

ΑΣΚΗΣΗ 10

ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟ ΙΣΟΤΟΠΟ ^{40}K

Σκοπός

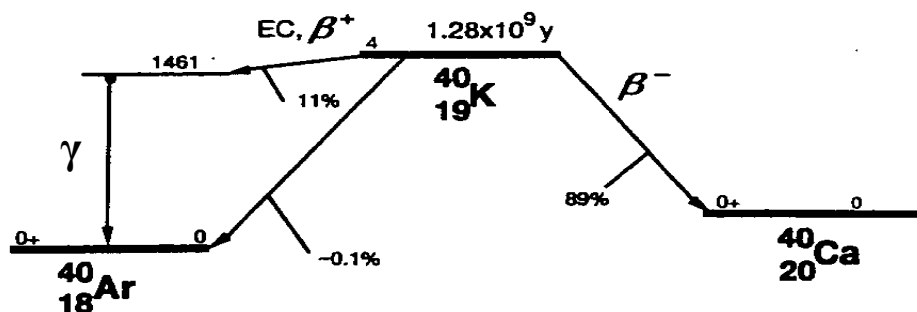
Σκοπός του πειράματος είναι η μέτρηση της ενεργότητας μιας ποσότητας φυσικού KCl και ο υπολογισμός του χρόνου ημιζωής του ^{40}K . Ο υπολογισμός του χρόνου ημιζωής αποτελεί περισσότερο μία εκτίμηση παρά μία ακριβή μέτρηση επειδή η πηγή του KCl έχει μεγάλες διαστάσεις οπότε αφ' ενός δεν αντιστοιχεί σε μία σημειακή πηγή και αφ' ετέρου προκαλεί ενδοαπορρόφηση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας $-\gamma$

Εισαγωγή

Το κάλιο απαντάται στη φύση σε μεγάλες ποσότητες, κυρίως στα πετρώματα, στη θάλασσα και στους ανθρώπινους ιστούς. Χρησιμοποιείται βασικά ως λίπασμα και αντιστοιχεί στο τρίτο νούμερο που περιγράφει την επί τις 100 κατά βάρος σύσταση στο αντίστοιχο στοιχείο π.χ. 30-15-24 \Rightarrow (N-P-K). Το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο είναι τα βασικά στοιχεία οποιουδήποτε λιπάσματος το οποίο συνήθως περιλαμβάνει και διάφορα ιχνοστοιχεία.

Το κάλιο διαθέτει δύο σταθερά ισότοπα ^{39}K (93.3%) και ^{41}K (6.7%) και ένα ραδιενεργό ισότοπο, το ^{40}K (0.0117%) με χρόνο ημιζωής 1.28×10^9 y, ενώ το αντίστοιχο ατομικό βάρος του φυσικού καλίου είναι 39.1 ($39 \times 0.933 + 41 \times 0.067$). Λόγω της μεγάλης αφθονίας του K στη φύση κυρίως στα πετρώματα του στερεού φλοιού της γης και τη θάλασσα, ένα σημαντικό ποσοστό της θερμότητας του πλανήτη μας προέρχεται από την ραδιενέργεια του ^{40}K . Επίσης η ακτινοβολία που δέχεται ο άνθρωπος από το ^{40}K είναι περίπου η μισή της ετήσιας δόσης από όλες τις άλλες πηγές ακτινοβολίας (υπό κανονικές συνθήκες). Αξίζει επομένως να μελετήσουμε το ισότοπο ^{40}K .

Ο μηχανισμός αποδιέγερσης του ^{40}K φαίνεται στο Σχήμα 10.1.



Σχ.10.1. Σχηματικό ενεργειακό διάγραμμα της αποδιέγερσης του ^{40}K

Η χαρακτηριστική ακτίνα- γ από την αποδιέγερση της πρώτης στάθμης του ^{40}Ar με ενέργεια $E_\gamma = 1461 \text{ keV}$ αποτελεί μόνιμη πρόσμιξη σε κάθε πείραμα φασματοσκοπίας στο εργαστήριο. Η μέτρηση της απόλυτης ενεργότητας του ^{40}K μέσω της ακτίνας- γ ενέργειας $E_\gamma = 1461 \text{ KeV}$ μπορεί να μας προσδιορίσει την ποσότητα του φυσικού

καλίου που υπάρχει σε ένα υλικό. Εναλλακτικά αν γνωρίζουμε την ποσότητα του φυσικού καλίου σε ένα δείγμα μπορούμε να υπολογίσουμε μέσω της ενεργότητας το χρόνο ημιζωής του ^{40}K .

Μέθοδος

Γνωρίζοντας ότι μία ουσία περιέχει m gr φυσικού καλίου μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των ατόμων (πυρήνων) ^{40}K μέσω της σχέσης :

$$N = N_A \frac{m}{(AB)} \cdot f_1 \quad (10.1)$$

Όπου, $N_A = 6.0210^{23}$ άτομα/mol ο αριθμός του Avogadro, AB το ατομικό βάρος σε gr του φυσικού καλίου ($AB=39.1$ gr) και $f_1=0.0117\%$ η σχετική αφθονία των πυρήνων ^{40}K ως προς το φυσικό κάλιο. Η σχετική αφθονία f_1 είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια από μετρήσεις μέσω πειραμάτων με φασματογράφους μάζας. Η ενεργότητα του ^{40}K

$$R = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (10.2)$$

συνδέεται με τον απόλυτο ρυθμό παραγωγής $R_\gamma^{(\alpha)} = dN_\gamma/dt$ των ακτίνων- γ με ενέργεια $E_\gamma=1461\text{KeV}$ μέσω της σχέσης

$$R_\gamma^{(\alpha)} = f_2 R \quad (10.3)$$

όπου ο συντελεστής $f_2 = 0.105$ δίνει το ποσοστό των διασπάσεων του ^{40}K μέσω της συγκεκριμένης ακτίνας- γ .

Οι ακτίνες- γ όμως δεν ανιχνεύονται όλες από τον ανιχνευτή μας λόγω της συγκεκριμένης γεωμετρίας και της εσωτερικής απόδοσης ϵ του ανιχνευτή. Πιο συγκεκριμένα, ο ρυθμός των ακτίνων- γ που παρατηρούμε, δίδεται συναρτήσει της στερεάς γωνίας $\Delta\Omega$ μεταξύ του δείγματος και του ανιχνευτή, από την έκφραση

$$R_\gamma^{\text{πειρ}} = R_\gamma = \left(\frac{\Delta\Omega}{4\pi} \epsilon \right) R_\gamma^{(\alpha)} = \epsilon_{ef} R_\gamma^{(\alpha)} \quad (10.4)$$

Η ενεργός απόδοση ϵ_{ef} του ανιχνευτή μας είναι

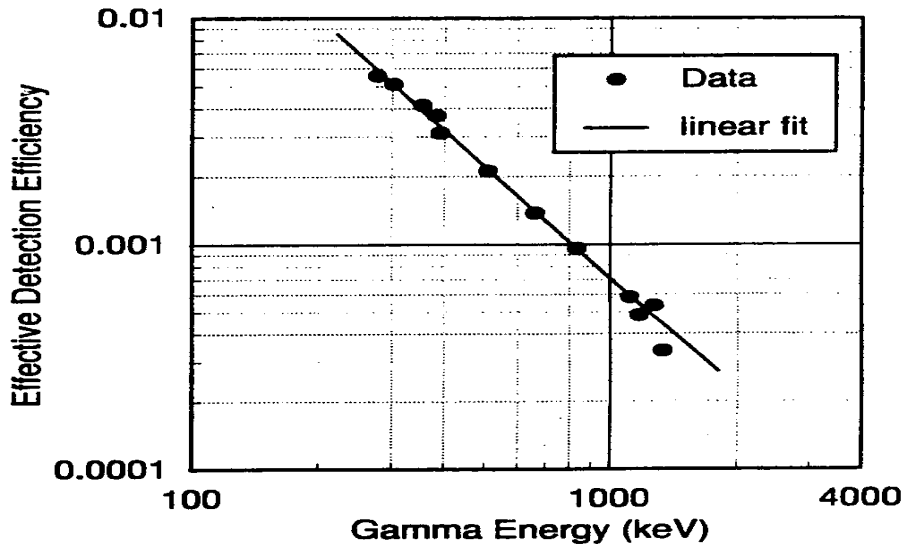
$$\epsilon_{ef} = \frac{\Delta\Omega}{4\pi} \epsilon \quad (10.5)$$

Για την περίπτωση που ο κρύσταλλος NaI έχει διαστάσεις $3.8\text{cm} \times 2.5\text{cm}$ και σημειακή πηγή τοποθετημένη στην 8° θέση από τον ανιχνευτή, η ενεργός απόδοση ϵ_{ef} δίδεται από τον κατασκευαστή συναρτήσει της ενέργειας των ακτίνων $-\gamma$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.2.

Έχοντας υπόψη ότι ο χρόνος ημιζωής $T_{1/2}$ συνδέεται με τη σταθερά διάσπασης λ μέσω της σχέσης $T_{1/2} = 0.693/\lambda$, μπορούμε να υπολογίσουμε το χρόνο ημιζωής του ^{40}K μέσω της έκφρασης

$$T_{1/2} = \left(\frac{0.693 N_A f_1 f_2}{AB} \right) \frac{m \epsilon_{ef}}{R_\gamma} = C \frac{m \epsilon_{ef}}{R_\gamma} \quad (10.6)$$

όπου $C = 1.31 \times 10^{17} \text{gr}^{-1}$



Σχ.1. Η ενεργός απόδοση του ανιχνευτή NaI για κυλινδρικό κρύσταλλο διαστάσεων 3.8cmx2.5cm και σημειακή πηγή τοποθετημένη στην 8^η θέση από τον ανιχνευτή.

Επομένως για να υπολογίσουμε τον χρόνο ημιζωής του ^{40}K αρκεί να μετρήσουμε τον ρυθμό παραγωγής R_γ των ακτίνων- γ στη φωτοκορυφή των 1461KeV, την ενεργό απόδοση ϵ_{ef} του ανιχνευτή και τη μάζα m μιας ποσότητας φυσικού καλίου. Εναλλακτικά γνωρίζοντας το χρόνο ημιζωής του ^{40}K μπορούμε να υπολογίσουμε την μάζα φυσικού καλίου που περιέχει μία ουσία μετρώντας το R_γ και ϵ_{ef} . Επειδή ο αέρας και όλα τα υλικά περιέχουν ^{40}K , που εμφανίζεται σαν υπόβαθρο μέσω της ακτίνας γ στα 1461KeV, πρέπει οπωσδήποτε ο αντίστοιχος ρυθμός παραγωγής να διορθωθεί για το υπόβαθρο από το περιβάλλον.

Εξοπλισμός

1. Ανιχνευτής NaI(Tl)
2. Πηγές ^{137}Cs , ^{60}Co
3. 60gr KCl

Βιβλιογραφία

1. Εισαγωγή στην Πυρηνική Φυσική, Π.Ασημακόπουλος, Ιωάννινα, 2002, σελ. 343.

Πειραματική διαδικασία

1. Χρησιμοποιήστε τις πηγές ^{137}Cs και ^{60}Co για την ενεργειακή βαθμονόμηση του φάσματος
2. Μετρήστε τη μάζα m μιας ποσότητας KCl περίπου 60 gr
3. Τοποθετήστε το δοχείο με το KCl στην 7^η θέση κάτω από τον ανιχνευτή και καταγράψτε το φάσμα για χρόνο μερικών ωρών. Ολοκληρώστε τη φωτοκορυφή 1461 keV και καταγράψτε τον αριθμό των γεγονότων. Από το

χρόνο μέτρησης υπολογίστε το ρυθμό παραγωγής των γεγονότων και το αντίστοιχο σφάλμα του.

4. Απομακρύνετε το δοχείο με το KCl και πάρτε ένα φάσμα υποβάθρου για τον ίδιο χρόνο. Υπολογίστε τα γεγονότα του υποβάθρου για τη φωτοκορυφή 1461 KeV του ^{40}K , το ρυθμό παραγωγής των γεγονότων υποβάθρου καθώς και το σφάλμα του.

Επεξεργασία των μετρήσεων

1. Αφαιρέστε το ρυθμό παραγωγής του υποβάθρου από το ρυθμό παραγωγής με το KCl και υπολογίστε το «καθαρό» ρυθμό παραγωγής και το αντίστοιχο σφάλμα.
2. Μέσω της καμπύλης του Σχήματος 10.2 υπολογίστε την ϵ_{ef} για την φωτοκορυφή ενέργειας $E_\gamma=1461\text{keV}$. Επειδή η καμπύλη αυτή είναι υπολογισμένη για τη θέση 8 ενώ η μέση τιμή του δείγματος είναι στη θέση 4 η στερεά γωνία μεγαλώνει κατά ένα παράγοντα του 4. Επομένως χρειάζεται να αυξήσετε την τιμή της ϵ_{ef} κατά τον ίδιο παράγοντα 4, συμπεριλαμβάνοντας και ένα σφάλμα 20-30%.
3. Υπολογίστε τη μάζα m του φυσικού καλίου που περιέχεται στο δείγμα σας και μέσω του τύπου 10.6 υπολογίστε το χρόνο ημιζωής του ^{40}K καθώς και το αντίστοιχο σφάλμα του.
4. Συγκρίνετε τα πειραματικά αποτελέσματα με τον αναμενόμενο χρόνο ημιζωής. Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας.