

## Κεφάλαιο 5

# Καρκίνος και Έκθεση στις Ιοντίζουσες και μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες

Κ. Μ. Πατενιώτης

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

*Ιοντίζουσα ακτινοβολία* είναι η ενέργεια που παράγεται από φυσικά ραδιενεργά υλικά ή ακόμα από υλικά που έχει φτιάξει ο άνθρωπος. Η ιοντίζουσα ακτινοβολία, είναι παρούσα παντού στο περιβάλλον μας γιατί υπάρχει στα ραδιενεργά μεταλλεύματα που παραμένουν στην γη από τα πρώτα χρόνια που δημιουργήθηκε ο πλανήτης μας.

Η παραμένουσα αυτή ραδιενέργεια μας οδηγεί σε έκθεση στις ακτίνες γάμμα και σε αέριο ραδιενεργό ράδιο από συγκεκριμένα πετρώματα και από ραδιενεργά υλικά που υπάρχουν σ' αυτά που τρώμε και σ' αυτά που πίνουμε.

Είμαστε επίσης εκτεθειμένοι στη φυσική ιοντίζουσα ακτινοβολία, που προέρχεται από το διάστημα και η οποία περνώντας από την ατμόσφαιρα του πλανήτη μας δημιουργεί την ονομαζόμενη κοσμική ακτινοβολία.

*Ιοντισμός* ενός ατόμου είναι το αποτέλεσμα της απομάκρυνσης ενός ή περισσότερων ηλεκτρονίων από τις ηλεκτρονικές ατομικές στιβάδες λόγω κάποιου εξωτερικού αιτίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την παραγωγή αντίθετα φορτισμένων ιόντων. Τα ραδιενεργά υλικά κατά την διάρκεια της σχάσης τους παράγουν ιοντίζουσα ακτινοβολία η οποία έχει αρκετή ενέργεια να διεγείρει και να αποχωρίσει ηλεκτρόνια από τα άτομα (παράγοντας δύο φορτισμένα ιόντα) ή να σπάσει μερικούς χημικούς δεσμούς.

Οι πλέον συνηθισμένες μορφές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι τα σωματίδια άλφα και βήτα ή η ακτινοβολία γάμμα και οι ακτίνες x.

*Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία*, ονομάζεται η ακτινοβολία που υπάρχει στο περιβάλλον μας και προέρχεται από την έκθεση στο φως του ήλιου, στις γραμμές υψηλής τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος, στις ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας χρήση και στα κινητά μας τηλέφωνα. Η ακτινοβολία όμως αυτή δεν έχει την απαιτούμενη ενέργεια να παράγει τους ιοντισμούς αυτούς. Γι αυτό ονομάζεται μη ιοντίζουσα ακτινοβολία.

### ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Όλα τα υλικά αποτελούνται από άτομα. Τα άτομα αποτελούνται από αρκετά επιμέρους κομμάτια. Τον πυρήνα που περιέχει μικρά σωματίδια που ονομάζονται πρωτόνια και νετρόνια και όλα αυτά περιβάλλονται από στιβάδες στις οποίες περιστρέφονται ηλεκτρόνια. Ο πυρήνας έχει θετικό φορτίο που προέρχεται από τα πρωτόνια (γιατί τα νετρόνια δεν έχουν φορτίο) ενώ τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο. Η ετερόνυμη έλξη μεταξύ των δύο αντίθετων φορτίων κρατάει σταθερά συνδεδεμένο το άτομο.

Ο πυρήνας των ατόμων στην προσπάθεια του να γίνει σταθερός εκπέμπει την επιπλέον ενέργεια που περιέχει. Έτσι ο ασταθής πυρήνας μπορεί να αποβάλει ένα μέρος ενέργειας, ή να αποβάλει ένα

σωματίδιο.

Αυτήν ακριβώς την εκπεμπόμενη ατομική ενέργεια, ή το σωματίδιο ονομάζουμε ακτινοβολία.

**Τύποι ακτινοβολίας.** Υπάρχουν δύο βασικά τύποι ακτινοβολίας. Ο ένας τύπος ακτινοβολίας είναι τα (λεπτά) πολύ γρήγορα μετακινούμενα σωματίδια που έχουν και ενέργεια αλλά και μάζα (άρα και βάρος) που ονομάζεται σωματιδιακή ακτινοβολία. Ο άλλος τύπος ακτινοβολίας είναι καθαρή ενέργεια χωρίς βάρος. Αυτού του είδους η ακτινοβολία είναι κάτι σαν δονούμενα ή παλλόμενα κύματα με ηλεκτρική και μαγνητική ενέργεια. Τα κύματα αυτά ακτινοβολίας ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

**Ιοντίζουσα/μη ιοντίζουσα.** Ο ιοντισμός είναι η διαδικασία της προσπάθειας απόσπασης ηλεκτρονίων από τα άτομα, αφήνοντας δύο ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια (ιόντα) πίσω. Μερικές μορφές ακτινοβολίας όπως το ορατό φως τα μικροκύματα ή τα ράδιο-κύματα δεν έχουν αρκετή ενέργεια να μπορέσουν να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από τα άτομα και γι' αυτό ονομάζονται μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία. Τα αρνητικά αυτά φορτισμένα ηλεκτρόνια αλλά και οι θετικά φορτισμένοι ασταθείς πυρήνες μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στους ζωντανούς ιστούς.

**Ραδιενεργός διάσπαση.** Μεγάλα ασταθή άτομα μπορούν να γίνουν περισσότερο ευσταθή εκπέμποντας ακτινοβολία. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ραδιενεργός διάσπαση. Η ακτινοβολία αυτή μπορεί να εκπεμφθεί με την μορφή θετικά φορτισμένων άλφα σωματιδίων, ενός αρνητικά φορτισμένα βήτα σωματιδίου, ή με την μορφή ακτινών γάμμα. Μονάδα μέτρησης της ραδιενέργειας εί-

ναι το Becquerel (Bq) που αντιστοιχεί σε μια διάσπαση ασταθούς πυρήνα ανά δευτερόλεπτο. Χρόνος υποδιπλασιασμού ενός ραδιοϊσοτόπου είναι ο χρόνος που απαιτείται για να πέσει στο μισό η αρχική τιμή ραδιενέργειας  $T_{1/2}$ . Ο χρόνος αυτός χαρακτηρίζει κάθε ραδιοϊσότοπο και είναι σταθερός.

**Σχάση ή πυρηνική σχάση.** Μερικά στοιχεία μπορούν να διασπασθούν και αυτό να οφείλεται στην απορρόφηση ενός πρόσθετου νετρονίου. Αυτό ονομάζεται σχάση, ή πυρηνική σχάση και τα παράγωγα αυτής ονομάζονται ισότοπα.

Ο άνθρωπος είναι υπεύθυνος για την παραγωγή ιοντιζουσών ακτινοβολιών με τρεις κυρίως τρόπους .

1. Χρησιμοποιώντας ραδιενεργές πηγές στην ιατρική, στην προσπάθεια του βέβαια να θεραπεύσει τον καρκίνο αλλά και για να έχει την ικανότητα διάγνωσης πολλών ασθενειών.

2. Χρησιμοποιώντας ραδιενεργά υλικά στην βιομηχανία κατ' αρχάς για να κάνει διάφορες μετρήσεις, αλλά το κυριότερο και για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια (Πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος) με κάθε μορφή (Πυρηνοκίνητα πλοία, υποβρύχια κ.α). Και οι δύο αυτές μορφές χρήσης της ραδιενέργειας παράγουν ραδιενεργά απόβλητα που πρέπει να απορρίψουμε.

3. Επίσης σημαντική είναι η παραμένουσα ραδιενέργεια από παλαιότερες πυρηνικές εκρήξεις ή άλλα πυρηνικά ατυχήματα (Τσερνομπίλ) σ' όλο τον κόσμο ενώ δεν παύει να πλανάται ο φόβος για μελλοντικές τρομοκρατικές ενέργειες χρησιμοποιώντας τις διάφορες μορφές της ραδιενέργειας σαν όπλο μαζικής καταστροφής.

## ΤΟ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΟ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΚΑΡΚΙΝΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΙΚΡΕΣ ΔΟΣΕΙΣ

Τα φαινόμενα πρόκλησης καρκίνου από τις μεγάλες δόσεις ιοντιζουσών ακτινοβολιών είναι γνωστά πολλές δεκαετίες τώρα. Από τότε που η Μαντάμ Κιουρί είδε τα οστά του χεριού της, μέχρι σήμερα, έχουν γίνει πολλές και εκτενείς μελέτες σ' όλο τον κόσμο για τον καρκίνο που μπορεί να προκληθεί στους ανθρώπους που εκτίθενται σε μικρές ή μεγάλες δόσεις. Οι μελέτες αυτές περιλαμβάνουν ανθρώπους που εκτέθηκαν στις πυρηνικές εκρήξεις των πρώτων ατομικών βομβών στην Ιαπωνία, στις πυρηνικές δοκιμές ατομικών όπλων σε πολέμους ή σε ερήμους, αλλά και σε πυρηνικά ατυχήματα.

Έχουμε ακόμα πληροφορίες για ανθρώπους που εκτέθηκαν σε ακτινοβολίες για ιατρικούς λόγους, για αυτούς που εκτέθηκαν κατά την διάρκεια της εργασίας τους, ή ακόμα για αυτούς που ζουν σε περιοχές που τα πετρώματά τους περιέχουν και εκπέμπουν ασυνήθιστα υψηλά επίπεδα ραδιενεργού αερίου ραδίου ή γάμμα ακτινοβολίας.

Από όλο αυτό τον τεράστιο όγκο επιστημονικής έρευνας, έχουμε αποκτήσει γνώση και εμπειρία για τους κινδύνους πρόκλησης καρκίνου μετά από έκθεση σε ιοντιζουσες ακτινοβολίες παρά από οποιαδήποτε άλλη αιτία.

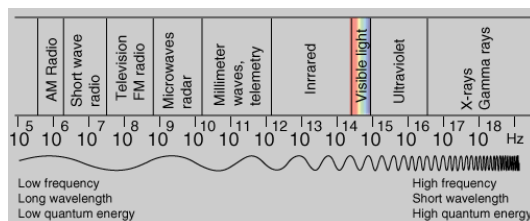
Οι υπολογισμοί που έχουν γίνει δείχνουν ότι ο μέσος όρος των δόσεων από την βιομηχανική δραστηριότητα και την χρήση ατομικών όπλων αποτελούν ένα μικρό ποσοστό του συνόλου των δόσεων ( λιγότερο από 1 %), οι δόσεις από ιατρικές εφαρμογές είναι λίγο περισσότερες (περίπου 14 %) και το υπόλοιπο (περίπου 85 %), προέρχεται από φυσικές αιτίες.

Αυτά τα ποσοστά είναι περίπου τα ίδια σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες με διαφοροποιήσεις μόνο στις χώρες που έχουν εμπλακεί σε πολέμους ή σε πυρηνικά ατυχήματα.

## ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΕΣ

Έχουν βρεθεί ισχυρές επιστημονικές ενδείξεις ότι η ενέργεια που προέρχεται από ραδιενεργά υλικά επηρεάζει τα κύτταρα του σώματός μας, κυρίως λόγω των καταστροφών που μπορεί να προξενήσει στο κυτταρικό γενετικό υλικό, το γνωστό DNA. Ας δούμε όμως πιο αναλυτικά τόσο το ποιες είναι και από πού προέρχονται οι ιοντιζουσες και μη ιοντιζουσες ακτινοβολίες αλλά και με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τις βλάβες που μπορούν να προκαλέσουν.

Πολλά είδη ακτινοβολίας βρίσκονται στο περιβάλλον μας. Περιλαμβάνουν τα ραδιοκύματα τα μικροκύματα, την υπέρυθρο ακτινοβολία, ορατή ακτινοβολία (φως), την υπεριώδη ακτινοβολία, τις ακτίνες x , την γ-ακτινοβολία, τις κοσμικές ακτίνες. Αυτά είναι παραδείγματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που βρίσκονται στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που παρουσιάζεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Σαν Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζουμε το σύνολο των ακτινοβολιών που μεταφέρουν ενέργεια με τη μορφή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, δηλαδή τοπικών και χρονικών μεταβολών του μαγνητικού και ηλεκτρι-

κού πεδίου.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία καλύπτουν ένα αχανές φάσμα συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Η.Μ.Φ) το οποίο διαιρείται σε ζώνες ανάλογα με τον τρόπο της παραγωγής ή της χρήσης τους.

Το Hertz (Hz) είναι η μονάδα που χρησιμοποιείται για να μετρήσει τη συχνότητα. Η συχνότητα ενός Hz αντιπροσω-

πύει ένα μήκος κύματος ανά δευτερόλεπτο ή έναν κύκλο ανά δευτερόλεπτο. Το εύρος των συχνοτήτων μέσα στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι μεγάλο με συνέπεια την κοινή χρήση μιας σειράς μονάδων: ένα kilohertz (kHz) είναι χίλια Hz (1.000 Hz) ένα megahertz (MHz) είναι ένα εκατομμύριο hertz (1.000.000 Hz) ένα gigahertz (GHz) είναι χίλια εκατομμύριο hertz (1.000.000.000 Hz).

### Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Τύπος ακτινοβολίας	Φάσμα συχνοτήτων (Hz)	Φάσμα μήκους κύματος	Τύπος μεταφοράς
Ακτίνες γάμμα	$10^{20} - 10^{24}$	$<10^{-12}$ m	Πυρήνας
Ακτίνες x	$10^{17} - 10^{20}$	1 nm - 1 pm	Ηλεκτρόνια εσωτερικής στιβάδας
Υπεριώδης	$10^{15} - 10^{17}$	400 nm - 1 nm	Ηλεκτρόνια εξωτερικής στιβάδας
Ορατή	$4 - 7.5 \times 10^{14}$	750 nm - 400 nm	Ηλεκτρόνια εξωτερικής στιβάδας
Σχεδόν υπέρυθρη	$10^{12} - 4 \times 10^{14}$	2.5 um - 750 nm	Ηλεκτρόνια εξωτερικής στιβάδας
Υπέρυθρη	$10^{11} - 10^{12}$	25 um - 2.5 um	Μοριακές ταλαντώσεις
Μικροκύματα	$10^8 - 10^{12}$	1 mm - 25 um	Μοριακές μεταστροφές, διαχωρισμός της στροφορμής του ηλεκτρονίου*
Ραδιοκύματα	$10^0 - 10^8$	$>1$ mm	Διαχωρισμός της στροφορμής του ηλεκτρονίου*

\*Τα ενεργειακά επίπεδα διαχωρίζονται από ένα μαγνητικό επίπεδο

Χαρακτηριστικές πηγές μη ionίζουσας ακτινοβολίας είναι τα τηλεφωνικά καλώδια, τα σύρματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (μετασχηματιστές, εναέρια και υπόγεια καλώδια), οι πομποί ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σημάτων, οι πομποί ραντάρ, όλες οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, οι φούρνοι μικροκυμάτων, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οι ηλεκτρικές κουβέρτες κ.α, ιατρικές εφαρμογές (προσθετικά εξαρτήματα, θεραπεία καταγμάτων ,πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός, συσκευές που χρησιμοποιούν μαγνητικά πεδία για την ανακούφιση από τον πόνο) συστήματα ασφαλείας (αναγνώριση, ανιχνευτές μετάλλων) τεχνολογία υψηλής ενέργειας, βιομηχανία (ηλεκτρόλυση, θέρμανση εξ απαγωγής, συγκολλήσεις κ.α.). Η εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας ακτινοβολία έχει πολύ μεγάλα μήκη κύματος (της τάξεως των χιλίων χιλιομέτρων ή περισσότερων) και συχνότητες 100 hertz ή λιγότερο. Το σημαντικότερο τεχνητό πεδίο χαμηλής συχνότητας που μας περιβάλλει είναι αυτό του δικτύου της Δ.Ε.Η. το οποίο είναι 50 Hz. Άλλα πεδία στα οποία εκτιθέμεθα είναι αυτά των ραδιοηλεκτρονικών σταθμών (300kHz-500MHz), των σταθμών της κινητής τηλεφωνίας 900MHz, των σταθμών ραντάρ και δορυφορικών επικοινωνιών της τάξης των GHz. Το φάσμα συχνότητας RF 40-50 MHz είναι σημαντικό ως φάσμα συχνότητας πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR) και απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού (MRI). (Συχνότητες: 1.605 - 54 MHz και Μήκη κύματος: 187 - 5,55 μ).

Η ενέργεια της ακτινοβολίας και η συχνότητα αυξάνει από αριστερά προς τα δεξιά του Η.Μ.Φ ενώ το μήκος κύματος

ακολουθεί αντίστροφη πορεία όπως φαίνεται σχηματικά.

Επειδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινο-

βολία «ταξιδεύει» με μια σταθερή ταχύτητα σε ένα σταθερό περιβάλλον, η ακτινοβολία με ένα μεγαλύτερο μήκος κύματος θα είχε λιγότερα κύματα που περνούν σε έναν δεδομένο χρόνο (χαμηλότερη συχνότητα) και η ακτινοβολία με ένα πιο μικρό μήκος κύματος θα είχε περισσότερα κύματα που περνούν σε έναν δεδομένο χρόνο (υψηλότερη συχνότητα). Όταν το μήκος κύματος αυξάνεται, η συχνότητα μειώνεται και το αντίστροφο. Τα ραδιοφωνικά κύματα, τα τηλεοπτικά κύματα και τα κύματα από τους φούρνους μικροκυμάτων αποτελούν όλα παραδείγματα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η μόνη τους διαφορά είναι στο μήκος κύματος.

Η περιοχή άνω των 300 γιγακύκλων (300 GHz) αφορά την ιονίζουσα ακτινοβολία (ακτίνες x, ακτίνες γ) ενώ η περιοχή των στατικών πεδίων και ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέχρι 300 GHz αφορά την μη ιονίζουσα ακτινοβολία.

Είμαστε εκτεθειμένοι συνεχώς σε ακτινοβολία από φυσικές πηγές. Ένας μέσος άνθρωπος λαμβάνει «ενεργείες»

δόσεις της τάξης περίπου των 3 mSv τον χρόνο από υλικά που παράγουν ακτινοβολία και από την κοσμική ακτινοβολία που προέρχεται από το διάστημα.

Αυτό το φυσικό «υπόβαθρο» ποικίλει από χώρα σε χώρα αλλά ακόμα και από περιοχή σε περιοχή. Η προστιθέμενη δόση από την κοσμική ακτινοβολία κατά την διάρκεια ενός διηπειρωτικού ή υπερατλαντικού ταξιδιού φθάνει περίπου τα 0.03 mSv. Αντίστοιχες δόσεις λαμβάνουν οι σκιέρ και οι ορειβάτες, αλλά την μεγαλύτερη δόση υποστρώματος, την λαμβάνουμε από τα ίδια μας τα σπίτια (περίπου 2 mSv το έτος) από αέριο ράδιο.

Για να εξηγηθούν αυτά σε απλούς όρους η προστιθέμενη δόση που λαμβάνουμε από το περιβάλλον μας μέσα σε δέκα ημέρες είναι ίση με την δόση που λαμβάνουμε με την έκθεση μας σε μια ακτινογραφία θώρακος.

Ακολουθώντας στον πίνακα παραθέτουμε συγκριτικά τις δόσεις από συγκεκριμένες ακτινολογικές εξετάσεις με αυτές που λαμβάνουμε από το φυσικό υπόστρωμα.

Τύπος εξέτασης	Ενεργός δόση ακτινοβολίας	Συγκριτικά με την ακτινοβολία που λαμβάνεται από το φυσικό υπόστρωμα
<b>Περιοχή άνω και κάτω κοιλίας</b>		
Αξονική τομογραφία κοιλίας	10 mSv	3 χρόνια
Αξονική τομογραφία σώματος	10 mSv	3 χρόνια
Ενδοφλέβια πυελογραφία	1,6 mSv	6 μήνες
Ακτινοσκόπηση κατώτερου γαστρεντερικού	4 mSv	16 μήνες
Ακτινοσκόπηση ανώτερου γαστρεντερικού	2 mSv	8 μήνες
<b>Κεντρικό νευρικό σύστημα</b>		
Αξονική τομογραφία εγκεφάλου	2 mSv	8 μήνες
<b>Στήθος</b>		
Ακτινογραφία θώρακος	0,1 mSv	10 ημέρες
Αξονική τομογραφία θώρακος	8 mSv	3 χρόνια

### Απεικονιστικές εξετάσεις σε παιδιά

Κυστεοουριθρική απέκκριση	5-10 ετών: 1,6 mSv Νεογνά: 0,8 mSv	6 μήνες 3 μήνες
---------------------------	---------------------------------------	--------------------

### Απεικονιστικές εξετάσεις σε γυναίκες

Μαστογραφία	0.7 mSv	3 μήνες
-------------	---------	---------

### Στοχαστικά φαινόμενα

Έκθεση REM	Βιολογικά φαινόμενα	Χρονικό διάστημα εμφάνισης
5 - 10	Εγκαύματα ακτινοβολίας - Γίνονται εντονότερα όσο η έκθεση αυξάνεται - Αιματολογικές αλλοιώσεις	
50	Ναυτία	Ώρες
55	Κόπωση	
70	Έμετος	
75	Απώλεια τριχοφυΐας	2-3 εβδομάδες
90	Διάρροια	
100	Αιμορραγίες	
400	Θάνατος από ισχυρές θανατηφόρες δόσεις	Εντός δύο μηνών
1000	Εσωτερική αιμορραγία - Διαταραχή εντερικού συστήματος - Θάνατος	1 - 2 εβδομάδες
2000	Απώλεια αισθήσεων - Καταστροφή κεντρικού νευρικού συστήματος - Θάνατος	Λεπτά - Ώρες μέχρι ημέρες

### ΜΟΡΦΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Υπάρχουν τρεις τύποι ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Μπορούμε να τους βρούμε σε πηγές που έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο αλλά και από φυσικές πηγές ακτινοβολίας. Χωρίζονται στις άλφα, βήτα και γάμα.



#### Άλφα

Τα σωματίδια άλφα μπορούν να θωρακισθούν ακόμα και με ένα κομμάτι χαρτί και να μην διαπεράσουν ούτε καν την ανθρώπινη επιδερμίδα. Παρ' όλα αυτά όμως όταν καταποθούν ραδιοϊσότοπα που εκπέμπουν άλφα σωματίδια ή τα εισπνεύσουμε, ή ακόμα αν εισέλθουν στο σώμα από ένα κόψιμο στο δέρμα, μπορούν να προξενήσουν αρκετή φθορά. Η ακτινοβολία άλφα χαρακτηρίζεται από υψηλό LET (Linear Energy Transfer συντελεστής γραμμικής μετάδοσης). Αυτό είναι και το φυσικό μέγεθος που χα-

ρακτηρίζει με ποιο τρόπο εναποτίθεται η ενέργεια στην ύλη. Είναι το μέτρο της βλαπτικότητας που μπορεί να προξενήσει μια ακτινοβολία. Οι ακτινοβολίες που χαρακτηρίζονται από μεγάλο LET είναι συγκριτικά πλέον βλαπτικές από αυτές από αυτές με μικρό LET.



#### Βήτα

Τα σωματίδια βήτα δεν μπορούμε να τα σταματήσουμε με ένα κομμάτι χαρτί. Μερικά από αυτά μπορεί να μην διαπεράσουν το ανθρώπινο δέρμα, αλλά για μερικά μπορεί να απαιτηθεί μεγαλύτερη θωράκιση (όπως για παράδειγμα ξύλο) για να τα σταματήσει. Τα σωματίδια βήτα είναι ηλεκτρόνια που έχουν μικρή μάζα, με βάρος περίπου 7000 φορές μικρότερο από αυτό των άλφα και φέρουν μικρό σχετικά ηλεκτρικό πεδίο. Όπως ακριβώς και με τα άλφα σωματίδια, τα βήτα μπορούν να προκαλέσουν σημα-

ντικές καταστροφές στον οργανισμό αν με κάποιο τρόπο μπουν μέσα στο σώμα μας. Για παράδειγμα αν καταποθούν, μερικά ραδιοϊσότοπα που εκπέμπουν βήτα σωματίδια μπουρουν να απορροφηθούν από τα οστά και να προκαλέσουν καταστροφή. Χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλότερο LET από ότι η άλφα



Γάμμα

Οι ακτίνες γάμα είναι αυτές που έχουν την μεγαλύτερη διαπερατότητα από τους τρεις τύπους ακτινοβολίας που περιγράφονται. Συνήθως οι ακτίνες γάμα συνοδεύουν τα βήτα σωματίδια και μερικά άλφα. Οι ακτίνες γάμα θα διαπεράσουν το χαρτί, το δέρμα, το ξύλο και αρκετά άλλα υλικά. Για να προστατευτούμε από αυτές χρειαζόμαστε κάτι παχύ τουλάχιστον όσο ένας τοίχος από μπετόν, η ακόμα και κυρίως από φύλλα μολυβιού. Ο τύπος αυτός ακτινοβολίας προκαλεί σοβαρές καταστροφές στα εσωτερικά όργανα. (Οι ακτίνες Χ, εμπήπτουν μεν στην κατηγορία αυτή, αλλά είναι λιγότερο διεισδυτικές από τις ακτίνες γάμα). Χαρακτηρίζονται από χαμηλό LET.

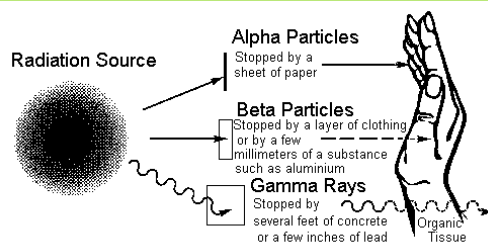
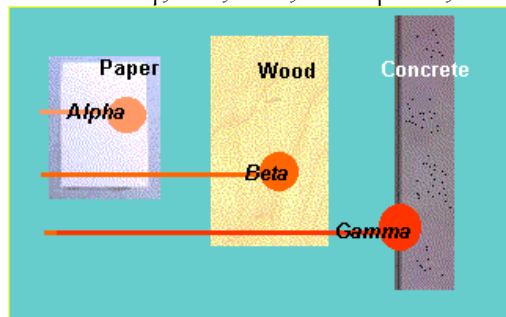
Η ποσότητα της έκθεσης στην ακτινοβολία αυξάνεται ή ελαττώνεται ανάλογα με τον χρόνο που βρισκόμαστε κοντά στην πηγή της ακτινοβολίας.

Γενικά, ο χρόνος έκθεσης είναι ο χρόνος που κάποιος βρίσκεται κοντά σε ραδιενεργό υλικό. Γι αυτό είναι πολύ εύκολο να ελαττώσουμε τον χρόνο της εξωτερικής (άμεσης) έκθεσης. Οι ακτίνες γάμα και οι ακτίνες Χ είναι ο πρωταρχικός μας στόχος για περιορισμό της εξωτερικής έκθεσης.

Παρόλα αυτά όμως αν κάποιο ραδιενεργό υλικό βρεθεί μέσα στο σώμα μας, δεν μπορούμε να απομακρυνθούμε από

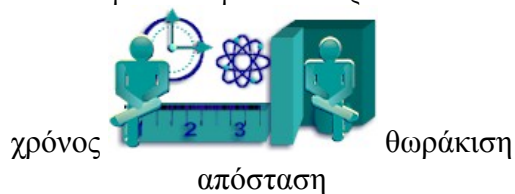
αυτό. Πρέπει να περιμένουμε μέχρι να υποδιπλασιαστεί ή μέχρι το σώμα μας το αποβάλει ή το περιορίσει.

Η δύναμη με την οποία διεισδύουν οι τρεις τύποι της ιονίζουσας ακτινοβολίας.



## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Τρεις είναι οι βασικές αρχές που διέπουν όλους τους τύπους των ιονιζουσών ακτινοβολιών. Όταν προσπαθούμε να καθιερώσουμε κανονισμούς ή βασικές αρχές για τα όρια της ακτινοβολίας που επιτρέπεται να εκτεθεί ο καθένας από εμάς στην ακτινοβολία, προσπαθούμε να βρούμε πως αυτά μπουρουν να επιδράσουν στην έκθεση κάθε ανθρώπου.



Όταν αυτό συμβεί, ο βιολογικός χρόνος υποδιπλασιασμού του ραδιοϊσότοπου είναι αυτός ακριβώς που ελέγχει τον χρόνο έκθεσης. Ο βιολογικός χρόνος υποδιπλασιασμού είναι ο χρόνος που

χρειάζεται ο οργανισμός μας να περιορίσει στο μισό το ραδιοϊσότοπο που αρχικά εισέβαλε. Τα άλφα και βήτα σωματίδια είναι αυτά που κατ' αρχάς μας απασχολούν για την εσωτερική έκθεση.

### **ΜΕ ΠΙΟ ΤΡΟΠΟ ΜΠΟΡΟΥΜΕ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΟΥΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

Όταν θέτουμε τα στάνταρ ακτινοβολίας που προϋποθέτει την έκθεση για συγκεκριμένη περίοδο, η συνθήκη του χρόνου παίζει σημαντικό ρόλο. Για παράδειγμα, πολλές φορές εκφράζουμε την έκθεση σαν ληφθείσα δόση. Σαν ληφθείσα δόση λοιπόν υπολογίζουμε αυτήν που αθροίζεται από συνεχή έκθεση για μεγάλα χρονικά διαστήματα (όπως για παράδειγμα 30, 50 ή και 70 χρόνια). Αναφερόμαστε λοιπόν σε έκθεση που έγινε από ραδιενεργό υλικό που εισήλθε και παραμένει στο σώμα για πολλά χρόνια.

Για να υπολογίσουμε την συνολική έκθεση που μπορεί να προέλθει από την παραμονή ενός ατόμου σε περιοχή μολυσμένη λαμβάνουμε σοβαρά υπ' όψιν το χρονικό διάστημα στο συγκεκριμένο χώρο. Για παράδειγμα, για να υπολογίσουμε την συνολική δόση που λαμβάνουμε από το ραδόνιο μέσα σε ένα σπίτι πρέπει να υπολογίσουμε πόσο χρόνο περνάει κάθε άτομο στο χαμηλότερο σημείο του σπιτιού (στο υπόγειο π.χ.).

### **ΑΠΟΣΤΑΣΗ**

Σε όσο μεγαλύτερη απόσταση κάποιος βρίσκεται από μια ραδιενεργό πηγή, τόσο μικρότερη είναι και η έκθεση του σ' αυτήν.

Πόσο κοντά σε μια πηγή ακτινοβολίας μπορούμε να βρεθούμε χωρίς να λάβουμε υπερβολικά υψηλή δόση έκθεσης; Εξαορτάται από την ενέργεια της ακτινο-

βολίας και το μέγεθος (ή την ενεργότητα) της πηγής. Η απόσταση είναι ο βασικός παράγοντας προφύλαξης από τις ακτίνες γάμα επειδή μπορούν να ταξιδέψουν σε μεγάλη απόσταση. Τα σωματίδια άλφα και βήτα δεν έχουν αρκετή ενέργεια να φθάσουν σε μεγάλη απόσταση.

Σαν κανόνας λοιπόν, αν διπλασιάσεις την απόσταση, ελαττώνεις την έκθεση στο τετραπλάσιο. Αν μειώσεις την απόσταση στο μισό, αυξάνεις την έκθεση στο τετραπλάσιο.

### **Γιατί η έκθεση μεταβάλλεται σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ότι η απόσταση;**

Το εμβαδόν του κύκλου υπολογίζεται από την απόσταση από το κέντρο μέχρι την περιφέρεια του κύκλου (ακτίνα). Είναι ανάλογο προς το τετράγωνο της ακτίνας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, όταν η ακτίνα διπλασιάζεται, το εμβαδόν να αυξάνεται τέσσερις φορές.

Ας σκεφθούμε την ακτινοβόλουσα πηγή σαν μια γυμνή ηλεκτρική λυχνία. Η λυχνία αυτή εκπέμπει φως ομοιογενώς σε κάθε διεύθυνση, σε ένα κύκλο. Η ενέργεια του φωτός κατανέμεται ομοιογενώς σε όλη την περιφέρεια και στο εμβαδόν του κύκλου. Όταν η ακτίνα διπλασιάζεται, η ακτινοβολία διασπείρεται σε επιφάνεια μεγαλύτερη κατά τέσσερις φορές, έτσι και η δόση ελαττώνεται κατά τέσσερις φορές. (Επιπρόσθετα, καθώς η απόσταση από την πηγή αυξάνεται, αντίστοιχα αυξάνεται και η πιθανότητα μερικές ακτίνες γάμα να χάσουν την ενέργειά τους).

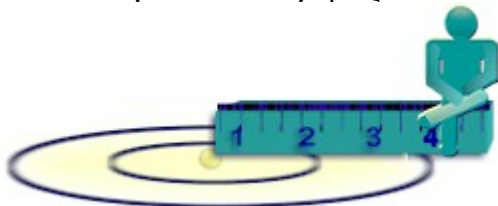
Η έκθεση του ατόμου που βρίσκεται σε απόσταση 4 μέτρων από την πηγή ακτινοβολίας θα αντιστοιχεί στο  $\frac{1}{4}$  της έκθεσης του ατόμου που βρίσκεται σε απόσταση 2 μέτρων από την ίδια πηγή.



Έκθεση σε απόσταση 2 μέτρων



Έκθεση σε απόσταση 4 μέτρων



**Πως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον παράγοντα της απόστασης στην ακτινοπροστασία;**

Πράγματι θεωρούμε σημαντικό παράγοντα την απόσταση, όταν προσπαθούμε να αναλύσουμε όπως πιθανότητες έκθεσης από μία πηγή. Εάν κάποιο άτομο βρίσκεται σε μια μολυσμένη περιοχή, ή εργάζεται κοντά σε κάποιο ραδιενεργό υλικό, όπως υπολογισμούς όπως παίζει σημαντικό ρόλο η απόσταση όπως θέσης του ατόμου αυτού από την πηγή ακτινοβολίας.

### **ΘΩΡΑΚΙΣΗ**

Όσο μεγαλύτερη θωράκιση υπάρχει γύρω από μια ραδιενεργό πηγή τόσο ελαττώνεται και η έκθεση.

Θωράκιση σημαίνει η τοποθέτηση κάποιου υλικού που θα απορροφήσει την ακτινοβολία ανάμεσα στο άτομο και την πηγή ακτινοβολίας. Το πάχος όπως θωράκισης που απαιτείται για την προστασία από τα διάφορα είδη ακτινοβολίας, εξαρτάται από την ενέργεια που εκπέμπουν.

### **ΡΑΔΙΟΪΣΟΤΟΠΑ**

Υπάρχουν περίπου 2.300 νουκλίδια τα περισσότερα από αυτά είναι ραδιενεργά. Αλλά ας δούμε ποια από αυτά είναι ρα-

διενεργά.

Ασταθή νουκλίδια κάθε στοιχείου μπορούν να υπάρξουν. Όπως, σχεδόν όλα τα στοιχεία που είναι βαρύτερα από το βισμούθιο, το οποίο έχει 83 πρωτόνια, είναι ασταθή ή ραδιενεργά. Είναι γνωστά και σαν «βαρέα νουκλίδια». Αντιθέτως νουκλίδια με λιγότερα από 83 πρωτόνια είναι γνωστά σαν «ελαφρά νουκλίδια».

Ενώ υπάρχουν εκατοντάδες ραδιονουκλίδια, τα πιο πολλά από αυτά δεν τα συναντάμε σχεδόν ποτέ. Ελάχιστα από αυτά χρησιμοποιούνται από όπως ανθρώπους στην καθημερινή ζωή, όπως στην ιατρική, για στρατιωτικούς σκοπούς ή από την βιομηχανία. Στον πίνακα πιο κάτω περιγράφονται δώδεκα ραδιονουκλίδια. Είναι αυτά που θα συναντήσουμε πιο συχνά να αναφέρονται χρησιμοποιούμενα.

### **ΜΗ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΕΣ**

Όπως προείπαμε λοιπόν μη ιοντίζουσα είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει σχετικά μικρή ενέργεια. Επειδή η ενέργεια αυτή είναι μικρή είναι αδύνατον να προκαλέσει άμεσα ιοντισμό στην αλληλεπίδρασή της με τα άτομα. Είναι όμως δυνατόν να προκληθούν θερμικές ή χημικές αντιδράσεις στα κύτταρα ενός οργανισμού. Τα αποτελέσματα των επιδράσεων αυτών μερικές φορές είναι ευεργετικά και χρήσιμα και άλλες φορές βέβαια επιβλαβή και καταστροφικά.

Όπως είδαμε και στις εικόνες που παρατίθενται στην αρχή, οι γνωστότερες από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, είναι ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο, (ορατή, υπεριώδης, υπέρυθρη), τα διάφορα κύματα ηλεκτρομαγνητικά, μικροκύματα, ραδιοκύματα) που εκπέμπονται από διάφορες συσκευές και ακόμα ακτινοβολία που χρησιμοποιείται

ακόμα και για ιατρικούς σκοπούς όπως η Laser, επεμβατικά και θεραπευτικά. Η διαφορά τους έγκειται στην συχνότητα και την ενέργεια

Όνομασία	Ατομικός αριθμός	Τύπος ακτινοβολίας		
		Άλφα	Βήτα	Γάμμα
Αμερίκιο 241	55	•		•
Καίσιο 137	95		•	•
Κοβάλτιο 60	27		•	•
Ιώδιο 129,	53		•	•
Ιώδιο 131			•	•
Πλουτώνιο	94	•	•	•
Ράδιο	88	•		•
Ραδόνιο	86	•		
Στρόντιο 90	38		•	
Τεχνητό 99	43		•	•
Τρίτιο *	1		•	
Θόριο	90	•		•
Ουράνιο	92	•		•

\* Το τρίτιο είναι συγκεκριμένο ισότοπο, H-3.

### Μη iontίζουσα ακτινοβολία που προέρχεται από τα κινητά τηλέφωνα και τους σταθμούς βάσης.

Εξ αρχής να διευκρινίσουμε ότι πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία τόσο κατά την διάρκεια της εκπομπής όσο και της λήψης. Η περιοχή συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από την κινητή τηλεφωνία, είναι ανάμεσα στις συχνοτήτες εκπομπής των τηλεοπτικών σταθμών και αυτών των φούρνων μικροκυμάτων, δηλαδή μεταξύ των 900 MHz και των 1.800 MHz.

Είναι γεγονός ότι προς το παρόν η πληροφόρησή μας για τις μακροχρόνιες επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων από την ακτινοβολία που προέρχεται από την χρήση της κινητής τηλεφωνίας είναι σχετικά ελλιπής. Η βασική αρχή της όσο το δυνατόν μικρότερης έκθεσης στην συγκεκριμένη ακτινοβολία ισχύει και για τις μη iontίζουσες ακτινοβολίες.

➤ Όσο λιγότερα τηλεφωνήματα κάνουμε, τόσο το καλύτερο.

➤ Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος συνομιλίας τόσο μικρότερη η έκθεση.

μιλίας τόσο μικρότερη η έκθεση.

➤ Όσο πλησιέστερα στο κεφάλι μας βρίσκεται το κινητό τόσο μεγαλύτερη η επιβάρυνση.

➤ Όσο δυνατότερο το σήμα τόσο αυξάνονται οι πιθανές επιπτώσεις.

Όπως βλέπουμε λοιπόν οι βασικές αρχές που αναλύθηκαν για την προστασία μας από τις iontίζουσες ακτινοβολίες πρέπει να τις λαμβάνουμε σοβαρά υπ' όψιν και για τις μη iontίζουσες ακτινοβολίες, όχι βέβαια στον ίδιο βαθμό επικινδυνότητας.

Η συνομιλία με ακουστικά, βοηθάει αρκετά.

### Φυσικές μονάδες και μεγέθη

#### 1. Σταθμοί βάσης

Τα τρία μεγέθη που χρησιμοποιούμε για να ελέγξουμε την ακτινοβολία από τους σταθμούς βάσης, είναι:

α. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

β. Η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και τέλος

γ. Η πυκνότητα σε ισχύ που έχει το ισοδύναμο επίπεδο του ηλεκτρομαγνητικού κύμα.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η οποία συνεχώς αναπροσαρμόζεται, γύρω από την κεραία βάσης κινητής τηλεφωνίας δεν επιτρέπεται η πρόσβαση από τον κοινό πληθυσμό, καθόσον τα όρια της έκθεσης και για τα τρία μεγέθη που αναφέρθηκαν ανωτέρω υπερβαίνουν το 80 % των ανώτερων επιτρεπόμενων ορίων. Με σύστασή της η Ευρωπαϊκή Ένωση προς τα κράτη μέλη της, έχει καθορίσει τα όρια αυτά και για τις δύο ζώνες που συνήθως χρησιμοποιούνται από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας.

#### 2. Φορητές συσκευές κινητών τηλεφώνων

Εδώ η ευαίσθητη περιοχή για την οποία πρέπει να τεθούν όρια είναι αυτή

του κεφαλιού. Διεθνώς έχει καθιερωθεί σαν μέγεθος ο ρυθμός ειδικής απορρόφησης της ενέργειας ή SAR. Ο ρυθμός αυτός υπολογίζεται από τον μέσο όρο που εξάγεται από την ακτινοβολήση όλου του σώματος ή ενός μέρους αυτού.

Ο ρυθμός απορρόφησης της ενέργειας έχει σαν μονάδες μέτρησης τα W/kg και σαν μέγιστη τιμή για την περιοχή του κεφαλιού θεωρούμε τα 2 W/kg στο εύρος συχνοτήτων μεταξύ 10 MHz και 10 GHz σε μέσο όρο μάζας 10 γραμμαρίων των ιστών γύρω από την περιοχή του αυτιού.

### **Επιπτώσεις κινητής τηλεφωνίας στον ανθρώπινο οργανισμό**

Η συχνή χρήση του κινητού σύμφωνα με έρευνες που διεξάγονται τα τελευταία χρόνια διεθνώς αλλά στην Σκανδιναβία ειδικότερα, προς το παρών αναφέρουν μόνον συχνούς πονοκεφάλους, αίσθημα αϋπνίας και κούρασης άλλα και φαγούρα συγκριτικά με άτομα που το χρησιμοποιούν σε μικρότερο βαθμό. Βέβαια δεν έχει διαφοροποιηθεί κατά πόσον τα συμπτώματα αυτά οφείλονται και σε ποιο βαθμό από τον έντονο ρυθμό της καθημερινότητας και το άγχος που διακατέχει τα υπερδραστήρια άτομα.

Η ακτινοβολία των υψηλών αυτών συχνοτήτων δεν θεωρείται καρκινογόνα γιατί με πολλαπλές έρευνες έχει αποδειχθεί ότι ακόμα και με μεγάλη ισχύ δεν προκαλεί μεταβολές στον γονότυπο. Υπάρχει μια υποψία, που όμως βρίσκεται υπό συνεχή έρευνα, για το κατά πόσον η ακτινοβολία αυτή μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση ήδη υπαρχόντων όγκων.

### **ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. U.S Environmental Protection Agency. Understanding Radiation.
2. NRPB The estimation of Cancer Risk at Low Doses.
3. CDC. Possible Health Effects of Radiation Exposure on Unborn Babies.
4. CDC. Radioactive Contamination and Radiation Exposure.
5. U.S Nuclear Regulatory Commission. How Does Radiation Affect the Public?
6. U.S Nuclear Regulatory Commission. Biological Effects of Radiation.
7. Future. New Radiation Scare from Mobile Phones.
8. Radiology Info. Radiation Exposure in X-ray Examinations.
9. EEAE. Τι ακτινοβολούν τα κινητά και οι σταθμοί βάσης