

ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΤΗΣ ΥΛΗΣ

ΘΕΜΑ

Εξασθένιση της ακτινοβολίας β και γ από δύο διαφορετικά υλικά. Μέτρηση του πάχους υποδιπλασιασμού ($d_{1/2}$) και του συντελεστή εξασθένισης μ για φωτόνια.

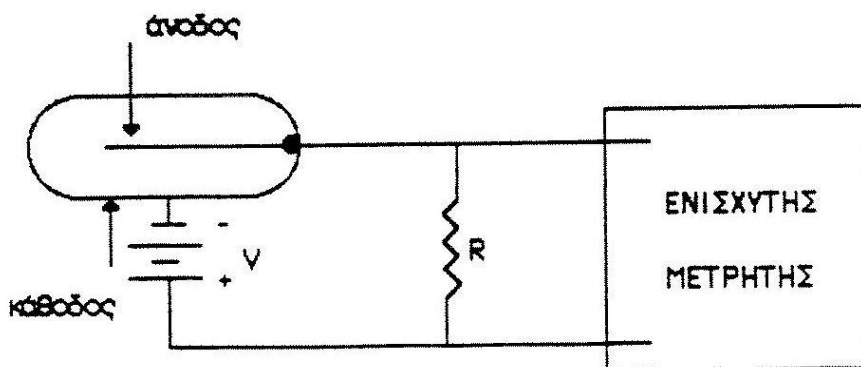
ΣΥΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

1. Θάλαμος Geiger-Müller (G.M.)
2. Τροφοδοτικό ισχύος
3. Τροφοδοτικό D.C. υψηλής τάσης (1500 Volt)
4. Καταμετρητής παλμών
5. Πηγή ^{60}Co (φωτόνια γ) και πηγή ^{90}Sr (σωμάτια β^-)
6. Απορροφητής μολύβδου και απορροφητής πολυαιθυλενίου σε διάφορα πάχη.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

Λειτουργία του καταμετρητή Geiger- Müller.

Το αισθητήριο μέρος του μετατροπέα εισόδου του καταμετρητή G.M. είναι ένας κυλινδρικός θάλαμος που περιέχει αέριο υπό χαμηλή πίεση (Σχήμα 1). Κατά μήκος του γεωμετρικού άξονα του θαλάμου υπάρχει ένα ηλεκτρόδιο. Η εξωτερική επιφάνεια του θαλάμου αποτελεί το δεύτερο ηλεκτρόδιο. Μεταξύ των δύο αυτών ηλεκτροδίων επιβάλλεται μία υψηλή τάση (περίπου 1000 Volt).

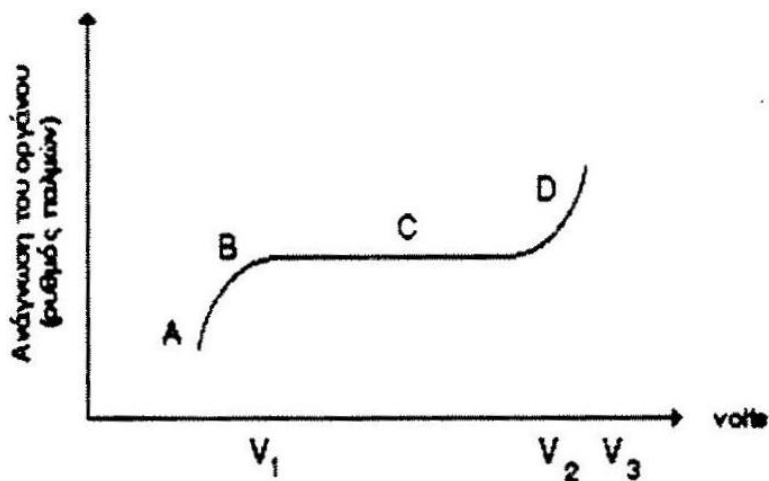


Σχήμα 1 : Σχηματικό διάγραμμα μετρητή Geiger- Müller

Το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται έχει μέγιστη ένταση λίγο μικρότερη από εκείνη που αντιστοιχεί σε ηλεκτρική εκκένωση (σπινθήρας) μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Όταν ένα σωματίο α ή β ή ένα φωτόνιο γ εισέλθει στο θάλαμο, δημιουργεί ζεύγη ιόντων κατά μήκος της διαδρομής του. Το ηλεκτρικό πεδίο επιταχύνει τα ηλεκτρόνια προς το κεντρικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) και τα θετικά ιόντα προς τον κύλινδρο (κάθοδος). Επειδή η ένταση του πεδίου είναι πολύ υψηλή, τα ηλεκτρόνια αποκτούν, πριν φτάσουν στην άνοδο, τόση κινητική ενέργεια ώστε να ιονίσουν (δευτερογενής ιονισμός) τα άτομα του αερίου στα οποία προσκρούουν. Ο μηχανισμός αυτός πολλαπλασιασμού των ζευγών ιόντων (που θυμίζει χιονοστιβάδα) προκαλεί στιγμιαία εκκένωση του θαλάμου-πυκνωτή (υψηλή ένταση ρεύματος) με απότομη πτώση της τάσης. Το ρεύμα αυτό, περνώντας από την αντίσταση R δημιουργεί στα άκρα της ηλεκτρικό παλμό, ο οποίος ενισχύεται και καταμετράται από τις υπόλοιπες συνιστώσες του μετρητικού συστήματος.

Αν ο ρυθμός των σωματίων (σωμάτια ανά sec) που περνούν διαμέσου του θαλάμου, μένει χρονικά σταθερός αλλά μεταβάλλεται η τάση V μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, τότε το όργανο δίνει μια καμπύλη αποκρίσεως (Σχήμα 2) που για μια περιοχή τάσεων από V_1 μέχρι V_2 είναι οριζόντια. Αυτό το τμήμα της καμπύλης ονομάζεται «οροπέδιο» (plateau) και η περιοχή από V_1 μέχρι V_2 χαρακτηρίζεται ως περιοχή λειτουργίας του G.M.



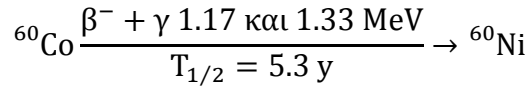
Σχήμα 2 : Χαρακτηριστική καμπύλη ενός Geiger- Müller. V_1 ως V_2 είναι η περιοχή λειτουργίας του οργάνου. Η τάση V_3 αντιστοιχεί στη συνεχή εκφόρτιση

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι ο G.M μετρά αριθμό προσκρούσεων. Δηλαδή δίνει ένδειξη ανάλογη προς τον αριθμό των σωματίων που τον προσβάλλουν, αδιαφορώντας για το είδος των σωματίων και την ενέργειά τους.

ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΔΕΣΜΗΣ

ΦΩΤΟΝΙΑ

Η πηγή που χρησιμοποιείται είναι Κοβάλτιο (^{60}Co) που μετατρέπεται στο σταθερό Νικέλιο (^{60}Ni) με χρόνο υποδιπλασιασμού $T_{1/2} = 5.3$ χρόνια σύμφωνα με την αντίδραση:



Τα σωματίδια β^- έχουν μικρή ενέργεια και ασήμαντη διεισδυτικότητα. Γι' αυτό σταματούν μέσα στην ίδια την πηγή. Έτσι παίρνουμε μόνο τα φωτόνια γ των 1.17 και 1.33 MeV. Επειδή οι δύο αυτές ενέργειες είναι πολύ κοντά, μπορεί να θεωρηθεί ότι η δέσμη αποτελείται από μονοενεργειακά φωτόνια ενέργειας 1.25 MeV.

Ξέρουμε επίσης ότι όταν μια δέσμη μονοενεργειακών φωτονίων έντασης I_0 προσπέσει σε ένα ομοιογενές υλικό πάχους x εξασθενεί σύμφωνα με τη σχέση:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (1)$$

όπου μ είναι ο ολικός γραμμικός συντελεστής εξασθένησης. Ο συνήθης και αυστηρός ορισμός της εξασθένησης υπονοεί ότι μετράμε μόνο τα φωτόνια που πέρασαν μέσα από τον απορροφητή χωρίς να υποστούν καμία σύγκρουση. Επομένως, κατά τη μέτρηση πρέπει να αποφύγουμε τα φωτόνια που σκεδάζει ο απορροφητής “προς τα εμπρός” (προς την κατεύθυνση κινήσεως της δέσμης). Γι' αυτό εφαρμόζουμε την λεγόμενη “καλή γεωμετρία” στην οποία η δέσμη είναι “στενή” και ο μετρητής βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση (σε σχέση με τις εγκάρσιες διαστάσεις της δέσμης) από το απορροφητή. Στις μελέτες ακτινοπροστασίας, όμως, μας ενδιαφέρουν και τα “προς τα εμπρός” σκεδαζόμενα φωτόνια διότι και αυτά προσβάλλουν το προσωπικό. Έτσι, για λόγους ασφαλείας μετράμε την εξασθένηση και με “κακή γεωμετρία”

Το πάχος του υποδιπλασιασμού ($d_{1/2}$) ισούται με την τιμή του πάχους που κάνει την I_0 ίση με $I_0/2$.

Η σχέση (1) για $x = d_{1/2}$ και $I = I_0/2$ δίνει:

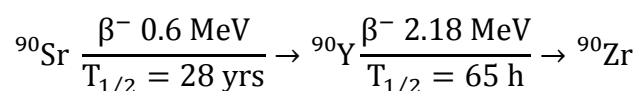
$$0.5 = e^{-\mu \cdot d_{1/2}} \quad (2)$$

από αυτή εύκολα προκύπτει ότι:

$$\mu \cdot d_{1/2} = 0.693$$

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ

Η πηγή που χρησιμοποιείται είναι Στρόντιο (^{90}Sr) που μετατρέπεται με δύο διαδοχικές πυρηνικές διασπάσεις, πρώτα σε Ύτριο (^{90}Y) και τελικά στο σταθερό Ζιρκόνιο (^{90}Zr), σύμφωνα με την αντίδραση:

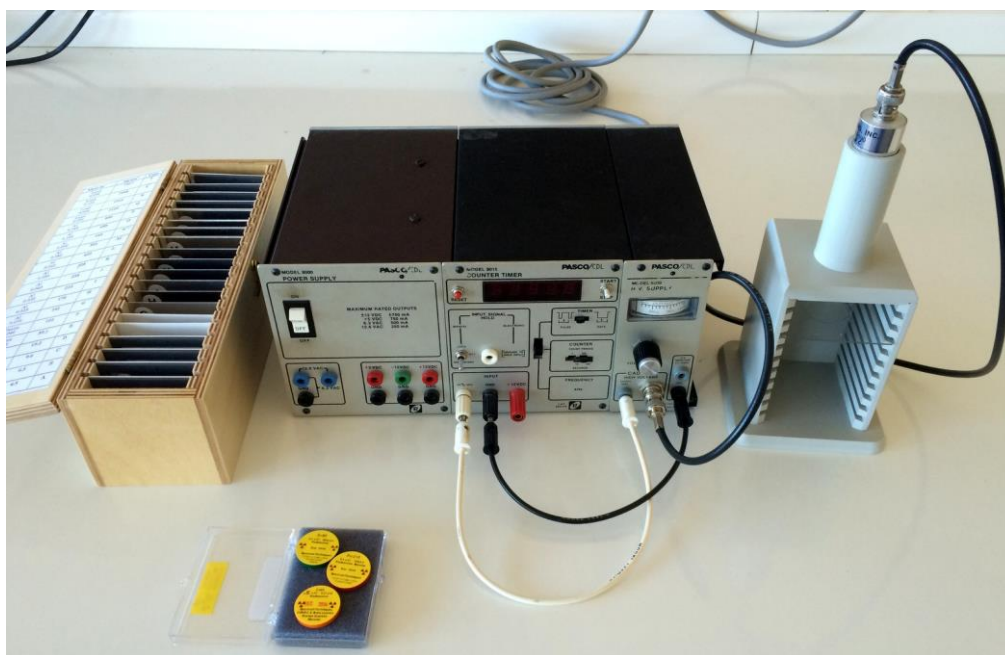


Οι παραπάνω τιμές (0.6 MeV και 2.18 MeV) δίνουν τη μέγιστη κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων στην αντίστοιχη διάσπαση ηλεκτρονίων. Το φάσμα β^- εκπομπής είναι συνεχές και η μέση ενέργεια των ηλεκτρονίων είναι συνήθως το 1/3 της μέγιστης τιμής.

Τα σωματία β^- είναι ηλεκτρικά φορτισμένα, γι' αυτό ιονίζουν με γραμμική πυκνότητα μεγαλύτερη από ότι τα φωτόνια και το μέγιστο βάθος διείσδυσής τους R_m εξαρτάται από την ενέργεια των σωματίων β και τον ατομικό αριθμό Z του αλληλεπιδρώντος υλικού. Η τιμή του R_m σε cm για το νερό βρίσκεται προσεγγιστικά αν διαιρέσουμε την ενέργεια των προσπιπτόντων ηλεκτρονίων σε MeV διά 2.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Ελέγξτε ότι η πειραματική διάταξη είναι συναρμολογημένη σωστά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Συνδεσμολογία

1.1 Να χειρίζεστε με προσοχή τα βύσματα που είναι τοποθετημένα στο τροφοδοτικό υψηλής τάσης.

1.2 Όταν ανοίγετε ή κλείνετε το διακόπτη του συστήματος, το ποτενσιόμετρο υψηλής τάσης να είναι στη θέση της χαμηλότερης τάσης (στο αριστερό τέρμα).

1.3 Μην υπερβείτε την τάση πέρα από αυτήν που αντιστοιχεί στη συνεχή εκφόρτιση στο τροφοδοτικό υψηλής τάσης. Υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του.

1.4 Χειρίζεστε και μετακινείτε προσεκτικά (χωρίς προσκρούσεις) το θάλαμο G.M.

2. Τοποθετήστε την πηγή ^{90}Sr στη συσκευή που συγκρατεί και τον θάλαμο G.M, στη δεύτερη ή τρίτη θέση από τον θάλαμο, ώστε να μπορείτε αργότερα να παρεμβάλετε τους απορροφητές..

3. Μεταβάλλετε την υψηλή τάση με βήματα των 100 Volt και για κάθε τιμή της τάσης καταγράψτε το πλήθος των παλμών που μέτρησε το όργανο σε χρόνο 100 s. Από τον σχηματιζόμενο πίνακα τιμών, χαράξτε την καμπύλη απόκρισης του συστήματος. Έτσι θα βρείτε τη μέση τιμή V_0 της τάσης λειτουργίας του G.M.

4. Απομακρύνετε αρκετά την πηγή ^{90}Sr (και τις υπόλοιπες πηγές) από τη συσκευή και εκτελέστε τρεις καταμετρήσεις της ακτινοβολίας υποβάθρου N_b διάρκειας 100 s η κάθε μία. Υπολογίστε τη μέση τιμή του N_b .

5. Επανατοποθετήστε την πηγή ^{90}Sr στη συσκευή και για κάθε ένα από τα διαθέσιμα πάχη απορροφητή πολυαιθυλενίου καταμετρήστε τον αντίστοιχο αριθμό παλμών N_g στα 100 s. Εάν τα διαθέσιμα πάχη είναι δύο μόνο, κάνετε και μία μέτρηση για το συνδυασμό των δύο παχών.

6. Υπολογίστε τον καθαρό αριθμό $N_x = N_g - N_b$.

7. Τοποθετήστε την πηγή ^{60}Co (στην τρίτη θέση από το θάλαμο) και μετρήστε τον αριθμό παλμών N_g στα 100 s τόσο χωρίς απορροφητή όσο και για τα 4 μεγαλύτερα πάχη απορροφητή μολύβδου. Υπολογίστε τους αντίστοιχους αριθμούς $N_x = N_g - N_b$.

8. Σχεδιάστε την καμπύλη N_x/N_0 σαν συνάρτηση του πάχους x και βρείτε από την καμπύλη τον συντελεστή εξασθένησης μ και το πάχος υποδιπλασιασμού $d_{1/2}$ του μολύβδου για τα φωτόνια της πηγής Κοβαλτίου.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείτε το πρόγραμμα Excel (ή Calc) όπως φαίνεται παρακάτω, είτε αναλύοντας τις μετρηθείσες τιμές με τον κατακόρυφο άξονα σε λογαριθμική κλίμακα είτε λογαριθμίζοντας πρώτα τις μετρηθείσες τιμές.

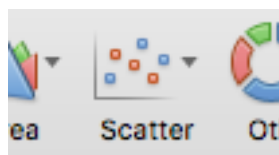
9. [Προαιρετικό] Παρά το γεγονός ότι δε μετρήσατε την εξασθένηση των φωτονίων από πηγή Κοβαλτίου λόγω της απορρόφησης από πολυαιθυλένιο, μπορείτε να υπολογίσετε το πάχος υποδιπλασιασμού για το πολυαιθυλένιο; Λάβετε υπ' όψη σας ότι η εξασθένηση για τα φωτόνια του Κοβαλτίου γίνεται με το μηχανισμό Compton (που είναι ανεξάρτητος του ατομικού αριθμού Z του υλικού απορρόφησης. Δίνεται ότι η πυκνότητα του μολύβδου είναι 11.2 g/cm^3 και του πολυαιθυλενίου 0.95 g/cm^3 .

10. Επαναλάβετε το βήμα 8 για τις τιμές που μετρήσατε με πηγή Στροντίου και αφορούν ηλεκτρόνια και πολυαιθυλένιο. Σχολιάστε τις διαφορές της καμπύλης με αυτή που προβλέπει η εξίσωση (1).

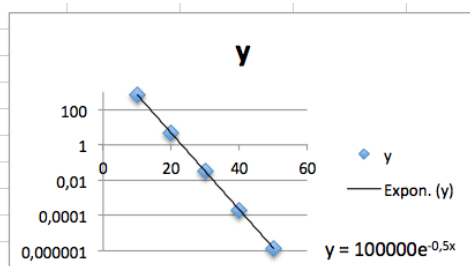
11. Τι σφάλματα, κατά τη γνώμη σας, επηρέασαν τις μετρήσεις σας και πώς μπορείτε να τα ελαττώσετε;

Συμβουλές για χρήση του Microsoft Excel/OpenOffice Calc

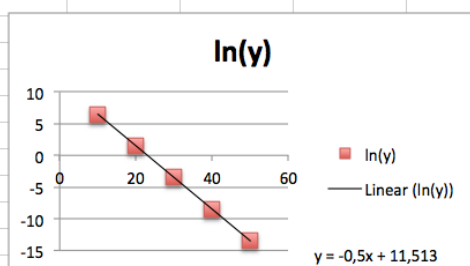
Αρχικά εισάγετε τα δεδομένα στο πρόγραμμα και κατόπιν επιλέγετε γράφημα τύπου scatter



x	y
10	673,7946999
20	4,539992976
30	0,030590232
40	0,000206115
50	1,38879E-06

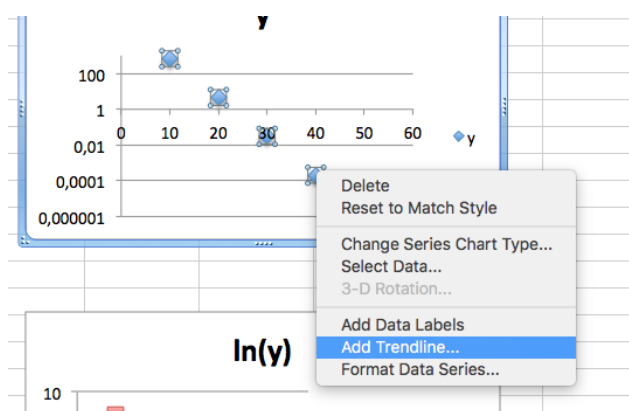


x	y	ln(y)
10	673,7946999	6,51292546
20	4,539992976	1,51292546
30	0,030590232	-3,4870745
40	0,000206115	-8,4870745
50	1,38879E-06	-13,487075



Παραπάνω φαίνονται οι δύο τρόποι αναπαράστασης: είτε με λογαριθμικό κατακόρυφο άξονα (δεξί κλικ -> Format axis) είτε λογαριθμίζοντας τις τιμές.

Η καμπύλη που υπολογίζεται με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων μπορεί να ενταχθεί στο γράφημα με δεξί κλικ πάνω στα πειραματικά σημεία του γραφήματος ως εξής:



Με τον ίδιο τρόπο (δεξί κλικ στα πειραματικά σημεία -> Format Data Series -> Custom) μπορείτε εάν θέλετε να εισάγετε τα σφάλματα των μετρήσεων, αφού πρώτα τα έχετε υπολογίσει σε ξεχωριστή στήλη.