτσι τα πλεονεκτήματα των MPGD χωρίς το φόβο καταστροφής τους από sparks.



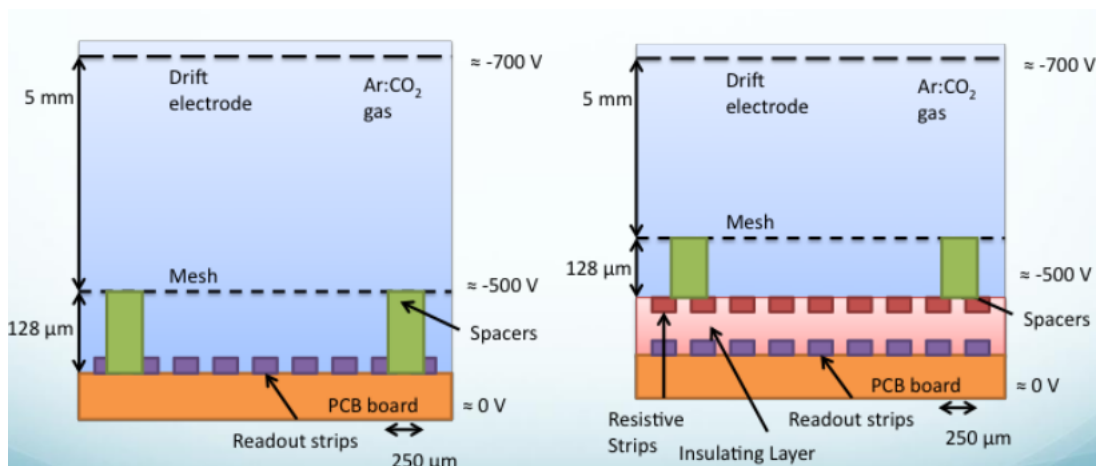
Σχήμα 2.7: Μεγέθυνση από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του resistive micromesh που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή διάφορων resistive MSGD.

Ο πρώτος τύπος ανιχνευτή που τάχθηκε υπέρ αυτής της τεχνολογίας ήταν ο ανιχνευτής GEM. Κατασκευάζοντας αρχικά το πλέγμα GEM επιστρώνοντας το με πάστα από γραφίτη (graphite paint, χρησιμοποιείται στους RPC) μειώθηκε ριζικά η ανάπτυξη των sparks. Η νέα τεχνολογία ονομάστηκε RETGEM (Resistive Thick Gas Electron Multiplier), η δεύτερη γενιά της οποίας εισήγαγε ηλεκτρόδια κατασκευασμένα από μονωτικό Kαρτον 100XC10E5. Πρακτικά, αν η τάση που εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια με αντίσταση, εξαιτίας της μη άπειρης αντίστασης τους, θα φορτιστούν αρχίζοντας να δρουν ως ισοδυναμικές επιφάνειες δημιουργώντας έτσι το ίδιο πεδίο μέσα στις οπές με εκείνο του μεταλλικού πλέγματος. Η ενίσχυση με αυτή την τεχνική αυξάνεται (περιοριζόμενη πάντα από το όριο Raether) όμως ο θάλαμος είναι πλέον προστατευμένος από sparks 100 – 1000 φορές.

Η επιτυχία που είχαν οι RETGEM στην προστασία του θαλάμου από sparks κίνησε το ενδιαφέρον των υπόλοιπων ερευνητικών ομάδων. Ο micromegas ήταν ο επόμενος ανιχνευτής στον οποίο δοκιμάστηκε η τεχνική αυτή. Αρχικά δοκιμάστηκε η χρήση μονωμένου πλέγματος (resistive micromesh) από Kαρτον 100XC10E5 με αντίσταση της τάξης των $2.8 - 3M\Omega/\square$, πάχος $20\mu m$, διάμετρο οπής $50\mu m$ και διάκενο μεταξύ των οπών $100\mu m$, το οποίο κατασκευάστηκε με χρήση laser υψηλής ισχύος. Τα πρώτα meshes

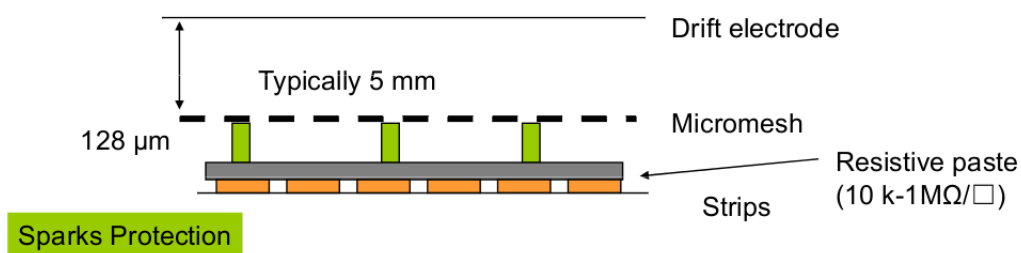
³Raether Limit: $A_m \geq \frac{Q_{max}}{n_0}$, όπου A_m είναι η μέγιστη δυνατή ενίσχυση, n_0 ο αριθμός των πρωταρχικών ηλεκτρονίων που δημιουργήθηκαν από την ιοντίζουσα ακτινοβολία στον όγκο του ανιχνευτή και Q_{max} το συνολικό κρίσιμο φορτίο στη χιονοστιβάδα (συνήθως $10^6 - 10^7$ ηλεκτρόνια)

ήταν μεγέθους $5 \times 5 \text{ cm}^2$ και $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Με αυτά κατασκευάστηκαν micromegas με mesh με αντίσταση (resistive mesh micromegas, RM-μ M) με διάκενο ενίσχυσης $1 - 3 \text{ mm}$. Για την άνοδο χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικά strips ή G-10 strips καλυμμένα με Krypton.

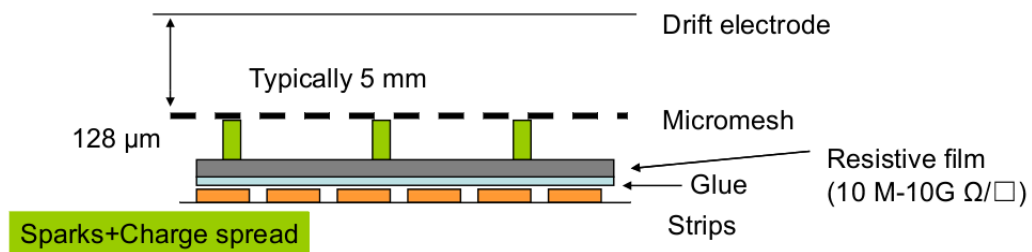


Σχήμα 2.8: Σχηματική αναπαράσταση των διαφορών ανάμεσα σε ένα συμβατικό micromegas (αριστερά) και σε έναν micromegas με strips με αντίσταση (δεξιά). Πάνω από κάθε strip ανάγνωσης έχει τοποθετηθεί ένα strip με αντίσταση.

Μια άλλη τεχνική, αντί αυτής της χρησιμοποίησης πλέγματος με χωρική αντίσταση είναι η τοποθέτηση μιας πάστας αντιστάτη ($10 \text{ k} - 1 \text{ M} \Omega / \square$) στην περιοχή ανάμεσα στους στύλους υποστήριξης (pillars) και στα strips ανάγνωσης. Η τεχνική αυτή προσφέρει δραστική μείωση των sparks στην περιοχή μεταξύ των strips. Το επόμενο στάδιο ήταν η τοποθέτηση ενός φιλμ με αντίσταση της τάξης των $10 \text{ M} - 10 \text{ G} \Omega / \square$ πάνω σε μια στρώση κόλλας και το μείγμα αυτό πάνω στα strips ανάγνωσης. Αποτέλεσμα αυτής της τεχνοτροπίας ήταν η προστασία από τα sparks αλλά και η ευρεία κατανομή του φορτίου στα strips ανάγνωσης.



Σχήμα 2.9: Τεχνική βελτίωσης του spark count στον micromegas με χρήση πάστας αντιστάτη πάνω από τα strips.



Σχήμα 2.10: Τεχνική βελτίωσης του spark count στον micromegas με χρήση ενός φιλμ με υψηλή αντίσταση πάνω σε ένα στρώμα κόλλας τοποθετημένο πάνω από το επίπεδο των strips. Εκτός από την βελτίωση στον τομέα των sparks επιτεύχθηκε και ευρύτερη κατανομή φορτίου.

3.1 Το CERN

Το CERN, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Πυρηνική Έρευνα, είναι ένα από τα μεγαλύτερα και πιο αξιόπιστα κέντρα στον κόσμο για την επιστημονική έρευνα. Από την ίδρυση του, το 1954, πραγματεύεται με θέματα θεμελιώδους φυσικής, με την αποκάλυψη του από τι είναι φτιαγμένο το σύμπαν και πώς αυτό λειτουργεί. Βρίσκεται στην Ευρώπη, στα Γαλλο-Ελβετικά σύνορα και είναι μια διεθνώς κοινή προσπάθεια. Στο CERN χρησιμοποιούνται οι μεγαλύτερες και πολυπλοκότερες μετρητικές συσκευές διεθνώς για την μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων της ύλης. Οι μετρητικές αυτές συσκευές ονομάζονται επιταχυντές κι ανιχνευτές. Οι πρώτοι αναλαμβάνουν την επιτάχυνση των στοιχειωδών σωματιδίων σε "ταχύτητες" συγκρίσιμες με την ταχύτητα του φωτός, ενώ οι δεύτεροι παρέχουν την δυνατότητα να βλέπουμε (κατά μια έννοια) το αποτέλεσμα της σύγκρουσης. Μελετώντας το τι συμβαίνει όταν αυτά τα σωματίδια συγκρούονται, οι ερευνητές μαθαίνουν για τους νόμους της Φύσης. Τα αρκτικόλεξο CERN προέρχεται από τις γαλλικές λέξεις *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*.

3.2 Ο LHC κι ο Ανιχνευτής ATLAS

Ο μεγάλος επιταχυντής αδρονίων (Large Hadron Collider, LHC), ο οποίος κατασκευάστηκε στο CERN, είναι η επιταχυντική διάταξη που κατασκευάστηκε για την μελέτη της δομής της ύλης, την ανίχνευση νέων στοιχειωδών σωματιδίων και την εύρεση Νέας Φυσικής. Είναι σχεδιασμένος ώστε να επιταχύνει δύο δέσμες πρωτονίων σε ενέργειες 7TeV η κάθε μία, προσφέροντας ενέργεια 14TeV στο κέντρο μάζας. Η μέγιστη αναμενόμενη φωτεινότητα (luminosity) των δεσμών αναμένεται να φτάσει στην τάξη των $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, αριθμός που αντιστοιχεί σε περίπου 10^{12} συγκρούσεις το δευτερόλεπτο. Ο LHC αναφέρεται ως η διάταξη που θα επιτρέψει την παραγωγή νέων σωματιδίων καθώς κατά την σύγκρουση των πρωτονίων, η αλληλεπίδραση γίνεται κατά κύριο λόγο μεταξύ των συστατικών των πρωτονίων (quarks και gluons), τα οποία φέρουν μέρος μόνο της συνολικής ενέργειας του πρωτονίου. Η εγκατάσταση του LHC έγινε στην ήδη υπάρχουσα υπόγεια κυκλική σήραγγα του επιταχυντή ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων LEP, περιφέρειας 27km , βάθους μεταξύ $50 - 175\text{m}$ που διασχίζει τα σύνορα Γαλλίας-Ελβετίας.

Ο ανιχνευτής ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus) έχει σχεδιαστεί ώστε να μπορεί να μελετήσει όλο το φάσμα φυσικής του LHC, με έμφαση στην ανακάλυψη του μποζονίου Higgs. Το μαγνητικό πεδίο παράγεται από έναν σωληνοειδή μαγνήτη έντασης $2T$, ο οποίος περιβάλλει τον εσωτερικό ανιχνευτή κι



Σχήμα 3.1: Η περιφέρεια του LHC σκιαγραφημένη πάνω στον χάρτη των Γαλλο-Ελβετικών συνόρων. Σημειώνονται πάνω σ' αυτή τα επιμέρους πειράματα, ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση.

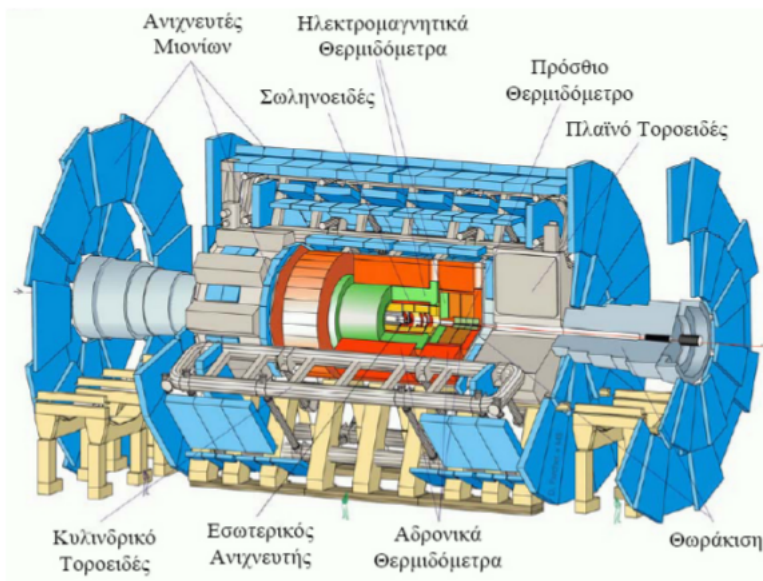
από ένα μεγάλο υπεραγωγίμο τοροειδές σύστημα μαγνητών εντάσεων $0.5-2T$. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη διακριτική ικανότητα και γεωμετρική αποδοχή κι από ανεξάρτητη λειτουργία του φασματόμετρου μιονίων. Ειδικά για το φασματόμετρο μιονίων έχει γίνει λεπτομερής σχεδιασμός ώστε να προσφέρει υψηλής ποιότητας ταυτοποίηση μιονίων και μέτρησης ορμής. Ταυτόχρονα, επιτρέπει την δημιουργία σημάτων για τον σχεδιασμό εκκινήτων (trigger) καθώς και καλύπτει ένα μεγάλο εύρος pseudorapidity (η).

3.3 RD51 Collaboration και το MAMMA Group

Η συνεργασία RD51 αποσκοπεί στη διευκόλυνση της ανάπτυξης των προηγμένων τεχνολογιών των ανιχνευτών αερίου καθώς και τα συναφή συστήματα ανάγνωσης δεδομένων για να εφαρμοστούν στον τομέα της βασικής και της εφαρμοσμένης έρευνας. Κύριος στόχος του προγράμματος είναι η προώθηση της τεχνολογικής ανάπτυξης και των εφαρμογών των MPGD. Η εφεύρεση των MPGD και ειδικότερα των GEM και Micromegas, αλλά και πιο πρόσφατα νέα συστήματα MSGD προσφέρουν την δυνατότητα να αναπτυχθούν νέοι τύποι ανιχνευτών αερίου με καλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα, βελτιωμένη ικανότητα σε συνθήκες υψηλής συχνότητας συγκρούσεων, μεγαλύτερη ενεργό περιοχή, σταθερότητα και αντοχή στη ραδιενέργεια. Σε πολλές εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη επιφάνεια ανίχνευσης και χαμηλή χωρική διακριτική ικανότητα, οι MPGD μπορούν να αποτελέσουν μια αξιόπιστη και οικονομική εναλλακτική στα ήδη υπάρχοντα βιομηχανικά συστήματα ανίχνευσης που έχουν υψηλό κόστος. Ο σχεδιασμός νέων συσκευών με βάση τους MPGD εμφανίζεται κατάλληλος για βιομηχανική παραγωγή. Επιπλέον, το γεγονός πως ήδη υπάρχει σύστημα ανάγνωσης των καναλιών του ανιχνευτή, επιτρέπει την κατασκευή συσκευών με πυκνότητα καναλιών εξόδου συγκρίσιμη με αυτή μιας ανιχνευτικής διάταξης για ένα πείραμα Φυσικής Υψηλών Ενέργειών.

Η RD51 Collaboration απασχολεί περίπου 430 συγγραφείς, 73 πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα από 25 χώρες στην Ευρώπη, Αμερική, Ασία κι Αφρική. Οι συνεργάτες ήδη ακολουθούν ενεργά είτε τη βασική, είτε την εφαρμοσμένη μελέτη κι ανάπτυξη σε ένα μεγάλο εύρος πτυχών των MPGD. Τα μέλη της συνεργασίας μοιράζονται κοινούς στόχους και κοινές μεθόδους στην παραγωγή των MPGD καθώς και κοινές υποδομές στα test beams.

Για το πείραμα ATLAS ένα από τα κύρια σημεία του ανιχνευτή είναι το ανεξάρτητο φαματοσκόπιο μιονίων. Σήμερα, το σύστημα αποτελείται από τρία υπεραγωγίμα τοροειδή σε συνδυασμό με θαλάμους τροχιών υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας (Monitored Drift Tubes (MDT) και Cathode Strip Chambers (CSC)), ταχείς ανιχνευτές για σκανδαλισμό (Resistive Plate Chambers (RPC) και Thin Gap Chambers (TGC)).



Σχήμα 3.2: Ο ανιχνευτής ATLAS.

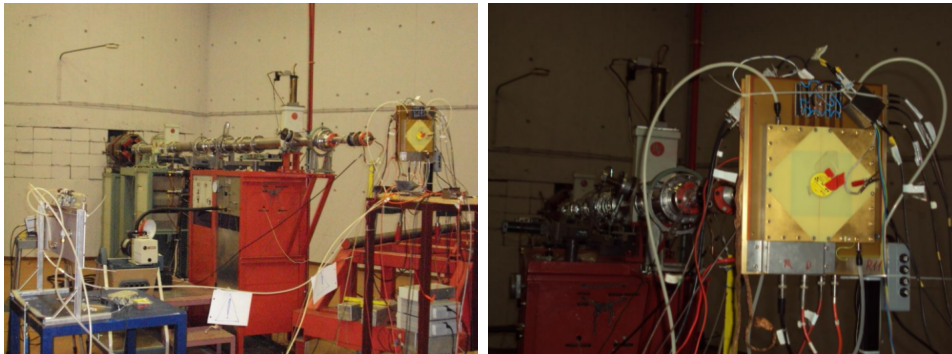
Αυτοί οι ανιχνευτές είναι ικανοί να λειτουργήσουν έως και πέντε φορές τη μέγιστη αναμενόμενη συχνότητα συγκρούσεων του LHC. Για το μέλλον, ένας αναβαθμισμένος LHC (ο s-LHC) θα έχει δέκα φορές υψηλότερη φωτεινότητα. Η αύξηση αυτή στην φωτεινότητα θα αυξήσει και τη συχνότητα των συγκρούσεων και συνεπώς και τις μετρήσεις των μιονίων και του υποβάθρου, κυρίως φωτόνια, νετρόνια και πρωτόνια. Για ένα τέτοιο ανιχνευτή είναι απαραίτητη η αναβάθμιση του ήδη υπάρχοντος κυρίως στους θαλάμους τροχιών και σκανδαλισμού.

Ο ανιχνευτής micromegas προσφέρει εξαιρετική χωρική διακριτική ικανότητα και υψηλή συχνότητα καταγραφής και είναι δυνατό να συνδυαστεί με άλλα συστήματα προσφέροντας έναν πλήρη ανιχνευτή σκανδαλισμού. Έτσι, ένας micromegas μεγάλου εμβαδού μπορεί να κατασκευαστεί με χαμηλό βιομηχανικό κόστος, χρίζοντας έτσι τον ανιχνευτή ως ένα ελπιδοφόρο υποψήφιο για την αναβάθμιση του μιονικού φασματοσκοπίου του ATLAS για τον s-LHC.

Οποιαδήποτε θέσπιση βέλτιστων χαρακτηριστικών που θα πρέπει ένας ανιχνευτής να προσφέρει ώστε να συμπεριληφθεί στην αναβάθμιση του ATLAS περιέχει μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας καθώς μια εκτίμηση για τη συχνότητα συγκρούσεων που θα προσφέρει ο s-LHC δεν μπορεί να γίνει σε μικρό διάστημα εμπιστοσύνης. Η κατάσταση θα βελτιωθεί με τα δεδομένα που θα συλλεχθούν μόλις ο LHC λειτουργήσει στην δυνατή μέγιστη ενέργεια. Μολαταύτα, με τις ήδη υπάρχουσες πληροφορίες έχουν τεθεί ένα σύνολο από απαιτήσεις, οι οποίες δρουν ως κατευθυντήρια γραμμή για την έρευνα και την κατασκευή των ανιχνευτών. Αυτές είναι:

- Ικανότητα λειτουργίας σε καταστάσεις υψηλής συχνότητας καταγραφής ($> 20kHz/cm^2$)
- Υψηλή ανιχνευτική απόδοση για ένα επίπεδο ($\geq 98\%$)
- Καλή χωρική διακριτική ικανότητα ($\approx 100\mu m$, πιθανότατα έως γωνίες πρόσπτωσης $< 45^\circ$)
- Μέτρηση σε δύο συντεταγμένες
- Ικανότητα διαχωρισμού δύο τροχιών σε μεταξύ τους απόσταση $\approx 1 - 2mm$
- Καλή χρονική διακριτική ικανότητα ($\approx 5ns$) ώστε να αναγνωρίζονται τα επιμέρους μέρη της δέσμης¹

¹ Beam Bunch: Η δέσμη σωματιδίων μέσα στον επιταχυντή δεν είναι συνεχής, αλλά αποτελείται από κομμάτια σταθερού μήκους που περιέχουν σωματίδια (bunches, spills) και κομμάτια χωρίς σωματίδια.



Σχήμα 3.3: Φωτογραφίες από το test beam του MAMMA στο Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. "Δημόκριτος" στην Αθήνα τον Μάιο του 2010. Δοκιμάστηκαν συμβατικοί micromegas καθώς και ένας resistive micromegas (R11) σε δέσμη νετρονίων ενέργειας 5.5MeV .

- Ικανότητα συνεργασίας με το Level-1 Trigger² του ATLAS
- Αντοχή στη γήρανση.

Συμπλήρωμα των απαιτήσεων αυτών αποτελεί το γεγονός πως η προτεινόμενη ανιχνευτική τεχνολογία θα πρέπει να συνοδεύεται από τα κατάλληλα ηλεκτρονικά για την ανάγνωση των δεδομένων, τα οποία με τη σειρά τους θα είναι ικανά να λειτουργήσουν με αξιώσεις σε συχνότητα σκανδαλισμού της τάξης των 100kHz , να παρέχουν παλμούς με καλό ύψος και καλές χρονικές μετρήσεις. Επιπλέον, το γεγονός ότι το εύρος συχνοτήτων (bandwidth) των ηλεκτρονικών ανάγνωσης είναι περιορισμένο, θα πρέπει να προσφέρεται ενσωματωμένη (on-board) επιλογή καταστολής των μηδενικών (zero-suppression functionality³). Τέλος, για να είναι αξιόπιστη η λειτουργία του για μεγάλο χρονικό διάστημα, η ανιχνευτική διάταξη θα πρέπει να είναι ανθεκτική στην ακτινοβολία.

Παρά το γεγονός ότι ο ανιχνευτής Micromegas χρησιμοποιείται ήδη ευρέως για πάνω από μια δεκαετία, δεν έχει χρησιμοποιηθεί ποτέ σε πείραμα συγκρουόμενων δεσμών. Η ομάδα Muon ATLAS Micromegas R&D Activity (MAMMA) ξεκίνησε το 2007 σκοπεύοντας να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία των micromegas ώστε να κατασκευάσει θαλάμους μεγάλου εμβαδού (περίπου $1\text{m} \times 2\text{m}$) οι οποίοι θα είναι συμβατοί με τις παραπάνω απαιτήσεις. Κάθε μέλος της ομάδας, πανεπιστήμιο ή ερευνητικό κέντρο, αναλαμβάνει ένα κομμάτι της έρευνας, ενώ ολόκληρη η ομάδα συγκεντρώνεται για να δοκιμάσει την πρόοδο της στους θαλάμους σε χρονικά καθορισμένα test beams. Το τελευταίο από αυτά πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2010 στο CERN, του οποίου η ανάλυση ενός κομματιού των δεδομένων είναι το κύριο κομμάτι αυτής της εργασίας. Αξίζει να σημειωθεί πως το επόμενο test beam είναι προγραμματισμένο για τον Οκτώβριο του 2010, γεγονός που δείχνει τους πυρετώδεις ρυθμούς με τους οποίους δουλεύουν τα μέλη της ομάδας προς τον κοινό στόχο.

3.4 Test Beam Ιουλίου 2010

Το τελευταίο test beam του MAMMA διεξήχθη το καλοκαίρι του 2010 (Ιούλιος-Αύγουστος) στο CERN. Η δοκιμή έγινε στο H6 στην τοποθεσία Prévessin. Ελέχθησαν τρεις resistive micromegas (R11, R12 και R13)

²Το Level-1 Trigger του ATLAS μειώνει τη συχνότητα καταγραφής από την τάξη των GHz που φέρει η δέσμη από τον LHC στα $\approx 100\text{kHz}$, συχνότητα στην οποία συνεχίζεται περαιτέρω η μείωση από το Level-2 (Higher Level Trigger - HLT) του ανιχνευτή.

³Μια ηλεκτρονική συσκευή που έχει την δυνατότητα καταγραφής δεδομένων σε αριθμητική μορφή, θα πρέπει να είναι ικανή να παρέχει αλγόριθμο αφαίρεσης-καταστολής των μηδενικών σε μη σημαντικά ψηφία της αριθμητικής τιμής ώστε να είναι αποδοτικότερο σε ό,τι αφορά τον αποθηκευτικό χώρο συγκράτησης των δεδομένων.

καθώς κι ένας θάλαμος ευρείας επιφάνειας (P3) σε δέσμη θετικών πιονίων (π^+) ενέργειας $120\text{GeV}/c$ με εντάσεις 40kHz και 5kHz . Μέρος της μελέτης ήταν και οι διαφορές μεταξύ δύο αέριων μιγμάτων, τα $Ar : CO_2 - 85 : 15$ και $Ar : CO_2 - 93 : 7$ ⁴, καθώς επίσης κι οι διαφορές δύο διαφορετικών front-end electronics (ALTRO και BNL).

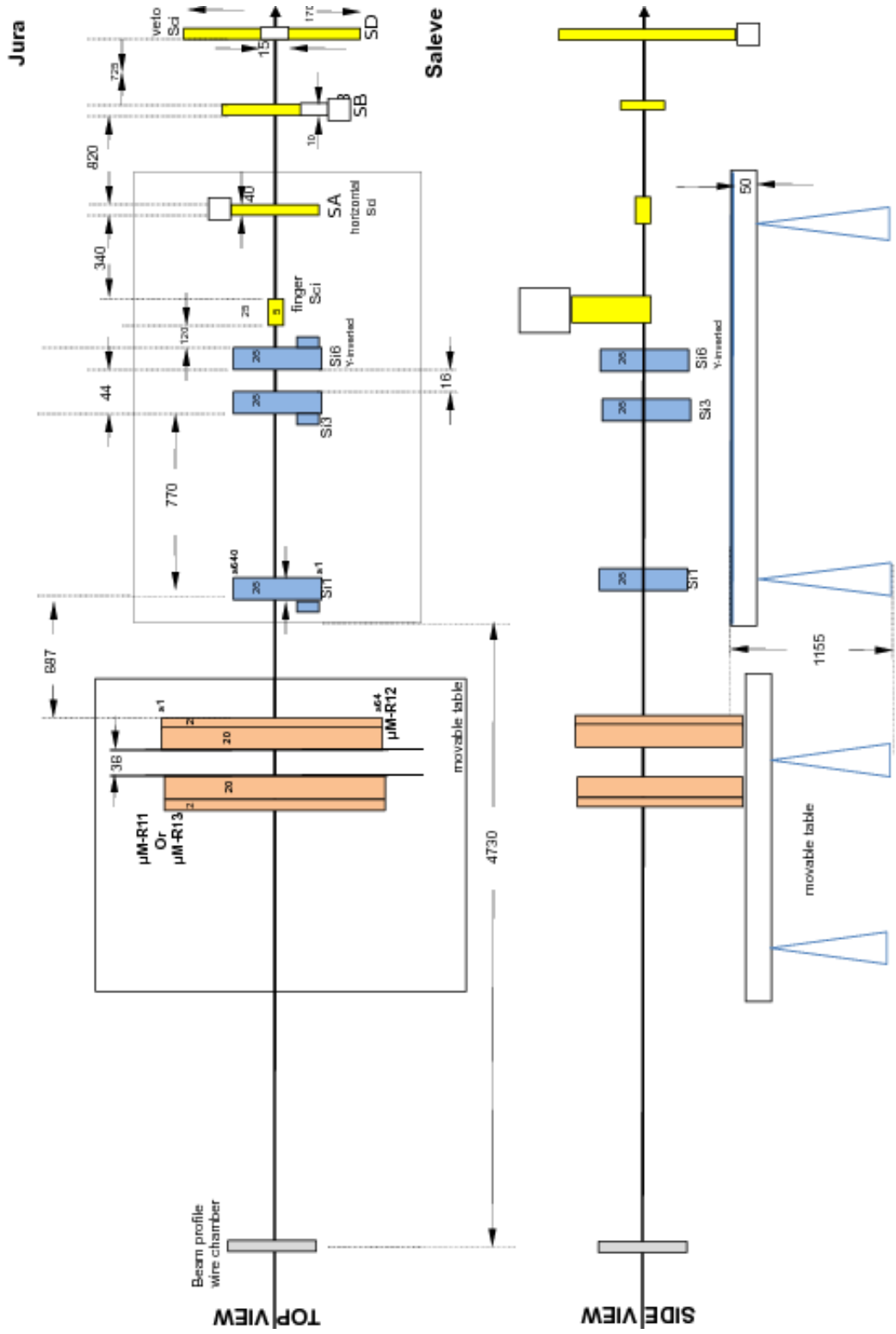
Κύριοι στόχοι του test beam ήταν:

- Μελέτη της συμπεριφοράς της τάσης και του ρεύματος σε resistive και συμβατικούς micromegas σε δέσμη αδρονίων.
- Μέτρηση της επίδοσης (χωρική διακριτική ικανότητα και απόδοση) των resistive θαλάμων.
- Μελέτη της επίδοσης των μακριών strips (μεγέθους 0.4m και 1m, χωρίς αντίσταση).

3.4.1 Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη συναρμολογήθηκε στην περιοχή του H6 σε δέσμη πιονίων ενέργειας $120\text{GeV}/c$ προερχόμενα από τον SPS. Το πρώτο κομμάτι της διάταξης που συναντούσε η δέσμη ήταν ένας θάλαμος με σύρματα (wire chamber), ο οποίος χρησιμοποιούταν για την καταγραφή της μορφής (προφίλ) της δέσμης (beam profile). Στη συνέχεια, σειρά είχαν τρεις micromegas ανιχνευτές με resistive strips ($R11, R12, R13$), τοποθετημένοι επάνω σε ένα κινούμενο τραπέζι ώστε να είναι δυνατή η προσομοίωση πρόσπτωσης της δέσμης σε διάφορες γωνίες. Ο χειρισμός του κινούμενου επιπέδου ήταν δυνατός και χειροκίνητα με άμεση πρόσβαση στην περιοχή, αλλά και ηλεκτρονικά μέσα από το κέντρο ελέγχου.

⁴Ο συμβολισμός $X : Y - a : b$ για τα αέρια μείγματα δηλώνει ότι η περιεκτικότητα του X στο μείγμα είναι $a\%$ και του Y $b\%$. Συνεπώς το μείγμα $Ar : CO_2 - 85 : 15$ είναι μείγμα Αργού και διοξειδίου του Άνθρακα σε ποσοστό 85% και 15% αντίστοιχα.



Σχήμα 3.4: Πειραματική διάταξη του test beam.

Ύστερα από τους micromegas υπήρχαν προς δοκιμή τρεις ανιχνευτές πυριτίου (Silicon Detectors) ονομαζόμενοι $Si1$, $Si3$ (Bonn ATLAS Telescope) κι ο $Si6$ με ανεστραμμένο y άξονα. Τέλος, η ανιχνευτική διάταξη περιείχε ένα σύνολο από σπινθηριστές, με τον πρώτο να είναι σπινθηριστής μικρής επιφάνειας (finger scintillator) για την εστίαση της δέσμης και στη συνέχεια έναν οριζόντιο, έναν κάθετο κι έναν σπινθηριστή βέτο. (βλ. σχήμα 3.4).

3.4.2 Τα Ηλεκτρονικά

Τα σήματα που λαμβάνονταν από την πειραματική διάταξη, δηλαδή τα δεδομένα από τους ανιχνευτές και τα σήματα ελέγχου από τους σπινθηριστές, ύστερα από την διέλευση τους από λογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα, αποθηκεύονταν σε μαγνητικά αποθηκευτικά μέσα (σκληροί δίσκοι) καταγεγραμμένα σε runs των περίπου δέκα χιλιάδων γεγονότων.

Τα ηλεκτρονικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά το test beam μπορούν να χωριστούν σε δύο μέρη. Πρώτα τα ηλεκτρονικά που χρησιμοποιήθηκαν για την εκκίνηση της καταγραφής δεδομένων (trigger logic) και τις ηλεκτρονικές διατάξεις που υπήρχαν στο δωμάτιο ελέγχου (Control Room, CR).

Για την trigger logic χρησιμοποιήθηκαν:

- LeCroy Discriminator 821CS
- Coincidence LeCroy 465
- Fan-In-Fan-Out LeCroy 428F
- HV Filter-Box SY 2527
- Discriminator LRS 620 CL
- Gate Generator CAEN 225
- Level Adapter LeCroy 688
- Amplifier ORTEC 672
- Amptek MCA

η διάταξη των οποίων απεικονίζεται στο μπλοκ διάγραμμα του σχήματος 3.6.

Το σήμα που περνούσε επιτυχώς από την trigger logic κατέληγε για επεξεργασία και καταγραφή στο δωμάτιο ελέγχου. Οι ηλεκτρονικές διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν εκεί ήταν:

- Discriminator LRS 620CL
- Fan-In-Fan-Out LeCroy 428F
- Counter CAEN N145
- Gate Generator CAEN 225
- Level Adapter 688AL
- Oscilloscope
- Amptek MCA

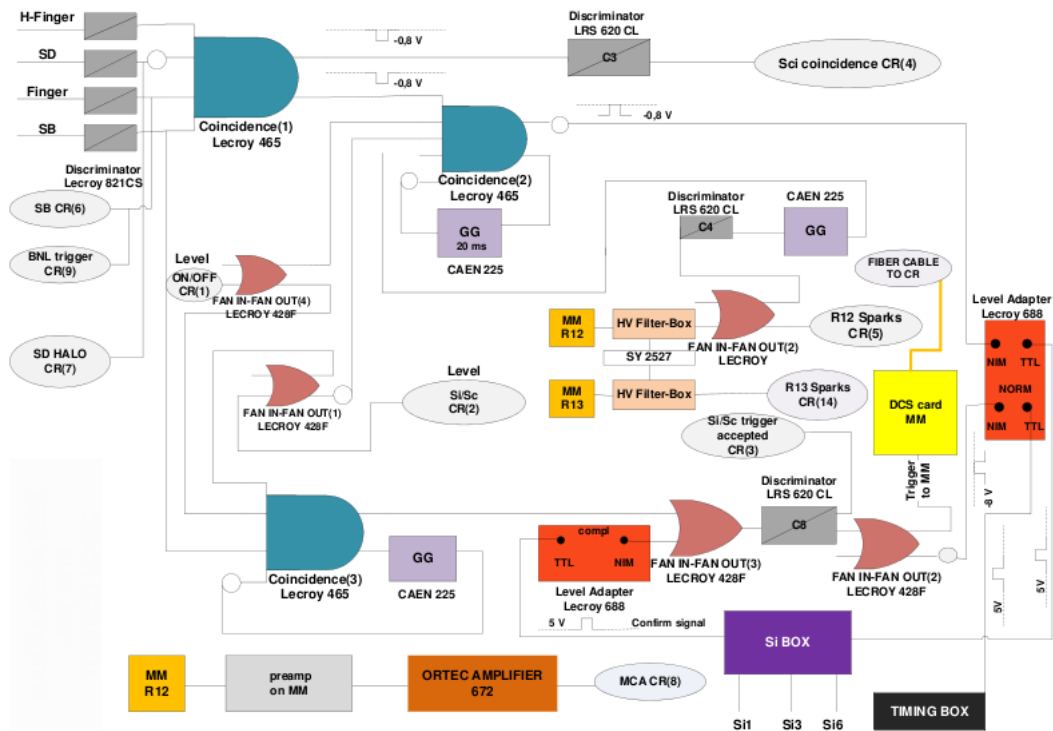
η διάταξη των οποίων φαίνεται στο διάγραμμα στο σχήμα 3.7

Τέλος, απομένει το κομμάτι της καταγραφής των δεδομένων. Στο μέρος της ανάλυσης των δεδομένων που αφορά αυτή την εργασία, η καταγραφή των δεδομένων έγινε με τη χρήση μιας παραλλαγής της ηλεκτρονικής πλακέτας που αρχικά είχε αναπτυχθεί για το πείραμα ALICE. Το σήμα από τον micromegas (διαμέσω της Mezzanine card και της FEE card) και από τον εκκινητή (trigger logic) φθάνουν στη μονάδα ελέγχου της πλακέτας καταγραφής δεδομένων (readout control unit) κι όσα ικανοποιούν τις συνθήκες του πειράματος αποθηκεύονται σε μαγνητικά μέσα. Η διάταξη αυτών των δομών φαίνεται στο σχήμα 3.8. Τα χαρακτηριστικά του ALTRO Readout Chip είναι:

- 64 κανάλια ανάγνωσης
- $200ns$ χρόνο ολοκλήρωσης



Σχήμα 3.5: Φωτογραφίες από το test beam του MAMMA στο H6 στο CERN τον Ιούλιο του 2010. Οι τρεις πρώτες δείχνουν την πειραματική διάταξη με τους micromegas, τους silicon και τους σπινθηριστές, ενώ η τέταρτη δείχνει την δοκιμή του P3.



Σχήμα 3.6: Trigger logic του test beam.

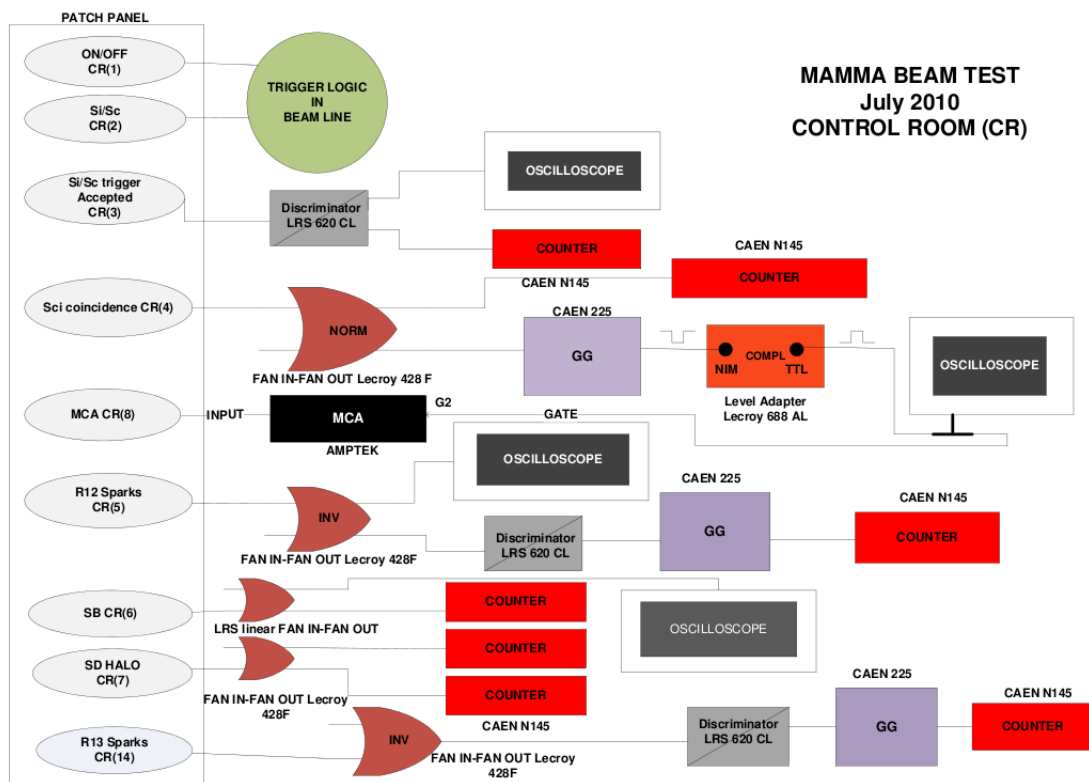
- 65 δείγματα φορτίου ανά κανάλι
- 100ns ανά δείγμα
- 15 προ-δείγματα (pre-samples)
- 1 ADC count αντιστοιχεί περίπου σε 1000 ηλεκτρόνια

Ενώ τα χαρακτηριστικά του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog-to-digital converter, ADC) είναι η μείωση του θορύβου (από 12 pre-samples), ενώ η θέση μιας συστοικίας strip με χρήσιμο φορτίο (cluster) δίνεται από το κέντρο βάρους της κατανομής.

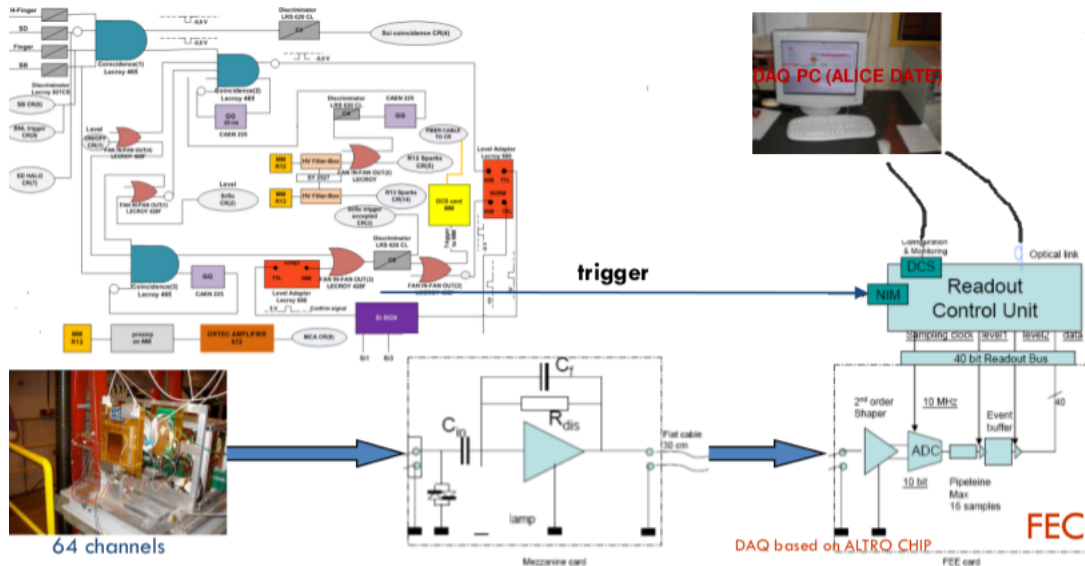
Από το σύστημα δίνεται η δυνατότητα ελέγχου από μια εφαρμογή εμφάνισης των πληροφοριών του γεγονότος την στιγμή που γίνεται η μέτρηση (on-line display). Η μορφή της εμφάνισης αυτής φαίνεται στο σχήμα ??.

3.4.3 Χαρακτηριστικά Θαλάμων

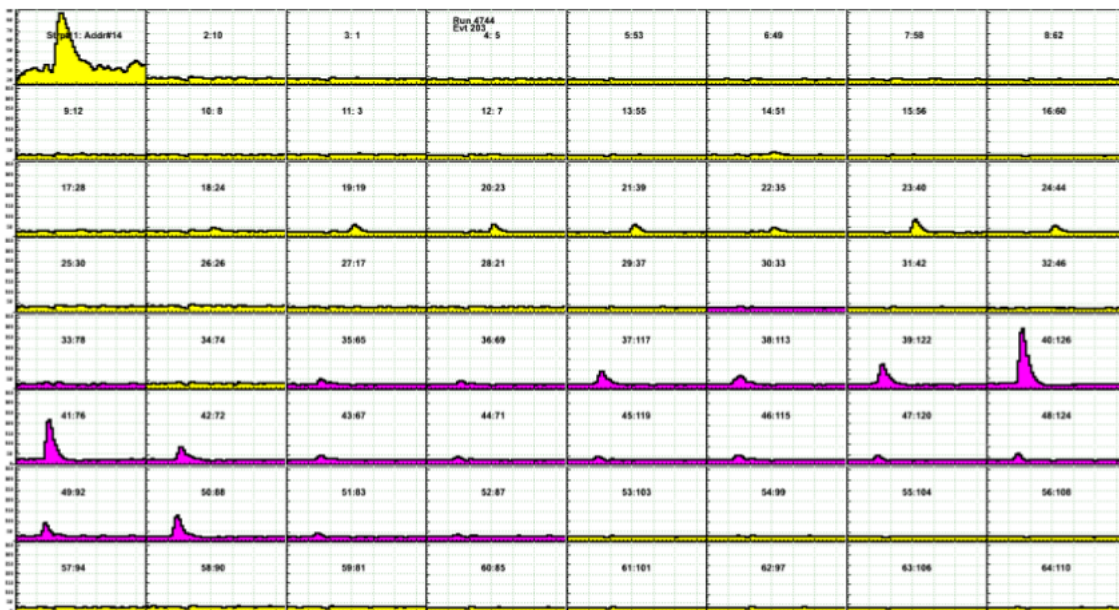
Οι θάλαμοι οι οποίοι μελετήθηκαν κατά τη διάρκεια του test beam ήταν οι resistive micromegas $R11$, $R12$, $R13$ και ο συμβατικός μεγάλης επιφάνειας $P3$. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους δίνονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 3.1).



Σχήμα 3.7: Η διάταξη των ηλεκτρονικών στο control room.



Σχήμα 3.8: Η δομή των ηλεκτρονικών για τη καταγραφή των δεδομένων.



Σχήμα 3.9: Το on-line display. Η εφαρμογή δίνει την μορφή που έχει η κατανομή του φορτίου σε κάθε ένα από τα 64 κανάλια ανάγνωσης. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται τα κανάλια στα οποία το φορτίο δεν ήταν αρκετό, σύμφωνα με το κατώφλι που τίθεται, ώστε να δώσει σήμα, ενώ με μωβ χρώμα απεικονίζονται τα κανάλια που έδωσαν χρήσιμο σήμα. Η συγκεκριμένη εικόνα είναι από γεγονός στον micromegas με τροχιά κλίσης 40° .

Όνομα	R11	R12	R13	P3
Πλάτος (mm)	200	200	200	600
Μήκος (mm)	200	200	200	1400
Ύψος (mm)	20	20	20	35
Πλάτος Mesh (mm)	100	100	100	350
Μήκος Mesh (mm)	100	100	100	1300
Κομμάτια Mesh (γραμμές/ίντσα)	400	400	400	6
Mesh Pitch	63	63	63	450
Υλικό Mesh	Ανοξ. Ατσάλι	Ανοξ. Ατσάλι	Ανοξ. Ατσάλι	Ανοξ. Ατσάλι
Διάμ. Καλωδίου Mesh (μm)	18	18	18	18
Περιοχή Ενίσχυσης (μm)	128	128	128	128
Περιοχή Ολίσθησης (mm)	4	5	5	5
Ηλεκτρόδιο Ολίσθησης	mesh 350lines/inch	mesh 350lines/inch	mesh 350lines/inch	mesh 350lines/inch
Strip Pitch (μm)	250	250	250	250/500
Πλάτος Strip (μm)	150	150	150	150/400
Μήκος Strip (mm)	70	70	70	350/800
Αντίσταση Κάλυψης	15 + 2MΩ/cm	50 + 5MΩ/cm	20 + 0.5MΩ/cm	×
Τύπος Υποδοχής	T2K (Erni 80)	T2K (Erni 80)	T2K (Erni 80)	T2K (Erni 80)
Ημερομηνία Κατασκευής	Απρίλιος 2010	Απρίλιος 2010	Απρίλιος 2010	Αύγουστος 2009
Τοποθεσία	H6	H6	H6	-

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά θαλάμων.

Ανάλυση των Δεδομένων

4.1 Εισαγωγή

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η παρουσίαση της ανάλυσης ενός μέρους των δεδομένων που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια του test beam του MAMMA group τον Ιούλιο του 2010 στο CERN. Το κεφάλαιο πραγματεύεται την μελέτη των θαλάμων $R11$ και $R12$ σε δέσμη πιονίων καθώς και τη μελέτη του θαλάμου $P3$ σε ό,τι αφορά τους υποδοχείς (connectors) του και την απόδοσή τους. Παράμετρο στη μελέτη αυτή αποτελεί η χρησιμοποίηση δύο διαφορετικών μειγμάτων αερίων, οπότε είναι εμφανές πως η απόδοση των θαλάμων στις διάφορες μελέτες εξαρτάται από το αέριο που περιέχουν και γι' αυτό κρίνεται επιτακτική η αναφορά του μείγματος, αλλά και η μελέτη του στον εκάστοτε θάλαμο. Τα δύο αέρια μείγματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του test beam ήταν το $Ar : CO_2 - 85 : 15$ και το $Ar : CO_2 - 93 : 7$. Για τα αέρια αυτά έχει γίνει προσομοίωση με χρήση του λογισμικού Garfield για τις βασικές ιδιότητες τους (διάχυση, ταχύτητα ολίσθησης κλπ) και τα διαγράμματα θα παρουσιάζονται όπου το απαιτεί η ανάλυση, αλλά όλα βρίσκονται ως παράρτημα στο τέλος της εργασίας. Από αυτά τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι η ταχύτητα ολίσθησης των φορέων φορτίου στο $Ar : CO_2 - 93 : 7$ είναι χαρακτηριστικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στο $Ar : CO_2 - 85 : 15$. Γι' αυτόν τον λόγο σε πολλές περιπτώσεις στη διάρκεια της ανάλυσης καταχρηστικά θα αναφερόμαστε στο πρώτο ως γρήγορο και στο δεύτερο αργό αέριο.

Κύριο εργαλείο για την κάθε μελέτη αποτελεί η μελέτης της δημιουργίας των συστοιχιών από strips που αποδίδουν χρήσιμο σήμα (clusters). Θα χρησιμοποιούμε τον όρο cluster, λοιπόν, αναφερόμενοι σε μια σειρά από συνεχόμενα strips τα οποία έδωσαν σήμα. Τον αριθμό των strips αυτόν θα τον χρησιμοποιούμε ώστε να ορίζουμε το μέγεθος του cluster, οπότε έχουμε clusters με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο της μονάδας.

Συνοψίζοντας, το κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσει:

- Μελέτη θαλάμων $R11$ και $R12$
 - Μελέτη συμπεριφοράς στη δέσμη αδρονίων
 - Μελέτη των διαφορών των αερίων μιγμάτων
- Μελέτη των υποδοχών του θαλάμου $P3$.

4.2 Μελέτη Θαλάμων

Οι θάλαμοι $R11$ και $R12$ είναι θάλαμοι με resistive strips. Έχουν όμοια εξωτερικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, αντίθετα διαφέρουν στο μέγεθος της περιοχής ολίσθησης ($4\mu m$ στον $R11$ και $5\mu m$ στον $R12$) και στην ωμική αντίσταση που προβάλλουν τα strips ($15 + 2M\Omega/cm$ στον $R11$ και $50 + 5M\Omega/cm$ στον $R12$). Για την μελέτη της συμπεριφοράς τους σε διαφορετικά αέρια εκτελέστηκε μια σάρωση υψηλών τάσεων για τον καθένα. Με απλά λόγια οι υψηλές τάσεις με τις οποίες τροφοδοτείται ένας micromesh είναι η τάση που εφαρμόζεται στο ηλεκτρόδιο ολίσθησης και η τάση που εφαρμόζεται στο micromesh. Κρατώντας σταθερή τη μία από τις δύο και μεταβάλλοντας την άλλη λέγεται ότι εκτελούμε μια σάρωση υψηλών τάσεων. Και για τους δύο θαλάμους λοιπόν, η τάση που εφαρμόστηκε στο πλέγμα κρατήθηκε ως σταθερή παράμετρος και μεταβαλλόταν η τάση που εφαρμοζόταν στο ηλεκτρόδιο ολίσθησης (High voltage drift scan). Στα διαγράμματα που παρουσιάζονται εμφανίζεται να χρησιμοποιείται αντί για την τάση το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στην περιοχή ολίσθησης. Αυτό υπολογίζεται ως

$$E_{drift} = \frac{V_{drift} - V_{mesh}}{d_{drift.gap}}, [V/cm]$$

Αντίστοιχα, χρησιμοποιείται το πεδίο του mesh το οποίο ορίζεται ως

$$E_{mesh} = \frac{V_{mesh}}{d_{amp.gap}}, [V/cm]$$

4.2.1 Ο Θάλαμος $R11$

Οι μετρήσεις για τον θάλαμο $R11$ εκτελέστηκαν στις 7 και 9 Ιουλίου για το αέριο $Ar : CO_2 - 85 : 15$ και το $Ar : CO_2 - 93 : 7$ αντίστοιχα. Η δέσμη ήταν κάθετη στο επίπεδο του θαλάμου (ονομαστική γωνία $\theta = 0^\circ$). Για το αέριο $Ar : CO_2 - 85 : 15$, κρατώντας την τάση στο πλέγμα σταθερή στα $570V$ και μεταβάλλοντας την τάση στο ηλεκτρόδιο ολίσθησης από $790V$ έως $950V$ με βήμα $20V$ (26 runs συνολικά) συλλέχθηκαν 9 πειραματικά σημεία. Αντίστοιχα, στο γρήγορο αέριο, κρατώντας τη τάση του πλέγματος σταθερή στα $550V$ και μεταβάλλοντας την τάση στο ηλεκτρόδιο ολίσθησης πρώτα από $650V$ έως $1000V$ με βήμα $50V$ και ύστερα από $1000V$ έως $1400V$ με βήμα $1000V$ (20 runs συνολικά) ελήφθησαν άλλα 9 πειραματικά σημεία.

Αριθμός Clusters

Στις τιμές του ηλεκτρικού πεδίου στις οποίες ελήφθησαν οι μετρήσεις για τον θάλαμο αναμένεται πλήρη διαφάνεια του πλέγματος και λόγω της υψηλής ταχύτητας των φορέων μέσα στο αέριο ο αριθμός των clusters στα περισσότερα γεγονότα αναμένεται να είναι ίσος με τη μονάδα.

Γράφοντας ένα script σε ROOT μπορούμε να αναπαράγουμε από το αρχείο των δεδομένων (ntuple) τον αριθμό των clusters για τις διάφορες τάσεις. Στον κώδικα αυτόν εισήχθησαν ως κριτήρια επιλογής καλών γεγονότων οι απαιτήσεις ο αριθμός των clusters να είναι μικρότερος από τέσσερα και το μέγεθος των clusters να είναι μεγαλύτερο της μονάδας. Η λογική με την οποία εισήχθησαν τα κριτήρια αυτά ήταν πως για να χαρακτηριστεί ένα γεγονός ως χρήσιμο για την ανάλυση μας θα πρέπει να περιοριστεί ο θόρυβος του στο ελάχιστο. Κάτι τέτοιο όμως στην offline ανάλυση δεν είναι εφικτό, οπότε και στηριζόμενη στην στατιστική που έχει το κάθε run είναι λογική η αφαίρεση ενός θορυβώδους γεγονότος από το σύνολο των γεγονότων προς ανάλυση. Ζητώντας ο αριθμός των clusters να είναι μικρότερος από τέσσερα επιτυγχάνεται η μη χρησιμοποίηση γεγονότων που λόγω υψηλού θορύβου σε ένα κανάλι το λογισμικό δημιουργίας της ntuple θεώρησε πως ήταν κανάλι με χρήσιμο σήμα, δημιουργώντας έτσι πολλούς clusters σε τυχαία strips. Επιπλέον, εισάγοντας το δεύτερο κριτήριο αφαιρούμε γεγονότα όπου δημιουργούνται από κάποιο <<hot wire>>. Με την ονομασία αυτή χαρακτηρίζουμε ένα κανάλι το οποίο δίνει σήμα λόγω προβλήματος των ηλεκτρονικών χωρίς να υπάρχει απαραίτητα κάποια φυσική διαδικασία που να λαμβάνει χώρα στην περιοχή του. Οι απαιτήσεις αυτές στην ορολογία της ανάλυσης ονομάζονται κοψίματα (cuts). Το αποτέλεσμα για το αέριο $Ar : CO_2 - 85 : 15$ φαίνεται στο σχήμα 4.3.

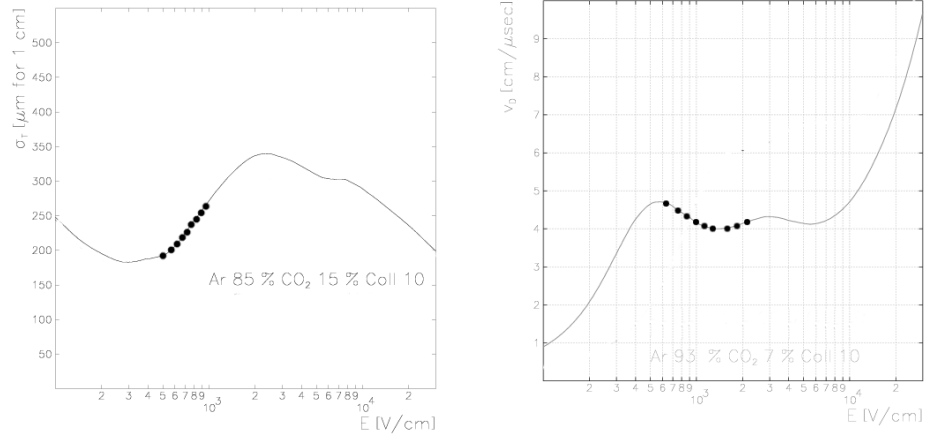
Μείγμα Αερίων : $Ar : CO_2 - 85 : 15$					Μείγμα Αερίων : $Ar : CO_2 - 93 : 7$				
V_d (V)	V_m (V)	E_d (V/cm)	E_m (V/cm)	E_m/E_d	V_d (V)	V_m (V)	E_d (V/cm)	E_m (V/cm)	E_m/E_d
790	570	550	44531.25	80.97	800	550	625	42968.75	68.75
810	570	600	44531.25	74.22	850	550	750	42968.75	57.29
830	570	650	44531.25	68.51	900	550	875	42968.75	49.11
850	570	700	44531.25	63.62	950	550	1000	42968.75	42.97
870	570	750	44531.25	59.38	1000	550	1125	42968.75	38.19
890	570	800	44531.25	55.66	1100	550	1375	42968.75	31.25
910	570	850	44531.25	52.39	1200	550	1625	42968.75	26.44
930	570	900	44531.25	49.48	1300	550	1875	42968.75	22.92
950	570	950	44531.25	46.88	1400	550	2125	42968.75	20.22

Πίνακας 4.1: High voltage drift scan στον θάλαμο R11.

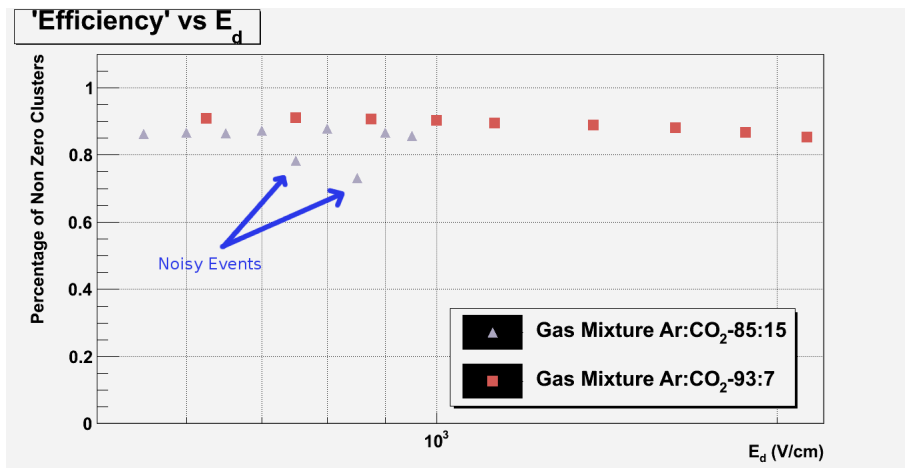
Όπως παρατηρούμε ο αριθμός των clusters που δημιουργείται στην πλειοψηφία των γεγονότων ($\approx 75\%$) είναι μονάδα και ένα ποσοστό 10 – 15% είναι γεγονότα με δύο clusters. Παρατηρούμε επίσης πως η κατανομή αλλάζει όταν το πεδίο είναι $750V/cm$ και $850V/cm$. Μελέτη του on-line display έδειξε πως η αύξηση των γεγονότων με καθόλου clusters δεν είναι αποτέλεσμα κάποιας φυσικής διαδικασίας (όπως για παράδειγμα κάποιο φαινόμενο μετάβασης). Αντίθετα τα runs που πήραμε για τις δεδομένες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου εμπειρίαν ένα μεγάλο μέρος από γεγονότα με αυξημένο θόρυβο. Τέτοια γεγονότα κρίνονταν ακατάλληλα από τον αλγόριθμο που κατασκευάστηκε κι ονομάζονταν καταχρηστικά γεγονότα με καθόλου clusters.

Αντίστοιχη είναι και η διαδικασία για το γρήγορο αέριο. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο σχήμα 4.4. Όπως είναι εμφανές από την σύγκριση του αριθμού των clusters ανάμεσα στα δύο αέρια, ο θάλαμος R11 έχει πανομοιότυπη συμπεριφορά και για τα μείγματα αυτά. Ένα ποσοστό μεγαλύτερο από τα τρίτα τέταρτα των γεγονότων αποτελεί και στις δύο περιπτώσεις γεγονότα με μοναδικό cluster. Μάλιστα, στα διαγράμματα για το αέριο $Ar : CO_2 - 93 : 7$ παρατηρούμε ότι οι μετρήσεις είχαν χαμηλότερο επίπεδο θορύβου, αποτρέποντας έτσι τον κώδικα να ονομάσει θορυβώδη γεγονότα ως χρήσιμα γεγονότα με καθόλου clusters. Η συμπεριφορά αυτή όμως δεν μπορεί να αποδοθεί στο αέριο μείγμα καθώς οι μετρήσεις για τα δύο αέρια ελήφθησαν σε απόσταση δύο ημερών μεταξύ τους με αυτή του γρήγορου αερίου να ακολουθεί αυτή του αργού. Συνεπώς, οποιαδήποτε διόρθωση των ηλεκτρονικών για μείωση του θορύβου στις δύο αυτές ημέρες ενέργησε ευεργετικά για την μέτρηση του γρήγορου αερίου.

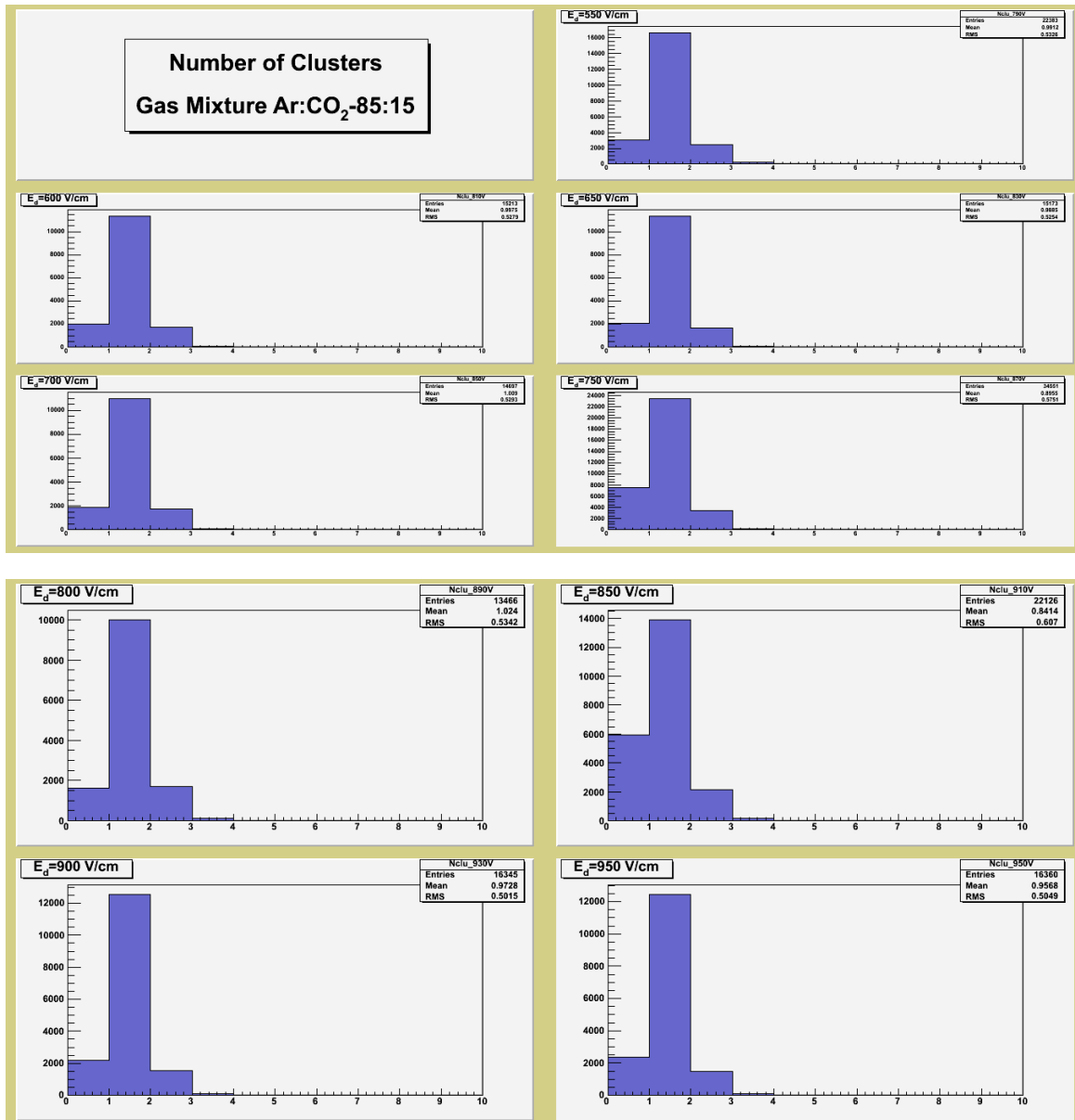
Για να συγκριθούν μεταξύ τους τα δύο αέρια είναι δυνατόν να εξαχθεί από τα ιστογράμματα το ποσοστό των γεγονότων που είχαν τουλάχιστον έναν cluster. Αυτό το κανονικοποιημένο στη μονάδα μέγεθος, μετρείται σε κάθε τιμή του ηλεκτρικού πεδίου καθώς εξάγεται από το αντίστοιχο ιστόγραμμα. Καταχρηστικά του δίνεται ο όρος απόδοση (efficiency) θα πρέπει να τονιστεί όμως πως δεν αποτελεί την απόδοση της ανιχνευτικής διάταξης εν γένει. Το συγκριτικό αποτέλεσμα φαίνεται στο σχήμα 4.2. Φαίνεται πως το μείγμα $Ar : CO_2 - 93 : 7$ παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό γεγονότων με clusters, αλλά λόγω της μικρής διαφοράς στα ποσοστά ανάμεσα στα δύο αέρια και λαμβάνοντας υπόψιν το επίπεδο του θορύβου που επικρατούσε κατά τη μέτρηση με το μείγμα $Ar : CO_2 - 85 : 15$, είναι ασφαλές να πούμε πως τα δύο αέρια παρουσιάζουν πανομοιότυπη συμπεριφορά στις ίδιες τιμές ηλεκτρικού πεδίου.



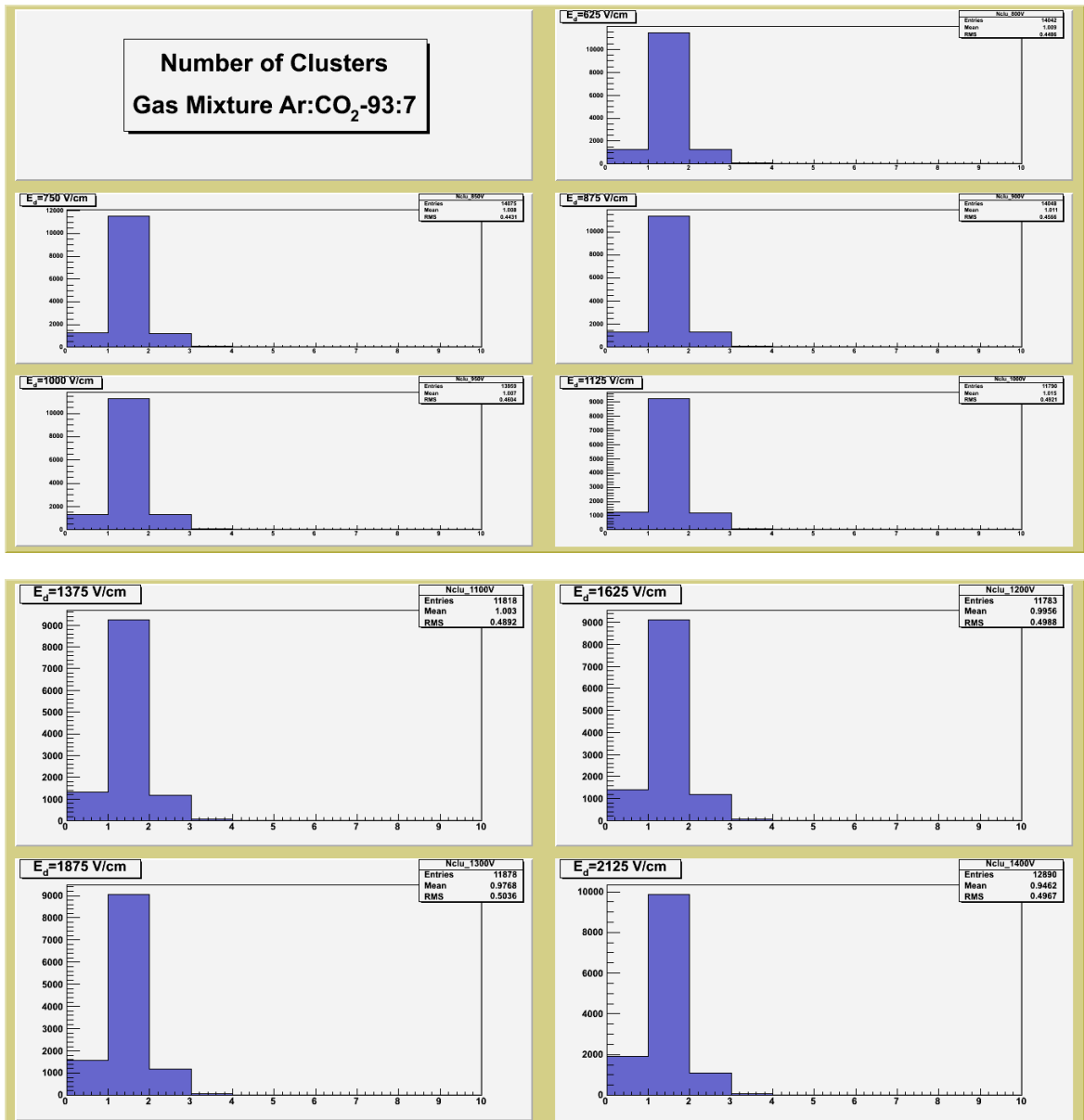
Σχήμα 4.1: Η ταχύτητα ολίσθησης για διάφορες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου ολίσθησης για τα δύο αέρια.



Σχήμα 4.2: Ποσοστό γεγονότων με τουλάχιστον έναν cluster. Συγκρίνονται τα δύο αέρια μεταξύ τους στον ίδιο θάλαμο.



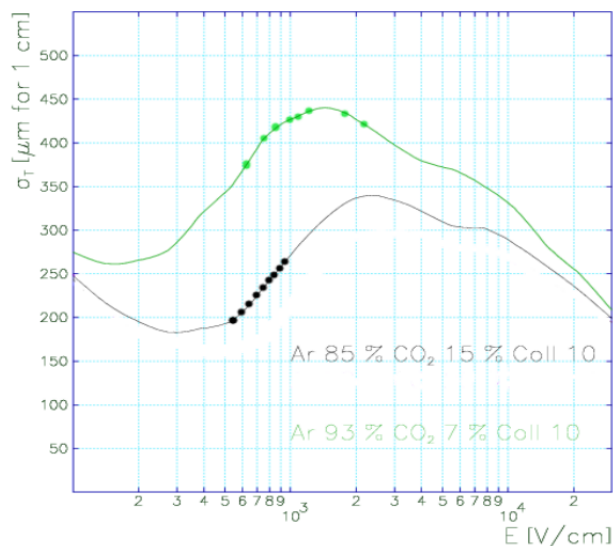
Σχήμα 4.3: Ο αριθμός των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO₂ – 85 : 15.



Σχήμα 4.4: Ο αριθμός των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO₂ – 93 : 7.

Μέγεθος των Clusters

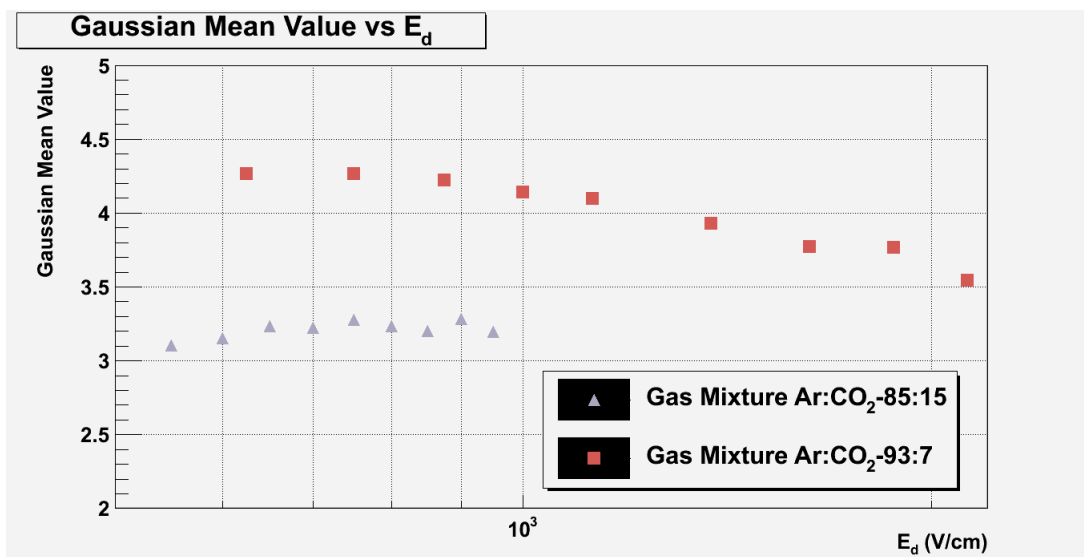
Το μέγεθος ενός cluster ορίστηκε ως ο αριθμός των συνεχόμενων strips που έδωσαν σήμα κατά την καταγραφή των δεδομένων. Τα strips που δίνουν σήμα είναι εκείνα στα οποία ήταν η δυνατή η εναπόθεση φορτίου κατά το τέλος της ηλεκτρονιακής χιονοστιβάδας. Το εύρος του καταιγισμού εξαρτάται από την εγκάρσια διάχυση που παρουσιάζουν οι φορείς φορτίου μέσα στο αέριο μείγμα. Στο σχήμα 4.5 δίνεται για διάφορες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου ολίσθησης η διάχυση μέσα στα δύο αέρια μείγματα. Τα σημεία που ξεχωρίζουν στο διάγραμμα είναι οι τιμές του ηλεκτρικού πεδίου στις οποίες διενεργήθηκε η μέτρηση.



Σχήμα 4.5: Εγκάρσια διάχυση για τα δύο αέρια.

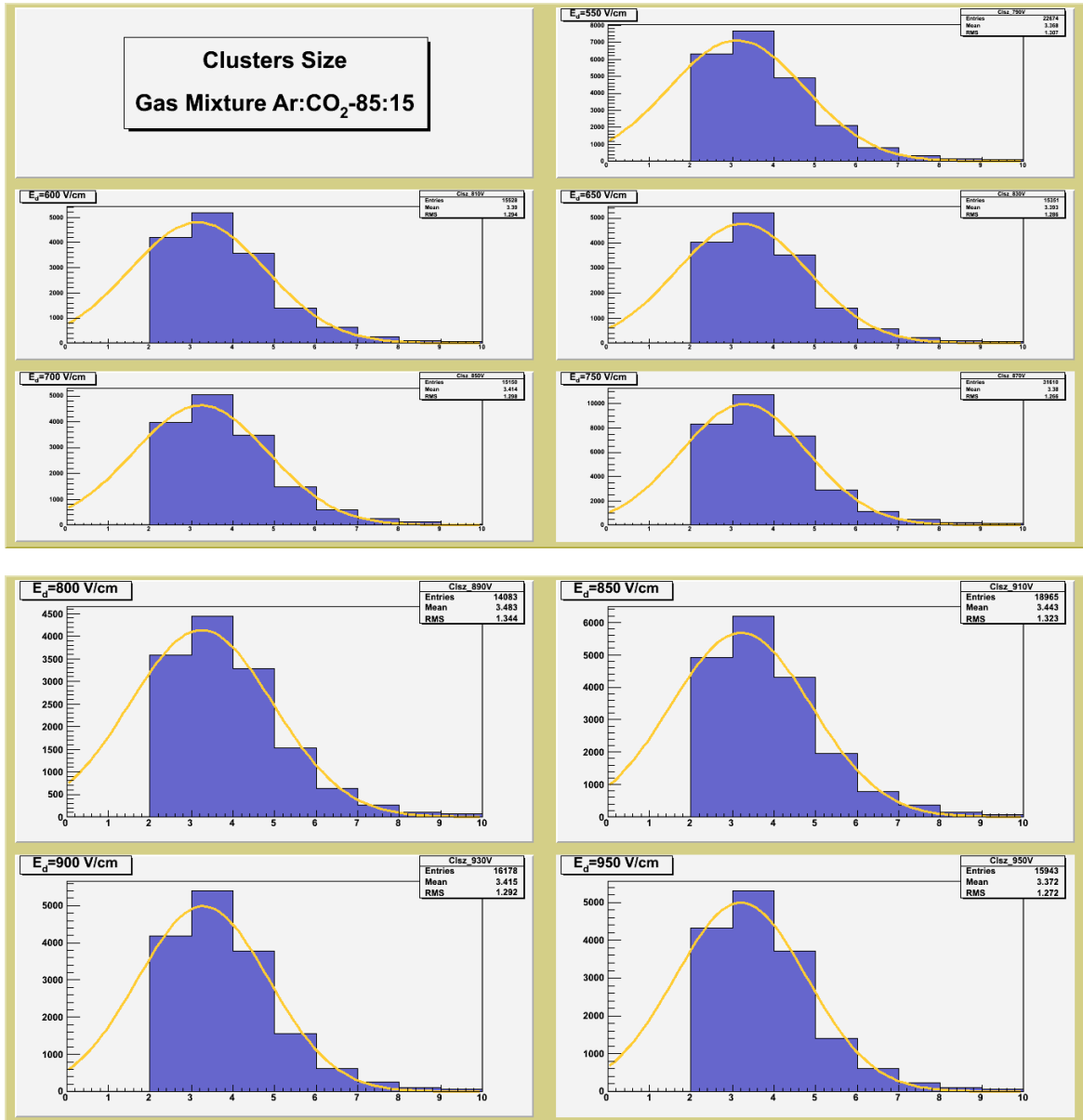
Τα ιστογράμματα για το μέγεθος των clusters στα δύο αέρια παρουσιάζονται στα σχήματα 4.7 και 4.8 αντίστοιχα. Είναι εμφανές από την απουσία γεγονότων με μέγεθος cluster ίσο με τη μονάδα πως τα κριτήρια ποιότητας των γεγονότων, δηλαδή τα cuts που εφαρμόστηκαν προηγουμένως ισχύουν κι εδώ. Παρατηρεί κανείς πως σε κάθε αέριο ξεχωριστά καθώς αυξάνει το ηλεκτρικό πεδίο ολίσθησης αυξάνει και το μέγεθος των clusters.

Μια ακόμη παρατήρηση, είναι πως στα ιστογράμματα για τα δύο αέρια διαφέρει η μέση τιμή του μεγέθους των clusters σε όλες τις τιμές του ηλεκτρικού πεδίου. Με άλλα λόγια, όπως αναμενόταν και από την προσομοιωμένη καμπύλη από το Garfield (σχήμα 4.5), λόγω της μεγαλύτερης εγκάρσιας διάχυσης που εμφανίζει το αέριο $Ar : CO_2 - 93 : 7$ στις τιμές του ηλεκτρικού πεδίου που μελετήθηκαν, σε σχέση με το $Ar : CO_2 - 85 : 15$, θα σχηματίζει μεγαλύτερες συστοιχίες από strips καθώς ο ηλεκτρονιακός καταιγισμός εξαπλώνεται σε μεγαλύτερο εύρος. Κάνοντας μια προσαρμογή (fit) μιας Gaussian καμπύλης σε κάθε ιστόγραμμα και κρατώντας την μέση τιμή της, κατασκευάζεται ένα μέτρο σύγκρισης για το μέσο μέγεθος των clusters σε κάθε τιμή του πεδίου και σε κάθε αέριο. Το συγκριτικό διάγραμμα για τα δύο αέρια φαίνεται στο σχήμα 4.6. Όπως γίνεται εμφανές, το γρήγορο αέριο παρουσιάζει σταθερά μεγαλύτερους clusters σε όλες τις τιμές του ηλεκτρικού πεδίου ολίσθησης που μελετήθηκαν. Η μέση τιμή του μεγέθους για το αέριο $Ar : CO_2 - 93 : 7$ αγγίζει τα 4 strips, ενώ για το $Ar : CO_2 - 85 : 15$ οριακά ξεπερνάει τα 3 strips. Τέλος, στο διάγραμμα 4.6 γίνεται εύκολα αντιληπτό πως το αέριο $Ar : CO_2 - 93 : 7$ παρουσιάζει μια πτώση στο μέγεθος των clusters που δημιουργούνται σε αυτό σε υψηλές τιμές του ηλεκτρικού πεδίου ολίσθησης. Η εξήγηση του φαινομένου αυτού μπορεί να δοθεί με τη βοήθεια των διαγραμμάτων για την ταχύτητα ολίσθησης (βλ. 4.1) και την εγκάρσια διάχυση (βλ. 4.6). Στο πρώτο φαίνεται πως η ταχύτητα ολίσθησης στις υψηλές τιμές του πεδίου βρίσκεται σε ένα πλατό χαμηλότερα

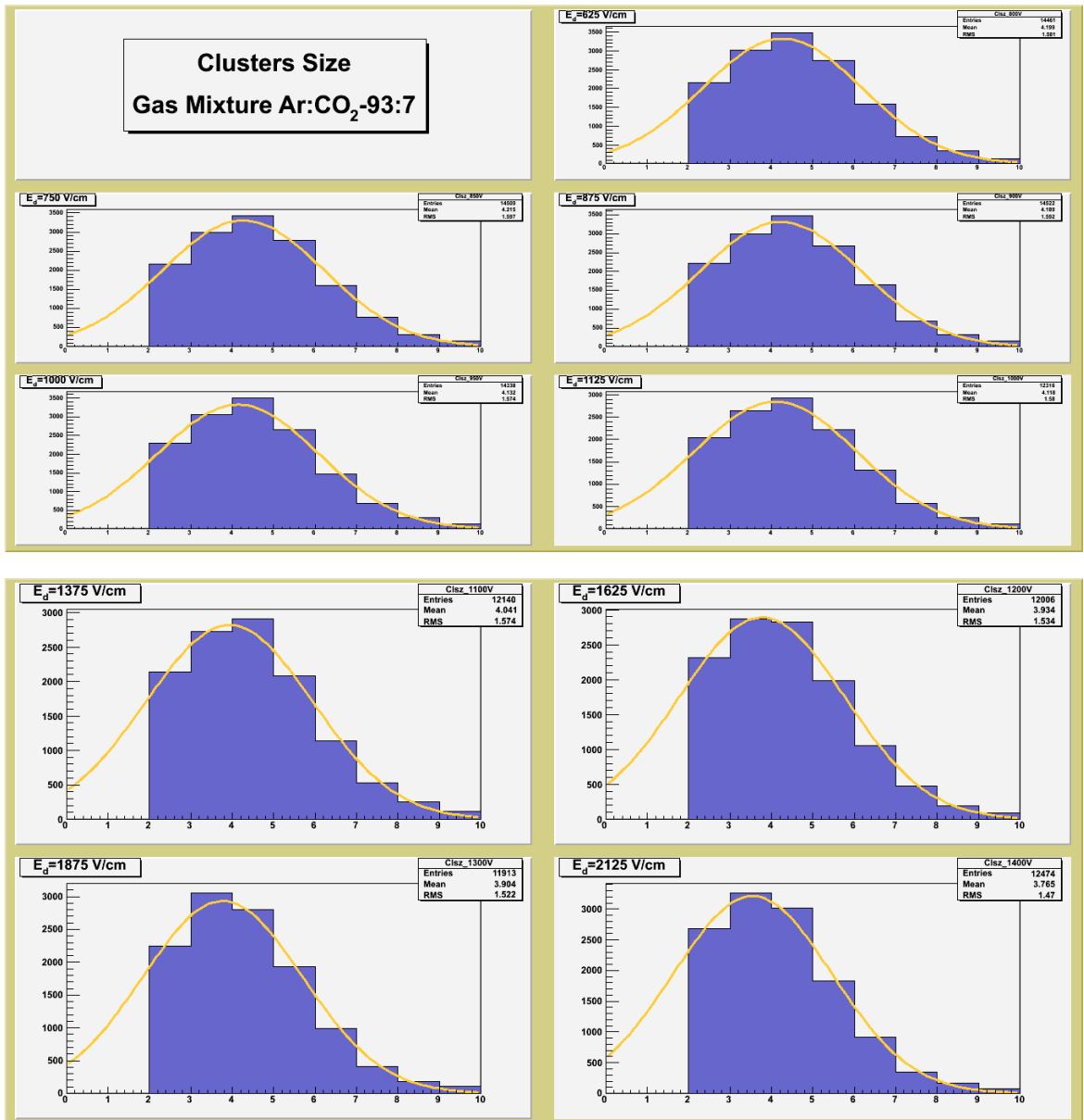


Σχήμα 4.6: Συγκριτικό διάγραμμα για το μέγεθος των clusters στα δύο αέρια.

από τις αμέσως προηγούμενες τιμές, ενώ παράλληλα η διάχυση μειώνεται. Ο συνδυασμός αυτών των δύο παραμέτρων επιφέρει την παρατηρούμενη μείωση στο μέγεθος των συστοιχιών από strips.



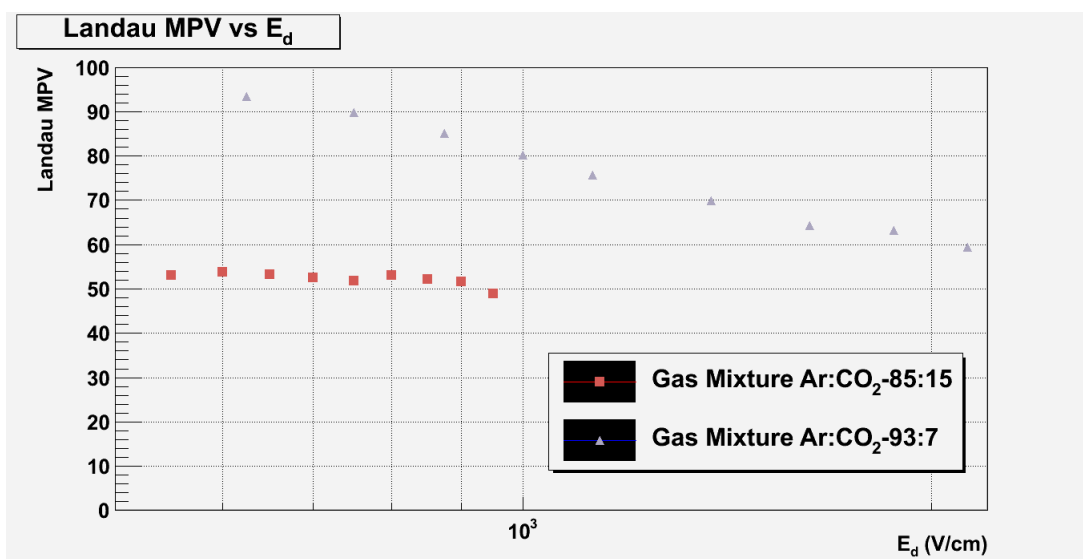
Σχήμα 4.7: Το μέγεθος των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO₂ – 85 : 15.



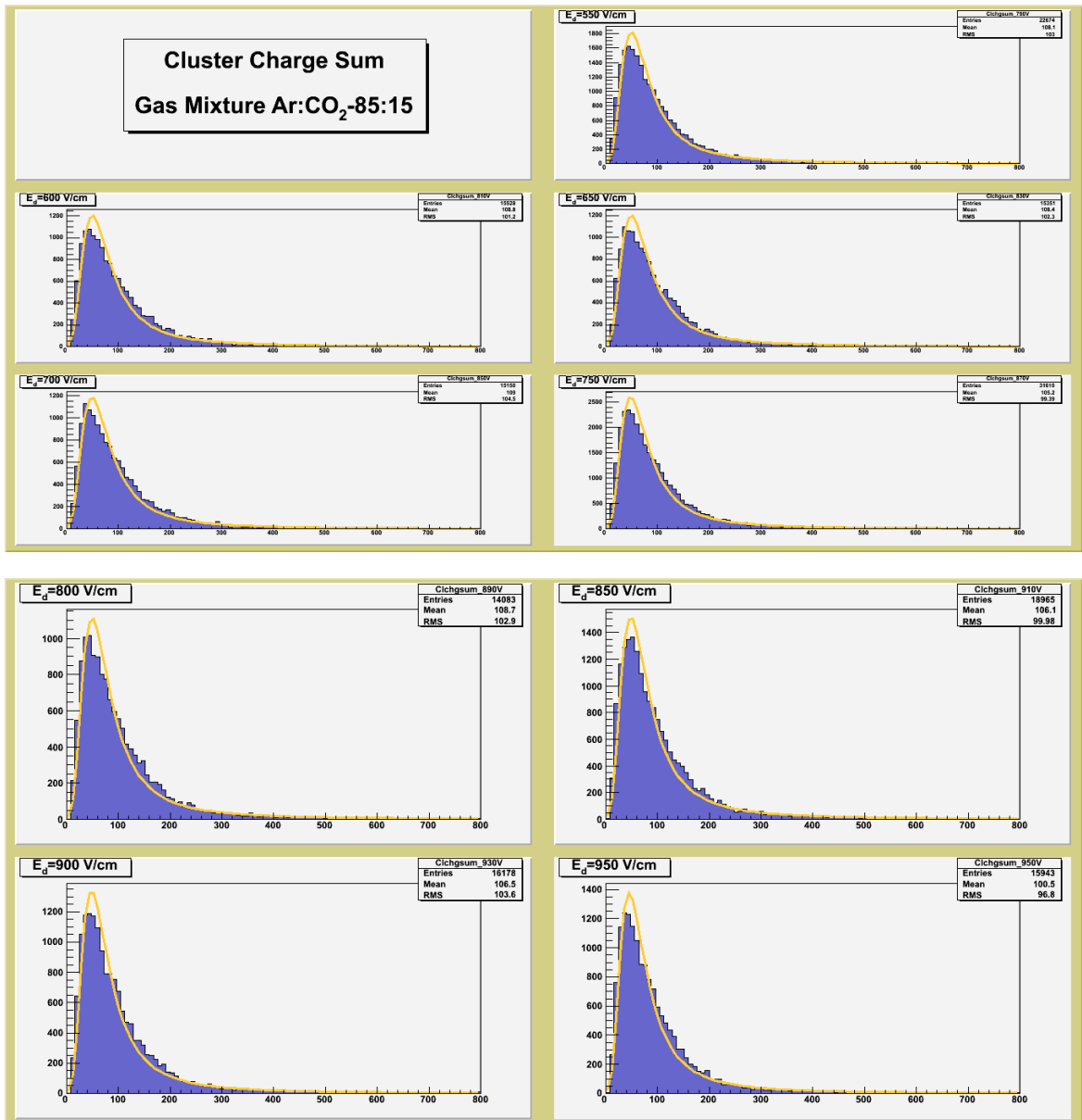
Σχήμα 4.8: Το μέγεθος των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO₂ – 93 : 7.

Συνολικό Φορτίο Cluster

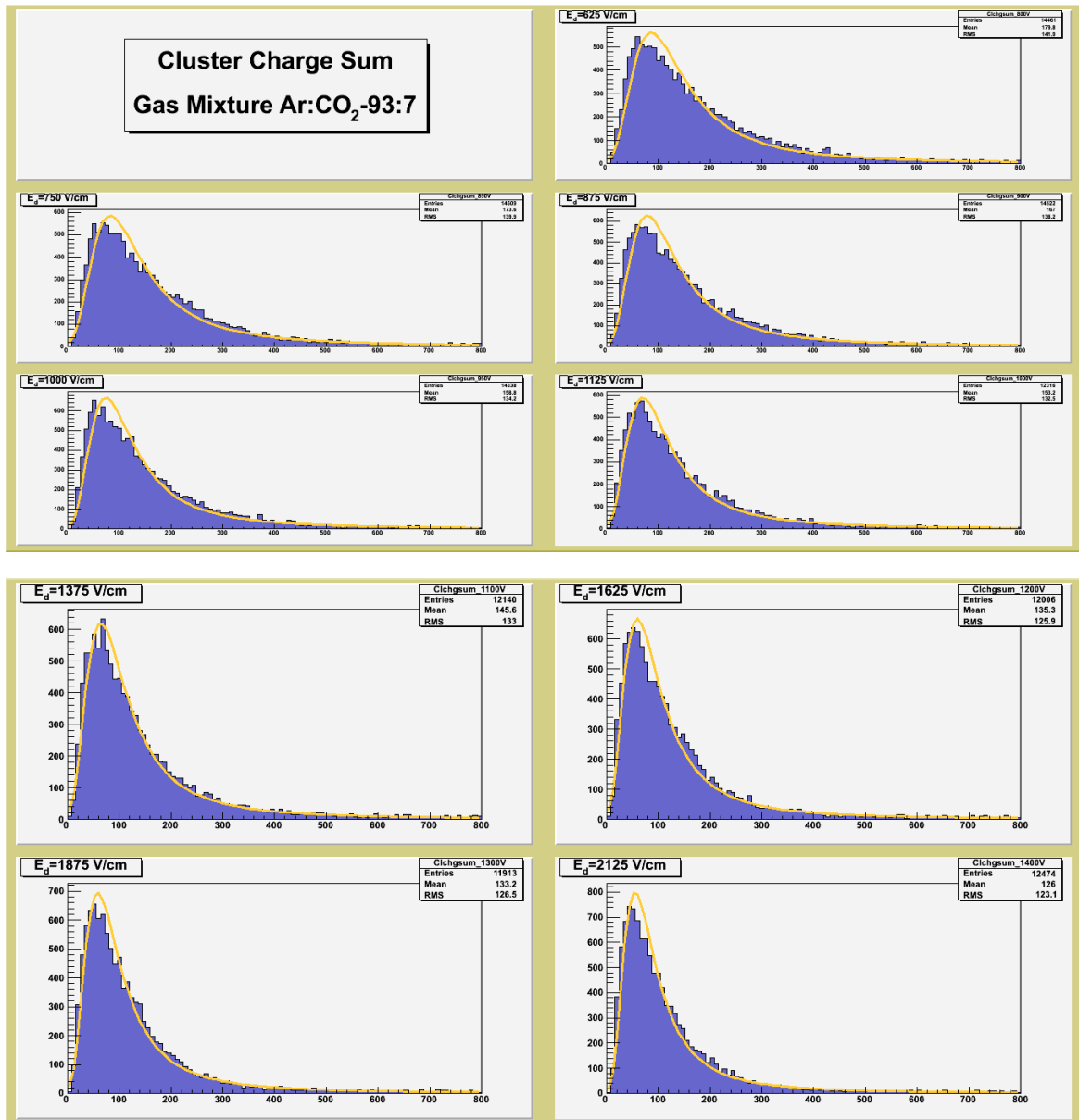
Το συνολικό φορτίο ενός cluster ορίζεται ως το άθροισμα του φορτίου που έχει εναποτεθεί σε κάθε strip που αποτελεί κομμάτι ενός cluster. Το στατιστικό άθροισμα για το φορτίο όλων των clusters σε ένα run θα ακολουθεί, όπως περιγράφηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, μια κατανομή Landau. Τα ιστογράμματα της κατανομής του φορτίου εμφανίζονται στα σχήματα 4.10 και 4.11 για το αργό και το γρήγορο αέριο αντίστοιχα. Στα ίδια ιστογράμματα έχει γίνει προσαρμογή μιας καμπύλης Landau. Η κορυφή αυτής της καμπύλης, η πιο πιθανή τιμή (MPV) δηλαδή, κρατείται ως χαρακτηριστικό της μέτρησης φορτίου για κάθε τιμή του ηλεκτρικού πεδίου ολίσθησης και του αντίστοιχου αερίου ώστε να είναι δυνατή η σύγκρισή τους. Θεωρητικά αναμένεται λόγω της υψηλότερης ταχύτητας ολίσθησης, αλλά κυρίως λόγω της μεγαλύτερης διάχυσης και κατά συνέπεια το μεγαλύτερο μέγεθος των clusters που σχηματίζει το $Ar : CO_2 - 93 : 7$ σε σύγκριση με το $Ar : CO_2 - 85 : 15$, το συνολικό φορτίο που εναποτίθεται σε clusters στο πρώτο αέριο θα πρέπει να έχει υψηλότερη MPV απ' ότι στο δεύτερο. Η πρόβλεψη αυτή επιβεβαιώνεται στο διάγραμμα 4.9.



Σχήμα 4.9: Το συγκριτικό διάγραμμα των δύο αερίων για την πιθανότερη τιμή του φορτίου ενός cluster.



Σχήμα 4.10: Το συνολικό φορτίο των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO₂ – 85 : 15.



Σχήμα 4.11: Το συνολικό φορτίο των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO₂ – 93 : 7.

Θέση των Clusters

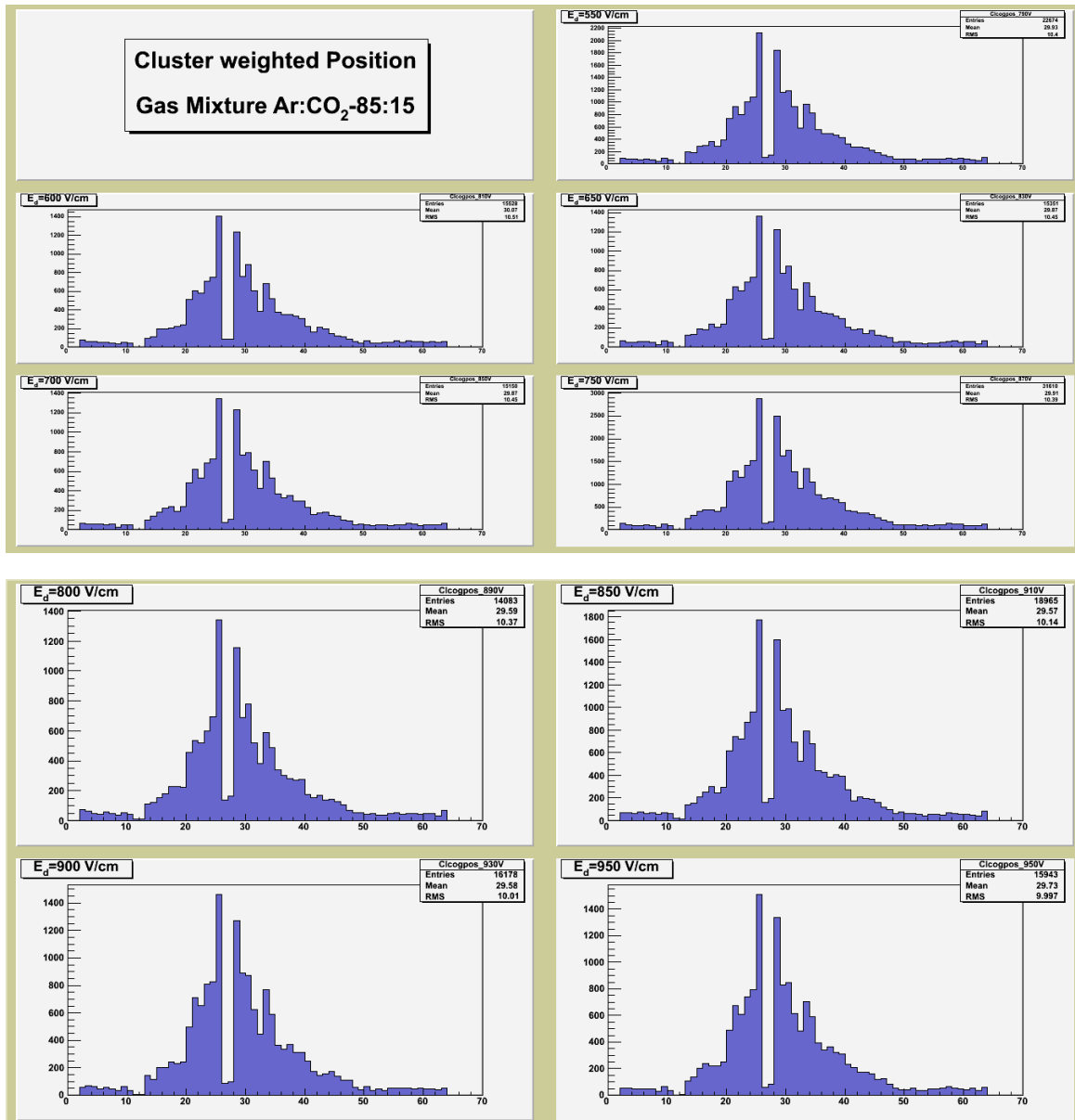
Εν γένει, κάθε υποδοχέας στον θάλαμο συνδέεται με 72 strips. Οι υποδοχείς που δεν διαβάζονται, γειώνονται. Κατά τη διάρκεια του test beam μόνο ένας υποδοχέας χρησιμοποιούταν για την ανάγνωση των δεδομένων, ο οποίος αντιστοιχούσε σε 64 κανάλια ανάγνωσης. Αυτό σημαίνει ότι κατά την ανάγνωση των δεδομένων, η ενεργός περιοχή του ανιχνευτή είναι κβαντισμένη με μονάδα μήκους το strip. Συνεπώς, όταν απαιτείται η θέση ενός cluster με μέγεθος μονάδα τότε η απάντηση είναι εύκολη καθώς όλο το φορτίο εναποτίθεται σε ένα και μόνο strip. Όταν όμως ο cluster αποτελείται από περισσότερα του ενός strip τότε για να υπολογιστεί η θέση του θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και το φορτίο που εναποτίθεται σε κάθε strip του cluster. Χρησιμοποιώντας το φορτίο ως παράμετρο στατιστικού βάρους για το κάθε strip λαμβάνουμε την θέση του cluster από το γεωμετρικό κέντρο της κατανομής του cluster στα strips. Η κατανομή αυτή για τα δύο αέρια που χρησιμοποιήθηκαν φαίνεται στα σχήματα 4.12 και 4.13.

Η κατανομή αυτή συχνά αποκαλείται ως το προφίλ της δέσμης (beam profile) καθώς μας δίνει τη μορφή που έχει η δέσμη όταν προερχόμενη από την beam pipe προσπίπτει στην ενεργό περιοχή του ανιχνευτή. Στο συγκεκριμένο προφίλ, παρατηρεί κανείς εύκολα ότι υπάρχει μειωμένη απόδοση της ανιχνευτικής διάταξης στην περιοχή των καναλιών 26 – 28. Η συγκεκριμένη ανεπάρκεια μπορεί να είναι αποτέλεσμα είτε προβληματικού strip στο εσωτερικό του θαλάμου, είτε -και στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή είναι η αιτία- λόγω προβλήματος των ηλεκτρονικών κατά την οδήγηση του σήματος από την ανιχνευτική διάταξη μέχρι της καταγραφής του.

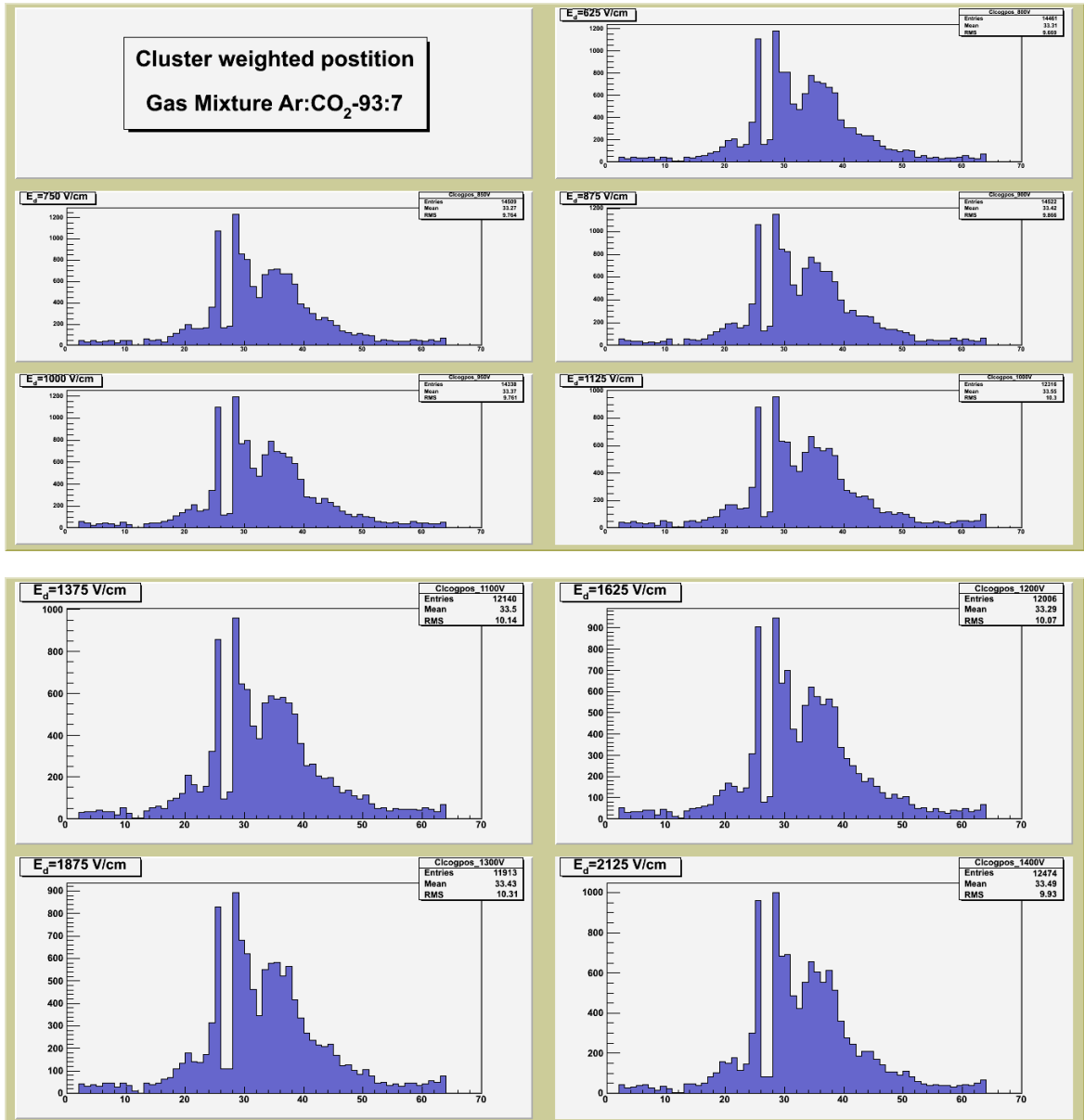
Διαφάνεια

Την ίδια στιγμή που εκτελούνταν το test beam στο H6 μέλη της ομάδας του MAMMA εκτελούσαν μετρήσεις στο εργαστήριο. Μια από αυτές τις μετρήσεις αφορούσε την διαφάνεια (transparency) του ανιχνευτή. Ως διαφάνεια καλείται ο λόγος του αριθμού των ηλεκτρονίων που καταφέρνουν να φτάσουν στο ηλεκτρικό πεδίο της περιοχής ενίσχυσης προς τον συνολικό αριθμό των ηλεκτρονίων που παράγονται. Για τον καθορισμό της διαφάνειας κρίνεται απαραίτητη η γνώση της ενίσχυσης του αερίου (gain) στις αντίστοιχες τιμές των τάσεων που εφαρμόζονται. Με τη χρήση μιας πηγής σιδήρου (^{55}Fe) κι ενός πολυκαναλικού αναλυτή (MCA) είναι δυνατή η αποκομιδή του φάσματος της ραδιενεργού πηγής. Από το κεντροειδές της κατανομής του φάσματος γύρω από την χαρακτηριστική κορυφή της πηγής είναι εύκολο να υπολογιστεί ο συντελεστής ενίσχυσης του αερίου. Στο εργαστήριο μετρήθηκε η ενίσχυση σαν συνάρτηση του λόγου E_{drift}/E_{mesh} , κρατώντας την τάση του πλέγματος σταθερή και μεταβάλλοντας την τάση του ηλεκτροδίου ολίσθησης.

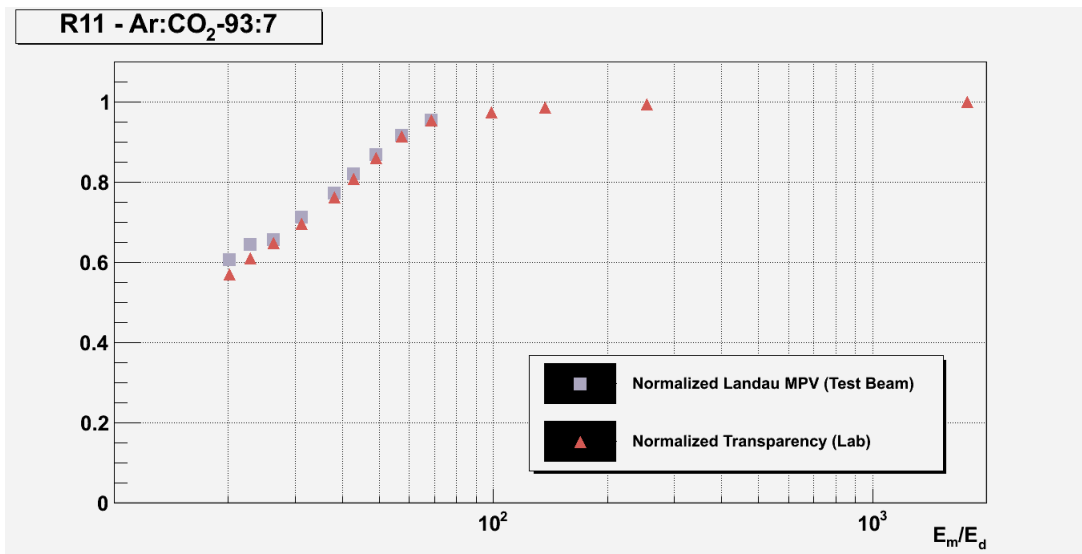
Μέτρηση για την διαφάνεια λοιπόν, έγινε στο εργαστήριο και για τον θάλαμο R11 για το αέριο Ar : $CO_2 - 93 : 7$ και φάνηκε ενδιαφέρον να ελεγχθεί η εγκυρότητα των μετρήσεων κι από τα δεδομένα που ελήφθησαν στην περιοχή δοκιμής του test beam. Χρησιμοποιώντας τις τιμές από τις προσαρμογές της κατανομής Landau στα ιστογράμματα για το συνολικό φορτίο στον θάλαμο και κανονικοποιώντας τες στην μονάδα είναι εύκολο να συγκριθούν τα αποτελέσματα από τη μελέτη στο εργαστήριο κι αυτά από το test beam. Το διάγραμμα αυτό φαίνεται στο σχήμα 4.14. Προς χάριν αναφοράς, έχουν τοποθετηθεί στο διάγραμμα αυτό και σημεία για μεγαλύτερες τιμές του λόγου E_{drift}/E_{mesh} , όπως αυτές μετρήθηκαν στο εργαστήριο. Παρατηρεί κανείς εύκολα πως οι μετρήσεις βρίσκονται σε απόλυτη ταύτιση μεταξύ τους.



Σχήμα 4.12: Η θέση των clusters στον *R11* για το αέριο *Ar : CO₂ – 85 : 15*.



Σχήμα 4.13: Η θέση των clusters στον R11 για το αέριο Ar : CO₂ – 93 : 7.



Σχήμα 4.14: Συγκριτικό διάγραμμα της διαφάνειας του θαλάμου *R11* με δεδομένα από το test beam κι από μετρήσεις με πηγή σιδήρου στο εργαστήριο.

4.2.2 Ο Θάλαμος *R12*

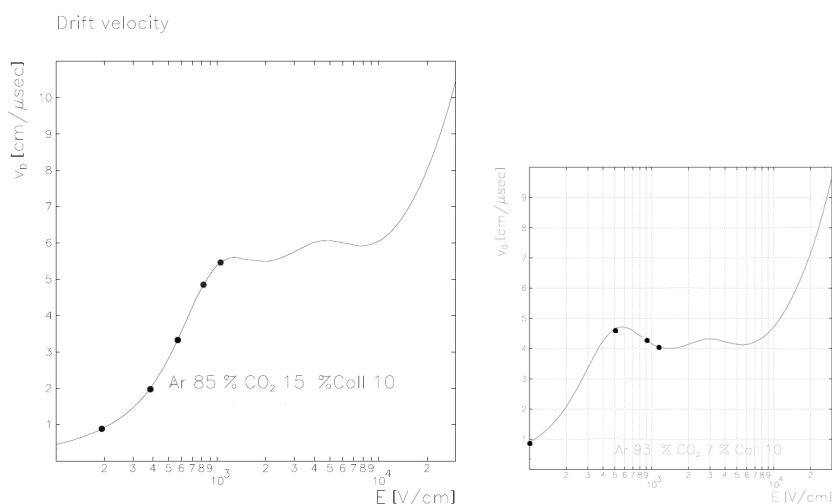
Οι μετρήσεις για τον θάλαμο *R12* εκτελέστηκαν στις 10 και 18 Ιουλίου για το αέριο *Ar : CO₂ – 93 : 7* και το *Ar : CO₂ – 85 : 15* αντίστοιχα. Η δέσμη ήταν κάθετη στο επίπεδο του θαλάμου (ονομαστική γωνία $\theta = 0^\circ$). Για το αέριο *Ar : CO₂ – 85 : 15*, κρατώντας την τάση στο πλέγμα σταθερή στα 570V και μεταβάλλοντας την τάση στο ηλεκτρόδιο ολίσθησης από 670V έως 1070V με βήμα 100V (18 runs συνολικά) συλλέχθηκαν 5 πειραματικά σημεία. Αντίστοιχα, στο γρήγορο αέριο, κρατώντας τη τάση του πλέγματος σταθερή στα 550V και μεταβάλλοντας την τάση στο ηλεκτρόδιο ολίσθησης από 600V έως 1200V με βήμα 200V (9 runs συνολικά) ελήφθησαν άλλα 4 πειραματικά σημεία. Η μελέτη του θαλάμου *R12* θα ακολουθήσει τα ίδια βήματα με τη μελέτη του θαλάμου *R11*.

Μείγμα Αερίων : <i>Ar : CO₂ – 85 : 15</i>					Μείγμα Αερίων : <i>Ar : CO₂ – 93 : 7</i>				
V_d (V)	V_m (V)	E_d (V/cm)	E_m (V/cm)	E_m/E_d	V_d (V)	V_m (V)	E_d (V/cm)	E_m (V/cm)	E_m/E_d
670	570	200	44531.25	222.66	600	550	100	42968.75	429.69
770	570	400	44531.25	111.33	800	550	500	42968.75	85.94
870	570	600	44531.25	74.22	1000	550	900	42968.75	47.74
970	570	800	44531.25	55.66	1200	550	1300	42968.75	33.05
1070	570	1000	44531.25	44.53					

Πίνακας 4.2: High voltage drift scan στον θάλαμο *R12*.

Αριθμός Clusters

Ανάλογη συμπεριφορά με τον θάλαμο *R11* αναμένεται και για τον *R12* σε ό,τι αφορά τον αριθμό των clusters που δημιουργήθηκαν. Πρωταρχικό σημείο στη μελέτη αποτελεί η ταχύτητα ολίσθησης των φορέων φορτίου μέσα στο αέριο. Γι' αυτό το λόγο τα προσομοιωμένα διαγράμματα φαίνονται στο σχήμα 4.15. Ένα χαρακτηριστικό σημείο που θα πρέπει να προσεχθεί προς το παρόν, και θα αναλυθεί περαιτέρω αργότερα στο κεφάλαιο, είναι η χαμηλή ταχύτητα ολίσθησης από την οποία ξεκινάει η μελέτη και των δύο αερίων.



Σχήμα 4.15: Η ταχύτητα ολίσθησης για διάφορες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου ολίσθησης για τα δύο αέρια.

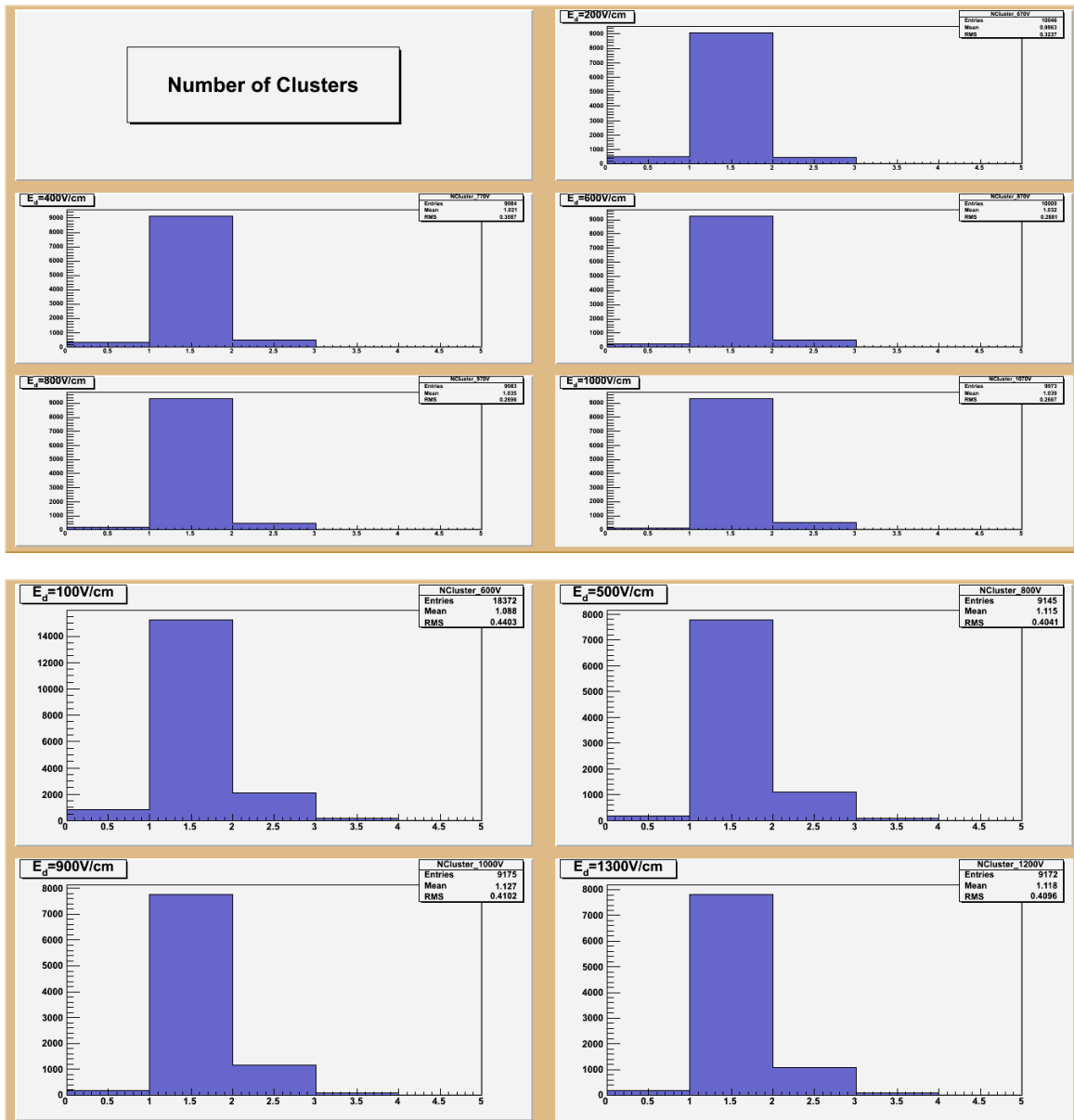
Παρατηρεί κανείς (βλ. σχήμα 4.16) ότι η εικόνα για τον αριθμό των clusters δεν αλλάζει σε σχέση με τον θάλαμο *R11*. Η πλειοψηφία των γεγονότων αποτελείται από έναν cluster με μικρές διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα, στο αέριο *Ar : CO₂ – 85 : 15*, σε όλες τις τιμές του ηλεκτρικού πεδίου που μελετούνται, τα γεγονότα με έναν cluster αποτελούν ένα ποσοστό 90% των συνολικών γεγονότων και μάλιστα υπάρχει η τάση το ποσοστό αυτό να διακυμαίνεται θετικά καθώς αυξάνει η τάση που εφαρμόζεται το ηλεκτρόδιο ολίσθησης. Παράλληλα με την αύξηση των γεγονότων με μοναδικό cluster, καθώς αυξάνεται η τάση, μειώνονται τα γεγονότα χωρίς clusters (από 5.2% έως 1.5%) κι αυξάνονται ελαφρώς (από 4.2% σε 5.1%) τα γεγονότα με δύο clusters.

Στο αέριο *Ar : CO₂ – 93 : 7* η εικόνα αλλάζει ελαφρώς. Ξανά η πλειοψηφία των γεγονότων έχουν έναν cluster σε ποσοστό 85%, αλλά είναι αυξημένα τα γεγονότα με δύο clusters ($\approx 12\%$) και αυξάνουν ελαφρώς καθώς αυξάνει η τάση. Ενώ τέλος, γίνεται εμφανής η παρουσία μιας μικρά στατιστικής κατηγορίας γεγονότων με τρεις clusters, η οποία όμως ακόμη και σε υψηλές τιμές τάσης δεν ξεπερνά το 1.5%.

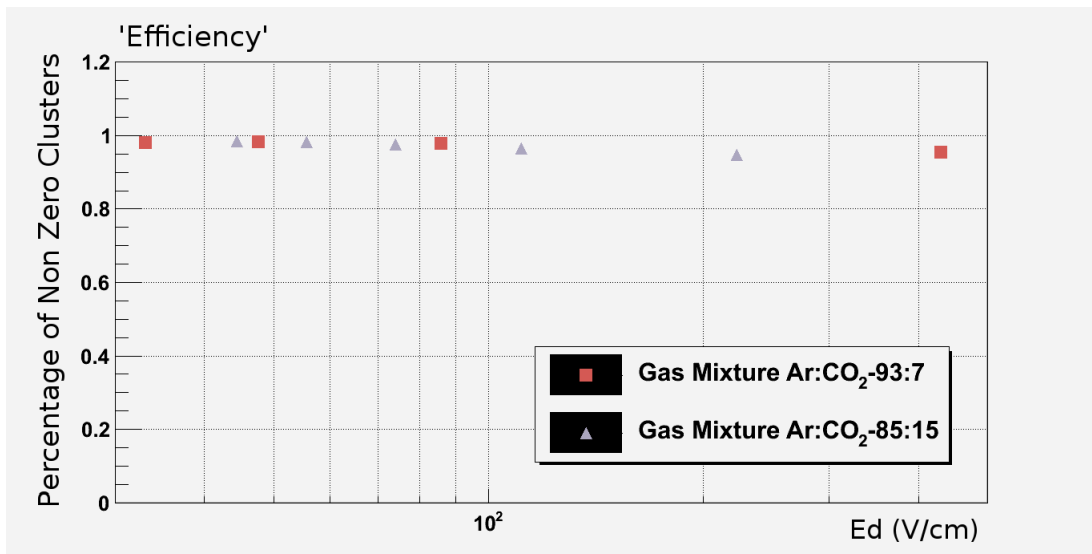
Από τον αριθμό των γεγονότων που είχαν clusters μπορούμε να κατασκευάσουμε το μέγεθος "απόδοση" όπως αυτό ορίστηκε και στη μελέτη του θαλάμου *R12*. Το διάγραμμα αυτού φαίνεται στο σχήμα 4.17.

Σχετική Απόσταση των Clusters

Ο αυξημένος αριθμός γεγονότων με δύο clusters στον θάλαμο *R12* σε σχέση με τον αντίστοιχο αριθμό στον θάλαμο *R11* κίνησε υποψίες για το κατά πόσο τα γεγονότα με δύο clusters αποτελούνται από δύο πραγματικούς clusters. Μια πιθανότητα ήταν αυξημένη ανεπάρκεια ή κάποιο προβληματικό κανάλι να μην δίνει σήμα και συνεπώς ο αλγόριθμος κατασκευής της *ntuple* έναν cluster που απλώνεται πάνω από

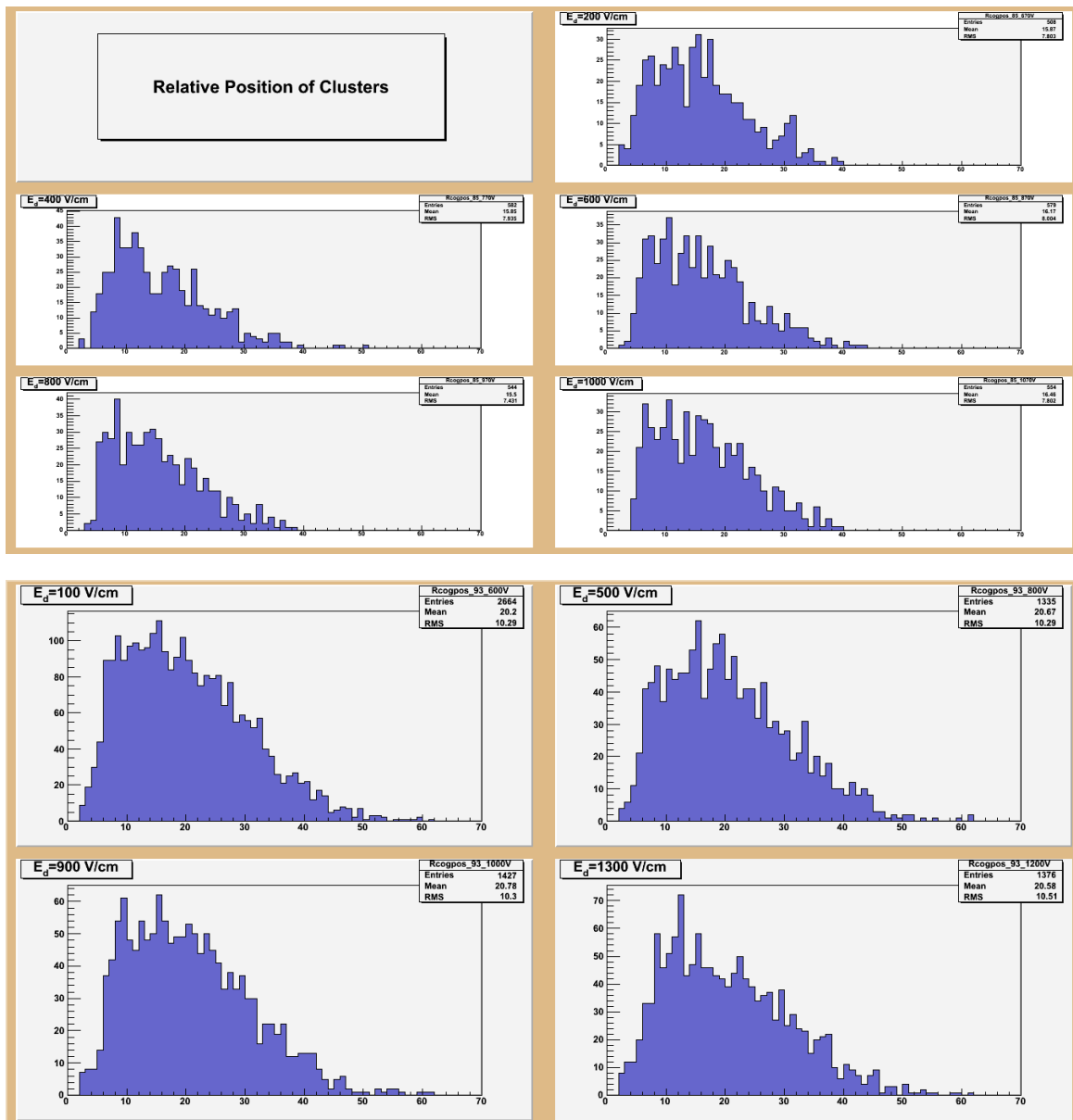


Σχήμα 4.16: Ο αριθμός των clusters στον $R12$ για το $Ar : CO_2 - 85 : 15$ (επάνω) και το $Ar : CO_2 - 93 : 7$ (κάτω).



Σχήμα 4.17: Ποσοστό γεγονότων με τουλάχιστον έναν cluster. Συγκρίνονται τα δύο αέρια στον ίδιο θάλαμο.

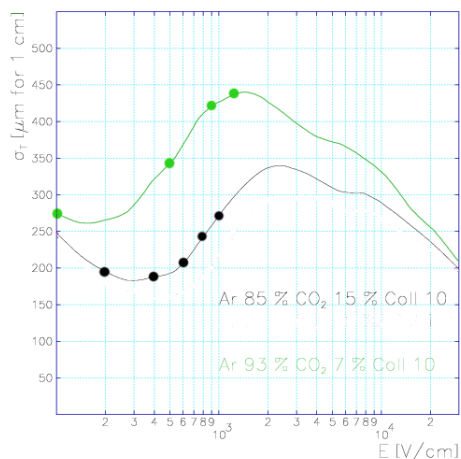
το προβληματικό κανάλι να τον αναγνωρίζει ως δύο clusters, έναν στα χαμηλότερα κανάλια κι έναν στα υψηλότερα. Γι' αυτόν τον σκοπό κατασκευάστηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος τρέχει πάνω στα γεγονότα με αριθμό clusters μεγαλύτερο της μονάδας, άρα ουσιαστικά για να ικανοποιούνται και τα κριτήρια ποιότητας, στα γεγονότα με δυο και τρεις clusters, κι ελέγχει την απόσταση (σε strips) ανάμεσα στο τελευταίο strip του ενός και στο πρώτο strip του επόμενου. Η κατανομή που αναμένεται δεν είναι φυσικά οριζόντια, καθώς δεν είναι λογικό η πιθανότητα δύο clusters να έχουν απόσταση 5 κανάλια να είναι ίδια με την πιθανότητα να έχουν 50 κανάλια διαφορά. Αντίθετα, περιμένουμε να έχουμε μεγαλύτερη στατιστική στους μικρούς αριθμούς, όμως να μην αποτελεί το φαινόμενο αυτό την πλειοψηφία των γεγονότων. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο διάγραμμα 4.18. Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση σε γεγονότα με δύο clusters ανάμεσα στην απόσταση των clusters αυτών. Συνεπώς, θα πρέπει να καταλήξουμε στο ότι τα γεγονότα αυτά αποτελούν γεγονότα πραγματικών clusters.



Σχήμα 4.18: Η σχετική θέση των clusters στον $R12$ για το $Ar : CO_2 - 85 : 15$ (επάνω) και το $Ar : CO_2 - 93 : 7$ (κάτω).

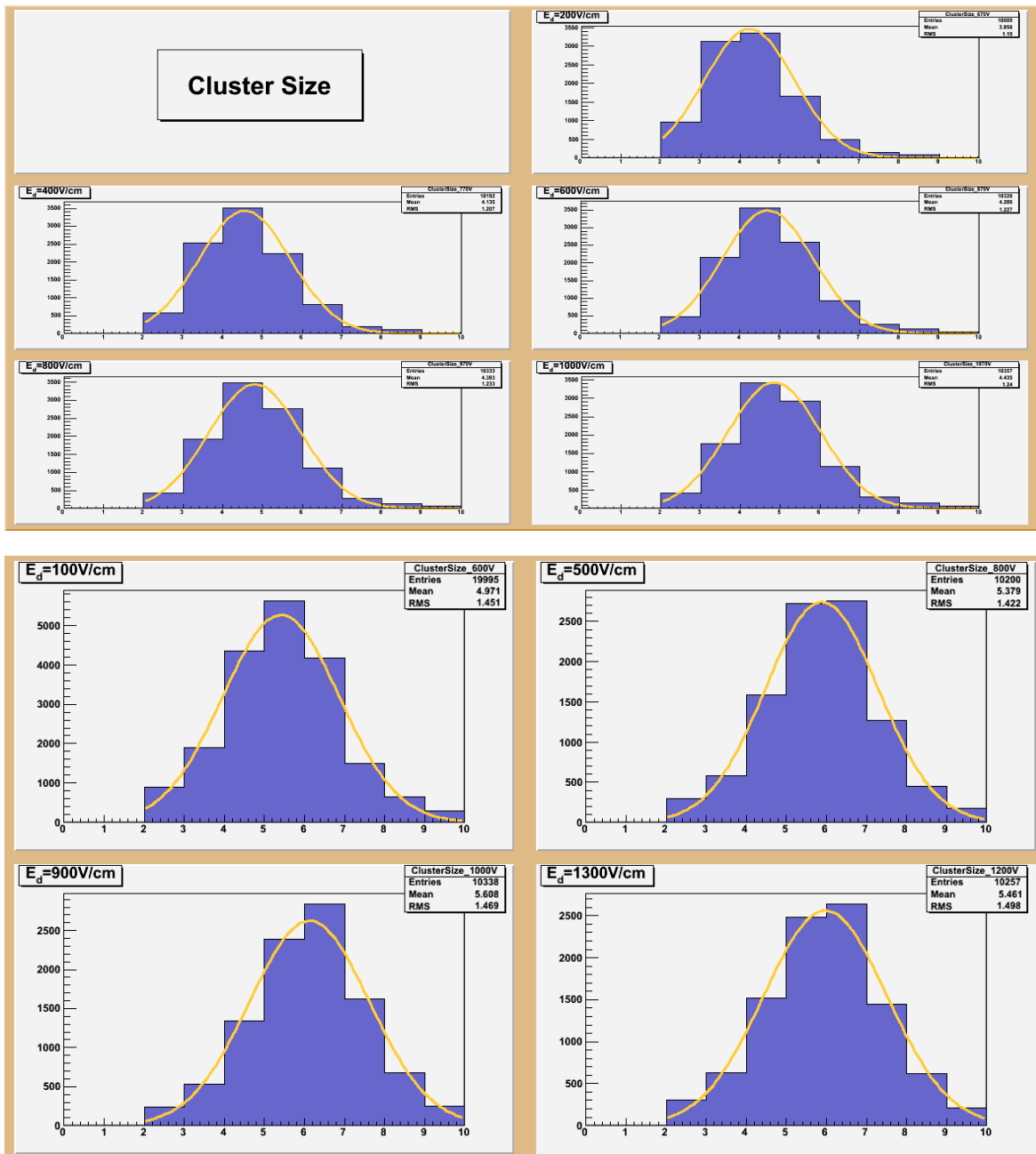
Μέγεθος των Clusters

Το μέγεθος του cluster είναι μέγεθος που εξαρτάται από την διάχυση των ηλεκτρονίων μέσα στο αέριο. Για τα δύο αέρια που είναι υπό μελέτη η διάχυση φαίνεται στο σχήμα 4.19 με σημειωμένες τις τιμές του ηλεκτρικού πεδίου ολίσθησης όπου έγινε η μέτρηση. Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της μέτρησης, το μέγεθος των clusters φαίνεται στο σχήμα 4.20.

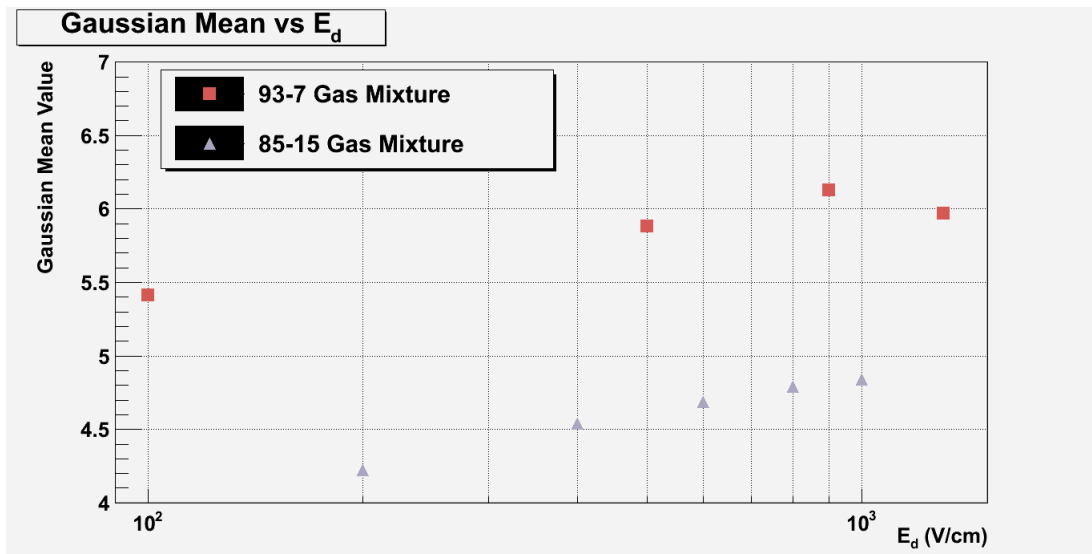


Σχήμα 4.19: Συγκριτικό διάγραμμα για το μέγεθος των clusters στα δύο αέρια.

Είναι εμφανές ότι ξεχωριστά σε κάθε αέριο καθώς αυξάνει η τάση αυξάνεται και το μέσο μέγεθος του cluster. Αντίστοιχα, συγκρίνοντας τα δύο αέρια φαίνεται ότι το αέριο $Ar : CO_2 - 93 : 7$ σχηματίζει μεγαλύτερους clusters από το $Ar : CO_2 - 85 : 15$. Για να διαπιστωθεί αυτό, προσαρμόζεται σε κάθε ιστόγραμμα μια Gaussian συνάρτηση, η μέση τιμή της οποίας χαρακτηρίζει το μέσο μέγεθος των clusters στην αντίστοιχη τάση και στο αντίστοιχο αέριο. Έτσι φτιάχνοντας σε ένα διάγραμμα τη μέση τιμή της Gaussian σε σχέση με το ηλεκτρικό πεδίο ολίσθησης (σχήμα 4.21) φαίνεται εύκολα πως το αέριο $Ar : CO_2 - 93 : 7$ σχηματίζει μεγαλύτερους clusters. Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται επίσης η αναλογική σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο ηλεκτρικό πεδίο και στο μέγεθος των clusters που δημιουργούνται καθώς και στα δύο αέρια με την αύξηση της τάσης αυξάνεται και το μέσο μέγεθος τους.



Σχήμα 4.20: Το μέγεθος των clusters στον $R12$ για το $Ar : CO_2 - 85 : 15$ (επάνω) και το $Ar : CO_2 - 93 : 7$ (κάτω).



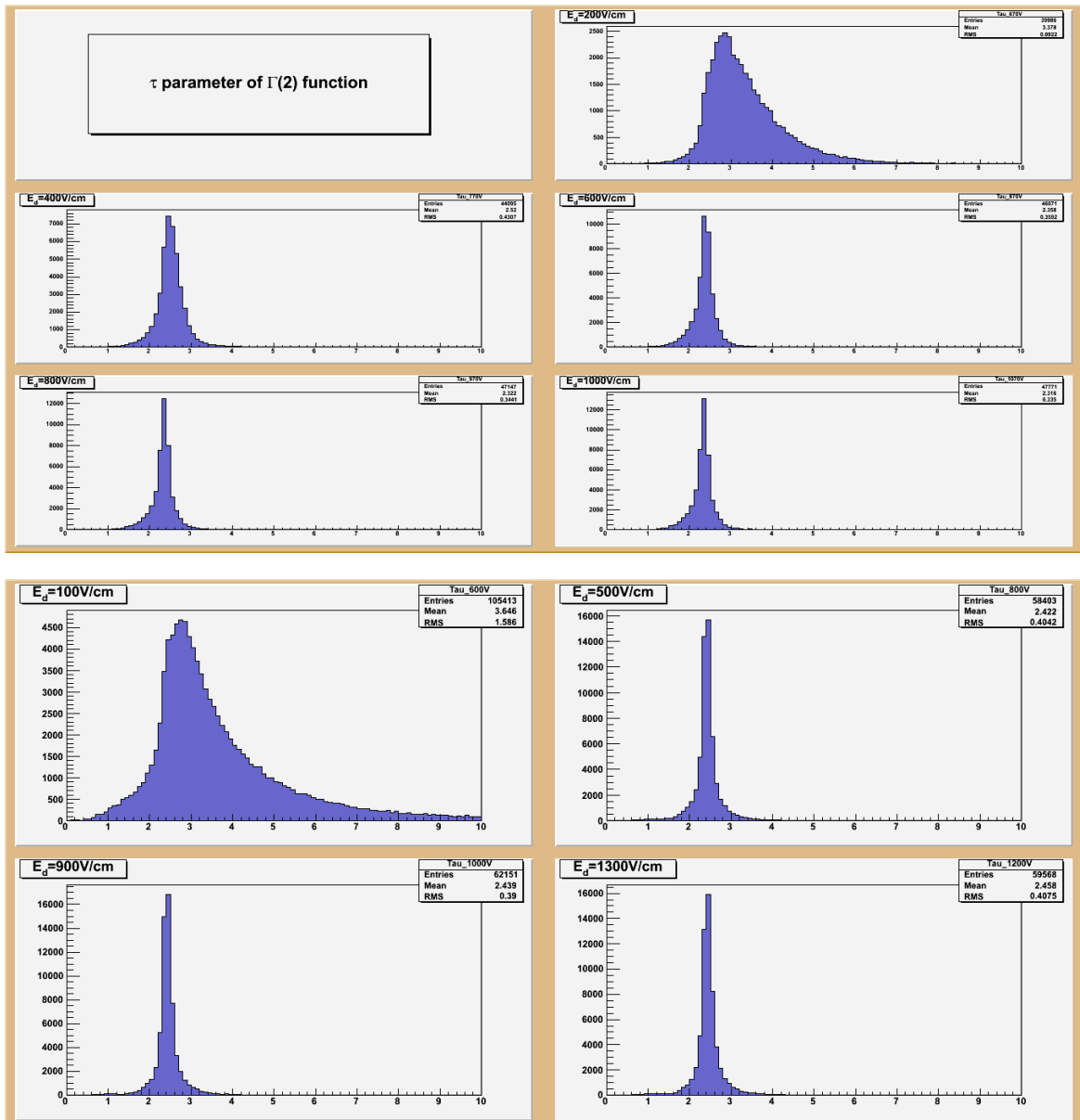
Σχήμα 4.21: Η μέση τιμή της Gaussian συναρτήσεως του ηλεκτρικού πεδίου στον θάλαμο R12.

Παράμετρος τ της $\Gamma(2)$ Συνάρτησης

Είναι γνωστό πως σε κάθε κανάλι το συνολικό φορτίο που εναποτίθεται ακολουθεί κατανομή Landau. Ο αλγόριθμος παραγωγής των δεδομένων εκτελεί σε κάθε κανάλι μια προσαρμογή της συνάρτησης $\Gamma(z)$. Η γενική μορφή της κατανομής αυτής είναι

$$f(x; k, \theta) = x^{k-1} \frac{e^{-x/\theta}}{\theta^k \Gamma(k)}$$

Ο αλγόριθμος ονομάζει τ την παράμετρο που δείχνει την απόσταση από τη στιγμή μηδέν έως τη στιγμή που η κατανομή θα λάβει τη μέγιστη τιμή της. Το πόσο ευρεία ή πόσο στενή είναι η κατανομή των παραμέτρων τ αντικατοπτρίζει την ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων μέσα στο αέριο. Μια ευρεία κατανομή δηλώνει χαμηλή ταχύτητα ολίσθησης και συνεπώς ότι απαιτείται περισσότερος χρόνος για τη συλλογή του φορτίου, ενώ αντίθετα μια στενή κατανομή δηλώνει ότι η ταχύτητα ολίσθησης είναι υψηλή και πως η συλλογή του φορτίου γίνεται γρήγορα. Όπως είδαμε στα διαγράμματα που δίνουν την ταχύτητα ολίσθησης (βλ. 4.15) οι μετρήσεις ελήφθησαν ξεκινώντας από μια πολύ χαμηλή ταχύτητα και για τα δύο αέρια. Κρίνεται λοιπόν λογικό να μελετηθεί η κατανομή της παραμέτρου αυτής. Στο σχήμα 4.22 όντως η χαμηλή ταχύτητα ολίσθησης στη χαμηλότερη τάση και στα δύο αέρια είναι χαμηλή και επηρεάζει την παράμετρο τ γεγονός που θα πρέπει να γίνει αισθητό και στη μέτρηση του φορτίου, όπου στις χαμηλές τιμές του ηλεκτρικού πεδίου ολίσθησης η τιμή του συλλεγόμενου φορτίου θα πρέπει να μειώνεται.



Σχήμα 4.22: Η παράμετρος τ της $\Gamma(2)$ συνάρτησης στον $R12$ για το $Ar : CO_2 - 85 : 15$ (επάνω) και το $Ar : CO_2 - 93 : 7$ (κάτω).

Αέριο $Ar : CO_2 - 85 : 15$	Αέριο $Ar : CO_2 - 93 : 7$
$y_1^{slow} = -55x + 128.4$	$y_1^{fast} = -5.29x + 13.8$
$y_2^{slow} = -0.28x + 1.42$	$y_2^{fast} = -8.95x + 22.74$
$y_3^{slow} = -0.37x + 1.63$	$y_3^{fast} = -0.05x + 0.87$
$y_4^{slow} = -0.15x + 1.08$	

Πίνακας 4.3: Ευθείες μεταξύ των σημείων στο διάγραμμα τ συναρτήσεως του λόγου.

Συνολικό Φορτίο Cluster

Το συνολικό φορτίο που εναποτίθεται σε όλα τα strips από τα οποία αποτελείται ένας cluster εξαρτάται από τον συντελεστή ενίσχυσης του αερίου. Καθώς το ηλεκτρικό πεδίο ολίσθησης αλλάζει άρδην κατά τις μετρήσεις μας στον θάλαμο R12, αφού για το $Ar : CO_2 - 85 : 15$ το πεδίο αυξάνει κατά $200V/cm$ τη φορά, ενώ στο $Ar : CO_2 - 93 : 7$ κατά $500V/cm$. Με αυτά ως δεδομένα, κατασκευάζονται τα ιστογράμματα για το συνολικό φορτίο των clusters (σχήμα 4.23). Σε αυτά προσαρμόζεται μια συνάρτηση Landau, της οποίας η πιο πιθανή τιμή κρατείται ως χαρακτηριστική τιμή του αντίστοιχου αερίου και της αντίστοιχης τάσης. Λαμβάνοντας τώρα υπόψιν πως στις μετρήσεις με το $Ar : CO_2 - 85 : 15$ ο συντελεστής ενίσχυσης ήταν 12000, ενώ για το $Ar : CO_2 - 93 : 7$ μόνο 7000, αν πολλαπλασιαστούν οι mpn για τις τιμές του δευτέρου με έναν λόγο 12/7 τότε θα είναι σωστή η σύγκριση των δύο αερίων. Το συγκριτικό διάγραμμα φαίνεται στο σχήμα 4.24.

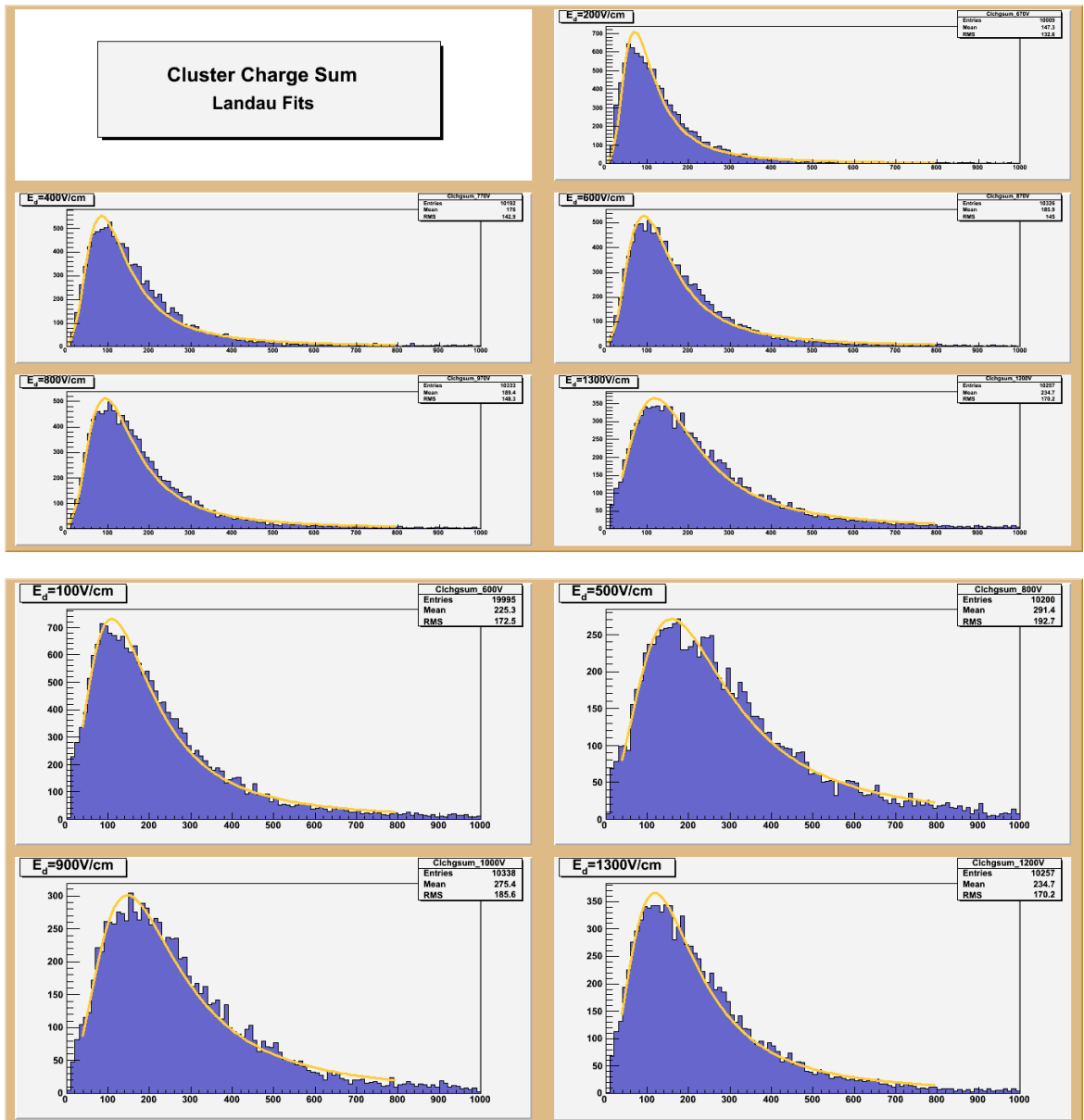
Το συγκριτικό αυτό διάγραμμα έχει στο οριζόντιο άξονα αντί για την τιμή του ηλεκτρικού πεδίου ολίσθησης τον λόγο του ηλεκτρικού πεδίου ενίσχυσης προς το ηλεκτρικό πεδίο ολίσθησης, E_m/E_d . Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρεί κανείς εύκολα μια πτώση στη τιμή του φορτίου στις μεγάλες τιμές του λόγου E_m/E_d , δηλαδή στις μικρές τιμές του E_d . Η πτώση αυτή μπορεί να εξηγηθεί χρησιμοποιώντας ως επιχείρημα την χαμηλή ταχύτητα ολίσθησης σε συνδυασμό με τον χρόνο ολοκλήρωσης των ηλεκτρονικών του ALTRO. Γι' αυτό τον λόγο, θα πρέπει να επινοηθεί κάποιος τρόπος να δημιουργηθεί ένας παράγοντας διόρθωσης για τις τιμές του φορτίου ώστε σε υψηλές τιμές του λόγου E_m/E_d να μην υπάρχει αυτή η αδικαιολόγητη πτώση.

Ως πρώτο βήμα κατασκευάζουμε ένα διάγραμμα το οποίο θα δείχνει την σχέση που έχει η παράμετρος τ με τον λόγο των ηλεκτρικών πεδίων. Το διάγραμμα αυτό φαίνεται στο σχήμα 4.25. Παρατηρεί κανείς εύκολα ότι στις χαμηλές τιμές του λόγου των πεδίων, δηλαδή στις υψηλές τιμές του πεδίου ολίσθησης οι τιμές της παραμέτρου τ είναι μικρές και σχετικά κοντά η μία στην άλλη. Στις υψηλές τιμές του λόγου όμως, άρα σε χαμηλές τιμές ηλεκτρικού πεδίου ολίσθησης και κατ' επέκταση μικρής ταχύτητας ολίσθησης η τιμή της παραμέτρου αυξάνεται απότομα. Το διάγραμμα αυτό δείχνει τη σχέση που ακολουθεί η παράμετρος της συνάρτησης με την οποία γίνεται η προσαρμογή σε κάθε κανάλι ανάγνωσης σε σχέση με την ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων. Για να γίνει εμφανές ότι και η τιμή mpn της Landau εξαρτάται από την ταχύτητα ολίσθησης κατασκευάζεται ένα διάγραμμα για τη μεταβολή της mpn ως συνάρτηση της παραμέτρου τ . Το διάγραμμα αυτό φαίνεται στο σχήμα ?? όπου εύκολα φαίνεται ότι και η mpn ακολουθεί την ίδια καμπύλη πτώσης με το τ .

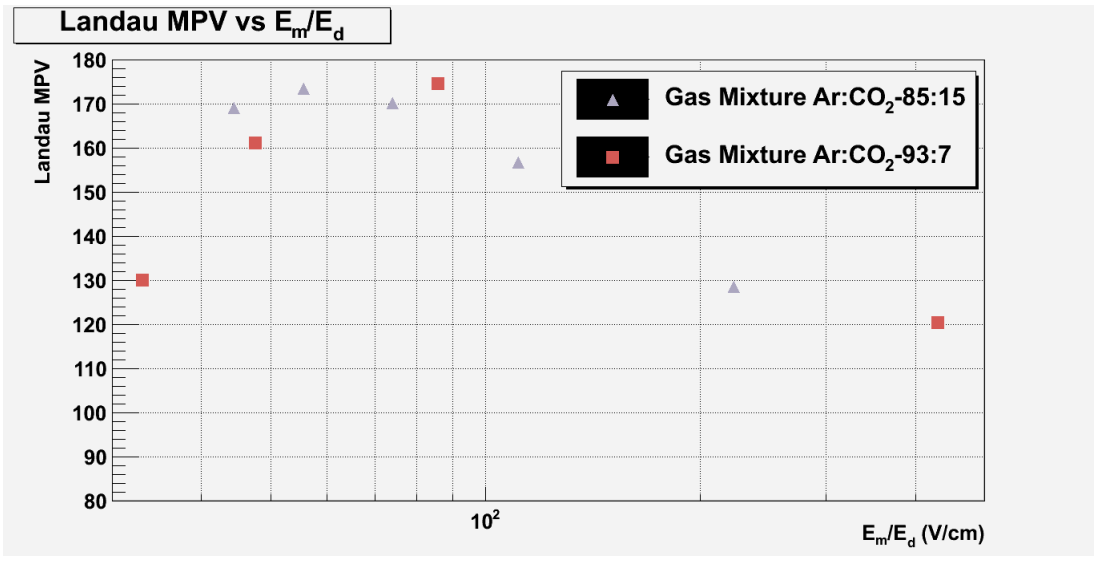
Με αυτά ως δεδομένα, ξεκινάει η κατασκευή ενός αλγορίθμου διόρθωσης των τιμών του φορτίου των clusters. Για να γίνει κάτι τέτοιο πραγματικότητα, πέρα από έναν παράγοντα διόρθωσης θα πρέπει να ανακατασκευαστεί το συνολικό φορτίο του κάθε cluster. Ο παράγοντας διόρθωσης θα γίνει από την καμπύλη που ακολουθεί το τ σε συνάρτηση με το λόγο των πεδίων. Το πρόβλημα που υπάρχει στην περίπτωση αυτή είναι πως τα σημεία είναι στατιστικώς ανεπαρκή για την κατασκευή μιας αναλυτικής συνάρτησης. Γι' αυτόν τον λόγο κατασκευάστηκε, με σκοπό να είναι μια πρώτου βαθμού διόρθωση, μια τεθλασμένη γραμμή που περνάει από τα σημεία στο διάγραμμα του τ με τον λόγο των πεδίων. Έχοντας δύο σημεία ($E_m/E_d, \tau$) και λαμβάνοντας την πρώτη (υψηλότερη) τιμή ως σημείο κανονικοποίησης είναι απλό να ευρεθεί η ευθεία της μορφής $y = a \cdot x + b$ που τα ενώνει. Οι ευθείες αυτές εμφανίζονται στον πίνακα 4.3.

Η λογική του αλγορίθμου διόρθωσης είναι πως σε κάθε γεγονός θα πρέπει να ελέγχει αν υπάρχουν clusters και πόσοι είναι αυτοί, ώστε να ικανοποιούνται και τα κριτήρια ποιότητας. Στη συνέχεια για κάθε

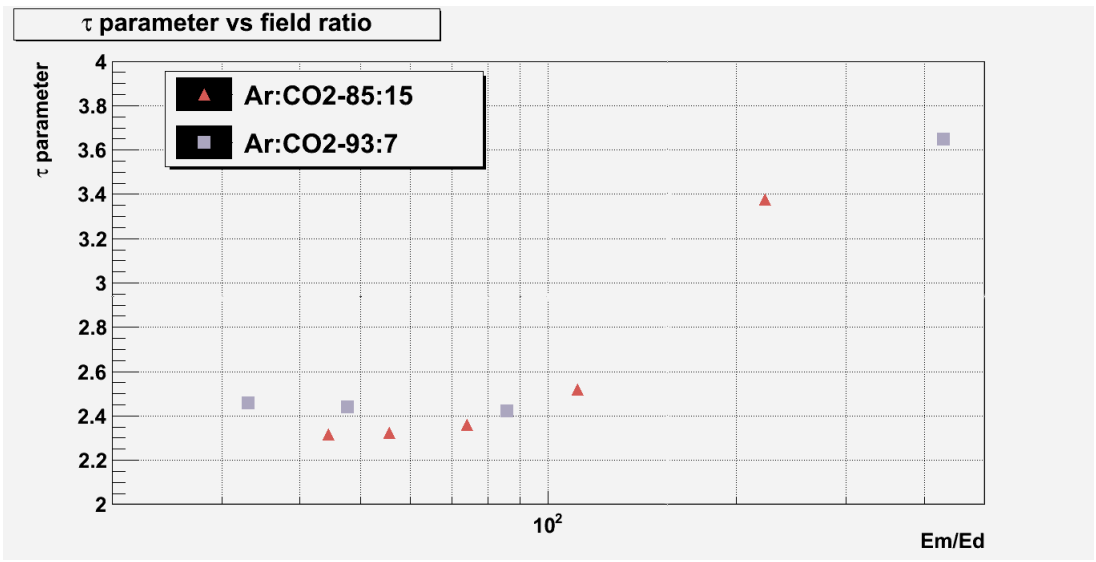
cluster το πρόγραμμα μπαίνει σε έναν βρόχο επανάληψης ο οποίος τρέχει πάνω στα strips τα οποία αποτελούν τον cluster. Σε κάθε strip λαμβάνεται η τιμή του τ κι ύστερα τίθεται στη συνάρτηση της ευθείας του πίνακα 4.3 που αντιστοιχεί ως μεταβλητή x . Από τη μεταβλητή y που προκύπτει από την ευθεία κατασκευάζεται ο παράγοντας διόρθωσης $1/y$. Λαμβάνοντας τέλος το φορτίο του κάθε strip και διαιρώντας το με τον παράγοντα $1/y$ λαμβάνουμε ένα νέο μέγεθος που αποτελεί το διορθωμένο φορτίο. Η επανάληψη πάνω σε όλα τα strips του cluster, όλων των clusters κι όλων των γεγονότων δίνει το διάγραμμα 4.27 στο οποίο το πρόβλημα της πτώσης του φορτίου στις μεγάλες τιμές του λόγου E_m/E_d έχει απαλειφθεί.



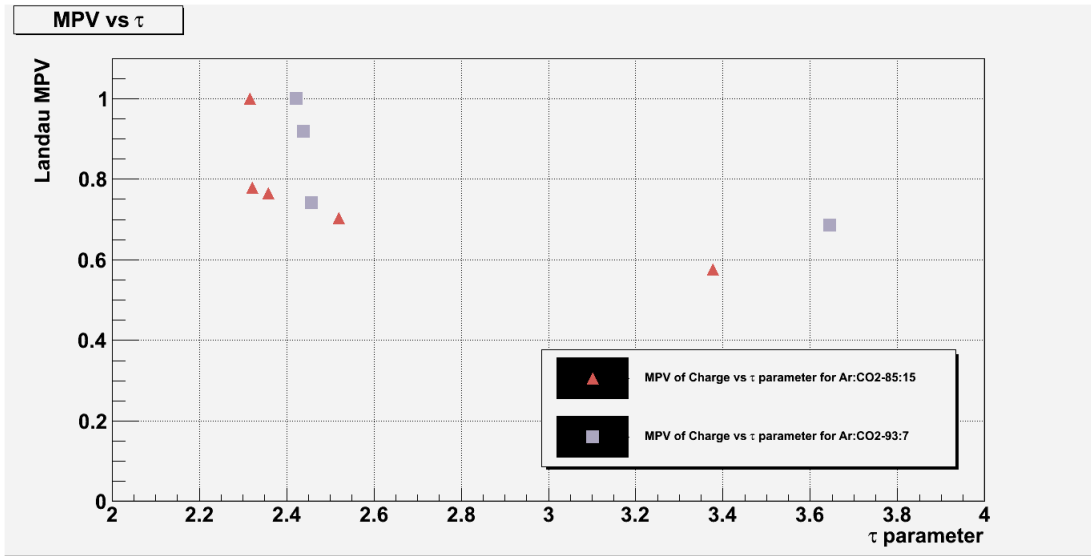
Σχήμα 4.23: Το συνολικό φορτίο των clusters στον R12 για το $Ar : CO_2 - 85 : 15$ (επάνω) και το $Ar : CO_2 - 93 : 7$ (κάτω).



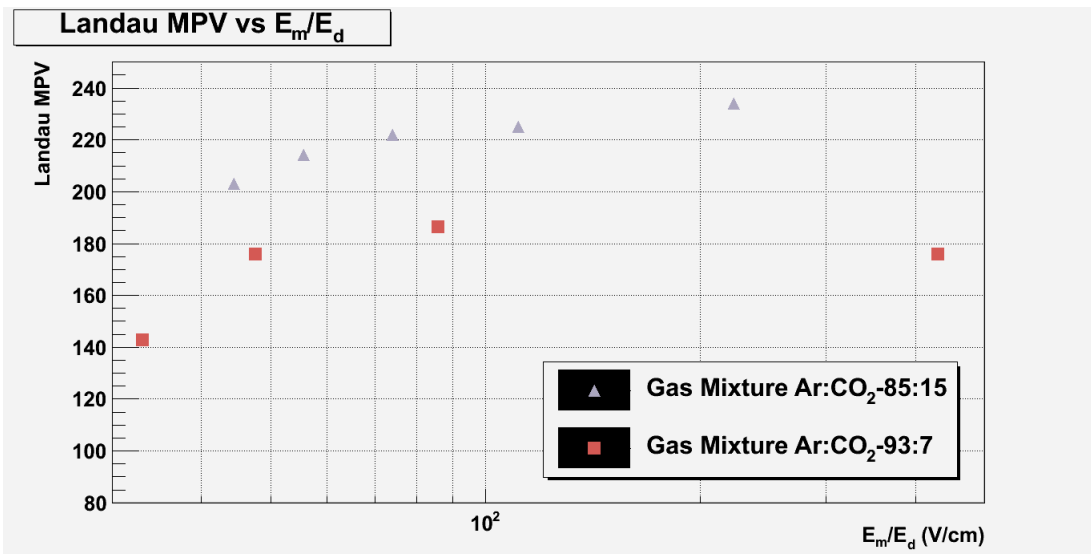
Σχήμα 4.24: Το συνολικό φορτίο των clusters για τα δύο αέρια στον R12. Έχει γίνει διόρθωση για την ενίσχυση του αερίου.



Σχήμα 4.25: Η παράμετρος τ συναρτήσει του λόγου των πεδίων στον θάλαμο R12.



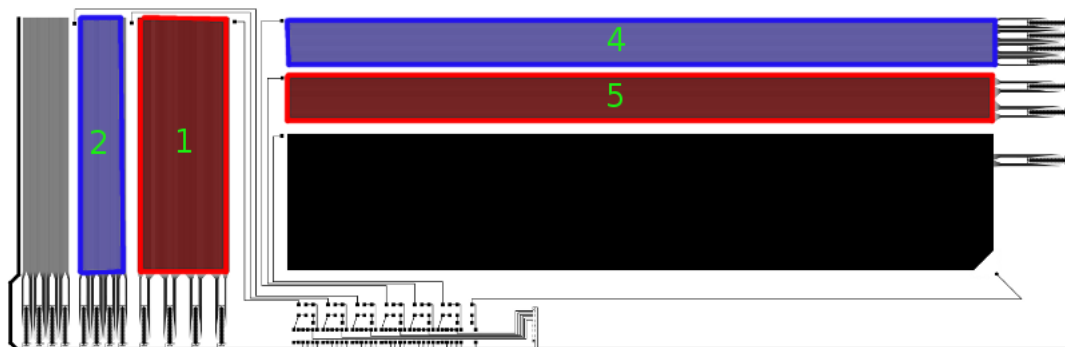
Σχήμα 4.26: Η mpv της κατανομής Landau για το φορτίο των clusters συναρτήσσει της παραμέτρου τ



Σχήμα 4.27: Το συνολικό φορτίο των clusters με τη διόρθωση για την ταχύτητα ολίσθησης στις υψηλές τιμές του λόγου E_m/E_d .

4.2.3 Ο Θάλαμος P3

Ο θάλαμος P3 είναι ένα πρωτότυπο θαλάμου micromegas μεγάλης επιφάνειας με διαστάσεις Πλάτος × Μήκος × Ύψος = 600mm × 1400mm × 35mm. Δε διαθέτει στρώση με ωμική αντίσταση πάνω από το επίπεδο των strips και συνεπώς είναι επιρρεπής στις εκφορτίσεις. Η επιφάνεια του χωρίζεται σε επιμέρους strips με διαφορετική γεωμετρική τοποθέτηση, μήκος και συνολική χωρητικότητα. Τα strips αυτά συνδέονται με διαφορετικούς υποδοχείς. Οι μετρήσεις για τους υποδοχείς του θαλάμου P3 πραγματοποιήθηκαν στις 16 και 17 Ιουλίου 2010. Σκοπός αυτής της εργασίας στη μελέτη του θαλάμου P3 είναι οι διαφορές που έχουν οι υποδοχείς που συνδέονται σε strips με διαφορετική γεωμετρία, στην ίδια τάση και με το ίδιο αέριο. Το αέριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το $Ar : CO_2 - 85 : 15$ και η τάσεις που επιλέχθηκαν για την μελέτη είναι για το ηλεκτρόδιο ολίσθησης $V_d = 540V$ και για το πλέγμα $V_m = 840V$.



Σχήμα 4.28: Οι υποδοχείς του θαλάμου P3. Όσοι έχουν σκιαγραφηθεί με ίδιο χρώμα έχουν τον ίδιο αριθμό strips και με την ίδια απόσταση μεταξύ τους (pitch) αλλά ο ένας συνδέεται σε μεγάλοι μήκους strips ενώ ο δεύτερος σε μικρού μήκους.

Υποδοχέας	Strips	Strip Pitch (μm)	Γεωμετρία Strip
1	400	500	Κοντά
2	150	250	Κοντά
4	150	250	Μακριά
5	400	500	Μακριά

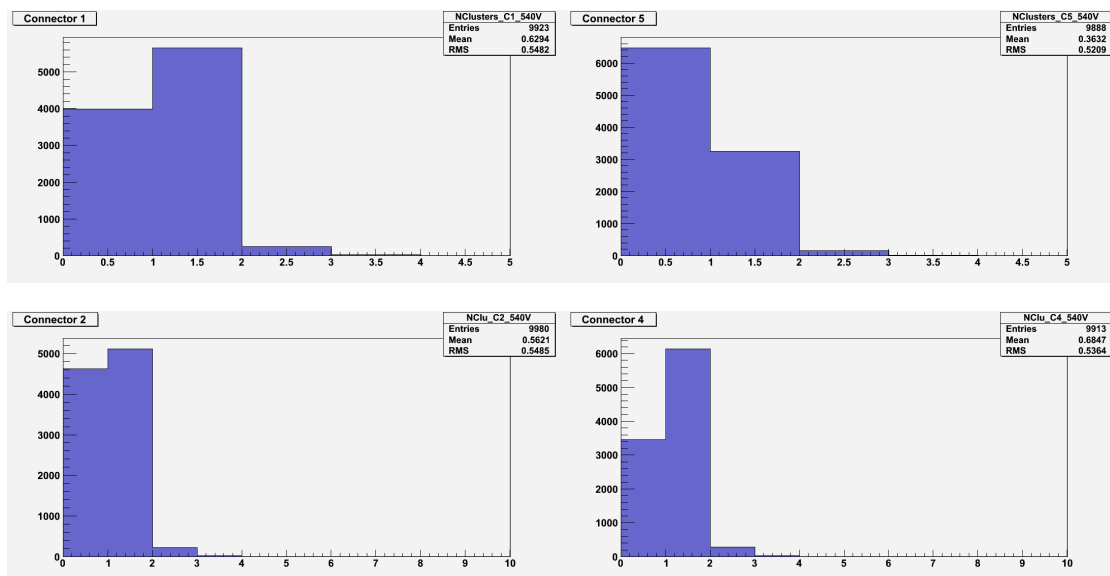
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά των υποδοχέων.

Αριθμός Clusters

Στα γεγονότα που έχουν καταγραφεί εφαρμόζονται cuts ως κριτήρια ποιότητας. Οι απαιτήσεις που θα πρέπει να ικανοποιεί ένα γεγονός ώστε να θεωρηθεί χρήσιμο για την ανάλυση είναι ο αριθμός των clusters που δημιουργούνται να είναι μικρότερος από τέσσερα και πως ένας cluster θα πρέπει να έχει μέγεθος μεγαλύτερο της μονάδας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα ιστογράμματα στο σχήμα 4.29.

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρείται ότι ο υποδοχέας 1 παρουσιάζει περισσότερους clusters από τον αντίστοιχο υποδοχέα με τα μακριά strips, 5, όπως και ο 2 σε σχέση με τον 4. Συγκεκριμένα, ο πρώτος υποδοχέας παρουσιάζει 40% γεγονότα με καθόλου clusters σε σχέση με τον αντίστοιχο υποδοχέα 5 που δεν εμφανίζει clusters το 65% των γεγονότων του. Αντίστοιχα, γεγονότα με έναν cluster αποτελούν το 57% του συνόλου του πρώτου υποδοχέα, ενώ μόνο το 33% του πέμπτου. Για τους υποδοχείς με τα 150 strips παρατηρείται ότι ο δεύτερος μοιράζει τα γεγονότα χωρίς clusters και με μόνο έναν cluster

σε ποσοστά 46% και 51% αντίστοιχα. Αντίθετα, στον υποδοχέα 4 φαίνεται ξεκάθαρα ότι η πλειοψηφία είναι γεγονότα με έναν cluster (62%).



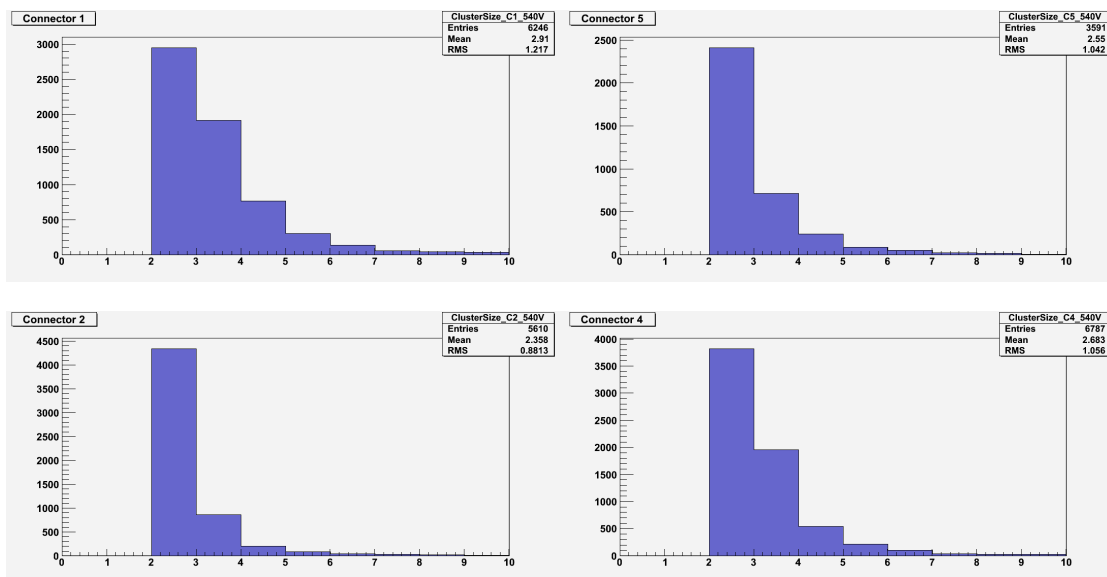
Σχήμα 4.29: Ο αριθμός των clusters στον θάλαμο P3 για διαφορετικούς υποδοχείς: 1-πάνω αριστερά, 5-πάνω δεξιά, 2-κάτω αριστερά, 4-κάτω δεξιά.

Μέγεθος των Clusters

Από αυτούς τους clusters που μετρήθηκαν μελετήθηκε το μέγεθος τους και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.30. Για τα runs που αφορούν τους υποδοχείς 1 και 5 θα πρέπει να σημειωθεί ότι αρχικά είχαν 10000 γεγονότα, ενώ μετά τα κριτήρια ποιότητας για τον πρώτο επιβίωσαν 3000 ενώ για τον δεύτερο 6000 γεγονότα. Ακόμη και με αυτή τη στατιστική παρατηρεί κανείς ότι στον δεύτερο υποδοχέα η πλειοψηφία των clusters αποτελούνται από δύο και τρία strips, ενώ αντίστοιχα στον υποδοχέα 4 η συντριπτική πλειοψηφία των clusters έχει μέγεθος δύο strips. Αντίθετη εικόνα εμφανίζεται στα ιστογράμματα των υποδοχέων 2 και 4. Σε αυτά φαίνεται ότι στον πρώτο οι clusters έχουν μέγεθος δύο strip σε ποσοστό 77% και τρία strip σε ποσοστό 15%, ενώ στον υποδοχέα 4 τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 56% και 29%.

Συνολικό Φορτίο των Clusters

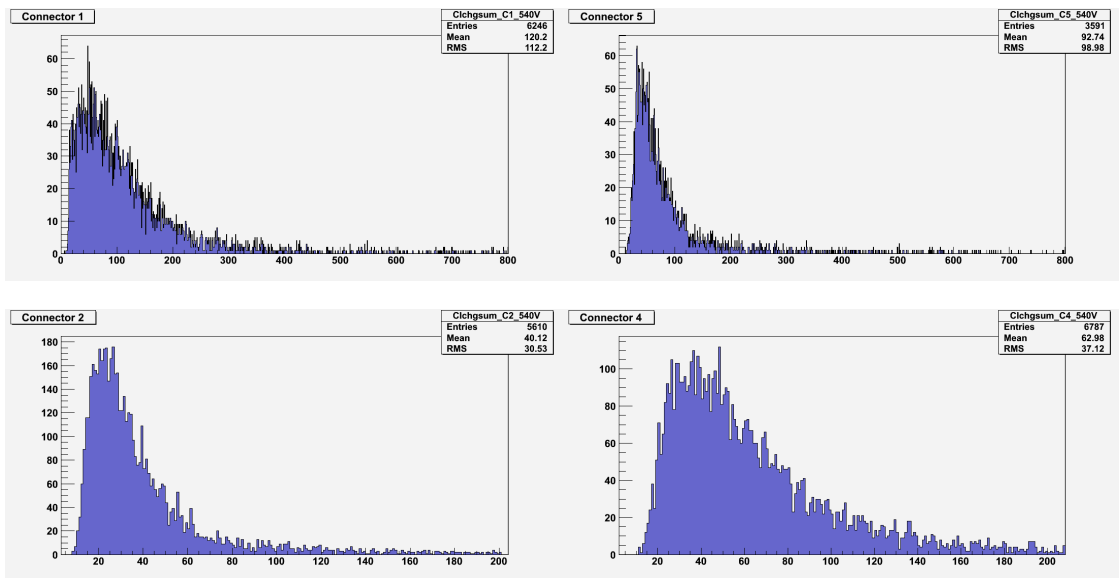
Επόμενη στάση στην μελέτη των υποδοχέων είναι το συνολικό φορτίο που καταμετρείται με αυτούς. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.31 ο υποδοχέας 1 συγκεντρώνει υψηλότερο φορτίο από τον ομόλογο του, υποδοχέα 5. Μια προσαρμογή με κατανομή Landau δίνει ως m_{pV} 58.9 για τον πρώτο και 44.2 για τον δεύτερο. Αντίθετη είναι και πάλι η εικόνα στους υποδοχείς 2 και 4. Από αυτούς φαίνεται πως ο υποδοχέας με τα μακριά strips συλλέγει περισσότερο φορτίο απ' ό,τι ο ομόλογος του με τα κοντά strips. Συγκεκριμένα, προσαρμογή Landau δίνει ως πιο πιθανές τιμές 22.9 για τον πρώτο και 39.5 για τον δεύτερο.



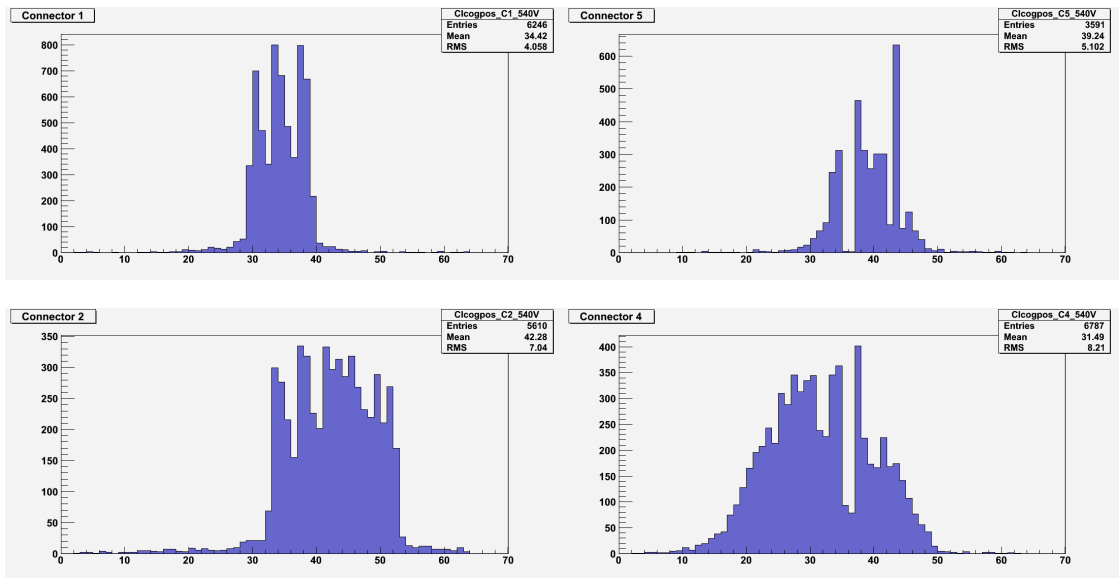
Σχήμα 4.30: Το μέγεθος των clusters στον θάλαμο $P3$ για διαφορετικούς υποδοχείς: 1-πάνω αριστερά, 5-πάνω δεξιά, 2-κάτω αριστερά, 4-κάτω δεξιά.

Θέση των Clusters

Η θέση των clusters που δημιουργούνται στο θάλαμο και διαβάζονται από τα strips με τον κατάλληλο υποδοχέα εμφανίζεται στα ιστογράμματα του σχήματος 4.32. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως η δέσμη όπως προέρχεται από τον SPS είναι μακρόστενη (pancake-like beam). Αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη του σπινθηριστή μικρής επιφάνειας (finger scintillator) εμφανίζεται στις διαφορές της μορφής της κατανομής ανάμεσα στους υποδοχείς με strips κάθετα μεταξύ τους, δηλαδή ανάμεσα στον 1 και τον 5 και στον 2 και τον 4. Στην πρώτη σειρά των ιστογραμμάτων, φαίνεται πως και οι δύο υποδοχείς εμφανίζουν ανεπάρκεια. Ο υποδοχέας 1 φαίνεται ότι εμφανίζει μειωμένη απόδοση στα κανάλια 32 και 36, ενώ ο υποδοχέας 5 εμφανίζεται προβληματικός στα κανάλια 35 και 36. Αντίστοιχα, το προφίλ της δέσμης φαίνεται εντονότερα στους υποδοχείς 2 και 4. Ο πρώτος εμφανίζεται πλήρης, ενώ ο δεύτερος εμφανίζει ανεπάρκεια στα κανάλια 32 – 33 και 36 – 37.



Σχήμα 4.31: Συνολικό φορτίο των clusters στον θάλαμο $P3$ για διαφορετικούς υποδοχείς: 1- πάνω αριστερά, 5-πάνω δεξιά, 2-κάτω αριστερά, 4-κάτω δεξιά.



Σχήμα 4.32: Η θέση των clusters στον θάλαμο $P3$ για διαφορετικούς υποδοχείς: 1-πάνω αριστερά, 5-πάνω δεξιά, 2-κάτω αριστερά, 4-κάτω δεξιά.

4.3 Επίλογος

Μετά από ένα μήνα όπου λάμβανε χώρα το test beam του MAMMA συλλέχθηκε ένας όγκος από δεδομένα για τα οποία ακόμα και αυτή τη στιγμή που γράφεται η εργασία και πλησιάζουμε στην ημερομηνία έναρξης της επόμενης δοκιμής δεν έχει γίνει η ανάλυση τους. Το μέρος των δεδομένων που αναλύθηκαν σε αυτή την εργασία έδωσε μια εντύπωση για την απόδοση και τα χαρακτηριστικά των θαλάμων. Συγκεκριμένα είδαμε τους resistive $R11$ και $R12$ να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις που θέτει η συνεργασία του ATLAS για την επικείμενη αναβάθμιση και τον θάλαμο $P3$ να αποδεικνύει πως η κατασκευή micromegas μεγάλης επιφάνειας είναι όχι μόνο δυνατή, αλλά κι αποδοτική λόγω του χαμηλού κόστους κατασκευής του και των πλεονεκτημάτων που προσφέρει.

Συγκεντρωτικά είδαμε

- Οι θάλαμοι $R11$ και $R12$ παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά. Είναι σταθεροί και συμπαγείς.
- Η συμπεριφορά των resistive micromegas ήταν σταθερή σε δέσμη πιονίων με εξαιρετική διακριτική ικανότητα
- Τα σήματα ήταν καθαρά όταν μειώθηκε ο θόρυβος των ηλεκτρονικών επαφών
- Λειτουργία των resistive σε υψηλά gains ($\approx 10^4$).
- Οι $R11$ και $R12$ προσφέρουν καλή ενεργειακή διακριτική ικανότητα, με τον $R12$ να είναι ελάχιστα καλύτερος.
- Οι θάλαμοι έχουν ομογένεια σε όλο τον όγκο τους
- Καλή συμπεριφορά των θαλάμων σε υψηλή συχνότητα λήψης δεδομένων (rate)
- Διαφορετική συμπεριφορά ανάμεσα σε μακριά και κοντά strips. Περαιτέρω μελέτη κρίνεται αναγκαία.

Αριθμοί Runs

Παραθέτονται πίνακες με τους αριθμούς των runs τα οποία μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Περισσότερες πληροφορίες για τα συγκεκριμένα αρχεία δίνονται από το ηλεκτρονικό ημερολόγιο του ΜΑΜΜΑ.

Θάλαμος R12			
Αέριο Ar : CO ₂ – 85 : 15			
Ημερομηνία : 18 Ιουλίου 2010			
Run#	Ώρα	V _a (V)	V _m (V)
4940	14 : 40	670	570
4941	15 : 08	670	570
4942	15 : 18	770	570
4943	15 : 28	770	570
4944	15 : 40	870	570
4945	15 : 49	870	570
4946	15 : 59	870	570
4947	16 : 09	870	570
4948	16 : 24	970	570
4949	16 : 52	970	570
4950	17 : 00	970	570
4951	17 : 00	970	570
4952	17 : 00	970	570
4953	17 : 36	1070	570
4954	17 : 50	1070	570
4955	18 : 01	1070	570
4956	18 : 11	1070	570
4957	18 : 22	1070	570

Θάλαμος R12			
Αέριο Ar : CO ₂ – 93 : 7			
Ημερομηνία : 10 Ιουλίου 2010			
Run#	Ώρα	V _d (V)	V _m (V)
4417	08 : 35	600	550
4418	09 : 52	800	550
4424	11 : 18	800	550
4430	14 : 21	800	550
4425	11 : 51	1000	550
4427	12 : 28	1000	550
4431	15 : 02	1000	550
4428	13 : 05	1200	550
4429	13 : 39	1200	550

Θάλαμος R11			
Αέριο Ar : CO ₂ – 85 : 15			
Ημερομηνία : 7 Ιουλίου 2010			
Run#	Ώρα	V _d (V)	V _m (V)
4271	22 : 27	790	570
4272	22 : 40	790	570
4274	23 : 04	790	570
4269	21 : 59	810	570
4270	22 : 13	810	570
4267	21 : 30	830	570
4268	21 : 45	830	570
4264	20 : 49	850	570
4265	21 : 02	850	570
4266	21 : 16	850	570
4277	00 : 01	870	570
4278	00 : 15	870	570
4279	00 : 32	870	570
4282	00 : 47	870	570
4283	01 : 02	870	570
4255	18 : 16	870	570
4256	18 : 31	870	570
4257	18 : 48	890	570
4258	19 : 11	890	570
4259	19 : 27	910	570
4260	19 : 44	910	570
4261	20 : 06	910	570
4262	20 : 21	930	570
4263	20 : 35	930	570
4275	23 : 31	950	570
4276	23 : 45	950	570

Θάλαμος R11			
Αέριο Ar : CO ₂ – 93 : 7			
Ημερομηνία : 9 Ιουλίου 2010			
Run#	Ώρα	V _d (V)	V _m (V)
4354	02 : 19	650	550
4355	02 : 30	650	550
4360	03 : 39	800	550
4361	03 : 57	800	550
4362	04 : 19	850	550
4363	04 : 36	850	550
4364	04 : 48	900	550
4365	05 : 00	900	550
4366	05 : 12	950	550
4367	05 : 31	950	550
4368	05 : 44	1000	550
4369	06 : 06	1000	550
4370	06 : 30	1100	550
4371	06 : 41	1100	550
4372	06 : 55	1200	550
4373	07 : 08	1200	550
4374	07 : 19	1300	550
4375	07 : 31	1300	550
4376	07 : 44	1400	550
4377	08 : 06	1400	550

Θάλαμος P3			
Υποδοχέας 1			
Ημερομηνία : 16 Ιουλίου 2010			
Run#	Ώρα	V _d (V)	V _m (V)
4757	23 : 03	830	530
4756	22 : 51	830	530
4755	22 : 44	840	540
4754	22 : 31	840	540
4753	22 : 17	840	540

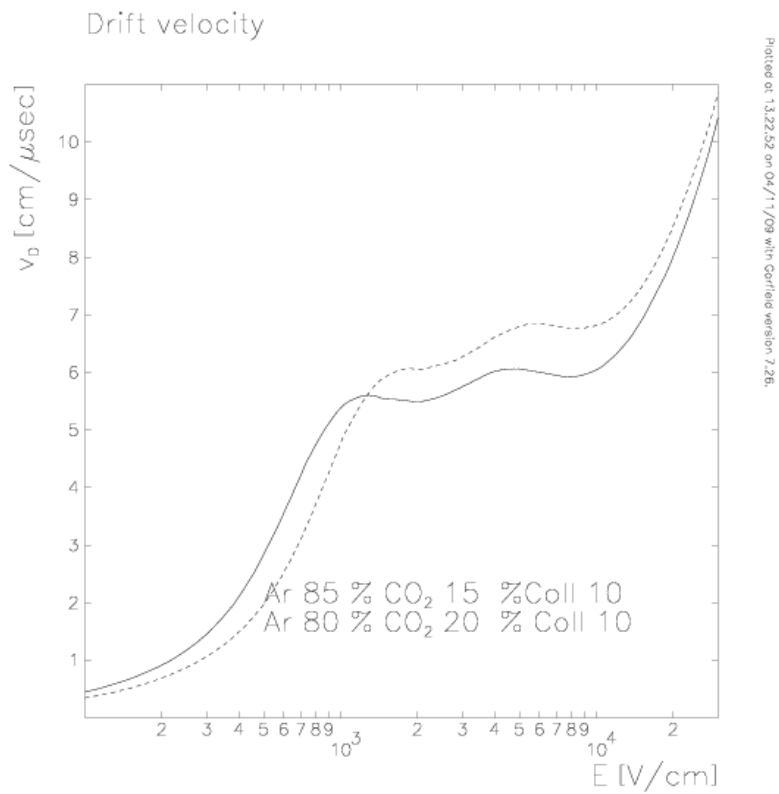
Θάλαμος P3			
Υποδοχέας 2			
Ημερομηνία : 17 Ιουλίου 2010			
<i>Run#</i>	Ώρα	$V_d(V)$	$V_m(V)$
4799	08 : 45	830	530
4798	08 : 34	830	530
4797	08 : 18	830	530
4796	07 : 58	830	530
4795	07 : 48	830	530
4794	07 : 30	820	520
4793	07 : 15	820	520
4792	07 : 07	820	520
4791	06 : 57	820	520
4790	06 : 46	820	520
4789	06 : 32	820	520
4788	06 : 09	880	580
4787	05 : 58	880	580
4786	05 : 48	880	580
4781	04 : 50	880	580
4780	04 : 43	880	580
4779	04 : 36	860	560
4778	04 : 19	860	560
4776	04 : 03	860	560
4775	03 : 53	860	560
4774	03 : 42	860	560
4773	03 : 29	840	540
4771	03 : 16	840	540
4770	03 : 01	840	540
4769	02 : 39	840	540
4768	02 : 28	840	540
4766	02 : 02	840	540
4763	01 : 23	840	540
4762	01 : 00	840	540

Θάλαμος P3			
Υποδοχέας 4			
Ημερομηνία : 17 Ιουλίου 2010			
<i>Run#</i>	Ώρα	$V_d(V)$	$V_m(V)$
4817	13 : 58	820	520
4816	13 : 48	820	520
4815	13 : 37	820	520
4814	13 : 27	820	520
4813	13 : 15	840	540
4812	13 : 01	840	540
4811	12 : 50	840	540
4810	12 : 35	840	540
4809	12 : 24	840	540
4808	12 : 10	840	540
4807	11 : 59	840	540
4806	11 : 41	840	540
4805	11 : 11	840	540
4804	11 : 06	840	540
4803	11 : 06	840	540
4802	11 : 01	830	530
4800	10 : 41	830	530

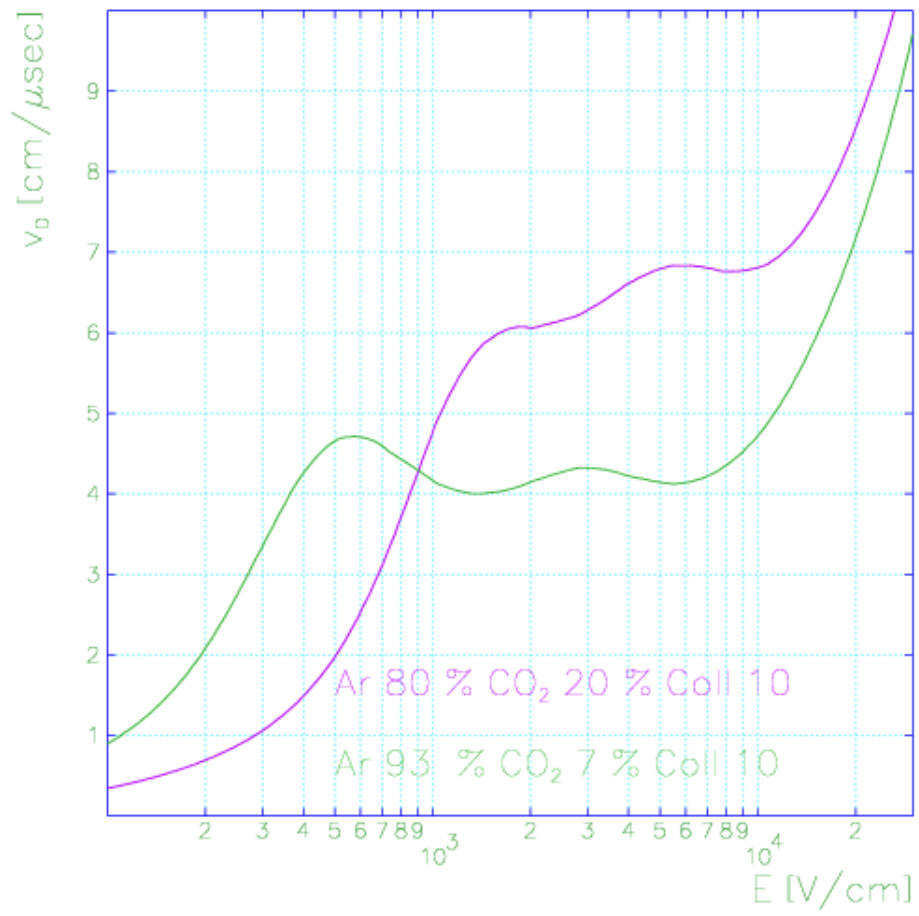
Θάλαμος P3			
Υποδοχέας 5			
Ημερομηνία : 17 Ιουλίου 2010			
<i>Run#</i>	Ώρα	$V_d(V)$	$V_m(V)$
4852	21 : 40	840	540
4851	21 : 29	840	540
4850	21 : 08	840	540
4849	20 : 57	840	540
4848	20 : 57	840	540
4847	20 : 18	860	560
4846	20 : 04	850	550
4845	19 : 54	850	550
4844	19 : 44	850	550
4843	19 : 26	850	550
4842	19 : 14	850	550
4840	18 : 39	840	540
4839	18 : 29	840	540
4838	18 : 18	840	540
4837	18 : 08	840	540
4836	17 : 56	840	540
4835	17 : 45	860	560
4834	17 : 34	830	530
4833	17 : 20	830	530
4832	17 : 11	830	530
4830	17 : 01	830	530
4829	16 : 50	830	530
4828	16 : 41	830	530
4827	16 : 16	820	520
4826	16 : 00	820	520
4825	15 : 44	820	520
4824	15 : 34	820	520
4823	15 : 18	820	520

Διαγράμματα Garfield

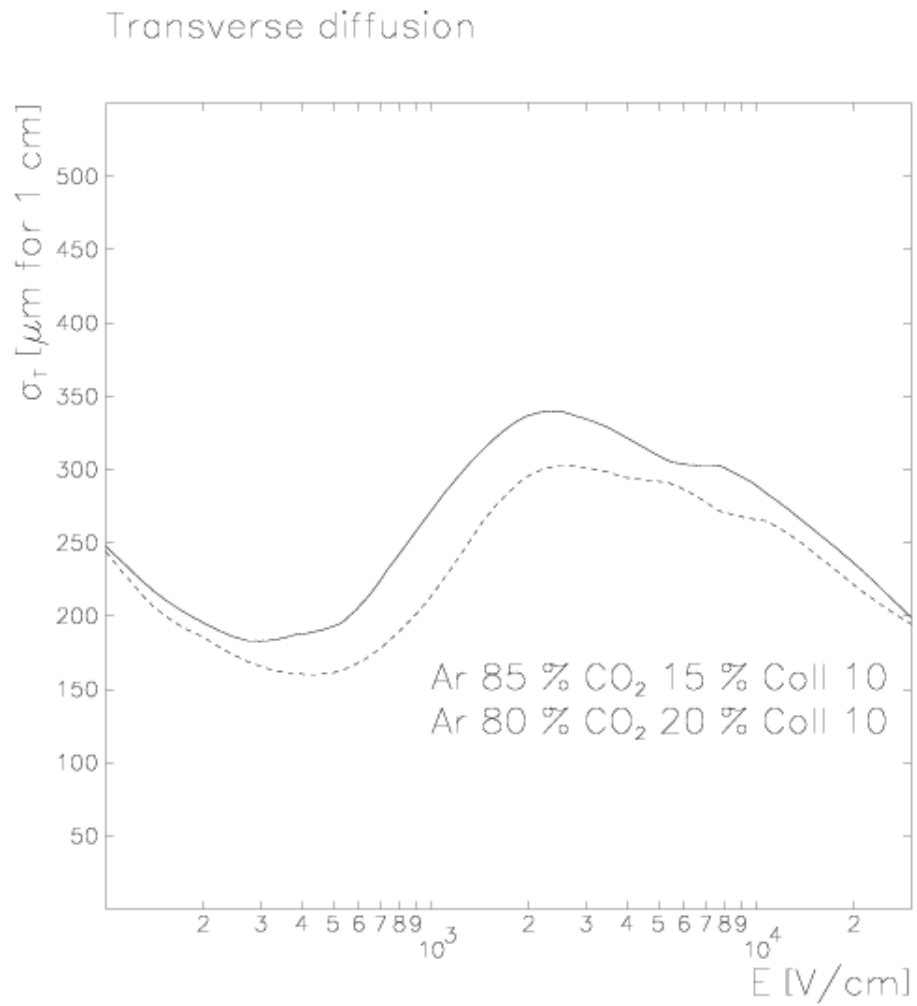
Β.1 Ταχύτητα Ολίσθησης



Drift velocity

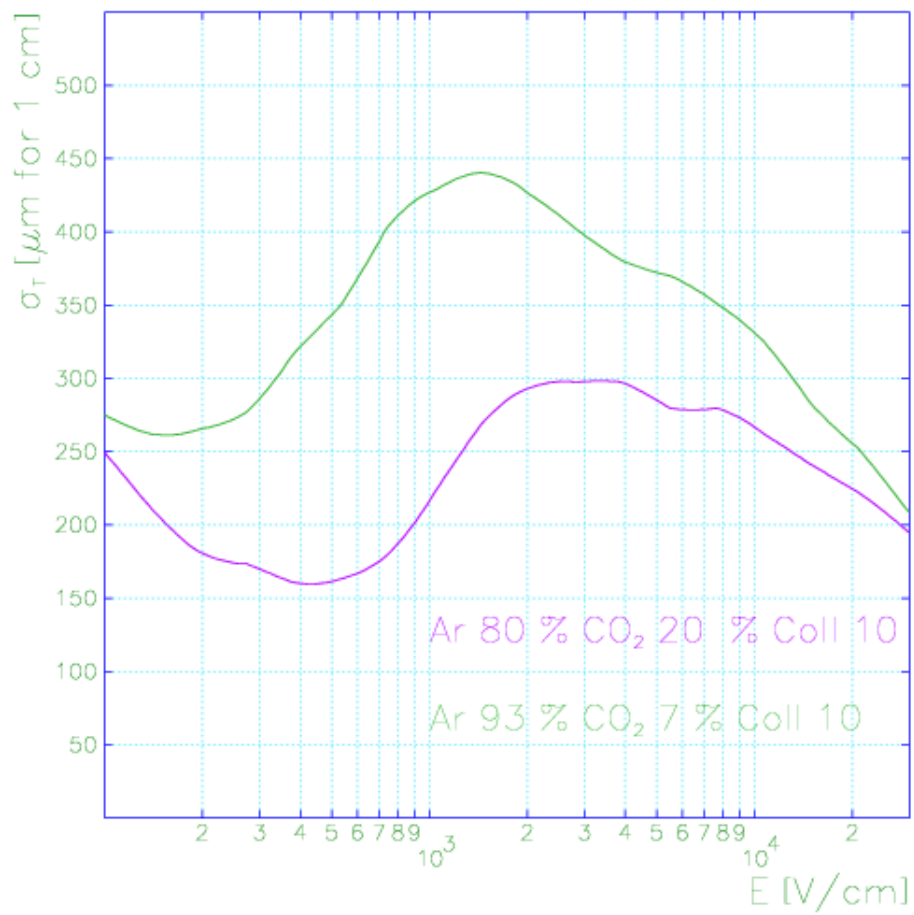


B.2 Εγκάρσια Διάχυση



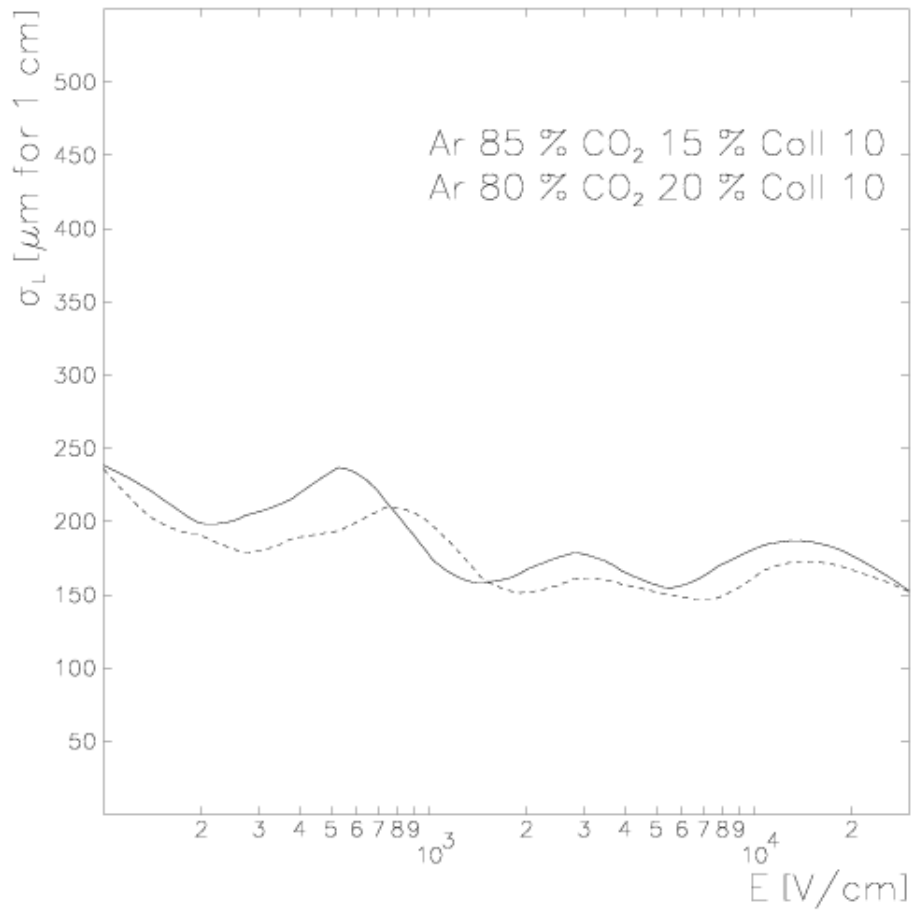
Plotted at 13.23.01 on 04/11/09 with Gorfieid version 7.26.

Transverse diffusion



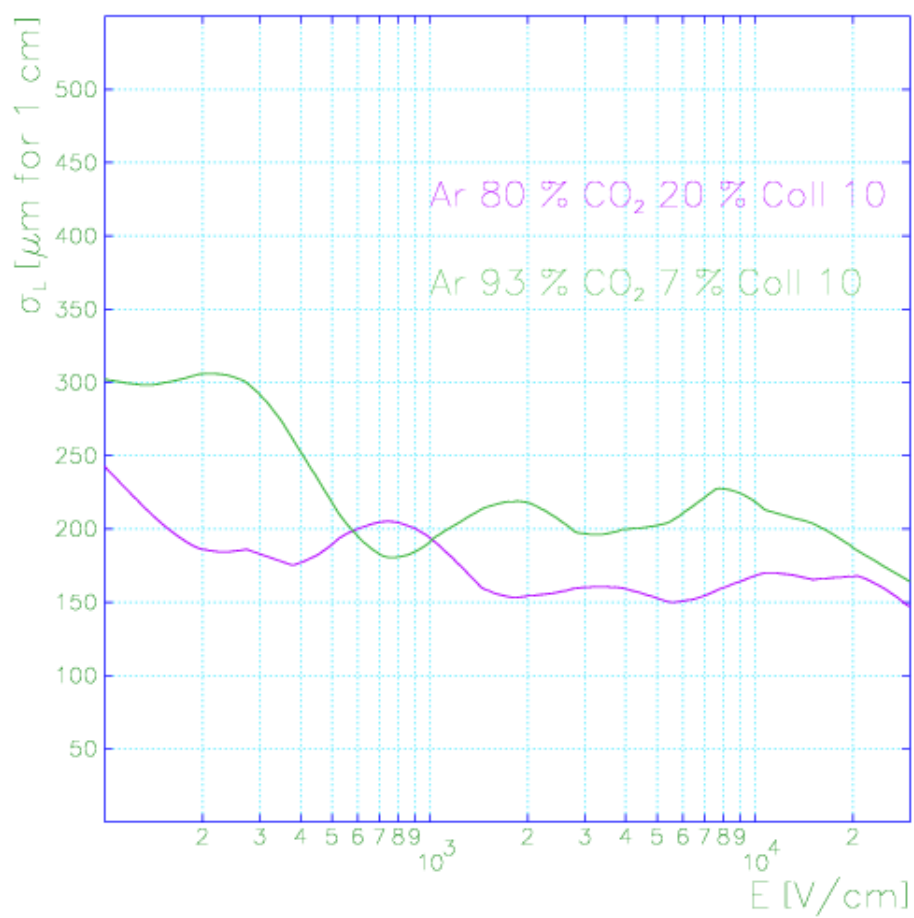
B.3 Διαμήκης Διάχυση

Longitudinal diffusion



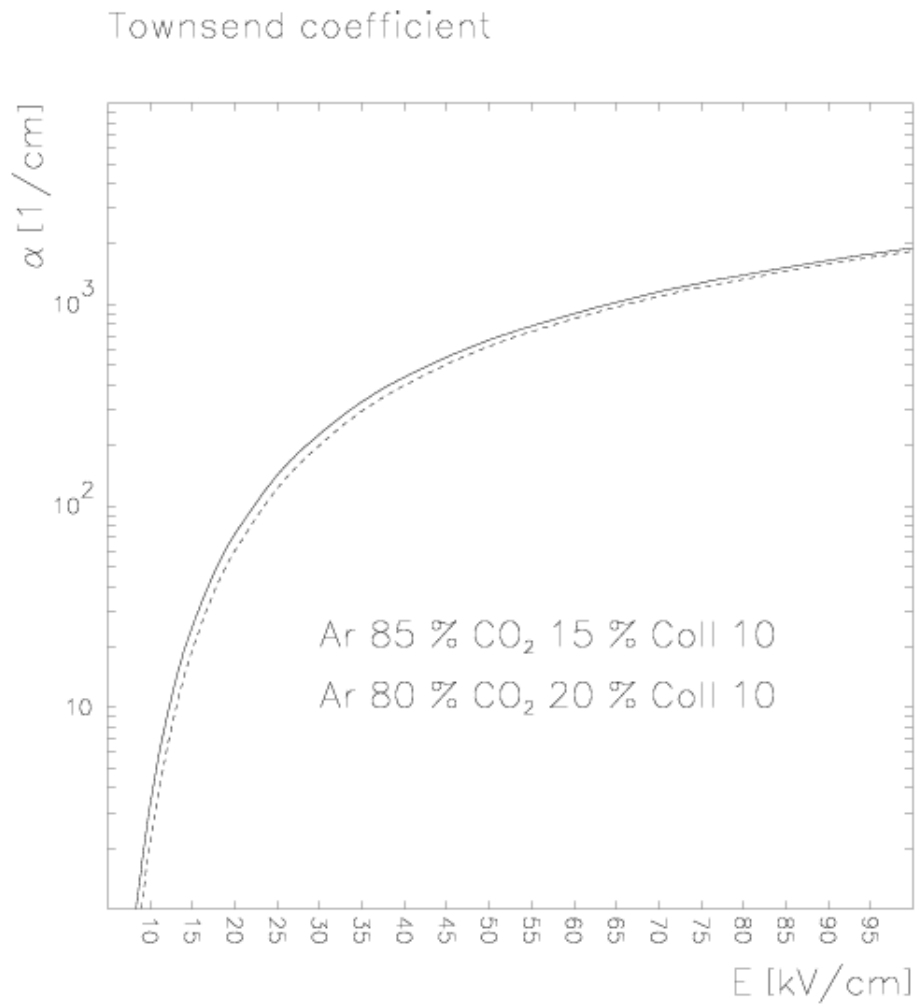
Plotted at 13.23.02 on 04/11/09 with Carfield version 7.26.

Longitudinal diffusion



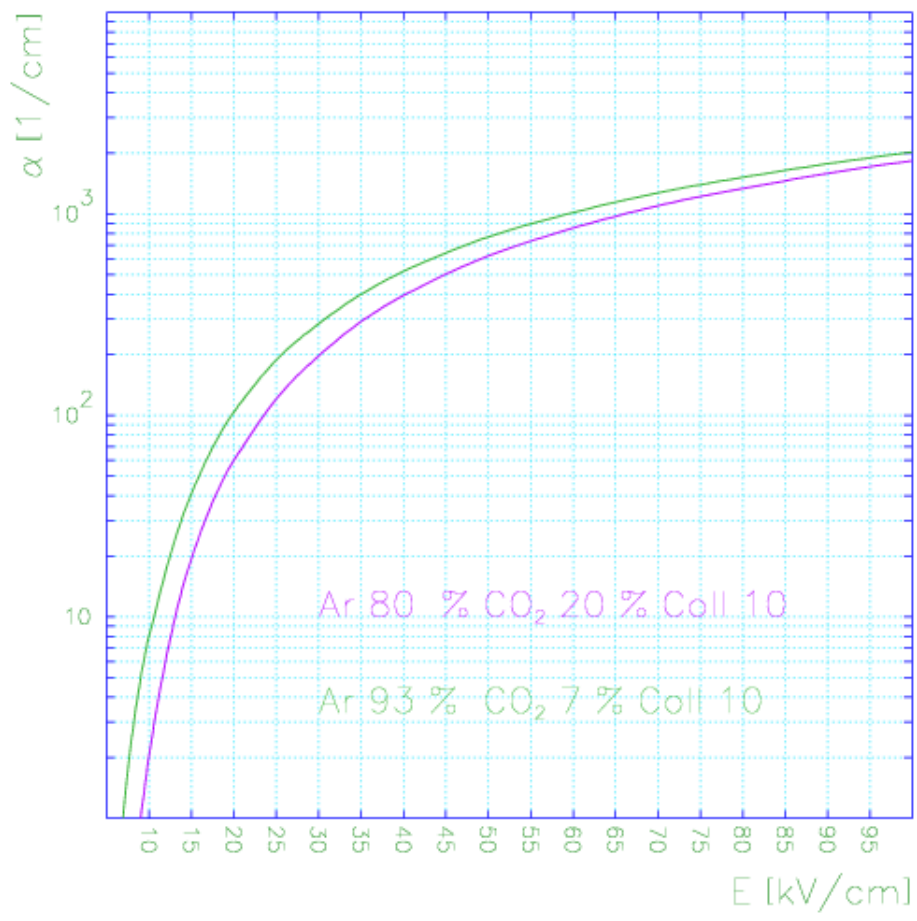
Plotted at 17.25.38 on 10/06/10 with Corfield version 7.26.

B.4 Συντελεστής Townsend



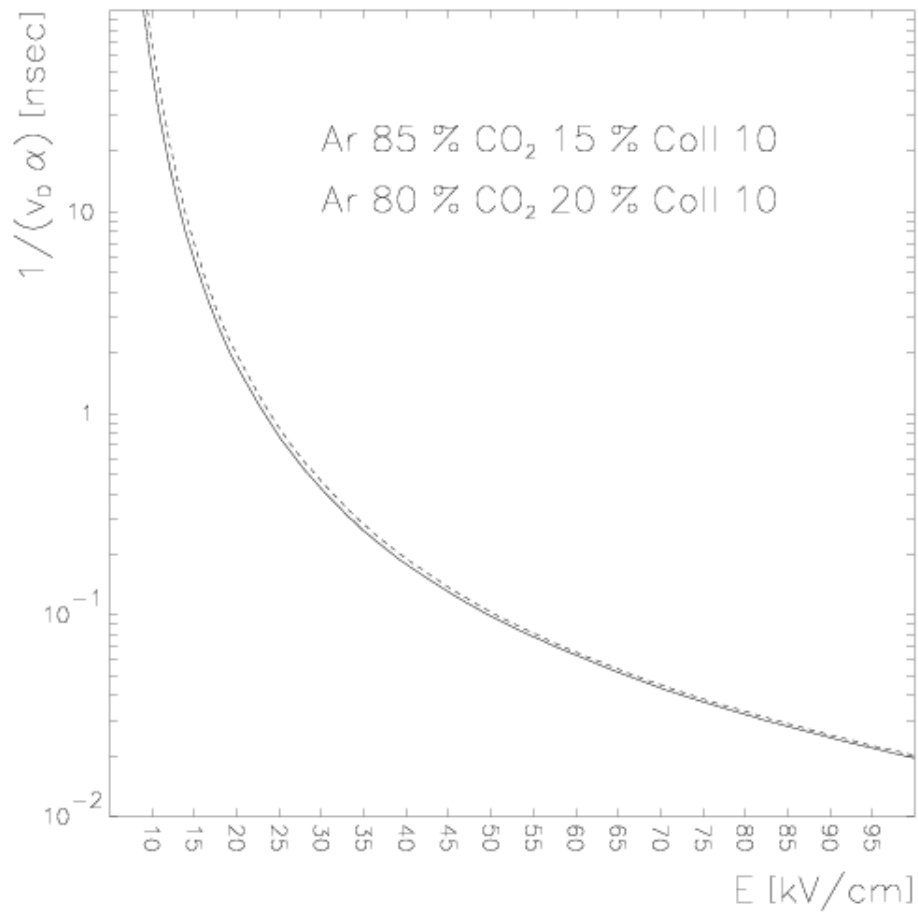
Plotted at 13.23.03 on 04/11/09 with Garfield version 7.2E.

Townsend coefficient

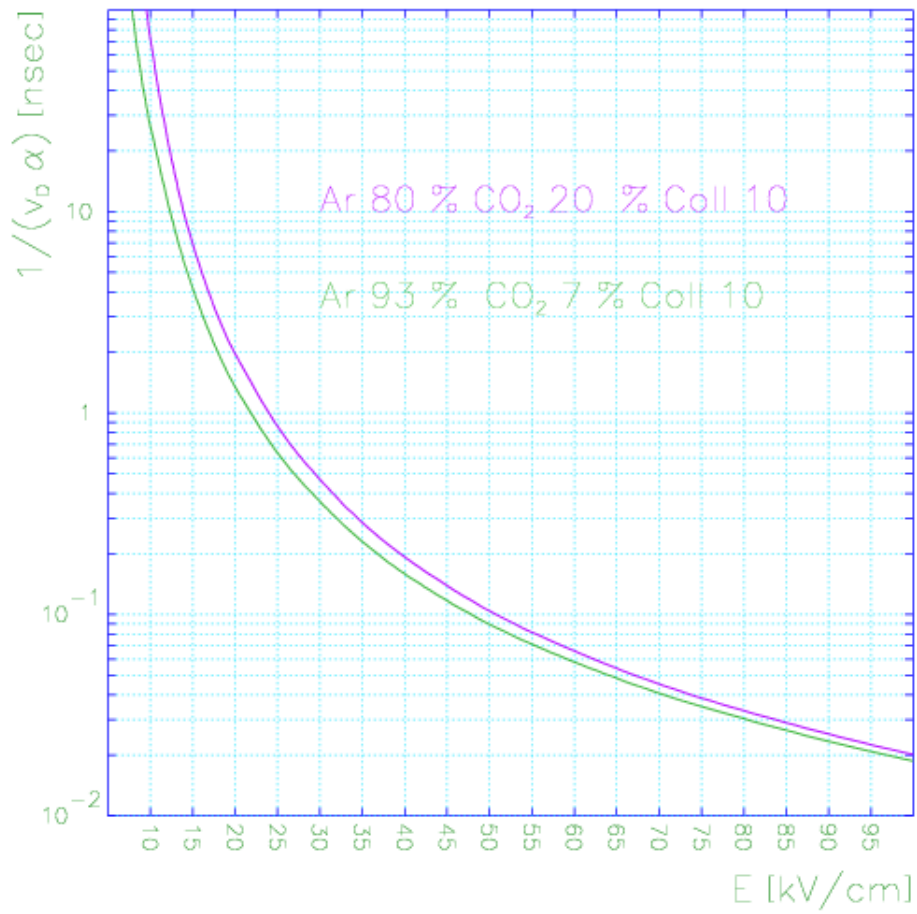


B.5 Μέσος ελεύθερος χρόνος έως τον ιονισμό

Mean free time until ionisation



Mean free time until ionisation



Διαφάνεια

```
1 { //
  // This script is created to generate the plot to show the
3 // corellation between the MPV of landau fits on cluster charge sum
  // and the curve from the lab.
5 //
7 gROOT->Reset();
9 // We only use 93:7 info
  TFile *f1 = new TFile("FastGas.root");
11 TH1F *k1 = (TH1F*) f1->Get("Clchgsum_800V");
  TH1F *k2 = (TH1F*) f1->Get("Clchgsum_850V");
13 TH1F *k3 = (TH1F*) f1->Get("Clchgsum_900V");
  TH1F *k4 = (TH1F*) f1->Get("Clchgsum_950V");
15 TH1F *k5 = (TH1F*) f1->Get("Clchgsum_1000V");
  TH1F *k6 = (TH1F*) f1->Get("Clchgsum_1100V");
17 TH1F *k7 = (TH1F*) f1->Get("Clchgsum_1200V");
  TH1F *k8 = (TH1F*) f1->Get("Clchgsum_1300V");
19 TH1F *k9 = (TH1F*) f1->Get("Clchgsum_1400V");
21
  // Fit em
23 double mpvFast[9];
25 k1->Fit("landau", "", "", 0, 800);
  mpvFast[0]=k1->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
27 k1->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
  k2->Fit("landau", "", "", 0, 800);
29 mpvFast[1]=k2->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
  k2->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
31 k3->Fit("landau", "", "", 0, 800);
  mpvFast[2]=k3->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
```

```

33| k3->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
    k4->Fit("landau", "", "", 0, 800);
35| mpvFast[3]=k4->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
    k4->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
37| k5->Fit("landau", "", "", 0, 800);
    mpvFast[4]=k5->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
39| k5->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
    k6->Fit("landau", "", "", 0, 800);
41| mpvFast[5]=k6->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
    k6->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
43| k7->Fit("landau", "", "", 0, 800);
    mpvFast[6]=k7->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
45| k7->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
    k8->Fit("landau", "", "", 0, 800);
47| mpvFast[7]=k8->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
    k8->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
49| k9->Fit("landau", "", "", 0, 800);
    mpvFast[8]=k9->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
51| k9->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);

53| // normalize that
    double mpvFastNormalized[9];
55|
    for(int k = 0; k<9; k++){
57|     mpvFastNormalized[k]=0.95364*(mpvFast[k]/mpvFast[0]);
        }
59|
    double fieldRatioFast[9] = {68.7, 57.3, 49.1, 42.9, 38.2, 31.2, 26.4, 22.9, 20.2};
61| double fieldRatioFastTr[13] = {1781.25, 254.64, 137.1, 98.96, 68.7, 57.3, 49.1, 42.9,
        38.2, 31.2, 26.4, 22.9, 20.2};
    double transparency[13] = {1, 0.993374483, 0.986754967, 0.97350993, 0.95364, 0.91390,
        0.8609271, 0.807947, 0.761589, 0.695364, 0.64900, 0.609271, 0.5693642};
63|
    /*for(int k=0; k<9; k++){
65|     cout << mpvFastNormalized[k] << "\t" << transparency[k] << endl;
        }*/
67|

69| TGraph *tg = new TGraph(9, fieldRatioFast, mpvFastNormalized);
    tg->SetTitle("Normalized Landau MPV (Test Beam)");
71|
    TGraph *tg2 = new TGraph(13, fieldRatioFastTr, transparency);
73| tg2->SetTitle("Normalized Transparency (Lab)");

75| TCanvas *c1 = new TCanvas();
    TH1F *frame = c1->DrawFrame(10,0,2000,1.1);
77| tg->Draw("P");
    tg2->Draw("P");
79| c1->SetLogx();
    tg->SetMarkerStyle(21);
81| tg->SetMarkerSize(2);
    tg->SetMarkerColor(40);
83|
    tg2->SetMarkerStyle(22);
85| tg2->SetMarkerSize(2);
    tg2->SetMarkerColor(50);
87|

```

```

89 frame->SetTitle("R11 - Ar:CO_{2}-93:7");
frame->GetXaxis()->SetTitle("E_{m}/E_{d}");
c1->SetBorderMode(0);
91 c1->BuildLegend();
c1->SetGrid();
93
}

```

Απόδοση

```

{ //
2 // This script generates the plots used to study the percentage of
// non zero cluster events for the two gases.
4 //
6 // Global reset values
gROOT->Reset();
8
// Load first file - 85-15 Gas
10 TFile *f = new TFile("SlowGas.root");
TH1F *h1 = (TH1F*) f->Get("Nclu_790V");
12 TH1F *h2 = (TH1F*) f->Get("Nclu_810V");
TH1F *h3 = (TH1F*) f->Get("Nclu_830V");
14 TH1F *h4 = (TH1F*) f->Get("Nclu_850V");
TH1F *h5 = (TH1F*) f->Get("Nclu_870V");
16 TH1F *h6 = (TH1F*) f->Get("Nclu_890V");
TH1F *h7 = (TH1F*) f->Get("Nclu_910V");
18 TH1F *h8 = (TH1F*) f->Get("Nclu_930V");
TH1F *h9 = (TH1F*) f->Get("Nclu_950V");
20
TCanvas *c1 = new TCanvas("c1", "SlowGas 790-870");
22 c1->Divide(2,3);
c1->cd(1);
24 TPaveText *pt = new TPaveText(0.2101383,0.291000344,0.794410006,0.8277791,"br");
pt->SetFillColor(19);
26 TText *text = pt->AddText("Number of Clusters");
text = pt->AddText("Gas Mixture Ar:CO_{2}-85:15");
28 pt->Draw();
c1->Modified();
30 c1->cd();
c1->cd(2);
32 h1->Draw();
c1->cd(3);
34 h2->Draw();
c1->cd(4);
36 h3->Draw();
c1->cd(5);
38 h4->Draw();
c1->cd(6);
40 h5->Draw();
c1->cd(6)->SetBorderMode(0);
42
TCanvas *c2 = new TCanvas("c2", "SlowGas 890-950");
44 c2->Divide(2,2);
c2->cd(1);
46 h6->Draw();

```

```

48  c2->cd(2);
    h7->Draw();
    c2->cd(3);
50  h8->Draw();
    c2->cd(4);
52  h9->Draw();
    c2->cd(4)->SetBorderMode(0);
54
    // Declare Arrays and Fit histograms
56  double zerosSlow[9];

58  zerosSlow[0]=1-(h1->GetBinContent(1)/h1->GetEntries());
    zerosSlow[1]=1-(h2->GetBinContent(1)/h2->GetEntries());
60  zerosSlow[2]=1-(h3->GetBinContent(1)/h3->GetEntries());
    zerosSlow[3]=1-(h4->GetBinContent(1)/h4->GetEntries());
62  zerosSlow[4]=1-(h5->GetBinContent(1)/h5->GetEntries());
    zerosSlow[5]=1-(h6->GetBinContent(1)/h6->GetEntries());
64  zerosSlow[6]=1-(h7->GetBinContent(1)/h7->GetEntries());
    zerosSlow[7]=1-(h8->GetBinContent(1)/h8->GetEntries());
66  zerosSlow[8]=1-(h9->GetBinContent(1)/h9->GetEntries());

68  //Declare mpvGraphSlow
    double fieldSlow[9]={550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950};
70  TGraph *zerosGraphSlow = new TGraph(9,fieldSlow ,zerosSlow);
    zerosGraphSlow->SetMarkerStyle(8);
72  zerosGraphSlow->SetMarkerColor(2);
    zerosGraphSlow->SetMarkerSize(1);
74  zerosGraphSlow->GetXaxis()->SetTitle("E_{d}");
    zerosGraphSlow->GetYaxis()->SetTitle("Percentage (Zero Clusters/Total Clusters)");
76  zerosGraphSlow->SetTitle("Gas Mixture Ar:CO_{2}-85:15");

78
    // zeros vs ratio
80  double fieldRatioSlow[9]={80.9, 74.2, 68.5, 63.6, 59.4, 55.6, 52.7, 49.5, 46.9};
    TGraph *zerosGraphRatioSlow = new TGraph(9,fieldRatioSlow ,zerosSlow);
82  zerosGraphRatioSlow->SetMarkerStyle(8);
    zerosGraphRatioSlow->SetMarkerColor(2);
84  zerosGraphRatioSlow->SetMarkerSize(1);
    zerosGraphRatioSlow->GetXaxis()->SetTitle("E_{m}/E_{d}");
86  zerosGraphRatioSlow->GetYaxis()->SetTitle("Percentage (Zero Clusters/Total Clusters)"
    );
    zerosGraphRatioSlow->SetTitle("Gas Mixture Ar:CO_{2}-85:15");
88
90
92 // ***** //
    // Load second file - 93-7 Gas
94  TFile *f2 = new TFile("FastGas.root");
    TH1F *k1 = (TH1F*) f2->Get("Nclu_800V");
96  TH1F *k2 = (TH1F*) f2->Get("Nclu_850V");
    TH1F *k3 = (TH1F*) f2->Get("Nclu_900V");
98  TH1F *k4 = (TH1F*) f2->Get("Nclu_950V");
    TH1F *k5 = (TH1F*) f2->Get("Nclu_1000V");
100 TH1F *k6 = (TH1F*) f2->Get("Nclu_1100V");
    TH1F *k7 = (TH1F*) f2->Get("Nclu_1200V");
102 TH1F *k8 = (TH1F*) f2->Get("Nclu_1300V");

```

```

104 TH1F *k9 = (TH1F*) f2->Get("Nclu_1400V");

106 TCanvas *c3 = new TCanvas("c3", "Fast Gas 800-1000");
    c3->Divide(2,3);
108 // ----- PaveText
    c3->cd(1);
110 TPaveText *pt = new TPaveText(0.2101383,0.291000344,0.794410006,0.8277791,"br");
    pt->SetFillColor(19);
112 TText *text = pt->AddText("Number of Clusters");
    text = pt->AddText("Gas Mixture Ar:CO_{2}-93:7");
114 pt->Draw();
    c3->Modified();
116 c3->cd();
    // -----
118 c3->cd(2);
    k1->Draw();
120 c3->cd(3);
    k2->Draw();
122 c3->cd(4);
    k3->Draw();
124 c3->cd(5);
    k4->Draw();
126 c3->cd(6);
    k5->Draw();
128 c3->cd(6)->SetBorderMode(0);

130 TCanvas *c4 = new TCanvas("c4", "Fast Gas 1100-1400");
    c4->Divide(2,2);
132 // ----- PaveText
    c4->cd(1);
134 k6->Draw();
    c4->cd(2);
136 k7->Draw();
    c4->cd(3);
138 k8->Draw();
    c4->cd(4);
140 k9->Draw();
    c4->cd(4)->SetBorderMode(0);
142
144 // Declare Arrays and Fit histograms
146 // double fieldRatioFast[9]={68.7, 57.3, 49.1, 42.9, 38.2, 31.2, 26.4, 22.9, 20.2};
    double zerosFast[9];
148
150 double fieldFast[9]={625, 750, 875, 1000, 1125, 1375, 1625, 1875, 2125};
    zerosFast[0]=1-(k1->GetBinContent(1)/k1->GetEntries());
152 zerosFast[1]=1-(k2->GetBinContent(1)/k2->GetEntries());
    zerosFast[2]=1-(k3->GetBinContent(1)/k3->GetEntries());
154 zerosFast[3]=1-(k4->GetBinContent(1)/k4->GetEntries());
    zerosFast[4]=1-(k5->GetBinContent(1)/k5->GetEntries());
156 zerosFast[5]=1-(k6->GetBinContent(1)/k6->GetEntries());
    zerosFast[6]=1-(k7->GetBinContent(1)/k7->GetEntries());
158 zerosFast[7]=1-(k8->GetBinContent(1)/k8->GetEntries());
    zerosFast[8]=1-(k9->GetBinContent(1)/k9->GetEntries());

```

```

160 | //Declare mpvGraphFast
162 | TGraph *zerosGraphFast = new TGraph(9,fieldFast ,zerosFast);
    | zerosGraphFast->SetMarkerStyle(8);
164 | zerosGraphFast->SetMarkerColor(2);
    | zerosGraphFast->SetMarkerSize(1);
166 | zerosGraphFast->GetXaxis()->SetTitle("E_{d}");
    | zerosGraphFast->GetYaxis()->SetTitle("Percentage (Zero Clusters/Total Clusters)");
168 | zerosGraphFast->SetTitle("Gas Mixture Ar:CO_{2}-93:7");

170 | //Declare mpvGraphFast
    | double fieldRatioFast[9]={68.7, 57.3, 49.1, 42.9, 38.2, 31.2, 26.4, 22.9, 20.2};
172 |
    | TGraph *zerosGraphRatioFast = new TGraph(9,fieldRatioFast ,zerosFast);
174 | zerosGraphRatioFast->SetMarkerStyle(8);
    | zerosGraphRatioFast->SetMarkerColor(2);
176 | zerosGraphRatioFast->SetMarkerSize(1);
    | zerosGraphRatioFast->GetXaxis()->SetTitle("E_{m}/E_{d}");
178 | zerosGraphRatioFast->GetYaxis()->SetTitle("Percentage (Zero Clusters/Total Clusters)"
    | );
    | zerosGraphRatioFast->SetTitle("Gas Mixture Ar:CO_{2}-93:7");
180 |
    | // Draw TGraphs together
182 | TCanvas *c5 = new TCanvas("c5", "Efficiency vs Ed_Divided");
    | c5->Divide(1,2);
184 | c5->cd(1);
    | zerosGraphSlow->Draw("AP");
186 | zerosGraphSlow->GetYaxis()->SetRangeUser(0,1.2);
    | c5->cd(1)->SetGrid();
188 | c5->cd(1)->SetLogx();
    | c5->cd(2);
190 | zerosGraphFast->Draw("AP");
    | c5->cd(2)->SetGrid();
192 | c5->cd(2)->SetLogx();
    | zerosGraphFast->GetYaxis()->SetRangeUser(0,1.2);
194 | c5->cd(2)->SetBorderMode(0);

196 | TCanvas *c6 = new TCanvas("c6", "Efficiency together vs Ed");
    | TH1F *frame = c6->DrawFrame(500, 0, 2200, 1.1);
198 | zerosGraphSlow->Draw("P");
    | zerosGraphFast->Draw("P");
200 | zerosGraphSlow->SetMarkerStyle(22);
    | zerosGraphSlow->SetMarkerSize(2);
202 | zerosGraphSlow->SetMarkerColor(40);
    | zerosGraphFast->SetMarkerStyle(21);
204 | zerosGraphFast->SetMarkerSize(2);
    | zerosGraphFast->SetMarkerColor(50);
206 | c6->SetLogx();
    | c6->SetGrid();
208 | frame->SetTitle("' Efficiency ' vs E_{d}");
    | frame->GetXaxis()->SetTitle("E_{d} (V/cm)");
210 | frame->GetYaxis()->SetTitle("Percentage of Non Zero Clusters");
    | c6->SetBorderMode(0);
212 |
214 | // -----

```

```

216 // ***** RATIOS *****
218 // Draw TGraphs together
TCanvas *c7 = new TCanvas("c7", "Efficiency vs Ratio_Divided");
220 c7->Divide(1,2);
c7->cd(1);
222 zerosGraphRatioSlow->Draw("AP");
zerosGraphRatioSlow->GetYaxis()->SetRangeUser(0,1.2);
224 c7->cd(1)->SetGrid();
c7->cd(1)->SetLogx();
226 c7->cd(2);
zerosGraphRatioFast->Draw("AP");
228 c7->cd(2)->SetGrid();
c7->cd(2)->SetLogx();
230 zerosGraphRatioFast->GetYaxis()->SetRangeUser(0,1.2);
c7->cd(2)->SetBorderMode(0);
232
double transparency[9] = {0.95364, 0.91390, 0.8609271, 0.761589, 0.695364, 0.64900,
0.609271, 0.5693642};
234
TGraph *sasha = new TGraph(9,fieldRatioFast, transparency);
236 sasha->SetTitle("Normalized Transparency (Lab)");
238
TCanvas *c8 = new TCanvas("c8", "Efficiency together vs Ratio");
240 TH1F *frame2 = c8->DrawFrame(9, 0, 101, 1.1);
zerosGraphRatioFast->Draw("P");
242 sasha->Draw("P");
sasha->SetMarkerStyle(22);
244 sasha->SetMarkerSize(2);
sasha->SetMarkerColor(40);
246
zerosGraphRatioFast->SetMarkerStyle(21);
248 zerosGraphRatioFast->SetMarkerSize(2);
zerosGraphRatioFast->SetMarkerColor(50);
250
c8->SetLogx();
252 c8->SetGrid();
frame2->SetTitle("'Efficiency' vs E_{m}/E_{d}");
254 frame2->GetXaxis()->SetTitle("E_{m}/E_{d}");
frame2->GetYaxis()->SetTitle("Percentage of Non-Zero Clusters");
256 c8->SetBorderMode(0);
258 }

```

Διάυση

```

{ //
2 // This script generates the plots used to study the diffusion of
// gases by fitting a Gaussian Curve and storing its mean value.
4 //
6 // Global reset values
gROOT->Reset();
8
// Load first file - 85-15 Gas
10 TFile *f = new TFile("SlowGas.root");

```

```

12 TH1F *h1 = (TH1F*) f->Get("Clasz_790V");
TH1F *h2 = (TH1F*) f->Get("Clasz_810V");
TH1F *h3 = (TH1F*) f->Get("Clasz_830V");
14 TH1F *h4 = (TH1F*) f->Get("Clasz_850V");
TH1F *h5 = (TH1F*) f->Get("Clasz_870V");
16 TH1F *h6 = (TH1F*) f->Get("Clasz_890V");
TH1F *h7 = (TH1F*) f->Get("Clasz_910V");
18 TH1F *h8 = (TH1F*) f->Get("Clasz_930V");
TH1F *h9 = (TH1F*) f->Get("Clasz_950V");
20

22 TCanvas *c1 = new TCanvas("c1", "SlowGas 790-850");
c1->Divide(2,3);
24 c1->cd(1);
TPaveText *pt = new TPaveText(0.2101383,0.291000344,0.794410006,0.8277791,"br");
26 pt->SetFillColor(19);
TText *text = pt->AddText("Clusters Size");
28 text = pt->AddText("Gas Mixture Ar:CO_{2}-85:15");
pt->Draw();
30 c1->Modified();
c1->cd();
32 c1->cd(2);
h1->Draw();
34 c1->cd(3);
h2->Draw();
36 c1->cd(4);
h3->Draw();
38 c1->cd(5);
h4->Draw();
40 c1->cd(6);
h5->Draw();
42 c1->cd(6)->SetBorderMode(0);

44 TCanvas *c2 = new TCanvas("c2", "SlowGas 870-950");
c2->Divide(2,2);
46 c2->cd(1);
h6->Draw();
48 c2->cd(2);
h7->Draw();
50 c2->cd(3);
h8->Draw();
52 c2->cd(4);
h9->Draw();
54 c2->cd(4)->SetBorderMode(0);

56 // Declare Arrays and Fit histograms
58 double fieldSlow[9]={550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950};
double fieldRatioSlow[9]={80.9, 74.2, 68.5, 63.6, 59.4, 55.6, 52.7, 49.5, 46.9};
60 double meanSlow[9];

62 h1->Fit("gaus","",",",0,10);
meanSlow[0] = h1->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
64 h1->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
h2->Fit("gaus","",",",0,10);
66 meanSlow[1] = h2->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
h2->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);

```



```

68 | h3->Fit ("gaus", "", "", 0, 10);
    | meanSlow[2] = h3->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
70 | h3->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
    | h4->Fit ("gaus", "", "", 0, 10);
72 | meanSlow[3] = h4->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
    | h4->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
74 | h5->Fit ("gaus", "", "", 0, 10);
    | meanSlow[4] = h5->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
76 | h5->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
    | h6->Fit ("gaus", "", "", 0, 10);
78 | meanSlow[5] = h6->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
    | h6->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
80 | h7->Fit ("gaus", "", "", 0, 10);
    | meanSlow[6] = h7->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
82 | h7->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
    | h8->Fit ("gaus", "", "", 0, 10);
84 | meanSlow[7] = h8->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
    | h8->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
86 | h9->Fit ("gaus", "", "", 0, 10);
    | meanSlow[8] = h9->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
88 | h9->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
90 |
92 |
    | //Declare mpvGraphSlow
94 | TGraph *meanGraphSlow = new TGraph(9, fieldSlow, meanSlow);
    | meanGraphSlow->SetMarkerStyle(8);
96 | meanGraphSlow->SetMarkerColor(2);
    | meanGraphSlow->SetMarkerSize(1);
98 | meanGraphSlow->GetXaxis()->SetTitle("E_{d}");
    | meanGraphSlow->GetYaxis()->SetTitle("Gaussian Mean Value");
100 | meanGraphSlow->SetTitle("Gas Mixture Ar:CO_{2}-85:15");
102 |
    | // mean vs ratio
104 | TGraph *meanGraphRatioSlow = new TGraph(9, fieldRatioSlow, meanSlow);
    | meanGraphRatioSlow->SetMarkerStyle(8);
106 | meanGraphRatioSlow->SetMarkerColor(2);
    | meanGraphRatioSlow->SetMarkerSize(1);
108 | meanGraphRatioSlow->GetXaxis()->SetTitle("E_{m}/E_{d}");
    | meanGraphRatioSlow->GetYaxis()->SetTitle("Gaussian Mean Value");
110 | meanGraphRatioSlow->SetTitle("Gas Mixture Ar:CO_{2}-85:15");
112 |
114 |
    | // *****
    | ***** //
116 |
    | // Load second file - 93-7 Gas
118 | TFile *f2 = new TFile("FastGas.root");
120 | TH1F *k1 = (TH1F*) f2->Get("Clsz_800V");
    | TH1F *k2 = (TH1F*) f2->Get("Clsz_850V");
122 | TH1F *k3 = (TH1F*) f2->Get("Clsz_900V");
    | TH1F *k4 = (TH1F*) f2->Get("Clsz_950V");

```

```

124| TH1F *k5 = (TH1F*) f2->Get("Clsz_1000V");
    TH1F *k6 = (TH1F*) f2->Get("Clsz_1100V");
126| TH1F *k7 = (TH1F*) f2->Get("Clsz_1200V");
    TH1F *k8 = (TH1F*) f2->Get("Clsz_1300V");
128| TH1F *k9 = (TH1F*) f2->Get("Clsz_1400V");

130|
131| TCanvas *c3 = new TCanvas("c3", "Fast Gas 800-1000");
132| c3->Divide(2,3);
    //----- PaveText
134| c3->cd(1);
    TPaveText *pt = new TPaveText(0.2101383,0.291000344,0.794410006,0.8277791,"br");
136| pt->SetFillColor(19);
    TText *text = pt->AddText("Clusters Size");
138| text = pt->AddText("Gas Mixture Ar:CO_{2}-93:7");
    pt->Draw();
140| c3->Modified();
    c3->cd();
142| //-----
    c3->cd(2);
144| k1->Draw();
    c3->cd(3);
146| k2->Draw();
    c3->cd(4);
148| k3->Draw();
    c3->cd(5);
150| k4->Draw();
    c3->cd(6);
152| k5->Draw();
    c3->cd(6)->SetBorderMode(0);
154|
155| TCanvas *c4 = new TCanvas("c4", "Fast Gas 110-1400");
156| c4->Divide(2,2);
    //----- PaveText
158| c4->cd(1);
    k6->Draw();
160| c4->cd(2);
    k7->Draw();
162| c4->cd(3);
    k8->Draw();
164| c4->cd(4);
    k9->Draw();
166| c4->cd(4)->SetBorderMode(0);

168|
170| // Declare Arrays and Fit histograms
    double fieldFast[9]={625, 750, 875, 1000, 1125, 1375, 1625, 1875, 2125}
172| double meanFast[9];

174| k1->Fit("gaus", "", "", 0,10);
    meanFast[0] = k1->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
176| k1->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
    k2->Fit("gaus", "", "", 0,10);
178| meanFast[1] = k2->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
    k2->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
180| k3->Fit("gaus", "", "", 0,10);

```

```

182 meanFast[2] = k3->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
k3->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
k4->Fit("gaus", "", "", 0,10);
184 meanFast[3] = k4->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
k4->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
186 k5->Fit("gaus", "", "", 0,10);
meanFast[4] = k5->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
188 k5->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
k6->Fit("gaus", "", "", 0,10);
190 meanFast[5] = k6->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
k6->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
192 k7->Fit("gaus", "", "", 0,10);
meanFast[6] = k7->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
194 k7->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
k8->Fit("gaus", "", "", 0,10);
196 meanFast[7] = k8->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
k8->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);
198 k9->Fit("gaus", "", "", 0,10);
meanFast[8] = k9->GetFunction("gaus")->GetParameter(1);
200 k9->GetFunction("gaus")->SetLineColor(kOrange-2);

202
//Declare mpvGraphFast
204 TGraph *meanGraphFast = new TGraph(9,fieldFast ,meanFast);
meanGraphFast->SetMarkerStyle(8);
206 meanGraphFast->SetMarkerColor(2);
meanGraphFast->SetMarkerSize(1);
208 meanGraphFast->GetXaxis()->SetTitle("E_{d}");
meanGraphFast->GetYaxis()->SetTitle("Gaussian Mean Value");
210 meanGraphFast->SetTitle("Gas Mixture Ar:CO_{2}-93:7");

212
//Declare mpvGraphFast
214 double fieldRatioFast[9]={68.7, 57.3, 49.1, 42.9, 38.2, 31.2, 26.4, 22.9, 20.2};

216 TGraph *meanGraphRatioFast = new TGraph(9,fieldRatioFast ,meanFast);
meanGraphRatioFast->SetMarkerStyle(8);
218 meanGraphRatioFast->SetMarkerColor(2);
meanGraphRatioFast->SetMarkerSize(1);
220 meanGraphRatioFast->GetXaxis()->SetTitle("E_{m}/E_{d}");
meanGraphRatioFast->GetYaxis()->SetTitle("Gaussian Mean Value");
222 meanGraphRatioFast->SetTitle("Gas Mixture Ar:CO_{2}-93:7");

224 // Draw TGraphs together
TCanvas *c5 = new TCanvas("c5", "Diffusion vs Ed_Divided");
226 c5->Divide(1,2);
c5->cd(1);
228 meanGraphSlow->Draw("AP");
meanGraphSlow->GetYaxis()->SetRangeUser(2,5);
230 c5->cd(1)->SetGrid();
c5->cd(1)->SetLogx();
232 c5->cd(2);
meanGraphFast->Draw("AP");
234 c5->cd(2)->SetGrid();
c5->cd(2)->SetLogx();
236 meanGraphFast->GetYaxis()->SetRangeUser(2,5);
c5->cd(2)->SetBorderMode(0);

```

```

238 | // Draw TGraphs together vs E_d
240 | TCanvas *c6 = new TCanvas("c6", "Diffusion together vs Ed");
242 | TH1F *frame = c6->DrawFrame(500, 2, 2200, 5);
244 | meanGraphSlow->Draw("P");
246 | meanGraphFast->Draw("P");
248 | meanGraphSlow->SetMarkerStyle(22);
250 | meanGraphSlow->SetMarkerSize(2);
252 | meanGraphSlow->SetMarkerColor(40);
254 | meanGraphFast->SetMarkerStyle(21);
256 | meanGraphFast->SetMarkerSize(2);
258 | meanGraphFast->SetMarkerColor(50);
260 | c6->SetLogx();
262 | c6->SetGrid();
264 | frame->SetTitle("Gaussian Mean Value vs E_{d}");
266 | frame->GetXaxis()->SetTitle("E_{d} (V/cm)");
268 | frame->GetYaxis()->SetTitle("Gaussian Mean Value");
270 | c6->SetBorderMode(0);
272 | // ***** RATIOS *****
274 | // Draw TGraphs together
276 | TCanvas *c7 = new TCanvas("c7", "Diffusion vs Ratio_Divided");
278 | c7->Divide(1,2);
280 | c7->cd(1);
282 | meanGraphRatioSlow->Draw("AP");
284 | meanGraphRatioSlow->GetYaxis()->SetRangeUser(2,5);
286 | c7->cd(1)->SetGrid();
288 | c7->cd(1)->SetLogx();
290 | c7->cd(2);
292 | meanGraphRatioFast->Draw("AP");
294 | c7->cd(2)->SetGrid();
296 | c7->cd(2)->SetLogx();
298 | meanGraphRatioFast->GetYaxis()->SetRangeUser(2,5);
300 | c7->cd(2)->SetBorderMode(0);
302 | // -----
304 | TCanvas *c8 = new TCanvas("c8", "Diffusion together vs Ratio");
306 | TH1F *frame2 = c8->DrawFrame(9, 2, 85, 5);
308 | meanGraphRatioSlow->Draw("P");
310 | meanGraphRatioFast->Draw("P");
312 | meanGraphRatioSlow->SetMarkerStyle(22);
314 | meanGraphRatioSlow->SetMarkerSize(2);
316 | meanGraphRatioSlow->SetMarkerColor(40);
318 | meanGraphRatioFast->SetMarkerStyle(21);
320 | meanGraphRatioFast->SetMarkerSize(2);
322 | meanGraphRatioFast->SetMarkerColor(50);
324 | c8->SetLogx();
326 | c8->SetGrid();
328 | frame2->SetTitle("Gaussian Mean Value vs E_{m}/E_{d}");
330 | frame2->GetXaxis()->SetTitle("E_{m}/E_{d}");
332 | frame2->GetYaxis()->SetTitle("Gaussian Mean Value");

```

```
296 | c8->SetBorderMode(0);  
    | }  
    |
```

Υποδοχείς

```
1  /*  
   * Header file for the class Connectors.  
3  */  
  
5  
6  #ifndef Connectors_h  
7  #define Connectors_h  
  
9  #include <TROOT.h>  
10 #include <TChain.h>  
11 #include <TFile.h>  
12 #include <TH1.h>  
13 #include <TCanvas.h>  
  
15 class Connectors {  
16 public :  
17     TTree          *fChain;  //!pointer to the analyzed TTree or TChain  
18     Int_t          fCurrent; //!current Tree number in a TChain  
19  
20     TH1F *h;  
21     TFile *f;  
22     TFile *out;  
23     TTree *tree;  
  
24     // Declaration of leaf types  
25     Int_t          bat_run;  
26     vector<int>    *bat_id1x;  
27     vector<int>    *bat_q1x;  
28     vector<int>    *bat_id2x;  
29     vector<int>    *bat_q2x;  
30     vector<int>    *bat_id3x;  
31     vector<int>    *bat_q3x;  
32     vector<int>    *bat_id6x;  
33     vector<int>    *bat_q6x;  
34     vector<int>    *bat_id1y;  
35     vector<int>    *bat_q1y;  
36     vector<int>    *bat_id2y;  
37     vector<int>    *bat_q2y;  
38     vector<int>    *bat_id3y;  
39     vector<int>    *bat_q3y;  
40     vector<int>    *bat_id6y;  
41     vector<int>    *bat_q6y;  
42     Int_t          mm_run;  
43     Int_t          mm_evt;  
44     Float_t        mm_time;  
45     Float_t        mm_timex;  
46     Float_t        mm_timeLowGain;  
47     Float_t        mm_timexLowGain;  
48     Float_t        mm_timesample;  
49     Float_t        mm_timexsample;  
50     Int_t          mm_qmaxStrid;  
51
```

```

53  Float_t      mm_maxStrQ;
Float_t      mm_maxStrT;
vector<int>  *mm_higain;
55  vector<int>  *mm_addr;
vector<int>  *mm_qmaxsample;
57  vector<int>  *mm_tqmaxsample;
vector<float> *mm_ped;
59  vector<float> *mm_noise;
vector<float> *mm_strid;
61  vector<float> *mm_qmaxfit;
vector<float> *mm_tqmaxfit;
63  vector<float> *mm_tau;
vector<float> *mm_thalf;
65  Int_t      mm_nclu;
vector<int>  *mm_clsz;
67  vector<int>  *mm_clstr0;
vector<int>  *mm_clpkid;
69  vector<float> *mm_clmnpos;
vector<float> *mm_clcogpos;
71  vector<float> *mm_clchgsum;
vector<float> *mm_cltime;
73  vector<float> *mm_clpkchg;

75  // List of branches
TBranch      *b_bat_run;    ///
77  TBranch      *b_bat_id1x;  ///
TBranch      *b_bat_q1x;    ///
79  TBranch      *b_bat_id2x;  ///
TBranch      *b_bat_q2x;    ///
81  TBranch      *b_bat_id3x;  ///
TBranch      *b_bat_q3x;    ///
83  TBranch      *b_bat_id6x;  ///
TBranch      *b_bat_q6x;    ///
85  TBranch      *b_bat_id1y;  ///
TBranch      *b_bat_q1y;    ///
87  TBranch      *b_bat_id2y;  ///
TBranch      *b_bat_q2y;    ///
89  TBranch      *b_bat_id3y;  ///
TBranch      *b_bat_q3y;    ///
91  TBranch      *b_bat_id6y;  ///
TBranch      *b_bat_q6y;    ///
93  TBranch      *b_mm_run;    ///
TBranch      *b_mm_evt;     ///
95  TBranch      *b_mm_time;   ///
TBranch      *b_mm_timex;   ///
97  TBranch      *b_mm_timeLowGain;  ///
TBranch      *b_mm_timexLowGain;  ///
99  TBranch      *b_mm_timesample;  ///
TBranch      *b_mm_timexsample;  ///
101 TBranch      *b_mm_qmaxStrId;  ///
TBranch      *b_mm_maxStrQ;  ///
103 TBranch      *b_mm_maxStrT;  ///
TBranch      *b_mm_higain;  ///
105 TBranch      *b_mm_addr;  ///
TBranch      *b_mm_qmaxsample;  ///
107 TBranch      *b_mm_tqmaxsample;  ///
TBranch      *b_mm_ped;  ///

```

```

109| TBranch      *b_mm_noise;   ///
110| TBranch      *b_mm_strid;   ///
111| TBranch      *b_mm_qmaxfit;  ///
112| TBranch      *b_mm_tqmaxfit; ///
113| TBranch      *b_mm_tau;     ///
114| TBranch      *b_mm_thalf;   ///
115| TBranch      *b_mm_nclu;    ///
116| TBranch      *b_mm_clsz;    ///
117| TBranch      *b_mm_clstr0;   ///
118| TBranch      *b_mm_clpkid;   ///
119| TBranch      *b_mm_clmnpos;  ///
120| TBranch      *b_mm_clcogpos; ///
121| TBranch      *b_mm_clchgsum; ///
122| TBranch      *b_mm_cltime;   ///
123| TBranch      *b_mm_clpkchg;  ///

125| Connectors( /*TTree *tree=0,*/ const char* file);
126| virtual ~Connectors();
127| virtual Int_t   Cut(Long64_t entry);
128| virtual Int_t   GetEntry(Long64_t entry);
129| virtual Long64_t LoadTree(Long64_t entry);
130| virtual void    Init(TTree *tree);
131| virtual void    Loop();
132| virtual Bool_t  Notify();
133| virtual void    Show(Long64_t entry = -1);

135| };
137| #endif
139| #ifndef Connectors_cxx
141| Connectors::Connectors( /*TTree *tree, */const char* file)
142| {
143|   f = new TFile(file);
144|   fChain = (TTree*) f->Get("ntp");
145| }
146|   Init(fChain);
147|   Loop();
148| }
149| Connectors::~Connectors()
150| {
151|   if (!fChain) return;
152|   delete fChain->GetCurrentFile();
153| }
155| Int_t Connectors::GetEntry(Long64_t entry)
156| {
157|   // Read contents of entry.
158|   if (!fChain) return 0;
159|   return fChain->GetEntry(entry);
160| }
161| Long64_t Connectors::LoadTree(Long64_t entry)
162| {
163|   // Set the environment to read one entry
164|   if (!fChain) return -5;

```

```

Long64_t centry = fChain->LoadTree(entry);
167  if (centry < 0) return centry;
    if (!fChain->InheritsFrom(TChain::Class())) return centry;
169  TChain *chain = (TChain*)fChain;
    if (chain->GetTreeNumber() != fCurrent) {
171      fCurrent = chain->GetTreeNumber();
        Notify();
173    }
    return centry;
175 }

177 void Connectors::Init(TTree *tree)
    {
179     h = new TH1F("Clchgsum_C4_540V", "Connector 4",800,0,800);
        h->SetFillColor(kBlue-6);
181
183     // Set object pointer
        bat_id1x = 0;
185     bat_q1x = 0;
        bat_id2x = 0;
187     bat_q2x = 0;
        bat_id3x = 0;
189     bat_q3x = 0;
        bat_id6x = 0;
191     bat_q6x = 0;
        bat_id1y = 0;
193     bat_q1y = 0;
        bat_id2y = 0;
195     bat_q2y = 0;
        bat_id3y = 0;
197     bat_q3y = 0;
        bat_id6y = 0;
199     bat_q6y = 0;
        mm_higain = 0;
201     mm_addr = 0;
        mm_qmaxsample = 0;
203     mm_tqmaxsample = 0;
        mm_ped = 0;
205     mm_noise = 0;
        mm_strid = 0;
207     mm_qmaxfit = 0;
        mm_tqmaxfit = 0;
209     mm_tau = 0;
        mm_thalf = 0;
211     mm_clsz = 0;
        mm_clstr0 = 0;
213     mm_clpkid = 0;
        mm_clmnpos = 0;
215     mm_clcogpos = 0;
        mm_clchgsum = 0;
217     mm_cltime = 0;
        mm_clpkchg = 0;
219     // Set branch addresses and branch pointers
        if (!tree) return;
221     fChain = tree;
        fCurrent = -1;

```



```

223 | fChain->SetMakeClass(1);
225 | fChain->SetBranchAddress("bat_run", &bat_run, &b_bat_run);
    | fChain->SetBranchAddress("bat_id1x", &bat_id1x, &b_bat_id1x);
227 | fChain->SetBranchAddress("bat_q1x", &bat_q1x, &b_bat_q1x);
    | fChain->SetBranchAddress("bat_id2x", &bat_id2x, &b_bat_id2x);
229 | fChain->SetBranchAddress("bat_q2x", &bat_q2x, &b_bat_q2x);
    | fChain->SetBranchAddress("bat_id3x", &bat_id3x, &b_bat_id3x);
231 | fChain->SetBranchAddress("bat_q3x", &bat_q3x, &b_bat_q3x);
    | fChain->SetBranchAddress("bat_id6x", &bat_id6x, &b_bat_id6x);
233 | fChain->SetBranchAddress("bat_q6x", &bat_q6x, &b_bat_q6x);
    | fChain->SetBranchAddress("bat_id1y", &bat_id1y, &b_bat_id1y);
235 | fChain->SetBranchAddress("bat_q1y", &bat_q1y, &b_bat_q1y);
    | fChain->SetBranchAddress("bat_id2y", &bat_id2y, &b_bat_id2y);
237 | fChain->SetBranchAddress("bat_q2y", &bat_q2y, &b_bat_q2y);
    | fChain->SetBranchAddress("bat_id3y", &bat_id3y, &b_bat_id3y);
239 | fChain->SetBranchAddress("bat_q3y", &bat_q3y, &b_bat_q3y);
    | fChain->SetBranchAddress("bat_id6y", &bat_id6y, &b_bat_id6y);
241 | fChain->SetBranchAddress("bat_q6y", &bat_q6y, &b_bat_q6y);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_run", &mm_run, &b_mm_run);
243 | fChain->SetBranchAddress("mm_evt", &mm_evt, &b_mm_evt);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_time", &mm_time, &b_mm_time);
245 | fChain->SetBranchAddress("mm_timex", &mm_timex, &b_mm_timex);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_timeLowGain", &mm_timeLowGain, &b_mm_timeLowGain);
247 | fChain->SetBranchAddress("mm_timexLowGain", &mm_timexLowGain, &b_mm_timexLowGain);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_timesample", &mm_timesample, &b_mm_timesample);
249 | fChain->SetBranchAddress("mm_timexsample", &mm_timexsample, &b_mm_timexsample);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_qmaxStrId", &mm_qmaxStrId, &b_mm_qmaxStrId);
251 | fChain->SetBranchAddress("mm_maxStrQ", &mm_maxStrQ, &b_mm_maxStrQ);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_maxStrT", &mm_maxStrT, &b_mm_maxStrT);
253 | fChain->SetBranchAddress("mm_higain", &mm_higain, &b_mm_higain);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_addr", &mm_addr, &b_mm_addr);
255 | fChain->SetBranchAddress("mm_qmaxsample", &mm_qmaxsample, &b_mm_qmaxsample);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_tqmaxsample", &mm_tqmaxsample, &b_mm_tqmaxsample);
257 | fChain->SetBranchAddress("mm_ped", &mm_ped, &b_mm_ped);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_noise", &mm_noise, &b_mm_noise);
259 | fChain->SetBranchAddress("mm_strid", &mm_strid, &b_mm_strid);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_qmaxfit", &mm_qmaxfit, &b_mm_qmaxfit);
261 | fChain->SetBranchAddress("mm_tqmaxfit", &mm_tqmaxfit, &b_mm_tqmaxfit);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_tau", &mm_tau, &b_mm_tau);
263 | fChain->SetBranchAddress("mm_thalf", &mm_thalf, &b_mm_thalf);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_nclu", &mm_nclu, &b_mm_nclu);
265 | fChain->SetBranchAddress("mm_clsz", &mm_clsz, &b_mm_clsz);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_clstr0", &mm_clstr0, &b_mm_clstr0);
267 | fChain->SetBranchAddress("mm_clpkid", &mm_clpkid, &b_mm_clpkid);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_clmnpos", &mm_clmnpos, &b_mm_clmnpos);
269 | fChain->SetBranchAddress("mm_clcogpos", &mm_clcogpos, &b_mm_clcogpos);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_clchgsum", &mm_clchgsum, &b_mm_clchgsum);
271 | fChain->SetBranchAddress("mm_cltime", &mm_cltime, &b_mm_cltime);
    | fChain->SetBranchAddress("mm_clpkchg", &mm_clpkchg, &b_mm_clpkchg);
273 | Notify();
    | }
275 | Bool_t Connectors::Notify()
277 | {
    |     return kTRUE;
279 | }

```

```

281 void Connectors::Show(Long64_t entry)
    {
283     if (!fChain) return;
        fChain->Show(entry);
285 }
    Int_t Connectors::Cut(Long64_t entry)
287 {
        return 1;
289 }
    #endif

```

```

/*
2  * Source file of the class Connectors. Modify it for different leaves of the TFile.
  */
4
6
8 #include <iostream>
    using namespace std;
10 #define Connectors_cxx
    #include "Connectors.h"
12 #include <TH2.h>
    #include <TStyle.h>
14 #include <TCanvas.h>
16 void Connectors::Loop()
    { if (fChain == 0) return;
18     Long64_t nentries = fChain->GetEntriesFast();
        Long64_t nbytes = 0, nb = 0;
20     for (Long64_t jentry=0; jentry<nentries;jentry++) {
22         Long64_t ientry = LoadTree(jentry);
            if (ientry < 0) break;
24         nb = fChain->GetEntry(jentry);   nbytes += nb;
26         //It_t newNclu = 0;
            Int_t clusz;
28         Int_t firstStr;
            if(mm_nclu<4){
30         for (Int_t counter = 0; counter < mm_clsz->size(); counter++)
            {
32             //cout << "clsz = " << mm_clsz->at(counter) << endl;
                if (mm_clsz->at(counter) > 1)
34             {
                    /*clusz = mm_clsz->at(counter);
36                 firstStr = mm_clstr0->at(counter);
                    for(Int_t str=firstStr; str<=(firstStr+(clusz-1)); str++){
38
                    for(Int_t nikos=0; nikos<mm_tau->size(); nikos++){
40                     if(str == mm_strid->at(nikos)){
                        if(mm_higain->at(nikos)==1){
42                             h->Fill(mm_tau->at(nikos));
                                }//if higain
44                             }//if str

```

```

46|         }//for nikos
48|     }//for str
50|     */
52|     //std::cout << " clchgsum " << mm_clchgsum->at(counter) << std::endl;
53|     h->Fill(mm_clchgsum->at(counter));
54|     //h->Fill(mm_clcogpos->at(counter));
55|     //h->Fill(mm_cltime->at(counter));
56|     //newNclu++;
57|     //h->Fill(mm_clsz->at(counter));
58|     }
59| }//for clsz
60| //h->Fill(newNclu);
61|     }//if nclu<4
62| }//for nentries
63| h->Draw();
64| out = new TFile("Connector4Study.root", "update");
65| h->Write();
66| }

```

Διόρθωση Landau

```

1| { //
2| // Script to create the plots concerning the total charge of a
3| // cluster after the tau correction
4| //
5|
6| // Global reset values
7| gROOT->Reset();
8|
9| // Some boolean variables to define what to finally produce
10|
11| bool showUnfitted = true;
12| bool showFitted = true;
13| bool showTogether = true;
14|
15| // Load first file - 85-15 Gas
16|
17| TFile *f = new TFile("SlowCorrection2.root");
18| TH1F *h1 = (TH1F*) f->Get("qmaxfit_670V");
19| TH1F *h2 = (TH1F*) f->Get("qmaxfit_770V");
20| TH1F *h3 = (TH1F*) f->Get("qmaxfit_870V");
21| TH1F *h4 = (TH1F*) f->Get("qmaxfit_970V");
22| TH1F *h5 = (TH1F*) f->Get("qmaxfit_1070V");
23|
24| // Histograms are drawn unfitted only if showUnfitted == True
25| if(showUnfitted){
26| TCanvas *c1 = new TCanvas();
27| c1->Divide(2,3);
28| c1->cd(1);
29| c1->cd(2);
30| h1->Draw();
31| c1->cd(3);
32| h2->Draw();

```

```

33| c1->cd(4);
    h3->Draw();
35| c1->cd(5);
    h4->Draw();
37| c1->cd(6);
    h5->Draw();
39| c1->cd(6)->SetBorderMode(0);
    }//if(showUnfitted)
41|
    // Declare Arrays and Fit histograms
43| // double fieldSlow[5]={200, 400, 600, 800, 1000};
    double fieldSlow[5]={222.7, 111.3, 74.2, 55.6, 44.5};
45| double mpvSlow[5];
47| h1->Fit("landau", "", "", 0, 800);
    mpvSlow[0]=(h1->GetFunction("landau")->GetParameter(1));
49| h1->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
    h2->Fit("landau", "", "", 0, 800);
51| mpvSlow[1]=(h2->GetFunction("landau")->GetParameter(1));
    h2->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
53| h3->Fit("landau", "", "", 0, 800);
    mpvSlow[2]=(h3->GetFunction("landau")->GetParameter(1));
55| h3->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
    h4->Fit("landau", "", "", 0, 800);
57| mpvSlow[3]=(h4->GetFunction("landau")->GetParameter(1));
    h4->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
59| h5->Fit("landau", "", "", 0, 800);
    mpvSlow[4]=(h5->GetFunction("landau")->GetParameter(1));
61| h5->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
63|
    double mpvSlowNew[5];
65| for(int k=0; k<5; k++){
    mpvSlowNew[k]=mpvSlow[k]*1.71;
67| }
69| // Histograms are drawn only if showFitted == true;
    if(showFitted){
71| TCanvas *c2 = new TCanvas();
    c2->Divide(2,3);
73| c2->cd(1);
    c2->cd(2);
75| h1->Draw();
    c2->cd(3);
77| h2->Draw();
    c2->cd(4);
79| h3->Draw();
    c2->cd(5);
81| h4->Draw();
    c2->cd(6);
83| h5->Draw();
    c2->cd(6)->SetBorderMode(0);
85| }//if(showFitted)
87|
    TGraph *mpvGraphSlow = new TGraph(5, fieldSlow, mpvSlowNew);
89| mpvGraphSlow->SetMarkerStyle(8);

```

```

mpvGraphSlow->SetMarkerColor(2);
91 mpvGraphSlow->SetMarkerSize(1);
mpvGraphSlow->GetXaxis()->SetTitle("E_{d} (V/cm)");
93 mpvGraphSlow->GetYaxis()->SetTitle("Landau MPV");
mpvGraphSlow->SetTitle("Gas Mixture Ar:CO_{2}-85:15");
95

97 // ***** //
99
// Load second file - 93-7 Gas
101 TFile *f1 = new TFile("FastCorrection2.root");
TH1F *h6 = (TH1F*) f1->Get("qmaxfit_600V");
103 TH1F *h7 = (TH1F*) f1->Get("qmaxfit_800V");
TH1F *h8 = (TH1F*) f1->Get("qmaxfit_1000V");
105 TH1F *h9 = (TH1F*) f1->Get("qmaxfit_1200V");

107
// Histograms are drawn unfitted only if showUnfitted == True
109 if(showUnfitted){
TCanvas *c3 = new TCanvas();
111 c3->Divide(2,2);
c3->cd(1);
113 h6->Draw();
c3->cd(2);
115 h7->Draw();
c3->cd(3);
117 h8->Draw();
c3->cd(4);
119 h9->Draw();
c3->cd(4)->SetBorderMode(0);
121 }//if(showUnfitted)

123 // Declare Arrays and Fit histograms
// double fieldFast[4]={100, 500, 900, 1300};
125 double fieldFast[4]={429.7, 85.9, 47.7, 33.1};
double mpvFast[4];

127
h6->Fit("landau", "", "R", 35, 800);
129 mpvFast[0]=h6->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
h6->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange
131 -2);
h7->Fit("landau", "", "R", 35, 800);
133 mpvFast[1]=h7->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
h7->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
135 h8->Fit("landau", "", "", 35, 800);
mpvFast[2]=h8->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
137 h8->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);
h9->Fit("landau", "", "", 35, 800);
139 mpvFast[3]=h9->GetFunction("landau")->GetParameter(1);
h9->GetFunction("landau")->SetLineColor(kOrange-2);

141
// Histograms are drawn only if showFitted == true;
143 if(showFitted){
TCanvas *c3 = new TCanvas();
145 c3->Divide(2,2);
c3->cd(1);

```

```

147 | h6->Draw();
    | c3->cd(2);
149 | h7->Draw();
    | c3->cd(3);
151 | h8->Draw();
    | c3->cd(4);
153 | h9->Draw();
    | c3->cd(4)->SetBorderMode(0);
155 | }//if(showFitted)

157 | //Declare mpvGraphFast
    | /* double normalizedFast[4];
159 | for(int k=0; k<4; k++){
    |     normalizedFast[k]=mpvFast[k]/mpvFast[1];
161 | }
    | */
163 | // TGraph *mpvGraphFast = new TGraph(4,fieldFast ,mpvFast);
165 | TGraph *mpvGraphFast = new TGraph(4,fieldFast ,mpvFast);
    | mpvGraphFast->SetMarkerStyle(8);
167 | mpvGraphFast->SetMarkerColor(2);
    | mpvGraphFast->SetMarkerSize(1);
169 | mpvGraphFast->GetXaxis()->SetTitle("E_{d} (V/cm)");
    | mpvGraphFast->GetYaxis()->SetTitle("Landau MPV");
171 | mpvGraphFast->SetTitle("Gas Mixture Ar:CO_{2}-93:7");

173 | // Draw TGraphs together
175 | if(showTogether){
    | TCanvas *c4 = new TCanvas();
177 | c4->Divide(1,2);
    | c4->cd(1);
179 | mpvGraphSlow->Draw("AP");
    | c4->cd(1)->SetLogx();
181 | c4->cd(1)->SetGrid();
    | c4->cd(2);
183 | mpvGraphFast->Draw("AP");
    | c4->cd(2)->SetLogx();
185 | c4->cd(2)->SetGrid();
    | c4->cd(2)->SetBorderMode(0);
187 | }//if showTogether

189 | TCanvas *c5 = new TCanvas();
    | TH1F *frame = c5->DrawFrame(30,80,500,250);
191 | mpvGraphSlow->Draw("P");
    | mpvGraphFast->Draw("P");

193 | mpvGraphFast->SetMarkerStyle(21);
195 | mpvGraphSlow->SetMarkerStyle(22);
    | mpvGraphSlow->SetMarkerSize(2);
197 | mpvGraphFast->SetMarkerSize(2);
    | mpvGraphSlow->SetMarkerColor(40);
199 | mpvGraphFast->SetMarkerColor(50);
    | frame->GetXaxis()->SetTitle("E_{m}/E_{d} (V/cm)");
201 | frame->GetYaxis()->SetTitle("Landau MPV");
    | frame->SetTitle("Landau MPV vs E_{m}/E_{d}");
203 | c5->SetGrid();

```

```

205 | c5->SetLogx ();
    | c5->SetBorderMode(0);
    | }

```

Διόρθωση τ

```

// Header file for driftScan_tauCor class
2
#ifndef driftScan_tauCor_h
4 #define driftScan_tauCor_h

6 #include <TROOT.h>
#include <TChain.h>
8 #include <TFile.h>
#include <TH1.h>
10 #include <TCanvas.h>

12 class driftScan_tauCor {
public :
14   TTree          *fChain;  ///pointer to the analyzed TTree or TChain
   Int_t          fCurrent; ///current Tree number in a TChain
16
   TH1F *h;
18   TFile *f;
   TFile *out;
20   TTree *tree;

22   // Declaration of leaf types
   Int_t          bat_run;
24   vector<int>   *bat_id1x;
   vector<int>   *bat_q1x;
26   vector<int>   *bat_id2x;
   vector<int>   *bat_q2x;
28   vector<int>   *bat_id3x;
   vector<int>   *bat_q3x;
30   vector<int>   *bat_id6x;
   vector<int>   *bat_q6x;
32   vector<int>   *bat_id1y;
   vector<int>   *bat_q1y;
34   vector<int>   *bat_id2y;
   vector<int>   *bat_q2y;
36   vector<int>   *bat_id3y;
   vector<int>   *bat_q3y;
38   vector<int>   *bat_id6y;
   vector<int>   *bat_q6y;
40   Int_t          mm_run;
   Int_t          mm_evt;
42   Float_t        mm_time;
   Float_t        mm_timex;
44   Float_t        mm_timeLowGain;
   Float_t        mm_timexLowGain;
46   Float_t        mm_timesample;
   Float_t        mm_timexsample;
48   Int_t          mm_qmaxStrId;
   Float_t        mm_maxStrQ;
50   Float_t        mm_maxStrT;
   vector<int>    *mm_higain;

```

```

52 | vector<int>      *mm_addr;
    | vector<int>      *mm_qmaxsample;
54 | vector<int>      *mm_tqmaxsample;
    | vector<float>    *mm_ped;
56 | vector<float>    *mm_noise;
    | vector<float>    *mm_strid;
58 | vector<float>    *mm_qmaxfit;
    | vector<float>    *mm_tqmaxfit;
60 | vector<float>    *mm_tau;
    | vector<float>    *mm_thalf;
62 | Int_t           mm_nclu;
    | vector<int>      *mm_clsz;
64 | vector<int>      *mm_clstr0;
    | vector<int>      *mm_clpkid;
66 | vector<float>    *mm_clmnp;
    | vector<float>    *mm_clcogpos;
68 | vector<float>    *mm_clchgsum;
    | vector<float>    *mm_cltime;
70 | vector<float>    *mm_clpkchg;

72 | // List of branches
    | TBranch          *b_bat_run;      ///
74 | TBranch          *b_bat_id1x;     ///
    | TBranch          *b_bat_q1x;     ///
76 | TBranch          *b_bat_id2x;     ///
    | TBranch          *b_bat_q2x;     ///
78 | TBranch          *b_bat_id3x;     ///
    | TBranch          *b_bat_q3x;     ///
80 | TBranch          *b_bat_id6x;     ///
    | TBranch          *b_bat_q6x;     ///
82 | TBranch          *b_bat_id1y;     ///
    | TBranch          *b_bat_q1y;     ///
84 | TBranch          *b_bat_id2y;     ///
    | TBranch          *b_bat_q2y;     ///
86 | TBranch          *b_bat_id3y;     ///
    | TBranch          *b_bat_q3y;     ///
88 | TBranch          *b_bat_id6y;     ///
    | TBranch          *b_bat_q6y;     ///
90 | TBranch          *b_mm_run;       ///
    | TBranch          *b_mm_evt;      ///
92 | TBranch          *b_mm_time;      ///
    | TBranch          *b_mm_timex;    ///
94 | TBranch          *b_mm_timeLowGain; ///
    | TBranch          *b_mm_timexLowGain; ///
96 | TBranch          *b_mm_timesample; ///
    | TBranch          *b_mm_timexsample; ///
98 | TBranch          *b_mm_qmaxStrId;  ///
    | TBranch          *b_mm_maxStrQ;  ///
100 | TBranch          *b_mm_maxStrT;    ///
    | TBranch          *b_mm_higain;   ///
102 | TBranch          *b_mm_addr;      ///
    | TBranch          *b_mm_qmaxsample; ///
104 | TBranch          *b_mm_tqmaxsample; ///
    | TBranch          *b_mm_ped;      ///
106 | TBranch          *b_mm_noise;     ///
    | TBranch          *b_mm_strid;    ///
108 | TBranch          *b_mm_qmaxfit;    ///

```



```

TBranch      *b_mm_tqmaxfit;  ///
110 TBranch      *b_mm_tau;    ///
TBranch      *b_mm_thalf;    ///
112 TBranch      *b_mm_nclu;   ///
TBranch      *b_mm_clsz;     ///
114 TBranch      *b_mm_clstr0;  ///
TBranch      *b_mm_clpkid;   ///
116 TBranch      *b_mm_clmnpos;  ///
TBranch      *b_mm_clcogpos;  ///
118 TBranch      *b_mm_clchgsum;  ///
TBranch      *b_mm_cltime;    ///
120 TBranch      *b_mm_clpkchg;  ///

122 driftScan_tauCor(/*TTree *tree=0,*/ const char* file);
virtual ~driftScan_tauCor();
124 virtual Int_t   Cut(Long64_t entry);
virtual Int_t   GetEntry(Long64_t entry);
126 virtual Long64_t LoadTree(Long64_t entry);
virtual void    Init(TTree *tree);
128 virtual void    Loop();
virtual Bool_t  Notify();
130 virtual void    Show(Long64_t entry = -1);

132 };
134
136 #endif
137 #ifdef driftScan_tauCor_cxx
138 driftScan_tauCor::driftScan_tauCor(const char* file)
{
140   f = new TFile(file);
   fChain = (TTree*) f->Get("ntp");
142   Init(fChain);
   Loop();
144 }

146 driftScan_tauCor::~driftScan_tauCor()
{
148   if (!fChain) return;
   delete fChain->GetCurrentFile();
150 }

152 Int_t driftScan_tauCor::GetEntry(Long64_t entry)
{
154   if (!fChain) return 0;
   return fChain->GetEntry(entry);
156 }
Long64_t driftScan_tauCor::LoadTree(Long64_t entry)
158 {

160   if (!fChain) return -5;
   Long64_t centry = fChain->LoadTree(entry);
162   if (centry < 0) return centry;
   if (!fChain->InheritsFrom(TChain::Class())) return centry;
164   TChain *chain = (TChain*)fChain;
   if (chain->GetTreeNumber() != fChain) {

```

```

166     fCurrent = chain->GetTreeNumber();
167     Notify();
168 }
169     return centry;
170 }

172 void driftScan_tauCor::Init(TTree *tree)
173 {
174     h = new TH1F("qmaxfit_1070V", "E_{d}=1000V/cm",1000,0,1000);
175     h->SetFillColor(kBlue-6);
176
177     // Set object pointer
178     bat_id1x = 0;
179     bat_q1x = 0;
180     bat_id2x = 0;
181     bat_q2x = 0;
182     bat_id3x = 0;
183     bat_q3x = 0;
184     bat_id6x = 0;
185     bat_q6x = 0;
186     bat_id1y = 0;
187     bat_q1y = 0;
188     bat_id2y = 0;
189     bat_q2y = 0;
190     bat_id3y = 0;
191     bat_q3y = 0;
192     bat_id6y = 0;
193     bat_q6y = 0;
194     mm_higain = 0;
195     mm_addr = 0;
196     mm_qmaxsample = 0;
197     mm_tqmaxsample = 0;
198     mm_ped = 0;
199     mm_noise = 0;
200     mm_strid = 0;
201     mm_qmaxfit = 0;
202     mm_tqmaxfit = 0;
203     mm_tau = 0;
204     mm_thalf = 0;
205     mm_clsz = 0;
206     mm_clstr0 = 0;
207     mm_clpkid = 0;
208     mm_clmnpos = 0;
209     mm_clcogpos = 0;
210     mm_clchgsun = 0;
211     mm_cltime = 0;
212     mm_clpkchg = 0;
213     // Set branch addresses and branch pointers
214     if (!tree) return;
215     fChain = tree;
216     fCurrent = -1;
217     fChain->SetMakeClass(1);
218
219     fChain->SetBranchAddress("bat_run", &bat_run, &b_bat_run);
220     fChain->SetBranchAddress("bat_id1x", &bat_id1x, &b_bat_id1x);
221     fChain->SetBranchAddress("bat_q1x", &bat_q1x, &b_bat_q1x);

```

```

224 fChain->SetBranchAddress("bat_id2x", &bat_id2x, &b_bat_id2x);
fChain->SetBranchAddress("bat_q2x", &bat_q2x, &b_bat_q2x);
fChain->SetBranchAddress("bat_id3x", &bat_id3x, &b_bat_id3x);
226 fChain->SetBranchAddress("bat_q3x", &bat_q3x, &b_bat_q3x);
fChain->SetBranchAddress("bat_id6x", &bat_id6x, &b_bat_id6x);
228 fChain->SetBranchAddress("bat_q6x", &bat_q6x, &b_bat_q6x);
fChain->SetBranchAddress("bat_id1y", &bat_id1y, &b_bat_id1y);
230 fChain->SetBranchAddress("bat_q1y", &bat_q1y, &b_bat_q1y);
fChain->SetBranchAddress("bat_id2y", &bat_id2y, &b_bat_id2y);
232 fChain->SetBranchAddress("bat_q2y", &bat_q2y, &b_bat_q2y);
fChain->SetBranchAddress("bat_id3y", &bat_id3y, &b_bat_id3y);
234 fChain->SetBranchAddress("bat_q3y", &bat_q3y, &b_bat_q3y);
fChain->SetBranchAddress("bat_id6y", &bat_id6y, &b_bat_id6y);
236 fChain->SetBranchAddress("bat_q6y", &bat_q6y, &b_bat_q6y);
fChain->SetBranchAddress("mm_run", &mm_run, &b_mm_run);
238 fChain->SetBranchAddress("mm_evt", &mm_evt, &b_mm_evt);
fChain->SetBranchAddress("mm_time", &mm_time, &b_mm_time);
240 fChain->SetBranchAddress("mm_timex", &mm_timex, &b_mm_timex);
fChain->SetBranchAddress("mm_timeLowGain", &mm_timeLowGain, &b_mm_timeLowGain);
242 fChain->SetBranchAddress("mm_timexLowGain", &mm_timexLowGain, &b_mm_timexLowGain);
fChain->SetBranchAddress("mm_timesample", &mm_timesample, &b_mm_timesample);
244 fChain->SetBranchAddress("mm_timexsample", &mm_timexsample, &b_mm_timexsample);
fChain->SetBranchAddress("mm_qmaxStrId", &mm_qmaxStrId, &b_mm_qmaxStrId);
246 fChain->SetBranchAddress("mm_maxStrQ", &mm_maxStrQ, &b_mm_maxStrQ);
fChain->SetBranchAddress("mm_maxStrT", &mm_maxStrT, &b_mm_maxStrT);
248 fChain->SetBranchAddress("mm_higain", &mm_higain, &b_mm_higain);
fChain->SetBranchAddress("mm_addr", &mm_addr, &b_mm_addr);
250 fChain->SetBranchAddress("mm_qmaxsample", &mm_qmaxsample, &b_mm_qmaxsample);
fChain->SetBranchAddress("mm_tqmaxsample", &mm_tqmaxsample, &b_mm_tqmaxsample);
252 fChain->SetBranchAddress("mm_ped", &mm_ped, &b_mm_ped);
fChain->SetBranchAddress("mm_noise", &mm_noise, &b_mm_noise);
254 fChain->SetBranchAddress("mm_strid", &mm_strid, &b_mm_strid);
fChain->SetBranchAddress("mm_qmaxfit", &mm_qmaxfit, &b_mm_qmaxfit);
256 fChain->SetBranchAddress("mm_tqmaxfit", &mm_tqmaxfit, &b_mm_tqmaxfit);
fChain->SetBranchAddress("mm_tau", &mm_tau, &b_mm_tau);
258 fChain->SetBranchAddress("mm_thalf", &mm_thalf, &b_mm_thalf);
fChain->SetBranchAddress("mm_nclu", &mm_nclu, &b_mm_nclu);
260 fChain->SetBranchAddress("mm_clsz", &mm_clsz, &b_mm_clsz);
fChain->SetBranchAddress("mm_clstr0", &mm_clstr0, &b_mm_clstr0);
262 fChain->SetBranchAddress("mm_clpkid", &mm_clpkid, &b_mm_clpkid);
fChain->SetBranchAddress("mm_clmnpos", &mm_clmnpos, &b_mm_clmnpos);
264 fChain->SetBranchAddress("mm_clcogpos", &mm_clcogpos, &b_mm_clcogpos);
fChain->SetBranchAddress("mm_clchgsum", &mm_clchgsum, &b_mm_clchgsum);
266 fChain->SetBranchAddress("mm_cltime", &mm_cltime, &b_mm_cltime);
fChain->SetBranchAddress("mm_clpkchg", &mm_clpkchg, &b_mm_clpkchg);
268 Notify();
}
270 Bool_t driftScan_tauCor::Notify()
272 {
    return kTRUE;
274 }

276 void driftScan_tauCor::Show(Long64_t entry)
    {
278     if (!fChain) return;
    fChain->Show(entry);

```

```

280 }
    Int_t driftScan_tauCor::Cut(Long64_t entry)
282 {
    return 1;
284 }
#endif

```

```

1 //
  // Source file for the tau correction
3 // The file includes tau correction for both gases, when the chi^2 fit
  // for the one is commented out then the other is plotted.
5 //

7 #include <iostream>
  using namespace std;
9
11 #define driftScan_tauCor_cxx
  #include "driftScan_tauCor.h"
13 #include <TH2.h>
  #include <TStyle.h>
  #include <TCanvas.h>
15
17 void driftScan_tauCor::Loop()
  if (fChain == 0) return;
  Long64_t nentries = fChain->GetEntriesFast();
19
  Long64_t nbytes = 0, nb = 0;
21
23 for (Long64_t jentry=0; jentry<nentries;jentry++) {
  Long64_t ientry = LoadTree(jentry);
25   if (ientry < 0) break;
  nb = fChain->GetEntry(jentry);   nbytes += nb;
27
  Int_t clusz;
29   Int_t firstStr;
  double corr=0;
31   double ctau=0;

33   if(mm_nclu<4){
  for (int counter = 0; counter < mm_clsz->size(); counter++)
35   {
  double newCharge = 0;
37
  if (mm_clsz->at(counter) > 1)
39   {

41     clusz = mm_clsz->at(counter);
  firstStr = mm_clstr0->at(counter);
43     for(Int_t str=firstStr; str<=(firstStr+(clusz-1)); str++){

45       for(Int_t nikos=0; nikos<mm_tau->size(); nikos++){
  if (str == mm_strid->at(nikos)){
47         if (mm_higain->at(nikos)==1){
  if (mm_tau->at(nikos)<2.322){
49           //if (mm_tau->at(nikos)<2.439){
  //ctau = 1; //-55.0*mm_tau->at(nikos) + 128.4;

```

```

51         ctau = 1; //-5.29*mm_tau->at(nikos) + 13.8;
52     }
53     else if (mm_tau->at(nikos)>=2.322 && mm_tau->at(nikos) < 2.358){
54         //else if (mm_tau->at(nikos)>=2.439 && mm_tau->at(nikos) < 2.458){
55         ctau = -0.28*mm_tau->at(nikos) + 1.42;
56         //ctau = -8.59*mm_tau->at(nikos) + 22.74;
57     }
58     else if (mm_tau->at(nikos)>= 2.358 && mm_tau->at(nikos) < 2.52){
59         //else if (mm_tau->at(nikos)>= 2.458){
60         ctau = -0.37*mm_tau->at(nikos) + 1.63;
61         //ctau = -0.05*mm_tau->at(nikos) + 0.87;
62     }
63     else if (mm_tau->at(nikos)>=2.52){
64         ctau = -0.15*mm_tau->at(nikos) + 1.08;
65     }
66
67     corr = 1/ctau;
68
69
70
71
72     newCharge = newCharge + mm_qmaxfit->at(nikos)*corr;
73     }//if higain
74 }//if str
75
76
77     }//for nikos
78 }//for str
79
80
81     h->Fill(newCharge);
82
83     }//if clsz>1
84 }//for clsz
85     }//if nclu<4
86 }//for nentries
87 //----- LOOP END -----/
88
89     h->Draw();
90     out = new TFile("SlowCorrection2.root", "update");
91     h->Write();
92     out->Close();
93     f->Close();
94 }
95 }

```

Βιβλιογραφία

[1] Ιστοσελίδες όπως:

- <http://public.web.cern.ch/public/>
- <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/atlas/webhome>
- <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/atlas//muonmicromegas>
- <http://rd51-public.web.cern.ch/rd51-public/>
- <http://mpgd.web.cern.ch/mpgd/>

- [2] T Alexopoulos, A A Altintas, M Alviggi, M Arik, S A Cetin, V Chernyatine, E Cheu, D Della Volpe, M Dris, D Fassouliotis, E N Gazis, R Giordano, V Gratchev, L Guan, P Iengo, P Ioannou, C Li, V Kaushik, A Khodinov, C Kourkoumelis, S Maltezos, K Mermigka, H Müller, K Nikolopoulos, W Park, S Persembe, C Petridou, R Petti, V Polychronakos, M V Purohit, D Sampsonidis, G Sekhniaidze, M Shao, Y J Sun, G Tsipolitis, R Veenhof, X L Wang, J Wotschack, S X Wu, T Zhao, and Z G Zhao. The atlas muon micromegas r&d project: towards large-size chambers for the s-lhc. *J. Instrum.*, 4:P12015, 2009.
- [3] Samuel A Andriamonje, S Aune, H Bräuninger, and T Papaevangelou. A new micromegas line for the cast experiment. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A*, 581(1-2):217–220, 2007.
- [4] Samuel A Andriamonje, Ioanis Giomataris, and J Pancin. Fast neutron detectors based on micromegas technology. *PoS, FNDA2006:010*, 2006.
- [5] Elena Aprile, Aleksey E Bolotnikov, Alexander I Bolozdynya, and Tadayoshi Doke. *Noble Gas Detectors*. Wiley, Weinheim, 2006.
- [6] A. Bay, J. P. Perroud, F. Ronga, J. Derré, Y. Giomataris, A. Delbart, and Y. Papadopoulos. Study of sparking in micromegas chambers. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 488(1-2):162 – 174, 2002.
- [7] G. Charpak, J. Derré, Y. Giomataris, and Ph. Rebourgeard. Micromegas, a multipurpose gaseous detector. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 478(1-2):26 – 36, 2002.
- [8] S. Colafranceschi, L. Benussi, and S. Bianco *et al.* Operational experience of the gas gain monitoring system of the cms rpc muon detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 617(1-3):146 – 147, 2010. 11th Pisa Meeting on Advanced Detectors - Proceedings of the 11th Pisa Meeting on Advanced Detectors.

- [9] T. Dafni, E. Ferrer-Ribas, I. Giomataris, Ph. Gorodetzky, F. Iguaz, I.G. Irastorza, P. Salin, and A. Tomás. Energy resolution of alpha particles in a microbulk micromegas detector at high pressure argon and xenon mixtures. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 608(2):259 -- 266, 2009.
- [10] A M Dixit, D Attié, A Bellerive, K Boudjemline, P Colas, P Giganon, Ioanis Giomataris, V Lepeltier, S Liu, J P Martin, K Sachs, Y Shin, and S Turnbull. Micromegas tpc studies at high magnetic fields using the charge dispersion signal. Technical Report physics/0703243, Mar 2007. Comments: 7 pages, 3 figures.
- [11] R C Fernow. *Introduction to experimental particle physics*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1986.
- [12] P Fonte, P Martinengo, E Nappi, R Oliveira, V Peskov, F Pietropaolo, and P Picchi. Advances in the development of micropattern gaseous detectors with resistive electrodes. Technical Report arXiv:1005.1477, May 2010.
- [13] I. Giomataris, R. De Oliveira, S. Andriamonje, S. Aune, G. Charpak, P. Colas, G. Fanourakis, E. Ferrer, A. Giganon, Ph. Rebourgeard, and P. Salin. Micromegas in a bulk. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 560(2):405 -- 408, 2006.
- [14] Y. Giomataris, Ph. Rebourgeard, J. P. Robert, and G. Charpak. Micromegas: a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 376(1):29 -- 35, 1996.
- [15] Claus Grupen, Armin Böhrer, and Ludek Smolik. *Particle detectors*. Cambridge monographs on particle physics, nuclear physics, and cosmology. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1996.
- [16] S. Kane, J. May, J. Miyamoto, and I. Shipsey. An aging study of a micromegas with gem preamplification. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 515(1-2):261 -- 265, 2003. Proceedings of the International Workshop on Aging Phenomena in Gaseous Detectors.
- [17] S. Kane, J. May, J. Miyamoto, I. Shipsey, and I. Giomataris. A study of a combination of micromegas and gem chamber in ar-co2 gas. In *Nuclear Science Symposium Conference Record, 2001 IEEE*, volume 1, pages 265 -- 268 vol.1, 2001.
- [18] B. Ketzer. Micropattern gaseous detectors in the compass tracker. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 494(1-3):142 -- 147, 2002.
- [19] Claude Leroy and Pier-Giorgio Rancoita. *Principles of radiation interaction in matter and detection; 2nd ed.* World Scientific, Singapore, 2009.
- [20] P.K. Lightfoot, N.J.C. Spooner, T.B. Lawson, S. Aune, and I. Giomataris. First operation of bulk micromegas in low pressure negative ion drift gas mixtures for dark matter searches. *Astroparticle Physics*, 27(6):490 -- 499, 2007.
- [21] R Oliveira, V Peskov, F Pietropaolo, and P Picchi. First tests of gaseous detectors made of a resistive mesh. Technical Report arXiv:1002.1415, Feb 2010.
- [22] Nicholas Tsoulfanidis. *Measurement and detection of radiation; 2nd ed.* Taylor and Francis, USA, 1995.