

Επιταχυντές & Ανιχνευτές στην Πυρηνική και Σωματιδιακή Φυσική 8ο Εξάμηνο, Ακαδημαϊκό έτος 2015 – 2016

Ασκήσεις - Ομάδα 4:

Ανιχνευτές – Ανιχνευτές ιονισμών, σπινθηριστές και καλορίμετρα.

Άσκηση 4.1

Θεωρείστε έναν MWPC (Multi Wire Proportional Chamber) που έχει απόσταση Δ μεταξύ των συρμάτων υψηλής τάσης (ανόδου) του, όπως στο σχήμα (βλ. βιβλίο “Experimental Techniques in Nuclear And Particle Physics”, Stefaan Tavernier, 2010, σελ. 131):



Fig. 4.17 Schematic representation of a multi-wire proportional chamber (MWPC). The cathode planes are at ground potential and the anode wires are at a large positive voltage, typically 3000 V. Each anode wire is equipped with its own amplifier and readout electronics. If a charged particle crosses perpendicularly to the plane of the detector, the wire nearest to the crossing point will have a signal

Θεωρείστε ότι για φορτισμένα σωματίδια που προσπίπτουν κάθετα στα επίπεδα καθόδου, έχουμε σήμα μόνο στο πλησιέστερο σύρμα ανόδου. Δείξτε ότι η διασπορά RMS (root mean square) στην μέτρηση της θέσης πρόσπτωσης ενός σωματιδίου για έναν τέτοιο ανιχνευτή είναι $\sigma = \Delta / \sqrt{12}$.

Άσκηση 4.2

Υποπτεύεστε ότι το αέριο σε κάποια σπηλιά που μελετάτε ή εργόσεστε έχει πολύ περισσότερο ραδόνιο [$^{222}_{86}\text{Rn}$] από το σύνηθες.

Για να βρείτε πόσο ραδόνιο υπάρχει εκεί, μετράτε το ρεύμα που οφείλεται στο ραδόνιο σε έναν θάλαμο ιονισμού ενός λίτρου γεμάτο με αέρα από τη σπηλιά. Μετράτε 0.1 pA. Πόση ραδιενέργεια (ενεργότητα), εκφρασμένη σε pico Curie (pCi) ανα λίτρο, υπάρχει στον αέρα της σπηλιάς; Το ραδόνιο έχει χρόνο ημίσειας ζωής 3.8 ημέρες και διασπάται σε σωματίδια άλφα των 5.6 MeV, σχεδόν με πιθανότητα 100%. Για να απλοποιήσετε τον υπολογισμό αγνοείτε ότι γεγονός ότι τα άλλα προϊόντα της διάσπασης του ραδονίου συνεισφέρουν σημαντικά στο ρεύμα.

Επίσης, αγνοείτε το γεγονός ότι πολλές φορές το σωματίδιο άλφα θα σκεδάζεται στα τοιχώματα του θαλάμου ιονισμού, και έτσι δεν θα χρησιμοποιεί όλη της την ενέργεια για να δώσουν ιονισμό.

Άσκηση 4.3

Ένας ανιχνευτής GEM έχει διάκενο μετατροπής (“conversion gap”) με πάχος 2mm. Το αέριο γέμισμα στο διάκενο είναι 90% Ar, και 10% CH₄. Κοσμικά μίονια προσπίπτουν κάθετα στον ανιχνευτή αυτόν.

α) Πόσους ιονισμούς προκαλεί κατά μέσο όρο ένα τέτοιο μίονιο στο διάκενο;

β) Ποιά είναι η πιθανότητα ένα μίονιο να περάσει απαρατήρητο επειδή δεν προκάλεσε κανέναν πρωτογενή ιονισμό στο διάκενο μετατροπής;

Δίνεται ο πίνακας και το σχήμα από το βιβλίο “Experimental Technniques in Nuclear And Particle Physics”, Stefaan Tavernier, 2010, σελ. 108 και 138, αντίστοιχα):

Table 4.1 Energy loss characteristics in some commonly used gases. Energy loss, the number of electron-ion pairs and the number of primary electrons is for charged particles at minimum ionisation

Gas	Ionisation potential [eV]	Mean energy /electron-ion pair ‘W’ [eV]	Energy loss [keV/cm]	Number of electron-ion pairs [cm ⁻¹]	Number of primary electrons [cm ⁻¹]
Ar	15.7	25.0	2.53	106	25
Xe	12.1	22	6.87	312	41
He	24.5	41.6	0.345	8.3	5
H ₂	15.6	36.4	0.32	8.8	5.2
N ₂	15.5	34.8	1.96	56.3	10
Air		33.8	2.02	59.8	
O ₂	12.5	30.2	2.26	74.8	22
CH ₄	12.6	30	1.61	54	37
C ₂ H ₆	11.5	26	2.91	112	48
Isobutane/i-C ₄ H ₁₀	10.6	26	5.67	220	90
CO ₂	13.8	34	3.35	100	35

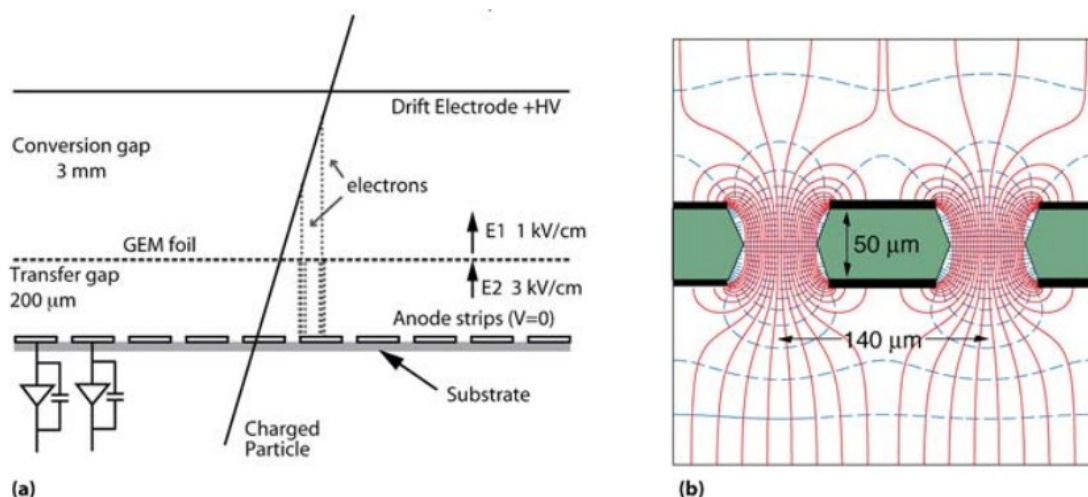


Fig. 4.24 (a) Schematic representation of a GEM detector with typical values for the electric field and dimensions. Electrons are liberated along the track of the charged particle and drift toward the GEM holes. Inside the holes, there is a large electric field multiplying the number of electrons. (b) Details of electric field lines (solid) and equipotential surfaces (dashed) in the region of the GEM holes. Electron transparencies are typically 100%. Most positive ions produced in the high-field region within a hole drift back to the GEM’s top side. Figure from Ref. [6] in Chap. 1, with permission

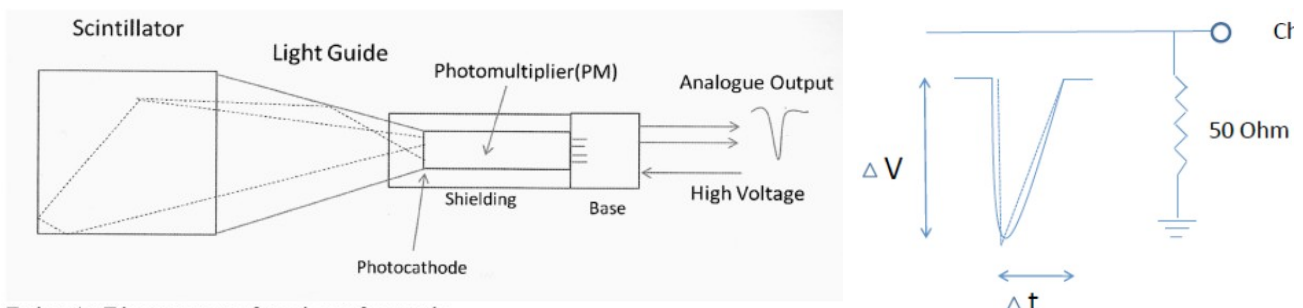
Άσκηση 4.4

Υποθέστε ότι ένας ανιχνευτής για ακτίνες γάμμα αποτελείται από έναν σπινθηριστή LSO και έναν φωτοπολλαπλασιαστή (PMT), όπως στις διαφάνειες.

Το σήμα από την άνοδο του φωτοπολλαπλασιαστή μεταφέρεται με ένα ομοαξονικό (coax) καλώδιο 50Ω και καταλήγει σ' έναν παλμογράφο που έχει εμπέδηση (impedance) εισόδου 50Ω επίσης.

Υποθέστε ότι η απόδοση της συλλογής των φωτονίων του ορατού στον σπινθηριστή είναι 50%, ότι η κβαντική απόδοση μετατροπής του σε φωτοηλεκτρόνια στην φωτοκάθοδο του PMT είναι 25%, και ότι ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας ενίσχυσης ("gain") στον PMT είναι 10^5 .

Πόσο θα είναι το πλάτος του σήματος όταν αυτό προκύπτει από την παρατήρηση ακτίνων γάμμα του 1 MeV ;



Σχήμα 1 : Σύστημα απαριθμητή σπινθηρισμών.

Άσκηση 4.5

Θεωρείστε έναν σπινθηριστή CsI:Tl. Τι ποσοστό της ενέργειας που εναποτίθεται κατά την αλληλεπίδραση ενός ηλεκτρονίου με την ύλη, μετατρέπεται σε φώς (scintillation light)?

Άσκηση 4.6

Θεωρείστε μια πηγή ακτίνων γάμμα ενέργειας 511 keV. Υπολογίστε την ενέργεια όπου αναμένετε την κορυφή οπισθοσκέδασης στο φάσμα του υψους των παλμών που παρατηρούμε σε έναν φωτοπολλαπλασιαστή.

Άσκηση 4.7

Θεωρείστε έναν ανιχνευτή PET που καλύπτει το $\Omega = 10\%$ της στερεάς γωνίας γύρω από το κέντρο του. Υποθέστε ότι η απόδοση ανίχνευσης για ένα φωτόνιο των 511 keV μέσα στη στερεά αυτή γωνία είναι $\text{Eff}=20\%$. Υποθέστε ότι τοποθετείτε στο κέντρο του PET μια σημειακή πηγή με ενεργότητα 1 mCi. Πόσος είναι ο ρυθμός για την ανίχνευση ενός φωτονίου ("single rate"), και πόσος είναι ο ρυθμός για την ανίχνευση της σύμπτωσης δύο φωτονίων ("coincidence rate");

Fig. 6.29 Figure illustrating the principle of a PET scanner. The white lines represent the directions of flight of the gamma rays originating from a few annihilation events. These gamma rays interact in the scintillator blocks. If two gamma rays interact simultaneously in two scintillator blocks, one assumes a positron annihilation occurred somewhere along the line joining the centres of the two blocks of scintillating material

