



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Προσομοίωση του Ανιχνευτή Micromegas

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του

Κωνσταντίνου Μαυρακάκη

Επιβλέπων: Γεώργιος Τσιπολίτης
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π



NATIONAL TECHNICAL
UNIVERSITY OF
ATHENS
SCHOOL OF APPLIED MATHEMATICAL
AND
PHYSICAL SCIENCES
DEPARTMENT OF
PHYSICS

Simulation of Micromegas detector

MASTER THESIS

of

Konstantinos Mavrakakis

Supervisor (N.T.U.A.): Yorgos Tsipolitis
Associate Professor

Committee

.....
Yorgos Tsipolitis
Associate Professor

.....
Paraskevaïdis Konstantinos
Associate Professor

.....
Theodoros Alexopoulos
Professor

Athens, 2014.

.....
Κωνσταντίνος Μαυρακάκης
Διπλωματούχος Φυσικός Εφαρμογών Ε.Μ.Π



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΙΜΩΝ**

Προσομοίωση του Ανιχνευτή Micromegas

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ

Κωνσταντίνου Μαυρακάκη

Επιβλέπων: Γεώργιος Τσιπολίτης
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

Περιεχόμενα

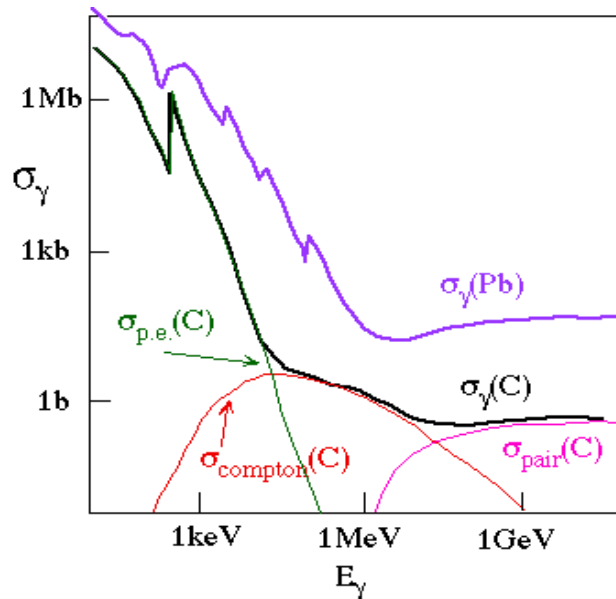
1.1 Ανιχνευτές Αερίου.....	4
1.1.1 Βασικές φυσικές διεργασίες.....	4
1.1.2 Διέγερση και ιονισμός των ατόμων στο εσωτερικό του ανιχνευτή.....	6
1.1.3 Ζεύγη ηλεκτρονίου-ιόντος.....	7
1.1.4 Διάχυση φορτίων.....	7
1.1.5 Ολίσθηση ηλεκτρονίων.....	8
1.1.6 Πολλαπλασιασμός ηλεκτρονίων	8
1.1.7 Σχηματισμός Παλμού.....	9
1.1.8 Επιλογή Αερίου για τον ανιχνευτή	11
2.1 Κύριοι Τύποι Ανιχνευτών Αερίου.....	12
2.2 Ο MWPC (Multi Wire Proportional Chamber).....	14
2.3 Ο Drift Chamber.....	15
2.4 Ο ανιχνευτής TPC (Time Projection Chamber).....	17
2.5 Ο ανιχνευτής Micromegas (Micromesh Gaseous Structure).....	18
2.5.1 Αρχή λειτουργίας του ανιχνευτή Micromegas.....	19
3.1 Προσομοίωση Ηλεκτρικού Πεδίου του Ανιχνευτή.....	21
3.1.1 Προσομοίωση με το Πρόγραμμα Ansys.....	21
3.1.2 Προσομοίωση με το πρόγραμμα Femlab.	29
4.1 Εισαγωγή του ηλεκτρικού πεδίου στο πρόγραμμα Garfield και αποτελέσματα την συμπεριφορά του ανιχνευτή.	31
4.1.1 Προσομοίωση Αερίων.....	31
4.1.2 Προσομοίωση με παρουσία μαγνητικού πεδίου.....	33
4.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης	36
4.2.1 Αποτελέσματα για ανιχνευτές χωρίς resistive strips.....	36
4.2.2 Ανιχνευτές με Resistive Strips	41
5.1 Συμπεράσματα.....	52
6.1 Βιβλιογραφία	53

Κεφάλαιο 1°

1.1 Ανιχνευτές Αερίου

1.1.1 Βασικές φυσικές διεργασίες

Τα σωματίδια ή η ακτινοβολία που διέρχεται από τον ενεργό όγκο του ανιχνευτή αλληλεπιδρά με το αέριο του ανιχνευτή ώστε να γίνει δυνατή η ανίχνευσή της. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με το αέριο του ανιχνευτή με τρεις μηχανισμούς, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο το φαινόμενο Compton και την δίδυμη γένεση. Η πιθανότητα αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας με το αέριο με κάποιον από τους τρεις μηχανισμούς εξαρτάται από την ενέργεια της ακτινοβολίας. Για ακτινοβολία χαμηλής ενέργειας (έως μερικά keV) ο βασικός μηχανισμός αλληλεπίδρασης είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, για μεγαλύτερες ενέργειες (έως 1.22 MeV) ο κυρίαρχος μηχανισμός είναι το φαινόμενο Compton και μετά το κατώφλι των 1.22 MeV βασικός μηχανισμός αλληλεπίδρασης είναι η δίδυμη γένεση ηλεκτρονίου ποζιτρονίου. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η γραφική παράσταση της συνολικής ενεργού διατομής για την αλληλεπίδραση φωτονίων σε άνθρακα ($Z=6$) και μόλυβδο ($Z=82$) συναρτήσει της ενέργειας των εισερχομένων φωτονίων. Παρατηρούμε επίσης και την εξάρτηση από την ενέργεια της ενεργού διατομής για κάθε μια από τις τρεις διαδικασίες αλληλεπίδρασης.



Εικ 1.1: Συνολική ενεργός διατομή για την αλληλεπίδραση φωτονίων με άνθρακα και μόλυβδο

Τα φορτισμένα σωματίδια όταν διέρχονται από τον αέριο του ανιχνευτή εναποθέτουν ενέργεια στο αέριο. Τα κυρίαρχα φαινόμενα τα οποία ευθύνονται για την απώλεια ενέργειας των φορτισμένων σωματιδίων είναι οι ανελαστικές σκεδάσεις του σωματιδίου με τα ατομικά ηλεκτρόνια του αερίου και οι ελαστικές σκεδάσεις με τους ατομικούς πυρήνες. Από τις δυο παραπάνω ηλεκτρομαγνητικές διεργασίες αυτή που ευθύνεται σχεδόν αποκλειστικά για την απώλεια ενέργειας των φορτισμένων σωματιδίων στο αέριο του ανιχνευτή είναι η ανελαστική σκέδαση του σωματιδίου με τα ατομικά ηλεκτρόνια.

Η απώλεια ενέργειας φορτισμένου σωματιδίου όταν αυτό διέρχεται διαμέσου της ύλης περιγράφεται από την σχέση των Bethe-Bloch η οποία παρατίθεται στην συνέχεια.

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

Με:

$$2\pi N_a r_e^2 m_e c^2 = 0.1535 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$$

r_e = ακτίνα ηλεκτρονίου

m_e = μάζα ηλεκτρονίου

N_a = αριθμός Avogadro

I = μέσο δυναμικό ιονισμού

Z = ατομικός αριθμός υλικού

A = ατομικό βάρος υλικού

ρ = πυκνότητα υλικού

z = φορτίο σωματιδίου

β = u/c σωματιδίου

γ = $1/\sqrt{1-\beta^2}$

δ = διόρθωση πυκνότητας

C = διόρθωση φλοιού

W_{max} = μέγιστη

Η επόμενη κατηγορία αλληλεπιδράσεων αφορά τα νετρόνια τα οποία δεν φέρουν ηλεκτρικό φορτίο και για τον λόγο αυτό δεν αλληλεπιδρούν ηλεκτρομαγνητικά με το αέριο του ανιχνευτή.

Η βασική αλληλεπίδραση στην οποία παίρνουν μέρος τα νετρόνια είναι, μέσω της ισχυρής πυρηνικής δύναμης, με τους πυρήνες του υλικού. Τέτοιες αντιδράσεις είναι όμως σχετικά σπάνιες λόγω της μικρής ακτίνας δράσης της ισχυρής πυρηνικής δύναμης (για να πραγματοποιηθεί αντίδραση το νετρόνιο πρέπει να πλησιάσει τον πυρήνα σε απόσταση 10^{-13} cm). Για τον λόγο αυτό και δεδομένου ότι η συνήθης ύλη αποτελείται κυρίως από κενό χώρο δεν μας ξαφνιάζει το γεγονός ότι το νετρόνιο είναι ένα πολύ διεισδυτικό σωματίδιο.

Αν το νετρόνιο έχει αρκετά μεγάλη ενέργεια και πλησιάσει τον πυρήνα του ατόμου σε ικανή απόσταση τότε αλληλεπιδρά με αυτόν σύμφωνα με τους παρακάτω μηχανισμούς.

1. Ελαστική σκέδαση του νετρονίου από τον ατομικό πυρήνα $A(n,n)A$. Η αλληλεπίδραση αυτή είναι ο κυριότερος μηχανισμός απώλειας ενέργειας των νετρονίων των οποίων η ενέργεια είναι της τάξης του MeV όταν αυτά εισέρχονται στην ύλη.
2. Ανελαστική σκέδαση του νετρονίου στον ατομικό πυρήνα $A(n,n')A$, $A(n,2n')B$ κτλ. Μετά από αυτή την αλληλεπίδραση ο πυρήνας του ατόμου βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση και είναι πιθανόν να αποδιεγερθεί εκπέμποντας ένα φωτόνιο γ ή κάποια άλλη μορφή ακτινοβολίας.

3. Σύλληψη νετρονίου από τον ατομικό πυρήνα με συνεπακόλουθη εκπομπή ακτινοβολίας γ , $n+(Z,A) \rightarrow \gamma+(Z,A+1)$. Η ενεργός διατομή για το φαινόμενο της σύλληψης νετρονίου είναι αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας του νετρονίου ($\sim 1/u$) γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αλληλεπίδραση αυτή είναι πολύ πιθανότερο να πραγματοποιηθεί όταν το νετρόνιο έχει χαμηλή ενέργεια.
4. Άλλες πυρηνικές αντιδράσεις όπως $(n,p),(n,d),(n,\alpha),(n,t),(n,\alpha p)$, κτλ στις οποίες έχουμε σύλληψη του νετρονίου και εκπομπή ενός φορτισμένου σωματιδίου.
5. Σχάση του ατομικού πυρήνα (n,f) .

1.1.2 Διέγερση και ιονισμός των ατόμων στο εσωτερικό του ανιχνευτή.

Κατά την διέλευση ακτινοβολίας ή σωματιδίων από το αέριο του ανιχνευτή τα άτομα του αερίου είναι δυνατόν να διεγερθούν ή να ιονιστούν ανάλογα με το ποσό της ενέργειας που θα εναποθέσει η ακτινοβολία ή το σωματίδιο.

Με τον όρο διέγερση του ατόμου ορίζουμε την αλλαγή ενεργειακής στάθμης ενός από τα ηλεκτρόνια του ατόμου εξαιτίας της αλληλεπίδρασής του με το διερχόμενο σωματίδιο ή την ακτινοβολία. Η διέγερση ενός ατόμου μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω σχέση:

$X + \sigma \rightarrow X^* + \sigma$ (όπου σ το σωματίδιο ή η ακτινοβολία που διέρχεται από το μέσο). Για να πραγματοποιηθεί η διέγερση του ατόμου το ποσό της ενέργειας που θα απορροφήσει το άτομο πρέπει να είναι ίσο με την ενεργειακή διαφορά των δύο ενεργειακών σταθμών του ατόμου. Στις αλληλεπιδράσεις διέγερσης δεν δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια ώστε να μπορούμε άμεσα με τον ανιχνευτή να παρατηρήσουμε την διέλευση της ακτινοβολίας αλλά μπορούν να συμμετάσχουν σε αντιδράσεις με άλλα άτομα του αερίου και να προκαλέσουν ιονισμό σε κάποιο από αυτά.

Ο ιονισμός ενός ατόμου του αερίου είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η διερχόμενη ακτινοβολία (ή σωματίδιο) από τον ανιχνευτή εναποθέτει αρκετή ενέργεια σε κάποιο άτομο του αερίου ώστε να αποσπαστεί ένα ηλεκτρόνιο από την ηλεκτρομαγνητική έλξη του πυρήνα. Αν η ενέργεια που θα απορροφήσει το άτομο είναι μεγαλύτερη από το έργο εξαγωγής του ηλεκτρονίου η περίσσεια ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου. Ο ιονισμός του αερίου μπορεί να περιγραφεί με την ακόλουθη σχέση: $X + \sigma \rightarrow X^* + \sigma + e^-$

Οι ιονισμοί οι οποίοι είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της αρχικής ακτινοβολίας (ή του σωματιδίου) με το αέριο του ανιχνευτή ονομάζονται πρωτογενείς ιονισμοί. Στην περίπτωση που η περίσσεια ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι αρκετά μεγάλη τότε το ηλεκτρόνιο που εξάγεται μπορεί να ιονίσει άλλα άτομα του αερίου. Οι ιονισμοί αυτοί ονομάζονται δευτερογενείς ιονισμοί.

Εκτός από τις παραπάνω διεργασίες υπάρχει και ένας ακόμα μηχανισμός ο οποίος είναι δυνατόν να παράξει ζεύγος ηλεκτρονίου-ίόντος και ονομάζεται Penning Effect. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται όταν μετασταθείς καταστάσεις ορισμένων ατόμων, λόγω μεγάλης διαφοράς spin-parity, δεν μπορούν να αποδιεγερθούν αμέσως στην βασική κατάσταση με εκπομπή ενός φωτονίου. Σε αυτά τα άτομα η αποδιέγερση μπορεί να συμβεί μετά από σύγκρουσή τους με άλλα άτομα του αερίου στα οποία μπορεί να προκληθεί ιονισμός.

1.1.3 Ζεύγη ηλεκτρονίου-ιόντος

Κατά την διέλευση της ακτινοβολίας από το αέριο του ανιχνευτή δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων και ιόντων στο αέριο. Ο αριθμός των ιονισμών που προκαλούνται από την ακτινοβολία είναι στατιστικού χαρακτήρα (δε είναι ίσο με το δυναμικό ιονισμού διαιρεμένο με την συνολική απώλεια ενέργειας του σωματιδίου) διότι πρέπει να λάβουμε υπόψιν εσωτερικές διεργασίες στο αέριο του ανιχνευτή. Αναλογιζόμενοι τα παραπάνω θεωρούμε ότι στο εσωτερικό του αερίου προκύπτει ένας ιονισμός ανά 30 eV απώλειας ενέργειας του σωματιδίου. Ο αριθμός αυτός δεν εξαρτάται άμεσα από το είδος του σωματιδίου ή της ακτινοβολίας και έχει ασθενή εξάρτηση από το είδος του αερίου στον θάλαμο του ανιχνευτή.

Η μέση ενέργεια που απαιτείται ώστε να έχουμε ένα ιονισμό επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$R = 2.35 \sqrt{\frac{Fw}{E}}$$

F = παράγοντας Fano

w = μέση ενέργεια που απαιτείται ώστε να έχουμε ένα ιονισμό

E = ενέργεια σωματιδίου

Για να είναι δυνατή η ανίχνευση του σωματιδίου ή της ακτινοβολίας από τον ανιχνευτή τα ελεύθερα φορτία (ηλεκτρόνια και ιόντα) πρέπει να μην επανασυνδεθούν στο εσωτερικό του αερίου. Οι δυο κύριοι μηχανισμοί οι οποίοι εμποδίζουν τα ζεύγη ηλεκτρονίων και ιόντων να μείνουν σε ελεύθερη κατάσταση είναι η επανασύνδεση των ηλεκτρονίων με τα ιόντα και η δέσμευση ηλεκτρονίου από άλλο άτομο αερίου στον ανιχνευτή.

1.1.4 Διάχυση φορτίων

Κατά την διέλευση της ακτινοβολίας από το εσωτερικό του ανιχνευτή παράγονται ζεύγη ηλεκτρονίων και ιόντων στο εσωτερικό του αερίου. Τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα που παράγονται διαχέονται ομοιόμορφα στην περιοχή γύρω από το σημείο που προκλήθηκε ο ιονισμός. Η διάχυση των φορτίων στον χώρο ακολουθεί την κατανομή Gauss η οποία περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{dN}{N} = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) dx$$

η οποία σχέση δίνει το κλάσμα dN/N των φορτίων που βρίσκονται στο στοιχείο dx σε απόσταση x από το σημείο του ιονισμού και σε χρόνο t . D είναι ο συντελεστής διάχυσης. Παρακάτω δίνεται η τυπική απόκλιση της κατανομής για γραμμική διάχυση και σε σφαιρικές συντεταγμένες.

$$\sigma(x) = \sqrt{2Dt}$$

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

Ο συντελεστής διάχυσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$D = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{p\sigma_0} \sqrt{\frac{(kT)^3}{m}}$$

όπου σ_0 είναι η συνολική ενεργός διατομή της αλληλεπίδρασης του σωματιδίου ή της ακτινοβολίας με τα άτομα του αερίου.

1.1.5 Ολίσθηση ηλεκτρονίων

Για να είναι δυνατή η ανίχνευση του σωματιδίου ή της ακτινοβολίας τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα που παράγονται από την αλληλεπίδρασή με τα άτομα του αερίου πρέπει να μην ουδετεροποιηθούν ώστε να μπορέσουμε να τα ανιχνεύσουμε. Για τον λόγο αυτό στον ενεργό όγκο του ανιχνευτή εφαρμόζουμε ηλεκτρικό πεδίο το οποίο απομακρύνει τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια από τα θετικά φορτισμένα ιόντα. Τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα ακολουθούν τις δυναμικές γραμμές του πεδίου (προς αντίθετες κατευθύνσεις) τα μεν ηλεκτρόνια προς την άνοδο τα δε ιόντα προς την κάθοδο. Τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα καθώς κινούνται (ολισθαίνουν) μέσα στο αέριο του ανιχνευτή σκεδάζονται από τα άτομα του αερίου. Λόγω των πολλαπλών σκεδάσεων με τα άτομα του αερίου τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα αναπτύσσουν μια μέση ταχύτητα την οποία ονομάζουμε ταχύτητα ολίσθησης. Λόγω μεγέθους η ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα ολίσθησης των ιόντων.

Μια χρήσιμη ποσότητα που περιγράφει την ολίσθηση των ηλεκτρονίων και των ιόντων είναι η *mobility* η οποία ορίζεται ως η μέση ταχύτητα των φορτίων διαιρεμένη με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. $\mu = u/E$

Η ταχύτητα ολίσθησης των ιόντων εξαρτάται γραμμικά από τον λόγο E/ρ όπου ρ είναι η πίεση του αερίου. Για ιδανικά αέρια η *mobility* συνδέεται με τον συντελεστή διάχυσης μέσω της παρακάτω σχέσης:

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

Στην περίπτωση κατά την οποία τα ηλεκτρόνια αποκτήσουν μέση ενέργεια μεγαλύτερη από την θερμική τότε ο ρυθμός διάχυσης τους επηρεάζεται. Στην περίπτωση αυτή ο όρος kT στην παραπάνω σχέση αντικαθίσταται από την μέση ενέργεια των ηλεκτρονίων. Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής διάχυσης αυξάνεται και προκαλείται μεγαλύτερη διάχυση των ελεύθερων ηλεκτρονίων.

1.1.6 Πολλαπλασιασμός ηλεκτρονίων

Κατά την διέλευση του σωματιδίου ή της ακτινοβολίας από το αέριο του ανιχνευτή παράγονται ζεύγη ηλεκτρονίων και ιόντων. Τα αρχικά ηλεκτρόνια που παράγονται από τους πρωτογενείς ιονισμούς δεν είναι αρκετά για να μας δώσουν ένα μετρήσιμο σήμα από τον ανιχνευτή. Για να μπορέσουμε να έχουμε κάποιο σήμα είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν περισσότερα φορτία στο εσωτερικό του ανιχνευτή. Για τον σκοπό αυτό, μεταξύ των ηλεκτροδίων του ανιχνευτή, εφαρμόζουμε ηλεκτρικό πεδίο. Με την παρουσία του ηλεκτρικού πεδίου τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα που δημιουργήθηκαν από τους πρωτογενείς ιονισμούς απομακρύνονται από το σημείο του ιονισμού σε διαφορετικές κατευθύνσεις (τα ιόντα ακολουθούν την φορά του ηλεκτρικού πεδίου ενώ τα ηλεκτρόνια κατευθύνονται αντίθετα). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μη επανασύνδεση των ηλεκτρονίων με τα ιόντα. Στην περίπτωση κατά την οποία το ηλεκτρικό πεδίο είναι αρκετά ισχυρό είναι δυνατόν τα ηλεκτρόνια να αποκτήσουν αρκετή ενέργεια ώστε κατά την επόμενη σύγκρουση με άτομο του αερίου να μπορέσουν να το ιονίσουν, από τους δευτερογενείς αυτούς ιονισμούς παράγονται καινούρια ζεύγη ηλεκτρονίων και ιόντων στο αέριο. Επίσης τα δευτερογενή αυτά ηλεκτρόνια με την σειρά τους θα ιονίσουν άλλα άτομα του αερίου. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στο φαινόμενο της χιονοστιβάδας και με τον τρόπο

αυτό επιτυγχάνεται ο πολλαπλασιασμός των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του αερίου. Η μέση απόσταση που διανύουν τα ηλεκτρόνια μέχρι να αλληλεπιδράσουν με κάποιο άτομο του αερίου λέγεται μέση ελεύθερη διαδρομή των ηλεκτρονίων. Μια σημαντική ποσότητα που συνδέεται με την μέση ελεύθερη διαδρομή είναι ο πρώτος συντελεστής Townsend (α) ο οποίος ορίζεται ως το αντίστροφο της μέσης ελεύθερης διαδρομής και αντιπροσωπεύει τον αριθμό ζευγών ηλεκτρονίου-ιόντος που παράγονται ανά μονάδα μήκους που διανύει το ηλεκτρόνιο. Για να υπολογίσουμε την ενίσχυση του αερίου εργαζόμαστε ως εξής. Θεωρούμε ότι υπάρχουν στο αέριο n ελεύθερα ηλεκτρόνια τα οποία αν διανύσουν διαδρομή dx θα δημιουργήσουν dn ηλεκτρόνια.

$$dn = n \alpha dx$$

Ολοκληρώνοντας της παραπάνω σχέση έχουμε την έκφραση για τον συνολικό αριθμό των παραγομένων ηλεκτρονίων:

$$n = n_0 e^{\alpha x}$$

Η ενίσχυση του αερίου ορίζεται ως ο λόγος των παραγομένων ηλεκτρονίων από τους δευτερογενείς ιονισμούς προς τον αριθμό των αρχικών ηλεκτρονίων.

$$M = \frac{n}{n_0} = e^{\alpha x}$$

Στην γενική περίπτωση ενός μη ομογενούς πεδίου ο πρώτος συντελεστής Townsend είναι συνάρτηση της χωρικής μεταβλητής x . Σε αυτή την περίπτωση η ενίσχυση του αερίου γράφεται ως εξής:

$$M = \int_{r_1}^{r_2} a(x) dx$$

Η ενίσχυση που μπορεί να μας δώσει το αέριο, αν και αρκετά μεγάλη, δεν μπορεί να ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο. Το όριο αυτό λέγεται όριο Raether και είναι περίπου $M \sim 10^8$. Πέρα από το όριο αυτό δημιουργείται σπινθήρας στο αέριο. Στην πράξη οι ανιχνευτές αερίου λειτουργούν με κέρδος περίπου 2 τάξεις μεγέθους μικρότερο από το όριο Raether.

1.1.7 Σχηματισμός Παλμού

Ο παλμός τον οποίο λαμβάνουμε από τον ανιχνευτή δημιουργείται λόγω επαγωγής από την συγκέντρωση φορτίων στο εσωτερικό του ανιχνευτή λόγω του φαινομένου της χιονοστιβάδας. Κατά την μετακίνηση των φορτίων, στο εσωτερικό του ανιχνευτή δημιουργείται διαφορά δυναμικού στα ηλεκτρόδια της ανόδου και της καθόδου η οποία διαφορά δυναμικού καταγράφεται ως σήμα από τα όργανα μέτρησης.

Η απειροστή διαφορά δυναμικού που προκαλείται από την μετακίνηση των φορτίων στο

εσωτερικό του ανιχνευτή δίνεται από τον παρακάτω τύπο: $dV = \frac{\rho}{l C V_0} \frac{d\phi(r)}{dr} dr$

Για να υπολογίσουμε την συνεισφορά των ηλεκτρονίων και των ιόντων στην καταγραφόμενη διαφορά δυναμικού πρέπει να ολοκληρώσουμε την παραπάνω σχέση στον χώρο μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Μια σημαντική παρατήρηση σχετικά με τον σχηματισμό του παλμού στο εσωτερικό του ανιχνευτή είναι ότι η μετακίνηση των ηλεκτρονίων, λόγω του ότι η περιοχή πολλαπλασιασμού είναι χωρικά περιορισμένη, δεν έχει μεγάλη συμμετοχή στον καταγραφόμενο παλμό. Αντίθετα τα θετικά ιόντα διανύουν σχεδόν όλη την περιοχή πολλαπλασιασμού για να συλληθούν από την κάθοδο.

Για τον λόγο αυτό μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο παλμός που καταγράφουμε οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην μετακίνηση των θετικά φορτισμένων ιόντων στο εσωτερικό του ανιχνευτή.

Μπορούμε να υπολογίσουμε την χρονική εξέλιξη του παλμού ολοκληρώνοντας την προηγούμενη σχέση. Για κυλινδρικό αναλογικό απαριθμητή η σχέση αυτή έχει την μορφή:

$$V(t) = \int_{r(0)}^{r(t)} \frac{dV}{dr} dr = \frac{-q}{2l\pi\epsilon} \ln\left(\frac{r(t)}{a}\right)$$

όπου:

q: φορτίο

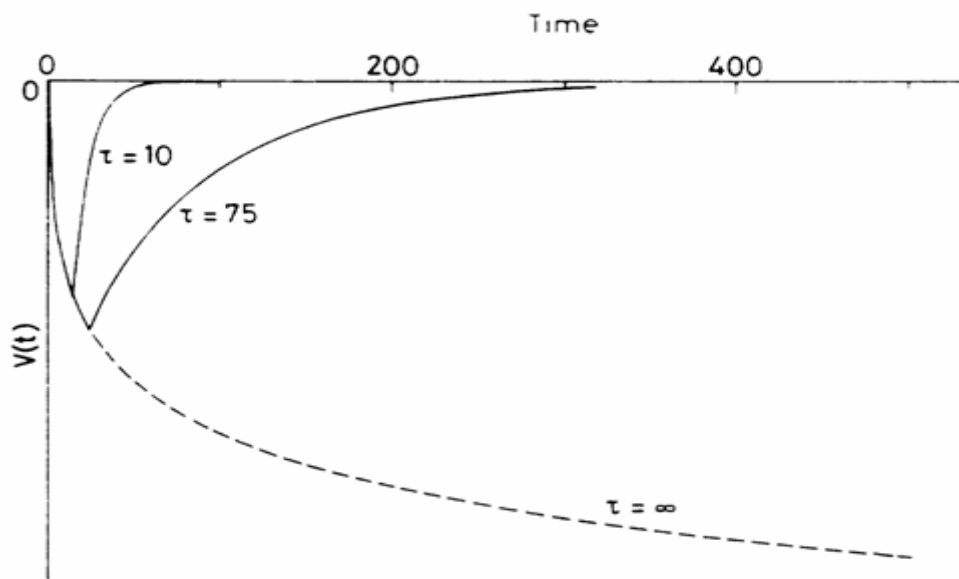
ε: διηλεκτρική σταθερά

l: το μήκος του κυλίνδρου

Η παρακάτω έκφραση μας δίνει την διαδρομή που διένυσαν τα φορτία συναρτήσει του χρόνου:

$$r(t) = \left(a^2 + \frac{\mu C V_0}{\pi\epsilon} t\right)^{\frac{1}{2}}$$

Η γραφική παράσταση της χρονικής εξέλιξης του παλμού σε ένα κυλινδρικό αναλογικό απαριθμητή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικ 1.2: Χρονική εξέλιξη του παλμού σε κυλινδρικό αναλογικό απαριθμητή.

1.1.8 Επιλογή Αερίου για τον ανιχνευτή

Η επιλογή κατάλληλου αερίου για τον ανιχνευτή είναι πολύ σημαντική για την καλή λειτουργία του. Το αέριο αποτελεί την ενεργό περιοχή του ανιχνευτή στη οποία σχηματίζονται τα ζεύγη ηλεκτρονίων-ιόντων η διαδρομή των οποίων μας δίνει το τελικό σήμα. Ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά που πρέπει να πληρεί το αέριο του ανιχνευτή είναι να επιτρέπει την λειτουργία του ανιχνευτή σε χαμηλή τάση χωρίς να αυτό να επηρεάζει την ενίσχυση του αερίου, το αέριο θα πρέπει να έχει καλή αναλογικότητα ως προς την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ή σωματιδίου και να προσφέρει την δυνατότητα επίτευξης υψηλών ρυθμών ανίχνευσης σωματιδίων. Η συνηθέστερη επιλογή αερίων για τους ανιχνευτές είναι τα ευγενή αέρια λόγω της δυνατότητας τους να επιτυγχάνουν μεγάλη ενίσχυση σε χαμηλή τάση λειτουργίας. Από τα ευγενή αέρια το αργό είναι μια πολύ συνηθισμένη επιλογή λόγω του χαμηλού κόστους του.

Τις περισσότερες φορές δεν χρησιμοποιείται αποκλειστικά ένα είδος αερίου αλλά προτιμώνται μείγματα τα οποία μας δίνουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα η χρησιμοποίηση καθαρού αργού στην ενεργό περιοχή του ανιχνευτή δεν μπορεί να μας δώσει ενίσχυση μεγαλύτερη από 10^3 - 10^4 λόγω της μεγάλης ενέργειας ιονισμού την οποία έχει (11.6eV). Κατά την αποδιέγερση του ατόμου του αργού παράγονται φωτόνια μεγάλης ενέργειας τα οποία μπορούν να ιονίσουν τα άτομα του υλικού της καθόδου και τα παραγόμενα ηλεκτρόνια από αυτή την διεργασία είναι πιθανό να προκαλέσουν με την σειρά τους χιονοστιβάδα. Για να αποφύγουμε αυτό το ενδεχόμενο χρησιμοποιούμε μαζί με το αργό και ένα πολυατομικό αέριο το οποίο έχει την δυνατότητα να απορροφά τα παραγόμενα από το αργό φωτόνια.

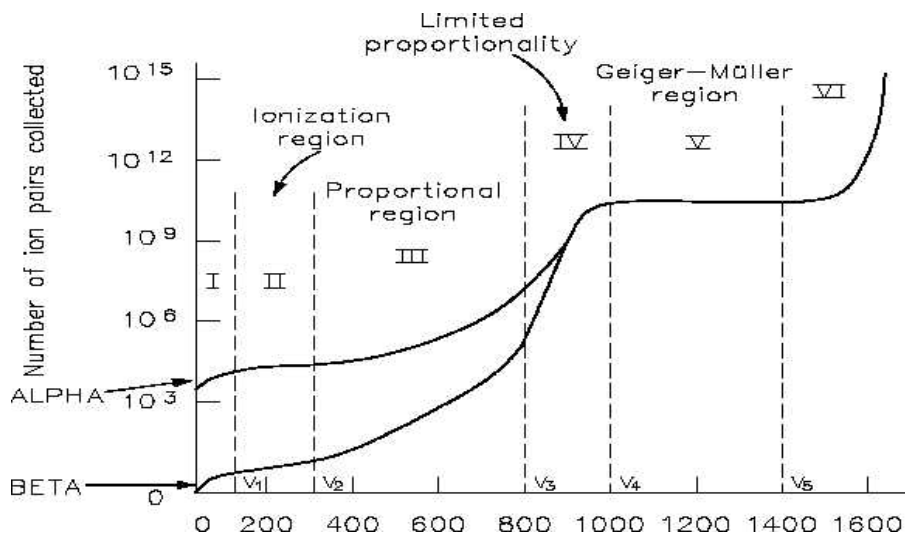
Κεφάλαιο 2°

2.1 Κύριοι Τύποι Ανιχνευτών Αερίου

Οι ανιχνευτές αερίου αποτελούν ένα μεγάλο κεφάλαιο στην προσπάθεια του ανθρώπου να ανιχνεύσει υποατομικά σωματίδια και ακτινοβολία.

Οι πρώτοι ανιχνευτές αερίου (ανιχνευτές ιονισμού) αναπτύχθηκαν για την ανίχνευση ακτινοβολίας. Η λειτουργία τους (όπως αναφέρεται πιο πάνω) βασίζεται στην συλλογή των ηλεκτρονίων και των ιόντων που δημιουργήθηκαν από την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με τα ουδέτερα άτομα του μέσου το οποίο βρίσκετε στην ενεργό περιοχή του ανιχνευτή.

Τα αέρια λόγω της μεγάλης κινητικότητας (mobility) των ηλεκτρονίων και των ιόντων στο εσωτερικό τους χρησιμοποιήθηκαν ως ενεργό μέσο ανίχνευσης. Αρχικά αναπτύχθηκαν τρία είδη ανιχνευτών αερίου ο **θάλαμος ιονισμού**, ο **αναλογικός απαριθμητής** και ο απαριθμητής **Geiger-Muller**. Οι παραπάνω ανιχνευτές λειτουργούν με βάση την ίδια φυσική αρχή και η βασική τους διαφορά έγκειται στην ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του κάθε ανιχνευτή. Στο παρακάτω σχήμα (Εικ 2.1) φαίνεται ο αριθμός των ζευγών (ηλεκτρόνιο-ιόν) που συλλέγονται από τον ανιχνευτή ως συνάρτηση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου (η διαφορά δυναμικού καθορίζει την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή).



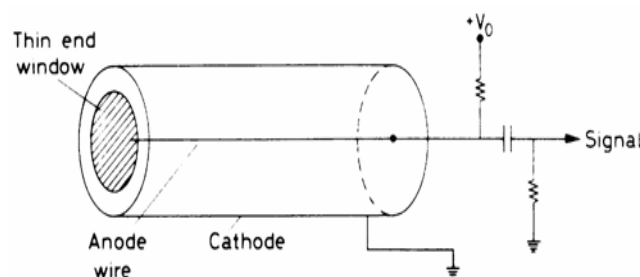
Εικ.2.1: Αριθμός ιόντων που συλλέγονται ως συνάρτηση της επιβαλλόμενης διαφοράς δυναμικού για ανιχνευτή με ένα σύρμα

Ο θάλαμος ιονισμού λειτουργεί (για διαφορές δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων του) στην περιοχή 2 του παραπάνω διαγράμματος. Στην περιοχή αυτή το πεδίο που αναπτύσσεται στο εσωτερικό του ανιχνευτή αρκεί για να εμποδίσει τα ιονισμένα άτομα να επανασυνδεθούν με τα ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα αυτά να συλλέγονται από τον ανιχνευτή. Το σήμα που παίρνουμε σε αυτή την περίπτωση είναι ιδιαίτερα ασθενές για τον λόγο αυτό χρειάζεται μεγάλη ενίσχυση για να μπορέσουν να το καταγράψουν τα όργανα μέτρησης.

Ο αναλογικός απαριθμητής λειτουργεί σε διαφορές δυναμικού που βρίσκονται στην περιοχή 3 του διαγράμματος. Σε αυτή την περιοχή το πεδίο στο εσωτερικό του ανιχνευτή είναι αρκετά ισχυρό ώστε να είναι δυνατή η επίτευξη του φαινομένου της χιονοστιβάδας όταν τα ηλεκτρόνια φτάσουν πολύ κοντά στο ηλεκτρόδιο της ανόδου. Το βασικό χαρακτηριστικό των ανιχνευτών που λειτουργούν με διαφορές δυναμικού οι οποίες αναφέρονται στην περιοχή 3 του διαγράμματος είναι ότι το φορτίο που συλλέγουν (το σήμα που λαμβάνουμε) είναι ανάλογο των αρχικών φορτίων που δημιουργήθηκαν κατά τον ιονισμό του αερίου από την ακτινοβολία δηλαδή από την ενέργεια της ακτινοβολίας. Η περιοχή 3 θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα γιατί οι περισσότεροι σύγχρονοι ανιχνευτές αερίου (και ο micromegas) λειτουργούν σε αυτή την περιοχή.

Τέλος για μεγαλύτερες διαφορές δυναμικού το πεδίο στο εσωτερικό του ανιχνευτή γίνεται τόσο ισχυρό ώστε χάνεται κάθε αναλογικότητα με την ενέργεια της εισερχόμενης ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να λαμβάνουμε το ίδιο σήμα για όλα τα γεγονότα που μπορεί να ανιχνεύσει ο ανιχνευτής. Στην περιοχή αυτή λειτουργεί ο ανιχνευτής Geiger-Muller.

Κατασκευαστικά τα παραπάνω όργανα είναι όμοια. Αποτελούνται από τον θάλαμο αερίου ο οποίος είναι κυλινδρικός με το εσωτερικό του τοίχωμα αγώγιμο (κάθοδος) και ένα σύρμα ανόδου που βρίσκεται κατά μήκος του άξονα του κυλίνδρου. Στο εσωτερικό του κυλίνδρου βρίσκεται το αέριο, κυρίως ευγενή αέρια χρησιμοποιούνται όπως το αργό. Στο παρακάτω σχήμα (Εικ 2.2) φαίνεται η γεωμετρία των ανιχνευτών αυτών.



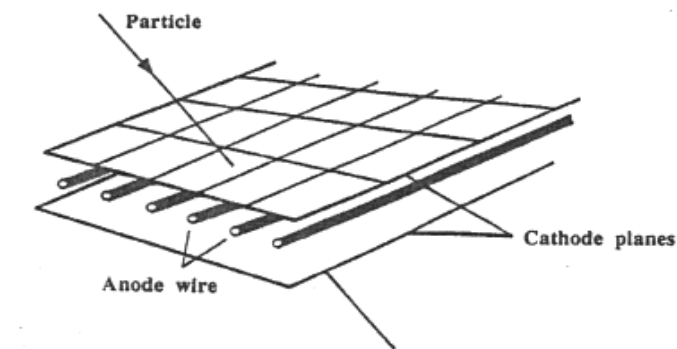
Εικ.2.2: Βασική διάταξη ενός ανιχνευτή ιονισμού

Τα όργανα αυτά δεν έχουν ενεργό ρόλο στην φυσική υψηλών ενεργειών σήμερα και χρησιμοποιούνται περισσότερο ως ανιχνευτές της έντασης της ακτινοβολίας.

2.2 Ο MWPC (Multi Wire Proportional Chamber)

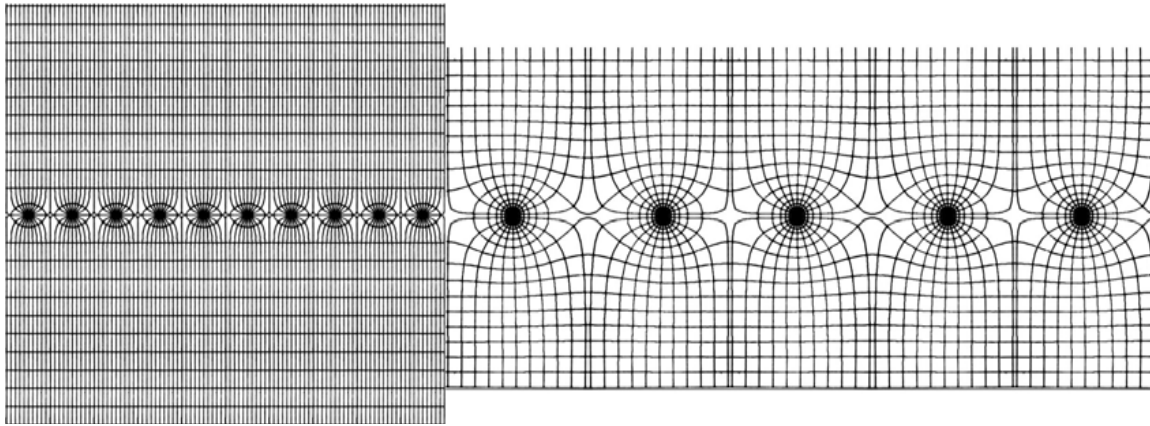
Το μεγάλο βήμα στην εξέλιξη των ανιχνευτών αερίου έγινε στην δεκαετία του 1960 όταν ανακαλύφθηκε ο πολυσυρματικός αναλογικός ανιχνευτής (multi-wire proportional chamber, MWPC) από τον Charpak. Ο θάλαμος αυτός σε αντίθεση με τους προκατόχους του έχει την δυνατότητα να ανιχνεύσει την τροχιά του σωματιδίου με πολύ μεγάλη ακρίβεια και για τον λόγο αυτό υιοθετήθηκε πολύ γρήγορα σε πειράματα φυσικής υψηλών ενεργειών. Ο MWPC στην ουσία περιέχει πολλούς αναλογικούς απαριθμητές στον ίδιο όγκο αερίου, αυτό επιτυγχάνετε με την χρησιμοποίηση πολλών συρμάτων ανόδου τοποθετημένα παράλληλα μεταξύ τους τα οποία βρίσκονται μεταξύ δύο παράλληλων αγωγίμων μεταλλικών πλακών οι οποίες είναι η κάθοδοι. Η κατασκευή αυτή σε συνδυασμό με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών έκαναν τον MWPC ικανό να καταγράφει τροχιές σωματιδίων με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η βασική διάταξη ενός MWPC (Εικ 2.3).



Εικ.2.3: Ο ανιχνευτής MWPC

Μπορούμε να παρατηρήσουμε το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό ενός MWPC από τις δυναμικές γραμμές του όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικ 2.4).



Εικ.2.4: Δυναμικές γραμμές στο εσωτερικό ενός MWPC

Λόγω της ικανότητας του αυτής ο MWPC υιοθετήθηκε γρήγορα στα πειράματα της φυσικής υψηλών ενεργειών και όχι μόνο.

2.3 Ο Drift Chamber

Στα αρχικά ακόμα στάδια της ανάπτυξης του MWPC παρατηρήθηκε ότι είναι δυνατή η καταγραφή χωρικών πληροφοριών για την τροχιά του σωματιδίου μετρώντας τον χρόνο που χρειάζονται τα ηλεκτρόνια για να φτάσουν στην άνοδο από το σημείο του αρχικού ιονισμού. Για να είναι εφικτή μια τέτοια μέτρηση είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε την στιγμή που εισέρχεται το σωματίδιο στον θάλαμο και την ταχύτητα των ηλεκτρονίων στο αέριο (drift velocity), αν αυτά τα δεδομένα είναι γνωστά τότε η απόσταση του ιονισμού από το σύρμα της ανόδου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

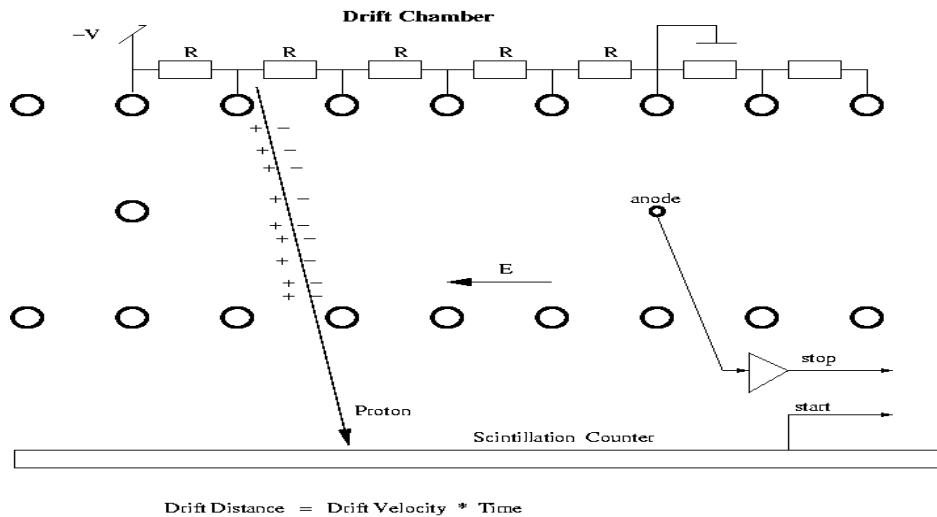
$$\chi = \int_{t_0}^{t_1} u dt$$

όπου t_0 είναι η στιγμή της εισόδου του σωματιδίου στον ανιχνευτή και t_1 ο χρόνος που εμφανίστηκε ο παλμός στο σύρμα της ανόδου.

Όπως αναφέραμε πιο πάνω για να είναι δυνατή η μέτρηση του χρόνου ολίσθησης των ηλεκτρονίων πρέπει να είναι γνωστός ο χρόνος εισόδου του σωματιδίου στον ανιχνευτή και η ταχύτητα των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του. Το πρώτο επιτυγχάνετε με την βοήθεια ενός δεύτερου ανιχνευτή (συνήθως σπινθηριστή, scintillator) ο οποίος έχει την δυνατότητα να μας δώσει ένα πολύ γρήγορο σήμα ότι κάποιο σωματίδιο πέρασε από το εσωτερικό του, το σήμα αυτό μας δίνει την χρονική στιγμή διέλευσης του σωματιδίου και λειτουργεί ως trigger για τα ηλεκτρονικά του ανιχνευτή τα οποία μετρούν τον χρόνο που μεσολαβεί μέχρι να έχουμε σήμα από τον ανιχνευτή ώστε να γνωρίζουμε την διάρκεια ολίσθησης των

ηλεκτρονίων. Η ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων στο αέριο (το δεύτερο δεδομένο) είναι επιθυμητό να είναι κατά το δυνατόν σταθερή ώστε να έχουμε γραμμική σχέση μεταξύ του χρονικού διαστήματος και της απόστασης που διανύουν τα ηλεκτρόνια για τον λόγο αυτό γίνεται προσπάθεια ώστε το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του ανιχνευτή να είναι σταθερό, αυτό επιτυγχάνεται με δύο τρόπους ή την τοποθέτηση συρμάτων καθόδου ανάμεσα στα σύρματα ανόδου ώστε να ενισχυθεί το πεδίο στις περιοχές αυτές ή τοποθετούνται αγώγιμες επιφάνειες καθόδου ανάμεσα στα ηλεκτρόδια (σύρματα) της ανόδου.

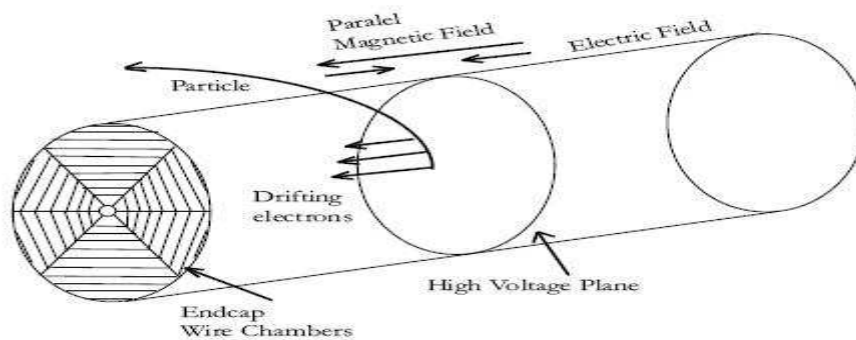
Παρακάτω (Εικ 2.5) βλέπουμε το εσωτερικό ενός Drift Chamber όπως και τον σπινθηριστή ο οποίος μας δίνει την στιγμή της διέλευσης του σωματιδίου από τον ανιχνευτή.



Εικ.2.5: Το εσωτερικό ενός Drift Chamber όπου τα ηλεκτρόδια της καθόδου αποτελούνται από παράλληλα σύρματα

2.4 Ο ανιχνευτής TPC (Time Projection Chamber)

Ο ανιχνευτής TPC είναι ένας ιδιαίτερα πολύπλοκος ανιχνευτής ο οποίος συνδυάζει τις δυνατότητες των δύο προηγούμενων ανιχνευτών. Το αποτέλεσμα που παίρνουμε από τον ανιχνευτή TPC είναι η τροχιά του διερχόμενου σωματιδίου σε τρεις διαστάσεις όπως και δεδομένα για την απώλεια ενέργειάς του. Ο ανιχνευτής TPC αποτελείται βασικά από ένα κυλινδρικό θάλαμο ο οποίος περιέχει το αέριο. Ο θάλαμος αυτός έχει στο κέντρο ένα ηλεκτρόδιο υψηλής τάσης το οποίο δημιουργεί το πεδίο ώστε να ολισθήσουν τα ηλεκτρόνια προς την βάση του όπου ανιχνεύονται από μια διάταξη όμοια με τον MWPC η οποία μας δίνει τις συντεταγμένες x, y . Για να έχουμε ανακατασκευή της τροχιάς του σωματιδίου πρέπει να είναι γνωστή και η τρίτη χωρική συντεταγμένη z , η τρίτη συντεταγμένη δίνεται από τον χρόνο ολίσθησης των ηλεκτρονίων μέσα στον θάλαμο του TPC. Σχηματικά ο ανιχνευτής TPC φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα (Εικ 2.6).



Εικ.2.6: Σχηματική αναπαράσταση ενός ανιχνευτή TPC

2.5 Ο ανιχνευτής Micromegas (Micromesh Gaseous Structure)

Το επόμενο βήμα στην εξέλιξη των ανιχνευτών θα πρέπει να ικανοποιεί τις διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις των πειραμάτων στην φυσική υψηλών ενεργειών για μεγάλο ρυθμό καταγραφής γεγονότων και μεγαλύτερη ακρίβεια στην μέτρηση θέσης και ενέργειας για τα διερχόμενα σωματίδια και την ακτινοβολία. Την απάντηση σε αυτές τις απαιτήσεις έρχονται να δώσουν μια νέα γενιά ανιχνευτών οι MSGC (Micro Strip Gas Chamber) και οι MPGD (Micro Pattern Gaseous Detectors). Στους ανιχνευτές αυτούς ο θάλαμος αερίου χωρίζεται σε δύο τμήματα, την περιοχή ολίσθησης και την περιοχή πολλαπλασιασμού. Η διαστάσεις της περιοχής ολίσθησης είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών (mm) ενώ η περιοχή πολλαπλασιασμού είναι της τάξης του μικρομέτρου (~ 100 μm).

Ο ανιχνευτής micromegas είναι ένας ανιχνευτής micro pattern ο οποίος ανακαλύφθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 από τον Γιάννη Γιοματάρη, είναι ένας ανιχνευτής δύο ασύμμετρων σταδίων (ολίσθησης και πολλαπλασιασμού) με παράλληλα ηλεκτρόδια. Τα βασικά μέρη του ανιχνευτή είναι τα ακόλουθα: ηλεκτρόδιο ολίσθησης (drift), πλέγμα (micromesh), ηλεκτρόδια καθόδου (strips), δοκούς (pillars) ανάμεσα στο micromesh και τα ηλεκτρόδια της καθόδου ώστε η μεταξύ τους απόσταση να είναι σταθερή.

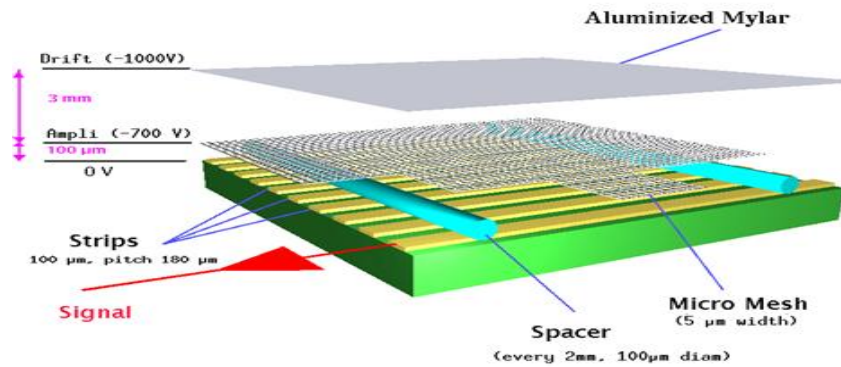
Η περιοχή ολίσθησης χωρίζεται από την περιοχή πολλαπλασιασμού με το micromesh (πολύ λεπτό διάτρητο ηλεκτρόδιο) στο οποίο εφαρμόζουμε τάση ώστε το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή πολλαπλασιασμού να είναι σχετικά ασθενές ώστε τα ηλεκτρόνια να ολισθήσουν προς το micromesh και και παράλληλα το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή πολλαπλασιασμού να είναι αρκετά ισχυρό ώστε να δημιουργηθεί το φαινόμενο της χιονοστιβάδας. Επίσης η ρύθμιση της τάσης στο micromesh είναι σημαντική γιατί καθορίζει τον λόγο των εντάσεων των πεδίων στην περιοχή ολίσθησης και πολλαπλασιασμού ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία του ανιχνευτή.

Ο λόγος πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε κατά την διάρκεια της λειτουργίας του ανιχνευτή τα ιόντα που παράγονται στην περιοχή πολλαπλασιασμού να συλλέγονται στο micromesh και να μην διαφεύγουν στην περιοχή ολίσθησης, διότι το ποσοστό των ιόντων που διαφεύγουν από το micromesh είναι αντιστρόφως ανάλογο του λόγου των πεδίων.

Μια μεγάλη τεχνολογική πρόκληση είναι η διατήρηση της απόστασης του micromesh από το ηλεκτρόδιο της ανόδου σταθερή ώστε το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή πολλαπλασιασμού να είναι ομογενές και να επιτυγχάνεται σταθερή ενίσχυση σε όλο τον όγκο της περιοχής. Η απαίτηση αυτή είναι αναγκαία λόγω της μικρής απόστασης του micromesh από την κάθοδο (~100 μm) όπου η παραμικρή στρέβλωση του micromesh μπορεί να επιφέρει μεγάλες αλλαγές στην απόσταση των δύο ηλεκτροδίων, ειδικά σε ανιχνευτές με μεγάλη επιφάνεια. Το γεγονός αυτό θα σαν συνέπεια την μεγάλη ανομοιομορφία του πεδίου σε όλο τον όγκο της περιοχής η οποία συνεπάγεται μεγάλη ανομοιομορφία στην ενίσχυση του αερίου γεγονός που θα καταστήσει τον ανιχνευτή μη λειτουργικό.

Το πρόβλημα αυτό λύνεται με της σύγχρονες τεχνικές φωτολιθογραφίας όπου επιτρέπουν την τοποθέτηση μικροσκοπικών δοκών (pillars) ανάμεσα στο micromesh και το ηλεκτρόδιο της ανόδου ώστε η απόσταση μεταξύ τους να διατηρείται σταθερή.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικ 2.7) φαίνεται σχηματικά ο ανιχνευτής micromegas.



Εικ.2.7: Απεικόνιση του εσωτερικού του ανιχνευτή micromegas

2.5.1 Αρχή λειτουργίας του ανιχνευτή Micromegas.

Καθώς το σωματίδιο ή η ακτινοβολία εισέρχεται στον ανιχνευτή θα βρεθεί αρχικά στην περιοχή ολίσθησης (drift region) η οποία έχει μήκος μερικά χιλιοστά (~ 3-5 mm) όπου θα αλληλεπιδράσει ηλεκτρομαγνητικά με τα μόρια του αερίου και θα παραχθούν ζεύγη ηλεκτρονίου-ιόντος. Ο αριθμός των ζευγών που θα παραχθούν είναι ανάλογος της ενέργειας που θα εναποθέσει στην περιοχή ολίσθησης το σωματίδιο ή η ακτινοβολία. Λόγω τής ύπαρξης ηλεκτρικού πεδίου τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα δεν επανασυνδέονται αλλά ολισθαίνουν σε αντίθετες κατευθύνσεις (τα ηλεκτρόνια προς το micromesh και τα ιόντα προς το ηλεκτρόδιο της καθόδου (drift)). Το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή ολίσθησης είναι σχετικά ασθενές (~ 1 kV/cm) ώστε να μην επιτρέπει τον σχηματισμό χιονοστιβάδας αλλά μόνο να εξασφαλίζει ότι τα ηλεκτρόνια δεν θα επανασυνδεθούν με τα ιόντα και ότι αυτά θα ολισθήσουν προς την περιοχή πολλαπλασιασμού. Όταν τα ηλεκτρόνια φτάσουν στο micromesh περνούν στην περιοχή πολλαπλασιασμού το μήκος της οποίας είναι εξαιρετικά μικρότερο σε σύγκριση με την περιοχή ολίσθησης (~ 100 μm) και το πεδίο πολύ

ισχυρότερο (~ 40 kV/cm).

Στην περιοχή πολλαπλασιασμού λόγω της μεγάλης έντασης του πεδίου τα ηλεκτρόνια αποκτούν μεγάλη κινητική ενέργεια με αποτέλεσμα να είναι ικανά να ιονίσουν τα άτομα του αερίου με αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινομένου της χιονοστιβάδας (το οποίο περιγράφεται πιο πάνω).

Τα ιόντα που παράγονται στην περιοχή πολλαπλασιασμού συλλέγονται πολύ γρήγορα από το micromesh ενώ τα ηλεκτρόνια συλλέγονται στην άνοδο η οποία αποτελείται από παράλληλα σύρματα (strips) τα οποία είναι γειωμένα και συνδέονται με τις κάρτες gassiplex ώστε να λαμβάνουμε το σήμα.

Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται η πειραματική διάταξη και τα αποτελέσματα των δεδομένων που λάβαμε από τον ανιχνευτή.

Κεφάλαιο 3^ο

3.1 Προσομοίωση Ηλεκτρικού Πεδίου του Ανιχνευτή

3.1.1 Προσομοίωση με το Πρόγραμμα Ansys

Το πρόγραμμα προσομοίωσης Ansys είναι ένα από τα πλέον αξιόπιστα προγράμματα για προσομοιώσεις που διατίθενται στην αγορά. Το πρόγραμμα αυτό μας παρέχει λύσεις με υπολογιστικές μεθόδους για την δομή που επιθυμούμε. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να γνωρίζουμε με ακρίβεια την κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα προσομοίωσης είναι η γνωστή μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Η μέθοδος αυτή μας παρέχει την δυνατότητα να να αποκτήσουμε λύσεις σε ένα πρόβλημα μερικών διαφορικών εξισώσεων όταν είναι γνωστές οι συνοριακές συνθήκες. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατάτμηση του αντικειμένου το οποίο πρόκειται να προσομοιωθεί σε μικρότερα μέρη τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με καθορισμένα σύνορα. Ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του αντικειμένου που προσομοιώνεται είναι και ο αριθμός των μερών στα οποία διαιρείται. Η μέθοδος βασίζεται στην υπολογιστική επίλυση των εξισώσεων που διέπουν το πρόβλημα σε κάθε μια υποδιαίρεση και τέλος στην ενοποίηση των επιμέρους τμημάτων ώστε να αποκτήσουμε την τελική λύση του προβλήματος.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων και ειδικότερα η κατάτμηση της πολύπλοκης γεωμετρίας του προβλήματος σε μικρότερα μέρη μας δίνει την δυνατότητα να προσομοιώσουμε πολύπλοκες γεωμετρίες και να έχουμε ακριβείς λύσεις για υλικά με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Το πρόγραμμα Ansys χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιωθεί το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του ανιχνευτή micromegas. Στις προσομοιώσεις αυτές έγινε προσπάθεια ώστε να αποδοθεί το εσωτερικό του ανιχνευτή με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Επίσης δημιουργήθηκαν μοντέλα του εσωτερικού του ανιχνευτή με διαφορετικές διαστάσεις ώστε να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της τελικής προσομοίωσης με το πρόγραμμα Garfield.

Η πρώτη προσομοίωση με το πρόγραμμα Ansys είναι το εσωτερικό του ανιχνευτή χωρίς να προσθέσουμε στην προσομοίωση μονωτικό υλικό στην επιφάνεια των strips. Επειδή δεν χρησιμοποιήθηκε μονωτικό υλικό, γεγονός που θα καθιστούσε πολύπλοκο το εσωτερικό του ανιχνευτή, αυτή η προσομοίωση είναι η μεγαλύτερη (σε χωρικές διαστάσεις) που δημιουργήσαμε.

Οι διαστάσεις της προσομοίωσης είναι οι ακόλουθες (σε μm):

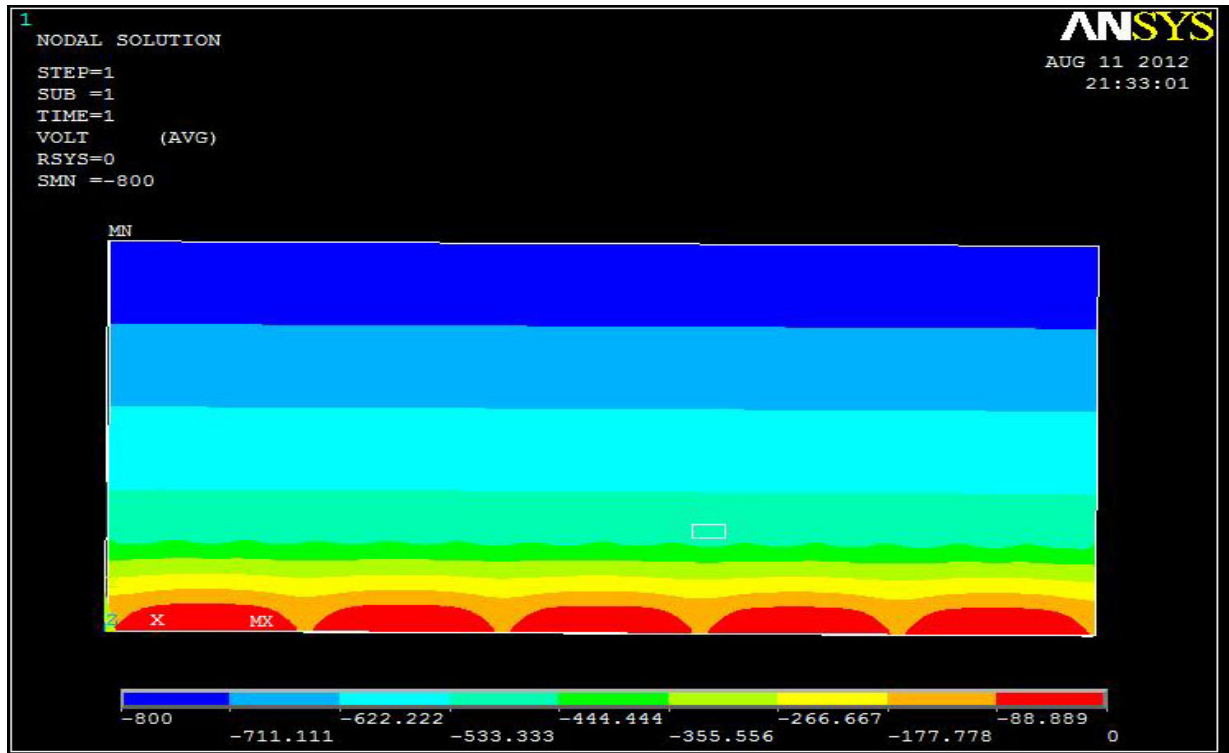
άξονας x : 1250 μm

y : 600 μm

z : 300 μm

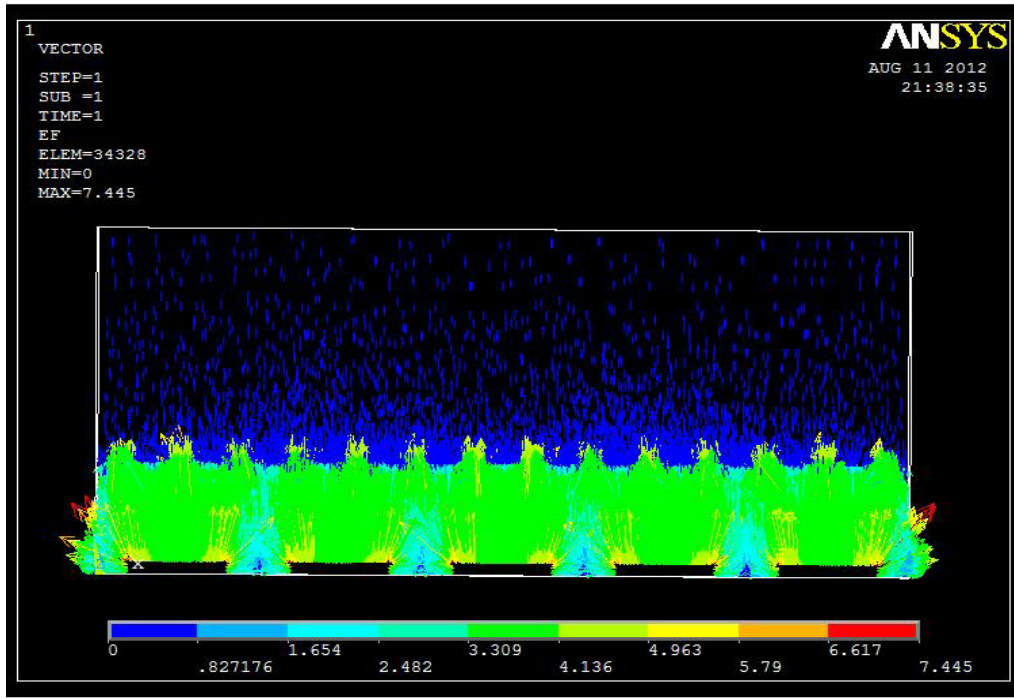
Στη συγκεκριμένη προσομοίωση έχουμε χρησιμοποιήσει πέντε strips τα οποία έχουν μήκος 150 μm και χωρίζονται από 100 μm κενού χώρου.

Οι χάρτες του ηλεκτρικού πεδίου για την συγκεκριμένη προσομοίωση είναι οι παρακάτω:



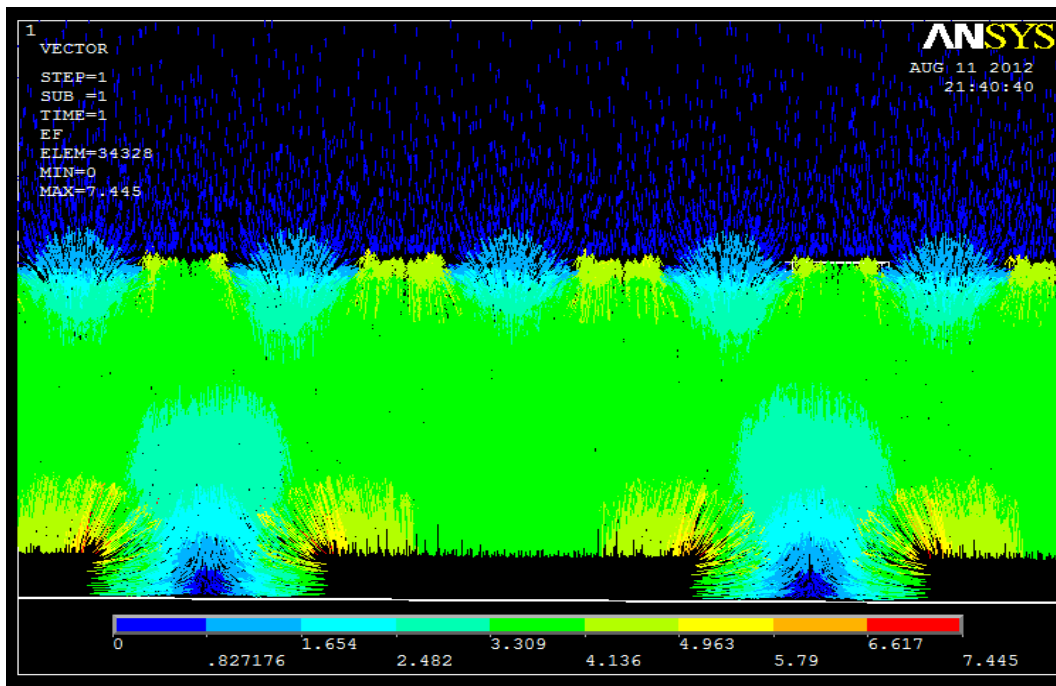
Εικ 3.1: Αποτελέσματα για το ηλεκτρικό δυναμικό στο εσωτερικό του ανιχνευτή

Παρακάτω παρουσιάζουμε την διανυσματική απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή.



Εικ 3.2: Ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του ανιχνευτή

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το εσωτερικό του ανιχνευτή με περισσότερη λεπτομέρεια.



Εικ 3.3: Διανυσματική απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή σε μεγέθυνση.

Μετά από αυτή την σχετικά απλή προσομοίωση το ανιχνευτή micromegas δημιουργήσαμε μια νέα προσομοίωση του ανιχνευτή. Η διαφορά του νέου ανιχνευτή έγκειται στην χρησιμοποίηση μονωτικού υλικού και δύο σειρές με strips στο κάτω μέρος της περιοχής πολλαπλασιασμοί. Η εισαγωγή των επιμέρους μερών στην προσομοίωση καθιστούν τον δυαδικό αρχείο που περιέχει τις πληροφορίες για το πεδίο αρκετά μεγάλο και γιαυτό τον λόγο δημιουργήσαμε μικρότερες προσομοιώσεις του ανιχνευτή.

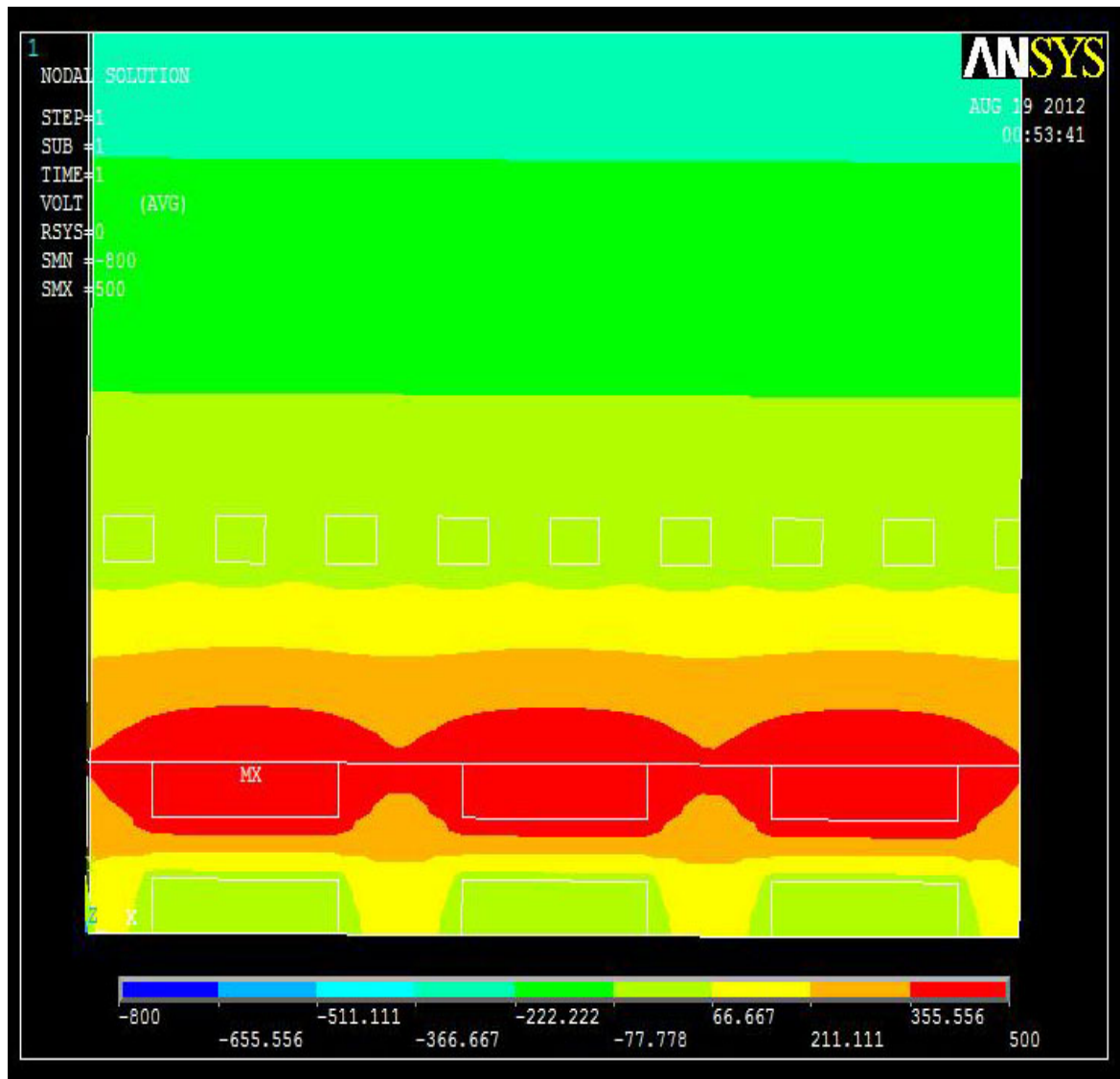
Στην παρακάτω προσομοίωση οι διαστάσεις είναι οι ακόλουθες:

άξονας x : 750 μm
 y : 1100 μm
 z : 100 μm

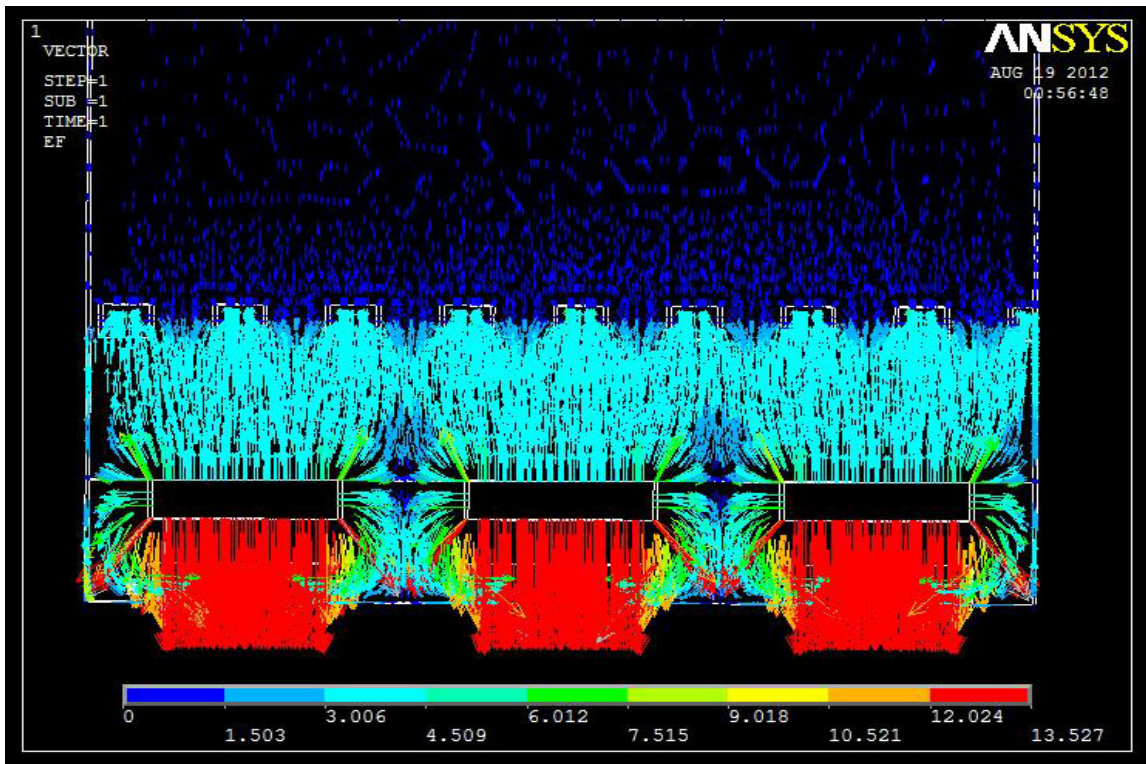
Έχουμε (όπως αναφέραμε παραπάνω δυο σειρές με strips) τα resistive strips έχουν δυναμικό 500 V ενώ τα strips ακριβώς από κάτω είναι γειωμένα. Το mesh είναι επίσης γειωμένο.

Στην παρακάτω προσομοίωση τα strips έχουν μήκος 150 μm ύψος 35 μm και τα resistive strips χωρίζονται από τα μεταλλικά strips (στην βάση του ανιχνευτή) με απόσταση 40 μm .

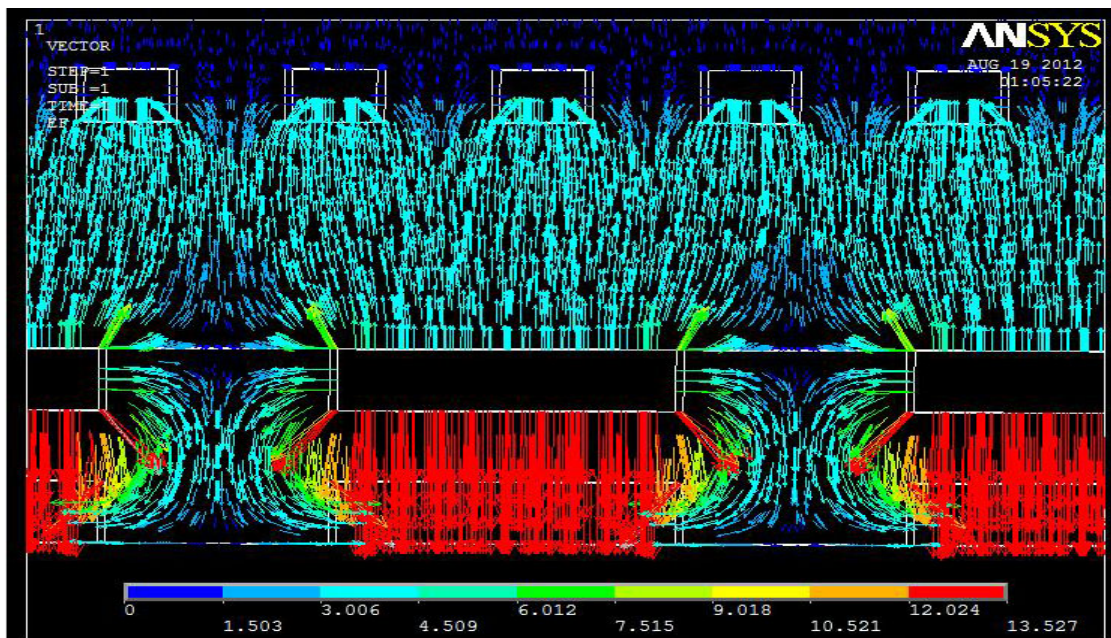
Παρακάτω βλέπουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.



Εικ 3.4: Ηλεκτρικό δυναμικό στο εσωτερικό του ανιχνευτής.



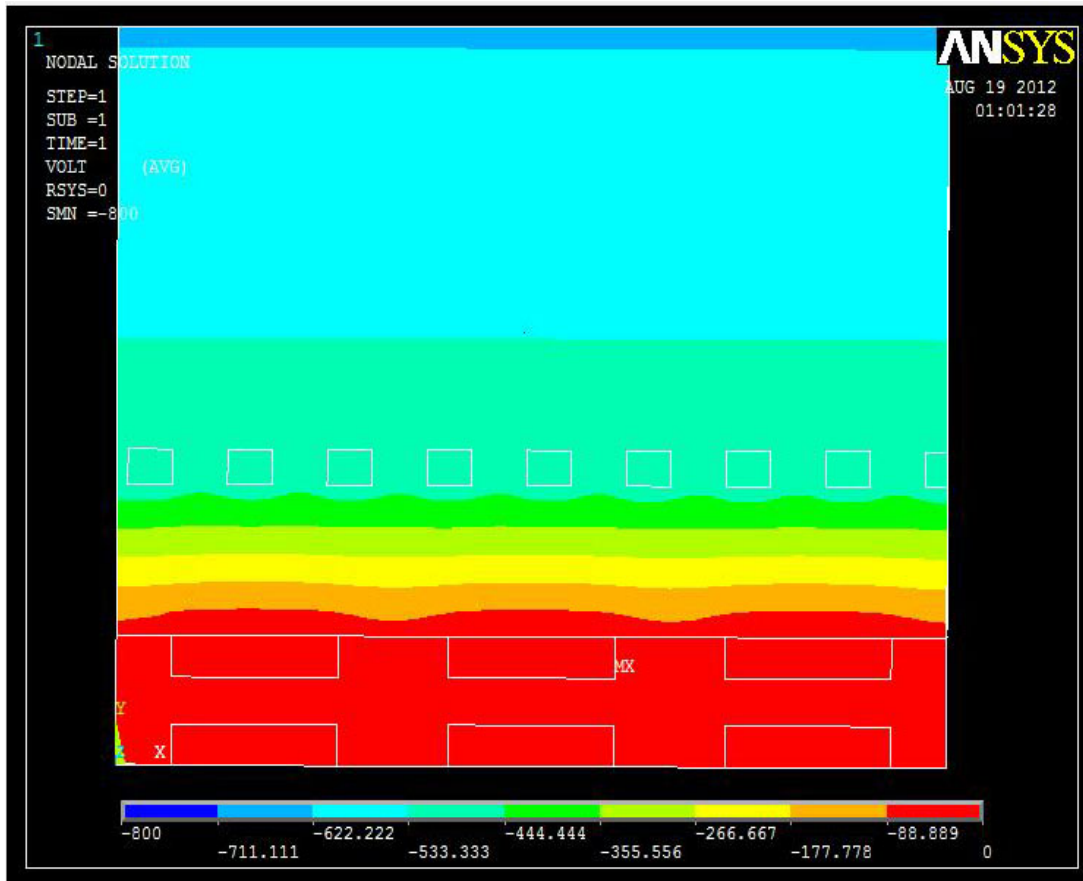
Εικ 3.5: Διανυσματική απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή.



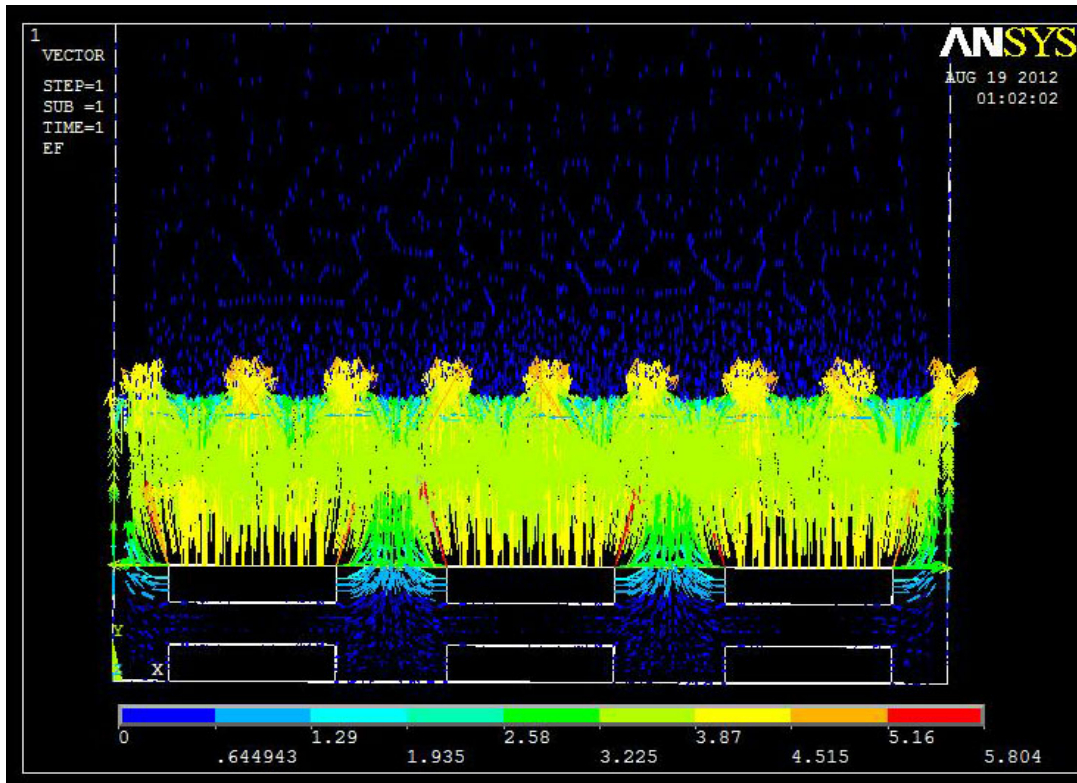
Εικ 3.6: Λεπτομέρεια του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή.

Στην επόμενη προσομοίωση έχουμε χρησιμοποιήσει το ίδιο εσωτερικό με την προηγούμενη με μόνη διαφοροποίηση το ηλεκτρικό δυναμικό στο mesh και στα strips.

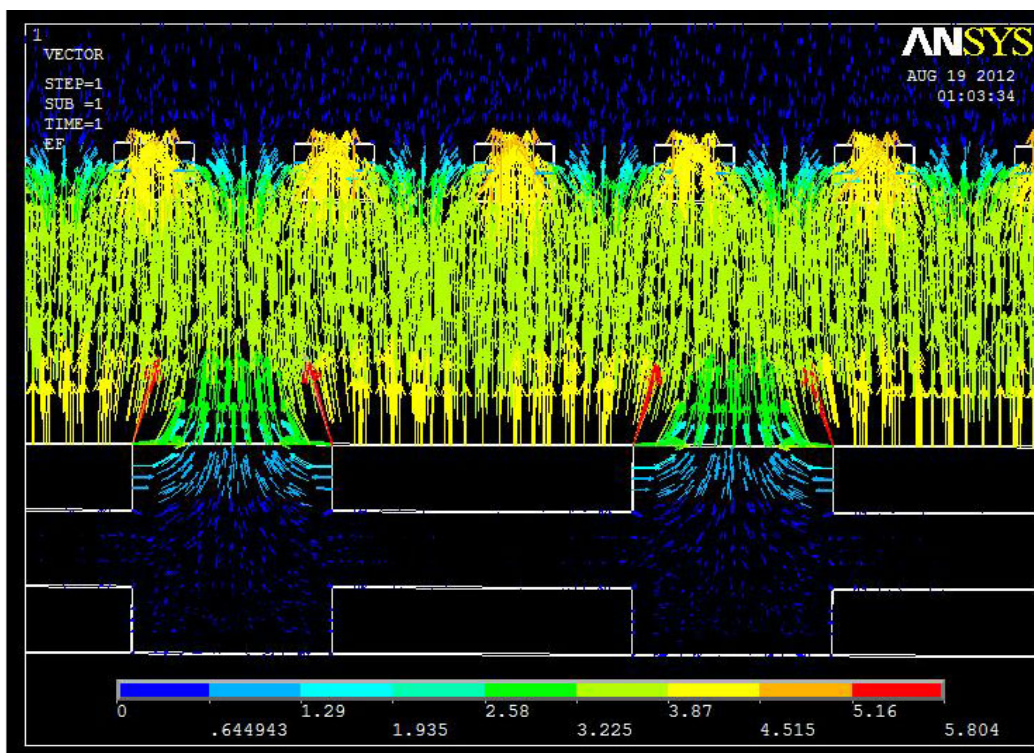
Με αυτά τα δεδομένα έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα για το ηλεκτρικό πεδίο και το ηλεκτρικό δυναμικό στο εσωτερικό του ανιχνευτή.



Εικ 3.7: Ηλεκτρικό δυναμικό στο εσωτερικό του ανιχνευτή με τα strips γειωμένα και το mesh σε δυναμικό -500 V.



Εικ 3.8: Διανυσματική απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή.



Εικ 3.9: Λεπτομέρεια του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή.

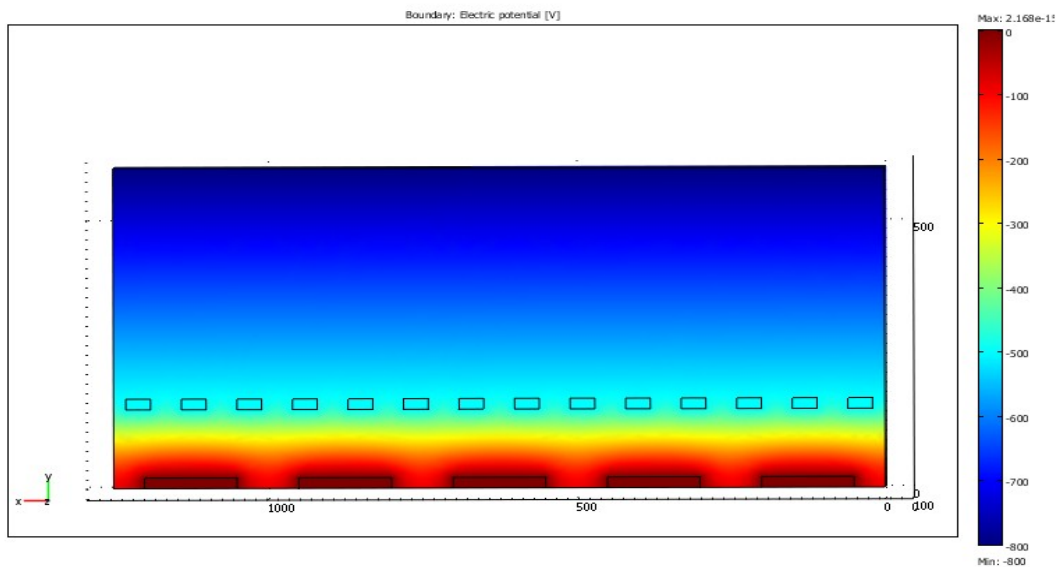
3.1.2 Προσομοίωση με το πρόγραμμα Femlab.

Για την προσομοίωση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή χρησιμοποιήθηκε επίσης και το πρόγραμμα FEMLAB ώστε να έχουμε ακριβέστερα αποτελέσματα. Το πρόγραμμα FEMLAB βασίζεται επίσης στην μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και μας παρέχει υπολογιστικές λύσεις σε προβλήματα μερικών διαφορικών εξισώσεων με συγκεκριμένες συνοριακές τιμές.

Στο πρόγραμμα FEMLAB έγινε προσομοίωση του ηλεκτρικού πεδίου σε ανιχνευτή χωρίς resistive υλικό στο εσωτερικό ώστε να δούμε την διαφορά στην συμπεριφορά των δυο προσομοιώσεων.

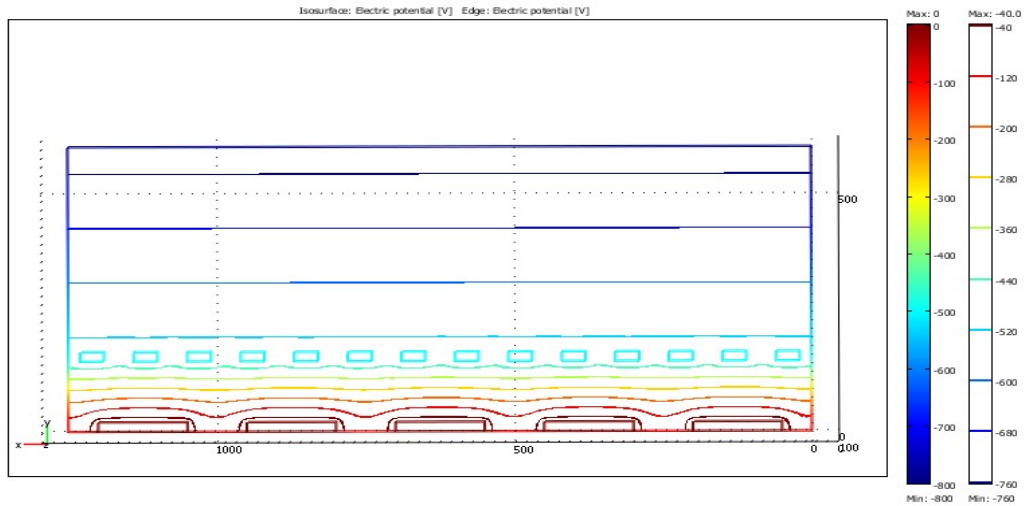
Στην παρακάτω προσομοίωση το εσωτερικό του ανιχνευτή είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με τις προσομοιώσεις στο πρόγραμμα ANSYS. Ο λόγος για την αυτή την διαφορά στο μέγεθος της προσομοίωσης είναι το γεγονός ότι οι παρακάτω προσομοιώσεις είναι σχετικά πιο απλές και αν και οι διαστάσεις είναι μεγαλύτερες ο τελικός δυαδικός χάρτης του ηλεκτρικού πεδίου είναι σχετικά περιορισμένος.

Η παρακάτω προσομοίωση περιέχει 5 strips και 14 μέρη του mesh. Παραθέτουμε σε σειρά τα αποτελέσματα του προγράμματος FEMLAB για το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό της προσομοίωσης.

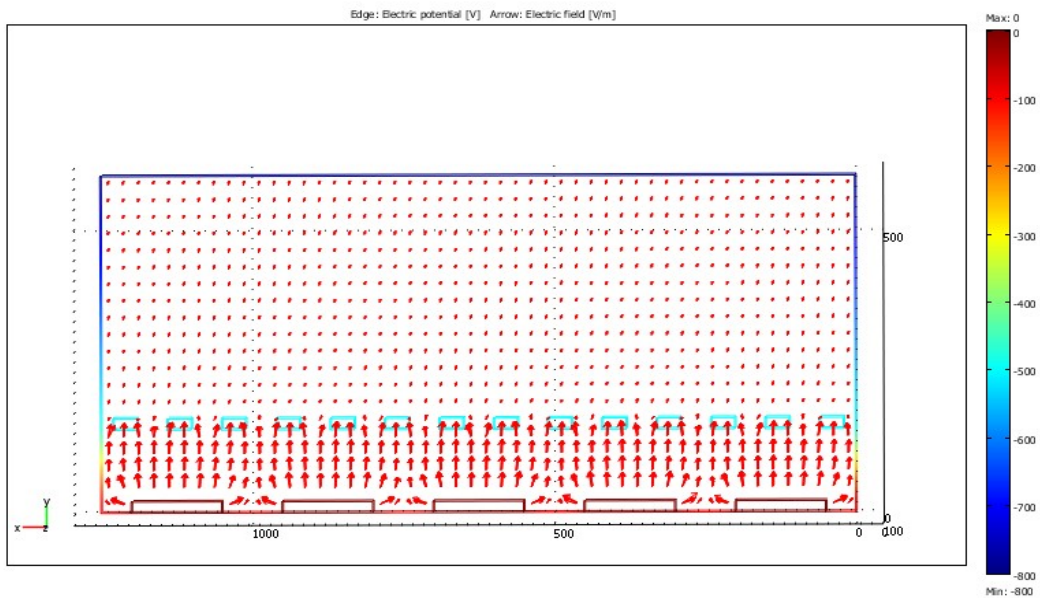


Εικ 3.10: Ηλεκτρικό δυαμικό στο εσωτερικό του ανιχνευτή.

Στην παραπάνω προσωμοίωση το δυναμικό των strips του ανιχνευτή βρίσκεται στα 0 V και το δυναμικό στο mesh βρίσκεται στα -500 V.
Η κορυφή της προσωμοίωσης (στην οποία βρίσκεται το ηλεκτρόδιο του drift) είναι σε δυναμικό -800 V.



Εικ 3.11: Διάγραμμα ισοδυναμικών επιφανειών στο εσωτερικό της προσωμοίωσης.



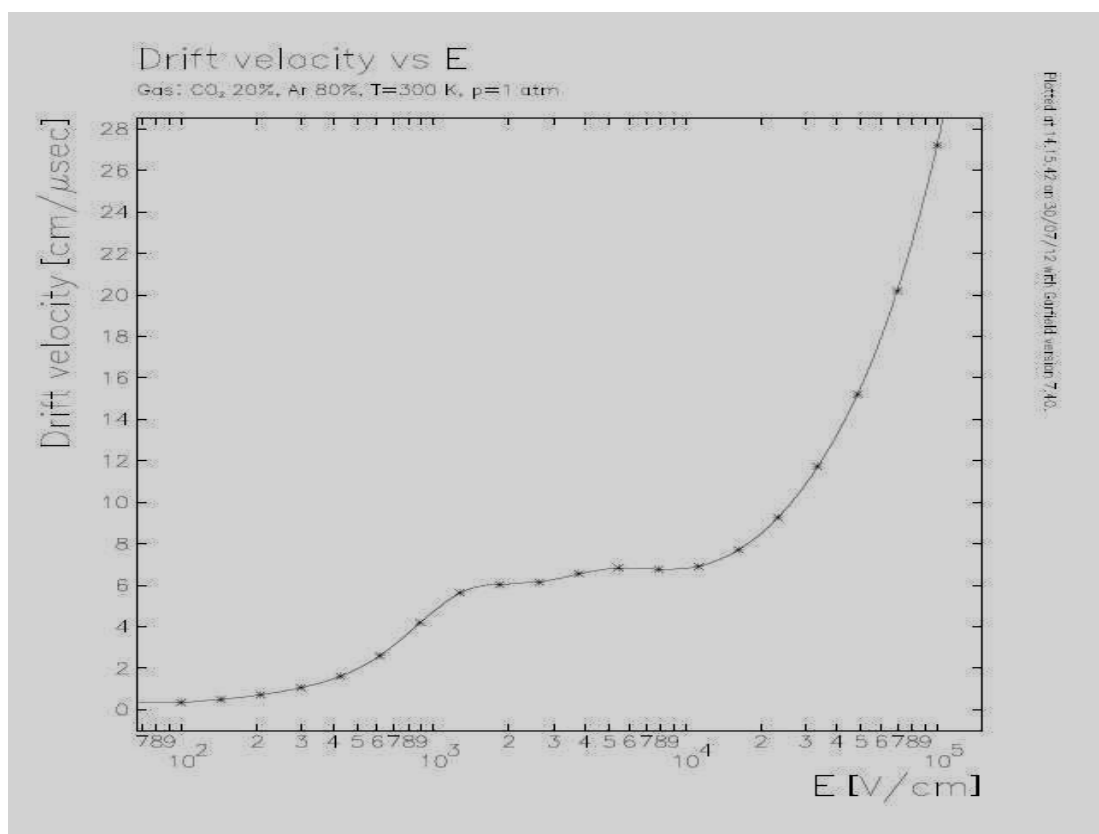
Εικ 3.12: Διανυσματική αναπαράσταση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό της προσομοίωσης

Κεφάλαιο 4°

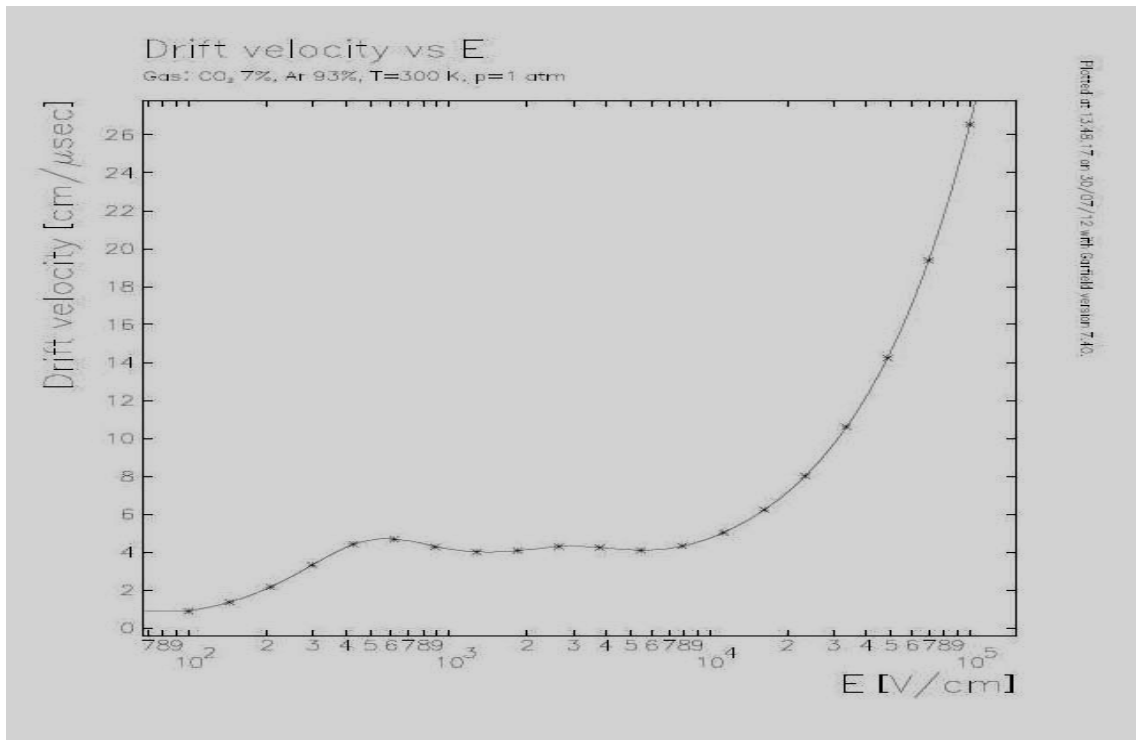
4.1 Εισαγωγή του ηλεκτρικού πεδίου στο πρόγραμμα Garfield και αποτελέσματα την συμπεριφορά του ανιχνευτή.

4.1.1 Προσομοίωση Αερίων.

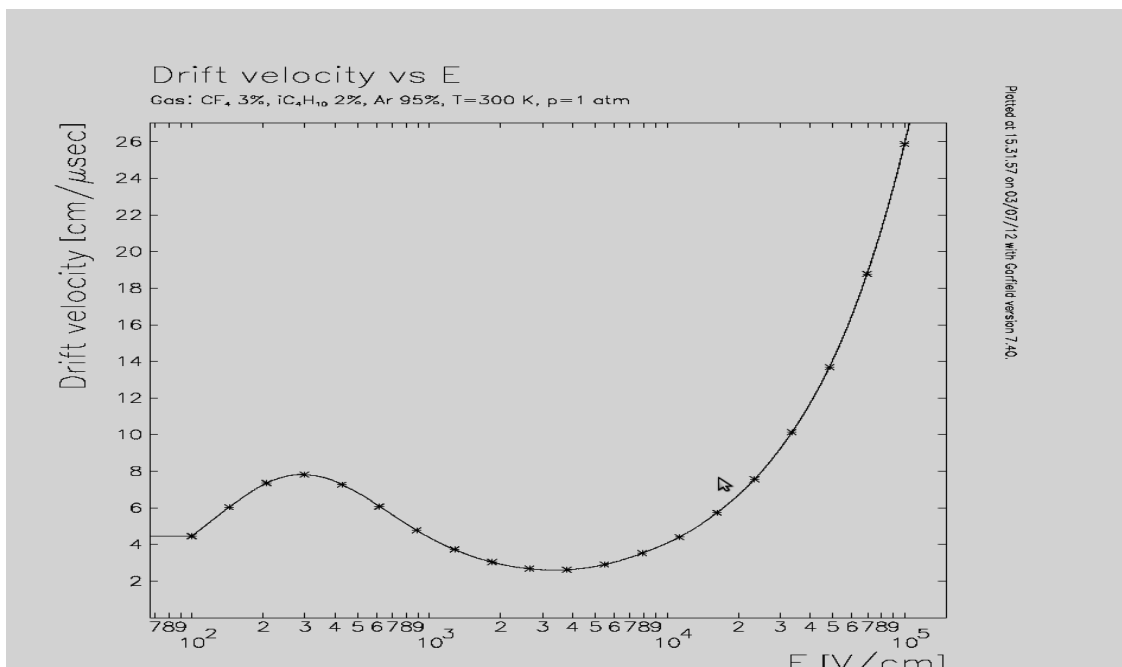
Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα το προγράμματος Garfield. Αρχικά έχουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα μίγματα αερίων που θα χρησιμοποιηθούν τα οποία είναι : Ar 80% CO₂ 20%, Ar 93% CO₂ 7%, Ar 95% Isobutane 2% CF₄ 3% και Ar 95% Isobutane 5%. Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν την ταχύτητα ολίσθησης ως συνάρτηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και έχουν παραχθεί με το πρόγραμμα Garfield μέσω της ρουτίνας GAS και του προγράμματος Magboltz.



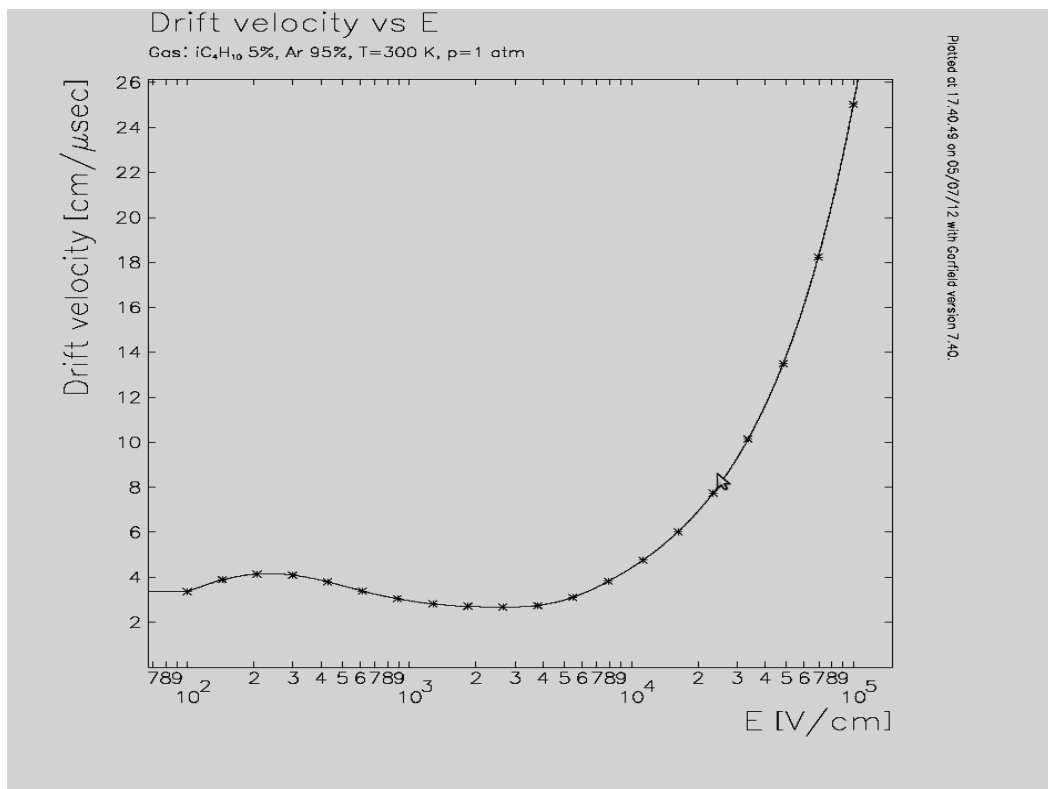
Εικ 4.1: Ταχύτητα ολίσθησης για αέριο Ar 80% CO₂ 20%



Εικ 4.2: Ταχύτητα ολίσθησης για αέριο Ar 93% CO₂ 7%



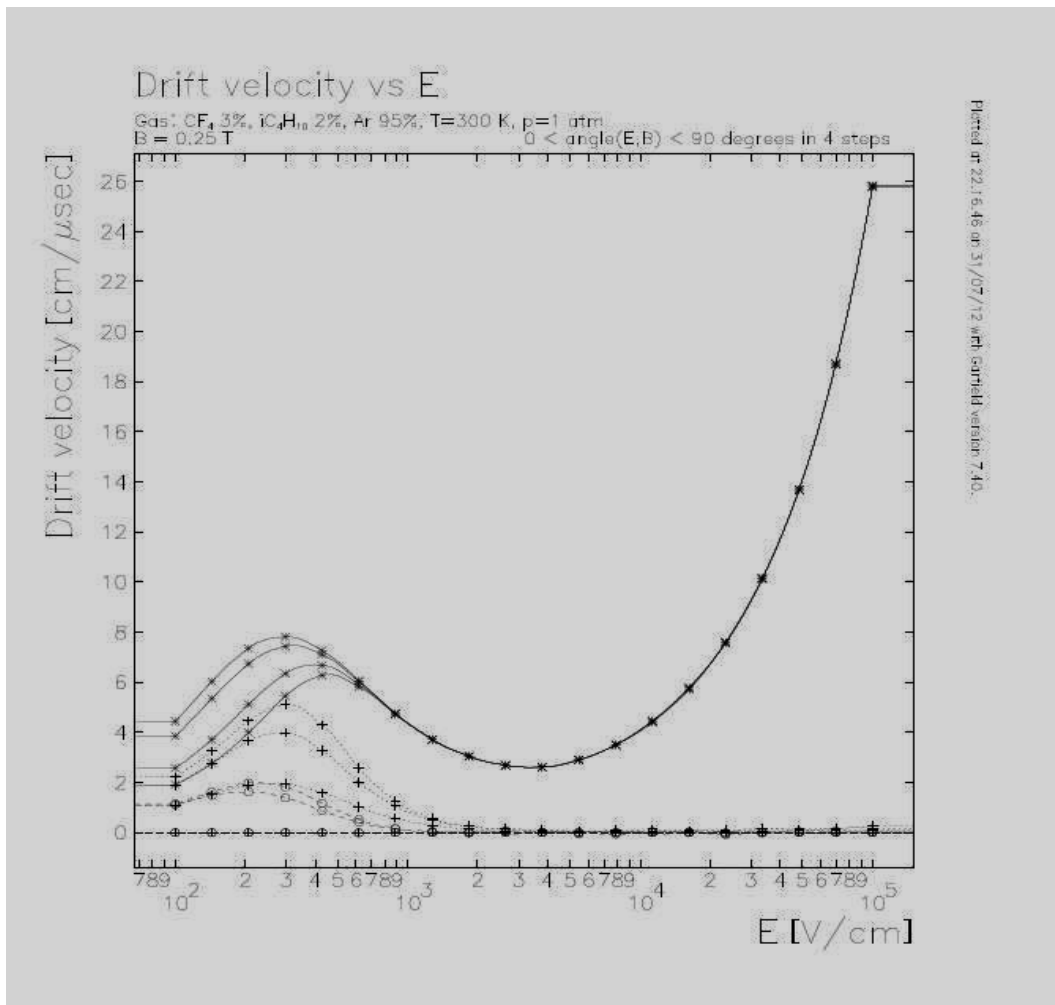
Εικ 4.3: Ταχύτητα ολίσθησης για αέριο Ar 95% Isobutane 2% and CF₄ 3%



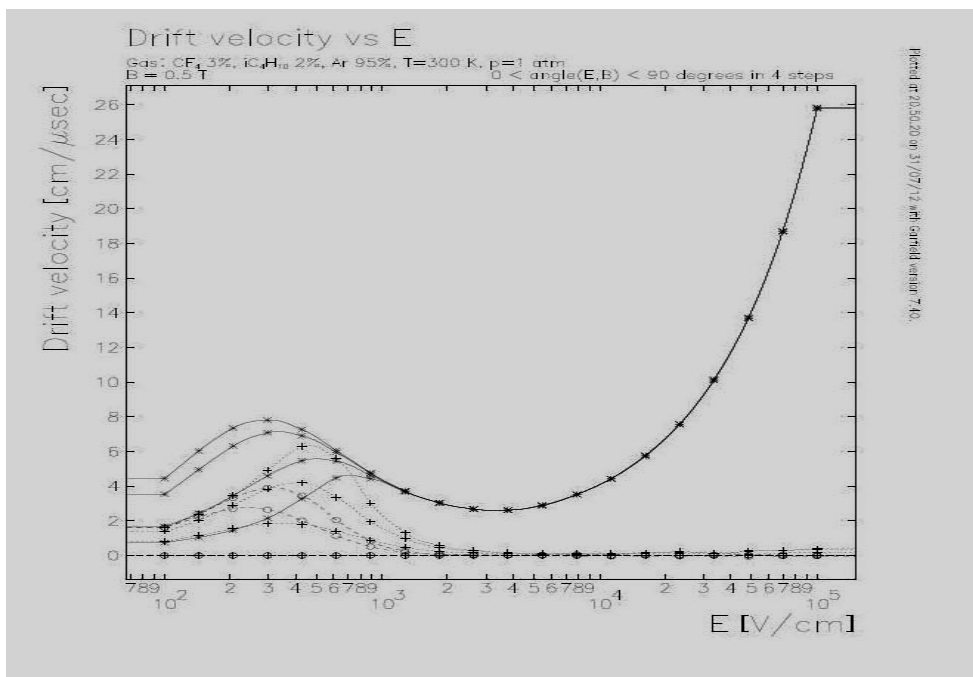
Εικ 4.4: Ταχύτητα ολίσθησης για αέριο Ar 95% Isobutane 5%

4.1.2 Προσομοίωση με παρουσία μαγνητικού πεδίου

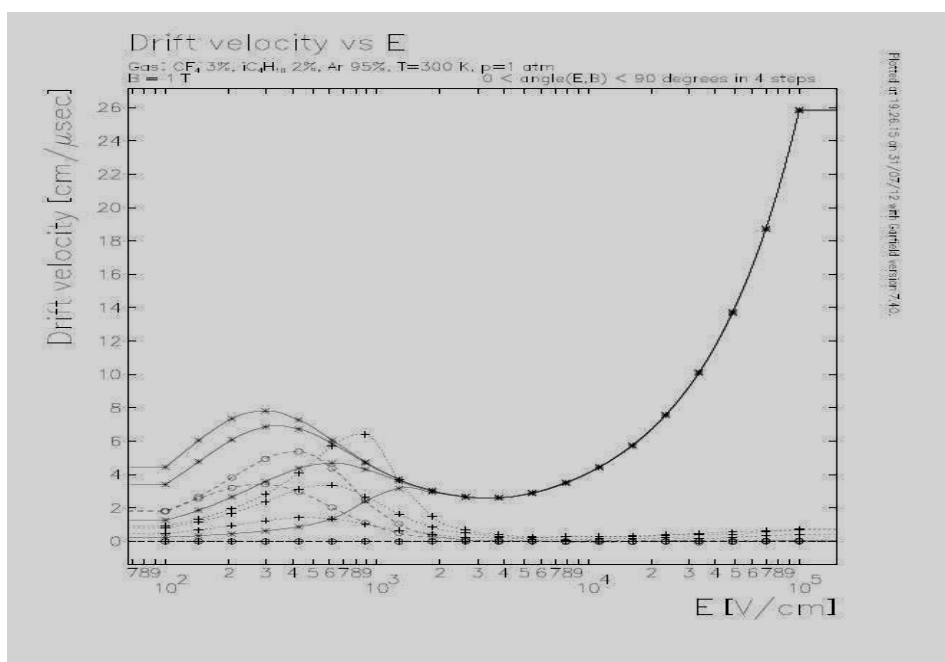
Το πρόγραμμα Magboltz μας δίνει την δυνατότητα να υπολογίσουμε την ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων ως συνάρτηση του ηλεκτρικού πεδίου με την ταυτόχρονη παρουσία μαγνητικού πεδίου. Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν τα αποτελέσματα αυτών των προσομοιώσεων για μίγμα αερίων Αργό 95% Ισοβουτάνιο 3% και CF₄ 3%. Όλες οι προσομοιώσεις έγιναν για αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση και μαγνητικό πεδίο 0.25, 0.5 και 1 Tesla.



Εικ 4.5: Μίγμα αερίων σε μαγνητικό πεδίο 0.25 T. Το πρόγραμμα Garfield υπολογίζει την ταχύτητα ολίσθησης για 4 διαφορετικές γωνίες του ηλεκτρικού με το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του ανιχνευτή.



Εικ 4.6: Ταχύτητα ολίσθησης για μίγμα αερίων σε μαγνητικό πεδίο 0.5 T υπολογισμένο για 4 διαφορετικές γωνίες μεταξύ ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου.



Εικ 4.7: Ταχύτητα ολίσθησης για μίγμα αερίων σε μαγνητικό πεδίο 1 T υπολογισμένο για 4 διαφορετικές γωνίες μεταξύ ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου.

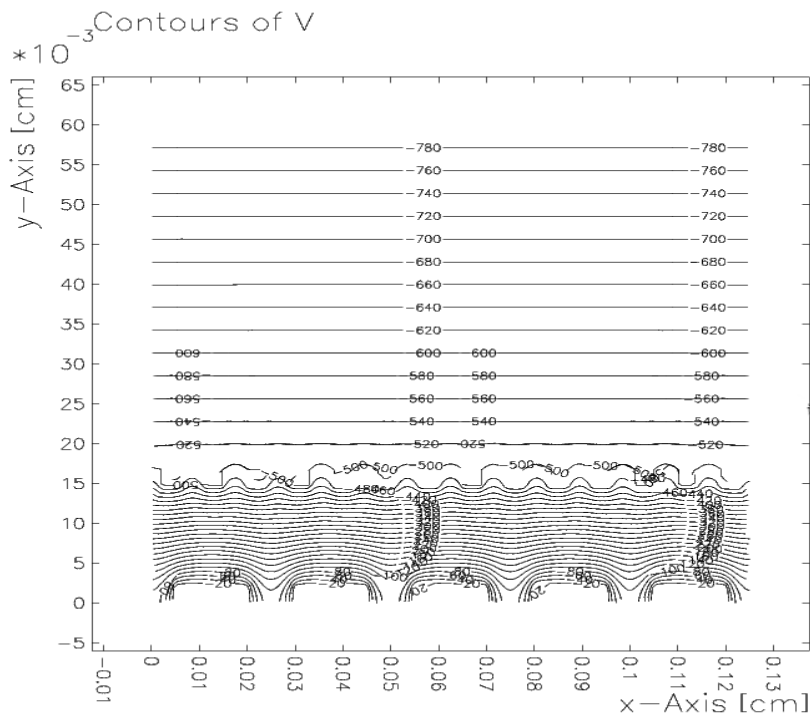
4.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

4.2.1 Αποτελέσματα για ανιχνευτές χωρίς resistive strips

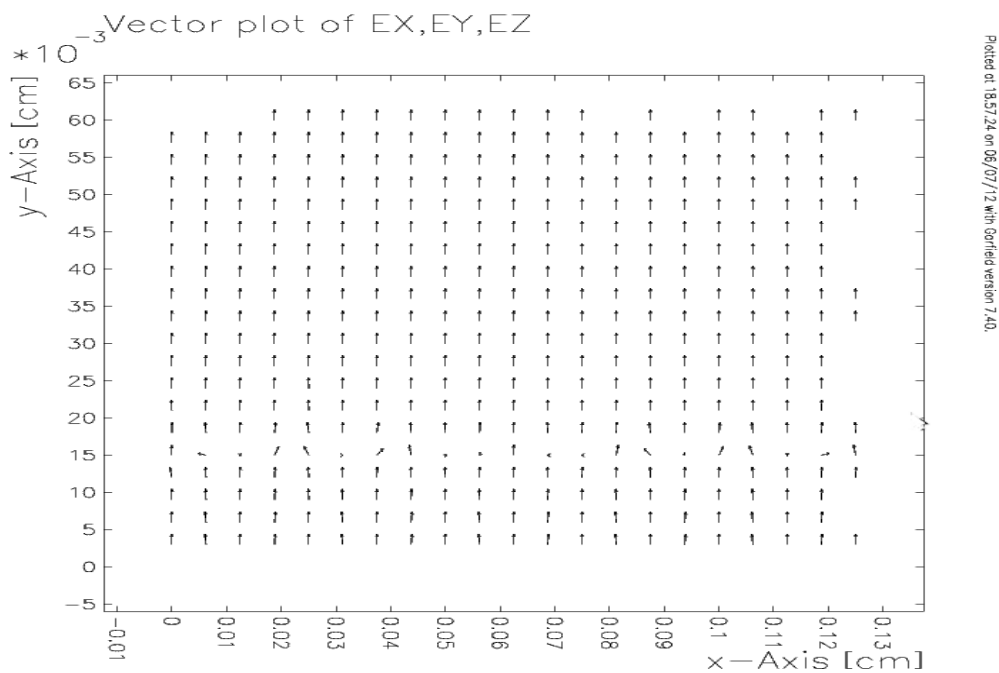
Στη συνέχεια θα παραθέσουμε τα αποτελέσματα που μας έδωσε το πρόγραμμα Garfield για τους χάρτες πεδίου που εισάγαμε από τα προγράμματα προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν.

Αρχικά παραθέτουμε τους χάρτες του ηλεκτρικού πεδίου για την προσομοίωση του ανιχνευτή χωρίς resistive strips (το ηλεκτρικό πεδίο έχει εισαχθεί στο πρόγραμμα Garfield από τα προγράμματα ANSYS και FemLab). Το Garfield μας δίνει τον χάρτη του πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή σε δύο διαφορετικά layouts. Αρχικά παραθέτουμε το διάγραμμα με το περίγραμμα (contour) του πεδίου όπου φαίνονται οι ισοδυναμικές επιφάνειες στο εσωτερικό της προσομοίωσης και στην συνέχεια παραθέτουμε το διάγραμμα με την διανυσματική απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου.

Τα διαγράμματα φαίνονται παρακάτω.

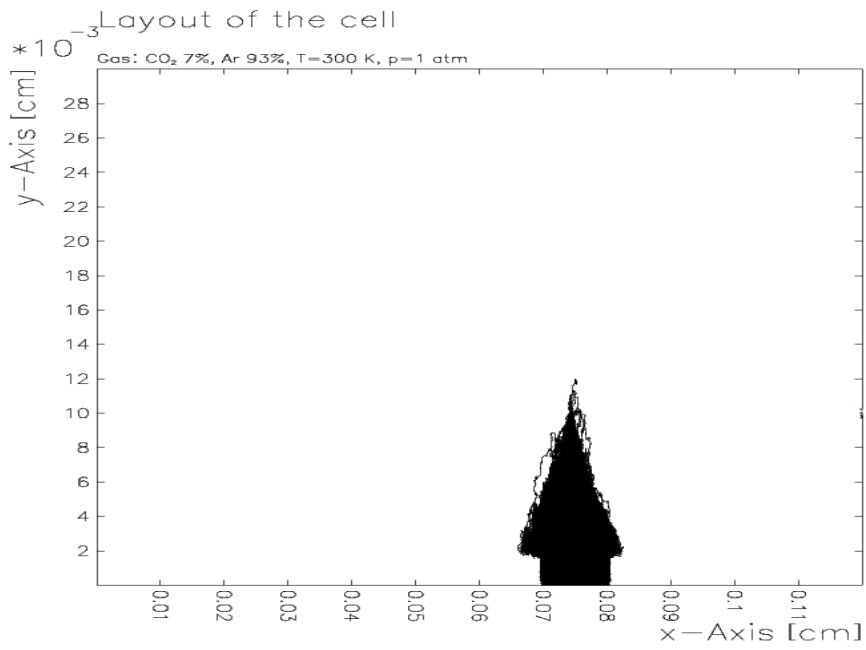


Εικ 4.8: Contour plot από το Garfield για το ηλεκτρικό πεδίο που έχουμε εισαγάγει

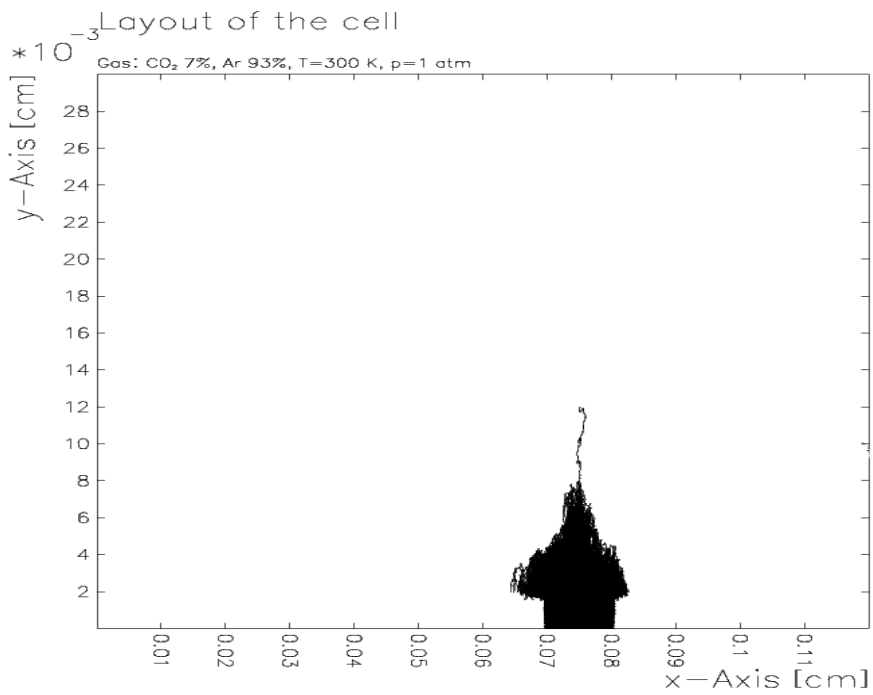


Εικ 4.9: Διανυσματική απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή

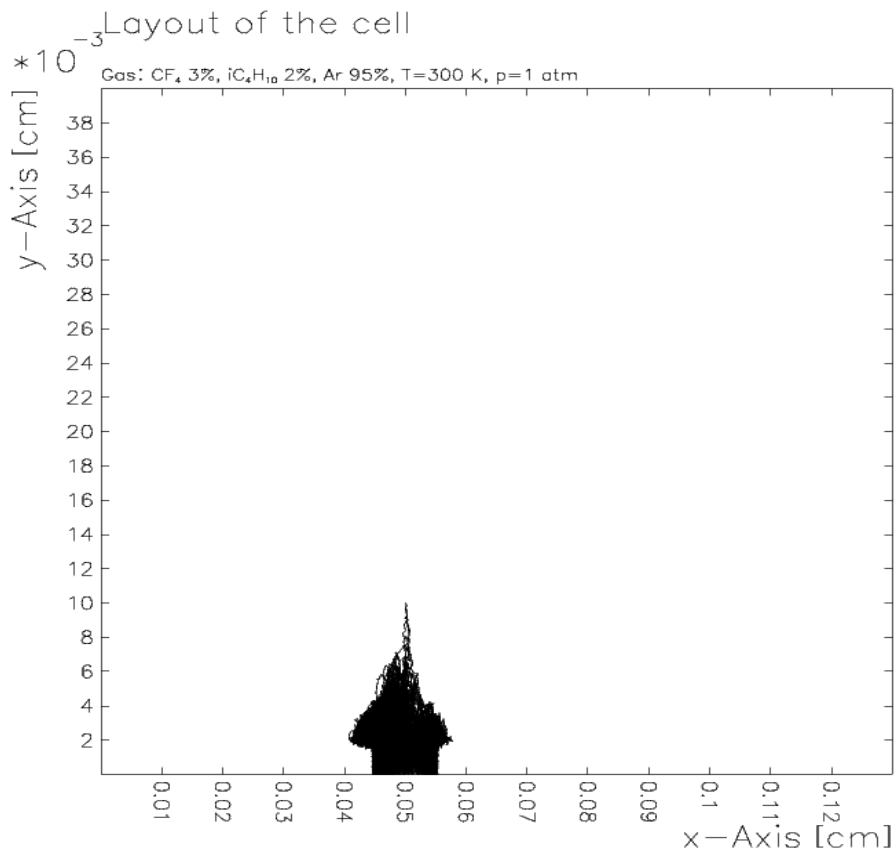
Για την παραπάνω προσομοίωση χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Garfield για να προσομοιώσουμε καταιγισμούς (avalanches) στο εσωτερικό του ανιχνευτή ώστε να δούμε την συμπεριφορά των ηλεκτρονίων κατά τον καταιγισμό. Για τον σκοπό αυτό ορίσαμε το αέριο του ανιχνευτή να είναι Ar 93 % CO₂ 7 % και για κάθε run τοποθετήσαμε το αρχικό ηλεκτρόνιο σε προκαθορισμένες θέσεις στο εσωτερικό του ανιχνευτή. Παρακάτω παρουσιάζουμε ορισμένα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Εικ 4.10: Ηλεκτρονικός καταιγισμός στο εσωτερικό του ανιχνευτή



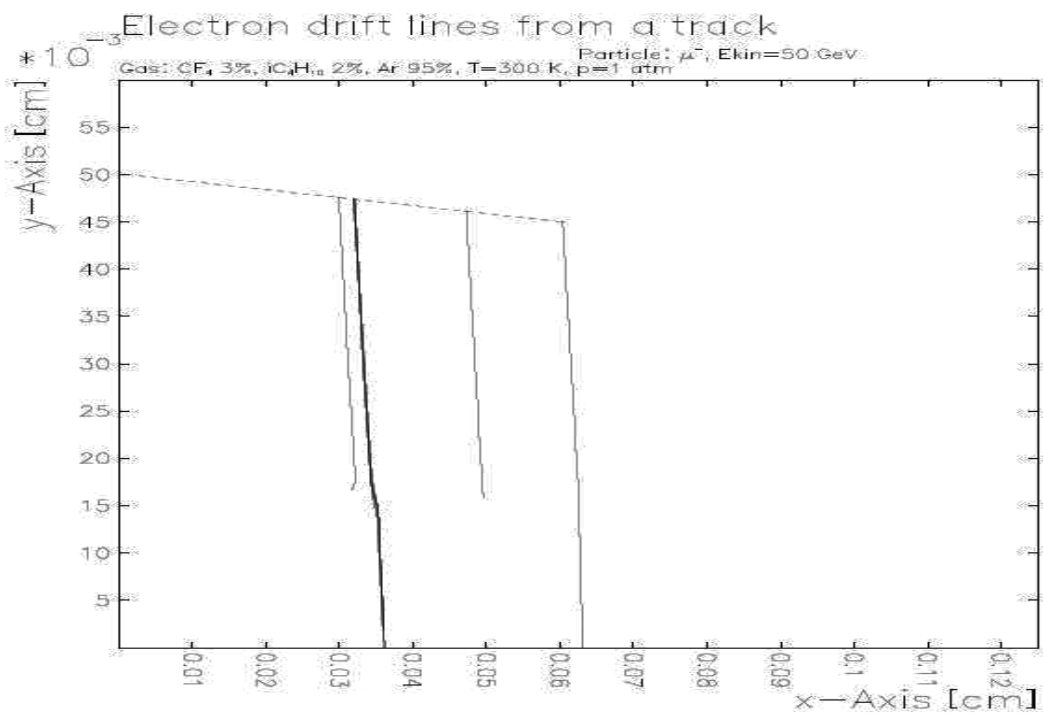
Εικ 4.11: Καταιγισμός στο εσωτερικό του ανιχνευτή



Plotted at 19.01.51 on 27/07/12 with Garfield version 7.40.

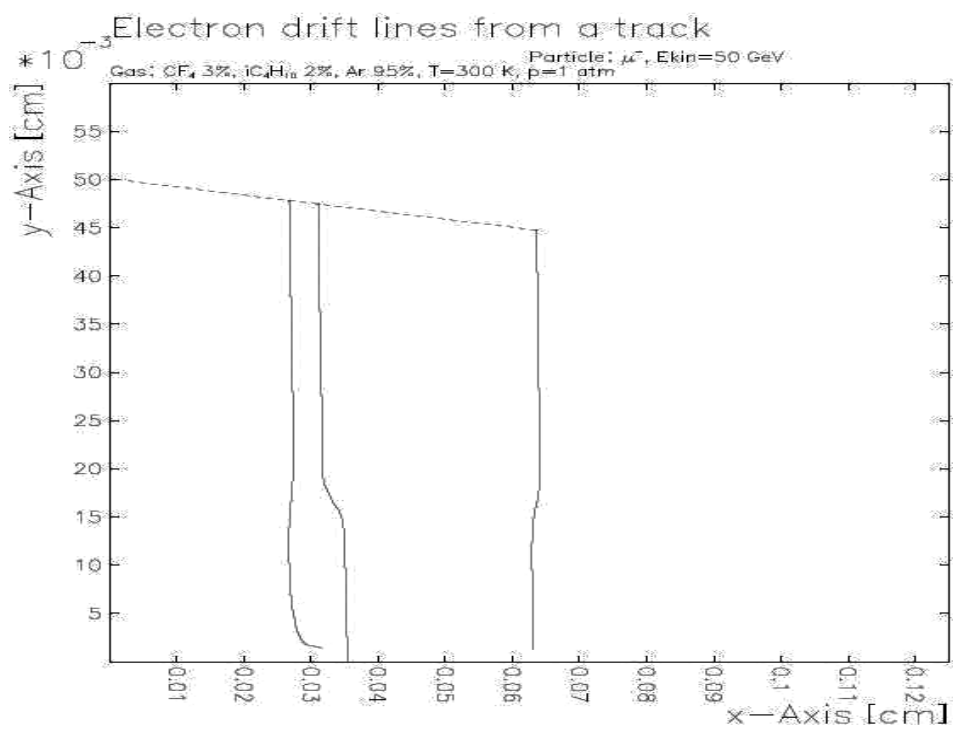
Εικ 4.12: Καταιγισμός στο εσωτερικό του ανιχνευτή

Στην επόμενη προσομοίωση έγινε προσπάθεια να δούμε τους αρχικούς ιονισμούς στο εσωτερικό του ανιχνευτή. Για τον σκοπό αυτό το σωματίδιο το οποίο εισέρχεται στον ανιχνευτή είναι μίονιο με ενέργεια 50 GeV. Η τροχιά του σωματιδίου (την οποία και προκαθορίσαμε) είναι παράλληλη προς τα strips του ανιχνευτή. Το αέριο στο εσωτερικό του ανιχνευτή για αυτή την προσομοίωση είναι CF_4 3% Ισοβθτανε 2 % Ar 95 % Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.



Plotted at 19/27/14 on 31/07/12 with Garfield version 7.403

Εικ 4.13: Αρχικοί ιονισμοί στο εσωτερικό του ανιχνευτή



Plotted at 22/17/14 on 31/07/12 with Garfield version 7.403

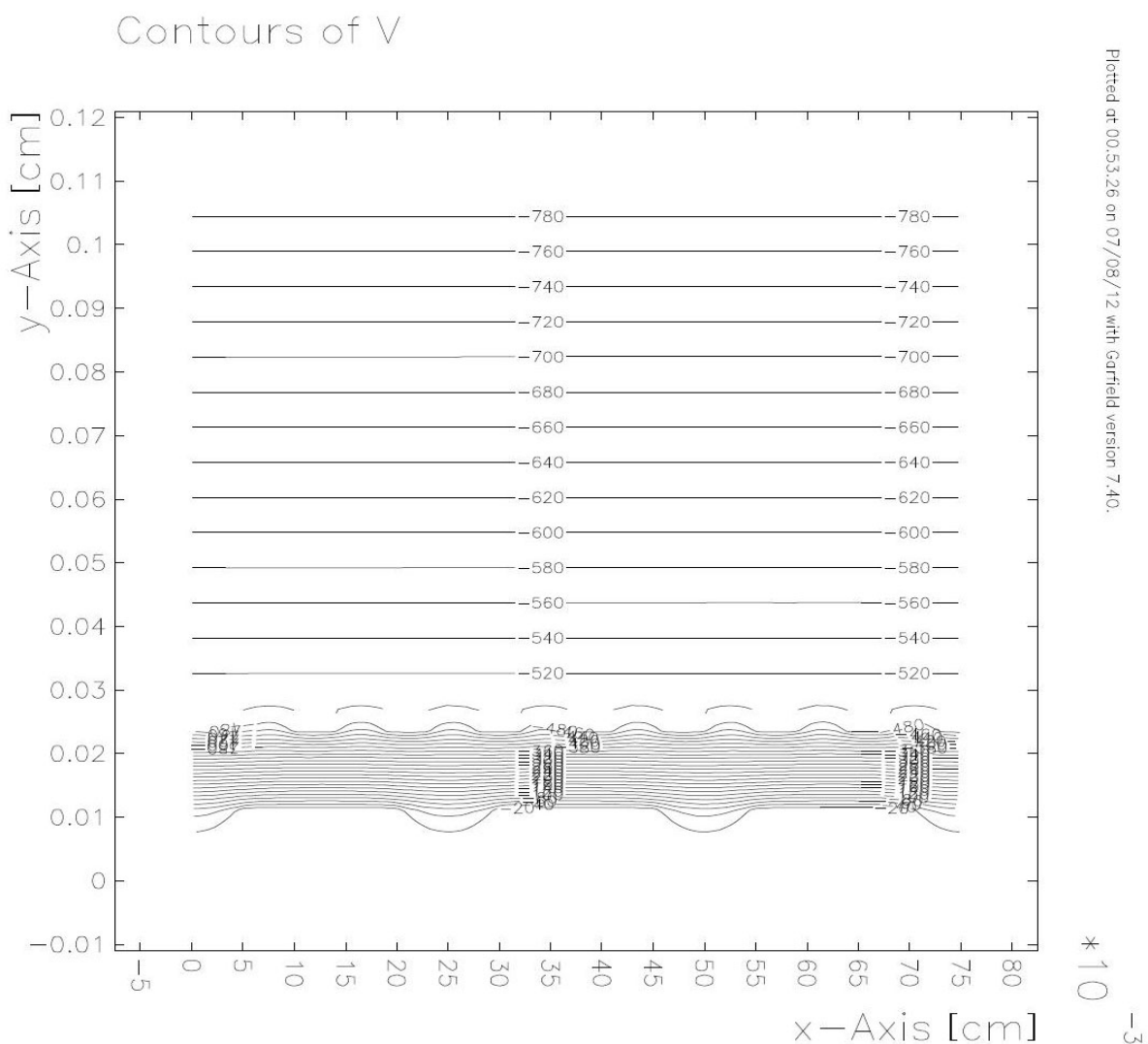
Εικ 4.14: Αρχικοί ιονισμοί στο εσωτερικό του ανιχνευτής

4.2.2 Ανιχνευτές με Resistive Strips

Σε αυτή την ενότητα της εργασίας θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του ανιχνευτή micromegas με resistive strips. Η βασική διαφοροποίηση από την προηγούμενη προσομοίωση βρίσκεται στον χώρο των strips όπου έχει τοποθετηθεί μια ακόμα σειρά με strips τα οποία κατασκευάστηκαν από resistive material. Τα αποτελέσματα για το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό αυτού του ανιχνευτή τα παρουσιάσαμε παραπάνω. Εδώ θα δούμε τα αποτελέσματα του προγράμματος Garfield για τα παραπάνω πεδία.

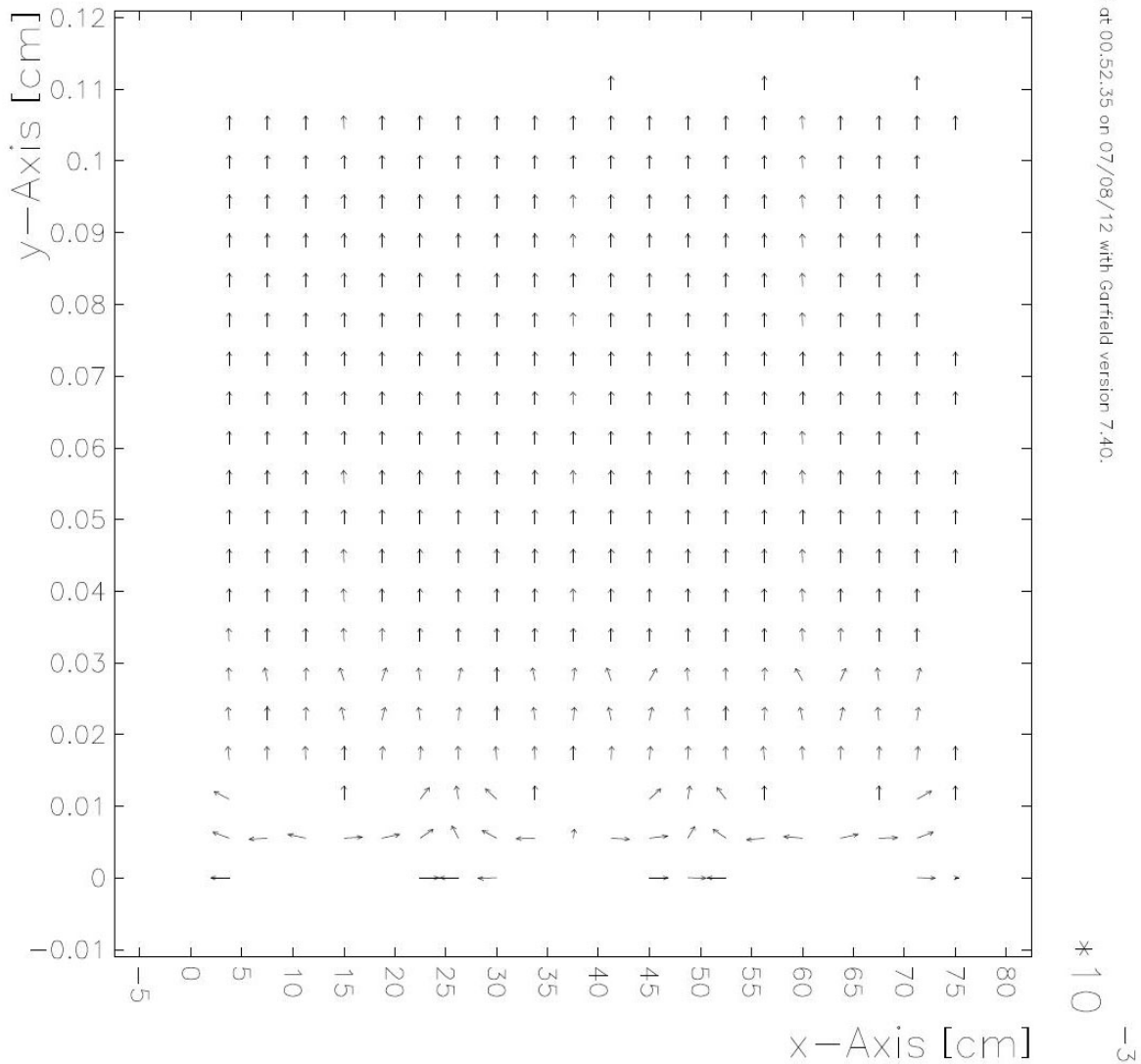
Αρχικά παραθέτουμε τους χάρτες του ηλεκτρικού πεδίου οι οποίοι παρήχθησαν από το Garfield.

Οι δύο πρώτοι χάρτες πεδίου που ακολουθούν έχουν δυναμικό στο mesh -500 V και τα resistive strips καθώς και τα κανονικά strips είναι γειωμένα.



Εικ 4.15: Ισοδυναμικές επιφάνειες στο εσωτερικό του ανιχνευτή για strips γειωμένα και mesh σε -500 V

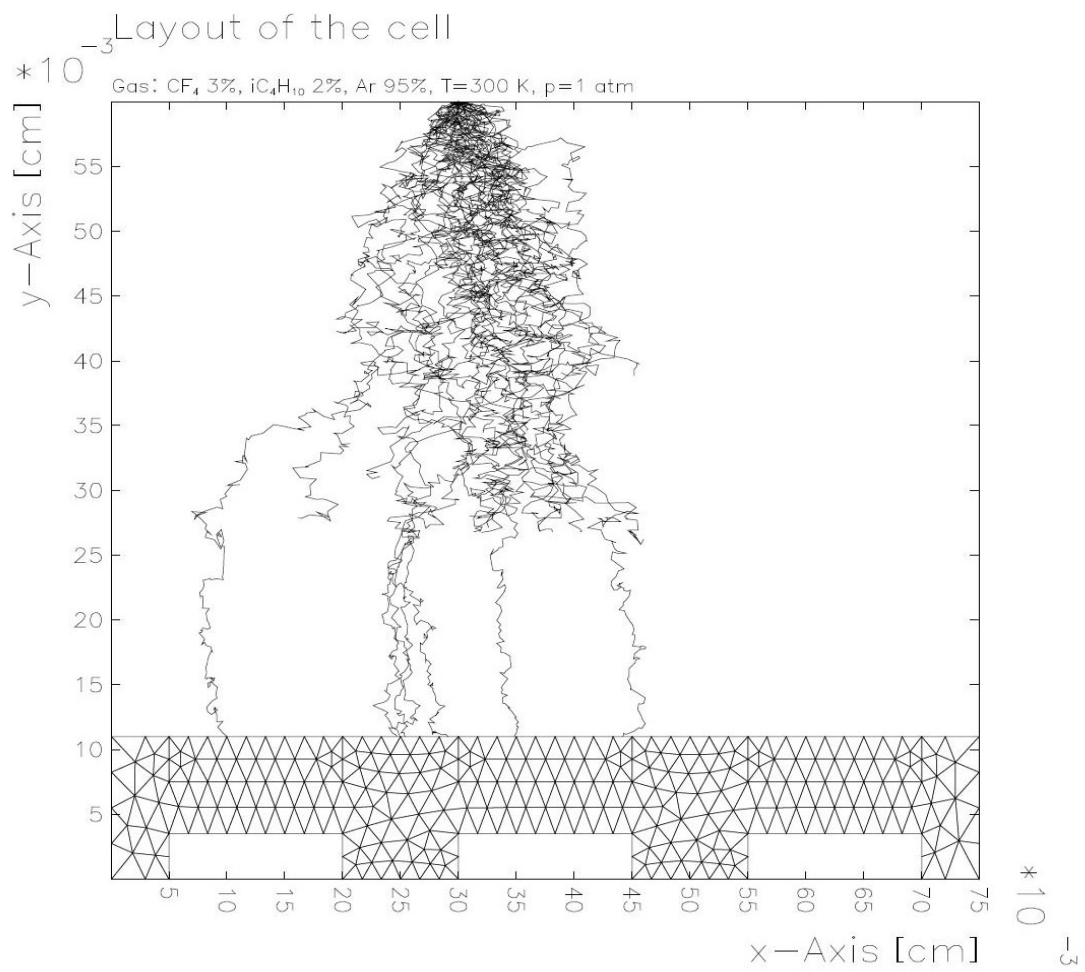
Vector plot of EX,EY,EZ



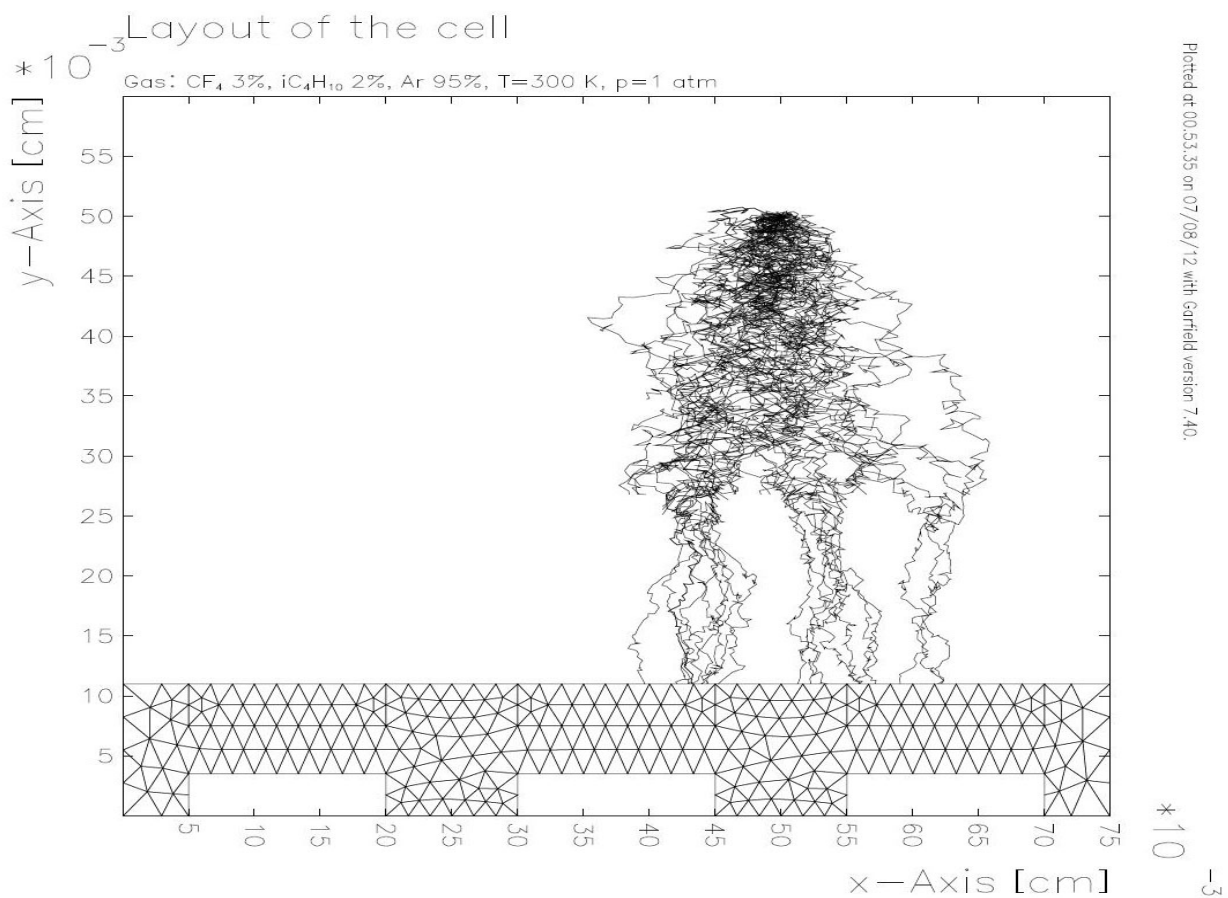
Εικ 4.16: Διανυσματική απεικόνιση του πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή για strips γειωμένα και mesh σε -500 V

Για το παραπάνω ηλεκτρικό πεδίο κάναμε προσομοίωση την διαδρομή ολίσθησης ενός ηλεκτρονίου το οποίο αφέθηκε να ολισθήσει από σταθερό σημείο στο εσωτερικό του ανιχνευτή. Το ηλεκτρόνιο αυτό θεωρούμε ότι παράγεται από τον ιονισμό του αερίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή από το διερχόμενο φορτισμένο σωματίδιο. Την παρακάτω προσομοίωση την κάναμε για 50 ηλεκτρόνια από κάθε σημείο για δύο διαφορετικές θέσεις του αρχικού ιονισμού. Στο κάθε διάγραμμα φαίνονται οι διαδρομές και των 50 ηλεκτρονίων. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.

Το αέριο που χρησιμοποιήθηκε στο εσωτερικό του ανιχνευτή είναι : Αργό 95% Ισοβουτάνιο 2% και CF_4 3%

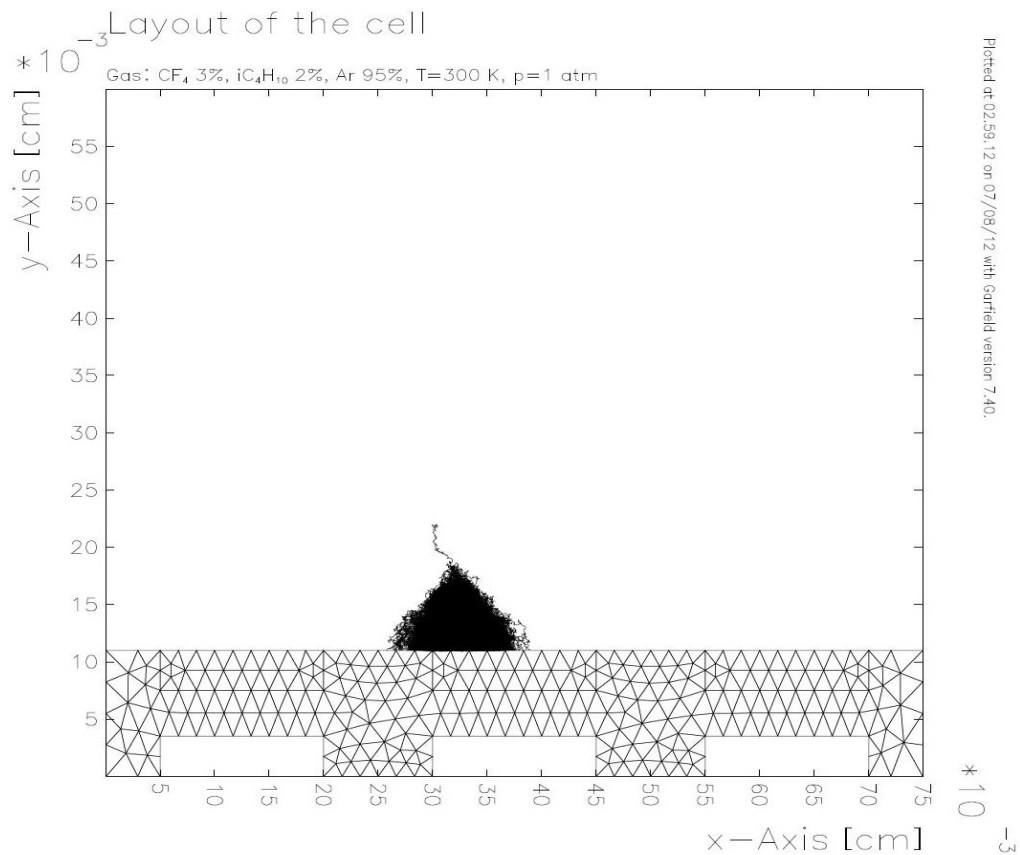


Εικ 4.17: Ολίσθηση 50 ηλεκτρονίων από προκαθορισμένη θέση αρχικού ιονισμού



Εικ 4.18: Διαδρομή ολίσθησης για 50 ηλεκτρόνια στο εσωτερικό του ανιχνευτή.

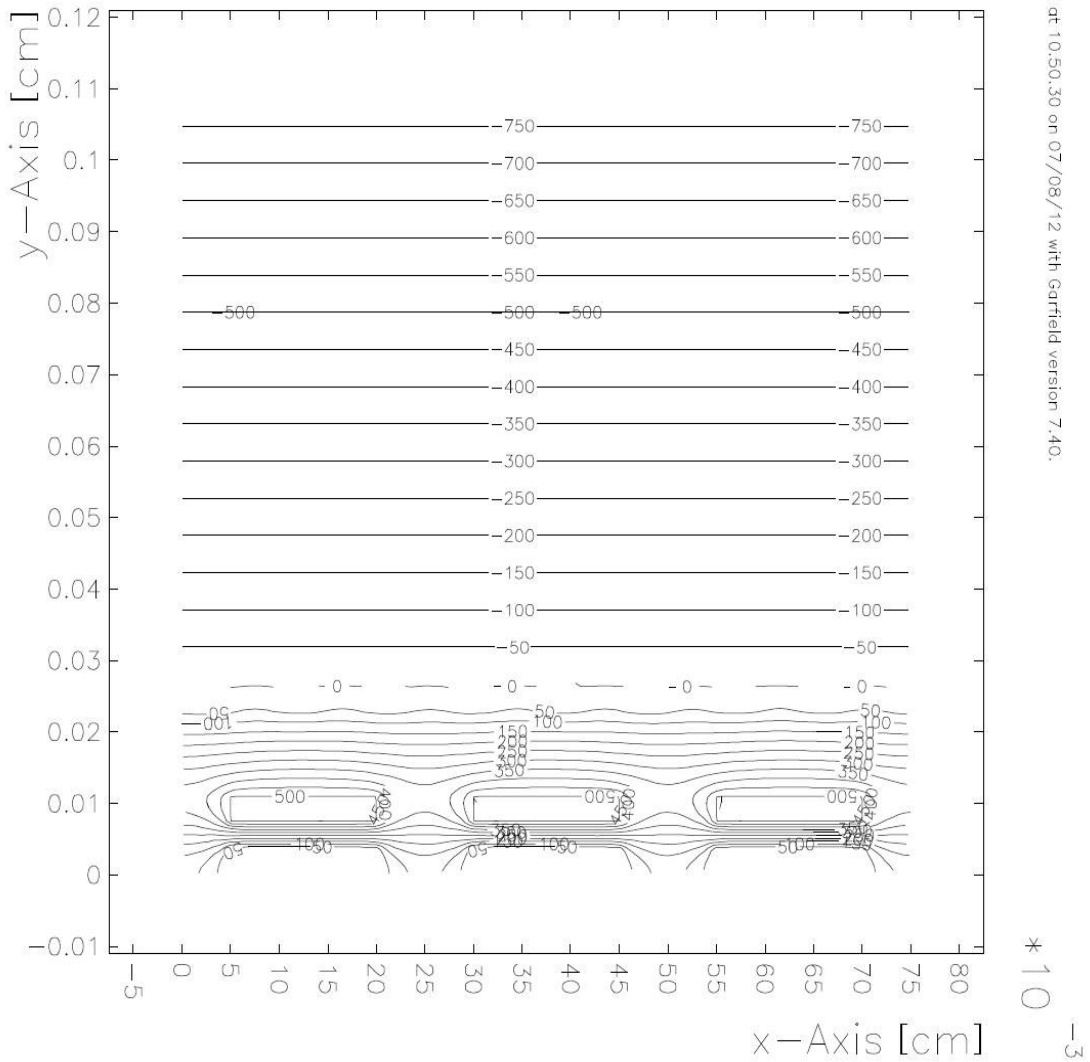
Για το παραπάνω ηλεκτρικό πεδίο κάναμε ορισμένες προσομοιώσεις για τον καταγισμό (avalanche) που δημιουργεί ένα ηλεκτρόνιο όταν φτάσει στο mesh όπου το ηλεκτρικό πεδίο είναι πολύ ισχυρότερο. Το αέριο στο εσωτερικό του ανιχνευτή όπως επίσης και το ηλεκτρικό πεδίο παραμένουν τα ίδια με τις παραπάνω προσομοιώσεις. Χαρακτηριστικό διάγραμμα των αποτελεσμάτων αυτής της προσομοίωσης φαίνεται παρακάτω.



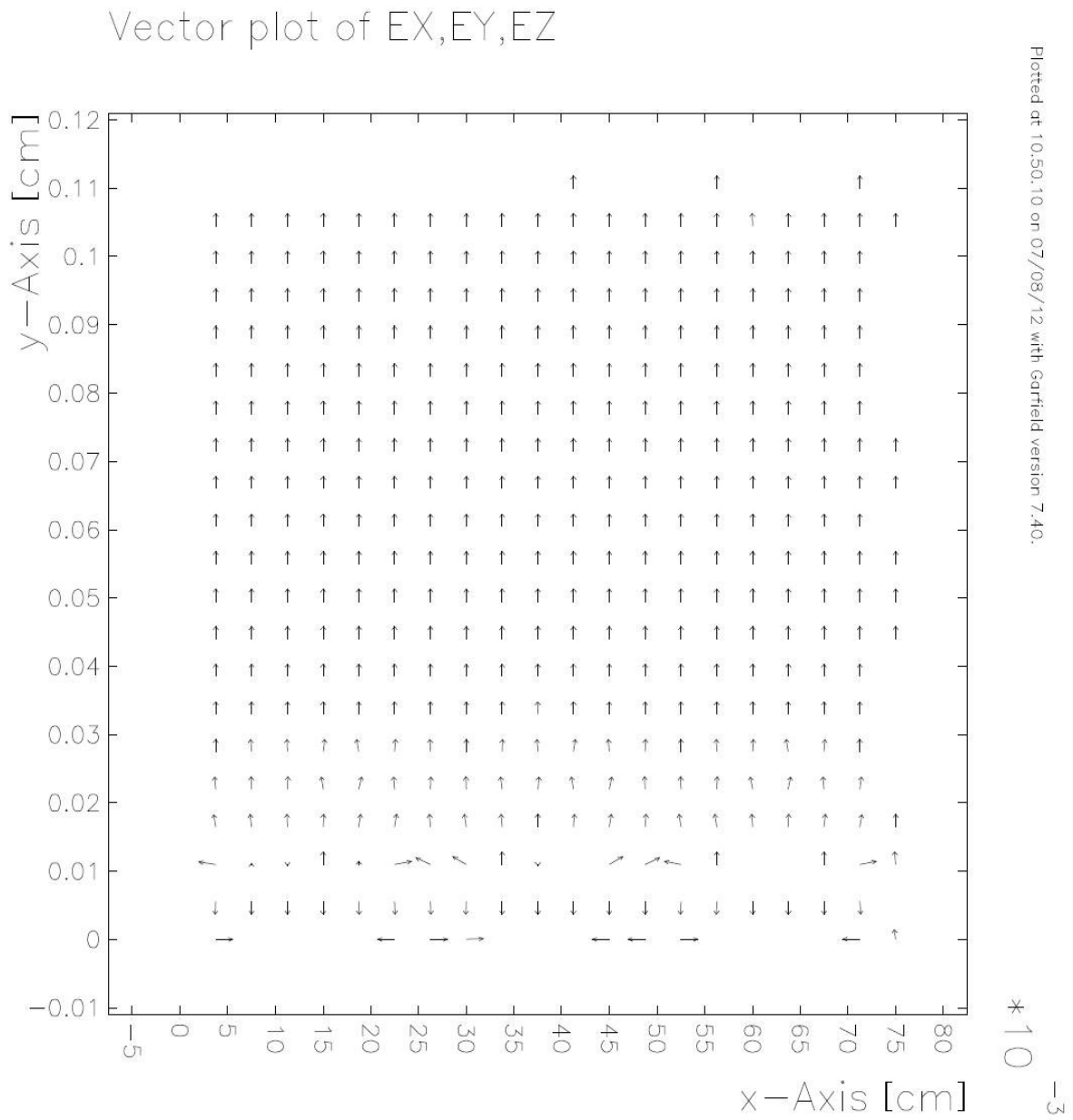
Εικ 4.19: Καταιγισμός (avalanche) από ηλεκτρόνιο το οποίο ξεκινάει αμέσως μετά το mesh

Στο επόμενο και τελευταίο μέρος των προσομοιώσεων παραθέτουμε τα αποτελέσματα για διαφορετικό ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του ανιχνευτή. Σε αυτή την προσομοίωση τα strips βρίσκονται σε δυναμικό 500 V ενώ το mesh είναι γειωμένο. Παρακάτω παραθέτουμε τους χάρτες του ηλεκτρικού πεδίου όπως μας τους έδωσε το πρόγραμμα Garfield.

Contours of V

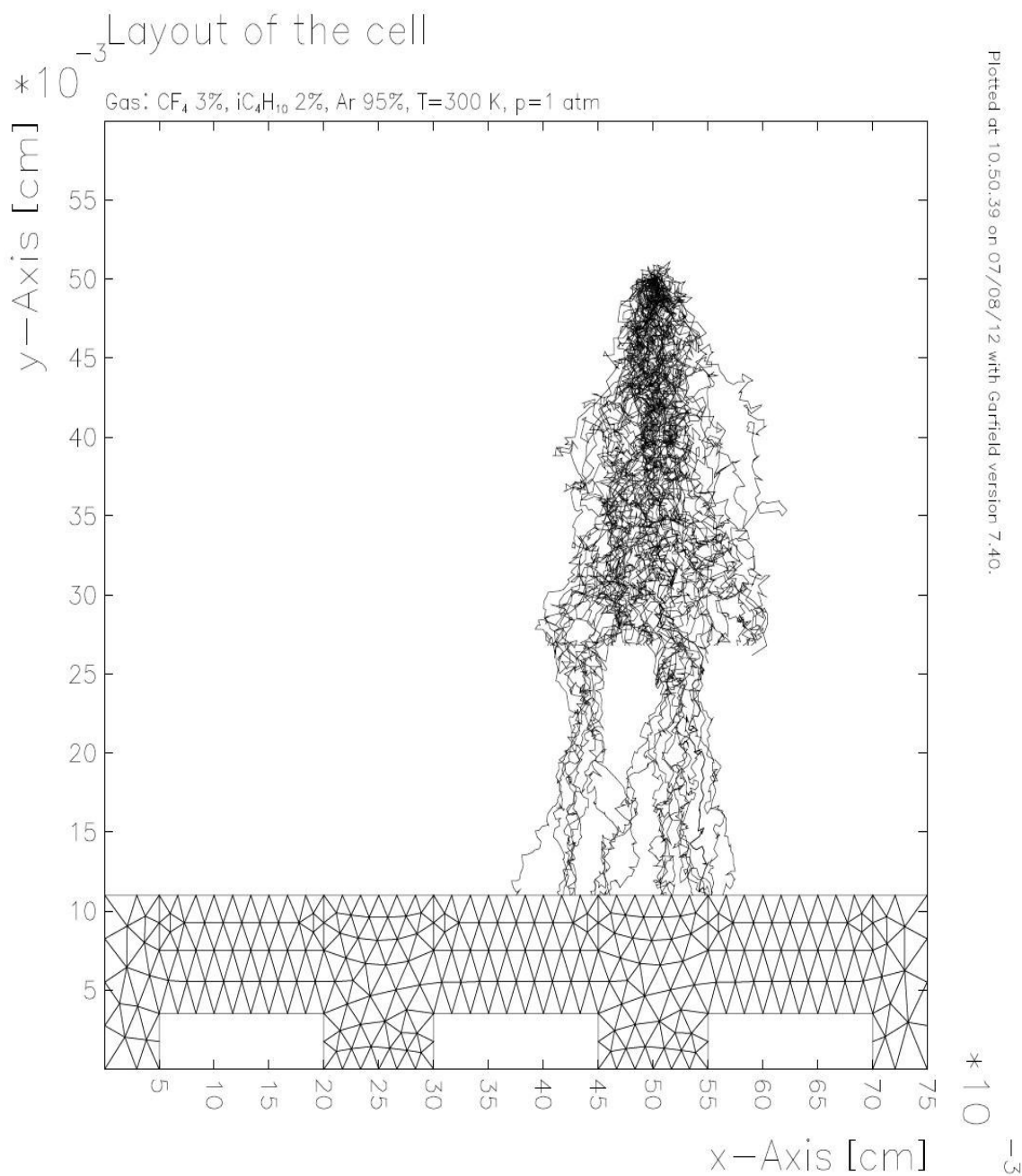


Εικ 4.20: Ισοδυναμικές επιφάνειες στο εσωτερικό του ανιχνευτή για γειωμένο mesh και strips στα 500 V

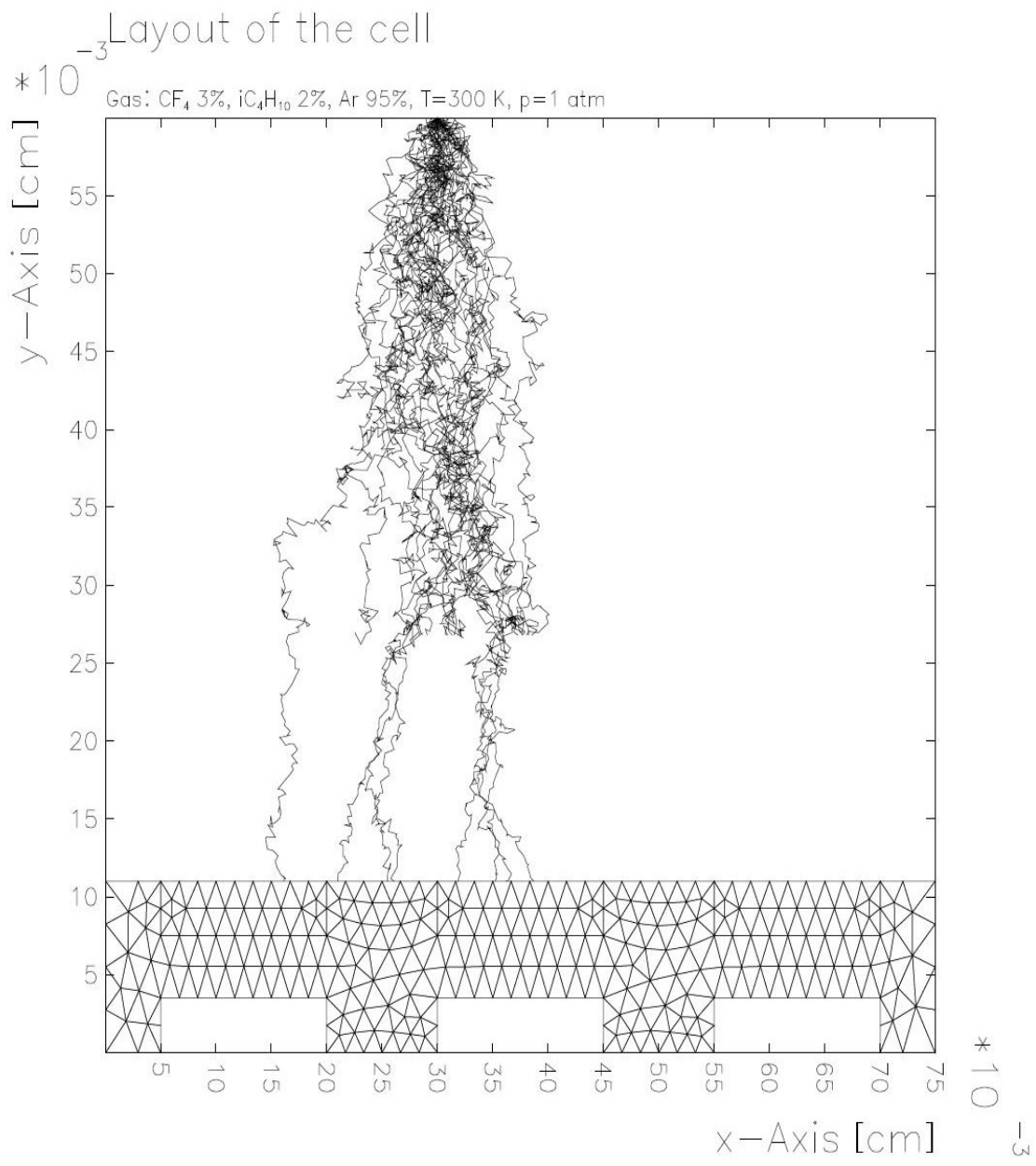


Εικ 4.21: Διανυσματική απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή

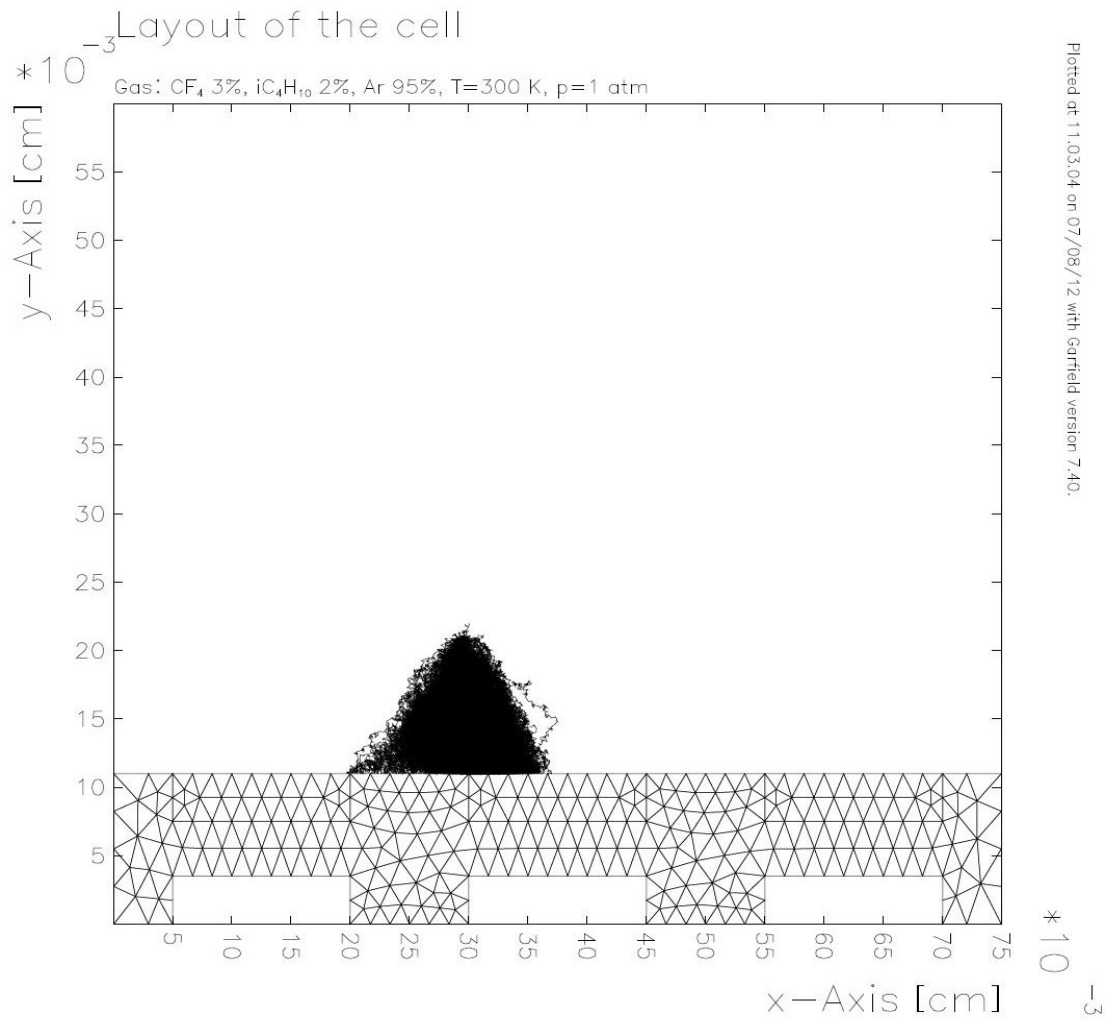
Για το παραπάνω ηλεκτρικό πεδίο στον ανιχνευτή και για αέριο στο εσωτερικό του Αργό 95% Ισοβουτάνιο 2% και CF_4 3% κάναμε προσομοίωση της ολίσθησης ενός ηλεκτρονίου στην περιοχή ολίσθησης του ανιχνευτή (όπως πριν η προσομοίωση έγινε για 50 ηλεκτρόνια σε δύο διαφορετικές θέσεις στο εσωτερικό του ανιχνευτή) και επίσης προσομοιώσαμε των καταιγισμό των ηλεκτρονίων στην περιοχή πολλαπλασιασμού. Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν ορισμένα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



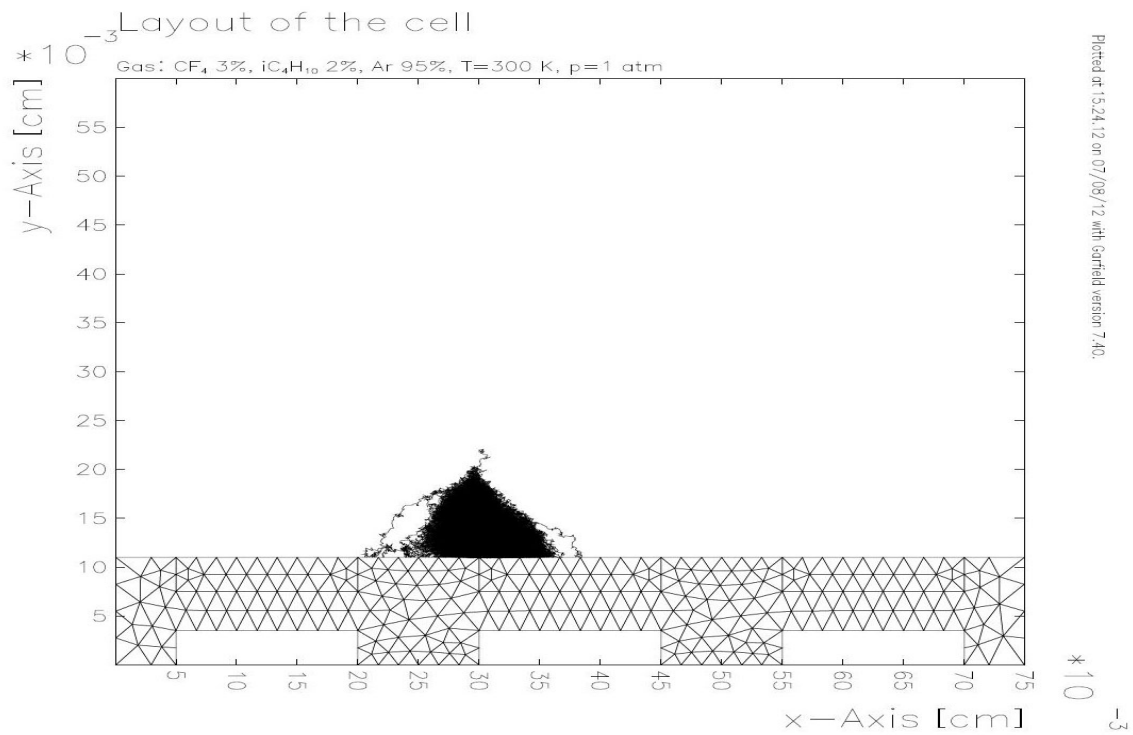
Εικ 4.22: Ολίσθηση ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του ανιχνευτή



Εικ 4.23: Ολίσθηση ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του ανιχνευτή



Εικ 4.24: Καταιγισμός ηλεκτρονίων στην περιοχή πολλαπλασιασμού



Εικ 4.25: Καταιγισμός ηλεκτρονίων στην περιοχή πολλαπλασιασμού

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ανάλογα το αρχικό σημείο του καταιγισμού τα παραγόμενα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε ένα ή δυο strips. Το γεγονός αυτό δίνει καλή διακριτική ικανότητα στον ανιχνευτή.

5.1 Συμπεράσματα

Σε αυτή την εργασία μελετήσαμε την συμπεριφορά του ανιχνευτή micromegas σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας με την βοήθεια προγραμμάτων προσομοίωσης. Συγκεκριμένα μελετήσαμε την συμπεριφορά του ανιχνευτή για διαφορετικές περιοχές πολλαπλασιασμού (η κυριότερη διαφορά με το αρχικό σχέδιο του ανιχνευτή ήταν η προσθήκη των resistive strips). Αρχικά δημιουργήσαμε προσομοιώσεις του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή με τα προγράμματα FemLab και ANSYS. Τα προγράμματα αυτά μας έδωσαν “χάρτες” του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του ανιχνευτή για όλες τις διαφορετικές τοπολογίες του ανιχνευτή micromegas. Όλες οι πληροφορίες για το υλικό και την δομή του εσωτερικού του ανιχνευτή δόθηκαν σε αυτά τα προγράμματα (ANSYS FemLab) ώστε να προσομοιώσουν το ηλεκτρικό πεδίο. Στην συνέχεια έγινε εισαγωγή του ηλεκτρικού πεδίου στο πρόγραμμα Garfield. Οι προσομοιώσεις της συμπεριφοράς του ανιχνευτή έγιναν με το πρόγραμμα Garfield το οποίο είναι εξειδικευμένο στην προσομοίωση ανιχνευτών αερίου. Με το Garfield προσομοιώσαμε τα drift των ηλεκτρονίων και τα avalanches στην περιοχή πολλαπλασιασμού του ανιχνευτή. Η παραπάνω εργασία έχει σαν στόχο να δείξει ότι η από κοινού χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης ηλεκτρικού πεδίου (ANSYS, FemLab) και του προγράμματος προσομοίωσης ανιχνευτών αερίου Garfield είναι εξαιρετικά αποτελεσματική στην προσομοίωση σύνθετων δομών στο εσωτερικό του εκάστοτε ανιχνευτή.

6.1 Βιβλιογραφία

1. F. Sauli “Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers”, CERN 77-09, Geneva 1977
2. Raymond A. Serway, Clement J. Moses, Curt A. Moyer. Απόδοση στα Ελληνικά Ζουπάνος Γεώργιος, Λιαροκάκης Ευθύμιος, Παπαδόπουλος Σωφρόνιος, Ράπτης Κωνσταντίνος. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης 2002
3. W. N Cottingham, D.A Greenwood Μετάφραση Κ. Σαρηγιάννης “Εισαγωγή στην Πυρηνική Φυσική”, Εκδόσεις Τυποθήτω
4. I. Giomataris, “Micromegas: Results and Prospects”
5. I. Giomataris, High rate applications of Micromegas and prospects, 2006
6. I. Giomataris, Micromegas status report, 1998
7. I. Giomataris, J. Derre, F. Ronga, J.-P. Perroud, A. Bay, A. Delbart, Y. Papadopoulos, Study of sparking in Micromegas chambers, 2001
8. Giomataris, Rebourgeard, Robert, Charpak, Micromegas: a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments, 1996
9. Maxim Titov, New developments and future perspectives of gaseous detectors, 2007
10. Mermiga, simulations studies at the micromegas detector and micropattern applications in medicine, 2008
11. Sauli, Micro-pattern detectors, 1999
12. P. Colas, “Recent Developments of MICROMEAS detectors for High Energy Physics”.
13. V. Peskov, P. Fonte, “Gain Rate and position Resolution Limits of Micropattern Gaseous Detectors”, LIP / 01-06
14. ROOT, An object-Oriented Data Analysis Framework Users Guide 5.12
15. W. R Leo “Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments”
16. www.ansys.com Ιστοσελίδα της εταιρείας Ansoft για το πρόγραμμα Ansys
17. www.comsol.com Ιστοσελίδα της εταιρείας Comsol για το πρόγραμμα FemLab