

Ανίχνευση ακτίνων γάμμα από φυσικά ραδιενεργά και μιονίων της κοσμικής ακτινοβολίας

Ευθυμιάδου Ζωή¹ και Ψαλίδα Ειρήνη²

1^ο Πειραματικό Γενικό Λύκειο Θεσ/νίκης «Μανόλης Ανδρόνικος»

¹ zoeefth@hotmail.com, ² erinthess@hotmail.com

Επιβλέπων Καθηγητής : Δρ. Παπαδόπουλος Σταύρος

Φυσικός, 1^ο Πειραματικό Γενικό Λύκειο Θεσ/νίκης «Μανόλης Ανδρόνικος»

stpapado@sch.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία που παρουσιάζεται είναι μία εργαστηριακή μελέτη φωτονίων και σωματιδίων μεγάλης ενέργειας που υπάρχουν στο φυσικό περιβάλλον. Πρόκειται για την ανίχνευση δύο συνιστωσών της φυσικής ακτινοβολίας: α) της ακτινοβολίας γάμμα που εκπέμπουν τα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα τα οποία υπάρχουν στο έδαφος και στα υλικά που μας αποτελούν και μας περιβάλλουν, β) των μιονίων, δηλαδή φορτισμένων σωματιδίων τα οποία δημιουργούνται και καταφθάνουν στην γη διαρκώς από την αλληλεπίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα.

Η μελέτη έγινε με τη χρησιμοποίηση ενός ανιχνευτή σπινθηρισμών στο Εργαστήριο Πυρηνικής Φυσικής του Τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ.

Οι μελέτες του πεδίου ακτινοβολίας ενεργειακών σωματιδίων στοχεύουν στον προσδιορισμό του “υποστρώματος” ακτινοβολίας στους ανιχνευτές εξ αιτίας του φυσικού περιβάλλοντος (γήινα υλικά και διάστημα). Γενικότερα, δίνουν την ευκαιρία να γίνει αντιληπτό το πεδίο ενεργειακής ακτινοβολίας μέσα στο οποίο ενυπάρχουν τα έμβια όντα του πλανήτη και βεβαίως ο άνθρωπος. Η γνώση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε κάποιες από τις πιο σύγχρονες δραστηριότητες του ανθρώπου, όπως κατά τη διάρκεια των αεροπορικών πτήσεων ή στα διαστημικά ταξίδια.

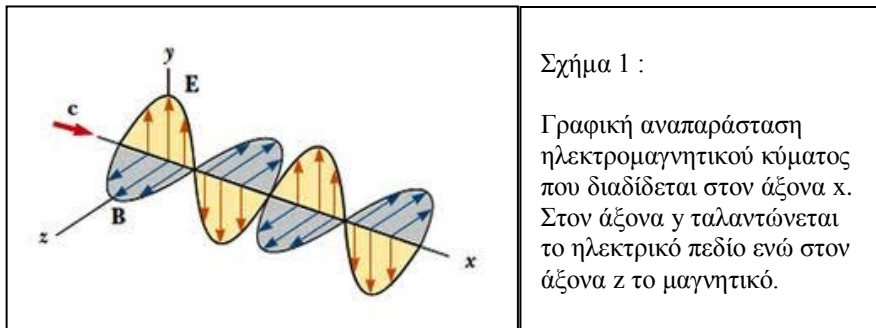
ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ : κοσμική ακτινοβολία, ακτίνες γάμμα, μόνια, σπινθηριστής, αεροπορικές-διαστημικές πτήσεις.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Καθημερινά ο άνθρωπος δέχεται ακτινοβολία από ένα μεγάλο σύνολο φυσικών και τεχνητών πηγών που βρίσκονται παντού γύρω μας. Η ακτινοβολία επιδρά στον οργανισμό κατά τρόπο πολύπλοκο, άλλοτε ευεργετικά και άλλοτε βλαβερά, ανάλογα με το είδος, την ένταση και την ενέργεια που μεταφέρει. Έτσι λοιπόν είναι χρήσιμο να ξέρουμε το είδος και το επίπεδο της ακτινοβολίας που μας περιβάλλει.

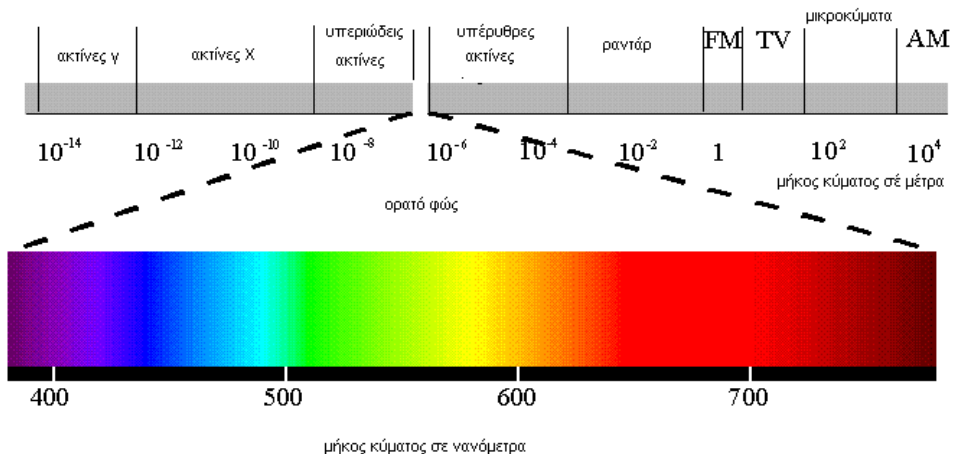
Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι διάχυτη στο σύμπαν. Οφείλεται στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα

ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται από επιταχυνόμενα ηλεκτρικά φορτία και στην ουσία αποτελούνται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο που ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους και κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης. Στο κενό διαδίδονται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός ($c=300.000 \text{ km/s}$) ενώ μέσα στην ύλη με ταχύτητα λίγο μικρότερη (physics4u.gr).



Το σύνολο των συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα λέγεται ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το φως που εκπέμπεται από τα άστρα είναι μόνο ένα μέρος του συνολικού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που συναντάται στο σύμπαν. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανάλογα με την συχνότητα των κυμάτων της και αντίστοιχα την ενέργεια που μεταφέρει χωρίζεται σε επιμέρους περιοχές. Αυτές είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γάμμα.

Παρακάτω βλέπουμε το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα από τις μεγαλύτερες (αριστερά) προς τις μικρότερες (δεξιά) ενέργειες (el.wikipedia.org) :



Σχήμα 2 : Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το φάσμα των συχνοτήτων περιλαμβάνει την ιονίζουσα και τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία (Μαθαίνουμε για τις ακτινοβολίες, ΕΕΑΕ).

Μη ιονίζουσες είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που μεταφέρουν σχετικά μικρή ενέργεια, μη ικανή να προκαλέσει ιονισμό, ικανή όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στον οργανισμό, που μπορούν να αποβούν άλλοτε επιβλαβείς και άλλοτε ευεργετικές για τη λειτουργία του. **Ιονίζουσες** είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που μεταφέρουν ενέργεια ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να προκαλέσει ιονισμό των ατόμων της, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό

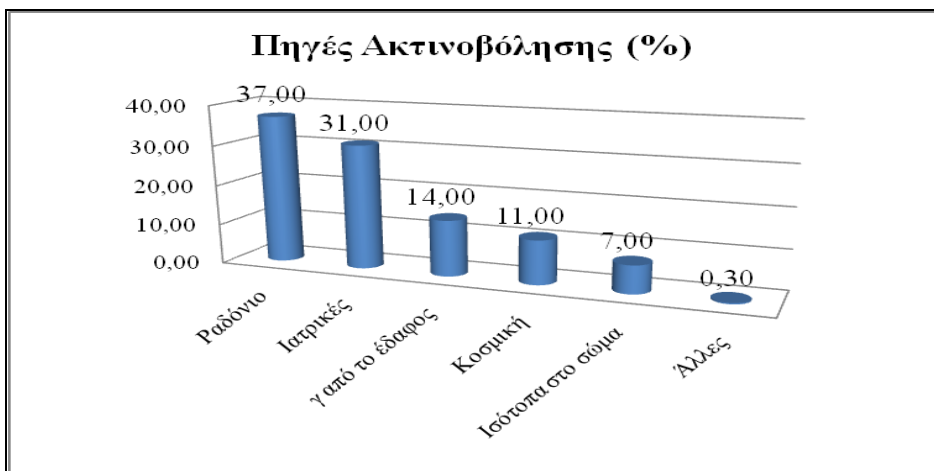
ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗΣ

Οι βιολογικές επιδράσεις των μη ιονιζουσών ακτινοβολιών διαφέρουν ουσιαστικά από αυτές της ιονίζουσας ακτινοβολίας και εξαρτώνται κυρίως από την ένταση και τη συχνότητά τους. Έτσι, τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία επιδρούν στο ανθρώπινο σώμα, επάγοντας πεδία και ρεύματα στο εσωτερικό του, ενώ τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα θερμαίνοντας τα κύτταρα και τους ιστούς.

Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι διεισδυτικές. Η διεισδυτικότητά τους στην ύλη εξαρτάται από το είδος τους και την ενέργεια που μεταφέρουν. Η ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται από την ακτινοβολία στην ύλη ανά χιλιόγραμμο μάζας καλείται δόση ακτινοβολίας. Η πιθανότητα βλάβης της υγείας σχετίζεται άμεσα με τη δόση και το είδος της ακτινοβολίας, καθώς και το είδος του ιστού.

Η έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να έχει άμεσα ή μακροπρόθεσμα βλαπτικά αποτελέσματα για την υγεία καθώς είναι αθροιστική. Η ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται από την ακτινοβολία στην ύλη ανά χιλιόγραμμο μάζας, καλείται δόση ακτινοβολίας (Η ακτινοβολία στην ζωή μας, ΥΠΕΚΑ).

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η συνεισφορά των διαφόρων πηγών ακτινοβολίας στην μέση ετήσια δόση του ευρωπαϊκού πληθυσμού (στοιχεία της Επιστημονικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για τα Αποτελέσματα της Ατομικής Ακτινοβολίας, UNSCEAR)



Σχήμα 3 : Συνεισφορά διαφόρων πηγών ακτινοβολίας

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό ακτινοβολήσης από πηγές ακτίνων γ και από την κοσμική ακτινοβολία είναι το ένα τέταρτο (το 25%) της συνολικής. Είναι λοιπόν ενδιαφέρον να εστιάσουμε την προσοχή μας στην ανίχνευση ακτινοβολιών που προέρχονται από αυτές τις πηγές.

Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΓΑΜΜΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ

Η ακτινοβολία γάμμα είναι ακτινοβολία εξαιρετικά υψηλής συχνότητας (πάνω από $5 \cdot 10^{19}$ Hz). Πρόκειται περί κβάντων φωτός, δηλαδή σωματίων χωρίς μάζα (φωτόνια), που εκπέμπονται από έναν πυρήνα ο οποίος είναι «διεγερμένος», δηλαδή έχει περισσότερη ενέργεια από την ενέργεια που θα είχε στη φυσιολογική του κατάσταση. Τέτοιοι πυρήνες υπάρχουν στα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία που είναι συστατικά του φλοιού της γης (πετρώματα) όπως π.χ. το ουράνιο-238 το θόριο-232 και το κάλιο-40. Ακτίνες γ παράγονται επίσης και από αστέρια στο διάστημα (Young, H. 1994).

Οι ενέργειες των φωτονίων της ακτινοβολίας γάμμα από τα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία κυμαίνονται από 10^5 eV έως 10^7 eV. Εδώ είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι το ηλεκτρονιοβόλτ (eV) περιγράφει την ενέργεια που αποκτά ένα ηλεκτρόνιο όταν επιταχύνεται από διαφορά δυναμικού 1 V ($1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}$ Joule).

Είναι προφανές ότι σε υπόγειους χώρους όπως τα υπόγεια των κτηρίων, οι στοές των ορυχείων, τα σπήλαια κλπ, η ακτινοβολήση του ανθρώπου είναι αυξημένη.

ΤΑ ΜΙΟΝΙΑ ΤΗΣ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η κοσμική ακτινοβολία αποτελείται από υψηλής ενέργειας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και από φορτισμένα σωματίδια (κυρίως πρωτόνια) που μεταφέρουν μεγάλη ποσά ενέργειας. Κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα αλληλεπιδρά με πυρήνες ατόμων, έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δευτερογενών σωματιδίων (ηλεκτρονίων, πρωτονίων, νετρονίων, μεσονίων, μιονίων, πιονίων, καονίων, φωτονίων κλπ) τα οποία βομβαρδίζουν την επιφάνεια της γης.

Η κοσμική ακτινοβολία κατά την διέλευσή της μέσα από τα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας απορροφάται μερικώς και η έντασή της μειώνεται με αποτέλεσμα να φτάνει στο έδαφος σχετικά εξασθενημένη. Η δόση λοιπόν της ακτινοβολίας αυτής εξαρτάται από το υψόμετρο. Το ιπτάμενο προσωπικό των αεροπορικών εταιρειών που ταξιδεύει σε μεγάλο ύψος δέχεται μεγαλύτερες ετήσιες δόσεις οι οποίες πρέπει να ελέγχονται. Κινδύνους ίδιας φύσης εγκυμονεί και η μακροχρόνια παραμονή των αστροναυτών στο διάστημα.

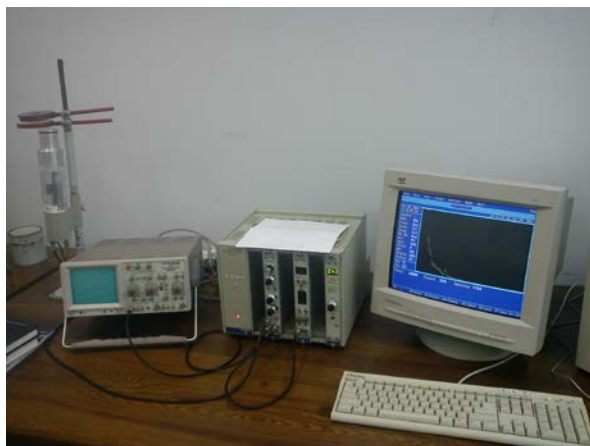
Ένα σημαντικό μέρος των δευτερογενών σωματιδίων της κοσμικής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα είναι τα μίονια. Τα μίονια είναι ασταθή στοιχειώδη σωματίδια, βαρύτερα από τα ηλεκτρόνια και τα νετρίνα αλλά ελαφρύτερα από όλα τα άλλα σωματίδια ύλης. Έχουν τη δεύτερη πιο μακροχρόνια μέση διάρκεια ζωής (2,2 μs), μετά από το νετρόνιο (~15 min). Όπως όλα τα στοιχειώδη σωματίδια, το μίονιο έχει ένα αντίστοιχο αντισωματίο αντίθετου φορτίου αλλά ίσης μάζας, το αντιμίονιο (που αποκαλείται επίσης θετικό μίονιο).

Η ΑΝΙΧΝΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ

Για να ανιχνεύσουμε τις ακτίνες γ που εκπέμπονται από τα φυσικά ραδιενεργά, αλλά και τα μίονια της κοσμικής ακτινοβολίας, χρησιμοποιήσαμε έναν ανιχνευτή σπινθηρισμών που βρίσκεται στο Εργαστήριο Πυρηνικής Φυσικής του Τμήματος

Φυσικής του ΑΠΘ. Οι ανιχνευτές αυτοί γενικά χρησιμοποιούν κρυστάλλους που εκπέμπουν φως όταν η προσπίπτουσα ακτινοβολία αλληλεπιδρά με τα άτομα του κρυσταλλικού πλέγματος. Η ένταση του παραγόμενου φωτός είναι ανάλογη της ενέργειας που αποτέθηκε στους κρυστάλλους από την ακτινοβολία.

Ο κρύσταλλος της ανιχνευτικής διάταξης ήταν ιωδιούχου νατρίου, εμπλουτισμένου με θάλιο, NaI(Tl). Πρόκειται για έναν κύλινδρο διαστάσεων (διάμετρος βάσης x ύψος) 3,81cm x 3,81cm.



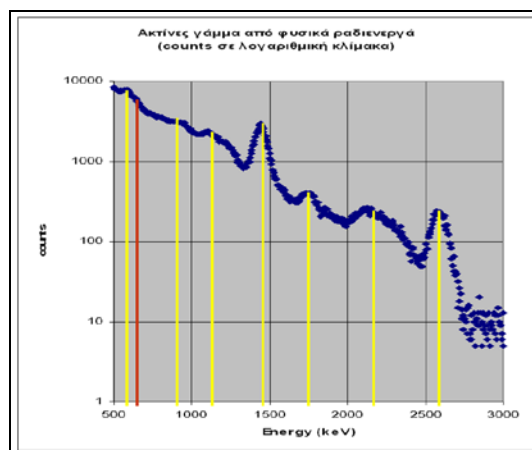
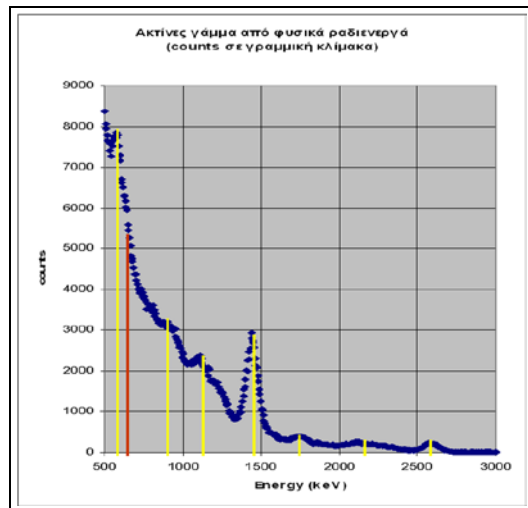
Σχήμα 4 : Η πλήρης ανιχνευτική διάταξη με τον ανιχνευτή NaI, τον φωτοπολ/στή, τις ηλεκτρονικές μονάδες και τον υπολογιστή για τη λήψη του φάσματος (κάτω).

Ο κρύσταλλος NaI είναι ενωμένος με φωτοπολλαπλασιαστή ο οποίος αρχικά μετατρέπει το φως σε ηλεκτρόνια και στη συνέχεια ενισχύει το ηλεκτρικό σήμα που παρέχουν τα ηλεκτρόνια. Το σήμα αυτό συλλέγεται από ηλεκτρονική μονάδα και στη συνέχεια οδηγείται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Μέσω κατάλληλου προγράμματος το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στα ηλεκτρικά σήματα, εμφανίζεται σε οθόνη και αποθηκεύεται για παραπέρα επεξεργασία.

ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ακτινοβολία γάμμα από φυσικά ραδιενεργά

Τα φωτόνια που εκπέμπονται από μία πηγή μεταφέρουν συγκεκριμένη ενέργεια E_0 . Επειδή δεν έχουν φορτίο, όταν συναντήσουν τον κρύσταλλο NaI συνήθως δεν αλληλεπιδρούν μαζί του, με αποτέλεσμα να τον διαπερνούν χωρίς να χάσουν καθόλου την ενέργειά τους. Υπάρχει όμως πιθανότητα μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου (αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη) μερικά από αυτά τα φωτόνια να απορροφηθούν σε συγκεκριμένα σημεία του κρυστάλλου, τα οποία και θα απορροφήσουν το σύνολο της μεταφερόμενης ενέργειας E_0 . Η παρουσία αυτής της αλληλεπίδρασης δηλώνεται με μια «κορυφή» στο φάσμα που αντιστοιχεί στα φωτόνια ενέργειας E_0 .



Η καταμέτρηση των ηλεκτρονικών παλμών γίνεται σε κανάλια ενεργείας τα οποία βαθμονομούνται με την χρήση ακτινοβολίας γάμμα συγκεκριμένων ενεργειών.

Διαπιστώσαμε την ύπαρξη κορυφών γάμμα στις ενέργειες 607, 914, 1119, 1462, 1759, 2205 και 2614 keV. Αυτές αντιστοιχούν στα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Η πιο έντονη κορυφή είναι αυτή του ^{40}K .

Πίνακας 1 : Φυσικά ραδιενεργά

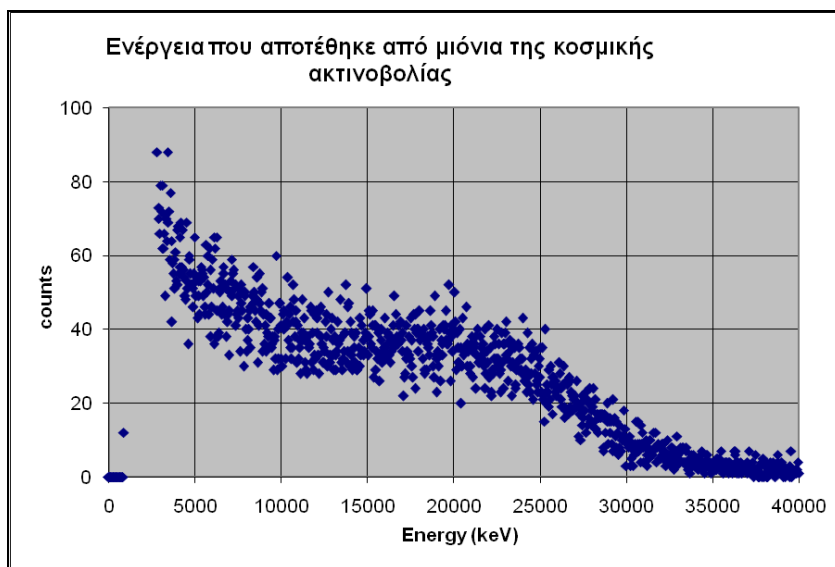
Ισότοπο	^{40}K	^{214}Bi	^{214}Bi	^{214}Bi	^{214}Bi	^{228}Ac	^{208}Tl
Ενέργεια (keV)	1461	609	1120	1765	2204	911	2615

Παρατηρούμε επίσης στο λογαριθμικό διάγραμμα ότι ίσως κάνει μόλις την εμφάνισή της και μια κορυφή στα 662 keV. Αυτή αντιστοιχεί στο τεχνητό ραδιενεργό στοιχείο καίσιο (^{137}Cs).

Μιόνια από την κοσμική ακτινοβολία

Σε αντίθεση με την προηγούμενη καταμέτρηση η οποία διήρκεσε περίπου 2 ώρες, η καταμέτρηση των μιονίων της κοσμικής ακτινοβολίας (counts) πραγματοποιήθηκε σε διάστημα περίπου 22 ωρών (80000 sec). Οι ενέργειες τώρα είναι πολύ μεγαλύτερες.

Από την γεωμετρία του κρυστάλλου που χρησιμοποιήσαμε, υπολογίσαμε ότι τα μήκη Δx των τμημάτων των τροχιών εντός αυτού μπορεί να είναι από 0 μέχρι 5,39 cm. Η ενέργεια που αφήνουν τα μιόνια στον κρύσταλλο (και επομένως η ενέργεια που μετράμε) είναι ανάλογη του μήκους Δx , δηλαδή $\Delta E = a\Delta x$. Η σταθερά αναλογίας είναι σε πρώτη προσέγγιση, περίπου $a=4,8$ MeV ανά cm. Άρα η ενέργεια που μπορεί να αφήσει μία τυχαία τροχιά μιονίου μέσα στον κρύσταλλο NaI θα είναι από 0 μέχρι 25,87 MeV. Είναι μια συνεχής κατανομή, χωρίς κάποια ιδιαίτερη κορυφή.



Κατά την διάρκεια των 80000 sec της καταμέτρησης, συλλέχθηκε ένα άθροισμα από 23544 γεγονότα (δηλ. τροχιές μιονίων). Αυτό αντιστοιχεί σε ρυθμό καταμέτρησης 17,7 μόνια/min. Η ακτίνα του ανιχνευτή είναι : $r=3,81/2=1,91\text{cm}$ και το εμβαδόν της βάσης του $S=\pi r^2=11,40\text{cm}^2$.

Από τη βιβλιογραφία βρίσκουμε ότι η ροή των μιονίων είναι 0,78 μόνια/min ανά cm^2 για οριζόντια επιφάνεια. Αυτό επί 11,40 cm^2 δίνει για όλο τον ανιχνευτή 8,89 counts/min και για 1334 min (= 80000 sec) κάνει σύνολο 11862 counts. Εμείς, κατά τη διάρκεια της μέτρησης, στην περιοχή των μιονίων βρήκαμε ότι συλλέχθηκε ένα άθροισμα από 23544 απαριθμήσεις, δηλαδή περίπου διπλάσια από αυτό που περιμένουμε για το εμβαδό της βάσης μόνο. Άρα, τα μόνια που μετρήσαμε κατά το ήμισυ εισέρχονται από την πάνω επιφάνεια (βάση) του ανιχνευτή και κατά το άλλο ήμισυ από την πλευρική επιφάνεια.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Αναστάσιο Λιόλιο, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ για την ευκαιρία που μας παρείχε να εργαστούμε στο Εργαστήριο Πυρηνικής Φυσικής και τον πολύτιμο χρόνο που μας διέθεσε για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

UNSCEAR 2008 Report, Vol.1, Sources of Ionizing Radiation, [Online] Available : <http://www.uncsear.org/>.

Young, H. (1994). *Πανεπιστημιακή Φυσική, 8^η έκδοση, Τόμος β'*, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, ISBN 960-02-1088-8.

Η ακτινοβολία στη ζωή μας, Υπ. Εργ. Και Κοινων. Ασφ., Λευκωσία, 2009, ISBN 978-9963-38-673-4, [Online] Available: <http://www.mlsi.gov.cy/>.

Μαθαίνουμε για τις ακτινοβολίες, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, [Online] Available : <http://www.eeae.gr/>.

Στο Διαδίκτυο [Online]. Available: <http://el.wikipedia.org/>.

Στο Διαδίκτυο [Online]. Available: <http://www.physics4u.gr/nuclear/radio1.html>.