



Όνοματεπώνυμο: ΣΟΥΜΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Αριθμός Μητρώου: 20144

Τριμελής επιτροπή:

κ. Χρυσικοπούλου Π., Λέκτορας (επιβλέπων)

κ. Βαμβακάρη Μ., Λέκτορας

κ. Δέτσης Β., Λέκτορας

ΑΘΗΝΑ 2005

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Όταν πρωτοξεκίνησα το «ταξίδι» της φοίτησής μου στο τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου Αθηνών, γνώριζα ότι θα ήταν ένα ταξίδι γεμάτο γνώσεις. Τελικά η διαδρομή αποδείχτηκε ότι ήταν κάτι παραπάνω από αυτό. Ήταν μία διαδρομή αλλαγής του τρόπου σκέψης και τρόπου ζωής μου.

Γνώση. Η διαδικασία που αλλάζει την συμπεριφορά του ανθρώπου που την δέχεται. Έτσι την περιγράφουν οι ψυχολόγοι. Δεν έχουν και άδικο! Αυτό ακριβώς συνέβη και σε μένα αναλαμβάνοντας την πτυχιακή εργασία με θέμα «Παγκόσμια Ραδιενεργή Ρύπανση – Δεδομένα και συμπεράσματα». Ομολογώ πως το θέμα δεν μου ήταν άγνωστο καθώς κατά καιρούς στο παρελθόν ενημερωνόμουν σχετικά από διάφορα περιοδικά. Όμως η απλή ανάγνωση άρθρων απέχει σημαντικά από την συγγραφή εργασίας. Αυτό ήταν και το πιο συναρπαστικό κομμάτι. Η αναζήτηση μέσα από μία τεράστια βιβλιογραφία. Η διαλογή των επιστημονικών δεδομένων από πλαστά και γεμάτα υπερβολές κείμενα. Η αναζήτηση της αλήθειας μέσα από τα ψέματα. Εν τέλει η παρουσίαση στο κοινό του πραγματικού ζητήματος της ραδιενέργειας και της ρύπανσης που προκαλεί.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω σε αυτό το ταξίδι γνώσης, που με αυτή την εργασία ολοκλήρωσε ένα μέρος του, τους γονείς μου και τον αδελφό μου για την αμέριστη συμπαράσταση και τα σωστά εφόδια που μου παρέχουν.

Βέβαια, αυτή η εργασία δεν θα μπορούσε να είχε ολοκληρωθεί χωρίς την, σημαντικότερη, βοήθεια από την επιβλέπουσα κυρία Χρυσικοπούλου, που ανέλαβε την επίβλεψη της εργασίας και που με τις παρατηρήσεις της, σαν «πλοηγός» στο ταξίδι αυτό, με καθοδηγούσε με ασφάλεια και σιγουριά προς την ολοκλήρωσή της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της επιτροπής, κυρία Βαμβακάρη και κύριο Δέτση που ανέλαβαν την διαδικασία της διόρθωσης και με βοήθησαν για να ολοκληρωθεί η εργασία.

Το ταξίδι συνεχίζεται...

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1 Φυσική του Πυρήνα	
1.1 Το Πείραμα του Rutherford.....	3
1.2 Το Ατομικό Πρότυπο του Bohr.....	3
1.3 Υλοκύματα και Σύγχρονο Ατομικό Πρότυπο.....	5
1.4 Ιδιότητες του Πυρήνα	7
1.5 Πυρηνικές Δυνάμεις.....	9
1.6 Πυρηνικές αντιδράσεις.....	11
1.7 Ραδιενέργεια.....	14
1.8 Αλληλεπίδραση Ιονιζουσών Ακτινοβολιών και Ύλης.....	25
1.9 Τρόποι Ανίχνευσης.....	28
Κεφάλαιο 2 Χρήσεις Ραδιενέργειας	
2.1 Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Ισχύος.....	31
2.2 Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Σύντηξης.....	43
2.3 Ιατρικές χρήσεις της ραδιενέργειας.....	46
2.4 Βιομηχανικές - Αναλυτικές Χρήσεις της Ραδιενέργειας.....	57
2.5 Χρήσεις της Ραδιενέργειας στη Γεωργία.....	59
2.6 Οπλικά Συστήματα.....	60
Κεφάλαιο 3 Οι Πηγές της Ραδιενέργειας στον Σύγχρονο Κόσμο	
3.1 Πηγές Φυσικής Ραδιενέργειας.....	70
3.2 Πηγές Τεχνητής Ραδιενέργειας.....	77
3.3 Ατυχήματα σε πυρηνοκίνητα υποβρύχια.....	88
Κεφάλαιο 4 Ραδιενεργή Ρύπανση	
4.1 Ρύπανση των Οικοσυστημάτων από Ραδιενέργεια.....	95
4.2 Επιπτώσεις στον Άνθρωπο.....	102

Κεφάλαιο 5 Στοιχεία για την Ραδιενεργή Ρύπανση στην Ελλάδα	
5.1 Ακτινοβολία γ σε αστικές περιοχές της Ελλάδας.....	115
5.2 Η περίπτωση της Μεγαλόπολης.....	123
5.3 Η περίπτωση του Σπηλαίου των Πετραλώνων.....	126
Κεφάλαιο 6 Στατιστική Ανάλυση	
6.1 Στατιστική ανάλυση ερωτηματολογίου.....	129
6.2 Ανάλυση.....	129
6.3 Συσχετίσεις εξαρτημένων μεταβλητών.....	157
Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα	
7.1 Γενικά Συμπεράσματα.....	193
7.2 Συμπεράσματα από την Έρευνα μέσω Ερωτηματολογίου.....	194
Κεφάλαιο 8 Βιβλιογραφικές αναφορές	
8.1 Βιβλιογραφία.....	195
Παράρτημα	
I. Μονάδες Ραδιενέργειας.....	1
II. Δοσιμετρικοί χάρτες Ελλάδας.....	3
III. Ερωτηματολόγιο.....	8
IV. Κυριότερα Πυρηνικά Ατυχήματα.....	14

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, με τίτλο «Παγκόσμια Ραδιενεργή Ρύπανση – Δεδομένα και Συμπεράσματα», επιχειρεί να παρουσιάσει διεξοδικά τις πηγές ραδιενέργειας στις οποίες εκτίθεται ο σύγχρονος άνθρωπος, με ιδιαίτερη έμφαση στη ραδιενεργή ρύπανση του βιοτικού και αβιοτικού περιβάλλοντος, καθώς και στα αποτελέσματά της. Η εργασία αυτή εκτός από το απαραίτητο θεωρητικό μέρος, περιλαμβάνει και μία έρευνα πεδίου που πραγματοποιήθηκε σε τυχαίο δείγμα για να μελετηθούν οι σχετικές γνώσεις.

Στο πρώτο κεφάλαιο, που φέρει τον τίτλο «Φυσική του Πυρήνα», γίνεται καταρχήν μία ιστορική αναδρομή στην ανακάλυψη της σύγχρονης εικόνας που έχει διαμορφώσει η επιστήμη για το άτομο και τον πυρήνα του. Έπειτα, παρουσιάζονται εν συντομία οι ιδιότητες των Πυρήνων. Στη συνέχεια γίνεται λεπτομερής αναφορά στο φαινόμενο της ραδιενέργειας, την αλληλεπίδραση των ιονίζουσών ακτινοβολιών και της ύλης, ενώ στο τέλος παρουσιάζονται τα όργανα που χρησιμοποιούνται, από τον άνθρωπο, για την ανίχνευση της ραδιενέργειας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, που ονομάζεται «Χρήσεις Ραδιενέργειας», παρουσιάζονται οι ειρηνικές και πολεμικές χρήσεις του φαινομένου της ραδιενέργειας, από τον άνθρωπο. Όσον αφορά τις ειρηνικές χρήσεις, μέσω της επεξήγησης των φαινομένων της πυρηνικής σχάσης και σύντηξης, γίνεται αναφορά στους Πυρηνικούς Αντιδραστήρες Ισχύος, στις διάφορες ιατρικές χρήσεις, καθώς επίσης και τις εφαρμογές της ραδιενέργειας στην βιομηχανία και στην γεωργία. Τέλος, γίνεται αναφορά και στις πολεμικές χρήσεις, παρουσιάζοντας τα οπλικά συστήματα που βασίζονται στην πυρηνική ενέργεια.

Στο τρίτο κεφάλαιο, που ονομάζεται «Οι Πηγές της Ραδιενέργειας στον Σύγχρονο Κόσμο», παρουσιάζονται οι πηγές της φυσικής ραδιενέργειας, που περιλαμβάνουν την κοσμική ακτινοβολία, την επίγεια και το ραδόνιο και οι πηγές της τεχνητής ακτινοβολίας, που περιλαμβάνουν την έκθεση σε ραδιενέργεια από τις πυρηνικές δοκιμές και τα πυρηνικά απόβλητα, τις διάφορες χρήσεις στην ιατρική, στη βιομηχανία καθώς επίσης και τα πυρηνικά ατυχήματα. Λόγω της σπουδαιότητάς τους, τα ατυχήματα των πυρηνοκίνητων υποβρυχίων, παρουσιάζονται σε ξεχωριστή παράγραφο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, που φέρει τον τίτλο «Ραδιενεργή Ρύπανση», γίνεται λεπτομερής αναφορά στην ρύπανση των οικοσυστημάτων από ραδιενέργεια καθώς επίσης και τις επιπτώσεις της έκθεσης σε ραδιενέργειας στον άνθρωπο.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, που ονομάζεται «Στοιχεία για την Ραδιενεργή Ρύπανση στην Ελλάδα», παρουσιάζονται ορισμένα δεδομένα σχετικά με την ραδιενέργεια στην Ελλάδα.

Στο έκτο κεφάλαιο, περιλαμβάνεται η στατιστική ανάλυση του ερωτηματολογίου που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση έρευνας πεδίου σχετικά με την γνώση περί της ραδιενέργειας και της ρύπανσης που προκαλεί, σε τυχαίο δείγμα 120 ανθρώπων. Η ανάλυση περιλαμβάνει περιγραφική στατιστική και συσχετίσεις εξαρτημένων μεταβλητών.

Στο έβδομο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας και περιλαμβάνουν τα γενικά συμπεράσματα καθώς και αυτά της στατιστικής ανάλυσης.

Το παράρτημα περιλαμβάνει μία παράγραφο όπου παρουσιάζονται οι έννοιες που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την δόση ραδιενέργειας και οι διάφορες μονάδες. Σε ξεχωριστές παραγράφους, παρουσιάζονται διάφοροι δοσιμετρικοί χάρτες της Ελλάδος. Το τελευταίο μέρος του παραρτήματος περιλαμβάνει το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα πεδίου και μία λίστα με τα σημαντικότερα πυρηνικά ατυχήματα.

1.1 Το Πείραμα του Rutherford

Λίγα χρόνια μετά την ανακοίνωση του Αϊνστάιν για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ο Βρετανός φυσικός Ernest Rutherford και οι μαθητές του Hans Geiger και Ernst Marsden, το 1910-1911, πραγματοποίησαν ένα πείραμα το οποίο επρόκειτο να αλλάξει την εικόνα των επιστημόνων για το άτομο. Ο Ράδερφορντ με το πείραμα του έδειξε ότι το μεγαλύτερο μέρος του ατόμου είναι κενός χώρος και η περισσότερη μάζα του είναι συγκεντρωμένη στην κεντρική περιοχή του, που ονομάστηκε πυρήνας. Κατεύθυνε σε ένα πολύ λεπτό φύλλο χρυσού μία δέσμη σωματιδίων άλφα, η οποία προερχόταν από ραδιενεργή πηγή και μέτρησε την γωνία κατά την οποία εκτρέπονταν τα σωματίδια από την ευθύγραμμη τροχιά τους, όταν εξέρχονταν από το άλλο μέρος του φύλλου χρυσού. Την γωνία εκτροπής των σωματιδίων την μέτρησε παρατηρώντας τις φωτεινές κηλίδες που σχηματίζονταν πάνω σε διάφραγμα από θειούχο ψευδάργυρο, με το οποίο είχε περιβάλλει το φύλλο χρυσού.

Ο Ράδερφορντ παρατήρησε ότι τα περισσότερα σωματίδια συνέχιζαν μία περίπου ευθύγραμμη τροχιά διαμέσου του λεπτού φύλλου χρυσού. Όμως, προς έκπληξή του, ορισμένα σωματίδια εκτρέπονταν σε πολύ μεγάλο βαθμό. Μάλιστα μερικά σκεδάζονταν προς τα πίσω, στην διεύθυνση πρόσπτωσής τους.

Με αυτό το πείραμα ο Ράδερφορντ κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα σωματίδια που δεν εκτρέπονταν περνούσαν μέσα από περιοχές του φύλλου χρυσού που ήταν κενός χώρος, ενώ τα σωματίδια που σκεδάζονταν απωθούνταν από το κέντρο των ατόμων του χρυσού, το οποίο πρέπει να ήταν και αυτό, όπως και τα σωματίδια α, θετικά φορτισμένο, και συνετέλεσε στην διαμόρφωση της εικόνας των ατόμων που είναι αποδεκτή, σήμερα. (Paul G. Hewitt, 1997)

1.2 Το Ατομικό Πρότυπο του Bohr

Το 1913, ο Δανός φυσικός Niels Bohr ανέπτυξε ένα ατομικό μοντέλο συμβατό με μερικά φασματοσκοπικά δεδομένα της εποχής του (π.χ το φάσμα εκπομπής του υδρογόνου), το οποίο συνδύαζε αρχές της κλασσικής και μη φυσικής. Υποθέτοντας ότι οι κβαντωμένες ενεργειακές καταστάσεις του ηλεκτρονίου του Planck θα ήταν

δυνατό να αντιστοιχούν σε τροχιές των ηλεκτρονίων με διαφορετικές ακτίνες υπολόγισε τις ενεργειακές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου και απέδειξε ότι αντιστοιχούσαν σε κβαντωμένες κυκλικές τροχιές. Κατά το πρότυπο του Bohr τα ηλεκτρόνια που κινούνται σε πιο απομακρυσμένες τροχιές από το πυρήνα βρίσκονται σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση σε σχέση με εκείνα που κινούνται σε πιο κοντινές τροχιές από το πυρήνα. Έτσι σύμφωνα με αυτό το πρότυπο τα ηλεκτρόνια κινούνταν σε καθορισμένες κυκλικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα, όπως οι πλανήτες γύρω από τον Ήλιο. Επίσης ένα ηλεκτρόνιο που κινείται σε μία τροχιά δεν χάνει ενέργεια. Αν το ηλεκτρόνιο μεταβεί από μία τροχιά υψηλότερης ενέργειας σε μία τροχιά χαμηλότερης ενέργειας, τότε μία καθορισμένη ποσότητα ενέργειας εκπέμπεται σε μορφή φωτονίου. Η μεταβολή της ενέργειας είναι ανάλογη της εκπεμπόμενης συχνότητας(ν):

$$\Delta E = h\nu.$$

Το ατομικό πρότυπο του Bohr όμως παρουσίαζε ορισμένα μειονεκτήματα όπως:

- 1) Δεν εξηγούσε την λεπτή υφή του φάσματος του υδρογόνου. Η λεπτή υφή συνίσταται στο ότι κάθε φασματική γραμμή του H χωριζόταν σε επιμέρους γραμμές με παρεμφερείς ενέργειες, φαινόμενο το οποίο μπορεί να παρατηρηθεί με όργανα μεγάλης διακριτικής ικανότητας. Το φαινόμενο της λεπτής υφής εξηγήθηκε αργότερα από τον Sommerfeld με τη βοήθεια της Σχετικιστικής Φυσικής.
- 2) Δεν εξηγούσε το φάσμα πολυπλοκότερων ατόμων από το υδρογόνο π.χ. του He.
- 3) Δεν εξηγούσε το φάσμα υδρογονειδών ιόντων όπως ιόντων He^+ και Li^{2+} τα οποία είχαν και αυτά ένα περιφερειακό ηλεκτρόνιο όπως το υδρογόνο.
- 4) Κατά την συνεχή κυκλική κίνηση του ηλεκτρονίου θα πρέπει να γίνεται συνεχής εκπομπή ακτινοβολίας, δηλαδή απώλεια ενέργειας. Άρα θα έπρεπε το ηλεκτρόνιο να προσπίπτει τελικά στον πυρήνα του ατόμου, γεγονός που είναι ασυμβίβαστο με τα πειραματικά δεδομένα. (Paul G. Hewitt, 1997)

1.3 Υλοκώματα και Σύγχρονο Ατομικό Πρότυπο

Ο Maurice de Broglie ήταν ένας Γάλλος πειραματικός φυσικός ο οποίος ήταν ένθερμος θιασώτης της θεωρίας του Compton περί της σωματιδιακής φύσης της ακτινοβολίας. Τα πειράματα και οι διαλέξεις του εντυπωσίασαν τον αδελφό του, Louis. Στη διδακτορική του διατριβή, που παρουσιάστηκε το 1924 στο τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου του Παρισιού, ο Louis de Broglie πρότεινε την ύπαρξη των υλοκυμάτων. Η καινοτομία της θεωρίας του προκάλεσε αμέσως το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, όμως η έλλειψη πειραματικών αποδείξεων δεν βοήθησε στην αναγνώρισή της. Σημειωτέον ότι ο Albert Einstein αναγνώρισε την σπουδαιότητα των απόψεων του de Broglie. Πέντε χρόνια αργότερα, απονεμήθηκε το βραβείο Νόμπελ Φυσικής στο Louis de Broglie, αφού η θεωρία του επιβεβαιώθηκε στο εργαστήριο.

Σύμφωνα με τη θεωρία του, όπως το φως (που κινείται με ταχύτητα c) ως κύμα παρουσιάζει και σωματιδιακές ιδιότητες, έτσι και κάθε κινούμενο σωματίδιο παρουσιάζει και κυματικές ιδιότητες. Το δε μήκος κύματος που αντιστοιχεί σε σωματίδια μάζας m υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους:

Δεδομένου ότι $E = h\nu$ και $E = mc^2$ εξάγεται ότι $h\nu = mc^2$ και επειδή ισχύει η κυματική εξίσωση $c = \lambda \cdot \nu$ συνεπάγεται ότι $\lambda = h / mc$.

Όμως σύμφωνα με τον de Broglie αυτή η σχέση δεν ισχύει μονάχα για ταχύτητες ίσες με αυτή του φωτός στο κενό αλλά και για οιοδήποτε άλλη ταχύτητα μικρότερης του φωτός. Η παραπάνω πρόταση επιβεβαιώθηκε πειραματικά το 1927 από το G. P. Thomson, ο οποίος παρατήρησε το φαινόμενο της περίθλασης δεσμών ηλεκτρονίων κατά το οποίο τα ηλεκτρόνια, που είναι υλικά σωματίδια, εμφάνιζαν συμπεριφορά συμβατή με ιδιότητες που αντιστοιχούσαν σε κύματα.

Το 1926 ο φυσικός Erwin Schrödinger λαμβάνοντας υπόψιν τις προηγούμενες θεωρίες σχετικά με την διττή φύση του ηλεκτρονίου, περιέγραψε με την περίφημη κυματική του εξίσωση την κίνηση του ηλεκτρονίου. Η κυματική συνάρτηση Ψ που υπολογίζεται από την κυματική εξίσωση, αναπαριστά όλες τις καταστάσεις που μπορούν να συμβούν σε ένα σύστημα. Η θέση του ηλεκτρονίου μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε, από το κέντρο του πυρήνα ως μία άπειρη ακτινική απόσταση. (Σαλτερής, 2000)

Σύμφωνα με το κβαντομηχανικό μοντέλο του ατόμου, το ηλεκτρόνιο δεν κινείται σε καθορισμένες κυκλικές ή ελλειπτικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα, αλλά το ηλεκτρόνιο περιβάλλει το πυρήνα σαν ηλεκτρονικό νέφος με μεγάλη πιθανότητα να βρίσκεται επάνω σε καθορισμένα τροχιακά, των οποίων το μέγεθος, το σχήμα και ο προσανατολισμός τους καθορίζονται αντίστοιχα από τρεις αριθμούς, τους κβαντικούς αριθμούς n , l , m_l με τους οποίους και μόνο η μαθηματική εξίσωση του ηλεκτρονίου δίνει πραγματικές λύσεις. Ένας τέταρτος κβαντικός αριθμός, ο m_s , καθορίζει το spin του ηλεκτρονίου. (W.S.C Williams, 1991)

1.4 Ιδιότητες του Πυρήνα

Μετά τα πειράματα του Rutherford και την ανακάλυψη του ηλεκτρονίου και του πρωτονίου, έγινε η πρόταση από πολλούς επιστήμονες ότι ο πυρήνας του ατόμου αποτελείται από πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Παρόλο που σύμφωνα με την ακτινοβολία β , αυτή η πρόταση είχε λογική, δεν συμφωνούσε με τα πειραματικά αποτελέσματα της κβαντομηχανικής. Έπειτα από την ανακάλυψη ενός τρίτου σωματιδίου, του νετρονίου, από τον Άγγλο φυσικό James Chadwick, ο Heisenberg πρότεινε ένα μοντέλο σύμφωνα με το οποίο ο πυρήνας αποτελείται από νετρόνια και πρωτόνια, τα οποία από κοινού ονομάζονται νουκλεόνια.

Η ακτίνα του πυρήνα, όπως προκύπτει από πειράματα σκέδασης, κυμαίνεται από 10^{-13} cm περίπου για το υδρογόνο ως το εξαπλάσιο μέγεθος για το ουράνιο. Το δε σχήμα του είναι, γενικά, σφαιρικό όταν βρίσκεται στην θεμελιώδη του ενεργειακή κατάσταση και η ακτίνα του δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$R = r_0 \cdot A^{1/3}$$

Όπου r_0 μία σταθερά με τιμή $r_0 = 1,2 \cdot 10^{-13}$ cm και A ο μαζικός αριθμός του εκάστοτε στοιχείου.

1.4.1 Τα νουκλεόνια

Το πρωτόνιο αποτελεί το πιο βασικό συστατικό του πυρήνα και από τον αριθμό των πρωτονίων καθορίζεται το είδος του ατόμου. Είναι θετικά φορτισμένο με ίσο και αντίθετο φορτίο με αυτό του ηλεκτρονίου: $+e = 1,602 \times 10^{-19}$ Cb και μάζα:

$$m_p = 1,6723 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

Το νετρόνιο αποτελεί το έτερο συστατικό του πυρήνα και απαντάται σε όλα τα άτομα εκτός του υδρογόνου. Είναι ηλεκτρικά ουδέτερο και η μάζα του είναι παραπλήσια με αυτή του πρωτονίου: $m_n = 1,6746 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Τα πρωτόνια και τα νετρόνια ενός πυρήνα αποκαλούνται από κοινού νουκλεόνια.

Ένα άτομο χαρακτηρίζεται από τον ατομικό αριθμό Z και το μαζικό αριθμό A . Ο ατομικός αριθμός αναφέρεται στον αριθμό των πρωτονίων του πυρήνα του στοιχείου, ενώ ο μαζικός αριθμός αναφέρεται στο πλήθος των νουκλεονίων του πυρήνα. Ο αριθμός των νετρονίων N ενός πυρήνα μπορεί εύκολα να βρεθεί αν αφαιρέσουμε από το Μαζικό αριθμό τον αντίστοιχο Ατομικό: $N = A - Z$

1.4.2 Κατηγορίες πυρήνων

Οι πυρήνες ανάλογα με τον αριθμό των πρωτονίων τους, τον αριθμό των νετρονίων τους και τον αριθμό των νουκλεονίων τους μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1) Ισότοποι πυρήνες

Παρόλο που για τα ουδέτερα άτομα, ο αριθμός των πρωτονίων είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων, ο αριθμός των νετρονίων δεν ακολουθεί κάποιο απλό κανόνα. Σε ένα δεδομένο στοιχείο ο αριθμός των νετρονίων, ενδέχεται να ποικίλλει. Τα άτομα που έχουν ίδιο αριθμό πρωτονίων, αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων, καλούνται ισότοπα. Σε αυτά τα στοιχεία οι χημικές ιδιότητες δεν αλλάζουν διότι δεν αλλάζει ο αριθμός των ηλεκτρονίων, διαφέρουν όμως ως προς τις ιδιότητες των πυρήνων. Παράδειγμα ισοτόπων πυρήνων είναι το κοινό υδρογόνο ^1_1H , το δευτέριο ^2_1D και το τρίτιο ^3_1T .

2) Ισότονοι πυρήνες

Οι ισότονοι πυρήνες έχουν τον ίδιο αριθμό νετρονίων αλλά διαφορετικό αριθμό πρωτονίων. Παράδειγμα ισότονων πυρήνων είναι το ισότοπο του άνθρακα $^{14}_6\text{C}$ και το ισότοπο του αζώτου $^{15}_7\text{N}$.

3) Ισοβαρείς πυρήνες

Οι ισοβαρείς πυρήνες έχουν τον ίδιο μαζικό αριθμό A , όπως οι πυρήνες $^{14}_6\text{C}$ και $^{14}_7\text{N}$.

1.4.3 Ενέργεια σύνδεσης

Έλλειμμα μάζας του πυρήνα καλείται η διαφορά μάζας Δm μεταξύ του αθροίσματος των μαζών των ελεύθερων νουκλεονίων και της μάζας του συγκροτήματος αυτών με την μορφή πυρήνα.

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m$$

όπου m είναι η μάζα του σχηματιζόμενου πυρήνα.

Το έλλειμμα μάζας Δm αντιστοιχεί σε ενέργεια, σύμφωνα με την ισοδυναμία μάζας – ενέργειας και είναι η μάζα που εξαφανίστηκε στη διαδικασία κατά την οποία δημιουργήθηκε ο πυρήνας από Z πρωτόνια και N νετρόνια εν ηρεμία.

Ενέργεια σύνδεσης ενός πυρήνα ονομάζουμε το έργο που απαιτείται για να διαχωριστούν τα Z πρωτόνια και τα N νετρόνια του και να οδηγηθούν σε απόσταση άπειρη το ένα από το άλλα, αφήνοντας τα σε ηρεμία.

Εκείνο όμως είναι περισσότερο χρήσιμο είναι η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο του πυρήνα: $|BE| / A$. Ο λόγος αυτός μας φανερώνει την σταθερότητα των πυρήνων. Στην περίπτωση των ελαφρών πυρήνων η ενέργεια σύνδεσης (σε απόλυτη τιμή) ανά νουκλεόνιο φτάνει στο μέγιστο σημείο της με τιμή ίση με 8,6 MeV, ενώ για βαρύτερους πυρήνες ο λόγος $|BE| / A$ μειώνεται σε τιμή ίση με 7,6 MeV.

Ως μονάδα πυρηνικής μάζας χρησιμοποιείται το u , δηλαδή το $1/12$ της μάζας του ισοτόπου του ^{12}C . Η ισοδυναμία u και MeV είναι $1u = 931,48\text{MeV} / c^2$

1.4.4 Ενεργειακές στάθμες του πυρήνα

Όπως και τα άτομα, έτσι και οι πυρήνες μπορούν να υπάρχουν σε κβαντισμένες ενεργειακές καταστάσεις, ανάλογα με την ενεργειακή κατάσταση των νουκλεονίων τους. Ένας πυρήνας που βρίσκεται σε μία διεγερμένη κατάσταση, μεταβαίνει πολύ γρήγορα σε κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας, εκπέμποντας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία τύπου γ .

1.5 Πυρηνικές Δυνάμεις

Οι τέσσερις μορφές αλληλεπιδράσεων που χαρακτηρίζουν το σύμπαν είναι οι ακόλουθες:

- 1) Η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση
- 2) Η ασθενής αλληλεπίδραση
- 3) Η ισχυρή αλληλεπίδραση
- 4) Η βαρυτική αλληλεπίδραση

Από τις παραπάνω αλληλεπιδράσεις, η τρίτη είναι εκείνη που ευθύνεται για την σταθερότητα των νουκλεονίων στο πυρήνα του ατόμου. Η ασθενής αλληλεπίδραση είναι 10^{26} φορές ισχυρότερη από την βαρυτική και 10^{-14} φορές ασθενέστερη από την ισχυρή αλληλεπίδραση, η οποία με την σειρά της είναι μόνο δύο τάξεις μεγέθους ισχυρότερη από την ηλεκτρομαγνητική. Η ισχυρή αλληλεπίδραση έχει πολύ μικρή ακτίνα δράσης, ουσιαστικά περιορίζεται μέσα στον πυρήνα, και οφείλεται στα πεδία μεσονίου (ή αλλιώς πιονίου π^- , π^0 , π^+).

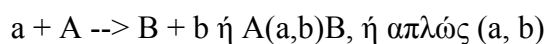
Τα πρωτόνια, τα νετρόνια και τα μεσόνια ονομάζονται αδρόνια. Η ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των αδρονίων εξαρτάται από τις μεταξύ τους αποστάσεις, τις ταχύτητες και τις στροφορμές τους. Όσων αφορά την απόσταση, είναι πολύ ισχυρή για νουκλεόνια που απέχουν λιγότερο από 10^{-15} m μεταξύ τους, αλλά είναι σχεδόν μηδαμινή για μεγαλύτερες αποστάσεις. Ανάμεσα όμως στα πρωτόνια δρα και μία άλλη δύναμη, η ηλεκτρική άπωση, η οποία απομακρύνει τα πρωτόνια. Σε άτομα με μικρούς πυρήνες η ισχυρή αλληλεπίδραση υπερνικά την ηλεκτρική άπωση, αλλά ένας μεγάλος πυρήνας δεν είναι τόσο σταθερός. Την ευθύνη για την σταθερότητα των μεγάλων πυρήνων αναλαμβάνουν τα νετρόνια, τα οποία υπερτερούν των πρωτονίων σε αριθμό, σε βαρύτερους πυρήνες. Παραδείγματος χάρη, στο ουράνιο-238 που έχει 92 πρωτόνια, υπάρχουν 146 νετρόνια. (Robert Eisberg, Robert Martin, 1985)

1.6 Πυρηνικές αντιδράσεις

Με την μελέτη των πυρηνικών αντιδράσεων, οι επιστήμονες έχουν αποσπάσει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με:

- 1) Τη μάζα των πυρήνων και τις ενεργειακές τους στάθμες
- 2) Το σχήμα και τη δομή των πυρήνων
- 3) Την νουκλεοσύνθεση στην αστροφυσική και τη κοσμολογία
- 4) Την παραγωγή ενέργειας και τεχνητών ισοτόπων

Η βασική εξίσωση για μία τυπική πυρηνική αντίδραση είναι η εξής:



όπου a είναι το σωματίδιο-βλήμα, A είναι ο πυρήνας-στόχος και b , B είναι τα τελικά προϊόντα. Η δε ενέργεια της αντίδρασης υπολογίζεται από την διαφορά των μαζών μεταξύ των αντιδρώντων και των προϊόντων πολλαπλασιαζόμενων με το τετράγωνο της ταχύτητας του φωτός.

$$Q = (m_a + m_A - m_b - m_B) \cdot c^2$$

Η αντίδραση μπορεί να είναι είτε εξώθερμη ($Q > 0$), είτε ενδόθερμη ($Q < 0$). Στις εξώθερμες ή εξωενεργειακές, εκλύεται ενέργεια και είναι αυτές που παρουσιάζουν για τα περιβαλλοντικά προβλήματα που πλανήτη το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, ενώ στις ενδόθερμες ή ενδοενεργειακές απορροφάται ενέργεια. Οι αντιδράσεις (γ, p) και (γ, n) είναι χαρακτηριστικές ενδοενεργειακές αντιδράσεις, ενώ οι αυθόρμητες διασπάσεις των ραδιενεργών πυρήνων είναι εξωενεργειακές.

Κάθε σταθερό σωματίδιο μπορεί να γίνει το σωματίδιο που βομβαρδίζει, κάθε σταθερός πυρήνας μπορεί να γίνει ο πυρήνας-στόχος και μία ποικιλία από σωματίδια μπορούν να ελευθερωθούν από την αντίδραση. Το αποτέλεσμα της αντίδρασης είναι είτε ένας σταθερός πυρήνας, είτε ένας ραδιενεργός-ασταθής. Τα σωματίδια για να χρησιμοποιηθούν ως βλήματα, πρέπει να έχουν ενέργεια αρκετή ώστε να διαπεράσουν το πεδίο Coulomb του πυρήνα-στόχου π.χ. στη περίπτωση του ουρανίου οι πυρήνες ηλίου (τα γνωστά σωματίδια α) πρέπει να έχουν ενέργεια περίπου της τάξης των 20 MeV. Όσον αφορά τα νετρόνια, τα ηλεκτρόνια και τα φωτόνια δεν υπάρχει περιορισμός στην απαιτούμενη ενέργεια. (Lilley, 2002)

Τυπικά, η προϋπόθεση για να είναι ένας πυρήνας που δημιουργείται σταθερός, είναι να μην αλλάζει πολύ ο λόγος Z / A , σε σχέση με το λόγο Z / A που είχε ο πυρήνας-στόχος. Ένα παράδειγμα πυρηνικής αντίδρασης που οδηγεί σε ένα σταθερό πυρήνα είναι η (d, α) .

Αν μετά από την αντίδραση ο πυρήνας που δημιουργείται έχει μικρότερο λόγο Z / A , τότε είναι συνήθως ραδιενεργός με συνέπεια την εκπομπή ηλεκτρονίων με

σκοπό να αυξηθεί ο λόγος Z / A σε μία σταθερή τιμή. Μία αντίδραση που έχει ως αποτέλεσμα ο δημιουργημένος πυρήνας να εκπέμπει ηλεκτρόνια είναι η (n,p).

1.6.1 Κατηγορίες πυρηνικών αντιδράσεων

1) Ελαστική σύγκρουση

Σε αυτού του είδους την αντίδραση, δεν υπάρχει απώλεια ενέργειας καθώς το σωματίδιο-βλήμα και ο πυρήνας-στόχος εκτρέπονται σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Το πιο γνωστό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι η εκτροπή Rutherford στην οποία σωματίδια α εκτρέπονται της πορείας τους καθώς συναντούν το πεδίο Coulomb του πυρήνα στόχου.

2) Άμεσες αντιδράσεις

Όταν υπάρχει άμεση αντίδραση μεταξύ του βλήματος και του στόχου η μεταφορά ενέργειας είναι σχετικά μικρή και η διεύθυνση της σύγκρουσης είναι τις περισσότερες φορές ευθύγραμμη.

Στην ανελαστική σύγκρουση τα αντιδρώντα είναι τα ίδια με τα προϊόντα της πυρηνικής αντίδρασης. Σε αντίθεση όμως με την αντίστοιχη ελαστική, ένα μέρος της κινητικής ενέργειας χρησιμοποιείται για να θέσει το ένα ή και τα δύο προϊόντα σε διεγερμένη κατάσταση. Το τελικό αποτέλεσμα είναι το διεγερμένο προϊόν να εκπέμπει ακτινοβολία γ μεταβαίνοντας σε μία μη διεγερμένη κατάσταση.

Μία αντίδραση μεταφοράς συμβαίνει όταν ένα ή περισσότερα νουκλεόνια ανταλλάσσονται καθώς το σωματίδιο-βλήμα περνά από το πυρήνα-στόχο. Τα αποτελέσματα διαφέρουν καθώς τα προϊόντα ενδέχεται, είτε να βρίσκονται σε διεγερμένη κατάσταση, είτε όχι.

3) Αντιδράσεις συνένωσης πυρήνων

Για να συμβούν αυτές οι αντιδράσεις πρέπει μετά από μία πυρηνική σύγκρουση να υπάρξει σύντηξη μεταξύ του βλήματος και του στόχου και μετά από τις επιμέρους συγκρούσεις των νουκλεονίων του συστήματος, η ενέργεια διαμοιράζεται στα νουκλεόνια. Το προϊόν της αντίδρασης είναι ένας διεγερμένος

πυρήνας ο οποίος όταν κάποια στιγμή αποδιεγερθεί θα εκπέμψει ακτινοβολία γ και νουκλεόνια. (Lilley, 2002)

1.7 Ραδιενέργεια

1.7.1 Ραδιενεργά στοιχεία

Στην φύση υπάρχουν «βαρειά» χημικά στοιχεία, με ατομικό αριθμό $Z > 83$ των οποίων ο πυρήνας παρουσιάζει αστάθεια και κάποια χρονική στιγμή διασπάται εκπέμποντας ακτινοβολία αυθόρμητα χωρίς καμία εξωτερική διέγερση. Όπως ανακάλυψαν ο H. Bequerel και το ζεύγος Curie, η διάσπαση αυτή (γνωστή και σαν μεταστοιχείωση, μετατροπή, αποσύνθεση) οδηγεί στην δημιουργία ενός καινούργιου θυγατρικού πυρήνα (σε θεμελιώδη ή διηγευμένη κατάσταση) και στην εκπομπή κάποιων βλημάτων. Όταν απαντάται μεγάλος αριθμός ραδιενεργών πυρήνων, τα βλήματα από τις διασπάσεις αποτελούν δέσμη που είναι γνωστή και σαν ραδιενέργεια, ή ραδιενεργή ακτινοβολία.

Η εκπομπή ακτινοβολίας από ένα πυρήνα συμβαίνει όταν ο πυρήνας, που περιέχει ένα σταθερό αριθμό νουκλεονίων, τίθεται σε μία ενεργειακή κατάσταση η οποία δεν είναι η χαμηλότερη δυνατή για ένα σύστημα με το συγκεκριμένο αριθμό νουκλεονίων.

Ο πυρήνας τίθεται σε μία ασταθή ενεργειακή κατάσταση ως αποτέλεσμα μίας πυρηνικής αντίδρασης. Οι πυρηνικές αντιδράσεις ενδέχεται να προέρχονται είτε από ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως σε πυρηνικούς αντιδραστήρες, είτε από φυσικά αίτια που οι ρίζες τους ανιχνεύονται στις πρώτες στιγμές της δημιουργίας του σύμπαντος. Οι ασταθείς πυρήνες που προέρχονται από φυσικές πηγές καλούνται ραδιενεργοί και η ακτινοβολία που εκπέμπουν ραδιενέργεια.

- Ακτινοβολία α

Η ακτινοβολία α εκπέμπεται κατά την μετατροπή του ασταθούς μητρικού πυρήνα σε θυγατρικό πυρήνα. Αποτελείται από σωματίδια α , δηλαδή πυρήνες του Ηλίου ${}^4_2\text{He}$ που περιέχουν δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Η μάζα ηρεμίας του

σωματιδίου α είναι 4.00167 amu (αντίστοιχα η ενέργεια ηρεμίας, σύμφωνα με τη σχέση $E = mc^2$ είναι 3727.56 MeV). Κατά την διαδικασία αυτή, που συμβαίνει αυθόρμητα, το ατομικό βάρος του πυρήνα ελαττώνεται κατά 4 μονάδες και ο ατομικός του αριθμός κατά 2 μονάδες.

Ένα απλό πείραμα που δείχνει ότι η ακτινοβολία α αποτελείται από πυρήνες ηλίου, έχει ως εξής: Ραδιενεργός πηγή που παράγει σωμάτια α , τοποθετείται σ' ένα πολύ λεπτό γυάλινο σωλήνα. Τα σωματίδια α που κατορθώνουν να περάσουν το γυαλί συγκρούονται στα τοιχώματα ενός θαλάμου που βρίσκεται υπό κενό. Εκφορτίζονται με την σύλληψη ηλεκτρονίων και μετατρέπονται έτσι σε ουδέτερα άτομα. Αφού περάσει αρκετό χρονικό διάστημα ώστε να έχει συσσωρευτεί στο θάλαμο αρκετός αριθμός από ουδέτερα άτομα, συμπιέζεται η ποσότητα του στοιχείου που παρήχθη, με ανύψωση της στάθμης του Hg (ο οποίος Hg βρίσκεται μέσα στο θάλαμο), ούτως ώστε όλο το αέριο να συγκεντρωθεί στο χώρο που είναι τοποθετημένα δύο ηλεκτρόδια. Το φάσμα του στοιχείου, που λαμβάνεται με ηλεκτρική εκκένωση, βρέθηκε ότι είναι ταυτόσημο με εκείνο του στοιχείου του ηλίου.

Ένα παράδειγμα εκπομπής ακτινοβολίας α αποτελεί η παρακάτω εξίσωση $^{240}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^{236}_{92}\text{U}$ όπου το Πλουτώνιο μεταστοιχειώνεται σε Θόριο με εκπομπή ενός πυρήνα Ηλίου.

- Ακτινοβολία β^+ , β^-

Οι πυρήνες με ατομικούς αριθμούς Z που είναι ασταθείς, σε σύγκριση με τους μαζικούς αριθμούς A , μπορούν να αλλάξουν τον ατομικό τους αριθμό με σκοπό την απόκτηση σταθερότητας μέσω διαφορετικών διαδικασιών ακτινοβολίας τύπου β . Τα σωματίδια β είναι ταχεία ηλεκτρόνια, ή ποζιτρόνια.

Η πρώτη διαδικασία περιλαμβάνει την εκπομπή ηλεκτρονίου (β^-) και ενός αντινετρίνιου ηλεκτρονίου. Το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόνιο εκπέμπεται από τον πυρήνα με συνέπεια ο αριθμός Z να αυξάνεται κατά μία μονάδα, ο αριθμός των νετρονίων, N , να μειώνεται κατά μία μονάδα και ο αριθμός A να παραμένει σταθερός.

Μία άλλη διαδικασία περιλαμβάνει την σύλληψη ηλεκτρονίου και την εκπομπή ποζιτρονίου και ενός νετρίνιου ηλεκτρονίου.

Και στις δύο αυτές περιπτώσεις ο ατομικός αριθμός Z μειώνεται κατά μία μονάδα, ο N αυξάνεται κατά μία μονάδα και ο μαζικός αριθμός A παραμένει σταθερός. Η ενέργεια της ακτινοβολίας διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση, από ένα μικρό κλάσμα του 1 MeV σε περισσότερα από 10 MeV.

- Ακτινοβολία γ

Η ακτινοβολία γ αποτελείται από φωτόνια πολύ υψηλής ενέργειας (καταλαμβάνει την περιοχή των υψηλότερων ενεργειών στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα) και μήκους κύματος μικρότερου του φωτός. Συνοδεύει την ακτινοβολία α και β καθώς οι θυγατρικοί πυρήνες που προκύπτουν από τις ραδιενεργές διασπάσεις, μεταβαίνουν από μία διεγερμένη κατάσταση υψηλής ενέργειας σε μία σταθερότερη κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας.

Όταν ένας ραδιενεργός πυρήνας εκπέμπει ένα σωματίδιο α , ή β , προκύπτει ένα νέο στοιχείο. Η μετατροπή ενός χημικού στοιχείου σε ένα άλλο ονομάζεται μεταστοιχείωση π.χ. στην περίπτωση του ουρανίου, το άτομό του έχει 92 πρωτόνια. Όταν εκπέμπει ένα σωματίδιο α , που είναι ένας πυρήνας ηλίου, ο πυρήνας του χάνει δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Τα νουκλεόνια που απομένουν αποτελούν το πυρήνα ενός νέου θυγατρικού πυρήνα του θορίου. Παρόλα αυτά το θόριο είναι ένα ασταθές ραδιενεργό στοιχείο το οποίο διασπάται με εκπομπή σωματιδίου β , που είναι ουσιαστικά ένα ηλεκτρόνιο, και έτσι απομένει ένας νέος πυρήνας με 91 πρωτόνια και το στοιχείο ονομάζεται πρωτακτίνιο.

1.7.2 Νόμος των ραδιενεργών διασπάσεων

Έπειτα από την ανακάλυψη της ραδιενέργειας από το ζεύγος Curie, οι φυσικοί Elster και Keitel παρατήρησαν ότι η ένταση της ραδιενέργειας μίας ουσίας μειώνεται εκθετικά σε συνάρτηση με το χρόνο και ταυτόχρονα ο πυρήνας διασπάται σε νέους θυγατρικούς. Η μαθηματική σχέση που αντικατοπτρίζει αυτό το φαινόμενο είναι γνωστή σαν το νόμο των ραδιενεργών μετατροπών :

$$dN = -\lambda N_t dt$$

όπου dN είναι ο αριθμός των διασπόμενων πυρήνων σε χρονικό διάστημα dt , N_t είναι ο αριθμός των αδιάσπαστων πυρήνων την χρονική στιγμή t και λ η σταθερά διάσπασης του πυρήνα που είναι διαφορετική για κάθε πυρήνα. Το σημείο μείον αντιπροσωπεύει την μείωση των πυρήνων.

Όλες οι αυθόρμητες ραδιενεργές διασπάσεις υπακούουν στον απλό νόμο των ραδιενεργών διασπάσεων, διαφέροντας ως προς το λ . Το λ σχετίζεται με ένα πολύ σημαντικό μέγεθος που καλείται ημιζωή, ή χρόνος υποδιπλασιασμού.

Ο ρυθμός διάσπασης είναι: $dN / dt = -\lambda N_t$ και μετριέται σε μονάδες Bq ή Curie.

1.7.3 Ημιζωή ή χρόνος υποδιπλασιασμού $T_{1/2}$

Η ημιζωή ενός ραδιενεργού υλικού είναι ο χρόνος που απαιτείται, για να διασπαστούν τα μισά ραδιενεργά άτομα ορισμένης ποσότητας ύλης. Ο ρυθμός της ραδιενεργού διάσπασης είναι εξαιρετικά σταθερός και δεν επηρεάζεται από εξωτερικές συνθήκες (όπως πίεση, θερμοκρασία,...), όμως είναι χαρακτηριστικός για κάθε ραδιενεργό στοιχείο. Μπορεί να κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα, έως πολλά εκατομμύρια χρόνια.

Ο χρόνος ημιζωής συνδέεται με το λ μέσα από την σχέση:

$$T_{1/2} = 0,693 / \lambda$$

1.7.4 Ραδιενεργές οικογένειες

Έχει παρατηρηθεί ότι στη φύση σχεδόν όλοι οι ραδιενεργοί πυρήνες απαντιούνται υπό την μορφή τεσσάρων ραδιενεργών οικογενειών ή σειρών που λαμβάνουν το όνομα του προγεννήτορα πυρήνα:

- 1) Η σειρά του θορίου (Th) που αρχίζει με το ${}_{90}\text{Th}^{232}$ και λήγει με το ${}_{82}\text{Pb}^{208}$
- 2) Η σειρά του ακτινίου (Ac) που αρχίζει με το ${}_{92}\text{U}^{235}$ και λήγει με το ${}_{82}\text{Pb}^{207}$
- 3) Η σειρά του ουρανίου (U) που αρχίζει με το ${}_{92}\text{U}^{238}$ και λήγει με το ${}_{82}\text{Pb}^{206}$
- 4) Η σειρά του ποσειδωνίου (Np) που αρχίζει με το ${}_{93}\text{Np}^{237}$ και λήγει με το ${}_{83}\text{Bi}^{209}$

Πίνακας 1: Σειρά του Θορίου

Στοιχείο	Χρόνος ημιζωής
${}^{232}\text{Th}$	$1,39 \cdot 10^{10}$ έτη

²²⁸ Ra	6,7 έτη
²²⁸ Ac	6,13 ώρες
²²⁸ Th	1,90 έτη
²²⁴ Ra	3,64 μέρες
²²⁰ Rn	51,5 δευτ/πτα
²¹⁶ Po	$158 \cdot 10^{-3}$ δευτ/πτα
²¹⁶ At	$3 \cdot 10^{-4}$ δευτ/πτα
²¹² Pb	10,6 ώρες
²¹² Bi	60,5 λεπτά
²¹² Po	$0,3 \cdot 10^{-6}$ δευτ/πτα
²⁰⁸ Tl	3,1 λεπτά
²⁰⁸ Pb	σταθερός

Πίνακας 2: Σειρά του Ακτινίου

Στοιχείο	Χρόνος ημιζωής
²³⁵ U	$7,13 \cdot 10^8$ έτη
²³¹ Th	25,6 ώρες
²³¹ Pa	$34,3 \cdot 10^3$ έτη
²²⁷ Ac	21,6 έτη
²²⁷ Th	18,2 μέρες
²²³ Fr	21 λεπτά
²²³ Ra	11,7 μέρες
²¹⁹ At	0,9 λεπτά
²¹⁹ Rn	3,92 δευτ/πτα
²¹⁵ Bi	8 λεπτά
²¹⁵ Po	$1,83 \cdot 10^{-3}$ δευτ/πτα
²¹⁵ At	10^{-4} δευτ/πτα
²¹¹ Pb	36,1 λεπτά
²¹¹ Bi	2,16 λεπτά
²¹¹ Po	0,52 δευτ/πτα
²⁰⁷ Tl	4,79 λεπτά
²⁰⁷ Pb	Σταθερός

Πίνακας 3: Σειρά του Ουρανίου

Στοιχείο	Χρόνος ημιζωής
^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ έτη
^{234}Th	24,1 μέρες
^{234}Pa	1,17 λεπτά
^{234}U	$2,48 \cdot 10^5$ έτη
^{230}Th	$8 \cdot 10^4$ έτη
^{226}Ra	1622 έτη
^{222}Rn	3,823 μέρες
^{218}Po	3,05 λεπτά
^{218}At	2 δευτ/πτα
^{214}Pb	26,8 λεπτά
^{214}Bi	19,7 λεπτά
^{214}Po	$1,6 \cdot 10^{-4}$ δευτ/πτα
^{210}Tl	1,32 λεπτά
^{210}Pb	20,4 χρόνια
^{210}Bi	5 μέρες
^{210}Po	138,3 μέρες
^{206}Tl	4,2 λεπτά
^{206}Pb	Σταθερός

Πίνακας 4: Σειρά του Ποσειδωνίου

Στοιχείο	Χρόνος ημιζωής
^{241}Pu	13 έτη
^{241}Am	458 έτη
^{237}Np	$2,2 \cdot 10^6$ έτη

^{233}Pa	27,4 μέρες
^{233}U	$1,62 \cdot 10^5$ έτη
^{229}Th	$7,3 \cdot 10^3$ έτη
^{225}Ra	14,8 μέρες
^{225}Ac	10 μέρες
^{221}Fr	4,8 λεπτά
^{217}At	$18 \cdot 10^{-3}$ δευτ/πτα
^{213}Bi	47 λεπτά
^{213}Po	$4 \cdot 10^{-6}$ δευτ/πτα
^{209}Tl	2,2 λεπτά
^{209}Pb	3,3 ώρες
^{209}Bi	Σταθερός

Στην γη υπάρχουν ραδιενεργά στοιχεία με μικρούς χρόνους υποδιαπλασιασμού (π.χ ραδόνιο, ράδιο). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι προγεννήτορες αυτών των στοιχείων είχαν χρόνους υποδιαπλασιασμού σχεδόν όσο και η ηλικία της γης. Στην περίπτωση του ουρανίου που έχει χρόνο ημιζωής 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια, η ποσότητα που έχει απομείνει σήμερα είναι η μισή σε σχέση με αυτή που υπήρχε στην αρχή της ζωής της γης.

Η σειρά του Ποσειδωνίου δεν υπάρχει πια διότι το ποσειδώνιο με χρόνο ημιζωής $2,2 \cdot 10^6$ έτη υπάρχει πλέον σε τόσο μικρές ποσότητες που δεν μπορούν πλέον να παρατηρηθούν.

1.7.5 Πηγές ραδιενέργειας

Ο άνθρωπος εκτίθεται, είτε σε πηγές φυσικής ραδιενέργειας, δηλαδή ραδιενέργεια που προουπήρχε της εμφάνισης ζωής στον πλανήτη μας, είτε σε πηγές τεχνητής ραδιενέργειας που κατασκεύασε ο άνθρωπος κατά την διάρκεια του 20ού αιώνα.

Επίσης εκτός από τον διαχωρισμό σε πηγές φυσικής ραδιενέργειας και σε πηγές τεχνητής ραδιενέργειας υφίσταται και ο διαχωρισμός της ραδιενέργειας σε ραδιενέργεια από πηγές εξωτερικές (φυσική ή τεχνητή ραδιενέργεια από πηγές που

βρίσκονται στο περιβάλλον του ανθρώπου), ή ραδιενέργεια από πηγές εσωτερικές (φυσική ή τεχνητή ραδιενέργεια που μπήκαν στο σώμα του ανθρώπου με την αναπνοή και τις τροφές).

A) Φυσική ραδιενέργεια

Ο άνθρωπος εκτίθεται σε φυσική ραδιενέργεια, είτε από τον ουρανό (κοσμική ακτινοβολία), είτε από την γη (ραδιενεργά κοιτάσματα).

1) Κοσμική ακτινοβολία

Η κοσμική ακτινοβολία υπάρχει διάχυτη σε όλο το σύμπαν. Η κοσμική ακτινοβολία διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες: Την κύρια και την δευτερεύουσα. Η κύρια ακτινοβολία προέρχεται, σε ένα μεγάλο ποσοστό της, έξω από το ηλιακό σύστημα, ενώ ένα μικρό ποσοστό της από τις ηλιακές εξάψεις.

Αποτελείται από εξαιρετικά υψηλής ενέργειας σωματίδια (άνω των 10^{18} eV) και πρωτόνια. Ένα μικρό μόνο ποσοστό διαπερνά την γήινη ατμόσφαιρα καθώς το μεγαλύτερο μέρος αλληλεπιδρά με τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Αυτή η αλληλεπίδραση δημιουργεί την δευτερεύουσα ακτινοβολία και οδηγεί στη δημιουργία ραδιενεργών στοιχείων. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι είναι βραχύβια.

Η κοσμική ακτινοβολία μεταβάλλεται δραματικά σε σχέση με το υψόμετρο. Έτσι ενώ στο επίπεδο της θάλασσας η μέση ετήσια συνεισφορά στην δόση που δέχεται ο άνθρωπος είναι 0,3mSv, σε υψόμετρο 2000 μέτρων η τιμή αυτή είναι 1mSv.

Πίνακας 5: Κύρια ραδιενεργά στοιχεία

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΗΜΙΖΩΗ	ΦΥΣΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ
Ουράνιο 235	^{235}U	7.04×10^8 έτη	0.72% του φυσικού ουρανίου

Ουράνιο 238	^{238}U	4.47×10^9 έτη	99.2745% του φυσικού ουρανίου, 0.5 to 4.7 ppm συνολικό ουράνιο στα κοινά πετρώματα
Θόριο 232	^{232}Th	1.41×10^{10} έτη	1.6 to 20 ppm στα κοινά πετρώματα
Ράδιο 226	^{226}Ra	1.60×10^3 έτη	0.42 pCi/g (16 Bq/kg) στον ασβεστόλιθο και 1.3 pCi/g (48 Bq/kg) σε ηφαιστειογενή πετρώματα
Ραδόνιο 222	^{222}Rn	3.82 μέρες	Ευγενές αέριο,ετήσια μέση συγκέντρωση στον αέρα των Η.Π.Α από 0.016 pCi/L (0.6 Bq/m ³) έως 0.75 pCi/L (28 Bq/m ³)
Κάλιο 40	^{40}K	1.28×10^9 έτη	Στο έδαφος - 1-30 pCi/g (0.037-1.1 Bq/g)

2) Ακτινοβολία από ραδιενεργά κοιτάσματα

Το επίπεδο της ακτινοβολίας μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο ανάλογα με την περιεκτικότητα του υπεδάφους σε ραδιενεργά κοιτάσματα. Έτσι υπάρχουν ορισμένες περιοχές του πλανήτη που παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένα επίπεδα ραδιενέργειας. Οι περιοχές αυτές βρίσκονται στη Βραζιλία, στη Κίνα και στην Ινδία. Η σημαντικότερη αιτία είναι οι υψηλές συγκεντρώσεις ραδιενεργών στοιχείων στο υπέδαφος και ιδιαίτερα του ορυκτού Μοναζίτη, ένα εξαιρετικά σπάνιο ορυκτό που

βρίσκεται στην άμμο παραλίων μαζί με το ορυκτό Ιλμενίτη. Τα κυριότερα ραδιενεργά στοιχεία στο ορυκτό Μοναζίτη προέρχονται από την σειρά του Θορίου και του Ουρανίου.

Η φυσική ραδιενέργεια που εκπέμπεται από το υπέδαφος κατανέμεται σε όλο τον πλανήτη και τα επίπεδά της θεωρούνται χαμηλά, χωρίς ουσιαστική βιολογική επίδραση στον άνθρωπο, εκτός από ορισμένες πρόσφατες ενδείξεις.

Στη Βραζιλία, ο Μοναζίτης εντοπίζεται σε συγκεκριμένες παραλίες και το επίπεδο ακτινοβολίας είναι άνω των 5 mrad/hr, δηλαδή περίπου 400 φορές πάνω από το κανονικό. Επίσης πολλές από τις γύρω πόλεις παρουσιάζουν ραδιενέργεια της τάξης των 0.13 mrad/hr, δηλαδή περίπου 10 φορές πάνω από το κανονικό.

Στη νοτιοδυτική ακτή της Ινδίας, οι ποσότητες του Μοναζίτη είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της Βραζιλίας και το επίπεδο ραδιενέργειας είναι 500-600 mrad/yr. Στη Κίνα, ο Μοναζίτης προκαλεί δόση 300-400 mrad/yr.

Πρόσφατες επιστημονικές έρευνες υπέδειξαν ότι η σπουδαιότερη πηγή φυσικής ραδιενέργειας είναι το αέριο στοιχείο Ραδόνιο, το οποίο περιέχει δύο ραδιενεργά ισότοπα, το ραδόνιο-222 της σειράς του ουρανίου και το ραδόνιο-220 της σειράς του θορίου. Το πρώτο ισότοπο είναι και το πιο σημαντικό από πλευράς ακτινοβολίας και έχει χρόνο ημιζωής 3,8 ημέρες και διασπάται σε Πολώνιο με εκπομπή σωματιδίων α και ακτίνων γ.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 6, το ραδόνιο και τα προϊόντα του συνεισφέρουν περίπου κατά 50% στη συνολική δόση από φυσικές πηγές που δέχεται ο άνθρωπος.

Η πηγή του ραδονίου είναι το εσωτερικό της γης και οι ποσότητες που εκλύονται ποικίλουν ανάλογα με την σύσταση του φλοιού της γης σε ραδιενεργά κοιτάσματα. Ιδιαίτερα επικίνδυνο γίνεται όταν συγκεντρώνεται σε κλειστούς χώρους (π.χ εσωτερικό των σπιτιών μέσω των δομικών υλικών, αποχετεύσεων κ.λπ.).

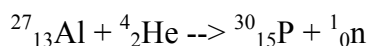
Πίνακας 6: Ετήσια δόση από τις διάφορες πηγές φυσικής ραδιενέργειας

Μέση ετήσια δόση σε mSv	
Κοσμική ακτινοβολία	
Εξωτερική: Στην επιφάνεια της θάλασσας	0,3
(σε 2000 μέτρα υψόμετρο: 1mSv)	
Εσωτερική: C-14	0,015

Ραδιενεργά κοιτάσματα	
Εξωτερική:	0,35
Εσωτερική: Ραδόνιο και τα προϊόντα του	1
K-40	0,2
Pb-210, Po-210	0,125
Γενικό σύνολο	1,99

B) Τεχνητή ραδιενέργεια

Τα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία απαντιούνται στην φύση και η προέλευσή τους ανάγεται στην εποχή της δημιουργίας του σύμπαντος. Τα τεχνητά ραδιενεργά στοιχεία είναι εκείνα τα οποία προέρχονται από πυρηνικές αντιδράσεις οι οποίες δεν πραγματοποιούνται στη φύση αλλά δημιουργήθηκαν από τον άνθρωπο στο εργαστήριο τον 20^ο αιώνα, μετά την ανακάλυψη και κατανόηση της δομής του πυρήνα. Το πρώτο τεχνητό ραδιενεργό στοιχείο δημιουργήθηκε από το ζεύγος Joliot-Curie το 1934, όταν ανακάλυψαν ότι το $^{27}_{13}\text{Al}$ γίνεται ραδιενεργό όταν βομβαρδιστεί με σωματίδια α. Δηλαδή



Σε αντίθεση με τη φυσική ραδιενέργεια, μπορεί να δημιουργηθεί «κατά παραγγελία» σε μεγάλες ποσότητες. Χρησιμοποιείται τόσο σε ειρηνική, όσο και σε πολεμική εφαρμογή, όπως θα αναπτυχθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

1.8 Αλληλεπίδραση Ιονίζουσών Ακτινοβολιών και Ύλης

Όλες οι ακτινοβολίες που απελευθερώνουν ηλεκτρόνια από άτομα ή μόρια αποκαλούνται ιοντίζουσες ή ιονίζουσες ακτινοβολίες. Παραδείγματα ιονίζουσών ακτινοβολιών αποτελούν οι ακτινοβολίες τύπου α, β, γ, n.

Η διεισδυτική ικανότητα των ιονίζουσων ακτινοβολιών διαφέρει ανάλογα με τον τύπο τους, π.χ ακτινοβολία τύπου α, ενέργειας 5 MeV, ενώ μπορεί να διανύσει στον αέρα περίπου 4 cm, δεν μπορεί να διαπεράσει ένα φύλλο χαρτιού ή την επιδερμίδα. Η ακτινοβολία τύπου β έχει διαδρομή 100 περίπου φορές μεγαλύτερη από τα σωματίδια α, ίσης ενέργειας, και δυσκολεύεται να διεισδύσει στην επιδερμίδα

του ανθρώπου όταν εκπέμπεται από εξωτερικές πηγές. Οι ακτίνες γ σταματούν την πορεία τους σε εμπόδιο από τσιμέντο πάχους πολλών εκατοστών και γενικώς χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακτίνα διαδρομής και μικρή απορροφητικότητα.

Τόσο η ακτινοβολία α , όσο και η ακτινοβολία β όταν εκπέμπονται από πηγές εξωτερικές του σώματος, δεν είναι πολύ επικίνδυνες για τον άνθρωπο. Γίνονται όμως ιδιαίτερα επικίνδυνες αν εισχωρήσουν στο σώμα μέσω τροφών, ή εισπνοής, οπότε μπορούν να προσβάλλουν πολλά εσωτερικά όργανα.

Τα σωματίδια α , με μάζα πολύ μεγαλύτερη από αυτή του e^- , ακολουθούν συνήθως απαρέκκλητα ευθύγραμμη πορεία. Τα σωματίδια β , που είναι ηλεκτρόνια, χάνουν ενέργεια καθώς προσπίπτουν σε άλλα ηλεκτρόνια, όμως έχοντας μικρή μάζα ξεφεύγουν της ευθύγραμμης πορείας τους και δημιουργούν ένα «ζικ-ζακ». Άλλος τρόπος που χάνουν ενέργεια τα ηλεκτρόνια είναι μέσω της ακτινοβολίας *bremsstrahlung* από την οποία εκπέμπονται φωτόνια, τα οποία ενδέχεται να απορροφηθούν οπουδήποτε στον ιστό.

Τα σωματίδια α ιονίζουν τα άτομα μέσου των οποίων κινούνται και χάνουν ενέργεια και ταχύτητα. Καθώς φτάνουν στο τέλος της διαδρομής τους προκαλούν αυξημένο ιονισμό. Όταν η ενέργεια τους πλησιάσει το 1MeV, δεν μπορούν να προκαλέσουν περισσότερο ιονισμό, συλλαμβάνουν ηλεκτρόνια και έτσι μετατρέπονται σε ουδέτερα άτομα ηλίου, που μετά από λίγες κρούσεις σταματούν.

Αντίθετα με την ακτινοβολία α και την ακτινοβολία β , η ακτινοβολία γ δεν ιονίζει απευθείας την ύλη με αποτέλεσμα να διανύει μεγαλύτερες διαδρομές. Προκαλεί όμως έμμεσο ιονισμό της ύλης μέσω τριών φαινομένων:

1) Του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, 2) Του φαινομένου Compton, 3) Του φαινομένου της δίδυμης γένεσης

1) Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Για να συμβεί αυτό το φαινόμενο, πρέπει η ακτινοβολία γ να έχει χαμηλή ενέργεια. Τα φωτόνια συγκρούονται με τα άτομα της ύλης και απορροφούνται από τα δεσμευμένα ηλεκτρόνια των ατόμων. Αυτό έχει σαν συνέπεια την απελευθέρωση ηλεκτρονίων, τα οποία σε αυτή τη περίπτωση καλούνται φωτοηλεκτρόνια.

2) Φαινόμενο Compton

Στο φαινόμενο αυτό, η ακτίνα γ αλληλεπιδρά με ελεύθερα ηλεκτρόνια και αλλάζει κατεύθυνση έχοντας χαμηλότερη ενέργεια. Η ενέργεια που χάθηκε απορροφάται από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Η κρούση των φωτονίων στα ηλεκτρόνια δεν είναι γενικά "κεντρική" αλλά "πλάγια" και γι' αυτό τα ηλεκτρόνια μετά τη κρούση εκτοξεύονται με διάφορες γωνίες μέχρι και 90° ως προς τη διεύθυνση που είχαν αρχικά τα προσπίπτοντα φωτόνια. Τα φωτόνια αποκλίνουν με διάφορες γωνίες, μέχρι και 180° προς την αντίθετη κατεύθυνση και συγχρόνως ελαττώνεται η ενέργεια τους. Σύμφωνα με τους νόμους της κρούσης το αρχικά ακίνητο σωματίδιο παίρνει αρκετή ενέργεια, μόνο όταν η μάζα του είναι περίπου ίδια με τη μάζα του σωματιδίου που προσέκρουσε πάνω του. Για το λόγο αυτό το φαινόμενο Compton παρατηρείται, μόνο όταν υπάρχει αυτή η προϋπόθεση.

3) Δίδυμη γένεση

Με το φαινόμενο αυτό, έχουμε παραγωγή ζεύγους ηλεκτρονίου - ποζιτρονίου. Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται να έχει το φωτόνιο, ισούται με το διπλάσιο της ενέργειας ηρεμίας του ηλεκτρονίου, δηλαδή 1.022 MeV. Πειραματικά βρέθηκε ότι αν ένα φωτόνιο με ενέργεια μεγαλύτερη από 1.022 MeV πέσει πάνω σε ένα φύλλο από υλικό με μεγάλο Z , το φωτόνιο εξαφανίζεται και στη θέση του σχηματίζεται ένα ζεύγος ηλεκτρονίου - ποζιτρονίου.

Για να λάβει χώρα το φαινόμενο της δίδυμης γένεσης απαιτείται η παρουσία ισχυρού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. (Μανιάτη, 1993)

Εκτός από τα προαναφερθέντα και τα νετρόνια αλληλεπιδρούν με την ύλη, επειδή όμως είναι ηλεκτρικά ουδέτερα σωματίδια προκαλούν μόνο έμμεσα ιονισμό, και δεν αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια που περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα παρά μόνο με τον ίδιο τον πυρήνα. Η ακτίνα διαδρομής τους είναι πολύ μεγάλη διότι υπάρχει μικρή πιθανότητα ένα νετρόνιο να αλληλεπιδράσει με ένα πυρήνα. Όταν συμβαίνει πάντως αυτό (συνήθως όταν ένα νετρόνιο επιβραδυνθεί και φτάσει σε ενέργειες κάτω από 1 MeV), υπάρχει εκπομπή πρωτονίων ή ακτίνων γ .

1.9 Τρόποι Ανίχνευσης

Οι ανιχνευτές πυρηνικών ακτινοβολιών χρησιμεύουν για να ανιχνεύουν τις ακτινοβολίες α , β , γ , πρωτόνια, νετρόνια ακτίνες-X κ.λ.π. Διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη μορφή και το μέγεθος. Οι πιο σημαντικοί ανιχνευτές είναι οι εξής: Θάλαμος ιονισμού, αναλογικός απαριθμητής, απαριθμητής Geiger-Müller, απαριθμητής σπινθηρισμών, απαριθμητές Ge, Ge-Li και Se-Li, απαριθμητές θερμοφωταύγειας, θάλαμος νέφους κ.λ.π.

A) Ανιχνευτής Geiger-Müller

Αποτελεί το πιο απλό όργανο ανίχνευσης πυρηνικών ακτινοβολιών. Η μορφή του είναι κυλινδρική. Τα τοιχώματα του κυλίνδρου αποτελούν ένα εξωτερικό και ένα εσωτερικό ηλεκτρόδιο. Η μία βάση του κυλίνδρου αποτελείται από μονωτικό υλικό, ενώ η άλλη βάση αποτελείται από λεπτό φύλλο χρυσού και ονομάζεται το "παράθυρο" του ανιχνευτή. Διάφορα αέρια χρησιμοποιούνται για να τον γεμίσουν. Ο ανιχνευτής G-M έχει την δυνατότητα να ανιχνεύσει τα σωματίδια α και β χωρίς όμως να μπορεί να τα διακρίνει. Όσον αφορά τα φωτόνια, μόνο το 1% με 2% μπορούν να ανιχνευτούν.

B) Απαριθμητής σπινθηρισμών

Είναι ο συνηθέστερος ανιχνευτής ακτίνων α , β , γ . Αποτελείται από ένα κρύσταλλο-σπινθηριστή και ένα φωτοπολλαπλασιαστή. Το σύστημα της ανίχνευσης αποτελείται από τον απαριθμητή σπινθηρισμών και μία σειρά ηλεκτρονικών συσκευών.

Γ) Απαριθμητές Ge, Ge-Li και Si-Li

Οι απαριθμητές αυτοί είναι δίοδοι με κατάλληλα διαμορφωμένο ημιαγωγό Γερμανίου ή Πυριτίου και ανιχνεύουν ακτίνες α , β , γ .

Δ) Φορητά όργανα ανίχνευσης πυρηνικών ακτινοβολιών

Τα φορητά όργανα ανίχνευσης είναι κατασκευασμένα με βάση τους απαριθμητές Geiger-Muller, ή τους απαριθμητές σπινθηρισμών, ή τους θαλάμους ιονισμού και είναι διαφόρων μορφών και διαστάσεων. Αποτελούνται από ένα τροφοδοτικό υψηλής τάσης για τον ανιχνευτή και ένα ρυθμόμετρο που είναι βαθμολογημένο σε κρούσεις ανά λεπτό ή κρούσεις ανά δευτερόλεπτο.

Τα φορητά όργανα μπορούν να πληροφορήσουν μόνο για την ύπαρξη ραδιενέργειας σε ένα χώρο και την ένταση της, χωρίς όμως να μπορούν να δώσουν πληροφορίες ως προς το είδος της ακτινοβολίας.

Ε) Θάλαμος νέφους ή Wilson

Παρουσιάζει μία ορατή τροχιά της ιονίζουσας ακτινοβολίας με τη μορφή ενός ίχνους σταγονιδίων. Αποτελείται από έναν κυλινδρικό γυάλινο σωλήνα, που στο επάνω μέρος κλείνει με λεπτό γυάλινο παράθυρο και στο κάτω με κινητό έμβολο. Στο θάλαμο υπάρχουν ατμοί νερού ή οινόπνεύματος, που είναι δυνατόν να κορεστούν με ρύθμιση του εμβόλου. Το ραδιενεργό μείγμα τοποθετείται μέσα στο θάλαμο ή μπορεί να τοποθετηθεί έξω από το λεπτό γυάλινο παράθυρο. Όταν η ακτινοβολία περνά διαμέσου του θαλάμου, παράγονται ιόντα κατά μήκος της τροχιάς. Αν ο κορεσμένος αέρας του θαλάμου ψυχθεί απότομα, πολύ μικρά υδροσταγονίδια συμπυκνώνονται γύρω από τα ιόντα σχηματίζοντας ίχνη ατμού, που φανερώνουν την τροχιά της ακτινοβολίας.

Στ) Θάλαμος σπινθήρων

Είναι μία απαριθμητική διάταξη, που αποτελείται από μία σειρά παράλληλες πλάκες, οι οποίες έχουν τοποθετηθεί πολύ κοντά η μία στην άλλη. Κάθε δεύτερη πλάκα είναι γειωμένη, ενώ οι ενδιάμεσες βρίσκονται σε υψηλή τάση (περίπου 10KV). Όταν φορτισμένα σωματίδια διασχίζουν το θάλαμο, τότε μέσα στο αέριο ανάμεσα στις πλάκες αυτές δημιουργούνται ιόντα. Κατά μήκος της τροχιάς των ιόντων προκαλείται τότε εκκένωση που δημιουργεί έναν ορατό σπινθήρα στα ζεύγη των πλακών. Πολλοί σπινθήρες στη σειρά αποκαλύπτουν την τροχιά του προσπίπτοντος σωματιδίου. (Μανιάτης, 2002, Paul G. Hewitt, 1997)

2.1 Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Ισχύος

2.1.1 Πυρηνική σχάση

Η λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων ισχύος βασίζεται στην ανακάλυψη του φαινομένου της πυρηνικής σχάσης.

Το 1939 δύο Γερμανοί επιστήμονες, ο Όττο Χαν (Otto Hahn) και ο Φριτς Στράσμαν (Fritz Strassmann), έκαναν μία τυχαία ανακάλυψη, που έμελλε να αλλάξει τον κόσμο. Ενώ βομβάρδιζαν με νετρόνια ένα δείγμα ουρανίου, ελπίζοντας να δημιουργήσουν νέα και βαρύτερα στοιχεία, αιφνιδιάστηκαν βρίσκοντας χημικές αποδείξεις για τη παραγωγή βαρίου, στοιχείου με το μισό περίπου μέγεθος του ουρανίου. Έπειτα από αυτή τη διαπίστωση οι φυσικοί Λιζ Μάιτνερ (Lise Meitner) και Όττο Φρις (Otto Frisch), οι οποίοι βρίσκονταν στη Σουηδία, διατύπωσαν την άποψη πως ο πυρήνας του ουρανίου, ενεργοποιημένος από τον βομβαρδισμό του με νετρόνια, έσπασε στη μέση. Η Μάιτνερ ονόμασε αυτή τη διαδικασία *σχάση*, κατ' αναλογία με την παρόμοια βιολογική διαδικασία της διαίρεσης του κυττάρου. (Paul G. Hewitt, 1997)

Εντός όλων σχεδόν των πυρήνων κυριαρχούν οι ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις. Παρόλα αυτά στο ουράνιο, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού νουκλεονίων, οι δυνάμεις αυτές ασθενούν. Αν ο πυρήνας του ουρανίου επιμηκυνθεί, οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις μπορούν να του δώσουν επιμηκύτερο σχήμα. Αν η επιμήκυνση διαπεράσει ένα κρίσιμο σημείο, οι πυρηνικές δυνάμεις υποχωρούν ως προς τις απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και έτσι ο πυρήνας χωρίζεται.

Η απορρόφηση ενός νετρονίου κατάλληλης ταχύτητας από τον πυρήνα του ουρανίου είναι αρκετή για να οδηγήσει το ουράνιο σε σχάση. Ένα τυπικό παράδειγμα που καταγράφηκε σε θάλαμο Wilson είναι:



Η αντίδραση αυτή ελευθερώνει ενέργεια περίπου 200 MeV. Το άθροισμα των μαζών των θραυσμάτων της σχάσης είναι μικρότερο από τη μάζα του πυρήνα του

ουράνιο. Η ελάχιστη ποσότητα μάζας που λείπει μετατράπηκε σε ενέργεια σύμφωνα με τη σχέση $E = mc^2$.

Μία τυπική αντίδραση σχάσης απελευθερώνει 2 με 3 νετρόνια κατά μέσο όρο. Τα νέα νετρόνια στη συνέχεια πιθανόν να προκαλέσουν τη σχάση δύο ή τριών άλλων ατόμων, ελευθερώνοντας περισσότερη ενέργεια και ένα σύνολο από 4 έως 9 ακόμη νετρόνια κ.ο.κ. Έτσι μπορεί να ακολουθήσουν αλυσιδωτές αντιδράσεις με ρυθμό συνεχώς αυξανόμενο. (Paul G. Hewitt, 1997)

Ο κατά βούληση έλεγχος των αντιδράσεων αυτών, με συγκεκριμένους σκοπούς, γίνεται στους Πυρηνικούς Αντιδραστήρες Ισχύος.

2.1.2 Ιστορική αναδρομή

Ο Ιταλός φυσικός Ενρίκο Φέρμι (Enrico Fermi) υπέθεσε πως θα μπορούσε να πραγματοποιήσει αλυσιδωτή αντίδραση με το κοινό μεταλλικό ουράνιο αν το κατακερμάτιζε σε μικρούς σβώλους και τους χώριζε με ένα υλικό που θα χρησίμευε ως επιβραδυντής. Τελικά ο Φέρμι και οι συνεργάτες του κατασκεύασαν τον CP1, το πρώτο πυρηνικό αντιδραστήρα, με επιβραδυντή το γραφίτη, κάτω από την δυτική κερκίδα του γηπέδου ποδοσφαίρου του Πανεπιστημίου του Σικάγο στις ΗΠΑ. Στις 2 Δεκεμβρίου του 1942 ο αντιδραστήρας παρήγαγε μέγιστη ισχύς περίπου 200 W. Ο αντιδραστήρας είχε κατασκευαστεί από περίπου 50 τόνους U_3O_8 , διαχωρισμένους σε περίπου $2 \cdot 10^4$ σβώλους και ενσωματωμένους σε περίπου 300 τόνους γραφίτη. Ο συνεχιστής του, ο CP2, κατασκευάστηκε στο Argonne National Laboratory στις ΗΠΑ και παρήγαγε μέγιστη ισχύ της τάξεως των 2 kW. Η κύρια χρήση του αντιδραστήρα του Φέρμι ήταν η παραγωγή του τεχνητού στοιχείου Πλουτωνίου που σύντομα χρησίμευσε στην παραγωγή της πρώτης ατομικής βόμβας από τους συμμάχους κατά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Ο πρώτος αντιδραστήρας που είχε ως αποκλειστικό σκοπό την παραγωγή Pu-239 από U-238 κατασκευάστηκε στο Clinton του Tennessee το 1943 παράγοντας ισχύ περίπου 4 MW.

Παρόλο το μεγάλο κόστος κατασκευής ενός πυρηνικού αντιδραστήρα αρκετοί κατασκευάστηκαν μεταπολεμικά σε μία προσπάθεια των διαφόρων χωρών για προώθηση της έρευνας σε πυρηνικά φαινόμενα, αλλά και για να αποκτήσουν ενεργειακή αυτονομία και τεχνογνωσία για ειρηνικούς και μη σκοπούς. (Paul G. Hewitt)

2.1.3 ΤΟ ΠΥΡΗΝΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ ΟΥΡΑΝΙΟ

A) Γενικές ιδιότητες

Το φυσικό Ουράνιο εμπεριέχεται στο μέταλλευμα Ουρανίου με τη μορφή πισσουρανίτη (U_3O_8) πού είναι ένα μείγμα των οξειδίων UO_2 και UO_3 . Ο πισσουρανίτης βρίσκεται στο ακατέργαστο μέταλλευμα σε αναλογία κατά βάρος περίπου 0,5 % (Αυστραλία) έως 20% (Καναδάς), έτσι ώστε για κάθε τόνο μεταλλεύματος (ανάλογα με το μεταλλείο) να παίρνουμε από 5 έως 200 κιλά πισσουρανίτη.

Το Ουράνιο είναι ασημόχρωμο στην ακατέργαστη του μορφή και αποτελείται από τρία διαφορετικά ισότοπα : Ουράνιο-238 ($^{238}_{92}\text{U}$), Ουράνιο-235 ($^{235}_{92}\text{U}$), Ουράνιο-234 ($^{234}_{92}\text{U}$) με τις εξής αναλογίες κατά βάρος : $^{238}_{92}\text{U}$ (99,28%), $^{235}_{92}\text{U}$ (0,71%), $^{234}_{92}\text{U}$ (0,0055%). Όλα τα παραπάνω ισότοπα είναι ραδιενεργά και μεταπίπτουν μέσω α και β διασπάσεων σε ελαφρότερα ισότοπα.

Αν και το ισότοπο $^{235}_{92}\text{U}$ είναι σε αναλογία μικρότερη από 1% κατά βάρος στο φυσικό Ουράνιο η ραδιενέργεια του είναι τουλάχιστον επτά φορές μεγαλύτερη από αυτή του $^{238}_{92}\text{U}$, ανά μονάδα βάρος. Αντίστοιχα το απειροελάχιστο $^{234}_{92}\text{U}$ έχει 18.000 φορές μεγαλύτερη ραδιενέργεια από το ισότοπο $^{238}_{92}\text{U}$. Έτσι λοιπόν, σε μία ποσότητα φυσικού Ουρανίου το 49% της ραδιενέργειας προέρχεται από το $^{234}_{92}\text{U}$ ενώ τα ισότοπα $^{235}_{92}\text{U}$, $^{238}_{92}\text{U}$ δίνουν αντίστοιχα ποσοστά ραδιενέργειας 2,2% και 48,8%.

Η ενεργός διατομή του Ουρανίου-238 είναι πολύ μικρή για να πραγματοποιηθεί η σχάση που απαιτείται στους αντιδραστήρες και τα πυρηνικά όπλα. Αντιθέτως το Ουράνιο-235 έχει μεγαλύτερη ενεργό διατομή και συνεπώς η αύξηση της συγκέντρωσής του είναι πρωταρχικής σημασίας στη παραγωγή πυρηνικής ενέργειας. (<http://www.armscontrol.info/uranium.htm>)

B) Εμπλουτισμός και απεμπλουτισμός Ουρανίου

Πριν τη χρήση του στους πυρηνικούς αντιδραστήρες για πυρηνικά όπλα το Ουράνιο πρέπει να «εμπλουτιστεί», δηλαδή να αυξηθεί η συγκέντρωση κατά βάρος στο ισότοπο $^{235}_{92}\text{U}$. Ειδικότερα το Ουράνιο που θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο των

αντιδραστήρων πρέπει να έχει 2%-5% κατά βάρος $^{235}_{92}\text{U}$ ενώ αντίστοιχα το Ουράνιο των πυρηνικών όπλων παρουσιάζει υψηλή καθαρότητα σε $^{235}_{92}\text{U}$, της τάξης των 97% κ.β. Η διαδικασία εμπλουτισμού δίνει ως προϊόν U-238 σε αναλογία 97% (πυρηνικά καύσιμα) ή 5% (πυρηνικά όπλα), ενώ θα προκύψει και ένα υποπροϊόν που θα περιέχει 0,2% $^{235}_{92}\text{U}$ και 99,8 $^{238}_{92}\text{U}$ που ονομάζεται Απεμπλουτισμένο Ουράνιο (Depleted Uranium ή απλά DU). Σύμφωνα με τον Πίνακα 1 η ποσότητα του $^{234}_{92}\text{U}$ στο DU είναι και ποσοτικά (αλλά και ραδιολογικά) αμελητέα.

Πίνακας 1: Πυρηνικά καύσιμα και ιδιότητές τους

Ισότοπο	Χρόνος Ημιζωής (χρόνια)	Ειδική Ενεργότητα (Ci/g)	Συγκέντρωση (% κατά βάρος)	
			Φυσικό U	Depleted U
U-234	$2,46 \cdot 10^5$	$6,22 \cdot 10^{-3}$	0,0054	0,0007
U-235	$7,04 \cdot 10^8$	$2,16 \cdot 10^{-6}$	0,711	0,2
U-236	$2,34 \cdot 10^7$	$6,47 \cdot 10^{-5}$		0,003
U-238	$4,47 \cdot 10^9$	$3,36 \cdot 10^{-7}$	99,28	99,80
Φυσικό Ουράνιο		$6,85 \cdot 10^{-7}$		
Απεμπλουτισμένο Ουράνιο (DU)		$3,85 \cdot 10^{-7}$		

Πηγή: <http://www.armscontrol.info/uranium.htm>

Γ) Παραγωγή UF_6 και UCl_4

Προτού γίνει ο ισοτοπικός εμπλουτισμός του Ουρανίου θα πρέπει να γίνει επεξεργασία του μεταλλεύματος που θα οδηγήσει στην παραγωγή χημικών ουσιών που θα μπορέσουν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν άμεσα στην προσαύξηση της συγκέντρωσης του Ουρανίου-235.

Το προϊόν της επεξεργασίας του μεταλλεύματος Ουρανίου, ο πισσουρανίτης με χημικό τύπο U_3O_8 , περιέχει συνήθως 60%-80% ισότοπα Ουρανίου και έως 20% προσμίξεις. Ο πισσουρανίτης θα αποθηκευτεί σε βαρέλια των 200 λίτρων και θα

οδηγηθεί στο επόμενο στάδιο της επεξεργασίας, σκοπός της οποίας είναι να παραχθούν δύο βασικές χημικές ουσίες υψηλής καθαρότητας:

- Εξαφθοριούχο Ουράνιο UF_6
- Τετραχλωριούχο Ουράνιο UCl_4

Υπάρχουν δύο διαδικασίες παραγωγής UF_6 από τις πρώτες ύλες:

i) Η υγρή μέθοδος

Στη μέθοδο αυτή το U_3O_8 διαλύεται σε νιτρικό οξύ HNO_3 και το αδιάλυτο ίζημα απομακρύνεται με φιλτράρισμα ή φυγοκέντρωση. Το Ουράνιο διαχωρίζεται από το όξινο διάλυμα με τη μορφή νιτρικού ουρανιλίου το οποίο μετατρέπεται σε τριοξείδιο του Ουρανίου UO_3 , με θερμική αφαίρεση αζώτου. Στη συνέχεια το UO_3 μετατρέπεται σε διοξείδιο του Ουρανίου UO_2 αντιδρώντας με υδρογόνο, ή με αμμωνία NH_3 .

ii) Η ξηρή μέθοδος

Με τη μέθοδο αυτή ο εμπλουτισμός πραγματοποιείται συνεχώς κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, η οποία παράγει αμμωνιακά άλατα του Ουρανίου. Αυτά τα άλατα μετατρέπονται σε UO_3 με θέρμανση και στη συνέχεια, με επίδραση υδρογόνου, ή αμμωνίας όπως και στην υγρή μέθοδο, παράγεται το UO_2 .

Τα επόμενα βήματα για την παραγωγή του UF_6 είναι κοινά και για τις δύο μεθόδους με την έννοια ότι το UO_2 μετατρέπεται σε UF_4 με υδρογονοφθορίωση (χρησιμοποιώντας αέριο υδροφθόριο HF). Στη συνέχεια το UF_4 μετατρέπεται σε UF_6 χρησιμοποιώντας ηλεκτρολυτικά παραγόμενο φθόριο (F_2), σε αέρια μορφή. Στη ξηρή μέθοδο το UF_6 εμπλουτίζεται με μία διαδικασία απόσταξης δύο βημάτων. Άμεση φθορίωση του UO_3 σε UF_6 έχει χρησιμοποιηθεί αλλά αυτή η διαδικασία είναι κατάλληλη για μικρής κλίμακας εμπλουτισμού.

Όσον αφορά τη διαδικασία παραγωγής UCl_4 αυτή είναι σχετικά απλή και συνοψίζεται στην αντίδραση UCl_4 με καθαρό UO_2 σε θερμοκρασία 650°C .

Οι δύο χημικές ενώσεις UF_6 και UCl_4 θα χρησιμοποιηθούν στις περαιτέρω διαδικασίες εμπλουτισμού ως πρώτη ύλη. Η πρώτη ένωση κυριαρχεί στην πλειοψηφία των μεθόδων ενώ η δεύτερη χρησιμοποιείται στη μέθοδο του ηλεκτρομαγνητικού διαχωρισμού.

Δ) Ισοτοπικός εμπλουτισμός Ουρανίου

Το δυσκολότερο βήμα μίας χώρας προς την κατασκευή πυρηνικών όπλων, ή πυρηνικού αντιδραστήρα είναι η απόκτηση των σχάσιμων υλικών. Η χώρα αυτή θα πρέπει να αποκτήσει το οικονομικό, τεχνολογικό και βιομηχανικό υπόβαθρο για την απόκτηση και διαχείριση των υλικών αυτών.

Τα σχάσιμα υλικά που παράγουν ελεγχόμενη (πυρηνικοί αντιδραστήρες), ή ανεξέλεγκτη (όπλα) ενέργεια είναι κυρίως τα δύο ισότοπα του Ουρανίου ^{235}U , ^{233}U (το οποίο παράγεται τεχνικά) και το πλουτόνιο ^{239}Pu . Ο εμπλουτισμός Ουρανίου ανάλογα με το ποσοστό του ^{235}U που περιέχει το τελικό προϊόν παράγει τις εξής δύο κατηγορίες Ουρανίου.

α) Ουράνιο χαμηλού εμπλουτισμού (LEU)

Στο προϊόν αυτό υπάρχει αναλογία του ισότοπου 235 σε σαφώς μεγαλύτερη αναλογία από την φυσική (0,72%) αλλά συνήθως δεν υπερβαίνει το ποσοστό 5%. Το Ουράνιο αυτό είναι κατάλληλο για την παραγωγή ενέργειας στους πυρηνικούς αντιδραστήρες.

β) Ουράνιο υψηλού εμπλουτισμού (HEU)

Στο προϊόν αυτό έχουμε σαφώς μεγαλύτερη ισοτοπική αναλογία σε Ουράνιο-235 από αυτή του LEU σε ποσοστό 90% ή υψηλότερη. Το HEU ονομάζεται επίσης και Ουράνιο οπλικής βαθμίδας αφού χρησιμοποιείται στην κατασκευή όπλων.

Υπάρχουν τέσσερις μέθοδοι ισοτοπικού διαχωρισμού (εμπλουτισμού Ουρανίου):

► Ηλεκτρομαγνητικός διαχωρισμός (EMIS)

Η διαδικασία βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του φασματογράφου μάζας. Δύο φορτισμένα σωματίδια που εισέρχονται σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο θα διαγράψουν κυκλικές τροχιές με διαφορετικές ακτίνες. Ειδικότερα δύο ιόντα Ουρανίου $^{235}\text{U}^+$, $^{238}\text{U}^+$ που έχουν το ίδιο φορτίο αλλά διαφορετική μάζα θα διαγράψουν ημικυκλικές τροχιές σε ομογενές πεδίο με διαφορετικές ακτίνες. Εάν οι κινητικές τους ενέργειες κατά την είσοδο τους είναι ίσες, τότε η ακτίνα της τροχιάς

του βαρύτερου ιόντος $^{238}\text{U}^+$ θα είναι μεγαλύτερη από του ελαφρύτερου $^{235}\text{U}^+$. Η διαφορά αυτή των ακτινών επιτρέπει το διαχωρισμό των ισοτόπων και τη συλλογή τους σε "θύλακες συλλογής". Η διαδικασία αυτή παράγει Ουράνιο οπλικής βαθμίδας σε δύο στάδια. Για την παραγωγή όμως αξιόλογης ποσότητας χρειάζονται εκατοντάδες τέτοιες διατάξεις εξ' αιτίας της μικρής απόδοσης της μεθόδου και του μεγάλου χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ των διαδοχικών σταδίων.

Η μέθοδος EMIS χρησιμοποιήθηκε και για ειρηνικούς σκοπούς, όπως η παραγωγή διαφόρων ισοτόπων. Αν και η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τις μεγάλες πυρηνικές δυνάμεις για την παραγωγή Ουρανίου οπλικής βαθμίδας, τα προβλήματα που τη συνόδευαν σε συνδυασμό με τη χαμηλή της απόδοση οδήγησαν στην εγκατάλειψή της.

► Θερμική διάχυση (TDIS)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί λεπτά υμένια ή αέρια για να πετύχει τον ισοτοπικό διαχωρισμό. Με την ψύξη ενός κάθετου υμένιου στη μία πλευρά και την ταυτόχρονη θέρμανση στη άλλη θα έχουμε τη δημιουργία ρευμάτων μεταφοράς τα οποία θα προκαλέσουν μία ροή προς τα άνω στην θερμή πλευρά και μία ροή προς τα κάτω στην ψυχρή πλευρά. Υπό τις συνθήκες αυτές θα έχουμε διάχυση των ελαφρότερων μορίων ^{235}U προς τη θερμή πλευρά και των βαρύτερων ^{238}U προς την ψυχρή πλευρά. Οι κινήσεις αυτές σε συνδυασμό με τα ρεύματα μεταφοράς θα συγκεντρώσουν τα ελαφρά μόρια ^{235}U στην κορυφή του υμένιου ενώ τα βαρύτερα μόρια ^{238}U θα συγκεντρωθούν στη βάση.

Η μέθοδος TDIS χαρακτηρίζεται από την απλότητα της και το μικρό οικονομικό κόστος. Σήμερα η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για ερευνητικούς σκοπούς για το διαχωρισμό ισοτόπων ευγενών αερίων και άλλων ελαφρών ισοτόπων.

► Αερίωδης διάχυση (GDIS)

Η μέθοδος αυτή υπήρξε εξαιρετικά δημοφιλής τόσο για την παραγωγή HEU (οπλική βαθμίδα), όσο και για την παραγωγή LEU (καύσιμο αντιδραστήρων). Η πρώτη της χρήση έγινε στο 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, από τις ΗΠΑ ενώ μετά τον

πόλεμο χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την παραγωγή LEU μέχρι το 1992 που εγκαταλείφθηκε.

Η μέθοδος GDIS στηρίζεται στο φαινόμενο του διαχωρισμού που υφίστανται τα μόρια ενός αερίου καθώς αυτό διέρχεται μέσα από ένα πορώδες φράγμα. Τα ελαφρότερα μόρια του αερίου ταξιδεύουν ταχύτερα και συνεπώς τείνουν να συγκρούονται συχνότερα με τα μόρια του πορώδους φράγματος. Συνεπώς τα μόρια αυτά έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να διαπεράσουν το φράγμα από τα βαρύτερα.

Η μέθοδος GDIS είναι μάλλον ασύμφορη για τον εμπλουτισμό Ουρανίου, αφού ενέχει πολλές δυσκολίες όπως η παραγωγή κατάλληλων μεμβρανών, μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, απόκτηση εξειδικευμένων συσκευών κ.λπ.

► Φυγοκέντριση αερίου (GCIS)

Αν και η μέθοδος αυτή εγκαταλείφθηκε στη μέση του σχεδίου Manhattan (με σκοπό την κατασκευή της πρώτης ατομικής βόμβας) μέχρι σήμερα έχει γνωρίσει σημαντική ανάπτυξη και θεωρείται μία από τις ελκυστικότερες μεθόδους εμπλουτισμού ουρανίου (LEU και HEU), εξ' αιτίας της μικρής ενεργειακής κατανάλωσης και της απλότητας της.

Στη μέθοδο αυτή το αέριο UF_6 διοχετεύεται σε ένα κύλινδρο, ο οποίος βρίσκεται σε κενό και περιστρέφεται με μεγάλες ταχύτητες με τη βοήθεια ενός κινητήρα. Εξ' αιτίας της περιστροφής αυτής, η φυγόκεντρος δύναμη που αναπτύσσεται πάνω στα μόρια του αερίου τα αναγκάζει να συγκεντρωθούν με τη μορφή ενός λεπτού στρώματος στα τοιχώματα του κυλίνδρου και να ακολουθήσουν την ταχύτητα του τοιχώματος. Τα βαρύτερα μόρια $^{238}\text{UF}_6$ συγκεντρώνονται πιο κοντά στα τοιχώματα από τα ελαφρύτερα $^{235}\text{UF}_6$ και έτσι επιτυγχάνεται ο ισοτοπικός διαχωρισμός. (<http://www.armscontrol.info/uranium.htm>)

2.1.4 Αντιδραστήρες ισχύος

Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες ισχύος έχουν δύο τύπους: Ο πρώτος είναι ο θερμικός αντιδραστήρας, ο οποίος χρησιμοποιεί επιβραδυντή με σκοπό να επιβραδύνει τα ταχύτατα νετρόνια των σχάσεων και ο δεύτερος είναι ο ταχύς αντιδραστήρας που χρησιμοποιεί ταχεία νετρόνια με ενέργειες άνω των 1 MeV.

Η αλυσιδωτή αντίδραση δεν μπορεί να λάβει χώρα σε καθαρό φυσικό ουράνιο, επειδή στο μεγαλύτερο ποσοστό του αποτελείται από U-238 που δεν υφίσταται σχάση. Τα νετρόνια που ελευθερώνονται από την σχάση των ατόμων του U-235 είναι "γρήγορα" και συλλαμβάνονται εύκολα από το U-238. Κρίσιμο πειραματικό δεδομένο είναι το γεγονός ότι τα "αργά" νετρόνια είναι πολύ πιο πιθανό να συλληφθούν από το U-235 παρά από το U-238. Αν τα ταχεία νετρόνια μπορούν να επιβραδυνθούν, αυξάνονται οι πιθανότητες να προκαλέσουν σχάση ενός σχάσιμου πυρήνα.

Τρία πράγματα μπορούν να συμβούν σε ένα νετρόνιο στο συνηθισμένο μέταλλο του ουρανίου:

- 1) Να προκαλέσει σχάση στο άτομο του U-235.
- 2) Να φύγει από το μέταλλο στο μη σχάσιμο περιβάλλον
- 3) Να απορροφηθεί χωρίς να προκαλέσει σχάση.

Ένας πυρηνικός αντιδραστήρας είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να λειτουργεί στη λεγόμενη *κρίσιμη* διάταξη πυρηνικού καυσίμου - επιβραδυντή (το σύστημα καυσίμου - επιβραδυντή ονομάζεται και *καρδιά* του αντιδραστήρα). Δηλαδή για κάθε νετρόνιο που απορροφάται σε μία αντίδραση σχάσης δημιουργείται ένα μόνο νετρόνιο που έχει την κατάλληλη ενέργεια για να προκαλέσει νέα αντίδραση σχάσης. Στη κανονική λειτουργία, δηλαδή, του αντιδραστήρα ο ρυθμός των αλυσιδωτών αντιδράσεων είναι σταθερός.

Βεβαίως δεν αποκλείεται το γεγονός για κάθε απορροφούμενο νετρόνιο να παράγονται περισσότερα νετρόνια ικανά για σχάση. Σε αυτή τη περίπτωση ο ρυθμός των αλυσιδωτών αντιδράσεων αυξάνεται συνεχώς και γεωμετρικά οδηγώντας τον αντιδραστήρα σε *υπερκρίσιμη* διάταξη.

Το ακριβώς αντίθετο φαινόμενο παρουσιάζεται όταν έχουμε *υποκρίσιμη* διάταξη. Ο ρυθμός των αντιδράσεων σχάσης ελαττώνεται συνεχώς μέχρι να σταματήσει το φαινόμενο καθώς για κάθε νετρόνιο που απορροφάται σε αντίδραση σχάσης παραμένουν λιγότερα από ένα κατά μέσο όρο νετρόνια που προκαλούν σχάση.

Ένας μη ελεγχόμενος αντιδραστήρας δεν είναι πλέον αντιδραστήρας, αλλά επικείμενο τεχνικό ατύχημα. Η διαρροή στην αλυσιδωτή αντίδραση παρεμποδίζεται με τις *ράβδους ελέγχου* από μεταλλικό κάδμιο ή βάριο, που απορροφούν εύκολα τα

νετρονία. Οι ράβδοι ελέγχου εισάγονται στον αντιδραστήρα και απορροφούν ένα μέρος των νετρονίων, έτσι ώστε να διατηρείται σταθερός ο ρυθμός έκλυσης της ενέργειας. Όταν οι ράβδοι εισέλθουν ολόκληρες μέσα στον αντιδραστήρα, σταματούν την αλυσιδωτή αντίδραση, π.χ όταν πραγματοποιείται συντήρηση στον αντιδραστήρα. Αν εξέλθουν τελείως, η αντίδραση μπορεί να αναπτυχθεί ως το σημείο να λιώσει τον αντιδραστήρα.

Κατά τη διαδικασία των αλυσιδωτών αντιδράσεων σχάσης που λαμβάνουν χώρα στην καρδιά του αντιδραστήρα καθώς τα διάφορα σωματίδια σταματούν μέσα στον αντιδραστήρα παράγεται ενέργεια με τη μορφή θερμότητας. Το ρόλο της ψύξης της καρδιάς αναλαμβάνει ένα *ψυκτικό μέσο* το οποίο μπορεί να είναι, είτε αέριο είτε υγρό. Τελικά η θερμότητα χρησιμοποιείται είτε άμεσα από το ψυκτικό μέσο, είτε έμμεσα στο θερμοδυναμικό κύκλο.

Κατά τον θερμοδυναμικό κύκλο ατμού, το νερό το οποίο υπάρχει μέσα σε ένα *λέβητα* θερμαίνεται από τη καύση του καυσίμου και φτάνοντας πάνω από το σημείο βρασμού του ατμοποιείται. Ο ατμός μεταφέρεται και θέτει σε περιστροφή έναν *ατμοστρόβιλο* ο οποίος με τη σειρά του κινεί την *ηλεκτρογεννήτρια* παράγοντας ηλεκτρισμό. Ο ατμός αφού εξέλθει από τον ατμοστρόβιλο ψύχεται στον *συμπυκνωτή* και υδροποιείται επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία. (Εμείς και η ραδιενέργεια, 1989)

2.1.5 Τύποι πυρηνικών αντιδραστήρων ισχύος

Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες διακρίνονται με βάση το βαθμό εμπλουτισμού του πυρηνικού καυσίμου, του τύπου του επιβραδυντή, το είδος του ψυκτικού μέσου, το σχεδιασμό του ψυκτικού συστήματος και την ταχύτητα των νετρονίων.

I. Θερμικοί αντιδραστήρες

I.1 Αντιδραστήρες Ελαφρού Ύδατος (Light Water Reactors)

Είναι οι πιο διαδεδομένοι αντιδραστήρες στο κόσμο. Ο επιβραδυντής και το ψυκτικό μέσο είναι το κοινό νερό. Η καρδιά είναι τοποθετημένη σε ένα *δοχείο πίεσης* γεμάτο νερό. Διακρίνονται στους Αντιδραστήρες Πεπιεσμένου Ύδατος (Pressurized Water Reactors) και στους Αντιδραστήρες Ζέοντος Ύδατος (Boiling Water Reactors).

Στους PWR η θερμότητα μεταφέρεται από το νερό, το οποίο βρίσκεται υπό πίεση μέσα σε ένα κλειστό κύκλωμα ψύξης, σε ένα δεύτερο κύκλωμα ψύξης διαμέσου ενός εναλλάκτη θερμότητας όπου και ατμοποιείται για να συνεχίσει τον θερμοδυναμικό κύκλο. Στους BWR υπάρχει ένα μόνο κύκλωμα ψύξης. Το νερό βράζει μέσα στο δοχείο πίεσης και ο ατμός καταλήγει απευθείας στην ατμογεννήτρια.

I.2 Αντιδραστήρες Βαρέως Ύδατος (Heavy Water Reactors)

Σε αυτό το τύπο αντιδραστήρων ως επιβραδυντής και ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται το *βαρύ ύδωρ*, δηλαδή νερό που περιέχει Δευτέριο. Το χαρακτηριστικό σε αυτό το τύπο αντιδραστήρα, είναι ότι η καρδιά αποτελείται από ανεξάρτητους σωλήνες πίεσης, που περιέχουν τις ράβδους καυσίμου και το βαρύ ύδωρ που κυκλοφορεί σε αυτούς ψύχει το καύσιμο. Επίσης το βαρύ ύδωρ βρίσκεται και μέσα στο δοχείο που περιέχει τους σωλήνες πίεσης δρώντας ως επιβραδυντής.

I.3 Αντιδραστήρες Αερίου Ψύξης (GCGR)

Αυτοί οι αντιδραστήρες έχουν ως ψυκτικό μέσο ένα αέριο (κυρίως ήλιο αλλά και διοξείδιο του άνθρακα) και ως επιβραδυντή το γραφίτη. Το αέριο κυκλοφορεί στο πρωτεύον σύστημα ψύξης και ατμοποιεί το νερό του δευτερεύοντος σε ατμοπαραγωγούς εναλλάκτες θερμότητας.

I.4 Αντιδραστήρες Γραφίτη - Ελαφρού Ύδατος

Οι αντιδραστήρες του τύπου αυτού έχουν γραφίτη για επιβραδυντή και ελαφρύ ύδωρ για ψυκτικό μέσο. Η διάταξη της καρδιάς είναι τύπου "διαύλων πίεσης" που ψύχονται με κοινό νερό το οποίο και ατμοποιείται στη καρδιά του αντιδραστήρα.

II. Ταχείς (ή αναπαραγωγικοί) Αντιδραστήρες

Ο αναπαραγωγικός αντιδραστήρας ανακατασκευάζει περισσότερο καύσιμο από όσο ξοδεύει, εξού και το όνομα Αν U-238 ή Th-232 αναμιχθούν με πλουτώνιο, η σχάση του πλουτωνίου ελευθερώνει νετρόνια, που μετατρέπουν το σχετικά άφθονο ουράνιο και θόριο στα σχάσιμα ισότοπα Pu-239 και U-233. Περίπου για κάθε δύο άτομα σχάσιμων ισωτόπων που εισέρχονται στον αντιδραστήρα παράγονται τρία νέα σχάσιμα άτομα. Ο αντιδραστήρας αυτό παράγει σχάσιμο καύσιμο μετατρέποντας

απλώς τα σχετικά άφθονα U-238 και Th-232. Αν αφαιρέσουμε το αρχικό κόστος κατασκευής ενός αντιδραστήρα, η συγκεκριμένη μέθοδος παραγωγής μεγάλων ποσών ενέργειας είναι πολύ οικονομική. Με τον αναπαραγωγικό αντιδραστήρα μία μονάδα ενέργειας μπορεί, ύστερα από λίγα χρόνια λειτουργίας, να αναπαράγει διπλάσιο πυρηνικό καύσιμο από όσο είχε αρχικά.

II.1 Αναπαραγωγικοί Αντιδραστήρες Υγρού Μετάλλου (LMFBR).

Ο κυριότερος τύπος αναπαραγωγικού αντιδραστήρα είναι αυτός που χρησιμοποιεί Pu-239 για καύσιμο και υγρό Νάτριο για ψυκτικό μέσο. Το νερό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο καθώς δρα ως επιβραδυντής των ταχέων νετρονίων. Υπάρχουν δύο παραλλαγές του αντιδραστήρα αυτού.

II.1.α) Ο αντιδραστήρας LMFBR βρόχου (Loop-LMFBR).

Υπάρχουν τρία κυκλώματα ψύξης: το πρωτεύον, στο οποίο κυκλοφορεί ραδιενεργό Νάτριο και ψύχει την καρδιά, το δευτερεύον, στο οποίο κυκλοφορεί μη-ραδιενεργό Νάτριο και το τριτεύον, όπου κυκλοφορεί νερό το οποίο και ατμοποιείται στον ατμοπαραγωγό εναλλάκτη θερμότητας.

II.1.β) Ο αντιδραστήρας LMFBR δεξαμενής (Pool-LMFBR).

Στον τύπο αυτό οι ενδιάμεσοι εναλλάκτες θερμότητας, οι αντλίες και η καρδιά του αντιδραστήρα βρίσκονται σε μία μεγάλη δεξαμενή από ανοξείδωτο χάλυβα γεμάτη από υγρό Νάτριο. (Εμείς και η ραδιενέργεια, 1989)

2.2 Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Σύντηξης

Η λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων σύντηξης στηρίζεται στο φαινόμενο της πυρηνικής σύντηξης.

Αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης έχουμε όταν μικρότεροι πυρήνες ενώνονται προς σχηματισμό ενός μεγαλύτερου με ταυτόχρονη εκπομπή ενέργειας. Όταν συντήκονται τα ισότοπα του υδρογόνου, για να σχηματίσουν πυρήνες ηλίου, η "συρρίκνωση" της μάζας των νουκλεονίων που συμβαίνει μπορεί να δώσει ενέργεια έως και 26.700.000 eV. Παρόλο που η ενέργεια ανά αντίδραση στη σύντηξη είναι μικρότερη από εκείνη της σχάσης, ανά γραμμάριο υλικού η ενέργεια που απελευθερώνεται στη σύντηξη είναι πολύ περισσότερη από την ενέργεια της σχάσης.

Στοιχεία βαρύτερα του υδρογόνου και ελαφρότερα του σιδήρου εκλύουν ενέργεια, όταν συντήκονται, αλλά πολύ λιγότερη από όση εκλύεται στη σύντηξη του υδρογόνου. Η ενέργεια που εκλύεται ανά γραμμάριο κατά τα διάφορα στάδια σύντηξης από το ήλιο ως το σίδηρο είναι περίπου μόνο το 1/5 της ενέργειας που εκλύεται κατά τη σύντηξη του υδρογόνου σε ήλιο. Το υδρογόνο, και μάλιστα περισσότερο στη μορφή του δευτερίου, είναι το καλύτερο καύσιμο για τη σύντηξη.

Για να συμβεί αντίδραση σύντηξης, οι πυρήνες πρέπει να συγκρούονται με πολύ μεγάλη ταχύτητα, για να μπορέσουν να υπερνικήσουν την αμοιβαία ηλεκτρομαγνητική άπωση. Η αναγκαία ταχύτητα αντιστοιχεί στις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες που απαντώνται στον Ήλιο και στα άλλα άστρα. Στο εσωτερικό του αστερά μας κάθε δευτερόλεπτο 657 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου μετατρέπονται, κατά προσέγγιση, σε 653 εκατομμύρια τόνους ηλίου. Η ύλη που χάνεται εκλύεται ως ενέργεια.

Η πραγματοποίηση αντιδράσεων σύντηξης υπό ελεγχόμενες συνθήκες απαιτεί θερμοκρασίες εκατομμυρίων βαθμών Κελσίου. Η παραγωγή και η συντήρηση τέτοιων θερμοκρασιών είναι σήμερα ο σκοπός πολλών ερευνών. Οι υψηλές θερμοκρασίες επιτυγχάνονται με ηλεκτρικά τόξα, όπου τα υπάρχοντα αέρια ιονίζονται και γίνονται πλάσμα. Μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με τη τεχνική του ηλεκτρομαγνητικού συντονισμού και με τη μαγνητική συμπίεση.

Υπάρχει, όμως, το πρόβλημα του υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δοχείο του πλάσματος. Όλα τα γνωστά υλικά λιώνουν και εξατμίζονται κάτω από τους 4.000° C, ενώ η σύντηξη χρειάζεται θερμοκρασίες άνω των 100.000.000° C.

Οι έρευνες οδηγούν στα «μαγνητικά τοιχώματα». Το μαγνητικό πεδίο μπορεί να υπάρχει σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και ασκεί ισχυρές δυνάμεις στα κινούμενα σωμάτια. Τα μαγνητικά πεδία ρυθμίζονται, ώστε να συμπιέζουν το πλάσμα και να

παράγουν θερμοκρασίες ικανές για σύντηξη. Το πλάσμα δεν πρόκειται να λιώσει τα τοιχώματα των ηλεκτρομαγνητών, ακόμη και αν η θερμοκρασία του είναι $1.000.000.000^{\circ}\text{C}$, επειδή η ολική θερμότητα του είναι πολύ μικρή, εξαιτίας της πυκνότητάς του, που μοιάζει με κενό.

Μερικά ιόντα σε θερμοκρασία $1.000.000^{\circ}\text{C}$ κινούνται αρκετά γρήγορα, ώστε υπερνικούν την ηλεκτρομαγνητική άπωση και ενώνονται μεταξύ τους. (Paul G. Hewitt)

Η σύντηξη έχει ήδη επιτευχθεί με διάφορες διατάξεις. Ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα υπήρξε η επινόηση ενός συστήματος πεδίου που θα διατηρήσει το πλάσμα σε σταθερή θέση επί χρόνο αρκετό για να συντηχθούν πολλά ιόντα.

Έπειτα από σκληρό ανταγωνισμό με την Ιαπωνία, η Γαλλία θα γίνει οικοδεσπότης του πρώτου Πυρηνικού Αντιδραστήρα Σύντηξης. Το πρόγραμμα που ονομάζεται ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) θα κοστίσει περίπου 10 δις. Ευρο και αποτελεί το πιο δαπανηρό πρόγραμμα, έπειτα από τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό. Στην συμφωνία κατασκευής του συμμετέχουν έξι πλευρές: η Ευρωπαϊκή Ένωση, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ρωσία, η Ιαπωνία, η Νότιος Κορέα και η Κίνα. Ο έτερος ανταγωνιστής, η Ιαπωνία, θα ανταμειφθεί με τεχνογνωσία, ενώ θα συμμετέχει μόνο με ένα 10% στα έξοδα κατασκευής. Σύμφωνα με τον καθηγητή Sir Chris Llewellyn Smith που είναι ο διευθυντής της επιτροπής ατομικής ενέργειας του Ηνωμένου Βασιλείου, η γρήγορη κατασκευή του ITER θα είναι ένα μείζων βήμα στην ανάπτυξη της σύντηξης ως μία δυνητικά μεγάλη πηγή ηλεκτρισμού που δεν θα συνεισφέρει στην κλιματική αλλαγή.

Η τοποθεσία που θα χτιστεί ο σταθμός είναι η περιοχή Cadarache της νότιας Γαλλίας. Βρίσκεται 60 χλμ μακριά από την πόλη της Μασσαλίας και αποτελεί κέντρο πυρηνικών ερευνών από το 1959. Παρόλο που η τοπική κοινωνία υποδέχτηκε με ενθουσιασμό την ανακοίνωση της συμφωνίας, διότι θα δημιουργηθούν χιλιάδες θέσεις εργασίας, μερικές περιβαλλοντικές οργανώσεις αντέδρασαν στην είδηση καθώς αναφέρουν ότι το υπέδαφος της περιοχής είναι σεισμογενές.

Το ITER αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία το 2015. Θα λειτουργεί θερμαίνοντας ισότοπα του υδρογόνου σε εκατοντάδες εκατομμύρια βαθμούς, σχηματίζοντας πλάσμα από φορτισμένα σωματίδια. Τα σωματίδια θα περιορίζονται από μαγνητικά πεδία μέσα σε μία συσκευή που θα ονομάζεται «tokamak». Εντός

αυτής της συσκευής θα συγκρούονται και θα συντήκονται παράγοντας πυρήνες ηλίου υψηλής ενέργειας και νετρόνια. Τα νετρόνια (τα οποία δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο) θα διαφεύγουν της συσκευής παράγοντας θερμότητα που θα χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι φορτισμένοι πυρήνες ηλίου θα περιορίζονται από το μαγνητικό πεδίο και θα χρησιμοποιούνται για την συνέχιση των αντιδράσεων σύντηξης.

Ο σταθμός, λόγω της μοναδικότητας του, θα λειτουργήσει πειραματικά, σε επίπεδα ισχύος 500 MW και θα αποτελέσει την βάση για την ευρεία κατασκευή και άλλων παρόμοιων σταθμών. (<http://www.ofes.fusion.dul.gov>)

2.3 Ιατρικές χρήσεις της ραδιενέργειας

Οι εφαρμογές της ραδιενέργειας στην ιατρική επιστήμη διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά την λήψη πληροφοριών σχετικά με τη δομή και τη λειτουργία των εσωτερικών οργάνων του ασθενούς. Η δεύτερη κατηγορία αφορά τη θεραπεία των καλοηθών ή κακοηθών όγκων, είτε αυτοί βρίσκονται σε εξωτερικό, είτε στο εσωτερικό του σώματος του ασθενούς. (Μανιάτης, 1993)

2.3.1 Διαγνωστική χρήση

2.1.1.1 Διαγνωστικές εφαρμογές

Οι διαγνωστικές εφαρμογές της πυρηνικής ιατρικής διακρίνονται στις *in vivo* και στις *in vitro*. Η πρόταση *in vivo* αποτελεί ορολογία των βιολογικών επιστημών και αφορά πείραμα, ή μελέτη που διεξάγεται μέσα σε ζωντανό οργανισμό. Αντίστοιχα η πρόταση *in vitro* αφορά πειράματα, ή μελέτες που γίνονται στο εργαστήριο και οπωσδήποτε εκτός ενός ζωντανού οργανισμού τον οποίον όμως αφορούν.

- In Vivo διαγνωστικές εφαρμογές

Στις *in vivo* διαγνωστικές εφαρμογές γίνεται χορήγηση, κατάλληλων για τον άνθρωπο, ραδιοφαρμάκων συνήθως ενδοφλεβίως. Ραδιοφάρμακα θεωρούνται οι χημικές ουσίες στις οποίες μπορούν να ενσωματωθούν ραδιονουκλίδια, όπως το Ιώδιο-131. Η επιλογή του είδους του ραδιοφαρμάκου εξαρτάται από την επίδραση που προκαλεί στον άνθρωπο η ακτινοβολία του ραδιονουκλιδίου και από την

ποσότητα της ακτινοβολίας γ που παράγεται ώστε να είναι ικανή να ανιχνευτεί από την ανιχνευτική διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί.

Το είδος της ανιχνευτικής διάταξης που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται ανάλογα με το είδος της περίπτωσης.

Σε περίπτωση που έχουμε μη απεικονίσιμη *in vivo* εφαρμογή, χρησιμοποιούνται κυρίως εξωτερικοί μετρητές ακτινοβολίας γ . Στις μη απεικονίσιμες εφαρμογές στο εξεταζόμενο άτομο χορηγείται ραδιοφάρμακο που έχει την ικανότητα να συγκεντρώνεται μόνο σε ένα ορισμένο τμήμα του ανθρώπινου σώματος. Έτσι με την παρακολούθηση του ραδιοφαρμάκου δίνεται η δυνατότητα να μελετηθεί η συνολική, ή μερική λειτουργικότητα, ή συμπεριφορά του συγκεκριμένου τμήματος του σώματος.

Στην περίπτωση της απεικονίσιμης *in vivo* εφαρμογής χρησιμοποιούνται γραμμικοί σπινθηρογράφοι, γ – κάμερες κ.ά. Η απεικονίσιμη εφαρμογή διακρίνεται ανάλογα με το τρόπο απεικόνισης σε δύο είδη: Το ένα είδος ονομάζεται σπινθηρογράφημα και το άλλο δυναμική μελέτη. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται δισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής ραδιενέργειας ενός οργάνου του ανθρώπου, αφού προηγουμένως έχει λάβει κάποιο ραδιοφάρμακο. Στη δεύτερη περίπτωση γίνεται δυναμική απεικόνιση σε σχέση με το χρόνο κατά τη διέλευση ενός ραδιοφαρμάκου από ένα όργανο, ή σύστημα του ανθρώπινου σώματος. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η παρακολούθηση της λειτουργίας ενός οργάνου, ή ενός συστήματος του ανθρώπινου σώματος.

- In Vitro διαγνωστικές εφαρμογές

Οι *in vitro* διαγνωστικές εφαρμογές είναι απλές, οικονομικές και ταχύτερες από τις *in vivo*. Άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι το εξεταζόμενο άτομο δεν ακτινοβολείται. Η αρχή των *in vitro* στηρίζεται στην ακριβέστατη μέτρηση συγκεντρώσεων, συνήθως πάρα πολύ μικρών τιμών, βιολογικών υγρών (π.χ. πλάσμα, ούρα, κ.ά.). Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ραδιενεργών ουσιών που προστίθενται στα προαναφερόμενα βιολογικά υγρά *in vitro*.

Στις *in vitro* διαγνωστικές εφαρμογές έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές. Από αυτές οι πλέον διαδεδομένες σήμερα είναι η ανάλυση με διάλυση, η ανάλυση με κορεσμό, η ανάλυση με παράγωγα και η ανάλυση με ενεργοποίηση.

Το ραδιοϊσότοπο που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το $^{125}_{53}\text{I}$. Σε αυτές τις εφαρμογές γίνεται μέτρηση ακτινοβολίας γ και σπανίως ακτινοβολίας β . Οι μετρήσεις γίνονται συνήθως με απαριθμητές σπινθηρισμών. Για τη μέτρηση της ακτινοβολίας β χρησιμοποιούνται απαριθμητές υγρού σπινθηρισμού.

2.1.1.2 Διαγνωστικές ανιχνευτικές διατάξεις

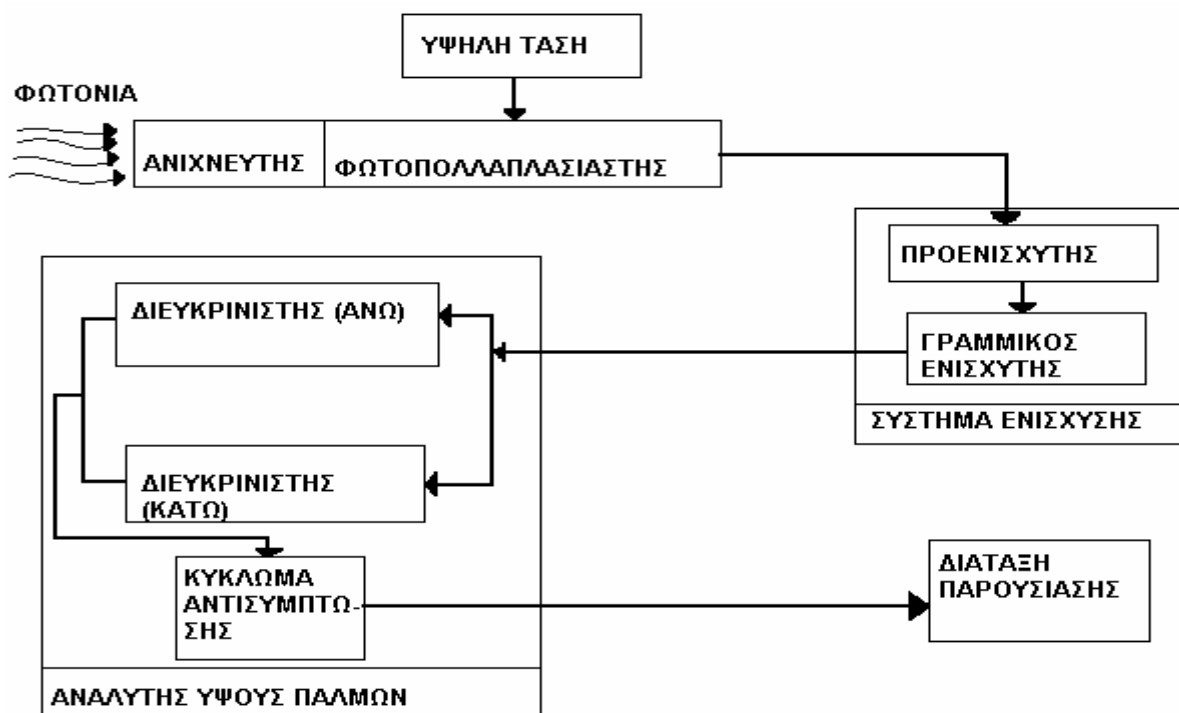
Οι διατάξεις που χρησιμοποιεί η πυρηνική ιατρική, τόσο στις *in vivo* όσο και στις *in vitro* διαγνωστικές εφαρμογές της, είναι διατάξεις που ανιχνεύουν την ραδιενεργό ακτινοβολία. Κοινό χαρακτηριστικό σχεδόν όλων αυτών είναι η παραπλήσια δομή τους. Όλες περιέχουν συνήθως ένα σύστημα ανίχνευσης, ένα σύστημα φωτοπολλαπλασιασμού, ένα σύστημα ενίσχυσης, ένα σύστημα ανάλυσης ύψους παλμών και ένα σύστημα παρουσίασης.

1. Απαριθμητής σπινθηρισμών

Η αρχή λειτουργίας αυτής της τυπικής διάταξης στηρίζεται κυρίως στα ακόλουθα δύο φαινόμενα της φυσικής:

- α) Στην ικανότητα φθορισμού την οποία έχουν ανόργανοι κρύσταλλοι (π.χ. ZnS , NaI κ.ά.)
- β) Στον αναλογικό πολλαπλασιασμό αριθμού ηλεκτρονίων. Αυτό επιτυγχάνεται με μία διάταξη που ονομάζεται φωτοπολλαπλασιαστής.

Ένας απαριθμητής σπινθηρισμών συγκροτείται από τις ακόλουθες κατά σειρά διατάξεις: ένα ανιχνευτή, ένα φωτοπολλαπλασιαστή, ένα σύστημα ενισχυτών, ένα αναλυτή ύψους παλμών και μία διάταξη monitor.



Σχήμα 1: Σχηματική παράσταση απαριθμητή σπινθηρισμών

Οι παλμοί εξόδου του αναλυτή ύψους τιμών εισέρχονται σε μία διάταξη παρουσίασης. Σε αυτή τη διάταξη οι παλμοί, που ονομάζονται συνήθως κρούσεις, παρουσιάζονται στη τελική τους έκφραση με διάφορες μορφές. Ονομάζονται καταμετρητές όταν οι κρούσεις εκφράζονται με αριθμητική μορφή ή ονομάζονται ρυθμόμετρα όταν οι κρούσεις απεικονίζονται με μορφή καμπύλης ρυθμού κρούσης-χρόνου. Επίσης οι κρούσεις μπορούν να πάρουν τη μορφή μίας εικόνας σε ένα είδος παλμογράφου.

2. Μετρητές ακτινοβολίας γ

Οι εξωτερικοί μετρητές ακτινοβολίας γ χρησιμοποιούνται στις *in vivo* μη απεικονίσιμες εφαρμογές. Έχουν παρόμοια δομή με τον απαριθμητή σπινθηρισμών. Η διαφορά είναι ότι πριν από τον ανιχνευτή υπάρχει μία διάταξη που ονομάζεται κατευθυντήρας. Αυτό το όργανο οδηγεί την ακτινοβολία γ από το εξεταζόμενο τμήμα του ανθρώπου στον ανιχνευτή. Σαν διάταξη παρουσίασης χρησιμοποιείται συνήθως ρυθμόμετρο, ή και καταμετρητής.

3. Γραμμικός σπινθηρογράφος

Χρησιμοποιείται στις απεικονίσιμες *in vivo* εφαρμογές. Παρουσιάζει την ίδια δομή με τον απαριθμητή σπινθηρισμών. Ο ανιχνευτής έχει ένα κατάλληλο

κατευθυντήρα που σαρώνει εγκάρσια το, προς μελέτη, τμήμα του ανθρώπινου σώματος. Συνήθως υπάρχουν δύο συστήματα ανιχνευτή-κατευθυντήρα τα οποία βρίσκονται στις δύο πλευρές της κλίνης του εξεταζόμενου. Με αυτό το τρόπο πραγματοποιείται σύγχρονη απεικόνιση του οργάνου που εξετάζεται σε πρόσθια και οπίσθια λήψη.

4. γ- Κάμερα

Η γ-κάμερα χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα στις απεικονίσιμες in vivo εφαρμογές. Έχει σαν αρχή λειτουργίας της το φαινόμενο του σπινθηρισμού. Σε σχέση με το γραμμικό σπινθηρογράφο πλεονεκτεί στο ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε δυναμικές μελέτες και, ενώ εξοικονομεί χρόνο, έχει καλύτερη διακριτική ικανότητα.

5. Σπινθηρογράφος ποζιτρονίων

Ο σπινθηρογράφος ποζιτρονίων αποτελείται από δύο ανιχνευτές, που βρίσκονται σε απέναντι ο ένας με τον άλλο και ανιχνεύουν συγχρόνως την ακτινοβολία που προέρχεται από το εξεταζόμενο τμήμα του ανθρώπινου σώματος. Τα ραδιοφάρμακα που χρησιμοποιούνται είναι σημασμένα με ραδιονουκλίδια που εκπέμπουν ποζιτρόνια (όπως τα $^{15}_8\text{O}$, $^{13}_{11}\text{N}$, $^{11}_6\text{C}$).

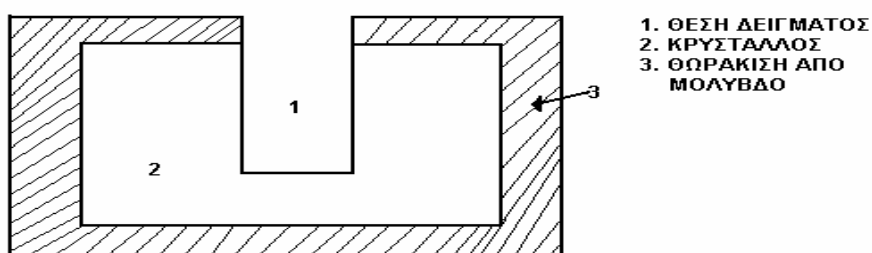


Εικόνα 1: Ασθενής σε σπινθηρογράφο ποζιτρονίων

Πηγή: www.uic.com

6. Απαριθμητής σπινθηρισμών τύπου φρεατίου

Χρησιμοποιείται στις *in vitro* διαγνωστικές εφαρμογές. Ο ανιχνευτής του, που είναι τύπου κρυστάλλου NaI, έχει σχήμα φρεατίου και είναι πλευρικά θωρακισμένος με μόλυβδο για να μην επηρεάζεται όσο είναι δυνατό από τις ακτινοβολίες του περιβάλλοντος του. Στο φρεατίο του, που είναι μία κυλινδρική οπή, τοποθετείται το ραδιενεργό δείγμα που φέρεται μέσα σε κατάλληλο σωληνάριο ή φιαλίδιο.



Σχήμα 2: Σχηματική παράσταση ανιχνευτή απαριθμητή σπινθηρισμών τύπου φρεατίου.

7. Τομογραφία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (N.M.R)

Η τομογραφία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (Nuclear Magnetic Resonance) είναι μία τεχνική απεικόνισης εγκάρσιων τομών του ανθρώπινου σώματος που έχει σαν αρχή το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού. Σύμφωνα με αυτό το φαινόμενο για ορισμένους ατομικούς πυρήνες, που βρίσκονται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, η διέγερσή τους από μία άλλη εξωτερική πηγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων προκαλεί αύξηση της ενέργειάς τους. Η επιπλέον ενέργειά τους επαναεκπέμπεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Από τα πλεονεκτήματα αυτής της διάταξης είναι η ικανοποιητική απεικόνιση των μαλακών μορίων του ανθρώπινου σώματος. Το μειονέκτημα είναι το μεγάλο κόστος λειτουργίας.

8. Ακτινογραφία-ακτινοσκόπηση

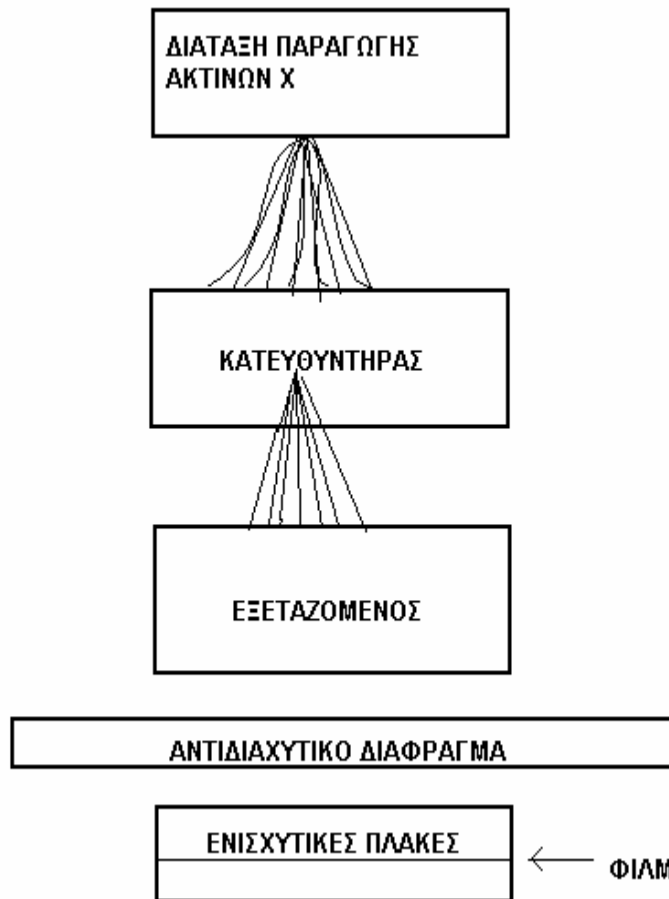
Έχει παρατηρηθεί ότι η διεισδυτικότητα μίας ακτινοβολίας είναι κατά κύριο λόγο συνάρτηση της ενέργειας που έχει. Παρομοίως η διεισδυτικότητα ενός φωτονίου των ακτινών X θα εξαρτάται από την ενέργεια του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα φωτόνια με χαμηλή ενέργεια να απορροφώνται από τα επιφανειακά στρώματα του ανθρώπινου σώματος, προκαλώντας συνήθως ανεπιθύμητα βιολογικά αποτελέσματα, ενώ τα φωτόνια με υψηλή ενέργεια να διαπερνούν το ανθρώπινο σώμα και εξερχόμενα από την άλλη πλευρά του να είναι σε θέση, με τη μεταβολή που υπέστησαν, να δώσουν πληροφορίες για τους ιστούς που διαπέρασαν. Αυτές οι πληροφορίες απεικονίζονται μετά από επεξεργασία πάνω σε φιλμ (ακτινογραφία), ή σε φθορίζουσες οθόνες (ακτινοσκόπηση).

Στην περίπτωση της ακτινογραφίας η δέσμη που εξέρχεται, αν είναι χαμηλής έντασης προκαλεί μικρότερης έντασης αμαύρωση του φιλμ και έτσι αυτή η περιοχή του φιλμ παρουσιάζεται φωτεινότερη. Αντίθετα στην περίπτωση της ακτινοσκόπησης, αν έχουμε εξερχόμενη δέσμη χαμηλής έντασης, αυτή θα προκαλέσει πάνω στην οθόνη μικρότερη έντασης εκπομπή φωτός.

Τα πλεονέκτημα της ακτινοσκόπησης είναι ότι αυτή η τεχνική μας δίνει τη δυνατότητα να μελετήσουμε την κινητικότητα των οργάνων. Όμως σε αυτή την περίπτωση έχουμε μεγαλύτερη έκθεση του εξεταζόμενου σε ακτινοβολία. Στη περίπτωση της ακτινογραφίας η έκθεση είναι ελάχιστη. Ένα άλλο πλεονέκτημα επίσης της ακτινογραφίας έναντι της ακτινοσκόπησης είναι ότι η ακτινογραφία μας παρέχει μία στιγμιαία κατάσταση των οργάνων του ανθρώπινου σώματος και μπορούμε να τη διατηρούμε όσο χρονικό διάστημα επιθυμούμε, εφόσον έχει τυπωθεί πάνω στο κατάλληλο φιλμ.

Συνήθως μία διάταξη που έχει σαν σκοπό τη λήψη μίας ακτινογραφίας περιλαμβάνει κατά σειρά:

- α) Συσκευή παραγωγής δέσμης ακτινών X.
- β) Ηθμό (φίλτρο)
- γ) Κατευθυντήρα (διάφραγμα)
- δ) Αντιδιαχυτικό διάφραγμα (πλέγμα)
- ε) Σύστημα επίστασης της εικόνας (ενισχυτικές πινακίδες)



Σχήμα 3: Σχηματική παράσταση διάταξης λήψης ακτινογραφίας

9. Κοινή τομογραφία

Στην κοινή τομογραφία η διάταξη παραγωγής των ακτίνων X και το φιλμ διαγράφουν κυκλική τροχιά γύρω από το σημείο που επιδιώκεται η τομή. Με αυτή τη τεχνική υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης μίας περιοχής που βρίσκεται μέσα σε ορισμένο βάθος στο ανθρώπινο σώμα, χωρίς να απαιτούνται εξαιρετικά πολύπλοκες διατάξεις.

10. Υπολογιστική (αξονική) τομογραφία

Η υπολογιστική τομογραφία (CAT) έχει την δυνατότητα της λεπτομερούς απεικόνισης της δομής του εσωτερικού του ανθρώπινου σώματος με την βοήθεια μίας λεπτής και όσο το δυνατό ισοενεργειακής δέσμης ακτίνων X, της οποίας εξετάζεται η μεταβολή της απορρόφησης που υφίσταται όταν διαπερνάει το ανθρώπινο σώμα.

Η αρχή λειτουργίας του υπολογιστικού (αξονικού) τομογράφου στηρίζεται στην χρήση μίας διάταξης που αποτελείται από 620 ανιχνευτές σπινθηρισμών που

περιβάλλουν το άνοιγμα, όπου μέσα τοποθετείται ο εξεταζόμενος και ακόμη στη χρήση πηγής ακτινών X που διαγράφει τροχιά μίας πλήρους περιστροφής γύρω από το επιθυμητό επίπεδο τομής του σώματος.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι η μεγάλη δόση ακτινοβολίας που δέχεται ο ασθενής. Γι' αυτό το λόγο ο αριθμός των αξονικών τομογραφιών στους ενήλικες πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο αναγκαίο, ενώ για τα παιδιά κάτω των δύο ετών πρέπει να αποφεύγεται.

Τα κυριότερα ραδιοϊσότοπα που χρησιμοποιούνται στην ιατρική διάγνωση παρατίθενται παρακάτω διαχωριζόμενα ανάλογα με την εφαρμογή τους.

1. Ιώδιο-131. Χρησιμοποιείται για μελέτη αρκετών οργάνων και συστημάτων του ανθρώπινου σώματος (καρδιά, θυρεοειδής αδένας, πνεύμονες, αγγειακό σύστημα κ.ά.)
2. Χρυσός-198. Χρησιμοποιείται για τη μελέτη του ήπατος, των λεμφογαγγλίων, του μυελού των οστών κ.ά.
3. Υδράργυρος-203, Υδράργυρος-197. Χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της σπλήνας, των νεφρών, του εγκεφάλου κ.ά.
4. Βάριο-137. Χρησιμοποιείται για τη μελέτη της καρδιάς.
5. Χρώμιο-51. Χρησιμοποιείται για τη μελέτη της σπλήνας και του πλακούντος.
6. Στρόντιο-85, Ασβέστιο-47, Γάλλιο-68. Χρησιμοποιούνται για τη μελέτη των οστών.
7. Φώσφορος-32. Χρησιμοποιείται για τη μελέτη των οφθαλμών.

2.3.2 Θεραπευτική χρήση

1. Ακτινοθεραπεία

Αντικείμενο της ακτινοθεραπείας είναι η θεραπεία (ριζική ή παρηγορητική) διαφόρων νόσων με τη χρήση ιοντιζουσών ακτινοβολιών (X, γ, νετρόνια, ηλεκτρόνια), ορισμένες φορές παράλληλα με άλλες θεραπείες. Με την ακτινοθεραπεία αντιμετωπίζονται κυρίως οι κακοήθεις νεοπλασίες διαφόρων οργάνων, ή ιστών του ανθρώπινου σώματος.

Ο κύριος στόχος είναι η προσφορά όσο το δυνατό μεγαλύτερης δόσης ακτινοβολίας στον κακοήγη όγκο. Βέβαια συγχρόνως λαμβάνεται πρόνοια να δίνεται όσο το δυνατό μικρότερη δόση ακτινοβολίας στους γειτονικούς φυσιολογικούς ιστούς. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει η δόση της ακτινοβολίας που θα χορηγηθεί να

είναι όσο το δυνατό πιο συγκεκριμένη από άποψη τιμής. Προτού ο ασθενής αρχίσει τη θεραπεία του πρέπει να υπολογιστεί η μέγιστη ανεκτή δόση για τη περίπτωσή του. Για τον υπολογισμό αυτής της δόσης πρέπει να μελετηθεί το πώς κατανέμεται αυτή μέσα στο ανθρώπινο σώμα και κυρίως ποια είναι η πραγματική δόση που παίρνει ο ασθενής σε σύγκριση μ' αυτήν που έχει υπολογιστεί.

Η τελική φάση της ακτινοθεραπείας αρχίζει με τη σημείωση, πάνω στο δέρμα του ασθενούς, της θέσης από την οποία θα εισέλθει μέσα στο ανθρώπινο σώμα η ακτινοβολία για να φτάσει στον επιθυμητό στόχο της.

2. Εξωτερική ακτινοθεραπεία (τηλεθεραπεία)

Η εξωτερική ακτινοβολήση εφαρμόζεται συνήθως για τα καρκινώματα. Αν το καρκίνωμα είναι επιφανειακό χρησιμοποιούνται συνήθως ακτίνες X χαμηλής ενέργειας για να μη γίνει δυνατή η είσοδος της ακτινοβολίας στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος. Αν το καρκίνωμα βρίσκεται σε ένα ορισμένο βάθος μέσα στο σώμα, χρησιμοποιείται ακτινοβολία μεγάλης ενέργειας, με τιμή μεγαλύτερη από ένα MeV.

3. Βραχυθεραπεία (πλησιοθεραπεία)

Βραχυθεραπεία ή πλησιοθεραπεία ονομάζεται η ακτινοβολήση ενός στόχου με επίθεση πάνω σε αυτόν, ή την εισαγωγή μέσα στον όγκο του αιτίου που προκαλεί την ακτινοβολήση.

Η βραχυθεραπεία εφαρμόζεται κυρίως σε επιφανειακά νεοπλάσματα ή σε νεοπλασίες που έχουν σχετικά μικρές διαστάσεις και βρίσκονται σε τέτοια θέση που είναι δυνατό να προσεγγιστούν. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται στην βραχυθεραπεία είναι η χρήση πλακών ή αποτυπωμάτων που περιέχουν ραδιενεργό υλικό και οι ενδοϊστικές ή ενδοκοιλιακές εμφυτεύσεις.

Η τεχνική των πλακών, που τοποθετούνται πάνω στο δέρμα με την παρεμβολή πλαστικού υλικού πάχους ενός ή δύο εκατοστών, έχει αρχίσει να αντικαθίσταται με τη χρήση ακτινών X χαμηλής ενέργειας. Οι ενδοϊστικές εμφυτεύσεις πραγματοποιούνται με ειδικές ραδιενεργές βελόνες που εισάγονται μέσα στο νεόπλασμα. Αντίστοιχα οι ενδοκοιλιακές εμφυτεύσεις πραγματοποιούνται με την εισαγωγή ειδικών ραδιενεργών πηγών μέσα σε κοιλότητες του ανθρώπινου σώματος.

Παλαιότερα σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούσαν σχεδόν αποκλειστικά το Ράδιο-236. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται κυρίως ο Χρυσός-198 και το Καίσιο-137. Σπάνια χρησιμοποιούνται και το Κοβάλτιο-60 ή το Ταντάλιο-182

Το κυριότερο πλεονέκτημα της βραχυθεραπείας είναι ότι η προσδιδόμενη δόση στην περιοχή που εφαρμόζεται είναι πολύ μεγάλη. Αντίθετα η δόση που αναγκαστικά παίρνουν οι γύρω περιοχές είναι μικρή.

Τα κυριότερα ραδιοϊσότοπα που χρησιμοποιούνται για θεραπευτική χρήση είναι τα κάτωθι:

1. Κοβάλτιο-60. Χρησιμοποιείται, λόγω της ομοιόμορφης απορρόφησής του, για ακτινοβολήση οστών και ιστών (τηλεθεραπεία).
2. Χρυσός-198. Χρησιμοποιείται με τη μορφή κολλοειδών ραδιοφαρμάκων για την καταστροφή νεοπλασμάτων με έγχυση μέσα σε αυτά.
3. Ιώδιο-131. Για την καταπολέμηση του καρκίνου του θυρεοειδούς αδένος.
4. Ιώδιο-125 . Χρησιμοποιείται στη βραχυθεραπεία.
5. Ιρίδιο-192. Χρησιμοποιείται με εισαγωγή μέσα στο νεόπλασμα. (Μανιάτης ,1993)

2.4 Βιομηχανικές - Αναλυτικές Χρήσεις της Ραδιενέργειας

Οι χρήσεις της ραδιενέργειας στην βιομηχανία έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια με τη εφαρμογή νέων τεχνικών. Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότερες τεχνικές και χρήσεις της ραδιενέργειας για βιομηχανικούς σκοπούς.

1. Χρήσεις νετρονίων στην φασματοσκοπία

Τα νετρόνια μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τα άτομα ενός δείγματος προκαλώντας εκπομπή ακτινοβολίας γ, στην οποία όταν πραγματοποιηθεί φασματική ανάλυση, είναι δυνατό να φανερώσει τη φύση και τις ποσότητες των στοιχείων που αποτελούν το δείγμα. Οι δύο κύριες τεχνικές είναι η Θερμική Πρόσληψη Νετρονίου (TNC, Thermal Neutron Capture) και η Ανελαστική Σύγκρουση Νετρονίου (NIS, Neutron Inelastic Scattering). Η πρώτη τεχνική, πραγματοποιείται αμέσως μόλις ένα νετρόνιο χαμηλής ενέργειας απορροφηθεί από ένα πυρήνα, ενώ η δεύτερη τεχνική, λαμβάνει χώρα αμέσως μόλις ένα νετρόνιο υψηλής ενέργειας συγκρουστεί με ένα πυρήνα.

Τα περισσότερα αναλυτικά όργανα που διατίθενται στο εμπόριο χρησιμοποιούν ως πηγή νετρονίων το ραδιοϊσότοπο Καλιφόρνιο-252 και ως ανιχνευτή το NaI, είναι δε κυρίως ευαίσθητο στην TNC τεχνική. Η τεχνική NIS

χρησιμοποιείται κυρίως για τα στοιχεία C, O, Al και Si και βρίσκει εφαρμογή σε αναλύσεις τσιμέντου, ορυκτών και κάρβουνου.

2. Χρήσεις ακτίνων γ και X με σκοπό την ανάλυση

Μέσω της εκπομπής ακτίνων γ μπορεί να προσδιοριστεί η ποσότητα της τέφρας στο κάρβουνο. Επίσης μέσω των ακτίνων X ενός ραδιενεργού στοιχείου είναι δυνατό να προκληθεί φθορισμός μη ραδιενεργών στοιχείων τα οποία με τη σειρά τους να εκπέμπουν ακτίνες X. Η ανάλυση των ενεργειών αυτών των ακτίνων X (που προήλθαν από φθορισμό) φανερώνει το είδος και την ποσότητα των μη ραδιενεργών στοιχείων.

Αυτή η τεχνική βρίσκει κύρια εφαρμογή στην εξόρυξη ορυκτών. Ένας ανιχνευτής, ο οποίος περιέχει ραδιοϊσότοπα, τοποθετείται μέσα στην περιοχή εξόρυξης. Τα σήματα από τον ανιχνευτή υφίστανται επεξεργασία με αποτέλεσμα να φανερωθούν οι συγκεντρώσεις και τα είδη των ορυκτών. Με αυτό το τρόπο σήμερα ανιχνεύεται σίδηρος, νικέλιο, ψευδάργυρος και άλλα μέταλλα.

3. γ -ραδιογραφία

Με αυτή την τεχνική μπορούν να φανερωθούν ρωγμές μέσα σε συμπαγή μεταλλικά αντικείμενα καθώς επίσης και συνδέσεις διαφόρων αντικειμένων που ενδέχεται να έχουν βλάβη (π.χ. ρομποτικοί βραχίονες).

Μία μικρή ποσότητα ενός ραδιενεργού υλικού τοποθετείται μέσα σε μία κάψουλα η οποία είναι ενισχυμένη με τιτάνιο. Η κάψουλα τοποθετείται στη μία πλευρά του προς παρακολούθηση αντικειμένου. Στην άλλη πλευρά τοποθετείται φωτογραφικό φιλμ. Οι ακτίνες γ διαπερνούν το αντικείμενο και δημιουργούν την εικόνα του στο φωτογραφικό φιλμ. Με αυτό το τρόπο μπορούν να ανιχνευτούν αστοχίες των υλικών χωρίς να απαιτείται επέμβαση σε αυτά. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο ραδιενεργό ισότοπο είναι το Ιρίδιο-192 με το οποίο μπορεί να γίνει παρατήρηση σε ατσάλι πάχους από 12 έως 60 χιλιοστά.

4. Μετρητές (Gauges)

Η ποσότητα της ραδιενέργειας που παράγεται από ένα ραδιενεργό υλικό μειώνεται, καθώς διαπερνά την ύλη. Ένας ανιχνευτής μπορεί να διαπιστώσει τη παρουσία ή απουσία συγκεκριμένων στοιχείων αλλά και τη συγκέντρωση και πυκνότητα αυτών, από ένα υλικό που βρίσκεται ανάμεσα στον ανιχνευτή και το ραδιενεργό υλικό. Πολλές βιομηχανίες χρησιμοποιούν αυτή τη τεχνική για να εποπτεύουν και να ελέγχουν τη ροή υλικών μέσα σε σωλήνες, στήλες επεξεργασίας,

κ.ά. Επίσης στη βιομηχανία χαρτιού, ανιχνευτές ακτινοβολίας β χρησιμοποιούν αυτή τη τεχνική για να εποπτεύουν το πάχος του παραγόμενου χαρτιού, σε ταχύτητες άνω των 400 σελίδων ανά δευτερόλεπτο. (<http://www.uic.com.au>)

2.5 Χρήσεις της Ραδιενέργειας στη Γεωργία

Περισσότερες από 40 χώρες έχουν επιτρέψει την χρήση ραδιενέργειας για την αποστείρωση περίπου 40 διαφορετικών ειδών τροφίμων. Εν τούτοις πολλές είναι οι χώρες που δεν επιτρέπουν την εισαγωγή στην αγορά ακτινοβολημένων τροφίμων.

Η διαδικασία ακτινοβόλησης εκθέτει τα τρόφιμα σε υψηλές δόσεις ραδιενέργειας από Κοβάλτιο-60. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν το θάνατο βακτηρίων, εντόμων και παρασίτων χωρίς όμως το τρόφιμο να γίνεται ραδιενεργό.

Επίσης με τη χρήση ακτινών γ εκατομμύρια αρσενικά έντομα στερώνονται με άμεσο αποτέλεσμα την αδυναμία αναπαραγωγής του είδους.

Στο τέλος της δεκαετίας του '80, η ραδιενέργεια κατόρθωσε να εξολοθρεύσει περίπου 10 είδη εντόμων σε ευρείες περιοχές προλαβαίνοντας ουσιαστικά μεγάλες γεωργικές καταστροφές.

Η ραδιενέργεια επίσης χρησιμοποιείται:

- Στην ανάπτυξη εκατοντάδων νέων ποικιλιών φυτών, τα οποία θα είναι ανθεκτικά σε μη ιδανικές συνθήκες περιβάλλοντος και σε ασθένειες.
- Στην μείωση των ποσοτήτων των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται καθώς είναι δυνατό να προσδιοριστούν τα θρεπτικά συστατικά που υπάρχουν ήδη στο χώμα. Με αυτό τον τρόπο οι αγρότες θα προμηθεύουν τα φυτά με θρεπτικά συστατικά που δεν μπορούν να τα λάβουν από το έδαφος.
- Στον προσδιορισμό των ακριβών ποσοτήτων νερού που λαμβάνουν και χρειάζονται τα φυτά.
- Διαπίστωση της πορείας των λιπασμάτων στα φυτά έτσι ώστε να γνωρίζει ο καλλιεργητής τον κατάλληλο χρόνο λίπανσης.
- Την συντήρηση γεωργικών προϊόντων

- Την αύξηση της παραγωγής αυγών στην πτηνοτροφία δια χρήσεως τροφών σεσημασμένων με Ca-45. (<http://www.physics.isu.edu>)

2.6 Οπλικά Συστήματα

2.6.1 Εισαγωγή

Ένα πυρηνικό όπλο αντλεί την ενέργεια του από πυρηνικές αντιδράσεις σχάσης ή σύντηξης. Η ισχύς του, συγκριτικά με τα πιο ισχυρά συμβατικά όπλα, είναι πολύ μεγάλη. Ένα πυρηνικό όπλο δέκα μεγατόνων μπορεί να καταστρέψει ολόκληρη πόλη, ενώ ένα όπλο εκατό μεγατόνων προκαλεί φωτιά σε κύκλο διαμέτρου 100 έως 160 χλμ.

Η χρήση πυρηνικών όπλων για πολεμικούς σκοπούς έχει γίνει δύο φορές. Η πρώτη χρήση έγινε το πρωινό της 6ης Αυγούστου του 1945, όταν οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής έριξαν μία ατομική βόμβα τύπου ουρανίου στην Ιαπωνική πόλη της Χιροσίμα. Η δεύτερη χρήση συνέβη τρεις μέρες μετά, με μία ατομική βόμβα τύπου πλουτωνίου, η οποία ρίχτηκε στην πόλη Ναγκασάκι της Ιαπωνίας.

Παρόλα αυτά χρήση πυρηνικών όπλων με την μορφή δοκιμών έχει γίνει πάνω από δύο χιλιάδες φορές, από τα επτά κράτη που επίσημα έχουν αναγνωριστεί ως πυρηνικές δυνάμεις: Η.Π.Α, Ρωσία, Ηνωμένο Βασίλειο, Γαλλία, Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας, Ινδία και Πακιστάν. (<http://www.en.wikipedia.org>)



Εικόνα 2: «Μανιτάρι» πυρηνικής έκρηξης.

Πηγή: <http://www.en.wikipedia.org>

2.6.2 Κατηγορίες πυρηνικών όπλων

Το πιο απλό πυρηνικό όπλο αντλεί την ενέργεια του από την πυρηνική σχάση. Μία μάζα από σχάσιμα υλικά γρήγορα οδηγείται σε κατάσταση κρίσιμης μάζας, όπου μία αλυσιδωτή αντίδραση ξεκινά και αναπτύσσεται εκθετικά απελευθερώνοντας τεράστια ποσότητα ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται είτε ενώνοντας κομμάτια υποκρίσιμης μάζας μεταξύ τους έτσι ώστε η συνολική μάζα να είναι υπερκρίσιμη, είτε συμπιέζοντας μία υποκρίσιμη μάζα έως την κατάσταση της υπερκρίσιμης μάζας. Τα όπλα που λειτουργούν με αυτό τον τρόπο ονομάζονται ατομικές βόμβες.

Τα πιο ανεπτυγμένα πυρηνικά όπλα χρησιμοποιούν την πυρηνική σύντηξη για να αντλήσουν περισσότερη ενέργεια. Σε αυτόν τον τύπο όπλου, η ακτινοβολία από τις ακτίνες X που παράγονται από μία έκρηξη πυρηνικής σχάσης, χρησιμεύουν στην θέρμανση και στην συμπίεση μίας κάψουλας τριτίου, δευτερίου, ή λιθίου όπου και πραγματοποιείται η σύντηξη απελευθερώνοντας ακόμη περισσότερη ενέργεια σε σχέση με την σχάση. Αυτού του είδους τα όπλα, ονομάζονται βόμβες υδρογόνου, ή θερμοπυρηνικά όπλα.

Η έκρηξη ενός πυρηνικού όπλου συνοδεύεται από ακτινοβολία νετρονίων. Περικυκλώνοντας ένα πυρηνικό όπλο με κατάλληλα υλικά (όπως το κοβάλτιο ή ο χρυσός) μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή ιδιαίτερα μεγάλης ποσότητας ραδιενεργών στοιχείων. Επίσης ένα πυρηνικό όπλο μπορεί να είναι σχεδιασμένο έτσι

ώστε να επιτρέπει να διαφύγει όσο το δυνατόν μέγιστη ποσότητα νετρονίων, προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στον άνθρωπο. Αυτό το όπλο καλείται βόμβα νετρονίου. (<http://www.en.wikipedia.org>)

I) Ατομικές βόμβες

- Κρίσιμη μάζα

Μία μάζα σχάσιμου υλικού καλείται κρίσιμη όταν είναι ικανή να συντηρήσει αλυσιδωτή αντίδραση, κάτι που εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και την καθαρότητα του υλικού, όπως επίσης και από τι περιβάλλει το υλικό. Ένα αριθμητικό μέτρο που δείχνει εάν μία μάζα είναι η κρίσιμη κατάσταση ή όχι, είναι ο παράγοντας πολλαπλασιασμού νετρονίων k :

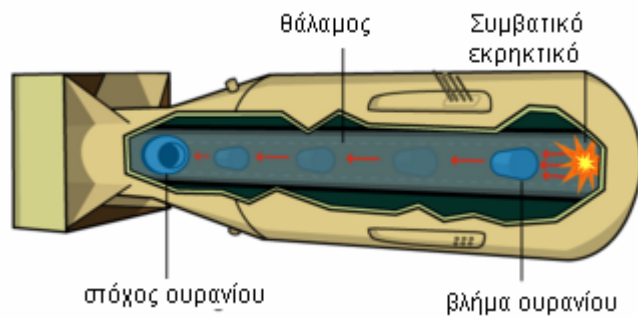
$$k = f - l$$

όπου f είναι ο μέσος αριθμός νετρονίων που απελευθερώνονται σε κάθε σχάση και l είναι ο μέσος αριθμός νετρονίων που χάνονται είτε διαφεύγοντας από το σύστημα, είτε απορροφώνται. Όταν $k = 1$ η μάζα είναι κρίσιμη, όταν $k < 1$ υποκρίσιμη και όταν $k > 1$ υπερκρίσιμη. Μία βόμβα σχάσης έχει σαν αρχή λειτουργίας την πολύ γρήγορη αλλαγή της υποκρίσιμης μάζας ενός σχάσιμου υλικού σε υπερκρίσιμη, προκαλώντας έτσι μία αλυσιδωτή αντίδραση που απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Η μεγαλύτερη πρόκληση στην παραγωγή ικανοποιητικής έκρηξης από την πυρηνική σχάση, είναι να διατηρηθεί ενωμένη η βόμβα για ορισμένο χρονικό διάστημα ώστε να απελευθερωθεί αρκετή ενέργεια.

- Μέθοδοι δημιουργίας υπερκρίσιμης μάζας

A) Μέθοδος όπλου (Gun method)

Η πιο απλή τεχνική για να δημιουργηθεί υπερκρίσιμη μάζα είναι να στοχεύσεις ένα κομμάτι σχάσιμου υλικού, πάνω σε ένα άλλο που λειτουργεί ως στόχος. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο U-235 ως πυρηνικό καύσιμο λόγω του μεγάλου χρόνου που απαιτείται για να ενωθούν τα υλικά.



Εικόνα 3: Μέθοδος όπλου

Πηγή: <http://www.en.wikipedia.org>

B) Μέθοδος συγκέντρωσης (Implosion method)

Αποτελεί την πιο δύσκολη μέθοδο και χρησιμοποιεί συμβατικά εκρηκτικά που περιβάλλουν τα υλικά για να συμπίεσουν την μάζα του ταχύτατα σε κατάσταση υπερκρίσιμη. Τα όπλα που χρησιμοποιούν αυτή την μέθοδο είναι πιο αποτελεσματικά. Ο λόγος είναι ότι η μάζα όχι μόνο συμπιέζεται αλλά αυξάνεται και η πυκνότητά της, γεγονός που αυξάνει το παράγοντα k .

II) Θερμοπυρηνικά όπλα

- Ενδυνάμωση σχάσης

Ο πιο απλός τρόπος για να δημιουργηθεί σύντηξη είναι να τοποθετηθεί ένα μίγμα δευτερίου και τριτίου στο εσωτερικό μίας καρδιάς από πλουτώνιο. Όταν η αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης, που προκύπτει από έκρηξη, οδηγεί το πυρηνικό καύσιμο σε αρκετή πίεση, μία αντίδραση σύντηξης δευτερίου - τριτίου συμβαίνει και απελευθερώνονται μεγάλοι αριθμοί ταχέων νετρονίων στο περιβάλλον σχάσιμο υλικό. Η αποδοτικότητα μίας καθαρής βόμβας σχάσης μπορεί να διπλασιαστεί (από περίπου 20% σε περίπου 40%) μέσω αυτής της μεθόδου.

- Βαθμωτά θερμοπυρηνικά όπλα

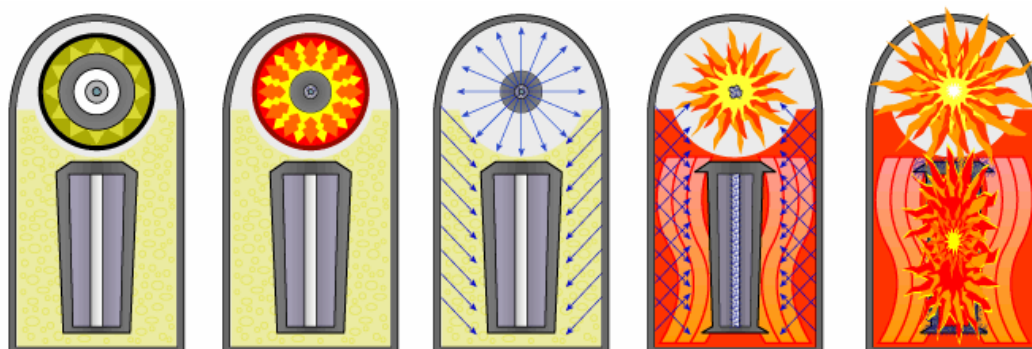
Οι βασικές αρχές πίσω από τα σύγχρονα θερμοπυρηνικά όπλα αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα από πολλούς επιστήμονες σε διαφορετικές χώρες. Οι Edward Teller και Stanislaw Ulam στο εργαστήριο του Los Alamos των ΗΠΑ, το 1951, δούλεψαν στην ιδέα της βαθμωτής πυροδότησης, η οποία έμεινε γνωστή ως σχέδιο Teller - Ulam. Ο

Σοβιετικός φυσικός Andrei Sakharov, το 1955, διατύπωσε την ίδια θεωρία, ανεξάρτητα από τους αμερικανούς επιστήμονες.

Παρότι τα θερμοπυρηνικά όπλα χρησιμοποιούνται εδώ και πολλές δεκαετίες σε δοκιμές, οι πλήρεις λεπτομέρειες για την λειτουργία τους δεν έχουν γίνει ακόμα γνωστές. Παρόλα αυτά οι βασικές αρχές λειτουργίας τους αποκαλύφθηκαν από μία έκθεση του αμερικανικού υπουργείου ενέργειας.

Ένα όπλο σχάσης (το "πρωτεύον") τοποθετείται στην κορυφή μίας πυρηνικής κεφαλής. Όταν πυροδοτείται, αρχικά εκπέμπει ακτίνες X. Αυτές αντανακλώνονται στα τοιχώματα της πυρηνικής κεφαλής που αποτελούνται από βαρέα μέταλλα. Οι ακτίνες X οδηγούνται στον χώρο που είναι τοποθετημένο το "δευτερεύον" όπλο, το οποίο είναι μία στήλη ή σφαίρα που περιέχει ως πυρηνικό καύσιμο λίθιο-6, δευτέριο, πλουτόνιο και ουράνιο-238. Έπειτα, το πολυεστερικό κάλυμμα του δευτερεύοντος όπλου μετατρέπεται σε πλάσμα το οποίο λιώνει τα τοιχώματα της στήλης ή σφαίρας με αποτέλεσμα την έναρξη αλυσιδωτών αντιδράσεων σχάσης με την μέθοδο Implosion.

Η συμπίεση του καυσίμου σύντηξης παράλληλα με την υψηλή θερμοκρασία που δημιουργήθηκε από την έκρηξη σχάσης, οδηγεί το δευτέριο να συντηχθεί σε ήλιο με εκπομπή νετρονίων. Τα νετρόνια μετατρέπουν το λίθιο σε τρίτιο, το οποίο επίσης οδηγείται σε σύντηξη εκπέμποντας μεγάλες ποσότητες ακτινών γ και νετρονίων.



Εικόνα 4: Βαθμωτά θερμοπυρηνικά όπλα

Πηγή: <http://www.en.wikipedia.org>

2.6.3 Επιπτώσεις των πυρηνικών όπλων

Η ενέργεια που εκλύεται από ένα πυρηνικό όπλο διαχωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Έκρηξη - 40% - 60% της συνολικής ενέργειας
- Θερμική ακτινοβολία - 30 - 50% της συνολικής ενέργειας
- Ιοντίζουσα ακτινοβολία - 5% της συνολικής ενέργειας
- Υπολειμματική ακτινοβολία (fallout) - 5 - 10% της συνολικής ενέργειας

Παρόλα αυτά, οι παραπάνω τιμές εξαρτώνται από το σχεδιασμό του όπλου και του περιβάλλοντος που αυτό πυροδοτείται.

Τα κύρια αποτελέσματα ενός πυρηνικού όπλου (η έκρηξη και η θερμική ακτινοβολία) είναι παρόμοια με τα συμβατικά εκρηκτικά, αλλά η ενέργεια που παράγεται από ένα πυρηνικό όπλο είναι εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη ανά γραμμάριο εκρηκτικής ύλης και η θερμοκρασία που αναπτύσσεται φτάνει σε δεκάδες εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου.

Η ενέργεια ενός πυρηνικού όπλου αρχικά απελευθερώνεται με την μορφή ακτίνων γ και νετρονίων. Όταν αυτά συναντούν υλικά, όπως αέρα, πέτρες, νερό, αλληλεπιδρούν με αυτά και στιγμιαία τα θερμαίνουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα υλικά αυτά να εκπέμπουν θερμότητα με την μορφή ακτίνων X, που αντιστοιχεί στο 75% της συνολικής ενέργειας. Το υπόλοιπο ποσοστό γίνεται κινητική ενέργεια των υλικών αυτών που λόγω της θερμότητας διαστέλλονται.

Όταν μία πυρηνική έκρηξη λαμβάνει χώρα στον αέρα κοντά στο επίπεδο της θάλασσας, οι περισσότερες από τις ακτίνες X της αρχικής θερμικής ακτινοβολίας απορροφώνται μέσα σε λίγα μέτρα. Μερική ενέργεια επανεκπέμπεται στο υπεριώδες, στο ορατό και στο υπέρυθρο φάσμα, αλλά το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας θερμαίνει ένα σφαιρικό όγκο στον αέρα προκαλώντας την γνωστή σφαίρα φωτιάς (fireball). Στην περίπτωση μίας έκρηξης σε μεγάλο υψόμετρο, όπου η ατμόσφαιρα δεν είναι τόσο πυκνή, οι ακτίνες X ταξιδεύουν μεγαλύτερη απόσταση πριν απορροφηθούν και η ενέργεια διαχέεται περισσότερο.

A) Άμεσες επιπτώσεις

I) Ζημιές από την έκρηξη

Οι υψηλές θερμοκρασίες και οι πιέσεις οδηγούν τα αέρια να κινούνται προς τα έξω και ακτινικά μέσα σε ένα λεπτό, πυκνό κέλυφος που ονομάζεται "υδροδυναμικό μέτωπο". Το μέτωπο αυτό δρα ως πιστόνι το οποίο πιέζει το περιβάλλον μέσο προς δημιουργία ωστικού κύματος. Αρχικά αυτό το κύμα βρίσκεται στο εσωτερικό της σφαίρας φωτιάς, αλλά εντός μερικών κλασμάτων του δευτερολέπτου διαφεύγει της σφαίρας και διαχέεται στο περιβάλλον.

Οι περισσότερες καταστροφές από μία πυρηνική έκρηξη προκαλούνται από το ωστικό κύμα. Η πλειονότητα των κτιρίων υφίστανται μέτριες έως πολλές ζημιές όταν υποβάλλονται σε υπερπίεση μόλις 0,35 Atm ή 35,5 kPa.

Το ωστικό κύμα ταξιδεύει με ταχύτητα αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων την ώρα, το δε εύρος του εξαρτάται, εκτός από το υλικό του πυρηνικού όπλου, από το υψόμετρο της έκρηξης. Αυξάνει ανάλογα με το υψόμετρο, φτάνοντας σε ένα "άριστο υψόμετρο έκρηξης" και έπειτα μειώνεται σε υψόμετρο πολύ κοντά στο έδαφος ή αρκετά υψηλότερα από αυτό.

Όταν το ωστικό κύμα συναντά το ανθρώπινο σώμα, προκαλεί κύματα πίεσης διαμέσου των ιστών. Αυτά τα κύματα καταστρέφουν κυρίως τους συνδέσμους των ιστών και το περιβάλλον ανάμεσα στον ιστό και στον αέρα. Οι πνεύμονες και το υπογάστριο τραυματίζονται αρκετά διότι περιέχουν αέρα. Οι επιπτώσεις είναι συνήθως θανάσιμες και οφείλονται στην αιμορραγία που ακολουθεί.

Οι υπερπίεσεις που είναι αρκετές για να τραυματίσουν τους πνεύμονες είναι της τάξεως των 68,9 kPa ή 0,68 Atm. Τα τύμπανα των αυτιών αρχίζουν να τραυματίζονται σε υπερπίεση περίπου 22 kPa ή 0,21 Atm.

II) Θερμική ακτινοβολία

Τα πυρηνικά όπλα εκλύουν κατά την πυροδότησή τους πολύ μεγάλες ποσότητες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο ορατό, στο υπέρυθρο και στο υπεριώδες φάσμα. Οι κύριοι κίνδυνοι είναι εγκαύματα και βλάβες στους οφθαλμούς. Η ακτινοβολία είναι τόσο έντονη και μπορεί να θέσει σε φωτιά πολλά συντρίμια της έκρηξης.

Υπάρχουν δύο τύποι βλαβών στα μάτια:

1) Στιγμιαία τύφλωση, που προκαλείται από την αρχική εκτυφλωτική λάμψη της πυροδότησης. Η ενέργεια που δέχεται ο αμφιβληστροειδής είναι περισσότερη από

αυτή που μπορεί να ανεχτεί, αλλά λιγότερη από αυτή που απαιτείται για μόνιμη βλάβη. Ο αμφιβληστροειδής είναι γενικά ευαίσθητος στο ορατό φως και στο μικρού μήκους κύματος υπέρυθρο φως, καθώς αυτό το κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εστιάζεται από τους φακούς του αμφιβληστροειδούς. Το αποτέλεσμα είναι η "λεύκανση" των χρωστικών του ματιού και η προσωρινή τύφλωση για πάνω από 40 λεπτά.

2) Έγκαυμα του αμφιβληστροειδούς, που οδηγεί σε μόνιμη βλάβη και οφείλεται στην συγκέντρωση άμεσης θερμικής ενέργειας στους φακούς του αμφιβληστροειδούς. Το μέγεθος της βλάβης που προκαλείται στο μάτι εξαρτάται από το σχετικό μέγεθος της σφαίρας φωτιάς που δημιουργείται αλλά και από την απόσταση του θύματος. Πάντως το πιο σύνηθες αποτέλεσμα είναι να περιοριστεί το οπτικό πεδίο του θύματος.

Όταν η θερμική ακτινοβολία συναντά ένα αντικείμενο, μέρος της θα ανακλαστεί, μέρος της θα το διαπεράσει και η υπόλοιπη θα απορροφηθεί. Το ποσό της απορροφούμενης ενέργειας εξαρτάται από την φύση και το χρώμα του αντικειμένου. Η απορροφούμενη θερμική ακτινοβολία αυξάνει την θερμοκρασία της επιφάνειας με αποτέλεσμα την απανθράκωση ξύλων, χαρτιών, ινών κ.ά.

Στην Χιροσίμα, ένα τεράστιο πύρινο μέτωπο αναπτύχθηκε μέσα σε 20 λεπτά από την πυροδότηση της πυρηνικής βόμβας και κατευθύνθηκε προς όλα τα σημεία του ορίζοντα.

B) Έμμεσες επιπτώσεις

I) Ηλεκτρομαγνητικός παλμός (EMP)

Οι ακτίνες γ από μία πυρηνική έκρηξη παράγουν υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια μέσω του φαινομένου διασκόρπισης Compton (Compton scattering). Αυτά τα ηλεκτρόνια συλλαμβάνονται από το γήινο μαγνητικό πεδίο, σε υψόμετρο μεταξύ 20 και 40 χιλιομέτρων, και συντονίζονται. Το ταλαντευόμενο ηλεκτρικό ρεύμα παράγει ένα ηλεκτρομαγνητικό παλμό ο οποίος διαρκεί περίπου 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου.

Η ισχύς του παλμού είναι τόσο μεγάλη που μπορεί να μετατρέψει μεγάλου μήκους μεταλλικά αντικείμενα σε κεραίες και να δημιουργήσει υψηλά ηλεκτρικά δυναμικά καθώς περνάει ο παλμός. Αυτά τα δυναμικά μπορούν να καταστρέψουν ηλεκτρονικά κυκλώματα που είναι απροστάτευτα καθώς και καλώδια. Ο μόνος

τρόπος προστασίας είναι η μόνωση των ηλεκτρονικών συσκευών με αγώγιμα πλέγματα ή κάποιο άλλο είδους "κλωβού Faraday". Δεν έχει γίνει γνωστό ακόμα αν υπάρχουν βιολογικές επιπτώσεις του ηλεκτρομαγνητικού παλμού.

II) Ιοντίζουσα ακτινοβολία

Περίπου το 5% της συνολικής ενέργειας από μία πυρηνική έκρηξη εκπέμπεται με την μορφή ιοντίζουσας ακτινοβολίας: νετρόνια, ακτίνες γ, σωματίδια α και ηλεκτρόνια.

Η ένταση της αρχικής ακτινοβολίας μειώνεται δραστικά σε σχέση με την απόσταση λόγω του μεγάλου εύρους που ταξιδεύει αλλά και λόγω της ατμοσφαιρικής απορρόφησης.

Ανάλογα με την απόσταση από το σημείο πυροδότησης μεταβάλλεται και το είδος της ακτινοβολίας. Κοντά στο σημείο της έκρηξης, η ακτινοβολία νετρονίων είναι πιο έντονη από την ακτινοβολία γ, αλλά καθώς απομακρυνόμαστε ο λόγος νετρονίων - ακτίνων γ μειώνεται.

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις επιπτώσεις και παρέχει τιμές για την δραστική ακτίνα πυρηνικών βομβών διαφορετικής εκρηκτικής απόδοσης.

Πίνακας 1: Επιπτώσεις και δραστική ακτίνα πυρηνικών βομβών

	ΕΚΡΗΚΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ / ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΚΡΗΞΗΣ			
	1 kT/200m	20kT/540m	1MT/2.0km	20MT/5.4km
Εύρος ζημιών από την έκρηξη (km)				
Αστικές περιοχές που ισοπεδώνονται πλήρως	0,2	0,6	2,4	6,4
Καταστροφή των περισσότερων κτιρίων	0,6	1,7	6,2	17
Μεσαίου μεγέθους ζημιές στα κτίρια	1,7	4,7	17	47
Εύρος ζημιών από την θερμική ακτινοβολία (km)				
Τρίτου βαθμού εγκαύματα	0,6	2,5	12	38
Δευτέρου βαθμού εγκαύματα	0,8	3,2	15	44
Πρώτου βαθμού	1,1	4,2	19	53

εγκαύματα				
Εύρος επιπτώσεων από την στιγμιαία ακτινοβολήση (km)				
Θανάσιμη Δόση (10 Gy)	0,8	1,4	2,3	4,7
Δόση για εμφάνιση συνδρόμου οξείας ακτινοβολήσης	1,2	1,8	2,9	5,4

Πηγή: <http://www.en.wikipedia.org>

III) Ραδιενεργός επίπτωση

Ονομάζεται η καθυστερημένη ακτινοβολία που προκύπτει από μία πυρηνική έκρηξη. Η πυρηνική έκρηξη εξατμίζει οποιοδήποτε υλικό που βρίσκεται μέσα στην ακτίνα της σφαίρας φωτιάς, μαζί με το έδαφος, και συνδυαζόμενο με την ιοντίζουσα ακτινοβολία προκαλεί την επίπτωση. Οι πηγές της είναι:

- Προϊόντα σχάσης.
- Προϊόντα που δεν έχουν υποστεί σχάση.
- Υλικά που γίνονται ραδιενεργά έπειτα από πρόσληψη νετρονίων.

Παγκόσμια επίπτωση

Αμέσως μετά την πυρηνική έκρηξη, τα υλικά που αποτελούν τις πηγές της επίπτωσης μετατρέπονται σε σωματίδια με πολύ μικρή διάμετρο, 10 nm με 20 μm. Στην περίπτωση που η εκρηκτική απόδοση της έκρηξης ξεπερνά τους 10 κιλότονους, τα σωματίδια γρήγορα θα ανέλθουν στην στρατόσφαιρα και αφού διασκορπιστούν λόγω των ανέμων, σταδιακά θα κατέλθουν στην επιφάνεια της γης έπειτα από εβδομάδες, μήνες ή ακόμη και έτη.

Τοπική επίπτωση

Στην περίπτωση της τοπικής επίπτωσης τα σωματίδια έχουν διάμετρο από 100 nm μέχρι αρκετά χιλιοστόμετρα και σχηματίζουν το λεγόμενο ραδιενεργό νέφος. Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση τα σωματίδια δεν ανέρχονται στην στρατόσφαιρα και ο χρόνος που παραμένουν αιωρούμενα είναι περίπου 24 ώρες.

Παράγοντες που επηρεάζουν την επίπτωση

- Τοποθεσία.

Υπάρχουν δύο παράγοντες που επηρεάζουν την τοποθεσία της έκρηξης: το υψόμετρο και η σύσταση του εδάφους. Ένα πυρηνικό όπλο που πυροδοτείται στον

αέρα θα παράγει λιγότερα σωματίδια επίπτωσης σε σύγκριση με μία έκρηξη κοντά στο έδαφος.

- Κλιματολογικές συνθήκες.

Ασκούν μεγάλη επίδραση στην ραδιενεργή επίπτωση, καθώς οι άνεμοι έχουν την δυνατότητα να διανείμουν τα σωματίδια σε αρκετά μεγάλη ακτίνα. Το χιόνι και η βροχή, ειδικά αν προέρχονται από μεγάλα υψόμετρα, ενδέχεται να επιταχύνουν την τοπική επίπτωση. (<http://www.en.wikipedia.org>)

3.1 Πηγές Φυσικής Ραδιενέργειας

3.1.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, η έκθεση των ανθρώπινων οργανισμών σε ιονίζουσες ακτινοβολίες που προέρχονται από φυσικές πηγές αποτελεί μία πτυχή της ζωής πάνω στη γη. Υπάρχουν δύο κύριες πηγές φυσικής ραδιενέργειας: τα υψηλής ενέργειας σωματίδια από τις κοσμικές ακτίνες που δημιουργούνται στην γήινη ατμόσφαιρα, και τα ραδιενεργά νουκλίδια που προέρχονται από τον φλοιό της γης και εντοπίζονται παντού πάνω στη γη, ακόμα και μέσα στο ανθρώπινο σώμα.

3.1.2 Κοσμική ακτινοβολία

Η γη συνεχώς βομβαρδίζεται από υψηλής ενέργειας σωματίδια που προέρχονται από το εξώτερο διάστημα. Αυτές οι κοσμικές ακτίνες αλληλεπιδρούν με τους πυρήνες των συστατικών της ατμόσφαιρας, δημιουργώντας μία σειρά αντιδράσεων. Αυτές οι αντιδράσεις επίσης παράγουν ένα αριθμό ραδιενεργών πυρήνων γνωστών σαν κοσμογενικά ραδιονουκλίδια, τα πιο γνωστά από αυτά είναι το τρίτιο και ο ^{14}C .

Τα σωματίδια των κοσμικών ακτινών παρουσιάζουν ένα ενεργειακό φάσμα που εκτείνεται από 10^8 eV έως 10^{20} eV. Μόλις φτάνουν στην γήινη ατμόσφαιρα αλληλεπιδρούν με τα άτομα και τα μόρια του αέρα και δημιουργούνται δευτερεύοντα φορτισμένα και μη, σωματίδια, που περιλαμβάνουν πρωτόνια, νετρόνια, πιόνια, και πυρήνες μικρού αριθμού Z. Τα δευτερεύοντα σωματίδια με την σειρά τους παράγουν περισσότερα νουκλεόνια. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η συνεισφορά στην ισοδύναμη δόση των διαφόρων σωματιδίων ανάλογα με το υψόμετρο που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. (UNSCEAR)

3.2 Πηγές Τεχνητής Ραδιενέργειας

Οι πηγές της τεχνητής ραδιενέργειας είναι δημιούργημα των ανακαλύψεων του 20^ο αιώνα και όπως θα φανεί από τα ακόλουθα είναι δυνατόν να παραχθούν σε μεγάλες ποσότητες και να διασπαρθούν εύκολα.

3.2.1 Έκθεση στη ρύπανση από πυρηνικές δοκιμές

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά την πυρηνική έκρηξη δημιουργείται ένας μεγάλος αριθμός ραδιενεργών ισοτόπων. Η συνολικά παραγόμενη ενεργότητα είναι τεράστια σε σύγκριση με την αντίστοιχη του φυσικού περιβάλλοντος. Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζεται η εκλυόμενη ενεργότητα ανά μέγατονο ισχύος αλλά και η συνολική εκτιμώμενη ενεργότητα που εκλύθηκε από τις πυρηνικές δοκιμές.

Πίνακας 2: Εκλυόμενη ενεργότητα ανά μέγατονο ισχύος πυρηνικής έκρηξης. Σύνολο εκλύσεων από πυρηνικές δοκιμές.

Ραδιενεργό ισότοπο	Χρόνος υποδιπλασιασμού	Έκλυση 10^{15} Bq ανά μέγατονο	Εκτιμώμενη συνολική έκλυση, 10^{18} Bq
Στρόντιο-89	50,5 ημ.	590	128
Στρόντιο-90	28,6 χρ.	3,9	0,85
Ζιρκόνιο-95	64 ημ.	920	200
Ρουθήνιο-103	39,4 ημ.	1500	325
Ρουθήνιο-106	368 ημ.	78	17
Ιώδιο-131	8,04 ημ.	4200	910
Καίσιο-136	13,2 ημ.	32	7
Καίσιο-137	30,2 χρ.	5,9	1,3
Βάριο-140	12,8 ημ.	4700	1020
Δημήτριο-144	284 ημ.	190	41
Δημήτριο-141	32,5 ημ.	1600	350

Πηγή: Εμείς και η Ραδιενέργεια, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης

Η επιβάρυνση του πληθυσμού από τη ραδιενεργό επίπτωση οφείλεται:

3.3 Ατυχήματα σε πυρηνοκίνητα υποβρύχια.

Από το 1961 έως τις σημερινές μέρες τουλάχιστον 507 άτομα έχουν βρει τον θάνατο από ατυχήματα σε πυρηνοκίνητα υποβρύχια. Τα πιο σοβαρά ατυχήματα προκλήθηκαν είτε από φωτιές που είχαν ως αποτέλεσμα το βύθισμα του υποβρυχίου, είτε από σοβαρή βλάβη στο πυρηνικό αντιδραστήρα του σκάφους με συνέπεια την υπερθέρμανση του πυρήνα του και ταυτόχρονη εκπομπή ραδιενέργειας.

Ο πιο συνηθισμένος και διαδεδομένος τύπος πυρηνικού αντιδραστήρα, στα πυρηνοκίνητα υποβρύχια, είναι ο PWR-2. Τρεις τύποι ατυχημάτων μπορούν να συμβούν: Βλάβη στη καρδιά του αντιδραστήρα, απώλεια ψυκτικού μέσου και βλάβη στο περιεχόμενο πυρηνικό καύσιμο. (<http://www.bellona.no>)

3.3.1 Είδη ατυχημάτων

A) Βλάβη στη καρδιά του αντιδραστήρα.

Στα κατηγορία αυτή ανήκουν τα ατυχήματα στα οποία η βλάβη περιορίζεται μέσα στο κύκλωμα ψύξης του αντιδραστήρα. Συγκεκριμένα παθαίνουν ζημιά οι ράβδοι ελέγχου της σχάσης, με αποτέλεσμα να εκλυθούν σχάσιμα προϊόντα μέσα στο κύριο κύκλωμα ψύξης. Παρότι δεν υπάρχει κίνδυνος για διαρροή ραδιενέργειας, τα απόβλητα που δημιουργούνται κάνουν επικίνδυνα τη διαδικασία "αδειάσματος" του αντιδραστήρα. Ο Βόρειος Στόλος του Ρωσικού Ναυτικού έχει αναγκαστεί να βυθίσει 6 πυρηνικούς αντιδραστήρες, από 4 υποβρύχια, στη θάλασσα καθώς ήταν αδύνατο να απομακρυνθεί το πυρηνικό καύσιμο με ασφάλεια. Επίσης το 85% των υποβρυχίων του Βόρειου Στόλου που έχουν παροπλιστεί δεν έχουν "αδειάσει" από το πυρηνικό καύσιμο τους.

B) Απώλεια ψυκτικού μέσου.

Συγκριτικά με το προηγούμενο τύπο ατυχήματος, πιο επικίνδυνα είναι τα ατυχήματα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Σε αυτό τον τύπο ατυχήματος, υπάρχει ένα ρήγμα στο κύριο κύκλωμα ψύξης, από όπου απελευθερώνονται τα

προϊόντα της σχάσης μέσα στο θάλαμο που βρίσκεται ο αντιδραστήρας. Παρόλα αυτά, το πυρηνικό καύσιμο του αντιδραστήρα πρέπει να παραμένει ανέπαφο.

Γίνεται η υπόθεση ότι μικρή ποσότητα ραδιενεργών ουσιών διαφεύγει από τον πυρηνικό θάλαμο και διαχέεται στο περιβάλλον του υποβρυχίου. Της υπάρχει και το ενδεχόμενο, ποσότητα ραδιενεργών ουσιών να διαφύγει και στην ατμόσφαιρα.

Η πιθανότητα να συμβεί ένα τέτοιο ατύχημα σύμφωνα με το βρετανικό Υπουργείο Αμύνης είναι 1 στα 10.000 χρόνια ζωής του αντιδραστήρα. Παρόλα αυτά, ένα τέτοιου είδους ατύχημα σε ένα υποβρύχιο κλάσης Trafalgar, θα έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή 4×10^{13} Bq Ιωδίου-131 καθώς και άλλων ραδιονουκλιδίων. Οι αριθμοί αυξάνουν στην περίπτωση της υποβρυχίου κλάσεως Trident, λόγω του διαφορετικού τύπου αντιδραστήρα.

Στην περίπτωση του Trafalgar οι πιθανότητες εμφάνισης θανάσιμου καρκίνου και καρκίνου του θυρεοειδούς αδένα, σύμφωνα με της παράγοντες κινδύνου της ICRP, είναι:

Πίνακας 4: Πιθανότητες εμφάνισης θανάσιμου καρκίνου

ΑΠΟΣΤΑΣΗ	Πιθανότητα εμφάνισης θανάσιμου καρκίνου
500μ	1 στις 2.500
1.000μ	1 στις 6.700
2.000μ	1 στις 20.000

ΑΠΟΣΤΑΣΗ	Πιθανότητα εμφάνισης θυρεοειδούς καρκίνου
500μ	1 στις 8.000
1.000μ	1 στις 40.000
2.000μ	1 στις 100.000

Σε απόσταση 1 χλμ. από το ατύχημα η απορροφηθείσα δόση για όλο το σώμα θα είναι 2 mSv από το ραδιενεργό νέφος και 0,7 mSv από την αναπνοή.

Γ) Βλάβη στο πυρηνικό καύσιμο

Αυτού του είδους το ατύχημα συμβαίνει όταν υπάρχει ζημιά στο πυρηνικό καύσιμο αλλά και στο σύστημα ψύξης. Το εσωτερικό του αντιδραστήρα μπορεί να πάθει ζημιά λόγω εξωτερικών πιέσεων. Συγκεκριμένα λόγω μίας σύγκρουσης του υποβρυχίου, ή ακόμη έκρηξης μέσα στο θάλαμο του αντιδραστήρα λόγω απώλειας του ψυκτικού μέσου, ή αλλού.

Αν ένας αντιδραστήρας λειτουργεί σε πλήρη ισχύ και υπάρχει ένα καταστροφικό ρήγμα στο κύριο κύκλωμα ψύξης, τότε το νερό μέσα στο κύκλωμα θα μετατραπεί σε ατμό, αυξάνοντας την πίεση στον αντιδραστήρα μέσα σε 1 λεπτό. Σε 3 λεπτά, η θερμοκρασία της καρδιάς του αντιδραστήρα θα αυξηθεί και στους 900° C θα υπάρξει μία εκρηκτική αντίδραση. Σε περίπου 20 λεπτά η θερμοκρασία της καρδιάς θα ανέβει έως τους 2.000° C όπου και ο αντιδραστήρας θα οδηγηθεί σε τήξη. Μία τρίτη έκρηξη θα συμβεί λόγω της αυξημένης ποσότητας υδρογόνου που θα έχει απελευθερωθεί.

Στην περίπτωση ενός υποβρυχίου κλάσης Trafalgar, εάν ο αντιδραστήρας του βρίσκεται στο τέλος της ζωής και έχει λειτουργήσει σε πλήρη ισχύ για τις τελευταίες 100 ώρες τότε είναι πιθανό να περιέχει 4×10^{18} Bq σχάσιμων προϊόντων, εκ των οποίων 4×10^{16} Bq είναι Ιώδιο-131. Κατά την διάρκεια του ατυχήματος θα διαχυθεί όλο το Ιώδιο-131, Καίσιου-137 και άλλα ευγενή αέρια. Σε απόσταση 1 χμ από το ατύχημα, το 61% της απορροφηθείσας δόσης για όλο το σώμα θα προέρχεται από την αναπνοή, γεγονός ιδιαίτερα επικίνδυνο. Επίσης σημαντικό ποσοστό δόσης θα προέρχεται από την ακτινοβολία γ που θα εκλυθεί σε απόσταση μεγαλύτερη του 1 χλμ.

Η πιθανότητα να συμβεί ένα ατύχημα αυτής της κατηγορίας είναι 1 στα 1.000.000 χρόνια ζωής του αντιδραστήρα. Παρόλα αυτά ήδη ένα ατύχημα έχει συμβεί το 1985 στο Chazhma Bay με ένα Σοβιετικό υποβρύχιο.

Στις 10 Αυγούστου το 1985 ένα ατύχημα που αφορούσε το πυρηνικό καύσιμο συνέβη σε ένα σοβιετικό υποβρύχιο κλάσης Victor, στο Chazhma Bay κοντά στο Vladivostock. Το υποβρύχιο είχε δύο αντιδραστήρες, ένα στο δεξί μέρος και ένα στο αριστερό. Ο αριστερός αντιδραστήρας ανεφοδιαζόταν όταν συνέβη το ατύχημα. Ένας γερανός χρησιμοποιούνταν για να επανατοποθετήσει τα κάλυμμα του αντιδραστήρα. Το κάλυμμα έσπασε και οδήγησε σε πυρηνική αντίδραση δημιουργώντας μία έκρηξη η οποία έλιωσε τόσο τα διαμερίσματα της πρύμνης του υποβρυχίου αλλά και του κύτους πίεσης. Οι επίσημες απώλειες ήταν 10 νεκροί, 10 περιπτώσεις εμφάνισης

συνδρόμου οξείας ακτινοβόλησης και 39 άλλες περιπτώσεις ασθένειας από ραδιενέργεια.

Η φωτιά που ξέσπασε στο θάλαμο του αντιδραστήρα περιορίστηκε έπειτα από 4 ώρες, όμως τα προϊόντα της σχάσης είχαν ήδη διαχυθεί στη θάλασσα, επειδή το κύτος είχε λιώσει. Η συνολική ποσότητα ραδιενεργών ουσιών που εκλύθηκαν ήταν $1,85 \times 10^{17}$ Bq χωρίς να υπολογίζουμε τα $8,1 \times 10^{16}$ Bq από τα ευγενή αέρια. Οι παραπάνω ποσότητες ισοδυναμούν στο ένα έβδομο από τα ραδιενεργά υλικά που εκλύθηκαν στο ατύχημα του Τσερνομπίλ.

3.3.2 Κίνδυνοι από βυθισμένα υποβρύχια.

Υπάρχουν ήδη περισσότερα από πέντε πυρηνοκίνητα υποβρύχια που έχουν βυθιστεί από ατυχήματα. Αυτό υποδηλώνει ότι η πιθανότητα να βυθιστεί ένα πυρηνοκίνητο υποβρύχιο σε περίοδο ειρήνης είναι μεγαλύτερη από 1 στα 2.000 χρόνια ζωής του αντιδραστήρα.

Τον Απρίλιο του 1989, το σοβιετικό υποβρύχιο Komsomolets βυθίστηκε σε βάθος 1.700 μ κοντά στη νήσο Bear. Έπειτα από υποβρύχιες έρευνες στο σκάφος, το Μάιο του 1992, φανερώθηκε ότι υπήρχαν ρωγμές, ορισμένες 30 και 40 εκατοστών, σε όλο το μήκος του τιτάνιου κύτους. Επίσης οι έρευνες έδειξαν ότι το κύριο κύκλωμα ψύξης δεν ήταν άθικτο, κάτι που σημαίνει ότι σχάσιμα προϊόντα ενδέχεται να έχουν διαφύγει στη θάλασσα.

Η αιτία για αυτές τις ρωγμές είναι το μεγάλο βάθος. Ένα τυπικό υποβρύχιο, κλάσης Trident, φανερώνει ρωγμές σε βάθος 400 μέτρων και περισσότερο. Παρόλα αυτά, η αντοχή του κύτους κάθε υποβρυχίου διαφέρει και εξαρτάται, εκτός από το υλικό του, και από την προϊστορία του.

Εάν ένα υποβρύχιο τύπου Trident χαθεί στη θάλασσα, εκτός από τις άμεσες συνέπειες που είναι ο θάνατος του πληρώματος, θα δημιουργήσει μακροπρόθεσμα ραδιενεργό κίνδυνο - ακόμα και αν δεν υπάρχει βραχυπρόθεσμος κίνδυνος-. Τα ραδιενεργά υλικά που κάποια στιγμή ενδέχεται να διαφύγουν από την καρδιά του αντιδραστήρα, σε συνδυασμό με το πλουτώνιο που βρίσκεται στις κεφαλές των τορπίλων, θα διαχυθούν στην θάλασσα και θα περάσουν στην τροφική αλυσίδα.

3.3.3 Ατυχήματα πυρηνοκίνητων υποβρυχίων.

Ως αποτέλεσμα είτε ατυχήματος είτε εκτεταμένης ζημιάς, υπάρχουν 6 πυρηνοκίνητα υποβρύχια τα οποία κείτονται στο βυθό των ωκεανών: δύο αμερικάνικα σκάφη (USS Thresher και USS Scorpion) και τέσσερα σοβιετικά (K-8, K-219, K278 Komsomolets και K-27). Τα δύο αμερικάνικα υποβρύχια και τρία σοβιετικά βυθίστηκαν λόγω ατυχήματος, το τέταρτο σοβιετικό υποβρύχιο βυθίστηκε στην θάλασσα Kara, αφού η βλάβη που είχε πάθει δεν μπορούσε να επισκευαστεί και ο παροπλισμός του κρίθηκε πολύ δαπανηρός. Και τα τέσσερα σοβιετικά υποβρύχια ανήκαν στο Βόρειο Στόλο.

Παρότι υπήρχαν διαφορές στο χρόνο και στην τοποθεσία, τα ατυχήματα στα σοβιετικά υποβρύχια περιελάμβαναν τα εξής συμβάντα:

1. Φωτιά ξεσπάει καθώς βρισκόταν σε διαδικασία βύθισης.
2. Ανέβασμα του υποβρυχίου στην επιφάνεια. Απώλεια ισχύος και δυνατότητα για επικοινωνία.
3. Εισροή θαλασσινού νερού στο σκάφος.
4. Απώλεια ελέγχου σε σημαντικά συστήματα του σκάφους.
5. Απώλεια πλευστότητας και ευστάθειας.
6. Αναποδογύρισμα και βύθιση.

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις ατυχημάτων που αφορούν τους πυρηνικούς αντιδραστήρες των υποβρυχίων του Βορείου Στόλου, που είχαν σοβαρές επιπτώσεις. Ανάμεσα σε αυτά, υπάρχουν ατυχήματα που οδήγησαν σε θανάτους ή υπερβολική έκθεση ραδιενέργειας στο πλήρωμα καθώς και σε εκτεταμένες ζημιές στο υποβρύχιο. Οι ζημιές συνήθως είναι δαπανηρές και δύσκολες να επισκευαστούν.

A) Βυθισμένα σοβιετικά υποβρύχια

1. K-8

Στις 8 Απριλίου του 1970, το σκάφος Project 627A, κλάσης November, K-8, βυθίστηκε στο κόλπο της Biscaya ενώ γύριζε από την άσκηση OKEAN. Δύο φωτιές ξέσπασαν ταυτόχρονα στο τρίτο (κεντρικό) και όγδοο διαμέρισμα. Το υποβρύχιο ανέβηκε στην επιφάνεια, αλλά το πλήρωμα δεν μπορούσε να ελέγξει τις φωτιές. Το σύστημα εκτάκτου ανάγκης του αντιδραστήρα κατέρρευσε, αφήνοντας το υποβρύχιο χωρίς ισχύ. Επίσης ούτε οι βοηθητικοί ντιζελοκινητήρες μπόρεσαν να μπουν σε λειτουργία. Το δωμάτιο ελέγχου και τα γειτονικά διαμερίσματα γέμισαν με καπνούς.

Στις 10 Απριλίου, οι δεξαμενές αέρα άδειασαν και το νερό άρχισε να γεμίζει το έβδομο και όγδοο διαμέρισμα. Το βράδυ της ίδιας ημερομηνίας, μέρος του πληρώματος διασώθηκε από ένα άλλο πλοίο. Το πρωί της 11 Απριλίου, το υποβρύχιο βυθίστηκε σε βάθος 4680 μέτρων. 52 άτομα πέθαναν, συμπεριλαμβανομένου και του καπετάνιου του σκάφους.

2. K-219

Τον Οκτώβριο του 1986, το στρατηγικό υποβρύχιο K-219 - Project 667 A, κλάσης Yankee, το οποίο μετέφερε βαλλιστικούς πυραύλους, βυθίστηκε στον Ατλαντικό ωκεανό βόρεια των Βερμούδων, έπειτα από μία έκρηξη σε μία από τις σωλήνες των πυραύλων. Η έκρηξη προκάλεσε διαρροή στο διαμέρισμα που βρίσκονταν οι πύραυλοι (τέταρτο διαμέρισμα). Ατμός και καπνός από το καύσιμο των πυραύλων άρχισε να γεμίζει το διαμέρισμα. Κατά την στιγμή της έκρηξης μόνο ο ένας από τους δύο πυρηνικούς αντιδραστήρες βρισκόταν σε λειτουργία. Το υποβρύχιο ανέβηκε στην επιφάνεια και μπήκε σε λειτουργία και ο δεύτερος αντιδραστήρας. Όμως ένα βραχυκύκλωμα οδήγησε σε κατάρρευση των συστημάτων εκτάκτου ανάγκης. Το νερό γέμιζε τα διαμερίσματα και η ευστάθεια του υποβρυχίου χάθηκε. Τελικά στις 6 Οκτωβρίου το υποβρύχιο βυθίστηκε με απώλειες τεσσάρων ζώων. Το υπόλοιπο πλήρωμα και ο καπετάνιος διασώθηκαν.

3. K-278 (Komsomolets)

Τον Απρίλιο του 1989, το πυρηνοκίνητο υποβρύχιο K-278, Komsomolets, Project 685 - κλάσης Mike, βυθίστηκε στην Νορβηγική Θάλασσα, έπειτα από φωτιά που ξέσπασε στο έβδομο διαμέρισμα. Το σκάφος ανέβηκε στην επιφάνεια αλλά η φωτιά είχε επεκταθεί οδηγώντας σε κατάρρευση των συστημάτων ενέργειας αλλά και του καθαρού αέρα. Τελικά βυθίστηκε σε βάθος 1685 μέτρων, με απώλειες 41 άτομα από το πλήρωμα και τον καπετάνιο.

4. K-27

Στις 24 Μαΐου του 1968, το πυρηνοκίνητο υποβρύχιο K-27, Project 645, μετείχε σε ναυτικές ασκήσεις, με τον πυρηνικό αντιδραστήρα του να λειτουργεί σε μικρή ισχύ. Παρόλα αυτά, ακτινοβολία γ από το θάλαμο του αντιδραστήρα αυξήθηκε κατακόρυφα, και ραδιενεργά αέρια απελευθερώθηκαν. Τελικά το πλήρωμα κατάφερε να θέσει εκτός λειτουργίας τον αντιδραστήρα. Το πρόβλημα προήλθε από βλάβη στο σύστημα ψύξης της καρδιάς του αντιδραστήρα. Εντέλει το υποβρύχιο βυθίστηκε ηθελημένα στη θάλασσα Kara το 1981.

B) Ατυχήματα στους πυρηνικούς αντιδραστήρες σοβιετικών υποβρυχίων.

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας των σοβιετικών υποβρυχίων, υπήρξαν 10 περιπτώσεις ατυχημάτων. Δύο ατυχήματα συνέβησαν κατά τον ανεφοδιασμό των K-11 και K-431, ένα κατά την διάρκεια επισκευών στο K-140, ένα κατά την διάρκεια μετατροπών στο K-222, τέσσερα ατυχήματα σε υποβρύχια που βρίσκονταν σε αποστολές και ένα, στο K-314, ενώ ο αντιδραστήρας έκλεινε. Δύο από τα ατυχήματα συνέβησαν στα υποβρύχια του Στόλου του Ειρηνικού, επτά σε υποβρύχια του Βόρειου Στόλου και ένα στην ναυπηγοεπισκευαστική βάση του Nizhny Novogorod.

(<http://www.bellona.no>)

4.1 ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ι) Ρυπαντές και ρύπανση

Κάθε πρόσθετη ουσία, πάνω από μία ορισμένη περιεκτικότητα στον αέρα, στο νερό, στο έδαφος ή στα τρόφιμα που απειλεί την υγεία των ανθρώπων και των έμβιων οργανισμών ονομάζεται ρυπαντής και η διαδικασία ονομάζεται ρύπανση.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί το αποτέλεσμα της συνεχούς προσπάθειας του ανθρώπου για παραγωγή αγαθών με σκοπό την κάλυψη των ολοένα αυξανόμενων αναγκών του. Εφόσον η παραγωγική διαδικασία δεν είναι τέλεια αλλά ατελής, τα παραπροϊόντα που παράγονται καταλήγουν στο οικοσύστημα, καθώς δεν έχουν χρησιμότητα. Οι περισσότεροι ρυπαντές είναι στερεά, υγρά ή αέρια παραπροϊόντα ή απόβλητα που παράγονται, όταν ένας πόρος εξορύσσεται, δέχεται επεξεργασία, μετατρέπεται σε προϊόντα ή χρησιμοποιείται. Η ρύπανση επίσης μπορεί να πάρει τη μορφή ανεπιθύμητων εκπομπών ενέργειας όπως εξαιρετική θερμότητα, θόρυβος ή ακτινοβολία.

Το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης από τις ανθρώπινες δραστηριότητες σημειώνεται μέσα ή κοντά σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές, όπου συγκεντρώνονται οι ρυπαντές. Οι ανεπιθύμητες επιπτώσεις των ρυπαντών περιλαμβάνουν παρεμπόδιση ή παρεμβολή στα συστήματα υποστήριξης της ζωής τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τα άλλα είδη.

Τρεις παράγοντες προσδιορίζουν το πόσο σοβαρές είναι οι επιπτώσεις ενός ρυπαντή. Ένας είναι η χημική του φύση, που χαρακτηρίζει το πόσο επιβλαβής ή ενεργός είναι στους έμβιους οργανισμούς. Ο δεύτερος παράγοντας αφορά τη συγκέντρωσή του, την ποσότητα ανά μονάδα όγκου αέρα, νερού, εδάφους, ή βάρους του σώματος. Ο τρίτος παράγοντας είναι ο χρόνος ζωής του ρυπαντή, δηλαδή το χρονικό διάστημα για το οποίο μπορεί να παραμείνει στο νερό, στο έδαφος ή στο σώμα. (G. Tyler Miller, Jr, 1999)

II) Ραδιενεργός ρύπανση

Ρύπανση του οικοσυστήματος με ραδιενεργά υλικά μπορεί να προκληθεί μέσω του μηχανισμού της ραδιενεργού επίπτωσης (fallout), όταν η πηγή της επίπτωσης είναι μία πυρηνική έκρηξη ή ένα ατύχημα πυρηνικής εγκατάστασης.

Το αποτέλεσμα της ραδιενεργού επίπτωσης είναι η ρύπανση του αέρα, του εδάφους, του νερού καθώς και των έμβιων οργανισμών. Οι επιπτώσεις εξαρτώνται από το είδος των ραδιενεργών ατόμων που αποτελούν τους ρύπους, από την ποσότητα αυτών και από τις ιδιότητες τους.

Με βάση τα παραπάνω είναι πολύ σημαντικό να είναι γνωστός ο τύπος και η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπουν οι ρύποι, ο χρόνος υποδιπλασιασμού, το πόσο έχουν εισχωρήσει μέσα στην τροφική αλυσίδα αλλά και σε ποια μέρη του σώματος έχουν την τάση να συσσωρεύονται σε μεγαλύτερο βαθμό.

A) Ραδιενεργός ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα

Το πρώτο συστατικό του οικοσυστήματος που ρυπαίνεται έπειτα από μία πυρηνική έκρηξη ή ενός ατυχήματος πυρηνικού σταθμού είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας.

Λόγω της συνεχούς ανάγκης για παροχή οξυγόνου, ο άνθρωπος εισπνέει 10 έως 20 χιλιάδες λίτρα αέρα. Από αυτό το στοιχείο και μόνο γίνεται κατανοητό πόσο επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία είναι η ραδιενεργή ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα, καθώς είναι δυνατό μέσω της αναπνευστικής οδού να συσσωρευτούν στο σώμα του ανθρώπου πολύ μεγάλες ποσότητες ραδιενεργών ρύπων.

Παρόλα αυτά, σε τοπικό τουλάχιστον επίπεδο, η χρονική διάρκεια της ρύπανσης δεν είναι μεγάλη διότι τα ραδιενεργά υλικά παρασύρονται από τη βροχή, τον άνεμο και εντέλει τη βαρύτητα και καταλήγουν στο έδαφος.
(<http://www.atsdr.cdc.gov>)

B) Ραδιενεργή ρύπανση του εδάφους

Αφού καταλήξουν οι ραδιενεργοί ρύποι στο έδαφος, αρχίζει η ακτινοβολή φυτών, ζώων και ανθρώπων. Η παραμονή τους, εκτός από τον χρόνο υποδιπλασιασμού, εξαρτάται από την αλληλεπίδραση τους με το έδαφος και τα άλλα συστατικά του οικοσυστήματος. Η βροχή μπορεί να παρασύρει ορισμένους

ραδιενεργούς ρύπους σε βαθύτερα στρώματα εδάφους ή σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσες. Οι ρύποι που δεν επηρεάζονται τόσο έντονα είναι εκείνοι που συγκρατούνται από τα λεπτόκοκκα αργιλικά συστατικά του εδάφους δημιουργώντας κολλοειδείς καταστάσεις με αυτά, έχοντας ως αποτέλεσμα την βραδεία μετακίνηση τους (2-3 cm) προς βαθύτερα στρώματα εδάφους με φυσικές διαδικασίες. (Εμείς και η ραδιενέργεια, 1989)

Γ) Ραδιενεργή ρύπανση των υδάτων

Η ρύπανση των επιφανειακών ποσοτήτων νερού (λίμνες, ποτάμια, θάλασσες), προκαλείται από την ραδιενεργή επίπτωση, μέσω βροχών και χιονοπτώσεων αλλά και έπειτα από μετακίνηση ραδιενεργών ρύπων που βρίσκονται στο έδαφος.

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε αν μία πηγή νερού έχει υποστεί ρύπανση καθώς ενδέχεται να χρησιμοποιείται για πόση, ή για άρδρευση καλλιεργειών. Σε αντίθεση πάντως με τα επιφανειακά ύδατα, τα υπόγεια ύδατα είναι σε πολύ μεγάλο ποσοστό πιο ασφαλή, διότι περνούν από ένα μεγάλο στρώμα εδάφους που λειτουργεί σαν φίλτρο κατακρατώντας τους ρύπους.

III) Ραδιενεργά άτομα με αυξημένες συγκεντρώσεις στο περιβάλλον

Μέσω του μηχανισμού της ραδιενεργούς επίπτωσης, εκατοντάδες διαφορετικά ραδιονουκλίδια καταλήγουν στο περιβάλλον. Η διάρκεια της παραμονής τους εξαρτάται από τον χρόνο ημιζωής που τα χαρακτηρίζει. Σύμφωνα με την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (U.S.E.P.A) τα πιο επικίνδυνα, για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία, ραδιονουκλίδια είναι τα: Αμερίκιο-241, Καίσιιο-137, Στρόντιο-90 και Ιώδιο-131.

A) Αμερίκιο-241

Το Αμερίκιο (Am) είναι ένα τεχνητό ραδιενεργό μέταλλο με ατομικό αριθμό 95. Ανακαλύφθηκε το 1944 από τον πυρηνικό χημικό Glenn Seaborg και τους συνεργάτες του στο πανεπιστήμιο του Σικάγο. Δημιουργείται έπειτα από απορρόφηση νετρονίων από τον πυρήνα του Πλουτωνίου, σε πυρηνικούς αντιδραστήρες και σε εκρήξεις πυρηνικών βομβών. Έχει πολλά ραδιενεργά ισότοπα, αλλά το πιο σημαντικό είναι το Αμερίκιο-241. Το συγκεκριμένο ισότοπο είναι στερεό σε κανονικές

συνθήκες, ενώ εκπέμπει σωματίδια α και ακτινοβολία γ. Ο δε χρόνος ημιζωής του είναι 432,7 χρόνια.

Οι σημαντικότερες ποσότητες Αμερίκιου-241 στο περιβάλλον προέρχονται από τις πυρηνικές δοκιμές στην ατμόσφαιρα κατά τις δεκαετίες του '50 και του '60. Παρόλα αυτά το συλλογικό ενεργό ισοδύναμο δόσης υπολογίζεται περίπου σε 10^{-8} Sv το χρόνο.

Όταν βρεθεί μέσα στο σώμα έχει την τάση να συγκεντρώνεται στα κόκαλα, στο συκώτι και στους μύες. Επίσης κατά την εισπνοή, ορισμένη ποσότητα παραμένει στους πνεύμονες. (<http://www.epa.gov>)

B) Καίσιο-137

Το 1860, οι Gustav Kirchhoff και Robert Bunsen ανακάλυψαν μη ραδιενεργό Καίσιο (Cs) σε μεταλλικό νερό στη Γερμανία. Το ραδιενεργό Καίσιο-137 ανακαλύφθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1930 από τους Gleen T. Seaborg και Margaret Melhase. Ενώ το μη ραδιενεργό Καίσιο υπάρχει με φυσικό τρόπο σε διάφορα μεταλλεύματα, το ραδιενεργό Καίσιο-137 παράγεται όταν το Ουράνιο και το Πλουτόνιο απορροφούν νετρόνιο και έπειτα σχάζονται. Ένα από τα προϊόντα της σχάσης είναι το Καίσιο-137. Σε κανονικές συνθήκες είναι υγρό και έχει χρόνο ημιζωής 30 χρόνια. Εκπέμπει σωματίδια β και ακτινοβολία γ.

Μεγάλες ποσότητες Καισίου-137 διασκορπίστηκαν στον πλανήτη κατά τις δεκαετίες του '50 και '60 από τις πυρηνικές δοκιμές στην ατμόσφαιρα. Όμως ένα πολύ μεγάλο μέρος έχει μεταστοιχειωθεί στο μη ραδιενεργό Βάριο-137. Άλλη πηγή αποτελούν τα ραδιενεργά απόβλητα και το ατύχημα στο πυρηνικό σταθμό του Τσερνομπίλ. (<http://www.epa.gov>)

Γ) Στρόντιο-90

Το Στρόντιο (Sr) βρίσκεται ελεύθερο στη φύση. Έχει 16 γνωστά ισότοπα, από τα οποία τέσσερα (Sr-84, -86, -87 και -88) είναι σταθερά, ενώ τα άλλα δώδεκα είναι ραδιενεργά. Το Στρόντιο-90 είναι το πιο σημαντικό από τα ραδιενεργά ισότοπα. Το 1790 οι Adair Crawford και William Cruikshank ανακάλυψαν το φυσικό Στρόντιο στο μετάλλευμα Στροντιανίτης στη Σκωτία. Το μεταλλικό Στρόντιο απομονώθηκε το 1808 από τον Sir Humphry Davy ενώ το ραδιενεργό Στρόντιο-90 ανακαλύφθηκε την

δεκαετία του '40 από πειράματα που είχαν ως στόχο την κατασκευή της ατομικής βόμβας.

Το Στρόντιο-90 είναι ένα παραπροϊόν της σχάσης του Ουρανίου και του Πλουτωνίου στους πυρηνικούς αντιδραστήρες και στις πυρηνικές βόμβες. Εκλύει αποκλειστικά σωματίδια β καθώς μεταστοιχειώνεται σε Ύτριο-90. Ο χρόνος ημιζωής του είναι 29,1 χρόνια. Υψηλές συγκεντρώσεις εντοπίζονται στα ραδιενεργά απόβλητα και από ρύπανση από τις δοκιμές πυρηνικών βομβών.

Από την ποσότητα Στροντίου-90 που ενδέχεται να λάβει ένας άνθρωπος, το 20% με 30% αυτής αποθηκεύεται στα κόκκαλα διότι είναι χημικά παρόμοιο με το Ασβέστιο. Περίπου το 1% περνάει στην κυκλοφορία του αίματος. (<http://www.epa.gov>)

Δ) Ιώδιο-131

Το Ιώδιο (I) είναι ένα αμέταλλο στερεό στοιχείο. Το 1811, ο Bernard Courtois ανακάλυψε το φυσικό Ιώδιο. Το ραδιενεργό ισότοπο Ιώδιο-131 ανακαλύφθηκε από τους Gleen T. Seaborg και John Livingood, στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια Berkeley, στα τέλη της δεκαετίας του '30. Παράγεται από την σχάση των ατόμων Ουρανίου κατά την λειτουργία των πυρηνικών σταθμών και από το Πλουτώνιο (ή Ουράνιο) κατά την έκρηξη ατομικής βόμβας. Το Ιώδιο-131 έχει χρόνο ημιζωής 8 ημέρες και εκπέμπει σωματίδια β.

Από το 1944 και έπειτα, μεγάλες συγκεντρώσεις Ιωδίου-131 έχουν περιοδικά εκλυθεί στην ατμόσφαιρα. Ως αέριο κατά τη λειτουργία σταθμών πυρηνικής ενέργειας (1945-1980), από υπέργειες πυρηνικές δοκιμές (1951-1962), από την παραγωγή του ισότοπου για ιατρική χρήση, από τις ιατρικές χρήσεις του καθώς και από ακούσιες εκπομπές.

Από την ετήσια δόση ραδιενέργειας που δέχεται ένας κάτοικος μίας ανεπτυγμένης χώρας, μόλις το 1% προέρχεται από διαρροές πυρηνικών εργοστασίων. Τυπικά μόλις ένα μικρό ποσοστό από αυτή τη δόση προέρχεται από το Ιώδιο-131 εξ' αιτίας του μικρού χρόνου ημιζωής του. Παρόλα αυτά, σε μία ενδεχόμενη έκρηξη πυρηνικής βόμβας ή ενός ατυχήματος σε πυρηνικό σταθμό, το Ιώδιο-131 που παράγεται ανυψώνεται σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο (συνήθως άνω των 10 χιλιομέτρων) και σταδιακά παρασύρεται από τους ανέμους καταλήγοντας στο έδαφος μέσω του μηχανισμού της ραδιενεργού επίπτωσης.

Σύμφωνα με μία μελέτη του ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) το 1993, η συνολική εκπομπή Ιωδίου-131 παγκοσμίως ισούται με 24.000.000 Ci ή $88.800.000 \times 10^{-10}$ Bq.

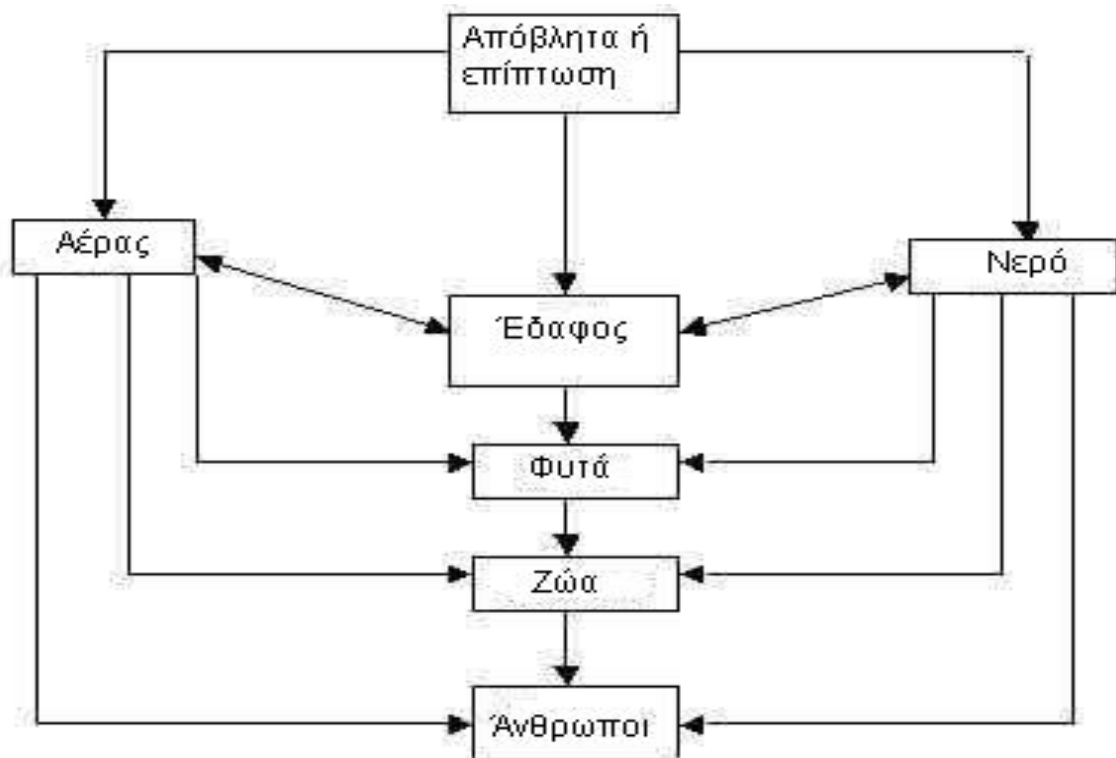
Πίνακας 1: Μεγάλες εκπομπές Ιωδίου-131 παγκοσμίως

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΩΔΙΟΥ- 131	Τοποθεσία	χρονική περίοδος
150.000.000 Ci	Περιοχή δοκιμών Νεβάδας, Νεβάδα	1952–1970
50.000.000 Ci	Τσερνομπίλ, Ουκρανία	1986
740.000 Ci	Hanford Reservation, Ουάσιγκτον	1944–1972
60.000 Ci	Savannah River Site, Νότια Καρολίνα	1955–1990
8.000-42.000 Ci	Oak Ridge National Laboratory, Τεννεσσί	1944–1956
20.000 Ci	Windscale, Ηνωμένο Βασίλειο	1957
15-21 Ci	Three Mile Island, Πενσυλβάνια	1979

Η ποσότητα του Ιωδίου-131 στην οποία ενδέχεται να εκτεθεί ένας άνθρωπος εξαρτάται από:

- Την ποσότητα που εκλύθηκε,
- Την απόσταση ανάμεσα στην τοποθεσία έκλυσης και της κατοικημένης περιοχής,
- Το υψόμετρο που ανυψώθηκε το Ιώδιο-131,
- Τις μετεωρολογικές συνθήκες κατά την έκλυση αλλά και έπειτα.

Η οδός μέσω της οποίας το Ιώδιο-131 καταλήγει στον άνθρωπο είναι η εξής: Το Ιώδιο-131 εναποτίθεται στο γρασίδι και στα φυτά. Χορτοφάγα ζώα (αγελάδες, κατσίκες κ.ά.) καταναλώνουν το γρασίδι και το Ιώδιο-131 συγκεντρώνεται στο γάλα και στα άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα (τυριά, γιαούρτια) που καταναλώνονται από τον άνθρωπο. (<http://www.epa.gov>)



Σχήμα 1: Η πορεία του Ιωδίου-131 από το περιβάλλον στον άνθρωπο

4.2 Επιπτώσεις στον Άνθρωπο

4.2.1 Επίπεδα ακτινοβολίας

Οι σημαντικότερες, φυσικής προέλευσης, πηγές ακτινοβολίας είναι οι κοσμικές ακτίνες, οι ραδιενεργοί πυρήνες που υπάρχουν στη χημεία του σώματος και τα ραδιενεργά στοιχεία που υπάρχουν στα πετρώματα και στο έδαφος.

Οι κοσμικές ακτίνες, που δημιουργούν σωματίδια καθώς αλληλεπιδρούν με την ατμόσφαιρα, προσφέρουν ολόσωμη δόση $0,25 \text{ mSv.y}^{-1}$ στο επίπεδο της θάλασσας. Η δόση εξαρτάται από το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος. Σε υψόμετρο 4000m η δόση θα είναι περίπου 2 mSv.y^{-1} .

Όπως αναφέρθηκε, μέσα στο ανθρώπινο σώμα υπάρχουν ραδιενεργοί πυρήνες που συνεισφέρουν στη δόση που δέχεται ο άνθρωπος. Ο σημαντικότερος πυρήνας είναι το κάλιο-40, που αποτελεί το 0,2% περίπου του συνολικού βάρους του σώματος και προσφέρει $0,2 \text{ mSv.y}^{-1}$.

Τα ραδιενεργά στοιχεία που υπάρχουν στα πετρώματα και στο έδαφος, συνεισφέρουν, μέσω ακτινοβολίας γ , με $0,2 \text{ mSv.y}^{-1}$ και $0,4 \text{ mSv.y}^{-1}$. Παρόλα αυτά, οι τιμές αυτές εξαρτώνται από την τοπική γεωλογία και διαφέρουν από τόπο σε τόπο. Μεγαλύτερος κίνδυνος όμως υπάρχει με την εισπνοή των ισοτόπων Rn-222 και Rn-220 του αερίου ραδονίου, που έχουν την τάση να συγκεντρώνονται σε εσωτερικούς χώρους. Η μέση τιμή της ολόσωμης ισοδύναμης δόσης είναι περίπου 1 mSv.y^{-1} , αλλά εξαρτάται από τα οικοδομικά υλικά και την κατασκευή, το υπέδαφος και τον εξαερισμό.

Εκτός από τις φυσικές πηγές ακτινοβολίας, ο άνθρωπος του 20^ο αιώνα εκτίθεται και σε τεχνητές πηγές. Οι ιατρικές χρήσεις της ραδιενέργειας και των ακτίνων X, στο Ηνωμένο Βασίλειο, έχει εκτιμηθεί ότι ισοδυναμούν με $0,5 \text{ mSv.y}^{-1}$ κατά μέσο όρο. Η μέση δόση που οφείλεται στο fallout από τις δοκιμές πυρηνικών όπλων στην ατμόσφαιρα έχει υπολογιστεί σε $0,01 \text{ mSv.y}^{-1}$. (W. N. Cottingham, D. A. Greenwood, 1996)

4.2.2 Βιολογικά φαινόμενα κατά την έκθεση σε ακτινοβολία.

4.2.2.1 Εισαγωγή

Η έκθεση ενός κυττάρου σε ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει, είτε το θάνατό του, είτε την μετάλλαξή του, η οποία μπορεί να είναι μόνιμη ή προσωρινή. Κυτταρική βλάβη μπορεί να παρουσιαστεί στην παραγωγή μίας συγκεκριμένης ορμόνης, ή ενός ενζύμου. Το κύτταρο μπορεί να πολλαπλασιάζεται φυσιολογικά αλλά η βλάβη παρουσιάζεται και στα θυγατρικά κύτταρα με αποτέλεσμα χρόνιες παθήσεις. Μία άλλη σοβαρή συνέπεια των ιοντίζουσων ακτινοβολιών είναι η καταστροφή του μηχανισμού που είναι υπεύθυνος για την παύση του διπλασιασμού των κυττάρων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα κύτταρα να διπλασιάζονται ασταμάτητα δημιουργώντας όγκους, είτε καλοήθεις, είτε κακοήθεις.

Βλάβες στα κύτταρα παρουσιάζονται και με έμμεσο τρόπο, μέσω ενός φαινομένου που ονομάζεται ιονισμός, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1. Καθώς φωτόνια υψηλής ενέργειας, ή σωματίδια διαπερνούν ένα κύτταρο, παρέχουν ενέργεια σε ηλεκτρόνια ατόμων που βρίσκονται εντός του κυττάρου με αποτέλεσμα να

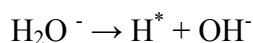
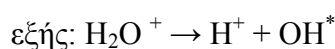
λαμβάνει χώρα ιονισμός. Έτσι το ηλεκτρικά ουδέτερο άτομο ή μόριο παραχωρεί την θέση του σε ένα θετικό ιόν και ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο.

Ταυτόχρονα έχουμε την παραγωγή ελευθέρων ριζών. Η ελεύθερη ρίζα είναι ένα άτομο ή μόριο με ένα μονήρες ηλεκτρόνιο. Υπάρχει μία ισχυρή τάση σε αυτό το ηλεκτρόνιο είτε να σχηματίσει ζεύγος με άλλη ρίζα, είτε να προσφέρει το ηλεκτρόνιο.

Το μεγαλύτερο μέρος του φαινομένου του ιονισμού συμβαίνει στο νερό καθώς αυτό αποτελεί περίπου το 80% του ανθρωπίνου σώματος. Ο ιονισμός του μορίου του νερού παράγει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και ένα θετικά φορτισμένο μόριο: $\text{H}_2\text{O} + \text{ακτινοβολία} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$

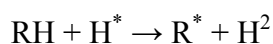
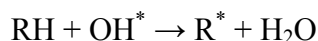
Το ελεύθερο ηλεκτρόνιο είναι πολύ πιθανό να προσληφθεί από ένα άλλο μόριο νερού μετατρέποντας το σε αρνητικό ιόν: $\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^-$

Και τα δύο ιόντα που προέκυψαν είναι ασταθή και τελικά διασπώνται ως



σχηματίζοντας ελεύθερες ρίζες OH^* και H^* .

Οι ελεύθερες ρίζες, στη συνέχεια, αφαιρώντας υδρογόνο από οργανικές ενώσεις (RH), σχηματίζουν οργανικές ελεύθερες ρίζες (R^*):



Οι οργανικές ελεύθερες ρίζες αντιδρούν με άλλα μόρια τα οποία μπορεί να αποτελούν μέρος ενός σύνθετου βιολογικού συστήματος, όπως ενός χρωμοσώματος. Αυτή η αντίδραση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα το σύστημα να υποστεί βλάβη, οδηγώντας μοιραία το κύτταρο στο θάνατο του. Διαφορετικά υπάρχει η πιθανότητα η βλάβη αυτή να μην είναι μοιραία αλλά να προκαλέσει αλλαγή στις γενετικές πληροφορίες που μεταβιβάζονται από γενιά σε γενιά (εάν η μετάλλαξη συμβεί στα γαμετικά κύτταρα), προκαλώντας έτσι μία γενετική μετάλλαξη. (Μανιάτης, 1993)

A) Πρώτες επιπτώσεις

Οι πρώτες επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό από την έκθεση του σε ραδιενέργεια, περιλαμβάνουν ραδιενεργά σύνδρομα και εκδηλώνονται εντός μερικών εβδομάδων. Πληροφορίες για αυτά τα σύνδρομα έχουν συλλεγεί από περίπου 100.000 επιζώντες του πληθυσμού που επλήγη από τις ατομικές βόμβες που ρίχτηκαν στην Χιροσίμα και στο Ναγκατσάκι της Ιαπωνίας. Η πτώση των μαλλιών, ο εμετός,

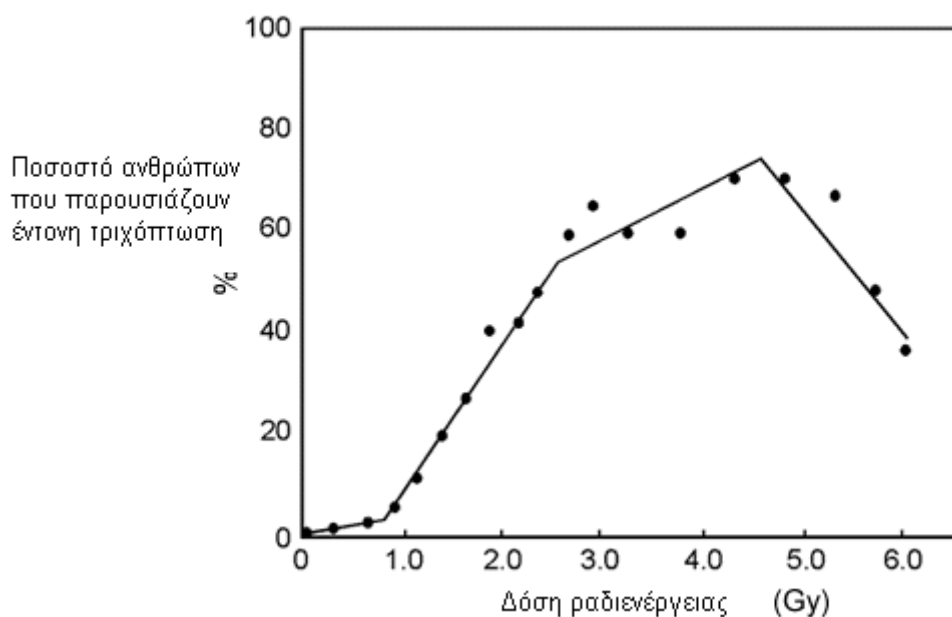
αιμορραγίες των ούλων καθώς και η διάρροια ήταν οι πιο έντονες και εμφανείς ενδείξεις των συνδρόμων.

Ι) Σύνδρομο οξείας ακτινοβόλησης

Τα συμπτώματα που παρατηρούνται εντός μερικών μηνών από την έκθεση σε ραδιενέργεια ονομάζονται συγκεντρωτικά "Σύνδρομο οξείας ακτινοβόλησης" (acute radiation syndrome). Το "Σύνδρομο οξείας ακτινοβόλησης" αποτελείται από τρία επιμέρους σύνδρομα: α) Το Σύνδρομο του Νευρικού Συστήματος, β) το Γαστρεντερικό Σύνδρομο και γ) το Σύνδρομο του Αιμοποιητικού Συστήματος. Ανάμεσα στα συμπτώματα του συνδρόμου είναι ο εμετός, η διάρροια, η ελάττωση του αριθμού των κυττάρων του αίματος, οι αιμορραγίες, η τριχόπτωση, η προσωρινή στείρωση των αρρένων και ο καταρράκτης των ματιών.

Ο εμετός είναι το πρώτο σύμπτωμα που παρατηρείται, εντός λίγων ωρών από την έκθεση, αλλά η αιτία ακόμα παραμένει άγνωστη. Η διάρροια οφείλεται στη βλάβη των κυττάρων του επιθηλίου του εντέρου. Η μείωση του αριθμού των κυττάρων του αίματος οφείλεται στον θάνατο των αιμοποιητικών κυττάρων που εντοπίζονται στο μυελό των οστών. Απόρροια αυτού του γεγονότος είναι και οι αιμορραγίες, καθώς ο αριθμός των αιμοπεταλίων δεν επαρκεί για να πήξει το αίμα. Η τριχόπτωση είναι αποτέλεσμα της καταστροφής των ριζών των μαλλιών. Η στείρωση δημιουργείται από την βλάβη στα αναπαραγωγικά κύτταρα των αρρένων και ο καταρράκτης των ματιών είναι αποτέλεσμα της βλάβης των κυττάρων του πρόσθιου φακού των οφθαλμών.

Αυτά τα συμπτώματα, εκτός του εμετού, είναι στενά συνδεδεμένα με την κυτταρική διαίρεση διότι τα κύτταρα του μυελού των οστών και του επιθηλίου διαιρούνται συνεχώς και έτσι είναι περισσότερα ευαίσθητα στην ραδιενέργεια σε σχέση με άλλα κύτταρα, όπως τα μυϊκά και τα νευρικά. Η εμφάνιση αυτών των συμπτωμάτων έχει άμεση σχέση με την δόση που έχει λάβει ο οργανισμός. Ένα άτομο μπορεί να πεθάνει λόγω βλάβης του μυελού των οστών μέσα σε ένα ή δύο μήνες έπειτα από έκθεση σε υψηλή δόση ραδιενέργειας. Ανάλογα, αν η δόση είναι εξαιρετικά υψηλή, ένα άτομο μπορεί να οδηγηθεί στον θάνατο λόγω βλάβης του επιθηλίου του εντέρου, έπειτα από δέκα με είκοσι μέρες. (<http://www.refr.or.jp>)



Σχήμα 2: Σχέση ανθρώπων με έντονη τριχόπτωση και της δόσης ραδιενέργειας

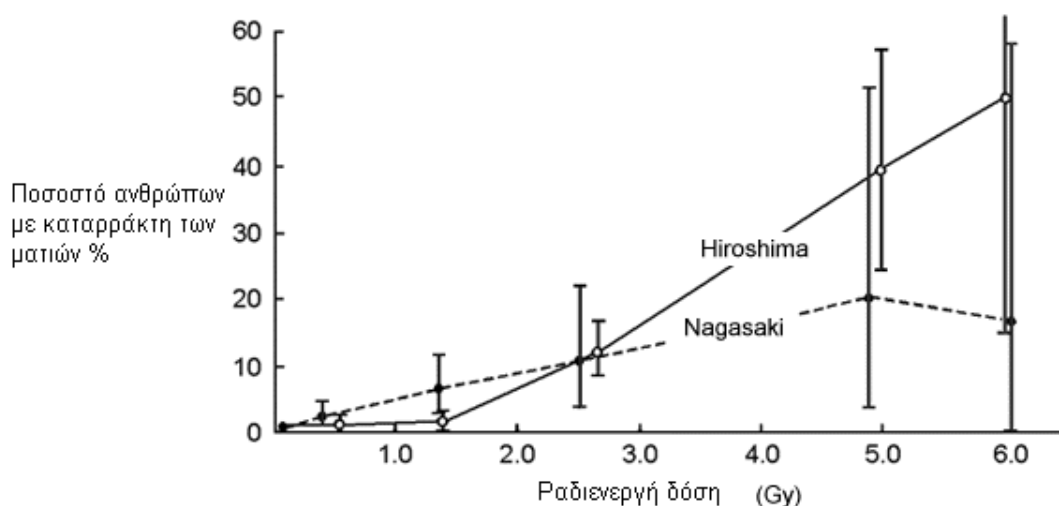
Πηγή: www.refr.or.jp/

Το Σχήμα 2 δείχνει την σχέση ανάμεσα στην αναλογία των ανθρώπων που παρουσιάζουν έντονη τριχόπτωση (πτώση άνω των 2/3 του τριχωτού της κεφαλής) και της υπολογισμένης δόσης ραδιενέργειας. Παρόλο που το ποσοστό είναι μικρό για δόσεις έως 1 Gy (η μονάδα ορίζεται στο παράρτημα), η αναλογία των ανθρώπων με έντονη τριχόπτωση αυξάνεται δραματικά για δόσεις άνω του 1 Gy. Το ποσοστό δείχνει να μειώνεται πάνω από τα 5 Gy λόγω της πολύ υψηλής δόσης. Συγκεκριμένα πολύ λίγοι άνθρωποι επιζούν μετά από έκθεση σε 5 Gy και άνω. Η δόση της ραδιενέργειας υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση από το επίκεντρο της έκρηξης της ατομικής βόμβας, την δομή των κτιρίων και άλλες πληροφορίες.

II) Ραδιενεργός καταρράκτης

Ο ραδιενεργός καταρράκτης προκαλεί μερική σκοτεινότητα (θολούρα) στο φακό του ματιού. Τα συμπτώματα συνήθως παρατηρούνται με αρκετούς μήνες καθυστέρηση (κατά μέσο όρο γύρω στα δύο με τρία χρόνια) έπειτα από την έκθεση σε ραδιενέργεια. Σε αντίθεση με τον γεροντικό καταρράκτη, η οπτική βλάβη δεν είναι συχνή. (<http://www.refr.or.jp>)

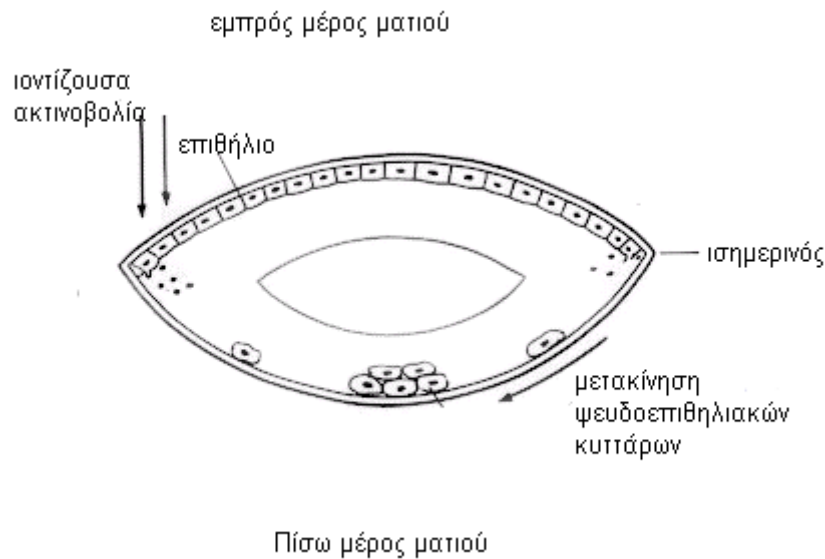
Το Σχήμα 3 παρουσιάζει την σχέση ανάμεσα στην ραδιενεργή δόση και την συχνότητα των ανθρώπων με θαμπάδα ανάμεσα στους επιζώντες της Χιροσίμα και του Ναγκασάκι.



Σχήμα 3: Σχέση ανθρώπων με καταρράκτη στα μάτια και της δόσης ραδιενέργειας

Πηγή: www.refr.or.jp/

Το Σχήμα 4 περιγράφει πώς προκαλείται ο ραδιενεργός καταρράκτης. Υπάρχει ένα διαφανές στρώμα από επιθηλιακά κύτταρα στη μετωπική εσωτερική πλευρά της κάψουλας που καλύπτει τους φακούς. Αυτό το στρώμα διατηρεί την λειτουργία των φακών καθώς αναπτύσσεται προς το κέντρο των φακών. Αυτό επιτυγχάνεται με κυτταρική διαίρεση στην περιφέρεια (ισημερινό) των φακών. Επειδή η ραδιενέργεια είναι εξαιρετικά επιβλαβής για τα διαιρούμενα κύτταρα, τα κύτταρα στον ισημερινό είναι επιρρεπή σε βλάβη. Για άγνωστους μέχρι τώρα λόγους, τα κύτταρα που έχουν υποστεί βλάβη μετακινούνται προς το πίσω μέρος των φακών πριν κινηθούν προς το κέντρο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα κύτταρα να εμποδίζουν το φως να ταξιδεύει ευθύγραμμα και να προκαλείται θαμπάδα.



Σχήμα 4: Σχηματική παρουσίαση του οφθαλμού

Πηγή: www.refr.or.jp/

III) Θάνατος από ραδιενέργεια

Η πιθανότητα άμεσου θανάτου από έκθεση σε ραδιενέργεια εξαρτάται από την δόση, αλλά η σχέση δεν είναι ευθέως ανάλογη και δεν είναι δυνατό να περιγραφεί η πιθανότητα σαν μία απλή τιμή. Ένας συχνά χρησιμοποιούμενος δείκτης είναι η δόση στην οποία το 50% του πληθυσμού πεθαίνει από ραδιενέργεια (LD50. Στο "Σύνδρομο οξείας ακτινοβόλησης" η υπερθανατηφόρα δόση που οδηγεί σε θάνατο μέσα σε 2 εβδομάδες είναι περίπου τα 10 Gy, η μέση θανατηφόρα δόση είναι τα 5 Gy και οδηγεί το 50% των θυμάτων σε θάνατο, πιθανόν σε 2 μήνες. Σαν υποθανατηφόρα δόση ορίζονται τα 2 Gy όπου δεν παρουσιάζονται θάνατοι και η ανάκτηση δυνάμεων αρχίζει από την τρίτη εβδομάδα. Σε περίπτωση δόσης LD50, η κύρια αιτία του θανάτου είναι ο διαχωρισμός των αιμοπεταλίων, λόγω της βλάβης του μυελού των οστών, με αποτέλεσμα την σηψαιμία. (<http://www.refr.or.jp>)

B) Απώτερες επιπτώσεις

I) Καλοήθεις όγκοι

Είναι γενικά γνωστό ότι η έκθεση σε ραδιενέργεια αυξάνει την συχνότητα εμφάνισης κακοηθών όγκων σε πολλά όργανα του οργανισμού. Παρόλα αυτά, λίγες πληροφορίες είναι γνωστές σχετικά με την σχέση ραδιενέργειας και καλοηθών

όγκων. Μία αιτία είναι ίσως το γεγονός ότι αυτοί οι όγκοι είναι σπάνια θανάσιμοι και τα συμπτώματά τους είναι σχετικά ήπια, έτσι είναι δύσκολο να εντοπιστούν.

α) Καλοήθης όγκος του παραθυρεοειδούς αδένου

Ο υπερπαραθυρεοειδισμός είναι μία δυσλειτουργία του μεταβολισμού του ασβεστίου που συμβαίνει λόγω αυξημένης έκκρισης της παραθυρεοειδικής ορμόνης. Η πάθηση εντοπίζεται συνήθως με εξετάσεις αίματος - ασβεστίου. Οι περισσότεροι ασθενείς εμφανίζουν μόνο ήπια συμπτώματα όπως χαμηλή δραστηριότητα και κούραση, ελάχιστοι ασθενείς παρουσιάζουν πέτρες στα νεφρά και πόνους στα κόκαλα. Περίπου το 85 % των ασθενών με παραθυρεοειδισμό έχουν καλοήθες παραθυρεοειδικό αδένωμα, 15 % έχουν υπερπλαστικούς παραθυρεοειδικούς αδένες και σπάνια μερικοί έχουν καρκίνο στον αδένου.

Το 1992 εντοπίστηκε για πρώτη φορά μία θετική σχέση ανάμεσα στην ραδιενέργεια και στην ανάπτυξη υπερπαραθυρεοειδισμού. Συγκεκριμένα η εμφάνιση αυτής της πάθησης σε άτομα που εκτέθηκαν σε ραδιενέργεια 1 Gy, από τις πυρηνικές εκρήξεις στη Χιροσίμα και Ναγκασάκι, είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη από εκείνους που δεν εκτέθηκαν. Επίσης υπάρχει σχέση και ανάμεσα στην ηλικία. Η εμφάνιση καλοήθων όγκων αυξήθηκε κατά 11 φορές για δόση 1 Gy σε παιδιά 5 ετών, σε σχέση με παιδιά ίδιας ηλικίας που δεν εκτέθηκαν σε ραδιενέργεια. (<http://www.refr.or.jp>)

II) Λευχαιμία

Η πρώτη από τις καθυστερημένες επιδράσεις, στα θύματα των βομβαρδισμών της Χιροσίμα και Ναγκασάκι στην Ιαπωνία, αφορούσε το αυξημένο ποσοστό εμφάνισης λευχαιμίας. Σήμερα, περίπου 50 χρόνια μετά τους βομβαρδισμούς, ο θάνατος από λευχαιμία είναι το πιο κύριο σύμπτωμα των επιζώντων.

Ο Ιάπωνας φυσικός Takuso Yamawaki στα τέλη της δεκαετίας του '40 παρατήρησε μία αύξηση στον αριθμό των περιπτώσεων λευχαιμίας. Αυτές οι παρατηρήσεις οδήγησαν στην δημιουργία αρχείου για αυτές και παρόμοιες περιπτώσεις. Σε αντίθεση με άλλους τύπους καρκίνου, η εμφάνιση λευχαιμίας ανά ποσό δόσης δεν φαίνεται να είναι γραμμική. Δηλαδή δεν παρατηρείται ευθέως ανάλογη σχέση ανάμεσα στην εμφάνιση λευχαιμίας και στο μέγεθος της δόσης ραδιενέργειας. (<http://www.refr.or.jp>)

Ο παρακάτω Πίνακας συνοψίζει το κίνδυνο θανάτου από λευχαιμία ανάμεσα στους επιζώντες από τους βομβαρδισμούς.

Πίνακας 1: Κίνδυνος θανάτου από λευχαιμία

ΕΥΡΟΣ ΔΟΣΗΣ	Αριθμός θανάτων από λευχαιμία	Αναμενόμενοι θάνατοι επιζώντων από λευχαιμία
0,005 – 0,2 Sv	70	10
0,2 – 0,5 Sv	27	13
0,5 – 1 Sv	23	17
>1 Sv	56	47
Σύνολο	176	87

Πηγή: www.refr.or.jp/

III) Μεταλλάξεις στα χρωμοσώματα

Όλες οι μεταλλαγές σχετίζονται με αλλαγές στο DNA των χρωμοσωμάτων των ευκαρυωτικών οργανισμών, ή του αντίστοιχου χρωμοσώματος των προκαρυωτικών οργανισμών.

Με βάση την έκταση της αλλαγής του γενετικού υλικού διακρίνουμε τρία βασικά είδη μεταλλαγών: α) τις σημειακές μεταλλαγές, που αφορούν αλλαγή σε ένα ή λίγα νουκλεοτίδια του DNA, β) τις χρωμοσωμικές μεταλλαγές, που αφορούν ανακατάταξη, απώλεια ή διπλασιασμό ολόκληρων τμημάτων των χρωμοσωμάτων και γ) τις μεταλλαγές γονιδιώματος, που σχετίζονται με αλλαγές στο βασικό αριθμό των χρωμοσωμάτων του είδους.

Μεταλλαγές μπορεί να δημιουργηθούν είτε από μόνες τους (π.χ. λάθη κατά την αντιγραφή του DNA) και ονομάζονται αυτόματες, είτε με την επίδραση μεταλλαξογόνων. Μεταλλαξογόνα ονομάζονται διάφοροι παράγοντες που προκαλούν μεταλλαγή και διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: α) στις ακτινοβολίες και β) στα χημικά μεταλλαξογόνα. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα υψηλής ενέργειας (όπως ακτινοβολίες X και γ) καθώς επίσης και τα σωματίδια α και β. Η υπεριώδης ακτινοβολία, όπως αυτή του ηλίου, αν και λιγότερη ισχυρή από τις X και γ, αποτελεί σημαντική πηγή μεταλλαγών. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν χημικές ουσίες, με κάποιες από τις οποίες μπορεί να

βρισκόμαστε σε καθημερινή επαφή. Μερικά από τα κοινά πρόσθετα των τροφίμων μπορεί να μετατραπούν σε μεταλλαξογόνα. (<http://www.refr.or.jp>)

α) Σημειακές μεταλλαγές

Κάθε μορφή ζωής στη γή έχει διαφορετική σειρά οδηγιών ανάπτυξης και διαφοροποίησης γραμμένη στη ίδια γλώσσα, στη γλώσσα του DNA. Η σειρά οδηγιών δίνεται μέσω των νουκλεοτιδίων του DNA που ελέγχουν την παραγωγή των πρωτεϊνών και ενζύμων και γενικά την έκφραση της κληρονομικότητας. Ως σημειακή μεταλλαγή νοείται κάθε μεταβολή της φυσιολογικής σειράς των βάσεων των νουκλεοτιδίων ενός γονιδίου DNA. Ένα γονίδιο αποτελείται από περίπου 1000 νουκλεοτίδια. Συνήθως κάθε μετάλλαξη των γονιδίων θεωρείται καταστρεπτική ή θανατηφόρα, διότι μεταβάλλει την φυσιολογική δομή και λειτουργική συμπεριφορά του κυττάρου. Η γονιδιακή μετάλλαξη δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα αλλά μόνο με έμμεσο τρόπο, από την σωματική εκδήλωση του φαινοτύπου ή γονότυπου του οργανισμού. Η μεταλλαξιογόνος δράση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι γνωστή από το 1927. (<http://www.refr.or.jp>)

β) Χρωμοσωμικές μεταλλαγές

Κάθε μεταλλαξογόνο μπορεί να προκαλέσει τυχαίες αλλαγές στο DNA, που ονομάζονται αρχικές βλάβες. Υπάρχουν διάφορες μορφές αρχικών βλαβών, ανάλογα με το είδος του μεταλλαξογόνου. Μία από τις πιο κοινές μορφές αρχικών βλαβών είναι οι θραύσεις στην μία ή και στις δύο αλυσίδες του DNA και εμφανίζονται κυρίως σε DNA που εξετέθη σε ακτινοβολία X ή σε άλλη υψηλής ενέργειας ακτινοβολία. Θραύσεις στη μία αλυσίδα επηρεάζουν τον διπλασιασμό ή τη μεταγραφή του DNA, ενώ θραύσεις και στις δύο αλυσίδες μπορεί να προκαλέσουν και χρωμοσωμικές ανωμαλίες.

Όταν τα χρωμοσώματα εκτίθενται σε ραδιενέργεια ή σε άλλες καρκινογόνες ουσίες, κομματιάζονται και είτε παραμένουν κομματιασμένα είτε επανασυγκολώνονται, αλλά όχι με σωστό τρόπο

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει χρωμοσώματα που παρατηρούνται κατά την κυτταρική διαίρεση. Το ανώτερο μέρος του σχήματος δείχνει την πραγματική εικόνα από μικροσκόπιο. Το κατώτερο μέρος δείχνει τα χρωμοσώματα τοποθετημένα κατά μέγεθος. Τα βέλη δείχνουν τα μεταλλαγμένα χρωμοσώματα.



Σχήμα 5: Χρωμοσωμικές ανωμαλίες

πηγή: www.refr.or.jp/

γ) Μεταλλαγές γονιδιώματος

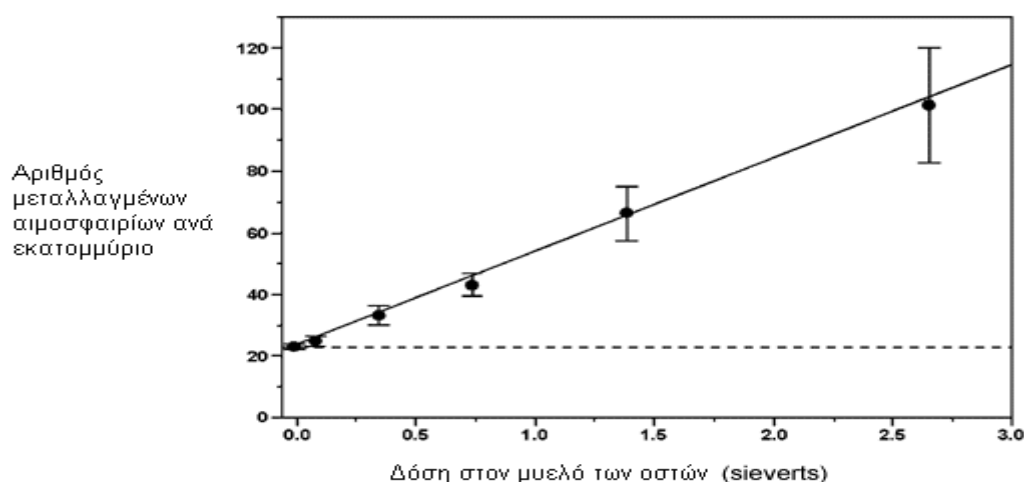
Οι αριθμητικές μεταλλαγές του γονιδιώματος είναι ορατές, ποσοτικές μεταβολές του σταθερού αριθμού χρωμοσωμάτων ανά κύτταρο, ο οποίος είναι χαρακτηριστικός για το κάθε είδος οργανισμού. Η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να δημιουργήσει α) πολλαπλοειδία, όπου ένα σωματικό κύτταρο ανθρώπου έχει 96 ή 184 χρωμοσώματα (έναντι του σταθερού αριθμού 46), γεγονός που δημιουργεί γιγαντοκύτταρα από ατελή κυτταρική διαίρεση. β) ανευπλοειδία, όπως η τρισωμία (σωματικά κύτταρα με 47 χρωμοσώματα) και γ) μωσαϊκισμό, που αφορά αριθμητικές μεταβολές φυλετικών χρωμοσωμάτων ή συνύπαρξη αυτοσωμικών αριθμητικών μεταβολών (τρисωμία και μονοσωμία) στον ίδιο οργανισμό, σε διαφορετικά κύτταρα. (<http://www.refr.or.jp>)

IV) Μεταλλάξεις στα ερυθροκύτταρα

Οι μεταλλαγές στα χρωμοσώματα οδηγούν σε δυσλειτουργία του μηχανισμού παραγωγής πρωτεϊνών. Η επιστήμη της μοριακής βιολογίας χρησιμοποιείται για να μελετήσει τις βλάβες στα ερυθροκύτταρα και στα λευκά αιμοσφαίρια από την ραδιενέργεια.

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την σχέση ανάμεσα στην ραδιενεργή δόση και στην συχνότητα μετάλλαξης του γονιδίου που παράγει μία πρωτεΐνη που ονομάζεται ερυθροκυτταρική γλυκοφορίνη Α (erythrocyte glycoporphin A). Σε άτομα που δεν έχουν εκτεθεί σε ραδιενέργεια, τα μεταλλαγμένα κύτταρα που έχουν έλλειψη αυτής της πρωτεΐνης εντοπίζονται σε συχνότητες των 20 ανά 1.000.000 ερυθρών αιμοσφαιρίων. Ανάμεσα στα άτομα που έχουν εκτεθεί στους βομβαρδισμούς τη Χιροσίμα και Ναγκασάκι, η συχνότητα μετάλλαξης αυξάνει με την δόση.

Αν λάβουμε υπόψη ότι η υπολογίσιμη διάρκεια ζωής των ερυθροκυττάρων στο ανθρώπινο σώμα είναι περίπου 120 μέρες, είναι εκπληκτικό το γεγονός ότι ακόμα και 50 χρόνια μετά εντοπίζονται μεταλλάξεις στα θύματα. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μεταλλάξεις παραμένουν στα γονίδια του μυελού των οστών που παράγουν ερυθρά αιμοσφαίρια καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του ανθρώπου. (<http://www.refr.or.jp>)



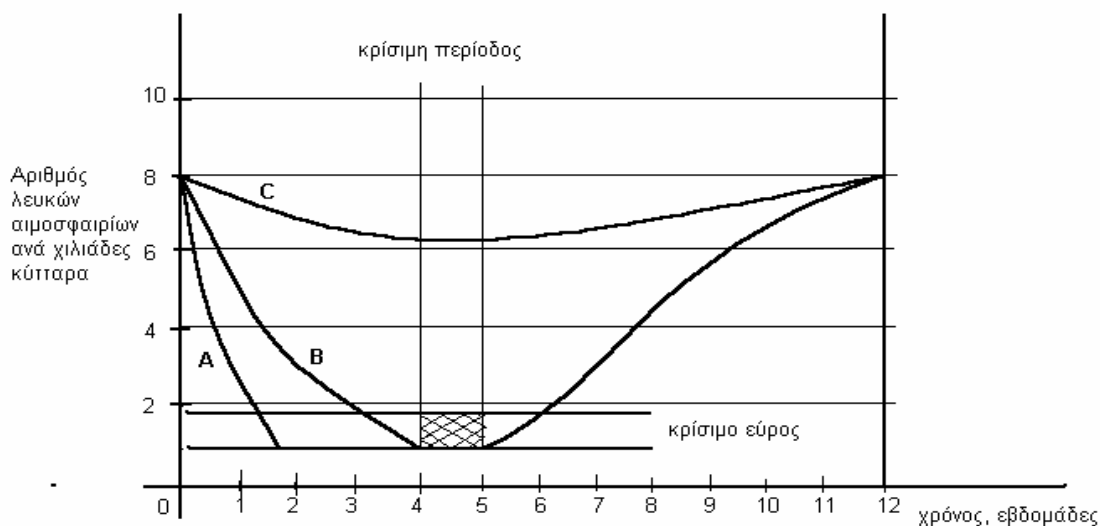
Σχήμα 6: Σχέση ανάμεσα στην ραδιενεργή δόση και στην συχνότητα μετάλλαξης

Πηγή: www.refr.or.jp/

V) Μεταλλάξεις στα λευκά αιμοσφαίρια

Εξετάζοντας τον αριθμό των λευκών αιμοσφαιρίων έπειτα από έκθεση σε ραδιενέργεια, σύμφωνα με δεδομένα από τη Χιροσίμα και το Ναγκασάκι φαίνεται ότι

υπάρχει μία κρίσιμη τιμή (ή εύρος) του αριθμού και επίσης ένα κρίσιμο χρονικό διάστημα το οποίο φαίνεται να είναι πολύ σταθερό.



Σχήμα 7: Σχέση λευκών αιμοσφαιρίων και ραδιενέργειας

Το Σχήμα δείχνει τις τυπικές αντιδράσεις των λευκών αιμοσφαιρίων στον άνθρωπο για τρία επίπεδα έκθεσης σε ραδιενέργεια.

Η περίπτωση A αντιπροσωπεύει τα θύματα που έλαβαν πολύ μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας. Ο αριθμός των λευκών αιμοσφαιρίων πέφτει πολύ απότομα με αποτέλεσμα το θάνατο. Ο αριθμός των αιμοσφαιρίων που πάρθηκε μετά το θάνατο από τα θύματα ήταν πολύ κάτω από 1500 κύτταρα / mm^3

Η περίπτωση B παρουσιάζει τα θύματα που δέχτηκαν μέτρια δόση. Ο αριθμός των λευκών αιμοσφαιρίων φτάνει το ελάχιστο όριο, γενικά κάτω από 1500, σε περίπου 28 με 35 μέρες. Αν ο αριθμός πέσει κάτω από 500 κύτταρα / mm^3 , η επιβίωση είναι εξαιρετικά αμφίβολη, αλλά αν κυμαίνεται μεταξύ 500 και 1500 και αρχίζει να αυξάνεται πάνω από αυτό το επίπεδο, στο τέλος της πέμπτης εβδομάδας υπάρχει μία εξαιρετική πιθανότητα για πλήρη ανάρρωση.

Η περίπτωση C αντιπροσωπεύει τα θύματα που δέχτηκαν μικρές δόσεις ραδιενέργειας. Ο αριθμός των λευκών αιμοσφαιρίων φτάνει στην ελάχιστή του τιμή

περίπου την ίδια χρονική περίοδο με την περίπτωση B αλλά αυτή η ελάχιστη τιμή είναι πολύ πάνω από το επίπεδο των 1500 κυττάρων / mm³. (<http://www.refr.or.jp>)

5.1 Ακτινοβολία γ σε αστικές περιοχές της Ελλάδας.

Σύμφωνα με μία έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί από τους Α. Clouvas, S.Xanthos και Μ. Antonopoulos-Domis του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, μετρήθηκε η ακτινοβολία γ σε 41 αστικά κέντρα της ελληνικής ενδοχώρας, με ένα φορητό ανιχνευτή Ge.



Σχήμα 1: Κωδικός αριθμός και τοποθεσία των 41 αστικών κέντρων.

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις 41 πόλεις, τον πληθυσμό τους και τον αριθμό των μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά των κτιρίων.

Πίνακας 1: Πόλεις και αριθμός μετρήσεων

No	Πόλη	Πληθυσμός	Αριθμός εσωτερικών μετρήσεων	Αριθμός εξωτερικών μετρήσεων
1	Αθήνα	3077846	157	45
2	Θεσσαλονίκη	945189	225	78
3	Πάτρα	152570	9	4
4	Λάρισα	112777	23	7
5	Βόλος	77192	15	15
6	Ιωάννινα	56699	4	3
7	Καβάλα	56571	10	7
8	Σέρρες	49380	17	7
9	Τρίκαλα	44232	7	4
10	Ώαμια	44084	10	8
11	Καλαμάτα	43625	3	3
12	Κατερίνη	43613	9	4
13	Βέροια	37858	17	5
14	Δράμα	37604	13	7
15	Κομοτηνή	37036	6	7
16	Αλεξανδρούπολη	36994	9	6
17	Ξάνθη	34889	11	8
18	Κοζάνη	31553	10	4
19	Καρδίτσα	30067	12	5
20	Πύργος	28465	9	5
21	Κόρινθος	27412	4	4
22	Πτολεμαΐδα	25125	5	4
23	Γιαννιτσά	22504	8	7
24	Τρίπολη	22429	3	2
25	Νάουσα	19794	15	3
26	Άρτα	19087	4	3
27	Λιβαδιά	18437	8	5
28	Έδεσσα	17128	10	8
29	Καστοριά	14775	12	6
30	Πρέβεζα	13341	8	5
31	Σπάρτη	13011	10	7
32	Ορεστιάδα	12691	7	6
33	Φλώρινα	12355	11	7
34	Κίρκις	12139	10	3
35	Ναύπλιο	11897	8	3
36	Μεσολόγγι	10916	8	5
37	Γρεβενά	9345	9	6
38	Άμφισσα	7189	8	5
39	Ηγουμενίτσα	6807	3	3
40	Καρπενήσι	5868	9	5
41	Πολύγυρος	4501	6	3

Οι μέσες τιμές των μετρήσεων της ακτινοβολίας γ στον αέρα τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά, όπως επίσης και το σύνολο τους αλλά και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές για κάθε μία από τα 41 αστικά κέντρα, παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Τα πρώτα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από αυτό το πίνακα είναι:

1. Η συνολική μέση απορροφούμενη δόση ακτινοβολίας γ , τόσο εξωτερικά των σπιτιών όσο και εσωτερικά, κυμαίνεται από 17 έως 88 nGy h⁻¹ και 20 έως 101 nGy h⁻¹ αντίστοιχα. Οι πόλεις με σχετικά υψηλές τιμές απορροφούμενης δόσης εντοπίζονται στην Βόρειο Ελλάδα. Στον αντίποδα, στην Νότια Ελλάδα και συγκεκριμένα στην Αθήνα και στα προάστια της, η τιμές είναι 22 και 24 nGy h⁻¹, δηλαδή από τις μικρότερες που έχουν μετρηθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με το UNSCEAR η μέση δόση σε παγκόσμιο επίπεδο για την

ακτινοβολία γ είναι εσωτερικά και εξωτερικά των σπιτιών, 57 nGy h^{-1} και 80 nGy h^{-1} αντίστοιχα.

2. Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές απορροφούμενης δόσης εσωτερικά και εξωτερικά των σπιτιών, στις διάφορες πόλεις, διαπιστώνουμε ότι η απορροφούμενη δόση στο εσωτερικό των κατοικιών είναι σχεδόν πάντα υψηλότερη από ότι εξωτερικά των κατοικιών. Αυτό συμβαίνει λόγω των δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται και τα οποία αποτελούν πηγές ακτινοβολίας γ .
3. Η ακτινοβολία γ που εντοπίζεται στον αέρα, εσωτερικά και εξωτερικά των κατοικιών, προέρχεται από φυσικές πηγές. Η συνεισφορά Cs-137 στο εσωτερικό των σπιτιών, από το ατύχημα του Τσερνομπίλ, είναι αμελητέα και πάντα μικρότερη του 1%. Αντίθετα η συνεισφορά του Cs-137 στην συνολική απορροφούμενη δόση στο εξωτερικό των κατοικιών είναι μικρή (λιγότερο από 24%) αλλά όχι αμελητέα.

Μετρήσεις στην Αθήνα

Στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών, πραγματοποιήθηκαν 157 εσωτερικές και 45 εξωτερικές μετρήσεις. Οι τιμές απορροφούμενης δόσης ακτινοβολίας γ τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά των κατοικιών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Εσωτερικές Μετρήσεις													
Προϊόντα	Αριθμός μετρήσεων	Μέση δόση (nGy.h ⁻¹)	STD (nGy.h ⁻¹)	Ελάχιστη Μέγιστη (nGy.h ⁻¹)	Σερπός Ουρενίου		⁴⁰ K		¹³⁷ Cs				
					(nGy.h ⁻¹)	%	(nGy.h ⁻¹)	%	(nGy.h ⁻¹)	%			
Κέντρο	75	23.9	6.0	14.5	43.3	6.8	28.6%	8.3	34.6%	8.7	36.5%	0.1	0.2%
Δυτικά προϊόντα	21	20.4	7.0	11.5	41.6	7.1	34.6%	6.6	32.4%	6.5	31.9%	0.2	1.1%
Παραϊός	35	26.2	8.6	10.2	53.7	8.2	31.5%	8.7	33.1%	9.2	35.1%	0.1	0.3%
Βόρεια προϊόντα	21	22.8	7.9	7.8	42.5	7.6	33.3%	7.3	31.8%	7.9	34.8%	0.0	0.1%
Νότια προϊόντα	5	26.6	5.8	20.6	37.5	9.5	35.6%	8.6	32.5%	8.5	31.9%	0.0	0.0%
Σύνολο	157	23.9	7.2	7.8	53.7	7.4	30.8%	8.0	33.6%	8.4	35.3%	0.1	0.3%
Εξωτερικές Μετρήσεις													
Προϊόντα	Αριθμός μετρήσεων	Μέση δόση (nGy.h ⁻¹)	STD (nGy.h ⁻¹)	Ελάχιστη Μέγιστη (nGy.h ⁻¹)	Σερπός Ουρενίου		⁴⁰ K		¹³⁷ Cs				
					(nGy.h ⁻¹)	%	(nGy.h ⁻¹)	%	(nGy.h ⁻¹)	%			
Κέντρο	10	21.3	6.5	13.2	34.7	6.1	28.6%	7.3	34.1%	7.5	35.0%	0.4	1.8%
Δυτικά προϊόντα	10	18.8	9.3	8.3	31.8	6.2	32.8%	6.3	33.5%	5.3	28.1%	1.6	8.4%
Παραϊός	5	24.8	8.6	9.6	32.8	7.1	28.7%	9.2	37.2%	7.6	30.7%	0.8	3.2%
Βόρεια προϊόντα	10	21.9	10.9	6.7	39.7	7.3	33.5%	6.7	30.5%	7.3	33.3%	0.3	1.4%
Νότια προϊόντα	10	24.3	11.1	6.6	39.4	7.5	30.8%	9.0	37.1%	7.6	31.3%	1.3	5.4%
Σύνολο	45	21.9	9.7	6.6	39.7	6.8	31.0%	7.6	34.5%	7.0	31.9%	0.9	4.0%

Εσωτερικές μετρήσεις

No.	Συνολική δόση (nGy.h ⁻¹)	Εύρος	Σειρά Ουρανίου		Σειρά Θορίου		⁴⁰ K		¹³⁷ Cs	
			Εύρος	Συνεισφορά (%)	Εύρος	Συνεισφορά (%)	Εύρος	Συνεισφορά (%)	Εύρος	Συνεισφορά (%)
			(nGy.h ⁻¹)		(nGy.h ⁻¹)		(nGy.h ⁻¹)		(nGy.h ⁻¹)	
1	23.9 ± 7.2	7.8-53.7	7.4 ± 2.5	30.8	8.0 ± 2.9	2.3-19.0	8.4 ± 3.0	33.6	2.2-19.9	35.3
2	59.2 ± 13.3	18.1-98.7	15.0 ± 4.0	25.4	20.6 ± 5.2	6.2-36.1	23.1 ± 5.2	34.9	5.2-35.3	39.0
3	24.7 ± 5.0	17.7-33.3	8.2 ± 1.5	33.2	7.3 ± 2.4	4.6-12.4	9.1 ± 2.6	29.8	6.7-13.7	36.7
4	49.3 ± 9.4	30.9-72.9	11.0 ± 2.1	22.4	16.6 ± 3.5	10.5-24.6	21.6 ± 4.7	33.6	11.6-33.2	43.7
5	31.9 ± 14.4	12.6-71.6	12.7 ± 4.3	39.9	8.6 ± 5.8	1.8-22.4	10.4 ± 5.2	27.0	3.6-22.9	32.8
6	20.6 ± 5.7	16.0-30.3	9.7 ± 2.6	46.9	5.1 ± 1.7	3.4-7.7	5.9 ± 2.4	24.6	3.7-9.8	28.5
7	82.5 ± 25.8	34.0-120.4	19.8 ± 7.2	23.9	28.9 ± 10.6	10.1-47.3	33.8 ± 9.4	35.1	14.2-48.4	41.0
8	100.7 ± 31.1	57.0-155.7	25.3 ± 7.3	25.1	38.1 ± 15.7	15.8-66.1	37.2 ± 8.9	37.8	24.3-49.8	36.9
9	36.8 ± 9.0	20.6-50.0	8.5 ± 1.8	23.2	12.2 ± 3.4	6.0-16.2	15.6 ± 5.2	33.2	8.7-24.9	42.2
10	34.7 ± 9.4	20.2-54.2	13.4 ± 5.0	38.8	9.8 ± 3.0	5.3-14.4	11.5 ± 4.1	28.1	6.2-17.4	33.1
11	38.7 ± 6.0	32.7-46.9	25.7 ± 7.6	66.3	5.9 ± 1.1	4.4-6.9	7.2 ± 1.6	15.1	5.7-9.3	18.5
12	60.5 ± 9.2	48.6-78.6	19.8 ± 3.1	32.7	20.7 ± 4.6	13.9-28.9	19.8 ± 3.1	34.3	15.1-25.0	32.8
13	60.3 ± 9.0	47.5-79.4	15.3 ± 2.3	25.4	20.1 ± 4.2	13.4-30.0	24.6 ± 3.0	33.4	20.0-30.7	40.8
14	52.3 ± 7.3	41.7-62.3	12.1 ± 2.1	23.1	18.6 ± 3.8	11.9-24.6	21.3 ± 2.8	35.6	16.6-25.5	40.8
15	69.9 ± 17.0	51.3-104.0	17.8 ± 4.7	25.4	21.8 ± 5.8	15.5-32.9	30.3 ± 7.3	31.1	21.2-44.2	43.3
16	48.4 ± 12.8	29.9-68.7	12.9 ± 3.2	26.6	15.8 ± 5.5	7.4-23.8	19.8 ± 4.9	32.6	15.1-29.7	40.9
17	81.9 ± 19.0	40.1-121.0	18.4 ± 4.8	22.5	30.3 ± 7.5	14.3-44.3	33.2 ± 7.1	37.0	17.5-47.8	40.5
18	36.7 ± 11.6	16.2-56.9	11.4 ± 4.3	31.2	11.2 ± 4.2	5.3-18.4	13.8 ± 4.5	30.4	6.0-22.7	37.7
19	39.8 ± 11.2	24.4-69.3	10.3 ± 2.9	25.9	13.9 ± 4.7	6.9-24.0	15.5 ± 4.3	34.8	10.8-28.0	39.0
20	30.8 ± 6.3	20.8-42.5	10.6 ± 2.9	34.4	9.4 ± 1.9	6.2-12.8	10.8 ± 2.2	30.5	7.4-14.4	35.1
21	21.9 ± 8.1	15.2-35.6	9.6 ± 3.5	43.8	6.0 ± 2.6	3.9-10.4	6.3 ± 2.1	27.6	4.5-9.8	28.6
22	41.0 ± 9.0	26.4-51.3	11.8 ± 3.3	28.9	12.4 ± 3.8	7.7-16.8	16.4 ± 3.3	30.4	12.4-20.2	40.0
23	68.7 ± 9.3	55.6-86.7	21.0 ± 2.8	30.6	23.4 ± 4.6	18.3-31.1	24.3 ± 3.2	34.1	19.2-29.8	35.3
24	45.7 ± 3.2	41.7-49.5	21.9 ± 1.2	47.9	13.0 ± 1.3	11.9-14.8	10.6 ± 1.7	28.3	8.3-12.2	23.1
25	65.5 ± 19.5	36.1-114.9	18.1 ± 6.1	27.7	22.3 ± 8.2	9.4-43.3	24.4 ± 6.0	34.0	12.2-37.5	37.2
26	26.4 ± 4.9	21.9-34.6	9.3 ± 1.5	35.4	7.3 ± 2.4	4.3-10.5	9.5 ± 3.2	27.8	7.2-15.0	36.1
27	32.6 ± 9.7	22.2-52.8	13.6 ± 3.1	41.7	9.7 ± 4.4	5.2-19.3	9.3 ± 3.0	29.8	5.5-13.7	28.5
28	83.3 ± 16.0	63.7-114.6	26.3 ± 6.0	31.5	31.8 ± 7.0	25.2-46.5	25.3 ± 4.0	38.2	20.7-32.0	30.3
29	59.5 ± 12.1	29.9-75.2	14.4 ± 2.6	24.2	17.6 ± 4.2	9.4-23.9	27.1 ± 6.6	29.5	11.3-36.8	45.6
30	22.4 ± 8.6	10.8-36.2	7.5 ± 3.4	33.4	6.7 ± 3.2	1.7-11.8	8.2 ± 2.6	30.0	3.5-11.5	36.6
31	41.7 ± 8.7	29.9-56.3	15.4 ± 5.7	36.8	13.7 ± 4.0	5.1-18.3	12.7 ± 3.5	32.7	6.9-19.0	30.5
32	63.3 ± 12.3	48.1-79.1	15.0 ± 2.5	23.7	19.7 ± 4.7	13.0-25.9	28.6 ± 5.8	31.1	20.2-35.9	45.2

Εσωτερικές μετρήσεις											
No.	Συνολική δόση (nGy.h ⁻¹)	Εύρος	Σειρά Ουρανίου		Σειρά Θορίου		⁴⁰ K		¹³⁷ Cs		(%)
			Εύρος	Συνεισφορά (%)	Εύρος	Συνεισφορά (%)	Εύρος	Συνεισφορά (%)	Εύρος	Συνεισφορά (%)	
33	85.0 ± 29.0	46.9–139.2	19.4 ± 4.7	11.8–28.0	22.8	30.2 ± 12.3	14.7–54.9	35.6	35.4 ± 12.6	19.2–57.3	41.7
34	59.6 ± 12.8	33.6–76.8	15.9 ± 3.7	9.0–21.7	26.7	20.1 ± 5.6	9.7–27.3	33.7	23.4 ± 4.6	14.7–29.2	39.2
35	25.6 ± 6.5	16.3–37.9	9.8 ± 2.7	6.8–14.6	38.3	7.4 ± 2.2	4.7–11.3	29.0	8.3 ± 2.2	4.8–12.0	32.3
36	30.5 ± 5.4	23.3–38.2	9.0 ± 2.2	6.8–14.3	29.6	10.5 ± 2.0	7.4–14.1	34.4	10.9 ± 2.4	7.0–14.8	35.8
37	48.6 ± 5.3	39.9–57.4	12.0 ± 1.5	10.2–14.5	24.8	14.5 ± 1.8	11.9–17.5	29.7	21.7 ± 4.2	14.2–27.7	44.7
38	28.6 ± 10.8	17.9–54.4	13.9 ± 4.8	6.4–19.4	48.6	6.7 ± 3.0	3.8–14.4	23.5	7.8 ± 5.1	4.0–20.6	27.3
39	19.5 ± 3.3	14.8–22.5	7.1 ± 1.1	5.6–8.1	36.6	5.2 ± 1.6	3.1–6.9	26.8	7.1 ± 0.8	6.1–8.0	36.7
40	33.5 ± 8.7	21.3–47.9	12.5 ± 5.3	5.9–23.6	37.3	9.8 ± 3.2	3.5–13.8	29.3	11.0 ± 3.3	7.0–17.4	32.8
41	45.5 ± 8.1	39.2–62.9	11.1 ± 2.8	7.8–16.5	24.3	16.9 ± 2.5	14.0–22.1	37.2	17.5 ± 3.6	13.1–24.4	38.5
Εξωτερικές μετρήσεις											
No.	Συνολική δόση (nGy.h ⁻¹)	Εύρος	Σειρά Ουρανίου		Σειρά Θορίου		⁴⁰ K		¹³⁷ Cs		(%)
			Εύρος	Συνεισφορά (%)	Εύρος	Συνεισφορά (%)	Εύρος	Συνεισφορά (%)	Εύρος	Συνεισφορά (%)	
1	21.9 ± 9.7	6.6–39.7	6.8 ± 2.6	1.6–16.6	31.0	7.3 ± 4.0	1.6–15.4	33.1	7.0 ± 3.5	1.1–14.6	31.9
2	46.2 ± 16.1	9.6–107.1	10.2 ± 3.2	4.7–21.6	22.1	15.3 ± 6.8	1.2–36.5	33.1	14.4 ± 6.5	1.5–42.4	31.1
3	25.5 ± 5.5	18.5–33.4	7.7 ± 2.0	5.8–10.8	30.2	8.7 ± 2.0	5.9–10.8	34.1	8.5 ± 2.1	6.8–12.2	33.5
4	42.0 ± 19.7	13.0–68.5	9.8 ± 4.9	2.1–16.3	23.3	15.2 ± 8.4	3.2–28.5	36.1	15.8 ± 6.9	6.1–27.0	37.5
5	29.5 ± 13.3	6.7–57.8	10.3 ± 3.3	3.9–15.2	35.1	7.5 ± 5.1	1.1–20.0	25.6	10.2 ± 6.2	1.4–22.6	34.4
6	26.7 ± 7.5	17.5–35.9	8.4 ± 0.9	7.3–9.5	31.4	8.5 ± 3.4	4.7–12.9	31.8	7.8 ± 2.0	5.2–10.1	29.3
7	81.0 ± 30.9	56.0–153.0	19.9 ± 9.4	14.3–42.4	24.6	30.1 ± 11.5	19.3–56.5	37.1	30.5 ± 10.7	19.2–54.0	37.6
8	80.8 ± 16.5	62.6–107.7	20.0 ± 5.0	13.5–28.5	24.7	31.2 ± 7.0	21.2–40.8	38.7	27.4 ± 4.3	22.7–34.8	33.9
9	36.3 ± 13.2	19.7–52.5	10.0 ± 2.6	7.4–13.8	27.4	11.6 ± 6.4	3.0–19.1	31.8	12.4 ± 4.6	6.7–19.6	34.1
10	22.4 ± 3.8	16.8–30.7	11.3 ± 2.9	6.0–14.8	50.6	4.5 ± 2.2	2.5–8.3	20.1	4.9 ± 2.5	2.3–11.1	22.0
11	30.3 ± 11.6	15.6–44.0	11.9 ± 4.1	6.6–16.6	39.2	10.1 ± 5.6	4.9–18.0	33.4	7.1 ± 3.2	4.2–11.6	23.3
12	59.2 ± 6.7	51.9–69.9	28.7 ± 1.9	26.4–31.1	48.5	16.5 ± 3.9	12.1–22.7	27.9	14.0 ± 1.6	11.8–16.2	23.6
13	46.2 ± 7.0	38.1–59.1	10.8 ± 3.2	6.0–14.5	23.4	12.1 ± 3.9	5.1–16.4	26.1	15.6 ± 3.0	10.7–20.0	33.6
14	53.5 ± 15.1	30.3–70.6	13.0 ± 3.0	9.4–17.5	24.4	20.5 ± 7.4	10.0–29.1	38.3	18.3 ± 5.1	10.8–27.9	34.2
15	49.6 ± 18.5	10.5–71.8	12.5 ± 3.7	5.1–16.7	25.1	18.4 ± 2.5	14.3–22.9	37.0	20.6 ± 8.6	4.9–33.4	41.5
16	37.5 ± 8.1	27.3–52.4	9.5 ± 1.9	7.3–11.8	25.3	12.4 ± 3.1	9.0–18.3	33.0	13.9 ± 3.9	9.6–20.5	37.1

Εξωτερικές μετρήσεις										
No.	Συνολική δόση (nGy.h ⁻¹)	Εύρος	Σειρά Ουρανίου		Σειρά Θορίου		⁴⁰ K		¹³⁷ Cs	
			Εύρος (nGy.h ⁻¹)	Συνεισφορά (%)	Εύρος (nGy.h ⁻¹)	Συνεισφορά (%)	Εύρος (nGy.h ⁻¹)	Συνεισφορά (%)	Εύρος (nGy.h ⁻¹)	Συνεισφορά (%)
17	84.7 ± 37.1	34.0-149.2	20.2 ± 8.7	23.8	33.5 ± 16.9	11.6-62.9	31.0 ± 12.0	39.5	0.1 ± 0.2	36.6
18	37.9 ± 19.8	14.4-59.6	10.4 ± 5.0	27.3	9.6 ± 5.4	3.3-17.4	10.8 ± 7.2	25.4	7.2 ± 10.4	28.4
19	32.1 ± 13.8	12.9-48.6	7.3 ± 2.6	22.6	10.9 ± 5.1	3.4-16.6	10.7 ± 4.6	33.8	3.3 ± 2.1	33.4
20	23.7 ± 4.9	16.6-31.5	8.9 ± 1.0	37.4	6.3 ± 1.7	4.2-8.8	8.0 ± 2.5	26.8	0.5 ± 0.2	33.8
21	17.3 ± 4.8	9.5-21.6	6.8 ± 1.6	39.3	6.0 ± 2.0	3.2-8.6	4.5 ± 2.1	34.6	0.0 ± 0.0	26.1
22	48.0 ± 17.0	24.2-66.1	11.9 ± 2.7	24.8	12.3 ± 4.8	6.3-18.2	14.2 ± 3.4	25.6	9.6 ± 9.0	29.5
23	62.6 ± 18.9	40.8-94.6	19.5 ± 3.7	31.2	23.1 ± 9.8	10.9-37.2	16.7 ± 7.2	36.9	3.3 ± 4.6	26.7
24	35.1 ± 0.8	34.4-35.9	19.1 ± 1.1	54.4	10.2 ± 2.6	7.6-12.8	4.6 ± 1.5	29.0	1.3 ± 0.7	13.0
25	64.5 ± 9.0	52.4-74.1	12.7 ± 1.4	19.6	23.9 ± 5.1	17.4-29.8	12.5 ± 2.1	37.0	15.5 ± 7.5	19.4
26	33.8 ± 12.7	18.4-49.4	16.4 ± 3.4	48.4	8.0 ± 4.8	2.1-13.8	9.1 ± 4.5	23.7	0.3 ± 0.1	26.9
27	34.7 ± 14.1	13.6-55.7	10.1 ± 4.0	29.2	12.0 ± 5.3	4.0-19.8	10.5 ± 5.4	34.5	2.1 ± 1.4	30.4
28	66.1 ± 14.3	41.8-86.1	21.0 ± 3.9	31.8	24.5 ± 6.0	14.0-33.5	18.0 ± 4.6	37.1	2.6 ± 2.4	27.2
29	55.9 ± 29.3	27.4-107.4	13.4 ± 7.0	24.1	17.4 ± 10.6	8.4-36.2	23.0 ± 13.2	31.1	2.0 ± 1.4	41.3
30	20.2 ± 8.9	11.2-31.3	6.6 ± 1.3	32.9	7.4 ± 4.6	2.9-14.4	7.3 ± 4.0	36.5	0.4 ± 0.4	36.1
31	30.3 ± 9.3	17.8-45.3	10.0 ± 2.2	33.0	10.0 ± 4.3	5.1-17.3	8.2 ± 2.9	33.0	2.1 ± 1.8	27.1
32	60.6 ± 20.0	22.9-81.3	14.6 ± 3.2	24.0	21.8 ± 9.9	5.1-32.5	22.8 ± 6.8	36.0	1.4 ± 1.4	37.6
33	88.0 ± 47.3	40.5-173.4	17.8 ± 5.3	20.3	28.5 ± 14.8	14.0-50.5	29.9 ± 12.6	32.4	11.8 ± 17.2	34.0
34	28.3 ± 4.3	23.9-34.2	8.2 ± 0.9	29.0	7.9 ± 1.9	6.4-10.5	9.6 ± 1.0	27.9	2.6 ± 1.0	33.8
35	33.4 ± 4.3	29.7-39.5	9.4 ± 0.7	28.0	11.8 ± 2.0	10.3-14.7	11.2 ± 1.6	35.4	1.0 ± 0.7	33.5
36	29.8 ± 7.0	20.0-37.7	6.2 ± 1.1	20.8	11.5 ± 2.6	7.8-15.1	10.7 ± 3.3	38.6	1.3 ± 0.8	36.1
37	30.6 ± 13.3	10.1-48.3	7.8 ± 2.8	25.4	8.4 ± 4.8	2.5-15.7	11.2 ± 5.7	27.5	3.2 ± 5.3	36.7
38	27.4 ± 11.4	13.3-46.5	11.7 ± 6.8	42.6	7.9 ± 5.0	4.4-17.4	7.1 ± 5.3	28.9	0.7 ± 0.7	25.9
39	22.3 ± 7.3	13.0-30.7	7.3 ± 1.3	32.9	7.6 ± 4.6	1.8-13.2	5.7 ± 2.9	34.1	1.6 ± 1.1	25.7
40	23.3 ± 9.1	15.2-39.2	7.8 ± 2.3	33.4	6.4 ± 3.2	3.8-12.2	6.8 ± 4.3	27.7	2.3 ± 2.6	29.3
41	37.8 ± 8.3	28.8-48.9	9.3 ± 0.8	24.5	12.9 ± 4.3	9.3-19.0	13.5 ± 2.2	34.1	2.2 ± 1.5	35.7

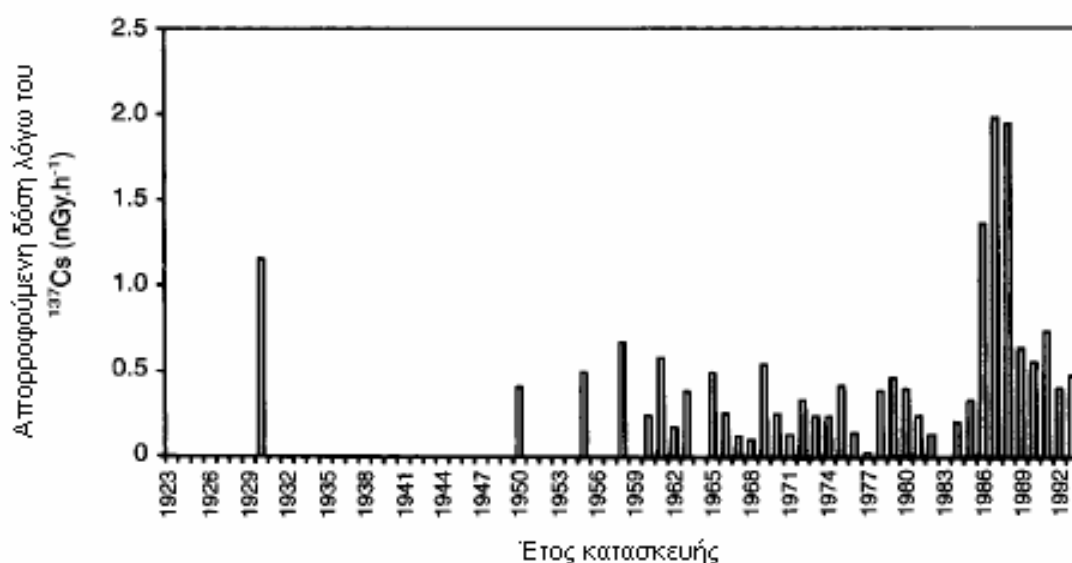
Πίνακας 2: Εξωτερικές μετρήσεις

Μετρήσεις στην Θεσσαλονίκη

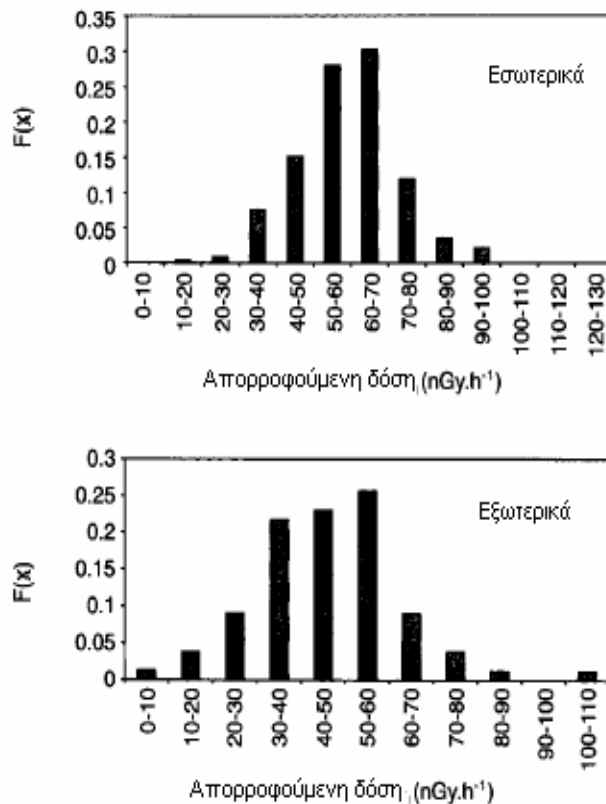
Στην Θεσσαλονίκη και στα προάστια της, πραγματοποιήθηκαν 225 μετρήσεις στο εσωτερικό κατοικιών και 78 μετρήσεις εξωτερικά των κατοικιών (56 πάνω στο έδαφος και 22 σε δρόμους και πεζοδρόμια). Η κατανομή συχνοτήτων της συνολικής απορροφούμενης δόσης στον αέρα, τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά, παρουσιάζεται στο σχήμα 2.

Η ελάχιστη, η μέγιστη και η μέση συνολική δόση εσωτερικά λόγω της ακτινοβολίας γ είναι 18 nGy h^{-1} , 99 nGy h^{-1} και 59 nGy h^{-1} αντίστοιχα. Η συνεισφορά των διαφόρων ραδιονουκλιδίων στην συνολική δόση ακτινοβολίας γ στο αέρα εσωτερικά των κατοικιών είναι 39% λόγω του K-40, 35% λόγω της σειράς του Θορίου, 25% λόγω της σειράς του Ουρανίου και περίπου 1% λόγω του Cs-137 από το ατύχημα του Τσερνομπίλ.

Για τα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί πριν από το ατύχημα του Τσερνομπίλ η εσωτερική δραστηριότητα του Cs-137 οφείλεται από τις ποσότητες Cs-137 στο εξωτερικό περιβάλλον έπειτα από το ατύχημα. Αντίθετα, για τα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί μετά το ατύχημα του Τσερνομπίλ, η εσωτερική δραστηριότητα Cs-137 μπορεί να προέρχεται και από την περιεκτικότητα των δομικών υλικών σε αυτό το στοιχείο. Το σχήμα 3 παρουσιάζει την εσωτερική δόση λόγω Cs-137 σε συνάρτηση με την χρονολογία κατασκευής του κτιρίου.



Σχήμα 3: Εσωτερική δόση λόγω Cs-137 σε συνάρτηση με την χρονολογία κατασκευής του κτιρίου.



Σχήμα 2: Κατανομή συχνοτήτων της συνολικής απορροφούμενης δόσης

5.2 Η περίπτωση της Μεγαλόπολης

Η λιγνιτοφόρα λεκάνη της Μεγαλόπολης περιέχει ένα από τα δύο μεγαλύτερα και κυριότερα κοιτάσματα λιγνίτη στην Ελλάδα. Στην περιοχή λειτουργούν δύο σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο το λιγνίτη. Ο πρώτος ονομάζεται "Μεγαλόπολη-A", που αποτελείται από τρεις μονάδες συνολικής ισχύος 600 MW και ο δεύτερος "Μεγαλόπολη-B", μίας μονάδας ισχύος 300 MW. Επειδή η θερμαντική αξία του λιγνιτοφόρου κοιτάσματος της Μεγαλόπολης είναι μικρή, η κατανάλωση καυσίμου ανά μονάδα ενέργειας που παράγεται είναι αρκετά αυξημένη.

Η παρουσία φυσικής ραδιενέργειας στα κοιτάσματα του λιγνίτη στην Μεγαλόπολη είναι αυξημένη. Κατά τα προηγούμενα χρόνια είχαν γίνει αρκετές μελέτες και έρευνες στους σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγαλόπολης για να διαπιστωθούν τα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας. Σε αυτές τις μελέτες διαπιστώθηκαν

αυξημένες συγκεντρώσεις ^{226}Rn , ^{232}Th και ^{40}K στα ορυχεία λιγνίτη που τροφοδοτούν τους σταθμούς, στην πτητική και μη τέφρα από τους ηλεκτροστατικούς ιζηματοποιητές (electrostatic precipitators – ESP) και στην πτητική τέφρα από τους καπνοδόχους. Σύμφωνα με μία αναφορά της UNSCEAR το 1982, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 1 GWA, από κάρβουνο, οδηγεί σε συνολική ισοδύναμη δόση της τάξεως των 2 άνθρωπο- Sv.

Στα πλαίσια της έρευνας που πραγματοποίησαν οι P.K. Rouni, N.P. Petropoulos, M.J. Anagnostakis, E.P. Hinis και S.E. Simopoulos από το τμήμα Πυρηνικής Μηχανικής, της σχολής μηχανολογίας του Πολυτεχνείου Αθηνών, ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

1. Συστηματική δειγματοληψία για μία συγκεκριμένη περίοδο:
 - α) του λιγνίτη από τα ορυχεία που τροφοδοτούν τους σταθμούς, και
 - β) του λιγνίτη και της τέφρας από τους υπό παρακολούθηση σταθμούς.
2. Επιθεώρηση των εισροών (λιγνίτης) και των εκροών (τέφρα) των σταθμών.
3. Μελέτη τις περιοχής γύρω από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Τα αποτελέσματα της γ φασματοσκοπικής ανάλυσης του λιγνίτη και της τέφρας που παράγεται παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

ΥΛΙΚΟ	Μέση ραδιενεργή δραστηριότητα για περίοδο 6 εβδομάδων (Bq Kg ⁻¹)				
	^{238}U (^{234}Th)	^{226}Rn	^{210}Pb	^{232}Th (^{228}Th)	^{40}K
Λιγνίτης	306	346	361	19	173
Πτητική τέφρα	964	904	1158	52	454
Μη πτητική τέφρα	681	662	275	41	405

Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε 25 περιοχές γύρω από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για συγκριτικούς λόγους, τα αποτελέσματα συγκρίνονται με παρόμοιες μετρήσεις που έγιναν σε δύο τοποθεσίες αναφοράς:

1. Στην Αθήνα, στην περιοχή του Ζωγράφου και πιο συγκεκριμένα μέσα στο χώρο του Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου και
2. Στο Λαύριο, στο ορυχείο μολύβδου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

	Μονάδες	Ακτίνα		Δεδομένα αναφοράς	
		0-5 χλμ	5-10 χλμ	Τιμές	Τοποθεσία
Συγκέντρωση ^{226}Rn στο έδαφος	Bq Kq^{-1}	26 – 337	23 – 42	9 – 20 18 – 53	1 2
Συγκέντρωση ^{232}Th στο έδαφος	Bq Kq^{-1}	24 – 41	12 – 43	10 – 23 7 – 38	1 2
Συγκέντρωση ^{40}K στο έδαφος	Bq Kq^{-1}	154 – 477	218 – 631	168 – 238 39 – 485	1 2
Εξωτερική δόση ακτινοβολίας γ εδαφικής προέλευσης, λόγω ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Rn (υπολογισμένη)	nSv h^{-1}	40 – 187	28 – 72	17 – 33 14 – 68	1 2
Εξωτερική δόση ακτινοβολίας γ (μετρημένη)	nSv h^{-1}	63 – 331	50 – 180	45 – 60	1
Ραδόνιο από το έδαφος	KBq m^{-3}	4 – 90	2 – 81	0,2 – 2,8 0,3 – 1,6	1 2
Διαπερατότητα εδάφους	M^2	$10^{-15} - 10^{-9}$	$10^{-14} - 10^{-9}$	$10^{-12} - 10^{-11}$ $10^{-13} - 10^{-11}$	1 2
Περιεκτικότητα ραδονίου στον αέρα	Bq m^{-3}	0 – 835	0 – 222	15 – 102 0 – 200	1 2
Περιεκτικότητα ραδονίου στο νερό	Bq L^{-1}	5 – 26		0 – 10	

Από την ανάλυση των παραπάνω στοιχείων προκύπτουν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα:

1. Μέσα σε ακτίνα 10 χιλιομέτρων από τους σταθμούς υπάρχει ένα έντονο σημείο δραστηριότητας Ραδονίου-226 στο έδαφος, που οφείλεται στην

εναπόθεση μη πτητικής τέφρας. Παρόμοια αύξηση όσων αφορά την δραστηριότητα του Θορίου-232 και του Καλίου-40, δεν παρατηρείται.

2. Η υπολογισμένη και η μετρημένη δόση ακτινοβολίας γ , παρότι εμφανίζουν ένα κοινό σημείο έντονης δραστηριότητας, έχουν σημαντικές διαφορές στις τιμές τους για ακτίνα 10 χιλιομέτρων.
3. Η συγκέντρωση ραδονίου στο έδαφος είναι αυξημένη μέσα στην ακτίνα των 10 χιλιομέτρων, σε σύγκριση με τις τοποθεσίες αναφοράς. Η συγκέντρωση ραδονίου στον αέρα εμφανίζεται αυξημένη μέσα σε ακτίνα 5 χιλιομέτρων σε σύγκριση με τις τοποθεσίες αναφοράς.

Δοσιμετρικοί υπολογισμοί

Χρησιμοποιώντας για τιμή εξωτερικής δόσης από ακτινοβολία γ , 125 – 250 nSv h⁻¹ και τον συνολικό πληθυσμό των 12000 ανθρώπων που ζουν σε ακτίνα 10 χιλιομέτρων από τον σταθμό της Μεγαλόπολης, η συνολική δόση υπολογίζεται σε 13 με 26 άνθρωπο – Sv το χρόνο. Η συνολική δόση ολόκληρου του ελληνικού πληθυσμού με μέση τιμή, για την ακτινοβολία γ , 46 nSv h⁻¹ υπολογίζεται σε 4400 άνθρωπο – Sv το χρόνο.

Υποθέτοντας το χειρότερο σενάριο, δηλαδή ότι όλα τα σωματίδια που εντοπίζονται στα φίλτρα αέρα των καμινάδων, περιέχουν δραστηριότητα Ραδονίου-226 1000 Bq Kg⁻¹, η συγκέντρωση Ραδονίου στον αέρα δεν ξεπερνά το επίπεδο των 250 μBq m⁻³. Αυτή η τιμή συγκρίνεται με την κανονική τιμή του 1 μBq m⁻³, αλλά είναι αρκετά κάτω από την τιμή των 10 Bq m⁻³ που έχει θεσπιστεί από το ICRP το 1978 σχετικά με την έκθεση των εργατών και του προσωπικού.

5.3 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΠΗΛΑΙΟΥ ΤΩΝ ΠΕΤΡΑΛΩΝΩΝ

Εισαγωγή

Στο σπήλαιο των Πετραλώνων Χαλκιδικής, 55 χιλιόμετρα έξω από την πόλη της Θεσσαλονίκης, πραγματοποιήθηκε, το 2003, μέτρηση των επιπέδων ραδονίου από τους C. Papastefanou, M. Manolopoulou, S. Stoulos, A. Ioannidou και

Ε.Γερασόπουλος του Εργαστηρίου Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (πίνακας 1).

Γενικά ο αέρας που βρίσκεται μέσα στα σπήλαια περιέχει ^{222}Rn και ^{220}Rn που προέρχεται από τα περιβάλλοντα ορυκτά υλικά. Η συγκέντρωση του ραδονίου εμφανίζεται από 100 έως και 1000 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τις συγκεντρώσεις του σε εξωτερικούς χώρους και επηρεάζεται από τον όγκο του σπηλαίου καθώς επίσης και από το ποσοστό ανάμειξης του αέρα του σπηλαίου με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Μετρήσεις ραδονίου εντός του σπηλαίου

Στο τμήμα Β αμέσως μόλις μετά το τέλος της εισόδου, μετρήθηκε η υψηλότερη τιμή ραδονίου για το σπήλαιο μέσα σε ένα αρκετά βαθύ πηγάδι και ήταν της τάξεως των 88 kBq m^{-3} .

Στο εσωτερικό μαυσωλείο του σπηλαίου παρατηρήθηκε μία εποχιακή διαφοροποίηση στην συγκέντρωση του ραδονίου και συγκεκριμένα κατά τους ψυχρούς μήνες του έτους οι συγκεντρώσεις ήταν μικρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες κατά τους θερμούς μήνες του έτους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ψυχρός αέρας από το εξωτερικό, εισέρχεται εντός της σπηλιάς και αναμιγνύεται με τον θερμό αέρα που υπάρχει στο εσωτερικό (πίνακας 2).

Η συγκέντρωση του ραδονίου κατά μήκους του τούνελ της εισόδου στο εμπρός τμήμα της σπηλιάς αυξάνεται καθώς πλησιάζουμε στο εσωτερικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση ραδονίου στο εξωτερικό του σπηλαίου είναι περίπου 10 Bq m^{-3} (πίνακας 3).

Μετρήσεις απορροφούμενης δόσης εντός του σπηλαίου

Στο εσωτερικό μαυσωλείο η απορροφούμενη δόση ραδιενέργειας μετρήθηκε στα 78 nGy h^{-1} ενώ η αντίστοιχη ετήσια στα $0,68 \text{ mGy y}^{-1}$. Στα τμήματα Α και Β η απορροφούμενη δόση ήταν 45 και 109 nGy h^{-1} αντίστοιχα, ενώ η ετήσια ήταν 0,40 και $0,95 \text{ mGy y}^{-1}$ αντίστοιχα (πίνακας 4).

Μετρήσεις ^{238}U , ^{232}Th και ^{40}K

Με την βοήθεια ενός φασματομετρητή-γ Ge-Li υψηλής ανάλυσης μετρήθηκε η συγκέντρωση των φυσικής προέλευσης ραδιονουκλιδίων σε αρκετά δείγματα εδάφους και σταλακτιτών του σπηλαίου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

Πίνακες

Πίνακας 1: Συγκεντρώσεις και επίπεδα ραδονίου εντός του σπηλαίου

Τοποθεσία	Συγκέντρωση ραδονίου	
	pCi l ⁻¹	kBq m ⁻³
Είσοδος Σπηλαίου	5	0.19
Εσωτερικό μαυσωλείο 1	345	12.77
Εσωτερικό μαυσωλείο 2	575	21.28
Τμήμα Β	2380	88.06
Βάραθρο-3	322	11.91
Σφαγείον	456	16.87

Πίνακας 2: Εποχιακές διακυμάνσεις των επιπέδων ραδονίων εντός του σπηλαίου

Χρονική περίοδος	Συγκέντρωση ραδονίου	
	pCi l ⁻¹	kBq m ⁻³
Νοέμβριος - Μάρτιος	345	12.77
Μάρτιος - Ιούνιος	606	22.42
Ιούνιος - Αύγουστος	464	17.17
Αύγουστος - Νοέμβριος	291	10.77

Πίνακας 3: Συγκέντρωση ραδονίου στο τούνελ εισόδου του σπηλαίου

Σημείου της εισόδου	Συγκέντρωση ραδονίου	
	pCi l ⁻¹	kBq m ⁻³
1	1.4	0.052
2	61.2	2.26
3	101.7	3.76
4	219.8	8.13
5	295.4	10.93

Πίνακας 4: Μετρήσεις απορροφούμενης δόσης εντός του σπηλαίου

Τοποθεσία	Δόση $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$	Ετήσια δόση $\text{mGy}\cdot\text{y}^{-1}$
Εσωτερικό μαυσωλείο	78	0.68
Τμήμα Α	45	0.40
Τμήμα Β	109	0.95

Πίνακας 5: Μετρήσεις φυσικής ραδιενέργειας σε δείγματα

Δείγματα	$^{238}\text{U}_\gamma$ $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	$^{232}\text{Th}_\gamma$ $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	$^{40}\text{K}_\gamma$ $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$
Έδαφος α	55.5	44.4	481
Έδαφος β	92.5	55.5	300
Έδαφος γ	88.8	125.8	270
Σταλακτίτης	25.9	<0.4	<56
Απολιθωμένα κόκκαλα	44.4	<0.4	167

6.1 Στατιστική ανάλυση ερωτηματολογίου

6.1.1 Θεωρία

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, πραγματοποιήθηκε έρευνα πεδίου με την χρήση ερωτηματολογίου. Ο τρόπος συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου έγινε με προσωπική συνέντευξη με χρήση τυχαίας δειγματοληψίας 120 ανθρώπων. Ο τύπος των ερωτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου πολλαπλής επιλογής, διχοτομημένων ερωτήσεων και ερωτήσεων κλίμακας σπουδαιότητας.

Στις ερωτήσεις 1 έως 6 του ερωτηματολογίου διερευνώνται τα προσωπικά στοιχεία του δείγματος, ενώ οι ερωτήσεις 7 έως 27 είναι οι ειδικές.

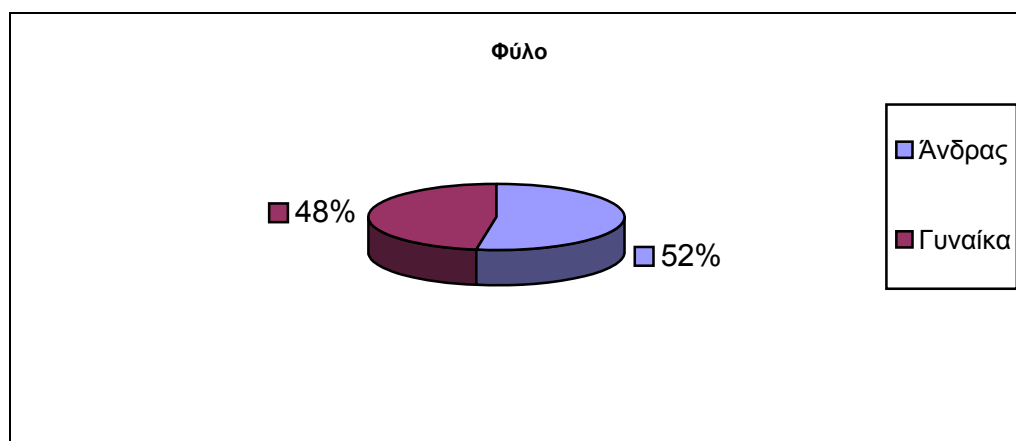
Ο τρόπος παρουσίασης της στατιστικής ανάλυσης του ερωτηματολογίου έγινε με την χρήση των εξής τύπων γραφημάτων: πίτες, ράβδοι και στήλες.

Τα γραφήματα σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα Microsoft Excel, ενώ τα δεδομένα των απαντήσεων του ερωτηματολογίου, καθώς επίσης και τα σχετικά ποσοστά ετοιμάστηκαν από το στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics 5.1 plus.

6.2 Ανάλυση

1) Φύλο δείγματος

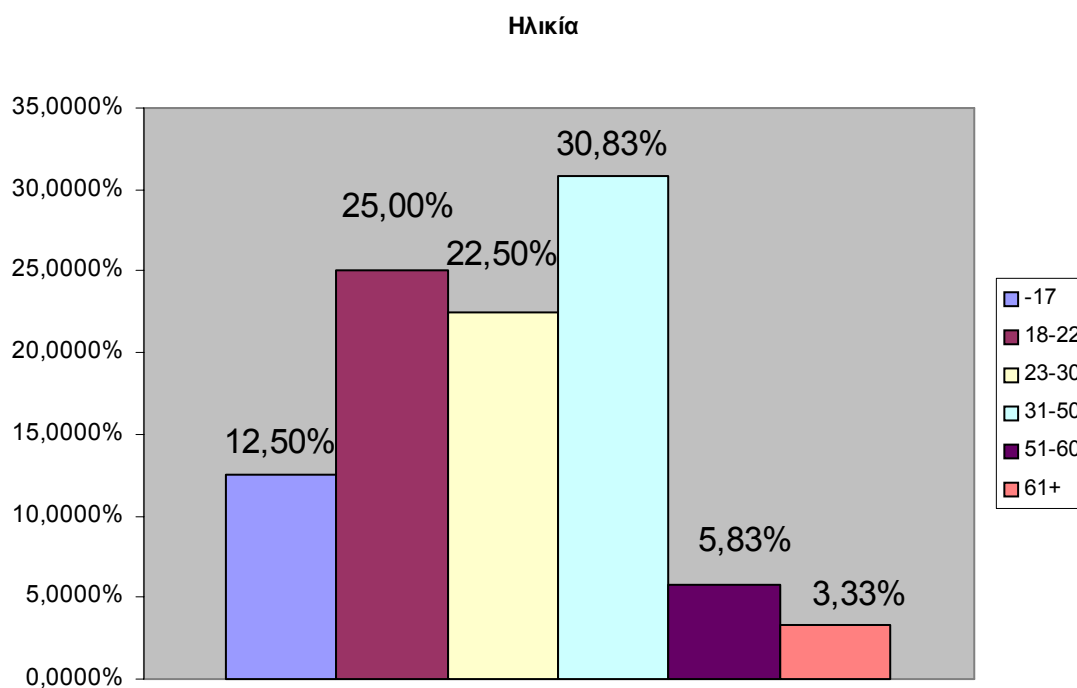
Στην ερώτηση «Φύλο» του ερωτηματολογίου, σε σύνολο 120 απαντήσεων, 63 άτομα επέλεξαν το α) Άνδρας και 57 άτομα το β) Γυναίκα. Τα αντίστοιχα ποσοστά είναι, 52,50% άνδρες και 47,50% γυναίκες.



2) Ηλικία δείγματος

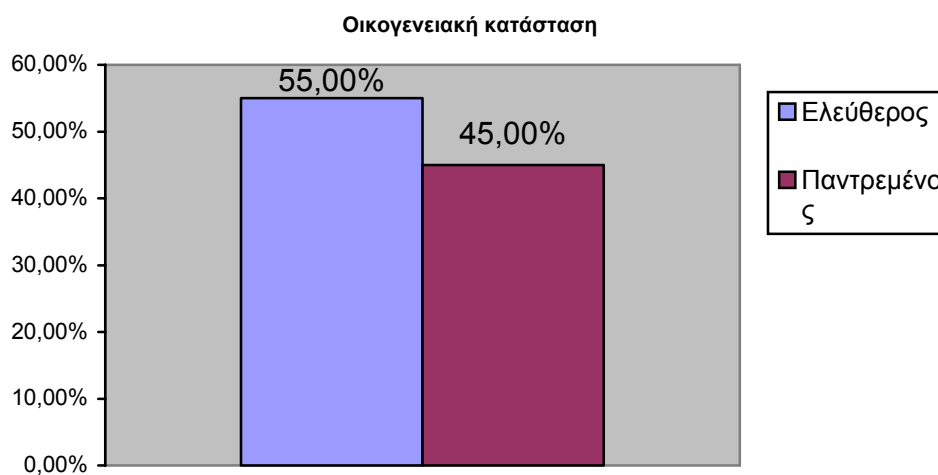
Σε σύνολο 120 απαντήσεων, 15 άτομα (12,50%) ήταν κάτω των 17 ετών, 30 άτομα (25,00%) ήταν μεταξύ 18 με 22 ετών, 27 άτομα (22,50%) ήταν μεταξύ 23 με 30 ετών, 37 άτομα (30,83%) ήταν μεταξύ 31 με 50 ετών, 7 άτομα (5,83%) ήταν άνω των 50 ετών.

ήταν μεταξύ 51 με 60 ετών και 4 άτομα (3,83%) ήταν μεγαλύτερα των 61 ετών.



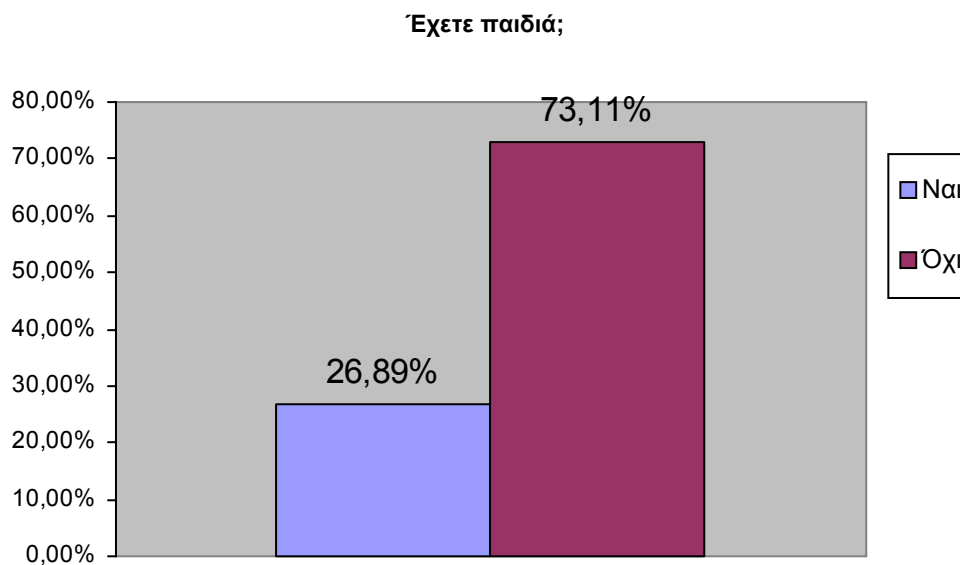
3) Οικογενειακή κατάσταση δείγματος

Από τους 120 ερωτηθέντες, 66 σε αριθμό (55,00%) δήλωσαν ελεύθεροι ενώ 54 σε αριθμό (45,00%) δήλωσαν παντρεμένοι.



4) Έχετε παιδιά;

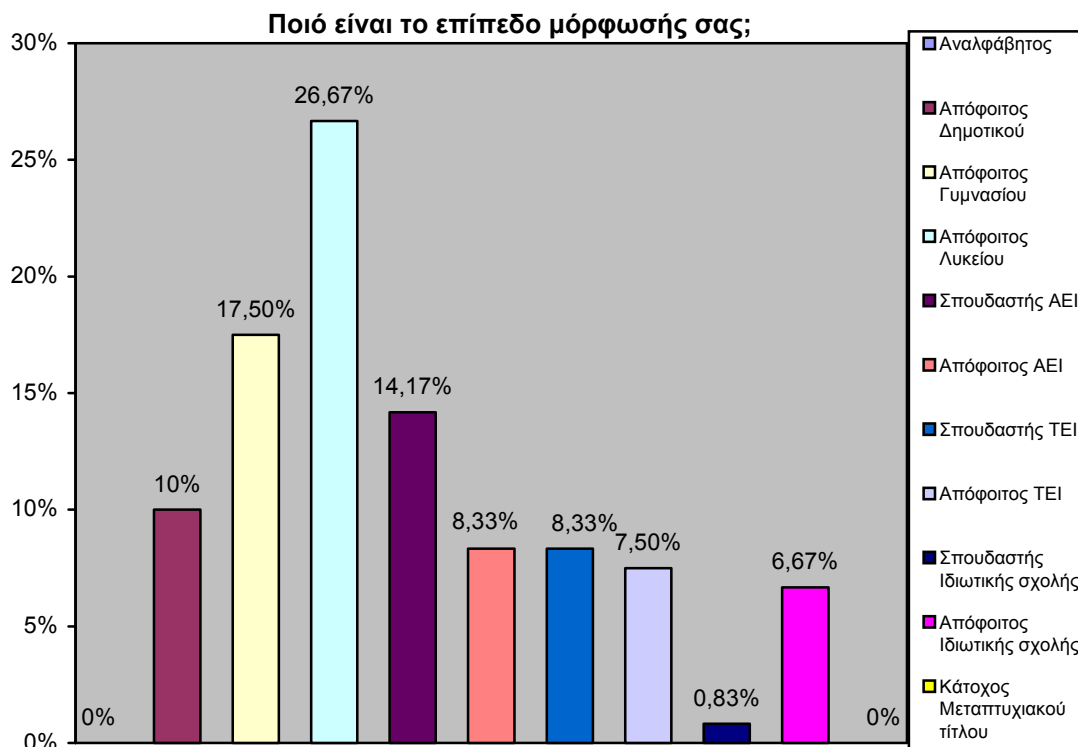
Σε αυτή την ερώτηση, 32 άτομα (26,89%) απάντησαν θετικά ενώ 87 άτομα (73,11%) απάντησαν αρνητικά.



5) Ποιο είναι το επίπεδο μόρφωσής σας;

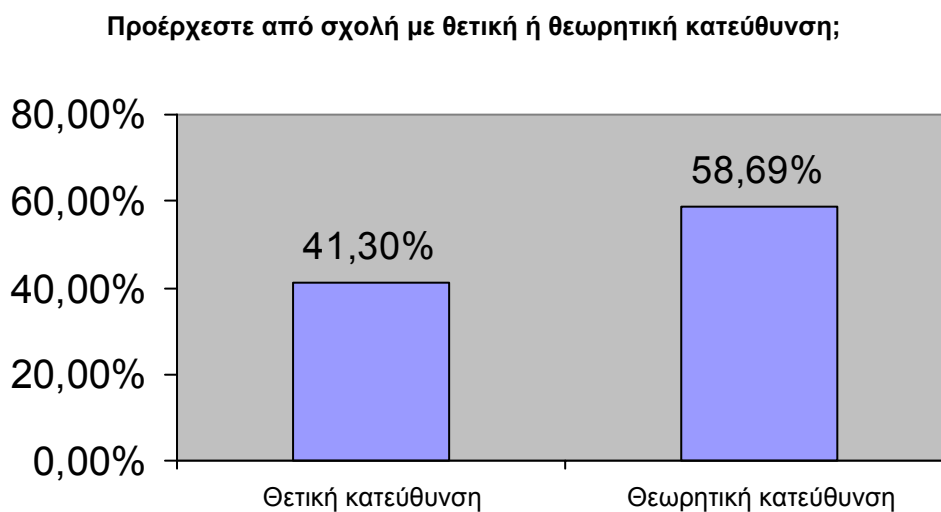
Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, καμία δεν αφορούσε το «αναλφάβητος», 12 (10,00%) επέλεξαν το «απόφοιτος Δημοτικού», 21 (17,50%) επέλεξαν το «απόφοιτος Γυμνασίου», 32 (26,67%) επέλεξαν το «απόφοιτος Λυκείου», 17 (14,17%) επέλεξαν το «σπουδαστής ΑΕΙ», 10 (8,33%) επέλεξαν το «απόφοιτος ΑΕΙ», 10 (8,33%) επέλεξαν το «σπουδαστής ΤΕΙ», 9 (7,50%) επέλεξαν το «απόφοιτος ΑΕΙ», 1 (0,83%) επέλεξε το «σπουδαστής ιδιωτικής σχολής», 8 άτομα (6,67%) επέλεξαν το «απόφοιτος ιδιωτικής σχολής» και κανένα άτομο δεν επέλεξε το «κάτοχος μεταπτυχιακού τίτλου».

Από τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνουμε ότι η πλειοψηφία των ερωτηθέντων αποτελείται από άτομα που είναι απόφοιτοι λυκείου.



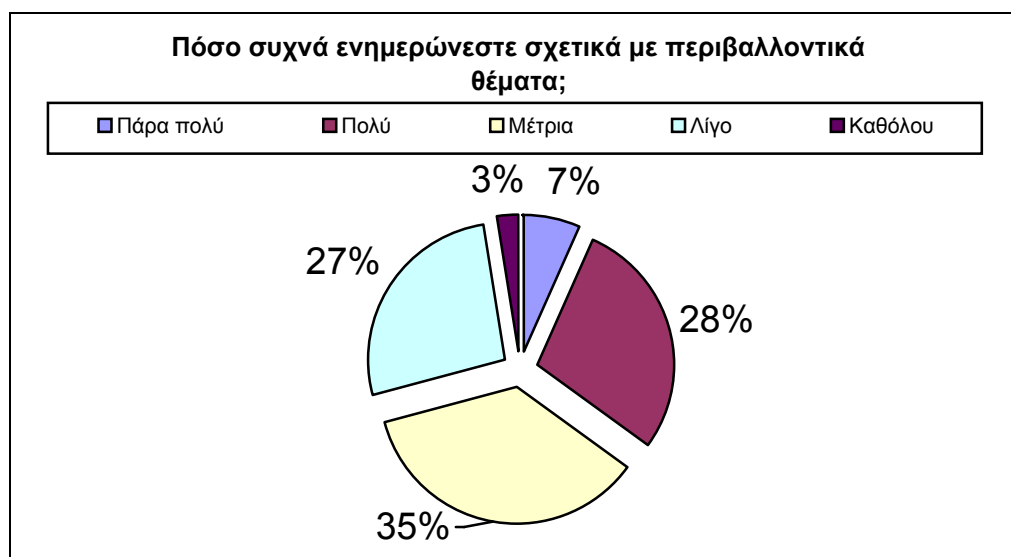
6) Αν είστε σπουδαστής / απόφοιτος ΑΕΙ-ΤΕΙ, προέρχεστε από σχολή με θετική ή θεωρητική κατεύθυνση;

Σε αυτή την ερώτηση δεν απάντησαν 74 άτομα καθότι δεν επέλεξαν στην ερώτηση 5 το «σπουδαστής ΑΕΙ» ή το «σπουδαστής ΤΕΙ» ή το «απόφοιτος ΑΕΙ» ή το «απόφοιτος ΤΕΙ». Από τα 46 άτομα που απάντησαν, τα 19 άτομα (41,30%) προέρχονται από σχολές με θετική κατεύθυνση ενώ 27 άτομα (58,69%) προέρχονται από σχολές με θεωρητική κατεύθυνση.



7) Πόσο συχνά ενημερώνεστε σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα;

Στην έβδομη ερώτηση του ερωτηματολογίου, σε σύνολο 120 απαντήσεων, 8 άτομα (6,67%) επέλεξαν το «Πάρα πολύ», 34 άτομα (28,33%) επέλεξαν το «Πολύ», 43 άτομα (35,83%) επέλεξαν το «Μέτρια», 32 άτομα (26,67%) επέλεξαν το «Λίγο» ενώ 3 άτομα (2,50%) δεν ενημερώνονται καθόλου σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα.

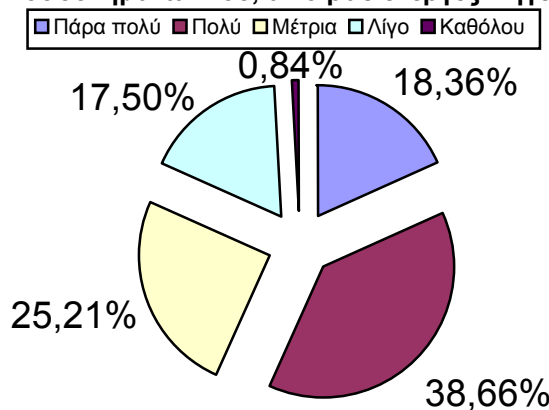


8) Σε τι βαθμό ανησυχείτε για τη ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του, από ραδιενεργές πηγές;

Στην όγδοη ερώτηση του ερωτηματολογίου, σε σύνολο 120 απαντήσεων, 22 άτομα (18,49%) επέλεξαν το «Πάρα πολύ», 46 άτομα (38,66%) επέλεξαν το «Πολύ», 30 άτομα (25,21%) επέλεξαν το «Μέτρια», 21 άτομα (17,50%) επέλεξαν το «Λίγο» ενώ 1 άτομο (0,84%) δεν ανησυχεί καθόλου σχετικά με τη ραδιενεργή ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του.

Από τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνουμε ότι η πλειοψηφία των ερωτηθέντων ανησυχεί πολύ για τη ραδιενεργή ρύπανση. Ωστόσο ο ένας στους τρεις ερωτηθέντες θεωρεί ότι μάλλον δεν τον αφορά αυτός ο κίνδυνος.

Σε τι βαθμό ανησυχείτε για τη ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του, από ραδιενεργές πηγές;

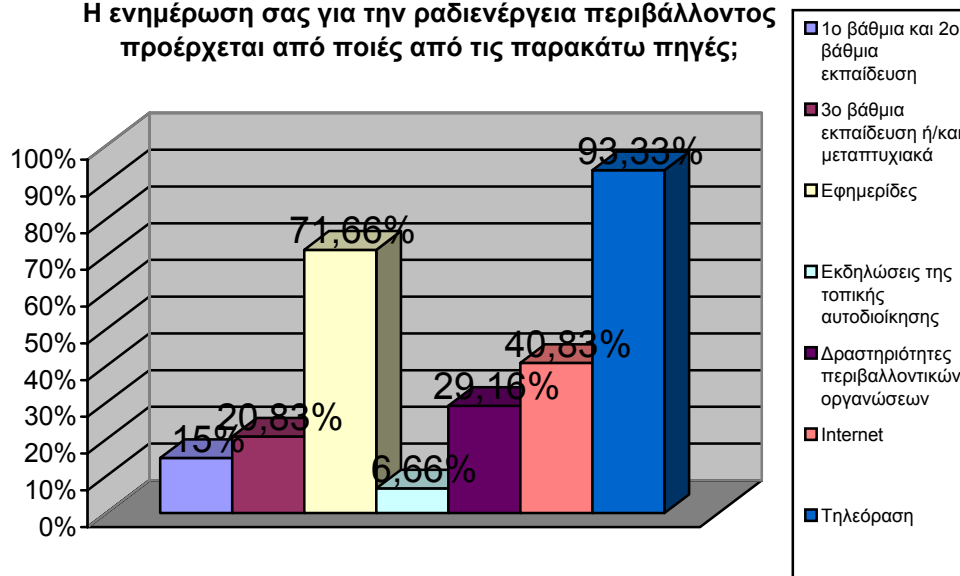


9) Η ενημέρωσή σας για την ραδιενέργεια περιβάλλοντος προέρχεται από ποιες πηγές;

Η πηγή «πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση» επιλέχτηκε 18 φορές. Η «τριτοβάθμια εκπαίδευση ή/και μεταπτυχιακά» επιλέχτηκε 25 φορές. Η πηγή «εφημερίδες» 86 φορές, ενώ η πηγή «εκδηλώσεις της τοπικής αυτοδιοίκησης» 8 φορές. Η πηγή «δραστηριότητες περιβαλλοντικών οργανώσεων» 35 φορές, η πηγή «internet» 49 φορές και η «τηλεόραση» 112 φορές.

Παρατηρούμε ότι οι κύριες πηγές ενημέρωσης των πολιτών σχετικά με την ραδιενέργεια περιβάλλοντος είναι η τηλεόραση και οι εφημερίδες, ενώ το internet σαν πηγή ενημέρωσης αρχίζει και γίνεται ανταγωνιστικό. Πλειοψηφούν λοιπόν τα Μ.Μ.Ε, σε όλες τις μορφές.

Η ενημέρωσή σας για την ραδιενέργεια περιβάλλοντος προέρχεται από ποιές από τις παρακάτω πηγές;



10) Σε τι βαθμό θα σας ενδιέφερε να σας ενημερώνουν τακτικά για προβλήματα ραδιενεργής ρύπανσης στο πλανήτη;

Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 14 άτομα (11,67%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 54 άτομα (45,00%) απάντησαν «Πολύ», 33 άτομα (27,50%) απάντησαν «Μέτρια» και 19 άτομα (15,83%) απάντησαν «Λίγο».

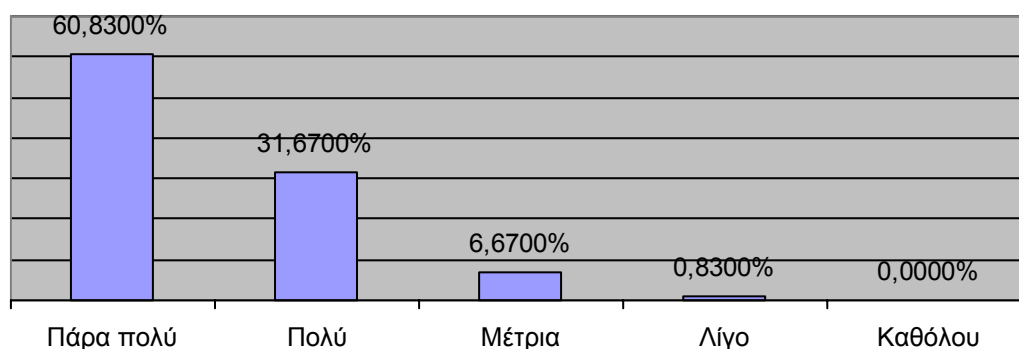
Από τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνουμε ότι η πλειοψηφία του δείγματος θα ήθελε να την ενημερώνουν για προβλήματα ραδιενεργής ρύπανσης στο πλανήτη σε πολύ μεγάλο βαθμό. Μόνο το 16% δεν ενδιαφέρεται.



11) Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι συνεισφέρουν στην έκθεση σε ραδιενέργεια τα παρακάτω;

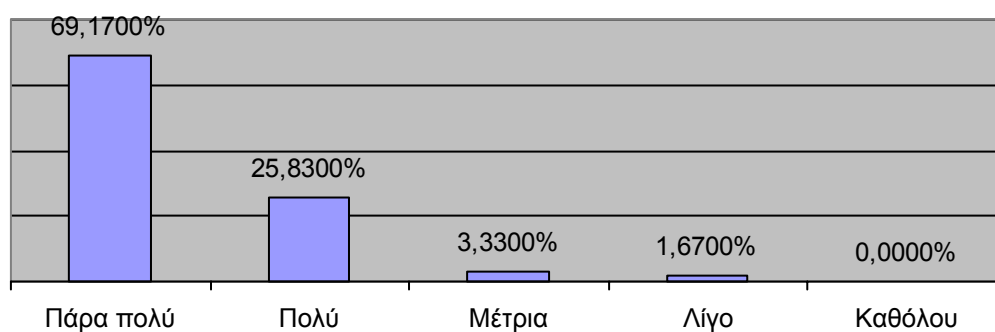
α) Ρύπανση από τις πυρηνικές δοκιμές, σε διάφορα μέρη του πλανήτη, που έγιναν από το 1945 έως τις μέρες μας.

Από το σύνολο του δείγματος, 73 άτομα (60,83%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 38 άτομα (31,67%) απάντησαν «Πολύ», 8 άτομα (6,67%) απάντησαν «Μέτρια» ενώ 1 μόλις άτομο (0,83%) απάντησε «Λίγο». Οι παγκόσμιες στατιστικές δικαιώνουν αυτούς που ανησυχούν για την ρύπανση από τις πυρηνικές δοκιμές. Το θέμα φαίνεται να απασχολεί πολύ και το δείγμα.



β) Ατυχήματα σε πυρηνικά εργοστάσια

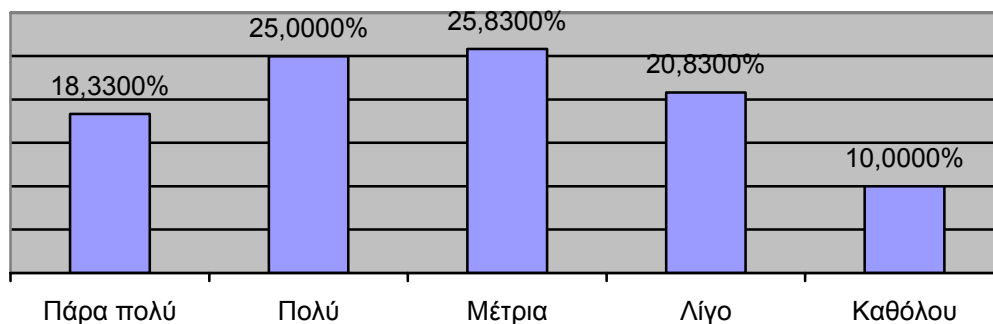
Από το σύνολο του δείγματος, 83 άτομα (69,17%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 31 άτομα (25,83%) απάντησαν «Πολύ», 4 άτομα (3,33%) απάντησαν «Μέτρια» ενώ 2 άτομα (1,67%) απάντησαν «Λίγο».



γ) Μεταφορά, επανεπεξεργασία και αποθήκευση ραδιενεργών αποβλήτων από πυρηνικούς σταθμούς

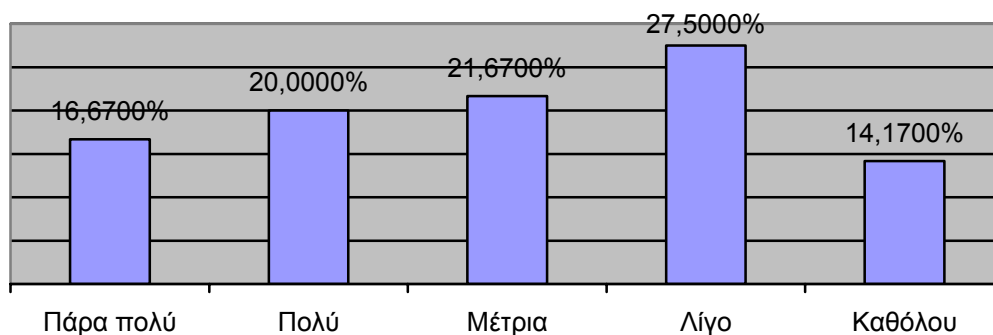
Από το σύνολο του δείγματος, 22 άτομα (18,33%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 30 άτομα (25,00%) απάντησαν «Πολύ», 31 άτομα (25,83%) απάντησαν «Μέτρια», 25 άτομα (20,83%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 12 άτομα (10,00%) απάντησαν

«Καθόλου». Με δεδομένη την μεγάλη συχνότητα σχετικών ατυχημάτων και το επισφαλές οποιασδήποτε μορφής αποθήκευσης, διαπιστώνεται ότι ουδείς σχεδόν αισθάνεται ασφαλής.



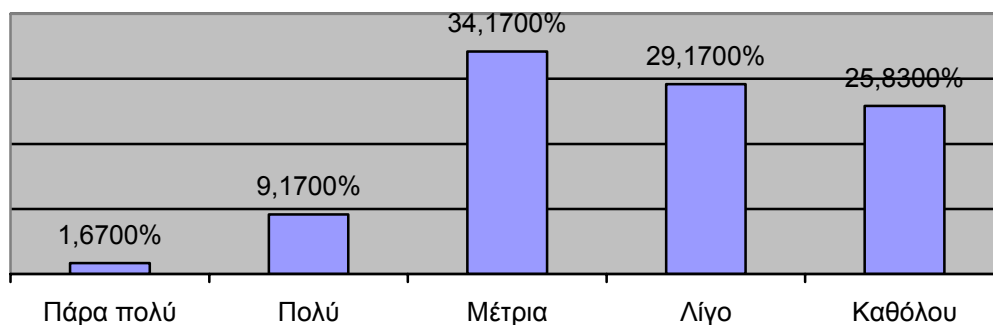
δ) Μεταφορά, επανεπεξεργασία και αποθήκευση ραδιενεργών αποβλήτων από μονάδες πυρηνικής ιατρικής στα νοσοκομεία

Από το σύνολο του δείγματος, 20 άτομα (16,67%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 24 άτομα (20,00%) απάντησαν «Πολύ», 26 άτομα (21,67%) απάντησαν «Μέτρια», 33 άτομα (27,50%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 17 άτομα (14,17%) απάντησαν «Καθόλου». Όπως και στην προηγούμενη ερώτηση, το 14,17% είναι υπεραισιόδοξο.



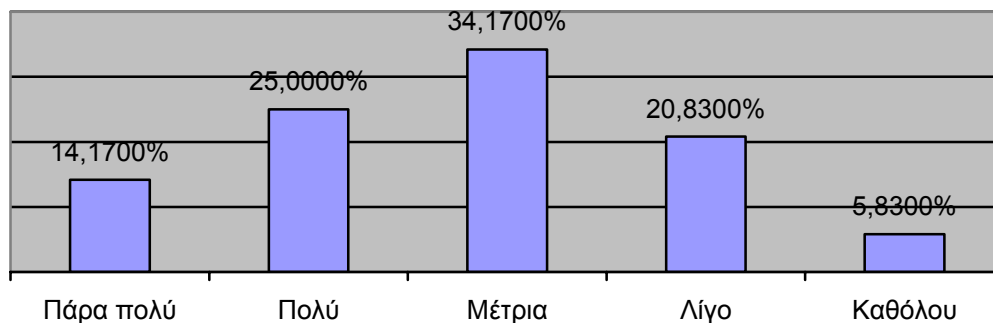
ε) Διαγνωστικές εξετάσεις και θεραπευτικές αγωγές με ραδιοϊσότοπα

Από το σύνολο του δείγματος, 2 άτομα (1,67%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 11 άτομα (9,17%) απάντησαν «Πολύ», 41 άτομα (34,17%) απάντησαν «Μέτρια», 35 άτομα (29,17%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 31 άτομα (25,83%) απάντησαν «Καθόλου». Αν και στατιστικά οι δόσεις υπολογίζονται να είναι ακίνδυνες, ποτέ κανείς δεν είναι απόλυτα ασφαλής, το 25,83% πλανάται, το 9,17% αγχώνεται παράλογα και ο ένας στους δύο (λίγο+μέτρια) σωστά επαγρυπνεί.



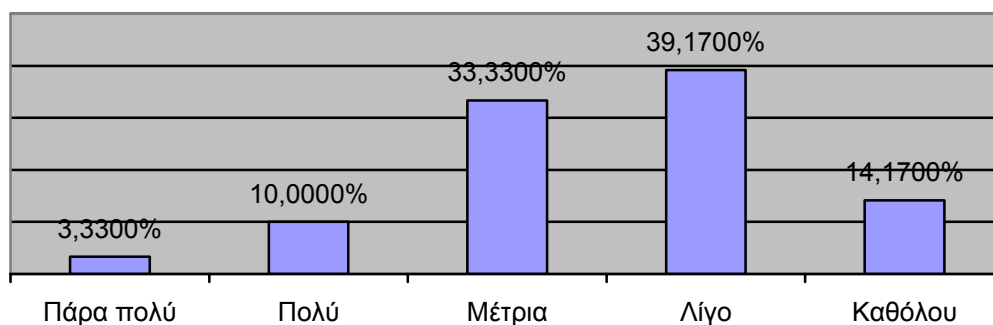
στ) Κατανάλωση ακτινοβολημένων τροφίμων

Από το σύνολο του δείγματος, 17 άτομα (14,17%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 30 άτομα (25,00%) απάντησαν «Πολύ», 41 άτομα (34,17%) απάντησαν «Μέτρια», 25 άτομα (20,83%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 7 άτομα (5,83%) απάντησαν «Καθόλου». Στην Ελλάδα κυκλοφορούν ελάχιστα ακτινοβολημένα τρόφιμα και για αυτό το λόγο δεν ανυσηχεί ο ένας στους 4. Αν όμως αυξηθούν δεδομένου ότι κάποιες μελέτες δείχνουν ότι υπάρχουν λόγοι ανυσηχίας, θα έπρεπε να επαγρυπνούμε περισσότερο.



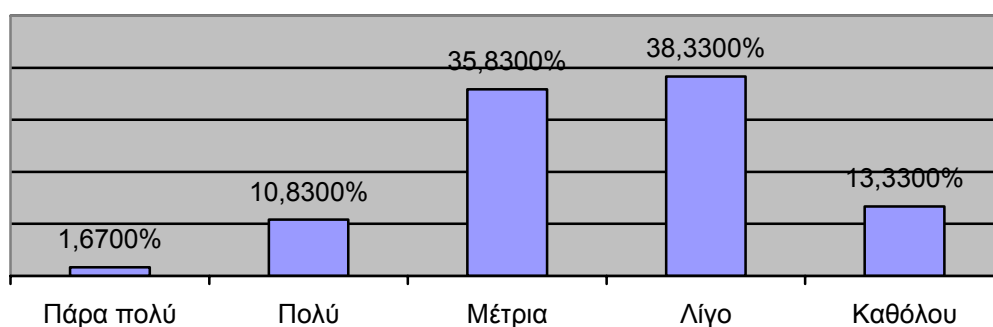
ζ) Αυξημένη έκθεση στη κοσμική ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των αεροπορικών πτήσεων

Από το σύνολο του δείγματος, 4 άτομα (0,33%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 12 άτομα (10,00%) απάντησαν «Πολύ», 40 άτομα (33,33%) απάντησαν «Μέτρια», 47 άτομα (39,17%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 17 άτομα (14,17%) απάντησαν «Καθόλου». Αυτοί που ταξιδεύουν συχνά με το αεροπλάνο θα έπρεπε πραγματικά να λάβουν υπόψη την αυξημένη έκθεση. Το Δείγμα, ή δεν ταξιδεύει πολύ, ή δεν γνωρίζει αυτή την πτυχή των αεροπορικών πτήσεων.



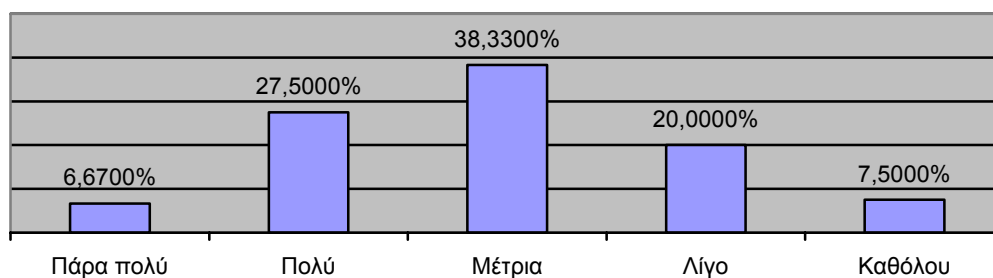
η) Αυξημένη έκθεση στη κοσμική ακτινοβολία στα μεγάλα υψόμετρα

Από το σύνολο του δείγματος, 2 άτομα (1,67%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 13 άτομα (10,83%) απάντησαν «Πολύ», 43 άτομα (35,83%) απάντησαν «Μέτρια», 46 άτομα (38,33%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 16 άτομα (13,33%) απάντησαν «Καθόλου». Δεδομένου ότι η έκθεση στην κοσμική ακτινοβολία υπερδιπλασιάζεται ανάλογα με το ύψος, σε σχέση με την τιμή της στην επιφάνεια της θάλασσας, ο ένας στους δύο χρήζει ιδιαίτερης ενημέρωσης.



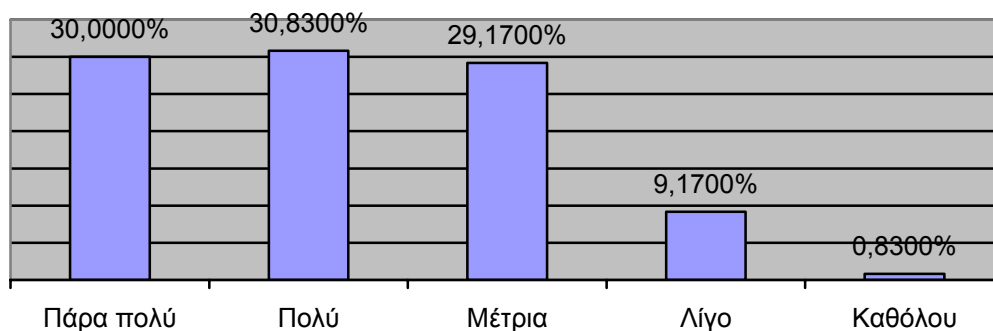
θ) Διαβίωση σε περιοχές με υπέδαφος που περιέχει ραδιενεργά κοιτάσματα

Από το σύνολο του δείγματος, 8 άτομα (6,67%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 33 άτομα (27,50%) απάντησαν «Πολύ», 46 άτομα (38,33%) απάντησαν «Μέτρια», 24 άτομα (20,00%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 9 άτομα (7,50%) απάντησαν «Καθόλου». Τα μικρά ποσοστά αυτών που ανησυχούν, ίσως να οφείλονται στην άγνοια για την γεωλογική σύσταση του εδάφους κάτω από τις κατοικίες μας.



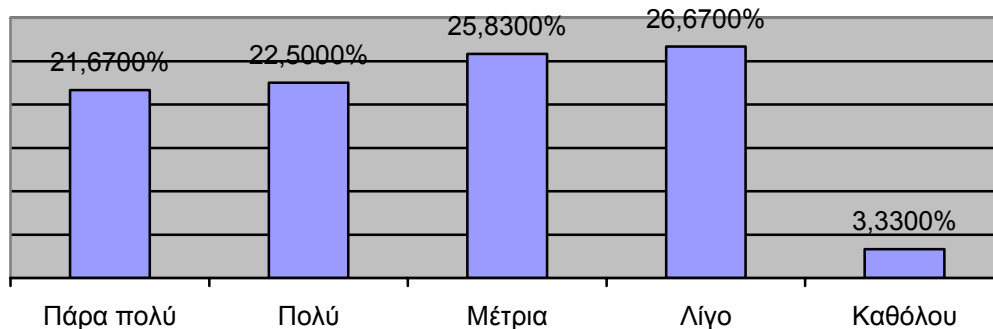
ι) Ρύπανση αέρα, εδάφους, υδροφόρου ορίζοντα από παράνομες χωματερές πυρηνικών αποβλήτων

Από το σύνολο του δείγματος, 36 άτομα (30,00%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 37 άτομα (30,83%) απάντησαν «Πολύ», 35 άτομα (29,17%) απάντησαν «Μέτρια», 11 άτομα (9,17%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 1 άτομο (0,83%) απάντησε «Καθόλου». Σωστά ανησυχεί το 60% περίπου, δεδομένου ότι ο αριθμός τέτοιων χωματερών διεθνώς αυξάνεται, αφού αρκετές φτωχές χώρες δέχονται στο έδαφός τους πυρηνικά απόβλητα γνωστών πυρηνικών δυνάμεων.



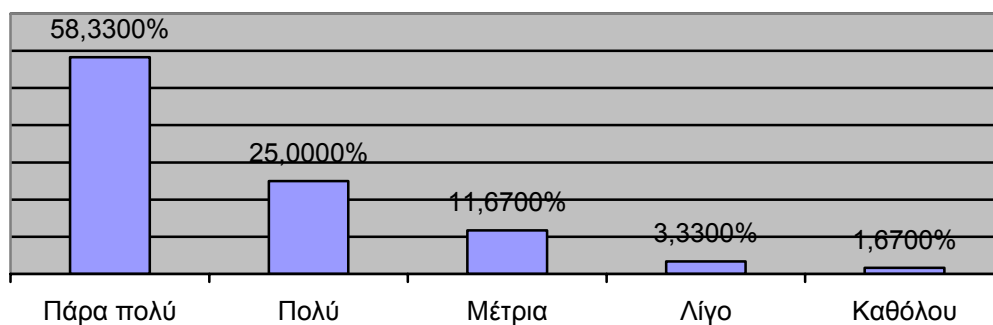
ια) Λαθρεμπόριο ραδιενεργών υλικών

Από το σύνολο του δείγματος, 26 άτομα (21,67%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 27 άτομα (22,50%) απάντησαν «Πολύ», 31 άτομα (25,83%) απάντησαν «Μέτρια», 32 άτομα (26,67%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 4 άτομα (3,33%) απάντησαν «Καθόλου». Η πλειοψηφία ορθώς ανησυχεί από μέτρια έως πάρα πολύ όπως διαπιστώνεται από σχετικά δημοσιεύματα στον ημερήσιο τύπο.



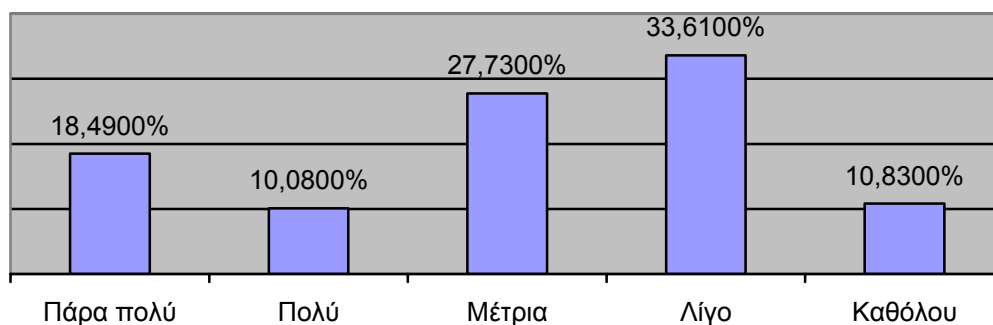
ιβ) Ατυχήματα ή συγκρούσεις πυρηνοκίνητων υποβρυχίων

Από το σύνολο του δείγματος, 70 άτομα (58,33%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 30 άτομα (25,00%) απάντησαν «Πολύ», 14 άτομα (11,67%) απάντησαν «Μέτρια», 4 άτομα (3,33%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 2 άτομα (1,67%) απάντησαν «Καθόλου». Δικαιολογημένα η πλειοψηφία ανησυχεί, σύμφωνα με τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν στο θεωρητικό τμήμα.



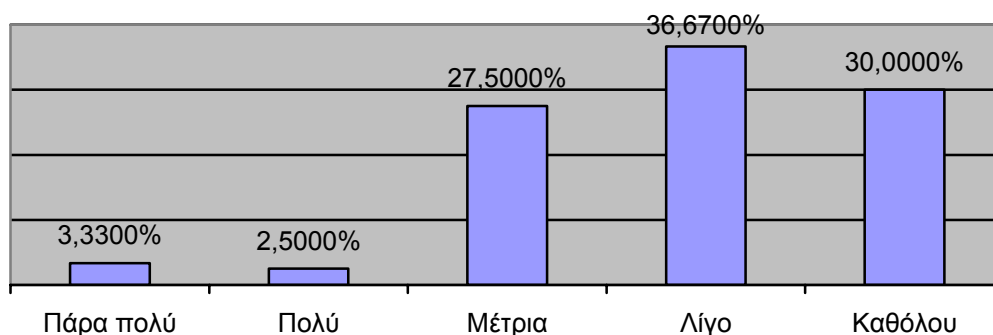
ιγ) Αποθήκευση πυρηνικών όπλων

Από το σύνολο του δείγματος, 22 άτομα (18,49%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 12 άτομα (10,08%) απάντησαν «Πολύ», 33 άτομα (27,73%) απάντησαν «Μέτρια», 40 άτομα (33,61%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 13 άτομα (10,83%) απάντησαν «Καθόλου». Το ποσοστό που δεν ανησυχεί (λίγο + καθόλου) είναι μεγαλύτερο από όσο θα ανέμενε κανείς, δεδομένου της πληθώρας δημοσιευμάτων στο τύπο σχετικά με την πολιτική αστάθεια διαφόρων «πυρηνικών δυνάμεων» αλλά και των δυσκολιών αποθήκευσης.



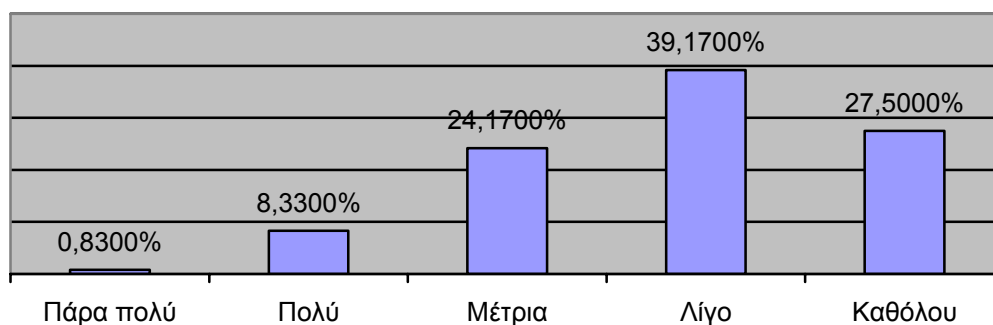
ιδ) Ορισμένα υλικά δόμησης στα κτίρια (π.χ. γρανίτες)

Από το σύνολο του δείγματος, 4 άτομα (3,33%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 3 άτομα (2,50%) απάντησαν «Πολύ», 33 άτομα (27,50%) απάντησαν «Μέτρια», 44 άτομα (36,67%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 36 άτομα (30,00%) απάντησαν «Καθόλου». Λανθασμένα ερμηνεύει ο ένας στους τρεις. Είναι δυνατόν, ανάλογα με τον τρόπο προέλευσης τα δομικά υλικά να περιέχουν σε διάφορα ποσοστά ραδιενεργά στοιχεία.



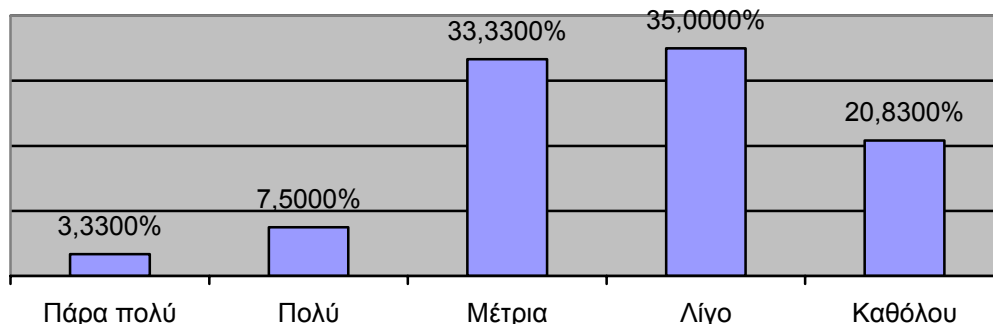
ιε) Υποσταθμοί ηλεκτρικού ρεύματος

Από το σύνολο του δείγματος, 1 άτομο (0,83%) απάντησε «Πάρα πολύ», 10 άτομα (8,33%) απάντησαν «Πολύ», 29 άτομα (24,17%) απάντησαν «Μέτρια», 47 άτομα (39,17%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 33 άτομα (27,50%) απάντησαν «Καθόλου». Περίπου ο ένας στους τρεις αντιλαμβάνεται ότι οι υποσταθμοί δεν παράγουν, ή χρησιμοποιούν το φαινόμενο της ραδιενέργειας.



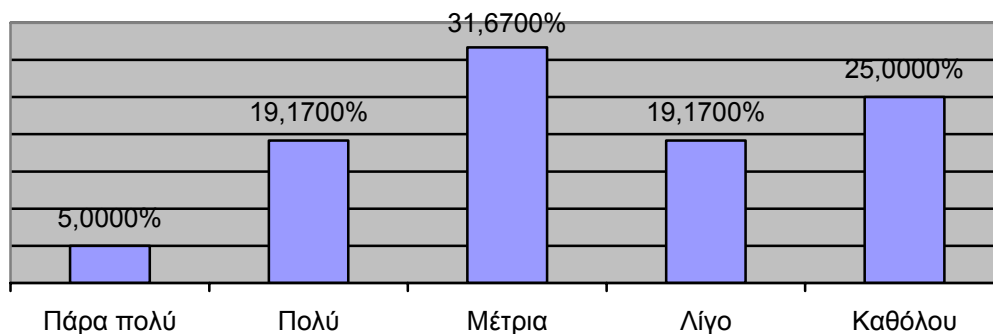
ιστ) Πυλώνες υπερύψηλης τάσης

Από το σύνολο του δείγματος, 4 άτομα (3,33%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 9 άτομα (7,50%) απάντησαν «Πολύ», 40 άτομα (33,33%) απάντησαν «Μέτρια», 42 άτομα (35,00%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 25 άτομα (20,83%) απάντησαν «Καθόλου». Μόνο ο ένας στους πέντε απάντησε σωστά. Οι υπόλοιποι συγχέουν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία με το φαινόμενο της ραδιενέργειας.



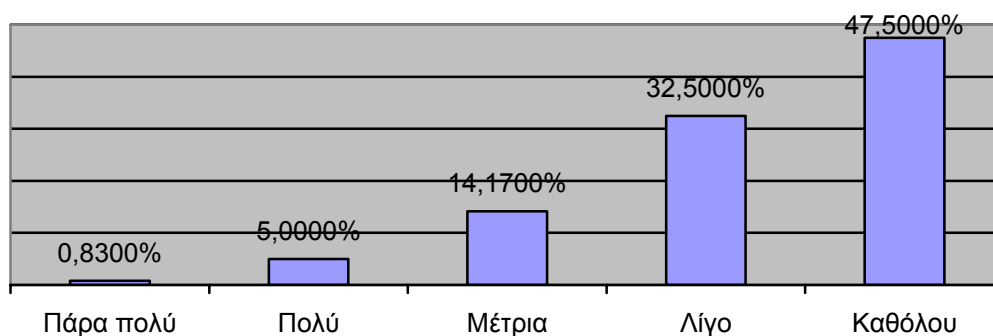
ιζ) Κεραίες κινητής τηλεφωνίας

Από το σύνολο του δείγματος, 6 άτομα (5,00%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 23 άτομα (19,17%) απάντησαν «Πολύ», 38 άτομα (31,67%) απάντησαν «Μέτρια», 23 άτομα (19,17%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 30 άτομα (25,00%) απάντησαν «Καθόλου». Μόνο ο ένας στους τέσσερις ορθά δεν μπερδεύει τις η/μ, μικροκυματικές ακτινοβολίες από τις κεραίες με την ραδιενέργεια. Όλοι οι υπόλοιποι πλανώνται παρόλη την τεράστια διάδοση της κινητής τηλεφωνίας, ο κόσμος δεν γνωρίζει τις βασικές αρχές λειτουργία τους.



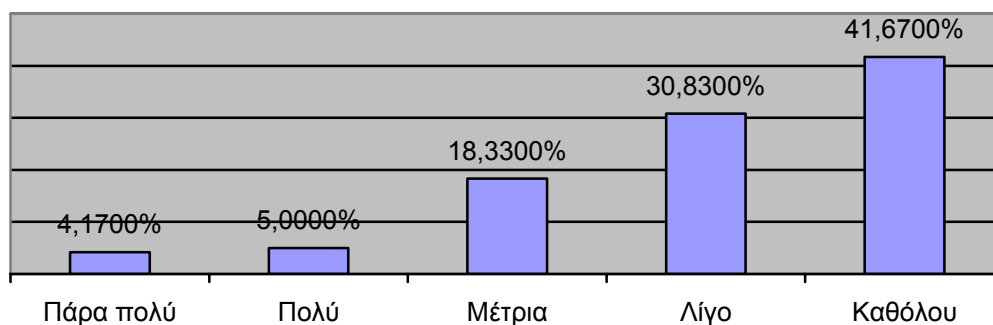
ιη) Ορισμένες ηλεκτρικές συσκευές

Από το σύνολο του δείγματος, 1 άτομο (0,83%) απάντησε «Πάρα πολύ», 6 άτομα (5,00%) απάντησαν «Πολύ», 17 άτομα (14,17%) απάντησαν «Μέτρια», 39 άτομα (32,50%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 57 άτομα (47,50%) απάντησαν «Καθόλου». Ο ένας στους δύο σωστά δεν συνδέει τον ηλεκτρισμό με την ραδιενέργεια, όλοι οι υπόλοιποι σε ενταση μικρή έως πολύ μεγάλη βρίσκονται σε σύγχυση, παρόλο που αυτή η γνώση διδάσκεται στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση.



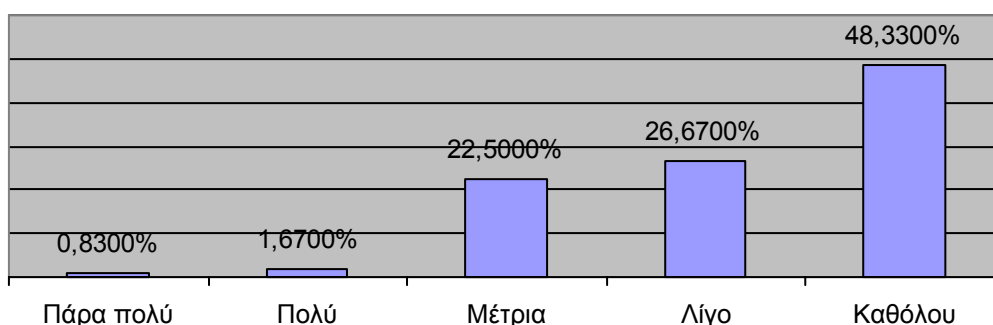
ιθ) Τέφρα σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο, γαιάνθρακες

Από το σύνολο του δείγματος, 5 άτομα (4,17%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 6 άτομα (5,00%) απάντησαν «Πολύ», 22 άτομα (18,33%) απάντησαν «Μέτρια», 37 άτομα (30,83%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 50 άτομα (41,67%) απάντησαν «Καθόλου». Λανθασμένα δεν ανυσηχεί η πλειοψηφία, δεδομένου ότι μέσω καπνού / τέφρας, η ραδιενέργεια του κάρβουνου διαχέεται στο περιβάλλον.



ι) Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία

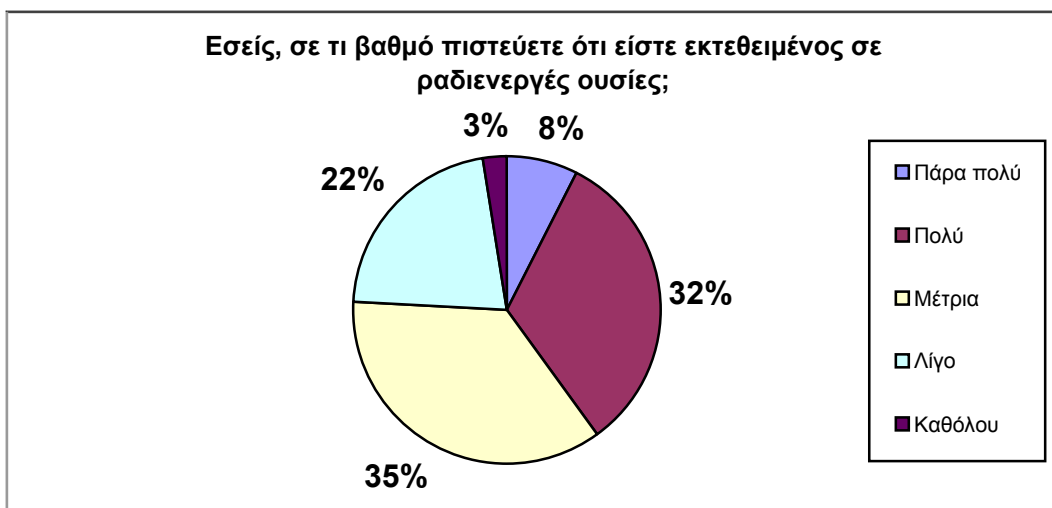
Από το σύνολο του δείγματος, 1 άτομο (0,83%) απάντησε «Πάρα πολύ», 2 άτομα (1,67%) απάντησαν «Πολύ», 27 άτομα (22,50%) απάντησαν «Μέτρια», 32 άτομα (26,67%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 58 άτομα (48,33%) απάντησαν «Καθόλου». Ο κόσμος δεν είναι πληροφορημένος σχετικά με τη μη αμελητέα ρύπανση που οφείλεται στην παραγωγή ενέργειας με γεωθερμία, ίσως γιατί αυτός ο τρόπος δεν είναι διαδεδομένος στη χώρα μας.



12) Εσείς, σε τι βαθμό πιστεύετε ότι είστε εκτεθειμένος σε ραδιενεργές ουσίες;

Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 9 άτομα (7,50%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 39 άτομα (32,50%) απάντησαν «Πολύ», 43 άτομα (35,83%) απάντησαν «Μέτρια», 26 άτομα (21,67%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 3 άτομα (2,50%) απάντησαν «Καθόλου».

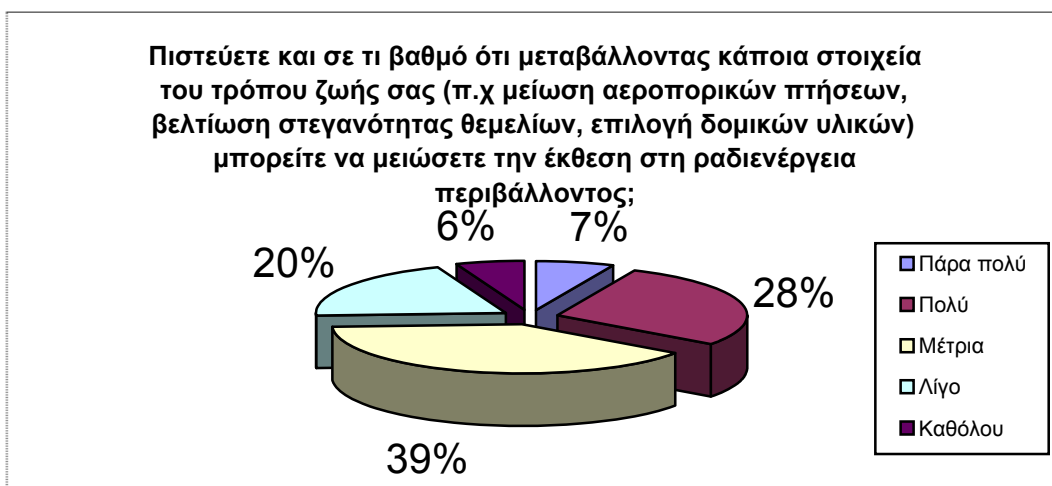
Συμπεραίνουμε ότι η πλειοψηφία του δείγματος πιστεύει ότι είναι εκτεθειμένη σε ραδιενεργές ουσίες σε μέτριο βαθμό. Δεδομένου ότι όλο σχεδόν το βόρειο ημισφαίριο συνεχίζει να είναι εκτεθειμένο στην ραδιενεργή ρύπανση των πυρηνικών δοκιμών από το 1940 και ύστερα, είναι παρήγορο ότι μόνο το 2,5% του δείγματος θεωρεί ότι δεν είναι καθόλου εκτεθειμένο στην ραδιενέργεια.



13) Πιστεύετε και σε τι βαθμό ότι μεταβάλλοντας κάποια στοιχεία του τρόπου ζωής σας (π.χ μείωση αεροπορικών πτήσεων, βελτίωση στεγανότητας θεμελίων, επιλογή δομικών υλικών) μπορείτε να μειώσετε την έκθεση στη ραδιενέργεια περιβάλλοντος;

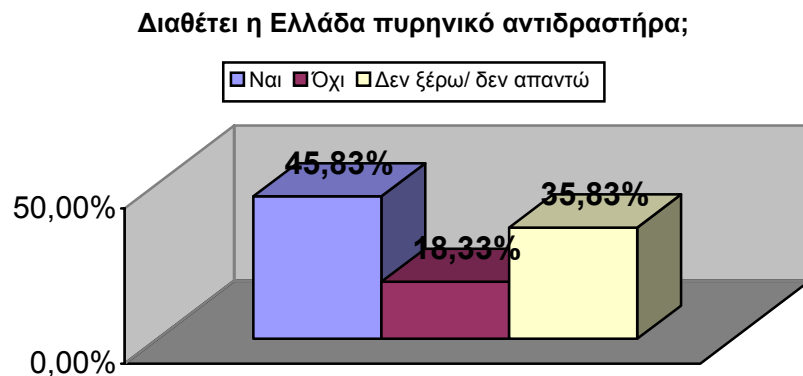
Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 8 άτομα (6,67%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 34 άτομα (28,33%) απάντησαν «Πολύ», 47 άτομα (39,17%) απάντησαν «Μέτρια» 24 άτομα (20,00%) απάντησαν «Λίγο» ενώ 7 άτομα (5,83%) απάντησαν «Καθόλου».

Από τα παραπάνω δεδομένα είναι φανερό ότι η πλειοψηφία του δείγματος πιστεύει ότι μπορεί να μειώσει την έκθεση στη ραδιενέργεια περιβάλλοντος σε μέτριο βαθμό. Η άποψη αυτή κρίνεται ρεαλιστική με την έννοια ότι όπως μπορεί ο καθένας ατομικά να περιορίσει την έκθεση τους σε κάποιο βαθμό, δεν είναι όμως ποτέ απόλυτα ασφαλές εφόσον η διακίνηση ραδιενεργών ουσιών είναι διεθνές φαινόμενο, άλλοτε ελεγχόμενο και άλλοτε όχι.



14) Διαθέτει η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα;

Σε αυτή την ερώτηση 55 άτομα (45,83%) απάντησαν «Ναι», 22 άτομα (18,33%) απάντησαν «Όχι» ενώ 43 άτομα (35,83%) απάντησαν «Δεν ξέρω/ δεν απαντώ». Δεδομένου ότι στο Ινστιτούτο ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», στην Αγία Παρασκευή Αττικής, υπάρχει ο μοναδικός πυρηνικός αντιδραστήρας της χώρας, δεν είναι ικανοποιητικό το γεγονός ότι οι περισσότεροι από τους μισούς, είτε σφάλουν, είτε δεν το γνωρίζουν. Η άγνοια αυτή δεν συμβαδίζει με την επαγρύπνηση του δείγματος σε θέματα έκθεσης στη ραδιενέργεια.



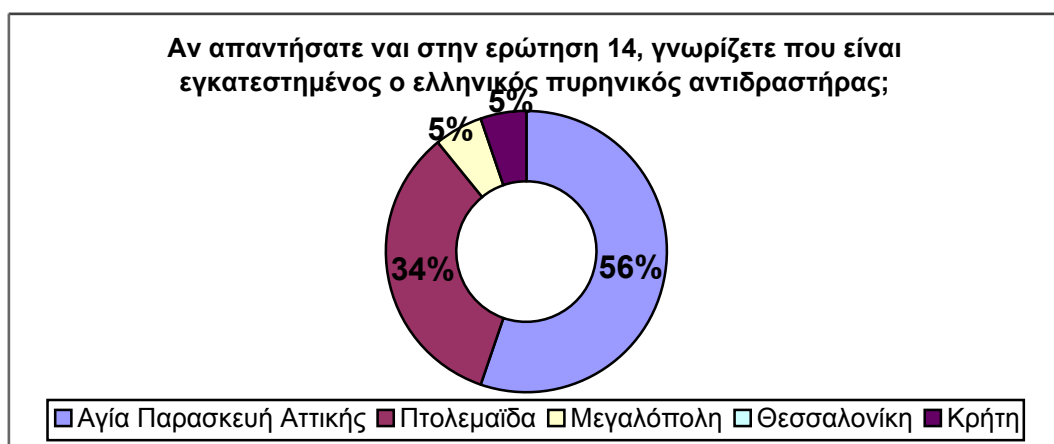
15) Αν απαντήσατε ναι στη προηγούμενη ερώτηση, για ποιο σκοπό λειτουργεί ο αντιδραστήρας;

Σε αυτή την ερώτηση απάντησαν 55 άτομα εκ των οποίων 41 άτομα (74,00%) απάντησαν «για ερευνητικούς σκοπούς και παραγωγή ραδιοϊσοτόπων», 12 άτομα (21,00%) απάντησαν «για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας» ενώ 2 άτομα (5,00%) απάντησαν «δεν γνωρίζω». Η πλειοψηφία αυτών που γνωρίζουν για τον μοναδικό πυρηνικό αντιδραστήρα της χώρας, γνωρίζει ορθά και για την χρήση του, άρα η γνώση αυτή δεν είναι επιφανειακή.



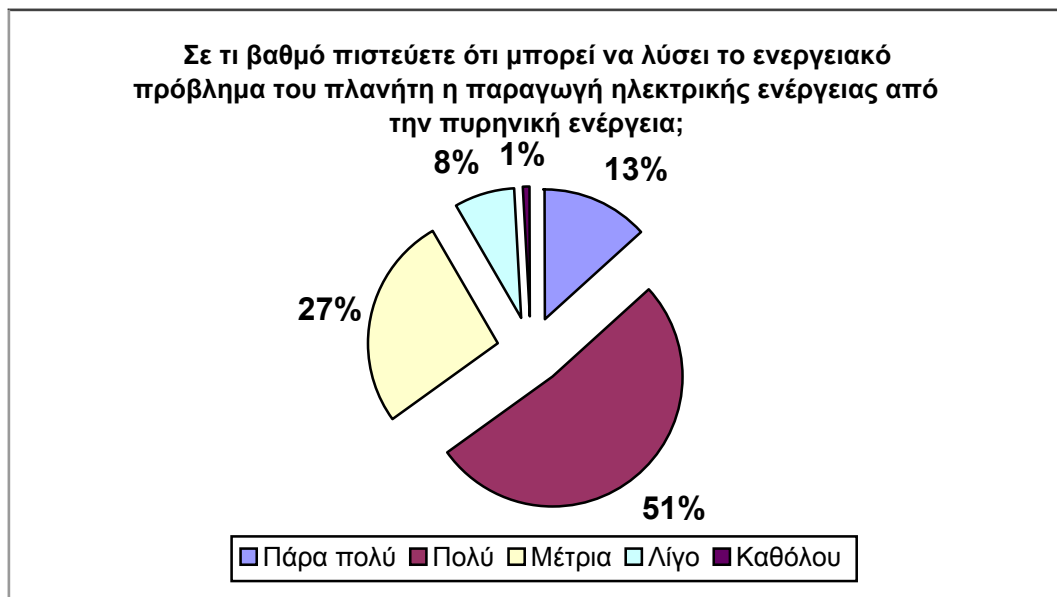
16) Αν απαντήσατε ναι στην ερώτηση 14, γνωρίζετε που είναι εγκατεστημένος ο ελληνικός πυρηνικός αντιδραστήρας;

Σε αυτή την ερώτηση απάντησαν 56 άτομα εκ των οποίων τα 31 άτομα (56,00%) απάντησαν «Αγία Παρασκευή Αττικής», 19 άτομα (34,00%) απάντησαν «Πτολεμαΐδα», 3 άτομα (5,00%) απάντησαν «Μεγαλόπολη» και 3 άτομα (5,00%) απάντησαν «Κρήτη». Και εδώ η επιφανειακή γνώση του θέματος, όπως και στην προηγούμενη ερώτηση περιορίζεται στο 20% αυτών που έχουν ακούσει για τον αντιδραστήρα.



17) Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι μπορεί να λύσει το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την πυρηνική ενέργεια;
Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 16 άτομα (13,33%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 62 άτομα (51,67%) απάντησαν «Πολύ», 32 άτομα (26,67%) απάντησαν «Μέτρια», 9 άτομα (7,50%) απάντησαν «Λίγο» και 1 άτομο (0,83%) απάντησε «Καθόλου».

Είναι φανερό ότι οι πλειοψηφία του δείγματος τάσσεται υπέρ της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την πυρηνική ενέργεια και μάλιστα πιστεύει ότι μπορεί να λύσει το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη σε πολύ μεγάλο βαθμό, πράγμα σωστό αν αγνοήσει κανείς τις επιπτώσεις της παραγωγής μακροπρόθεσμα στο περιβάλλον.



18) Θα θέλατε να παράγει η Ελλάδα ηλεκτρική ενέργεια από πυρηνικό εργοστάσιο;

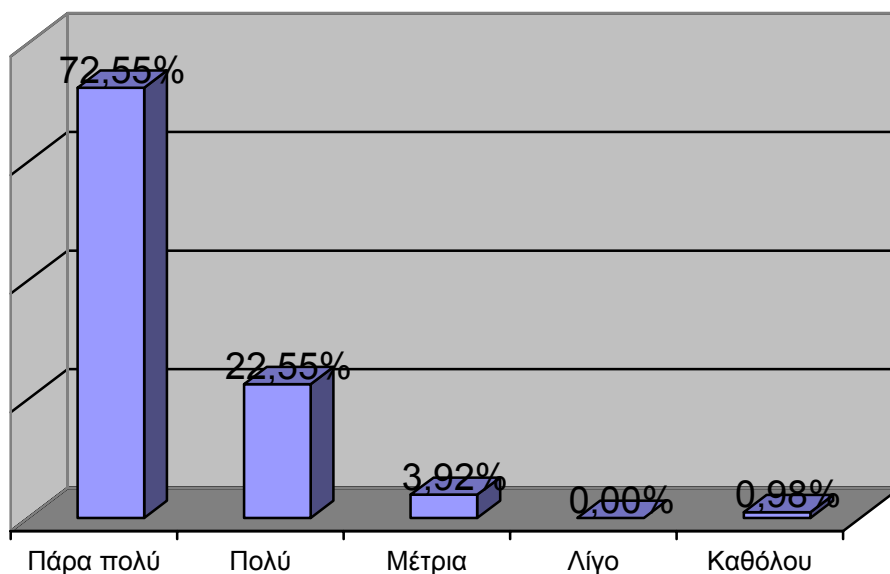
Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 56 άτομα (46,67%) απάντησαν «Ναι», 39 άτομα (32,50%) απάντησαν «Όχι» και 25 άτομα (20,83%) απάντησαν «Δεν ξέρω/ δεν απαντώ». Δεδομένου του πολύ υψηλού ποσοστού του δείγματος που θεωρούσε σημαντική πηγή ραδιενέργειας τα ατυχήματα στα πυρηνικά εργοστάσια, προβληματίζει το 32,50% και ίσως και το 40,67%. Το 20,83% ερμηνεύεται με δυσκολία. Ίσως υποδηλώνει άγνοια για την συχνότητα ατυχημάτων στα πυρηνικά εργοστάσια, όπως και στην μεταφορά, αποθήκευση ραδιενεργών αποβλήτων.



19) Τι περισσότερο σας προβληματίζει σχετικά με τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας;

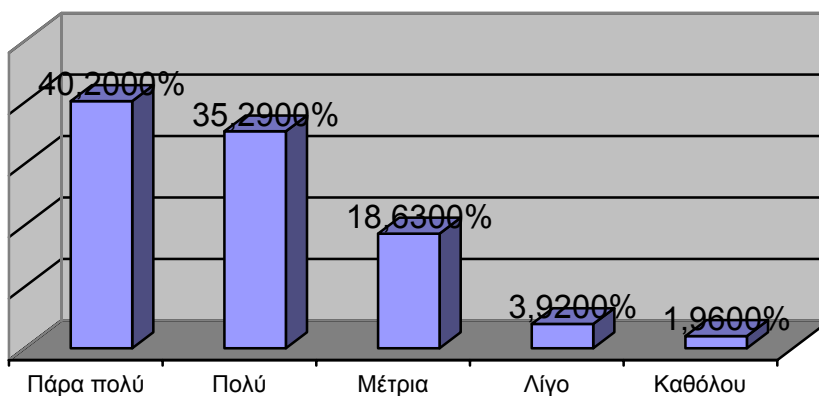
α) Ο κίνδυνος ατυχημάτων

Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 74 άτομα (72,55%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 23 άτομα (22,55%) απάντησαν «Πολύ», 4 άτομα (3,92%) απάντησαν «Μέτρια» και 1 άτομο (0,98%) απάντησε «Καθόλου». Είναι εντυπωσιακό ότι παρόλο που σχεδόν ο ένας στους δύο δεν θα είχε αντίρρηση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνική, σχεδόν όλοι φοβούνται πολύ τα ατυχήματα. Ίσως να οφείλεται στην αγωνία για αυξανόμενο κόστος της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, η απόφασή τους.



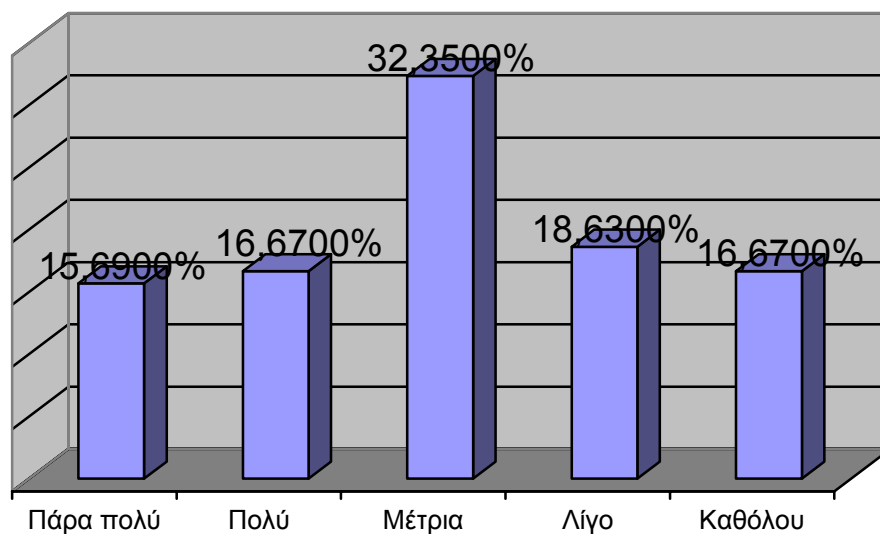
β) Η επισφαλής αποθήκευση αποβλήτων

Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 41 άτομα (40,20%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 36 άτομα (35,29%) απάντησαν «Πολύ», 19 άτομα (18,63%) απάντησαν «Μέτρια», 4 άτομα (3,92%) απάντησαν «Λίγο» και 2 άτομα (1,96%) απάντησαν «Καθόλου». Και πάλι οι φόβοι της πλειοψηφίας δεν συνάδουν με την απόφασή τους υπέρ της χρήσης πυρηνικής ενέργειας.



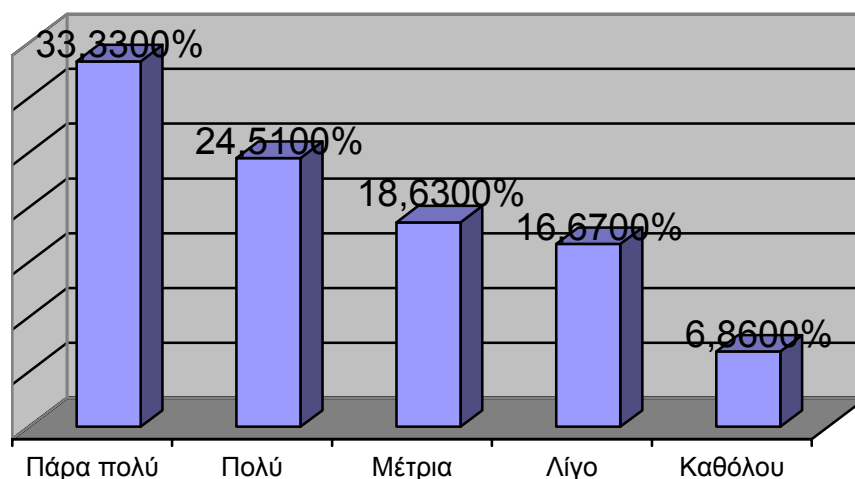
γ) Το υψηλό κόστος κατασκευής/ λειτουργίας/ συντήρησης

Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 16 άτομα (15,69%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 17 άτομα (16,67%) απάντησαν «Πολύ», 33 άτομα (32,35%) απάντησαν «Μέτρια», 19 άτομα (18,63%) απάντησαν «Λίγο» και 17 άτομα (16,67%) απάντησαν «Καθόλου». Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν μάλλον άγνοια για το υψηλό κόστος κατασκευής, λειτουργίας, συντήρησης. Μόνο ο ένας στους τρεις το έχει συνειδητοποιήσει.



δ) Πιθανό σεισμογενές υπέδαφος

Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 34 άτομα (33,33%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 25 άτομα (24,51%) απάντησαν «Πολύ», 19 άτομα (18,63%) απάντησαν «Μέτρια», 17 άτομα (16,67%) απάντησαν «Λίγο» και 7 άτομα (6,86%) απάντησαν «Καθόλου». Δικαιολογημένα η πλειοψηφία ανυσηχεί λόγω της υψηλής σεισμικότητας της χώρας.

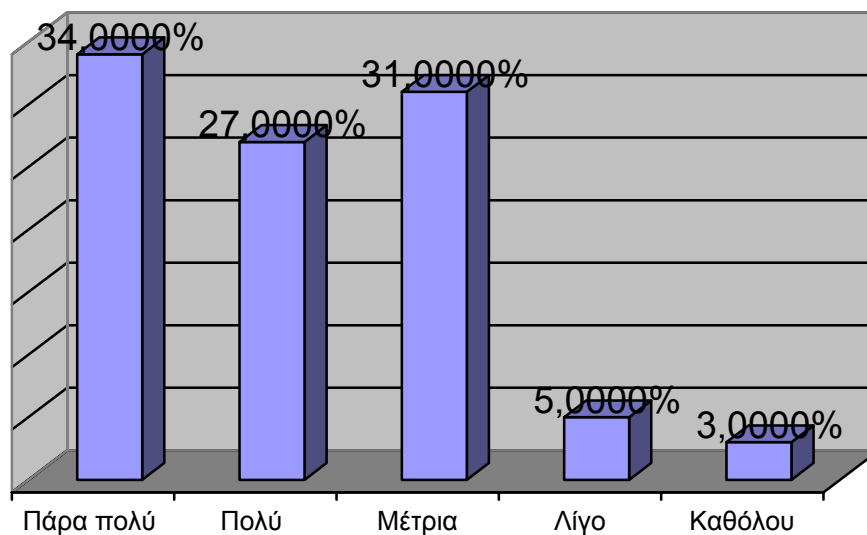


18 άτομα (15,00%) απάντησαν «Δεν ξέρω/ δεν απαντώ»

20) Τι περισσότερο σας ελκύει στη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας;

α) Η ενεργειακή αυτονομία

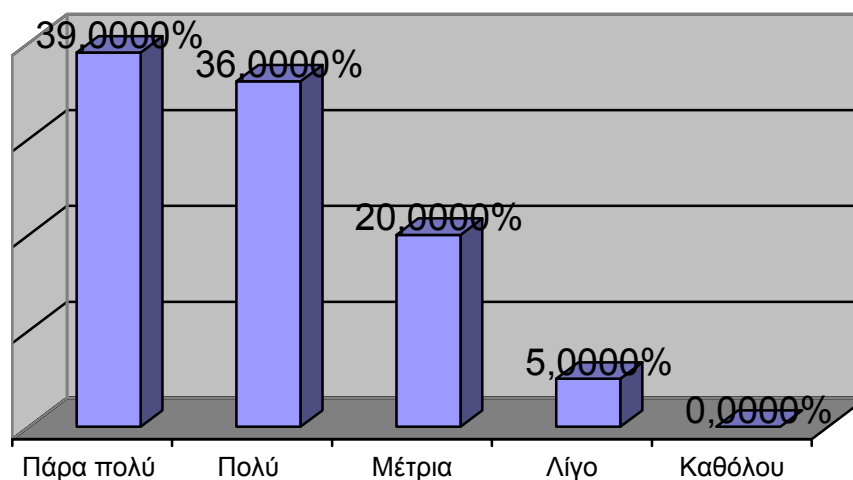
Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 34 άτομα (34,00%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 27 άτομα (27,00%) απάντησαν «Πολύ», 31 άτομα (31,00%) απάντησαν «Μέτρια», 5 άτομα (5,00%) απάντησαν «Λίγο» και 3 άτομα (3,00%) απάντησαν «Καθόλου».



β) Τα χαμηλότερα τιμολόγια

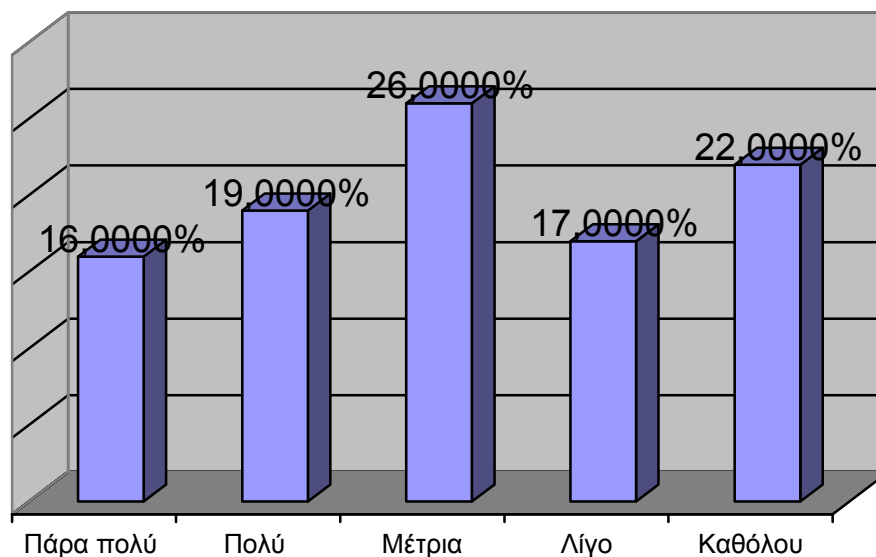
Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 39 άτομα (39,00%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 36 άτομα (36,00%) απάντησαν «Πολύ», 20 άτομα (20,00%) απάντησαν

«Μέτρια», 5 άτομα (5,00%) απάντησαν «Λίγο» ενώ κανένα άτομο δεν απάντησε «Καθόλου».



γ) Η αναβάθμιση του διεθνούς κύρους της χώρας μας

Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 16 άτομα (16,00%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 19 άτομα (19,00%) απάντησαν «Πολύ», 26 άτομα (26,00%) απάντησαν «Μέτρια», 17 άτομα (17,00%) απάντησαν «Λίγο» και 22 άτομα (22,00%) απάντησαν «Καθόλου».



20 άτομα (16,81%) απάντησαν «Δεν ξέρω/ δεν απαντώ»

Συμπερασματικά η πλειοψηφία ενδιαφέρεται για φθηνότερη ενεργειακή αυτονομία, ωστόσο εμφανώς στη συνείδηση του κόσμου η κατασκευή πυρηνικών αντιδραστήρων για ηλεκτρική ενέργεια αναβαθμίζει την χώρα διεθνώς.

21) Ποιες από τις γειτονικές χώρες της Ελλάδας διαθέτουν ήδη, ή κατασκευάζουν πυρηνικά εργοστάσια;

Η επιλογή «Βουλγαρία» επιλέχτηκε 104 φορές, η επιλογή «Αλβανία» επιλέχτηκε 12 φορές, η επιλογή «Τουρκία» επιλέχτηκε 67 φορές, η επιλογή «Χώρες από τη διαίρεση της Πρώην Γιουγκοσλαβίας» επιλέχτηκε 35 φορές και η επιλογή «Ιταλία» επιλέχτηκε 72 φορές. Η πλειοψηφία του δείγματος γνωρίζει για τους πυρηνικούς αντιδραστήρες της Βουλγαρίας και περίπου ο ένας στους δύο μόνο για τον πυρηνικό αντιδραστήρα που κατασκευάζεται στην Τουρκία.



22) Σε τι βαθμό σας προβληματίζει αυτό;

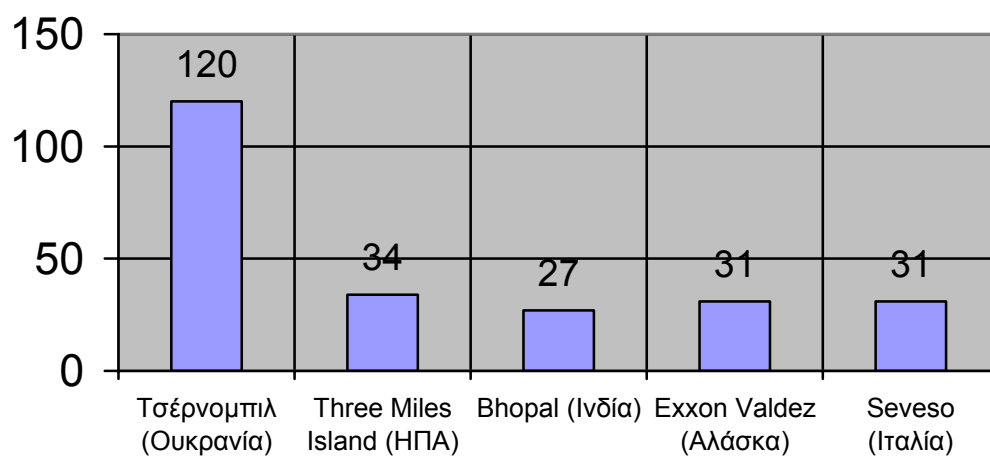
Από το σύνολο των 120 απαντήσεων, 40 άτομα (33,33%) απάντησαν «Πάρα πολύ», 46 άτομα (38,33%) απάντησαν «Πολύ», 23 άτομα (19,17%) απάντησαν «Μέτρια», 10 άτομα (8,33%) απάντησαν «Λίγο» και 1 άτομο (0,83%) απάντησε «Καθόλου». Παρόλο που η πλειψηφία του δείγματος δεν θα είχε αντίρρηση για πυρηνικούς αντιδραστήρες στο έδαφός της, την ενοχλεί πολύ όταν κάνουν το ίδιο οι γείτονες!



23) Ποια από τα κάτωθι ατυχήματα σχετίζονται με τη διασπορά ραδιενέργειας στο περιβάλλον;

Η επιλογή «Τσερνομπίλ (Ουκρανία)» επιλέχτηκε 120 φορές, η επιλογή «Three Miles Island (ΗΠΑ)» επιλέχτηκε 34 φορές, η επιλογή «Bhopal (Ινδία)» επιλέχτηκε 27 φορές, η επιλογή «Exxon Valdez (Αλάσκα)» επιλέχτηκε 31 φορές και η επιλογή «Seveso (Ιταλία)» επιλέχτηκε 31 φορές. Όλοι λοιπόν ήξεραν για το Τσερνομπίλ, και το 27,3% ήξερε για το Three Miles Island. Μόνο οι επιλογές Τσερνομπίλ και Three Miles Island είναι οι σωστές.

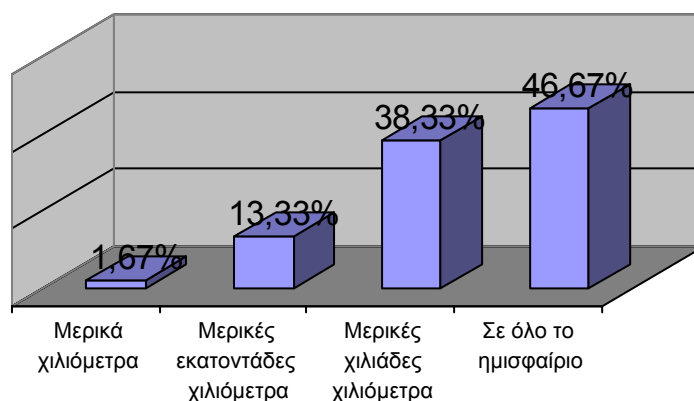
Ποιά από τα κάτωθι ατυχήματα σχετίζονται με τη διασπορά ραδιενέργειας στο περιβάλλον;



24) Αν μία πυρηνική έκρηξη λάβει χώρα κάπου, η ραδιενεργός ρύπανση, πόσο μακριά μπορεί να μεταφερθεί, λόγω κλιματολογικών συνθηκών;

Από το σύνολο του δείγματος, 2 άτομα (1,67%) επέλεξαν το «Μερικά χιλιόμετρα», 16 άτομα (13,33%) επέλεξαν το «Μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα», 46 άτομα (38,33%) επέλεξαν το «Μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα» και 56 άτομα (46,67%) επέλεξαν το «Σε ολόκληρο το ημισφαίριο». Ανάλογα του ύψους που συμβαίνει η έκρηξη όντως η ρύπανση μπορεί να διασπαρεί μέσω της στρατόσφαιρας σε ολόκληρο το ημισφαίριο. Θεωρούμε ενθαρρυντικό ότι ο γνωρίζει ο ένας στους δύο.

Αν μία πυρηνική έκρηξη λάβει χώρα κάπου, η ραδιενεργός ρύπανση πόσο μακριά μπορεί να μεταφερθεί, λόγω κλιματολογικών συνθηκών



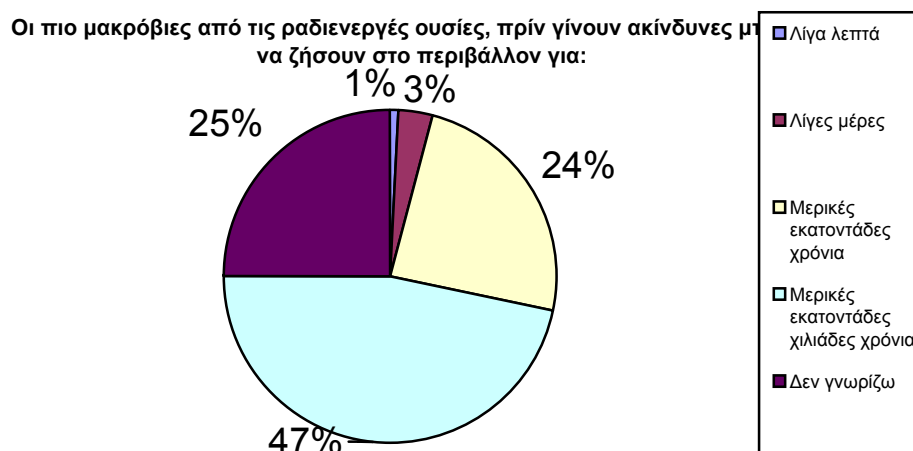
25) Η ραδιενέργεια είναι πιο επικίνδυνη αν:

Από τα 120 άτομα που συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο, τα 21 άτομα (17,50%) επέλεξαν το «Η πηγή της είναι έξω από το σώμα», ενώ 99 άτομα (82,50%) επέλεξαν το «Η πηγή της έχει εισέλθει στο σώμα από την αναπνοή ή τη διατροφή μας». Η συντριπτική πλειοψηφία τοποθετείται σωστά, ώστε ο ένας στους πέντε οφείλει να ενημερωθεί



26) Οι πιο μακρόβιες από τις ραδιενεργές ουσίες, πριν γίνουν ακίνδυνες μπορούν να ζήσουν στο περιβάλλον για:

Σε σύνολο 120 απαντήσεων, η απάντηση «Λίγα λεπτά» επιλέχτηκε 1 φορά (0,83%), η απάντηση «Λίγες μέρες» επιλέχτηκε 4 φορές (3,33%), η απάντηση «Μερικές εκατοντάδες χρόνια» επιλέχτηκε 29 φορές (24,17%) και η απάντηση «Μερικές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια» επιλέχτηκε 56 φορές (46,67%). 30 άτομα (25,00%) επέλεξαν το «Δεν γνωρίζω».

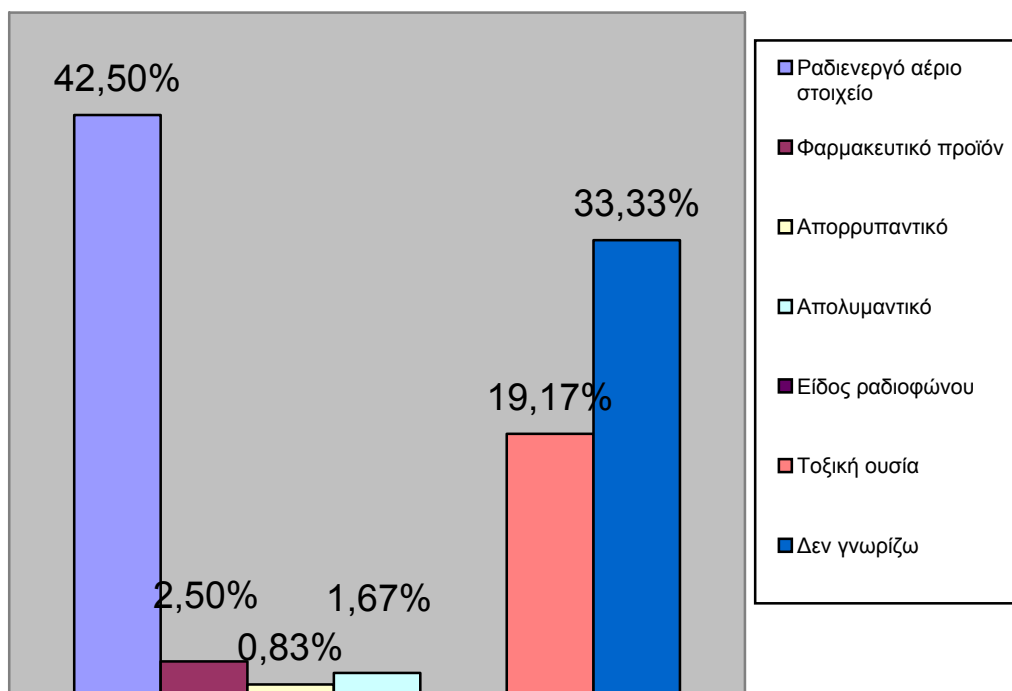


27) Το ραδόνιο είναι:

Σε σύνολο 120 ατόμων, 51 άτομα (42,50%) επέλεξαν το «Ραδιενεργό αέριο στοιχείο», 3 άτομα (2,50%) επέλεξαν το «Φαρμακευτικό προϊόν», 1 άτομο (0,83%) επέλεξε το «Απορρυπαντικό», 2 άτομα (1,67%) επέλεξαν το «Απολυμαντικό», 23 άτομα (19,17%) επέλεξαν το «Τοξική ουσία» και 40 άτομα (33,33%) επέλεξαν το «Δεν γνωρίζω». Δεδομένου ότι το ραδόνιο αποτελεί την

σημαντικότερη πηγή φυσικής ραδιενέργειας που λαμβάνει ο άνθρωπος, το 42,50% είναι ενθαρρυντικό.

Το ραδόνιο είναι:



6.3 Συσχετίσεις εξαρτημένων μεταβλητών

Για την πραγματοποίηση της στατιστικής ανάλυσης αυτής της μορφής, έγιναν συσχετίσεις των γενικών ερωτήσεων του ερωτηματολογίου, δηλαδή των ερωτήσεων 1 έως 6, με όλες τις υπόλοιπες ερωτήσεις του ερωτηματολογίου, δηλαδή τις ερωτήσεις 7 έως 25. Από τα αποτελέσματα των συσχετίσεων αυτών, έγινε έλεγχος ανεξαρτησίας X^2 (Chi-Square Test), της κάθε συσχέτισης, για να διαπιστωθεί ποιες μεταβλητές είναι εξαρτημένες και ποιες είναι ανεξάρτητες.

Η διατύπωση κάθε ελέγχου υποθέσεων περιλαμβάνει την μηδενική υπόθεση (H_0) και την εναλλακτική υπόθεση (H_1).

1. H_0 : οι μεταβλητές X και Ψ του δείγματος κατανέμονται ανεξάρτητα στον πληθυσμό (οι μεταβλητές X και Ψ είναι ανεξάρτητες).
2. H_1 : οι μεταβλητές X και Ψ του δείγματος δεν κατανέμονται ανεξάρτητα στο πληθυσμό (οι μεταβλητές X και Ψ είναι εξαρτημένες).

Η τιμή του X^2 συγκρίνεται με την πιθανότητα παρατήρησης της τιμής αυτής (P-Value) και οδηγεί στα εξής συμπεράσματα:

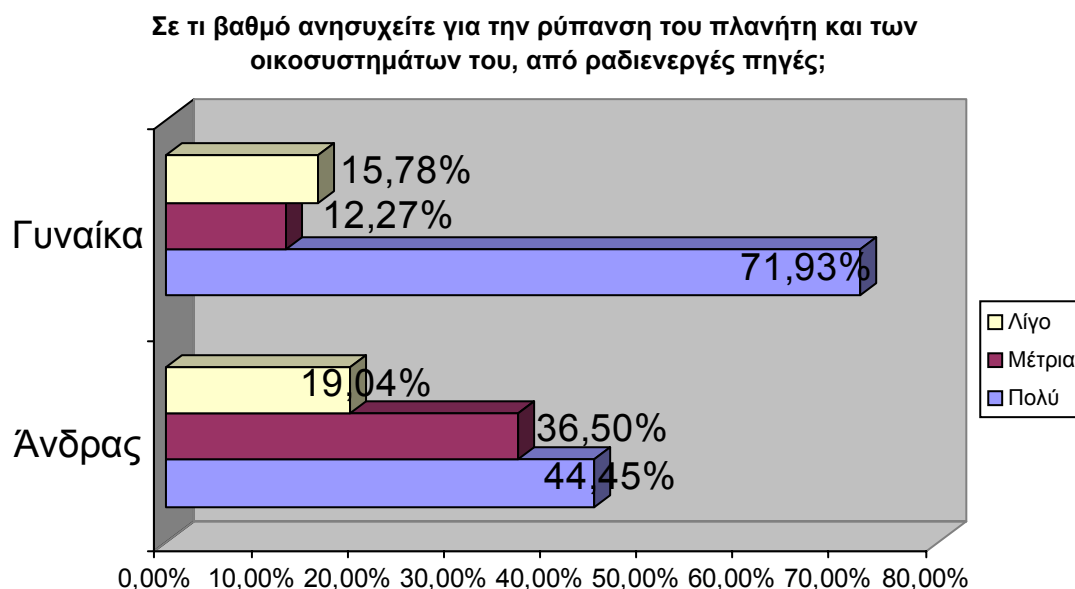
1. Εάν $P\text{-Value} > 0,10$ τότε ισχύει η μηδενική υπόθεση, οπότε οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες
2. Εάν $P\text{-Value} < 0,10$ τότε ισχύει η εναλλακτική υπόθεση, οπότε οι μεταβλητές σχετίζονται σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 10%.
3. Εάν $P\text{-Value} < 0,05$ τότε ισχύει η εναλλακτική υπόθεση, οπότε οι μεταβλητές σχετίζονται σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 5%.
4. Εάν $P\text{-Value} < 0,01$ τότε ισχύει η εναλλακτική υπόθεση, οπότε οι μεταβλητές σχετίζονται σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 1%.

6.3.1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΦΥΛΟΥ ΜΕ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

6.3.1.1 Συσχέτιση φύλου με το βαθμό ανησυχίας σχετικά με την ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του, από ραδιενεργές πηγές.

X^2	P-VALUE
11,14	0,0038

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι το P-Value ισούται με 0,0038 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%.



Σε αντίθεση με τους άνδρες που ανησυχούν πολύ¹ για την ρύπανση σε ποσοστό 44,45%, οι γυναίκες ανησυχούν σε μικρότερο ποσοστό, που εκφράζεται με αριθμούς σε 34,17%. Όμως αντίθεση παρατηρείται και σε ότι αφορά το μέτριο βαθμό ανησυχίας. Συγκεκριμένα, οι γυναίκες ανησυχούν μέτρια σε ποσοστό 12,27%, ενώ οι άνδρες σε ποσοστό 36,50%. Περίπου παρόμοια ποσοστά αφορούν το λίγο² βαθμό ανησυχίας για τους άνδρες και τις γυναίκες.

6.3.1.2 Συσχέτιση φύλου με το αν διαθέτει ή όχι η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα

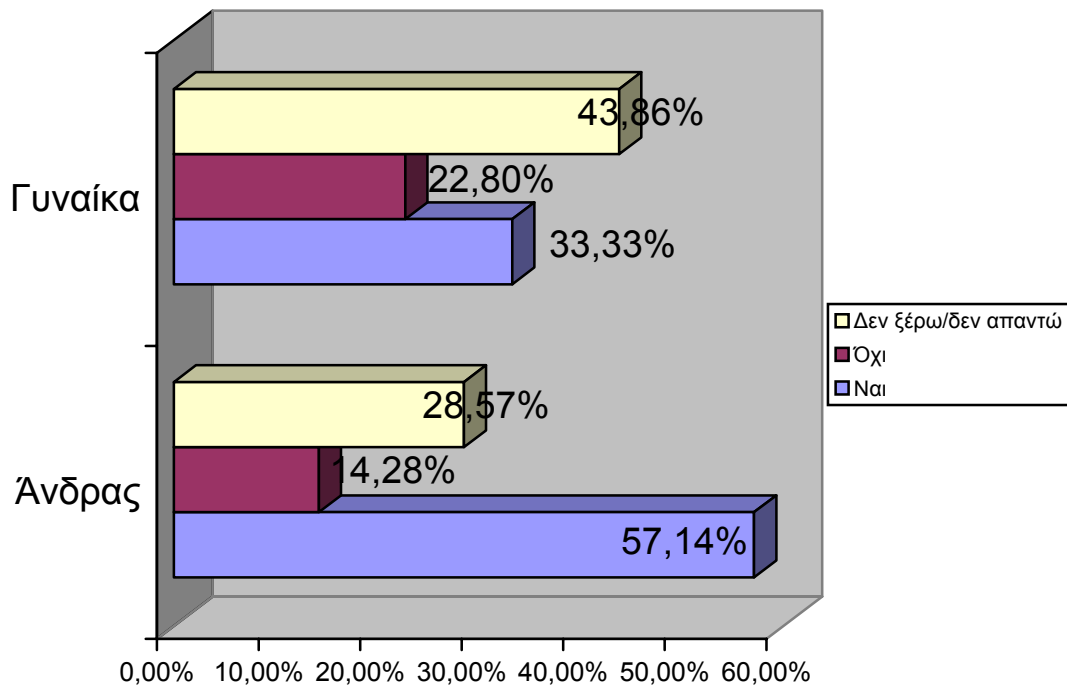
χ^2	P-VALUE
6,84	0,0327

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι το P-Value ισούται με 0,0327 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.

¹ Από εδώ και στο εξής, όπου δεν υπάρχει το «Πάρα Πολύ», το «Πολύ» θα εμπεριέχει τις απαντήσεις που αφορούν το «Πάρα Πολύ» και «Πολύ» του ερωτηματολογίου.

² Από εδώ και στο εξής, όπου δεν υπάρχει το «Καθόλου», το «Λίγο» θα εμπεριέχει τις απαντήσεις που αφορούν το «Λίγο» και το «Καθόλου» του ερωτηματολογίου.

Διαθέτει η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα;



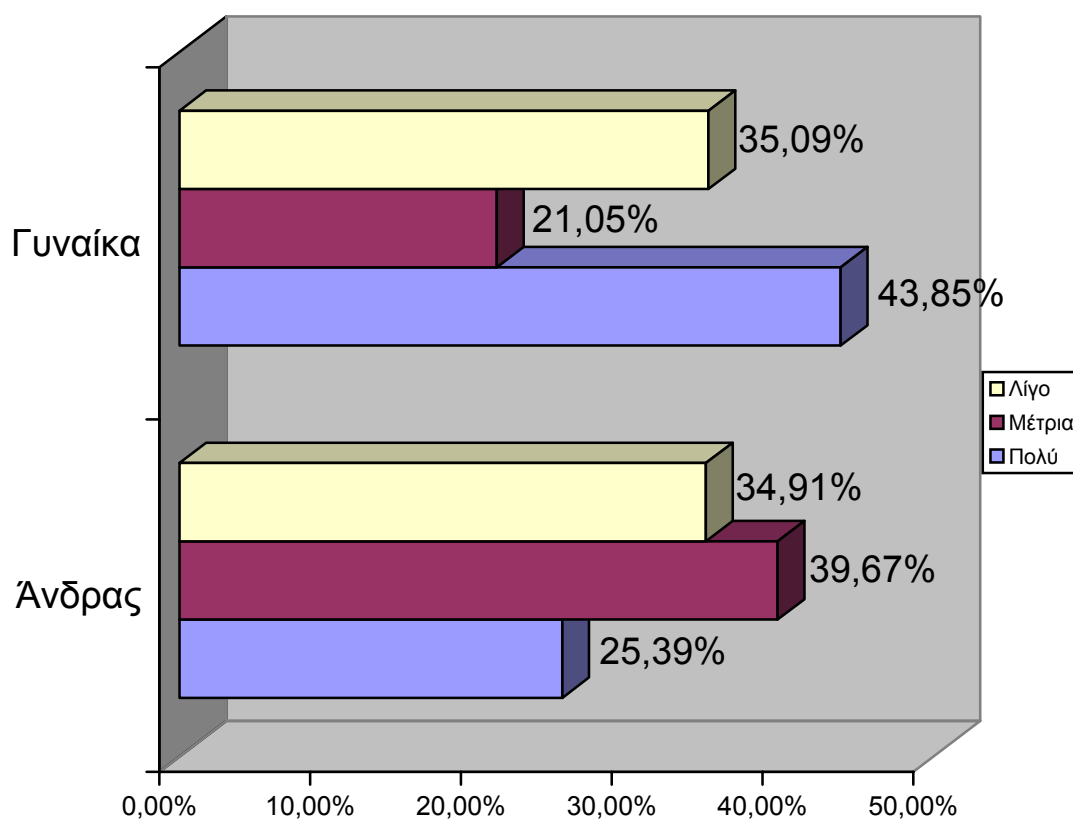
Διάσταση απόψεων παρατηρείται στη θετική απάντηση για το αν η Ελλάδα διαθέτει πυρηνικό αντιδραστήρα. Συγκεκριμένα το 57,14% των ανδρών πιστεύει ότι η Ελλάδα έχει πυρηνικό αντιδραστήρα, ενώ το μισό περίπου ποσοστό των γυναικών (33,33%) σε σχέση με εκείνο των ανδρών απαντάει θετικά στην ερώτηση.

6.3.1.3 Συσχέτιση φύλου με τον βαθμό προβληματισμού σχετικά με την επισφαλή αποθήκευση των αποβλήτων από μονάδες παραγωγής πυρηνικής ενέργειας.

χ^2	P-VALUE
6,35	0,0417

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0417 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.

Πόσο σας προβληματίζει η επισφαλής αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων;



Σε μεγαλύτερο ποσοστό από τους άνδρες φαίνεται ότι προβληματίζονται οι γυναίκες σχετικά με την επισφαλή αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων. Συγκεκριμένα οι γυναίκες προβληματίζονται πολύ σε ποσοστό 43,85%, ενώ οι άνδρες για τον ίδιο βαθμό προβληματισμού σε ποσοστό 25,39%.

Αντίθετα οι άνδρες προβληματίζονται μέτρια σε ποσοστό 39,67% σε σχέση με τις γυναίκες που προβληματίζονται μέτρια σε ποσοστό 21,05%.

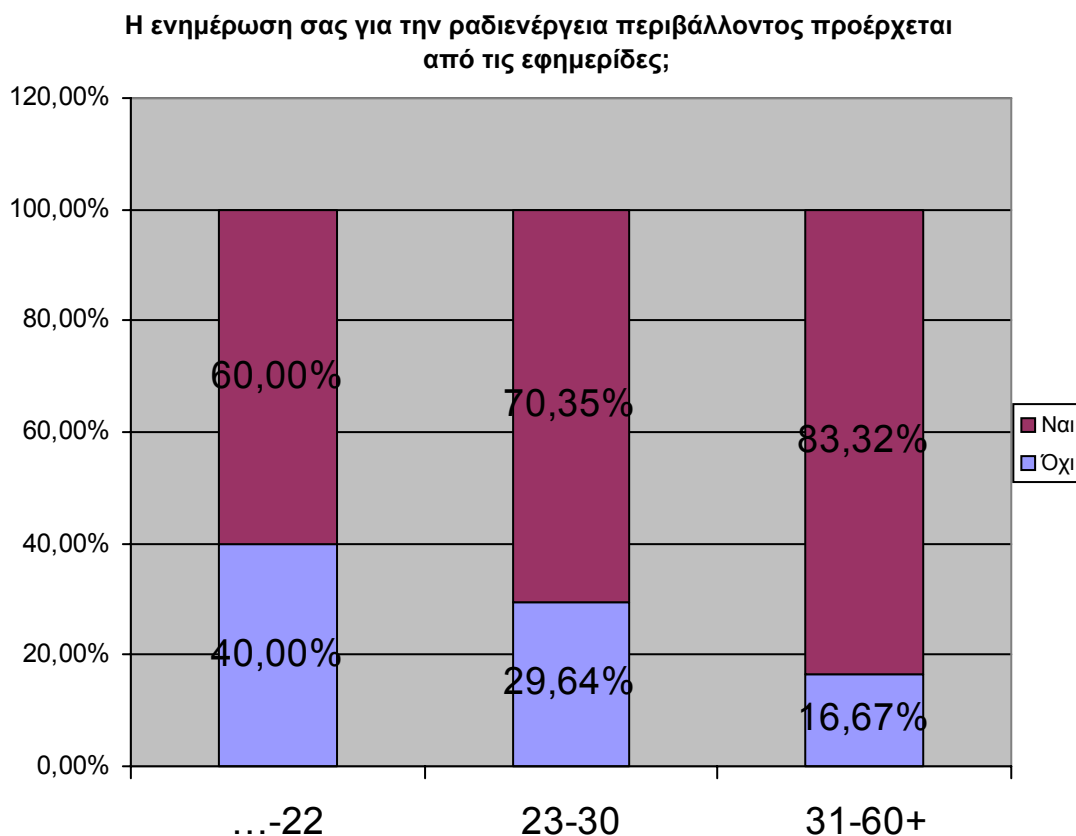
6.3.2 Συσχέτιση ηλικίας με εξαρτημένες μεταβλητές

6.3.2.1 Συσχέτιση ηλικίας με το αν η ενημέρωση για την ραδιενέργεια περιβάλλοντος προέρχεται από τις εφημερίδες.

χ^2	P-
----------	----

	VALUE
10,95	0,0438

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0438 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.



Το μεγαλύτερο ποσοστό ενημέρωσης από τις εφημερίδες παρουσιάζει η ηλικιακή ομάδα 31-60³ με ποσοστό 83,32%. Ακολουθεί η ηλικιακή ομάδα που αφορά τις ηλικίες που είναι μικρότερες των 23-30 ετών με ποσοστό 70,35%. Το χαμηλότερο ποσοστό ενημέρωσης από τις εφημερίδες για την ραδιενέργεια περιβάλλοντος προέρχεται από την ηλικιακή ομάδα των έως 22⁴ ετών με 60,00%.

6.3.2.2 Συσχέτιση ηλικίας με το αν διαθέτει η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα.

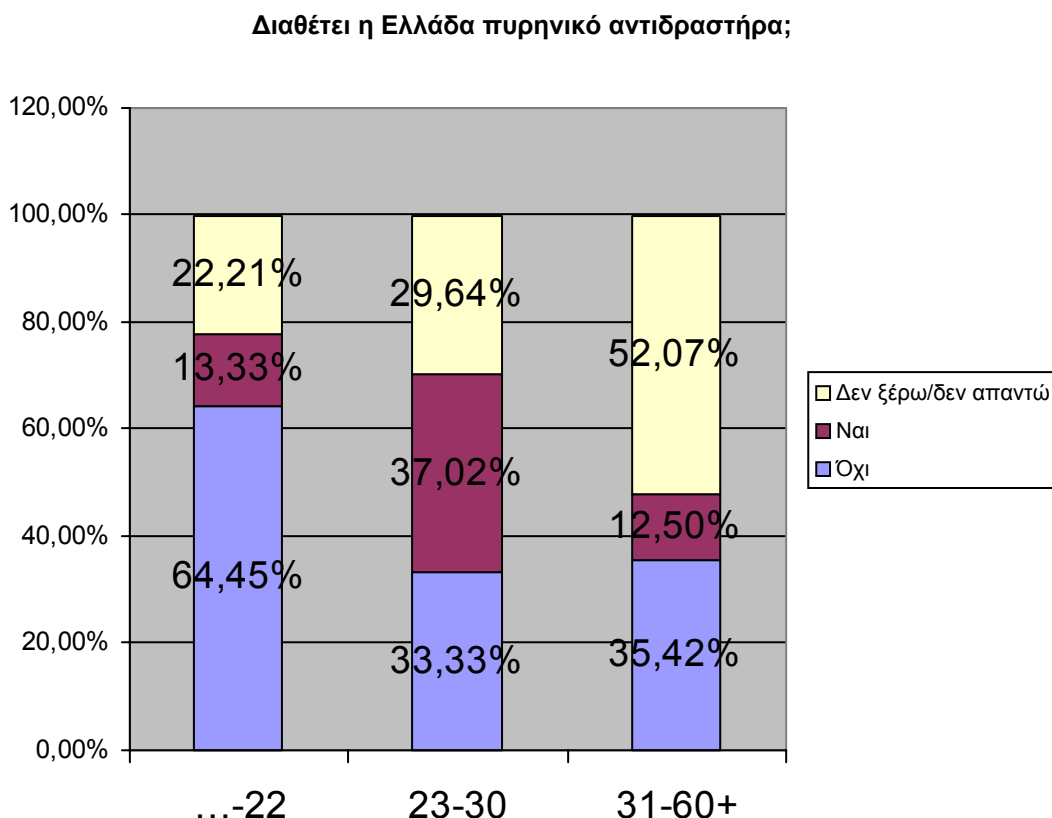
χ^2	P-
----------	----

³ Από εδώ και εξής αυτή η ομάδα αφορά τις επιλογές 31-50, 51-60 και 61+ του ερωτηματολογίου.

⁴ Από εδώ και εξής αυτή η ομάδα αφορά τις επιλογές -17 και 18-22 του ερωτηματολογίου.

	VALUE
26,16	0,0011

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0011 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%.



Οι ηλικίες που είναι μικρότερες των 22 ετών σε ποσοστό 64,45% απάντησαν αρνητικά στην ερώτηση. Αντίθετα το μικρότερο ποσοστό αρνητικών απαντήσεων το έχει η ηλικιακή ομάδα των 23-30 ετών. Το μεγαλύτερο ποσοστό στην απάντηση «Δεν ξέρω/ δεν απαντώ» το κατέχει με 52,07% η ηλικιακή ομάδα 31-60+, ενώ το μικρότερο με ποσοστό 22,21% το έχει η ομάδα των έως 22 ετών. Δεδομένου ότι πάνω από τους μισούς της ομάδας έως των 22 ετών απάντησαν ότι η Ελλάδα δεν έχει πυρηνικό αντιδραστήρα, γίνεται εμφανής η έλλειψη παιδείας για θέματα που αφορούν την δημόσια ζωή, τόσο από πλευράς ασφάλειας, όσο και από πλευράς γνώσης.

6.3.2.3 Συσχέτιση ηλικίας με το πόσο ελκυστική είναι η ενεργειακή αυτονομία από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

χ^2	P-VALUE
18,09	0,0061

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0061 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%.



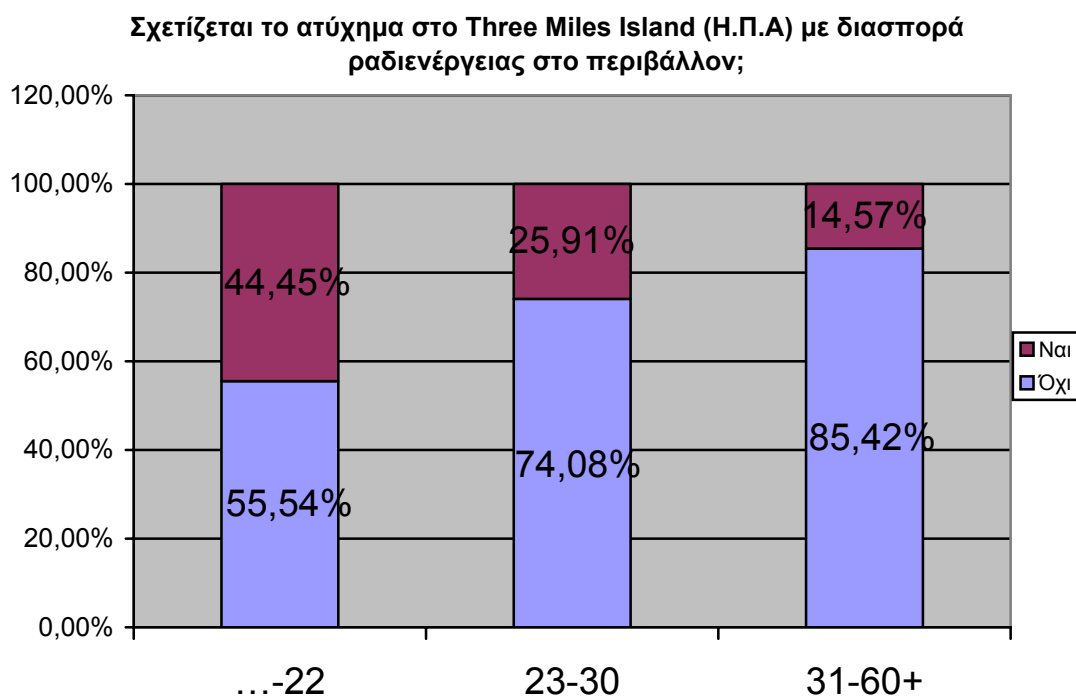
Το μεγαλύτερο ποσοστό για ότι αφορά την έλξη σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ενεργειακή αυτονομία το παρουσιάζει η ηλικιακή ομάδα -22 ετών με 42,21%. Αντίθετα η ηλικιακή ομάδα των 23-30 ετών δεν φαίνεται να έλκεται καθώς μόνο το 7,42% απάντησε «Πολύ». Παρόλα αυτά σε ποσοστό 58,32% η ηλικιακή ομάδα των 31-60+ ετών έλκεται λίγο από την ενεργειακή αυτονομία που προσφέρει η χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Δεδομένου ότι η ενεργειακή αυτονομία δίνει στην χώρα ένα αίσθημα ανωτερότητας και ασφάλειας, το

υψηλό ποσοστό προτίμησης στις νεώτερες ηλικίες έχει να κάνει με το παρορμητικό του χαρακτήρα τους και την υψηλότερο αίσθημα εθνικής υπερηφάνειας.

6.3.2.4 Συσχέτιση ηλικίας με το αν το ατύχημα στο Three Miles Island σχετίζεται με διασπορά ραδιενέργειας στο περιβάλλον.

χ^2	P-VALUE
10,44	0,0058

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0058 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%.



Με ποσοστό 85,42% η ηλικιακή ομάδα που αφορά τις ηλικίες 31-60+ ετών απάντησε αρνητικά. Το μικρότερο ποσοστό όσον αφορά τις αρνητικές απαντήσεις το έχει η ηλικιακή ομάδα των έως 22 ετών με 55,54%. Αντίθετα η ομάδα των ηλικιών που είναι μικρότερες των 22 ετών κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό θετικών απαντήσεων με 44,45%. Το γεγονός ότι ο ένας στους δύο στην ηλικιακή ομάδα των

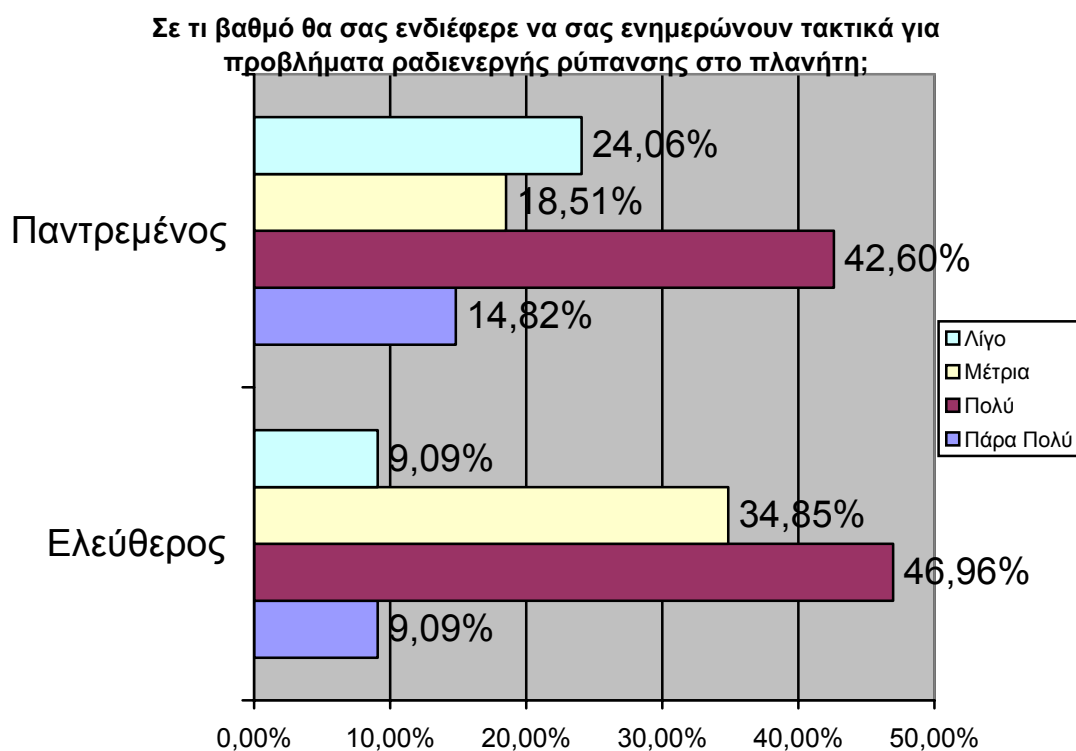
έως 22 ετών, απάντησε θετικά σημαίνει ότι το συγκεκριμένο γεγονός το έχουν διδαχθεί ενδεχομένως σε κάποια βαθμίδα εκπαίδευσης.

6.3.3 Συσχέτιση οικογενειακής κατάστασης με εξαρτημένες μεταβλητές.

6.3.3.1 Συσχέτιση οικογενειακής κατάστασης με το βαθμό ενδιαφέροντος για τακτική ενημέρωση για προβλήματα ραδιενεργής ρύπανσης.

χ^2	P-VALUE
8,05	0,0450

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0450 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.



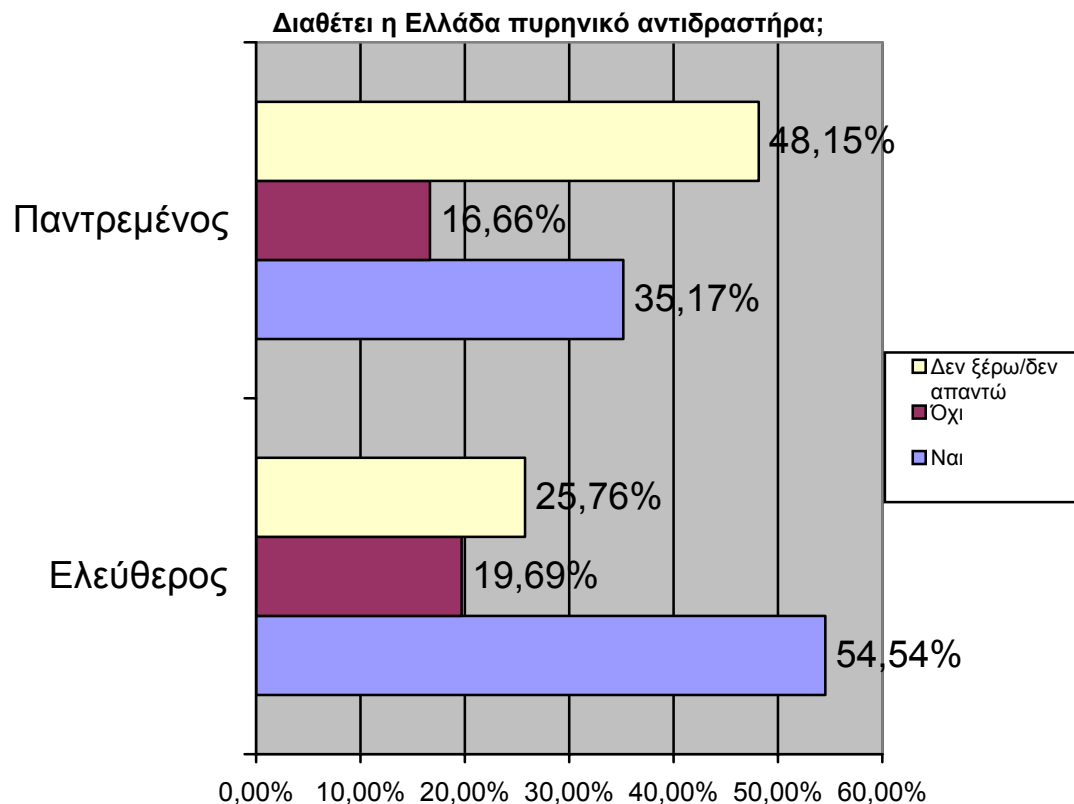
Με ποσοστό 34,85% οι ελεύθεροι απάντησαν ότι ενδιαφέρονται σε μέτριο βαθμό να τους ενημερώνουν τακτικά για προβλήματα ραδιενεργής ρύπανσης στο

πλανήτη, σε αντίθεση με το 18,51% των παντρεμένων. Επίσης οι παντρεμένοι απάντησαν με ποσοστό 24,06% ότι ενδιαφέρονται λίγο να ενημερώνονται, ενώ οι ελεύθεροι σε ποσοστό 9,09%. Τα ποσοστά που αφορούν την απάντηση «Πάρα Πολύ» για τους παντρεμένους και τους ελεύθερους δεν έχουν μεγάλη διαφορά και είναι 14,82% και 9,09% αντίστοιχα.

6.3.3.2 Συσχέτιση οικογενειακής κατάστασης με το αν διαθέτει η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα.

χ^2	P-VALUE
6,73	0,0345

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0345 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.

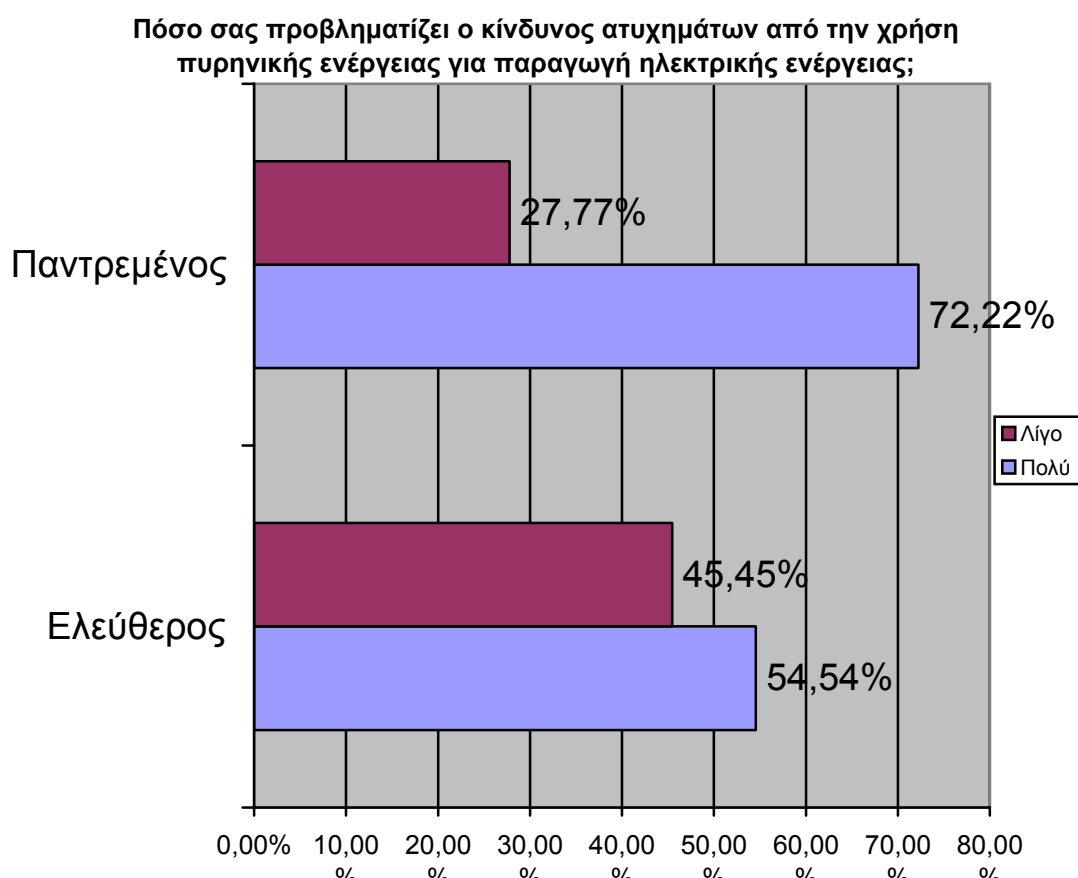


Με μεγάλη διαφορά στα ποσοστά τα άτομα που ανήκουν στην ομάδα που δεν είναι παντρεμένα, 54,54%, με τα άτομα που δηλώνουν παντρεμένοι, 35,17%, απάντησαν θετικά στην ερώτηση. Η απάντηση «Δεν ξέρω/ δεν απαντώ» για τα παντρεμένα άτομα έχει ποσοστό 48,15%, ενώ η αντίστοιχη απάντηση για τα ελεύθερα άτομα έχει ποσοστό 25,76%. Μικρή διαφορά μεταξύ των παντρεμένων ατόμων και των ελεύθερων έχει η αρνητική απάντηση με 16,66% και 19,69% αντίστοιχα.

6.3.3.3 Συσχέτιση οικογενειακής κατάστασης με το βαθμό προβληματισμού του κινδύνου ατυχημάτων από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

χ^2	P-VALUE
3,24	0,0718

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value (with yates' correction) ισούται με 0,0718 και είναι μικρότερο από το 0,10, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 10%.



Όσον αφορά την απάντηση «Πολύ⁵» τα ποσοστά έχουν μεγάλη διαφορά για τα παντρεμένα και ελεύθερα άτομα, με 72,22% και 54,54% αντίστοιχα. Διαφοροποίηση παρατηρείται και στην απάντηση «Λίγο⁶», αφού οι παντρεμένοι δηλώνουν ότι προβληματίζονται σε λίγο βαθμό με ποσοστό 27,77%, ενώ οι ελεύθεροι προβληματίζονται λίγο σε ποσοστό 45,45%.

6.3.3 Συσχέτιση ύπαρξης παιδιών με εξαρτημένες μεταβλητές.

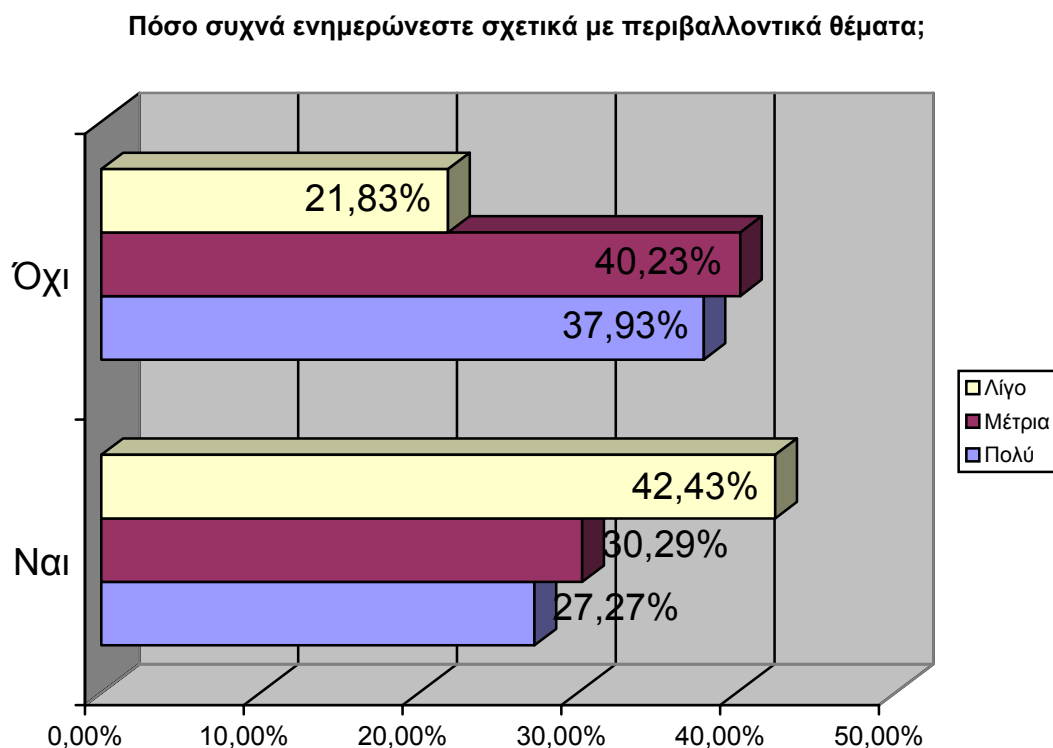
6.3.4.1 Συσχέτιση ύπαρξης παιδιών με το βαθμό συχνής ενημέρωσης σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα.

X ²	P- VALUE
5,09	0,0784

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0784 και είναι μικρότερο από το 0,10, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 10%.

⁵ Το «Πολύ» σε αυτή την περίπτωση εμπεριέχει τις απαντήσεις «Πάρα Πολύ», «Πολύ» και «Μέτρια» του ερωτηματολογίου.

⁶ Το «Λίγο» σε αυτή την περίπτωση εμπεριέχει τις απαντήσεις «Λίγο» και «Καθόλου» του ερωτηματολογίου.



Μικρή διαφορά στα ποσοστά εντοπίζεται στην απάντηση «Πολύ⁷» και «Μέτρια». Συγκεκριμένα τα άτομα που δήλωσαν ότι έχουν παιδιά ενημερώνονται πολύ συχνά σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα σε ποσοστό 27,27%, ενώ τα άτομα που δήλωσαν ότι δεν έχουν παιδιά σε ποσοστό 37,93%. Ακολούθως, τα άτομα που έχουν παιδιά ενημερώνονται συχνά σε μέτριο βαθμό με ποσοστό 30,29%, ενώ τα άτομα που δεν έχουν παιδιά ενημερώνονται με ποσοστό 40,23%. Στην απάντηση «Λίγο⁸» δεν παρατηρείται μεγάλη διαφορά στα ποσοστά, με 21,83% και 42,43%, για τα άτομα που δεν έχουν παιδιά και έχουν αντίστοιχα.

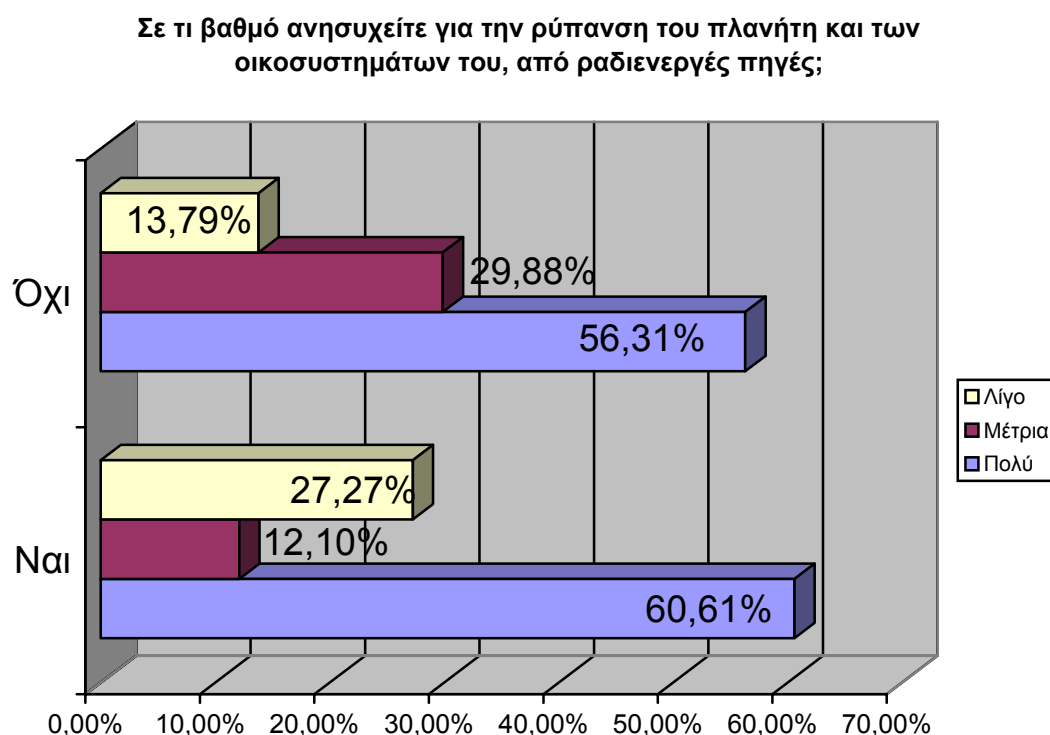
6.3.4.2 Συσχέτιση ύπαρξης παιδιών με το βαθμό ανησυχίας για την ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του, από ραδιενεργές πηγές.

χ^2	P-VALUE
5,58	0,0614

⁷ Το «Πολύ» εμπεριέχει τις απαντήσεις «Πάρα Πολύ» και «Πολύ» του ερωτηματολογίου.

⁸ Το «Λίγο» εμπεριέχει τις απαντήσεις «Λίγο» και «Καθόλου» του ερωτηματολογίου.

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0614 και είναι μικρότερο από το 0,10, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 10%.



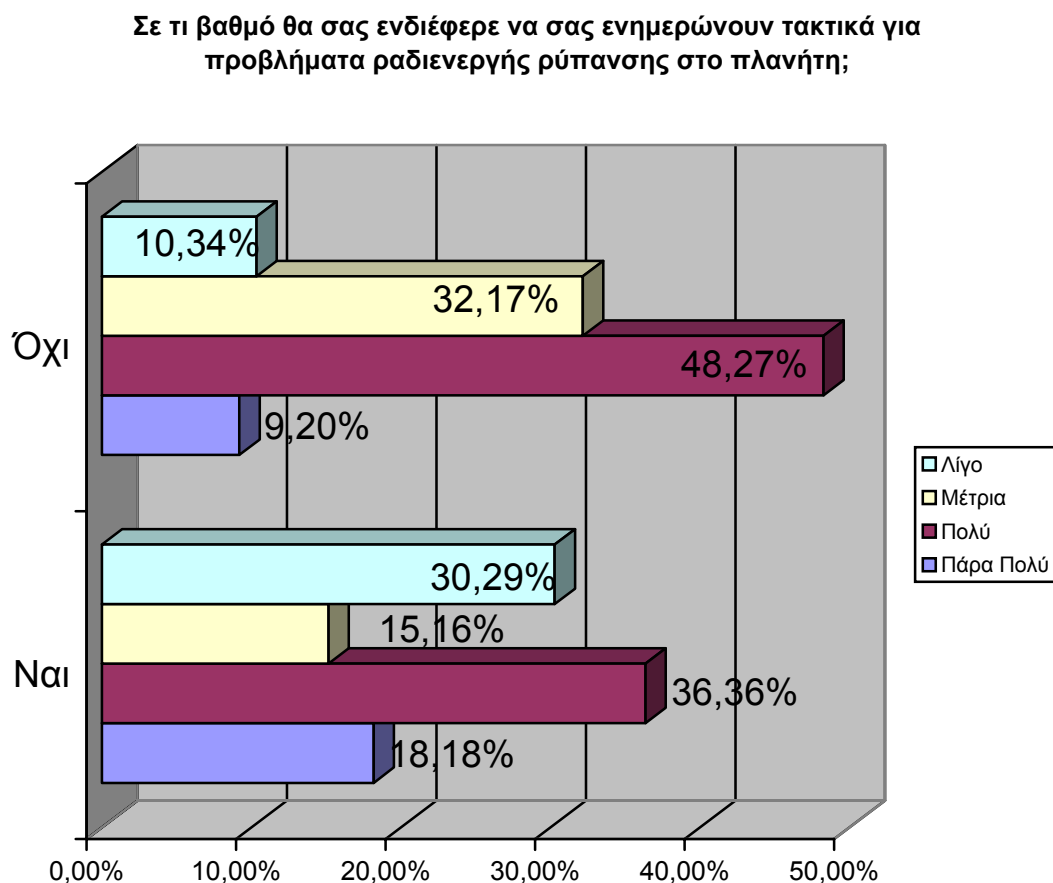
Τα άτομα που δήλωσαν ότι δεν έχουν παιδιά ανησυχούν σε πολύ⁹ μεγάλο βαθμό για την ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του από ραδιενεργές πηγές, σε ποσοστό 56,31%. Παρόμοιο ποσοστό για τον ίδιο βαθμό ανησυχίας, παρουσιάζουν τα άτομα που έχουν παιδιά με ποσοστό 60,61%. Για το μέτριο βαθμό ανησυχίας, τα άτομα που δεν έχουν παιδιά ανησυχούν σε ποσοστό 29,88%, ενώ τα άτομα που έχουν παιδιά ανησυχούν σε ποσοστό 12,10%.

6.3.4.3 Συσχέτιση ύπαρξης παιδιών με το βαθμό ενδιαφέροντος για τακτική ενημέρωση για προβλήματα ραδιενεργής ρύπανσης.

χ^2	P-VALUE
10,95	0,0120

⁹ Το «Πολύ» εμπεριέχει τις απαντήσεις «Πάρα Πολύ» και «Πολύ» του ερωτηματολογίου.

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0120 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.



Τα άτομα που δεν έχουν παιδιά και ενδιαφέρονται σε πολύ μεγάλο βαθμό να ενημερώνονται τακτικά για προβλήματα ραδιενεργής ρύπανσης στο πλανήτη εμφανίζουν ποσοστό 48,27%, σε αντίθεση με τα άτομα που έχουν παιδιά και έχουν τον ίδιο βαθμό ενδιαφέροντος αλλά παρουσιάζουν ποσοστό 36,36%. Όσον αφορά τον μέτριο βαθμό ενδιαφέροντος για ενημέρωση, τα άτομα που δεν έχουν παιδιά εμφανίζουν ποσοστό 32,17%, ενώ τα άτομα που έχουν παιδιά εμφανίζουν ποσοστό 15,16%.

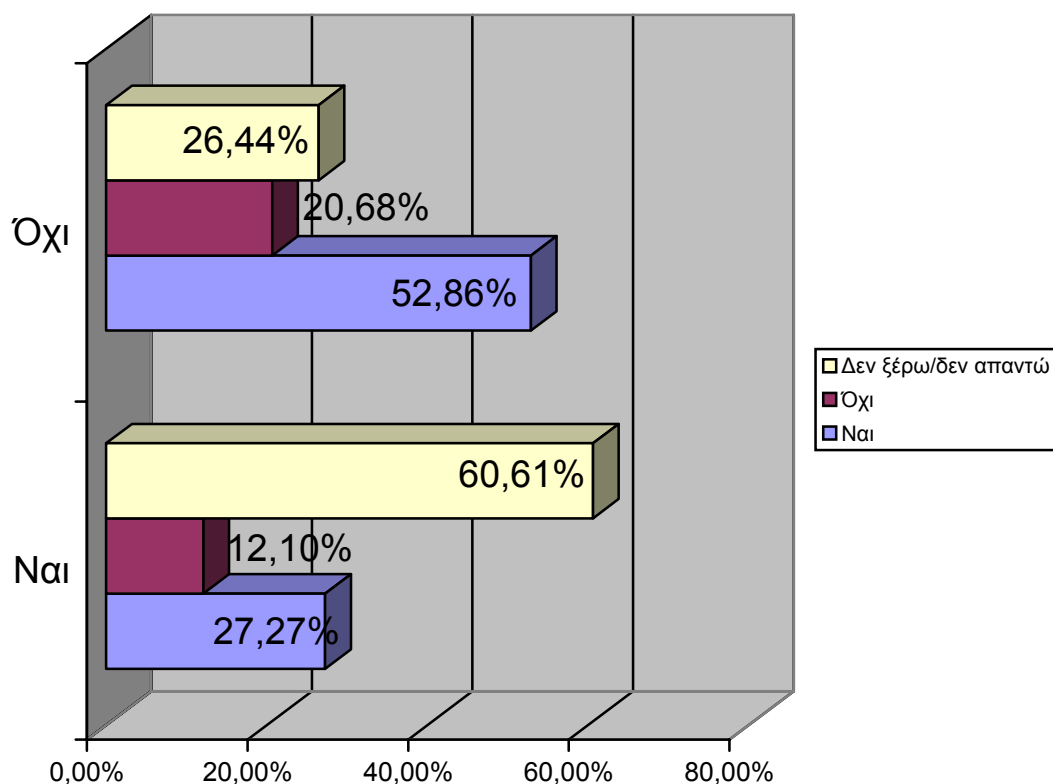
6.3.4.5 Συσχέτιση ύπαρξης παιδιών με την γνώση σχετικά με το αν διαθέτει η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα.

χ^2	P-
----------	----

	VALUE
12,17	0,0023

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0023 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%.

Διαθέτει η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα;



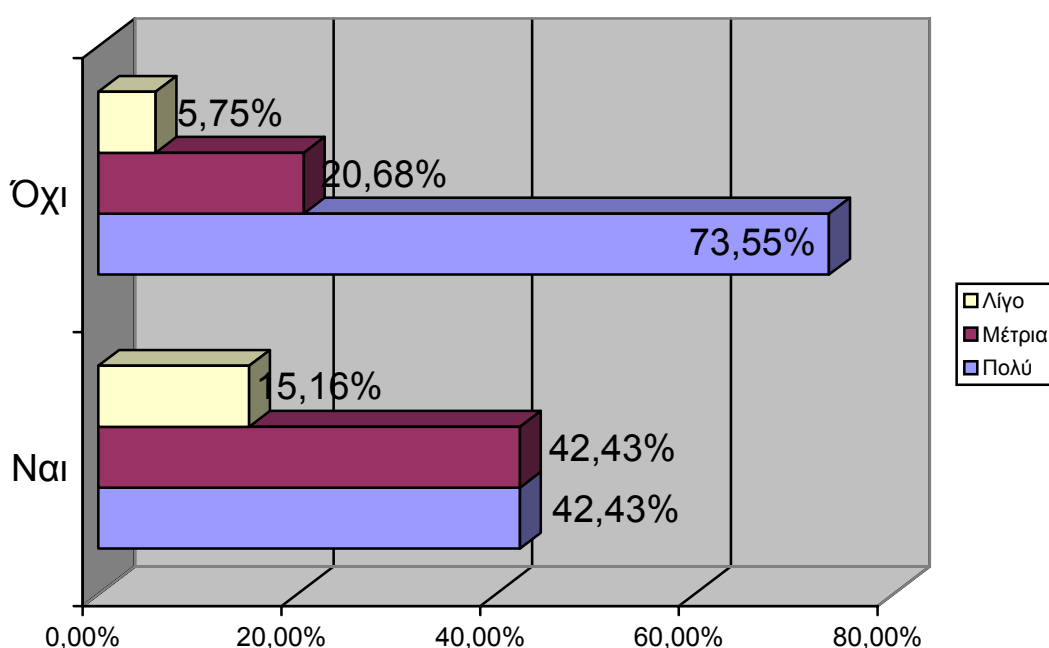
Μεγάλη διαφορά στα ποσοστά εντοπίζεται στην θετική απάντηση μεταξύ των ατόμων που δήλωσαν ότι έχουν παιδιά και των ατόμων που δήλωσαν ότι δεν έχουν παιδιά. Συγκεκριμένα τα άτομα που έχουν παιδιά πιστεύουν σε ποσοστό 27,27% ότι η Ελλάδα διαθέτει πυρηνικό αντιδραστήρα, ενώ τα άτομα που δεν έχουν παιδιά πιστεύουν στην ύπαρξη ελληνικού πυρηνικού αντιδραστήρα σε ποσοστό 52,86%. Όσον αφορά την αρνητική απάντηση, όσοι έχουν παιδιά απαντούν αρνητικά σε ποσοστό 20,68%, ενώ όσοι δεν έχουν παιδιά σε ποσοστό 12,10%.

6.3.4.6 Συσχέτιση ύπαρξης παιδιών με το κατά πόσο μπορεί να λύσει το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την πυρηνική ενέργεια.

χ^2	P-VALUE
10,35	0,0057

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0057 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%.

Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι μπορεί να λύσει το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την πυρηνική ενέργεια;



Σημαντική διαφορά στα ποσοστά εντοπίζεται στην απάντηση «Πολύ¹⁰» μεταξύ των ατόμων που έχουν παιδιά και των ατόμων που δεν έχουν. Συγκεκριμένα τα άτομα που έχουν παιδιά πιστεύουν ότι μπορεί να λυθεί το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη σε πολύ μεγάλο βαθμό, με ποσοστό 42,43%. Αντίθετα τα άτομα που δεν έχουν παιδιά πιστεύουν ότι το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη μπορεί να λυθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από την πυρηνική ενέργεια, με ποσοστό 73,55%.

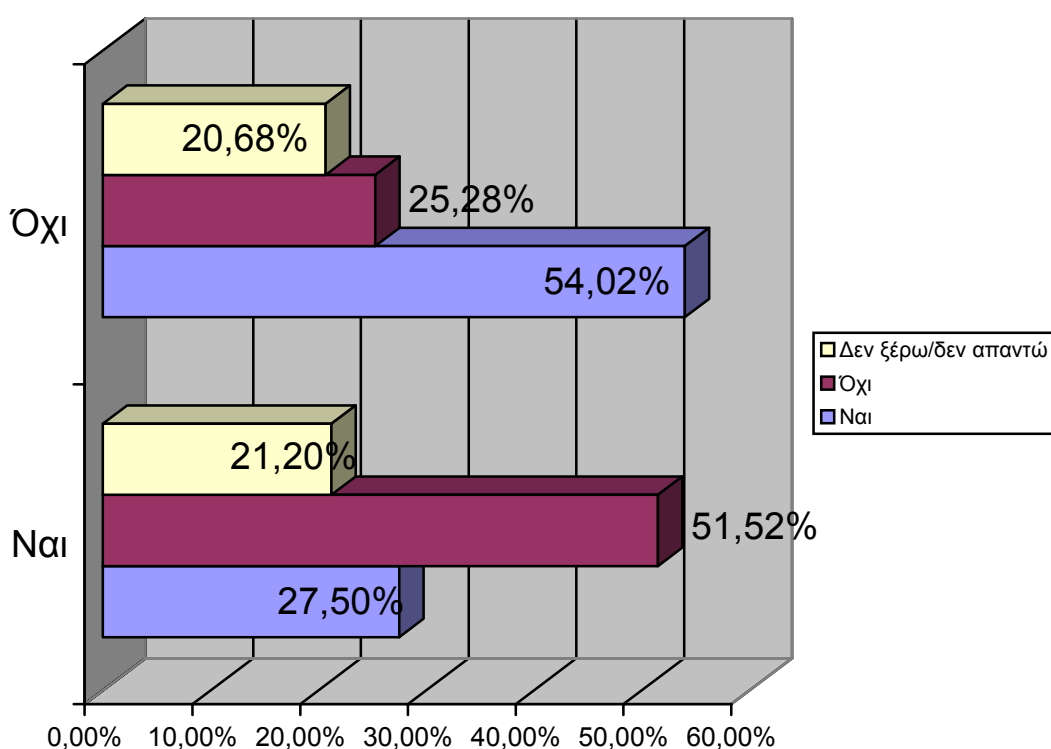
¹⁰ Το «Πολύ» εμπεριέχει τις απαντήσεις «Πάρα Πολύ» και «Πολύ» του ερωτηματολογίου.

6.3.4.7 Συσχέτιση ύπαρξης παιδιών με το αν θέλουν η Ελλάδα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια από πυρηνικό εργοστάσιο.

χ^2	P-VALUE
8,74	0,0127

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0127 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.

Θα θέλατε να παράγει η Ελλάδα ηλεκτρική ενέργεια από πυρηνικό εργοστάσιο;



Θετικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικό εργοστάσιο, στην Ελλάδα, εμφανίζονται τα άτομα που δεν έχουν παιδιά, με ποσοστό θετικών απαντήσεων 54,02% έναντι του 27,50% που αντιστοιχεί στις αρνητικές απαντήσεις. Αντίθετα, τα άτομα που έχουν παιδιά εμφανίζονται αρνητικά στην ιδέα η Ελλάδα να

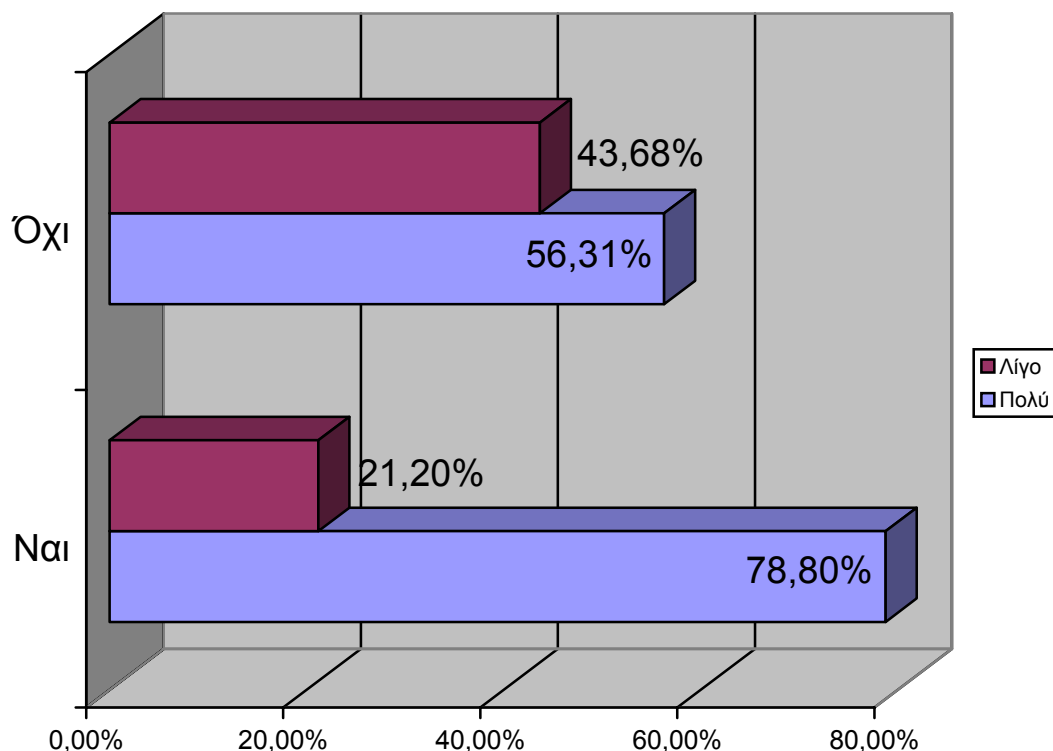
παράγει ηλεκτρική ενέργεια από πυρηνικό εργοστάσιο. Συγκεκριμένα οι αρνητικές απαντήσεις λαμβάνουν ποσοστό 51,52%

6.3.4.8 Συσχέτιση ύπαρξης παιδιών με το βαθμό προβληματισμού του κινδύνου ατυχημάτων από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

χ^2	P-VALUE
4,24	0,0395

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value (with Yates' correction) ισούται με 0,0395 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.

Πόσο σας προβληματίζει ο κίνδυνος ατυχημάτων από τη χρήση πυρηνικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας;



Τα άτομα που δεν έχουν παιδιά απάντησαν ότι προβληματίζονται πολύ¹¹ για τον κίνδυνο ατυχημάτων από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας, σε ποσοστό 56,31%. Τα άτομα που έχουν παιδιά, για τον ίδιο βαθμό προβληματισμού απάντησαν με ποσοστό 78,80%. Επίσης διαφορά εντοπίζεται στον λίγο¹² βαθμό προβληματισμού. Συγκεκριμένα, τα άτομα που δεν έχουν παιδιά προβληματίζονται λίγο σε ποσοστό 56,31%, ενώ τα άτομα που έχουν παιδιά προβληματίζονται λίγο σε ποσοστό 21,20%.

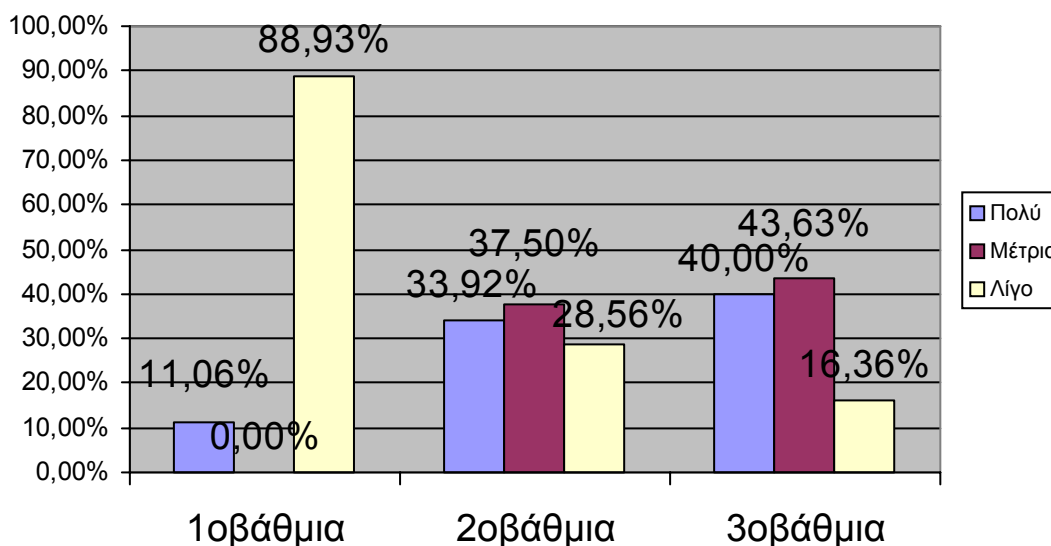
6.3.5 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με εξαρτημένες μεταβλητές.

6.3.5.1 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με το βαθμό συχνής ενημέρωσης σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα.

X ²	P-VALUE
20,64	0,0004

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0004 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα υπάρχει ένδειξη συσχέτισης σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%, η οποία θα μπορούσε να αποδειχτεί αν το δείγμα ήταν μεγαλύτερο.

Πόσο συχνά ενημερώνεστε σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα;



¹¹ Το «Πολύ» εμπεριέχει τις απαντήσεις «Πάρα Πολύ» και «Πολύ» του ερωτηματολογίου.

¹² Το «Λίγο» εμπεριέχει τις απαντήσεις «Λίγο» και «Καθόλου» του ερωτηματολογίου.

Από αυτή την συσχέτιση παρατηρούμε ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά όσον αφορά τις απαντήσεις «Πολύ¹³» και «Μέτρια», τα κατέχει η κατηγορία μορφωτικού επιπέδου της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης¹⁴, με 40,00% για το «Πολύ» και 43,63% για το «Μέτρια». Ακολουθούν τα άτομα που προέρχονται από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση¹⁵ με 33,92% για το «Πολύ», 37,50% για το «Μέτρια» και 28,56% για το «Λίγο¹⁶». Η κατηγορία της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης¹⁷ εμφανίζει το μικρότερο ποσοστά με 11,06% στην απάντηση «Πολύ», 0,00% για την απάντηση «Μέτρια», ενώ στην απάντηση «Λίγο» απάντησαν το 88,93%.

6.3.5.2 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με το βαθμό ανησυχίας για την ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του, από ραδιενεργές πηγές.

X ²	P- VALUE
15,73	0,0034

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0034 και είναι μικρότερο από το 0,10, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 10%.

¹³ Το «Πολύ» εμπεριέχει τις απαντήσεις «Πάρα Πολύ» και «Πολύ» του ερωτηματολογίου.

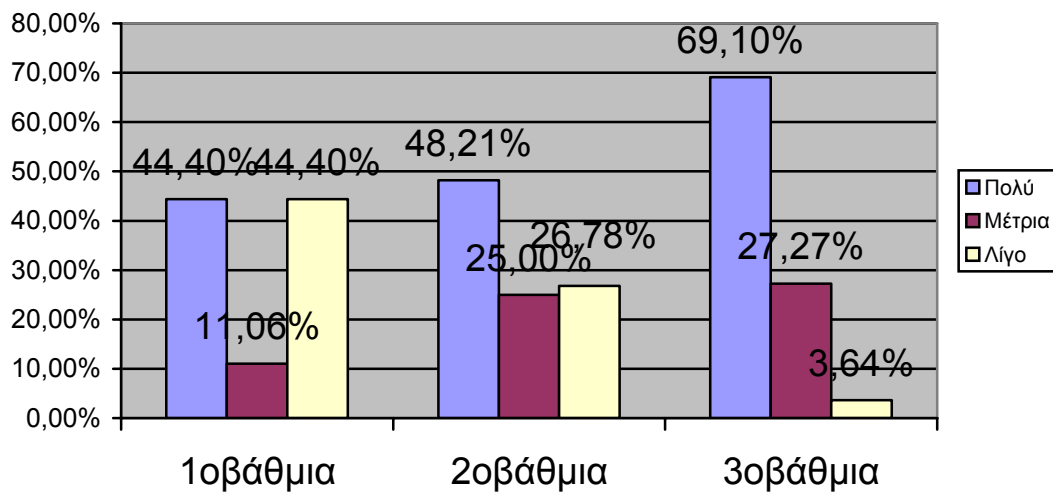
¹⁴ Η κατηγορία τριτοβάθμια εκπαίδευση περιλαμβάνει τις υποεπιλογές ε, στ, ζ, η, θ, ι και ια του ερωτηματολογίου.

¹⁵ Η κατηγορία δευτεροβάθμια εκπαίδευση περιλαμβάνει τις υποεπιλογές γ, δ του ερωτηματολογίου.

¹⁶ Το «Λίγο» εμπεριέχει τις απαντήσεις «Λίγο» και «Καθόλου» του ερωτηματολογίου.

¹⁷ Η κατηγορία πρωτοβάθμια εκπαίδευση περιλαμβάνει τις υποεπιλογές α, β του ερωτηματολογίου.

Σε τι βαθμό ανησυχείτε για την ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του, από ραδιενεργές πηγές;



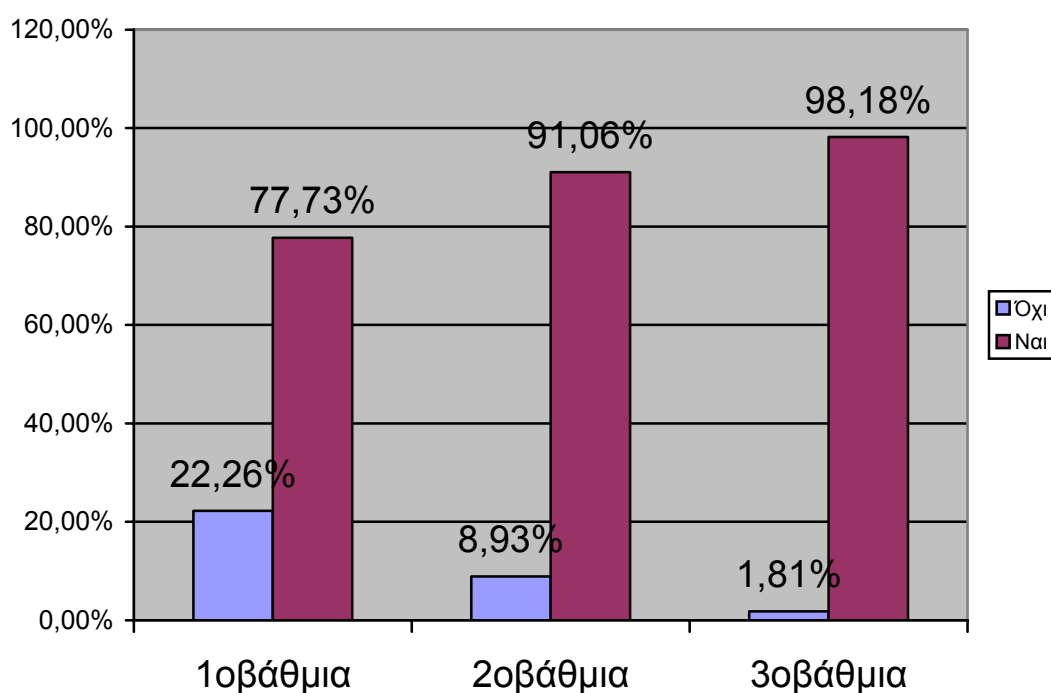
Το μεγαλύτερο ποσοστό για το πολύ μεγάλο βαθμό ανησυχίας το εκδηλώνουν τα άτομα της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης με 69,10%. Ακολουθούν τα άτομα που προέρχονται από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση με ποσοστό 48,21%, και τα άτομα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση με ποσοστό 44,40%. Όσον αφορά τον μέτριο βαθμό ανησυχίας, αυτός εκφράζεται με 27,27% για την τριτοβάθμια εκπαίδευση, 25,00% για την δευτεροβάθμια εκπαίδευση και μόλις 11,06% για την πρωτοβάθμια. Για τον μικρότερο βαθμό ανησυχίας, η τριτοβάθμια εκπαίδευση κατέχει το 3,64%, η δευτεροβάθμια το 26,78% ενώ η πρωτοβάθμια το 44,40%.

6.3.5.3 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με το αν η ενημέρωση για την ραδιενέργεια περιβάλλοντος προέρχεται από την τηλεόραση.

χ^2	P-VALUE
6,04	0,0488

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value (with yates' correction) ισούται με 0,0488 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα υπάρχει ένδειξη συσχέτισης σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%, η οποία θα μπορούσε να αποδειχτεί αν το δείγμα ήταν μεγαλύτερο.

Η ενημέρωσή σας για την ραδιενέργεια περιβάλλοντος προέρχεται από την τηλεόραση;

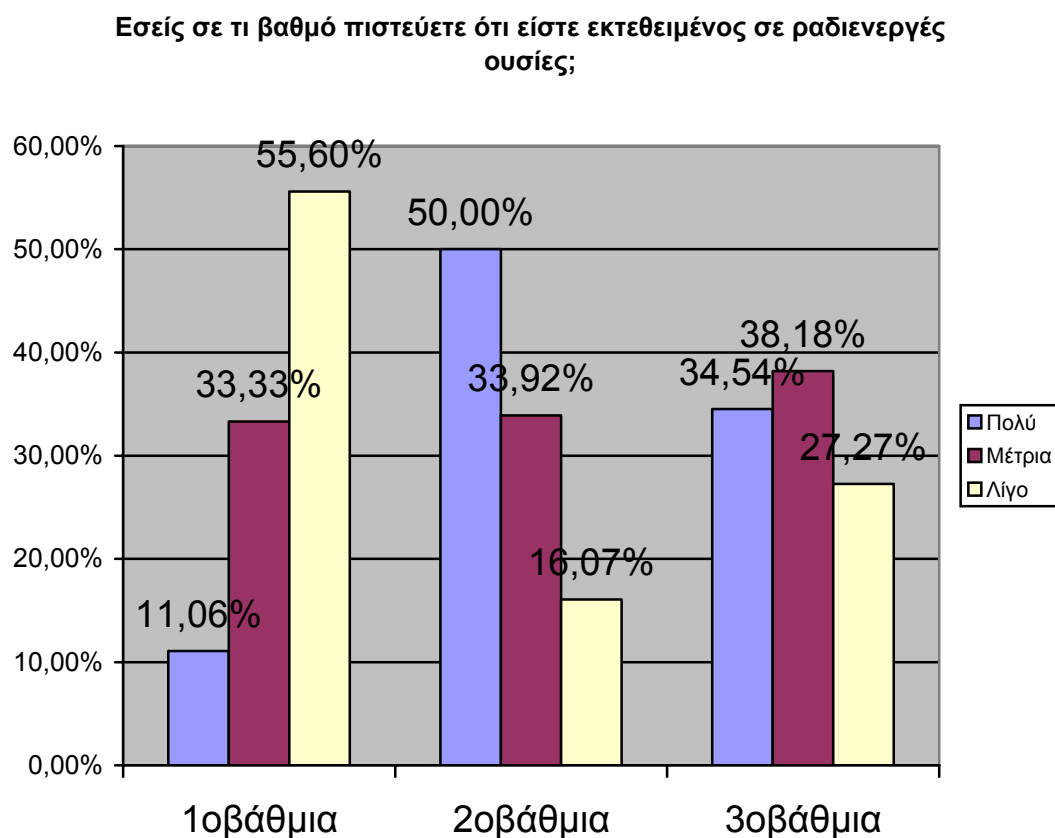


Το μεγαλύτερο ποσοστό θετικών απαντήσεων εντοπίζεται στα άτομα που προέρχονται από την τριτοβάθμια εκπαίδευση με 98,18%. Ακολουθούν τα άτομα που προέρχονται από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση με 91,06% και τα άτομα από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση με 77,73%. Όσον αφορά τις αρνητικές απαντήσεις τα άτομα που προέρχονται από την τριτοβάθμια εκπαίδευση έχουν ποσοστό 1,81%, ακολουθούν τα άτομα που προέρχονται από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση με 8,93% και τα άτομα από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση με 22,26%.

6.3.5.4 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με το κατά πόσο πιστεύετε ότι είστε εκτεθειμένος σε ραδιενεργές ουσίες.

χ^2	P-VALUE
9,25	0,0551

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0551 και είναι μικρότερο από το 0,10, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 10%.



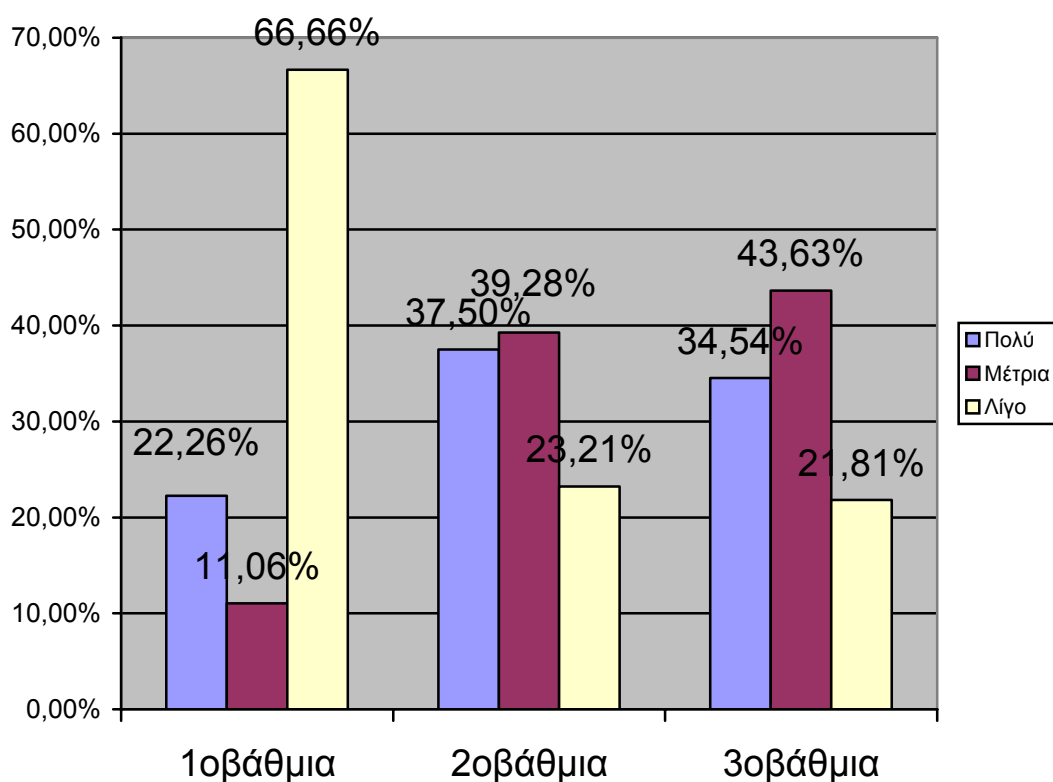
Τα άτομα που προέρχονται από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι εκείνα που πιστεύουν, με ποσοστό 50,00%, ότι είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό εκτεθειμένα σε ραδιενεργές ουσίες. Ακολουθούν τα άτομα που προέρχονται από την τριτοβάθμια εκπαίδευση με ποσοστό 34,54%. Τα άτομα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση έχουν ποσοστό 11,06% για την απάντηση «Πολύ».

6.3.5.5 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με το σε τι βαθμό πιστεύετε ότι μεταβάλλοντας κάποια στοιχεία του τρόπου ζωής σας, μπορείτε να μειώσετε την έκθεση στη ραδιενέργεια περιβάλλοντος.

χ^2	P-VALUE
8,91	0,0633

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0633 και είναι μικρότερο από το 0,10, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 10%.

Πιστεύετε και σε τι βαθμό ότι μεταβάλλοντας κάποια στοιχεία του τρόπου ζωής σας μπορείτε να μειώσετε την έκθεση στη ραδιενέργεια περιβάλλοντος;



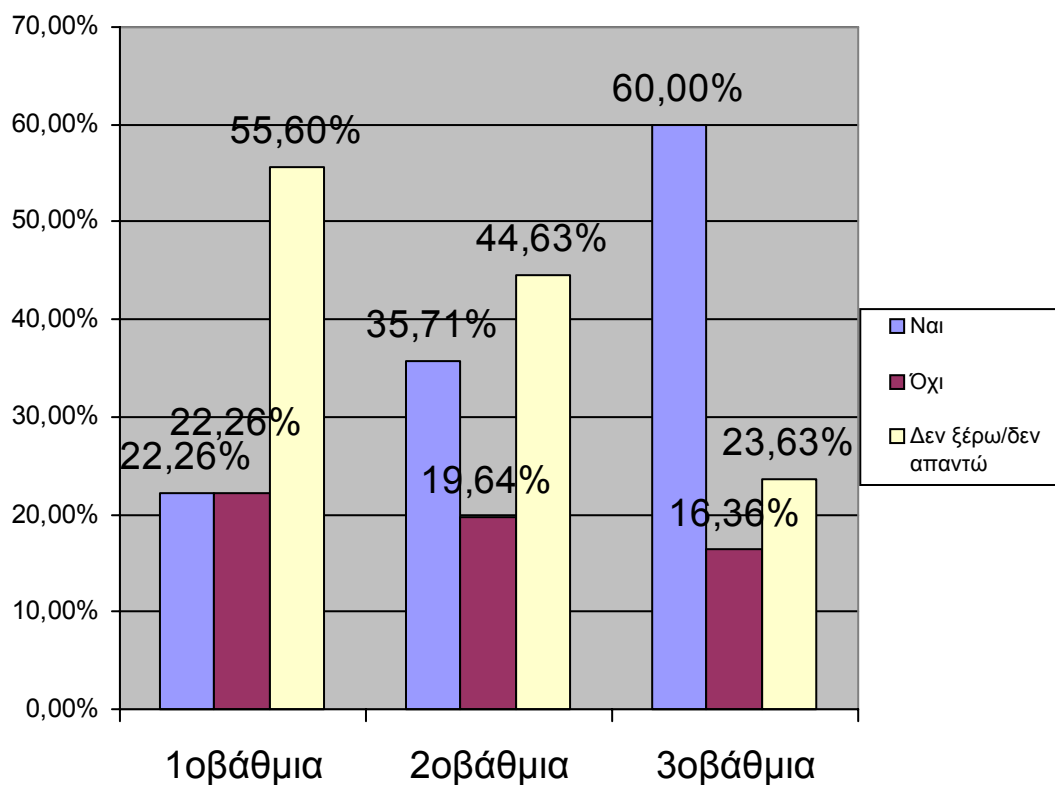
Το μεγαλύτερο ποσοστό για το πολύ μεγάλο βαθμό το εκδηλώνουν τα άτομα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με 37,50%. Ακολουθούν τα άτομα που προέρχονται από την τριτοβάθμια εκπαίδευση με ποσοστό 34,54%, και τα άτομα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση με ποσοστό 22,26%. Όσον αφορά τον μέτριο βαθμό, αυτός εκφράζεται με 43,63% για την τριτοβάθμια εκπαίδευση, 39,28% για την δευτεροβάθμια εκπαίδευση και μόλις 11,06% για την πρωτοβάθμια.

6.3.5.6 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με το αν διαθέτει η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα.

χ^2	P-VALUE
9,47	0,0504

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value = 0,0504 και μικρότερο από το 0,10, άρα είναι εξαρτημένες στο 10%.

Διαθέτει η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα;



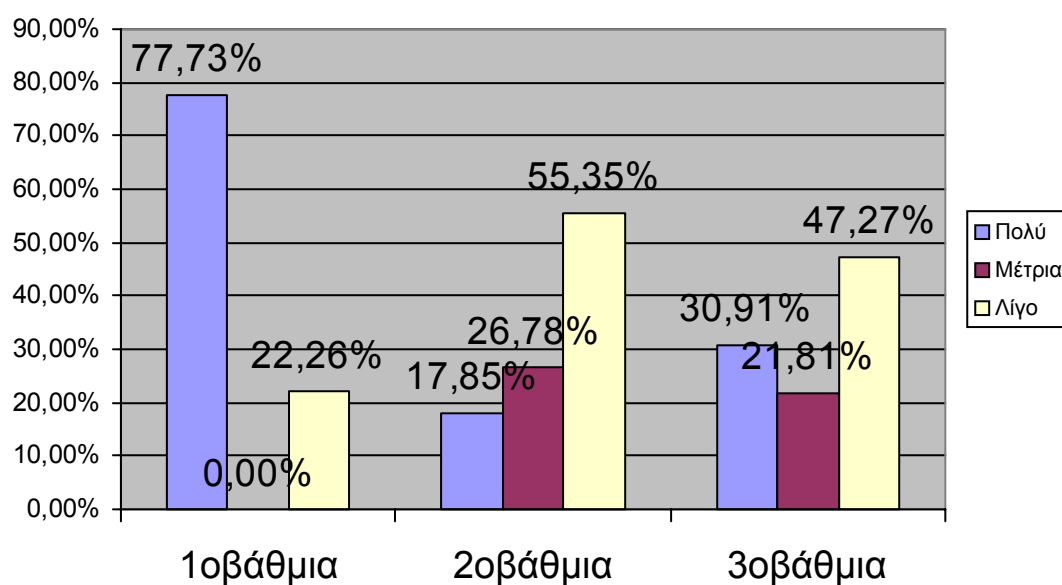
Μεγάλη διαφορά στα ποσοστά εντοπίζεται στην θετική απάντηση μεταξύ των ατόμων που προέρχονται από την τριτοβάθμια εκπαίδευση και των ατόμων που προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση. Συγκεκριμένα όσοι προέρχονται από την τριτοβάθμια εκπαίδευση πιστεύουν σε ποσοστό 60,00% ότι η Ελλάδα διαθέτει πυρηνικό αντιδραστήρα, ενώ τα άτομα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση πιστεύουν στην ύπαρξη ελληνικού πυρηνικού αντιδραστήρα σε ποσοστό 22,26%. Όσον αφορά την αρνητική απάντηση, όσοι προέρχονται από την τριτοβάθμια εκπαίδευση απαντούν αρνητικά σε ποσοστό 16,36%, ενώ όσοι προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση σε ποσοστό 2,26%.

6.3.5.7 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με το πόσο ελκυστική είναι η ενεργειακή αυτονομία από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

χ^2	P-VALUE
14,36	0,0062

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0062 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα υπάρχει ένδειξη συσχέτισης σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%, η οποία θα μπορούσε να αποδειχτεί αν το δείγμα ήταν μεγαλύτερο.

Πόσο σας ελκύει η ενεργειακή αυτονομία από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας;



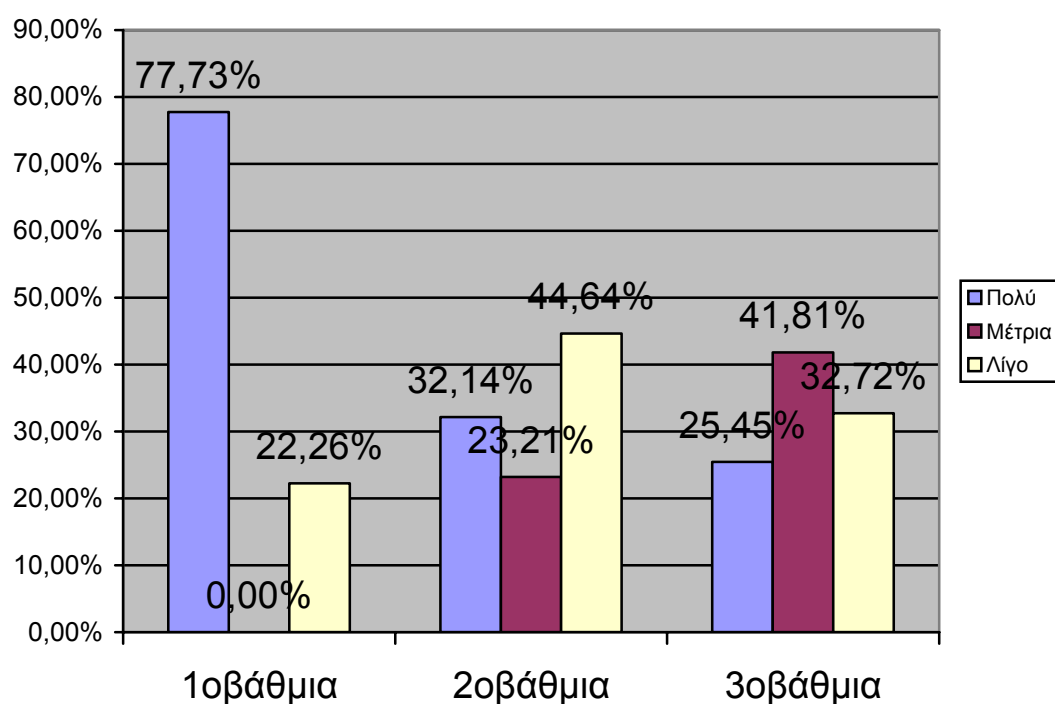
Τα άτομα που προέρχονται από την τριτοβάθμια εκπαίδευση ελκύονται σε μέτριο βαθμό από την ενεργειακή αυτονομία της πυρηνικής ενέργειας, με ποσοστό 21,81%. Τα άτομα που προέρχονται από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση, εμφανίζουν ποσοστό 26,78%, για μέτριο βαθμό ελκυστικότητας. Με ποσοστό 22,26% τα άτομα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση, ελκύονται λίγο από την ενεργειακή αυτονομία, ενώ αντίθετα τα άτομα που προέρχονται από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση ελκύονται λίγο με ποσοστό 55,35%.

6.3.5.8 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με το βαθμό ελκυστικότητας των χαμηλότερων τιμολογίων από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

χ^2	P-VALUE
14,30	0,0064

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0064 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα υπάρχει ένδειξη συσχέτισης σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%, η οποία θα μπορούσε να αποδειχτεί αν το δείγμα ήταν μεγαλύτερο.

Πόσο σας ελκύουν τα χαμηλότερα τιμολόγια από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας;



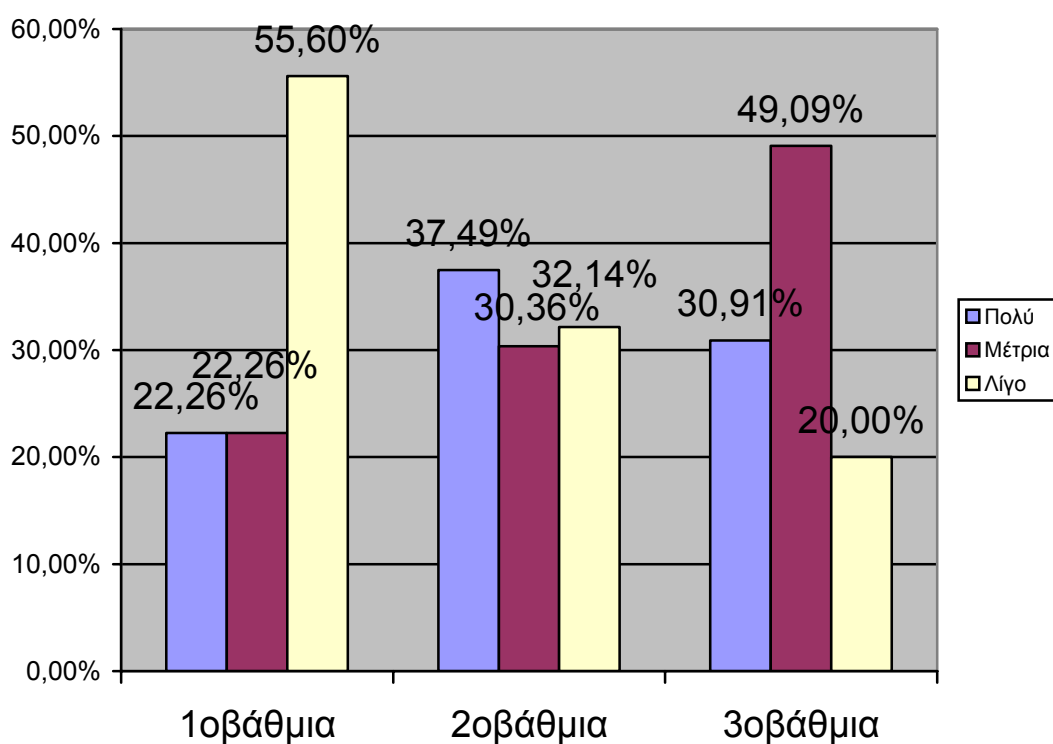
Μεγάλη διαφορά στα ποσοστά εντοπίζεται στην απάντηση «Λίγο» μεταξύ των ατόμων που προέρχονται από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση και των ατόμων που προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση. Συγκεκριμένα τα άτομα που προέρχονται από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση ελκύονται σε μικρό βαθμό από τα χαμηλότερα τιμολόγια σε ποσοστό 44,64%, ενώ τα άτομα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση ελκύονται σε μικρό βαθμό σε ποσοστό 22,26%.

6.3.5.9 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με το βαθμό προβληματισμού του γεγονότος ότι ορισμένες από τις γειτονικές χώρες της Ελλάδας διαθέτουν ήδη ή κατασκευάζουν πυρηνικά εργοστάσια.

χ^2	P-VALUE
7,91	0,0949

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0949 και είναι μικρότερο από το 0,10, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 10%.

Σε τι βαθμό σας προβληματίζει το γεγονός ότι γειτονικές χώρες της Ελλάδας διαθέτουν ήδη ή κατασκευάζουν πυρηνικά εργοστάσια;



Τα άτομα που προέρχονται από την τριτοβάθμια εκπαίδευση προβληματίζονται σε μέτριο βαθμό με ποσοστό 49,09%. Τα άτομα που προέρχονται από την δευτεροβάθμια εκπαίδευση προβληματίζονται μέτρια με ποσοστό 30,36%,

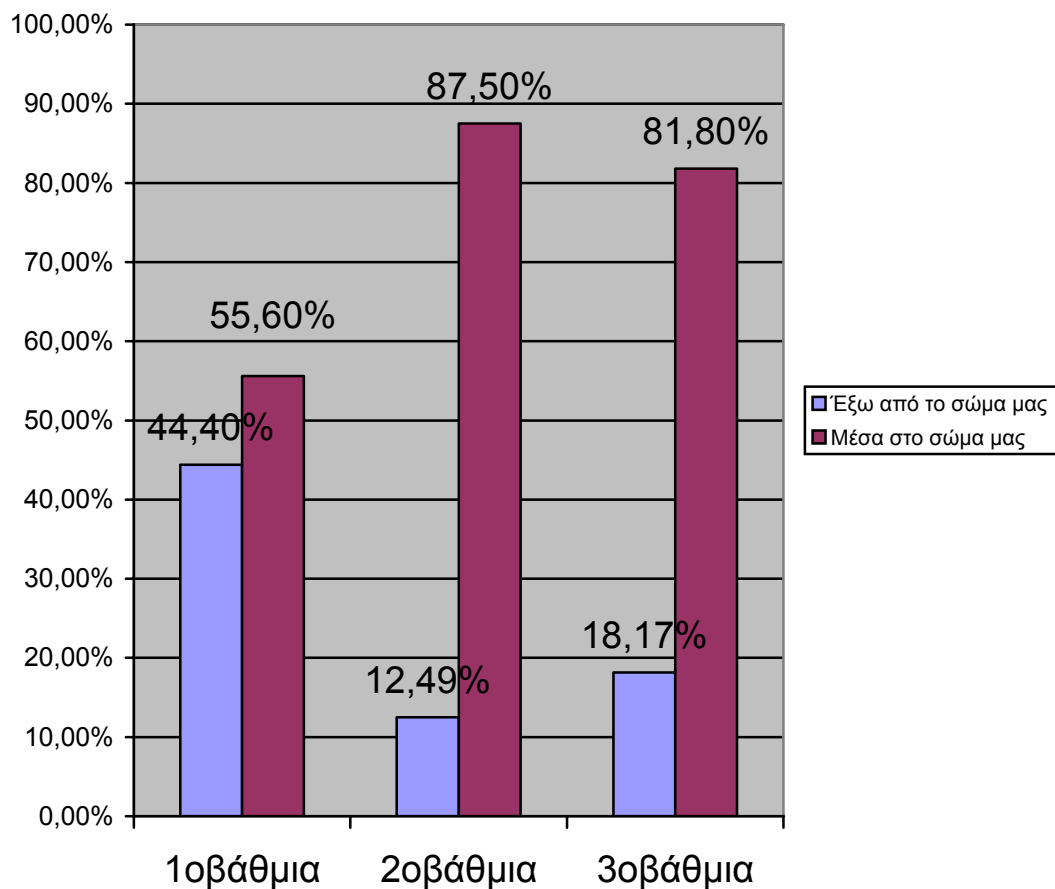
ενώ εκείνα τα άτομα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση με ποσοστό 22,26%.

6.3.5.10 Συσχέτιση μορφωτικού επιπέδου με το αν η ραδιενέργεια είναι πιο επικίνδυνη αν η πηγή της είναι εντός ή εκτός του σώματός μας.

χ^2	P-VALUE
5,51	0,0635

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0635 και είναι μικρότερο από το 0,10, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 10%.

Η ραδιενέργεια είναι πιο επικίνδυνη αν η πηγή της είναι:



Και οι τρεις ομάδες ατόμων συμφωνούν ότι η ραδιενέργεια είναι πιο επικίνδυνη εάν η πηγή της βρίσκεται εντός του σώματός μας. Τα άτομα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση έχουν ποσοστά 55,60% και 87,50% αντίστοιχα και τα άτομα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση έχουν ποσοστά 81,80% για την απάντηση «Μέσα στο σώμα μας».

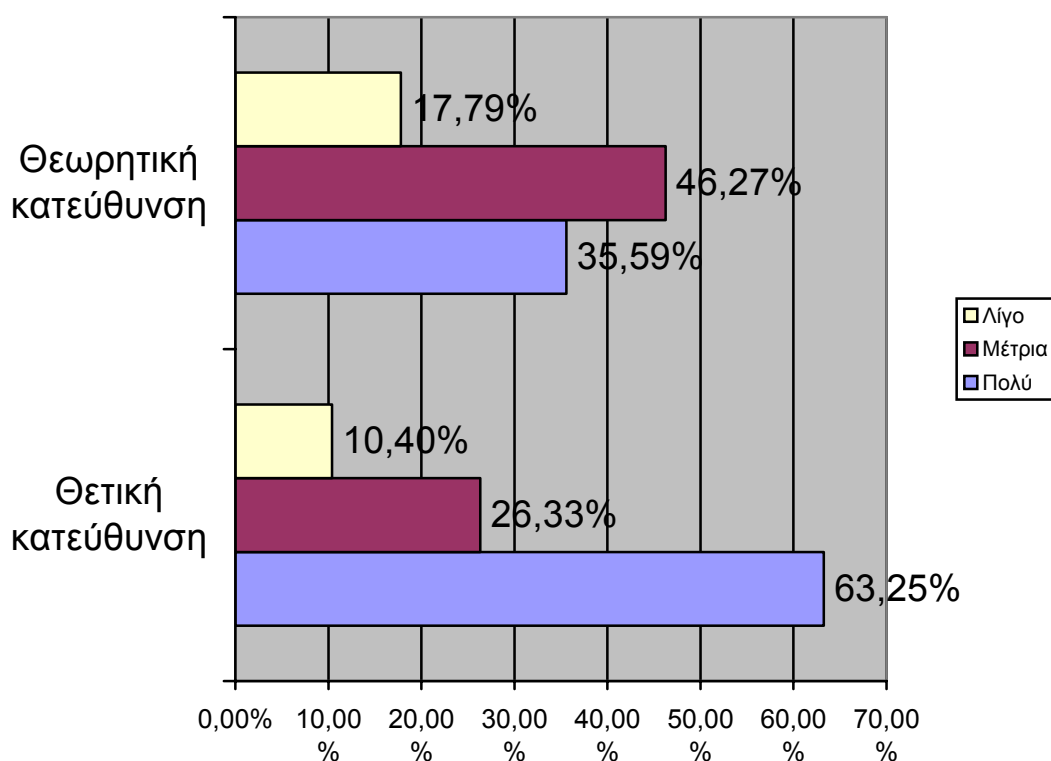
6.3.6 Συσχέτιση κατεύθυνσης σχολής με εξαρτημένες μεταβλητές.

6.3.6.1 Συσχέτιση κατεύθυνση σχολής με το βαθμό συχνής ενημέρωσης σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα.

χ^2	P-VALUE
11,43	0,0221

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0221 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.

Πόσο συχνά ενημερώνεστε σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα;



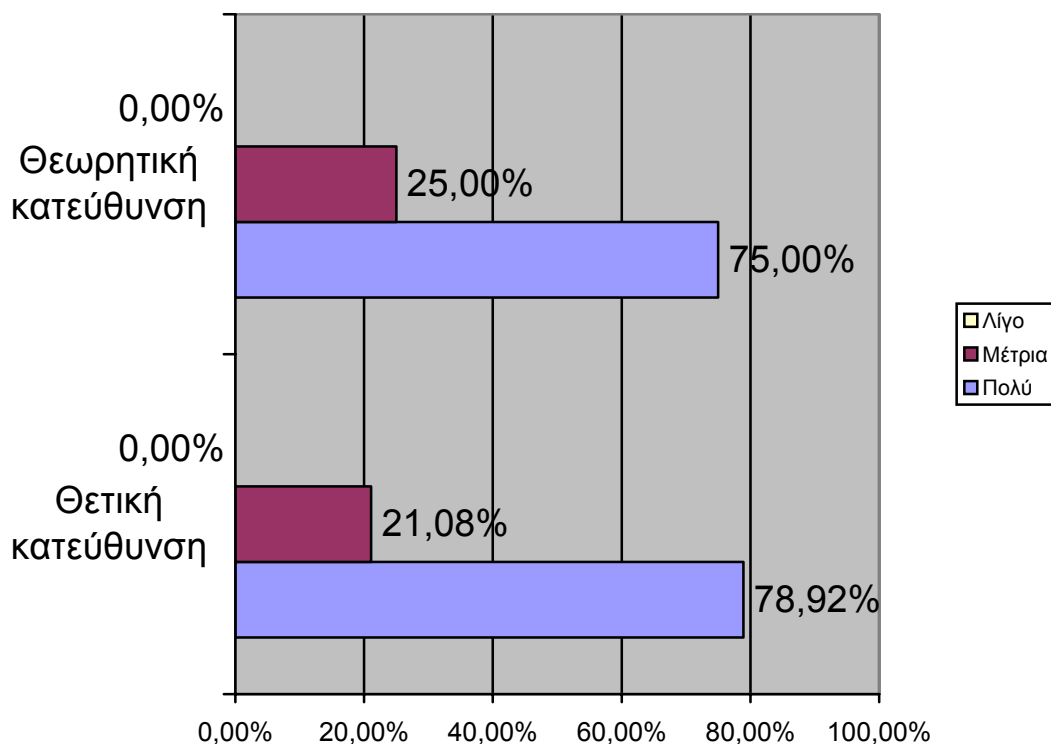
Από αυτή την συσχέτιση παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό όσον αφορά την απάντηση «Πολύ», το κατέχει η κατηγορία της θετικής κατεύθυνσης, με 63,25%. Ακολουθούν τα άτομα που προέρχονται από την θεωρητική κατεύθυνση με 35,59% για το «Πολύ». Όσον αφορά το μέτριο βαθμό ενημέρωσης, για τα άτομα της θετικής κατεύθυνσης των σχολών τους έχουν ποσοστό 26,33% και αυτά της θεωρητικής κατεύθυνσης 46,27%. Στην απάντηση «Λίγο», τα άτομα που προέρχονται από την θετική κατεύθυνση έχουν ποσοστό 10,40%, ενώ τα άτομα που προέρχονται από την θεωρητική κατεύθυνση έχουν ποσοστό 17,79%.

6.3.6.2 Συσχέτιση κατεύθυνσης σχολής με το βαθμό ανησυχίας για την ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του, από ραδιενεργές πηγές.

X ²	P- VALUE
18,60	0,0009

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0009 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%.

Σε τι βαθμό ανυσηχείτε για την ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του, από ραδιενεργές πηγές;

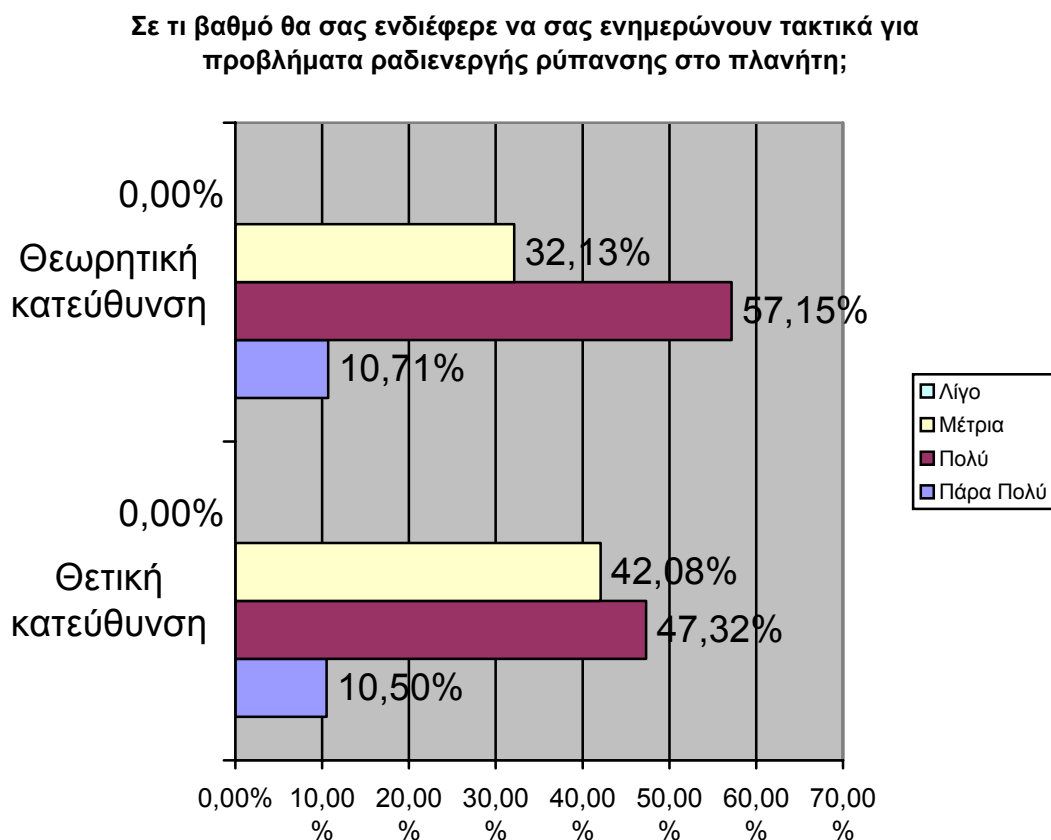


Τα άτομα που δήλωσαν ότι προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση ανησυχούν σε πολύ μεγάλο βαθμό για την ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του από ραδιενεργές πηγές, σε ποσοστό 75,00%. Παρόμοιο ποσοστό για τον ίδιο βαθμό ανησυχίας, παρουσιάζουν τα άτομα που προέρχονται από θετική κατεύθυνση παιδιά με ποσοστό 78,92%. Παρόμοια για το μέτριο βαθμό ανησυχίας, τα άτομα που προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση ανησυχούν σε ποσοστό 25,00%, ενώ τα άτομα που προέρχονται από θετική κατεύθυνση ανησυχούν σε ποσοστό 21,08%.

6.3.6.3 Συσχέτιση κατεύθυνση σχολής με το βαθμό ενδιαφέροντος για τακτική ενημέρωση για προβλήματα ραδιενεργής ρύπανσης.

X ²	P-VALUE
16,22	0,0126

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0126 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.



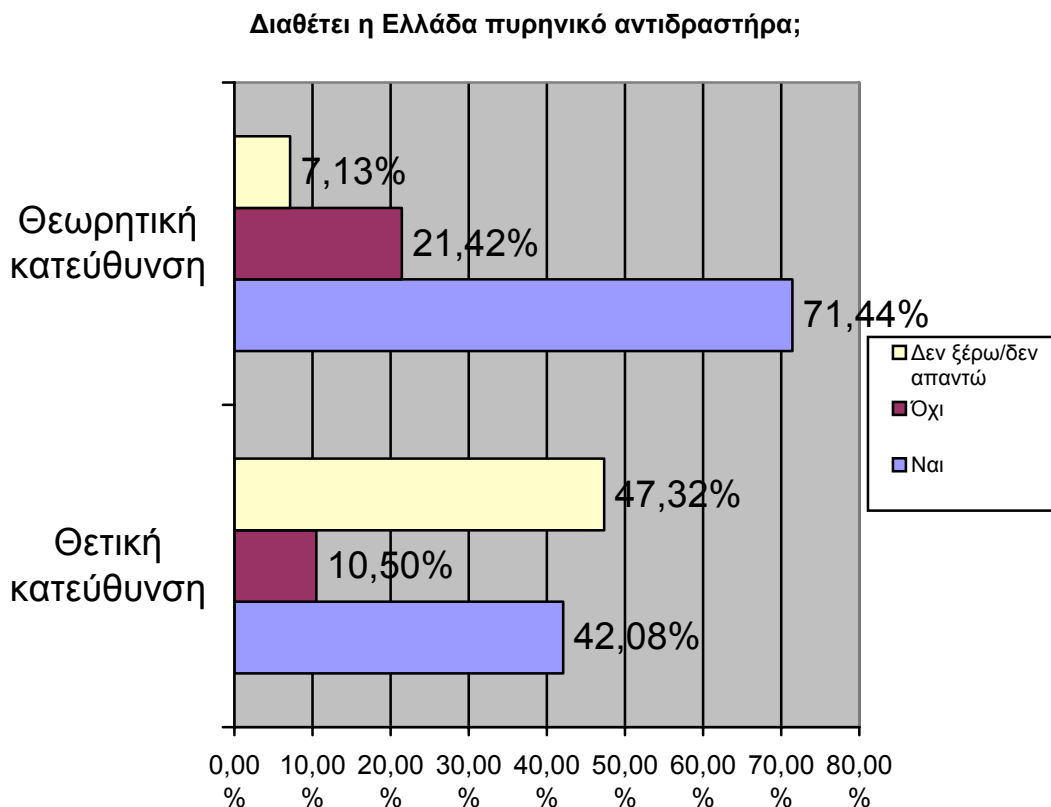
Τα άτομα που προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση και ενδιαφέρονται σε πολύ μεγάλο βαθμό να ενημερώνονται τακτικά για προβλήματα ραδιενεργής ρύπανσης στο πλανήτη εμφανίζουν ποσοστό 57,15%, σε αντίθεση με τα άτομα που προέρχονται από θετική κατεύθυνση και έχουν τον ίδιο βαθμό ενδιαφέροντος αλλά παρουσιάζουν ποσοστό 47,32%. Όσον αφορά τον μέτριο βαθμό ενδιαφέροντος για ενημέρωση, τα άτομα που προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση εμφανίζουν ποσοστό 32,13%, ενώ τα άτομα που προέρχονται από θετική κατεύθυνση εμφανίζουν ποσοστό 42,08%. Πολύ μικρή διαφορά στα ποσοστά παρατηρείται για τις απαντήσεις «Πάρα Πολύ», ενώ για την απάντηση «Λίγο» τα ποσοστά είναι μηδενικά.

6.3.6.4 Συσχέτιση κατεύθυνσης σχολής με το αν διαθέτει η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα.

χ^2	P-
----------	----

	VALUE
14,55	0,0057

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0057 και είναι μικρότερο από το 0,01, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 1%.



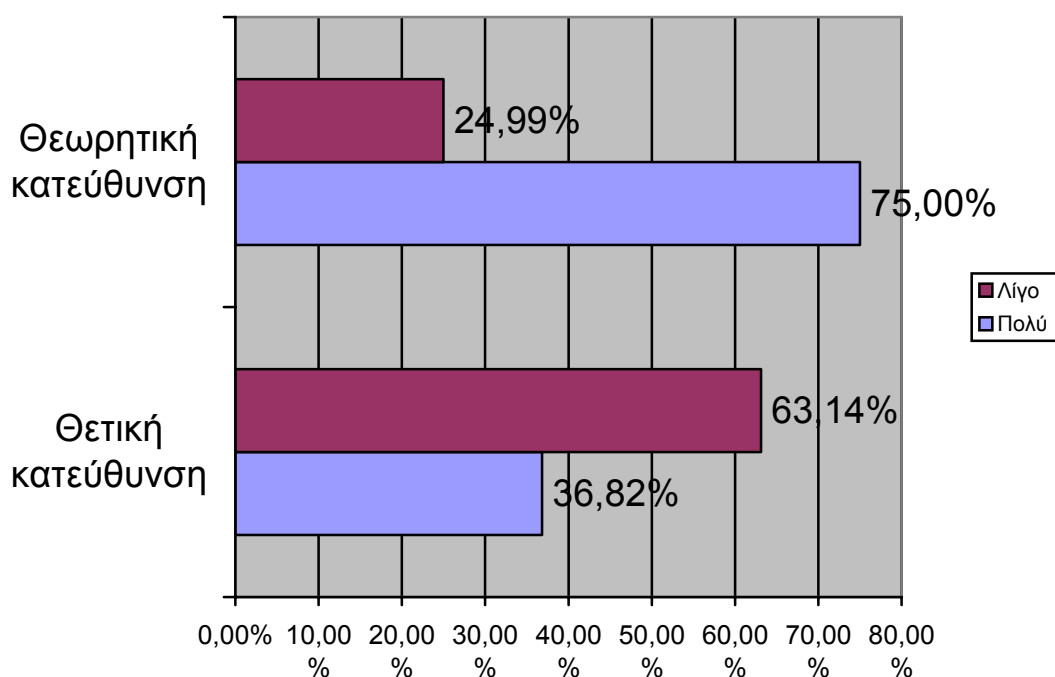
Μεγάλη διαφορά στα ποσοστά εντοπίζεται στην θετική απάντηση μεταξύ των ατόμων που δήλωσαν ότι προέρχονται από θετική κατεύθυνση και των ατόμων που δήλωσαν ότι προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση. Συγκεκριμένα τα άτομα που προέρχονται από θετική κατεύθυνση πιστεύουν σε ποσοστό 42,08% ότι η Ελλάδα διαθέτει πυρηνικό αντιδραστήρα, ενώ τα άτομα που προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση πιστεύουν στην ύπαρξη ελληνικού πυρηνικού αντιδραστήρα σε ποσοστό 71,44%. Όσον αφορά την αρνητική απάντηση, όσοι προέρχονται από θετική κατεύθυνση απαντούν αρνητικά σε ποσοστό 10,50%, ενώ όσοι προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση σε ποσοστό 21,42%.

6.3.6.5 Συσχέτιση κατεύθυνσης σχολής με το βαθμό προβληματισμού του κινδύνου ατυχημάτων από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

χ^2	P-VALUE
7,31	0,0258

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value (with Yates' correction) ισούται με 0,0258 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.

Πόσο σας προβληματίζει ο κίνδυνος ατυχημάτων από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας;



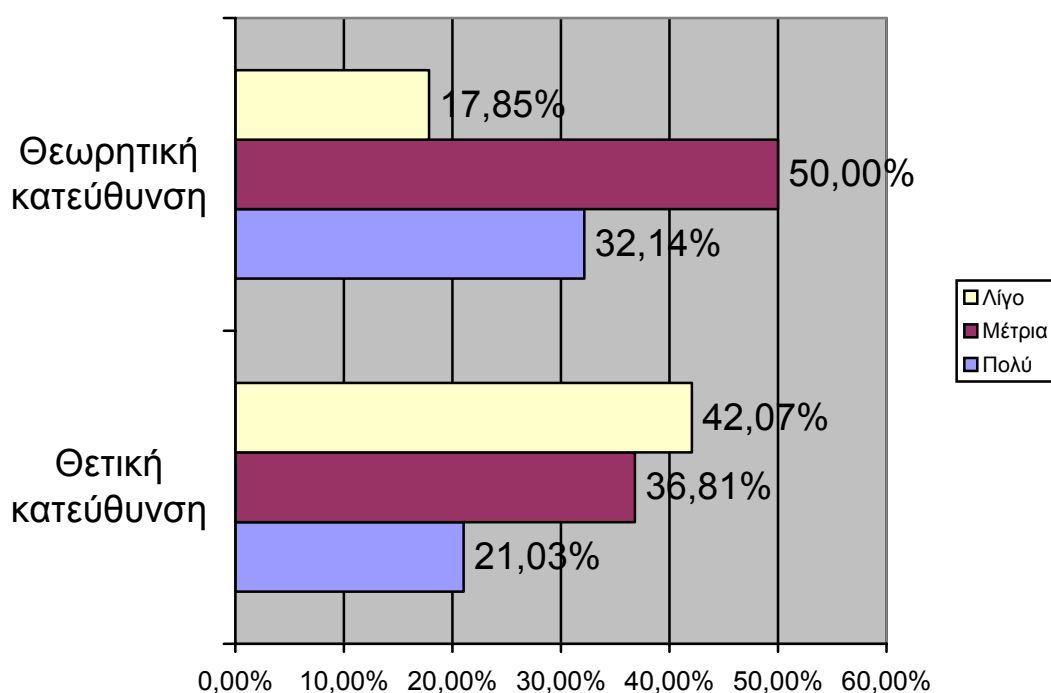
Τα άτομα που προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση απάντησαν ότι προβληματίζονται πολύ για τον κίνδυνο ατυχημάτων από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε ποσοστό 75,00%. Τα άτομα που προέρχονται από θετική κατεύθυνση, για τον ίδιο βαθμό προβληματισμού απάντησαν με ποσοστό 36,82%. Επίσης διαφορά εντοπίζεται στον λίγο βαθμό προβληματισμού. Συγκεκριμένα, τα άτομα που προέρχονται από θετική κατεύθυνση προβληματίζονται λίγο σε ποσοστό 63,14%, ενώ τα άτομα που προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση προβληματίζονται λίγο σε ποσοστό 24,99%.

6.3.6.6 Συσχέτιση κατεύθυνσης σχολής με το βαθμό ελκυστικότητας των χαμηλότερων τιμολογίων από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

χ^2	P-VALUE
10,96	0,0270

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0270 και είναι μικρότερο από το 0,05, άρα είναι εξαρτημένες σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 5%.

Πόσο σας ελκύουν τα χαμηλότερα τιμολόγια από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας;



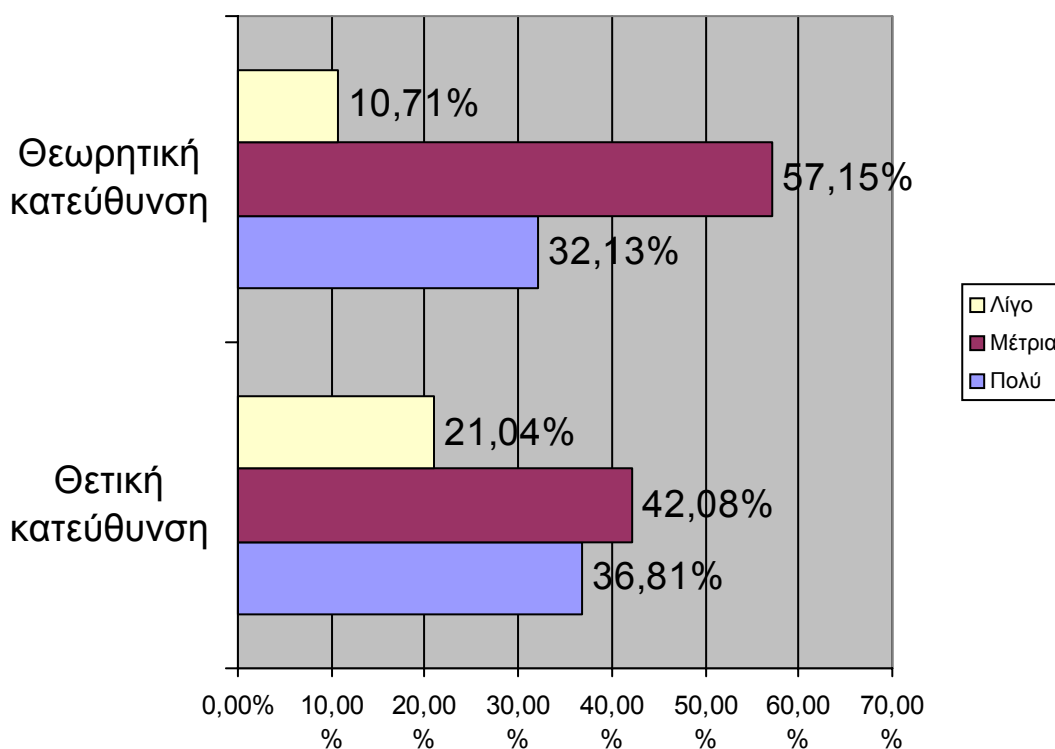
Τα άτομα που προέρχονται από την θεωρητική κατεύθυνση δείχνουν να ελκύονται στην πλειοψηφία τους σε μέτριο βαθμό από τα χαμηλότερα τιμολόγια. Συγκεκριμένα με ποσοστό 50,00%. Αντίθετα τα άτομα που προέρχονται από σχολή με θετική κατεύθυνση, στην πλειοψηφία τους ελκύονται λίγο από τα χαμηλότερα τιμολόγια, με ποσοστό 42,07%. Η απάντηση «Πολύ» για την θεωρητική κατεύθυνση λαμβάνει ποσοστό 32,14%, ενώ για την θετική κατεύθυνση 21,03%.

6.3.6.7 Συσχέτιση κατεύθυνσης σχολής με το βαθμό προβληματισμού του γεγονότος ότι ορισμένες από τις γειτονικές χώρες της Ελλάδας διαθέτουν ήδη ή κατασκευάζουν πυρηνικά εργοστάσια.

χ^2	P-VALUE
9,37	0,0524

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value = 0,0524 και μικρότερο από το 0,10, άρα είναι εξαρτημένες στο 10%.

Σε τι βαθμό σας προβληματίζει το γεγονός ότι ορισμένες από τις γειτονικές χώρες της Ελλάδας διαθέτουν ήδη ή κατασκευάζουν πυρηνικά εργοστάσια;



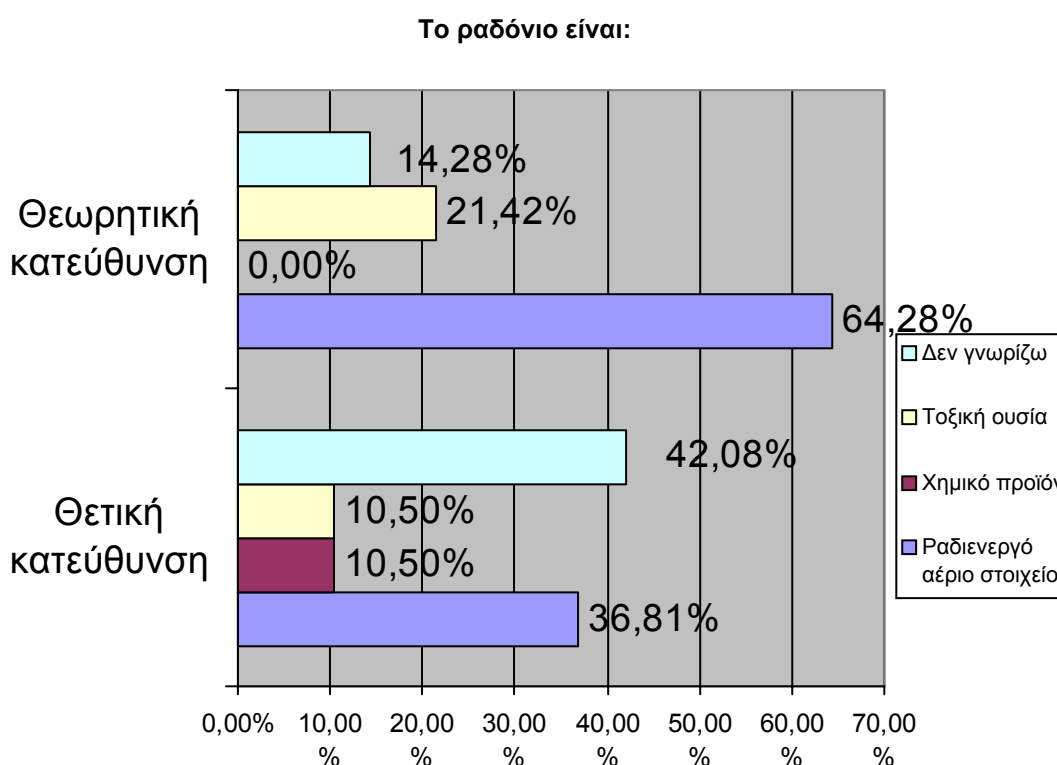
Τα άτομα που προέρχονται από την θεωρητική κατεύθυνση δείχνουν να προβληματίζονται στην πλειοψηφία τους σε μέτριο βαθμό από το γεγονός ότι ορισμένες από τις γειτονικές χώρες της Ελλάδας διαθέτουν ήδη ή κατασκευάζουν πυρηνικά εργοστάσια. Συγκεκριμένα με ποσοστό 57,15%. Αντίθετα τα άτομα που προέρχονται από σχολή με θετική κατεύθυνση, στην πλειοψηφία τους προβληματίζονται μέτρια, με ποσοστό 42,08%. Η απάντηση «Πολύ» για την

θεωρητική κατεύθυνση λαμβάνει ποσοστό 32,13%, ενώ για την θετική κατεύθυνση 36,81%. Η απάντηση «Λίγο» για την θεωρητική κατεύθυνση λαμβάνει ποσοστό 10,71%, ενώ για την θετική κατεύθυνση 21,04%.

6.3.6.8 Συσχέτιση κατεύθυνσης σχολής με το τι είναι το ραδόνιο.

χ^2	P-VALUE
11,60	0,0714

Από τον έλεγχο ανεξαρτησίας χ^2 που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι P-Value ισούται με 0,0714 και είναι μικρότερο από το 0,10, άρα υπάρχει ένδειξη συσχέτισης σε βαθμό στατιστικής σημαντικότητας 10%, η οποία θα μπορούσε να αποδειχτεί αν το δείγμα ήταν μεγαλύτερο.



Τα άτομα που προέρχονται από σχολή με θεωρητική κατεύθυνση απαντούν στην πλειοψηφία τους ότι το ραδόνιο είναι ραδιενεργό αέριο στοιχείο, με ποσοστό 64,28%. Αντίθετα τα άτομα που προέρχονται από σχολή με θετική κατεύθυνση απαντούν στην πλειοψηφία τους, ποσοστό 42,08%, ότι δεν γνωρίζουν τι είναι το ραδόνιο. Ακολουθεί με 36,81% η απάντηση «Ραδιενεργό αέριο στοιχείο». Με

ποσοστό 21,42% η θεωρητική κατεύθυνση απαντά «Τοξική ουσία», ενώ το αντίστοιχο ποσοστό της θετικής κατεύθυνσης είναι 10,50%. Κανένας από την θεωρητική δεν επέλεξε το «Χημικό προϊόν¹⁸», ενώ από τη θετική το επέλεξε το 10,50%.

¹⁸ Το «Χημικό Προϊόν» εμπεριέχει τις υποεπιλογές β, γ, δ, ε του ερωτηματολογίου.

7.1 Γενικά Συμπεράσματα

Η φυσική ραδιενέργεια αποτελεί ένα φαινόμενο που έχει τις ρίζες του από την πρώτη στιγμή της δημιουργίας του σύμπαντος και υπάρχει διάχυτη σε όλο το περιβάλλον. Ο άνθρωπος αφού ανακάλυψε τις δυνάμεις που υπάρχουν μέσα στους πυρήνες των ατόμων και το φαινόμενο της φυσικής ραδιενέργειας, κατάφερε να τα μιμηθεί στο εργαστήριό του, να απελευθερώσει τεράστια ποσά ενέργειας και να τα χρησιμοποιήσει προς όφελός του. Παρόλα αυτά, η νέα μορφή ενέργειας δεν είναι ακίνδυνη. Έπρεπε να χρησιμοποιηθεί η ατομική βόμβα δύο φορές στην, ήδη παραδομένη, Ιαπωνία κατά το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου για να ανακαλύψει ο άνθρωπος την καταστροφική ισχύ της πυρηνικής ενέργειας.

Η ραδιενεργή ρύπανση, είτε φυσικής, είτε τεχνητής προέλευσης, εντοπίζεται σε ολόκληρο το περιβάλλον, ακόμα και μέσα στο ανθρώπινο σώμα. Είναι μία διαδικασία, που δεν μπορεί να εξαλειφθεί τελείως, αλλά μόνο να περιοριστεί σε ένα αποδεκτό, από την σύγχρονη κοινωνία, επίπεδο. Το επίπεδο έκθεσης στην ραδιενέργεια, ως ένα βαθμό, εξαρτάται από τον τρόπο ζωής που έχει επιλέξει ο σύγχρονος άνθρωπος.

Δεδομένου ότι η απορροφηθείσα δόση από φυσική ραδιενέργεια παραμένει μικρή, η τιμή της συνολικής δόσης που λαμβάνει ο μέσος άνθρωπος μεταβάλλεται από το ποσό της δόσης από τις πηγές τεχνητής ραδιενέργειας. Η αποτελεσματικότερη επεξεργασία και αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων, η μείωση των άσκοπων ιατρικών εξετάσεων που χρησιμοποιούν ραδιενέργεια, η αύξηση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας των πυρηνικών αντιδραστήρων ισχύος καθώς επίσης και η μείωση των πυρηνικών οπλικών συστημάτων, μπορούν να περιορίσουν την ρύπανση, και άρα τις επιπτώσεις της, που δέχεται ο μέσος κάτοικος του πλανήτη. Εξάλλου στατιστικά, η έκθεση στην φυσική ραδιενέργεια από τα γνωστά στοιχεία, δεν έχει αποβεί επιβλαβής για τον άνθρωπο, όμως η τεχνητή ραδιενέργεια είναι κάτι το τελείως διαφορετικό, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων στις οποίες μπορεί να παραχθεί.

7.2 Συμπεράσματα από την Έρευνα μέσω Ερωτηματολογίου

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε μέσω ερωτηματολογίου, η πλειοψηφία των ερωτηθέντων φάνηκε να ανησυχεί πολύ για την ραδιενεργή ρύπανση του πλανήτη και ενημερώνεται σχετικά κατά κύριο λόγο από την τηλεόραση και τις εφημερίδες. Όσον αφορά το τι θεωρούν ότι συνεισφέρει ποιο πολύ στην ραδιενεργή ρύπανση σημαντική θέση κατέχουν οι πυρηνικές δοκιμές, τα ατυχήματα στα πυρηνικά εργοστάσια, οι παράνομες χωματερές ραδιενεργών αποβλήτων και οι συγκρούσεις πυρηνοκίνητων υποβρυχίων.

Είναι σημαντικό το γεγονός ότι η πλειοψηφία του δείγματος θεωρεί ότι είναι εκτεθειμένη σε μέτριο βαθμό σε ραδιενεργές ουσίες και ότι μεταβάλλοντας κάποια στοιχεία του τρόπου ζωής του (όπως επιλογή σωστών δομικών υλικών, ή τοποθεσία κατοικίας, μείωση αεροπορικών πτήσεων, περιορισμός άσκοπων ιατρικών εξετάσεων, επιλογή τροφίμων) μπορεί να μειώσει την έκθεσή του στην ραδιενέργεια. Παρόλα αυτά, το δείγμα εμφανίζεται θετικό στην παραγωγή, στην Ελλάδα, ηλεκτρικής ενέργειας από την πυρηνική ενέργεια, αν και δείχνει να προβληματίζεται σχετικά με τις πιθανότητες ενός ατυχήματος, την ασφαλή απόθεση των αποβλήτων και το πιθανό σεισμογενές υπέδαφος.

Από τις συσχετίσεις των εξαρτημένων μεταβλητών καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι γυναίκες ανησυχούν σε μεγαλύτερο ποσοστό από τους άνδρες για την ραδιενεργή ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του. Επίσης οι ηλικίες 31 έως 60 ενημερώνονται σχετικά με την ραδιενεργή ρύπανση, στην πλειοψηφία τους, από τις εφημερίδες, γεγονός που ίσως να οφείλεται στην έλλειψη ελεύθερου χρόνου, έτσι ώστε να παρακολουθήσουν τηλεόραση.

Από την συσχέτιση των απαντήσεων του δείγματος που δήλωσε ότι δεν έχει παιδιά με την ερώτηση σε τι βαθμό πιστεύουν ότι μπορεί να λύσει το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την πυρηνική, τα δύο τρίτα απάντησαν ότι μπορεί να αποτελέσει λύση και μάλιστα σε πολύ μεγάλο βαθμό. Παρόλα αυτά στην συσχέτιση με την ερώτηση κατά πόσο σας προβληματίζει ο κίνδυνος ατυχημάτων από την χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας, πάνω από τους μισούς απάντησαν ότι προβληματίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό.

8.1 Βιβλιογραφία

1. Πάνος Μανιάτης, Ιατρική Φυσική Ι, Μακεδονικές Εκδόσεις, Αθήνα 1993
2. Κώστας Σαλτερής, Χημεία Γ' Λυκείου Τεύχος Α', Αθήνα 2000
3. Νικόλαος Κ. Ανδρικόπουλος, Επιλογές Χημείας Τόμος Ι: Κεφάλαια θεωρίας, Αθήνα 1999
4. Εμείς και η Ραδιενέργεια, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 1989
5. Α. Οικονόμου, Πυρηνικά Όπλα και Ανθρώπινος Πολιτισμός «Συμβίωση χωρίς μέλλον», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 1991
6. Πάνος Μανιάτης, Φυσική για ραδιολόγους – Ακτινολόγους, Μακεδονικές Εκδόσεις 2002
7. Γεώργιος Χρ. Κώττης, Οικολογία και Οικονομία, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα 1994
8. Ε. Αλεξανδρή-Χατζηαντωνίου, Βιολογία – η μελέτη της ζωής, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα
9. Πέτρος Γ. Μάλλιαρης, Εισαγωγή στο Μάρκετινγκ, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 2001
10. Ανδρέας Γ. Κυριακούσης, Στατιστικές Μέθοδοι, Αθήνα 2000
11. Paul G. Hewitt, Οι έννοιες της Φυσικής – Τόμος ΙΙ, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 1997
12. G. Tyler Miller, Jr, Βιώνοντας στο Περιβάλλον ΙΙ, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα 1999
13. W. N. Cottingham, D.A. Greenwood, Εισαγωγή στην Πυρηνική Φυσική, Τυπωθήτω 1996
14. John Lilley, Nuclear Physics (Principles and Applications), John Willey & Sons 2002
15. J. Byrne, Neutrons, Nuclei and Matter, Institute of Physics Publishing 1994
16. W. S. C. Williams, Nuclear and Particle Physics, Oxford Science Publications 1991
17. A. A. Harms, Principles of Fusion Energy, World Scientific, 2002
18. Hinrichs, Kleinbach, Energy – Its use and the Environment, 2000
19. IAEA, Safety Standart Series, Vienna'
20. S. E. Simopoulos & M. G. Angelopoulos, Natural Radioactivity Releases from Lignite Power Plants in Greece
21. C. Papastefanou, M. Manolopoulou, S. Stoulos, A. Ioannidou, E. Gerasopoulos, Radon concentrations and absorbed dose measurements in a Pleistocenic cave
22. S.E. Simopoulos, P.K. Rouni, N.P. Petropoulos, M.J. Anagnostakis, E.P. Hinis, Radioenvironmental survey of the Megalopolis lignite field basin
23. <http://www.rerf.or.jp>
24. <http://www.ansto.gov.au>
25. <http://www.atomicarchive.com>
26. <http://www.atsdr.cdc.gov>
27. <http://www.epa.gov>
28. <http://www.fema.gov>
29. <http://www.magma.ca>
30. <http://www.nei.org>

31. <http://www.world-nuclear.org>
32. <http://www.ehso.com>
33. <http://www.bellona.no>
34. <http://web.em.doe.gov>
35. <http://en.wikipedia.org>

I. ΜΟΝΑΔΕΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

A) Μονάδες ενεργότητας

Σε ένα δεδομένο δείγμα πυρήνων, ενεργότητα ονομάζεται ο μέσος αριθμός διασπάσεων ανά δευτερόλεπτο. Η μονάδα μέτρησής της μετριέται σε becquerels: 1 Bq αντιστοιχεί σε μία διάσπαση ανά δευτερόλεπτο, κατά μέσο όρο.

Παλαιότερα ως μονάδα ενεργότητας είχε οριστεί το curie:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

B) Μονάδες απορροφηθείσας δόσης

Για να υπολογίσουμε την έκθεση ενός σώματος σε μία ακτινοβολία πρέπει να υπολογίσουμε τον αριθμό των ιόντων που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση της συγκεκριμένης ακτινοβολίας με το σώμα που μελετάμε.

Σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Μετρήσεων Ραδιολογίας (I.C.R.U.) η έκθεση σε ακτινοβολία συμβολίζεται με X και δίνεται από τη σχέση:

$$X = dQ / dm$$

όπου dQ είναι η απόλυτη τιμή του ολικού φορτίου των ιόντων με ομώνυμο ηλεκτρικό φορτίο (θετικό ή αρνητικό) που δημιουργούνται από κάποια ακτινοβολία μέσα σε μία μάζα αέρα dm, όταν όλα τα σωματίδια β που παράγονται από αυτή την ακτινοβολία τερματίζουν τη διαδρομή τους μέσα στην προαναφερόμενη μάζα dm.

Ως μονάδα έκθεσης σε ακτινοβολία ορίζουμε την ποσότητα της ακτινοβολίας που παράγει ιόντα ολικού φορτίου 1 Coulomb (Cb) σε ένα χιλιόγραμμο αέρα. Δηλαδή:

$$1 \text{ R (roentgen)} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Coulomb ανά kg αέρα (CbKg}^{-1}\text{)}$$

Η απορροφώμενη δόση ή απλώς δόση συμβολίζεται με D και δίνεται από τη σχέση:

$$D = dE / dm$$

Δηλαδή είναι το πηλίκο της μέσης ενέργειας, η οποία απορροφάται από κάποιο υλικό στοιχειώδους μάζας dm, δια της στοιχειώδους μάζας dm. Η τιμή της απορροφώμενης δόσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας (συχνότητα, ένταση) και

από το υλικό πάνω στο οποίο προσπίπτει η ακτινοβολία. Μετριέται σε gray (Gy), όπου:

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ joule ανά χιλιόγραμμα ιστών, ισοδύναμα}$$

$$1 \text{ Gy} = 6,24 \times 10^{18} \text{ eV ανά χιλιόγραμμα ιστών.}$$

Μία παλαιότερη μονάδα είναι το rad: $1 \text{ Gy} = 10^2 \text{ rad}$. Στην πράξη οι τιμές που δίδονται για απορροφηθείσες δόσεις είναι μέσες τιμές για μία συγκεκριμένη περιοχή, ή όργανο, αλλά μπορούν να οριστούν και για ολόκληρο το σώμα.

Στην περίπτωση ενός βιολογικού οργανισμού οι συνέπειες μίας ακτινοβολίας δεν εξαρτώνται αποκλειστικά από την απορροφώμενη δόση αλλά και από τον τύπο της ακτινοβολίας (ακτινοβολία X, γ, α, ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια, πρωτόνια, νετρόνια).

Γενικά κάθε ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από ένα παράγοντα ποιότητας (ή συντελεστή ποιότητας) ως προς τις επιπτώσεις της, ο οποίος είναι σταθερός και ίδιος για όλο το σώμα.

Σε ό,τι αφορά την δόση που απορρόφησε ένας ζωντανός οργανισμός χρησιμοποιείται ο όρος ισοδύναμο δόσης που ορίζεται ως το γινόμενο των Gy με τον παράγοντα ποιότητας (Π.Π). Το μέγεθος αυτό μετριέται σε sieverts (Sv).

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \times 1 \text{ Π.Π.}$$

Για τις περισσότερες περιπτώσεις οι παράγοντες ποιότητας παίρνουν τις τιμές:

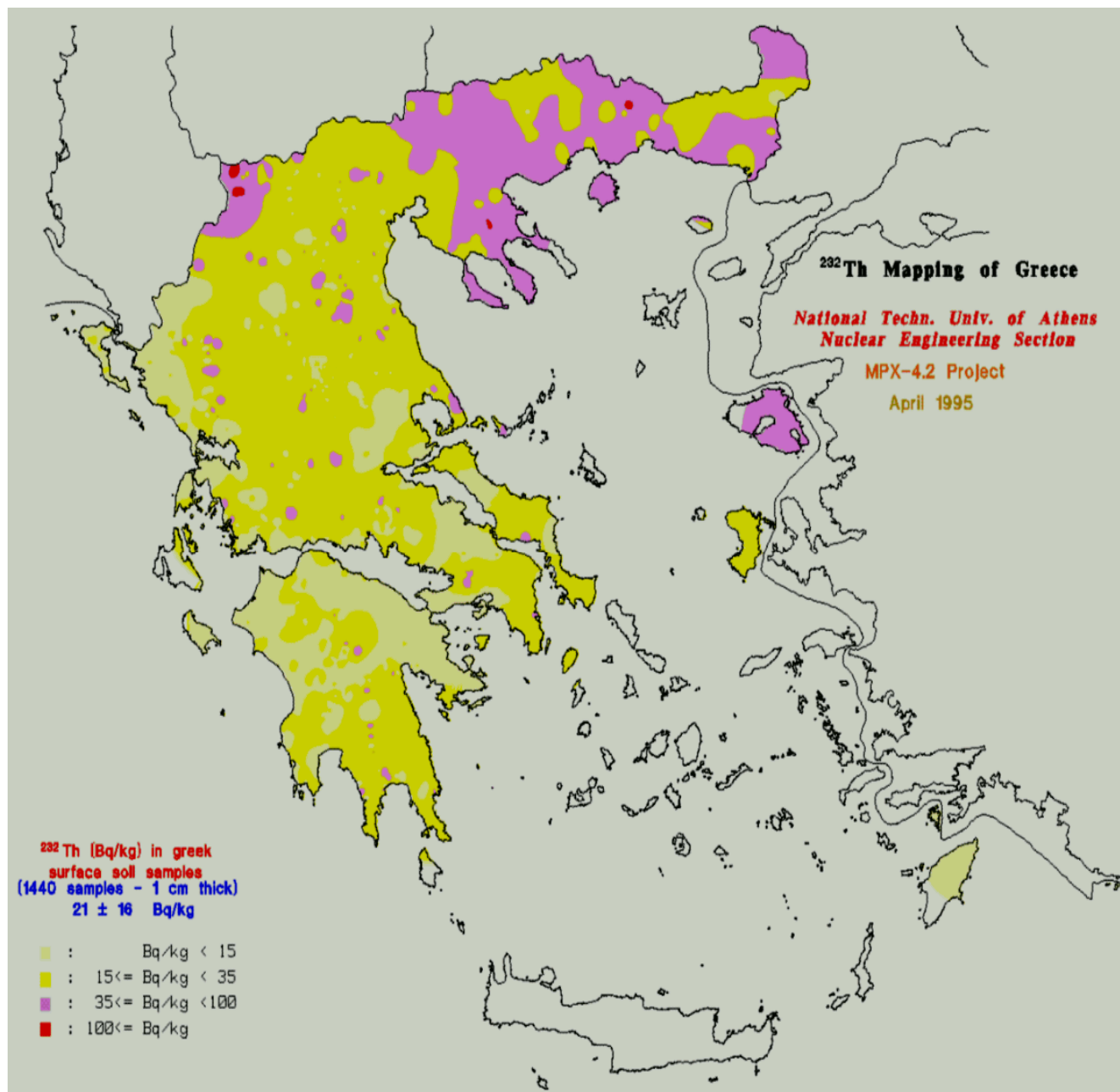
1 για τις ακτίνες X, τις ακτίνες γ και τα σωματίδια β^-

10 για τα νετρόνια και τα πρωτόνια και

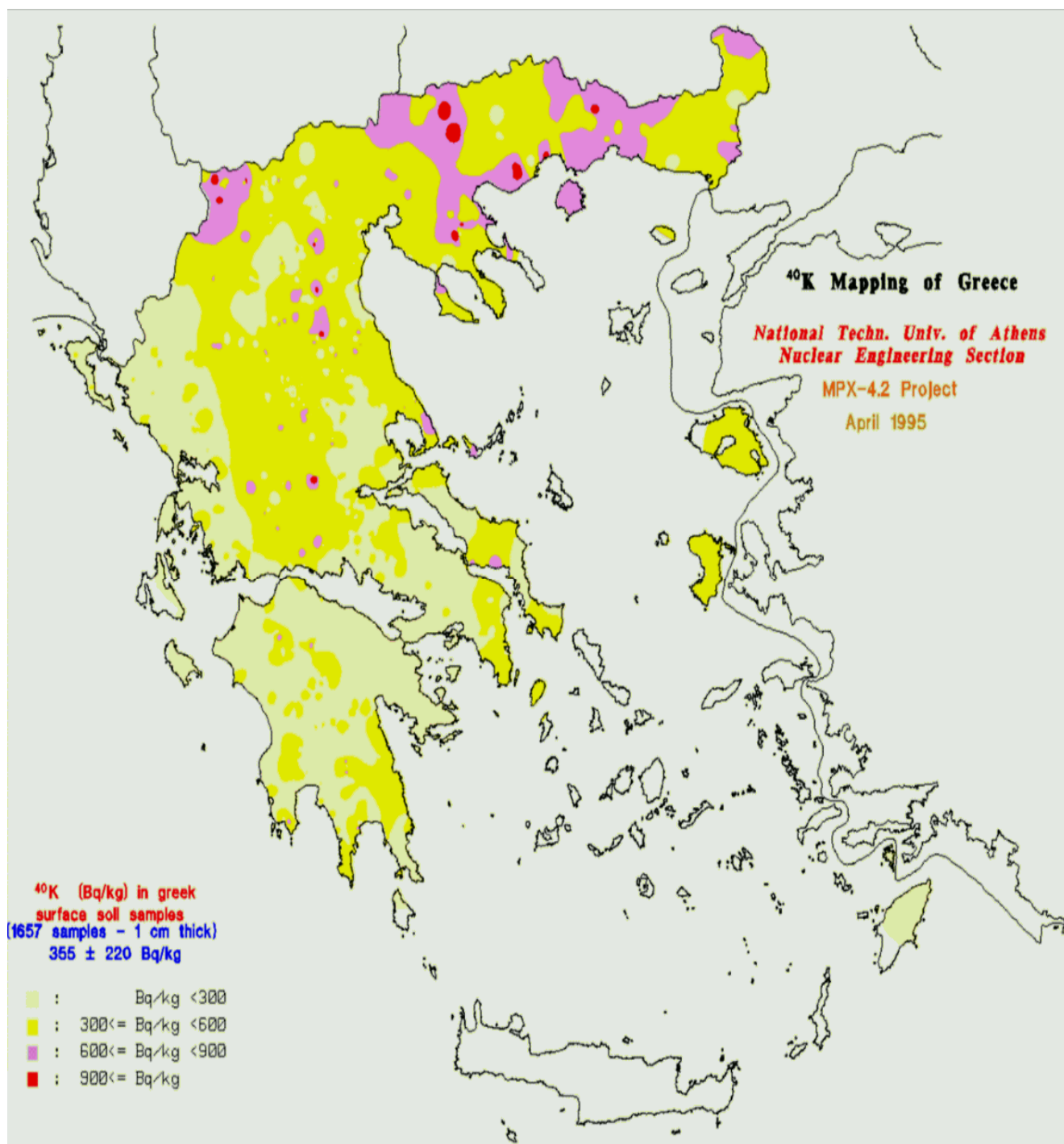
20 για τα σωματίδια α.

II. ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

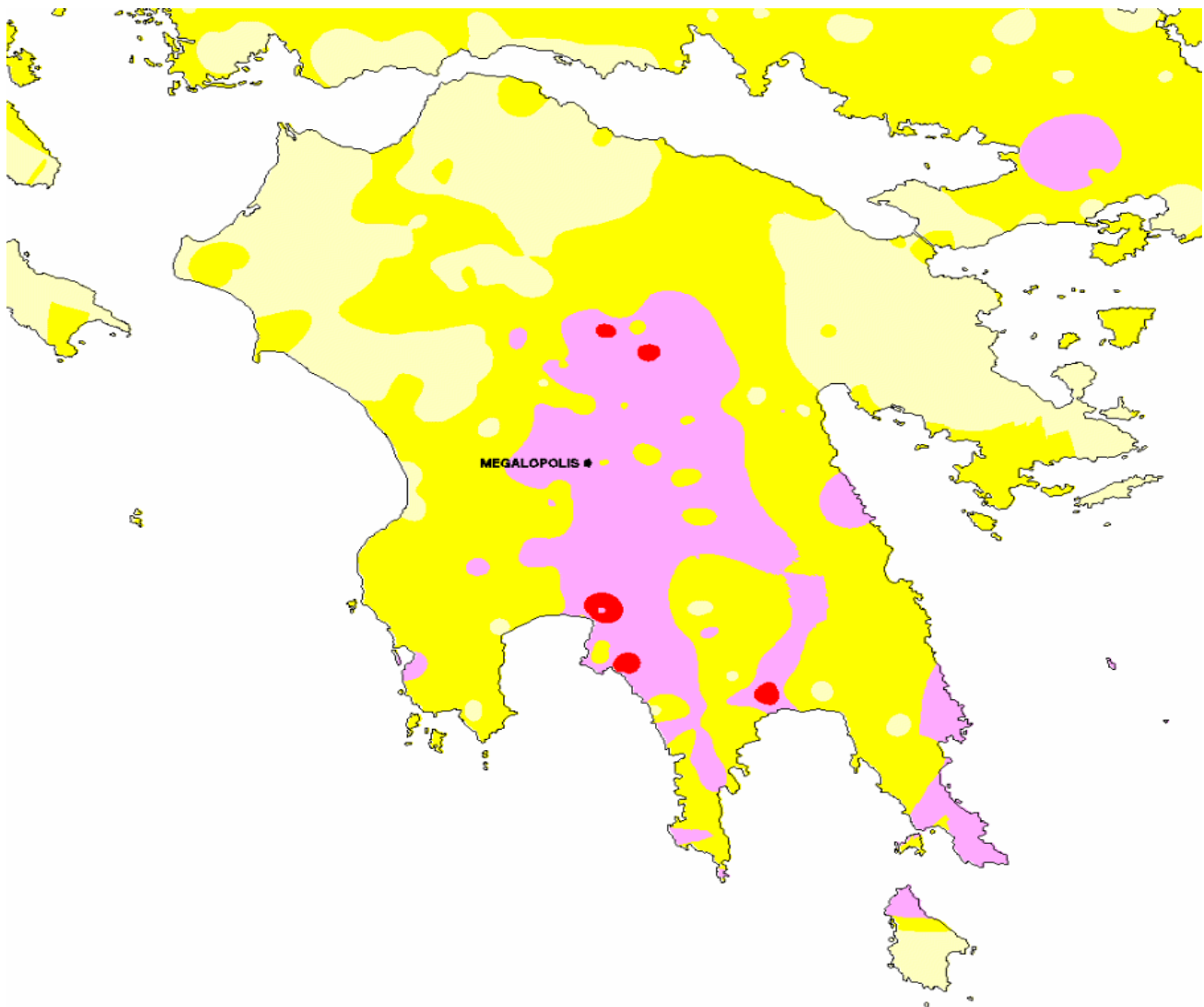
1) Δοσιμετρικός χάρτης θορίου-232



2) Δοσιμετρικός χάρτης καλίου-40



3) Δοσιμετρικός χάρτης ραδίου-226 γύρω από την περιοχή της Μεγαλόπολης



^{226}Ra (Bq/kg) Mapping of Greece

(1440 samples – 1 cm thick)

25 ± 19 Bq/kg

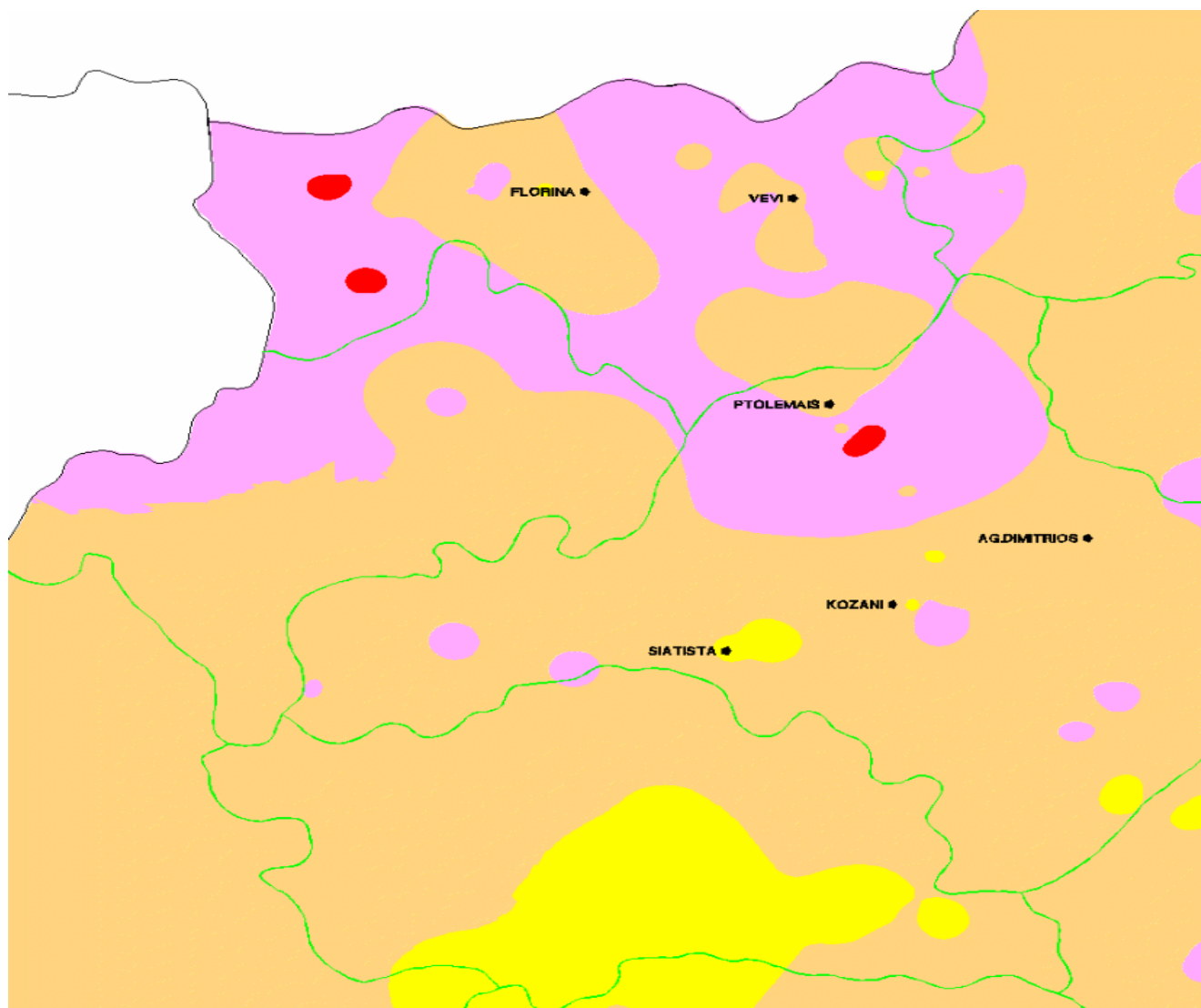
- : Bq/kg < 15
- : $15 \leq \text{Bq/kg} < 35$
- : $35 \leq \text{Bq/kg} < 100$
- : $100 \leq \text{Bq/kg}$

National Techn. Univ. of Athens
Nuclear Engineering Section

MPX-4.2 Project

April 1995

4) Δοσιμετρικός χάρτης ραδίου-226 γύρω από την περιοχή της Πτολεμαΐδος



^{226}Ra (Bq/kg) Mapping of Greece

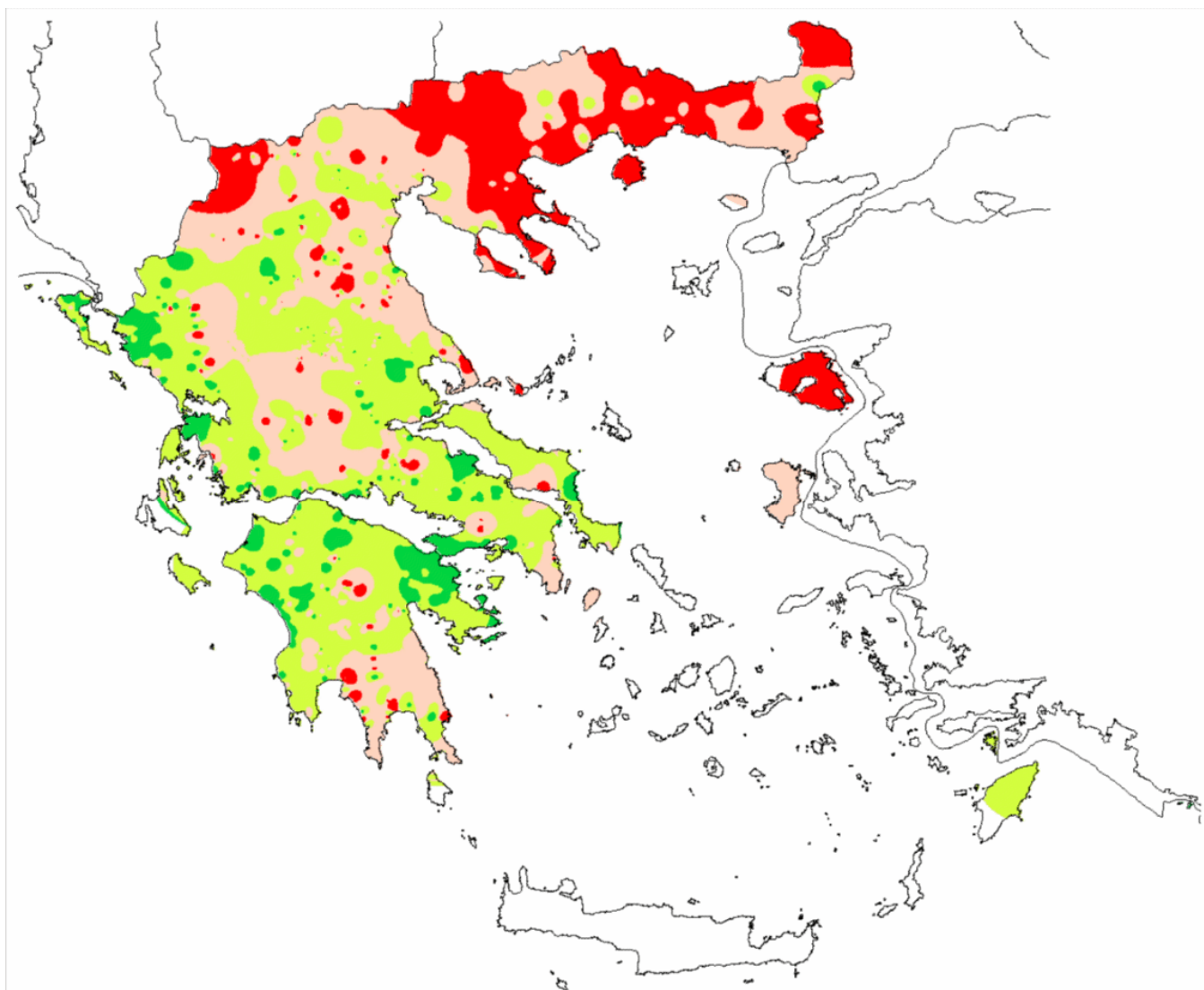
(1440 samples - 1 cm thick)

25 ± 19 Bq/kg

- : Bq/kg < 15
- : $15 \leq \text{Bq/kg} < 35$
- : $35 \leq \text{Bq/kg} < 100$
- : $100 \leq \text{Bq/kg}$

National Techn. Univ. of Athens
Nuclear Engineering Section
 MPX-4.2 Project
 April 1995

5) Δοσιμετρικός χάρτης ακτινοβολίας γ επίγειας προέλευσης



Dose rate due to the external
gamma radiation of terrestrial
origin (nGy/h) in Greece

(1440 samples - 1 cm thick)

44 ± 19 nGy/h

■ : nGy/h < 20

■ : $20 \leq \text{nGy/h} < 40$

■ : $40 \leq \text{nGy/h} < 60$

■ : $60 \leq \text{nGy/h}$

National Techn. Univ. of Athens
Nuclear Engineering Section

MPX-4.3 Project

May 1996

III. ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Αριθμός ερωτηματολογίου :

1) Φύλο:

α) Άνδρας ☐

β) Γυναίκα ☐

2) Ηλικία:

α) ...-17 ☐

β) 18-22 ☐

γ) 23-30 ☐

δ) 31-50 ☐

ε) 51-60 ☐

στ) 61+ ☐

3) Οικογενειακή κατάσταση:

Ελεύθερος ☐

Παντρεμένος ☐

4) Έχετε παιδιά;

Ναι ☐

Όχι ☐

5) Ποιο είναι το επίπεδο μόρφωσής σας;

α) Αναλφάβητος ☐

β) Απόφοιτος Δημοτικού ☐

γ) Απόφοιτος Γυμνασίου ☐

δ) Απόφοιτος Λυκείου ☐

ε) Σπουδαστής ΑΕΙ ☐

στ) Απόφοιτος ΑΕΙ ☐

ζ) Σπουδαστής ΤΕΙ ☐

η) Απόφοιτος ΤΕΙ ☐

θ) Σπουδαστής ιδιωτικής σχολής ☐

ι) Απόφοιτος ιδιωτικής σχολής ☐

ια) Κάτοχος μεταπτυχιακού τίτλου ☐

6) Αν είστε σπουδαστής / απόφοιτος ΑΕΙ-ΤΕΙ, προέρχεστε από σχολή με:

α) Θετική κατεύθυνση (π.χ. μαθηματικός, φυσικός) ☐

β) Θεωρητική κατεύθυνση (και οικονομικές σχολές) ☐

7) Πόσο συχνά ενημερώνεστε σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα, με βάση την παρακάτω κλίμακα;

1 (Πάρα πολύ) 2 (Πολύ) 3 (Μέτρια) 4 (Λίγο) 5 (Καθόλου)

☐☐☐☐☐

8) Σε τι βαθμό ανησυχείτε για την ρύπανση του πλανήτη και των οικοσυστημάτων του, από ραδιενεργές πηγές, με βάση την παρακάτω κλίμακα;

1 (Πάρα πολύ) 2 (Πολύ) 3 (Μέτρια) 4 (Λίγο) 5 (Καθόλου)

☐☐☐☐☐

9) Η ενημέρωσή σας για την ραδιενέργεια περιβάλλοντος προέρχεται από ποιες από τις παρακάτω πηγές;

α) Πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση ☐

β) Τριτοβάθμια εκπαίδευση ή/και μεταπτυχιακά ☐

γ) Εφημερίδες ☐

δ) Εκδηλώσεις της τοπικής αυτοδιοίκησης ☐

ε) Δραστηριότητες περιβαλλοντικών οργανώσεων ☐

στ) Internet ☐

ζ) Τηλεόραση ☐

η) Άλλο (συμπληρώστε) ☐

10) Σε τι βαθμό θα σας ενδιέφερε να σας ενημερώνουν τακτικά για προβλήματα ραδιενεργής ρύπανσης στο πλανήτη, με βάση την παρακάτω κλίμακα;

1 (Πάρα πολύ) 2 (Πολύ) 3 (Μέτρια) 4 (Λίγο) 5 (Καθόλου)

☐☐☐☐☐

11) Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι συνεισφέρουν στην έκθεση σε ραδιενέργεια, τα παρακάτω, με βάση την παρακάτω κλίμακα;

1 (Πάρα πολύ) 2 (Πολύ) 3 (Μέτρια) 4 (Λίγο) 5 (Καθόλου)

α) Ρύπανση από τις πυρηνικές δοκιμές, σε διάφορα μέρη του πλανήτη,

που έγιναν από το 1945 έως τις μέρες μας ☐

β) Ατυχήματα σε πυρηνικά εργοστάσια ☐

γ) Μεταφορά, επανεπεξεργασία και αποθήκευση ραδιενεργών αποβλήτων
από πυρηνικούς σταθμούς ☐

δ) Μεταφορά, επανεπεξεργασία και αποθήκευση ραδιενεργών αποβλήτων

- από μονάδες πυρηνικής ιατρικής στα νοσοκομεία ☐
- ε) Διαγνωστικές εξετάσεις και θεραπευτικές αγωγές με ραδιοϊσότοπα ☐
- στ) Κατανάλωση ακτινοβολημένων τροφίμων ☐
- ζ) Αυξημένη έκθεση στη κοσμική ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των αεροπορικών πτήσεων ☐
- η) Αυξημένη έκθεση στη κοσμική ακτινοβολία στα μεγάλα υψόμετρα ☐
- θ) Διαβίωση σε περιοχές με υπέδαφος που περιέχει ραδιενεργά κοιτάσματα ☐
- ι) Ρύπανση αέρα, εδάφους, υδροφόρου ορίζοντα από παράνομες χωματερές πυρηνικών αποβλήτων ☐
- ια) Λαθρεμπόριο ραδιενεργών υλικών ☐
- ιβ) Ατυχήματα ή συγκρούσεις πυρηνοκίνητων υποβρυχίων ☐
- ιγ) Αποθήκευση πυρηνικών όπλων ☐
- ιδ) Ορισμένα υλικά δόμησης στα κτίρια (π.χ γρανίτες) ☐
- ιε) Υποσταθμοί ηλεκτρικού ρεύματος ☐
- ιστ) Πυλώνες υπερύψηλης τάσης ☐
- ιζ) Κεραίες κινητής τηλεφωνίας ☐
- ιη) Ορισμένες ηλεκτρικές συσκευές ☐
- ιθ) Τέφρα σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο, γαιάνθρακες ☐
- ιυ) Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία ☐

12) Εσείς, σε τι βαθμό πιστεύετε ότι είστε εκτεθειμένος σε ραδιενεργές ουσίες, με βάση την παρακάτω κλίμακα;

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 (Πάρα πολύ) | 2 (Πολύ) | 3 (Μέτρια) | 4 (Λίγο) | 5 (Καθόλου) |
| ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

13) Πιστεύετε και σε τι βαθμό ότι μεταβάλλοντας κάποια στοιχεία του τρόπου ζωής σας (π.χ μείωση αεροπορικών πτήσεων, βελτίωση στεγανότητας θεμελίων, επιλογή δομικών υλικών) μπορείτε να μειώσετε την έκθεση στη ραδιενέργεια περιβάλλοντος, με βάση την παρακάτω κλίμακα;

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 (Πάρα πολύ) | 2 (Πολύ) | 3 (Μέτρια) | 4 (Λίγο) | 5 (Καθόλου) |
| ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

14) Διαθέτει η Ελλάδα πυρηνικό αντιδραστήρα;

- α) Ναι ☐
- β) Όχι ☐
- γ) Δεν ξέρω/ δεν απαντώ ☐

15) Αν απαντήσατε ναι στη προηγούμενη ερώτηση, για ποιο σκοπό λειτουργεί ο αντιδραστήρας;

- α) Για ερευνητικούς σκοπούς και παραγωγή ραδιοϊσοτόπων ☐
- β) Για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ☐
- γ) Άλλο (συμπληρώστε) ☐
- δ) Δεν γνωρίζω ☐

16) Αν απαντήσατε ναι στην ερώτηση 14, γνωρίζετε που είναι εγκατεστημένος ο ελληνικός πυρηνικός αντιδραστήρας;

- α) Αγία Παρασκευή Αττικής ☐
- β) Πτολεμαΐδα ☐
- γ) Μεγαλόπολη ☐
- δ) Θεσσαλονίκη ☐
- ε) Κρήτη ☐

17) Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι μπορεί να λύσει το ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την πυρηνική ενέργεια;

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 (Πάρα πολύ) | 2 (Πολύ) | 3 (Μέτρια) | 4 (Λίγο) | 5 (Καθόλου) |
| ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

18) Θα θέλατε να παράγει η Ελλάδα ηλεκτρική ενέργεια από πυρηνικό εργοστάσιο;

- α) Ναι ☐
- β) Όχι ☐
- γ) Δεν ξέρω/ δεν απαντώ ☐

19) Τι περισσότερο σας προβληματίζει σχετικά με τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση την παρακάτω κλίμακα;

- | | | | | |
|--|----------|------------|----------|--------------------------|
| 1 (Πάρα πολύ) | 2 (Πολύ) | 3 (Μέτρια) | 4 (Λίγο) | 5 (Καθόλου) |
| α) Ο κίνδυνος ατυχημάτων | | | | ☐ |
| β) Η επισφαλής αποθήκευση αποβλήτων | | | | ☐ |
| γ) Το υψηλό κόστος κατασκευής/λειτουργίας/συντήρησης | | | | ☐ |
| δ) Πιθανό σεισμογενές υπέδαφος | | | | ☐ |
| ε) Άλλο (συμπληρώστε) | | | | ☐ |
| στ) Δεν ξέρω/ δεν απαντώ | | | | ☐ |

20) Τι περισσότερο σας ελκύει στη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση την παρακάτω κλίμακα;

- | | | | | |
|---------------------------|----------|------------|----------|--------------------------|
| 1 (Πάρα πολύ) | 2 (Πολύ) | 3 (Μέτρια) | 4 (Λίγο) | 5 (Καθόλου) |
| α) Η ενεργειακή αυτονομία | | | | ☐ |

- β) Τα χαμηλότερα τιμολόγια ☐
- γ) Η αναβάθμιση του διεθνούς κύρους της χώρας μας ☐
- δ) Άλλο (συμπληρώστε) ☐
- στ) Δεν ξέρω/ δεν απαντώ ☐

21) Ποιες από τις γειτονικές χώρες της Ελλάδας διαθέτουν ήδη, ή κατασκευάζουν πυρηνικά εργοστάσια;

- α) Βουλγαρία ☐
- β) Αλβανία ☐
- γ) Τουρκία ☐
- δ) Χώρες από τη διαίρεση της Πρώην Γιουγκοσλαβίας ☐
- ε) Ιταλία ☐

22) Σε τι βαθμό σας προβληματίζει αυτό;

- | 1 (Πάρα πολύ) | 2 (Πολύ) | 3 (Μέτρια) | 4 (Λίγο) | 5 (Καθόλου) |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

23) Ποια από τα κάτωθι ατυχήματα σχετίζονται με τη διασπορά ραδιενέργειας στο περιβάλλον;

- α) Τσέρνομπιλ (Ουκρανία) ☐
- β) Three Miles Island (ΗΠΑ) ☐
- γ) Bhopal (Ινδία) ☐
- δ) Exxon Valdez (Αλάσκα) ☐
- ε) Seveso (Ιταλία) ☐

24) Αν μία πυρηνική έκρηξη λάβει χώρα κάπου, η ραδιενεργός ρύπανση, πόσο μακριά μπορεί να μεταφερθεί, λόγω κλιματολογικών συνθηκών; (Διαλέξτε τη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση.)

- α) Μερικά χιλιόμετρα ☐
- β) Μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα ☐
- γ) Μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα ☐
- δ) Σε ολόκληρο το ημισφαίριο ☐

25) Η ραδιενέργεια είναι πιο επικίνδυνη αν:

- α) Η πηγή της είναι έξω από το σώμα μας ☐
- β) Η πηγή της έχει εισέλθει στο σώμα από την αναπνοή ή τη διατροφή μας ☐

26) Οι πιο μακρόβιες από τις ραδιενεργές ουσίες, πριν γίνουν ακίνδυνες μπορούν να ζήσουν στο περιβάλλον για :

- α) Λίγα λεπτά ☐

- β) Λίγες μέρες ☐
- γ) Μερικές εκατοντάδες χρόνια ☐
- δ) Μερικές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια ☐
- ε) Δεν γνωρίζω ☐

27) Το ραδόνιο είναι:

- α) Ραδιενεργό αέριο στοιχείο ☐
- β) Φαρμακευτικό προϊόν ☐
- γ) Απορρυπαντικό ☐
- δ) Απολυμαντικό ☐
- ε) Είδος ραδιοφώνου ☐
- στ) Τοξική ουσία ☐
- ζ) Δεν γνωρίζω ☐

IV. Κυριότερα Πυρηνικά Ατυχήματα

Αυτή η λίστα περιλαμβάνει ατυχήματα που έχουν πραγματοποιηθεί και σχετίζονται με ραδιενεργό υλικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, σε αυτά τα ατυχήματα, τραυματίστηκαν ή σκοτώθηκαν άνθρωποι λόγω ραδιενεργής ρύπανσης.

ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 1940

- 2 Σεπτεμβρίου, 1944. Ένα κοντέινερ που μετέφερε UF_6 εξερράγη στο τμήμα μεταφορών του Oak Ridge National Laboratory, ΗΠΑ, σκοτώνοντας τους Peter N. Bragg, Jr και Douglas P. Meigs και τραυματίζοντας άλλους τρεις. Ένας σωλήνας ατμού εξερράγει και οι ατμοί νερού σε συνδυασμό με το ουράνιο, σχημάτισαν υδροφθορικό οξύ, ένα επικίνδυνο οξύ, που εισπνεύτηκε και από τους πέντε.
(http://www.childnerofthemanhattanproject.org/FH/PH/Article_04_1.htm)
- 21 Αυγούστου, 1945. Ο Harry K. Daghlian, Jr, που εργαζόταν στην τοποθεσία Omega στο Los Alamos, ΗΠΑ, κατά λάθος δημιούργησε υπερκρίσιμη μάζα σε μία καρδιά πλουτωνίου. Αμέσως διόρθωσε την κατάσταση, αλλά είχε ήδη ακτινοβοληθεί θανάσιμα, πεθαίνοντας τελικά στις 15 Σεπτεμβρίου του ίδιου έτους.
(http://members.tripod.com/~Arnold_Dion/Daghlian/)
- 21 Μαΐου, 1946. Ο Καναδός φυσικός Louis Slotin, υπέστη θανάσιμη δόση ραδιενέργειας της τάξεως των 10 Gy, στο Los Alamos, ΗΠΑ, ενώ χειροκίνητα δημιούργησε μία κρίσιμη μάζα πλουτωνίου. Τελικά απεβίωσε στις 30 του ίδιου μήνα.

Δεκαετία του 1950

- 13 Φεβρουαρίου, 1950. Ένα πολεμικό βομβαρδιστικό των ΗΠΑ, τύπου B-36, πετώντας από την Αλάσκα σε εκπαιδευτική αποστολή, παρουσίασε πρόβλημα στον κινητήρα από το ψύχος. Το πλήρωμα ξεφόρτωσε την μοναδική βόμβα που είχαν, τύπου Mark IV (που περιείχε μόνο τον πυροκροτητή απεμπλουτισμένου ουρανίου και όχι την καρδιά πλουτωνίου) έξω από την Βρετανική Κολούμπια, και έπειτα εγκατέλειψε το σκάφος. Τα εκρηκτικά πυροδοτήθηκαν με την σύγκρουση. (<http://www.lutins.org/nukes.html>)
- 11 Απριλίου, 1950. Ένα βομβαρδιστικό αεροπλάνο B-29, έπεσε τρία λεπτά μετά την απογειώσε του από την Kirtland Air Force Base στο New Mexico, ΗΠΑ. Μέσα στο σκάφος βρισκόταν μία πυρηνική βόμβα χωρίς πυροκροτητές. Το μέσο μέσα στο οποίο βρισκόταν η βόμβα καταστράφηκε, αλλά η βόμβα δεν έπαθε ζημιές. (<http://www.cnn.com/SPECIALS/cold.war/experience/the.bomb/broken.arrows/intro.html>)
- 10 Νοεμβρίου, 1950. Ένα αμερικάνικο βομβαρδιστικό αεροσκάφος B-50 ενώ μετέφερε μία Mark IV βόμβα, παρουσίασε μηχανικό πρόβλημα και αναγκάστηκε να ξεφορτώσει την

βόμβα από ύψος 10.500 ποδών. Η βόμβα, που είχε μόνο τον πυροκροτητή απεμπλουτισμένου ουρανίου και όχι την καρδιά πλουτωνίου ανατινάχτηκε σε ύψος 2.500 ποδών πάνω την περιοχή St. Lawrence River έξω από το Riviere du Loup, Quebec. Η έκρηξη σκόρπισε 45-κλά ουρανίου. (<http://www.bullatomsci.org/issues/1999/nd99/nd99norris.html>)

- 12 Δεκεμβρίου, 1952. Το πρώτο σοβαρό πυρηνικό δυστύχημα, συνέβει στον αντιδραστήρα NRX στο Chalk River του Καναδά. Μία διακοπή ρεύματος κατέστρεψε τον πυρήνα, οδηγώντας σε μερική ρήξη της καρδιάς. Χιλιάδες κιουρί σχάσιμων προϊόντων απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα και 3.800m³ νερού με ραδιενεργά στοιχεία κατέληξαν στον ποταμό Οττάβα. Ο πυρήνας έπειτα από αυτό το ατύχημα, θάφτηκε.
- 19 Μαΐου, 1953. Οι Ηνωμένες Πολιτείες πυροδότησαν την 32-κιλοτόνων βόμβα «Harry» στο πεδίο δοκιμών της Νεβάδα. Οι άνεμοι παρέσυραν την ραδιενεργή επίπτωση 220 χλμ. μακριά, στην κωμόπολη St. George της Utah. (<http://www.ratical.org/radiation/KillingOurOwn/KOO3.html>)
- 22 Νοεμβρίου, 1955. Η Σοβιετική Ένωση δοκίμασε την πρώτη βόμβα σύντηξης, 1.6 Μεγατόνων. Το φωστικό κύμα που δημιουργήθηκε σκότωσε τρεις ανθρώπους.
- 28 Ιουλίου, 1957. Ένα αμερικανικό αεροσκάφος C-124 Globemaster με τρία πυρηνικά όπλα από την αεροπορική βάση Dover, έχασε ισχύ σε δύο κινητήρες. Δύο από τα πυρηνικά όπλα ρίχτηκαν κάπου έξω από το Rehobeth του Delaware. Επίσημα δεν βρέθηκαν ποτέ.
- 29 Σεπτεμβρίου, 1957. Ένα πρόβλημα στο σύστημα ψύξης οδήγησε με έκρηξη μέσα σε μία αποθήκη πυρηνικών αποβλήτων στο Mayak, κοντά στο Chelyabinsk της Ρωσίας. Η έκρηξη, που υπολογίστηκε ότι είχε την ίδια ενέργεια με 75-τόνους TNT, απελευθέρωσε περίπου 20 MCi και έθεσε σε αυξημένα επίπεδα ραδιενέργειας 124.000 με 270.000 ανθρώπους.
- 31 Ιανουαρίου, 1958. Ένα αμερικανικό αεροσκάφος B-47 που ήταν οπλισμένο με πυρηνικά όπλα, καταπέφτει και καίγεται για 7 ώρες σε αμερικανική αεροπορική βάση 145 χλμ. βορειοανατολικά του Rabat στο Μαρόκο.
- 1958. Ο σοβιετικός στρατιωτικός αντιδραστήρας κοντά στο Chelyabinsk απελευθερώνει ραδιενεργή σκόνη. 12 χωριά εγκαταλείπονται.

Δεκαετία του 1960

- 7 Ιουνίου, 1960. Στην αεροπορική βάση McGuire στο New Egypt του New Jersey, ΗΠΑ, μία δεξαμενή ηλίου ανατινάζεται και προκαλεί ζημιές σε ένα πύραυλο τύπου BOMARC-A. Η φωτιά λιώνει τον πύραυλο και απελευθερώνεται πλουτόνιο από τον πυρηνικό πυροκροτητή.
- 3 Ιανουαρίου, 1961. Στο National Reactor Testing Station στο Idaho Falls των ΗΠΑ, ο πειραματικός αντιδραστήρας SL-1 είχε ένα σοβαρό ατύχημα από μία έκρηξη ατμού που οδήγησε σε διάχυση ραδιενεργών υλικών και στον θάνατο τριών εργατών. Με την διάχυση Ιωδίου-131, μολύνθηκε το έδαφος σε ακτίνα 12.000m² και με επίπεδα 100 φορές πάνω από τα φυσιολογικά.

Δεκαετία του 1970

- 19 Νοεμβρίου, 1971. Σε ένα πυρηνικό σταθμό ισχύος, στο Monticello της Minnesota, υπερχείλισε μία δεξαμενή νερού, απελευθερώνοντας 190 κυβικά μέτρα νερού που περιείχε ραδιενεργά απόβλητα, μέσα στον ποταμό Mississippi.
- 12 Δεκεμβρίου, 1971. Στο ποταμό Thames, κοντά στην περιοχή New London στο Connecticut, μεταφέρεται ραδιενεργό νερό (ψυκτικό μέσο) από το υποβρύχιο USS Dace στο υποβρύχιο USS Fulton και 1.900 λίτρα χύθηκαν στην θάλασσα.
- 28 Μαρτίου, 1979. Λάθη στους χειρισμούς και στα όργανα, είχαν ως αποτέλεσμα την απώλεια ψυκτικού και μερική ρήξη της καρδιάς του αντιδραστήρα στο Three Mile Island στο Middletown της Pennsylvania.

ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 1980

- 26 Απριλίου, 1986. Συνέβη το χειρότερο ατύχημα στην ιστορία της πυρηνικής ενέργειας στον αντιδραστήρα του Chernobyl κοντά στο Κίεβο της πρώην Σοβιετικής Ένωσης. Η φωτιά και οι εκρήξεις οδήγησαν στο θάνατο 31 ανθρώπους. Τα ραδιενεργά υλικά εξαπλώθηκαν στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης. Πάνω από 135.000 άτομα εκκενώθηκαν από τις περιοχές γύρω από τον αντιδραστήρα και πάνω από 800.000 άτομα λόγω της επίπτωσης.

ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 1990

- 30 Σεπτεμβρίου, 1999. Βορειανατολικά του Τόκιο στην Ιαπωνία, στο εργοστάσιο επεξεργασίας ουρανίου Tokai-mura, συμβαίνει το χειρότερο πυρηνικό ατύχημα στα χρονικά της Ιαπωνίας. Το ατύχημα συνέβη όταν εργάτες τοποθέτησαν μεγαλύτερη ποσότητα ουρανίου από την προβλεπόμενη με συνέπεια να δημιουργηθεί υπερκρίσιμη μάζα. Το ατύχημα έθεσε σε υψηλή δόση ραδιενέργειας εργάτες και κατοίκους της περιοχής.

ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 2000

- Αύγουστος, 2000. Το ρωσικό πυρηνοκίνητο υποβρύχιο Kursk, βυθίζεται στην θάλασσα Barents έπειτα από μία έκρηξη τορπίλης στο εσωτερικό του, οδηγώντας στο θάνατο 118 ανθρώπους. Η Ρωσσία εντέλει ανέσυρε από τον βυθό τον πυρηνικό αντιδραστήρα ισχύος.