

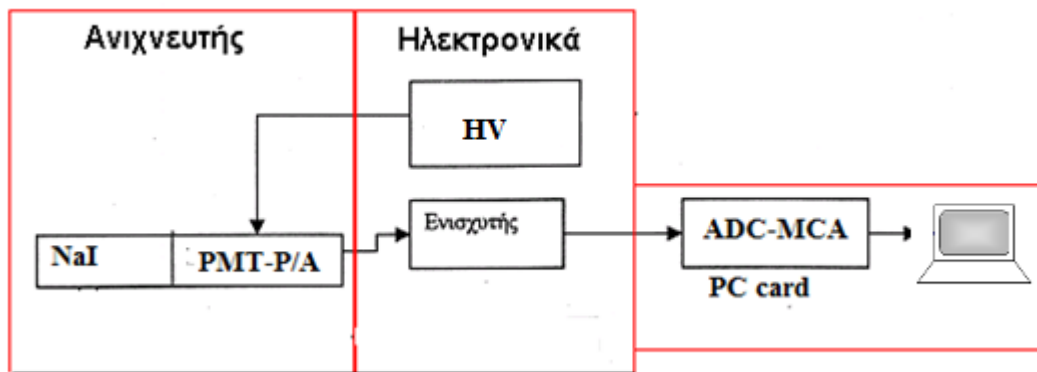
ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ
του μαθήματος 8^{ου} εξαμήνου
‘ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ’

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ
ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ-γ

1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ-γ

Το Σχήμα 1 είναι ένα διάγραμμα ενός ανιχνευτή σπινθηρισμών (NaI) με τις σχετικές ηλεκτρονικές μονάδες για την φασματοσκοπία ακτίνων-γ. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των ηλεκτρονικών διατάξεων που χρησιμοποιούνται στη λήψη και ανάλυση φασμάτων ακτινοβολίας-γ.

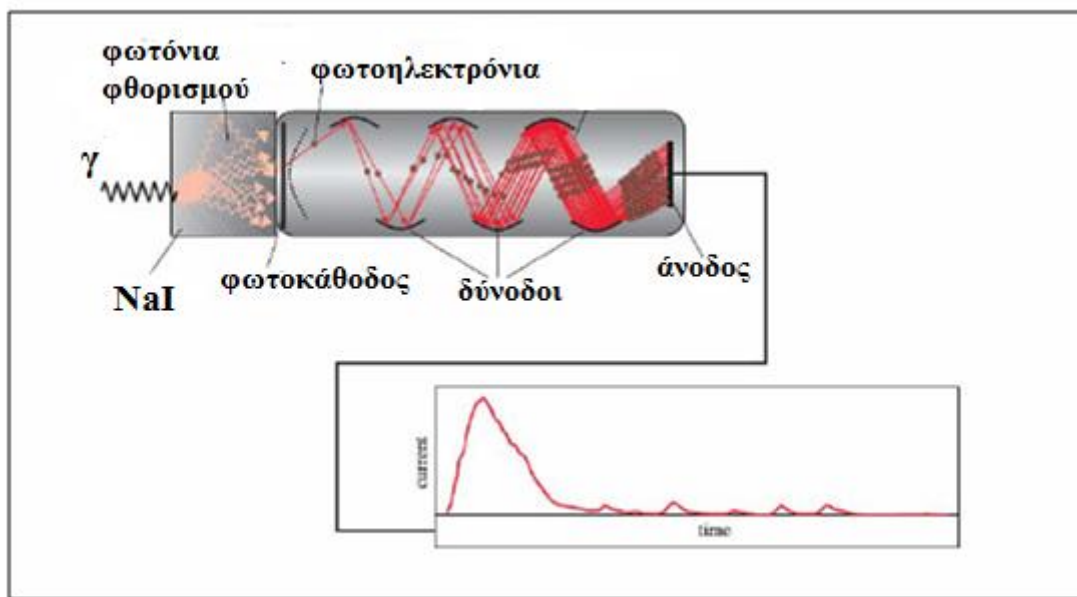


Σχήμα 1. Σύστημα φασματοσκοπίας ακτίνων-γ.

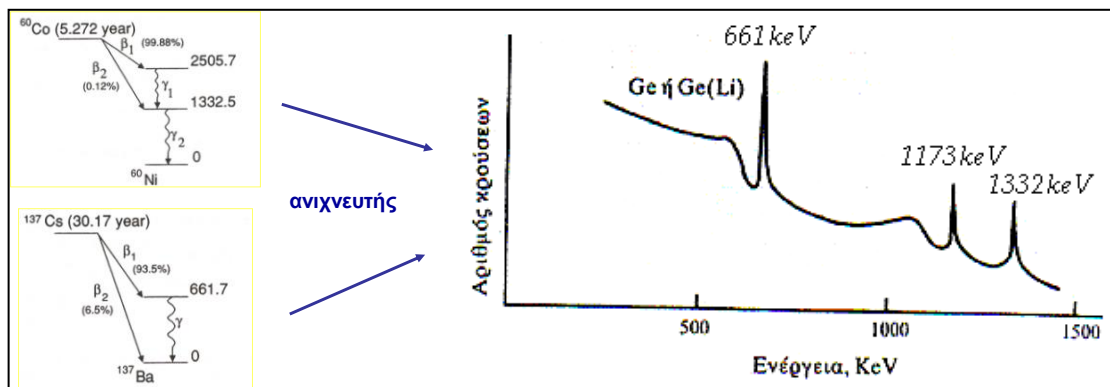
Ανιχνευτής

Η φασματοσκοπία των ακτίνων-γ βασίζεται στην αλληλεπίδραση τους με το υλικό του ανιχνευτή. Υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανιχνευτές είναι NaI, BgO, CdTe, CdZnTe, CsI, Ge. Η αλληλεπίδραση γίνεται μέσω των μηχανισμών της δίδυμης γένεσης, του φαινομένου σκέδασης Compton και του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Αυτή η αλληλεπίδραση έχει ως τελικό αποτέλεσμα την εκπομπή φωτονίων φθορισμού. Η πρόσπτωση αυτών των φωτονίων στη φωτοκάθοδο του φωτοπολλαπλασιαστή (PhotoMultiplier Tube, PMT) εξάγει από αυτή ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρόνια) τα οποία πολλαπλασιάζονται πολλές φορές στον φωτοπολλαπλασιαστή. Έτσι, αυτά τα πολύ ασθενή φωτεινά σήματα θα μετατραπούν στο φωτοπολλαπλασιαστή σε χρησιμοποιήσιμο ηλεκτρικό σήμα προς καταμέτρηση (Σχήμα 2). Το

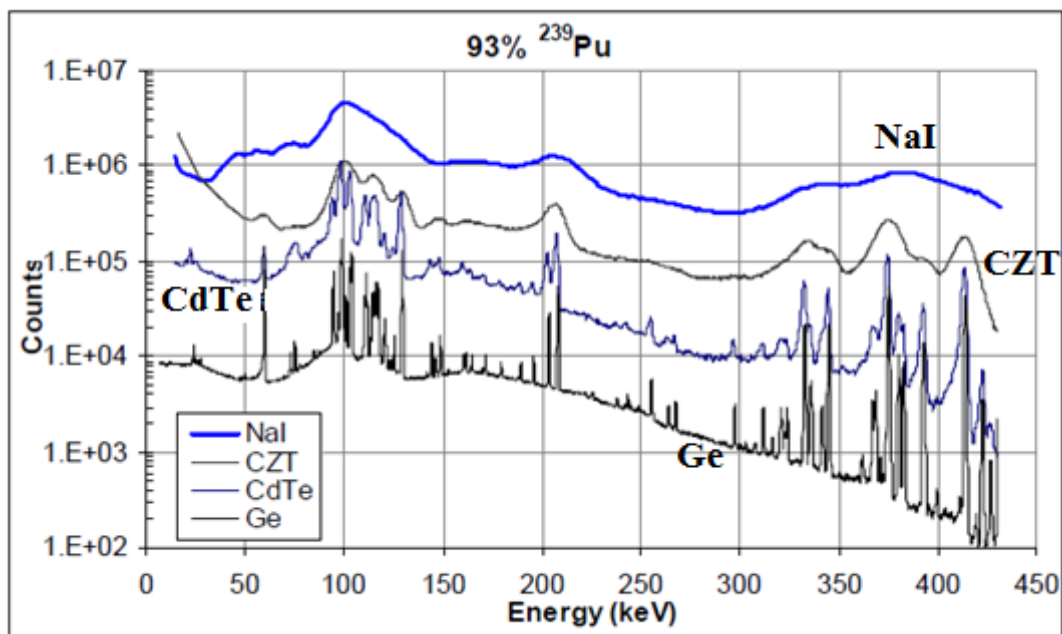
ύψος του σήματος είναι ανάλογο της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτίνας-γ και ο δημιουργούμενος παλμός ρεύματος, παράγει ένα σήμα στην είσοδο του προενισχυτή. Το Σχήμα 3α παρουσιάζει το φάσμα των ακτίνων-γ του ^{137}Cs και του ^{60}Co , καθώς και τα διαγράμματα ραδιενεργού διάσπασής τους. Το Σχήμα 3β παρουσιάζει τυπικά φάσματα των ακτίνων-γ του πλουτωνίου με διάφορους ανιχνευτές. Η διαφοροποίηση των ανιχνευτών έγκειται στη διακριτική τους ικανότητα (energy resolution) να διαχωρίσουν φωτοκορυφές κοντινών ενεργειών και στην απόδοσή τους στην μέτρηση ραδιενέργειας.



Σχήμα 2. Μετατροπή φωτονίου γ σε ηλεκτρικό σήμα.



Σχήμα 3α. Φάσμα ακτίνων-γ του ^{137}Cs και του ^{60}Co .



Σχήμα 3β. Φάσμα ακτίνων-γ πλουτωνίου με διάφορους ανιχνευτές.

Τροφοδοτικό υψηλής τάσης (High Voltage Power supply, HV)

Η μονάδα αυτή είναι μια πηγή συνεχούς τάσης. Η μέγιστη δυνατή τάση που μπορεί να παρέχει βρίσκεται στο επίπεδο των ± 5000 Volt.

Προενισχυτής (Pre-Amplifier, P/A)

Το σήμα εξόδου του ανιχνευτή υφίσταται μια αρχική ενίσχυση στον προενισχυτή και μπορεί να μεταφερθεί μέχρι τον ενισχυτή με μικρές απώλειες.. Ο προενισχυτής είναι τοποθετημένος όσο το δυνατόν πιο κοντά στον ανιχνευτή για ελαχιστοποίηση απωλειών του σήματός του. Οι προενισχυτές δεν έχουν σκοπό τη μορφοποίηση του παλμού, κάτι που πραγματοποιείται με την παρουσία σχετικών κυκλωμάτων στον κυρίως ενισχυτή.

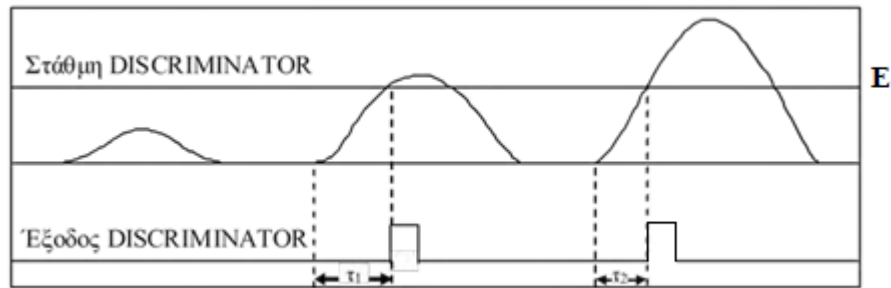
Ενισχυτής (Amplifier, A)

Σκοπός του ενισχυτή στη φασματοσκοπία ακτινοβολίας-γ είναι η μορφοποίηση των παλμών από το προενισχυτή για ενίσχυση του ύψους τους και την αποκοπή με κατάλληλα φίλτρα ορισμένων συχνοτήτων. Έτσι επιτυγχάνεται ο μέγιστος δυνατός λόγος σήματος/θορύβου ενώ παράλληλα βελτιώνεται η διακριτική ικανότητα του συστήματος. Η μορφοποίηση των παλμών απαιτείται για να αποφευχθεί η επικάλυψη διαδοχικών παλμών που θα είχε ως αποτέλεσμα την λανθασμένη εκτίμηση του πλάτους του σήματος.

Διευκρινιστής Ύψους Παλμών (Discriminator, DSC)

Αυτή είναι μια διάταξη κατωφλίου, που δίνει στην έξοδό της ένα λογικό παλμό

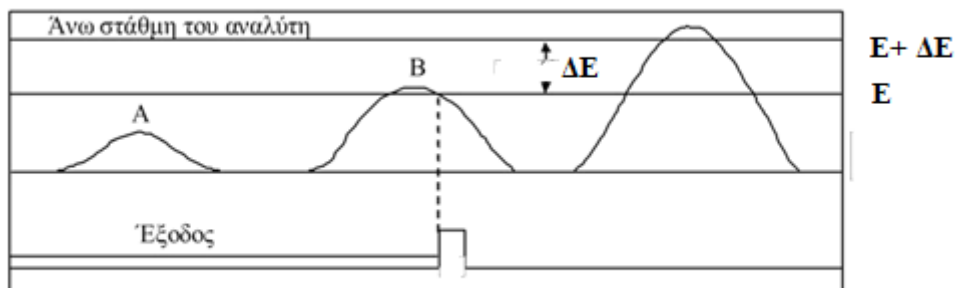
καθορισμένου ύψους και χρονικής διάρκειας, κάθε φορά που θα εμφανιστεί στην είσοδό της παλμός από την έξοδο του ενισχυτή που υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο κατώφλι (Σχήμα 4). Ο λογικός παλμός στέλνεται προς καταμέτρηση σε έναν απαριθμητή.



Σχήμα 4. Διευκρινιστής Ύψους Παλμών.

Μονοδιαυλικός Αναλυτής (Single Channel Analyser, SCA)

Η μονάδα αυτή στέλνει προς καταμέτρηση σε έναν απαριθμητή ένα λογικό παλμό, όταν στην είσοδό της έρθει σήμα από τον ενισχυτή του οποίου το ύψος ευρίσκεται μέσα σε μια προκαθορισμένη περιοχή (Σχήμα 5). Έτσι, ο λογικός παλμός στέλνεται μόνο στην περίπτωση που το ύψος του παλμού ευρίσκεται στη ζώνη μεταξύ E (Lower Level of Discrimination, LLD) και E+ΔE (Upper Level of Discrimination, ULD). Το εύρος ΔE λέγεται παράθυρο του αναλυτή.



Σχήμα 5. Μονοδιαυλικός Αναλυτής.

Μεταροπέας Αναλογικού σήματος-σε-Ψηφιακό (Analog-to-Digital Converter, ADC)

Ο σκοπός της φασματοσκοπίας ακτινοβολίας-γ είναι η ποιοτική (τι υπάρχει) και ποσοτική (σε τι ποσότητα) δειγμάτων ως προς τη σύστασή τους σε ραδιενεργά ισότοπα. Εφόσον η ενεργεία της ακτινοβολίας-γ που ακολουθεί τη ραδιενεργό διάσπαση των ισωτόπων είναι χαρακτηριστική του κάθε ισωτόπου, ο προσδιορισμός του φάσματος αυτών των ενεργειών θα μπορούσε να απαντήσει στην ερώτηση 'τι υπάρχει στο δείγμα και σε τι ποσότητα'.

Έτσι, είναι επιθυμητό να συλλέγονται δεδομένα για όλες τις ακτινοβολίες-γ διαφορετικών

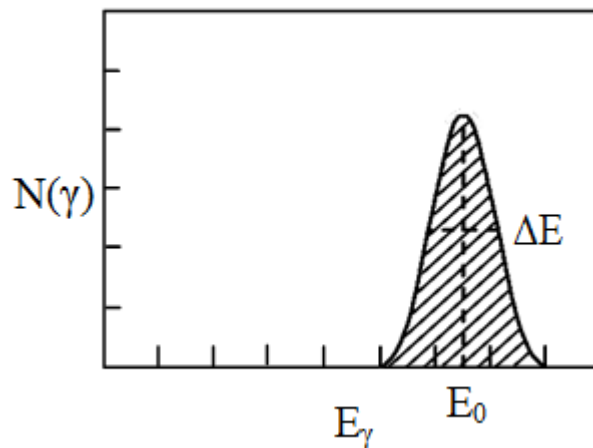
ενεργειών που εκπέμπει ένα δείγμα. Σ' αυτή την περίπτωση, πρέπει να ταξινομηθούν και να καταγραφούν οι παλμοί από τον ανιχνευτή, και οι οποίοι έχουν ύψος ανάλογο της ενέργειας της ακτινοβολίας- γ από την οποία προήλθαν, σύμφωνα με το ύψος τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ADC ο οποίος μετατρέπει τα αναλογικά σήματα από τον ενισχυτή σε ψηφιακά για αποθήκευση σε ένα **Πολυδιαυλικό Αναλυτή (Multichannel Analyser, MCA)**. Κάθε ψηφιακός παλμός κατατάσσεται στο διάυλο που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας- γ . Ο ολικός αριθμός των διαύλων ονομάζεται ενίσχυση μετατροπής (Conversion Gain) και καθορίζει τη διακριτική ικανότητα του αναλυτή. Στους σύγχρονους αναλυτές ο διαθέσιμος αριθμός διαύλων είναι από 128 έως 8k ή 16k. Η πληροφορία από το MCA (φάσμα ακτινοβολίας- γ) παρουσιάζεται στην οθόνη ενός υπολογιστή με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (MCA emulation software) για περαιτέρω ανάλυση. Ο οριζόντιος άξονας του φάσματος παρέχει τον αριθμό κάθε διαύλου ή μέσω βαθμονόμησης την αντίστοιχη ενέργεια της ακτινοβολίας. Ο κάθετος άξονας δίνει τον αριθμό των παλμών που έχουν ληφθεί για κάθε ενέργεια, δηλαδή τον αριθμό των ακτίνων- γ με τη συγκεκριμένη ενέργεια..

2. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ- γ

Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η διακριτική ικανότητα (ΔE) και η απόδοση του συστήματος που χρησιμοποιείται για τη φασματοσκοπία των ακτίνων- γ . Το πρώτο αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος να διακρίνει/διαχωρίσει δυο ακτίνες- κοντινών ενεργειών και ανάλογα με το υλικό του ανιχνευτή κυμαίνεται από 2 keV για Ge έως 30 keV για NaI, CdTe, CZT, BgO. Ουσιαστικά είναι το πλάτος μιας φωτοκορυφής στο ήμισυ του ύψους της (Full Width at Half Maximum, FWHM) (Σχήμα 6). Το δεύτερο αναφέρεται στο ποσοστό των ακτίνων- γ που προσπίπτουν στον ανιχνευτή και θα μετρηθεί.

Στην περίπτωση ακτίνων- γ μίας ενέργειας E_0 , το φάσμα θα πρέπει να είναι γραμμικό με μια λεπτή γραμμή που θα αντιστοιχεί στην ενέργεια E_0 . Πειραματικά όμως, η λεπτή αυτή γραμμή παρουσιάζεται ως μια κανονική (Gaussian) κατανομή ενέργειας (Σχήμα 6). Η μορφή αυτή είναι αποτέλεσμα της πεπερασμένης διακριτικής ικανότητας ολόκληρου του συστήματος. Η διαδικασία της μετατροπής της προσπίπτουσας ακτίνας- γ σε παλμό στην έξοδο του ανιχνευτή σπινθηρισμών είναι ο λόγος της συγκεκριμένης μορφής φάσματος. Από το Σχήμα 2 φαίνεται ότι η κακή διακριτική ικανότητα (μεγάλη τιμή FWHM) έχει ως αποτέλεσμα τον μη διαχωρισμό φωτοκορυφών και την απώλεια πληροφορίας σχετικά με την παρουσία φωτοκορυφών στο υπό μελέτη φάσμα και ως εκ τούτου την μη ανίχνευση όλων των ισοτόπων στο δείγμα. Έτσι, δυσχεραίνεται η αξιολόγηση του φάσματος

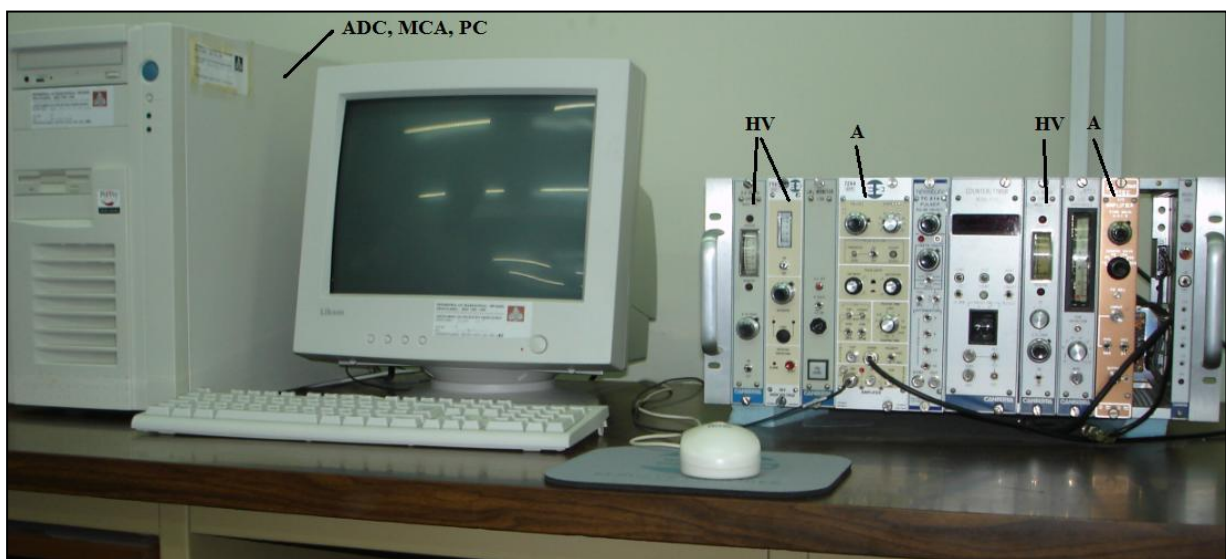
με αποτέλεσμα τη λάθος ανάλυση.



Σχήμα 6. Διάγραμμα FWHM.

Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από την ενέργεια των ακτίνων- γ , το υλικό του ανιχνευτή και τη γεωμετρία ανιχνευτή/δείγματος. Η γεωμετρία αυτή εκφράζεται ως η στερεά γωνία (Ω) μεταξύ το δείγματος και του ανιχνευτή. Έτσι, η εσωτερική απόδοση (intrinsic efficiency) ϵ ορίζεται ως ο λόγος των καταμετρούμενων ακτίνων- γ στην φωτοκορυφή (εμβαδόν φωτοκορυφής) προς τον αριθμό των ακτίνων- γ της ίδιας ενέργειας που εκπέμπει σε στερεά γωνία Ω το δείγμα.

Τα ηλεκτρονικά ενός εργαστηριακού συστήματος φασματοσκοπίας ακτίνων- γ παρουσιάζονται στο Σχήμα 7. Στο Σχήμα 8 φαίνεται ένα φορητό σύστημα φασματοσκοπίας ακτίνων- γ με ενσωματωμένα τον ανιχνευτή, τα ηλεκτρονικά και την οθόνη παρουσίασης του φάσματος.



Σχήμα 7. Ηλεκτρονικά εργαστηριακού συστήματος φασματοσκοπίας ακτίνων- γ .



Σχήμα 8. Φορητό σύστημα φασματοσκοπίας ακτίνων-γ.

ΑΣΚΗΣΗ

1. Λήψη ενεργειακού φάσματος πηγής ^{137}Cs . Να γίνει καταγραφή της θέσης της φωτοκορυφής, της αιχμής Compton και της περιοχής Compton.
2. Λήψη ενεργειακού φάσματος πηγής ^{60}Co . Να γίνει καταγραφή της θέσης της φωτοκορυφής, της αιχμής Compton και της περιοχής Compton.
3. Να πραγματοποιηθεί ενεργειακή βαθμονόμηση του φάσματος.
4. Να προσδιορισθεί το εύρος των φωτοκορυφών.
5. Λήψη ενεργειακού φάσματος πηγής ^{137}Cs για δύο αποστάσεις της πηγής από τον ανιχνευτή. Ποιο είναι το εμβαδόν την φωτοκορυφής στην κάθε περίπτωση και να εξηγηθούν τα αποτελέσματα.