



ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Τμήμα Φυσικής

## ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΥΓΕΙΟΦΥΣΙΚΗΣ

Θεόδωρος Μερτζιμέκης  
tmertzi@phys.uoa.gr



ΑΘΗΝΑ 2018



## Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι όλα τα υλικά στοιχεία στη φύση δημιουργούνται από τους συνδυασμούς των δομικών λίθων που αποκαλούμε *άτομα* και τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από τους *πυρήνες* και τα *ηλεκτρόνια*. Οι πυρήνες διαμορφώνονται από τα *πρωτόνια* και τα *νετρόνια*, τα μεν πρώτα είναι θετικά φορτισμένα, ενώ τα δεύτερα είναι αφόρτιστα. Τα πρωτόνια είναι αυτά τα οποία καθορίζουν τη χημική συμπεριφορά των στοιχείων, χωρίς τα νετρόνια να έχουν σημαντική συνεισφορά. Παρ'όλ'αυτά, αν συνδυάσουμε συγκεκριμένο αριθμό πρωτονίων με διαφορετικό κάθε φορά πλήθος νετρονίων σχηματίζουμε ποικιλία πυρηνικών συναθροίσεων, τα οποία καλούμε *ισότοπα*. Τα ισότοπα διαθέτουν τις ίδιες χημικές ιδιότητες, αλλά τελείως ξεχωριστές πυρηνικές ιδιότητες. Το δε πλήθος τους είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των χημικών στοιχείων (118 γνωστά χημικά στοιχεία, >3000 ισότοπα).

Η βασικότερη ιδιότητα της μεγάλης πλειοψηφίας των ισωτόπων είναι η ύπαρξη *αστάθειας*. Τα ασταθή ισότοπα μετασχηματίζονται σε άλλα σε χρόνους που κυμαίνονται από  $10^{-18}$  sec ως κάποια δισεκατομμύρια έτη. Η διάσπαση αυτών των ισωτόπων συνοδεύεται από *εκπομπή ακτινοβολίας*. Τα πιο κοινά είδη ακτινοβολίας είναι η *ακτινοβολία α*, η *β* και η *γ*. Το φαινόμενο της αστάθειας μαζί με την εκπομπή ακτινοβολίας αποκαλείται συχνά με τον (μάλλον) αδόκιμο όρο *ραδιενέργεια*.

## Τα είδη ακτινοβολίας

Η *ακτινοβολία α* εμφανίζεται στη διάσπαση των ισωτόπων κατά την οποία εκπέμπεται ένα τμήμα του πυρήνα αποτελούμενο από 2 πρωτόνια μαζί με 2 νετρόνια, δηλ. ένας πυρήνας ηλίου. Αυτό είναι το σωματίο α, το οποίο διαθέτει θετικό φορτίο +2. Η διαδρομή των σωματίων α μέσα στην ύλη είναι σχετικά μικρή, λόγω των έντονων αλληλεπιδράσεων του φορτίου του με τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα του υλικού σώματος. Χαρακτηριστικά, η εμβέλεια των σωματίων α στον αέρα δεν ξεπερνά τα 1-2 mm.

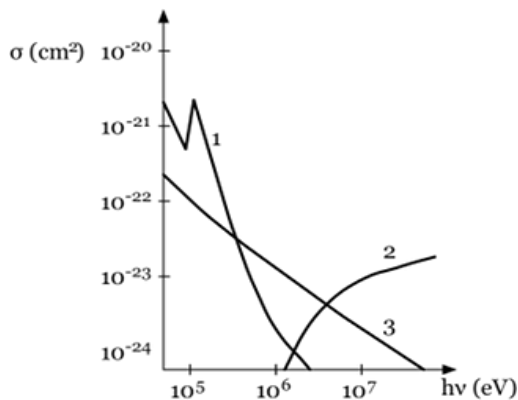
Φορτισμένα σωματία είναι και η *ακτινοβολία β*, η οποία εκπέμπεται κατά το μετασχηματισμό ενός νετρονίου σε πρωτόνιο (ή αντίστροφα) μέσα στον πυρήνα. Τα σωματία β δεν είναι παρά ηλεκτρόνια (ή ποζιτρόνια) που συνοδεύουν αυτή τη μετατροπή, με ταυτόχρονη εκπομπή νετρίνων. Λόγω των ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων, η διάβαση των ηλεκτρονίων μέσα από τη ύλη είναι περιορισμένης εμβέλειας και είναι της τάξης των μερικών εκατοστών στον αέρα. Και τα δύο είδη ακτινοβολίας (α και β) χάνουν τη διαθέσιμη ενέργειά τους με συνεχή τρόπο κατά το πέρασμά τους μέσα από ένα υλικό σώμα, δηλ. με συνεχόμενες σκεδάσεις, ωστόσο απωλέσουν μερικώς ή ολικώς την ενέργεια που διαθέτουν.

Αντίθετα με τις ακτινοβολίες α και β, η *ακτινοβολία γ*, δεν αποτελείται από φορτισμένα σωματίδια. Στην πραγματικότητα είναι φως υψηλής συχνότητας, άορατης από το ανθρώπινο μάτι. Τα φωτόνια αυτά, των οποίων η ενέργεια κυμαίνεται συνήθως από μερικά keV ως μερικά MeV, είναι πολύ πιο διεισδυτικά στην ύλη, ενώ η εμβέλειά τους μπορεί θεωρητικά να προσεγγίσει το άπειρο. Η αλληλεπίδραση των ακτίνων γ με την ύλη γίνεται κυρίως μέσω τριών μηχανισμών στις ενέργειες που μας ενδιαφέρουν στο εργαστήριο: (α) μέσω του *φωτοηλεκτρικού* φαινομένου, (β) μέσω του φαινομένου *Compton*, και (γ) μέσω της *δίδυμης γένεσης*. Η ενεργός διατομή (σε  $\text{cm}^2$ ) που εκφράζει την πιθανότητα εμφάνισης των φαινομένων αυτών ως συνάρτηση της ενέργειας του φωτονίου απεικονίζεται στο Σχ. 1 ως συνάρτηση της ενέργειας της ακτινοβολίας γ. Παρόμοια με τη γ είναι και η ακτινοβολία Χ, που διαφέρει στο μέτρο της ενέργειας που διαθέτει (είναι ~100-1000 φορές μικρότερη από αυτή των ακτίνων γ), αλλά κυρίως στο μηχανισμό παραγωγής της<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Με εξαίρεση το μηχανισμό της ακτινοβολίας πέδησης (Bremsstrahlung), οι ακτίνες Χ παράγονται από εσωτερικές αλλαγές των ατομικών ηλεκτρονίων, ενώ οι ακτίνες γ από αποδιεγέρσεις των ισωτόπων.

## Πηγές ακτινοβολίας

Οι ακτινοβολίες αποτελούν μέρος της καθημερινής μας ζωής. Πέρα από την ακτινοβολία που υπάρχει σε εξειδικευμένους χώρους (π.χ. ερευνητικά εργαστήρια, μονάδες ακτινοδιάγνωσης και ακτινοθεραπείας κοκ) υπάρχει μια ποικιλία πηγών ακτινοβολίας στο περιβάλλοντα χώρο, την οποία ονομάζουμε ακτινοβολία υποβάθρου. Η ακτινοβολία υποβάθρου μπορεί να είναι είτε εξωτερική, είτε εσωτερική. Εξωτερικές πηγές ακτινοβολίας είναι η κοσμική ακτινοβολία που προέρχεται από πηγές μακριά από τη γήινη ατμόσφαιρα, καθώς και η ακτινοβολία από ασταθή ισότοπα που βρίσκονται στη Γη. Εσωτερικές πηγές ακτινοβολίας είναι τα ισότοπα  $^{14}\text{C}$  και  $^{40}\text{K}$ , διάφορα ισότοπα που υπάρχουν στα οστά και τους ιστούς του σώματος, αλλά και το αέριο ραδόνιο, το οποίο εισέρχεται στους πνεύμονες. Σημαντική συνεισφορά στην ακτινοβολία υποβάθρου έχουν επίσης τα πυρηνικά ατυχήματα και οι πυρηνικές δοκιμές.



**Σχήμα 1** Η ενεργός διατομή ως συνάρτηση της ενέργειας του φωτονίου για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (1), τη δίδυμη γένεση (2) και το φαινόμενο Compton (3). Παρατηρούμε ότι στην περιοχή ενεργειών 1 MeV ( $=10^6$  eV) το φαινόμενο Compton υπερیشύει των άλλων μηχανισμών.

## Βασικά μεγέθη και μονάδες

Υπάρχουν κάποια σημαντικά μεγέθη (και οι αντίστοιχες μονάδες) που βοηθούν στην εκτίμηση του «μεγέθους» της ακτινοβολίας, αλλά και της βιολογικής επίπτωσης, ιδιαίτερα στον ανθρώπινο οργανισμό.

Η *ενεργότητα* μιας πηγής εκφράζει τον αριθμό των διασπάσεων του ασταθούς ισότοπου στη μονάδα του χρόνου. Η μονάδα της είναι το Bq, το οποίο αντιστοιχεί σε μια διάσπαση ανά δευτερόλεπτο. Συχνά χρησιμοποιείται και η μονάδα Ci (Curie) η οποία ισοδυναμεί με  $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ . Τυπικές πηγές βαθμονόμησης που χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο διαθέτουν ενεργότητες της τάξης των 10-100 kBq.

Η *δόση* εκφράζει τη συνολική ενέργεια που εναποτίθεται σε κάποιο υλικό (π.χ. σε έναν ιστό) ανά μονάδα μάζας. Η μονάδα μέτρησης της δόσης στο SI είναι το Gy (Gray), το οποίο αντιστοιχεί σε 1 Joule/kg. Παλαιότερη μονάδα μέτρησης είναι το rad ( $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ ).

Το βιολογικό αποτέλεσμα της ακτινοβολίας διαφέρει για τους διαφορετικούς τύπους ακτινοβολίας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται το μέγεθος της *ισοδύναμης δόσης*, λαμβάνοντας υπόψη τη φύση της ακτινοβολίας, η οποία εκφράζεται αριθμητικά μέσω εμπειρικών συντελεστών ποιότητας, Q. Μέσω αυτών, η ισοδύναμη δόση σχετίζεται με τη δόση ως:

$$\text{ισοδύναμη δόση} = Q \times \text{δόση}$$

Μονάδα μέτρησης της ισοδύναμης δόσης είναι το Sv (Sievert), το οποίο ισούται και αυτό με 1 Joule/kg. Παλαιότερη μονάδα είναι το rem ( $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ ).

Τέλος, η *έκθεση* αναφέρεται μόνο σε φωτεινή ακτινοβολία, γ ή X, η οποία προκαλεί ιονισμούς (επομένως παράγει φορτίο) στον αέρα. Η έκθεση δεν αναφέρεται στους ιστούς, ενώ η μονάδα μέτρησής της είναι το R (Roentgen). Πολλά όργανα ανίχνευσης ακτινοβολίας λειτουργούν σε κλίμακα mR ή mR/hr.

Είδος ακτινοβολίας	Q
ακτίνες γ ή Χ	1
σωμάτια β	1
θερμικά νετρόνια	5
ταχεία νετρόνια	10
σωμάτια α	20

**Πίνακας 1** Τιμές του συντελεστή ποιότητας

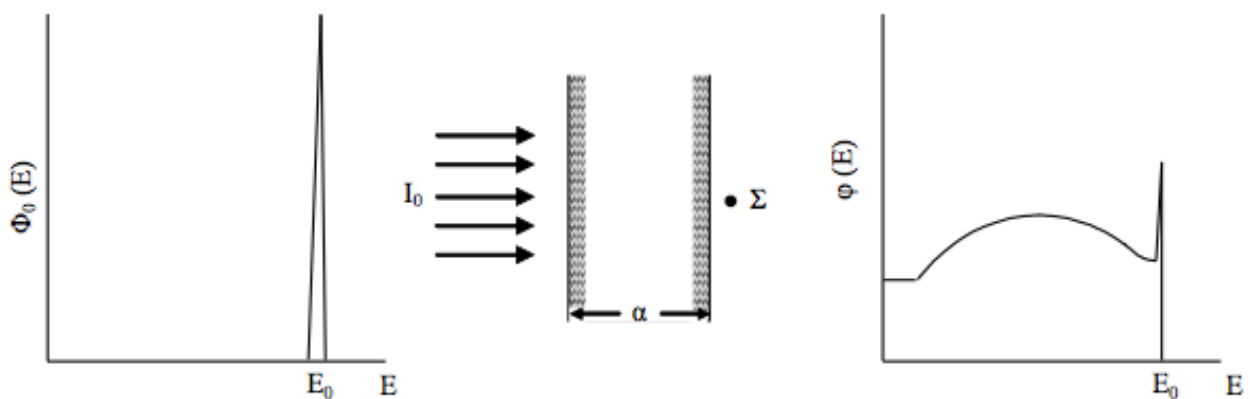
### Εξασθένιση της ακτινοβολίας

Κατά το πέρασμά της μέσα από την ύλη, η ακτινοβολία εξασθενεί βαθμιαία σε συνάρτηση με το βάθος διείσδυσης (ή αντίστοιχα το πάχος του υλικού). Η εξασθένιση εξαρτάται απευθείας από το είδος του υλικού το οποίο παρεμβάλλεται στην πορεία της δέσμης, το οποίο μπορεί να εκφρασθεί μέσω του *συντελεστή γραμμικής εξασθένισης, μ*.

Υποθέτοντας μια αρχική ένταση  $I_0$  για τη δέσμη, μπορούμε να εκφράσουμε ποσοτικά την ένταση,  $I$ , της μετρούμενης ακτινοβολίας μετά από κάποια διαδρομή μήκους  $x$  μέσα στο υλικό, μέσω του εκθετικού νόμου:

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (1)$$

Η σχέση αυτή δίνει την ακτινοβολία που δεν έχει αλληλεπιδράσει με το υλικό. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η ακτινοβολία που έχει αλληλεπιδράσει με το υλικό εξακολουθεί να παίζει βασικό ρόλο σε θέματα ακτινοπροστασίας. Ο λόγος είναι ότι υπάρχουν δευτερογενείς αλληλεπιδράσεις μέσα στο υλικό, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν την εμφάνιση ακτινοβολίας και η οποία τελικά θα προχωρήσει πέρα από τη διαδρομή μήκους  $x$ . Έτσι αν έχουμε φωτόνια καθορισμένης ενέργειας  $E_0$ , τα οποία χαρακτηρίζονται από γραμμικό φάσμα, δηλ. καθορισμένες ενέργειες, διερχόμενα μέσα από συγκεκριμένο υλικό, καταλήγουμε να έχουμε ένα συνεχές φάσμα ενεργειών, όπως απεικονίζεται στο Σχ. 2.



**Σχήμα 2** Το γραμμικό φάσμα μια πηγής ακτινοβολίας γ (ενέργεια  $E_0$ ) αρχικής έντασης  $I_0$  μετατρέπεται σε συνεχές φάσμα μετά από τη διέλευση της δέσμης από υλικό συντελεστή εξασθένισης  $\mu$  (πάντα όμως  $E < E_0$ )

## Στοιχεία ακτινοπροστασίας

Η ενασχόλησή μας με ασταθή ισότοπα πρέπει να συνοδεύεται πάντα από κάποιες βασικές αρχές ακτινοπροστασίας. Βασική αρχή της Υγειοφυσικής αποτελεί η *αποφυγή κάθε περιττής έκθεσης του ανθρώπου σε ακτινοβολίες*. Όμως όλο και περισσότερο κομμάτι του πληθυσμού έρχεται σε επαφή με ακτινοβολίες με διάφορους τρόπους, π.χ. με ιατρικές εξετάσεις. Για το λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί κάποια ανώτατα επιτρεπτά όρια δόσης, δηλ. εναπόθεσης ενέργειας από τις ακτινοβολίες ανά μονάδα μάζας, που δεν πρέπει να τα υπερβεί κανείς. Οι ανώτατες επιτρεπτές δόσεις διαφέρουν για το γενικό πληθυσμό από τους εργαζομένους σε χώρους με ακτινοβολίες. Η επιλογή διαφορετικών ορίων γίνεται με κριτήρια που αφορούν το κίνδυνο λόγω γενετικής επιβάρυνσης. Ο πίνακας 2 αναφέρει μερικά από τα όρια αυτά για διαφορετικά όργανα του ανθρώπινου οργανισμού. Πρέπει να σημειωθεί ότι το βιολογικό αποτέλεσμα εξαρτάται και από το ρυθμό χορήγησης της δόσης. Οι δόσεις αυτές δεν πρέπει να χορηγούνται σε μικρά χρονικά διαστήματα.

Από τους κανόνες ακτινοπροστασίας πρέπει να τονίσουμε τρεις:

- Κανόνας ελάχιστου χρόνου
- Κανόνας μέγιστης απόστασης
- Κανόνας καλά σχεδιασμένης θωράκισης

Ο κανόνας **ελάχιστου χρόνου** αναφέρεται στο χρονικό διάστημα έκθεσης του ανθρώπου σε ακτινοβολία. Όσο μικρότερο είναι το χρονικό διάστημα, τόσο μικρότερη είναι η δόση που δέχεται.

Ο κανόνας **μέγιστης απόστασης** αναφέρεται στην απόσταση που χωρίζει την πηγή της ακτινοβολίας από το σημείο που ακτινοβολείται. Λόγω του ότι το πεδίο ακτινοβολίας εξαρτάται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης, διπλασιασμός της απόστασης σημαίνει υποτετραπλασιασμό της δεχόμενης ακτινοβολίας.

Η επιλογή **κατάλληλης θωράκισης** αποτελεί βασικό κανόνα ακτινοπροστασίας. Για την επιλογή της θωράκισης απαιτείται να γνωρίζουμε το είδος της ακτινοβολίας και την εμβέλειά της στο υλικό που επιλέγουμε να παρεμβάλλουμε. π.χ. Η ακτινοβολία α δεν μπορεί να περάσει από τα ρούχα μας και να μας ακτινοβολήσει, ενώ απλά πλαστικά (π.χ. plexiglass) είναι ικανά να σταματήσουν τα σωματία β. Η φωτεινή ακτινοβολία (γ και Χ) απαιτούν υλικά που έχουν μεγάλο συντελεστή εξασθένησης μ ή κατάλληλα πάχη (π.χ. μερικά εκατοστά μόλυβδο ή μερικά μέτρα σκυροδέματος).

Ακτινοβολούμενο μέρος σώματος	Εργαζόμενοι σε χώρους με ακτινοβολίες	Γενικός πληθυσμός
Αιμοποιητικά όργανα, μυελός οστών, γονάδες	50 mSv/έτος	5 mSv/έτος
Οστά, δέρμα	300 mSv/έτος	30 mSv/έτος
Άκρα (χέρια, πόδια)	600 mSv/έτος	60 mSv/έτος
Άλλα όργανα	150 mSv/έτος	15 mSv/έτος

**Πίνακας 2** Μέγιστες επιτρεπτές δόσεις για το γενικό πληθυσμό και τους επαγγελματικά ασχολούμενους με ακτινοβολίες. Η μονάδα mSv αντιστοιχεί στο μέγεθος της *ισοδύναμης δόσης*

## Οργανολογία εργαστηρίου

Στο εργαστήριο θα χρησιμοποιηθούν κατάλληλα ανιχνευτικά συστήματα, συνοδευόμενα από ηλεκτρονικές διατάξεις προορισμένες για την καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων. Τέτοιοι ανιχνευτές είναι ο ανιχνευτής αερίου Geiger-Mueller και ο σπινθηριστής NaI(Tl).

Ο ανιχνευτής Geiger-Mueller είναι αεροστεγής θάλαμος που περιέχει αδρανές αέριο σε χαμηλή πίεση. Ο θάλαμος είναι εξοπλισμένος με δύο ηλεκτρόδια, ανάμεσα στα οποία εφαρμόζουμε τάση μερικών εκατοντάδων Volt. Η πρόσπτωση ιονίζουσας ακτινοβολίας στο θάλαμο ιονίζει το αέριο και παράγει ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα, τα οποία λόγω της διαφοράς δυναμικού κατευθύνονται προς τα φορτισμένα ηλεκτρόδια. Στην πορεία τους, τα ηλεκτρόνια ιονίζουν περαιτέρω το αέριο δημιουργώντας ένα καταγισμό από φορτία, τα οποία τελικά σχηματίζουν έναν ηλεκτρικό παλμό. Ο μηχανισμός δημιουργίας του παλμού είναι πρακτικά ανεξάρτητος του είδους ακτινοβολίας που έχει αρχικά ιονίσει το αέριο. Ο ανιχνευτής Geiger-Mueller είναι κατάλληλος για να μας επισημάνει την παρουσία ακτινοβολίας στο χώρο, αλλά όχι να διαχωρίσει το είδος της ακτινοβολίας ή την ενέργειά της.

Ο ανιχνευτής σπινθηρισμού ανιχνεύει την ακτινοβολία που προσπίπτει μέσω των φωτονίων που δημιουργούνται λόγω της αλληλεπίδρασης της ιονίζουσας ακτινοβολίας (ακτίνες  $\gamma$ ) με το κρυσταλλικό υλικό. Υπάρχουν διάφοροι κρύσταλλοι που λειτουργούν ως σπινθηριστές, π.χ. NaI(Tl), CsI κ.α. Οι σπινθηρισμοί συλλέγονται από κατάλληλη διάταξη, το φωτοπολλαπλασιαστή, ο οποίος παράγει ηλεκτρικούς παλμούς των οποίων η ενέργεια εξαρτάται από την ενέργεια της αρχικής ακτινοβολίας. Ο σπινθηριστής είναι κατάλληλος για την ανίχνευση ακτινοβολίας  $\gamma$  λόγω της μικρής εμβέλειας των φορτισμένων σωματιδίων ( $\beta$ ,  $\alpha$ ) εντός του κρυστάλλου. Ο ανιχνευτής σπινθηρισμού χρησιμοποιείται κυρίως για φασματοσκοπία και η απόδοσή του εξαρτάται κυρίως από την πυκνότητα ηλεκτρονίων του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος. Στο εργαστήριο θα χρησιμοποιήσουμε σπινθηριστές NaI(Tl).

Εκτός από τα ανιχνευτικά συστήματα, υπάρχουν διαθέσιμες σφραγισμένες ραδιενεργές πηγές με διαφορετικά χαρακτηριστικά η καθεμία, π.χ. πηγές ακτινοβολίας  $\gamma$   $^{137}\text{Cs}$  και  $^{60}\text{Co}$ , πηγές ακτινοβολίας  $\beta$   $^{90}\text{Sr}$  και  $^{24}\text{Na}$  κ.ά. Ο χειρισμός των ραδιενεργών πηγών πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και υπευθυνότητα για την προσωπική σας ασφάλεια (δεν τις ξύνουμε, δεν καταστρέφουμε το προστατευτικό υλικό κοκ).

## Πειραματικές ασκήσεις

### Άσκηση 1 – Ανίχνευση ακτινοβολιών με χρήση του Geiger-Mueller (G-M)

1. Τοποθετήστε την πηγή ακτινοβολίας  $\beta$   $^{90}\text{Sr}$  που θα σας δοθεί σε απόσταση 3 cm από το εμπρόσθιο παράθυρο του ανιχνευτή G-M. Με χρήση του καταμετρητή παλμών μετρήστε τους παλμούς που καταγράφονται για χρονικό διάστημα δύο (2) λεπτών. Επαναλάβετε συνολικά πέντε (5) φορές τη μέτρηση. Να βρεθεί ο μέσος όρος των μετρήσεων και το στατιστικό σφάλμα.
2. Ανάμεσα στην πηγή και τον ανιχνευτή τοποθετήστε διαφορετικά μεταλλικά φύλλα απορρόφησης που θα σας δοθεί από τον επιβλέποντα και επαναλάβετε τη μέτρηση μία φορά. Σχολιάστε το αποτέλεσμα σε σχέση με την τιμή που βρήκατε στο προηγούμενο βήμα
3. Τοποθετήστε την πηγή σε απόσταση 6, 9 και 12 cm. Καταγράψτε την ένδειξη που λαμβάνετε για  $\Delta t=2$  min για καθεμιά από τις αποστάσεις. Επιβεβαιώνεται ο νόμος του αντίστροφου τετραγώνου;

### Άσκηση 2 – Ανίχνευση ακτινοβολιών με χρήση σπινθηριστή NaI(Tl)

1. Τοποθετήστε την πηγή ακτινοβολίας  $\gamma$   $^{137}\text{Cs}$  σε απόσταση περίπου 10 cm από το παράθυρο του ανιχνευτή. Για χρόνο  $\Delta t=2$  min καταγράψτε τον αριθμό που εμφανίζεται στην καταγραφική μονάδα.
2. Τοποθετήστε πλακίδιο Al πάχους 1 cm ανάμεσα στον ανιχνευτή και την πηγή και επαναλάβετε το βήμα 1. Ομοίως για πλακίδιο πάχους 2 cm. Σχολιάστε τις παρατηρήσεις σας.
3. Αντικαταστήστε το πλακίδιο Al με πλακίδιο Cu πάχους 1 cm. Συγκρίνετε τις μετρήσεις και σχολιάστε το αποτέλεσμα.

### Άσκηση 3 – Φασματοσκοπία με σπινθηριστή NaI(Tl) και δοσιμετρία με θάλαμο ιονισμού

1. Τοποθετήστε την πηγή ακτινοβολίας  $\gamma$   $^{60}\text{Co}$  γνωστής ενεργότητας σε απόσταση περίπου 10 cm από το παράθυρο του ανιχνευτή. Με τη βοήθεια του προγράμματος καταγραφής και επεξεργασίας φασμάτων στον υπολογιστή, ξεκινήστε τη λήψη του φάσματος της πηγής.
2. Κάνοντας χρήση των τιμών των ενεργειών των φωτονίων που εκπέμπει η πηγή να βαθμονομήσετε το φάσμα (αντιστοίχιση καναλιού-ενέργειας).
3. Αντικαταστήστε την πηγή με μία άγνωστη που θα σας δοθεί. Ξεκινήστε μια νέα μέτρηση προσπαθώντας να βρείτε τις ενέργειες των φωτονίων που καταγράφονται και ταυτοποιήστε το ισότοπο της πηγής.
4. Επαναλάβετε τη μέτρηση χωρίς καθόλου πηγές. Τι παρατηρείτε για το υπόβαθρο;
5. Χρησιμοποιήστε το θάλαμο ιονισμού για μέτρηση της δόσης από την πηγή. Συγκρίνετε μετρήσεις δύο πηγών,  $^{60}\text{Co}$  και  $^{137}\text{Cs}$ , στην ίδια απόσταση από τον ανιχνευτή. Τι συμπεραίνετε βάσει των διαγραμμάτων διάσπασης των ισωτόπων που σας διατίθενται;