

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ**

**Πειραματικός Προσδιορισμός Απορρόφησης Ηλεκτρομαγνητικής  
Ακτινοβολίας από τα Διάφορα Σημεία του Ανθρώπινου Σώματος με  
την Χρήση Ομοιωμάτων**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
Αδαμοπούλου Κωνσταντίνα  
Μπατσαρά Ευτυχία**

**Επιβλέποντες: Ασαρίδης Ηλίας  
Λούβρος Σπυρίδων**

# Ναύπακτος, Φεβρουάριος 2013

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</u>	<u>4</u>
<u>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</u>	<u>6</u>
1.1 Εισαγωγή.....	6
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	6
1.3 Βασικές Έννοιες.....	8
1.4 Πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.....	11
1.4.1 Φυσικές Πηγές Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων.....	11
1.4.2 Τεχνητές Πηγές Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων.....	12
1.5 Χαρακτηριστικά Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων.....	12
1.6 Μονάδες Μέτρησης Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων.....	15
1.7 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.....	15
<u>2 ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....</u>	<u>17</u>
2.1 Ιονισμός.....	17
2.2 Ιονίζουσα Ακτινοβολία.....	18
2.3 Πηγές Ιονίζουσας Ακτινοβολίας.....	19
2.3.1 Κοσμική Ακτινοβολία.....	19
2.3.2 Ακτινοβολία του Εδάφους.....	19
2.3.3 Ακτίνες Γ.....	20
2.3.4 Ακτίνες Χ.....	20
2.3.5 Υπεριώδης Ακτινοβολία.....	21
2.4 Χαρακτηριστικές Ιδιότητες Ιονίζουσών Ακτινοβολιών.....	22
2.5 Δοσιμετρία Ιονίζουσας Ακτινοβολίας.....	25
2.5.1 Απορροφούμενη Δόση.....	26
2.5.2 Ισοδύναμη Δόση.....	27
2.5.3 Ενεργός Δόση.....	27
2.6 Βιολογικές Επιδράσεις της Ιονίζουσας Ακτινοβολίας.....	28
<u>3 ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....</u>	<u>36</u>
3.1 Εισαγωγή.....	36
3.2 Πηγές Μη Ιονίζουσας Ακτινοβολίας.....	36
3.2.1 Ορατό Φως.....	36
3.2.2 Υπέρυθρη Ακτινοβολία (Infrared Radiation – IR).....	38
3.2.3 Υπεριώδης Ακτινοβολία (Ultraviolet Radiation – UV).....	39
3.2.4 Ακτινοβολία Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency – RF) / Ακτινοβολία Μικροκυμάτων (Microwave – MW).....	39
3.2.5 Ακτινοβολία Εξαιρετικά Χαμηλής Συχνότητας (Extremely Low Frequency Radiation – ELF).....	40
3.3 Βιολογική Δράση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων.....	40
3.3.1 Θερμικές Επιδράσεις.....	41
3.3.2 Αθέρμικες Επιδράσεις.....	43
3.4 Βιολογικές Επιδράσεις Μη Ιονίζουσας Ακτινοβολίας.....	43
3.5 Ρυθμός Απορρόφησης Ενέργειας – SAR.....	47
3.5.1 Πώς συνδέεται το SAR με την ένταση της ακτινοβολίας.....	55
<u>4 Η/Μ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΒΑΣΗΣ.....</u>	<u>56</u>
4.1 Εισαγωγή.....	56
4.2 Ακτινοβολία Κεραιών Βάσης.....	57
4.2.1 Πόσο έντονα ακτινοβολούν τα κινητά τηλέφωνα και οι σταθμοί βάσης.....	60

4.3	Ραδιοσυχνότητες και Ανθρώπινος Οργανισμός.....	63
4.3.1	Οριακές Τιμές για την Ακτινοβολία της Κινητής Τηλεφωνίας.....	67
4.4	Εκτίμηση Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης (SAR).....	68
4.4.1	Υπολογιστικές Τεχνικές.....	68
4.4.2	Πειραματικές Τεχνικές.....	69
4.4.3	Μέτρηση Ηλεκτρικού Πεδίου.....	69
4.4.4	Θερμιδομετρική Τεχνική.....	70
4.4.5	Οριακές Τιμές για την Ακτινοβολία της Κινητής Τηλεφωνίας.....	71
4.5	Συμπεράσματα.....	72
5	Η/Μ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΑ RADAR.....	74
5.1	Εισαγωγή.....	74
5.2	Εγγύς και Μακρινό Πεδίο Κεραίας Εκπομπής.....	76
5.3	Είδη Radar.....	77
5.3.1	Radar Στρατιωτικών Εγκαταστάσεων.....	77
5.3.2	Radar Πολιτικών Αεροδρομίων.....	79
5.3.3	Άλλα Είδη Radar.....	81
5.4	Βιολογικές Επιδράσεις.....	82
5.5	Όρια Επιτρεπτής Έκθεσης.....	83
5.6	Συμπεράσματα.....	84
6	Η/Μ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	86
6.1	Επιβάρυνση Από Οικιακές Συσκευές.....	90
7	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	93
7.1	Εισαγωγή.....	93
7.2	Εκτέλεση Πειραματικής Μελέτης.....	93
7.3	Ανάλυση Αποτελεσμάτων Πειράματος.....	99
7.4	Συμπεράσματα.....	104
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	106
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	107

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να μελετήσουμε τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο και στο περιβάλλον και να ενημερωθούμε για τις επιπτώσεις και τις επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ιονίζουσας και μη ιονίζουσας), τα μέτρα προστασίας, τις ρυθμίσεις και το νομικό πλαίσιο που έχουν θεσπίσει τα κράτη, διεθνείς οργανισμοί για την προστασία του πολίτη και του περιβάλλοντος.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ιστορική αναδρομή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και επίσης αναφέρονται κάποιες βασικές έννοιες, χαρακτηριστικά, μονάδες μέτρησης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου καθώς και οι πηγές του. Τέλος γίνεται μια σύντομη αναφορά στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην ιονίζουσα ακτινοβολία και ειδικότερα στο φαινόμενο του ιονισμού, στα είδη ακτινοβολιών που υπάρχουν, στις χαρακτηριστικές ιδιότητες των ιονιζουσών ακτινοβολιών και τέλος στις βιολογικές επιδράσεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία στις πηγές και στις βιολογικές επιδράσεις της. Επίσης αναλύουμε τον όρο θερμικές και αθέρμικες επιδράσεις, καθώς γίνεται και μια σύντομη περιγραφή του όρου ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR).

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στην κινητή τηλεφωνία και στους σταθμούς βάσης καθώς και στις επιδράσεις που έχουν στον ανθρώπινο οργανισμό και στο περιβάλλον από την ακτινοβολία που εκπέμπουν. Τέλος αναφέρουμε κάποια μέτρα προστασίας.

Στο πέμπτο και έκτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις βιολογικές επιδράσεις από τα ραντάρ και την ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, τα καλώδια υψηλής τάσης και τέλος από τις οικιακές συσκευές.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζουμε την πειραματική διαδικασία σκοπός της οποίας είναι να κατανοήσουμε το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που απορροφάται από διάφορα σημεία του ανθρώπινου σώματος. Τέλος γίνεται η ανάλυση των μετρήσεων του πειράματος και η παρουσίαση των συμπερασμάτων.

### **Key words**

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, ιονίζουσα και μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ειδικός ρυθμός απορρόφησης της ενέργειας, θερμικές και αθερμικές επιδράσεις, όρια επικινδυνότητας μη ιονίζουσας ακτινοβολίας, specific absorption rate, διάγνωση ρογντίνγ, πυκνότητα μάζας ιστού, ηλεκτρική αγωγιμότητα ιστού.

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Εισαγωγή

Είναι αλήθεια ότι το περιβάλλον, στο οποίο ζούμε εκτός της φυσικής ακτινοβολίας, "βομβαρδίζεται" συνεχώς από ακτινοβολίες οι οποίες παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Η φυσική ακτινοβολία που προέρχεται από πηγές όπως ο ήλιος και η κοσμική ακτινοβολία είναι μη αποτρέψιμο γεγονός, το οποίο όμως έχει αφομοιωθεί από το οικοσύστημα της γης με θετικές και αρνητικές επιπτώσεις όπως φωτοσύνθεση, ανάπτυξη φυτών, γήρανση κτλ. Αν όμως σε αυτές τις συνθήκες προσθέσουμε και την ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση που προκαλείται από τον άνθρωπο, οι απειλές για την υγεία του, ολοένα και αυξάνονται.

Στην παρούσα εργασία, αναλύονται σε κατανοητό επίπεδο οι διάφοροι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τον ανθρώπινο οργανισμό. Ταυτόχρονα αναφέρονται τα όρια επικινδυνότητας και οι επιπτώσεις στην υγεία και στο περιβάλλον.

## 1.2 Ιστορική Αναδρομή

Την πεποίθηση ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει βιολογικές επιδράσεις στον άνθρωπο τη συναντάμε στην προσπάθεια του Ιπποκράτη να θεραπεύσει τον καρκίνο του στήθους με έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία (ηλιοθεραπεία). Το 18ο αιώνα ο Luigi Galvani ξεκινά μια συστηματική προσπάθεια θεραπείας όγκων, ανευρυσμάτων και αιμορραγιών, διοχετεύοντας ηλεκτρικό ρεύμα στους ιστούς.

Το 1873 ο James Clerk Maxwell, αποδεικνύει ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα και ότι όλα τα κύματα αυτού του τύπου διαδίδονται μέσω του κενού με την ίδια ταχύτητα, η οποία είναι η ταχύτητα του φωτός.

Το 1889 ο Heinrich Rudolph Hertz, παρουσίασε το πρώτο ασύρματο σύστημα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Το 1891 ο d' Arsonval, προχώρησε σε πειράματα αυτεπαγωγής ή χωρητικής σύζευξης, τοποθετώντας τους ασθενείς σε χωρητικά κρεβάτια ή πηνία.

Πραγματοποίησε 2.500 τέτοιες θεραπείες των 20 λεπτών, με ρεύματα μέχρι και

450mA. Οι περισσότεροι τύποι υστεριών και νευρολογιών δεν παρουσίασαν βελτίωση σε αντίθεση με ασθενείς που υπέφεραν από ρευματισμούς και αρθριτικά στους οποίους παρουσιάστηκε σημαντική βελτίωση.

Την ίδια περίοδο πραγματοποιήθηκαν και άλλα τέτοια πειράματα με υψίσυχνα ρεύματα από τον Tesla στην Αμερική. Οι αναζητήσεις για ευεργετικές επιδράσεις των υψίσυχνων ρευμάτων συνεχίστηκαν ώσπου το 1926, η ιατρική άρχισε να χρησιμοποιεί τις ραδιοσυχνότητες στις εγχειρίσεις ευαίσθητων οργάνων όπως ο εγκέφαλος, το συκώτι, κ.α. για την αντιμετώπιση των αιμορραγιών και τον έλεγχο βλαβερών πολλαπλασιασμών των κυττάρων.

Το 1901 ο Guglielmo Marconi, ο οποίος ονομάστηκε και πατέρας του ραδιοφώνου, κατάφερε να στείλει σήματα σε μεγάλες αποστάσεις. Την ίδια χρονολογία εκτέλεσε την πρώτη υπερατλαντική μετάδοση από την Αγγλία στον Καναδά. Η κεραία λήψης στον Καναδά ήταν 200 m πολωμένο καλώδιο. Η κεραία εκπομπής ήταν ο συνδυασμός από 50 καλώδια υποστηριζόμενα από 2 ξύλινους δοκούς 60 m.

Στην εποχή του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου που ανακαλύφθηκε το radar, το οποίο λειτουργεί στη μικροκυματική περιοχή συχνοτήτων (GHz) και εκπέμπει ισχυρές κατευθυντικές δέσμες, δημιουργήθηκαν οι πρώτες ανησυχίες για πιθανές ανεπιθύμητες επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στον ανθρώπινο οργανισμό και στο περιβάλλον. Μετά το τέλος του πολέμου άρχισαν τα πρώτα πειράματα σε κουνέλια, τα οποία ανέπτυξαν γλαύκωμα μέσα σε 10 λεπτά, όταν δέχθηκαν στα μάτια μια δέσμη μικροκυμάτων πυκνότητας ισχύος  $3000 \text{ mW/cm}^2$ . Στο τέλος του 1951 εμφανίστηκαν τα πρώτα περιστατικά οξείας φλεγμονής του αμφιβληστροειδούς και γλαυκώματος σε τεχνικούς radar.

Αρχές του 1950 τα  $100 \text{ mW/cm}^2$  θεωρούνται γενικά καταστροφικά και προτείνεται ως όριο ασφαλείας τα  $0,1 \text{ mW/cm}^2$ . Όμως το 1955 θεσπίζεται στις ΗΠΑ ως όριο ασφαλείας τα  $10 \text{ mW/cm}^2$ , όριο που ασπάζονται 14 χώρες μεταξύ των οποίων και όλα τα μέλη του NATO.

Το 1960 γνωστοποιείται ότι οι Σοβιετικοί είχαν θεσπίσει ως όριο ασφαλείας τα  $10 \text{ mW/cm}^2$ , δηλαδή 1000 φορές μικρότερο από το Δυτικό όριο! Ο λόγος ίσως να είναι ότι οι Σοβιετικοί επιστήμονες μελέτησαν συστηματικά τις βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από τη δεκαετία του 1930.

Σήμερα, οι εργασίες με αυτό το θέμα βρίσκονται στην αιχμή της επιστημονικής έρευνας. Αυτό συμβαίνει γιατί από τη μία μεριά η ραγδαία πρόοδος της τεχνολογίας

οδηγεί σε μεγαλύτερη χρήση τέτοιων πηγών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ενώ από την άλλη, οι κοινωνίες των ενημερωμένων πολιτών επιτάσσουν την ορθολογική χρήση των επιστημονικών επιτευγμάτων. Ο τεράστιος όγκος εργασιών που υπάρχει ήδη πάνω σ' αυτό το θέμα επιτρέπει την εξαγωγή των πρώτων συμπερασμάτων. Ωστόσο, θα χρειαστούν δεκαετίες ακόμα εντατικής έρευνας έτσι ώστε να αποκτηθεί επαρκής γνώση των συνεπειών της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας, ανάλογη με εκείνη της ιονίζουσας.

### **1.3 Βασικές Έννοιες**

Ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά φορτία και δημιουργείται λόγω διαφοράς στην ηλεκτρική τάση. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της τάσης, τόσο πιο δυνατό θα είναι το ηλεκτρικό πεδίο. Μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού πεδίου είναι το Volt/meter (V/m).

Αντίστοιχα, μαγνητικό πεδίο ονομάζουμε το χώρο που ασκούνται μαγνητικές επιδράσεις σε κινούμενα φορτισμένα σώματα ή ισοδύναμα σε ηλεκτρικά ρεύματα. Όσο πιο υψηλή είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, τόσο πιο δυνατό θα είναι το μαγνητικό πεδίο, ενώ αν διακοπεί το ηλεκτρικό ρεύμα, το μαγνητικό πεδίο θα μηδενιστεί. Τα μαγνητικά πεδία διαπερνούν τα περισσότερα φυσικά εμπόδια, σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά πεδία, τα οποία σταματούν μπροστά σε τοίχους ή άλλα φυσικά εμπόδια. Επίσης τα μαγνητικά πεδία μειώνονται πολύ σημαντικά όταν αυξάνεται η απόσταση από την πηγή εκπομπής τους. Η μονάδα μέτρησης του μαγνητικού πεδίου είναι το Ampere/meter (A/m). Συνήθως για τη μέτρηση των μαγνητικών πεδίων χρησιμοποιείται η πυκνότητα ροής microtesla ( $\mu\text{T}$ ).

Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία ανάλογα με την έντασή τους χαρακτηρίζονται ως στατικά, όταν οι εντάσεις παραμένουν χρονικά σταθερές και μεταβαλλόμενα ή εναλλασσόμενα, όταν οι εντάσεις αλλάζουν μέτρο και φορά σε σχέση με το χρόνο. Το μέγεθος που εκφράζει πόσο ισχυρό είναι το ηλεκτρικό πεδίο σε ένα συγκεκριμένο σημείο του ονομάζεται ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E). Κατά αντιστοιχία, η μαγνητική ένταση (B) εκφράζει πόσο ισχυρό είναι το μαγνητικό πεδίο σε ένα σημείο του χώρου που αυτό κατέχει.

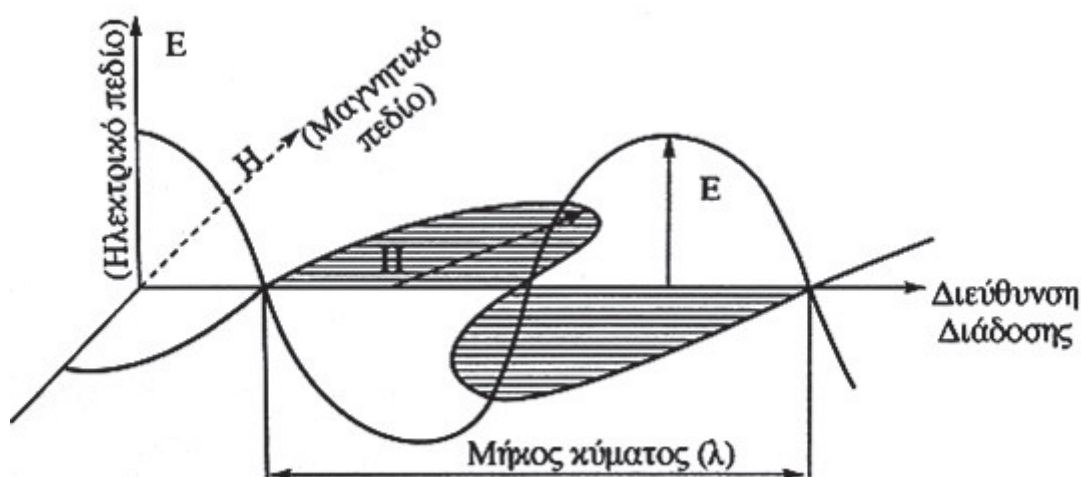
Όταν τα ηλεκτρικά φορτία ταλαντώνονται, παράγονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία είναι τοπικές και χρονικές μεταβολές του ηλεκτρικού και



μαγνητικού πεδίου. Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αποτελείται από αόρατα, στην πλειονότητά τους, κύματα και μόνο ένα μικρό μέρος της ακτινοβολίας εντοπίζεται από το ανθρώπινο μάτι, το οποίο αποτελεί το ορατό φως. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός στο κενό ή τον αέρα και μεταφέρουν ενέργεια και ορμή.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία υπάρχουν παντού στο περιβάλλον και μπορεί να είναι φυσικής προέλευσης ή να προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Μπορεί να είναι χαμηλής ή υψηλής έντασης, συνεχούς ή μικρής διάρκειας και προκαλούν ιονισμό και αύξηση της θερμότητας σε βιολογικό επίπεδο.

Από τις συνήθειες ηλεκτρονικές διατάξεις, παράγονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία είναι αρμονικά και διαδίδονται κατά επίπεδα μέτωπα. Αυτό σημαίνει ότι οι εντάσεις  $B$  και  $E$  μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά σύμφωνα με το νόμο του ημιτόνου. Επίσης, το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο στα επίπεδα κύματα είναι κάθετα μεταξύ τους και συμφασικά παίρνοντας ταυτόχρονα την ελάχιστη ή τη μέγιστη τιμή τους (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1 Επίπεδο αρμονικό ηλεκτρομαγνητικό κύμα

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι εγκάρσια και περιγράφονται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$E(x,t) = E_0 \cdot \sin[2\pi (t/T - x/\lambda)]$$

$$B(x,t) = B_0 \cdot \sin[2\pi (t/T - x/\lambda)]$$

όπου,

$E_0$ : πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου

$B_0$ : πλάτος του μαγνητικού πεδίου

T: η περίοδος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος

λ: το μήκος κύματος

Η απόσταση μεταξύ δύο μεγίστων ή ελαχίστων του μαγνητικού πεδίου (B) ή του ηλεκτρικού πεδίου (E) αποτελεί μια πλήρη εναλλαγή, η οποία ονομάζεται μήκος κύματος (λ). Ο αριθμός των πλήρων εναλλαγών ανά μονάδα χρόνου είναι η συχνότητα (f) του κύματος και συνδέεται με το λ με τη σχέση  $u = \lambda \cdot f$ , όπου u είναι η ταχύτητα του φωτός και ισούται με  $3 \cdot 10^8$  m/sec.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία περιλαμβάνει ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαφόρων συχνοτήτων. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μπορεί να υποδιαιρεθεί με βάση την ικανότητα ή όχι της ακτινοβολίας να προκαλέσει τον ιονισμό ενός ατόμου (απόσπαση των ηλεκτρονίων από αυτό). Οι ακτινοβολίες που έχουν αυτή την ικανότητα είναι οι ιονίζουσες ακτινοβολίες (Ionizing Radiation). Αυτές που δεν έχουν την ενεργειακή ικανότητα ιονισμού της ύλης, είναι οι μη ιονίζουσες ακτινοβολίες (Non Ionizing Radiation).

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται η συχνότητα και το μήκος κύματος όλων των περιοχών της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως επίσης και οι πηγές εκπομπής τους.

Περιοχή Συχνοτήτων	Συχνότητα	Μήκος Κύματος στον Αέρα	Πηγή Εκπομπής
Εξαιρετικά Χαμηλές Συχνότητες (ELF)	0 – 300 Hz	>1000 km	Γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, ακουστικές συχνότητες, υποβρύχιες επικοινωνίες
Ακουστικές Συχνότητες (VF)	0,3 – 3 KHz	1000 – 100 km	Φωνή, ακουστικές συχνότητες
Πολύ Χαμηλές Συχνότητες (VLF)	3 – 30 KHz	100 – 10 km	Ακουστικές συχνότητες
Χαμηλές Συχνότητες (LF)	30 – 300 KHz	10 – 1 km	Ραδιοεπικοινωνίες ναυσιπλοΐας, επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων
Μεσαίες Συχνότητες (MF)	0,3 – 3 MHz	1 – 0,1 km	Ραδιοεπικοινωνίες ναυσιπλοΐας, ερασιτεχνικοί ραδιοσταθμοί
Υψηλές Συχνότητες (HF)	3 – 30 MHz	100 – 10 m	Ερασιτεχνικοί σταθμοί διεθνής επικοινωνίας, έλεγχος αεροπλοΐας
Πολύ Υψηλές Συχνότητες (VHF)	30 – 300 MHz	10 – 1 m	Αστυνομία, σταθμοί FM, VHF-TV, έλεγχος αεροπλοΐας και ναυσιπλοΐας

Περιοχή Συχνοτήτων	Συχνότητα	Μήκος Κύματος στον Αέρα	Πηγή Εκπομπής
Πάρα Πολύ Υψηλές Συχνότητες (UHF)	0,3 – 3 GHz	1 – 0,1 m	Κινητή και ασύρματη τηλεφωνία, αστυνομία, ραδιοταξί, UHF-TV, φούρνοι μικροκυμάτων, ιατρικές διαθερμίες, βιομηχανικά μικροκύματα.
Υπερ-υψηλές Συχνότητες (SHF)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	Radar, δορυφορικές επικοινωνίες
Εξαιρετικά Υψηλές Συχνότητες (EHF)	30 – 300 GHz	1 – 0,1 cm	Radar, δορυφορικές επικοινωνίες, ραδιοεπικοινωνίες, ραδιοφασματομετρία
Υπέρυθρη Ακτινοβολία (IR)	300 GHz - 300 THz	1 mm – 100 μm	Εποπτεία, ηλεκτρονικός πόλεμος, βιομηχανική θέρμανση

Πίνακας 1.1 Περιοχές συχνοτήτων και πηγές εκπομπής της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας

Στις μετρήσεις της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (δοσιμετρία), παίζει σημαντικό ρόλο η συχνότητα, αφού η μεταφερόμενη από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ενέργεια, είναι ανάλογη της συχνότητας τους. Στις χαμηλές συχνότητες (0 – 500 Hz), τα ηλεκτρικά (E) και μαγνητικά (B) πεδία είναι ασύνδετα. Αυτό σημαίνει ότι τα E και B δεν συνιστούν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, αλλά δύο ανεξάρτητα πεδία, το ηλεκτρικό, που προσδιορίζεται από την τάση των αγωγών και το μαγνητικό που προσδιορίζεται από τις εντάσεις των ρευμάτων. Σαν συνέπεια, πρέπει αναγκαστικά να γίνει μέτρηση της έντασης και του ηλεκτρικού πεδίου αλλά και του μαγνητικού. Σε αντίθεση με τις χαμηλές, στις υψηλές συχνότητες (άνω των 3 MHz) τα E και B συνδέονται με απλές σχέσεις μεταξύ τους, καθώς και με την πυκνότητα ισχύος (P). Για το λόγο αυτό, αρκεί η μέτρηση ενός εκ των δύο πεδίων για τον προσδιορισμό του άλλου καθώς και της πυκνότητας ισχύος. Άρα, τα όρια επικινδυνότητας για τις χαμηλές συχνότητες δίνονται από τα E και B ενώ στις υψηλές από την τιμή της πυκνότητας ισχύος.

## 1.4 Πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

### 1.4.1 Φυσικές Πηγές Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία υπάρχουν παντού στο περιβάλλον μας, αλλά δεν γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο μάτι. Η συσσώρευση ηλεκτρικών φορτίων

σε διάφορα σημεία της ατμόσφαιρας σε συνθήκες καταιγίδας δημιουργεί ηλεκτρικά πεδία. Το μαγνητικό πεδίο της Γης κάνει τη βελόνα της πυξίδας μας να στρέφεται πάντοτε στην κατεύθυνση Βορρά-Νότου. Οι κεραυνοί δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικά πεδία (ΗΜΠ). Στο ανθρώπινο σώμα υπάρχουν ενδογενώς, φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία μεταφέρουν μηνύματα στο νευρικό σύστημα. Η λειτουργία της καρδιάς στηρίζεται στη μεταφορά ηλεκτρικών μηνυμάτων και κάθε φορά που υπάρχει μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου, συνεπάγεται δημιουργία ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

#### **1.4.2 Τεχνητές Πηγές Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων**

Εκτός από τις φυσικές πηγές, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα περιλαμβάνει και πεδία τα οποία δημιουργούνται από τον άνθρωπο: Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση τυχόν κατάγματος μετά από κάποιο ατύχημα ενός αθλητή. Η ηλεκτρική ενέργεια που φτάνει στις πρίζες του σπιτιού μας και τροφοδοτεί τις συσκευές μας συνοδεύεται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας. Και, τέλος, διάφορα είδη ραδιοκυμάτων υψηλότερης συχνότητας χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση πληροφοριών – μέσω της κεραίας της τηλεόρασης, των ραδιοφωνικών σταθμών ή των σταθμών βάσης της κινητής τηλεφωνίας.

### **1.5 Χαρακτηριστικά Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων**

**Πλάτος ( $E_0$ ,  $B_0$ ):** Το πλάτος ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος σχετίζεται με το πλάτος ταλάντωσης του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου και είναι ανάλογο της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

**Μήκος κύματος ( $\lambda$ ):** Το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) προσδιορίζει την απόσταση που χωρίζει δύο διαδοχικά σημεία ίδιας έντασης και μετριέται σε μέτρα στο σύστημα (S.I.). Μονάδες μέτρησης για τα μήκη κύματος αποτελούν τα υποπολλαπλάσια του μέτρου:  $\mu\text{m}$  (micrometer, μικρόμετρα),  $\text{nm}$  (nanometer, νανόμετρα).

**Συχνότητα ( $f$ ):** Στα κύματα υπάρχει πάντα ένα μέγεθος που μεταβάλλεται περιοδικά, δηλαδή ένα μέγεθος που χαρακτηρίζεται από κάποια συχνότητα. Στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, το μέγεθος που μεταβάλλεται είναι

το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο τους. Το μέγεθος μεταβάλλεται περιοδικά σε σχέση με τον χρόνο παρατηρώντας το σε σταθερό σημείο του χώρου, αλλά μεταβάλλεται και σε σχέση με την απόσταση παρατηρώντας το για συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Σε ένα κύμα, η συχνότητα  $f$  είναι ανάλογη της ταχύτητας  $u$  του κύματος και αντιστρόφως ανάλογη του μήκους  $\lambda$  του κύματος:

$$f = \frac{u}{\lambda}$$

Στην περίπτωση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που διαδίδονται στο κενό, η ταχύτητα είναι  $u = c$ , όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός :

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

**Ταχύτητα:** Η ταχύτητα ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι περίπου 300.000 km/sec. Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται σε κάποιο υλικό, η ταχύτητά του περιορίζεται και εξαρτάται από τον δείκτη διάθλασης του υλικού.

**Περίοδος:** Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται κατά ένα μήκος κύματος ( $\lambda$ ) ονομάζεται περίοδος ( $T$ ) του Η/Μ κύματος. Η περίοδος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος συνδέεται με την συχνότητά του ( $f$ ), μέσω της απλής σχέσης:

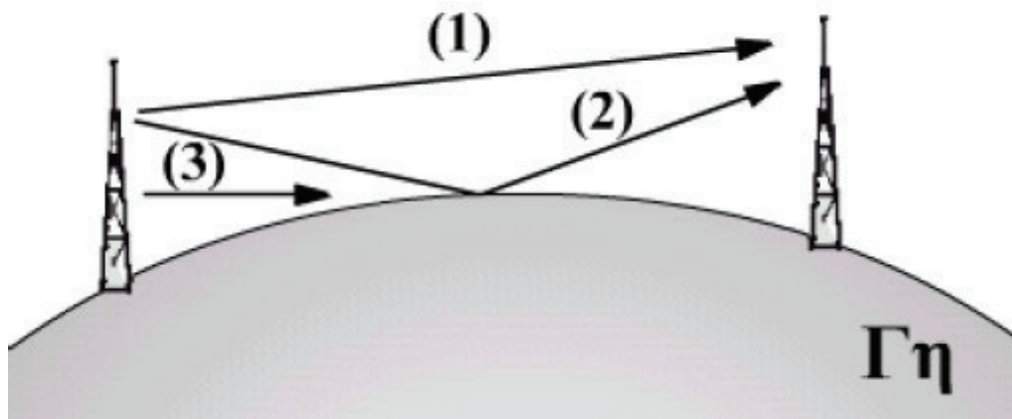
$$T = \frac{1}{f}$$

**Τρόποι διάδοσης:** Ο τρόπος διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα και στον χώρο μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες διάδοσης:

**I. Κύματα εδάφους:** Είναι ο επικρατέστερος τρόπος διάδοσης για τις συχνότητες στην ζώνη των μεσαίων συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για ΑΜ ραδιοφωνία και ναυτιλιακές ραδιοεκπομπές. Οι κύριες διαταραχές που επικρατούν στη ζώνη αυτή είναι ατμοσφαιρικός θόρυβος, θόρυβος από ανθρώπινες δραστηριότητες και θερμικός θόρυβος.

**Διάδοση με 3 τρόπους:**

1. Απ' ευθείας κύματα (επηρεάζονται από την απόσταση και την διάχυση).
2. Κύμα από ανάκλαση στο έδαφος (μεγάλη διαδρομή και είναι δυνατό να συμβάλλει με το απευθείας κύμα).
3. Κύμα επιφάνειας κυρίως σε αγώγιμα εδάφη



Εικόνα 1.2 Τρόποι διάδοσης κυμάτων εδάφους

Τα κύματα διευκολύνονται (διαδίδονται σε πιο μεγάλη απόσταση) όταν έχουν:

1. Μικρή συχνότητα.
2. Μεγάλη αγωγιμότητα εδάφους.

Όμως, απαιτείται γενικά μεγάλη ισχύς εκπομπής.

**II. Κύματα χώρου ή ιονοσφαιρικά κύματα:** Η ιονόσφαιρα δημιουργείται στην ατμόσφαιρα από την ηλιακή δραστηριότητα σε ύψος από 70km – 400km.

Το ύψος και το πάχος της ιονόσφαιρας εξαρτάται από:

1. Την ηλιακή ενέργεια (μέρα – νύχτα).
2. Τις ηλιακές κηλίδες.
3. Το μαγνητικό πεδίο της γης.

Η αλλαγή πορείας του κύματος γίνεται με κύρτωση που οδηγεί σε ανάκλαση του κύματος (πολλαπλή διάθλαση) και διευκολύνεται από:

1. Μικρές συχνότητες στο ραδιοκύμα.
2. Μεγάλη πυκνότητα ιονισμένου στρώματος.
3. Μεγάλη γωνία πρόσπτωσης του κύματος στο ιονοσφαιρικό στρώμα.

**III. Οπτικής επαφής:** Ο πομπός και η κεραία λήψης θα πρέπει να είναι σε απευθείας οπτική επαφή με ελάχιστα ή καθόλου εμπόδια. Για το λόγο αυτό, οι σταθμοί εκπομπής τηλεόρασης στα VHF και UHF υπερυψώνουν τις κεραίες τους προκειμένου να επιτύχουν μεγάλη περιοχή κάλυψης. Γενικά, η περιοχή κάλυψης οπτικής επαφής περιορίζεται λόγω της καμπυλότητας της

γης. Ο επικρατέστερος θόρυβος που περιορίζει την επίδοση των συστημάτων επικοινωνιών της περιοχής συχνοτήτων VHF και UHF είναι ο θερμικός θόρυβος που παράγεται από τον δέκτη και ο κοσμικός θόρυβος που συλλαμβάνει η κεραία.

## 1.6 Μονάδες Μέτρησης Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων

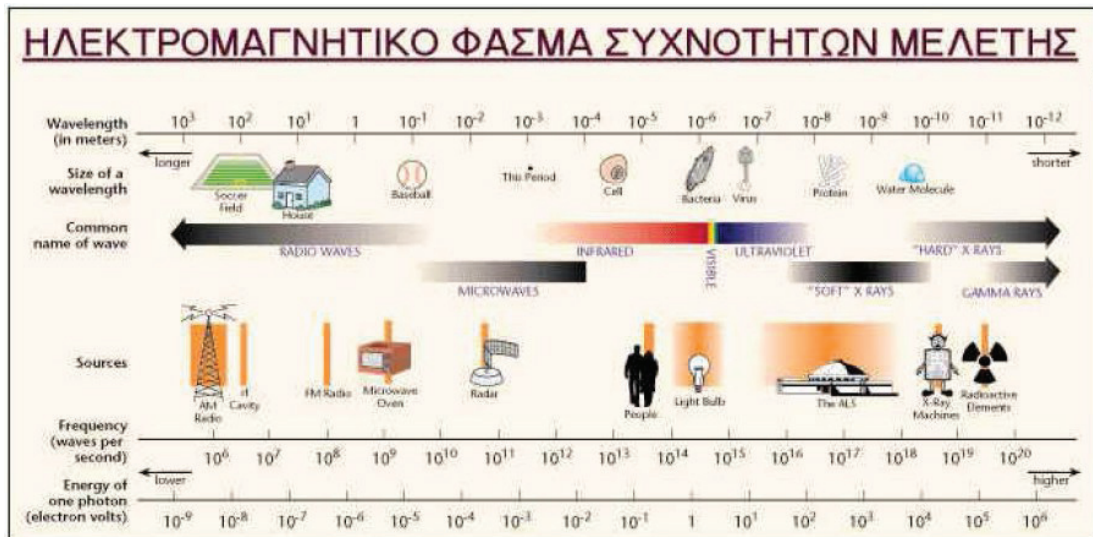
Στον Πίνακα 1.2 αναφέρονται τα βασικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ενός Η/Μ κύματος, καθώς και οι μονάδες μέτρησης τους.

ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Ένταση Ηλεκτρικού πεδίου	E	Volts/meter(V/m)
Ένταση Μαγνητικού πεδίου	B	Tesla(T) ή Gauss(G)
Μήκος Κύματος	λ	Meter (m)
Συχνότητα	ν ή f	Hertz (Hz)
Ισχύς	N	Watt (W)
Πυκνότητα Ισχύος	P ή S	Watt / (meter) <sup>2</sup> (W/m <sup>2</sup> )
Χρόνος	Tα	Second (s)

Πίνακας 1.2 Βασικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ενός Η/Μ κύματος

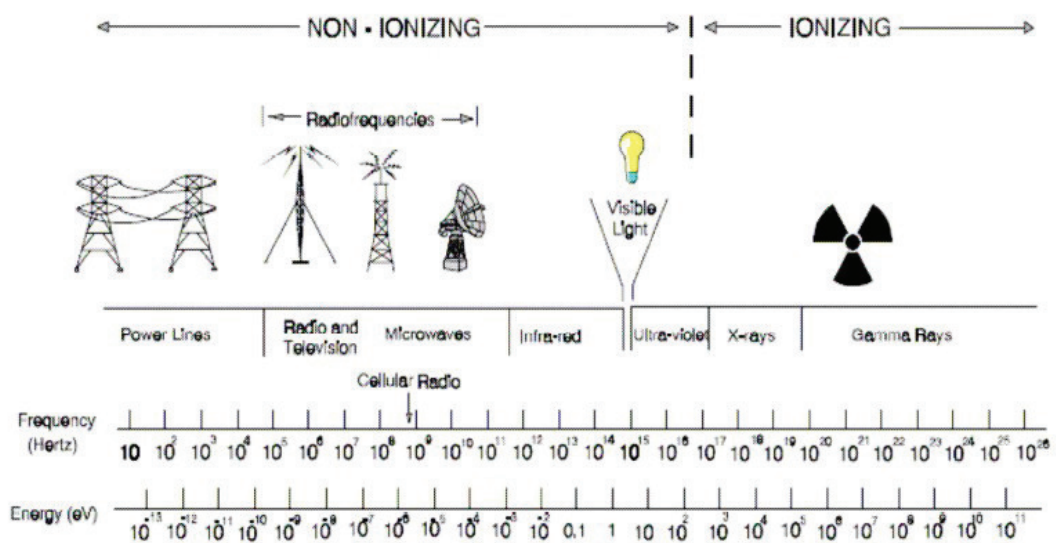
## 1.7 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εμφανίζονται σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων (φάσμα συχνοτήτων), ή μήκος κύματος (Η/Μ φάσμα) το οποίο διαιρείται σε περιοχές (ζώνες συχνοτήτων) ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής ή χρήσης τους. Σε κάθε περιοχή μηκών κύματος αντιστοιχούν διαφορετικοί τύποι ακτινοβολιών που μπορούμε να δούμε στην Εικόνα 1.3.



Εικόνα 1.3 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα Συχνοτήτων

Στην Εικόνα 1.3 διακρίνουμε τις διάφορες πηγές συχνοτήτων ανάλογα με την ονομασία τους και τις τυπικές πηγές εκπομπής τους. Καθώς κινούμαστε προς τα αριστερά της γραφικής παράστασης το μήκος κύματος αυξάνει.



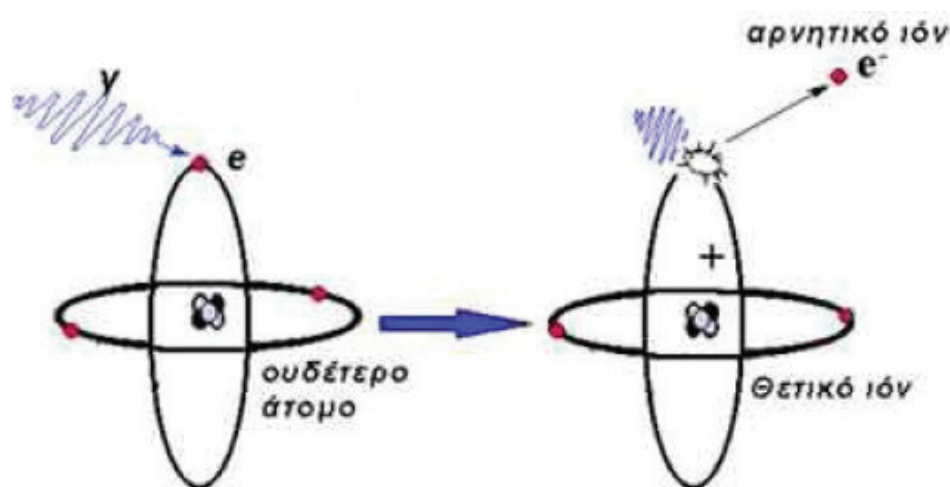
Εικόνα 1.4 Κατηγοριοποίηση της ακτινοβολίας σε ιονίζουσα και μη ιονίζουσα



## 2 ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

### 2.1 Ιονισμός

Ιονισμός του ατόμου είναι η λόγω της δράσης κάποιου εξωτερικού αιτίου, βίαιη απομάκρυνση ενός ή περισσοτέρων ηλεκτρονίων από τις ηλεκτρονικές ατομικές στιβάδες, με αποτέλεσμα την παραγωγή αντίθετα φορτισμένων ιόντων. Τα ιόντα αυτά αφορούν τα ηλεκτρόνια που απομακρύνθηκαν από το άτομο και στα ελλειμματικά σε ηλεκτρόνια θετικά φορτισμένα άτομα που προέκυψαν από την αλληλεπίδραση (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 Ιονισμός ουδέτερου ατόμου από προσβολή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Στην Εικόνα 2.1 παρατίθεται ο ιονισμός ουδέτερου ατόμου από προσβολή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Βίαιη εκδίωξη του ηλεκτρονίου από το άτομο και παραγωγή ζεύγους αντίθετα φορτισμένων ιόντων.

Ο ιονισμός μπορεί να συμβεί είτε από τη σύγκρουση δύο σωματιδίων μεγάλης ταχύτητας (ιονισμός κρούσης) είτε από την απορρόφηση της ενέργειας μιας ακτινοβολίας (ιονισμός "δι' απορροφήσεως ακτινοβολίας"). Το άτομο ή το μόριο και στις δύο περιπτώσεις δέχεται ενέργεια εξωτερική.

Η ενέργεια που απαιτείται, για να αποδεσμευτεί το ηλεκτρόνιο από το άτομο, λέγεται ενέργεια ιονισμού. Αυτό σημαίνει ότι, όταν προσδίνεται σ' ένα άτομο ενέργεια, που μπορεί να απορροφηθεί από τα ηλεκτρόνια και της οποίας η τιμή είναι ίση ή μεγαλύτερη από την ενέργεια ιονισμού των ηλεκτρονίων της εξωτερικής στιβάδας, πρώτα θα απομακρυνθεί ή θα απομακρυνθούν ηλεκτρόνια της εξωτερικής

στιβάδας. Επίσης είναι φανερό γιατί ηλεκτρόνια (ελεύθερα) με μικρή ταχύτητα ή φωτόνια μικρής ενέργειας δεν προκαλούν ιονισμό.

Ο ιονισμός που παρατηρείται στη Γη (φυσικός ιονισμός) είναι μικρής έκτασης και οφείλεται κατά κύριο λόγο στην υπεριώδη ακτινοβολία του Ήλιου. Αντίθετα, σε μεγάλα ύψη από την επιφάνεια της Γης (80 – 400 km) έχουμε έντονα φαινόμενα ιονισμού. Η ζώνη αυτή της ατμόσφαιρας, ονομάζεται ιονόσφαιρα και δέχεται έντονο "βομβαρδισμό" ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών και κοσμικών ακτίνων υψηλής ενέργειας.

Σύμφωνα με το φάσμα συχνοτήτων το φαινόμενο του ιονισμού, χωρίζεται σε ιονίζουσα και μη ιονίζουσα ακτινοβολία των οποίων τις επιδράσεις θα μελετήσουμε παρακάτω.

## **2.2 Ιονίζουσα Ακτινοβολία**

Με τον όρο ιονίζουσα ακτινοβολία, χαρακτηρίζουμε τις ακτινοβολίες, εκείνες, που μεταφέρουν ικανή ενέργεια, ώστε κατά την αλληλεπίδραση τους με την ύλη, να προκαλούν ιονισμό των ατόμων της. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες εκπέμπονται από φυσικές πηγές παραγωγής ακτινοβολιών (φυσικά ραδιοϊσότοπα, η κοσμική ακτινοβολία) ή από τεχνητές πηγές (ακτινολογικές ακτινοβολίες, όπως οι ακτινοβολίες τύπου  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  και νετρονίων που εκπέμπονται από ραδιενεργούς πυρήνες, όπως επίσης και οι ακτίνες X και κάποια υποατομικά σωματίδια που παράγονται τεχνητά ή αποτελούν συνιστώσες της κοσμικής ακτινοβολίας).

Από τις ακτινοβολίες, αυτές, η πιο γνωστή, είναι η ακτινοβολία X που παράγεται στις ακτινολογικές λυχνίες και έχει ευρεία χρήση στην Ιατρική, καθώς και οι  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$  που εκπέμπονται από τους φυσικούς ή τεχνητούς ασταθής πυρήνες των ατόμων κάποιων στοιχείων που ονομάζονται ραδιοϊσότοπα.

## **2.3 Πηγές Ιονίζουσας Ακτινοβολίας**

### **2.3.1 Κοσμική Ακτινοβολία**

Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική αλλά και σωματιδιακή ακτινοβολία υψηλής ενέργειας που φτάνει στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας προερχόμενη κυρίως από τον ήλιο, αλλά και από άλλα ουράνια σώματα. Όταν εισέρχεται στην ατμόσφαιρα, η κοσμική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με πυρήνες ατόμων που βρίσκονται σ' αυτή και προκαλεί δευτερογενώς την παραγωγή άλλων ταχέως κινουμένων σωματιδίων (ηλεκτρόνια, πρωτόνια, νετρόνια, μεσόνια, μίονια κ.λπ.), τα οποία μαζί με την υψηλής ενέργειας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, φτάνουν μέχρι την επιφάνεια της γης. Κατά την αλληλεπίδραση αυτή, κοσμικής ακτινοβολίας και ατμόσφαιρας, παράγονται επίσης ραδιενεργοί πυρήνες ηλίου-3, βηρυλίου-7, άνθρακα-14, νατρίου-22 κ.λπ., οι οποίοι συμβάλλουν και αυτοί στην αύξηση της ραδιενεργού ακτινοβολίας που προσβάλλει τους οργανισμούς και έχει φυσική προέλευση. Πάντως η κοσμική ακτινοβολία καθώς διέρχεται μέσα από τα στρώματα της ατμόσφαιρας απορροφάται σε κάποιο βαθμό από αυτή, η έντασή της μειώνεται σταδιακά και τελικά αυτή που φτάνει στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας είναι εκατοντάδες φορές εξασθενημένη.

### **2.3.2 Ακτινοβολία του Εδάφους**

Η ακτινοβολία από το έδαφος οφείλεται στο φαινόμενο της φυσικής ραδιενέργειας, της αυθόρμητης δηλαδή διάσπασης των ασταθών πυρήνων κάποιων ραδιενεργών στοιχείων, τα οποία αποτελούν συστατικά του φλοιού της Γης. Πρόκειται για τα ραδιενεργά στοιχεία ράδιο, ουράνιο, θόριο, κάλιο, ραδόνιο κ.α., τα οποία συναντάμε στο έδαφος, στο νερό, στον αέρα, στους ζωντανούς οργανισμούς, στις τροφές και στα οικοδομικά υλικά. Η φυσική αυτή ακτινοβολία είναι πιο έντονη σε υπόγειους χώρους όπως είναι τα σπήλαια, τα ορυχεία, αλλά και τα υπόγεια των κτιρίων.



Εικόνα 2.2 Φυσικές πηγές ακτινοβολήσης

### 2.3.3 Ακτίνες Γ

Οι ακτίνες γ λόγω του μικρού μήκους κύματος έχουν μεγάλη διεισδυτικότητα. Όσο μάλιστα αυξάνεται η ενέργειά τους, γίνονται περισσότερο διαπεραστικές ή "σκληρότερες". Είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για τον άνθρωπο γιατί διαπερνούν το σώμα και φθάνουν μέχρι τα ζωτικά όργανα προξενώντας εγκαύματα, καρκίνο ή τον άμεσο θάνατο. Οι ακτίνες γ χρησιμοποιούνται όπως και οι ακτίνες X για ακτινοθεραπεία, για την αποστείρωση τροφών, ιατρικών εργαλείων κλπ. Στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό φυσαλίδων σε χυτά αντικείμενα και για τον έλεγχο των συγκολλήσεων.

### 2.3.4 Ακτίνες X

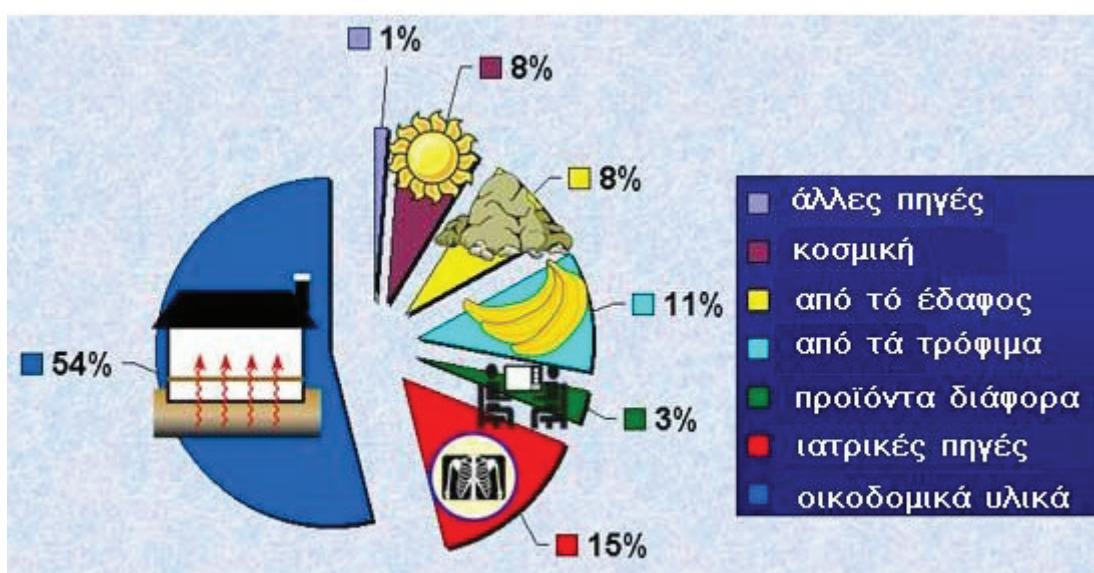
Οι ακτίνες X είναι αόρατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, με μήκος κύματος πολύ μικρότερο από αυτό των ορατών ακτινοβολιών και συγκρίσιμη με τις διαστάσεις των ατόμων. Η ενέργεια που μεταφέρουν οι ακτίνες αυτές είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των υπεριωδών ακτινών, πράγμα που τις κάνει ικανές να διαπερνούν το ανθρώπινο σώμα αλλά και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο είναι αξιοποιήσιμες κυρίως από την ιατρική για διάφορες διαγνώσεις.

Η ακτινοβολία αυτή ανακαλύφθηκε από τον Γερμανό νομπελίστα φυσικό Ρέντγκεν το 1895, και από τότε έχει ευρύτατη αξιοποίηση λόγω της διαφορετικής απορρόφησής της από τους ιστούς ή τα οστά.

Οι ακτίνες X παράγονται κυρίως τεχνητά με κατάλληλες συσκευές (ακτινολογική λυχνία) και η χρήση τους είναι τόσο διαδεδομένη κυρίως στην Ιατρική (ακτινογραφίες, ακτινοσκοπήσεις, αξονική τομογραφία), ώστε υπάρχει ιατρική ειδικότητα, αυτή του ακτινολόγου ιατρού. Μάλιστα οι ακτίνες αυτές, σε συνδυασμό με τις άλλες χρησιμοποιούμενες για ιατρικούς λόγους ιονίζουσες ακτινοβολίες, κατέστησαν αναγκαία την ύπαρξη Ακτινοφυσικών στα διάφορα επιστημονικά εργαστήρια, επιφορτισμένο με πληθώρα υποχρεώσεων, από απλή τήρηση αρχείων έως ερευνητικές δραστηριότητες. Αλλά και στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται οι ακτίνες X, για ανίχνευση κοιλιοτήτων, ραγισμάτων ή άλλων ελαττωμάτων στο εσωτερικό μεταλλικών αντικειμένων. Τέλος, να αναφέρουμε ότι με τη βοήθεια ακτίνων X κοσμικής, φυσικής δηλαδή προέλευσης, ερευνάται ποιοτικά και ποσοτικά η ύπαρξη της περίφημης σκοτεινής ύλης τού Σύμπαντος.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι πράγματι ο πλανήτης μας, και ότι υπάρχει επάνω του ή και μέσα του, βρίσκεται στο έλεος των ακατάπαυστων βομβαρδισμών πάσης φύσεως και πάσης προελεύσεως ακτινοβολιών.

Στην Εικόνα 2.3 που ακολουθεί φαίνεται η συνεισφορά των διαφόρων πηγών στην ιονίζουσα ακτινοβολία.



Εικόνα 2.3 Πηγές ιονίζουσας ακτινοβολίας

### 2.3.5 Υπεριώδης Ακτινοβολία

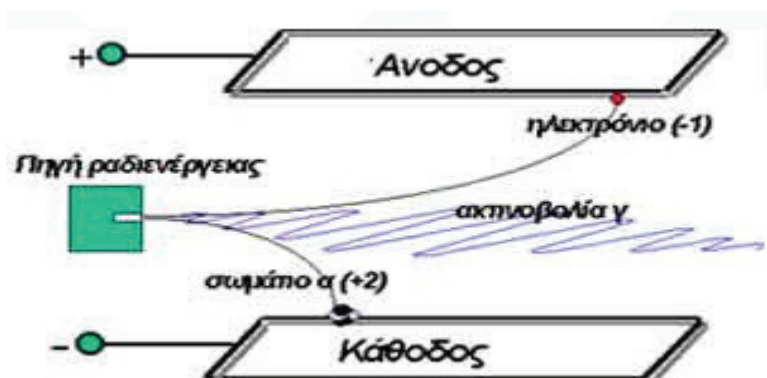
Η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία (UV) αποτελεί ένα μικρό μέρος του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος της Γης. Παρά την μικρή της

ένταση, η υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στον άνθρωπο, όταν αυτός εκτίθεται παρατεταμένα στον ήλιο. Η πλέον συνηθισμένη, ήπιας μορφής, επίπτωση είναι το κοκκίνισμα του δέρματος. Όμως η υπερβολική και για σειρά ετών έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε πιο σοβαρές βλάβες, όπως π.χ. σε γήρανση του δέρματος, καταρράκτη των ματιών, εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος, υπό προϋποθέσεις δε, ακόμη και σε ορισμένες μορφές καρκίνου του δέρματος.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χρησιμοποιείται ευρέως στον επιστημονικό χώρο σε διάφορα πειράματα, καθώς και από αστρονόμους για την παρατήρηση του ηλιακού συστήματος, του γαλαξία μας και άλλων περιοχών του σύμπαντος. Το μήκος κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας εκτείνεται από 50 μέχρι 350 και 400 νανόμετρα.

## 2.4 Χαρακτηριστικές Ιδιότητες Ιονιζουσών Ακτινοβολιών

Τα διάφορα είδη των ακτινοβολιών που προαναφέρθηκαν χαρακτηρίζονται από διαφορετικές μεταξύ τους φυσικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές καθορίζουν και τη συμπεριφορά τους κατά την αλληλεπίδρασή τους με την ύλη και κατ' επέκταση τη σχετική βλαπτικότητά τους όταν αυτές προσβάλλουν τους ανθρώπινους ιστούς. Οι διαφορές αυτές όσον αφορά στο φορτίο και στη μάζα των ακτινοβολιών αυτών δίνονται στην Εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4 Διέλευση μέσα από ομογενές ηλεκτρικό πεδίο της εκπεμπόμενης από ραδιενεργό πηγή ακτινοβολίας. Τα ευκίνητα ταχέα ηλεκτρόνια "β" οδεύουν προς την άνοδο, τα βαριά σωμάτια "α" προς την κάθοδο, ενώ η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία "γ" περνάει ανεπηρέαστη

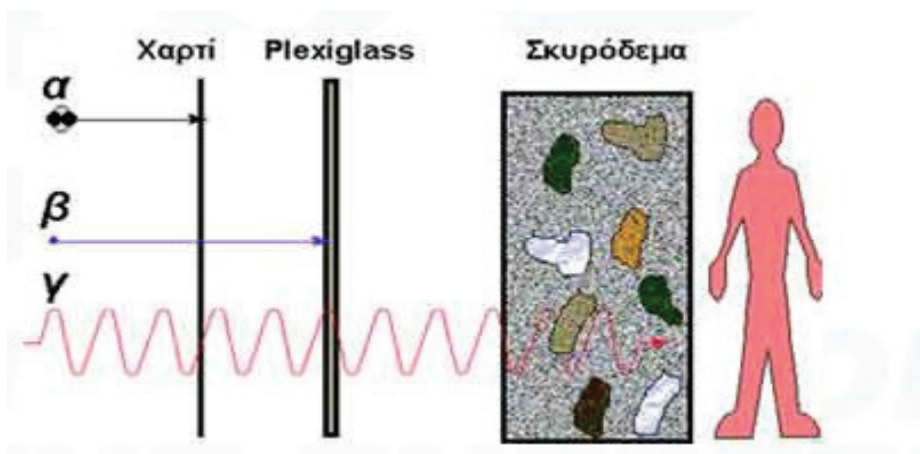
Η διεισδυτικότητα ενός είδους ακτινοβολίας μέσα σε δεδομένο υλικό είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η μάζα και το φορτίο της ακτινοβολίας. Ειδικότερα

και όσον αφορά τη βλαπτικότητα μιας ακτινοβολίας όταν αυτή προσβάλλει ανά ζωντανό κύτταρο, αυτή εξαρτάται τόσο από το ποσό της εναποτιθέμενης στο προσβαλλόμενο κύτταρο ενέργειας όσο και από τον τρόπο εναπόθεσής της σ' αυτόν.

Έτσι, ακτινοβολίες με μικρή εμβέλεια (διεισδυτικότητα) στους ιστούς, εναποθέτουν όλη την ενέργειά τους στο μικρό μήκος διαδρομής τους και δημιουργούν μεγάλη βλάβη στα προσβαλλόμενα κύτταρα λόγω της μεγάλης χωρικής πυκνότητας των αλληλεπιδράσεων.

Αντίθετα, διεισδυτικές ακτινοβολίες με μεγάλη εμβέλεια στους ιστούς, κατανέμουν την ενέργειά τους σε μεγαλύτερο μήκος διαδρομής, κατά την οποία η τοπική πυκνότητα των αλληλεπιδράσεων είναι μικρή και έτσι η βλάβη των προσβαλλόμενων κυττάρων είναι σχετικά μικρότερη.

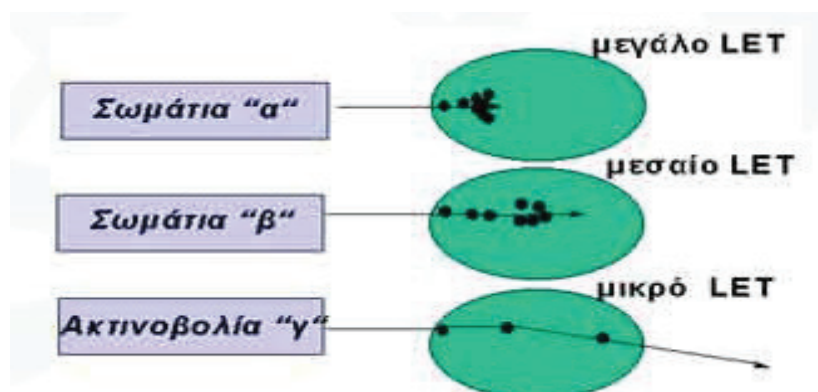
Το φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει τον τρόπο εναπόθεσης της ενέργειας στην ύλη και αποτελεί μέτρο της βλαπτικότητας μιας ακτινοβολίας είναι ο συντελεστής γραμμικής μετάδοσης της ενέργειας LET (Linear Energy Transfer). Ακτινοβολίες με μεγάλο LET είναι βλαπτικότερες από αντίστοιχες με μικρό LET. Ειδικότερα και σε ότι αφορά τις ιδιότητες των ακτινοβολιών με τις οποίες θα ασχοληθούμε στη συνέχεια έχουμε τα ακόλουθα:



Εικόνα 2.5 Διείσδυση της ακτινοβολίας στην ύλη. Τα σωματίδια "α" αποκόπτονται από ένα φύλλο χαρτιού, τα σωματίδια "β" από μερικά χιλιοστά plexiglass ενώ η υψηλής ενέργειας ακτινοβολία "γ" απαιτεί σχετικά μεγάλη πάχη επιλεγμένων υλικών για να αποκοπεί.

- Η ακτινοβολία "α": είναι σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες και μπορεί να παραχθεί σε επιταχυντές σωματιδίων. Το σωματίδιο α είναι σχετικά βαρύ σωματίο διότι αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, (είναι δηλαδή πυρήνας του στοιχείου ηλίου, τέσσερις φορές βαρύτερο του πυρήνα του υδρογόνου), και μεταφέρει σχετικά μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο (+2). Όταν τα σωματίδια α, προσβάλλουν την ύλη, λόγω

των προαναφερθέντων φυσικών ιδιοτήτων τους, επιβραδύνονται έντονα διότι αλληλεπιδρούν με τα ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά και βαρυτικά πεδία που περιβάλλουν τα άτομα, με αποτέλεσμα την άμεση απορρόφησή τους στα πρώτα κίονες ελάχιστη πάχη του υλικού που συναντούν. Η ακτινοβολία "α" χαρακτηρίζεται από υψηλό LET και είναι δυνατόν να αποκοπεί πλήρως από ένα και μόνο λεπτό φύλλο χαρτιού.



**Εικόνα 2.6** Ακτινοβολίες με υψηλό LET προκαλούν σημαντικότερη βλάβη στον προσβαλλόμενο ιστό από τις αντίστοιχες με μικρό LET, διότι εναποθέτουν μεγάλα ποσά ενέργειας στο μικρό μήκος της διαδρομής τους (ιδιαίτερα προς το τέλος της) και αυξάνουν τοπικά την πυκνότητα των ιοντισμών.

- Η ακτινοβολία "β": είναι σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες ή μπορεί να παραχθεί σε επιταχυντές σωματιδίων. Τα σωματίδια β είναι ηλεκτρόνια, με μικρή μάζα (7000 φορές περίπου ελαφρύτερη από αυτήν των σωματίων "α"), και φέρουν μικρό σχετικά ηλεκτρικό φορτίο (+1 ή -1, τα θετικά ηλεκτρόνια καλούνται ποζιτρόνια). Οι φυσικές αυτές ιδιότητες επιτρέπουν στην ακτινοβολία "β" να διεισδύει στην ύλη με μεγαλύτερη ευκολία και να διανύει σημαντικά μεγαλύτερη διαδρομή από ότι η ακτινοβολία "α" και συνεπώς χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλότερο LET. Μερικά χιλιοστά plexiglass είναι ικανά να αποκόψουν την ακτινοβολία "β" (Εικόνα 2.6).
- Η ακτινοβολία "γ": είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) υψηλής ενέργειας, που συνοδεύει τις ραδιενεργές διασπάσεις των πυρήνων. Δεν έχει μάζα και δε μεταφέρει ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι η διέλευσή της μέσα από τα πλέγματα των ατόμων της ύλης δεν παρακωλύεται ενώ η πιθανότητά της να αλληλεπιδράσει με τα ηλεκτρόνια ή τους πυρήνες των ατόμων είναι σχετικά μικρή. Συνεπώς είναι διεισδυτική ακτινοβολία χαμηλού LET και αποκόπτεται δύσκολα. Συνήθως για την προστασία μας από αυτήν κατά τις ιατρικές και



βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιείται μόλυβδος ή σκυρόδεμα το πάχος των οποίων εξαρτάται από την ενέργεια και την ένταση της ακτινοβολίας.

- Η ακτινοβολία "X": είναι και αυτή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) υψηλής ενέργειας, της ίδιας φύσης με την ακτινοβολία "γ", αλλά διαφορετικής προέλευσης. Παράγεται στις ηλεκτρονικές στιβάδες των ατόμων (χαρακτηριστική ατομική ακτινοβολία), ή σε στόχους επιβράδυνσης ταχέως κινουμένων φορτισμένων σωματιδίων (ακτινοβολία πέδησης) σε ειδικές για το σκοπό αυτό διατάξεις (λυχνίες ακτινών X, επιταχυντές σωματίων). Η ακτινοβολία "X" παρουσιάζει τις ίδιες βασικές φυσικές ιδιότητες με την ακτινοβολία "γ" σε ό,τι αφορά τη διεισδυτικότητά της.

## **2.5 Δοσιμετρία Ιονίζουσας Ακτινοβολίας**

Δοσιμετρία είναι ο κλάδος της επιστήμης, που ασχολείται με τις μετρήσεις των ιονιζουσών ακτινοβολιών, και κυρίως, με τον προσδιορισμό της απορροφούμενης δόσης και συγγενών ποσοτήτων, όπως της έκθεσης και του kerma. Η γνώση των δοσιμετρικών στοιχείων είναι απαραίτητη προϋπόθεση στους τομείς, που σχετίζονται με τις ιονίζουσες ακτινοβολίες, όπως π.χ. η ακτινοδιάγνωση, η ακτινοθεραπεία και η ακτινοπροστασία.

Η δοσιμετρία ξεκίνησε από το χώρο των ιατρικών εφαρμογών. Ακόμα και ο όρος 'δόση' είναι δανεισμένος από την Φαρμακολογία. Ο κύριος τομέας εφαρμογής της δοσιμετρίας, παραμένει ο συσχετισμός μεταξύ της ακτινοβολίας και του αποτελέσματος της δράσης της στα βιολογικά συστήματα. Παρ' όλα αυτά, η δοσιμετρία αποτελεί ένα ξεχωριστό κλάδο της Φυσικής, ο οποίος συνεισφέρει σημαντικά σε όλες τις επιστήμες που κάνουν χρήση ιονιζουσών ακτινοβολιών. Η συγγένεια αυτή με άλλους κλάδους επιστημών, έχει συντελέσει σε συχνές παρερμηνείες, ακόμα και βασικών εννοιών της δοσιμετρίας, με επικίνδυνες συνέπειες, σε ορισμένες περιπτώσεις. Τη λύση στο παραπάνω πρόβλημα, έρχεται να δώσει η χρήση της πιο πρόσφατης ορολογίας, που προτείνει η Διεθνής Επιτροπή Μονάδων Ακτινοβολιών και Μετρήσεων (ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements). Πρόκειται για έναν οργανισμό, που ιδρύθηκε το 1925 στο 1<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Συνέδριο Ακτινολογίας.

Στην συνέχεια αναφέρουμε, τους ορισμούς κάποιων φυσικών δοσομετρικών μεγεθών, τα οποία αποσκοπούν στο να διασυνδέσουν το είδος και την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με την πιθανότητα δημιουργίας βλάβης στον προσβαλλόμενο ιστό και γενικότερα την πιθανότητα βλάβης της υγείας του προσβαλλόμενου ατόμου.

### 2.5.1 Απορροφούμενη Δόση

Η απορροφούμενη δόση  $D$  μιας ακτινοβολίας είναι το πηλίκο της μέσης ενέργειας ( $dE$ ), που αποδίδεται σε μια στοιχειώδη μάζα του ακτινοβολούμενου υλικού ( $dm$ ), προς τη μάζα αυτή. Πιο απλά, δόση είναι το φυσικό μέγεθος, που εκφράζει την ποσότητα της ενέργειας που απορροφάται ανά μονάδα μάζας. Μονάδα μέτρησης της απορροφούμενης δόσης είναι το 1 Gray, το οποίο αντιστοιχεί σε απορροφούμενη ενέργεια 1 Joule/kg προσβαλλόμενης ύλης. Για την περιοχή των δόσεων που αφορούν την ακτινοβόληση του ανθρώπου από φυσικές και τεχνητές πηγές (διαγνωστικές εφαρμογές, καταναλωτικά αγαθά κ.λπ.), χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια του Gray, όπως το milligray (mGy – χιλιοστό του Gy) και το microgray ( $\mu$ Gy – εκατομμυριοστό του Gy). Ο τύπος της απορροφούμενης δόσης είναι ο παρακάτω:

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

Δηλαδή η απορροφούμενη δόση  $D$  μιας ακτινοβολίας, γύρω από ένα σημείο, είναι η ενέργεια  $\Delta E$ , η οποία δίνεται από την ακτινοβολία στη μάζα  $\Delta m$  στο σημείο που μας ενδιαφέρει, προς τη μάζα  $\Delta m$ . Η απορροφούμενη δόση εξαρτάται:

- Από τη φύση της ακτινοβολίας
- Από την ένταση της ακτινοβολίας
- Από τη φύση του απορροφητικού υλικού
- Η ενέργεια που απορροφάται και η οποία παρουσιάζεται την πρώτη στιγμή σαν διέγερση του ατόμου ή του πυρήνα δίδεται, αργότερα, σαν ακτινοβολία ή δεσμεύεται σαν δυναμική (χημική) ενέργεια του συστήματος απορρόφησης.

### 2.5.2 Ισοδύναμη Δόση

Η βλάβη που προκαλείται σε έναν ιστό από δεδομένο ποσό απορροφούμενης δόσης, εξαρτάται άμεσα από το είδος της ακτινοβολίας που τον προσβάλλει. Για να αποτιμηθεί η βιολογική βλάβη σε έναν ιστό δεν αρκεί να προσδιοριστεί μόνο το ποσό της απορροφούμενης δόσης αλλά θα πρέπει το ποσό αυτό να πολλαπλασιαστεί με έναν αριθμητικό παράγοντα που να χαρακτηρίζει το LET της προσβάλλουσας ακτινοβολίας και κατ' επέκταση τη σχετική βαρύτητα της βλάβης που προκαλεί στον ιστό. Το νέο μέγεθος που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό ονομάζεται ισοδύναμη δόση.

Η ισοδύναμη δόση είναι το δοσομετρικό μέγεθος, που σχετίζεται με τη βλάβη που μπορεί να προκαλέσει σε έναν ιστό, η απορροφούμενη δόση ενός συγκεκριμένου είδους ακτινοβολίας. Η ισοδύναμη δόση δίνεται από την σχέση:

$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot W_R$$

Όπου:

$D_{T,R}$ : η δόση που απορροφάται στον ιστό από την ακτινοβολία R, και

$W_R$ : ο συντελεστής στάθμισης της ακτινοβολίας ή παράγοντας βαρύτητας της ακτινοβολίας.

Μονάδα μέτρησης της ισοδύναμης δόσης είναι το 1 Sievert(Sv). Για την περιοχή των δόσεων που αφορούν την ακτινοβόληση του ανθρώπου από φυσικές και τεχνητές πηγές που μας περιβάλλουν, χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια του Sv, όπως το millisievert (Msv – χιλιοστό του Sv) και το microsievert ( $\mu$ Sv – εκατομμυριοστό του Sv).

### 2.5.3 Ενεργός Δόση

Οι διαφορετικοί ανθρώπινοι ιστοί παρουσιάζουν διαφορετική σχετική ευαισθησία στην ακτινοβολία, υπό την έννοια ότι και για δεδομένη ισοδύναμη δόση, κάθε άνθρωπος ιστός συμβάλλει με διαφορετική βαρύτητα στον συνολικό κίνδυνο που διατρέχει από την ακτινοβόλησή του η υγεία του ανθρώπου. Αν η ισοδύναμη δόση σε ένα όργανο πολλαπλασιαστεί με έναν παράγοντα που χαρακτηρίζει την ευαισθησία του οργάνου, προκύπτει ένα νέο μέγεθος που συμβάλλει στην αποτίμηση του συνολικού κινδύνου που διατρέχει η υγεία από την ακτινοβόληση του συγκεκριμένου οργάνου. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται ενεργός δόση και αντιστοιχεί

αριθμητικά στην ολοσωματική ισοδύναμη δόση που πρέπει να δεχτεί το προσβληθέν άτομο ώστε να διατρέξει τον ίδιο κίνδυνο βλάβης της υγείας του με αυτόν που διατρέχει από την τοπική ακτινοβολία του οργάνου. Η ενεργός δόση, μας επιτρέπει να αντιλαμβανόμαστε κατά ενιαίο τρόπο το συνολικό κίνδυνο που διατρέχει η υγεία του ανθρώπου.

Η ενεργός δόση είναι το δοσιμετρικό μέγεθος που σχετίζεται με τον ενεχόμενο συνολικό κίνδυνο για την υγεία, ανεξάρτητα από το είδος της προσβάλλουσας ακτινοβολίας, τις συνθήκες ακτινοβολίας και την ακτινοβολούμενη περιοχή του ανθρώπινου σώματος. Η μονάδα μέτρησης της ενεργού δόσεως, είναι το 1 Sievert (Sv).

## **2.6 Βιολογικές Επιδράσεις της Ιονίζουσας Ακτινοβολίας**

Η ιονίζουσα ακτινοβολία, δηλαδή η περιοχή άνω των 300 GHz του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που περιλαμβάνει το ηλιακό φάσμα τις ακτίνες X, γ κ.τ.λ. έχει μελετηθεί, επαρκώς από τους ερευνητές ως προς τις βιολογικές της επιδράσεις. Όλοι οι ενεργοί πολίτες, σήμερα είναι ενήμεροι, για την επικινδυνότητα, της ηλιοθεραπείας, των ακτινογραφιών και της ραδιενέργειας, γενικότερα, έχοντας υποστεί τις συνέπειες ιστορικών καταστροφών, οι οποίες ταλαιπώρησαν και συνεχίζουν να ταλαιπωρούν πολλές περιοχές του πλανήτη μας.

Στην ιονίζουσα ακτινοβολία, η μεταφερόμενη ενέργεια είναι μεγάλη και αυτό προκαλεί το σπάσιμο των δεσμών μεταξύ των μορίων. Το γεγονός αυτό, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο, διότι προκαλεί αλλοιώσεις στο γενετικό κώδικα του DNA. Το DNA αποτελεί το φορέα των κληρονομικών μεταβολών, γι' αυτό και κάθε αλλοίωση της φυσικοχημικής του δομής, οδηγεί σε αλλοίωση των κληρονομικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών των κυττάρων. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες, προκαλούν στα κύτταρα των έμβιων όντων, τις πλέον εκτεταμένες αλλοιώσεις σε κάθε μονάδα εναποτιθέμενης ενέργειας και το κυριότερο φαινόμενο είναι η απορρόφηση της ενέργειας της ακτινοβολίας από μόρια ύδατος, τα οποία και αποτελούν περισσότερο από το 90% του όγκου των κυττάρων.

Το αποτέλεσμα των διάφορων χημικών αντιδράσεων, που συντελούνται στο DNA από την επίδραση της ιονίζουσας ακτινοβολίας είναι η δημιουργία μόνιμων αλλοιώσεων των κληρονομικών χαρακτηριστικών των κυττάρων, οι οποίες σε

επίπεδο οργανισμών μπορούν να εξελιχθούν σε φαινόμενα καρκινογένεσης, μετάλλαξης και θραύσης του μακρομορίου του DNA. Η τελευταία αλλοίωση μπορεί να εξελιχθεί και σε εμφάνιση αλλοιώσεων στα χρωμοσώματα. Στην πορεία των φαινομένων αυτών, παρεμβάλλονται και διάφοροι επιδιορθωτικοί μηχανισμοί των κυττάρων, οι οποίοι όμως δεν είναι σε θέση να αποκαταστήσουν, πλήρως τις καταστροφές από τις διάφορες αλλοιώσεις.

Οι αλλοιώσεις στα χρωμοσώματα, μπορούν να οδηγήσουν στην αναστολή της ικανότητας των κυττάρων. Η απορρόφηση υψηλότερων δόσεων μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες αλλοιώσεις στα κύτταρα και να φτάσουμε τελικά στο θάνατο του κυττάρου. Μία από τις πιο ευαίσθητες λειτουργίες των κυττάρων, στις ακτινοβολίες, είναι ο μηχανισμός της διακίνησης ιόντων καλίου και νατρίου μέσα και έξω από τα κύτταρα. Οι αλλοιώσεις αυτές, όταν είναι αρκετά εκτεταμένες, εμφανίζονται και σε επίπεδο ιστών, όπως στο μυελό των οστών όπου παράγονται τα κύτταρα του αίματος.

Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι υπεύθυνη, για την εμφάνιση διαφόρων μορφών καρκίνου στον ανθρώπινο οργανισμό. Όπως, αναφέραμε και παραπάνω, οι ιονίζουσα ακτινοβολία, προκαλεί αλλοιώσεις και βλάβες στο DNA. Η σύγχρονη γνώση για τον καρκίνο, είναι ότι ξεκινάει με βλάβη στο γενετικό κώδικα (DNA). Οι βλάβες, αυτές, ειδικά όταν ξεπερνούν τα εμπόδια που δημιουργούν οι διάφοροι επιδιορθωτικοί μηχανισμοί που διαθέτει ο γενετικός κώδικας μπορούν πολύ εύκολα να οδηγήσουν σε καρκινογένεση. Οι ακτίνες X, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην Ιατρική και με τις οποίες οι γιατροί φωτογραφίζουν διάφορα μέρη του σώματος (ακτινογραφίες), για την ανίχνευση ασθενειών στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι επικίνδυνες σε μεγάλες δόσεις. Όμως η σωστή και η ελεγχόμενη χρήση τους, βοηθάει στην αναχαίτιση του καρκίνου. Επίσης, οι ακτίνες γ, είναι ακτίνες υψηλής ενέργειας που εκπέμπονται από κάποιο ραδιενεργό στοιχείο. Μπορούν εύκολα να διαπεράσουν τα περισσότερα υλικά και η χρήση τους έχει πολύ έντονες βιολογικές επιδράσεις. Η ιονίζουσα ακτινοβολία, όπως προαναφέραμε έχει καρκινογόνες ιδιότητες, επειδή παράγει το σχηματισμό, χημικά ενεργών ομάδων, όταν απορροφηθεί από μόρια, τα οποία περιβάλλουν το DNA. Οι χημικές αυτές ομάδες, προκαλούν επίσης μεταλλάξεις και μπορούν να σπάσουν το γενετικό κώδικα.

Επίσης, η ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει καρκινογένεση από τις υπεριώδεις ακτίνες του ηλίου. Η έκθεση στο ηλιακό φως και κατά συνέπεια στις

υπεριώδεις ακτίνες, είναι αιτία εμφάνισης καρκίνου του δέρματος και διάφορων άλλων αλλοιώσεων και ρυτίδων στο δέρμα.

Οι συνέπειες που μπορούν να προκαλέσουν οι ιονίζουσες ακτινοβολίες στην υγεία του ανθρώπου μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

A. Στις στοχαστικές συνέπειες που είναι εκείνες οι συνέπειες των οποίων η εμφάνιση χαρακτηρίζεται τυχαία. Η πιθανότητα εκδήλωσης των συνεπειών αυτών, συνδέεται άμεσα με τη δόση της ακτινοβολίας που απορροφάται από τον οργανισμό. Η εκδήλωση τους μπορεί να γίνει πολλές δεκαετίες μετά την έκθεση στην ακτινοβολία. Οι στοχαστικές συνέπειες μπορεί να προκληθούν και από πολύ μικρές δόσεις ακτινοβολίας και είναι :

- Η εμφάνιση καρκίνου. Οι πιο συνηθισμένες μορφές καρκίνου, για τις οποίες υπάρχουν ενδείξεις, ότι μπορούν να προκληθούν από ακτινοβολίες είναι οι λευχαιμία και ο καρκίνος του μαστού, του μυελού των οστών, του πνεύμονα, των οστών, του θυρεοειδούς, του ήπατος, του λεπτού εντέρου και του δέρματος.
- Οι κληρονομικές ανωμαλίες, οι οποίες προκαλούνται από ακτινοβολίες οι οποίες συνδέονται με την πρόκληση αλλοιώσεων στο γενετικό κώδικα και στα χρωμοσώματα. Οι ανωμαλίες αυτές, χαρακτηρίζονται από τοπικές βλάβες στο DNA και δεν είναι ορατές με το μικροσκόπιο και σε διάφορες χρωμοσωμικές ανωμαλίες, οι οποίες δεν επιδιορθώνονται και είναι αόρατες με το μικροσκόπιο. Παράδειγμα τέτοιων βλαβών είναι το σύνδρομο DOWN.

B. Στις μη στοχαστικές συνέπειες, που παρατηρούνται κυρίως σε σχετικά υψηλές δόσεις ακτινοβολίας και η πιθανότητα και ο βαθμός εκδήλωσης τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ηλικία, το βάρος, η γενική κατάσταση του ατόμου αλλά και από τη δυνατότητα και το είδος της περίθαλψης, που θα παρασχεθούν τις πρώτες ημέρες από την έκθεση στην ακτινοβολία. Σε αυτή την κατηγορία συνεπειών κατατάσσονται:

- Το γαστρεντερικό σύνδρομο, που οφείλεται στην καταστροφή των κυττάρων που καλύπτουν το γαστρεντερικό σύστημα, τα οποία αναπαράγονται γρήγορα και για το λόγο αυτό είναι πολύ ευαίσθητα στην ακτινοβολία.
- Η καταστροφή του μυελού των οστών, εμφανίζεται 2-3 ημέρες μετά την έκθεση στην ακτινοβολία. Οι αλλοιώσεις που προκαλεί η ακτινοβολία στο μυελό των οστών, έχουν σοβαρές επιπτώσεις στον αριθμό των κυττάρων του

αίματος και τη λειτουργικότητα του. Σε αυτή την περίπτωση, η μόνη θεραπεία που υπάρχει είναι η μεταμόσχευση μυελού των οστών. Το πρόβλημα είναι όμως ότι ο οργανισμός απορρίπτει τα ξένα κύτταρα.

- Η ακτινική πνευμονίτιδα, η οποία εμφανίζεται με αναπνευστικά προβλήματα και πυρετό. Εκδηλώνεται 5-6 ημέρες από την έκθεση του ατόμου στην ακτινοβολία και προκαλεί καταστροφή στα κύτταρα των πνευμόνων.
- Συνήθως τα άτομα που εκτίθενται σε πολύ μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας, φτάνουν στο θάνατο από την καταστροφή του μυελού των οστών. Υπάρχει όμως οριακή δόση ακτινοβολίας, κάτω από την οποία δεν έχουμε τέτοιου είδους φαινόμενα. Τα άτομα εκείνα, στα οποία εκδηλώθηκαν μη στοχαστικές συνέπειες της ακτινοβολίας και επιβίωσαν, έχουν αυξημένες πιθανότητες να εμφανίσουν αργότερα στην πορεία της ζωής τους, στοχαστικές επιπτώσεις.

### **Επιδράσεις από την Ραδιενέργεια**

Οι πυρηνικές αντιδράσεις παράγουν ταχέως κινούμενα σωματίδια και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υψηλών ενεργειών. Οι αλληλεπιδράσεις τέτοιων εκπομπών με την ύλη είναι δυνητικά επικίνδυνες. Αυτό συμβαίνει γιατί η ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια των πυρηνικών αντιδράσεων μπορεί να διεγείρει μόρια, να σπάσει χημικούς δεσμούς, να αποσπάσει ηλεκτρόνια από άτομα και μόρια. Τα ελεύθερα αυτά ηλεκτρόνια μπορούν τα ίδια με τη σειρά τους να προκαλέσουν μοριακή διέγερση και διασπάσεις δεσμών. Τα χημικά είδη που προκύπτουν από τέτοιες αλληλεπιδράσεις είναι συχνά ιδιαίτερα ενεργά και σχηματίζουν νέα προϊόντα.

Οι διάφορες μορφές ακτινοβολίας εκπέμπονται σε διάφορες ενέργειες και με διαφορετική ισχύ διείσδυσης. Αυτό έχει σαν συνέπεια να διαφέρουν και οι επιδράσεις στο υλικό που θα τις δεχτεί.

Τα σωματίδια α είναι μεγάλα και έχουν μικρή διεισδυτική ισχύ. Δεν εισχωρούν περισσότερο, από μερικά χιλιοστά στο σώμα. Γίνονται όμως πολύ πιο επικίνδυνα αν ληφθούν, με την τροφή εσωτερικά. Είναι αρκετά ασθενή ώστε να μην μπορούν να διαπεράσουν ένα φύλλο χαρτιού.

Τα σωματίδια β, τα οποία είναι μικρότερα μπορούν για παράδειγμα να περάσουν από ένα φύλλο χαρτί, θα τα σταματήσει όμως ένας ζωικός ιστός βάθους 2 cm. Δεν μπορούν να περάσουν αλουμίνιο.

Η ακτινοβολία γ είναι εξαιρετικά διεισδυτική και διαπερνά το ανθρώπινο σώμα. Αποτελεί τον σημαντικότερο κίνδυνο μετά από μία πυρηνική έκρηξη, λόγω της μεγάλης της ενέργειας και σταματά μόνο μπροστά σε ένα παχύ στρώμα μολύβδου. Όλες αυτές είναι ιονίζουσες ακτινοβολίες, βασική επίδραση των οποίων είναι η χημική αλλαγή της ύλης με την οποία αλληλεπιδρούν σε ατομικό και στην περίπτωση της οργανικής ύλης, σε κυτταρικό επίπεδο. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να ανακοπεί η διεργασία της κυτταρικής διαίρεσης ή σε ακραίες περιπτώσεις όπου οι αμυντικοί μηχανισμοί του οργανισμού έχουν καταβληθεί, να εξοντωθεί το κύτταρο.

Η ακτινοβολία σε μεγάλες και σε μικρό διάστημα λαμβανόμενες δόσεις μπορεί να βλάψει ζωτικά όργανα και να προκαλέσει το θάνατο. Τα πυρηνικά όπλα, που χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλες πολεμικές επιχειρήσεις, είχαν αποτελέσματα καταστροφικά, τα οποία έχουν καταχωρηθεί στις μαύρες σελίδες της παγκόσμιας ιστορίας. Οι άνθρωποι που επέζησαν από τις καταστροφές αυτές καθώς και οι επόμενες γενιές, αντιμετώπισαν αξεπέραστα προβλήματα υγείας όπως λευχαιμία, καρκινογενέσεις και οφθαλμολογικά προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά μεταφέρθηκαν και στις επόμενες γενιές και παρατηρούνται ακόμα και σήμερα, φαινόμενα τερατογενέσεων και καρκίνου. Παρόμοιες συνέπειες είχε η χρήση πυρηνικών στον πόλεμο του Περσικού κόλπου καθώς και η έκρηξη που προκλήθηκε στον πυρηνικό αντιδραστήρα στο εργοστάσιο στο Τσερνομπίλ της Ουκρανίας, από την οποία προκλήθηκε και τεράστια περιβαλλοντική μόλυνση, καθώς τεράστια στρώματα ραδιενεργού νέφους γέμισαν τον ουρανό της Ευρώπης δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα στην δημόσια υγεία.





Εικόνα 2.6 Χαρακτηριστικό "μανιτάρι" ατομικής έκρηξης

Η ραδιολογική προστασία ασχολείται κυρίως με τις επιδράσεις σχετικά μικρών δόσεων που απορροφούνται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν αντικείμενο μελέτης της ραδιοβιολογίας. Η ραδιοβιολογία είναι μια πολύ δύσκολη επιστήμη και είναι μεγάλη και διαρκής η προσπάθεια που γίνεται για την επίτευξη διεθνών προτύπων στα μέτρα προστασίας, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη ασφάλεια για το γενικό πληθυσμό αλλά και για τα άτομα εκείνα που εκτίθενται στις ιονίζουσες ακτινοβολίες, εξαιτίας της απασχόλησής τους σε εργασιακούς χώρους που ασχολούνται με την ατομική έρευνα και την πυρηνική βιομηχανία.

Επιπλέον οι επιπτώσεις της ραδιενέργειας στο περιβάλλον θεωρούνται καταστροφικές. Οι διάφοροι τύποι ραδιενεργούς επίπτωσης που πηγάζουν από μια πυρηνική έκρηξη ή από κάποιο ατύχημα σε πυρηνικά εργοστάσια, μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση σε όλα τα συστατικά του οικοσυστήματος (ατμοσφαιρικός αέρας, φυτά, ζώα και έδαφος).

Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι το πρώτο συστατικό του οικοσυστήματος που μολύνεται μετά από πυρηνική έκρηξη ή ατύχημα πυρηνικής εγκατάστασης που έχει σαν αποτέλεσμα τη διαρροή ραδιενεργού υλικού στην ατμόσφαιρα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ο δρόμος με τον οποίο μεταφέρονται τα ραδιενεργά άτομα σε περιοχές μακριά από την πυρηνική έκρηξη ή ατύχημα. Όμως η ραδιενεργός μόλυνση του αέρα

δε διαρκεί πολύ, διότι τα ραδιενεργά υλικά εξαιτίας της βαρύτητας, καταλήγουν σύντομα στο έδαφος και σε ότι βρίσκεται πάνω σε αυτό. Από την θέση αυτή τα ραδιενεργά άτομα ακτινοβολούν τα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο. Η παραμονή των ραδιενεργών ατόμων στην επιφάνεια του εδάφους εξαρτάται από το χρόνο υποδιπλασιασμού τους και την αλληλεπίδραση τους με το έδαφος.

### **Θετικές επιδράσεις από την χρήση της Ιονίζουσας Ακτινοβολίας**

Παρά τα αρνητικά αποτελέσματα από τη χρήση των ιονιζουσών ακτινοβολιών, υπάρχουν και οι θετικές επιδράσεις. Η σωστή χρήση των εφαρμογών τους από τον άνθρωπο, δημιουργεί πολλά οφέλη. Οι θετικές εφαρμογές της ιονίζουσας ακτινοβολίας, χρησιμοποιούνται ευρέως στην επιστήμη και την τεχνολογία.

Μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές των ιονιζουσών ακτινοβολιών είναι στην Ιατρική. Οι ακτίνες X, χρησιμοποιούνται στην Ιατρική, για την απεικόνιση του ανθρώπινου σώματος και αποτελούν μια από τις πολλαπλές βασικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ασθενειών και συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό κακοηθών ασθενειών και καρκινικών όγκων. Η χρήση τους βέβαια εμπεριέχει και κινδύνους για τον ασθενή εξαιτίας της σοβαρής πιθανότητας προσβολής των υγιή κυττάρων, που βρίσκονται κοντά στα “άρρωστα” καρκινικά κύτταρα. Και αυτό γιατί η υψηλή ενέργεια των ακτινών X μπορεί να καταστρέψει υγιή κύτταρα και να προκαλέσει ανεπιθύμητες ενέργειες. Η νέα μέθοδος που τα τελευταία χρόνια διευρύνεται συνεχώς, βασίζεται στην καταστροφή του DNA των καρκινικών κυττάρων και όχι των διπλανών υγιή κυττάρων. Με τον τρόπο αυτό, εμποδίζεται η ανάπτυξη και ο πολλαπλασιασμός τους. Οι επιστήμονες σήμερα βλέποντας τα μειονεκτήματα της θεραπείας με ακτίνες X, αποφάσισαν να υιοθετήσουν τη θεραπεία με χρήση εναλλακτικών δεσμών, όχι από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά από σωματίδια. Η κλινική εφαρμογή της συγκεκριμένης θεραπείας δεν έχει ακόμη εξαπλωθεί και εφαρμόζεται μόνο σε μεγάλα ιατρικά κέντρα της Ευρώπης και της Αμερικής.

Πάμπολλες όμως είναι και οι χρήσεις των ραδιοϊσοτόπων στον τομέα αυτό. Παρά την πολλαπλότητα των προβλημάτων, μπορούμε να διακρίνουμε 2 περιοχές εφαρμογών. Η πρώτη είναι η χρήση των ραδιοϊσοτόπων σαν ιχνηθέτες στη διαγνωστική. Και η δεύτερη είναι η χρήση των ραδιοϊσοτόπων για τη θεραπεία. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται, η εσωτερική και η εξωτερική ακτινοβολία.

Η εξωτερική ακτινοβολία ονομάζεται και ραδιοηλεκτροθεραπεία. Η φιλοσοφία και η χρήση των ιχνηθετών στην Ιατρική είναι η παρακολούθηση μιας αντίδρασης, ή της πορείας μιας αντίδρασης, μέσω της εκπεμπόμενης ραδιενέργειας του κατάλληλου χρησιμοποιούμενου, κάθε φορά, ραδιοϊσοτόπου, που συμμετέχει στην αντίδραση.

Μια άλλη εφαρμογή των ακτινοβολιών στην Ιατρική επιστήμη, είναι αυτή των ακτινών γ. Προκειμένου να γίνει διάγνωση στα πλαίσια της Ιατρικής, χορηγείται μια ραδιοφαρμακευτική ουσία, που περιέχει ραδιενεργό ιχνηθέτη και εκπέμπει ακτίνες γ. Οι ακτίνες αυτές καταγράφονται από ένα σύστημα ανιχνευτών ραδιενέργειας. Η τεχνική αυτή ονομάζεται τομογραφία εκπομπής.

Τέλος μια ακόμη πολύ σημαντική εφαρμογή των ραδιοϊσοτόπων αποτελεί η μαγνητική τομογραφία. Οι μαγνητικές τομογραφίες δείχνουν τη διασπορά του νερού στο ανθρώπινο σώμα και τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται από τα ζωτικά όργανα. Οι σπουδαιότερες εφαρμογές της μαγνητικής τομογραφίας είναι στις απεικονίσεις των εγκεφαλικών παθήσεων και των στεφανιαίων αρτηριών καθώς και στην ορθοπεδική και την αγγειογραφία.

Γενικότερα υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών, των ακτινοβολιών και των ραδιοϊσοτόπων στην Ιατρική επιστήμη και έρευνα, οι οποίες έχουν συμβάλει στην εξάλειψη πολλών ασθενειών αλλά και στην πρόοδο των ερευνών και την εύρεση νέων και αποτελεσματικότερων θεραπειών για πολλές μορφές καρκίνου.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν αντικείμενο μελέτης και έρευνας της Πυρηνικής Φυσικής και της Πυρηνικής Ιατρικής, οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη στις μέρες μας, διότι παρά την αύξηση των περιστατικών καρκίνου, με τις έρευνες και τα πειράματα των επιστημών αυτών, έχει παρουσιάσει μεγάλη ανάπτυξη η ιατρική τεχνολογία, οι πρακτικές έγκαιρης διάγνωσης και οι μέθοδοι θεραπείας.

## 3 ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

### 3.1 Εισαγωγή

Η μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει μεγάλο μήκος κύματος και χαμηλή συχνότητα, ενώ μεταφέρει σχετικά μικρή ενέργεια, η οποία δεν είναι αρκετή για να προκαλέσει ιονισμό, δηλαδή να σπάσει χημικούς δεσμούς στα μόρια των κυττάρων. Δεν συνδέεται με κινδύνους για την υγεία, όπως η ιονίζουσα ακτινοβολία, όμως μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικές, θερμικές ή χημικές επιδράσεις στα κύτταρα όταν δεν τηρούνται τα όρια ασφαλείας.

Οι πιο γνωστές μη ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι η υπέρυθη ακτινοβολία, η υπεριώδης ακτινοβολία, το ορατό φως, τα μικροκύματα, η ακτινοβολία laser, τα ραδιοκύματα, τα εκπεμπόμενα από ηλεκτρικές συσκευές και ηλεκτροφόρα καλώδια ηλεκτρομαγνητικά κύματα, κα.

### 3.2 Πηγές Μη Ιονίζουσας Ακτινοβολίας

#### 3.2.1 Ορατό Φως

Το ορατό φως είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι. Καλύπτει ένα εύρος μηκών κύματος (400 nm έως 700 nm) που “μεταφράζονται”, από το μάτι, στα χρώματα του φωτεινού φάσματος (χρώματα του ουράνιου τόξου). Ο παρακάτω πίνακας δείχνει το χρώμα που βλέπει το ανθρώπινο μάτι ανάλογα με το μήκος κύματος.

Μήκος Κύματος (nanometers)	Χρώμα
340 – 400	Υπεριώδες (δεν είναι ορατό)
400 – 430	Μωβ
430 – 500	Μπλε
500 – 560	Πράσινο
560 – 620	Κίτρινο προς πορτοκαλί
620 – 700	Πορτοκαλί προς κόκκινο
> 700	Σχεδόν υπέρυθρο (δεν είναι ορατό)

Πίνακας 3.1 Αντιστοιχία μήκος κύματος με χρώμα

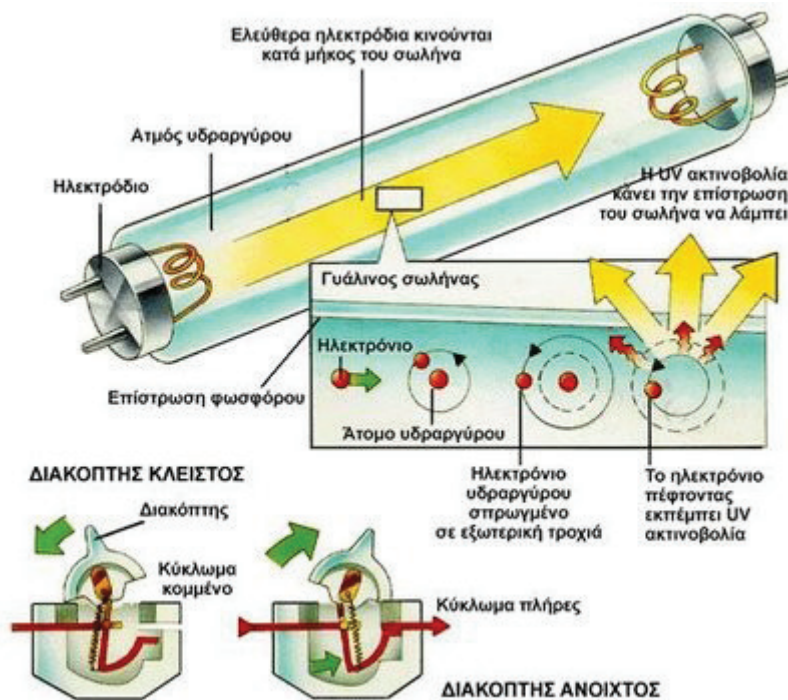
Πηγές της ορατής ακτινοβολίας είναι οι εξής:

### I. Ήλιος:

Η κυριότερη πηγή της ορατής ακτινοβολίας είναι ο ήλιος.

### II. Λάμπες Φθορισμού:

Η λάμπα φθορισμού είναι άλλη μια πηγή ορατού φωτός, αρκετά συνηθισμένη. Αποτελείται από ένα γυάλινο θόλο, που περιέχει φώσφορο και υδράργυρο σε πολύ χαμηλή πίεση, και από ηλεκτρόδια στην άκρη του θόλου. Όταν περνάει ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από τα ηλεκτρόδια (διακόπτης ανοιχτός), δημιουργείται ένα ρεύμα ηλεκτρονίων. Όταν τα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα άτομα του υδραργύρου, διεγείρουν τα ηλεκτρόνια των ατόμων σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες και γίνεται απελευθέρωση ενέργειας με τη μορφή υπεριώδους ακτινοβολίας (UV). Παράλληλα τα άτομα του υδραργύρου επανέρχονται σε μηδενική στάθμη ενέργειας και η υπεριώδης ακτινοβολία παράγει το λευκό φως της λάμπας, διεγείροντας το φώσφορο που υπάρχει στο θόλο.



Εικόνα 3.1 Λαμπτήρας Φθορισμού

### III. LASER (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation)

Μια άλλη πηγή φωτός είναι το laser. Τα λέιζερ παράγουν σύμφωνο, μονοχρωματικό φως (δηλαδή φως με συγκεκριμένο μήκος κύματος – χρώμα) το

οποίο διαδίδεται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, σχηματίζοντας στενές δέσμες. Το ιδιαίτερο στο laser είναι ότι στην πραγματικότητα δεν παράγει φως, αλλά απλώς ενισχύει την ακτινοβολία. Τα laser διακρίνονται ανάλογα με το υλικό το οποίο παράγει την ακτινοβολία, σε:

- Στερεάς κατάστασης: Διακρίνονται σε *κρυστάλλου* τα οποία βρίσκονται σε μορφή δίσκου, ράβδου ή πλάκας (π.χ. YAG, Ruby, YVO, κ.τ.λ.) και σε *υάλου*, (π.χ. BK7, πυριτίου κτλ.) τα οποία βρίσκονται σε μορφή ίνας ή ράβδου.
- Υγρών χρωστικών: Ροδαμίνης 6G, Φλουορεσκεΐνης, Κουμαρίνης, Στιλβενίου, Σκιαδοφερόνης, Τετρακαΐνης, Πράσινου του μαλαχίτη κ.τ.λ.
- Αέριων χρωστικών: Διακρίνονται σε *ηλεκτρικά* (CO<sub>2</sub>, N, Cu, Au) και σε *χημικά* (O<sub>2</sub>, I, H<sub>2</sub>F).

Από το laser κινδυνεύουν κυρίως το δέρμα και τα μάτια.



Εικόνα 3.2 Laser διαφόρων μηκών κύματος

### 3.2.2 Υπέρυθρη Ακτινοβολία (Infrared Radiation – IR)

Οι υπέρυθρες ακτίνες είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα κάτω από την ερυθρή περιοχή του ορατού φωτός. Το μήκος κύματός τους κυμαίνεται από το 1mm έως τα 700 nm όπου ξεκινά το ορατό φως. Η υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπεται από όλα τα σώματα που έχουν κάποια θερμοκρασία. Τα σώματα με τη μεγαλύτερη θερμοκρασία εκπέμπουν περισσότερες υπέρυθρες και αντίστροφα στα σώματα που απορροφούν περισσότερες υπέρυθρες, αυξάνεται η θερμοκρασία τους.

Το δέρμα και τα μάτια απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία ως θερμότητα. Οι άνθρωποι που έχουν εκτεθεί στην υπέρυθρη ακτινοβολία, καταλαβαίνουν την υπερβολική έκθεσή τους σε αυτήν όταν ζεσταίνονται ή πονάνε.

Στις πηγές της υπέρυθρης ακτινοβολίας περιλαμβάνονται οι φούρνοι, οι λαμπτήρες θερμότητας και τα laser IR.

### **3.2.3 Υπεριώδης Ακτινοβολία (Ultraviolet Radiation – UV)**

Υπεριώδης ακτινοβολία ονομάζεται η περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της οποίας το μήκος κύματος στο κενό κυμαίνεται περίπου μεταξύ 400nm και 60 nm.

Υπάρχουν τρία είδη υπεριώδους ακτινοβολίας:

- UV-A: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 315 και 400 nm. Είναι το πιο ακίνδυνο είδος.
- UV-B: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 280 και 315 nm. Αυτή προκαλεί το μαύρισμα, αλλά μπορεί να γίνει επικίνδυνη.
- UV-Γ: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 40 nm και 280 nm. Είναι το πιο επικίνδυνο είδος της υπεριώδους ακτινοβολίας, καθώς με αυτήν έχουν επιτευχθεί εργαστηριακά μεταλλάξεις.

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι ιδιαίτερος επικίνδυνη επειδή δεν υπάρχει κανένα άμεσο σύμπτωμα υπερβολικής έκθεσης. Το δέρμα και τα μάτια, υφίστανται την μεγαλύτερη έκθεση στις υπεριώδεις ακτίνες. Η έκθεση σε αυτή, μπορεί να καταλήξει σε άμεσα και σε χρόνια προβλήματα υγείας του δέρματος, των ματιών και του ανοσοποιητικού συστήματος, καθώς και σε βλάβες στο DNA.

Πηγές της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι ο ήλιος, τα μαύρα φώτα, η οξυγονοκόλληση και τα UV laser.

### **3.2.4 Ακτινοβολία Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency – RF) / Ακτινοβολία Μικροκυμάτων (Microwave – MW)**

Τα μικροκύματα έχουν μήκος κύματος που εκτείνεται από 1 mm μέχρι 100 cm και αντιστοιχεί σε συχνότητες από 0,3 – 300 GHz. Ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε αυτήν την ακτινοβολία στην κατασκευή φούρνων μικροκυμάτων, οι οποίοι μπορούν να θερμάνουν φαγητά, καθώς η ακτινοβολία αυτή απορροφάται από τις τροφές και

τις θερμαίνει. Τα μικροκύματα είναι ένα μέρος μιας μεγαλύτερης κατηγορίας ακτινοβολίας, των ραδιοκυμάτων.

Τα ραδιοκύματα εκπέμπονται από τη Γη, τα κτήρια, τα αυτοκίνητα κι άλλα μεγάλα σε μέγεθος αντικείμενα. Έχουν μήκος κύματος, που εκτείνεται σε μια αρκετά μεγάλη περιοχή, από 1 cm έως δεκάδες και εκατοντάδες μέτρα και συχνότητα από 3Hz μέχρι 300 GHz. Πάνω στα ραδιοκύματα έχει βασιστεί η λειτουργία των ραντάρ τα οποία ανιχνεύουν την παρουσία και την κίνηση σωμάτων που εκπέμπουν αυτού του τύπου την ακτινοβολία. Επίσης, τα ραδιοκύματα είναι ευρέως γνωστά για την ικανότητά τους να μεταφέρουν ραδιοφωνικά σήματα και σήματα τηλεόρασης..

Η ακτινοβολία μικροκυμάτων (MW) απορροφάται κοντά στο δέρμα, ενώ η ακτινοβολία RF μπορεί να απορροφηθεί από όλο το σώμα. Σε αρκετά υψηλές εντάσεις και οι δύο ακτινοβολίες βλάπτουν τους ιστούς εξ' αιτίας της θέρμανσης τους. Οι πηγές ακτινοβολίας RF και MW περιλαμβάνουν τις κεραίες των ραδιοφωνικών κυμάτων, τα πολιτικά και στρατιωτικά radars, τα κυβελωτά κινητά τηλέφωνα και τους σταθμούς κινητής τηλεφωνίας (900 και 1800 MHz).

### **3.2.5 Ακτινοβολία Εξαιρετικά Χαμηλής Συχνότητας (Extremely Low Frequency Radiation – ELF)**

Στην περιοχή ELF ανήκουν οι ακτινοβολίες με συχνότητες από 3 Hz μέχρι 300Hz. Μεταξύ αυτών, περιλαμβάνεται η συχνότητα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας (50 Hz) με την οποία λειτουργούν όλες οι οικιακές συσκευές. Οι κοινές πηγές έντονης έκθεσης σε αυτή την ακτινοβολία περιλαμβάνουν τους κλιβάνους επαγωγής και τα υψηλής τάσεως ηλεκτροφόρα καλώδια.

## **3.3 Βιολογική Δράση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων**

Όταν τα Η/Μ κύματα συναντούν ένα εμπόδιο τότε μπορεί μέρος αυτών να ανακλαστεί να διαθλαστεί, να διαδοθεί μέσω του αντικειμένου η να απορροφηθεί από το αντικείμενο. Ποια από όλες αυτές τις διαδικασίες θα επικρατήσει και σε τι ποσοστό εξαρτάται από τη συχνότητα του Η/Μ κύματος, τη γωνία πρόσπτωσης, από το πόσο καλός αγωγός του ηλεκτρισμού είναι το αντικείμενο και ακόμη από το σχήμα του αντικειμένου. Στο σώμα του ανθρώπου, που έχει μέτρια αγωγιμότητα, μπορεί να



συμβούν όλα τα παραπάνω. Κατά πόσο θα προκύψουν κάποια βιολογικά αποτελέσματα και αν αυτά είναι επιβλαβή για την υγεία μας εξαρτάται από τις συνθήκες έκθεσης (συχνότητα πυκνότητα ισχύος δηλ. «ένταση πεδίου», είδος κυματομορφής, διάρκεια έκθεσης κ.λπ.) καθώς επίσης και από ορισμένους βιολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Τα Η/Μ κύματα διαπερνούν τους εκτεθειμένους ιστούς, σε βάθος που εξαρτάται από τη συχνότητά τους. Η ενέργειά τους απορροφάται από το σώμα και μπορεί να προκαλέσει διέγερση των κυττάρων του νευρικού και μυϊκού ιστού ή μπορεί να προκληθεί θέρμανση του σώματος ή των οργάνων. Όλες οι καθιερωμένες επιπτώσεις στην υγεία λόγω της έκθεσης σε Η/Μ κύματα, συσχετίζονται με την επαγωγή ηλεκτρικών ρευμάτων στο σώμα του ατόμου που είναι εκτεθειμένο και γενικότερα με την απορρόφηση ενέργειας. Ο τρόπος με τον οποίο τα Η/Μ κύματα προκαλούν τις οποιοσδήποτε επιδράσεις στους ζωντανούς ιστούς είναι ακόμη αντικείμενο έρευνας.

### **3.3.1 Θερμικές Επιδράσεις**

Θερμικές ονομάζονται οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οι οποίες οφείλονται σε μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία. Οι βλάβες στον οργανισμό, δημιουργούνται από τη θέρμανση των ακτινοβολούμενων ιστών και από την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διαφόρων ιστών να την αντιμετωπίσουν. Παρατηρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται από πυκνότητες ισχύος μεγαλύτερες του  $1 \text{ mW/cm}^2$ . Οι θερμικές επιδράσεις μελετώνται κυρίως στις δυτικές χώρες.

Όπως έχει προαναφερθεί, το μέγεθος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε ένα σημείο ή σε μια περιοχή, είναι η πυκνότητα ισχύος και εκφράζεται συνήθως σε  $\text{mW/cm}^2$ . Η πυκνότητα ισχύος, όμως, μας πληροφορεί έμμεσα μόνο για την ποσότητα ενέργειας που θα απορροφήσει το σώμα μας, όταν βρεθεί στο ακτινοβολούμενο σημείο. Ουσιαστικά είναι ένα μέτρο των συνθηκών που επικρατούν σε ένα σημείο, πριν βρεθούμε σε αυτό. Το σώμα μας, όμως, θα απορροφήσει ένα μέρος μόνο της ενέργειας αυτής και όχι απαραίτητα ομοιόμορφα.

Η μέση τιμή της ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων που απορροφάται από τους ιστούς του ανθρώπινου σώματος, εκφράζεται από το δοσομετρικό όρο Specific

Absorption Rate (SAR). Ουσιαστικά ο SAR εκφράζει την ισχύ που απορροφάται ανά μονάδα βάρους σώματος, με μονάδα μέτρησης τα W/kg, όπου:

$$SAR = (J^2 / 2) \cdot \sigma \cdot \rho$$

ή

$$SAR = E_i^2 \cdot (\sigma / 2) \cdot \rho$$

όπου,

J: η μέγιστη πυκνότητα ρεύματος (A/m<sup>2</sup>)

E<sub>i</sub>: η μέγιστη ισχύς του εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου (V/m)

σ: η ηλεκτρική αγωγιμότητα του ιστού (S/m)

ρ: η φυσική πυκνότητα (kg/m<sup>3</sup>)

Στην ενότητα 3.5, γίνεται εκτενέστερη αναφορά στο ρυθμό απορρόφησης και τη φυσική του σημασία.

Λόγω της παρουσίας νερού και ιόντων, οι ιστοί απορροφούν ενέργεια. Όπως όλοι γνωρίζουμε, το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από 70% νερό. Το μόριο του νερού (H<sub>2</sub>O) αποτελεί ένα ηλεκτρικό δίπολο. Έτσι λοιπόν όταν το σώμα μας βρεθεί μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο τα μόρια του νερού, θα αρχίσουν να περιστρέφονται ή να πάλλονται στο ρυθμό συχνότητας του κύματος. Όσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα του παλμού και η διάρκεια του φαινομένου, τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας θα παραχθούν.

Ο οργανισμός του ανθρώπου διαθέτει θερμορυθμιστικούς μηχανισμούς που κρατούν τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή μεταξύ 36 και 37 βαθμών Κελσίου. Όταν τα παραγόμενα ποσά θερμότητας είναι σχετικά μικρά, οι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί μπορούν να απάγουν αυτήν τη θερμότητα και να κρατούν σταθερή τη θερμοκρασία στους 36 – 37 °C. Αντίθετα, όταν τα ποσά θερμότητας υπερβούν κάποια τιμή, τότε οι μηχανισμοί αυτοί δεν μπορούν να λειτουργήσουν σωστά κάτι που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας σε ιστούς ή όργανα του σώματος άνω των 37 °C. Επίσης είναι ευνόητο ότι αυτοί οι μηχανισμοί θα ανταποκριθούν αποτελεσματικότερα υπό ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες (όχι πολύ υψηλή θερμοκρασία και υγρασία, ελαφρά ενδυμασία, κλπ). Υπό αυτές τις συνθήκες, ένα υγιές άτομο εκτεθειμένο σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, μπορεί να αντιμετωπίσει SAR μέχρι 4 W/kg (κατά μέσο όρο σε όλο του το σώμα), χωρίς να σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας του πάνω από ένα βαθμό.

### **3.3.2 Αθέρμικες Επιδράσεις**

Οι αθέρμικες επιδράσεις προκαλούνται από μικρές πυκνότητες ισχύος (της τάξης των  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) και δεν παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών. Η δράση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με το ανθρώπινο σώμα μπορεί να προκαλέσει τη διέγερση κυττάρων του νευρικού και μυϊκού ιστού, τα οποία ανταποκρίνονται σε ηλεκτρικά ερεθίσματα. Αυτά τα ηλεκτρικά ερεθίσματα, προέρχονται από τα επαγόμενα στο σώμα ηλεκτρικά ρεύματα.

Οι αθέρμικες επιδράσεις, συμβαίνουν συνήθως για συχνότητες πεδίων κάτω των 10 MHz. Ωστόσο, αθέρμικες επιδράσεις μπορεί να υπάρξουν και σε υψηλότερες συχνότητες. Για να φτάσουμε στο κατώφλι διεγέρσεως των κυττάρων απαιτούνται πολύ ισχυρά πεδία. Έχουν όμως παρατηρηθεί, ορισμένα πειραματικά αποτελέσματα, που προκύπτουν χωρίς την ύπαρξη σημαντικών αλλαγών στη θερμοκρασία και για τιμές πεδίων κάτω από το κατώφλι διεγέρσεως. Τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να αποδοθούν σε μη θερμικούς μηχανισμούς σε μοριακό επίπεδο.

Σύμφωνα με τις μέχρι τώρα επιστημονικές γνώσεις, δεν είναι σαφής ο τρόπος με τον οποίο οι αθέρμικες επιδράσεις αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Παρόλα αυτά, έχει προταθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ότι πρέπει να γίνει έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή, διότι μόνο με βάση τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την έρευνα αυτή μπορεί να θεσπιστούν όρια ασφαλείας για τις αθέρμικες επιδράσεις. Σε αντίθεση με τις δυτικές χώρες, οι επιστήμονες των ανατολικών χωρών ανίχνευαν τις αθέρμικες επιδράσεις, ακόμα και πριν τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Αυτός είναι και ο λόγος της μεγάλης διαφοράς μεταξύ των ορίων επικινδυνότητας Ανατολής – Δύσης.

### **3.4 Βιολογικές Επιδράσεις Μη Ιονίζουσας Ακτινοβολίας**

Επειδή δεν υπάρχει ικανός αριθμός και ομοιομορφία στην οργάνωση των υφιστάμενων επιδημιολογικών ερευνών, οι απόψεις για της βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο δίστανται. Φυσικά, είναι κατανοητό ότι δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν πειράματα σε ανθρώπους, όμως υπάρχει πλήθος βιβλιογραφικών αναφορών για τέτοια πειράματα σε πειραματόζωα. Παρόλο που η άμεση γενίκευση των παρατηρήσεων αυτών στον άνθρωπο δεν είναι επιτρεπτή

λόγω των ανατομικών, φυσιολογικών και άλλων διαφορών που υπάρχουν, θεωρούμε χρήσιμη την αναφορά των σπουδαιότερων από αυτών.

### **Επιδράσεις στους οφθαλμούς**

Η έρευνα για καταρακτογένεση, αφορά απλές ή πολλαπλές οξείες εκθέσεις σε ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες, με πυκνότητα ισχύος  $80 - 500 \text{ mW/cm}^2$ . Έχει παρατηρηθεί θόλωση του φακού του ματιού, σε πειραματόζωα τα οποία δέχθηκαν ακτινοβολία τοπικά με συχνότητες ισχύος μεγαλύτερες από  $100 \text{ mW/cm}^2$ .

Μικρότερες τιμές της πυκνότητας ακτινοβολίας, δεν προκαλούν οποιοδήποτε φαινόμενο στους οφθαλμούς. Αξίζει να σημειωθεί πως η έκθεση ολόκληρου του σώματος σε παρόμοιες τιμές πυκνότητας ισχύος, θα ήταν θανατηφόρα. Επίσης, έχουν αναφερθεί οφθαλμικές μεταβολές οφειλόμενες στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για χαμηλές πυκνότητες ισχύος,  $7 - 13 \text{ mW/cm}^2 - 2,45 \text{ GHz}$ , πάντα σε πειραματόζωα, για περιόδους έκθεσης 8 ωρών ανά ημέρα, 5 ημέρες ανά εβδομάδα και για 7 - 18 εβδομάδες.

### **Ακουστικό Φαινόμενο**

Όταν ο άνθρωπος βρεθεί κοντά σε μία πηγή που εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαμορφωμένη κατά παλμούς, τότε έχει την αίσθηση ότι ακούει ήχο που μπορεί να τον αντιλαμβάνεται σαν βόμβο ή κρότο. Σύμφωνα με τη μέχρι τώρα γνώση, η ερμηνεία των μικροκυματικών ακουσμάτων είναι ότι οι μικροκυματικοί παλμοί δημιουργούν απότομη μικρή αύξηση της θερμοκρασίας του εγκεφάλου, η οποία δημιουργεί ένα κύμα πίεσης το οποίο διεγείρει το ακουστικό νεύρο και δημιουργεί την αίσθηση του ήχου. Η συχνότητα του ακουστικού σήματος είναι ίδια με εκείνη των μικροκυματικών παλμών. Το παραπάνω φαινόμενο είναι αντιπροσωπευτικό των μικροκυματικών επιδράσεων χαμηλής ισχύος και θεωρείται περισσότερο ως φαινόμενο παρά ως κίνδυνος για την υγεία.

### **Εκροή Ασβεστίου**

Έχει παρατηρηθεί αυξημένη εκροή ιόντων ασβεστίου  $^{45}\text{Ca}^{2+}$  σε απομονωμένους εγκεφαλικούς αλλά και καρδιακούς ιστούς πειραματόζωων που εκτέθηκαν σε ημιτονοειδή διαμορφωμένα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Τα ιόντα ασβεστίου είναι εξαιρετικής σημασίας για την μεταφορική σύζευξη μιας μεγάλης γκάμας

ανοσολογικών, ενδοκρινολογικών και νευρολογικών φαινομένων στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης των κυττάρων. Το φαινόμενο εξαρτάται ισχυρά από την συχνότητα διαμόρφωσης και την πυκνότητα ισχύος της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η εκροή ιόντων ασβεστίου από τους ιστούς, είναι από τις σημαντικότερες βιολογικές επιδράσεις των ραδιοκυμάτων λόγω των χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος που απαιτούνται και χρειάζεται περαιτέρω μελέτη ιδιαίτερα στις περιοχές των ιδιοσυχοτήτων των κρανιακών κοιλιοτήτων, όπου η παρεχόμενη ενέργεια (κυρίως του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος) στα κύτταρα είναι αυξημένη.

### **Φαινόμενα συνεργίας με φάρμακα**

Έχει αναφερθεί συνεργιστική δράση παλμικής μικροκυματικής ακτινοβολίας με ψυχοφάρμακα σε ποντικούς. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε διαφορά στην αντίδραση στην ίδια δόση του φαρμάκου, όταν τα πειραματόζωα ακτινοβολούνταν με  $1\text{mW/cm}^2$ . Το φαινόμενο απαιτεί περαιτέρω εξέταση γιατί οι έρευνες στον τομέα αυτό είναι ανεπαρκείς.

### **Επιδράσεις στη συμπεριφορά**

Η αλλαγή συμπεριφοράς πειραματόζωων (αλλαγή ποσοστού προσλαμβανόμενης τροφής και παραγόμενου έργου) που εκτέθηκαν σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, είναι το φαινόμενο που παρουσιάζεται στις χαμηλότερες τιμές κατωφλίων από όλες τις υπόλοιπες βιολογικές επιδράσεις των ραδιοκυμάτων. Τα όρια αυτά σε γενικές γραμμές έχουν τιμές  $4 - 8\text{ W/kg}$ , ανεξάρτητα από τη συχνότητα, τη μέση ισχύ, τη διαμόρφωση ή τον τρόπο με τον οποίο έγινε η έκθεση.

### **Γενετικές και αναπτυξιακές ανωμαλίες**

Οι γενετικές και αναπτυξιακές ανωμαλίες δεν είναι ξεκάθαρο αν δημιουργούνται για  $\text{SAR} < 1\text{ W/kg}$ . Για παράδειγμα, πρέπει να αναφερθεί ότι έχει παρατηρηθεί αλλαγή 10% στον ρυθμό ανάπτυξης κάποιων ποικιλιών δημητριακών που εκτίθονταν σε ακτινοβολία 41,65 – 41,825 GHz χωρίς να δίνεται αντίστοιχη τιμή του SAR.

Κάποιες δημοσιεύσεις αναφέρονται σε επιδράσεις στην ενδομήτρια ανάπτυξη των εμβρύων αλλά και στην μετά τον τοκετό ανάπτυξη των παιδιών των οποίων οι μητέρες εκτέθηκαν σε υψηλές τιμές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι επιδράσεις

αυτές οφείλονται στην τοπική άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος της μητέρας λόγω της απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και της υπέρβασης των ορίων για τις μέγιστες επιτρεπτές τιμές του SAR. Τέλος, λόγω υπερβολικής τοπικής θέρμανσης, εξηγήθηκαν και οι δυσλειτουργίες που παρατηρήθηκαν στους όρχεις.

### **Βιολογικές αλληλεπιδράσεις από χρόνια ηλεκτρομαγνητική έκθεση**

Στην περίπτωση αυτή είναι ανεπαρκής η έρευνα λόγω κόστους αλλά και λόγω δυσκολίας στην αδιαμφισβήτητη εκλογή των σωστών παραμέτρων για χρόνια έκθεση. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα των έως τώρα μελετών και πειραμάτων συμφωνούν στη διατύπωση ότι δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες στατιστικές μεταβολές από τις μέσες τιμές στην πρόσληψη τροφής και νερού ή την κινητικότητα των πειραματόζωων, δεν μεταβλήθηκαν συνολικά τα αιματολογικά χαρακτηριστικά τους και ούτε βρέθηκαν υπό κατάσταση στρες. Αλλαγή στην συμπεριφορά παρουσιαζόταν μόνο αμέσως μετά την παύση της έκθεσης στην ακτινοβολία και αυτό ερμηνεύτηκε ως προσπάθεια αντιμετώπισης της διαφοράς στο θερμικό φορτίο.

### **Πειράματα εξομίωσης του ανθρώπινου οργανισμού**

Έχουν γίνει προσπάθειες από ερευνητές για θεωρητικό υπολογισμό του SAR, χρησιμοποιώντας απλά μοντέλα που εξομοιώνουν είτε το ανθρώπινο κεφάλι, είτε ολόκληρο το σώμα. Στα στατιστικά ηλεκτρομαγνητικά μοντέλα τα οποία αναπτύχθηκαν, βρέθηκε η κατανομή του SAR σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος. Το αποτέλεσμα αυτών των αναλύσεων, έδειξε ότι η προβλεπόμενη τιμή του SAR υπερβαίνει την μέση επιτρεπτή τιμή όλου του σώματος.

Αλληλεπιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχουν επίσης αναφερθεί στο νευρικό και ανοσοποιητικό σύστημα, στον αιματοεγκεφαλικό φραγμό και το αιματοποιητικό σύστημα. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι αλληλεπιδράσεις με τους βιολογικούς οργανισμούς παρατηρούνται για εντάσεις πεδίου που προκαλούν τιμές του SAR, πολύ υψηλότερες από τα όρια ασφαλείας.

### 3.5 Ρυθμός Απορρόφησης Ενέργειας – SAR

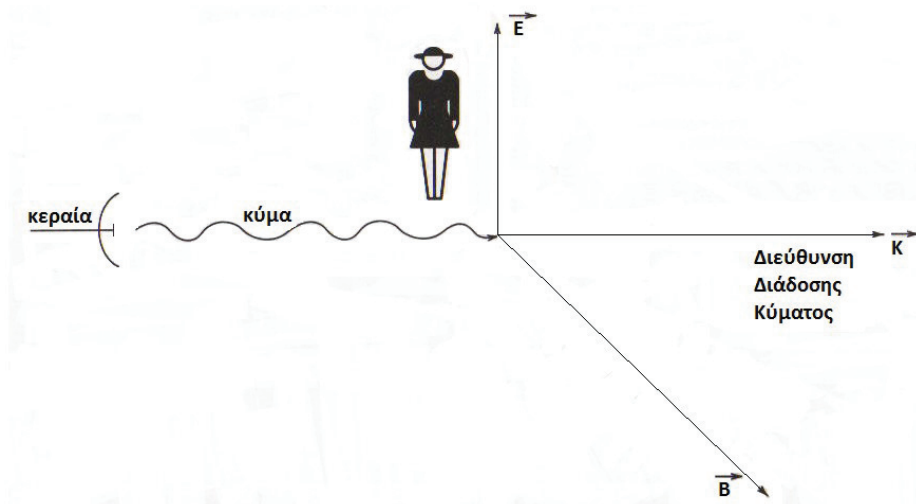
Οι οποιοσδήποτε επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην υγεία του ανθρώπου εξαρτώνται από το βαθμό απορρόφησής τους από τους διάφορους ιστούς του σώματος. Οι μηχανισμοί μεταφοράς ενέργειας από ένα κύμα σ' ένα ζωικό ιστό είναι οι εξής:

- Διέγερση των ελεύθερων ηλεκτρονίων των ατόμων.
- Εξαναγκασμένη πόλωση των ατόμων και μορίων των ιστών από το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος.
- Ευθυγράμμιση των υπαρχόντων δίπολων ατόμων η μορίων με το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος.

Όλοι οι παραπάνω μηχανισμοί έχουν ως τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του ιστού.

Για τη μελέτη των επιδράσεων των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στους ιστούς εισήχθη το μέγεθος Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης (SAR - Specific Absorption Rate), όπως έχει ήδη αναφερθεί και προηγουμένως στην Ενότητα 3.3 . Ο SAR είναι το μέτρο της απορροφούμενης, από έναν οργανισμό, ενέργειας και ορίζεται ως το ποσό της κυματικής ενέργειας που απορροφά η μονάδα μάζας ενός ιστού στη μονάδα του χρόνου. Συνήθως εκφράζεται σε Watts ανά kg (W/kg). Ο SAR είναι διαφορετικός για το κάθε είδος ιστού και εξαρτάται επίσης από τη συχνότητα του κύματος και τον προσανατολισμό του σώματος σε σχέση με τη διεύθυνση του ηλεκτρικού (E) και του μαγνητικού (B) πεδίου κύματος. Διακρίνονται οι εξής τρεις περιπτώσεις:

- I. Προσανατολισμός E του σώματος, όταν το κύμα πέφτει με το ηλεκτρικό πεδίο παράλληλο με το μεγάλο άξονα του σώματος (που συνδέει την κεφαλή με τα πόδια, όπως στην Εικόνα 3.3).
- II. Προσανατολισμός B του σώματος όταν το κύμα προσεγγίζει με το μαγνητικό πεδίο παράλληλο με το μεγάλο άξονα του σώματος
- III. Προσανατολισμός K του σώματος, όταν η διεύθυνση διάδοσης του κύματος είναι παράλληλη με το μεγάλο άξονα του σώματος.



**Εικόνα 3.3 Καθορισμός των δυνατών προσανατολισμών του ανθρώπινου σώματος σε σχέση με τα πεδία E, B και τη διεύθυνση διάδοσης επίπεδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος.**

Θεωρητικές μελέτες αλλά και πειράματα σε ανθρώπους έδειξαν ότι ο SAR παίρνει τη μέγιστη τιμή του όταν ο μεγάλος άξονας του σώματος είναι παράλληλος προς το E (προσανατολισμός E) και έχει μήκος (ύψος ανθρώπου) ίσο με τα 4/10 του μήκους κύματος της ακτινοβολίας. Έτσι, ένας άνθρωπος βάρους π.χ. 70 kg και ύψους 1,75 m, εκτεθειμένος σε επίπεδο κύμα με προσανατολισμό E, θα απορροφά μέγιστη ενέργεια στη συχνότητα των 70MHz, εφόσον βρίσκεται μετέωρος ή πατάει σε απόλυτα μονωμένο έδαφος. Αν πατάει σε αγωγίμο έδαφος (κατά συνέπεια μεταβάλλεται το «ενεργό» μήκος του μεγάλου άξονα), η συχνότητα μέγιστου SAR μειώνεται στα 35MHz. Για ένα ζωικό ιστό πυκνότητας  $\rho$  (gr/cm<sup>3</sup>) και ειδικής θερμότητας C (cal/gr · grad), ο SAR υπολογίζεται, για μια ορισμένη συχνότητα και προσανατολισμό, από τη σχέση:

$$SAR = 4,166 \rho C \Delta T / \Delta t \text{ (Watts/cm}^3\text{)},$$

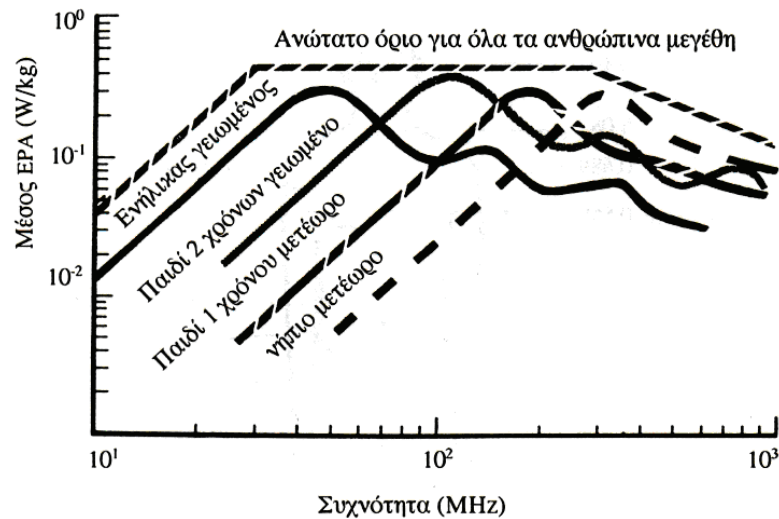
αφού μετρηθεί ο χρόνος ακτινοβολήσης  $\Delta t$  (sec) και η αύξηση της θερμοκρασίας του ιστού  $\Delta T$  σε βαθμούς Celsius (grad).

Στην Εικόνα 3.4 φαίνεται ο μέσος SAR για γειωμένο ενήλικα και παιδιά διαφόρων ηλικιών, σε συνάρτηση της συχνότητας. Επίσης, φαίνονται και τα όρια μέγιστης δυνατής απορρόφησης κυματικής ενέργειας για όλα τα ανθρώπινα μεγέθη (προσανατολισμός E).

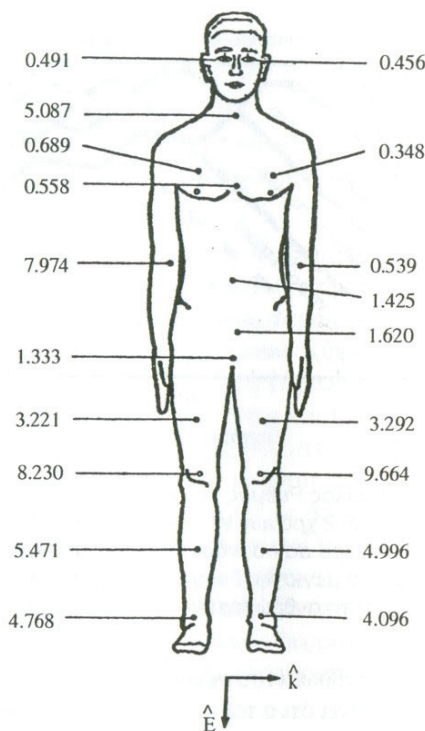
Στην εικόνα 3.5 φαίνεται η κατανομή της απορροφούμενης κυματικής ισχύος στις διάφορες περιοχές μετέωρου ανθρώπινου σώματος. Οι αριθμοί εκφράζουν το σχετικό SAR του τοπικού ιστού ως προς το μέσο SAR ολόκληρου του ανθρώπινου σώματος. Για παράδειγμα, ο αριθμός 5,087 του λαιμού, σημαίνει ότι ο τοπικός



ρυθμός απορρόφησης κυματικής ενέργειας είναι πάνω από 5 φορές μεγαλύτερος από το μέσο όρο ολόκληρου του σώματος. Οι μετρήσεις έγιναν για πυκνότητα ισχύος  $10 \text{ mW/cm}^2$  και μήκος κύματος  $\lambda$ , τέτοιο ώστε  $(L/\lambda) = 0,417$ , όπου  $L$  το ύψος (μήκος του μεγάλου άξονα) του σώματος και για προσανατολισμό  $E$ .



**Εικόνα 3.4** Μέσος Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης (SAR), για ενήλικα γειωμένο, παιδί 2 ετών γειωμένο, παιδί 1 έτους μετέωρο και νήπιο μετέωρο, σε συνάρτηση της συχνότητας. Φαίνονται επίσης τα όρια μέγιστης δυνατής απορρόφησης κυματικής ενέργειας για όλα τα ανθρώπινα μεγέθη.



**Εικόνα 3.5** Κατανομή της απορροφούμενης κυματικής ισχύος στους διάφορους ιστούς μετέωρου ανθρώπινου σώματος. Οι αριθμοί εκφράζουν τον σχετικό SAR του τοπικού ιστού ως προς τον μέσο SAR ολόκληρου του σώματος.

### **Συμπεράσματα:**

- I. Το ανθρώπινο σώμα απορροφά την κυματική ενέργεια κατά τρόπο εκλεκτικό, διαφορετικό δηλαδή για κάθε συχνότητα και είδος ιστού.
- II. Μέγιστη δεκτικότητα κατά συχνότητα (συντονισμός), εμφανίζεται στην περιοχή από 30MHz έως 300MHz, όπου ο SAR παίρνει τις μέγιστες τιμές του. Η φύση δηλαδή μας επεφύλαξε μια δυσάρεστη έκπληξη: το σώμα μας απορροφά περισσότερο, ακριβώς τις συχνότητες που χρησιμοποιούμε στη ραδιοφωνία και τηλεόραση (FM, VHF).
- III. Μέγιστη απορρόφηση, ανά είδος ιστού, εμφανίζουν σημεία του σώματος, όπως ο λαιμός, τα πόδια, οι αγκώνες και η κοιλιακή χώρα, όπου ο τοπικός SAR παίρνει τιμές πολύ μεγαλύτερες (έως και 10 φορές) από το μέσο SAR ολόκληρου του σώματος. Συνεπώς τα σημεία αυτά πρέπει να εκτίθενται όσο γίνεται λιγότερο στην κυματική ενέργεια.

Οι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί του ανθρώπινου σώματος «αντέχουν» μέχρι ένα ρυθμό απορρόφησης 4 W/kg, αποτρέποντας μέχρι το όριο αυτό οποιαδήποτε αισθητή αύξηση της θερμοκρασίας του οργανισμού. Επιβάλλοντας και μια ανοχή, για λόγους «διπλής ασφάλειας», μιας τάξης μεγέθους (10 φορές κάτω), το κριτήριο του καθορισμού ορίων επικινδυνότητας, με βάση τους θερμικούς μόνο μηχανισμούς, διαμορφώθηκε για τους εργαζόμενους από τους Δυτικούς Διεθνείς Οργανισμούς ως εξής:

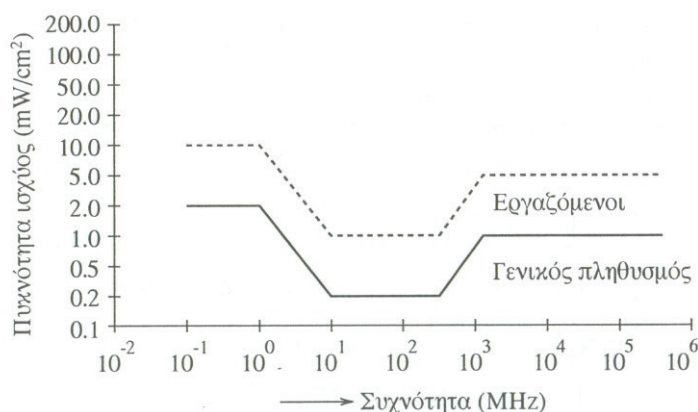
*Ο μέγιστος επιτρεπόμενος ρυθμός απορρόφησης κυματικής ενέργειας δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,4 W/kg, αθροιζόμενη κατά μέσο όρο μέσα σε οποιαδήποτε 6 λεπτά του εικοσιτετραώρου και για ολόσωμη έκθεση.*

Το κριτήριο αυτό διαμορφώθηκε με την προϋπόθεση ότι οι εργαζόμενοι σε ηλεκτρομαγνητικά βεβαρυμένους χώρους είναι ενήμεροι των κινδύνων, λαμβάνουν μέτρα ασφαλείας και εκτίθενται μόνο για ένα οκτάωρο. Επειδή ο γενικός πληθυσμός εκτίθεται σε 24ωρη βάση και δεν είναι ενημερωμένος ώστε να λαμβάνει μέτρα ασφαλείας, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του ρυθμού απορρόφησης, για το γενικό πληθυσμό, ορίστηκε 5 φορές μικρότερη, δηλαδή 0,08 W/kg.

Τα κριτήρια αυτά αποτελούν, με κάποιες παρεκκλίσεις, τη βάση των ορίων επικινδυνότητας στις ραδιοσυχνότητες που καθόρισαν οι παρακάτω διεθνείς οργανισμοί:

## Όρια επικινδυνότητας της IRPA

Τα όρια αυτά θεωρούνται τα πλέον έγκυρα στη Δύση και ακολουθούνται από πολλές χώρες και οργανισμούς. Καθιερώθηκαν από την επιτροπή μη ιονίζουσας ακτινοβολίας (International Non-Ionizing Radiation Committee, INIRC) της Διεθνούς Εταιρίας Ακτινοπροστασίας (International Radiation Protection Association, IRPA) σε συνεργασία με το τμήμα περιβαλλοντικής υγείας της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (World Health Organization, WHO), με την επιχορήγηση του ΟΗΕ (United Nations Environmental Program, UNEP). Στον κάθετο άξονα της Εικόνας 3.6 σημειώνεται η μέγιστη επιτρεπόμενη πυκνότητα ισχύος για τους εργαζόμενους και το γενικό πληθυσμό, σε κάθε ραδιοσυχνότητα από 100 KHz μέχρι 100 GHz. Είναι εντυπωσιακό το βύθισμα των καμπύλων στην περιοχή συχνοτήτων από 10 MHz μέχρι 300 MHz, όπου η μέγιστη επιτρεπόμενη πυκνότητα ισχύος είναι 1 mW/cm<sup>2</sup> για τους εργαζόμενους και 0,2 mW/cm<sup>2</sup> για το γενικό πληθυσμό (πλέον επικίνδυνη περιοχή συχνοτήτων). Για κάθε μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της πυκνότητας ισχύος, είναι εύκολος ο υπολογισμός της αντίστοιχης μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου, από τις σχέσεις  $P = E^2/377$  και  $(E/H) = 377$ . Π.χ. για τη μέγιστη επιτρεπόμενη πυκνότητα ισχύος 0,2mW/cm<sup>2</sup>, στην περιοχή 10 - 300MHz, οι αντίστοιχες τιμές των E και H, προκύπτουν ίσες με 27,5V/m και 0,073A/m αντίστοιχα, για επίπεδο κύμα πάντα.

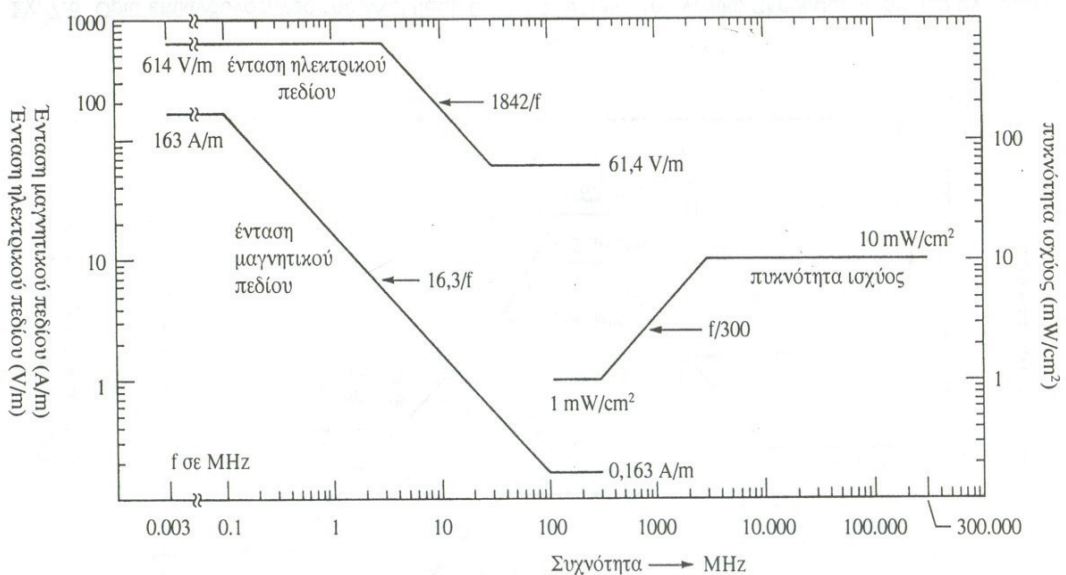


Εικόνα 3.6 Όρια επικινδυνότητας της IRPA στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων για τους εργαζόμενους και το γενικό πληθυσμό.

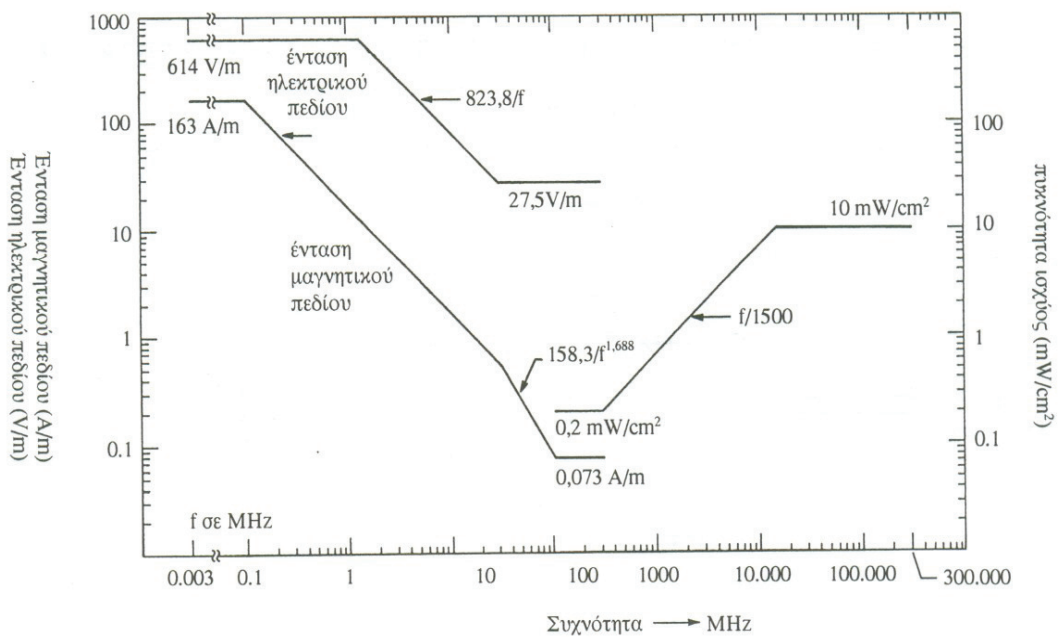
## Όρια επικινδυνότητας του ANSI

Είναι τα όρια του Αμερικανικού Ινστιτούτου Εθνικών Ορίων (American National Standards Institute), του επίσημου δηλαδή οργάνου της κυβέρνησης των ΗΠΑ. Τα όρια αυτά προέκυψαν με την υιοθέτηση, το 1992, από το ANSI των ορίων

που καθιέρωσε η μεγαλύτερη παγκοσμίως επιστημονική ένωση IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) με την οδηγία IEEE C 95.1-1991. Τα όρια αυτά φαίνονται στις εικόνες 3.7 και 3.8 για τους εργαζόμενους και για το γενικό πληθυσμό αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, μέχρι τη συχνότητα των 100MHz, τα όρια δίνονται αποκλειστικά σε τιμές έντασης του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Από 300MHz έως 300GHz τα όρια δίνονται αποκλειστικά σε τιμές πυκνότητας ισχύος. Τέλος στην περιοχή 100 – 300MHz, τα όρια δίνονται και με τους δύο τρόπους. Για τον ακριβέστερο υπολογισμό του ορίου επικινδυνότητας σε κάθε συχνότητα, σε κάθε τμήμα των καμπύλων, σημειώνεται και η σχέση υπολογισμού του. Για παράδειγμα, στην εικόνα 3.7 βλέπουμε, ότι το επαγγελματικό όριο έκθεσης σε μαγνητικό πεδίο συχνότητας από 100KHz μέχρι 100MHz δίνεται από τον τύπο  $(16,3/f)A/m$ , όπου η συχνότητα  $f$  εισάγεται σε MHz. Έτσι, για συχνότητα 10MHz, το όριο προκύπτει ίσο με  $(16,3/10) = 1,63A/m$ .



**Εικόνα 6.7 Όρια επικινδυνότητας της ANSI (IEEE C95.1-1991) για τους εργαζόμενους στην περιοχή ραδιοσυχνότητων.**

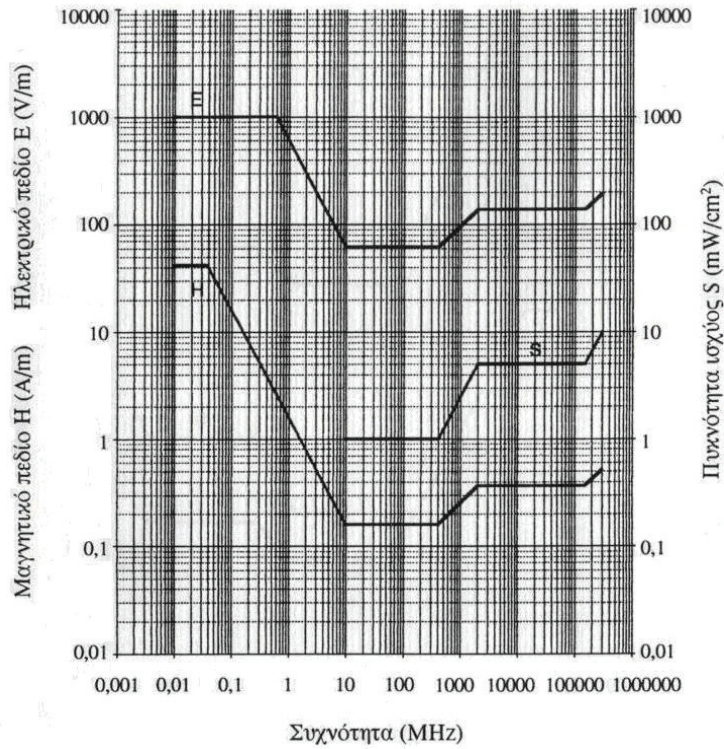


Εικόνα 6.8 Όρια επικινδυνότητας της ANSI (IEEE C95.1-1991) για το γενικό πληθυσμό στην περιοχή ραδιοσυχνότητων.

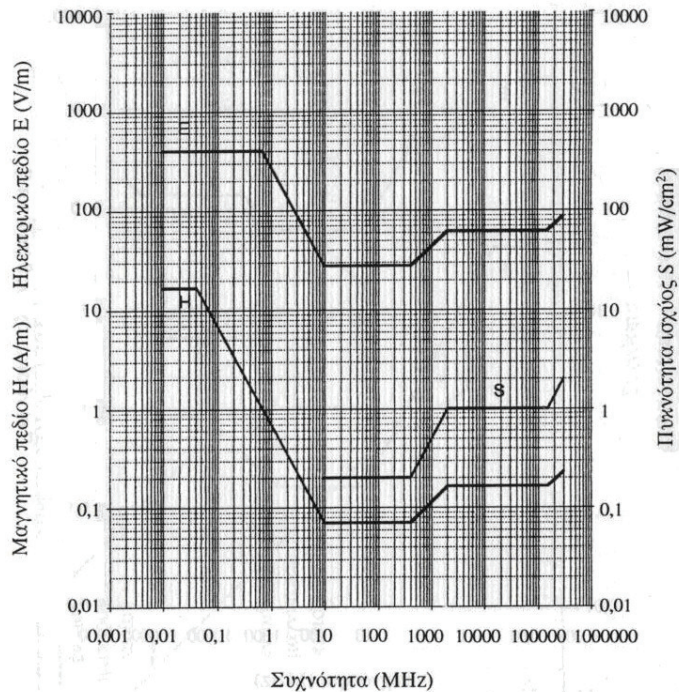
### Όρια επικινδυνότητας της Ευρωπαϊκής ένωσης

Η ευρωπαϊκή επιτροπή ηλεκτρονικής τυποποίησης CELENEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) ενέκρινε στις 30-11-1994 το πειραματικό ευρωπαϊκό πρότυπο ENV 50166-2 για την έκθεση ανθρώπων σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνοτήτων 10KHz – 300GHz. Εν τω μεταξύ, αυτό έχει την ισχύ ελληνικού προτύπου.

Στις Εικόνες 3.9 και 3.10 περιγράφονται σχηματικά τα όρια επικινδυνότητας της Ευρωπαϊκής ένωσης για τους εργαζόμενους και το γενικό πληθυσμό αντίστοιχα, για συνεχή έκθεση.



Εικόνα 3.9 Όρια επικινδυνότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους εργαζόμενους στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (10KHz – 300 GHz). Τα όρια δίνονται σε τιμές έντασης του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, αλλά και σε τιμές πυκνότητας ισχύος.



Εικόνα 3.10 Όρια επικινδυνότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον γενικό πληθυσμό στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (10KHz – 300 GHz). Τα όρια δίνονται σε τιμές έντασης του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, αλλά και σε τιμές πυκνότητας ισχύος.

### 3.5.1 Πώς συνδέεται το SAR με την ένταση της ακτινοβολίας;

Όταν ένας άνθρωπος εκτίθεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η απορρόφηση της ενέργειας εξαρτάται από την ένταση και την συχνότητα της ακτινοβολίας και πολλούς άλλους παράγοντες που έχουν να κάνουν με τα χαρακτηριστικά του σώματός του (μέγεθος, βάρος, στάση, κλπ) αλλά και τις συνθήκες έκθεσης (συχνότητα, πόλωση, κατεύθυνση απ' όπου έρχεται η ακτινοβολία, αν είναι τοπική ή ολόσωμη έκθεση κ.α.). Προκειμένου να υπάρξουν όρια που να εξασφαλίζουν την προστασία των ανθρώπων ανεξαρτήτως των χαρακτηριστικών του σώματός τους προέκυψαν τα επίπεδα αναφοράς που προϋποθέτουν συνθήκες μέγιστης σύζευξης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με το εκτιθέμενο σε αυτή άτομο, παρέχοντας έτσι έναν επιπλέον συντελεστή ασφαλείας. Τα επίπεδα αναφοράς είναι μεγέθη που περιγράφουν την ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ένταση ηλεκτρικού πεδίου, ένταση μαγνητικού πεδίου και πυκνότητα ισχύος) και μπορούν να συγκριθούν με μετρηθείσες τιμές. Η τήρηση των επιπέδων αναφοράς εξασφαλίζει σε κάθε περίπτωση και την τήρηση των βασικών περιορισμών για την απορροφούμενη ενέργεια. Επειδή οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στα διάφορα συστήματα κινητής τηλεφωνίας είναι διαφορετικές, οι τιμές των επιπέδων αναφοράς δεν είναι ακριβώς οι ίδιες αλλά διαφέρουν ανάλογα με το σύστημα κινητής τηλεφωνίας.

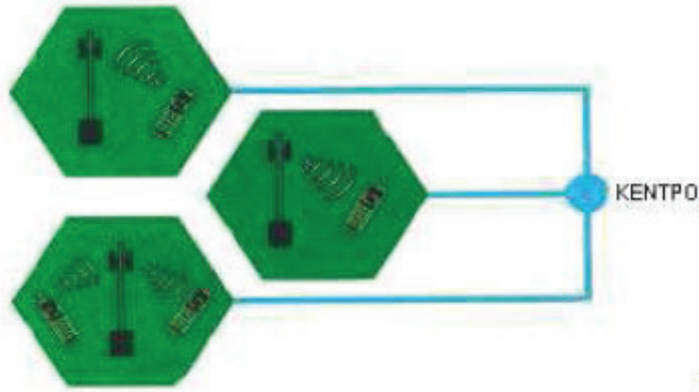
## 4 Η/Μ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΒΑΣΗΣ

### 4.1 Εισαγωγή

Το κινητό τηλέφωνο αποτελεί ένα από τα επιτεύγματα της σύγχρονης τεχνολογίας των τηλεπικοινωνιών που έχει αναδειχθεί σε είδος πρώτης ανάγκης από τους καταναλωτές. Οι λόγοι είναι πολλαπλοί, με κυριότερο εκείνον της εύκολης και άμεσης επικοινωνίας για λόγους επαγγελματικούς, κοινωνικούς αλλά και ψυχαγωγίας. Η εξάπλωση είναι τόσο μεγάλη που υπολογίζεται ότι σε πολλές χώρες αντιστοιχεί ένα κινητό τηλέφωνο για κάθε τρεις κατοίκους. Το ενδιαφέρον και η ανησυχία για τα πιθανά βιολογικά αποτελέσματα που συνδέονται με την έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που χρησιμοποιούνται στις συσκευές κινητής επικοινωνίας έχουν αυξηθεί αρκετά κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών. Αυτή η αύξηση οφείλεται στην τεράστια αύξηση στον αριθμό χρηστών αυτών των συσκευών, η οποία έχει οδηγήσει σε πολλές ερωτήσεις για την δυνατότητα των επικίνδυνων αποτελεσμάτων αυτών των πεδίων. Το ενδιαφέρον τονίζει ακόμη και από το γεγονός ότι το φορητό κινητό τηλέφωνο χρησιμοποιείται κοντά στο κεφάλι του χρήστη, με αυτόν τον τρόπο εκθέτοντας το χρήστη στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Βάση της κινητής τηλεφωνίας είναι ένα δίκτυο που συνιστάται από κυψέλες, γι' αυτό και ονομάζεται κυψελοειδές ή κυψελωτό δίκτυο (Εικόνα 4.1). Σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένας σταθμός Βάσης που διαχειρίζεται όλες τις κλήσεις των κινητών τηλεφώνων στο κοντινό περιβάλλον του, δηλαδή στην κυψέλη του. Ένας σταθμός Βάσης αποτελείται από αρκετές κεραιές εκπομπής / λήψης, που συνήθως είναι στερεωμένες σε έναν ιστό, καθώς και από μια μονάδα ελέγχου. Οι σταθμοί Βάσης συνδέονται με ένα κέντρο με συνηθισμένα τηλεφωνικά καλώδια ή με υπερκατευθυντικές ζεύξεις. Από αυτό λαμβάνουν τις συνομιλίες που πρέπει να διαβιβάσουν σε κάποιο κινητό τηλέφωνο στην κυψέλη τους και σ' αυτό διαβιβάζουν τις συνομιλίες που διενεργούνται από κάποιο κινητό τηλέφωνο στην κυψέλη τους. Αν κάποιο κινητό τηλέφωνο απομακρυνθεί από την κυψέλη, τότε η σύνδεση μεταβιβάζεται αυτόματα στην επόμενη κυψέλη.





**Εικόνα 4.2 Κυψελωτό Δίκτυο**

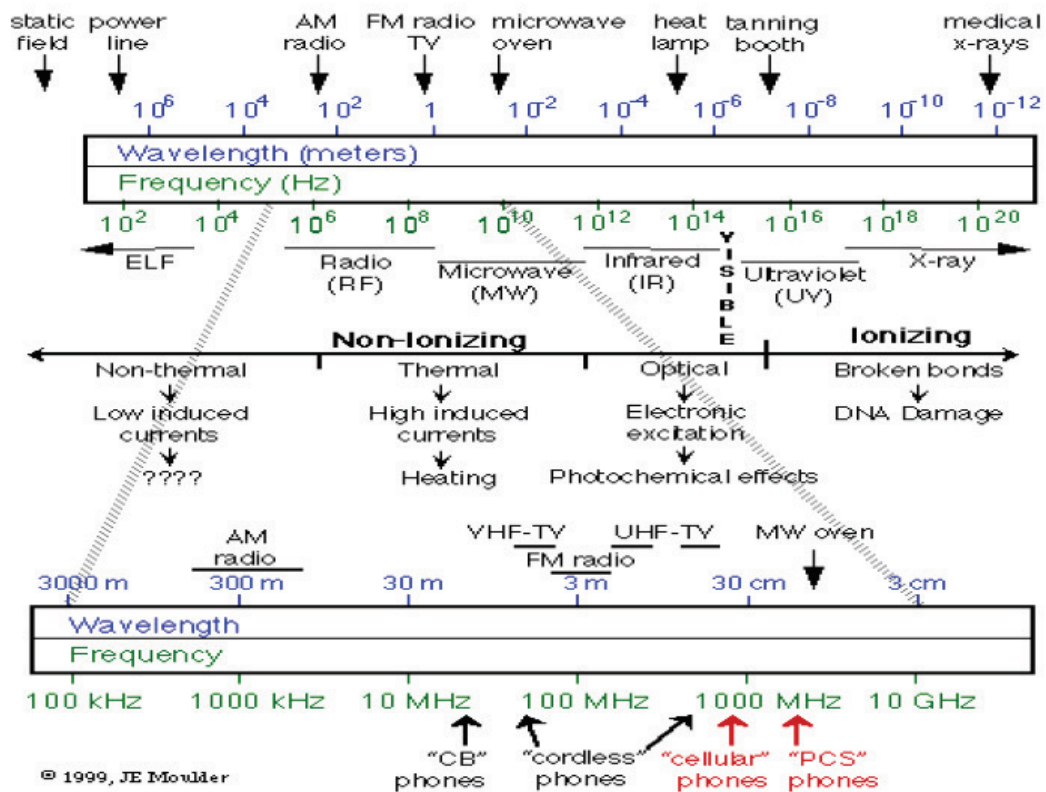
Το μέγεθος της κυψέλης ορίζεται από τον αναμενόμενο αριθμό χρηστών κινητών τηλεφώνων και καθορίζεται κατά το σχεδιασμό του δικτύου. Καθώς ένας σταθμός βάσης μπορεί συνήθως να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα το πολύ 64 κινητά τηλέφωνα, οι κυψέλες στις αγροτικές περιοχές με μικρή τηλεφωνική πυκνότητα είναι μεγάλες (διάμετρος 1 έως 4 km ή και μεγαλύτερη), ενώ αντίθετα στο κέντρο κάποιας μεγαλούπολης είναι μικρότερες (διάμετρος 300 έως 400 m). Το ραδιοσήμα του σταθμού Βάσης πρέπει να είναι τόσο ισχυρό ώστε να φθάνει σε κάποιο κινητό τηλέφωνο ακόμη και στο όριο της κυψέλης, αλλά όχι υπερβολικά ισχυρό, επειδή έτσι θα δημιουργούσε παρεμβολές στα σήματα της επόμενης ή μεθεπόμενης κυψέλης. Αν σε κάποια κυψέλη χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερα κινητά τηλέφωνα, έρχεται η στιγμή που υπερφορτώνεται ο σταθμός Βάσης. Τότε γίνεται υποδιαίρεση της κυψέλης. Εγκαθίστανται δηλαδή αναγκαστικά πρόσθετοι σταθμοί Βάσης που με μικρότεροι ισχύ εκπομπής εξυπηρετούν τις ήδη μικρότερες κυψέλες τους.

## **4.2 Ακτινοβολία Κεραιών Βάσης**

Για την αντικατάσταση συστημάτων κινητής τηλεφωνίας πρώτης γενιάς που είχαν εγκαταστήσει οι ευρωπαϊκές χώρες, επειδή ήταν ασυμβίβαστα μεταξύ τους προχώρησε η καθιέρωση ενός κοινού προτύπου που είναι το GSM (Global System Mobile). Το πρότυπο GSM ακολουθεί την κυψελωτή λογική δικτύου. Το βασικό στοιχείο του GSM είναι η μετατροπή του σήματος φωνής σε ψηφιακό σήμα και η μετάδοσή του σε συχνότητες UHF (Ultra High Frequencies) και συγκεκριμένα γύρω

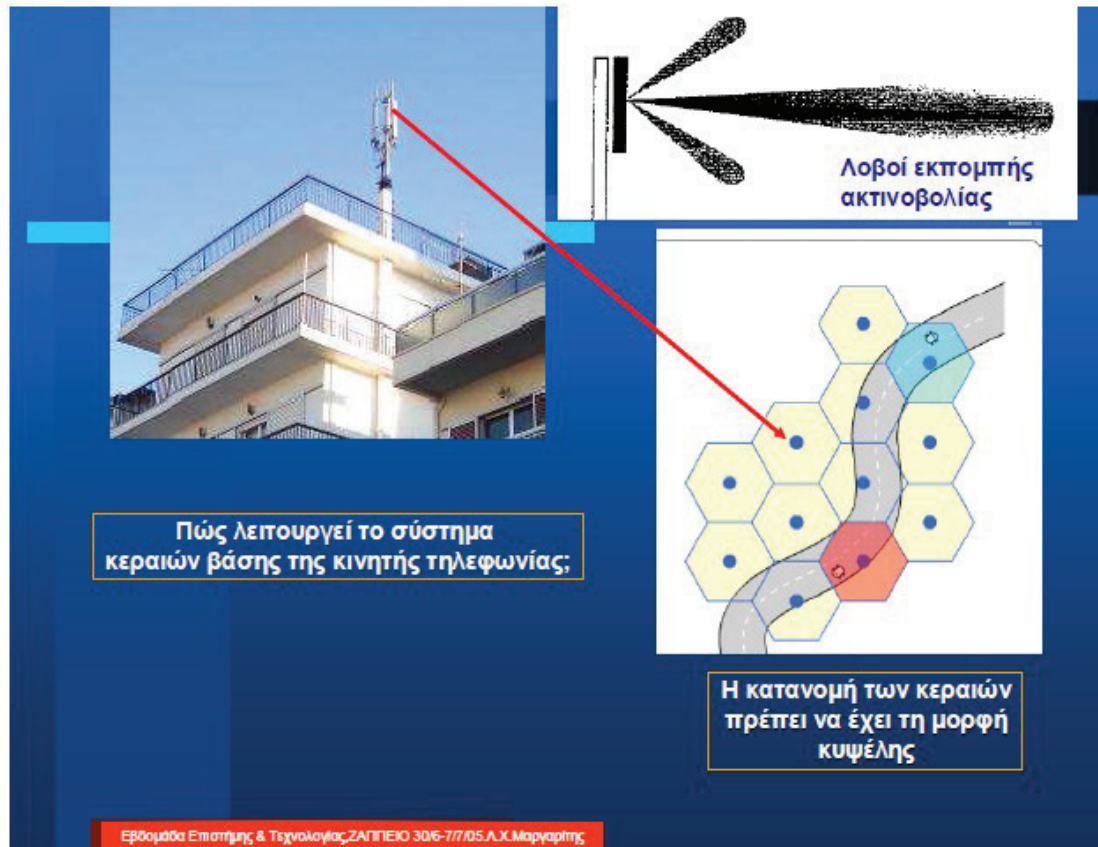
από τα 900 MHz, με κανάλια εύρους ζώνης 200 KHz. Η κινητή τηλεφωνία στη χώρα μας χρησιμοποιεί δύο περιοχές συχνοτήτων την περιοχή 900 μεγακύκλων (MHz), οι εταιρίες PANAΦON και TELESTET και την περιοχή των 1800 μεγακύκλων η εταιρία COSMOTE.

Οι συχνότητες της κινητής τηλεφωνίας, σε σχέση με τις άλλες συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εντάσσονται στην ευρύτερη περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων μαζί με τις συχνότητες της ραδιοφωνίας της τηλεόρασης και των συστημάτων radar (Εικόνα 4.2). Όπως παρατηρούμε στο πάνω μέρος της Εικόνας 4.2 τα κινητά τηλέφωνα εκπέμπουν στην ζώνη των ραδιοσυχνοτήτων (RF). Η ζώνη αυτή έχει συχνότητες πολύ μικρές της τάξης των  $10^9$  Hertz. Τα χαρακτηριστικά των ραδιοσυχνοτήτων είναι η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Όπως έχει αποδειχθεί, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαδίδεται στον αέρα με την ταχύτητα του φωτός και η ένταση της μειώνεται πολύ γρήγορα ανάλογα με την απόσταση από την πηγή εκπομπής. Ο ανθρώπινος οργανισμός δεν αντιλαμβάνεται άμεσα όλες τις συχνότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επειδή δεν διαθέτει κατάλληλα αισθητήρια όπως π.χ. αντιλαμβάνεται το ορατό φως επειδή στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού υπάρχουν ειδικά κύτταρα (που ονομάζονται κωνία και ραβδία) τα οποία διεγείρονται με την ορατή ακτινοβολία δίνοντας κατάλληλη πληροφορία στον εγκέφαλο ώστε να δημιουργηθεί η αίσθηση της όρασης. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει με ειδικά κύτταρα στο εσωτερικό του αυτιού ώστε να δημιουργηθεί η αίσθηση της ακοής. Οι ραδιοσυχνότητες γίνονται αντιληπτές μόνο με ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις (δέκτες) οι οποίες μπορούν και να μετρήσουν την ένταση της ακτινοβολίας αυτής ή ακόμα, εφόσον η ραδιοσυχνότητα είναι κατάλληλα «διαμορφωμένη» και φέρει μαζί της πληροφορίες ήχου ή εικόνας θα μπορέσουν να αξιοποιηθούν όπως πράγματι γίνεται για τη μετάδοση φωνής, μουσικής ή εικόνας ή και άλλων πληροφοριών.



Εικόνα 4.3

Στην κινητή τηλεφωνία λειτουργεί λίγο πολύ η ίδια διαδικασία, δηλ. μια συσκευή (το κινητό τηλέφωνο) λειτουργεί ως πομπός ραδιοσυχνοτήτων φέροντας σε διαμόρφωση τη φωνή του χρήστη όταν αυτός μιλάει. Παράλληλα όμως το κινητό τηλέφωνο λειτουργεί και ως δέκτης ραδιοσυχνοτήτων, ώστε να μπορεί να λαμβάνει την εκπομπή ραδιοσυχνοτήτων του πομπού βάσης (η κεραία ενός πομπού βάσης βρίσκεται συνήθως στην οροφή υψηλών κτιρίων, πολλές φορές και μέσα σε κατοικημένες περιοχές ώστε να ικανοποιηθεί η αναγκαιότητα της κυψελοειδούς κάλυψης (Εικόνα 4.3)). Η κατανομή των κεραιών βάσης κινητής τηλεφωνίας πρέπει να έχει τη μορφή κυπέλης για την καλύτερη κατανομή της ακτινοβολίας ώστε να «πιάνουν σήμα» τα κινητά ακόμα και σε δύσκολα σημεία όπως είναι τα πεζοδρόμια, τα λεωφορεία, τα υπόγεια κλπ. Κάθε κεραία εκπέμπει κατευθυνόμενη δέσμη ακτινοβολίας προς άλλο σταθμό-κεραία βάσης (κύριος λοβός εκπομπής), ενώ παράλληλα εκπέμπει και προς τα κάτω πολύ μικρότερη ισχύ (δευτερεύοντες λοβοί εκπομπής).



Εικόνα 4.4 Κεραία ενός πομπού βάσης

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρήθηκε ραγδαία εξάπλωση της χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων (Radiofrequencies, RF) σε ποικίλες εφαρμογές στη βιομηχανία, την Ιατρική, την έρευνα κ.α. Ραδιοσυχνότητες είναι το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που αντιστοιχεί στην περιοχή από 10 KHz έως 300 GHz. Το τμήμα μεταξύ 300 MHz και 300 GHz συνήθως ονομάζεται μικροκύματα (Microwaves, MW), ενώ συχνά χρησιμοποιείται και ο όρος χιλιοστομετρικά κύματα (millimeter waves, mmW) για την περιοχή 30-300 GHz. Στην περιοχή RF του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος περιλαμβάνονται οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται για ραδιοφωνική εκπομπή AM, FM και βραχέων κυμάτων, για τηλεοπτική εκπομπή VHF και UHF, για τις κινητές και δορυφορικές επικοινωνίες τις μικροκυματικές ζεύξεις κ.λπ.

#### 4.2.1 Πόσο έντονα ακτινοβολούν τα κινητά τηλέφωνα και οι σταθμοί βάσης

Τόσο τα κινητά τηλέφωνα όσο και οι σταθμοί Βάσης εκπέμπουν και λαμβάνουν την ίδια υψίσυχη ακτινοβολία. Η ένταση αυτής της ακτινοβολίας εξαρτάται

προπάντων από την ισχύ εκπομπής και την απόσταση από την κεραία.

ΣΤΑΘΜΟΣ ΒΑΣΗΣ	ΚΙΝΗΤΟ ΤΗΛΕΦΩΝΟ
Ισχυρότερος πομπός	Ασθενέστερος πομπός
Σημαντική απόσταση από πρόσωπα	Πολύ μικρή απόσταση από το κεφάλι
Ομοιόμορφη ακτινοβολήση όλου του σώματος	Τοπική ακτινοβολήση του κεφαλιού
Μικρή απορρόφηση ισχύος	Μεγαλύτερη απορρόφηση ισχύος στο κεφάλι
Ακτινοβολία υπάρχει συνεχώς	Ακτινοβολία υπάρχει μόνο κατά το τηλεφώνημα

Πίνακας 4.1

Η ισχύς εκπομπής ενός κινητού τηλεφώνου είναι μεν σημαντικά χαμηλότερη από αυτήν των σταθμών Βάσης, η επιβάρυνση όμως του ανθρώπου από το κινητό τηλέφωνο κατά τη διάρκεια της συνομιλίας είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που προκύπτει από τον πολύ ισχυρότερο σταθμό Βάσης. Στους σταθμούς βάσης υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που καθορίζουν τα επίπεδα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στις θέσεις που μπορεί να βρεθεί κάποιος άνθρωπος:

- **Η ισχύς εκπομπής:** Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς εκπομπής τόσο μεγαλύτερη είναι και η ακτινοβολία που προσπίπτει στις θέσεις που βρίσκονται οι άνθρωποι.
- **Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας:** Ανάλογα με την κατασκευή τους, οι κεραίες δεν εκπέμπουν την ακτινοβολία ομοιόμορφα (σφαιρικά) στο περιβάλλον τους, αλλά υπάρχουν κατευθύνσεις στις οποίες εκπέμπουν πολύ περισσότερο από άλλες. Η διαφορά στην ένταση της ακτινοβολίας μεταξύ δύο κατευθύνσεων μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 100 φορές. Οι κατασκευαστές των κεραιών παρέχουν διαγράμματα που δείχνουν πως μεταβάλλεται η ισχύς της ακτινοβολίας στο περιβάλλον των κεραιών.
- **Η απόσταση από την κεραία:** Η ακτινοβολούμενη ισχύς από μια κεραία προς μία κατεύθυνση δεν είναι σταθερή, αλλά μειώνεται πολύ γρήγορα με την απόσταση (με το αντίστροφο τετράγωνο της απόστασης δηλαδή σε διπλάσια απόσταση προσπίπτει το ένα τέταρτο της ακτινοβολίας και σε δεκαπλάσια απόσταση το ένα εκατοστό).

- **Τα παρεμβαλλόμενα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια:** Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εξασθενεί πάρα πολύ στα σημεία που βρίσκονται πίσω από τοίχους ή κάτω από οροφές κτιρίων.

Οι επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων από τις κεραιές κινητής τηλεφωνίας εξαρτώνται από:

- Την απόσταση (σε οριζόντιο σχετικά επίπεδο) του χώρου διαβίωσης από την κεραία.
- Τον προσανατολισμό της κεραιάς (δηλ. εάν εκπέμπει προς την κατεύθυνση του χώρου διαβίωσης).
- Την ένταση της ακτινοβολίας όπως μπορεί να μετρηθεί ως μέση τιμή.
- Την ηλικία του εκτιθέμενου και την κατάσταση της υγείας του.
- Την διάρκεια έκθεσης (δηλαδή ώρες διαβίωσης ανά ημέρα στο συγκεκριμένο χώρο).

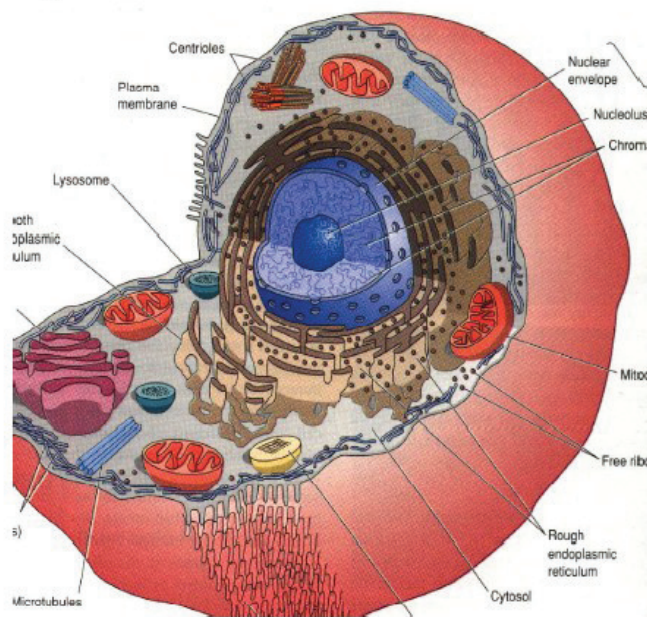
Συμπέρασμα: Η επιβάρυνση του πληθυσμού από την ακτινοβολία κεραιών σταθμών Βάσης GSM μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουν και οι πιο πρόσφατες μελέτες που έγιναν από τους καθηγητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Ν. Ουζούνογλου και Κ. Νικήτα στα πλαίσια ερευνητικού ευρωπαϊκού προγράμματος (CEPHOS) με σκοπό την κατάρτιση προτύπων για συσκευές κινητής τηλεφωνίας. Με τη συσκευή του κινητού τηλεφώνου εκτίθεται κατά κύριο λόγο το κεφάλι αυτού που τηλεφωνεί. Η επιβάρυνση είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτήν που προκύπτει από τους σταθμούς Βάσης. Οι επιπτώσεις στην υγεία από τα κινητά τηλέφωνα εξαρτώνται από:

- **Την ισχύ εκπομπής:** που σχετίζεται με την ποιότητα του σήματος (απόσταση κινητού – σταθμού Βάσης).
- **Την απόσταση μεταξύ κεραιάς και κεφαλιού:** Από αυτή την άποψη, οι συσκευές κινητών τηλεφώνων εφοδιασμένες με ακουστικά (hands-free) μπορεί να θεωρηθούν ασφαλέστερες όσον αφορά την έκθεση του χρήστη απ' αυτές που δεν χρησιμοποιούνται με ακουστικά και η κεραία είναι δίπλα στο κεφάλι.
- **Την κατασκευή του κινητού τηλεφώνου και της κεραιάς (SAR):** Εδώ υπάρχουν αξιοσημείωτες δυνατότητες μείωσης της ακτινοβολίας που απορροφάται από το κεφάλι.
- **Την διάρκεια συνομιλίας και την συχνότητα των συνομιλιών κάθε μέρα.**

- Την συνολική διάρκεια χρήσης: (σε χρόνια) του κινητού τηλεφώνου.

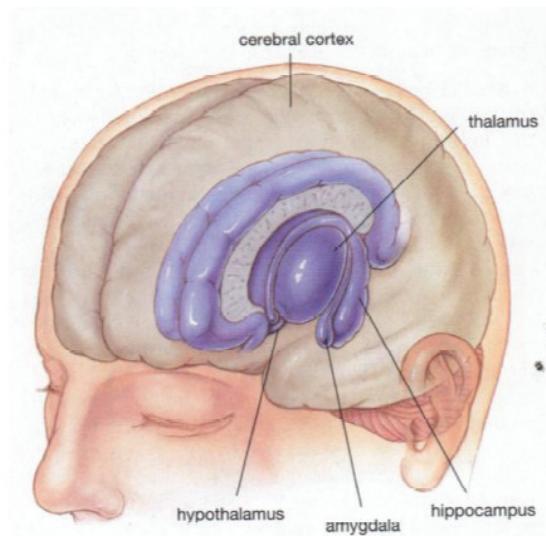
### 4.3 Ραδιοσυχνότητες και Ανθρώπινος Οργανισμός

Κατ' αρχάς ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται από βιομόρια (πρωτεΐνες, κ.λπ.) τα οποία σχηματίζουν λειτουργικές δομές όπως είναι οι μεμβράνες, τα οργανίδια παραγωγής ενέργειας, που με τη σειρά τους σχηματίζουν τα κύτταρα.



**Εικόνα 4.5** Διάγραμμα ενός κυττάρου όπως είναι τα δισεκατομμύρια κύτταρα που βρίσκονται στον ανθρώπινο οργανισμό. Αυτά περιέχουν πολυάριθμα συστατικά όπου κυριαρχούν οι μεμβράνες, οι οποίες και λειτουργούν με τη συμμετοχή διέλευσης μέσα από αυτές, ιόντων και μορίων. Η διέλευση αυτή μπορεί να διαταχθεί μετά από επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Αυτά σχηματίζουν τους ιστούς (π.χ. επιθήλιο, νευρικός ιστός κ.λπ.) οι οποίοι με τη σειρά τους σχηματίζουν τα όργανα, όπως είναι οι πνεύμονες, το συκώτι, ο εγκέφαλος, η καρδιά κ.λπ.



**Εικόνα 4.6 Διάγραμμα εγκεφάλου όπου φαίνονται οι ιδιαίτερα ευαίσθητες περιοχές που βρίσκονται πολύ κοντά στην κεραία του κινητού τηλεφώνου.**

Οι λειτουργίες των διαφόρων οργάνων καθορίζονται από τις επί μέρους λειτουργίες των ιστών και των κυττάρων τους σε συνδυασμό πολλές φορές με άλλα κύτταρα και ιστούς ανταλλάσσοντας μηνύματα που είναι όχι μόνο χημικές ουσίες αλλά και ηλεκτρικά δυναμικά. Πολλές σημαντικές λειτουργίες των κυττάρων και ειδικότερα του εγκεφάλου, στηρίζονται στη δημιουργία ηλεκτρικών δυναμικών (π.χ. λειτουργία συνάψεων στα νευρικά κύτταρα). Είναι συνεπώς προφανές ότι οποιαδήποτε παρέμβαση με κάποια εξωτερική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και στο βαθμό που αυτή θα είναι παραπλήσιας ή και μεγαλύτερης έντασης με τα ενδογενή ηλεκτρικά πεδία, θα έχει ως αποτέλεσμα να επηρεαστεί το κυτταρικό σύστημα ως προς τη φυσιολογική του λειτουργία. Το θέμα αυτό έχει απασχολήσει τους ερευνητές για πολλές δεκαετίες όχι μόνο στην περίπτωση των συχνοτήτων της κινητής τηλεφωνίας αλλά και στην περίπτωση των άλλων ραδιοσυχνοτήτων που ευρίσκονται στην υπηρεσία του ανθρώπου επί μακρότερο χρονικό διάστημα. Όμως καμιά από αυτές τις ακτινοβολίες δεν έχει τόσο άμεση σχέση με τον απλό πολίτη όση η ακτινοβολία από την κινητή τηλεφωνία. Για παράδειγμα, τα κύματα ραντάρ αφορούν μικρές ομάδες εργαζομένων, το ίδιο και οι ραδιοφωνικοί αλλά και οι τηλεοπτικοί σταθμοί. Οι δέκτες τηλεόρασης δεν εκπέμπουν ραδιοσυχνότητες αλλά μόνο λαμβάνουν. Με άλλα λόγια, το πρόβλημα που έχει δημιουργηθεί δεν έχει ανάλογό του στην ιστορία του ανθρώπινου γένους ως προς τη μαζικότητα της χρήσης αυτών των συσκευών εκπομπής. Ήταν συνεπώς αναμενόμενο να γίνεται

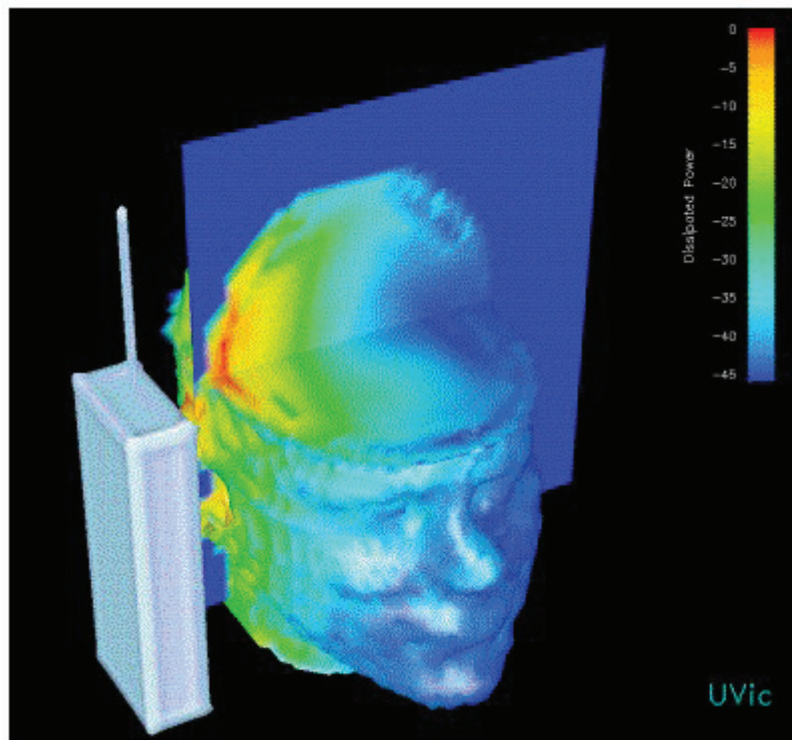
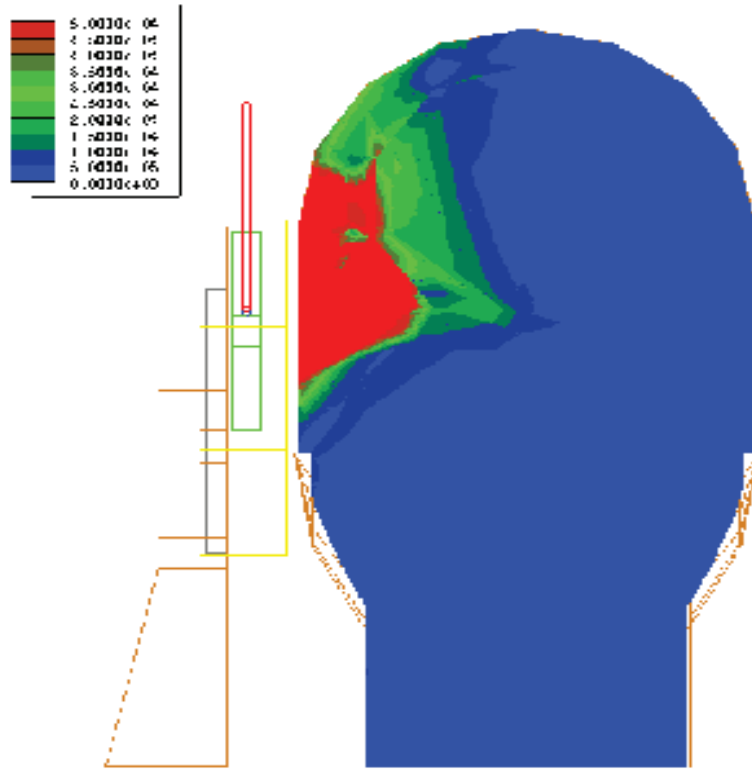


μεγάλη προσπάθεια διερεύνησης των επιπτώσεων ειδικά στην περίπτωση της κινητής τηλεφωνίας, προσπάθεια που έχει ξεκινήσει εδώ και αρκετά χρόνια.

Έχει διαπιστωθεί ότι γενικά η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προκαλεί τις λεγόμενες θερμικές επιπτώσεις δηλαδή αύξηση της θερμοκρασίας του εκτιθέμενου ιστού ο οποίος βέβαια λειτουργεί με πολύ μεγάλη ισχύ ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Επιπλέον όμως η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προκαλεί μη θερμικές επιπτώσεις οι οποίες αναφέρονται στην επίδραση της ακτινοβολίας στη λειτουργία των κυτταρικών συστατικών που αναφέραμε. Οι μη-θερμικές επιπτώσεις θεωρούνται και οι πιο σημαντικές από βιολογικής / ιατρικής σκοπιάς και δεν καλύπτονται από τα όρια ασφαλείας που έχουν θεσπισθεί, επειδή δεν είναι άμεσα μετρήσιμες με κάποιο όργανο. Με άλλα λόγια δεν υπάρχει απ' ευθείας συνάρτηση της έντασης της ακτινοβολίας, η οποία μπορεί να μετρηθεί με όργανο σε μονάδες π.χ. χιλιοστοβαττ ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο ( $mW/cm^2$ ).

Οι σχετικές μελέτες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι λεγόμενες **επιδημιολογικές μελέτες** στις οποίες μελετάται ένα μεγάλο δείγμα ανθρώπων που διαθέτουν κινητά τηλέφωνα για μερικά χρόνια σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο δείγμα που δεν διαθέτει τέτοιες συσκευές. Οι ερευνητές προσπαθούν να διαπιστώσουν με στατιστική ανάλυση αν κάποιες ασθένειες ή κάποια συμπτώματα είναι πιο συχνά στο πρώτο δείγμα. Πράγματι έχει διαπιστωθεί ότι τα άτομα στο πρώτο δείγμα έχουν πιο συχνά απώλεια μνήμης, πονοκεφάλους, κ.λπ.

Στη δεύτερη κατηγορία μελετών ανιχνεύονται οι **λειτουργίες του εγκεφάλου** (αφού αυτή είναι η περιοχή του οργανισμού πλησιέστερα στην κεραία του κινητού τηλεφώνου Εικόνα 4.6), συνήθως με τη βοήθεια εγκεφαλογραφήματος για να διαπιστωθεί η ενδεχόμενη διαταραχή των φυσιολογικών ηλεκτρικών κυμάτων που παράγει ο εγκέφαλος. Εδώ οι έρευνες είναι αμφιλεγόμενες και τα αποτελέσματα μη επαναλήψιμα. Δηλαδή σε άλλες μελέτες διαπιστώνεται αλλοίωση και σε άλλες όχι. Βέβαια από ερευνητικής σκοπιάς δεν είναι δυνατόν διαφορετικά πειράματα από διαφορετικές ερευνητικές ομάδες να διεξάγονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες και με τους ίδιους ανθρώπους – χρήστες, οπότε, ίσως είναι αναμενόμενη μια τέτοια απόκλιση.



Εικόνα 4.7 Γραφική αναπαράσταση με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή της δόσης που απορροφάται από τις διάφορες περιοχές της κεφαλής του χρήστη, κατά τη διάρκεια επικοινωνίας με κινητό τηλέφωνο. Το κόκκινο χρώμα δείχνει μέγιστο απορροφούμενης ενέργειας, το πράσινο αντιπροσωπεύει μικρότερη δόση και το μπλε περίπου μηδενική δόση.

Στην τρίτη κατηγορία ερευνών χρησιμοποιούνται **πειραματόζωα** (συνήθως ποντίκια ή έντομα ή και άλλοι οργανισμοί) καθώς και **καλλιέργειες κυττάρων**. Στην περίπτωση αυτή γίνεται ακτινοβόληση με ραδιοσυχνότητες κινητής τηλεφωνίας και με εντάσεις πολύ κοντά στα όρια ασφαλείας,. Πολλές μελέτες έχουν δείξει σαφείς επιπτώσεις που σχετίζονται με τη φυσιολογική λειτουργία των μεμβρανών και ιδιαίτερα της διέλευσης ιόντων μέσα από αυτές. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η διαδικασία αυτή είναι ζωτικής σημασίας για τη φυσιολογική λειτουργία των κυττάρων και ιδιαίτερα των εγκεφαλικών. Έχει επίσης διαπιστωθεί η ανάπτυξη όγκων σε πειραματόζωα, καθώς και απώλεια προσωρινής μνήμης, ενώ σε άλλα πειράματα με ποντίκια παρατηρήθηκαν φαινόμενα συνέργιας με ψυχοφάρμακα, (αμφεταμίνες), δηλ. διαφορετικές αντιδράσεις για την ίδια δόση φαρμάκου, μετά από έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έντασης  $1 \text{ mW/cm}^2$ .

Πρόσφατα, έχουν γίνει ειδικές μελέτες σχετικά με τη χρήση φορητών τηλεφωνικών συσκευών. Επιδημιολογικές μελέτες στη Σουηδία και τις ΗΠΑ εστίασαν στη διερεύνηση πιθανής σχέσης μεταξύ χρήσης φορητών τηλεφωνικών συσκευών και ανάπτυξης καρκίνου του εγκεφάλου. Παρότι καμιά μελέτη δεν απέδειξε την αύξηση της επίπτωσης καρκίνου του εγκεφάλου σε ανθρώπους που κάνουν χρήση φορητών τηλεφωνικών συσκευών και στις δύο μελέτες αναφέρεται μια τάση για υψηλότερη πιθανότητα ανάπτυξης όγκου του εγκεφάλου στην πλευρά που συνηθίζει ο χρήστης να κρατά το τηλέφωνο.

Όμως από τις μέχρι σήμερα επιδημιολογικές μελέτες, δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν οριστικά συμπεράσματα, εξαιτίας διάφορων αδυναμιών στη σχεδίαση τους, καθώς και του περιορισμένου αριθμού των περιπτώσεων που εξετάζουν. Επιπλέον, συχνά η έλλειψη ακριβών δοσιμετρικών πληροφοριών και η συνύπαρξη άλλων παραγόντων, εκτός της μελετώμενης ακτινοβολίας, περιορίζουν την αξία των μελετών αυτών.

#### **4.3.1 Οριακές Τιμές για την Ακτινοβολία της Κινητής Τηλεφωνίας**

Στα όρια ασφαλείας για την ακτινοβολία σταθμών βάσεων χρησιμοποιούνται τρία μεγέθη:

- Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου
- Η ένταση μαγνητικού πεδίου και,
- Η πυκνότητα ισχύος του ισοδύναμου επιπέδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Σύμφωνα με τους γενικούς κανονισμούς (υπουργική απόφαση του ελληνικού κράτους), δεν πρέπει να υπάρχουν χώροι γύρω από την κεραία ελεύθερα προσπελάσιμοι από το γενικό πληθυσμό, στους οποίους τα όρια έκθεσης για την ένταση ηλεκτρικού πεδίου, την ένταση μαγνητικού πεδίου και την πυκνότητα ισχύος να υπερβαίνουν το 80% των τιμών του ακόλουθου πίνακα της σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσον αφορά και στις δύο ζώνες συχνοτήτων κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιούνται στην χώρα μας:

<b>Όρια τιμών στα 900 και στα 1800MHz</b>
<b>Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (V / m)</b>
41,25 V / m για την ζώνη συχνοτήτων στα 900 MHz
58,34 V / m για την ζώνη συχνοτήτων στα 1800 MHz
<b>Ένταση μαγνητικού πεδίου H (A / m)</b>
0,111 A / m για την ζώνη συχνοτήτων στα 900 MHz
0,157 A / m για την ζώνη συχνοτήτων στα 1800 MHz
<b>Πυκνότητα ισχύος ισοδύναμου επιπέδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος</b>
4,5 W / m <sup>2</sup> για την ζώνη συχνοτήτων στα 900 MHz
9 W / m <sup>2</sup> για την ζώνη συχνοτήτων στα 1800 MHz

Πίνακας 4.2

#### **4.4 Εκτίμηση Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης (SAR)**

Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης αποτελεί το σημαντικότερο μέγεθος για την ποσοτικοποίηση των βιολογικών αποτελεσμάτων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και μπορεί να προσδιοριστεί θεωρητικά ή να μετρηθεί σε ομοιώματα βιολογικών ιστών, κατά την έκθεσή τους σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

##### **4.4.1 Υπολογιστικές Τεχνικές**

Για τον υπολογισμό της κατανομής της απορροφούμενης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος από βιολογικούς ιστούς χρησιμοποιούνται αναλυτικές μέθοδοι και γενικές αριθμητικές τεχνικές προσομοίωσης. Οι αναλυτικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση απλοποιημένων μοντέλων βιολογικών ιστών, όπως ομογενείς ή στρωματοποιημένες κανονικές (επίπεδες, κυλινδρικές, σφαιρικές) γεωμετρίες. Ακόμη η ανάλυση της έκθεσης στο μακρινό πεδίο πηγών, όπου η φύση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι σχετικά απλή επιτρέπει την εφαρμογή

αναλυτικών τεχνικών. Η εφαρμογή γενικών αριθμητικών τεχνικών (μέγεθος ροπών, μέγεθος πεπερασμένων στοιχείων, μέγεθος πεπερασμένων διαφορών) επιτρέπει την ανάλυση πολύπλοκων ρεαλιστικών μοντέλων βιολογικών ιστών με ανομοιογένειες, ενώ είναι δυνατή η προσομοίωση σύνθετων ηλεκτρομαγνητικών πηγών. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να ληφθεί υπόψη η πολύπλοκη φύση του κοντινού πεδίου και η αλληλεπίδραση μεταξύ του βιολογικού αντικειμένου και της πηγής.

#### **4.4.2 Πειραματικές Τεχνικές**

Οι κυριότερες μέθοδοι πειραματικού προσδιορισμού του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης σε ομοιώματα βιολογικών ιστών που εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, βασίζονται στη μέτρηση του μέτρου του ηλεκτρικού πεδίου ή του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας κατά την εφαρμογή υψηλής ηλεκτρομαγνητικής ισχύος για σύντομο χρονικό διάστημα.

#### **4.4.3 Μέτρηση Ηλεκτρικού Πεδίου**

Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης σε ομοιώματα βιολογικού ιστού που εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να μετρηθεί άμεσα, χρησιμοποιώντας γραμμική κεραία (δίπολο), μικρών διαστάσεων σε σχέση με το μήκος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο ομοίωμα και απλό φωρατή, αποτελούμενο από μικροκυματική δίοδο και πυκνωτή. Η διπολική κεραία τοποθετείται στη θέση στην οποία επιθυμείται η μέτρηση του πεδίου. Αν η RF τάση εισόδου στο κύκλωμα του φωρατή είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του μέτρου της συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου που είναι παράλληλη στον άξονα της κεραίας, το σήμα εξόδου είναι μια συνεχής τάση (DC), η οποία θα είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του μέτρου του ηλεκτρικού πεδίου που είναι παράλληλο στον άξονα της κεραίας. Όταν η πόλωση του ηλεκτρικού πεδίου είναι άγνωστη, πρέπει να χρησιμοποιηθούν διάφοροι προσανατολισμοί διπόλων ή περισσότερα δίπολα για τη μέτρηση του συνολικού ηλεκτρικού πεδίου. Οι κύριες απαιτήσεις από ένα αισθητήρα μέτρησης πεδίου είναι:

- Γραμμική απόκριση σ' ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων
- Ισοτροπία σε διαφορετικά μέσα
- Μικρό μέγεθος

- Όσο το δυνατόν μικρότερη πρόκληση διαταραχής στο μετρούμενο ηλεκτρικό πεδίο
- Υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα
- Υψηλή ευαισθησία

Συνήθως για την εξασφάλιση ισοτροπικών χαρακτηριστικών, οι αισθητήρες μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου αποτελούνται από τρία μικροσκοπικά δίπολα διατεταγμένα σε ορθογώνιες μεταξύ τους κατευθύνσεις. Καθένα από αυτά περιέχει ένα στοιχείο διόδου με αποτέλεσμα το σήμα που οδηγείται προς τη βαθμίδα ενίσχυσης και έπειτα στην ηλεκτρονική συσκευή ανάγνωσης (συνήθως παλμογράφο) να είναι ανορθωμένο.

#### 4.4.4 Θερμιδομετρική Τεχνική

Η θερμιδομετρική τεχνική αποτελεί εναλλακτική τεχνική μέτρησης του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης και βασίζεται στη μέτρηση του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας μέσα σε ομοίωμα βιολογικού ιστού κατά την επιβολή υψηλής ισχύος για σύντομο χρονικό διάστημα. Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (SAR) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τη σχέση:

$$SAR(W/kg) = c \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

που αποτελεί προσεγγιστική έκφραση της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας,

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{k}{\rho c} \nabla^2 T = \frac{SAR}{c}$$

όπου:

$\rho$ : η πυκνότητα μάζας ομοιώματος βιολογικού ιστού ( $g/m^3$ ),

$c$ : η ειδική θερμότητα υλικού ( $J/kg/^\circ C$ ),

$k$ : η θερμική αγωγιμότητα υλικού ( $W/m/^\circ C$ ),

$\Delta T$ : η αύξηση θερμοκρασίας ( $^\circ C$ ),

$\Delta t$ : η διάρκεια παλμού ισχύος (sec).

Αυτή η προσέγγιση ισχύει όταν ο δεύτερος όρος του αριστερού μέλους της δεύτερης εξίσωσης που περιγράφει τη διάχυση θερμότητας, μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος. Η παραβίαση της αρχικής γραμμικής σχέσης μεταξύ του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας και του SAR αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου εφαρμογής

ηλεκτρομαγνητικής ισχύος. Ο μέγιστος αποδεκτός χρόνος  $\Delta t$  εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η απαιτούμενη ακρίβεια μέτρησης του SAR, η θερμική αγωγιμότητα του ομοιώματος και η χωρική παράγωγος της κατανομής SAR, που με τη σειρά της εξαρτάται από τη συχνότητα, τα χαρακτηριστικά του ομοιώματος και την πηγή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Ο χρόνος  $\Delta t$  πρέπει να είναι αρκετά σύντομος, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα φαινόμενα θερμικής διάχυσης. Η θερμοκρασία μετριέται συνήθως με τη βοήθεια θερμοστοιχείων.

#### 4.4.5 Οριακές Τιμές για την Ακτινοβολία της Κινητής Τηλεφωνίας

Τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε ραγδαία αύξηση της χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων και μικροκυματικών συχνοτήτων, ιδιαίτερα στις επικοινωνίες (κινητές επικοινωνίες, συστήματα παρακολούθησης, τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι κ.λπ.), με συνέπεια την αυξημένη ανησυχία του κοινού για τις πιθανές βιολογικές επιδράσεις αυτών των συχνοτήτων. Για την περίπτωση των σταθμών βάσης των κινητών επικοινωνιών, όπου αναφερόμαστε στο μακρινό πεδίο της κεραίας, η στάθμη  $0,5 \text{ mW/cm}^2$  εξασφαλίζει την προστασία του γενικού πληθυσμού.

Αντίθετα για την περίπτωση της έκθεσης στην ακτινοβολία φορητών τηλεφωνικών συσκευών (τοπική έκθεση), τα όρια ασφαλείας εκφράζονται με βάση το Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης. Ως κατώφλι για την αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία θεωρείται η απορρόφηση  $2 \text{ W/kg}$ , που υπολογίζεται ως μέση τιμή σε μάζα βιολογικού ιστού  $10 \text{ gr}$  (Πίνακας 4.3). Η εκτίμηση της συμμόρφωσης με τα όρια ασφαλούς έκθεσης δεν είναι προφανής όταν πρόκειται για έκθεση στο κοντινό πεδίο ηλεκτρομαγνητικών πηγών, όπως είναι οι φορητές τηλεφωνικές συσκευές. Για το λόγο αυτό, τόσο η CENELEC στην Ευρώπη όσο και η FCC (Federal Communications Committee) στις ΗΠΑ έχουν προχωρήσει στη σύνταξη προκαταρκτικών κειμένων για τον έλεγχο συμμόρφωσης φορητών τηλεφωνικών συσκευών με τα όρια ασφαλείας.

	<b>SAR</b> (μέση τιμή για όλο το σώμα και για διάστημα μέτρησης 6 min)	<b>SAR (μέση τιμή για 10 gr ιστού διαφορετικού από τα άκρα (χέρια, πόδια) και για διάστημα μέτρησης 6 min)</b>	<b>SAR</b> (μέση τιμή για 10 gr ιστού στα άκρα και για διάστημα μέτρησης 6 min)
<b>Γενικός πληθυσμός</b>	0,08 W/kg	2 W/kg	4 W/kg

<b>Επαγγελματική έκθεση</b>	0,4 W/kg	10 W/kg	20 W/kg
-----------------------------	----------	---------	---------

**Πίνακας 4.3: Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (SAR) – Όρια ασφαλούς έκθεσης**

Κατά τη χρήση φορητών τηλεφωνικών συσκευών οι ιστοί του κεφαλιού του χρήστη εκτίθενται στο κοντινό πεδίο της πηγής. Τα αναλογικά φορητά τηλέφωνα εκπέμπουν μέση ισχύ 600 mW και τα περισσότερα ψηφιακά τηλέφωνα 250 mW (900 MHz) ή 125 mW (1800 MHz). Ωστόσο η ισχύς των περισσότερων σύγχρονων τηλεφώνων ελέγχεται από το σταθμό βάσης: το φορητό τηλέφωνο προσαρμόζει την εκπεμπόμενη ισχύ του ώστε να παράγει το ελάχιστο σήμα που απαιτείται για την αξιόπιστη επικοινωνία του με το σταθμό βάσης. Αν και η εκπεμπόμενη ισχύς είναι σχετικά χαμηλή, η τοποθέτηση της συσκευής σε επαφή με το κεφάλι του χρήστη μπορεί να οδηγήσει σε υπέρβαση των ορίων ασφαλείας. Ένας ακόμη παράγοντας που δυσκολεύει την εκτίμηση της έκθεσης είναι η καθοριστική εξάρτησή της από την ακριβή θέση του τηλεφώνου σε σχέση με το κεφάλι και από το ακριβές σχήμα και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κεφαλιού, που ποικίλουν ανάλογα με το χρήστη.

Απαιτείται επομένως προσεκτικός έλεγχος για την εκτίμηση της συμμόρφωσης των φορητών τηλεφωνικών συσκευών με τα διεθνή πρότυπα ασφαλείας. Δυστυχώς είναι αδύνατη η μέτρηση του SAR μέσα στο κεφάλι. Γι' αυτό ο έλεγχος βασίζεται σε πολύπλοκες υπολογιστικές προσομοιώσεις και/ή σε μετρήσεις σε ομοιώματα του ανθρώπινου κεφαλιού.

## **4.5 Συμπεράσματα**

Μπορούμε να πούμε με βάση τις μέχρι σήμερα πληροφορίες ότι η χρήση κινητών τηλεφώνων είναι επιβλαβής; Η απάντηση δεν μπορεί να είναι μονολεκτική επειδή συμμετέχουν πολλοί παράγοντες στο τελικό αποτέλεσμα, όπως: α) δεν είναι όλα τα κινητά τηλέφωνα ίδια από πλευρά εκπεμπόμενης ακτινοβολίας αλλά και θέση της κεραίας εκπομπής ως προς τον εγκέφαλο του χρήστη, β) η ισχύς εκπομπής του κινητού τηλεφώνου μεταβάλλεται ανάλογα με το σήμα που δέχεται το κινητό τηλέφωνο από το σταθμό βάσης, με άλλα λόγια όταν το κινητό τηλέφωνο δέχεται ισχυρό σήμα όπως αυτό άλλωστε φαίνεται στην οθόνη του τηλεφώνου τότε το κινητό τηλέφωνο έχει τη δυνατότητα να εκπέμψει με τη μικρότερη δυνατή ισχύ ώστε να υπάρξει επικοινωνία με τον αντίστοιχο σταθμό βάσης, γ) δεν είναι όλα τα άτομα ίδια



από πλευράς φυσιολογίας αλλά και ηλικίας είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι άτομα νεαρής ηλικίας είναι πιο ευπαθή, πράγμα που προκαλεί την ανησυχία των ερευνητών για τα νεαρά άτομα που τη στιγμή αυτή αποτελούν μια από τις πολυπληθέστερες (και συνεχώς αυξανόμενη) κατηγορία χρηστών κινητών τηλεφώνων, δ) δεν χρησιμοποιούν όλοι οι κάτοχοι κινητών τηλεφώνων τον ίδιο χρόνο ημερησίως σε επικοινωνία με κινητό τηλέφωνο.

Τέλος θα αναφέρουμε τι πρέπει να προσέχουμε όταν αγοράζουμε το κινητό μας τηλέφωνο και τι πρέπει να προσέχουμε κατά τη χρήση του κινητού ώστε να μην επιβαρυνθεί το κεφάλι μας από την ακτινοβολία της συσκευής μας:

- **Να είστε σύντομοι.** Όσο περισσότερο μιλάτε, τόσο περισσότερο είστε εκτεθειμένος στην ακτινοβολία.
- **Χρησιμοποιήστε κινητό τηλέφωνο με ακουστικά (hands-free).** Έτσι πετυχαίνεται μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στην κεραία του κινητού τηλεφώνου και του κεφαλιού σας. Η συντριπτική πλειοψηφία των ερευνών δείχνει πως έτσι είναι μικρότερη και η ακτινοβολούμενη ισχύς που διεισδύει το κεφάλι σας. Σε περίπτωση που δεν έχετε hands-free, προσπαθήστε η συσκευή να μην είναι σε επαφή με το αυτί.
- **Πριν αποκτήσετε κινητό τηλέφωνο, ενημερωθείτε για την ισχύ της ακτινοβολίας που απορροφάται στο κεφάλι σας (μέγεθος SAR).** Σύντομα, όλοι οι κατασκευαστές θα το αναγράφουν στο κουτί της κάθε συσκευής. Από αυτή την άποψη υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διάφορων μοντέλων συσκευών κινητών τηλεφώνων. Προτιμήστε μια συσκευή με χαμηλή επιβάρυνση ακτινοβολίας.
- **Τηλεφωνείτε όταν είστε στο αυτοκίνητο μόνο μέσω εξωτερικής κεραίας.** Το μεταλλικό αμάξωμα του αυτοκινήτου σας, εγκλωβίζει την ακτινοβολία και αφήνει μικρό μόνο μέρος της να εκπεμφθεί εξωτερικά. Έτσι λοιπόν το κινητό σας τηλέφωνο για να πετύχει ικανοποιητική ποιότητα επικοινωνίας, ανεβάζει αυτόματα την ισχύ εκπομπής του και έτσι και την επιβάρυνσή σας σε ακτινοβολία.

## 5 Η/Μ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΑ RADAR

### 5.1 Εισαγωγή

Το radar (Radio Detection And Ranging) ή ραδιοεντοπιστής, είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ηλεκτρομαγνητικού εντοπισμού και παρακολούθησης κινητών και ακίνητων στόχων, σε αποστάσεις και συνθήκες φωτισμού που είναι απαγορευτικές για απευθείας οπτικό εντοπισμό με το ανθρώπινο μάτι ή και οπτικά όργανα. Έχει σημαντικές δυνατότητες ανίχνευσης και παρακολούθησης στόχων σε μεγάλες αποστάσεις και με αρκετή ακρίβεια.

Ένα radar αποτελείται από μια συσκευή αποστολής σημάτων (πομπός), η οποία παράγει τα ραδιοκύματα και έναν ή περισσότερους δέκτες που τα συλλέγουν. Τα ραδιοκύματα διαδίδονται μέσα στο χώρο δημιουργώντας επαγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα σε μια λαμβάνουσα κεραία, ενώ παράλληλα μεταφέρει και πληροφορία. Η βασική αρχή λειτουργίας ενός radar βασίζεται στην εκπομπή μικρών παλμών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (στην περιοχή των ραδιοκυμάτων  $10^5\text{Hz}$  ή  $10^4\text{m}$ ) από μια κεραία πομπό και αφού ανακλαστούν από έναν στόχο, επιστρέφουν στην κεραία δέκτη και αναλύονται από τα ηλεκτρονικά συστήματα του radar.

Οι εκπεμπόμενες ραδιοσυχνότητες από τις κεραίες radar, επηρεάζουν περισσότερο τους εργαζόμενους στους συγκεκριμένους χώρους. Αν όμως, κάποιες κεραίες είναι εγκατεστημένες μέσα σε κατοικημένες αστικές περιοχές, εκτίθενται ευρύτερες ομάδες πολιτών.

Η πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε απόσταση  $r$  από την κεραία και σε διεύθυνση κατά την οποία η κεραία έχει απολαβή  $G$  (dB), υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P_r = \frac{N}{4\pi r^2} \cdot 10^{\frac{G}{10}} \cdot \left( \frac{W}{m^2} \right) \quad (5,1)$$

όπου  $N$  η ισχύς εξόδου του πομπού και η εκπομπή θεωρείται συνεχής.

Αν η εκπομπή δεν είναι συνεχής αλλά κατά παλμούς, η μέση πυκνότητα ισχύος σε απόσταση  $r$  από την κεραία και σε διεύθυνση με απολαβή κεραίας  $G$ , δίνεται από τη σχέση:

$$P_{r,\pi} = \frac{N_{\mu\acute{\epsilon}\sigma\eta}}{4\pi r^2} \cdot 10^{\frac{G}{10}} \cdot \left( \frac{W}{m^2} \right) \quad (5,2)$$

όπου  $N_{\mu\acute{\epsilon}\sigma\eta}$  η μέση ισχύς του πομπού.

Αν  $prf$  ή  $prf$  είναι η συχνότητα (ρυθμός) επανάληψης των παλμών και  $w$  το εύρος (διάρκεια) του παλμού, ο κύκλος εργασίας του πομπού (duty factor ή cycle) θα είναι:

$$Duty\ factor(DF) = w \cdot prf \quad (5,3)$$

και η μέση ισχύς εκπομπής:

$$N_{\mu\acute{\epsilon}\sigma\eta} = N_{\kappa} \cdot (DF) \quad (5,4)$$

όπου  $N_{\kappa}$  είναι η ισχύς κορυφής των παλμών.

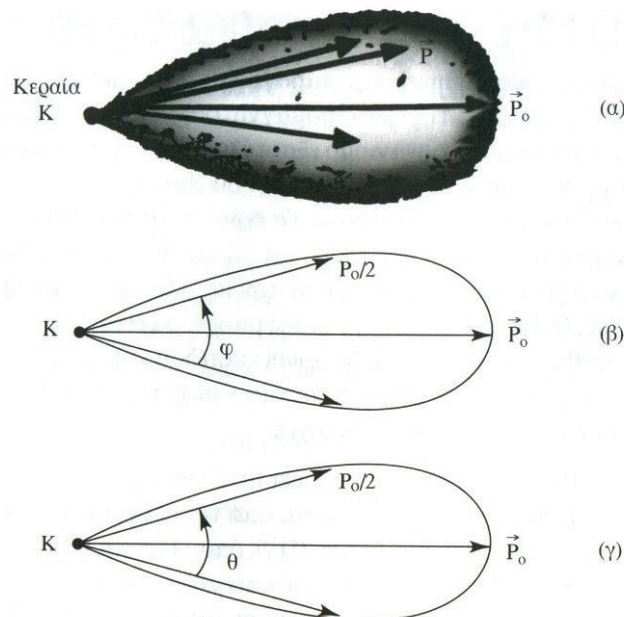
Ο συνδυασμός των τριών προηγούμενων σχέσεων δίνει, για τη μέση πυκνότητα ισχύος σε απόσταση  $r$  από την κεραία παλμικής εκπομπής, την ακόλουθη σχέση:

$$P_{r,\pi} = \frac{N_{\kappa} \cdot w \cdot prf}{4\pi r^2} \cdot 10^{\frac{G}{10}} \cdot \left( \frac{W}{m^2} \right) \quad (5,5)$$

Σε μερικές περιπτώσεις, όπου η κεραία πομπού περιστρέφεται, η μέση πυκνότητα ισχύος σε απόσταση  $r$  δίνεται από τη σχέση:

$$P_{r,\pi,\pi} = \frac{N_{\kappa} \cdot w \cdot prf}{4\pi r} \cdot 10^{\frac{G}{10}} \cdot \frac{\phi^{\circ}}{360^{\circ}} \cdot \left( \frac{W}{m^2} \right) \quad (5,6)$$

όπου  $\phi$  είναι το εύρος μισής ισχύος του οριζόντιου διαγράμματος της κεραίας σε μοίρες.



Εικόνα 5.8

Η Εικόνα 5.1 αναπαριστά:

- (α) **Στερεό διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας.** Είναι ο γεωμετρικός τόπος των άκρων των διανυσμάτων  $\vec{P}$ , τα μέτρα των οποίων εκφράζουν την πυκνότητα ισχύος που ακτινοβολείται από την κεραία σε κάθε διεύθυνση του χώρου.
- (β) **Οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας.** Προκύπτει από την τομή του στερεού διαγράμματος ακτινοβολίας (α) από ένα οριζόντιο επίπεδο. Οι διευθύνσεις κατά τις οποίες η ακτινοβολούμενη πυκνότητα ισχύος είναι το μισό της μέγιστης,  $P_0$ , σχηματίζουν μια γωνία που λέγεται γωνία μισής ισχύος,  $\varphi$ .
- (γ) **Κατακόρυφο διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας.** Προκύπτει από την τομή του στερεού διαγράμματος ακτινοβολίας (α) από ένα κατακόρυφο επίπεδο. Η γωνία  $\theta$  είναι η γωνία μισής ισχύος του κατακόρυφου διαγράμματος ακτινοβολίας που ορίζεται όπως και η  $\varphi$ .

## 5.2 Εγγύς και Μακρινό Πεδίο Κεραίας Εκπομπής

Όπως ήδη αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.5, ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τον ανθρώπινο οργανισμό εξαρτάται από τον προσανατολισμό του σώματος σε σχέση με τη διεύθυνση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Τα όρια επικινδυνότητας καθορίστηκαν με βάση τον προσανατολισμό  $\vec{E}$ , όπου το ηλεκτρικό πεδίο είναι παράλληλο με το μεγάλο άξονα του σώματος. Ο προσανατολισμός αυτός μπορεί να είναι γνωστός και σταθερός μόνο στην περίπτωση επίπεδου κύματος.

Ο χώρος γύρω από μία κεραία εκπομπής ραδιοσυχνοτήτων χωρίζεται σε δύο περιοχές:

- I. **Περιοχή εγγύς πεδίου (near field region):** Η περιοχή αυτή εκτείνεται από την επιφάνεια της κεραίας μέχρι την απόσταση  $2D^2/\lambda$  όπου  $D$  η μεγαλύτερη διάσταση της κεραίας και  $\lambda$  το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Μέσα στην περιοχή αυτή, ο προσανατολισμός του ηλεκτρικού πεδίου δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται σε κάθε σημείο και κάθε χρονική στιγμή. Συγκεκριμένα το  $\vec{E}$  περιστρέφεται πάνω σ' ένα επίπεδο, παράλληλο με τη διεύθυνση διάδοσης. Στην περιοχή του εγγύς πεδίου τα  $\vec{E}$  και  $\vec{B}$  έχουν τη μορφή

στάσιμου κύματος και δεν υπάρχει κατά μέσο όρο ροή ενέργειας (η ενέργεια αποθηκεύεται). Επιπλέον, τα  $\vec{E}$  και  $\vec{B}$  είναι εκτός φάσης, δεν παίρνουν δηλαδή ταυτόχρονα τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή τους.

- II. **Περιοχή μακρινού πεδίου (far field region):** Η περιοχή αυτή εκτείνεται πέρα από την απόσταση  $2D^2/\lambda$  και μέχρι το άπειρο. Σε κάθε σημείο της περιοχής ο προσανατολισμός των  $\vec{E}$  και  $\vec{B}$  (για ομογενές και ισότροπο μέσο διάδοσης) διατηρείται σταθερός. Συγκεκριμένα, τα  $\vec{E}$  και  $\vec{B}$  είναι κάθετα μεταξύ τους και συγχρόνως κάθετα στη διεύθυνση της διάδοσης. Επιπλέον είναι και στην ίδια φάση, συνιστούν δηλαδή ένα επίπεδο κύμα. Εφόσον στην περιοχή του εγγύς πεδίου, ο προσανατολισμός αλλάζει διαρκώς, είναι δυσχερής ο προσδιορισμός του ρυθμού απορρόφησης της ακτινοβολίας από έναν ζωντανό οργανισμό που βρίσκεται μέσα στην περιοχή αυτή και συνεπώς ο καθορισμός ορίων επικινδυνότητας.

Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι η σύγκριση της πυκνότητας ισχύος, που μετράται σε ένα σημείο γύρω από μια κεραία εκπομπής, με τα όρια επικινδυνότητας μπορεί να γίνει εφόσον το σημείο μέτρησης βρίσκεται στο μακρινό πεδίο της κεραίας. Οι σχέσεις 5,1, 5,5 και 5,6 ισχύουν μόνο για το μακρινό πεδίο.

## 5.3 Είδη Radar

### 5.3.1 Radar Στρατιωτικών Εγκαταστάσεων

Οι κεραίες των radars αυτών εκπέμπουν ισχυρότατες δέσμες οι οποίες μπορεί να είναι επικίνδυνες ακόμα και σε απόσταση εκατοντάδων μέτρων. Οι εγκαταστάσεις αυτές βρίσκονται συνήθως σε απομονωμένες περιοχές και η επιβάρυνση του πληθυσμού θεωρείται αμελητέα. Επίσης και οι εργαζόμενοι σε αυτές τις εγκαταστάσεις εργάζονται κάτω από αυστηρά μέτρα ασφαλείας. Στην κατηγορία αυτή, ανήκουν:

#### **Radar έρευνας:**

Τα radar έρευνας έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Συχνότητα 1250 – 1350 MHz, διάρκεια παλμού  $w=6$   $\mu\text{sec}$ , συχνότητα επανάληψης παλμών  $\text{prf}=200$  rps, ισχύς κορυφής παλμού 10 MW, περιστρεφόμενη κεραία (5 στροφές/λεπτό) μέγιστης διάστασης  $D=5\text{m}$ , απολαβή κεραίας 30 dB, γωνία μισής ισχύος  $3^\circ$ .

Από τη σχέση  $c=\lambda \cdot f$ , όπου  $c=300.000\text{km/sec}$  (ταχύτητα του φωτός) και  $f$  η συχνότητα, υπολογίζεται καταρχήν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300.000 \cdot 10^3 \text{ m/sec}}{1250 \cdot 10^6 \text{ sec}^{-1}} = 0,24\text{m} = 24\text{cm}$$

Το μακρινό πεδίο κεραίας αρχίζει μετά από την απόσταση:

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 5^2 \text{ m}^2}{0,24\text{m}} = 208\text{m}$$

Σε απόσταση 250m από την κεραία, στο μακρινό της πεδίο, η αναμενόμενη πυκνότητα ισχύος υπολογίζεται από τη σχέση 5,6:

$$P = \frac{10 \cdot 10^6 \text{ Watts} \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ sec} \cdot 200 \text{ sec}^{-1} \cdot 10^{\frac{30}{10}} \cdot \frac{3^\circ}{360^\circ}}{4 \cdot 3,14 \cdot 250^2 \text{ m}^2} = 0,12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 0,012 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} = 12 \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2}$$

Στην περιοχή συχνότητας λειτουργίας του radar αυτού, τα όρια επικινδυνότητας στη Δύση (IRPA) είναι  $4 \text{ mW/cm}^2$  για τους εργαζόμενους και  $0,8 \text{ mW/cm}^2$  για το γενικό πληθυσμό. Στην Ανατολή είναι αντίστοιχα  $10 \mu\text{W/cm}^2$  και  $4 \mu\text{W/cm}^2$ . Επομένως, στην απόσταση των 250m από την κεραία, η πυκνότητα ισχύος είναι πολύ μικρότερη από τα δυτικά όρια, όμως μεγαλύτερη από τα ανατολικά όρια.

Σε αποστάσεις από την κεραία μικρότερες των 208m (δηλαδή στο εγγύς πεδίο της κεραίας), η πυκνότητα ισχύος μπορεί να υπολογιστεί μόνο με προσεγγιστικές μεθόδους. Οι τιμές που προκύπτουν δεν μπορούν να συγκριθούν με τα όρια επικινδυνότητας. Παρ' όλα αυτά, η έκθεση ενός ανθρώπου στο εγγύς πεδίο, σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ασφαλής.

Στην απόσταση των 250m από την κεραία, η στιγμιαία πυκνότητα ισχύος που δέχεται κάποιος που βρίσκεται στη διεύθυνση ακτινοβολίας του radar την στιγμή που περνάει από την θέση του η περιστρεφόμενη δέσμη, υπολογίζεται από τη σχέση (5,5) και ισούται με  $1,5 \text{ mW/cm}^2$ . Η στιγμιαία πυκνότητα ισχύος δεν μπορεί να συγκριθεί με τα όρια επικινδυνότητας που έχουν καθιερωθεί για τους εργαζόμενους και τον γενικό πληθυσμό. Όμως, σε περίπτωση βλάβης (ακινητοποίηση της κεραίας χωρίς ταυτόχρονη διακοπή της εκπομπής) η πυκνότητα ισχύος θα μπορούσε να μετατραπεί σε διαρκή και συνεπώς θα ήταν πολύ επικίνδυνη.

### **Radar επιτήρησης στρατηγικών στόχων:**

Χαρακτηριστικά των radar αυτών είναι:

Συχνότητα 450 MHz, διάρκεια παλμού  $w=60 \mu\text{sec}$ ,  $\text{prf}=200 \text{ rps}$ , ισχύς κορυφής παλμού 32 MW, μέγιστη διάσταση κεραίας 5m, απολαβή κεραίας 20 dB, ηλεκτρονική σάρωση ταυτόχρονα όλων των σημείων του στρατηγικού χώρου.

Η περιοχή μακρινού πεδίου αρχίζει πέρα από την απόσταση:

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 5^2 m^2}{0,66m} = 75m$$

Σε ένα σημείο που απέχει 100 m από την κεραία (μακρινό πεδίο), η αναμενόμενη μέση πυκνότητα ισχύος υπολογίζεται από τη σχέση 5,5 (επειδή ακτινοβολείται ταυτόχρονα ο χώρος) και ισούται με  $30,5 \text{ mW/cm}^2$ . Αυτή η τιμή υπερβαίνει κατά 4 φορές ακόμα και το δυτικό όριο επικινδυνότητας στη συχνότητα λειτουργίας.

Συνεπώς, τα radar των στρατιωτικών εγκαταστάσεων εκπέμπουν πολύ ισχυρές δέσμες που μπορεί να είναι επικίνδυνες ακόμα και σε απόσταση πολλών εκατοντάδων μέτρων από την κεραία. Γι' αυτό το λόγο, υπηρετούνται από ειδικευμένο προσωπικό, κάτω από αυστηρά μέτρα ασφαλείας. Η επιβάρυνση του γενικού πληθυσμού από τα radar αυτά είναι αμελητέα επειδή βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές.

### **5.3.2 Radar Πολιτικών Αεροδρομίων**

Τα radar των πολιτικών αεροδρομίων στην Ελλάδα, έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Συχνότητα 2900MHz, ισχύς κορυφής παλμού 1,5MW, διάρκεια παλμού  $w=0,8\mu\text{sec}$ ,  $\text{prf}=1040\text{rps}$ , απολαβή κεραίας  $G=33\text{dB}$ , μέγιστη διάσταση κεραίας 5m, γωνία μισής ισχύος στο οριζόντιο επίπεδο  $\phi=1,5^\circ$ , αριθμός περιστροφών 15 ανά λεπτό.

Το μακρινό πεδίο της κεραίας των radar αυτών αρχίζει πέρα από την απόσταση των 500m. Η θεωρητικά αναμενόμενη μέση πυκνότητα ισχύος με βάση τη σχέση 5,6 υπολογίζεται ίση με  $3\mu\text{W/cm}^2$  και είναι χαμηλότερη ακόμη και από τα «ανατολικά» όρια επικινδυνότητας. Στο εγγύς πεδίο οι τιμές της πυκνότητας ισχύος είναι μεγαλύτερες (Πίνακας 5.1), δεν μπορούν όμως να συγκριθούν με τα όρια επικινδυνότητας. Όσον αφορά την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τα τερματικά

radar των ελληνικών πολιτικών αεροδρομίων μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, αν ληφθούν υπ' όψη και οι εξής πρόσθετοι παράγοντες:

- (a) Η κεραία του radar είναι εγκατεστημένη σε πύργο ύψους 33 m πάνω από το έδαφος.
- (b) Η κεραία εκπέμπει οριζόντια ή  $2^\circ - 3^\circ$  άνω του οριζόντιου άξονα.
- (c) Στον υπολογισμό της πυκνότητας ισχύος με βάση τις σχέσεις 5,1 , 5,5 και 5,6 δεν λαμβάνεται υπόψη η εξασθένηση του κύματος κατά τη διάδοσή του στην ατμόσφαιρα, κυρίως επειδή είναι σχετικά μικρή αφού η συχνότητα λειτουργίας των τερματικών radar είναι πολύ μικρότερη από τη συχνότητα συντονισμού των υδρατμών (22,24GHz) και του οξυγόνου (60GHz). Λόγω εξασθένησης, πάντως, η πραγματική πυκνότητα ισχύος είναι μικρότερη.

Συνεπώς, η πιθανότητα να βρεθούν μονάδες του γενικού πληθυσμού ή και εργαζόμενοι στη διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας της κεραίας είναι μόνο θεωρητική. Και αν, παρά ταύτα, πραγματοποιηθεί, αυτό θα συμβεί σε ορεινές περιοχές του ευρύτερου χώρου των αεροδρομίων και σε τόσο μεγάλες αποστάσεις, που η πυκνότητα ισχύος θα είναι ασήμαντη, ακόμη και αν ληφθούν υπ' όψη τυχόν ανακλάσεις της δέσμης που μπορούν να την τετραπλασιάσουν.

Πειραματική επιβεβαίωση: Η ασήμαντη ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη λειτουργία των τερματικών radar των ελληνικών πολιτικών αεροδρομίων επιβεβαιώθηκε και πειραματικά με δύο μετρήσεις. Αρχικά μετρήθηκε η πυκνότητα ισχύος σε επιλεγμένα σημεία του χώρου του αεροδρομίου με το radar σε λειτουργία και στη συνέχεια επανελήφθησαν οι μετρήσεις με το radar εκτός λειτουργίας, χωρίς να προκύψει καμία απολύτως διαφορά στις τιμές του υποβάθρου.

Στα αεροδρόμια βέβαια, λειτουργεί εκτός του κυρίου radar, ένα πλήθος άλλων μικρότερων πομπών που δημιουργούν ένα ηλεκτρομαγνητικό υπόβαθρο, το οποίο θα έπρεπε να ερευνηθεί συστηματικά με ευθύνη της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, μαζί με το πανταχού παρόν υπόβαθρο των 50Hz του ηλεκτρικού δικτύου

Στον Πίνακα 5.1 φαίνεται η πυκνότητα ισχύος σε διάφορες αποστάσεις από την κεραία τερματικού radar των ελληνικών αεροδρομίων, μέσα στο εγγύς πεδίο της (0-500m). Οι τιμές υπολογίστηκαν θεωρητικά, με ειδικές προσεγγιστικές μεθόδους και είναι μόνο ενδεικτικές, καθώς δεν μπορούν να συγκριθούν με τα όρια επικινδυνότητας που ισχύουν μόνο για το μακρινό πεδίο κεραίας. Σε καμιά περίπτωση, πάντως δεν μπορούν να θεωρηθούν ακίνδυνες και πολύ περισσότερο να συναχθεί το συμπέρασμα ότι μπορεί κανείς να εκτίθεται στο εγγύς πεδίο κεραίας.



Απλώς δεν μπορεί να εκτιμηθεί ο βαθμός επικινδυνότητας στα διάφορα σημεία του εγγύς πεδίου μιας κεραίας.

Απόσταση από κεραία (m)	Πυκνότητα Ισχύος $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
10	200
20	112
30	79
40	60
50	48
75	31
100	20
150	10
200	6
250	3,77
500	3

Πίνακας 5.9

### 5.3.3 Άλλα Είδη Radar

- **Radar ανιχνεύσεως επιφάνειας:** Εγκαθίστανται σε ακτές ή σε πλοία και ανιχνεύουν την επιφάνεια της θάλασσας. Ανιχνεύουν όμως και τον εναέριο χώρο, αλλά σε μικρό ύψος. Χρησιμοποιούνται για να διασφαλίζουν την ασφαλή ναυσιπλοΐα, τον Εντοπισμό εχθρικών ή μη πλοίων και την ύπαρξη ή μη αντικειμένων στην επιφάνεια της θάλασσας.
- **Radar ανιχνεύσεως αέρα:** Εγκαθίστανται στο έδαφος (σε βουνοκορφές ή κοντά σε αεροδρόμια) και σε πλοία. Ως σκοπό έχουν να ανιχνεύουν τον εναέριο χώρο σε μεγάλες αποστάσεις και σε μεγάλα ύψη. Με το radar ανιχνεύσεως αέρα εξασφαλίζεται ο έλεγχος της εναέριας κυκλοφορίας, για την εξασφάλιση της δυνατότητας προσανατολισμού των αεροσκαφών και ο εντοπισμός εχθρικών αεροσκαφών σε μεγάλες αποστάσεις.
- **Υψομετρικά radar:** Εγκαθίστανται σε αεροσκάφη και εξασφαλίζουν ακριβή μέτρηση του ύψους πτήσεώς τους.
- **Μετεωρολογικά radar:** Με αυτά εξασφαλίζεται ο έγκαιρος εντοπισμός και η παρακολούθηση των επερχομένων καταιγίδων και κυκλώνων.
- **Radar ελέγχου πυρός:** Αποτελούν μέρος των διαφόρων τύπων οπλικών συστημάτων, στα οποία παρέχουν τα απαραίτητα στοιχεία βολής ή και στοιχεία διορθώσεως της κατευθύνσεως κινήσεως ορισμένων τύπων τηλεκατευθυνόμενων βλημάτων.

- **Radar μετρήσεως ταχύτητας:** Με αυτά επιτυγχάνεται η ακριβής μέτρηση της ταχύτητας οχημάτων στους αυτοκινητόδρομους και διαπιστώνεται η τήρηση ή μη του ορίου ταχύτητας, καθώς και η μέτρηση της ταχύτητας πλοίων σε θαλάσσιες περιοχές που ισχύει όριο ταχύτητας.

## 5.4 Βιολογικές Επιδράσεις

Οι ραδιοσυχνότητες που εκπέμπονται από τις κεραιές των radar επηρεάζουν κυρίως τους εργαζόμενους στους χώρους αυτούς. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η έκθεση στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία συνεπάγεται βιολογικές επιδράσεις (αλλοιώσεις των κυττάρων και μεταβολές ή αλλοιώσεις του βιολογικού υλικού). Οι επιδράσεις μπορεί να είναι:

- Οφθαλμολογικές
- Κυτταρολογικές
- Αισθητηριακές
- Αναπαραγωγικές
- Γενετικές
- Δερματικές
- Αιματολογικές

Η έκθεση στο εγγύς πεδίο μιας ραδιοηλεκτρικής πηγής έχει περίπλοκη εξάρτηση. Σε αντίθεση με το εγγύς πεδίο, το μακρινό πεδίο προσεγγίζεται απλούστερα από τις σχέσεις:

$$S_{EXP}(\theta, \phi, R) = \frac{E_{EXP}^2(\theta, \phi, R)}{Z_0} = H_{EXP}^2(\theta, \phi, R) \cdot Z_0 = \frac{P_{rad}(\theta, \phi, R)}{4\pi R^2},$$

όπου  $(\theta, \phi)$  οι γωνιακές συντεταγμένες διεύθυνσης της πηγής,  $R$  η απόσταση από την πηγή,  $P_{rad}(\theta, \phi)$  η ακτινοβολούμενη ισχύς προς τη διεύθυνση  $(\theta, \phi)$ ,  $Z_0$  η αντίσταση πεδίου ( $377 \Omega$ ).

Η κεραία radar περιβάλλεται από μία νοητή ζώνη επικινδυνότητας (Nominal Hazard Zone, NHZ). Σε αυτή την περιοχή ίσως υπάρχουν βιολογικές επιπτώσεις, αφού η έκθεση  $E_{EXP}$ ,  $H_{EXP}$  ή  $S_{EXP}$  θα υπερβαίνει την επιτρεπτή  $E_{EL}$ ,  $H_{EL}$  ή  $S_{EL}$ . Η  $R_{NHZ}$  στο απόμακρο πεδίο ενός radar προσδιορίζεται από τις σχέσεις:

$$S_{EXP} = S_{EL}$$

$$(S_{EXP})_{peak} = 1000 \cdot S_{EL}$$

$$R_{NHZ} = \sqrt{\frac{P_{rad}(\theta, \phi)}{4\pi S_{EL}}}$$

Ο ορισμός της NHZ απαιτεί λεπτομερείς υπολογισμούς, ειδικές μετρήσεις και κατάλληλη χρήση των λειτουργικών παραμέτρων. Με τη χρήση της συχνότητας, του τρόπου που ακτινοβολείται η ισχύς και τις κυριότερες συνθήκες έκθεσης, μπορεί να εκτιμηθούν οι διαστάσεις της NHZ. Ο Πίνακας 5.2 δίνει παραδείγματα τέτοιων εκτιμήσεων.

Είδος Πηγής	Χαρακτηριστικά	Ζώνη	Συχνότητα	$P_{rad}(\theta, \phi)$ (KW)	$R_{NHZ}$ (m)
Radar στρατιωτικού αεροδρομίου	Pulsed 500 dB	S (SHF)	3 GHz	65 KW	22,7 m
Radar πολιτικής αεροπορίας	Pulsed 200 KWp κεραία 41 dB	X (SHF)	9 GHz	17 KW	11,6 m
Radar επιβατικού πλοίου	Pulsed 15 KWp κεραία 29 dB	S (SHF)	3 GHz	3 KW	4,9 m
Radar επιβατικού πλοίου	Pulsed 10 KWp κεραία 36 dB	X (SHF)	9.3 GHz	7 KW	7,5 m
Radar τροχαίας	CW 0.2 Wp κεραία 23 dB	K (SHF)	24.15 GHz	40 W	0,6 m

Πίνακας 5.2 Ακτίνα της ζώνης επικινδυνότητας  $R_{NHZ}$  από βιολογικές επιπτώσεις (παραδείγματα για τη δυσμενέστερη περίπτωση με τιμή  $SAR=0.08$  W/kg)

Σε επαγγελματική έκθεση ( $SAR=0,4$  W/kg) η  $R_{NHZ}$  μειώνεται στο 0,45 των ανωτέρω τιμών.

## 5.5 Όρια Επιτρεπτής Έκθεσης

Η αρχή της οριοθέτησης επιβάλλει τη θέσπιση ορίων επιτρεπτής έκθεσης (Exposure Limits, EL), χωρίς αυτό να σημαίνει υποχρεωτικά ότι αυτά είναι τα όρια ασφαλείας. Τα όρια έκθεσης του πληθυσμού είναι αυστηρότερα από αυτά των εργαζομένων σε χώρους που παράγεται η ακτινοβολία, ισχύουν σε κανονικές συνθήκες και μπορεί να ξεπεραστούν σε ειδικές περιπτώσεις. Τα όρια επιτρεπτής έκθεσης (exposure limits, EL) στις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες δίδονται σε  $E_{EL}$  (V/m) ή  $H_{EL}$  (A/m) σε  $S_{EL}$  (W/m<sup>2</sup> ή mW/cm<sup>2</sup>) ή σε  $[S.t]_{EL}$  (J/m<sup>2</sup> ή mJ/cm<sup>2</sup>). Βασικό ζήτημα

στις εκπομπές των Radar, είναι η εφαρμογή της οριοθέτησης για το διαχωρισμό των ακτινοβολιών σε ασθενείς ή ισχυρές, με βάση τις βιολογικές επιπτώσεις.

Με βάση τα πρότυπα για το οκτάωρο εργασίας η βιολογικά αποδεκτή έκθεση ολόκληρου του σώματος στα ραδιοηλεκτρικά κύματα δεν πρέπει να υπερβαίνει την μέση, ανά εξάλεπτο, τιμή SAR=0,4W/kg, ενώ η αντίστοιχη τιμή για την εικοσιτετράωρη έκθεση του πληθυσμού γενικά είναι SAR=0,08W/kg. Με βάση τις τιμές αυτές δίδονται στον Πίνακα 5.3 τα όρια της επιτρεπτής έκθεσης για τις συχνότητες των Radar που συνιστά η παγκόσμια οργάνωση υγείας (WHO) σε συνεργασία με την επιτροπή μη ιονιζουσών ακτινοβολιών της οργάνωσης προστασίας από τις ακτινοβολίες (IRPA).

<b>ΟΡΙΑ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ (EL)</b>			
Συχνότητα (MHz)	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου $E_{EL}(V/m)$	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου $H_{EL}(A/m)$	Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος $S_{EL}(W/m^2)$
<i>Εργαζόμενοι (Μέσες τιμές έκθεσης ολόκληρου του σώματος για οποιοδήποτε εξάλεπτο κατά τη διάρκεια οκτάωρης εργασίας ανά εικοσιτετράωρο)</i>			
10 – 400	61	0,16	10
400 – 2000	$3F^{1/2}$	$0,008.F^{1/2}$	F/40
2000 – 300.000	137	0,36	50
<i>Πληθυσμός (Μέσες τιμές έκθεσης ολόκληρου του σώματος για οποιοδήποτε εξάλεπτο κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου)</i>			
10 – 400	27,5	0,073	2
400 – 2000	$1,375.F^{1/2}$	$0,0037.F^{1/2}$	F/200
2000 – 300000	61	0,16	10

**Πίνακας 5.3 Όρια επιτρεπτής έκθεσης**

Παρότι οι περισσότερες έρευνες και μελέτες υποστηρίζουν ότι η ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση προς το γενικότερο πληθυσμό από Radar (ειδικά στρατιωτικών εγκαταστάσεων) είναι αμελητέα, διότι βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές, υπάρχει και η άποψη που υποστηρίζει το αντίθετο. Η άποψη αυτή, στηρίζεται σε μαρτυρίες ανθρώπων που ζουν κοντά σε μεγάλες στρατιωτικές βάσεις και σε στατιστικά στοιχεία θανάτων από λευχαιμία και καρκίνο στις περιοχές αυτές.

## **5.6 Συμπεράσματα**

Ορισμένα Radar ακτινοβολούν μέτρια έως εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος. Η λειτουργία τους πρέπει να διέπεται από τις αρχές της ακτινοπροστασίας, διότι

μπορεί να προκληθούν ατυχήματα από παρεμβολές ή βλάβη της υγείας από απορρόφηση ισχύος στους ιστούς του οργανισμού. Εάν από τα στοιχεία του Radar προκύπτει ότι η έκθεση θα υπερβαίνει τα αποδεκτά όρια έκθεσης (Exposure Limits, EL), τότε πρέπει να υπολογιστεί, να επιβεβαιωθεί με μετρήσεις και όπου είναι δυνατό να οριοθετηθεί η ζώνη επικινδυνότητας. Πρέπει επίσης να υπάρχουν λεπτομερείς κανονισμοί και οι αρχές να ενημερώνουν περιοδικά τους χρήστες.

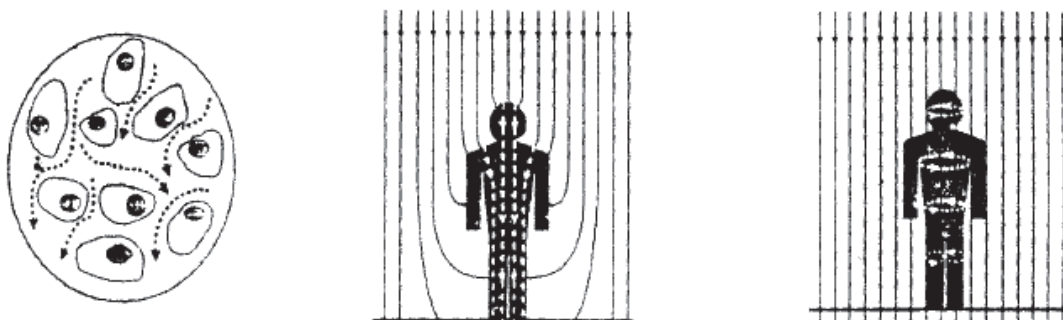
Η έκθεση κάποιου από το κοινό μέσα στον λοβό της κεραίας ορισμένων παλμικών Radar (ζώνης S, X και K) έχει ζώνη βιολογικής επικινδυνότητας με ακτίνα  $4,9\text{m} \leq R_{\text{NHZ}} \leq 22,7\text{m}$ . Οι εργαζόμενοι μόνο πρόσκαιρα μπορούν να προσεγγίζουν σε απόσταση μικρότερη από  $0,45 R_{\text{NHZ}}$ . Στα ίδια Radar είναι πολλαπλάσια (10~1000 και πλέον) η ακτίνα  $R_{\text{EMI}}$  της ζώνης παρεμβολών από την ραδιοανίχνευση (στη ζώνη EMI). Η έκθεση των τροχονόμων μέσα στον κύριο λοβό της κεραίας των Radar της τροχαίας CW (X & K band) έχει ζώνη βιολογικής επικινδυνότητας με ακτίνα  $R_{\text{NHZ}}$  0,6m, εάν το Radar λειτουργεί σε ανοικτό πεδίο χωρίς ανακλάσεις. Η χρήση των Radar αυτών μέσα στη καμπίνα του περιπολικού είναι επιβλαβής για τους επιβαίνοντες.

Λόγω περιορισμένης γνώσης, υπάρχει εκκρεμότητα στην οριοθέτηση με βάση τις αθέρμικες βιολογικές επιπτώσεις, στις οποίες υπάρχουν πολλές φυσικές και βιολογικές παράμετροι, με αμφιλεγόμενες καταστάσεις και απόψεις που δίστανται. Παρά ταύτα, σε χώρες της Ανατολικής Ευρώπης και της Ασίας υπάρχουν όρια επιτρεπτής έκθεσης κατά χίλιες φορές και πλέον αυστηρότερα από αυτά της IRPA, που στηρίζονται και στην αποφυγή αθερμικών επιπτώσεων. Οπότε είναι αναγκαία η εφαρμογή της αρχής της ALARA (As Low As Reasonably Achievable) και η κατάλληλη συχνή ενημέρωση των αρχών, των χρηστών και του κοινού. Η αρχή ALARA σημαίνει ότι κάθε έκθεση πρέπει να προγραμματίζεται ώστε το μέγεθος των συνεπαγομένων δόσεων, ο αριθμός των εκτιθεμένων ατόμων και η πιθανότητα ατυχήματος να διατηρηθούν τόσο χαμηλά όσο είναι λογικά εφικτό λαμβάνοντας υπόψη κάθε σχετικό κοινωνικό και οικονομικό παράγοντα.

## 6 Η/Μ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η πόλη που ζούμε σήμερα κατακλύζεται από μια φυσική οντότητα που είναι αδύνατο να τη συλλάβουμε με τις αισθήσεις μας, την ηλεκτρονική ακτινοβολία. Η αδυναμία αυτή, σε συνδυασμό με την επιστημονική αβεβαιότητα που προβάλλουν οι πολυεθνικές εταιρείες και η έλλειψη πληροφόρησης του πολίτη, έχουν δημιουργήσει μια επικίνδυνη αδιαφορία στους κατοίκους. Μια απειρία εγκαταστάσεων, μεταξύ των οποίων προεξέχουσα θέση έχουν τα radar, τα κινητά τηλέφωνα, οι κεραίες, οι γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης (150.000 Volt) κ.λπ. ακτινοβολούν μόνιμα στο περιβάλλον. Αυτή η εικόνα, δεν είναι ούτε απλή, ούτε αθώα. Η καταγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε γειτονικά συστήματα ή υποσυστήματα και εν τέλει στην ποιότητα ζωής, οδηγεί σε μια πολυεπιστημονική αναζήτηση και μελέτη των τυχόν βιολογικών επιδράσεων μέσα από την επιδημιολογία, βιολογία, φυσική, ηλεκτρονική, ηλεκτρολογία κλπ.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία πλησίον των δικτύων ανήκουν κυρίως στις εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες (Extreme Low Frequency, ELF) που εντάσσονται στις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες. Ο ευρισκόμενος πλησίον των ηλεκτρικών δικτύων εκτίθεται σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, τα οποία αναλόγως της απόστασης και του φορτίου, μπορεί να είναι ασθενή ή ισχυρά από βιολογικής πλευράς με κριτήριο τα αποδεκτά όρια έκθεσης (Exposure Limits, EL). Το ηλεκτρικό πεδίο επιδρά μέσα στο σώμα διαφορετικά από το μαγνητικό πεδίο (Εικόνα 6.1).



Εικόνα 6.10 Τα επαγόμενα ρεύματα κυκλοφορούν ανάμεσα στα κύτταρα (πρώτη εικόνα) μέσα στο σώμα υπό ηλεκτρικό πεδίο (δεύτερη εικόνα) ή υπό μαγνητικό πεδίο (τρίτη εικόνα).

Ακόμα και κάτω από τα καλώδια των δικτύων το επαγόμενο ρεύμα είναι συχνά πολύ ασθενέστερο από αυτό των φυσικών λειτουργιών του σώματος (εγκέφαλος, καρδιά κλπ), έτσι διαδίδεται ανάμεσα στα κύτταρα όντας ανεπαρκές να διαπεράσει

την κυτταρική μεμβράνη. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην υπέρ απλούστευση ότι δεν θα έχει κάποια σημαντική επίδραση. Κάτι τέτοιο όμως είναι λάθος διότι έχει αποδειχθεί ότι ασθενέστατα ρεύματα ή πεδία μπορεί να διεγείρουν σημαντικές κυτταρικές αντιδράσεις. Σημαντικό είναι επίσης ότι η έκθεση στα πεδία 50/60 Hz δεν συνεπάγεται και αντίστοιχη απορρόφηση διότι οι ιστοί ποικίλουν και υπάρχουν διάφορα φαινόμενα επιρροής (γείωση, πλησίον αντικείμενα κλπ).

Η πυκνότητα μαγνητικής ροής  $B_{exp}$  ( $\mu T$ ,  $1Mt=10mG$ ) και η ένταση ηλεκτρικού πεδίου  $E_{EXP}$  θα είναι ισχυρές, εάν η έκθεση των ιστών υπερβαίνει το αντίστοιχο αποδεκτό όριο έκθεσης  $B_{EL}$ ,  $E_{EL}$ . Τα όρια για τον πληθυσμό είναι αυστηρότερα, αφού κάποιος μπορεί να εκτίθεται συνεχώς (24ωρο) χωρίς να γνωρίζει ή να λάβει μέτρα προστασίας, ενώ η έκθεση του επαγγελματία γίνεται μόνο στην διάρκεια της εργασίας του (8ωρο) και υποτίθεται ότι γνωρίζει τις επιπτώσεις λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα. Τα αποδεκτά όρια έκθεσης που προτείνονται από διεθνείς φορείς με την εποπτεία του ΟΗΕ βασίζονται σε αποτελέσματα ερευνών, οι οποίες δεν έχουν εξαντλήσει το ζήτημα των βιολογικών επιδράσεων. Πλην όμως τεκμηριώνεται ότι η έκθεση σε ισχυρά πεδία συνεπάγεται βιολογικές επιπτώσεις που οδηγούν σε μεταβολές της δραστηριότητας ή αλλοιώσεις των κυττάρων ή των συστημάτων κυττάρων ή του βιολογικού υλικού γενικά. Η αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών είναι η πλέον τεκμηριωμένη και αποδεκτή επίδραση, ενώ υπάρχουν πολλές αναφορές αθερμικών επιδράσεων.

Βασικό ζήτημα είναι η εφαρμογή της αρχής της οριοθέτησης, για την διάκριση των πεδίων σε ασθενή ή ισχυρά με βιολογικά κριτήρια. Δηλαδή η αναζήτηση, διερεύνηση, τεκμηρίωση και θέσπιση ορίων βιολογικής επικινδυνότητας, σε ένα θέμα με πολλές φυσικές και βιολογικές παραμέτρους και αντιφατικές όψεις. Η ανεπάρκεια τεκμηρίωσης για όλες τις βιολογικές επιδράσεις από τα ισχυρά πεδία 50/60 Hz στους ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς και στα ηλεκτρικά δίκτυα είναι δεδομένη. Παρά την έντονη αντιγνωμία που οδηγεί σε μεγάλες αποκλίσεις ως προς τα αποδεκτά όρια έκθεσης  $B_{EL}$ ,  $E_{EL}$ , η πλειοψηφία των διεθνών και εθνικών φορέων ακολουθεί η προσεγγίζει τα όρια της INIRC (International Non Ionizing Radiation Committee) της IRPA (International Radiation Protection Association) που εξειδικεύονται για τους επαγγελματίες, τον πληθυσμό και την διάρκεια έκθεσης.

IRPA/INIRC. Όρια αποδεκτής έκθεσης σε ηλεκτρικά & μαγνητικά πεδία 50/60 Hz για τους επαγγελματίες & τον πληθυσμό			
Όρια έντασης ηλεκτρικού πεδίου $E_{el}$ (KV/m)		Όρια πυκνότητας μαγνητικής ροής $B_{el}$ (mT)	
επαγγελματιών	πληθυσμού	επαγγελματιών	Πληθυσμού
10 (έκθεση επί 8h/d)	5 (έκθεση μέχρι 24h/d)	0,5 (έκθεση επί 8h/d)	0,1 (έκθεση μέχρι 24h/d)
30 (έκθεση μέχρι 2h/d)	10 (έκθεση λίγες h/d)	5 (έκθεση μέχρι 2h/d)	1 (έκθεση λίγες h/d)

Πίνακας 6.1

Τα πεδία είναι ισχυρά πολύ κοντά (10-20m) στα καλώδια των δικτύων και πάντως όχι πλέον των 100m, οπότε δεν είναι εύκολη η πρόσβαση. Όμως είναι χρήσιμη η ακτίνα  $R_{NHZ}$  της ζώνης επικινδυνότητας ως η απόσταση στην οποία η έκθεση θα ισούται με το αντίστοιχο EL. Για το μαγνητικό πεδίο στα δίκτυα των 50/60Hz η  $R_{NHZ}$  μπορεί να προσεγγισθεί αριθμητικά από τις σχέσεις:

$$R_{NHZ} \cong a \cdot \sqrt{\frac{2Id}{B_{el}}} \text{ (διπλή γραμμή),}$$

$$R_{NHZ} \cong b \cdot \sqrt[3]{\frac{fId}{B_{el}}} \text{ (γραμμή υψηλής τάσης),}$$

όπου:

I: το ρεύμα στον αγωγό ή στη γραμμή,

R: η απόσταση από τον αγωγό ή την γραμμή,

d: η απόσταση μεταξύ των αγωγών στην γραμμή μεταφοράς,

a: συντελεστής προσαρμογής μονάδων,

b: ο συντελεστής προσαρμογής μονάδων,

f: σταθερά σχετική με τον αριθμό των αγωγών.

Οι μελέτες και οι ανακοινώσεις επιφανών επιστημόνων οδήγησαν το Αμερικανικό Εθνικό Συμβούλιο Προστασίας από τις Ακτινοβολίες (NCRP) να αναθέσει σε μεγάλο κύρους εμπειρογνώμονες την σύνταξη σχετικής μελέτης. Τον Ιούνιο του 1995 διέρρευσε η έκθεση της επιτροπής όπου εισηγείται για τα πεδία 0-3KHz (δηλαδή, ανάμεσα σε αυτά τα πεδία του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας των 50-60MHz) ότι τα όρια που ισχύουν σήμερα (μαγνητικό πεδίο 100μT

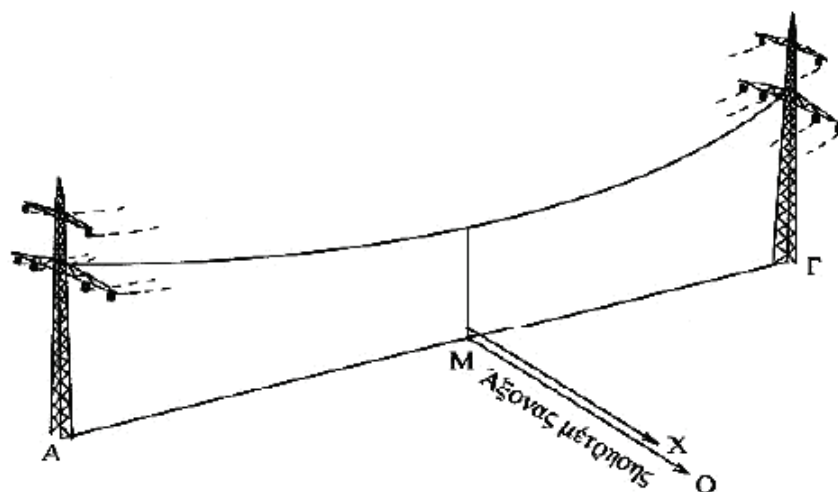


και ηλεκτρικό πεδίο 5000V/m) πρέπει να μειωθούν ως εξής (για το γενικό πληθυσμό):

- Σε 3 χρόνια να μην ξεπερνούν αντίστοιχα τα 1μT και 100V/m
- Σε 6 χρόνια να μην ξεπερνούν αντίστοιχα τα 0,5μT και 50V/m
- Σε 10 χρόνια να επανεξεταστούν οι συνέπειες και να γίνει επιπλέον μείωση στα 0,2μT και 10V/m

Ενώ παράλληλα προτείνει:

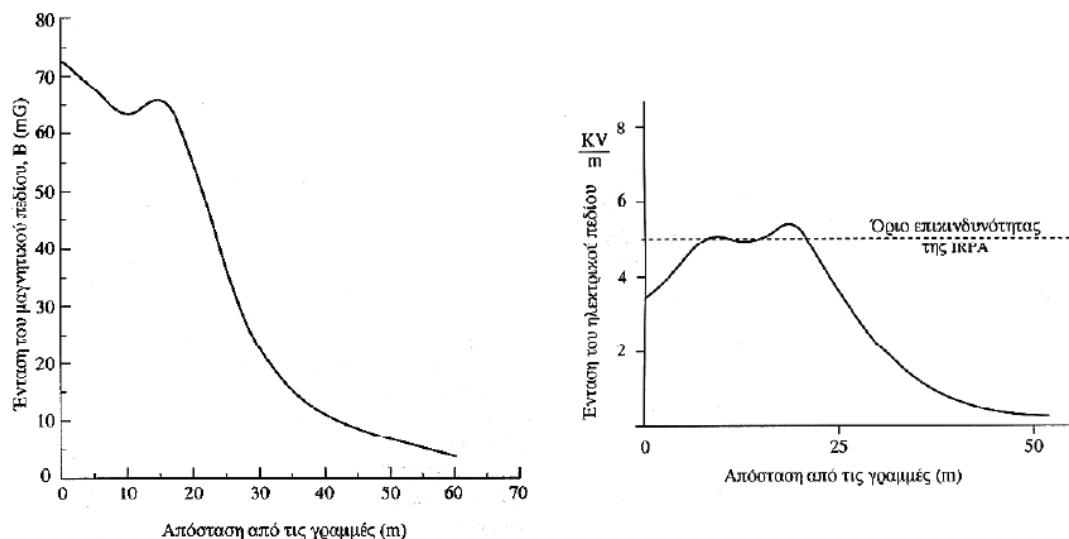
- Να μη χτίζονται καινούργια σχολεία, νηπιαγωγεία και σταθμοί σε χώρους με μαγνητικό πεδίο άνω των 0,2μT
- Να μη χτίζονται σπίτια σε χώρους με μαγνητικό πεδίο άνω των 0,2μT για περιόδους μεγαλύτερες από 0,2μT την ημέρα
- Να μη γίνονται νέες γραμμές μεταφοράς που θα έχουν ως αποτέλεσμα την υπέρβαση των παραπάνω



Εικόνα 6.11

Τα καλώδια υψηλής τάσης (πυλώνες) έχουν αποδειχθεί σχεδόν επικίνδυνα όσον αφορά την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για τον άνθρωπο. Αυτό φάνηκε σε μετρήσεις που έγιναν σε πλήθος γραμμών, όπου φάνηκε ότι το ηλεκτρικό πεδίο (E) στο μέσο της απόστασης δύο διαδοχικών πυλώνων παίρνει τιμές ίσες ή και μεγαλύτερες από τα όρια επικινδυνότητας και κατά συνέπεια πολύ μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας. Όσο για το μαγνητικό πεδίο (B) στο ίδιο σημείο, τα πράγματα είναι καλύτερα, αφού οι τιμές που παίρνει είναι πολύ μικρότερες από το όριο επικινδυνότητας για τα 50Hz αλλά και μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας των 2mG.

Σαν συμπέρασμα καταλήγουμε στο ότι ο άνθρωπος δέχεται υπερβολική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για την υγεία του σε απόσταση κάτω των 30 m από τις γραμμές υψηλής τάσης, ενώ ασφαλής απόσταση θεωρούνται τα 200 m. Τα συμπεράσματα αυτά απεικονίζονται στα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνα 6.3).



Εικόνα 6.12

Πέρα όμως από την δημιουργία της ‘δικής’ τους ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οι γραμμές υψηλής τάσης θεωρούνται ότι είναι κάποιο είδος ‘μαγνήτη’ για κάποιους επιπρόσθετους μηχανισμούς παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, όπως συσσώρευση κοσμικής ακτινοβολίας κατά μήκος των γραμμών, συσσώρευση καρκινογόνων και ραδιενεργών ουσιών γύρω από τους αγωγούς, παράταση του χρόνου ζωής των ελεύθερων ριζών. Στους δρόμους των πόλεων μετρήθηκαν μικρές τιμές έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Ωστόσο, στα σημεία όπου υπάρχουν οι μετασχηματιστές της ΔΕΗ (συνήθως γωνίες δρόμων) τα πεδία έχουν εντάσεις που στις μέγιστες τιμές τους (σε επαφή με το μετασχηματιστή) είναι μικρότερες από το όριο επικινδυνότητας αλλά πολύ μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας. Ασφαλής απόσταση να θεωρηθούν τα 3m και άνω.

## 6.1 Επιβάρυνση Από Οικιακές Συσκευές

Η ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από οικιακές συσκευές, απορρέει από τη λειτουργία οικιακών συσκευών, που χρησιμοποιούμε, καθημερινά, μέσα στο σπίτι, για την εξυπηρέτηση κάποιων αναγκών μας. Τέτοιου είδους συσκευές είναι:

- Πιστολάκια για στέγνωμα μαλλιών
- Ηλεκτρικές ξυριστικές μηχανές
- Ηλεκτρική κουζίνα
- Ηλεκτρική σκούπα
- Ηλεκτρικό mixer
- Φούρνος μικροκυμάτων

Από διάφορες μετρήσεις που έχουν γίνει κατά καιρούς, καθώς και μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία, προκύπτει ότι όταν ερχόμαστε σε επαφή με τις οικιακές συσκευές, οι τιμές του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, αυξάνονται σε σημείο, τέτοιο που πολλές φορές ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια επικινδυνότητας για εικοσιτετράωρη έκθεση. Οι τιμές αυτές, δε θεωρούνται ανησυχητικές, εφόσον όταν χρησιμοποιούμε τις συσκευές αυτές, δεν ερχόμαστε σε άμεση επαφή μαζί τους. Όταν υπάρχει η σχετική απόσταση μεταξύ του χρήστη και της συσκευής, οι τιμές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, σε σχέση με τα όρια επικινδυνότητας και τα όρια ασφαλείας. Επίσης θα πρέπει να σημειώσουμε, ότι η χρήση των συσκευών αυτών, γίνεται για πολύ μικρό χρονικό διάστημα, οπότε και η έκθεση στα πεδία, αυτά είναι για μικρό χρονικό διάστημα.

Η ανησυχία για την έκθεση σε ακτινοβολία από τη λειτουργία των οικιακών συσκευών, επικεντρώνεται κυρίως στο φούρνο μικροκυμάτων. Ο φούρνος μικροκυμάτων, όπως ξέρουμε, είναι μια συσκευή, που χρησιμεύει για το γρήγορο και εύκολο μαγείρεμα των φαγητών. Τα φαγητά στο φούρνο μικροκυμάτων ζεσταίνονται ή ψήνονται με μικροκύματα που ανήκουν στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα μικροκύματα απορροφώνται από όλα τα αντικείμενα που περιέχουν νερό. Διαπερνούν όλα τα αντικείμενα που είναι κατασκευασμένα από γυαλί ή πλαστικό και αντανακλώνται από ορισμένα μέταλλα. Όλα τα φαγητά και οι τροφές περιέχουν μόρια νερού σε διάφορες συγκεντρώσεις, ανεξάρτητα από το πόσο ξηρά, φαίνονται. Τα μικροκύματα αναταράσσουν τα μόρια του νερού, με αποτέλεσμα να δημιουργείται θερμότητα, η οποία ζεσταίνει τα φαγητά. Η κυριότερη ανησυχία που έχει εκφραστεί για τη συγκεκριμένη οικιακή συσκευή είναι ότι εκπέμπει ακτινοβολία. Γενικότερα, έρευνες έχουν δείξει ότι η έκθεση σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας μικροκυμάτων μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα και εμφάνιση καταρράκτη στους οφθαλμούς. Στο φούρνο μικροκυμάτων, εκτός από τη συχνότητα 50 Hz εκπέμπονται και ραδιοκύματα συχνότητας 2450 MHz. Οι μετρήσεις που έγιναν έδειξαν ότι σε

επαφή με το τζάμι η πυκνότητα ισχύος των μικροκυμάτων κυμαίνεται από 180-700 mW/cm<sup>2</sup>.

Είναι επομένως απαραίτητο να τηρείται κάποια απόσταση ασφαλείας, από τη συσκευή και να τοποθετείται σε κάποιο υψηλό σημείο, για την προστασία των παιδιών. Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι ο φούρνος μικροκυμάτων είναι πιο ασφαλής και χρήσιμη συσκευή, όταν χρησιμοποιείται με σωστό τρόπο και τηρούνται οι απαραίτητοι κανόνες.

## 7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

### 7.1 Εισαγωγή

Στο τελευταίο κεφάλαιο αυτής της εργασίας παρουσιάζετε το πείραμα με το οποίο θα προσδιορίσουμε την απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από διάφορα σημεία του ανθρώπινου σώματος, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε.

Στην παρούσα μελέτη η συχνότητα εκπομπής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχει ρυθμιστεί 9 GHz. Αφού η συχνότητα εκπομπής της κεραίας έχει οριστεί, παρακάτω θα γίνουν κάποια βήματα για την εύρεση της απόστασης στην οποία θα τοποθετήσουμε το ανθρώπινο ομοίωμα για να μην εμφανίζονται λάθη στις μετρήσεις που θα πάρουμε. Για τον υπολογισμό της απόστασης θα πρέπει πρώτα να βρούμε το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) της κεραίας.

### 7.2 Εκτέλεση Πειραματικής Μελέτης

#### Υπολογισμός απόστασης κεραιών

Στο πείραμα θα χρησιμοποιηθούν δύο κεραίες χοάνης, μια κεραία ως πομπός και μια ως δέκτης. Για να μη περιέχουν οι μετρήσεις που θα ληφθούν σφάλματα θα πρέπει να υπολογιστεί η μικρότερη απόσταση που μπορούν να έχουν οι κεραίες μεταξύ τους. Για να υπολογιστεί η απόσταση ( $R$ ) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο τύπος:

$$R = \frac{2d^2}{\lambda_0}$$

όπου,

$d$ : μέγιστη διάσταση της οπής ακτινοβολήσης στη μεγαλύτερη κεραία

$\lambda_0$ : το μήκος κύματος στο κενό

Η διαστάσεις της μεγάλης κεραίας είναι 16.8 cm x 11.5 cm, άρα  $d=16.8$  cm. Το μήκος κύματος είναι άγνωστο όμως μπορεί να υπολογιστεί εύκολα αφού είναι

γνωστή η συχνότητα εκπομπής  $f=9$  GHz και η ταχύτητα του φωτός στο κενό  $c=3 \cdot 10^8$  m/sec.

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{9 \cdot 10^9} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{3} \cdot 10^{-1} m$$

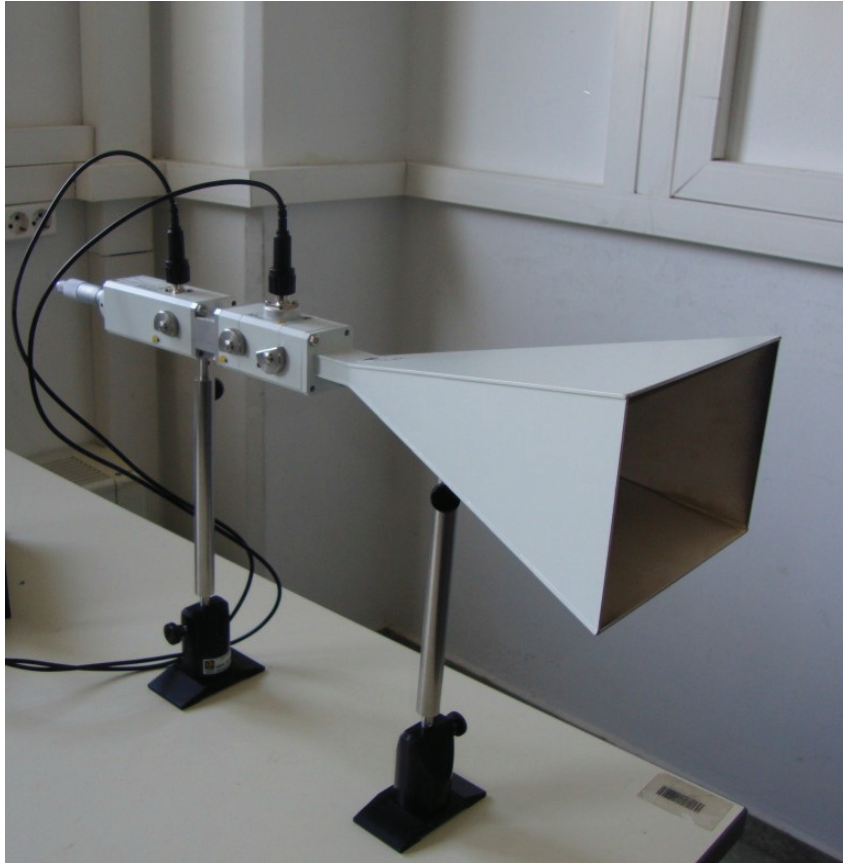
Εφόσον το  $d$  και το  $\lambda$  είναι πλέον γνωστά μπορεί να γίνει ο υπολογισμός της απόστασης  $R$ :

$$R = \frac{2d^2}{\lambda_0} = 2 \cdot 3 \cdot (16.8 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 10 \approx 1.69 m$$

Άρα η απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών πρέπει να είναι τουλάχιστον 1.69 m. Το ανθρώπινο ομοίωμα τοποθετήθηκε σε απόσταση 2 m από την κεραία εκπομπής. Εφόσον η απόσταση μεταξύ πηγής και βιολογικού ιστού είναι μεγαλύτερη από  $2d^2/\lambda$ , ο βιολογικός ιστός βρίσκεται στο μακρινό πεδίο της κεραίας και το ηλεκτρομαγνητικό κύμα έχει χαρακτηριστικά στάσιμου κύματος με το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο κάθετα μεταξύ τους προς την διεύθυνση διάδοσης.

### **Εγκατάσταση Εξοπλισμού**

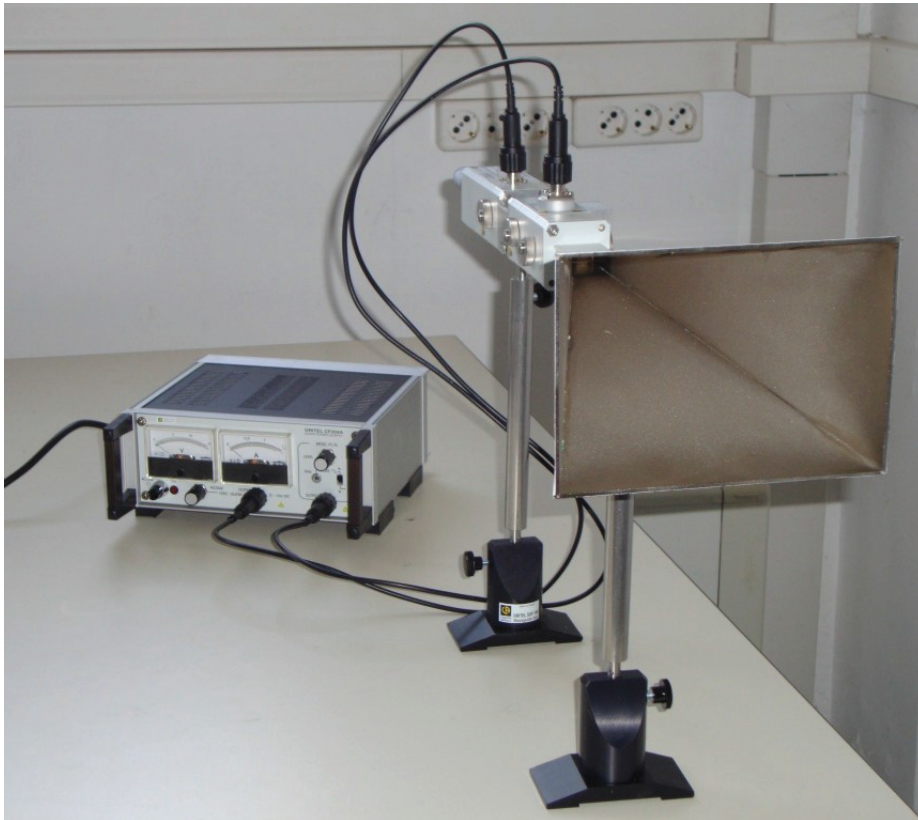
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως για την εκτέλεση του πειράματος θα χρησιμοποιηθούν δύο κεραίες χοάνης, μια μεγάλη και μια μικρή. Η μεγάλη κεραία (Εικόνα 7.1) χρησιμοποιείται ως πομπός. Η κεραία πομπός συνδέεται πάνω σε ένα τροφοδοτικό (Εικόνα 7.2) το οποίο την τροφοδοτεί με ρεύμα.



Εικόνα 7.1 Κεραία Πομπός

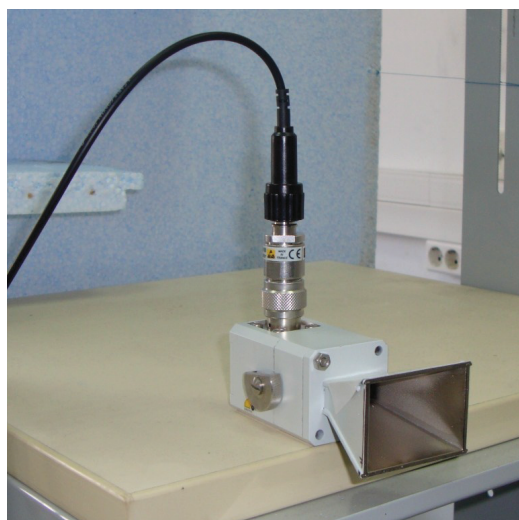


Εικόνα 7.2 Τροφοδοτικό Κεραίας Πομπού



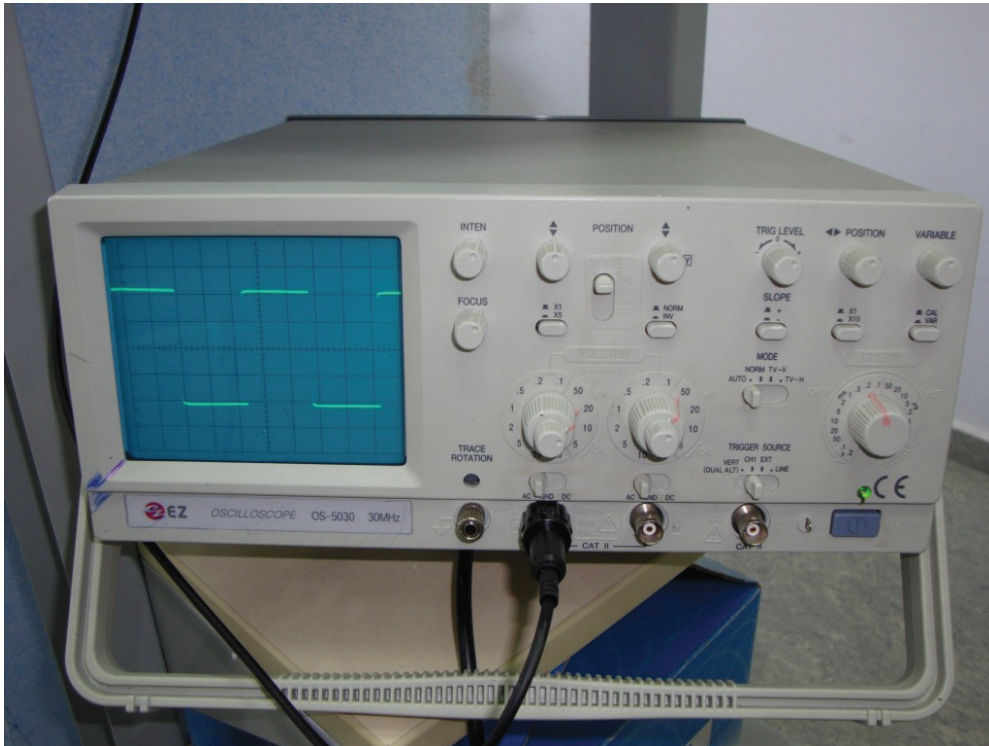
**Εικόνα 7.3 Διάταξη κεραίας πομπού και τροφοδοτικού**

Για την λήψη του σήματος χρησιμοποιείται μια μικρή κεραία χοάνης ( Εικόνα 7.4) συνδεδεμένη πάνω σε έναν ηλεκτρονικό παλμογράφο (Εικόνα 7.5) με τη βοήθεια του οποίου έγινε η απεικόνιση του σήματος λήψης. Η κεραία λήψης τοποθετήθηκε σε διάφορα σημεία πάνω στο ανθρώπινο ομοίωμα. Το ανθρώπινο ομοίωμα (Εικόνα 7.7) κατασκευάστηκε από φελιζολ, έχει ύψος 1.65 m και σε διάφορα σημεία του σώματος έχουν ανοιχτεί οπές μέσα στις οποίες τοποθετείται η κεραία δέκτης. Το ομοίωμα βρίσκεται απέναντι από τον πομπό σε απόσταση 2 m.



**Εικόνα 7.4 Κεραία Δέκτης**

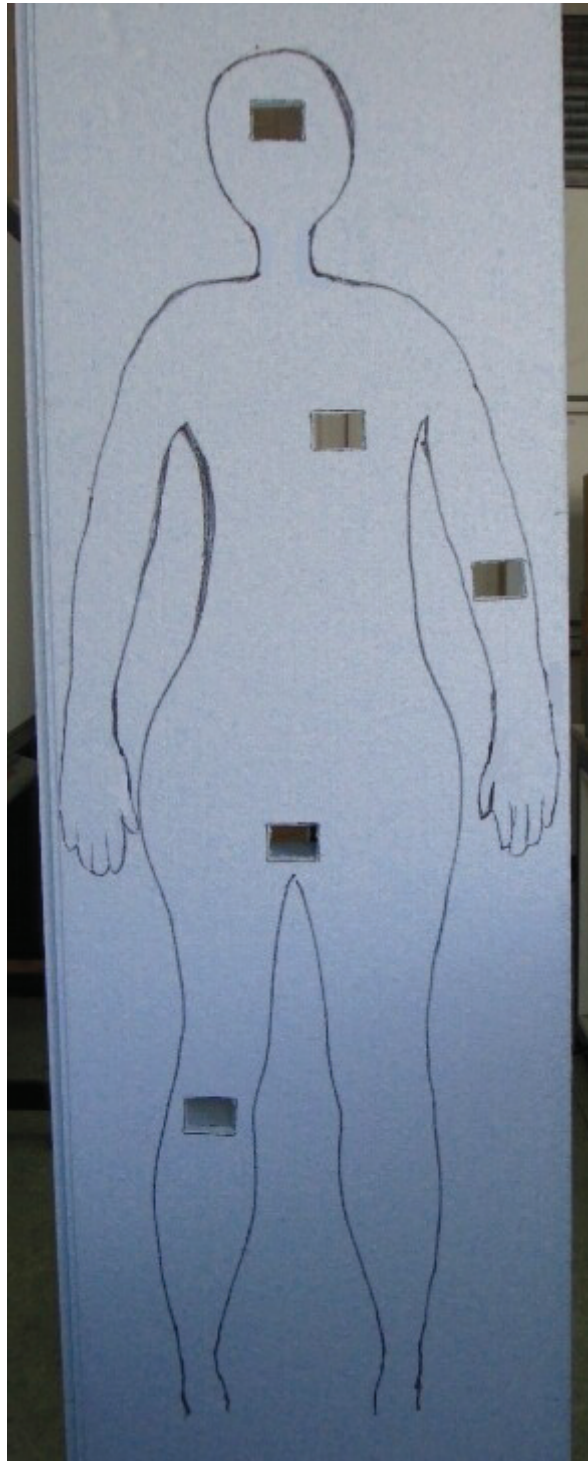




Εικόνα 7.5 Ηλεκτρονικός Παλμογράφος



Εικόνα 7.6 Διάταξη Δέκτη



**Εικόνα 7.7 Ανθρώπινο Ομοίωμα**

Το ύψος, με σημείο αναφοράς το πάτωμα, στο οποίο βρίσκεται ο πομπός και ο δέκτης (σε κάθε σημείο του σώματος) δίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Αφού τέθηκε σε λειτουργία ο εξοπλισμός που προαναφέρθηκε

Κεραία	Ύψος (m)
Πομπός	1.05
Δέκτης (εγκέφαλος)	1.74
Δέκτης (καρδιά)	1.41
Δέκτης (χέρι)	1.25
Δέκτης (γεννητικά όργανα)	0.95
Δέκτης (πόδι)	0.65

Πίνακας 7.1

και μετρήσαμε την διαγώνια απόσταση μεταξύ των κεραιών, καταγράφηκαν οι ακόλουθες μετρήσεις.

Σημείο Μέτρησης	Απόσταση (m)	Σήμα Λήψης (mV)
Εγκέφαλος	2.10	1.5
Καρδιά	2.05	9
Χέρι	2.03	16
Γεννητικά Όργανα	2.00	41
Πόδι	2.04	11

Πίνακας 7.2 Μετρήσεις Πειράματος

### 7.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Πειράματος

Για να δούμε πόση ακτινοβολία απορροφά κάθε σημείο του σώματος θα πρέπει να υπολογιστεί ο Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης (Specific Absorption Rate – SAR). Όπως έχουμε αναφέρει ήδη στο Κεφάλαιο 3, ο SAR εκφράζει την ισχύ που απορροφάται ανά μονάδα σωματικού βάρους και μετριέται σε W/kg. Ο τύπος που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο ακόλουθος:

$$SAR = \frac{\sigma \cdot E^2}{2 \cdot \rho} W / kg$$

όπου,

$\sigma$ : ειδική αγωγιμότητα ιστού (S/m)

E: ένταση ηλεκτρικού πεδίου (V/m)

$\rho$ : πυκνότητα ιστού (kg/m<sup>3</sup>)

Για να βρούμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου θα χρησιμοποιήσουμε το Διάνυσμα Poynting.

### Το Διάνυσμα Poynting

Το διάνυσμα Poynting μπορεί να θεωρηθεί ότι αναπαριστά τη ροή ενέργειας ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και η μονάδα μέτρησης στο SI είναι  $W/m^2$ . Ονομάστηκε έτσι από τον εφευρέτη του John Henry Poynting. Το διάνυσμα Poynting συχνά ορίζεται ως:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

Εδώ το  $\mathbf{E}$  είναι το ηλεκτρικό πεδίο και  $\mathbf{H}$  το βοηθητικό μαγνητικό πεδίο. Υπάρχει και το μέγεθος μαγνητική επαγωγή ( $B$ ) που αναφέρεται στην ένταση του μαγνητικού πεδίου μέσα σε ένα συγκεκριμένο μέσο. Μεταξύ αυτών ισχύει η σχέση:

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mu_0 \mathbf{H}$$

όπου  $\mu$  η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του μέσου. Στο κενό ή στον αέρα και στα βιολογικά υλικά  $\mu=1$ ,  $\mu_0$ = απόλυτη μαγνητική διαπερατότητα του κενού με τιμή  $\mu_0= 4\pi \cdot 10^{-7}$  Henry/m. Τότε η μαγνητική επαγωγή  $B$  μετριέται σε tesla (T). Η σχέση μονάδων μεταξύ  $H$  και  $B$  είναι

$$10^{-4} T = 79.58 A/m$$

Στα επίπεδα ηλεκτρικά ( $E$ ) και μαγνητικά ( $H$ ) κύματα στον αέρα, το πηλίκο

$$\frac{E}{H} = 377 \text{ ohm}$$

που είναι η σύνθετη κυματική αντίσταση του αέρα. Η πυκνότητα ισχύος συνδέεται με τα  $E$  και  $H$  με τη σχέση:

$$S = H = \frac{E^2}{377} = 377 \cdot H^2$$

όπου αν  $E$  μετράται σε V/m και  $H$  σε A/m, τότε η πυκνότητα ισχύος  $S$  μετράται σε  $W/m^2$ .

Άρα ο τύπος που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο εξής:

$$S = \frac{E^2}{377} = \frac{P(R)}{\text{επιφάνεια}}$$

όπου:

$P(R)$ : η ισχύς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε απόσταση  $R$  από την κεραία επιφάνεια: επιφάνεια κεραίας λήψης (η κεραία που χρησιμοποιείται στο πείραμα έχει διαστάσεις 5.2cm x 4.7cm)

## Υπολογισμός Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου

Την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου θα την υπολογίσουμε με τη βοήθεια του διανύσματος Poynting. Πριν το υπολογίσουμε θα πρέπει να βρεθεί η ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε απόσταση R από την πηγή (P(R)).

$$P(R) = \frac{P_0 \cdot G_\pi \cdot G_\delta \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2} \cdot \frac{1}{R^2} W$$

$P_0$ : ισχύ εκπομπής κεραίας (100 mW)

$G_\pi$ : το κέρδος της κεραίας πομπού (20 dB)

$G_\delta$ : το κέρδος της κεραίας δέκτη (10 dB)

$\lambda$ : το μήκος κύματος στο κενό ( $1/3 \cdot 10^{-1}$  m)

R: η απόσταση πομπού από το κάθε σημείο μέτρησης

Για την μετατροπή του κέρδους των κεραιών από dB σε Watt χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$P = 10^{(x-30)/10}$$

όπου x είναι το κέρδος της κεραίας σε dB και το P είναι η ισχύς εκφρασμένη σε Watt.

### I. Εγκέφαλος:

$$P(R_1) = \frac{P_0 \cdot G_\pi \cdot G_\delta \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2} \cdot \frac{1}{R_1^2} = \frac{10^{-1} \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 16 \cdot \pi^2 \cdot 2.1^2} \approx 1.6 \cdot 10^{-4} W$$

$$S_1 = \frac{E_1^2}{377} = \frac{P(R_1)}{\text{επιφάνεια}} \Rightarrow S_1 = \frac{P(R_1)}{\text{επιφάνεια}} = \frac{1.6 \cdot 10^{-4}}{25 \cdot 10^{-4}} \approx 6.4 \cdot 10^{-2} W/m^2$$

$$E_1^2 = S_1 \cdot 377 \Rightarrow E_1 = \sqrt{6.4 \cdot 10^{-2} \cdot 377} \Rightarrow E_1 \approx 4.91 V/m$$

### II. Καρδιά:

$$P(R_2) = \frac{P_0 \cdot G_\pi \cdot G_\delta \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2} \cdot \frac{1}{R_2^2} = \frac{10^{-1} \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 16 \cdot \pi^2 \cdot 2.05^2} \approx 1.68 \cdot 10^{-4} W$$

$$S_2 = \frac{E_2^2}{377} = \frac{P(R_2)}{\text{επιφάνεια}} \Rightarrow S_2 = \frac{P(R_2)}{\text{επιφάνεια}} = \frac{1.68 \cdot 10^{-4}}{25 \cdot 10^{-4}} \approx 6.7 \cdot 10^{-2} W/m^2$$

$$E_2^2 = S_2 \cdot 377 \Rightarrow E_2 = \sqrt{6.7 \cdot 10^{-2} \cdot 377} \Rightarrow E_2 \approx 5.02 V/m$$

### III. Χέρι:

$$P(R_3) = \frac{P_0 \cdot G_\pi \cdot G_\delta \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2} \cdot \frac{1}{R_3^2} = \frac{10^{-1} \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 16 \cdot \pi^2 \cdot 2.03^2} \approx 1.71 \cdot 10^{-4} W$$

$$S_3 = \frac{E_3^2}{377} = \frac{P(R_3)}{\text{επιφάνεια}} \Rightarrow S_3 = \frac{P(R_3)}{\text{επιφάνεια}} = \frac{1.71 \cdot 10^{-4}}{25 \cdot 10^{-4}} \approx 6.84 \cdot 10^{-2} W/m^2$$

$$E_3^2 = S_3 \cdot 377 \Rightarrow E_3 = \sqrt{6.84 \cdot 10^{-2} \cdot 377} \Rightarrow E_3 \approx 5.08 V/m$$

### IV. Γεννητικά Όργανα:

$$P(R_4) = \frac{P_0 \cdot G_\pi \cdot G_\delta \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2} \cdot \frac{1}{R_4^2} = \frac{10^{-1} \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 16 \cdot \pi^2 \cdot 2^2} \approx 1.75 \cdot 10^{-4} W$$

$$S_4 = \frac{E_4^2}{377} = \frac{P(R_4)}{\text{επιφάνεια}} \Rightarrow S_4 = \frac{P(R_4)}{\text{επιφάνεια}} = \frac{1.75 \cdot 10^{-4}}{25 \cdot 10^{-4}} \approx 7 \cdot 10^{-2} W/m^2$$

$$E_4^2 = S_4 \cdot 377 \Rightarrow E_4 = \sqrt{7 \cdot 10^{-2} \cdot 377} \Rightarrow E_4 \approx 5.14 V/m$$

### V. Πόδι:

$$P(R_5) = \frac{P_0 \cdot G_\pi \cdot G_\delta \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2} \cdot \frac{1}{R_5^2} = \frac{10^{-1} \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 16 \cdot \pi^2 \cdot 2.04^2} \approx 1.69 \cdot 10^{-4} W$$

$$S_5 = \frac{E_5^2}{377} = \frac{P(R_5)}{\text{επιφάνεια}} \Rightarrow S_5 = \frac{P(R_5)}{\text{επιφάνεια}} = \frac{1.69 \cdot 10^{-4}}{25 \cdot 10^{-4}} \approx 6.9 \cdot 10^{-2} W/m^2$$

$$E_5^2 = S_5 \cdot 377 \Rightarrow E_5 = \sqrt{6.9 \cdot 10^{-2} \cdot 377} \Rightarrow E_5 \approx 5.10 V/m$$

## Υπολογισμός SAR

Αφού έχουμε υπολογίσει την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E) είμαστε σε θέση πλέον να υπολογίσουμε την ακτινοβολία που απορροφά κάθε σημείο του σώματος.

Οι παράμετροι που θα μας χρειαστούν συνοψίζονται στον πίνακα 7.3.

<b>a/a</b>	<b>Σημείο Μέτρησης</b>	<b>Πυκνότητα Μάζας Ιστού</b>	<b>Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Ιστού</b>	<b>Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου</b>
1	Εγκέφαλος	1190 kg/m <sup>3</sup>	9.5 S/m	4.91 V/m
2	Καρδιά	982 kg/m <sup>3</sup>	5 S/m	5.02 V/m
3	Χέρι (σκελετικός μυς)	1500 kg/m <sup>3</sup>	9 S/m	5.08 V/m
4	Γεννητικά Όργανα	1200 kg/m <sup>3</sup>	10 S/m	5.14 V/m
5	Πόδι (σκελετικός μυς)	1500 kg/m <sup>3</sup>	9 S/m	5.10 V/m

**Πίνακας 7.3 Παράμετροι Υπολογισμού SAR**

Σύμφωνα με το κεφάλαιο 3, οι Δυτικοί Διεθνείς Οργανισμοί καθιέρωσαν ως όριο ασφαλείας για το γενικό πληθυσμό τα 0,08W/kg. Για τον υπολογισμό του σχετικού SAR του τοπικού ιστού ως προς τον μέσο SAR ολόκληρου του σώματος, ορίζουμε το 0,08 W/kg ως μέσο SAR σώματος.

Υπολογισμός SAR εγκεφάλου:

$$SAR_{\epsilon\gamma\kappa} = \frac{\sigma_{\epsilon\gamma\kappa} \cdot E_1}{2 \cdot \rho_1} \approx 9.6 \cdot 10^{-2} W / kg$$

$$\frac{SAR_{\epsilon\gamma\kappa}}{SAR_{\sigma}} = \frac{9.6 \cdot 10^{-2}}{8 \cdot 10^{-2}} \approx 1.2$$

Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίστηκε το SAR και για τα υπόλοιπα σημεία του σώματος.

<b>a/a</b>	<b>Σημείο Μέτρησης</b>	<b>SAR Τοπικού Ιστού</b>	<b>SAR<sub>i</sub>/SAR<sub>σ</sub></b>
1	Εγκέφαλος	9.6·10 <sup>-2</sup> W/kg	1.2
2	Καρδιά	6.4·10 <sup>-2</sup> W/kg	0.803
3	Χέρι (σκελετικός μυς)	7.74·10 <sup>-2</sup> W/kg	0.968
4	Γεννητικά Όργανα	11·10 <sup>-2</sup> W/kg	1.375
5	Πόδι (σκελετικός μυς)	7.8·10 <sup>-2</sup> W/kg	0.975

**Πίνακας 7.4 SAR τοπικού ιστού και σχετικό SAR τοπικού ιστού προς μέσο SAR σώματος**

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων του πειράματος, είναι αποδεκτά γιατί σύμφωνα με το Παράρτημα η συχνότητα που χρησιμοποιήσαμε ανήκει στην περιοχή επιφανειακής απορρόφησης (3600MHz – 300GHz). Στον πίνακα με τον SAR βλέπουμε ότι στο σημείο του εγκεφάλου γίνεται απορρόφηση 1,2 φορά του SAR όλου του σώματος . Αυτή η τιμή είναι αρκετά ανησυχητική όμως όπως γνωρίζουμε ο εγκέφαλος περιβάλλεται από οστό. Λόγω αυτού του οστού η ακτινοβολία που θα φτάσει στον εγκέφαλο θα είναι αρκετά εξασθενημένη. Για τον ίδιο λόγο και η

απορρόφηση της καρδιάς δεν είναι ιδιαίτερα ανησυχητική αφού βρίσκεται πίσω από δέρμα και οστό. Τα σημεία που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα είναι τα γεννητικά όργανα και τα άκρα.

Στον υπολογισμό του σχετικού SAR τοπικού ιστού ως προς τον μέσο SAR του σώματος, ως SAR σώματος έχουμε ορίσει τα 0,08 W/kg. Αυτή η απορρόφηση αφορά σε εικοσιτετράωρη έκθεση. Η επιβάρυνση ενός ανθρώπου αν βρίσκεται σε απόσταση 2 m από μια κεραία η οποία εκπέμπει συχνότητα 9 GHz για ένα εικοσιτετράωρο δεν θα είναι μεγάλη. Βέβαια, δύσκολα κάποιος εκτίθεται για όλο το εικοσιτετράωρο σε τέτοιες συχνότητες και σε τόσο μικρή απόσταση από την πηγή τους. Άρα η επιβάρυνση του οργανισμού ενός ανθρώπου για μικρής διάρκειας έκθεση είναι αμελητέα.

## **7.4 Συμπεράσματα**

Από τη βιβλιογραφία καθώς και από τα αποτελέσματα του πειράματος συμπεραίνουμε ότι το ανθρώπινο σώμα δεν απορροφά την ακτινοβολία ομοιόμορφα. Η απορρόφηση μπορεί να επηρεαστεί από:

- τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας:
  - συχνότητα (όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο μικρότερη είναι η απορρόφηση)
  - ένταση
  - πόλωση (διαφορετικός προσανατολισμός του σώματος σε σχέση με τη διεύθυνση του ηλεκτρικού E και του μαγνητικού H πεδίου του κύματος)
- τα χαρακτηριστικά του βιολογικού ιστού:
  - διάσταση
  - καμπυλότητα της επιφάνειάς του
  - εσωτερική του δομή (πυκνότητα, ειδική αγωγιμότητα, διηλεκτρική σταθερά)
- τη σχέση του ύψους του σώματος και του μήκους κύματος της ακτινοβολίας
- την απόσταση πηγής εκπομπής της ακτινοβολίας και βιολογικού σώματος
- η παρουσία εδάφους, ανακλαστικών επιφανειών και αγωγίμων υλικών κοντά στο ανθρώπινο σώμα



Για την αντιμετώπιση λοιπόν των πιθανών δυσάρεστων επιδράσεων, πρέπει να εντείνουμε τις προσπάθειές μας στην κατεύθυνση της γνώσης, της ενημέρωσης του κόσμου για λογική και αναγκαία χρήση και της πρόληψης σε όλες τις περιόδους της ζωής μας και ιδιαίτερα μέχρι την ενηλικίωση.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Βασικές αρχές ορίων επικινδυνότητας της IRPA για την περιοχή συχνοτήτων από 100 KHz μέχρι 300 GHz:

- Για την περιοχή συχνοτήτων από 10 MHz μέχρι 300 GHz, υιοθετείται η προσέγγιση του SAR (Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης) και τα όρια επικινδυνότητας δίνονται σε όρους πυκνότητας ισχύος.
- Για την περιοχή συχνοτήτων από 100 KHz μέχρι 10 MHz, η έννοια του SAR έχει περιορισμένη σημασία διότι οι βιολογικές επιδράσεις από την μη ιονίζουσα ακτινοβολία σχετίζονται περισσότερο με την πυκνότητα του ρεύματος που επάγεται μέσα στο σώμα. Επιπλέον, οι σχέσεις μεταξύ ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, στην περιοχή αυτή των συχνοτήτων, δεν είναι καλά θεμελιωμένες. Σαν συνέπεια, από 100KHz – 10MHz τα όρια δίνονται σε όρους έντασης του ηλεκτρικού, E, και του μαγνητικού, H, πεδίου και όχι σε όρους πυκνότητας ισχύος.
- Γίνεται αποδεκτή η διαίρεση του φάσματος συχνοτήτων, με βάση τα χαρακτηριστικά απορρόφησής τους, σε τέσσερις κατηγορίες (Schwan,1982)
  - I. Περιοχή από 100KHz μέχρι 30MHz: Επιφανειακή απορρόφηση από το κρανίο, όχι όμως από το λαιμό και τα πόδια. Η απορρόφηση της κυματικής ενέργειας από το σώμα μειώνεται γρήγορα καθώς μειώνεται η συχνότητα.
  - II. Περιοχή από 30 MHz – 300 MHz (περιοχή συντονισμού): Έντονη απορρόφηση κυματικής ενέργειας. Χαμηλά όρια.
  - III. Περιοχή «θερμών εστιών» (hot spots), 400–3000MHz: Επιλεκτική απορρόφηση από ορισμένους ιστούς – θερμές εστίες, για ισχείς περίπου  $10\text{mW}/\text{cm}^2$ . Το μέγεθος των θερμών εστιών ποικίλει από αρκετά εκατοστά, στα 915 MHz, μέχρι ένα εκατοστό στα 3000MHz. Οι θερμές εστίες σχηματίζονται είτε λόγω συντονισμού, στις χαμηλότερες συχνότητες, είτε λόγω εστίασης (όπως του φωτός από φακούς) στις υψηλότερες. Για την ανθρώπινη κεφαλή, θερμές εστίες παρατηρούνται στην περιοχή από 300MHz μέχρι 2000MHz. Στα 2450MHz, που είναι η συχνότητα του φούρνου μικροκυμάτων, ένας άνθρωπος τυπικών διαστάσεων, απορροφά το 50% της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας.
  - IV. Περιοχή επιφανειακής απορρόφησης (3600MHz – 300GHz).

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κ. Θ. Λιολιούσης “Βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας”, Εκδόσεις Δίαυλος
- [2] R. Serway, “PHYSICS FOR SCIENTISTS & ENGINEERS, ΤΟΜΟΣ ΙΙ, Ηλεκτρομαγνητισμός”, Εκδόσεις Α. Κ. Ρεσβάνης
- [3] Πανεπιστημιακές σημειώσεις μαθήματος “Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεση Δικτύων”, Αναπληρωτής Καθηγητής Χρήστος Μπούρας
- [4] Hugh D. Young, “Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος ΙΙ, Ηλεκτρομαγνητισμός – Οπτική – Σύγχρονη Φυσική”, Εκδόσεις Παπαζήση
- [5] “The specific resistance of biological material - A compendium of data for the biomedical engineer and physiologist”, L. A. Geddes and L. E. Baker
- [6] “The dielectric properties of biological tissues”, C. Gabriel, S. Gabriel and E. Corthout
- [7] <http://users.sch.gr/kalpsof/FILES/LESSONS/SEL/PER%203-4.pdf>
- [8] [http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%85%CF%87%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1#.CE.A3.CF.85.CF.87.CE.BD.CF.8C.CF.84.CE.B7.CF.84.CE.B1\\_.CE.BA.CF.8D.CE.BC.CE.B1.CF.84.CE.BF.CF.82](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%85%CF%87%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1#.CE.A3.CF.85.CF.87.CE.BD.CF.8C.CF.84.CE.B7.CF.84.CE.B1_.CE.BA.CF.8D.CE.BC.CE.B1.CF.84.CE.BF.CF.82)
- [9] [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr)
- [10] [www.eekt.gr](http://www.eekt.gr)
- [11] <http://light.physics.auth.gr/enc/sources.html>
- [12] [www.eeae.gr](http://www.eeae.gr)
- [13] <http://www.med-physics.com>
- [14] <http://www.physics4u.gr/faq/radiationcells2.html>
- [15] <http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%99%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82>
- [16] <http://www.eekt.gr/TechnologyofMobileTelephonyHuman/ElectromagneticRadiationBasicKnowledge/tabid/102/language/el-GR/default.aspx>
- [17] <http://users.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/Aktinovolies/Aktinovolies.htm>
- [18] [http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/22D220DA3F2AD591C2257662002B7129/\\$file/H%20Aktinobolia%20sti%20Zoi%20mas.pdf](http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/22D220DA3F2AD591C2257662002B7129/$file/H%20Aktinobolia%20sti%20Zoi%20mas.pdf)

- [19] <http://lap.physics.auth.gr/pms/articles.asp?cid=2&id=0>
- [20] [http://documentarygr.blogspot.com/2010/11/blog-post\\_08.html](http://documentarygr.blogspot.com/2010/11/blog-post_08.html)
- [21] [http://www.eeae.gr/gr/index.php?  
fvar=html/president/\\_info\\_characteristics](http://www.eeae.gr/gr/index.php?fvar=html/president/_info_characteristics)
- [22] [http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/iat/2004/Avraam/attached-  
document/2004Avraam.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/iat/2004/Avraam/attached-document/2004Avraam.pdf)
- [23] [http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hlk/2005/KampiliMaroulis/attache  
d-document/2005KampiliMaroulis.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hlk/2005/KampiliMaroulis/attached-document/2005KampiliMaroulis.pdf)
- [24] <http://www.ekke.gr/estia/Cooper/Radar.html>
- [25] <http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/articles/radiation.html>
- [26] <http://www.biomed.ntua.gr/Portals/1/askhsh%206.pdf>
- [27] [http://kyttariki.biol.uoa.gr/wwwroot2/mobile%20phones/mobile  
%20phones.htm](http://kyttariki.biol.uoa.gr/wwwroot2/mobile%20phones/mobile%20phones.htm)
- [28] [http://kapodistriako.uoa.gr/stories/070\\_op\\_01/index.php?m=2](http://kapodistriako.uoa.gr/stories/070_op_01/index.php?m=2)
- [29] <http://estia.hua.gr:8080/dspace/bitstream/123456789/753/1/roumpea.pdf>
- [30] [http://www.eett.gr/opencms/opencms//admin/downloads/Informative\\_Doc  
umentation/hlktromagnitikh\\_Entypo\\_3.pdf](http://www.eett.gr/opencms/opencms//admin/downloads/Informative_Documentation/hlktromagnitikh_Entypo_3.pdf)
- [31] [http://www.eeae.gr/gr/docs/president/\\_KINHTA-final.pdf](http://www.eeae.gr/gr/docs/president/_KINHTA-final.pdf)
- [32] [http://www.eeae.gr/gr/docs/ni/\\_egkiklios\\_oria.pdf](http://www.eeae.gr/gr/docs/ni/_egkiklios_oria.pdf)