

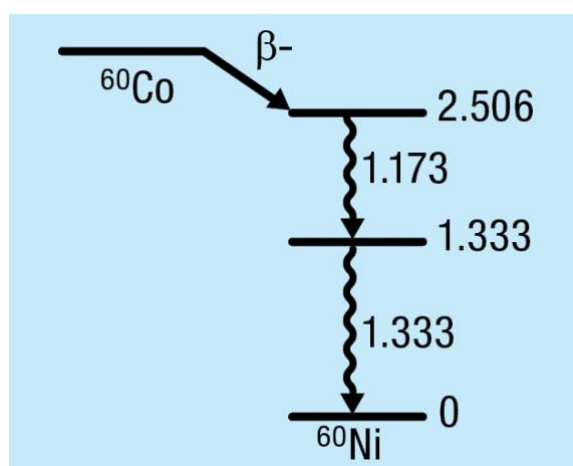
Project 9

Μελέτη της αθροιστικής κορυφής σε φάσματα ακτινοβολίας γ

Θεωρητικά στοιχεία

Συμπτώσεις γ - γ

Πολλά ραδιονουκλίδια εκπέμπουν δύο ή περισσότερα φωτόνια από την ίδια διάσπαση. Η αρχική διάσπαση (θα μπορούσε να είναι α , β^- , β^+ ή σύλληψη ηλεκτρονίων) τροφοδοτεί μια διεγερμένη κατάσταση στο θυγατρικό πυρήνα. Αυτή η κατάσταση θα αποδιεγερθεί περαιτέρω μέσω εκπομπής φωτονίων ή μέσω εσωτερικής μετατροπής σε μια λιγότερο διεγερμένη κατάσταση στον πυρήνα (που θα μπορούσε να είναι η βασική κατάσταση του θυγατρικού πυρήνα).

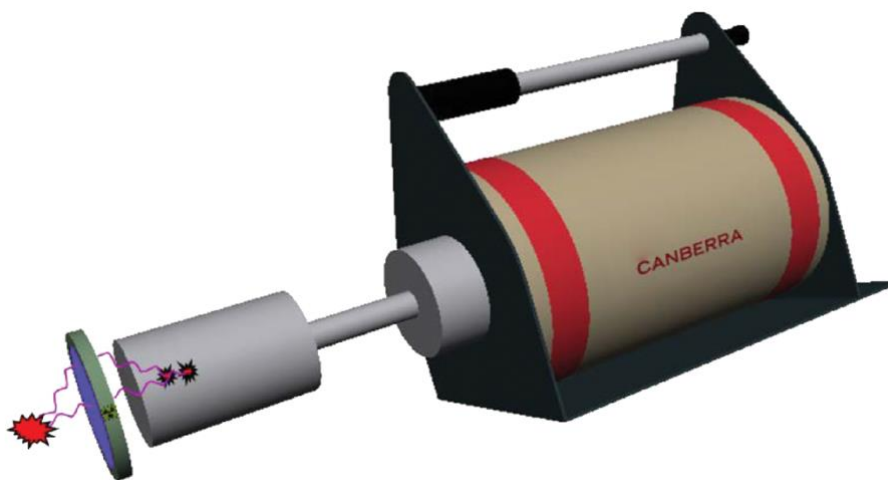


Εικόνα 1 – Διάγραμμα διάσπασης του ασταθούς ισότοπου ^{60}Co (οι ενέργειες σε MeV).

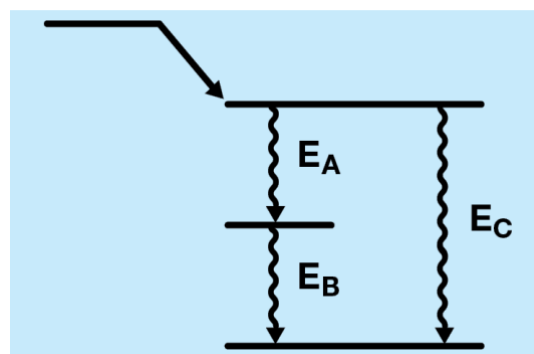
Η τυπική διάρκεια ζωής των διεγερμένων καταστάσεων σε έναν πυρήνα είναι στη χρονική κλίμακα του ps (10^{-12} s). Ο τυπικός χρόνος απόκρισης για έναν ανιχνευτή, π.χ. ο ελάχιστος χρόνος μεταξύ δύο γεγονότων φωτονίων που απαιτείται για να τα αναγνωρίσει ο ανιχνευτής ως δύο ξεχωριστά συμβάντα, είναι της τάξης των μs. Σημειώστε ότι αυτή η κλίμακα είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από την τυπική διάρκεια ζωής των διεγερμένων καταστάσεων. Για διασπάσεις όπου εκπέμπονται περισσότερα από ένα φωτόνια, υπάρχει σημαντική πιθανότητα πολλαπλά φωτόνια να αλληλεπιδράσουν και να εναποθέσουν ενέργεια στον ανιχνευτή. Δεδομένου ότι ο χρόνος μεταξύ των εκπομπών φωτονίων είναι πολύ μικρότερος από τον χρόνο απόκρισης για τον ανιχνευτή, δεν είναι δυνατό για τον ανιχνευτή να διακρίνει τα φωτόνια ως ξεχωριστά συμβάντα και έτσι παράγεται ένας μόνο παλμός, ο οποίος αντιστοιχεί στο άθροισμα των επιμέρους ενεργειών. Στην Εικ. 2 υπάρχει ένα παράδειγμα διάσπασης που περιγράφει δύο φωτόνια να εναποθέτουν ενέργεια στον ανιχνευτή εντός του χρόνου ανάλυσης του ανιχνευτή. Αυτό το γεγονός οδηγεί στην εμφάνιση αθροιστικής κορυφής στο καταγεγραμμένο φάσμα. Δύο περιπτώσεις απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή:

1. Άθροιση προς τα έξω ("Summing Out"). Σε αυτή την περίπτωση, ένα από τα φωτόνια εναποθέτει όλη την ενέργειά του στον ανιχνευτή (για παράδειγμα η ακτίνα γάμμα 1173 keV στην Εικόνα 1) και το άλλο φωτόνιο (για παράδειγμα η ακτίνα γάμμα 1332 keV) εναποθέτει κάποια ή όλη την ενέργειά του στον ανιχνευτή. Αυτό θα μετακινήσει μια μέτρηση από την κορυφή πλήρους ενέργειας του πρώτου φωτονίου (των 1173 keV για αυτό το παράδειγμα) σε μια υψηλότερη ενέργεια στο φάσμα. Αυτό μειώνει το ρυθμό μέτρησης του πρώτου φωτονίου σε σύγκριση με την ανίχνευση μόνο ενός φωτονίου κι εμφανίζει μια αθροιστική κορυφή.

2. Άθροιση προς τα μέσα ("Summing in"). Αυτό το φαινόμενο είναι σχετικό όταν η ενέργεια ενδιαφέροντος κάποιας γ είναι ίση με το άθροισμα της ενέργειας δύο άλλων ακτίνων γάμμα στο σχήμα διάσπασης όπως το παράδειγμα στην Εικόνα 3. Εδώ, το άθροισμα μεταξύ των ακτίνων γάμμα ενέργειας E_A και E_B (πχ 1173+1332 keV) θα προκαλέσει αύξηση του ρυθμού μέτρησης της κορυφής στην ενέργεια E_C . Αυτό ονομάζεται άθροιση προς τα μέσα.



Εικόνα 2 – Η διάσπαση ενός ισότοπου εκπέμπει δύο ακτίνες γ που απορροφώνται από τον ανιχνευτή



Εικόνα 3 – Διάγραμμα διάσπασης στο οποίο δύο διαδοχικές ακτίνες γ με ενέργειες E_A και E_B εμφανίζονται ως μία ενέργεια E_C

Σύμπτωση φωτονίων εξαΰλωσης γάμμα

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα φωτόνια που δημιουργούνται από τη διαδικασία διάσπασης (όπως στη διάσπαση β^+) μπορούν να αθροιστούν με τα φωτόνια από το θυγατρικό νουκλίδιο. Στη διάσπαση

β^+ , εκπέμπονται ποζιτρόνια τα οποία θα επιβραδύνουν στο περιβάλλον υλικό, θα βρουν ένα ηλεκτρόνιο και θα εξαϋλωθούν εκπέμποντας δύο φωτόνια με ενέργειες 511 keV. Ο χρόνος που χρειάζεται για να επιβραδυνθεί και να εξαϋλωθεί το ποζιτρόνιο είναι μικρός σε σύγκριση με τον χρόνο απόκρισης του ανιχνευτή. Εάν τουλάχιστον ένα από τα φωτόνια από την εξαϋλωση εναποθέτει ενέργεια στον ανιχνευτή εκτός από την ανίχνευση ενός φωτονίου στο θυγατρικό πυρήνα, τότε η μέτρηση θα μετακινηθεί από την τιμή ενέργειας της πλήρους φωτοκορυφής της.

Πιθανότητα άθροισης αληθινής σύμπτωσης

Επειδή η εμφάνιση της αθροιστικής κορυφής απαιτεί την ανίχνευση δύο φωτοκορυφών από την ίδια διάσπαση, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ακόλουθα:

1. Η απόδοση ανίχνευσης για τις φωτοκορυφές που συμμετέχουν στη διαδικασία άθροισης. Αυτή εν γένει εξαρτάται από τον τύπο ανιχνευτή και τη γεωμετρία μέτρησης που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, η πιθανότητα ανίχνευσης δύο φωτονίων ως ένα αθροιστικό γεγονός αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους του ανιχνευτή και τη μείωση της απόστασης πηγής-ανιχνευτή.

2. Το νουκλίδιο που μετράται. Πιο συγκεκριμένα, το διάγραμμα διάσπασης του νουκλιδίου. Νωρίτερα είδαμε ότι η άθροιση προς τα μέσα και προς τα έξω εξαρτάται από το διάγραμμα διάσπασης των ακτίνων γ (π.χ. η παρουσία μιας διαδοχικής σειράς διασπάσεων και ο τρόπος διάσπασης, όπως η εσωτερική μετατροπή ή η σύλληψη ηλεκτρονίων). Υπάρχουν μερικοί πυρήνες που είναι ανεπηρέαστοι (όπως οι ^{137}Cs) και άλλοι (όπως οι ^{60}Co και ^{88}Y) που παρουσιάζουν σημαντικά αθροιστικά αποτελέσματα.

Συνέπειες για βαθμονομήσεις απόδοσης βάσει της πηγής

Οι περισσότερες εμπορικά διαθέσιμες πηγές πολλαπλών γάμμα περιλαμβάνουν νουκλίδια που εμφανίζουν άθροιση αληθινής σύμπτωσης. Για παράδειγμα, είναι σύνηθες να χρησιμοποιούνται ^{60}Co και ^{88}Y ως νουκλίδια υψηλής ενέργειας που εκπέμπουν φωτόνια. Και τα δύο παρουσιάζουν άθροιση προς τα έξω. Η χρήση νουκλιδίων που έχουν αθροιστικά αποτελέσματα σε κοντινές γεωμετρίες θα επιφέρει ρυθμούς μέτρησης φωτοκορυφής που είναι χαμηλότεροι από ό,τι θα ήταν εάν το νουκλίδιο δεν είχε αποτελέσματα άθροισης. Το αποτέλεσμα αυτού είναι ότι η απόδοση σε αυτές τις ενέργειες θα φαίνεται να είναι χαμηλότερη από την πραγματική απόδοση. Εάν αυτά τα σημεία απόδοσης χρησιμοποιούνται χωρίς διόρθωση, τότε η υπολογισμένη απόδοση θα είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με την πραγματική απόδοση. Ως αποτέλεσμα, όταν η απόδοση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ενεργότητας για μια μέτρηση δείγματος χωρίς άθροιση, το αποτέλεσμα θα είναι υψηλότερο από την πραγματική ενεργότητα.

Συνέπειες για τον αριθμό καταγραφής των δειγμάτων

Για τις μετρήσεις δειγμάτων, τα αποτελέσματα της άθροισης προς τα έξω θα προκαλέσουν μείωση των μετρούμενων ρυθμών καταμέτρησης της φωτοκορυφής. Συνεπώς, οι μετρούμενες ενεργότητες θα είναι χαμηλότερες από τις πραγματικές. Η άθροιση προς τα μέσα έχει το αντίθετο αποτέλεσμα, με τις μετρούμενες ενεργότητες να υπερβαίνουν τις πραγματικές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα φαινόμενα αθροιστικής κορυφής είναι πιο κοινά. Είναι επίσης το πιο σημαντικό αποτέλεσμα, καθώς η υποτίμηση των δραστηριοτήτων νουκλιδίων μπορεί να έχει επιπτώσεις στην εκτίμηση της δόσης από τα ραδιονουκλίδια.

Μείωση της επίδρασης της άθροισης αληθινής σύμπτωσης

Δεδομένου ότι η πιθανότητα εμφάνισης αθροιστικής κορυφής εξαρτάται από την ικανότητα ανίχνευσης, το αποτέλεσμα μπορεί να μειωθεί μετακινώντας το δείγμα μακριά από τον ανιχνευτή. Ωστόσο, η επίδραση της μείωσης της συνολικής απόδοσης του συστήματος μέτρησης οδηγεί σε αυξημένους χρόνους μέτρησης (προκειμένου να υπάρχει επαρκής στατιστική καταμέτρησης) και συνεπώς μειωμένη παραγωγικότητα για την καταμέτρηση δειγμάτων.

Εάν η άθροιση οφείλεται κυρίως σε ακτίνες Χ (όπως μπορεί να συμβαίνει όταν ο πυρήνας διασπάται με τη σύλληψη ηλεκτρονίων), τότε η άθροιση μπορεί να μειωθεί με την εισαγωγή ενός απορροφητή που θα εξασθενεί τις περισσότερες φωτοκορυφές χαμηλής ενέργειας. Αυτή η προσέγγιση ισχύει για όλες τις γεωμετρικές μέτρησης και όλα τα κοινά νουκλίδια που είναι γνωστό ότι επηρεάζονται.

Πειραματική διαδικασία

1. Βεβαιωθείτε ότι ο σπινθηριστής NaI(Tl) είναι συνδεδεμένος στον υπολογιστή μέτρησης και έχει δοθεί τάση λειτουργίας
2. Τοποθετήστε την πηγή ^{137}Cs που θα σας δοθεί μπροστά από τον ανιχνευτή.
3. Ρυθμίστε την ενίσχυση του ενισχυτή έτσι ώστε η φωτοκορυφή να είναι κοντά στο 40-50% του συνολικού εύρους του φάσματος.
4. Βαθμονομήστε τον ανιχνευτή.
5. Τοποθετήστε την πηγή ^{137}Cs ακριβώς στο πρόσωπο του ανιχνευτή και συλλέξτε ένα φάσμα (χρησιμοποιήστε ένα χρόνο μέτρησης έτσι ώστε να υπάρχουν τουλάχιστον 10 000 μετρήσεις στην κορυφή πλήρους ενέργειας).
6. Καταγράψτε τον αριθμό των μετρήσεων στις φωτοκορυφές και το νεκρό χρόνο.
7. Τοποθετήστε την πηγή ^{137}Cs 5 cm μακριά από την πηγή και συλλέξτε ένα νέο φάσμα.
8. Καταγράψτε τον αριθμό των μετρήσεων στις φωτοκορυφές και το νεκρό χρόνο.
9. Τοποθετήστε την πηγή ^{137}Cs 30 cm μακριά από την πηγή και συλλέξτε ένα φάσμα.
10. Καταγράψτε τον αριθμό των μετρήσεων στις κορυφές πλήρους ενέργειας, και αντίστοιχα το νεκρό χρόνο.
11. Τοποθετήστε την πηγή ^{137}Cs σε ένα λεπτό φύλλο χαλκού απευθείας στο πρόσωπο και συλλέξτε ένα φάσμα.
12. Καταγράψτε τον αριθμό των μετρήσεων στις κορυφές πλήρους ενέργειας.
13. Επαναλάβετε το βήμα 12 για μια πηγή ^{60}Co και μια πηγή ^{22}Na .

Ανάλυση

14. Υπολογίστε την απόδοση για όλες τις ενέργειες για τις οποίες υπολογίστηκαν οι φωτοκορυφές με βάση το γεωμετρικό παράγοντα για τη συγκεκριμένη γεωμετρία.
15. Χρησιμοποιώντας τα ολοκληρώματα των φωτοκορυφών, τους χρόνους μέτρησης και τις ενεργότητες των πηγών υπολογίστε τις αποδόσεις για όλες τις πηγές και τις γεωμετρίες.

16. Υπολογίστε τον συντελεστή αληθούς σύμπτωσης-άθροισης (που ορίζεται ως η μετρούμενη απόδοση διαιρούμενη με την υπολογιζόμενη απόδοση) για όλες τις πηγές και τις γεωμετρίες. Ένας παράγοντας κοντά στο 1 δείχνει ότι δεν υπάρχει ή είναι αμελητέα άθροιση αληθινής σύμπτωσης. Ένας παράγοντας μικρότερος από 1 υποδηλώνει ότι υπάρχουν αθροιστικές συμπτώσεις και ένας παράγοντας μεγαλύτερος από 1 υποδηλώνει ότι υπάρχουν αθροιστικές μέσα συμπτώσεις.
17. Για κάθε πηγή και γεωμετρία εξηγήστε την τιμή του συντελεστή αληθινής σύμπτωσης-άθροισης. Εάν είναι απαραίτητο, αναζητήστε τα διαγράμματα διασπάσεων από ένα βιβλίο ή στο διαδίκτυο, για παράδειγμα από το Εθνικό Κέντρο Πυρηνικών Δεδομένων στο Εθνικό Εργαστήριο Brookhaven <http://www.nndc.bnl.gov/nudat3/>.
18. Καταγράψτε πλήρως τις παρατηρήσεις σας για όλα τα βήματα.