

ΑΣΚΗΣΗ 7

ΕΜΒΕΛΕΙΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ- α

Σκοπός

Σκοπός της εργαστηριακής αυτής άσκησης είναι η μελέτη της εμβέλειας των σωματίων α στην ύλη.

Εισαγωγή

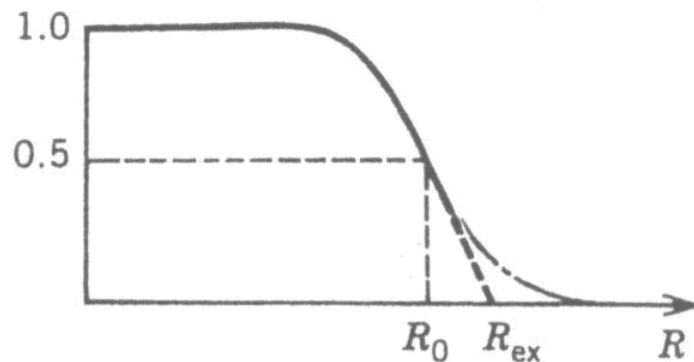
Ένα σωματίο α αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, δηλαδή είναι ο πυρήνας του ατόμου του ηλίου ${}^4_2\text{He}$. Όταν ένα σωματίδιο α διασχίζει την ύλη, χάνει ενέργεια διεγείροντας και κυρίως ionίζοντας τα άτομα μέσα στο υλικό έως ότου χάσει όλη την αρχική κινητική του ενέργεια. Το μέγιστο μήκος της διαδρομής μέσα στο υλικό λέγεται εμβέλεια R του σωματιδίου α .

Ο μηχανισμός που είναι βασικά υπεύθυνος για την απώλεια της ενέργειας των α (He^{++}) είναι η αλληλεπίδραση Coulomb μεταξύ των σωματιδίων αυτών και των δέσμιων ηλεκτρονίων του υλικού. Επειδή η μάζα του α είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου, η απόκλιση των α από την αρχική τους κατεύθυνση είναι αμελητέα. Άλλες πιθανές αλληλεπιδράσεις που οδηγούν σε απώλεια ενέργειας των α είναι οι πυρηνικές αντιδράσεις, οι οποίες όμως έχουν πολύ μικρή πιθανότητα πραγματοποίησης για τις ενέργειες των α που παράγονται από την πηγή του εργαστηρίου. Η απώλεια ενέργειας ανά μονάδα μήκους από ένα σωματίο ενέργειας E που περνάει μέσα από ένα υλικό, $-(dE/dx)$, εξαρτάται από την ενέργεια του σωματίου και από το υλικό και δίνεται από τη σχέση Bethe - Bloch:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 z^2}{m v^2} NZ \left\{ \ln \left[\frac{2 m v^2}{I(1 - \beta^2)} - \beta^2 \right] \right\} \quad 7.1$$

όπου N ο αριθμός των ατόμων του υλικού ανά cm^3 και Z ο ατομικός του αριθμός. I μία εμπειρικά προσδιορισμένη μέση τιμή της ενέργειας ionισμού των ηλεκτρονίων των ατόμων. E , z και v είναι αντίστοιχα η κινητική ενέργεια, το φορτίο και η ταχύτητα του σωματίου α , και $\beta = v/c$. Από τη σχέση (7.1) είναι φανερό ότι για μη σχετικιστικές ενέργειες ($\beta \sim 0$) η απώλεια ενέργειας εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα του σωματίου α (όρος $1/v^2$ στην (7.1)) και το είδος του υλικού (N και Z στην (7.1)).

Η εμβέλεια R , δεν είναι ακριβώς η ίδια για όλα τα α μιας μονοενεργειακής δέσμης, αλλά παρουσιάζει διασπορά “straggling” (ενεργειακό και χωρικό διασκεδασμό) που οφείλεται στη στατιστική φύση του μηχανισμού του ionισμού και μπορεί να προσεγγιστεί από τη στατιστική κατανομή Gauss. Για μεγάλο αριθμό προσπιπτόντων σωματίων οι εμβέλειες είναι κατανομημένες γύρω από τη μέση τιμή R_0 όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1 : I/I_0 (λόγος κανονικοποιημένων εντάσεων) σωματιδίων- α που καταγράφονται από έναν ανιχνευτή συναρτήσει της απόστασης R (για σταθερή στερεά γωνία).

Η μέση εμβέλεια R_0 σε cm μέσα στον αέρα και σε κανονική πίεση και θερμοκρασία, δίνεται από την εμπειρική σχέση:

$$R_0 = 0.32 E^{3/2} \quad 7.2$$

όπου E η ενέργεια των σωματιδίων α σε MeV.

Συνήθως μας ενδιαφέρει το πάχος στο οποίο όλα τα σώματα έχουν απορροφηθεί, δηλαδή το πάχος στο οποίο η καμπύλη έχει φτάσει στο επίπεδο του υποστρώματος. Αυτό το σημείο αντιστοιχεί (περίπου) στην προεκτεινόμενη εμβέλεια R_{ex} , όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.1 και βρίσκεται από την τομή της προέκτασης της εφαπτομένης της καμπύλης.

Γνωρίζοντας την εμβέλεια R_{ex} στον αέρα μπορούμε να βρούμε την εμβέλεια σε οποιοδήποτε άλλο υλικό, με βάση τον κανόνα των Bragg-Kleeman:

$$\frac{R_{material}}{R_{ex,air}} = \frac{\rho_{air}}{\rho_{material}} \cdot \frac{\sqrt{A_{material}}}{\sqrt{A_{air}}} \quad 7.3$$

όπου ρ είναι οι πυκνότητες και A το μέσο μοριακό βάρος (π.χ. για το νερό θα ισχύει: H_2O , άρα μοριακό βάρος $2 \cdot 1 + 1 \cdot 16 = 18$ και A -effective mass weight- $= 18 / \text{αριθμός ατόμων} = 18/3 = 6$. Ομοίως προσδιορίζεται και για τον αέρα)

Πειραματική διάταξη

Για να πραγματοποιήσουμε το πείραμα χρειαζόμαστε:

1. Έναν απαριθμητή G.M.
- 2α. Μια μονάδα επικοινωνίας H/Y με G.M με προσωπικό H/Y ή.
- 2β. Μια μονάδα αυτόνομου καταμετρητή

3. Πηγή σωματιδίων α : ^{210}Po , ^{241}Am ή άλλη τυπική πηγή σωματιδίων- α
4. Πλαστική πλάκα από πλεξιγκλάς με μια υποδοχή
5. Μια πλαστική βάση για τη στήριξη του G.M., της πλάκας και της πηγής
6. Χάρακας
7. Λεπτά πλαστικά καλύμματα πηγών για την αποκοπή σωματιδίων- α

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Για ανιχνευτή Geiger-Muller

1. Berkeley, Τόμος 4, Κβαντική Φυσική EM, 1979, σελ. 258-259.
2. A. Melissinos, Experiments in Modern Physics, Pergamon Press, σελ. 175-180.
3. W. Price, Nuclear Radiation Detection, McGraw Hill, σελ. 175-180.
4. Κ. Αλεξόπουλος, Τόμος 3, Ατομική και Πυρηνική Φυσική, σελ. 128-130.
5. M. Alonso, E. Finn, Vol. 3, Fundamental University Physics, σελ. 567-570.
6. E.N. Γαζής, Σύγχρονη Πειραματική Φυσική, 1991, σελ. 244-251.

B. Σωματίδια- α

1. Cottingham and Greenwood, Εισαγωγή στην Πυρηνική Φυσική, σελ. 71-72 και σελ. 95-104.
2. Berkeley, Τόμος 4, Κβαντική Φυσική, E.M.P., 1979, σελ. 319-321.
3. A. Melissinos, Experiments in Modern Physics, Pergamon Press, σελ. 179-180.
4. W. Price, Nuclear Radiation Detection, McGraw-Hill, 1964, σελ. 2-13.
5. Κ. Αλεξόπουλος, Τόμος 3. Ατομική και Πυρηνική Φυσική, 1963, σελ. 2-13 και σελ. 156-159.

Εκτέλεση του πειράματος

1. Αρχικά πραγματοποιήστε μια μέτρηση του υποστρώματος για 2 min (ή 100 s - ό,τι επιτρέπει το hardware του καταμετρητή σας). Καταγράψτε τον αριθμό κρούσεων N_b που αντιστοιχούν στο υπόστρωμα.
2. Τοποθετήστε με τη λαβίδα την πηγή σωματιδίων- α , με το ραδιενεργό υλικό ανοικτό προς τα πάνω, σε απόσταση περίπου 5 cm από τον ανιχνευτή σας, αφού βάλετε την πηγή πάνω στην υποδοχή της κατάλληλης πλαστικής πλάκας από πλεξιγκλάς.
3. Επί 2 min μετρήστε τον αριθμό των κρούσεων N_a και καταγράψτε τον στον πίνακα I. Όλες οι μετρήσεις σας θα πρέπει να πραγματοποιηθούν σε ίσους χρόνους. Εκτιμήστε με τη βοήθεια του χάρακα την απόσταση L πηγής-παραθύρου του ανιχνευτή, καθώς και το σφάλμα δL και καταγράψτε την στον πίνακα I.
4. Όπως γνωρίζετε, στις περισσότερες περιπτώσεις ραδιενεργών ισοτόπων, η αποδιέγερση- α συνοδεύεται από την εκπομπή ακτινοβολίας- γ , η οποία μπορεί να δημιουργήσει ένα έξτρα υπόβαθρο στο πείραμά σας. Συνεπώς, επαναλάβετε τη μέτρησή σας τοποθετώντας ένα λεπτό φύλλο από πλαστικό (που θα σας δοθεί) πάνω από την πηγή σας, το οποίο αποκόπτει τα σωματίδια- α , επιτρέποντας τη διέλευση μόνο των ακτίνων- γ . Έτσι θα μετρήσετε τον αριθμό κρούσεων N_γ .

5. Συνεχίστε τις μετρήσεις σας με όμοιο τρόπο, αλλάζοντας τη θέση της πηγής έτσι ώστε να μειώνεται βαθμιαία η απόσταση πηγής απαριθμητή. Λόγω των απότομων αλλαγών στον καταγεγραμμένο αριθμό κρούσεων γύρω από τη θέση εμβέλειας των σωματιδίων- α , απαιτούνται πολύ προσεκτικές και όσο το δυνατόν πιο μικρές αλλαγές απόστασης σε κάθε βήμα. Ελέγξτε ότι η πηγή βρίσκεται πάντοτε ακριβώς κάτω από το παράθυρο του ανιχνευτή.

6. Έχοντας υπόψη ότι τα σωματίδια- α εκπέμπονται ισότροπα σε όλο το χώρο, να μετρήσετε (εκτιμήσετε) τη διάμετρο του παραθύρου του G.M. (χωρίς να τον μετακινήσετε από τη θέση του).

Προσοχή : Το παράθυρο του απαριθμητή είναι πολύ ευαίσθητο. Δεν πρέπει να έρθει σε επαφή με τίποτα απολύτως.

Πίνακας I

L	δL	N_α	$N_\alpha - N_b - N_\gamma$	$\delta(N_\alpha - N_b - N_\gamma)$
---	------------	------------	-----------------------------	-------------------------------------

7. Τοποθετήστε την πηγή στη θέση της. Κατεβάστε την τάση στον ανιχνευτή σας και κλείστε το τροφοδοτικό του.

Επεξεργασία των μετρήσεων

1. Από τον αριθμό κρούσεων για 2 min, N_α υπολογίστε το διορθωμένο, ‘καθαρό’ αριθμό κρούσεων $N_\alpha = N_\alpha - N_b - N_\gamma$, μετά την αφαίρεση των γεγονότων του υποστρώματος N_b και N_γ και το σφάλμα του, δN_α και συμπληρώστε τις υπόλοιπες στήλες του πίνακα I.

2. Θεωρώντας ότι η πηγή που χρησιμοποιήσατε είναι σημειακή, να υπολογίσετε τη στερεά γωνία Ω για κάθε απόσταση πηγής-απαριθμητή σύμφωνα με τα βήματα (4) και (5). Για τον υπολογισμό της στερεάς γωνίας Ω μπορείτε να κατεβάσετε και να εγκαταστήσετε ελεύθερα το πρόγραμμα SACALC3 το οποίο πραγματοποιεί ακριβείς Monte-Carlo υπολογισμούς για οποιαδήποτε απλή γεωμετρία – ή εναλλακτικά την απλή, αλλά ανακριβή για κοντινές αποστάσεις σχέση $\Omega = S/L^2$, όπου S η επιφάνεια του ανιχνευτή και L η απόσταση που μετρήσατε.

(<https://sites.google.com/site/averagesolidangle2/dow/sacalc3>)

3. Να αποδώσετε γραφικά τη συνάρτηση $(N_\alpha - N_b - N_\gamma)/\Omega = f(L)$ (λαμβάνοντας υπόψη τα στατιστικά σφάλματα των μεγεθών N_α , N_b και N_γ και εκτιμώντας το σφάλμα στα L και Ω) και χαράξτε την ομαλή καμπύλη που περνάει όσο πιο κοντά γίνεται από τα πειραματικά σημεία.

4. Από την πειραματική καμπύλη προσδιορίστε τη μέση εμβέλεια R_0 των α και εκτιμήστε το σφάλμα δR . Επίσης, να υπολογίσετε και την τιμή R_{ex} και να εκτιμήσετε επίσης το σφάλμα της.

5. Συγκρίνετε την εμβέλεια που βρήκατε με την εμβέλεια των σωματίων α στον αέρα που εκπέμπει η πηγή βρίσκοντας την ενέργεια των α που εκπέμπει η πηγή σας ακολουθώντας το σύνδεσμο <http://www.nndc.bnl.gov/chart/> (όπου στο πεδίο 'Nucleus' θα δώσετε το ραδιενεργό ισότοπο από το οποίο αποτελείται η πηγή σας, θα επιλέξετε 'go' και στη συνέχεια 'decay radiation', όπου θα βρείτε τη μέγιστη ενέργεια των σωματιδίων- α που εκπέμπονται με μεγάλη πιθανότητα) και χρησιμοποιώντας την εμπειρική σχέση (7.2), καθώς και το Monte-Carlo πρόγραμμα SRIM το οποίο διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο και δίδει τα πιο ακριβή αποτελέσματα (<https://www.srim.org/SRIM/SRIMLEGL.htm>) σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Πόσο μεγάλες είναι οι διαφορές που βρίσκετε;

6. Με δεδομένο ότι οι διαφορές που βρήκατε μεταξύ πειραματικών μετρήσεων και φαινομενολογικών προβλέψεων οφείλονται στο πάχος του παραθύρου του ανιχνευτή G.M. το οποίο είναι κατασκευασμένο από mica ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{H}_2$, $\rho=2.82 \text{ gr/cm}^3$), να υπολογίσετε το πάχος του παραθύρου αυτού, χρησιμοποιώντας κατάλληλα το πρόγραμμα SRIM (ορίζοντας δηλαδή απορροφητή που αποτελείται από δύο στρώματα, κατά σειρά αέρα και mica, όπου σαν πάχος αέρα θα χρησιμοποιήσετε την τιμή R_{ex} που προσδιορίσατε στο ερώτημα (4). Προσπαθήστε να διερευνήσετε τις δυνατότητες του λογισμικού για να απαντήσετε με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια στο ερώτημα αυτό!

7. Αν δεν υπήρχε καθόλου αέρας, πόση θα ήταν η εμβέλεια των σωματιδίων- α που εκπέμπονται από τη ραδιενεργό πηγή σας στο υλικό mica; Χρησιμοποιείστε τη σχέση (7.3) και συγκρίνετε με τα αποτελέσματα που δίδει το πρόγραμμα SRIM.