



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

---

## Προχωρημένα Εργαστήρια Φυσικής Ι

Ελευθέριος Ηλιόπουλος

Τμήμα Φυσικής

---

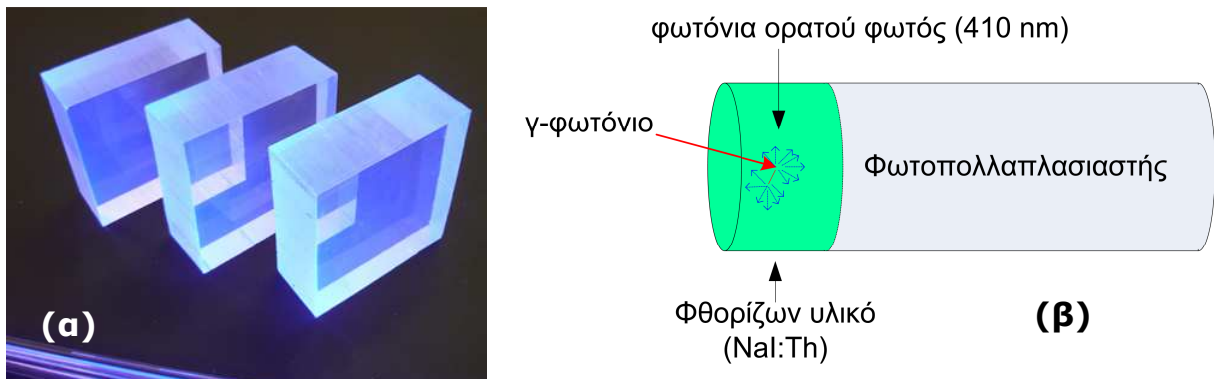
## Πείραμα ΙΧ Φασματοσκοπία γ-ακτινοβολίας

Σκοπός της άσκησης είναι η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του σπινθηριστή, η κατανόηση των μηχανισμών που συνεισφέρουν στην διαμόρφωση του λαμβανόμενου φάσματος και η χρήση του σπινθηριστή για την πραγματοποίηση μετρήσεων φασματοσκοπίας γ-ακτινοβολίας εκπεμπόμενης από ραδιενεργούς πυρήνες.

### Θεωρητικό μέρος

#### Σπινθηριστές

Οι σπινθηριστές είναι ανιχνευτές ακτινοβολίας που η λειτουργία τους στηρίζεται στο φαινόμενο του φθορισμού συγκεκριμένων υλικών, δηλαδή την άμεση εκπομπή ορατού φωτός (σε μικρό χαρακτηριστικό χρόνο αποδιέγερσης, ακόμα και  $<10$  ns) όταν σε αυτά προσπέσει ιονίζουσα ακτινοβολία. Τέτοια υλικά είναι κάποιοι οργανικοί κρύσταλλοι, ειδικά πλαστικά υλικά (βλ. Σχ.1(α)) ή ανόργανοι (εμπλουτισμένοι) ημιαγωγικοί κρύσταλλοι. Στους σπινθηριστές χρησιμοποιούνται κυρίως εμπλουτισμένοι κρύσταλλοι αλογονούχων αλκάλια, όπως το NaI(Tl) – ιωδιούχο νάτριο εμπλουτισμένο με θάλλιο – που χρησιμοποιείται και στον σπινθηριστή που θα χρησιμοποιήσετε.



Σχήμα 1: (α) Πλαστικό φθορίζον υλικό [BC412-Saint Gobain Crystals]. (β) Αρχή λειτουργίας σπινθηριστή

Η αρχή λειτουργίας του σπινθηριστή φαίνεται στο Σχ.1(β). Κατάλληλο φθορίζον υλικό βρίσκεται σε οπτική σύζευξη με φωτοπολλαπλασιαστή. Σωματίο ιονίζουσας ακτινοβολίας που προσπίπτει στο φθορίζον υλικό προκαλεί την εκπομπή φωτονίων ορατού φωτός (στην περίπτωση του NaI(Tl) τα φωτόνια αυτά έχουν μήκος κύματος 410 nm). Ο αριθμός των φωτονίων φθορισμού που εκπέμπονται είναι ανάλογος της ενέργειας του προσπίπτοντος σωματίου, ή ακριβέστερα της ενέργειας του σωματίου που απορροφάται από το σώμα του υλικού. Σχεδόν το σύνολο των φωτονίων αυτών πέφτει στην φωτοκάθοδο του φωτοπολλαπλασιαστή προκαλώντας στην έξοδο του παλμό (ρεύματος ή τάσης), το ύψος του οποίου είναι, κατά συνέπεια, ανάλογο με την ενέργεια του προσπίπτοντος σωματίου. (Για την λειτουργία του φωτοπολλαπλασιαστή διαβάστε την σχετική παράγραφο του Πειράματος 7)

Πλεονεκτήματα των σπινθηριστών είναι:

- είναι ευαίσθητοι σε όλους τους τύπους ιονίζουσας ακτινοβολίας ακόμα και σε ακτίνες-X

- παρέχουν πληροφορία για την ενέργεια των προσπιπτόντων σωματίων, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για φασματοσκοπικές μετρήσεις
- λόγω του μικρού χαρακτηριστικού χρόνου αποδιέγερσης του φθορίζοντος υλικού και της χρήσης φωτοπολλαπλασιαστή έχουν πολύ μικρό "νεκρό χρόνο" και άρα είναι κατάλληλοι για μεγάλους ρυθμούς καταμέτρησης ή/και για πειράματα σύμπτωσης. (Προσοχή: αυτό δεν ισχύει για τον σπινθηριστή που θα χρησιμοποιήσετε)

Στην περίπτωση του συγκεκριμένου πειράματος θα χρησιμοποιήσετε ανόργανο κρυσταλλικό σπινθηριστή NaI(Tl). Ο χαρακτηριστικός χρόνος αποδιέγερσης του NaI(Tl) είναι σχετικά μεγάλος (230 ns), οπότε ο σπινθηριστής αυτός δεν είναι κατάλληλος για πολύ υψηλούς ρυθμούς καταμέτρησης, προσφέρει όμως ικανοποιητική γραμμικότητα για μεγάλο φάσμα ενεργειών της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Για να κατανοήσουμε τον σχηματισμό και τα χαρακτηριστικά του λαμβανομένου ενεργειακού φάσματος της ακτινοβολίας που θα μελετήσουμε, πρέπει να κατανοήσουμε τους κύριους μηχανισμούς αλληλεπίδρασης γ-ακτινοβολίας και ύλης. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι:

- το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (διαβάστε την σχετική παράγραφο από το Πείραμα 8)
- η σκέδαση Compton
- το φαινόμενο δίδυμης γένεσης

### Σκέδαση Compton

Η σκέδαση Compton είναι η μη-ελαστική σκέδαση φωτονίων υψηλής ενέργειας (γ-ακτινοβολία ή ακτίνες-X) από ελεύθερα ηλεκτρόνια. Σκέδαση Compton μπορεί να συμβεί και στην περίπτωση αλληλεπίδρασης φωτονίων με τα χαλαρά δέσμια ηλεκτρόνια των εξωτερικών ατομικών φλοιών.

Κατά την σκέδαση Compton το φωτόνιο μεταφέρει μέρος της ενέργειας του στο ηλεκτρόνιο. Το διαφορά του μήκος κύματος του σκεδαζόμενου φωτονίου  $\lambda'$  από το μήκος κύματος του αρχικού φωτονίου  $\lambda$  δίνεται από την εξίσωση Compton:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e \cdot c} \cdot (1 - \cos \theta) \quad (\text{Εξ.1})$$

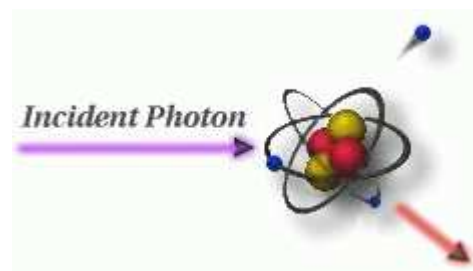
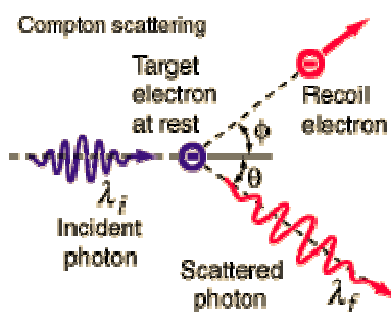
όπου

$h$  η σταθερά του Planck

$m_e$  η μάζα ηρεμίας του ηλεκτρονίου

$c$  η ταχύτητα του φωτός και

$\theta$  η γωνία σκέδασης, δηλαδή η γωνία της κατεύθυνσης του σκεδασμένου φωτονίου ως προς την κατεύθυνση του αρχικού φωτονίου



Σχήμα 2: Σκέδαση Compton φωτονίου από ελεύθερο ηλεκτρόνιο ή χαλαρά δέσμιο ηλεκτρόνιο εξωτερικού ατομικού φλοιού.

Έτσι κατά την σκέδαση η ενέργεια του φωτονίου μειώνεται και η ενέργεια  $E_{\gamma}^{sc}$  του σκεδασμένου φωτονίου μπορεί να υπολογιστεί, χρησιμοποιώντας την εξίσωση Compton, σαν συνάρτηση της αρχικής ενέργειας  $E_{\gamma}^0$  και της γωνίας σκέδασης  $\theta$  :

$$E_{\gamma}^{sc} = \frac{E_{\gamma}^0}{1 + \frac{E_{\gamma}^0}{m_e c^2} \cdot (1 - \cos \theta)} \quad (\text{Εξ.2})$$

όπου  $m_e c^2$  η ενέργεια ηρεμίας του ηλεκτρονίου (ίση με 0.511 MeV)

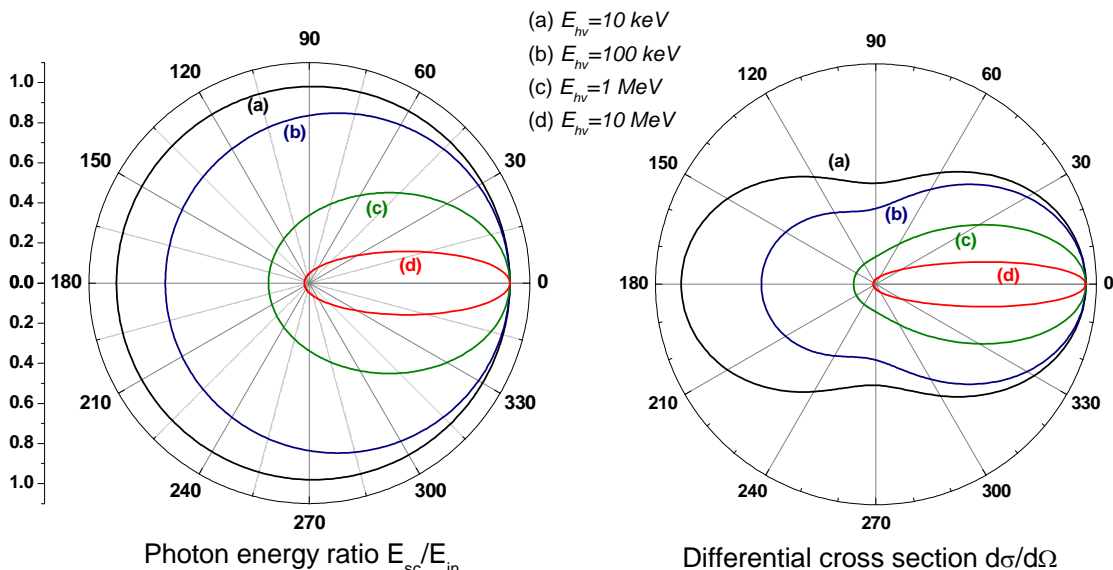
Στο αριστερό μέρος του Σχ.3 παρουσιάζεται, σε πολικό διάγραμμα, ο λόγος  $E_{\gamma}^{sc} / E_{\gamma}^0$  σαν συνάρτηση της  $\theta$  για διάφορες περιπτώσεις αρχικής ενέργειας  $E_{\gamma}^0$ .

Άρα, η ενέργεια που μεταφέρεται στο ηλεκτρόνιο  $T_e$ , ίση με την διαφορά  $E_{\gamma}^0 - E_{\gamma}^{sc}$ , θα είναι:

$$T_e = \frac{E_{\gamma}^0}{1 + \frac{E_{\gamma}^0}{m_e c^2} \cdot (1 - \cos \theta)}$$

και είναι μέγιστη για την περίπτωση της οπισθοσκέδασης, δηλαδή για πλήρη ανάκρουση του φωτονίου ( $\theta = 180^\circ$ ):

$$T_{\max} (\theta = 180^\circ) = \frac{E_{\gamma}^0}{1 + m_e c^2 / 2E_{\gamma}^0} \quad (\text{Εξ.3})$$



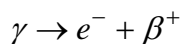
Σχήμα 3: Πολικά διαγράμματα του λόγου της ενέργειας σκεδαζόμενου φωτονίου προς την αρχική ενέργεια του προσπίπτοντος φωτονίου και της διαφορικής ενεργού διατομής της σκέδασης, σαν συνάρτηση της γωνίας σκέδασης  $\theta$ , για περιπτώσεις διαφορετικής αρχικής ενέργειας φωτονίων.

Σημαντικό είναι να παρατηρήσουμε ότι και η πιθανότητα σκέδασης εξαρτάται τόσο από την ενέργεια του φωτονίου, όσο και από τη γωνία σκέδασης  $\theta$ . Στο δεξι

μέρος του Σχ.3 παρουσιάζεται, σε πολικό διάγραμμα, η διαφορική ενεργός διατομή  $d\sigma/d\Omega$  σαν συνάρτηση της  $\theta$  για διάφορες περιπτώσεις αρχικής ενέργειας  $E_\gamma^0$ .

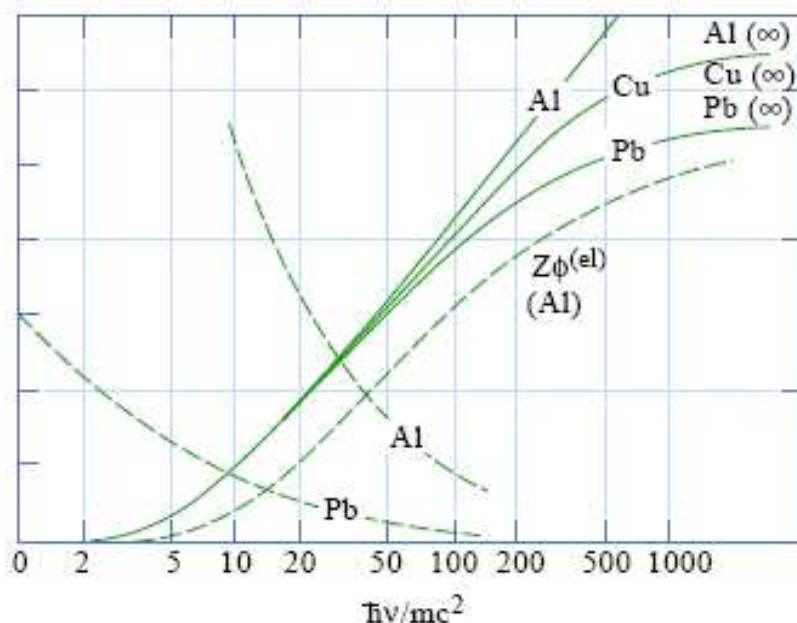
### Δίδυμη γένεση

Το φαινόμενο της "δίδυμης γένεσης" (pair production) είναι η μετατροπή φωτονίου, ενέργειας  $E_\gamma \geq 2m_e c^2$  σε ζεύγος ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου σύμφωνα με την αντίδραση:



Προφανώς για να συμβεί αυτό πρέπει η ενέργεια του φωτονίου να είναι μεγαλύτερη ή ίση από το διπλάσιο της ενέργειας ηρεμίας του ηλεκτρονίου, δηλαδή  $E_\gamma \geq 1.022 \text{ MeV}$ . Για λόγους διατήρησης ορμής και ενέργειας, η παραπάνω αντίδραση μπορεί να λάβει χώρα μόνο κοντά σε ατομικό πυρήνα.

Η πιθανότητα πραγματοποίησης του φαινομένου αυτού αυξάνει με την αύξηση της ενέργειας του φωτονίου, και για φωτόνια μεγάλης ενέργειας είναι ο κύριος μηχανισμός αλληλεπίδρασης τους με την ύλη.



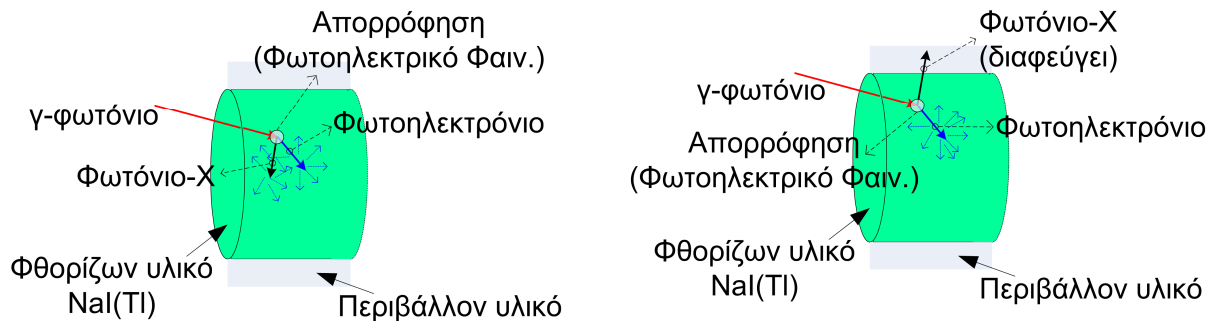
Σχήμα 4: Ενεργός διατομή φαινομένου δίδυμης γένεσης (συνεχής γραμμές) σαν συνάρτηση της ενέργειας φωτονίου, για περιπτώσεις διαφορετικών απορροφητών και σύγκριση με τις αντίστοιχες ενεργές διατομές σκέδασης Compton (διακεκομμένες γραμμές) [Πηγή: MIT Open Courseware]

### Χαρακτηριστικά φάσματος γ-ακτινοβολίας με χρήση σπινθηριστή

Για να καταλάβουμε τα χαρακτηριστικά του λαμβανόμενου φάσματος όταν αριθμός γ-φωτονίων (ίδιας ενέργειας) προσπίπτουν σε σπινθηριστή, πρέπει να δώσουμε ιδιαίτερη σημασία στο γεγονός ότι **το ύψος του κάθε παλμού σήματος στην έξοδο, είναι ανάλογος της ενέργειας που εναποθέτει ένα γ-φωτόνιο στο φθορίζον υλικό** (και άρα ανάλογος του αριθμού των φωτονίων φθορισμού που εκπέμπονται από την αλληλεπίδραση γ-σωματιδίου-κρυστάλλου NaI(Tl) στην περίπτωση αυτή). Έτσι αν δέσμη μονοενεργειακών φωτονίων,

ενέργειας  $E_\gamma < 1.022 \text{ MeV}$  προσπέσει στον σπινθηριστή, στο τελικό φάσμα θα παρατηρηθούν ένας αριθμός χαρακτηριστικών κορυφών:

**(α) Φωτοκορυφή:** [Σχ.4(α)] Το  $\gamma$ -φωτόνιο απορροφάται μέσω φωτοηλεκτρικού φαινομένου (PEC) και όλη η ενέργεια του αποδίδεται στο φωτοηλεκτρόνιο και σε ένα φωτόνιο χαμηλής ενέργειας 28 keV (ακτινοβολία-X). Και τα δύο σωματίδια αλληλεπιδρούν με, και αποδίδουν την ενέργεια τους στο, υλικό του σπινθηριστή, τον οποίο διεγείρουν, με αποτέλεσμα την παραγωγή ανάλογου αριθμού φωτονίων φθορισμού. Το ύψος παλμού εξόδου αντιστοιχεί στην συνολική ενέργεια του προσπίπτοντος  $\gamma$ -φωτονίου. Με αρκετά τέτοια καταμετρημένα γεγονότα σχηματίζεται η φωτοκορυφή και η θέση της αντιστοιχεί σε ενέργεια  $E_\gamma$

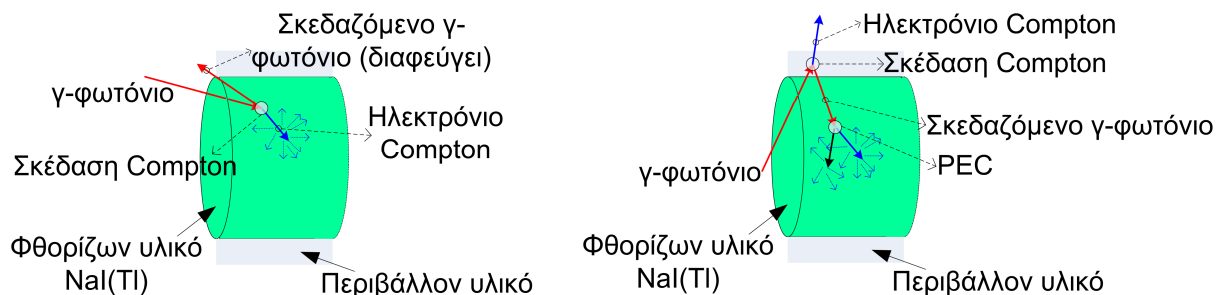


Σχήμα 4: Μηχανισμός σχηματισμού (α) φωτοκορυφής και (β) κορυφής διαφυγής

**(β) Κορυφή διαφυγής:** [Σχ.4(β)] Αν το φωτόνιο-X που προκύπτει καταφέρει να διαφύγει, καθώς η ενεργός διατομή της αλληλεπίδρασης είναι μικρή, τότε η ενέργεια που καταγράφεται τελικά είναι  $E_\gamma - 28 \text{ keV}$ . Αυτά τα γεγονότα οδηγούν στον σχηματισμό της κορυφής διαφυγής. Πάντως επειδή η κορυφή αυτή είναι μικρής έντασης και πολύ κοντά στην φωτοκορυφή, δύσκολα παρατηρείται.

**(γ) Αιχμή Compton:** [Σχ.5(α)] Το φωτόνιο  $\gamma$  που προσπίπτει σκεδάζεται με σκέδαση Compton. Ένα μέρος της ενέργειας του μεταφέρεται στο ηλεκτρόνιο σαν κινητική ενέργεια  $T_e$  ενώ το σκεδαζόμενο φωτόνιο διαφεύγει. Τελικά η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου Compton αποδίδεται στον σπινθηριστή και η ενέργεια που καταγράφεται είναι ίση με  $T_e$ . Η κατανομή ενέργειας των ηλεκτρονίων Compton, τέτοιων γεγονότων είναι συνεχής κατανομή με κατάληξη της μέγιστη ενέργεια  $T_{\max}$  που δίνεται από την Εξ.3. Έτσι σχηματίζεται στο φάσμα η αιχμή Compton.

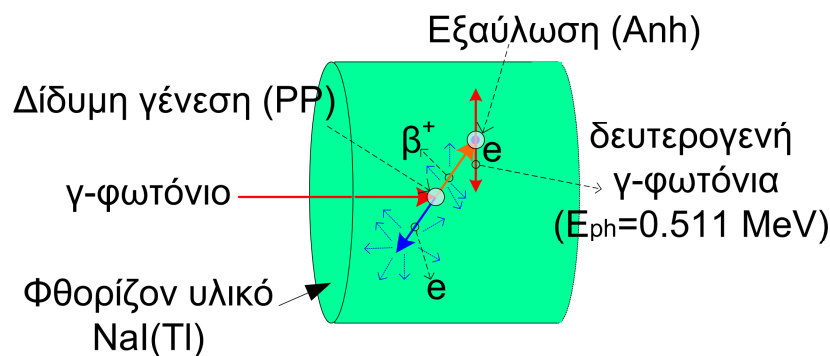
**(δ) Κορυφή οπισθοσκέδασης:** [Σχ.5(β)] Σκέδαση Compton της  $\gamma$ -ακτινοβολίας μπορεί να συμβεί και στον περιβάλλον του σπινθηριστή χώρο. Τότε στον σπινθηριστή εισέρχεται το οπισθοσκεδαζόμενο φωτόνιο  $\gamma$ , ενέργειας  $E_\gamma - T_{\max}$ , ενώ το ηλεκτρόνιο Compton διαφεύγει (δεν αποδίδει ενέργεια στον σπινθηριστή). Από τέτοια γεγονότα δημιουργείται η κορυφή οπισθοσκέδασης που η θέση της αντιστοιχεί σε ενέργεια  $E_\gamma - T_{\max}$



Σχήμα 5: Μηχανισμός σχηματισμού (α) αιχμής Compton και (β) κορυφής οπισθοσκέδασης

**(ε) Φωτοκορυφές σύμπτωσης:** Αν στον σπινθηριστή πέσουν σχεδόν ταυτόχρονα δύο  $\gamma$ -φωτόνια (με χρονική απόσταση μικρότερη από τον χαρακτηριστικό χρόνο διαχωρισμού του συστήματος) τότε στην έξοδο θα καταγραφεί μόνο ένας παλμός το ύψος του οποίου θα αντιστοιχεί στην ενέργεια που αποδίδουν στον σπινθηριστή και τα δύο φωτόνια. Τέτοια γεγονότα οδηγούν στον σχηματισμό της φωτοκορυφής σύμπτωσης που η θέση της αντιστοιχεί σε  $2 \cdot E_\gamma$ . Η κορυφή αυτή είναι πολύ μικρότερης έντασης από την φωτοκορυφή, είναι όμως παρατηρήσιμη.

Φωτοκορυφές σύμπτωσης παρατηρούνται και στις περιπτώσεις που με τον σπινθηριστή μελετάτε η ακτινοβολία ραδιενεργών διασπάσεων που εκπέμπουν δύο (ή περισσότερα) φωτόνια διαφορετικής ενέργειας  $E_\gamma^1$  και  $E_\gamma^2$ . Τότε εκτός από τις αναμενόμενες φωτοκορυφές που αντιστοιχούν στις ενέργειες  $E_\gamma^1$  και  $E_\gamma^2$  παρατηρείτε και η φωτοκορυφή σύμπτωσης σε ενέργεια  $E_\gamma^1 + E_\gamma^2$ .

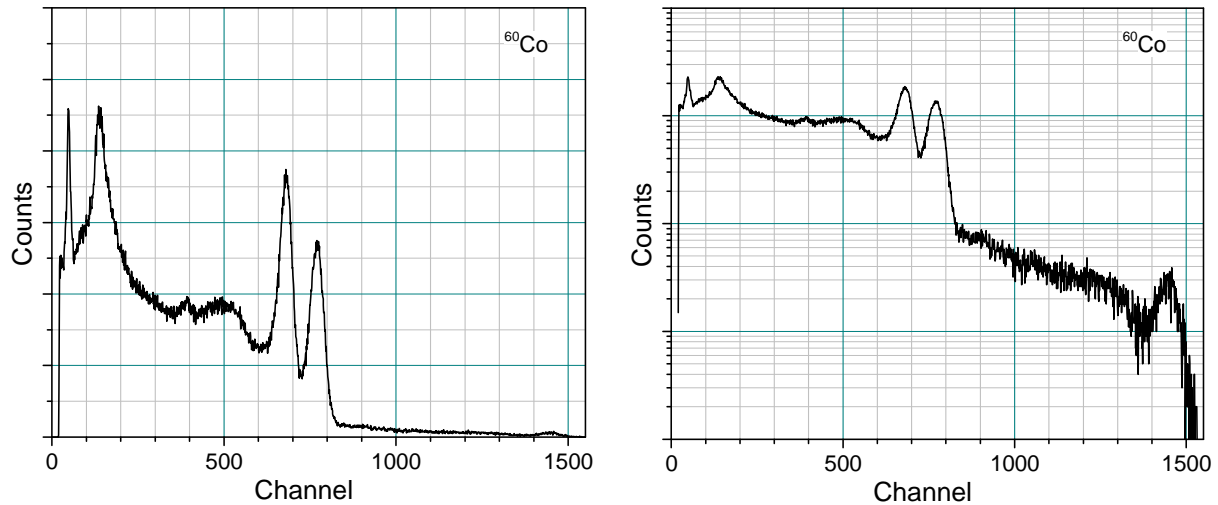


Σχήμα 6: Μηχανισμοί στην περίπτωση που η ενέργεια προσπιπτοντος  $\gamma$ -φωτονίου είναι μεγαλύτερη από 1.022 MeV.

**(στ) Κορυφές στην περίπτωση  $E_\gamma \geq 1.022$  MeV:** [Σχ.6] Αν η ενέργεια του φωτονίου είναι μεγαλύτερη από 1.022 MeV τότε είναι πιθανή η αλληλεπίδραση αυτού με τον σπινθηριστή μέσω του φαινομένου δίδυμης γένεσης (PP). Έτσι δημιουργείται ζεύγος ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου ( $e-\beta^+$ ). Το ποζιτρόνιο  $\beta^+$  που σχηματίζεται, επιβραδύνεται (αποδίδοντας μέρος της κινητικής ενέργειας) και τελικά εξαυλώνεται (Aph) με άλλο ηλεκτρόνιο, εντός του σπινθηριστή, παράγοντας δύο δευτερογενή  $\gamma$ -φωτόνια ενέργειας 0.511 MeV το καθένα. Αν και τα δύο αυτά δευτερογενή φωτόνια απορροφηθούν εντός του κρυστάλλου, τότε η συνολική ενέργεια  $E_\gamma$  καταγράφεται. Έτσι στο λαμβανόμενο φάσμα εμφανίζεται κορυφή που αντιστοιχεί σε ενέργεια  $E_\gamma$ . Υπάρχει όμως η πιθανότητα το ένα ή και τα δύο φωτόνια να διαφύγουν. Τέτοια γεγονότα οδηγούν στην εμφάνιση κορυφών με θέσεις που αντιστοιχούν σε μικρότερες ενέργειες ( $E_\gamma - 0.511$  MeV και  $E_\gamma - 1.022$  MeV) στο φάσμα.

**(ζ) Περίπτωση φάσματος  $\beta^+$  διάσπασης:** Στην περίπτωση της  $\beta^+$ -διάσπασης ραδιενεργού ισότοπου εκπέμπονται ποζιτρόνια ( $\beta^+$ ). Το μήκος διείσδυσης της ακτινοβολίας αυτής, στον αέρα, είναι πολύ μικρό (της τάξεως του mm) και έτσι δύσκολα φτάνουν στον ανιχνευτή. Τα ποζιτρόνια όμως αντιδρούν με ηλεκτρόνια (αντίδραση εξαύλωσης), παράγοντας δύο  $\gamma$ -φωτόνια (ανά  $\beta^+$  σωματίο) ενέργειας 0.511 MeV. Έτσι στην περίπτωση που παρατηρούμε το φάσμα τέτοιου ισότοπου με

σπινθηριστή, το μέρος του φάσματος που αντιστοιχεί στα  $\beta^+$  σωμάτια, είναι ταυτόσημο με την περίπτωση παρατήρησης  $\gamma$ -ακτινοβολίας με  $E_\gamma = 0.511 \text{ MeV}$ .



Σχήμα 7: Παράδειγμα φάσματος  $\gamma$ -ακτινοβολίας  $^{60}\text{Co}$  σε γραμμική και ημι-λογαριθμική κλίμακα. Τα δεδομένα έχουν ληφθεί με την πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιήσετε.

### Διακριτική ικανότητα σπινθηριστή

Διακριτική ικανότητα συστήματος σπινθηριστή είναι η ικανότητα του να διαχωρίζει κορυφές που αντιστοιχούν σε διαφορετικές  $\gamma$ -ακτινοβολίες με κοντινές ενέργειες φωτονίων. Έτσι σαν διακριτική ικανότητα  $R$  (κατ' αναλογία με την διακριτική ικανότητα μονοχρωμάτων) ορίζεται ο λόγος:

$$R = \frac{\Delta E}{E_c} \quad (\text{Εξ.4})$$

όπου:

$E_c$  : η ενέργεια μίας φωτοκορυφής

$\Delta E$  : το ολικό πλάτος στο μισό του ύψους (FWHM-full width at half maximum) της φωτοκορυφής

Η διακριτική ικανότητα ενός σπινθηριστή δεν είναι σταθερή, είναι συνάρτηση της ενέργειας της  $\gamma$ -ακτινοβολίας. Εμπειρικά η εξάρτηση της διακριτικής ικανότητας από την ενέργεια  $E$  δίνεται από την σχέση:

$$R^2(E) = a + \frac{b}{E} \quad (\text{Εξ.5})$$

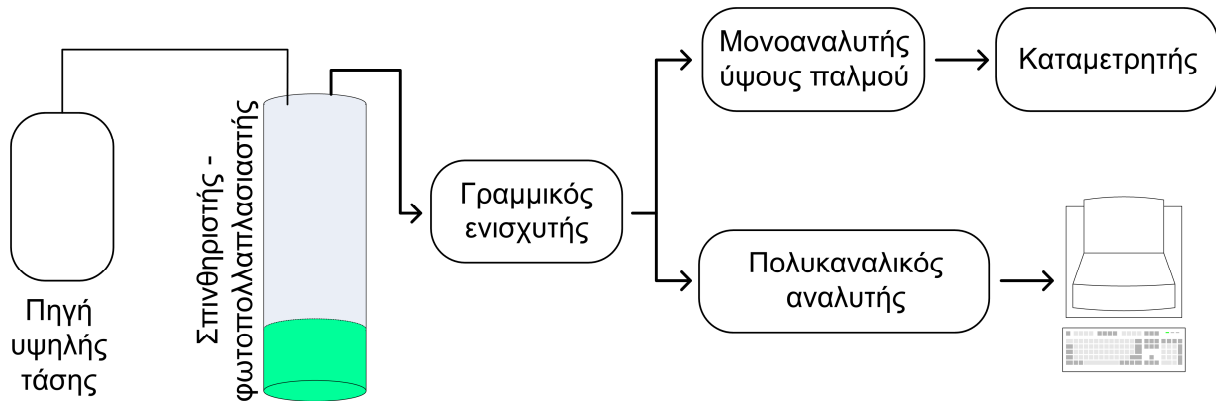
όπου  $a, b$  σταθερές που εξαρτώνται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του σπινθηριστή και φωτοπολλαπλασιαστή αλλά και από την διαμόρφωση του ηλεκτρονικού συστήματος επεξεργασίας σήματος (π.χ. την σταθερά ενίσχυσης του γραμμικού ενισχυτή)



## Πειραματικό μέρος

### Πειραματική διάταξη

Η πλήρης διάταξη συστήματος ανιχνευτή-σπινθηριστή που θα χρησιμοποιήσετε παρουσιάζεται στο Σχ.8.



Σχήμα 8: Πειραματική διάταξη.

Η πηγή υψηλής τάσης είναι απαραίτητη για την λειτουργία του φωτοπολλαπλασιαστή (δες Πείραμα VII- § "Φωτοπολλαπλασιαστής")

Το σήμα (σειρά παλμών) της εξόδου του φωτοπολλαπλασιαστή κατ' αρχήν ενισχύεται με την χρήση γραμμικού ενισχυτή σήματος και εν συνεχεία επεξεργάζεται είτε από σύστημα Μονοαναλυτή ύψους παλμού-Καταμετρητή είτε από Πολυκαναλικό αναλυτή.


Ο "**Μονοαναλυτής ύψους παλμού**" είναι ουσιαστικά ένα "φίλτρο" που επιτρέπει την διέλευση μόνο των παλμών εκείνων που το ύψος τους έχει τάση σε ένα εύρος τιμών  $V_c \pm \Delta V$ . Οι παράμετροι  $V_c$  και  $\Delta V$  είναι ρυθμιζόμενες. Έτσι ο "**Καταμετρητής**" που βρίσκεται εν σειρά καταμετρά μόνο αυτούς τους παλμούς. Καθώς το ύψος (μέγιστη τάση) του κάθε παλμού σήματος αντιστοιχεί στην ενέργεια που εναποτίθεται στον σπινθηριστή εντός συγκεκριμένου χρόνου (χρόνος διαχωρισμού του συστήματος) οι καταμετρούμενοι παλμοί αντιστοιχούν σε "γεγονότα" ενέργειας  $E_c \pm \Delta E$ .

Στην περίπτωση του "**Πολυκαναλικού αναλυτή**" οι παλμοί δεν φιλτράρονται αλλά κατατάσσονται σε "κανάλια (channels)". Το κάθε  $i$ -κανάλι καταμετρώνται παλμοί με ύψος  $V_i \pm \Delta V$  όπου η κεντρική τιμή τάσης που αντιστοιχεί στο κανάλι  $i$

είναι  $V_i = \frac{\Delta V}{2} + (i-1) \cdot \Delta V$ . Έτσι ένας πολυκαναλικός αναλυτής λειτουργεί

ουσιαστικά σαν ένα παράλληλο σύστημα πολλών μονοαναλυτών ύψους παλμού-καταμετρητών. Ένας πολυκαναλικός αναλυτής έχει μεγάλο αριθμό καναλιών (στην συγκεκριμένη περίπτωση 2000 κανάλια) και δίνει στην έξοδό του ένα φάσμα (γεγονότα/κανάλι σαν συνάρτηση του αριθμού καναλιού) που αντιστοιχεί στο φάσμα της προσπίπτουσας  $\gamma$ -ακτινοβολίας.

Πειραματική διαδικασία και Ανάλυση μετρήσεων

	<p><b>ΠΡΟΣΟΧΗ!</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Μην πιάνετε τις ραδιενεργές πηγές με τα χέρια</li><li>• Μην καταναλώνετε τρόφιμα ή υγρά κατά την διάρκεια της πειραματικής άσκησης</li><li>• Πλύνετε προσεκτικά τα χέρια σας μετά την εκτέλεση της πειραματικής άσκησης.</li><li>• Χρησιμοποιήστε όσο το δυνατόν φύλλα μολύβδου για την προστασία σας από τις ραδιενεργές πηγές.</li><li>• Γενικά συμπεριφερθείτε προσεκτικά με τις ραδιενεργές πηγές. Αν και τα ραδιενεργά παρασκευάσματα που θα χρησιμοποιηθούν είναι σχετικά μικρής ενεργότητας και συσκευασμένα ή κατάποση ραδιενεργής σκόνης ή η επαφή της με το δέρμα, ακόμα και σε πολύ μικρές ποσότητες, ενέχει κινδύνους για την υγεία σας.</li></ul>
---	---

**(α)** Τοποθετήστε μπροστά από το παράθυρο του σπινθηριστή πηγή ραδιενεργού κοβαλτίου-60 ( $^{60}_{27}\text{Co}$ ). Με την χρήση του πολυκαναλικού αναλυτή καταγράψτε το φάσμα (καταμετρημένα γεγονότα σαν συνάρτηση αριθμού καναλιού) για επαρκή χρόνο ( $\sim 10-15$  mins) και αποθηκεύστε το φάσμα σε αρχείο στον υπολογιστή.

**(β)** Επαναλάβετε για πηγή ραδιενεργού νατρίου-22 ( $^{22}_{11}\text{Na}$ ) και ραδιενεργού βισμούθιου-207 ( $^{207}_{83}\text{Bi}$ ).

**(γ)** Σχεδιάστε τα φάσματα που λάβατε για το  $^{60}_{27}\text{Co}$  και το  $^{22}_{11}\text{Na}$  που πήρατε τόσο σε γραμμικό όσο και σε ήμι-λογαριθμικό διάγραμμα. Αναγνωρίστε όλες τα χαρακτηριστικά του φάσματος (φωτοκορυφές, κορυφές σύμπτωσης, αιχμές Compton, κορυφές οπισθοσκέδασης) και δηλώστε τα στα αντίστοιχα διαγράμματα.

**(δ)** Χρησιμοποιώντας τις θέσεις (αριθμός καναλιού) των φωτοκορυφών και κορυφών σύμπτωσης των φασμάτων του  $^{60}_{27}\text{Co}$  και του  $^{22}_{11}\text{Na}$  και τα δεδομένα των διαγραμμάτων διάσπασης τους (Σχ.9) βαθμονομήστε το σύστημα: κάντε το διάγραμμα (ενέργεια γεγονότος  $E$  -αριθμός καναλιού  $n$ ) και προσαρμόστε ευθεία ελαχίστων τετραγώνων  $E = c \cdot n + d$ . Οι παράμετροι  $c, d$  να προσδιοριστούν σε μονάδες MeV.

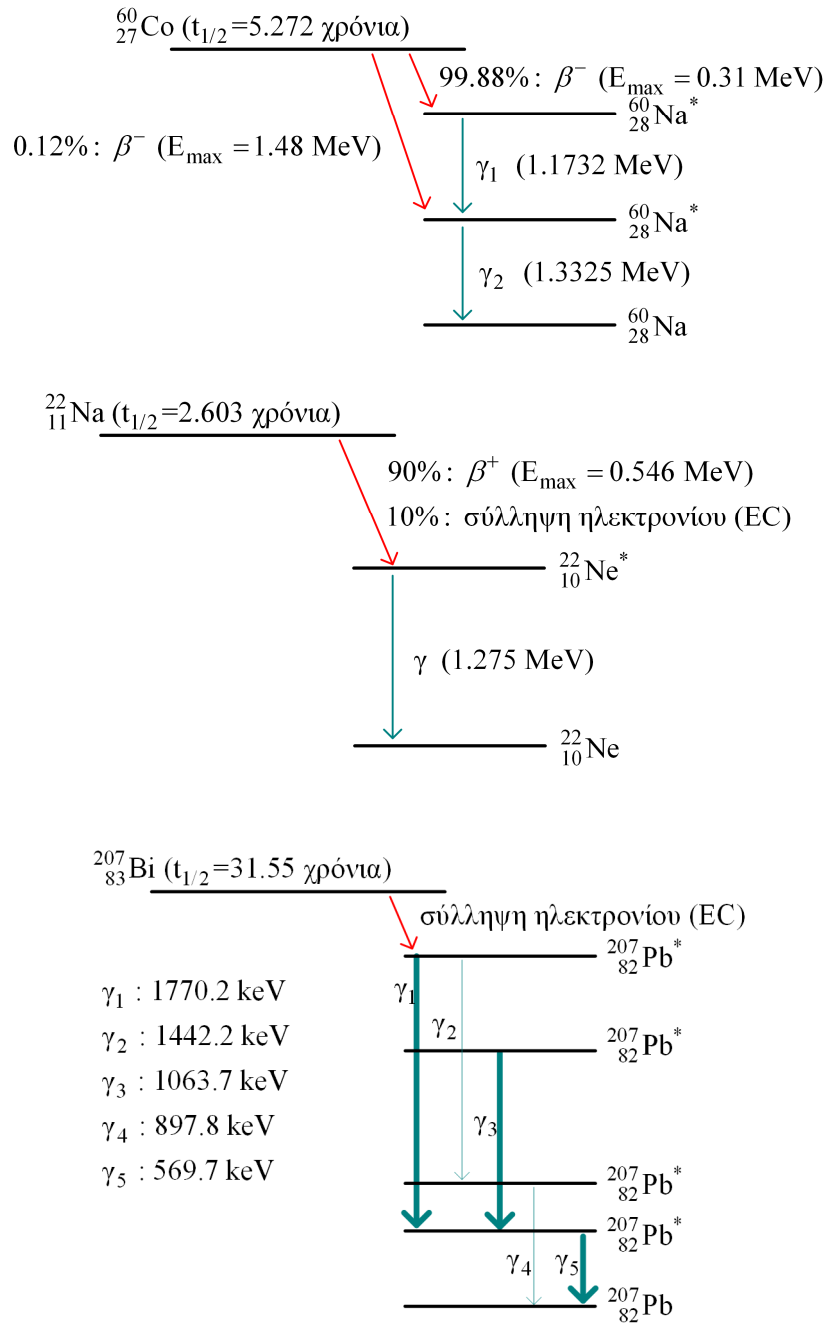
**(ε)** Με βάση την βαθμονόμηση ξαναφτιάξτε τα φάσματα του βήματος ( $\gamma$ ) με μονάδες x-αξόνων σε ενέργεια.

**(στ)** Υπολογίστε (θεωρητικά) τις αναμενόμενες τιμές των αιχμών Compton και κορυφών οπισθοσκέδασης και συγκρίνετε με αυτές που βρίσκετε πειραματικά

**(ζ)** Με βάση την βαθμονόμηση που προσδιορίσατε φτιάξτε το διάγραμμα του φάσματος του  $^{207}_{83}\text{Bi}$ . Αναγνωρίστε τα χαρακτηριστικά του και συγκρίνετε τις ενεργειακές θέσεις των φωτοκορυφών με τις τιμές που περιμένετε με βάση το διάγραμμα διάσπασης του Σχ.9.

**(η)** Υπολογίστε τα FWHM των φωτοκορυφών και κορυφών σύμπτωσης και για τα τρία φάσματα  $\gamma$ -ακτινοβολίας που λάβατε. Κάνετε το διάγραμμα  $R^2 - \frac{1}{E_c}$  και

χρησιμοποιώντας γραμμική προσαρμογή στα πειραματικά σημεία βρείτε την σχέση εξάρτησης της διακριτικής ικανότητας από την ενέργεια.



Σχήμα 9: Διαγράμματα ραδιενεργής διάσπασης των πηγών που θα χρησιμοποιήσετε

# Σημειώματα

## Σημείωμα αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ελ. Ηλιόπουλος, 2014. «Προχωρημένα Εργαστήρια Φυσικής Ι.». Έκδοση: 1.0. Ηράκλειο 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.uoc.gr>.

## Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

## Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

## Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

