



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΠΤΙΚΗΣ & ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επίδραση μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας στον
οφθαλμό**

Όνοματεπώνυμο Σπουδαστών:

Λιναρδόπουλος Αποστόλης

Χατζάκης Αθανάσιος

Επιβλέπων καθηγητής:

Ανδρικόπουλος Ανδρέας

Αίγιο, 2015

Περιεχόμενα

	Σελ.:
ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
SUMMARY	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
Κεφάλαιο 1: Ο οφθαλμός	9
1.1 Ανατομία οφθαλμού	9
1.2 Φυσιολογία οφθαλμού	14
1.3 Οπτική Λειτουργία	17
Κεφάλαιο 2: Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία	19
2.1 Η Ακτινοβολία	19
2.2 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	20
2.3 Ιοντίζουσα ακτινοβολία	24
2.4 Μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία	25
Κεφάλαιο 3: Μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία	27
3.1 Πηγές μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας	27
3.2 Φυσικές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων	31
3.3 Ανθρώπινη δραστηριότητα και πηγές μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας	32
Κεφάλαιο 4: Επιπτώσεις μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας στον άνθρωπο	35
4.1 Εισαγωγή	35
4.2 Θερμικές και μη-θερμικές επιδράσεις	37

4.3 Επιπτώσεις μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας στον άνθρωπο	39
4.3.1 Ακτινοβολία (ELF)	39
4.3.2 Ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RF) και μικροκυμάτων (MW)	39
4.3.3 Υπέρυθρη ακτινοβολία(IR)	41
4.3.4 Ορατή ακτινοβολία	41
4.3.5 Υπεριώδης ακτινοβολία(UV)	42
4.3.6 Ακτινοβολία λέιζερ	44
4.3.7 Τα κινητά τηλέφωνα	45
4.3.8 Οπτική Ακτινοβολία	49
4.3.9 Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία Με Μικρό Μήκος Κύματος	51
4.3.10 Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία Με Μεγάλο Μήκος Κύματος	52
Κεφάλαιο 5: Κανονισμοί προστασίας από μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία	53
5.1 Ακτινοπροστασία από μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες	53
5.2 Νομοθετικό Πλαίσιο και μέτρα προστασίας από την ακτινοβολία Laser	54
5.3 Διεθνή όρια ασφαλείας	57
5.4 Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο	64
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	70

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, με θέμα: «Επίδραση μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας στον οφθαλμό», πραγματοποιήθηκε για το Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, την Σχολή Επαγγελματιών Υγείας και Πρόνοιας και συγκεκριμένα για το Τμήμα Οπτικής και Οπτομετρίας.

Στόχος της εν λόγω πτυχιακής είναι εννοιολογική και περιγραφική προσέγγιση της μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας, οι πηγές απ όπου εκπέμπεται η συγκεκριμένη ακτινοβολία και η επιπτώσεις της στον άνθρωπο.

Οι βιολογικές επιδράσεις από την απορρόφηση της μη ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι ένα ζήτημα επίμαχο κοινωνικά. Αφενός οι τεχνολογικά ανεπτυγμένες κοινωνίες μας συμβιώνουν αναγκαστικά με το πρόβλημα (με αυξανόμενους ρυθμούς), αφετέρου οι διάφορες κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές ομάδες προσεγγίζουν το πρόβλημα από διαφορετικές και συχνά αντίπαλες σκοπιές. Η πεποίθηση για τις βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο απαντάται και στον Ιπποκράτη, στις προσπάθειές του να θεραπεύσει όγκους στο στήθος με ηλιοθεραπεία (υπεριώδης ακτινοβολία).

Κλείνοντας, θα θέλαμε να αναγνωρίσουμε την πολύτιμη βοήθεια για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας που μας προσέφερε ο επιβλέπωντας καθηγητής μας, ο κ. Ανδρικόπουλος Ανδρέας, και να τον ευχαριστήσουμε για την στήριξή του με την παροχή γνώσεων, στοιχείων και εφοδίων που μας προσέφερε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης που έχει η μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία, στον ανθρώπινο οφθαλμό. Στόχος της εν λόγω πτυχιακής είναι η εννοιολογική και περιγραφική προσέγγιση της μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας, οι πηγές απ' όπου εκπέμπεται η συγκεκριμένη ακτινοβολία και η επιπτώσεις της στον άνθρωπο.

Για την επίτευξη των παραπάνω, η πτυχιακή εργασία, χωρίστηκε σε πέντε κεφάλαια. Στο 1^ο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο ανθρώπινος οφθαλμός και περιγράφεται η ανατομία, η φυσιολογία και η οπτική του λειτουργία. Στο 2^ο κεφάλαιο, προσδιορίζεται εννοιολογικά η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και συγκεκριμένα, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, η ιοντίζουσα ακτινοβολία και η μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία. Στο 3^ο κεφάλαιο ερευνώνται οι πηγές (φυσικές και μη) της μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας και οι ανθρώπινες δραστηριότητες απ όπου πηγάζει η μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία. Το 4^ο κεφάλαιο διερευνώνται οι επιπτώσεις μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας στον άνθρωπο. Αναλυτικότερα, ερευνώνται οι θερμικές και μη-θερμικές επιδράσεις της και παρουσιάζονται οι επιπτώσεις στον άνθρωπο της κάθε μίας μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας ξεχωριστά. Στο 5^ο και τελευταία κεφάλαιο, παρατίθενται οι κανονισμοί προστασίας από την μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία σύμφωνα με το Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο και τα διεθνή όρια ασφαλείας.

Τέλος, παραθέτονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν έπειτα από την βιβλιογραφική ανασκόπηση του θέματος, και αναφέρονται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση της εργασίας.

SUMMARY

Aim of present final work was the investigation of effect that has the non-ionizing radiation, in the human eye. Objective in question final is the conceptual and descriptive approach of non-ionizing radiation, the sources from where is emitted the particular radiation and her repercussions in the person.

For the achievement more, the final work was separated in five chapters. In the 1st chapter, is presented the human eye and is described the anatomy, the physiology and his optical operation. In the 2nd chapter, are determined conceptually the electromagnetic radiation and concretely, the electromagnetic spectrum, the ionizing radiation and the non-ionizing radiation. In the 3rd chapter are searched the sources (natural and not) the non-ionizing radiation and human activities where springs the non-ionizing radiation. The 4th chapter are investigated the repercussions of non-ionizing radiation in the person. More analytically, they are searched her thermic and non-thermic effects and are presented the repercussions in the person of every of not-ionizing radiation separately. In the 5th and capital, are finally mentioned the regulations of protection from the non-ionizing radiation according to the Greek legislative frame and the international limits of safety.

Finally, are mentioned the conclusions that result then from the bibliographic examination of subject, and are reported the bibliographic reports that were used for the transaction of work.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ακτινοβολίες και η ραδιενέργεια είναι έννοιες γνωστές σε όλους εφόσον αποτελούν πλέον μέρος της καθημερινής μας ζωής. Ο άνθρωπος ήταν πάντοτε εκτεθειμένος σε φυσικές πηγές ακτινοβολίας που προέρχονται τόσο από τη γη όσο και από το διάστημα (φυσική ακτινοβολία). Η ακτινοβολία που δεχόμαστε από το απώτερο διάστημα αποκαλείται κοσμική ακτινοβολία.

Φυσική ακτινοβολία σε χαμηλά επίπεδα εκπέμπεται από ραδιενεργά στοιχεία που υπάρχουν στον στερεό φλοιό της γης, στα υλικά κατασκευής των σπιτιών μας, στα τρόφιμα που τρώμε, στο νερό που πίνουμε και στον αέρα που αναπνέουμε. Οι μύες, τα οστά, και οι ιστοί του ανθρώπινου σώματος περιέχουν επίσης ραδιενεργά στοιχεία, όπως για παράδειγμα Κάλιο-40 (K-40).

Ο άνθρωπος εκτίθεται, επίσης, σε τεχνητές ακτινοβολίες, όπως είναι οι ακτινοβολίες που χρησιμοποιούνται για διαγνωστικές εξετάσεις και για τη θεραπεία του καρκίνου, τα ραδιοϊσότοπα από τις δοκιμές πυρηνικών όπλων και τα ραδιοϊσότοπα που ελευθερώνονται στο περιβάλλον από την καύση ορυκτών καυσίμων ή από τους πυρηνικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

Η ακτινοβολία είναι ενέργεια σε μορφή κυμάτων ή κινούμενων υποατομικών σωματιδίων και διακρίνεται σε δυο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την ενέργεια και την επίδραση της στην ύλη, την ιοντίζουσα και τη μη ιοντίζουσα.

Η ακτινοβολία επιδρά στον οργανισμό μας κατά τρόπο πολύπλοκο, άλλοτε ευεργετικά και άλλοτε βλαβερά, ανάλογα με το είδος, την ένταση και την ενέργεια που μεταφέρει.

Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την ύπαρξη μόνο μιας πολύ μικρής περιοχής του φάσματος των ακτινοβολιών και αυτό είναι το ορατό φως, μέσω της όρασης, και οι υπέρυθρες ακτινοβολίες, μέσω της θερμότητας. Οι υπόλοιπες ακτινοβολίες ήταν μέχρι πρόσφατα άγνωστες για τον άνθρωπο. Άρχισαν να γίνονται αντιληπτές τον περασμένο αιώνα, λόγω της ανάπτυξης τεχνητών μέσων ανίχνευσής τους.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εμφανίζονται με διαφορετικές μορφές, στις οποίες περιλαμβάνονται τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, το ορατό φως, οι ακτίνες x

και οι ακτίνες γ. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία εμφανίζονται σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, το οποίο χωρίζεται σε επιμέρους περιοχές, τις ζώνες συχνοτήτων. Το φάσμα των συχνοτήτων περιλαμβάνει την ιοντίζουσα και τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία. Οι ακτινοβολίες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες στις ιοντίζουσες ακτινοβολίες και στις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες.

Ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι οι ακτινοβολίες που μεταφέρουν ενέργεια ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να προκαλέσει ιοντισμό των ατόμων της, να διασπάσει χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες σε ζώντες οργανισμούς. Οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες εκπέμπονται από τις φυσικές και τεχνικές πηγές ακτινοβολίας. Τα ραδιενεργά υλικά εκπέμπουν ακτινοβολία που μπορεί να είναι σωματιδιακή (ακτινοβολία α και β) και ηλεκτρομαγνητική όπως η ακτινοβολία-γ και η ακτινοβολία-X. Τα ραδιενεργά υλικά ταξινομούνται σε 4 κατηγορίες ανάλογα με την σχετική ραδιοτοξικότητά τους (relative radiotoxicity per unit activity). Η εμβέλεια των ακτινοβολιών αυξάνει με το ενεργειακό περιεχόμενο τους με αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται σημαντικά τα μέτρα προστασίας ανάλογα με την εκπεμπόμενη ακτινοβολία και την ενέργεια της.

Μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι αυτές που μεταφέρουν σχετικά μικρή ενέργεια, μη-αρκετή για να προκαλέσει ιοντισμό, ικανή όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στα κύτταρα, που μπορούν να αποβούν άλλοτε επιβλαβείς και άλλοτε ευεργετικές για τη λειτουργία τους.

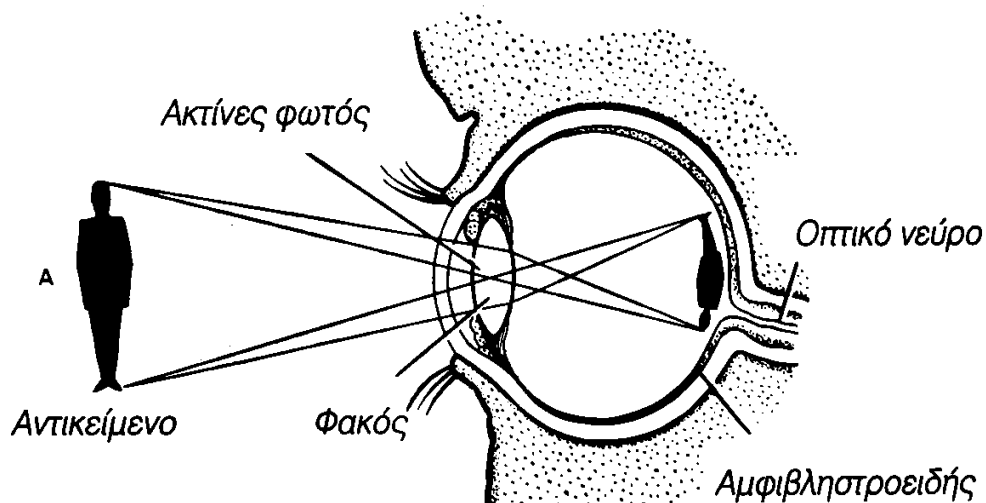
Κεφάλαιο 1: Ο οφθαλμός

1.1 Ανατομία οφθαλμού

Ο οφθαλμός είναι το παράθυρό μας προς τον κόσμο. Η όραση είναι η λειτουργία του ματιού που μας δίνει την αίσθηση και την αντίληψη του φωτός, των αντικειμένων και των χρωμάτων. Χάρη σε αυτή την ικανότητα ερχόμαστε σε επαφή με το γύρω κόσμο και συνειδητοποιούμε τη θέση μας και την κίνηση μας μέσα στον χώρο.

Οι φωτεινές ακτίνες όταν προσπέσουν στο μάτι μας, περνούν τα διαφανή στοιχεία του (τον κερατοειδή, το υδατοειδές υγρό, το φακό και το υαλώδες σώμα) που λέγονται και διαθλαστικά μέσα και τέλος συγκεντρώνονται στον αμφιβληστροειδή και κυρίως στην πιο φωτοευαίσθητη περιοχή του, την ωχρά κηλίδα. Η λειτουργία του μπορεί να παρομοιαστεί με την λειτουργία του φιλμ φωτογραφικής μηχανής (Σχήμα 1.1).

Οι οπτικές ακτίνες ερεθίζουν ιδιαίτερα τα κωνία και τα ραβδία (φωτοευαίσθητες δομικές μονάδες του αμφιβληστροειδή) και προκαλούν φωτοχημικές διεργασίες και βιοηλεκτρικές μεταβολές που τελικά γίνονται νευρικά σήματα και μεταφέρονται με το οπτικό νεύρο και όλη την οπτική οδό στον εγκέφαλο. Στον εγκέφαλο, τα σήματα αυτά κατά κάποιο τρόπο αποκωδικοποιούνται και ολοκληρώνεται η λειτουργία της όρασης (Κολιόπουλος, 1995).



Σχήμα 1.1: Ο μηχανισμός της όρασης

Ο βολβός του οφθαλμού, με βάρος 6,5-7,5 gr και διαστάσεις 24 mm (προσθοπίσθια διάμετρος), 23 mm (κάθετη διάμετρο) και 23,5 mm (οριζόντια διάμετρο) μαζί με τα υπόλοιπα στοιχεία του που περιγράφονται στη συνέχεια, αποτελεί το όργανο της οράσεως (Kaufman & Albert, 2003). Εμφανίζει σχήμα σφαιρικό και ως εκ τούτου από περιγραφικής απόψεως δύο πόλους, τον πρόσθιο και τον οπίσθιο. Ο γεωμετρικός άξονας που ενώνει τους δύο πόλους, συμπίπτει με τον οπτικό άξονα. Αποτελείται από τρεις χιτώνες και τρεις θαλάμους (Σχήμα 1.2) και βρίσκεται μέσα στην οφθαλμική κοιλότητα που περιβάλλει και τα υπόλοιπα στοιχεία του.

Οι τρεις χιτώνες αφορούν:

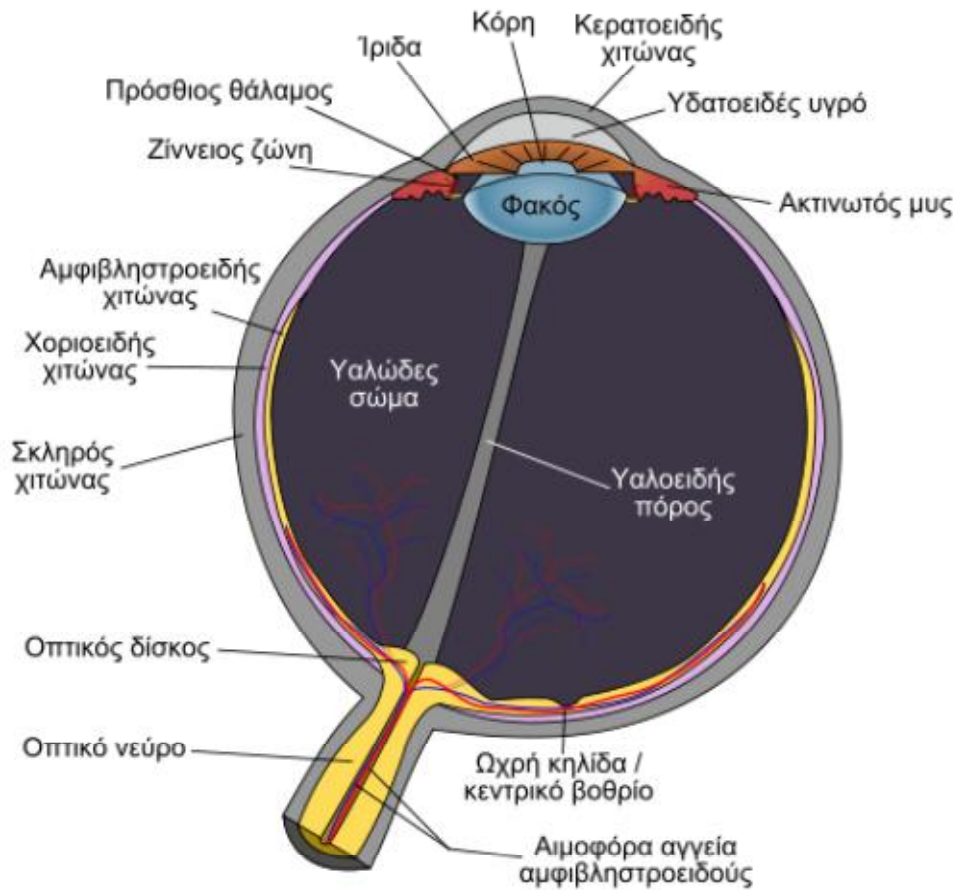
- Τον έξω ή ινώδη που αποτελείται από τον κερατοειδή και τον σκληρό χιτώνα.
- Τον μέσο ή αγγειώδη που αποτελείται από την ίριδα, το ακτινωτό σώμα, και τον χοριοειδή χιτώνα.
- Τον έσω ή νευρικό που αποτελείται από το επιθήλιο του ακτινωτού σώματος και τον αμφιβληστροειδή.

Οι τρεις χώροι αφορούν :

- Τον πρόσθιο θάλαμο και τη γωνία αυτού, απ' όπου αποχετεύεται το υδατοειδές υγρό.
- Τον οπίσθιο θάλαμο και το ακτινωτό σώμα όπου παράγεται το υδατοειδές υγρό.
- Το υαλώδες σώμα που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του οφθαλμικού βολβού.

Τα υπόλοιπα τμήματα αφορούν:

- Τα τμήματα που προστατεύουν το μάτι, άνω και κάτω βλέφαρο και βλεφαρίδες.
- Τους δακρυϊκούς αδένες, οι οποίοι διατηρούν υγρό και διαυγές το επιθήλιο του κερατοειδούς.
- Τις αποχετευτικές δακρυϊκούς οδούς, που διατηρούν καθαρά τα κολπώματα του επιπεφυκότα, αλλά και λόγω της λυσοζύμης που περιέχεται στα δάκρυα αναπτύσσουν βακτηριοκτόνο δράση κατά των μικροοργανισμών του επιπεφυκότα.
- Την οφθαλμική κοιλότητα που περιλαμβάνει τους οφθαλμικούς μύες, τα αγγεία και τα νεύρα, το λιπώδες υπόστρωμα και το σύστημα του συνδετικού ιστού.



Σχήμα 1.2: Ανατομία οφθαλμού

Ο βολβός του οφθαλμού παριστάνει το σπουδαιότερο τμήμα της όρασης. Από έξω προς τα μέσα είναι:

Ο ινώδης χιτώνας: ο οποίος παριστάνει τον εξωτερικό χιτώνα του βολβού και αποτελείται από το σκληρό χιτώνα προς τα πίσω και του κερατοειδή προς τα μπρος.

Ο αγγειώδης χιτώνας: βρίσκεται ανάμεσα στον αμφιβληστροειδή και τον ινώδη χιτώνα, και αποτελείται από τρία τμήματα:

- α) του χοριοειδή χιτώνα
- β) το ακτινωτό σώμα και
- γ) την ίριδα.

Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας: αποτελεί τον ευαίσθητο στις φωτεινές ακτίνες χιτώνα του οφθαλμού. Καλύπτει από μέσα τον αγγειώδη χιτώνα και παρουσιάζει τρεις μοίρες την οπτική, την ακτινωτή και την ιδρική. Από αυτές τις τρεις μοίρες η οπτική εξυπηρετεί την όραση.

Τα διαθλαστικά μέσα του βολβού: Η κοιλότητα του βολβού περιέχει τον κρυσταλοειδή φακό, μπροστά από το οποίο βρίσκεται το υδατοειδές υγρό και πίσω το καλοειδές σώμα. Από τα τρία αυτά στοιχεία διέρχονται οι φωτεινές ακτίνες διαθλώνται και προσπίπτουν στον αμφιβληστροειδή όπου διεγείρουν τους φωτουποδοχείς .

Οι μύες του οφθαλμικού κόγχου: Μέσα στον οφθαλμικό κόγχο υπάρχουν επτά γραμμωτοί μύες καθώς και διάσπαρτες λείες μυϊκές ίνες οι οποίες σχηματίζουν τον κογχαίο μυ. Οι γραμμωτοί μύες είναι τέσσερις ορθοί, δύο λοξοί και ο ανελκτύρ του άνου βλεφάρου (Γεωργιαδης, 2008).

Στα επικουρικά μόρια του βλεφάρου υπάγονται τα ινώδη έλυτρα του βολβού, τα φρύδια, τα βλέφαρα, ο επιπεφυκώς υμένας και η δακρυϊκή συσκευή. Τα ινώδη έλυτρα είναι η βολβική, η περιοφθαλμός περιτωνεία. Είναι λεπτός υμένας που περιβάλλει το μεγαλύτερο μέρος του βολβού. Το περικόγχιο είναι το περίοστεο του οφθαλμικού κόγχου και συνδέεται χαλαρά με οστό και το λιπώδες σώμα του κόγχου.

Ο επιπεφυκώς υμένας: είναι λεπτός και διαφανείς βλεννογόνος

Τα φρύδια: είναι δύο τριχωτά ογκώματα του δέρματος, φέρονται τοξοειδές πάνω από τα βλέφαρα και προστατεύουν τα μάτια από τον ιδρώτα.

Τα βλέφαρα: είναι δύο μώδεις πτυχές του δέρματος και καλύπτουν τα μάτια και τα προστατεύουν από το δυνατό φώς και άλλες βλαπτικές επιδράσεις.

Η δακρυϊκή συσκευή: αποτελείται από το δακρυϊκό αδένα με τους εκφορητικούς πόρους και από την εκφορητική μοίρα δηλαδή τα δακρυϊκά σωληνάρια, το δακρυϊκό ασκό και το ρινοδακρυϊκό πόρο με τα οποία τα δάκρυα αποχετεύονται στην ρινική κοιλότητα. Τέλος ο δακρυϊκός αδένας βρίσκεται στο άνω τοίχωμα του οφθαλμικού κόγχου, παράγει δάκρυα τα οποία με τους εκφορητικούς πόρους φέρονται στην κοιλότητα του επιπεφυκότα. Η αποστολή τους είναι να διατηρήσουν υγρό του επιπεφυκότα και του κερατοειδή (Χατζημπούγιας, 2003).

1.2 Φυσιολογία οφθαλμού

Υδατοειδές υγρό: παράγεται και εκκρίνεται από το ακτινωτό σώμα και προέρχεται από το αίμα. Αποτελείται περίπου από τα ίδια συστατικά του αίματος εκτός από τις πρωτεΐνες του. Το υδατοειδές υγρό που κυκλοφορεί στο χώρο ανάμεσα στο φακό, στην ίριδα και του κερατοειδή προσφέρει θρεπτικό συστατικά στα στοιχεία αυτά και διατηρεί τη σταθερή πίεση στο μάτι, την ενδοφθάλμια πίεση. Το υγρό αυτό αποχετεύεται από μια περιοχή που λέγεται γωνία του πρόσθιου θαλάμου. Στην γωνία αυτή υπάρχει ένας πορώδης σχηματισμός που λέγεται ηθμός. Μέσα από τους πόρους και ενός σωλήνα αποχετεύεται το υδατοειδές υγρό που τελικά με ειδικές φλέβες γυρίζει στην φλεβική κυκλοφορία. Φυσιολογικά υπάρχει ισορροπία στην παραγωγή και την αποχέτευση της πίεσης του υγρού (Γεωργιαδης, 2008).

Δακρυϊκή συσκευή: η παραγωγή των δακρύων συμβάλλει στη διατήρηση της υγρής εξωτερικής επιφάνειας, στην διάλυση του οξυγόνου και οξυγόνωση του κερατοειδούς, στην αποβολή άχρηστων ουσιών ή νεκρών κυττάρων. Η αποχετευτική δακρυϊκή οδός μαζί με το ανοιγοκλείσιμο των βλεφάρων συμβάλει στην αποχέτευση δακρύων.

Κερατοειδής: χρησιμεύει ως διαθλαστικό μέσο για τη συγκέντρωση των φωτεινών ακτινών στον αμφιβληστροειδή. Δεν εμποδίζει την δίοδο ακτινών διότι είναι διαφανής. Η εξωτερική στιβάδα, το επιθήλιο δρα ως φραγμός για τη διείσδυση μικροβίων (Χατζημούγιας, 2003).

Κρυσταλλοειδής φακός: δρα ως διαθλαστικό μέσο είναι και αυτός διαφανής και συμβάλλει στην προσαρμογή δηλαδή την ικανότητα να βλέπουμε μια εκκλησία σε απόσταση και σχεδόν αμέσως να μπορούμε να περάσουμε μια κλωστή σε μια βελόνα.

Αμφιβληστροειδής: η φυσιολογία του αμφιβληστροειδούς ταυτίζεται με την ίδια την οπτική λειτουργία. Η περιοχή της ωχρός κηλίδος μας προσφέρει μέγιστη ευκρίνεια. Επίσης τα κώνια που είναι αφθονότερα στην περιοχή της ώχρας μας προσφέρουν την αντίληψη των χρωμάτων. Όλη η έκταση του χώρου που βλέπουμε με κάθε μάτι μας αποτελεί το οπτικό πεδίο. Επίσης ο αμφιβληστροειδής μας προσφέρει ιδίως με τα ράβδια την ικανότητα της προσαρμογής στο ημίφως ή στο σκοτάδι (Spalton, Roger & Hitcnings, 2005).

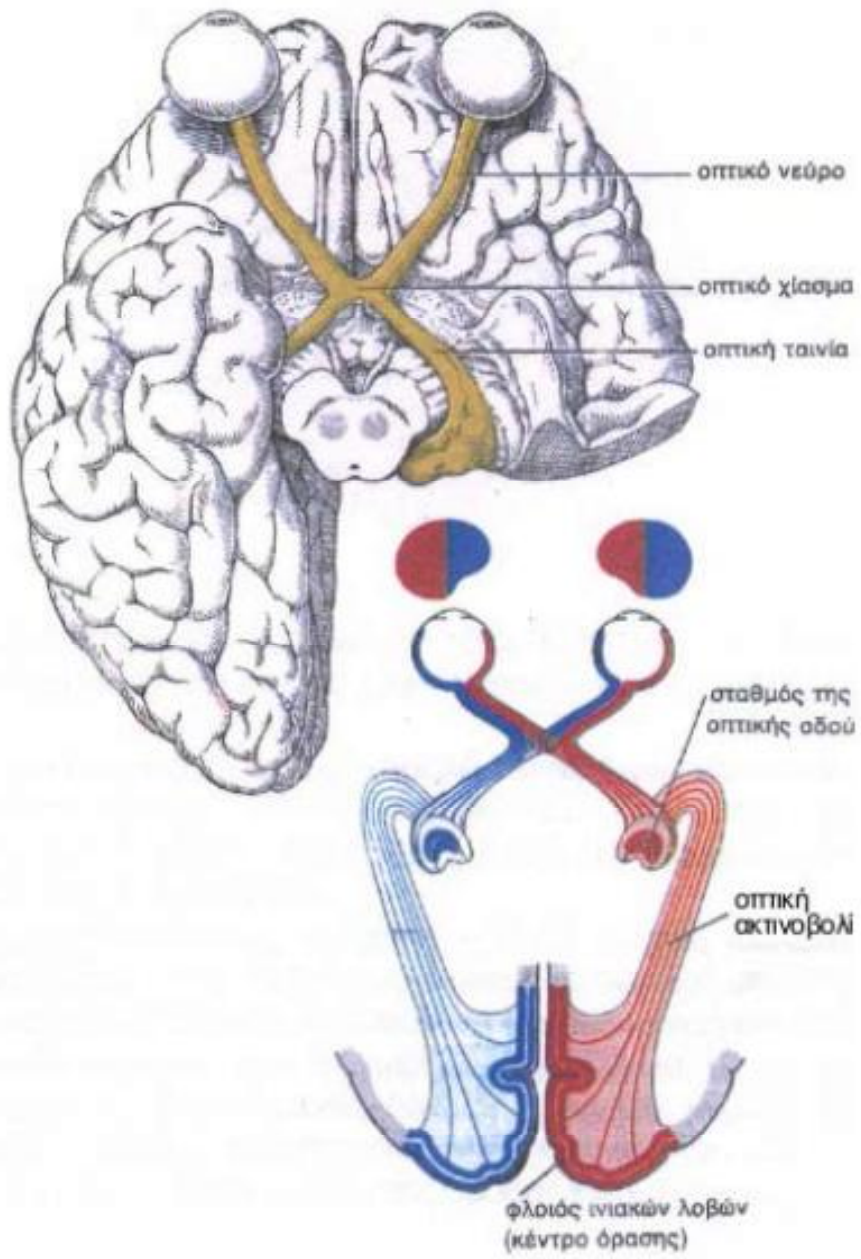
Τα αντανακλαστικά της κόρης: σημαντική λειτουργία επιτελείται με τα αντανακλαστικά της κόρης όπου ο φωτεινός ερεθισμός του ενός αμφιβληστροειδούς προκαλεί σύσπαση της κόρης.

Η κινητικότητα του οφθαλμού: η κινητικότητα του οφθαλμού χαρακτηρίζεται από 6 οφθαλμοκινητικούς μύες 4 ορθούς έσω, έξω, άνω, κάτω και 2 λόγους άνω και κάτω.

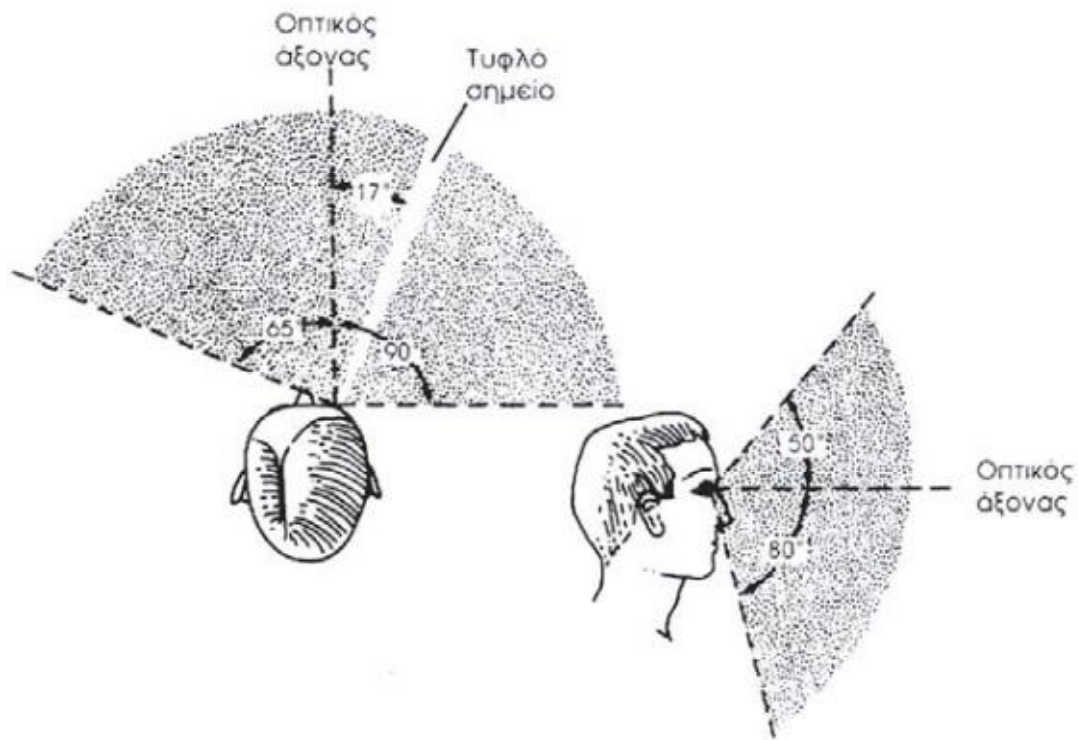
Οπτικό νεύρο και οπτικός φλοιός: οι νευρικές ώσεις από όλα τα κύτταρα (φωτοϋποδοχείς) του κάθε αμφιβληστροειδή μεταδίδονται μέσω των οπτικών νεύρων. Οι νευρικές ώσεις και από τα δύο μάτια φθάνουν σε μία περιοχή στο οπίσθιο τμήμα του εγκεφάλου, τον ινιακό λοβό, όπου εντοπίζεται το κέντρο της όρασης. Εκεί συνενώνονται, γίνεται η ανόρθωση της εικόνας και επιτυγχάνεται έτσι η πλήρης αντίληψη του οπτικού πεδίου.

Ο οπτικός φλοιός, επομένως, που βρίσκεται στον εγκέφαλο, λαμβάνει τα νευρικά ερεθίσματα, εκεί όπου τα μηνύματα ενοποιούνται από τα δύο μάτια σε μια πλήρη εικόνα και μεταφράζονται σε μεγέθη, μορφές, αντικείμενα και χρώματα. Κάθε ένας από τους δύο οφθαλμούς έχει τη δυνατότητα παρατήρησης αντικειμένων που βρίσκονται σε ένα αρκετά μεγάλο οπτικό πεδίο (Εικόνα 1.1).

Ο συνδυασμός και των δύο οφθαλμών του οπτικού συστήματος, μας παρέχει μια καλή αντίληψη του βάθους και βοηθάει στην ανάπλαση της τρισδιάστατης απεικόνισης. Βέβαια, ακόμα και στην περίπτωση της μονό-οφθαλμικής παρατήρησης, η όραση είναι επαρκής για τις περισσότερες από τις ανθρώπινες ανάγκες.



Εικόνα 1.1: Η οπτική οδός



Εικόνα 1.2: Εύρος οπτικής γωνίας

1.3 Οπτική Λειτουργία

Η όραση δηλαδή η αισθητηριακή λειτουργία του οφθαλμού, αποτελεί την ανώτερη αισθητηριακή αντίληψη του φωτός των αντικειμένων και των χρωμάτων χάρη σε αυτή την ικανότητα ερχόμαστε σε επαφή με τη ζωή. Οι φωτεινές ακτίνες όταν προσπέσουν στο μάτι, μας περνούν τα διαφανή στοιχεία του που λέγονται διαθλαστικά μέσα και τέλος συγκεντρώνονται στους αμφιβληστροειδούς. Οι ακτίνες αυτές ερεθίζουν ιδιαίτερα τα κώνια και ραβδιά και προκαλούν φωτοχημικές διεργασίες και βιοηλεκτρικές μεταβολές που τελικά γίνονται νευρικά σήματα που μεταφέρονται με το οπτικό νεύρο σε όλη την οπτική οδό στον εγκέφαλο. Στον εγκέφαλο, στον ινιακό λόφο αυτού τα σήματα αυτά κατά κάποιο τρόπο κωδικοποιούνται και ολοκληρώνεται η όλη λειτουργία της όρασης, το φως καθώς πέφτει στα διάφορα αντικείμενα και αντανακλάται από αυτά προς τα μάτια μας κάνει ορατή την παρουσία τους και έτσι αποκτούμε την αντίληψη του εξωτερικού χώρου.

Για να αποκτήσουμε όμως τη διόφθαλμη όραση έχουμε ταυτόχρονα και την αντίληψη του βάθους του όγκου των αντικειμένων, δηλαδή την στερεοσκοπική όραση πέρα όμως από αυτή την αντίληψη συνειδητοποιούμε την αντίληψη των χρωμάτων. Για την αντίληψη των χρωμάτων μετέχουν κυρίως τα κώνια του αμφιβληστροειδές που είναι περισσότερα στην ωχρά κηλίδα παρά την πληθώρα χρωμάτων. Φαίνεται ότι υπάρχουν στα κώνια, τρεις υποδοχείς για αυτά. Οι υποδοχείς είναι του κόκκινου, του κυανού και τα πράσινα (Γεωργιάδης, 2008).

Κεφάλαιο 2: Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

2.1 Η Ακτινοβολία

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

Ο πυρήνας των ατόμων στην προσπάθεια του να γίνει σταθεράς εκπέμπει την επιπλέον ενέργεια που περιέχει. Έτσι ο ασταθής πυρήνας μπορεί να αποβάλει ένα μέρος ενέργειας, ή να αποβάλει ένα σωματίδιο. Αυτήν ακριβώς την εκπεμπόμενη ατομική ενέργεια, ή το σωματίδιο ονομάζουμε ακτινοβολία (Πατενιώτης, 2007).

Ακτινοβολία, είναι η μετάδοση ενέργειας με εκπομπή. Βασικά μεγέθη για το χαρακτηρισμό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι η συχνότητα ν (σε Hertz), το μήκος κύματος λ (σε μέτρα) και η ενέργεια των φωτονίων E (σε Joule < σε ηλεκτρονιοβόλτ, eV).

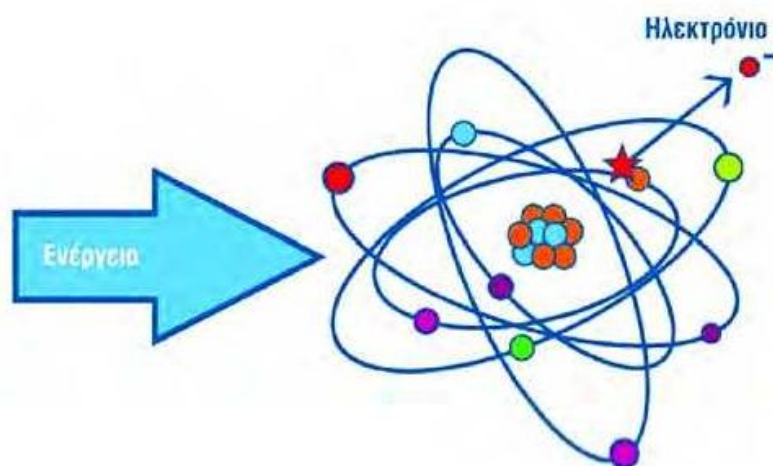
Όλο το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής (H/M) ακτινοβολίας χωρίζεται σε δύο βασικές περιοχές, την ιοντίζουσα και τη μη ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Βασικό στοιχείο διαχωρισμού είναι η ικανότητα που έχουν τα φωτόνια της ιοντίζουσας ακτινοβολίας, όταν απορροφηθούν από την ύλη, να προκαλούν ρήξη των χημικών δεσμών στα μόρια και να δημιουργούν ιόντα. Για την ιατρική φυσική ως όριο μεταξύ μη ιοντίζουσας και ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας θεωρείται η ενέργεια των φωτονίων που είναι ικανή να ιοντίσει τα άτομα του μορίου του νερού ($1,978 \cdot 10^{18}$ Joules ή 12,4 eV). Στο πλήρες φάσμα η ενέργεια αυτή βρίσκεται στην υπεριώδη περιοχή του φωτός (UV) με μήκος κύματος 100 nm. Η μη ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αναφέρεται σε συχνότητες του φάσματος

μέχρι 10^{15} Hz. Πρακτικά αυτό καλύπτει την περιοχή του φάσματος έως και την υπεριώδη ακτινοβολία.

Γενικά όμως ένα μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας δε συμπεριλαμβάνεται στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία, γιατί ακτινοβολίες με μήκος κύματος μικρότερο από 295 nm απορροφώνται έντονα από την ατμόσφαιρα και δεν παρουσίασαν μέχρι τώρα ιδιαίτερο βιολογικό ενδιαφέρον, ενώ είναι λίγες οι «σημαντικές» πηγές που χρησιμοποιούν τις συχνότητες αυτές (μερικά μόνο LASER). Ωστόσο η αναφορά στον όρο αυτό σε θέματα αλληλεπίδρασης με τους βιολογικούς οργανισμούς «περιορίζεται» μέχρι τη συχνότητα των 300GHz (Ψαρράκος, Κουφογιάννης & Σιούντας, 2002).

2.2 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Ο ιονισμός ενός ουδέτερου ατόμου είναι η βίαιη απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από τις στοιβάδες του, λόγω εξωτερικού αιτίου, με αποτέλεσμα την παραγωγή δύο αντίθετα φορισμένων σωματιδίων, του θετικά φορισμένου ιόντος του ατόμου και του αρνητικά φορισμένου ηλεκτρονίου (Εικόνα 2.1).



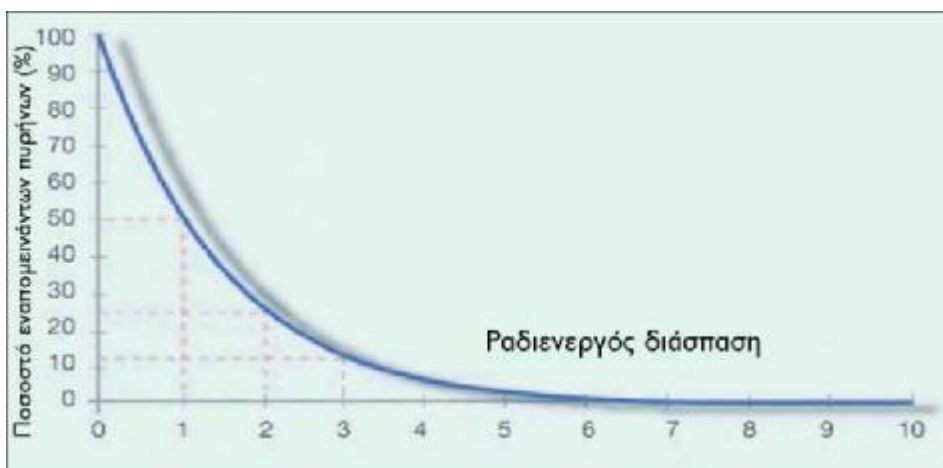
Εικόνα 2.1: Ιονισμός του ατόμου

Ορισμένα φυσικά υλικά είναι ασταθή και οι πυρήνες τους μπορούν να διασπαστούν, με αποτέλεσμα την αποδέσμευση της ενέργειας που περικλείουν υπό τη μορφή ακτινοβολίας και την παραγωγή ιόντων. Αυτή η ακτινοβολία ονομάζεται φυσική ραδιενέργεια και τα υλικά που εκπέμπουν ραδιενέργεια ονομάζονται ραδιενεργά υλικά. Συχνά, ο όρος ραδιενέργεια χρησιμοποιείται για να δηλώσει την ακτινοβολία που προέρχεται από τους ραδιενεργούς πυρήνες, υποκαθιστώντας τη λέξη ακτινοβολία.

Μεγάλα ασταθή άτομα μπορούν να γίνουν περισσότερο ευσταθή εκπέμποντας ακτινοβολία. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ραδιενεργός διάσπαση. Η ακτινοβολία αυτή μπορεί να εκπεμφθεί με την μορφή θετικά φορτισμένων άλφα σωματιδίων, ενός αρνητικά φορτισμένου βήτα σωματιδίου, ή με την μορφή ακτινών γάμμα.

Μονάδα μέτρησης της ραδιενέργειας είναι το Becquerel (Bq) που αντιστοιχεί σε μια διάσπαση ασταθούς πυρήνα ανά δευτερόλεπτο. Χρόνος υποδιπλασιασμού ενός ραδιοϊσοτόπου είναι ο χρόνος που απαιτείται για να πέσει στο μισό η αρχική τιμή ραδιενέργειας $T_{1/2}$. Ο χρόνος αυτός χαρακτηρίζει κάθε ραδιοϊσότοπο και είναι σταθεράς (Πατενιώτης, 2007).

Τα ραδιοϊσότοπα διασπώνται με ρυθμό που δεν επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως είναι η θερμοκρασία και η πίεση. Ο χρόνος που απαιτείται για τη διάσπαση του μισού αριθμού πυρήνων ενός ραδιενεργού υλικού λέγεται χρόνος ημιζωής (Εικόνα 2.2). Αυτός ο χρόνος διαφέρει για κάθε ραδιενεργό στοιχείο και κυμαίνεται από κλάσματα του δευτερολέπτου έως δισεκατομμύρια χρόνια. Για παράδειγμα, ο χρόνος ημιζωής για το Ιώδιο-131 είναι οκτώ ημέρες, αλλά για το Ουράνιο-238, το οποίο βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στο φλοιό της γης, είναι 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια. Το Κάλιο-40, η κύρια πηγή ραδιενέργειας στο σώμα μας που εισέρχεται μέσω της τροφικής αλυσίδας, έχει χρόνο ημιζωής 1,42 δισεκατομμύρια χρόνια.



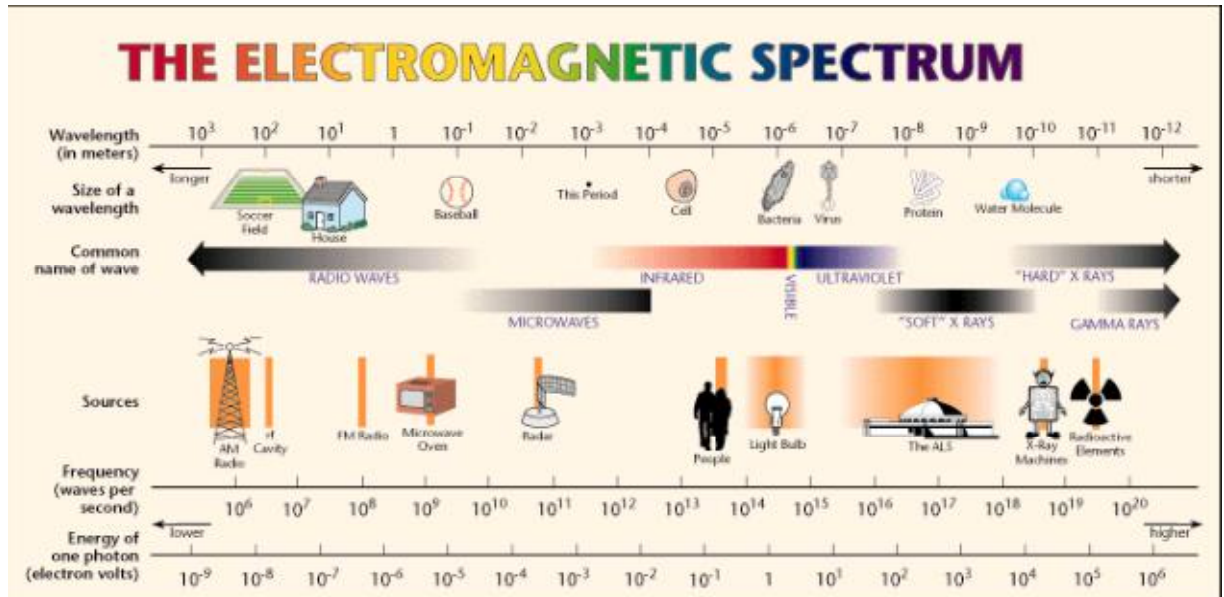
Εικόνα 2.2: Καμπύλη χρόνου ημιζωής

Η ραδιενέργεια ανακαλύφθηκε τυχαία το 1896 από τον Γάλλο χημικό Μπεκερέλ, που παρατήρησε ότι τα ορυκτά του ουρανίου, χωρίς καμιά εξωτερική επίδραση, εκπέμπουν ακτινοβολία. Η φύση και τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας αυτής ήταν άγνωστα στους επιστήμονες της εποχής. Μετά από μακροχρόνιες έρευνες, που βασίστηκαν κυρίως στις εργασίες του ζεύγους Πιέρ και Μαρί Κιουρί που ανακάλυψε το ραδιενεργό ράδιο, το φαινόμενο της ραδιενέργειας ερμηνεύτηκε πλήρως.

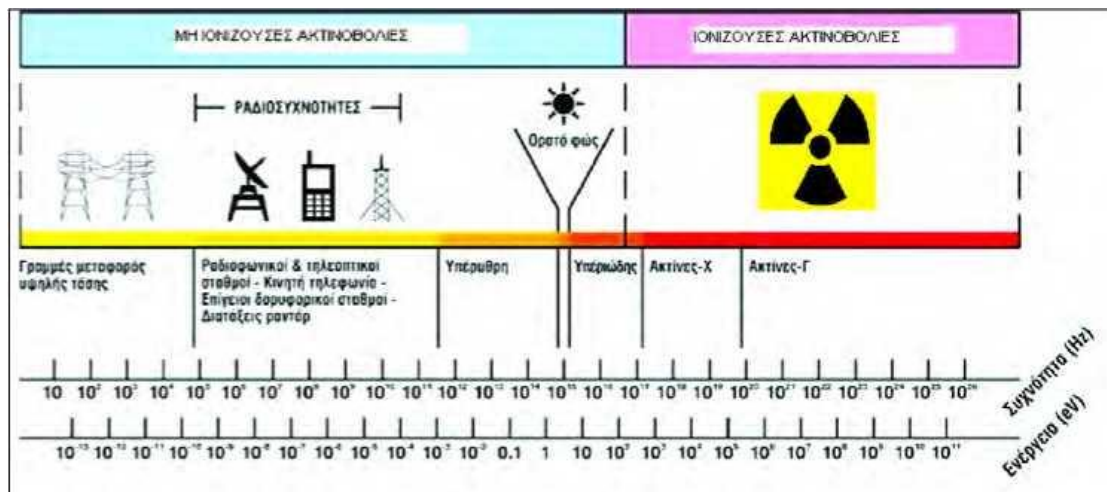
Ο όρος ακτινοβολία είναι πολύ ευρύς και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την ιοντίζουσα (ακτίνες α, β, γ, ακτίνες-X, νετρόνια), και τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία (ορατό φως, μικροκύματα, ραδιοκύματα, υπεριώδης, υπέρυθρη) (Εικόνα 2.3α και 2.3β).

Όταν η ακτινοβολία προκαλεί ιονισμό σε ένα βιολογικό υλικό, μπορεί να συμβεί ρήξη χημικών δεσμών, δηλαδή καταστροφή του μορίου με επακόλουθο την παραγωγή δραστικών χημικών ριζών. Η ρήξη του μοριακού δεσμού προκαλεί βιολογική βλάβη διότι καταστρέφει απαραίτητα για τη ζωή ή για τον πολλαπλασιασμό του κυττάρου μόρια. Οι δραστικές χημικές ρίζες που παράγονται από τη διάσπαση των μορίων, με τη σειρά τους προκαλούν πρόσθετη έμμεση βλάβη, διότι επιδρούν σε άλλα μόρια, τα καταστρέφουν και δημιουργούν άχρηστες ή βλαβερές, για το κύτταρο, χημικές ενώσεις. Ιδιαίτερη σημασία για τη ζωή και την αναπαραγωγή του κυττάρου έχουν οι βλάβες εκείνες που προκαλούνται στο γενετικό

του υλικό, διότι αυτές συνδέονται τόσο με τη μεταβίβαση κληρονομικών ανωμαλιών στους απογόνους όσο και με τη διαδικασία της καρκινογένεσης (Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, 2009).



Εικόνα 2.3α: Φάσμα Η/Μ ακτινοβολίας



Εικόνα 2.3β: Ιοντίζουσα και μη ιοντίζουσα ακτινοβολία

2.3 Ιοντίζουσα ακτινοβολία

Σχεδόν με την ανακάλυψη των ακτινών X από τον W.C. Rontgen το 1895 και του φαινομένου της ραδιενέργειας από τον Henry Becquerel και το ζεύγος Marie και Pierre Curie το 1896 άρχισαν να εμφανίζονται τα πρώτα βιολογικά αποτελέσματα από τη χρήση τους, δηλαδή από τη χρήση ιοντιζουσών ακτινοβολιών.

Ως ιοντίζουσες ακτινοβολίες ορίζονται οι ακτινοβολίες που, όταν αλληλεπιδράσουν με την ύλη, προκαλούν ιοντισμούς. Στις ιοντίζουσες ακτινοβολίες περιλαμβάνονται οι ακτίνες X, η ακτινοβολία γ , οι σωματιδιακές ακτινοβολίες α , β , τα νετρόνια, τα πρωτόνια, στοιχειώδη σωματίδια που προκαλούνται στις διαφόρου τύπου πυρηνικές αντιδράσεις, σωματίδια που ανευρίσκονται στην κοσμική ακτινοβολία και προϊόντα πυρηνικής σχάσης (Ψαρράκος, Κουφογιάννης & Σιούντας, 2002).

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

Η παραμένουσα αυτή ραδιενέργεια μας οδηγεί σε έκθεση στις ακτίνες γάμμα και σε αέριο ραδιενεργό ράδιο από συγκεκριμένα πετρώματα και από ραδιενεργά υλικά που υπάρχουν σ' αυτά που τρώμε και σ' αυτά που πίνουμε (Πατενιώτης, 2007).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Τα γνωστότερα είδη ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι οι ακτίνες X που παράγονται στις λυχνίες των ακτινολογικών μηχανημάτων και χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική, καθώς και οι ακτινοβολίες α , β , γ και τα νετρόνια που εκπέμπονται από τους ασταθείς πυρήνες ατόμων ραδιενεργών υλικών.

Η ακτινοβολία άλφα (ακτινοβολία- α) είναι σωματιδιακή ακτινοβολία που αποτελείται από θετικά φορτισμένα σωματίδια (πυρήνες ήλιου με δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια) τα οποία εκπέμπονται από τα άτομα βαρέων στοιχείων, όπως το ουράνιο και το ράδιο. Η ακτινοβολία- α έχει μικρή διεισδυτικότητα και μπορεί να ανακοπεί εντελώς από ένα φύλλο χαρτιού ή από την επιφάνεια του δέρματος (επιδερμίδα). Ωστόσο, εάν

η ακτινοβολία- α που εκπέμπουν τα υλικά ληφθεί εσωτερικά με την αναπνοή, την τροφή ή το ποτό, ακτινοβολούνται άμεσα οι εσωτερικοί ιστοί και ως εκ τούτου προκαλούνται βιολογικές βλάβες.

Η ακτινοβολία βήτα (ακτινοβολία-β) αποτελείται από αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια. Είναι πιο διεισδυτική από την ακτινοβολία άλφα και μπορεί να περάσει μέσα από πάχος 1-2 cm νερού. Σε γενικές γραμμές, ένα φύλλο από αλουμίνιο πάχους μερικών χιλιοστών ανακόπτει την ακτινοβολία-β.

Οι ακτινοβολία γάμμα (ακτινοβολία-γ) και οι ακτίνες-X είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεγάλης συχνότητας παρόμοια με το φως και τα ραδιοκύματα. Οι ακτίνες-γ, ανάλογα με την ενέργειά τους, μπορούν να περάσουν μέσα από το ανθρώπινο σώμα, αλλά μπορούν να ανακοπούν από χοντρούς τοίχους από σκυρόδεμα ή μόλυβδο.

Η ακτινοβολία νετρονίων είναι σωματίδια νετρονίων τα οποία δεν παράγουν άμεσα ιονισμό στην ύλη. Η αλληλεπίδρασή τους με τα άτομα διαφόρων υλικών μπορεί να οδηγήσει στην εκπομπή ακτινοβολιών άλφα, βήτα, γάμμα ή ακτινών X, που μπορούν να προκαλέσουν δευτερογενώς ιονισμό. Τα νετρόνια είναι πολύ διεισδυτικά και μπορούν να ανακοπούν μόνο από παχιές πυκνές μάζες από σκυρόδεμα, νερό ή παραφίνη (Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, 2009).

2.4 Μη-ιονίζουσα ακτινοβολία

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

Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία ονομάζεται η ακτινοβολία που υπάρχει στο περιβάλλον μας και προέρχεται από την έκθεση στο φως του ηλίου, στις γραμμές υψηλής τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος, στις ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας χρήση και στα κινητά μας τηλέφωνα. Η ακτινοβολία όμως αυτή δεν έχει την απαιτούμενη ενέργεια να παράγει τους ιοντισμούς αυτούς. Γι αυτό ονομάζεται μη ιοντίζουσα ακτινοβολία (Πατενιώτης, 2007).

Ενώ οι ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες του κεχριμπαριού (ήλεκτρο) περιγράφηκαν από τους αρχαίους Έλληνες, τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία δεν ανακαλύφθηκαν παρά το 1888, όταν περιγράφηκαν για πρώτη φορά από τον Holerith Hertz. Αμέσως μετά το 1889 ο d'Arsonval και ο Tesla, ανεξάρτητα, παρατήρησαν για πρώτη φορά επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε βιολογικούς οργανισμούς. Η πεποίθηση για τις βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο απαντάται και στον Ιπποκράτη, στις προσπάθειές του να θεραπεύσει όγκους στο στήθος με ηλιοθεραπεία (υπεριώδης ακτινοβολία). Ιστορικής σημασίας είναι και οι προσπάθειες του d'Arsonval, ο οποίος εφάρμοσε θεραπευτικά πρωτόκολλα με πεδία εξ επαγωγής, τοποθετώντας τους ασθενείς σε κρεβάτια-πηνία (σώζονται στο μουσείο Welcome του Λονδίνου). Από το 1930 η τεχνολογική πρόοδος έδωσε τη δυνατότητα να δημιουργηθούν ελεγχόμενα και σχετικά ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία και, σχεδόν ταυτόχρονα, άρχισε να διαδίδεται και η βιολογική μελέτη-έρευνα τους. Σήμερα είναι βέβαιο ότι τα εξωγενή ηλεκτρομαγνητικά πεδία έχουν άμεση σχέση με τις βιολογικές λειτουργίες των ζωντανών οργανισμών (Becker & Marino, 1995). Εξωγενή θεωρούνται τα πεδία τα οποία δημιουργούνται εξωτερικά από άλλες δραστηριότητες του ανθρώπου και απορροφώνται από το ανθρώπινο σώμα.

Οι βιολογικές επιδράσεις από την απορρόφηση της μη ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι ένα ζήτημα επίμαχο κοινωνικά. Αφενός οι τεχνολογικά ανεπτυγμένες κοινωνίες μας συμβιώνουν αναγκαστικά με το πρόβλημα (με αυξανόμενους ρυθμούς), αφετέρου οι διάφορες κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές ομάδες προσεγγίζουν το πρόβλημα από διαφορετικές και συχνά αντίπαλες σκοπιές (Ψαρράκος, Κουφογιάννης & Σιούντας, 2002).

Κεφάλαιο 3: Μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία

3.1 Πηγές μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας

Στις μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες περιλαμβάνονται:

- τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, όπως είναι αυτά που δημιουργούνται στο φυσικό περιβάλλον, όπως το μαγνητικό πεδίο της γης. Η έκθεση σε αυτά τα πεδία είναι διαρκής, ενώ η ένταση τους είναι περίπου σταθερή,
- τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας που δημιουργούνται στο περιβάλλον από διατάξεις μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και από συστήματα τα οποία λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρικοί κινητήρες, θερμαντικά σώματα, κ.ά.)
- τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραίες επικοινωνιών όπως οι κεραίες της ραδιοφωνίας και της τηλεόρασης, οι σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας καθώς και τα συστήματα εντοπισμού θέσης-ταχύτητας (radar) και
- η υπέρυθρη, η ορατή και η υπεριώδης ακτινοβολία.

Βασικές πηγές μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας σε εργαστηριακούς χώρους είναι:

- τα κύρια συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τυχόν διατάξεις υποβιβασμού της ηλεκτρικής τάσης (μετασχηματιστές),
- ηλεκτρικοί κινητήρες σε διάφορες συσκευές όπως αντλίες υψηλού κενού, φυγόκεντροι κ.ά.,
- συσκευές με ισχυρά μαγνητικά πεδία όπως οι συσκευές Μαγνητικού Πυρηνικού Συντονισμού (NMR) και
- τα συστήματα αποστείρωσης χώρων και απαγωγών με υπεριώδη ακτινοβολία.

Πηγές της μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας είναι:

Ορατό φως: Τα χρώματα ενός ουράνιου τόξου, δηλαδή η ακτινοβολία που μπορεί να εντοπιστεί από το ανθρώπινο μάτι (από 400 έως 700 νανόμετρα) δεν είναι παρά ένα πολύ μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

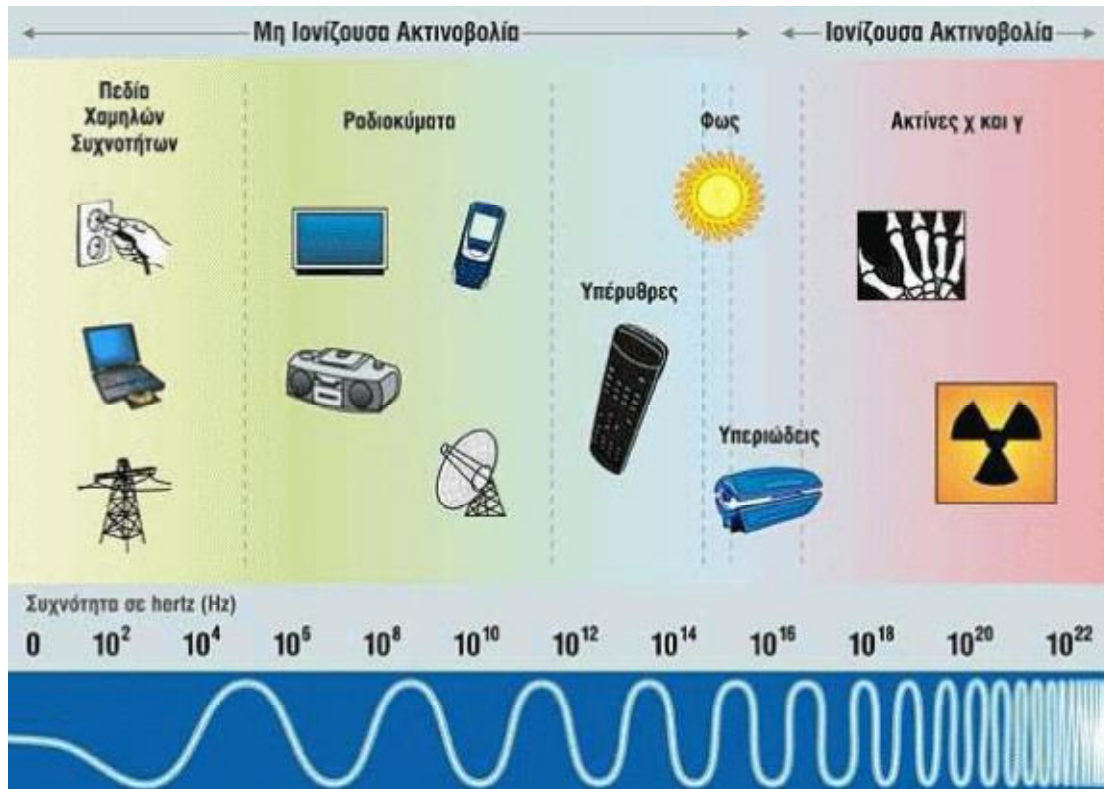
Υπέρυθρη ακτινοβολία: Εκτείνεται από εκεί που σταματάει η ορατή ακτινοβολία, δηλαδή περίπου τα 700 νανόμετρα μέχρι περίπου το ένα χιλιοστό. Περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας (Θερμική ακτινοβολία ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός σώματος λόγω της θερμοκρασίας του) που εκπέμπεται από τα σώματα κοντά σε θερμοκρασία δωματίου (20oC). Οι πιο κοινές εφαρμογές της υπέρυθρης ακτινοβολίας αφορούν τη νυχτερινή όραση, ανιχνευτές σε δορυφόρους και αεροπλάνα, καθώς και την αστρονομία.

Ραδιοκύματα: Τα ραδιοκύματα έχουν μήκος κύματος, που εκτείνεται σε μια αρκετά μεγάλη περιοχή, από ένα χιλιοστό έως δεκάδες και εκατοντάδες μέτρα. Μέρος τους είναι τα μικροκύματα και το πεδίο χαμηλών συχνοτήτων. Εκπέμπονται από τη Γη, τα κτήρια, τα αυτοκίνητα κι άλλα μεγάλα σε μέγεθος αντικείμενα. Οι πηγές ακτινοβολίας των ραδιοκυμάτων περιλαμβάνουν τις κεραίες των ραδιοφωνικών κυμάτων, τα ραντάρ, τα κυψελωτά κινητά τηλέφωνα και σταθμούς κινητής τηλεφωνίας.

Ακτινοβολία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας (ELF): Η ακτινοβολία ELF των 60 Hz παράγεται από τα ηλεκτροφόρα καλώδια, την ηλεκτρική καλωδίωση, και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Οι κοινές πηγές έντονης έκθεσης σε αυτή την ακτινοβολία περιλαμβάνουν τους κλιβάνους επαγωγής και τα υψηλής τάσεως ηλεκτροφόρα καλώδια.

Η κατηγορία συχνοτήτων που περιλαμβάνει τις εφαρμογές της κινητής τηλεφωνίας ονομάζεται ραδιοσυχνότητες (RF) και έχει εύρος που εκτείνεται από 3 KHZ έως 300 GHz. Στις ραδιοσυχνότητες εκπέμπει πληθώρα άλλων εφαρμογών που έχουν κατακλίσει την κοινωνία όπως το ασύρματο διαδίκτυο, οι ραδιοηλεκτρονικοί σταθμοί και γενικά κάθε ασύρματη ηλεκτρική ή ηλεκτρονική συσκευή. Μια άλλη εφαρμογή που αναμένεται να αναπτυχθεί πολύ γρήγορα είναι τα έξυπνα δίκτυα, δηλαδή το ηλεκτρικό δίκτυο που μαζεύει πληροφορίες για τον ευφυή έλεγχο της ροής

ενέργειας ώστε οι συσκευές να λειτουργούν πιο οικονομικά και με περισσότερη αποτελεσματικότητα (Μιχαήλ, 2013).



Σχήμα 3.1: Πηγές εκπομπής Ιονίζουσα και μη ιονίζουσα ακτινοβολία

Πίνακας 3.1: Ζώνες συχνότητας της μη ιονίζουσας περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Ονομασία περιοχών φάσματος	Ζώνη συχνοτήτων Προσδιορισμός	Εύρος συχνοτήτων	Μήκος κύματος	Πηγές εκπομπής
	ELF Extremely Low Frequency	0-3 kHz	Άπειρο- 100 km	Αγωγοί υψηλής τάσης.

	VLF Very Low Frequency	3-30 kHz	100km-10 km	Ραδιοτηλεγράφος.
	LF Low Frequency	30-300 kHz	10km-1 km	<ul style="list-style-type: none"> • Ραδιόφαρος. • Ραδιοεπικοινωνία ναυσιπλοΐας. • Επικοινωνίες
RF (Radiofrequencies)	HF High Frequency	3-30 MHz	100m-10m	<ul style="list-style-type: none"> • Βραχέα Ράδιο. • Διεθνείς επικοινωνίες, έλεγχος αεροπλοΐας.
	VHF Very High Frequency	30-300 MHz	10m-1m	<ul style="list-style-type: none"> • FM Ράδιο. • VHF-TV. • Αστυνομία. • Αεροπλοΐα και ναυσιπλοΐα.
	MF Medium Frequency	0,3-3 MHz	1km-0.1 km	<ul style="list-style-type: none"> • AM Ράδιο. • Ραδιοεπικοινωνίες ναυσιπλοΐας. • Ερασιτεχνικοί ραδιοσταθμοί.
	UHF Ultra High Frequency	0,3-3 GHz	1m-10cm	<ul style="list-style-type: none"> • Φούρνοι μικροκυμάτων • Κινητή και

MW (Microwaves)				ασύρματη τηλεφωνία. • Αστυνομία • Ραδιοταξί, • Ιατρικές διαθερμίες,
	SHF Super High Frequency	3-30 GHz	10cm-1cm	Ραντάρ
MmW (Millimeter waves)	EHF Extremely High Frequency	30-300 GHz	1cm-1mm	Τηλεπικοινωνίες,

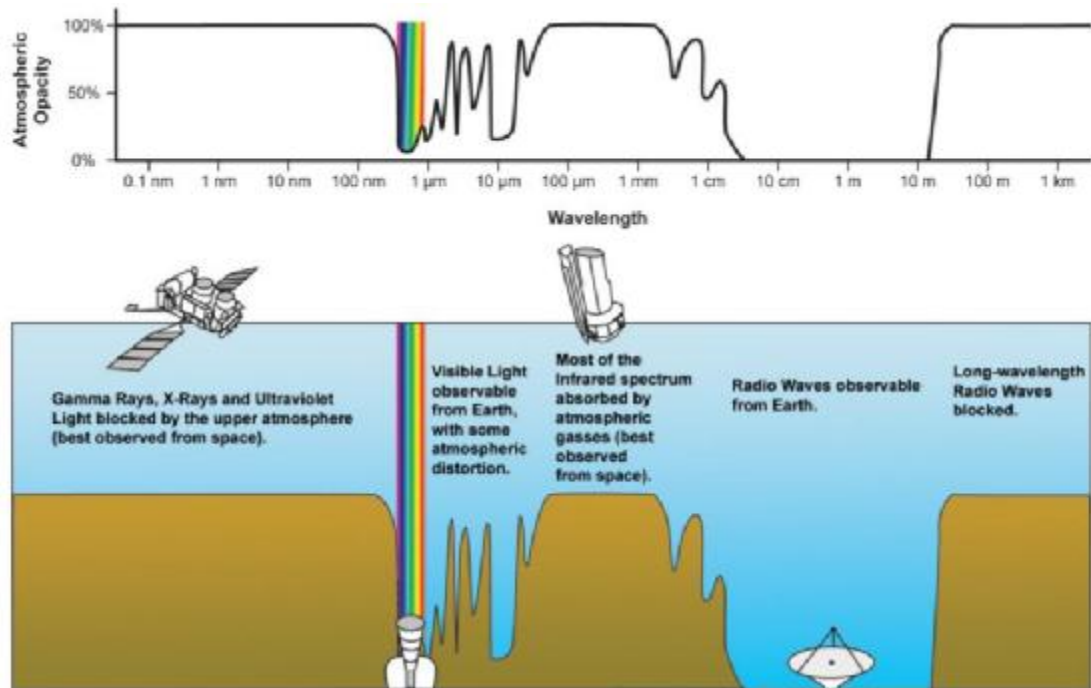
Πηγή: Δεληγά, 2003

3.2 Φυσικές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

Η ζωή πάνω στη Γη αναπτύσσεται εδώ και εκατομμύρια χρόνια κάτω από την επίδραση του φυσικού γεωμαγνητικού πεδίου (το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 30 και 70μΤ ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος), καθώς και του φυσικού γεωηλεκτρικού πεδίου (το οποίο κυμαίνεται από 100V/m στην επιφάνεια της Γης σε καλές καιρικές συνθήκες, ως μερικές χιλιάδες V/m στην περίπτωση επικείμενης καταιγίδας). Τα πεδία όμως αυτά είναι σχεδόν στατικά ή μεταβάλλονται με πολύ βραδείς ρυθμούς (περίοδοι μερικών δευτερολέπτων ή λεπτών, π.χ. κατά τη διάρκεια μιας γεωμαγνητικής καταιγίδας ή κάτω από ένα γρήγορα κινούμενο σύννεφο).

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (300Hz-300GHz) φτάνει στην επιφάνεια της Γης από το διάστημα και κυρίως από τον Ήλιο

(Εικόνα 3.1). Η τιμή της πυκνότητα ισχύος αυτής της ακτινοβολίας είναι πολύ μικρή (μικρότερη από $10\mu\text{W}/\text{m}^2$) σε σύγκριση με αυτή της ακτινοβολίας που δημιουργεί η ανθρώπινη δραστηριότητα στην ίδια περιοχή συχνοτήτων (Σαμαράς, 2012).



Εικόνα 3.1: Απορρόφηση της κοσμικής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα σε διάφορα μήκη κύματος. Φαίνεται ότι στην περιοχή των ραδιοκυμάτων η απορρόφηση είναι πολύ μικρή.

3.3 Ανθρώπινη δραστηριότητα και πηγές μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας

Οι πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαφέρουν ανάλογα με το χώρο της ανθρώπινης δραστηριότητας όπου χρησιμοποιούνται. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας που υπάρχει στο περιβάλλον οφείλεται στη ραδιοφωνία, την τηλεόραση και τις τηλεπικοινωνίες. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι η ακτινοβολία που προέρχεται από τις τηλεπικοινωνίες είναι λιγότερη από εκείνη των μέσων μαζικής επικοινωνίας. Μια μελέτη που έγινε το 1980 σε 15 μεγάλες πόλεις των Η.Π.Α. έδειξε ότι η μέση τιμή της πυκνότητας ισχύος στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων ήταν

περίπου 50μW/m². Περίπου το 1% των κατοίκων αυτών των πόλεων Η.Π.Α. εκτίθενται σε Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεγαλύτερη από 10mW/m². Υψηλότερες τιμές πυκνότητας ισχύος μπορεί να υπάρχουν σε περιοχές κοντά σε σταθμούς εκπομπής ή εγκαταστάσεις ραντάρ. Στο περιβάλλον δημιουργούνται ηλεκτρομαγνητικά πεδία και από άλλες πηγές, όπως τα συστήματα ασφαλείας και τα ηλεκτρικά μέσα μεταφοράς.

Στο οικιακό περιβάλλον μας οι πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων περιλαμβάνουν τους φούρνους μικροκυμάτων, τα κινητά και ασύρματα τηλέφωνα, τα ασύρματα δίκτυα Εφαρμογές του Ηλεκτρομαγνητισμού στην Ιατρική υπολογιστών, τα αντικλεπτικά συστήματα και τις οθόνες τηλεόρασης και υπολογιστών. Οι φούρνοι μικροκυμάτων, οι οποίοι θα μπορούσαν πράγματι να αποτελέσουν πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υψηλής πυκνότητας ισχύος, καλύπτονται από πρότυπα ασφαλείας, τα οποία περιορίζουν δραστικά την εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι η πυκνότητα ισχύος από τις οικιακές συσκευές δεν ξεπερνά τις μερικές δεκάδες μW/m².

Αντίθετα, σε εργασιακούς χώρους η ύπαρξη ισχυρών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων είναι πολύ πιθανή. Υπάρχουν πολλές ηλεκτρομαγνητικές εφαρμογές στη βιομηχανία αλλά και την ιατρική. Μπορούν να αναφερθούν οι φούρνοι ξήρανσης ή επεξεργασίας (ξύλου, τροφίμων, χαρτιού κτλ), οι συσκευές συγκόλλησης πλαστικών σάκων και οι μονάδες συσκευασίας. Στην ιατρική η Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων χρησιμοποιείται στη θερμική κατάλυση, στη διαθερμία (εφαρμογές στη φυσικοθεραπεία) και την υπερθερμία (καρκινοθεραπεία), στις ηλεκτροχειρουργικές συσκευές τομής ιστών, σε φούρνους ταχείας απόψυξης πλάσματος αίματος και αλλού. Ιδιαίτερα κοντά σε συσκευές διαθερμίας ή θέρμανσης βιομηχανικής κλίμακας η πυκνότητα ισχύος μπορεί να υπερβεί τις δεκάδες W/m² και για το λόγο αυτόν το εργασιακό περιβάλλον ελέγχεται με βάση εθνικά και διεθνή πρότυπα προστασίας από έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Πρέπει να σημειωθεί ότι και για τους εργαζόμενους στη ραδιοφωνία, την τηλεόραση και τις τηλεπικοινωνίες ή τα ραντάρ υπάρχει ο κίνδυνος να εκτεθούν σε ισχυρή Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ιδιαίτερα όταν εργάζονται κοντά σε κεραίες εκπομπής. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται και πάλι αυστηρή εφαρμογή των

κανονισμών προστασίας, ώστε να αποτρέπονται τέτοιες καταστάσεις (Σαμαράς, 2012).

Κεφάλαιο 4: Επιπτώσεις μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας στον άνθρωπο

4.1 Εισαγωγή

Στο ανθρώπινο σώμα κυκλοφορούν ηλεκτρικά ρεύματα, τα οποία είναι απαραίτητα για τις φυσιολογικές λειτουργίες του οργανισμού. Όλες οι δομές του νευρικού συστήματος π.χ. λειτουργούν μεταδίδοντας παλμικά ηλεκτρικά σήματα, ενώ σχεδόν όλες οι βιοχημικές αντιδράσεις, από την πέψη μέχρι την εγκεφαλική λειτουργία, περιλαμβάνουν ηλεκτρικές διεργασίες. Επίσης είναι γνωστό ότι οι ιστοί περιέχουν κατά 70% νερό, τα μόρια του οποίου είναι σαν ηλεκτρικά δίπολα. Εύλογο είναι επομένως, ότι η διείσδυση ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στον οργανισμό και η αλληλεπίδρασή του με τα δίπολα αυτά, ή μετά φυσικά πεδία του οργανισμού, είναι δυνατόν να προκαλέσει επιπλοκές, έστω και μακροπρόθεσμα. Θα πρέπει δε να σημειώσουμε ότι η απορρόφηση μιας ακτινοβολίας από το ανθρώπινο σώμα, εξαρτάται και από την συχνότητα της ακτινοβολίας. Έτσι η μικροκυματική ακτινοβολία απορροφάται κοντά στο δέρμα, ενώ τα ραδιοκύματα διεισδύουν βαθύτερα στο σώμα και απορροφάται από τα όργανα που βρίσκονται στο εσωτερικό του.

Ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται από δισεκατομμύρια κύτταρα τα οποία σχηματίζουν ιστούς οι οποίοι με την σειρά τους σχηματίζουν όργανα, όπως ο πνεύμονας, το συκώτι και ο εγκέφαλος. Τα κύτταρα μέσω των μεμβρανών τους επιτρέπουν την διέλευση μέσα από αυτά ιόντων και μορίων για να επιτελέσουν της ζωτικής σημασίας έργο τους. Η διέλευση αυτή μπορεί να διαταραχθεί μετά από την επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Οι λειτουργίες των διάφορων οργάνων επιτυγχάνονται με την επικοινωνία και ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των κυττάρων και των ιστών τους. Τα μηνύματα μπορεί να αποτελούνται από χημικές ουσίες αλλά και ηλεκτρικά δυναμικά. Πολλές λειτουργίες του εγκέφαλου στηρίζονται στην δημιουργία ηλεκτρικών δυναμικών. Άρα οποιαδήποτε εξωτερική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία είναι

παραπλήσια ή και μεγαλύτερης έντασης με τα ενδογενή ηλεκτρικά πεδία του ανθρώπινου μπορεί να επηρεάσει το κυτταρικό σύστημα του ανθρώπου.

Το 70% του ανθρώπινου σώματος αποτελείται από μόρια νερού τα οποία είναι ηλεκτρικά δίπολα με τον θετικό πόλο ανάμεσα στα δύο άτομα του υδρογόνου (H) και τον αρνητικό πόλο κοντά στο άτομο του οξυγόνου (O₂). Με την παρουσία του ηλεκτρικού πεδίου τα ηλεκτρικά δίπολα (μόρια και ιόντα) και κυρίως τα μόρια του νερού ταλαντώνονται με αποτέλεσμα την μεταφορά ενέργειας από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στους ιστούς των βιολογικών οργανισμών και την αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών.

Για να επιτευχθεί αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στους βιολογικούς οργανισμούς είναι απαραίτητη η ισχυρή διείσδυση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο ανθρώπινο σώμα, η διατήρηση του πεδίου για κάποιο χρονικό διάστημα και η απορροφούμενη ισχύς ανά μονάδα μάζας του ιστού να είναι αρκετή.

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, 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 βαθμών. Τότε παρατηρείται γενικευμένος πυρετός που μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε θάνατο εάν η θερμοκρασία του σώματος ξεπεράσει το όριο των 42° C.

Όπως αναφέραμε η απορρόφηση της ισχύος εξαρτάται από το βιολογικό υλικό έτσι τα πιο ευαίσθητα από άποψη θερμοκρασίας όργανα του ανθρώπινου σώματος είναι οι οφθαλμοί και οι όρχεις προφανώς λόγω του τρόπου της αιμάτωσής τους (οι μηχανισμοί απαγωγής της θερμότητας από τα μάτια και τους όρχεις είναι ατελείς).

Οι επιδράσεις ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλούν σε ένα βιολογικό σύστημα διακρίνονται σε θερμικές και μη-θερμικές.

4.2 Θερμικές και μη-θερμικές επιδράσεις

Θερμικές επιδράσεις

Γενικώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει θερμικές επιπτώσεις στον άνθρωπο. Καθώς διεισδύει μέχρι μικρού βάθους βέβαια στο σώμα, απορροφάται και προκαλεί κίνηση των μορίων, τα οποία με τις τριβές και τις κρούσεις εν συνεχεία προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών. Οι όρχεις μάλιστα και τα μάτια είναι τα ευπαθέστερα σημεία, επειδή παράγουν σε μικρότερο βαθμό τη συσσωρευμένη θερμότητα, λόγω μικρότερης κυκλοφορίας του αίματος. Οι θερμικές επιπτώσεις συμβαίνουν για συχνότητες πάνω από περίπου 100KHz και οι βλάβες προκαλούνται αν ο θερμορυθμιστικός μηχανισμός του σώματος δεν καταφέρει να επαναφέρει την κανονική θερμοκρασία.

Θερμικές ονομάζονται οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία. Μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται για αύξηση πάνω από 0,1°C η οποία προκαλείται από πυκνότητες ισχύος άνω του 1mW/cm² ή για μέσο ρυθμό απορρόφησης (EPA) σε όλο το σώμα πάνω από 5W/Kg. Επίσης θερμικές επιδράσεις ονομάζονται οι οποιοσδήποτε βλάβες οφείλονται στη θέρμανση των ιστών από την ακτινοβόληση και την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διάφορων ιστών να την αντιμετωπίσουν.

Βασικά προβλήματα στην μελέτη των θερμικών επιδράσεων είναι ο υπολογισμός της πιθανής κατανομής της θερμότητας στους διάφορους ιστούς και ο χρόνος που σταματά η αύξηση της θερμοκρασίας και σταθεροποιείται σε μία τιμή. Τα προβλήματα αυτά λύνονται με την επίλυση των διαφορικών εξισώσεων του Maxwell και την βιοθερμική εξίσωση του Pennes.

Οι θερμικές επιδράσεις κατέχουν την μερίδα του λέοντος στις μελέτες για τις δυτικές χώρες. Οι μελέτες αυτές αποτελούν την βάση για την θέσπιση των ορίων των δυτικών χωρών που έχουν καθοριστεί έτσι ώστε να μην μπορούν να προκύψουν θερμικές επιδράσεις εφόσον τα όρια τηρούνται.

Μη-θερμικές επιδράσεις

Αλλά επίσης έχει μη θερμικές επιπτώσεις, οι οποίες αναφέρονται στην βιολογική δράση της ακτινοβολίας στη λειτουργία των συστατικών των κυττάρων, αν και δεν είναι γνωστός ο μηχανισμός που η ακτινοβολία δρα στα κύτταρα. Ίσως επηρεάζουν τη ροή του ασβεστίου διά μέσου των τοιχωμάτων των κυττάρων, πράγμα που σημαίνει ότι είτε διευκολύνουν την πρόοδο υπαρχόντων ήδη για άλλους λόγους καρκίνων, είτε μειώνουν την ικανότητα αντίστασης των κυττάρων στη γένεση ενός καρκίνου.

Μη-θερμικές ή αθερμικές ονομάζονται οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε μη μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία. Στις μη θερμικές επιδράσεις η θερμοκρασία δεν αυξάνεται περισσότερο από 0.1°C και μπορούν να προκληθούν από πολύ μικρές πυκνότητες ισχύος της τάξεως των λίγων $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Παράδειγμα μη θερμικής επίδρασης είναι η διαταραχή στην κυτταρική μεμβράνη από το ηλεκτρικό πεδίο με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διηλεκτρική διαπερατότητα και να μεταβάλει τη δραστηριότητα συγκεκριμένων ενζύμων, αυξάνοντας την εκροή ιόντων ασβεστίου καθώς και τη διαπερατότητα του αιματοεγκεφαλικού φραγμού (blood brain barrier, BBB).

Οι μη θερμικές επιδράσεις απασχολούν την επιστημονική κοινότητα καθώς σχετίζονται με επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που υπάρχουν στην καθημερινή μας ζωή. Κυρίως οι επιστήμονες των ανατολικών χωρών ανίχνευσαν πριν ακόμη από το β' παγκόσμιο πόλεμο μη-θερμικές επιδράσεις και τις έλαβαν υπόψη στα όρια που θέσπισαν για την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτός είναι ο λόγος που τα όρια των ανατολικών χωρών είναι πολύ πιο αυστηρά από αυτά της δύσης (Μιχαήλ, 2013).

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. Είναι αυτονόητο ότι οι επιπτώσεις, όποιες κι αν είναι αυτές, εξαρτώνται τόσο από το εάν είναι ισχυρή ή ασθενής η ακτινοβολία, από τον χρόνο επί τον οποίο εκτίθεται ένας οργανισμός σ' αυτή, και από το πόσο απέχει αυτός από την πηγή της ακτινοβολίας.

4.3 Επιπτώσεις μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας στον άνθρωπο

Πέραν της απορρόφησης της ενέργειας των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων της ακτινοβολίας, έχει διαπιστωθεί μηχανισμός σύζευξης των ηλεκτρικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων με την ζώσα ύλη, η οποία οδηγεί σε ροή ηλεκτρικού ρεύματος και πόλωση ηλεκτρικών δίπολων των ιστών, και μηχανισμός σύζευξης των μαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων, η οποία επάγει ηλεκτρικά πεδία και κυκλικά ηλεκτρικά ρεύματα στους ιστούς (Τσάμης, 2014).

4.3.1 Ακτινοβολία (ELF)

Η ακτινοβολία ELF, εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας, 50 - 60 Hz, παράγεται από τα ηλεκτροφόρα καλώδια μεταφοράς χαμηλής και υψηλής τάσης, τους μετασχηματιστές παντός τύπου, την ηλεκτρική καλωδίωση, τον ηλεκτρικό οικιακό εξοπλισμό και τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Δεν έχει αποδειχθεί η ανθυγιεινή επίδραση των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων αυτών των συχνοτήτων στους ανθρώπους. Άλλωστε οι εντάσεις των πεδίων αυτών σε θέσεις παραμονής ανθρώπων, είναι πολύ μικρότερες από τα επιτρεπόμενα όρια.

4.3.2 Ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RF) και μικροκυμάτων (MW)

Οι πηγές ακτινοβολίας RF και MW περιλαμβάνουν τις κεραίες των ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών, τα ραντάρ, τα ασύρματα δίκτυα, τα συστήματα μικροκυματικών ζεύξεων, τα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών, τα συστήματα επικοινωνίας αστυνομίας, στρατού, πυροσβεστικής, αεροπορίας, ναυσιπλοΐας, τα κινητά τηλέφωνα και τους σταθμούς κινητής τηλεφωνίας.

Σε αρκετά υψηλές εντάσεις και οι δύο ακτινοβολίες βλάπτουν τους ιστούς κυρίως εξ' αιτίας της θέρμανσης που τους προκαλούν, αν και η εκτίμηση των επιπτώσεων στην υγεία από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας.

Η αλματώδης αύξηση της χρήσης ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών στην καθημερινή ζωή κατά τις τελευταίες δεκαετίες οδήγησε πολλούς επιστήμονες στην

αναζήτηση του τρόπου αλληλεπίδρασης της μη ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την έμβια ύλη για τον καθορισμό ασφαλών ορίων έκθεσης σε αυτήν. Η γενικά αποδεκτή άποψη για τη βιολογική δράση της Η/Μ ακτινοβολίας ήταν ότι αυτή είναι μόνο θερμικού χαρακτήρα, όταν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο από 0.5 μm. Πρόσφατες έρευνες διερευνούν τυχόν μη θερμικά (αθερμικά) αποτελέσματα των Η/Μ κυμάτων με τα βιολογικά συστήματα.

Η ενέργεια της Η/Μ ακτινοβολίας απορροφάται από τους βιολογικούς σχηματισμούς και οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω αύξησης της κινητικής ενέργειας των βιομορίων (π.χ. του νερού), με τρεις κυρίως μηχανισμούς:

- αύξηση της κινητικής ενέργειας των φορέων ηλεκτρικού φορτίου (ιόντων),
- δημιουργία ηλεκτρικών διπόλων και επαγωγή πόλωσης στα μόρια,
- προσανατολισμός ήδη υπαρχόντων διπόλων προς μια κατεύθυνση.

Η απορρόφηση των Η/Μ κυμάτων και η κατανομή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στα βιολογικά συστήματα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- τις διηλεκτρικές ιδιότητες των ιστών,
- την προσπίπτουσα πυκνότητα ισχύος (W/m²),
- τη γεωμετρία και η μάζα του ιστού,
- την πόλωση του προσπίπτοντος κύματος,
- τη μορφή του ακτινοβολητή, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας,
- τον χρόνο έκθεσης.

Για τη μέτρηση της βιολογικής δράσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ο όρος «Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης, EPA» (στην αγγλική ορολογία Specific Absorption Rate, SAR) που μετράται σε W/Kg και ορίζεται ως:

$$SAR = (1/103) (\sigma/\rho) E^2 \text{ (W/Kg)}$$

όπου

σ = αγωγιμότητα του ιστού σε s/m,

ρ = πυκνότητα μάζας του ιστού σε g/cm³,

E = ένταση ηλεκτρικού πεδίου σε V/m (μέση τετραγωνική ένταση, rms).

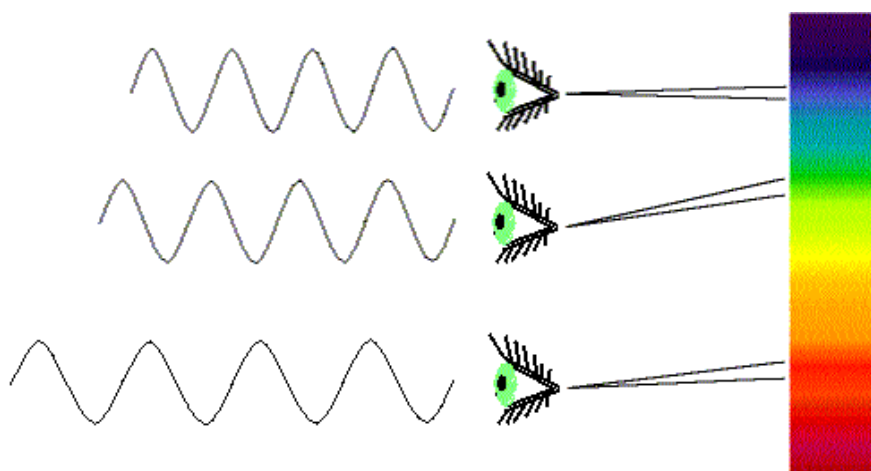
Τα μη θερμικά βιολογικά αποτελέσματα των Η/Μ κυμάτων που έχουν αναφερθεί στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία είναι για παράδειγμα:

- Δέσμευση και απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου (Ca⁺⁺) στον εγκέφαλο,
- Επιτάχυνση της συγκόλλησης καταγμάτων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία,
- Επαγωγή ιού από καρκινικά κύτταρα (Verschaeve, 1998; Τσάμης: <http://users.sch.gr>).

4.3.3 Υπέρυθρη ακτινοβολία(IR)

Πηγές ακτινοβολίας IR αποτελούν οι φούρνοι, οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες θερμότητας, και τα λέιζερ IR. Η ακτινοβολία αυτή γίνεται αντιληπτή κυρίως από την θέρμανση που προκαλεί. Έτσι το δέρμα και τα μάτια απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία ως θερμότητα.

4.3.4 Ορατή ακτινοβολία



Εικόνα 4.1: Ορατή ακτινοβολία

Ο ήλιος είναι η σημαντικότερη πηγή, αλλά και το πλήθος και η ποικιλία των ηλεκτρικών λαμπτήρων, πυρακτώσεως και φθορισμού δεν είναι ευκαταφρόνητο. Οι διαφορετικές ορατές συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος «θεωρούνται» από τα μάτια μας ως διαφορετικά χρώματα. Ακόμα και η ορατή ακτινοβολία, γνωστή ως φώς, μπορεί να βλάψει τα μάτια και το δέρμα όταν είναι έντονη.

4.3.5 Υπεριώδης ακτινοβολία(UV)

Οι πηγές της UV ακτινοβολίας περιλαμβάνουν τον ήλιο, τα μαύρα φώτα, τις συσκευές οξυγονοκόλλησης, και τα UV λείζερ. Τα φωτόνια της υπεριώδους ακτινοβολίας έχουν υψηλή ενέργεια, λόγω της υψηλής συχνότητάς τους και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα, μη περιοριζόμενη μόνο στη θέρμανση του σώματος που την απορροφά, αλλά μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα κύτταρα του δέρματος που μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και σε καρκίνο. Άλλωστε μια περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας ανήκει στις ιοντίζουσες.

Η υπεριώδης ακτινοβολία (UltraViolet, UV) έχει μήκη κύματος μεταξύ 100 και 400 nm. Για πρακτικούς λόγους, η υπεριώδης ακτινοβολία διαιρείται συμβατικά σε υποπεριοχές, ανάλογα με το μήκος κύματος ή την απόστασή τους από το ορατό φάσμα. Έτσι διακρίνουμε την εγγύς (UV-A), τη μεσαία (UV-B) και την μακράν (UV-C) υποπεριοχή, ανάλογα με την απόσταση από την περιοχή του ορατού (400-800 nm).

Πίνακας 4.1: Υποπεριοχές υπεριώδης ακτινοβολία και απόσταση από το ορατό φάσμα

UVA	400–315nm
UVB	315–280nm
UVC	280–100nm

Η ενέργεια των φωτονίων στο υπεριώδες είναι περίπου 3.1 – 12.4 eV, μικρότερη σε γενικές γραμμές από την ενέργεια ιονισμού των ατόμων.

Ο βιοφυσικός μηχανισμός αλληλεπίδρασης της υπεριώδους ακτινοβολίας βασίζεται στην ισχυρή απορρόφησή της από πολλά σημαντικά βιομόρια και κυρίως από τις πρωτεΐνες, το DNA και χρωμοφόρα συστατικά των ιστών. Η προσπίπτουσα δέσμη των φωτονίων UV μεταφέρει την ενέργειά της στα βιομόρια με αποτέλεσμα ηλεκτρονιακές διεγέρσεις ή ακόμη και ιονισμό, ανάλογα με τη συχνότητα των φωτονίων.

Όπως είπαμε, τα κυριότερα βιομόρια, των οποίων το φάσμα απορρόφησης παρουσιάζει κορυφές στο υπεριώδες, είναι η μελανίνη, η αιμοσφαιρίνη, τα κυτοχρώματα και οι αιμοπρωτεΐνες και το DNA.

Η μελανίνη είναι η χρωστική που «χρωματίζει» το δέρμα. Βρίσκεται στα μελανοσώματα των μελανοκυττάρων, κοντά στην επιφάνεια του δέρματος και το προστατεύει από ερυθρήματα και εγκαύματα, κύρια λόγω της εξασθένησης που προκαλεί στο υπεριώδες τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μελανίνη εξασθενεί το φως με ρυθμό ανάλογο του λ^{-4} , χαρακτηριστικό της σκέδασης Rayleigh.

Η αιμοσφαιρίνη είναι η χρωστική των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Είναι ένα μακρομόριο με 4 άτομα σιδήρου, τα οποία συνδέονται αντιστρεπτά με το οξυγόνο και το μεταφέρουν στους ιστούς. Το φάσμα απορρόφησης της αιμοσφαιρίνης έχει κορυφές στο UV και στο ορατό, ενώ απορροφά ελάχιστα στο κοντινό υπέρυθρο.

Τα κυτοχρώματα είναι μια σειρά ενζύμων σημαντικών για τον μεταβολισμό των κυττάρων. Περιέχουν αιμοπρωτεΐνες και λόγω του σιδήρου που υπάρχει στο μόριό τους έχουν κορυφές απορρόφησης στο υπεριώδες και στο ορατό.

Το μακρομόριο του DNA έχει διπλούς συζυγείς δεσμούς και απορροφά ισχυρά στα 240-290 nm. Η απορρόφηση φωτονίων UV έχει σαν αποτέλεσμα αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές μεταβολές, όπως: διμερισμός των αζωτούχων βάσεων και ιδιαίτερα της θυμίνης, υδάτωση των βάσεων, θραύση δεσμών υδρογόνου, θραύση ενός κλώνου, διασταύρωση DNA και πρωτεϊνών (crosslinking) κ.ά.

Όπως είδαμε, η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από τα βιομόρια, τα οποία μπορούμε να τα αποκαλούμε γενικά χρωμοφόρα (επειδή απορροφούν κάποιο «χρώμα», δηλαδή κάποιο ή κάποια μήκη κύματος), οδηγεί σε φωτο-

επαγόμενες μεταβολές της μοριακής δομής και πιθανά σε αντιστρεπτές ή μη αντιστρεπτές βιοχημικές αλλοιώσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα ακόμη και τον θάνατο του κυττάρου. Στον άνθρωπο και στα ζώα οι πύλες εισόδου της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι το δέρμα και οι οφθαλμοί. Η βιολογική δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας διακρίνεται κυρίως σε βακτηριοκτόνο δράση και βλάβες στο δέρμα και τα μάτια.

Η *βακτηριοκτόνος δράση* των φωτονίων UV οφείλεται κυρίως στο φωτοδιμερισμό της θυμίνης του DNA των βακτηρίων, καθώς και σε άλλες αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές μεταβολές, όπως καθυστέρηση ή αναστολή της σύνθεσης πρωτεϊνών και DNA, επιβράδυνση του κύκλου της μίτωσης, ελάττωση του ρυθμού αναπνοής και του μεταβολισμού των βακτηρίων κ.ά. Παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον το γεγονός ότι υπάρχουν βακτήρια ανθεκτικά στο υπεριώδες, π.χ. το βακτήριο *Micrococcus radiodurans*.

Οι *βλάβες στο δέρμα και τους οφθαλμούς* ποικίλουν, ανάλογα με την υποπεριοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας και την συνολική φωτεινή ένταση που απορροφάται. Σε σύντομο χρόνο (ακόμη και σε μερικά λεπτά της ώρας) μετά από έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να εμφανισθεί ερύθημα, το οποίο οφείλεται σε βλάβες των φωσφολιπιδίων της κυτταρικής μεμβράνης, ενώ σε 3-4 ημέρες μπορεί να παρουσιασθεί έγκαυμα, ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σχετικές έρευνες έχουν δείξει ότι το βάθος διείσδυσης της υπεριώδους ακτινοβολίας στο δέρμα είναι της τάξης των 1-50 μm . Στους οφθαλμούς η δράση των φωτονίων UV περιορίζεται σε βλάβες στον κερατοειδή χιτώνα, επειδή απορροφώνται ισχυρά από αυτόν τον ιστό και δεν διεισδύουν βαθύτερα. Προκαλούνται φλεγμονές στον κερατοειδή και για αυτόν το λόγο είναι απαραίτητη η χρήση ειδικών γυαλιών προστασίας από όσους εκτίθενται θεραπευτικά ή επαγγελματικά στην υπεριώδη ακτινοβολία. (Verschaeve, 1998; Τσάμης; <http://users.sch.gr>).

4.3.6 Ακτινοβολία λέιζερ

Η ακτινοβολία αυτή παράγεται από τις ομώνυμες συσκευές, οι οποίες στην πραγματικότητα δρουν σαν ενισχυτές αντίστοιχων μονοχρωματικών ακτινοβολιών. Τα λέιζερ εκπέμπουν UV, ορατές και IR ακτινοβολίες και μπορούν να επιφέρουν

ζημιές κυρίως στα μάτια και στο δέρμα, είτε με θερμική δράση, οπότε εκφυλίζονται οι πρωτεΐνες, είτε με φωτοχημική δράση, οπότε επέρχονται αλλοιώσεις των χαρακτηριστικών των μορίων.

4.3.7 Τα κινητά τηλέφωνα

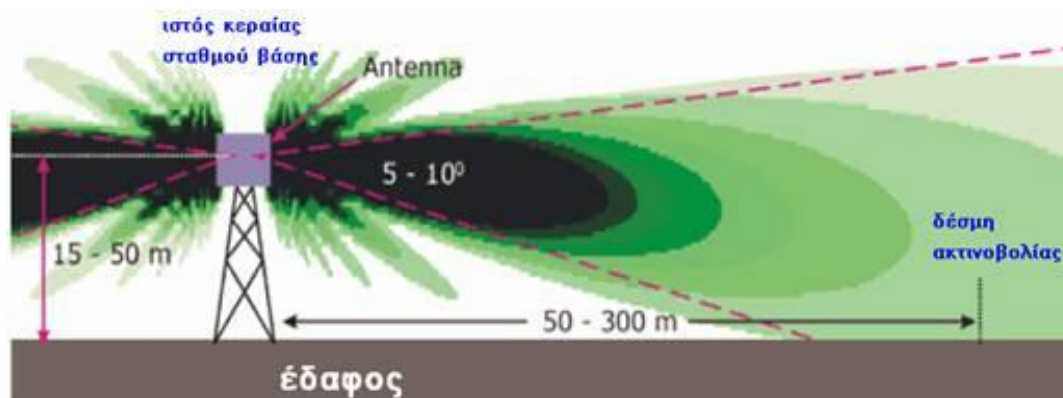
Όπως ελέχθη ήδη τα κινητά τηλέφωνα και οι σταθμοί βάσης τους, εκπέμπουν ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων. Επειδή είναι εκτεταμένη η χρήση τους και εκατομμύρια οι άνθρωποι (άνδρες, γυναίκες, παιδιά) που εκτίθενται σ' αυτή, κρίνεται σκόπιμη η λεπτομερέστερη αναφορά σ' αυτά. Άλλωστε, οι επιπτώσεις της ακτινοβολίας της κινητής τηλεφωνίας στην υγεία των ανθρώπων έχει απασχολήσει πλήθος ερευνητών επί πολλά χρόνια και όχι αδικαιολόγητα, αφού καμιά άλλη ακτινοβολία δεν έχει την μαζικότητα αυτής. Στην Ελλάδα υπάρχουν περισσότερα ενεργά κινητά τηλέφωνα από τους κατοίκους της, ενώ το 80% των παιδιών κάτω των 12 ετών είναι χρήστες. Όλες οι άλλες ακτινοβολίες αφορούν κυρίως μικρές ομάδες ανθρώπων που υποτίθεται μάλιστα ότι είναι ενημερωμένοι και λαμβάνουν μέτρα προστασίας στο χώρο έκθεσής τους.

Το κινητό τηλέφωνο λειτουργεί ως πομπός ραδιοσυχνοτήτων μεταφέροντας διαμορφωμένη τη φωνή του χρήστη, όταν φυσικά αυτός μιλάει, και ως δέκτης ραδιοσυχνοτήτων, όταν αυτός ακούει, λαμβάνοντας την εκπομπή ραδιοσυχνοτήτων από τον πομπό της βάσης. Η κεραία ενός πομπού βάσης βρίσκεται συνήθως στην οροφή υψηλών κτιρίων, πολλές φορές και μέσα σε κατοικημένες περιοχές, ώστε να είναι δυνατή η κυψελοειδής κάλυψη όσο το δυνατόν ευρύτερων περιοχών. Οι σταθμοί βάσης σχηματίζουν κυψέλη (η γεωγραφική περιοχή που καλύπτουν χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές, δηλαδή κυψέλες) παραπέμποντας τη σύνδεση ο ένας στον άλλον, όταν αλλάζει η θέση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της συνομιλίας.

Ακριβέστερα, όταν κάποιος καλεί κάποιον άλλο με το κινητό του, ενεργοποιεί ένα σταθμό βάσης (συνήθως τον κοντινότερο), ο οποίος με τη σειρά του και αφού αναγνωρίσει τον καλούμενο αριθμό, στέλνει σ' αυτόν σήμα κλήσης. Όταν απαντήσει αυτός που καλείται, τότε αρχίζει η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των δύο κινητών τηλεφώνων με την παρεμβολή του σταθμού βάσης, οπότε και οι τρεις τους

λειτουργούν τόσο ως δέκτες όσο και ως πομποί. (Verschaeve, 1998; Τσάμης: <http://users.sch.gr>).

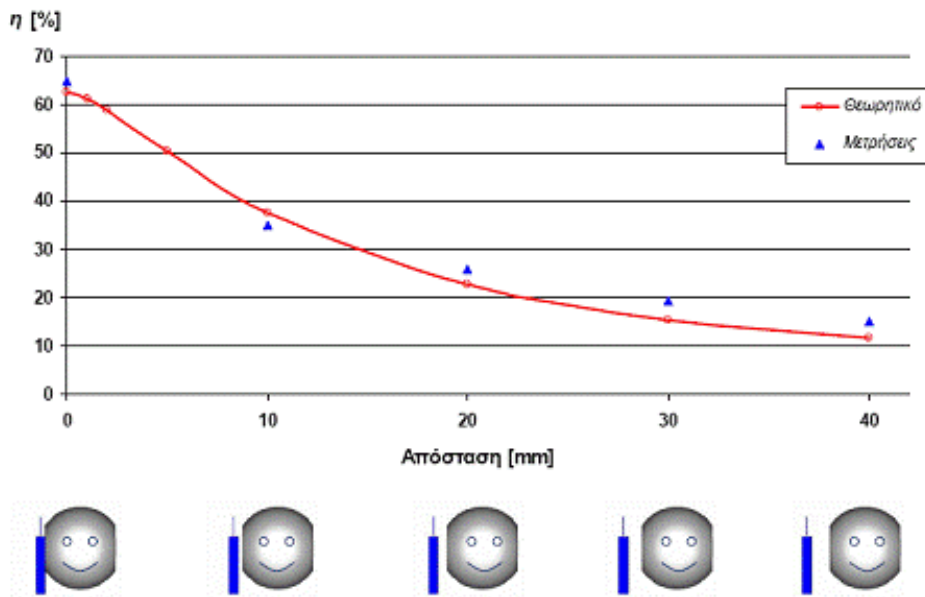
Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.1) απεικονίζεται η εξασθένηση της ακτινοβολίας καθώς απομακρυνόμαστε από την κεραία ενός σταθμού βάσης και επίσης φαίνεται η προτίμηση προς κάποιες κατευθύνσεις ανάλογα με τον προσανατολισμό της κεραίας.



Σχήμα 4.1: Εξασθένηση της ακτινοβολίας καθώς απομακρυνόμαστε από την κεραία ενός σταθμού βάσης

Στην πραγματικότητα οι κεραίες που κατασκευάζονται και χρησιμοποιούνται ευρύτατα έχουν κατευθυντικό λοβό ακτινοβολίας και αυτό είναι ευδιάκριτο στο παραπάνω σχήμα. Είναι εμφανής η ανισοκατανομή της πυκνότητας ισχύος προς τις διάφορες κατευθύνσεις και επομένως αυτονόητη η διαφορά στην ακτινοβολή που υφίστανται οι κάτοικοι των πέριξ περιοχών, ακόμα και αν ισαπέχουν από την κεραία.

Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.2) φαίνεται πόσο σημαντικό ρόλο παίζει η απόσταση του κινητού από το κεφάλι. Η εξασθένηση της ακτινοβολίας καθώς αυξάνει η απόσταση αυτή είναι εντυπωσιακή.



Σχήμα 4.2: Η απόσταση του κινητού από το κεφάλι

Από χρόνια λοιπόν γίνονται επιδημιολογικές μελέτες, στις οποίες οι ερευνητές προσπαθούν να διαπιστώσουν με στατιστική ανάλυση αν κάποιες ασθένειες ή κάποια συμπτώματα είναι πιο συχνά σε δείγμα ανθρώπων που διαθέτουν κινητά τηλέφωνα, σε σύγκριση με αντίστοιχο δείγμα που δεν κάνει χρήση αυτών των συσκευών. Στο πρώτο δείγμα έχουν διαπιστωθεί συχνά απώλειες μνήμης και πονοκέφαλοι.

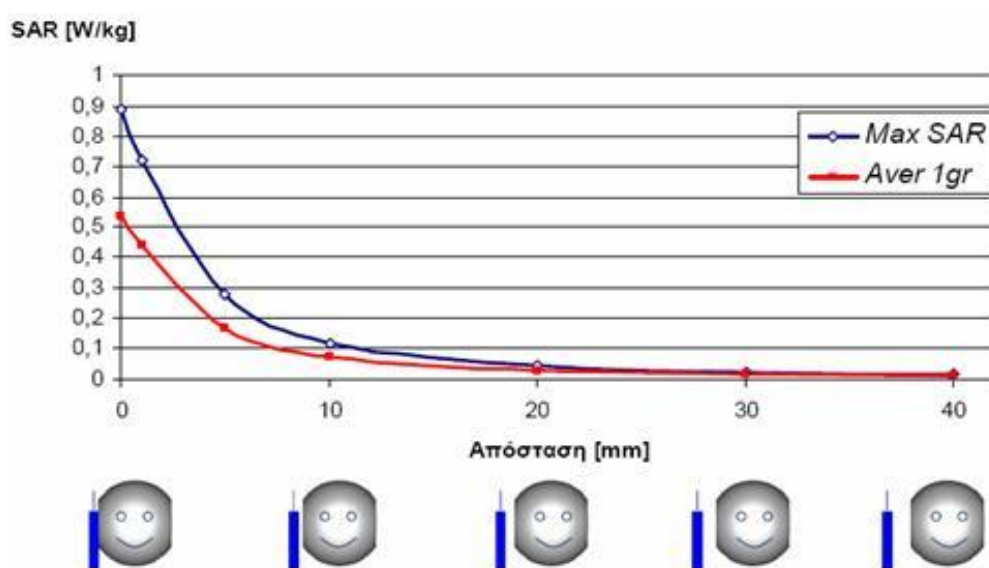
Σε άλλες έρευνες μελετώνται οι λειτουργίες του εγκεφάλου, ως πλησιέστερη περιοχή στην κεραία του κινητού, με εγκεφαλογραφήματα, για ανίχνευση διαταραχών των εγκεφαλικών ηλεκτρικών κυμάτων, αλλά τα αποτελέσματα δεν είναι αξιόπιστα.

Τέλος σε έρευνες, όπου ακτινοβολούνται με ραδιοσυχνότητες κινητής τηλεφωνίας και με εντάσεις πολύ κοντά στα όρια ασφαλείας, πειραματόζωα και καλλιέργειες κυττάρων, έχουν διαπιστωθεί επιπτώσεις που σχετίζονται με την διέλευση ιόντων μέσα από τις κυτταρικές μεμβράνες, αλλά και ανάπτυξη όγκων, καθώς και απώλεια προσωρινής μνήμης. Ωστόσο σε όλες τις περιπτώσεις καταγράφεται ο αντίλογος και αιωρούνται ερωτήματα ως προς την αξιοπιστία των στατιστικών δεδομένων.

Εν κατακλείδι, καμία από τις πρόσφατες μελέτες δεν έχει καταλήξει σε βέβαια συμπεράσματα για το αν πράγματι οι ακτινοβολίες αυτές προκαλούν ανεπιθύμητες

συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων. Η μόνη αποδεδειγμένα επιβλαβής επίπτωση είναι η πρόκληση τροχαίων ατυχημάτων από την επιπόλαιη χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση.

Στο σχήμα (σχήμα 4.3) που ακολουθεί εμφανίζεται η απορροφούμενη δόση (SAR) σε σχέση με την απόσταση του κινητού από το κεφάλι. Και πάλι παρατηρούμε την ραγδαία πτώση της απορροφούμενης ακτινοβολίας καθώς αυξάνεται η απόσταση από το κεφάλι. Επομένως θα έλεγε κανείς ότι τα λεγόμενα «hands free» είναι πολύ χρήσιμα.



Σχήμα 4.3: Απορροφούμενη δόση (SAR) σε σχέση με την απόσταση του κινητού από το κεφάλι

Το μη-ιονίζων ηλεκτρομαγνητικό φάσμα θα μπορούσε να χωριστεί σε τρεις περιοχές ανάλογα με τις βιολογικές του επιπτώσεις (Ιακωβάκης, 2008):

- Το τμήμα της οπτικής ακτινοβολίας, όπου μπορεί να συμβεί διέγερση ηλεκτρονίων με φωτοχημικές βιολογικές επιδράσεις.
- Το τμήμα του μη-ιονίζοντος ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, όπου το μήκος κύματος είναι μικρότερο από το σώμα που ακτινοβολείται και μπορεί να προκληθεί θέρμανση μέσω των επαγόμενων ρευμάτων.

- Το τμήμα του φάσματος, όπου τα μήκη κύματος είναι πολύ μεγαλύτερα από το σώμα και είναι σπάνιο να επαχθούνε ρεύματα και θερμότητα.

4.3.8 Οπτική Ακτινοβολία

Στο τμήμα αυτό του μη-ιονίζοντος ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανήκουν η χαμηλή υπεριώδης ακτινοβολία, το ορατό φως και η υπέρυθη ακτινοβολία. Οι τιμές έκθεσης που σχετίζονται με βιολογικές επιπτώσεις από την οπτική ακτινοβολία δύνανται να προσδιοριστούν βάσει των παρακάτω τύπων. Οι τύποι αυτοί εξαρτώνται από το μήκος κύματος και τη διάρκεια έκθεσης στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από την πηγή

$$E = dP / dA \text{ [W m}^{-2}\text{]}$$

$$H = \int E(t) dt \text{ [J m}^{-2}\text{]}$$

Όπου:

dP: ισχύς. Εκφράζεται σε [W].

dA: επιφάνεια. Εκφράζεται σε τετραγωνικά μέτρα [m²].

E(t), E: ακτινοβολισμός ή πυκνότητα ισχύος: η ισχύς ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια, ανά μονάδα επιφανείας, συνήθως εκφραζόμενη σε [W . m⁻²]. Οι τιμές των E(t), E προέρχονται από μετρήσεις ή μπορεί να παρέχονται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού (Ιακωβάκης, 2008).

H: έκθεση σε ακτινοβολία, το ολοκλήρωμα χρόνου του ακτινοβολισμού. Εκφράζεται σε [J . m⁻²].

t: χρόνος, διάρκεια της έκθεσης. Εκφράζεται σε δευτερόλεπτα.

λ: μήκος κύματος. Εκφράζεται σε [nm].

γ: περιοριστική γωνία κώνου οπτικού πεδίου μέτρησης. Εκφράζεται σε χιλιοστά του ακτινίου [mrad].

γ_m: οπτικό πεδίο μέτρησης. Εκφράζεται σε [mrad].

α: γωνιακή υποτέμνουσα παρατηρούμενης πηγής, σε [mrad].

περιοριστικό άνοιγμα: η κυκλική επιφάνεια επί της οποίας προσδιορίζεται ο μέσος όρος του ακτινοβολισμού και της έκθεσης σε ακτινοβολία.

G: ολοκληρωμένη ακτινοβόληση: το ολοκλήρωμα της ακτινοβόλησης για δεδομένη διάρκεια έκθεσης. Εκφράζεται ως ενέργεια ακτινοβολίας ανά μονάδα ακτινοβολούσας επιφανείας ανά μονάδα στερεάς γωνίας εκπομπής, σε $[J m^{-2} sr^{-1}]$ (τζάουλ ανά τετραγωνικό μέτρο ανά στερακίνιο) (Συμελιάδης, 2014).

Πίνακας 4.2: Κίνδυνοι από Οπτική Ακτινοβολία

Μήκος κύματος [nm] λ	Περιοχή ακτινοβολίας	Επηρεαζόμενο όργανο	Κίνδυνος
180 έως 400	UV	οφθαλμός	φωτοχημική βλάβη και θερμική βλάβη
180 έως 400	UV	δέρμα	ερύθημα
400 έως 700	Ορατή ακτινοβολία	οφθαλμός	βλάβη του αμφιβληστροειδούς
400 έως 600	Ορατή ακτινοβολία	οφθαλμός	φωτοχημική βλάβη
400 έως 700	Ορατή ακτινοβολία	δέρμα	θερμική βλάβη
700 έως 1400	IRA	οφθαλμός	θερμική βλάβη
700 έως 1400	IRA	δέρμα	θερμική βλάβη
1400 έως 2600	IRB	οφθαλμός	θερμική βλάβη
2 600 έως 106	IRC	οφθαλμός	θερμική βλάβη

1400 έως 106	IRB, IRC	οφθαλμός	θερμική βλάβη
1400 έως 106	IRB, IRC	δέρμα	θερμική βλάβη

Πηγή: Ιακωβάκης, 2008

4.3.9 Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία Με Μικρό Μήκος Κύματος

Σε αυτό το κομμάτι του μη-ιονίζοντος ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανήκουν τα μικροκύματα και οι υψηλές ραδιοσυχνότητες. Οι επιπτώσεις αυτού του είδους των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην ανθρώπινη υγεία εξαρτώνται από τον βαθμό απορρόφησης τους από τους διάφορους ιστούς.

Επειδή οι ιστοί περιέχουν κατά 70% νερό και το μόριο του νερού αποτελεί ένα ηλεκτρικό δίπολο (πολική ομοιοπολική ένωση), όταν το σώμα μας βρεθεί μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο τα μόρια του νερού, θα αρχίσουν να περιστρέφονται ή να ταλαντώνονται με τη συχνότητα της ακτινοβολίας του κύματος. Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα παλμού και όσο η διάρκεια του φαινομένου είναι μεγαλύτερη τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας θα παραχθούν.

Οι βλάβες στον οργανισμό προξενούνται από τη θέρμανση των ακτινοβολουμένων ιστών και από την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διαφόρων ιστών στην αντιμετώπιση της ακτινοβολίας. Όταν η RF ακτινοβολία θερμαίνει τους ιστούς, τότε αν ο θερμορυθμιστικός μηχανισμός του σώματος δεν μπορεί να επαναφέρει την κανονική θερμοκρασία τους και γι' αυτό προξενούνται βλάβες. Όμως για να έχουμε παρατηρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας, πρέπει η πυκνότητα ισχύος να είναι πολύ μεγάλη (1mW/cm^2) ή η μέση τιμή ενέργειας που απορροφάται από όλο το σώμα (SAR) να είναι πάνω από 5 W/kg .

Οι ραδιοσυχνότητες στην περιοχή AM (106 Hz), αλληλεπιδρούν πολύ ασθενώς με τους ανθρώπινους ιστούς και έτσι δεν προκαλούν θερμικά φαινόμενα. Τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού έχουν καθοριστεί έτσι ώστε να μην μπορούν να προκύψουν τέτοιες θερμικές επιδράσεις. Εφόσον αυτές οι οριακές τιμές τηρούνται σε όλους τους προσιτούς χώρους καθώς και κατά τη συνομιλία με συσκευή κινητού τηλεφώνου, δεν πρέπει να φοβόμαστε θερμικές επιδράσεις (Συμελιάδης, 2014).

4.3.10 Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία Με Μεγάλο Μήκος Κύματος

Στο τελευταίο τμήμα του μη-ιονίζοντος ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανήκουν οι χαμηλές ραδιοσυχνότητες, τα μαγνητικά πεδία που παράγονται από συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και τα στατικά πεδία. Στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία υπάρχουν ως φυσικά φαινόμενα, Αυτά δημιουργούνται από τις ηλεκτρικές φορτίσεις στις επιφάνειες, όπως για παράδειγμα στα σύννεφα, όπου οι διαφορές ηλεκτρικών δυναμικών μπορούν να υπερβούν τα κατώφλια των διηλεκτρικών αντοχών και να προκληθούν αποφορτίσεις με αστραπές. Επίσης, στατικά μαγνητικά πεδία 20-70μΤ υπάρχουν σε όλη την επιφάνεια της γης και σχετίζονται με τον προσανατολισμό και την αποδημητική συμπεριφορά ορισμένων ζώων.

Η συντριπτική πλειοψηφία των ανθρώπων είναι εκτεθειμένη σε πολύ χαμηλή πεδιακή ισχύ. Υπάρχουν, εν τούτοις, αρκετές περιοχές βιολογικής αλληλεπίδρασης σε χαμηλά επίπεδα έκθεσης που μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία και για τις οποίες οι γνώσεις μας είναι περιορισμένες. Στην έκθεση σε στατικά ηλεκτρικά πεδία οι κύριες συνέπειες προέρχονται από την αντίληψη του πεδίου και από τις σπινθηρικές εκφορτίσεις με την επαφή αντικειμένων με διαφορετικό ηλεκτρικό δυναμικό.

Όπως στα ηλεκτρικά πεδία, έτσι και οι βασικές επιδράσεις της έκθεσης σε στατικά μαγνητικά πεδία, προέρχονται από τα αποτελέσματα που επιφέρουν τα ηλεκτρικά πεδία που επάγονται εξ' αιτίας της κίνησης μέσα στο πεδίο. Οι επιδράσεις αυτές εξαρτώνται από το μέγεθος των πεδίων και είναι αμελητέες στα επίπεδα της ακτινοβολίας που συνήθως δεχόμαστε καθημερινά. Σύμφωνα με μελέτες ωστόσο, οξεία έκθεση σε υπερβολικά χαμηλής συχνότητας ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία επαρκούς ισχύος πεδίου ή πυκνότητας ροής θα καταλήξει στην αίσθηση έντονης επιφανειακής φόρτισης (ηλεκτρικά πεδία μόνο) και στην επαγωγή τέτοιων ηλεκτρικών δυναμικών και ρευμάτων στο σώμα, που μπορούν να επιδράσουν σε ηλεκτρικά διεγερσιμους ιστούς όπως τα νεύρα και οι μύες (Συμελιάδης, 2014).

Κεφάλαιο 5: Κανονισμοί προστασίας από μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία

Οι μη-ιοντίζουσες είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που δεν μπορούν να προκαλέσουν βιολογικές επιδράσεις λόγω ιοντισμού. Μεταφέρουν σχετικά μικρή ενέργεια που δεν είναι αρκετή να προκαλέσει ιοντισμό, ενώ είναι αρκετή για να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στα κύτταρα. Οι βλάβες αυτές μπορούν να αποβούν άλλοτε επιβλαβείς και άλλοτε ευεργετικές για τη λειτουργία τους με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται ως θεραπευτικά μέσα.

Οι βιολογικές επιδράσεις των μη-ιοντιζουσών ακτινοβολιών διαφέρουν ουσιαστικά από αυτές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και εξαρτώνται από την ένταση και τη συχνότητά τους καθώς και από τον χρόνο έκθεσης. Έτσι, ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας επιδρούν στο ανθρώπινο σώμα, επάγοντας πεδία και ρεύματα στο εσωτερικό του, ενώ τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα θερμαίνουν τα κύτταρα και τους ιστούς.

5.1 Ακτινοπροστασία από μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες

Οι βλάβες που μπορούν να προκληθούν από την μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία περιορίζονται μόνο κατά την διάρκεια ή αμέσως μετά το πέρας της έκθεσης σε αυτές. Επίσης οι βλάβες προκαλούνται μόνο όταν η ένταση της ακτινοβολίας και ο χρόνος έκθεσης σε αυτές ξεπεράσουν ορισμένα όρια, όπως η υπερβολική έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία. Σημαντική επίδραση στην πρόκληση βλαβών από τις μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες έχουν οι ιδιαιτερότητες του εκτιθέμενου ατόμου. Στον γενικό πληθυσμό υπάρχουν και ειδικές ομάδες ατόμων όπως μικρά παιδιά, ασθενείς, ηλικιωμένοι, έγκυες, στους οποίους συχνά τα όρια πρόκλησης βλαβών είναι χαμηλότερα από το μέσο όρο του γενικού συνόλου. Η τήρηση όμως των βασικών περιορισμών για τις ομάδες αυτές εξασφαλίζει και την απουσία των βλαβερών επιδράσεων στην υγεία. Οι βασικοί περιορισμοί προκύπτουν από τα ελάχιστα όρια

για την πρόκληση αποδεδειγμένων βλαβερών επιδράσεων στην υγεία αφού υιοθετηθούν μεγάλοι συντελεστές ασφαλείας π.χ. για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο φάσμα 0- 300 GHz, της τάξης του 50.

Οι περισσότεροι βασικοί περιορισμοί δεν αφορούν μετρήσιμα μεγέθη στο περιβάλλον όπου λειτουργούν οι διατάξεις εκπομπής μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας, αλλά επαγόμενα μεγέθη στο εσωτερικό του σώματος των ανθρώπων που είναι δύσκολο να μετρηθούν και μπορεί να ποικίλουν σημαντικά ανάμεσα σε άτομα της ίδιας πληθυσμιακής ομάδας. Για τον λόγο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενέστερες συνθήκες έκθεσης του ατόμου σε μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες, προκύπτουν «επίπεδα αναφοράς» που είναι εύκολα μετρήσιμες παράμετροι της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και η τήρησή τους εξασφαλίζει και την τήρηση του βασικού περιορισμού και κατά συνέπεια την απουσία των βλαβερών επιδράσεων στην υγεία.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την γνώση που αποκτάται σε σχέση με τις βλάβες που προκαλούνται από την έκθεση σε μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες τα όρια έκθεσης σε αυτές για την αποφυγή πρόκλησης βλαβών τελούν υπό συνεχή αναθεώρηση.

Γενικός κανόνας: η τήρηση των ορίων έντασης των μη-ιοντίζουσών ακτινοβολιών καθώς και του μέγιστου χρόνου έκθεσης σε αυτές, περιορίζει σημαντικά τον κίνδυνο πρόκλησης βλαβών στον ανθρώπινο οργανισμό (Κροντηράς και συν., 2012).

5.2 Νομοθετικό Πλαίσιο και μέτρα προστασίας από την ακτινοβολία Laser

Ορισμένες βασικές αρχές για την λειτουργία συσκευών με πηγές ακτινοβολίας Laser έχουν τεθεί στην Ελληνική Νομοθεσία με το Προεδρικό Διάταγμα 377/1993 «Προσαρμογή της Ελληνικής Νομοθεσίας στις οδηγίες 89/392/ΕΟΚ και 91/368/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων σχετικά με τις μηχανές». Συγκεκριμένα, στο παράρτημα I, παράγραφος 1.5.12 περιγράφονται οι βασικές αρχές προστασίας από τους κινδύνους που οφείλονται στους εξοπλισμούς Laser.

Ο υπεύθυνος πρέπει να επεξηγεί και να ενημερώνει για τους κινδύνους όσους εργάζονται σε χώρους με πηγές ακτινοβολίας Laser. Για κάθε επόμενη κατηγορία (από την I στην IV) απαιτούνται πρόσθετα μέτρα ελέγχου και προστασίας του χρήστη και των παρόντων.

Οι κανόνες ασφάλειας για την χρήση συσκευών ακτινοβολίας Laser πρέπει να βρίσκονται σε ευκρινές σημείο και να φέρουν τις κατάλληλες σημάνσεις και προειδοποιήσεις. Είναι απαραίτητη η ανάρτηση σχετικών προειδοποιητικών σημάτων στις εισόδους του χώρου όπου υπάρχουν οι συσκευές με ακτινοβολία Laser, καθώς και η σήμανση των συσκευών για την κατηγορία στην οποία ανήκει η πηγή ακτινοβολίας Laser που διαθέτουν. Επίσης, πρέπει να υπάρχει κατάλληλο οπτικό σύστημα στην είσοδο του χώρου, προκειμένου να προειδοποιεί τυχόν εισερχόμενους για την λειτουργία της πηγής ακτινοβολίας Laser.

Οι εργαζόμενοι σε χώρους με πηγές ακτινοβολίας Laser πρέπει:

- να φορούν υποχρεωτικά τα κατάλληλα προστατευτικά γυαλιά κατά την διάρκεια της εργασίας τους, ακόμη και όταν δημιουργούνται δυσκολίες,
- να αποφεύγουν να κοιτάζουν απευθείας την δέσμη ακτινοβολίας Laser,
- να λαμβάνουν μέτρα για την προστασία των χεριών τους και άλλων μερών του σώματος από τη ακτινοβολία,
- να μην επιτρέπουν σε κανέναν την είσοδο στους χώρους αυτούς κατά την διάρκεια λειτουργίας της πηγής ακτινοβολίας Laser,
- να ανάβουν την πηγή ακτινοβολίας Laser μόνον εφόσον έχει απομακρυνθεί από την πορεία της κάθε ανακλώσα επιφάνεια που θα μπορούσε να την οδηγήσει προς ανεπιθύμητες κατευθύνσεις,
- να αποφεύγουν να φορούν οτιδήποτε μπορεί να ανακλά την δέσμη Laser, όπως ρολόγια, κοσμήματα,
- να επισκέπτονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα οφθαλμίατρο προκειμένου να διαγνωσθούν έγκαιρα τυχόν βλάβες του αμφιβληστροειδούς,

- να αποφεύγουν να τρώνε και να πίνουν, όπως άλλωστε σε όλους του εργαστηριακούς χώρους.

Επίσης εκτός από τους κινδύνους της πηγής ακτινοβολίας Laser υπάρχουν ορισμένοι επιπλέον κίνδυνοι από τα ηλεκτρικά συστήματα των συσκευών Laser, όπως:

- οι συσκευές Laser λειτουργούν σε υψηλές τάσεις και τυχόν διαρροές μπορεί να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία, ο δε κίνδυνος αυξάνει όταν χρησιμοποιείται νερό για την ψύξη της συσκευής Laser,
- κίνδυνος από κρυογονικά υγρά ψύξης των συσκευών Laser (υγρό άζωτο, υγρό ήλιο) τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ασφυξία και
- κίνδυνος εκδήλωσης φωτιάς (από πυκνωτές, εύφλεκτα αέρια ή διαλύτες, στατικός ηλεκτρισμός).
- πρέπει να αποφεύγεται κάθε επέμβαση για την επισκευή της συσκευής Laser από μη εξουσιοδοτημένα άτομα, ακόμη και όταν είναι συνδεδεμένη στην ηλεκτρική παροχή, αλλά εκτός λειτουργίας.

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκληθεί μόλυνση της ατμόσφαιρας του εργαστηριακού χώρου που λειτουργεί η πηγή ακτινοβολίας Laser.

Οι σημαντικότερες αιτίες για την πρόκληση της μόλυνσης είναι

- προϊόντα του συστήματος αερίων του Laser (ενεργό αέριο, σύστημα ψύξης, κ.ά.) και
- καπνοί που δημιουργούνται από την απανθράκωση ή την αποδόμηση ιστών, κάτι που απαντάται συχνότερα σε χειρουργικές εφαρμογές.

Έτσι είναι απαραίτητη η χρήση κατάλληλου κλιματιστικού συστήματος, το οποίο, εκτός από την διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου σε καθορισμένα επίπεδα που να εξασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία της συσκευής με πηγή ακτινοβολίας Laser, να καθαρίζει επαρκώς την ατμόσφαιρα.

Ανάλογες προφυλάξεις πρέπει να λαμβάνονται σε εργαστηριακούς χώρους όπου χρησιμοποιούνται άλλα είδη επιβλαβούς ακτινοβολίας, όπως η υπεριώδης

ακτινοβολία στην περιοχή μήκους κύματος από 100 έως 400 nm (UVA (400-315nm), UVB (315-280nm) και UVC (280-100nm)).

Η παρατεταμένη έκθεση στην UVB ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα και μερικές φορές καρκίνο του δέρματος. Εντούτοις, η πλέον θανατηφόρα μορφή είναι το κακοήθες μελάνωμα το οποίο προκαλείται από την άμεση καταστροφή του DNA (ελεύθερες ρίζες και οξειδωτικό). Στους ανθρώπους, σε παρατεταμένη έκθεση τους σε UV ακτινοβολία μπορεί να προκληθούν οξεία και χρόνια προβλήματα υγείας στο δέρμα, στους οφθαλμούς και στο ανοσοποιητικό σύστημα. Επιπλέον, η UVC-ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιδράσεις οι οποίες ανάλογα με την περίπτωση να είναι μεταλλαξιογόνες ή καρκινογόνες. Η UVC-ακτινοβολία έχει την μεγαλύτερη ενέργεια και είναι ο πιο επικίνδυνος τύπος της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία UVC κατακρατείται σε σημαντικό ποσοστό από την ατμόσφαιρα και γι' αυτό δεν είχε δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε αυτήν τις τελευταίες δεκαετίες. Εντούτοις, η χρήση της σε συσκευές αποστείρωσης μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα εάν η λυχνία UV παραμένει αναμμένη, ενώ η συσκευή είναι ανοικτή (Κροντηράς και συν., 2012).

5.3 Διεθνή όρια ασφαλείας

Η καθιέρωση ορίων ασφαλείας για τη μη ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τους πλέον σοβαρούς διεθνείς οργανισμούς ή κράτη, είναι η πλέον κραυγαλέα ομολογία της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας για τις επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού από την έκθεση στην ακτινοβολία αυτή.

Τα όρια που προτείνονται πρέπει να τονιστεί ότι είναι όρια επικινδυνότητας και όχι όρια ασφαλείας, αφού μια οποιαδήποτε δόση ακτινοβολίας, οποιουδήποτε είδους και να είναι δεν μπορεί ποτέ να θεωρηθεί ασφαλής. Τα όρια επικινδυνότητας διαφέρουν από κράτος σε κράτος και από οργανισμό σε οργανισμό. Αυτή η διαφορά οφείλεται στη διαφορετική εκτίμηση του μηχανισμού επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και στο είδος της ακτινοβολίας. Έτσι όσοι δέχονται τις θερμικές επιδράσεις προτείνουν υψηλά όρια, ενώ όσοι πιστεύουν στις μη θερμικές

επιδράσεις προτείνουν πολύ χαμηλότερα όρια. Στον πίνακα 5.1 (συντάχθηκε το Φεβρουάριο του 2000), παρουσιάζονται συγκριτικά πρότυπα που αφορούν την έκθεση του κοινού στην ΗΜΑ (ραδιοσυχνότητες), τα οποία έχουν θεσπιστεί από διάφορες χώρες ή οργανισμούς.

Πίνακας 5.1: Όρια ασφαλείας

Όρια έκθεσης κοινού	Συχνότητα MHz	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E) V/m	Πυκνότητα ισχύος ισοδυνάμου επιπέδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος W/m ²	Πυκνότητα ισχύος ισοδυνάμου επιπέδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος μW/cm ²
NRPB, 1993	900	112	33	3300
	1800	194	100	10000
FCCOET65: 1997-01 (USA), ANSI/IEEEC95.1- 1992	900	47	6	600
	1800	61	10	1000
ΚΑΝΑΔΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	900	47	6	600
	1800	61	10	1000
ICNIRP, 1998 (WHO) CENELEC, 1995 (EU)	900	41	4.5	450
	1800	58	9	900
ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ 1988 (επρόκειτο να αναθεωρηθεί)	900/1800	27	2	200
ΔΥΟ	30-100000	19	1	100

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΗΠΑ (1995)				
ΠΟΛΩΝΙΑ, Κοινό σε κίνηση Ακίνητο	300- 300000	19 6	1 0,1	100 10
ΡΩΣΙΑ (1988)	300 – 300000	6	0,1	10
ΙΤΑΛΙΑ, ΔΙΑΤΑΓΜΑ 381/1999	30-30000	6	0,1	10
ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΥΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΤΟΡΟΝΤΟ, 2000	900 1800	5 6	0,06 0,1	6 10
ΕΛΒΕΤΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΟΡΝΙ (για σταθμούς βάσης), 1 Φεβρ. 2000	900 1800	4 6	Δεν καθορίσθηκε	Δεν καθορίσθηκε
ΕΕ & ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ Μ. ΒΡΕΤΑΝΙΑΣ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ	30-2000	3	Δεν καθορίσθηκε	Δεν καθορίσθηκε
Τυπικές μέγιστες τιμές σε περιοχές κοντά σε σταθμούς βάσης (μπορεί να είναι πολύ	900 & 1800	2	0,01	1

υψηλότερα)				
Τρέχουσα πρόταση Δρ. Cherry (Νέα Ζηλανδία), με στόχο να καθιερωθεί το όριο μέχρι το 2010	300-300000	0,15 0,06	0,0005 0,0001	0,05 0,01
Μέσο US (EPA 1980) Μεγ. Για κάτοικους πόλεων	Approx. 30-300000	<0,13 <2	<0,00005 <0,01	<0,005 <1
Φυσικό υπόβαθρο «ευρέως φάσματος»	300 - 3000	<0,00003	<0,00000001	<0,000001
Τυπικά επίπεδα κοντά στην κεραία του κινητού τηλεφώνου	900 & 1800	50-300	2-50	200-500
ΕΛΛΑΔΑ	900 1800	33 46,672	3,6 7,2	360 720

Πηγή: <http://www.emfguru.org/CellPhone/cell-health/cellphone-health.html> και

<http://www.land-sbg.gv.at/celltower>.

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα, αρκετές χώρες, λαμβάνοντας υπόψη την υπό εξέλιξη έρευνα και τις επιδημιολογικές μελέτες, μειώνουν συνεχώς τα όρια επικινδυνότητας, με σκοπό την πρόληψη βλαπτικών επιπτώσεων και την προστασία της δημόσιας υγείας. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι η Ελβετία, ήδη από την 1-2- 2000, έχει θεσπίσει όρια 4 V/m, ενώ, σύμφωνα με τους αρμόδιους της πολιτείας του Salzburg στην Αυστρία (1998) (www.land-sbg.gv.at/celltower), η εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τους σταθμούς βάσης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,001

W/m². Το όριο αυτό είναι εκατοντάδες φορές μικρότερο απ' αυτό που ισχύει στην Ελλάδα (Συνήγορος του Πολίτη, 2003).

Το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0Hz – 300GHz)», L 199 (1999/519/EC), κατόπιν σχετικής εισήγησης της επιστημονικής επιτροπής καθοδήγησης επί διεπιστημονικών θεμάτων, υιοθέτησε τα όρια για την προστασία του κοινού της ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection – Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες), όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις σχετικές κατευθυντήριες γραμμές της. Η ICNIRP είναι μια ανεξάρτητη επιστημονική οργάνωση, μεγάλου κύρους που ασχολείται με την προφύλαξη των ανθρώπων από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (όπως είναι αυτές που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας). Είναι επίσημα αναγνωρισμένη μη κυβερνητική οργάνωση από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, το Διεθνές Γραφείο Εργασίας και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Έχει ως μέλη διεθνώς αναγνωρισμένους επιστήμονες που καλύπτουν τις επιστημονικές περιοχές της ιατρικής, της βιολογίας, της επιδημιολογίας, της φυσικής και της μηχανικής.

Η ICNIRP, αφού εξέτασε το σύνολο των δημοσιευμένων ερευνών σχετικά με τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων, κατέληξε ότι οι μόνες επιδράσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την θέσπιση ορίων έκθεσης των ανθρώπων είναι αυτές που οφείλονται στην αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών από την απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από το σώμα. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι οι δυσμενείς βιολογικές επιδράσεις προκύπτουν με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά 1oC. Η αύξηση αυτή γίνεται με την απορρόφηση ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα με ρυθμό μεγαλύτερο από 4W/kg, δηλαδή για έναν άνθρωπο 80kg με ρυθμό 320W.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ενδεχομένως κάποιες ομάδες πληθυσμού να είναι πιο ευπαθείς και ότι η δεν αποκλείεται η έκθεση να λαμβάνει χώρα σε ήδη επιβαρημένους χώρους με αυξημένη θερμοκρασία ή υγρασία ή κατά την διάρκεια έντονης άσκησης, επέλεξαν έναν συντελεστή ασφαλείας 50 στη θέσπιση των ορίων έκθεσης του κοινού. Έτσι, προέκυψε ο βασικός περιορισμός για την έκθεση του κοινού σε 0,08W/kg, δηλαδή για έναν άνθρωπο 80kg το όριο του ρυθμού απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι 6,4W.

Ταυτόχρονα, για να μην υπάρχουν περιοχές του σώματος στις οποίες να εμφανίζεται τοπικά υψηλή απορρόφηση ενέργειας προβλέπονται οι περιορισμοί και για τον μέγιστο τοπικό ρυθμό απορρόφησης σε 2W/kg για το κεφάλι και τον κορμό του σώματος και 4W/kg στα άκρα. Σε παρόμοια συμπεράσματα και όρια για την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχουν καταλήξει και άλλοι διεθνείς επιστημονικοί φορείς, όπως το IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers – Ίδρυμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών), το NRPB (National Radiological Protection Board – Εθνικό Συμβούλιο Ραδιολογικής Προστασίας) της Μεγάλης Βρετανίας, κ.ά..

Στον επόμενο Πίνακα παρουσιάζονται τα επιτρεπόμενα όρια απορρόφησης από το άνθρωπο σε σύγκριση και με τα Ελληνικά θεσμοθετημένα όρια απορρόφησης.

Πίνακας 5.2: Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια στο σώμα ενός ανθρώπου

Φυσικό μέγεθος	Όρια ΕΕ (W/kg)	Ελληνικά όρια στο περιβάλλον σταθμών κεραιών	
		70% ορίων ΕΕ (W/kg)	60% ορίων ΕΕ (W/kg)
Μέσος ρυθμός απορρόφησης (SAR) ολόκληρου του σώματος	0.08	0.056	0.048
Τοπικός ρυθμός απορρόφησης (SAR) στο κεφάλι και στον κορμό	2	1.4	1.2
Τοπικός ρυθμός απορρόφησης (SAR) στα άκρα	4	2.8	2.4

Πηγή: ΕΕΚΤ

Σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP, προτείνεται ένα σύστημα δύο επιπέδων ως προς τα όρια επιτρεπτής έκθεσης: χαμηλότερα όρια για το γενικό πληθυσμό και υψηλότερα για τους επαγγελματικά ασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, καθώς οι δεύτεροι έχουν γνώση των κινδύνων και μπορούν να λάβουν τα ενδεικνυόμενα μέτρα προστασίας. Επιπλέον, ορίζονται βασικοί περιορισμοί που αφορούν σε δοσιμετρικά μεγέθη αλλά και αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία μπορούν εύκολα να μετρηθούν. Επισημαίνεται ότι για τη διατύπωση των βασικών περιορισμών έχει υιοθετηθεί ένας παράγοντας ασφάλειας (10 ως και 50), ο οποίος αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα εκτίμησης του ορίου εμφάνισης επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία.

Τα όρια (επίπεδα αναφοράς) που προτείνονται από την ICNIRP διαφοροποιούνται με τη συχνότητα της ακτινοβολίας ΡΣ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η απορρόφηση ενέργειας ΡΣ από ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος ΡΣ. Τα πλέον αυστηρά όρια για ολόσωμη έκθεση αντιστοιχούν στο εύρος συχνοτήτων 30-300 MHz, όπου το ανθρώπινο σώμα απορροφά περισσότερο την ενέργεια ΡΣ. Για συσκευές που συμβάλλουν μόνο στην έκθεση τμήματος του σώματος, όπως τα κινητά τηλέφωνα, καθορίζονται τα όρια έκθεσης μόνο με βάση τον SAR.

Οι βασικοί περιορισμοί που προτείνονται από την ICNIRP για το γενικό πληθυσμό και τους εργαζόμενους για τις συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων φαίνονται στον επόμενο Πίνακα, όπου οι τιμές του SAR υπολογίζονται ως μέση τιμή σε μάζα 10 g συνεχούς ιστού και για διάστημα μέτρησης 6 λεπτών. Για τις περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η απευθείας εκτίμηση της απορροφούμενης ισχύος από τους ιστούς, ορίζονται από την ICNIRP επίπεδα αναφοράς που αντιστοιχούν σε μεγέθη, τα οποία μπορούν εύκολα να μετρηθούν, όπως είναι η ένταση του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου ή η πυκνότητα ισχύος.

Πίνακας 5.3: Βασικοί περιορισμοί για το γενικό πληθυσμό και τους εργαζομένους σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων

Εφαρμογή	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για όλο το σώμα)	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού της κεφαλής ή του κορμού)	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού των άκρων)
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	0.08 (0.4 [*])	2 (10 [*])	4 (20 [*])
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	0.08 (0.4 [*])	2 (10 [*])	4 (20 [*])
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	0.08 (0.4 [*])	2 (10 [*])	4 (20 [*])
Ασύρματα δίκτυα 2.4 GHz (WiFi)	0.08 (0.4 [*])	2 (10 [*])	4 (20 [*])
Ασύρματα δίκτυα 3.5 GHz (WiMax)	0.08 (0.4 [*])	2 (10 [*])	4 (20 [*])

Πηγή: ΕΕΚΤ

5.4 Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο

Η Ελληνική Νομοθεσία, εναρμονιζόμενη στις βασικές οδηγίες διεθνών οργανισμών όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, η Διεθνής Επιτροπή για την προστασία από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες και η Ευρωπαϊκή Ένωση, υιοθέτησε βασικούς περιορισμούς και επίπεδα αναφοράς και εξέδωσε όρια για την ασφαλή έκθεση του κοινού στο περιβάλλον διατάξεων εκπομπής χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων σε όλο το φάσμα των σύγχρονων εφαρμογών και υπηρεσιών (ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο εύρος συχνοτήτων 0-300 GHz).

Αρμόδια ελληνική υπηρεσία για τον έλεγχο και την εφαρμογή των κανονισμών της ελληνικής νομοθεσίας, είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), η οποία μέσω ελέγχων και επί τόπου μετρήσεων, καταγράφει τα επίπεδα της έκθεσης του γενικού πληθυσμού και διασφαλίζει την τήρηση των θεσμοθετημένων ορίων σε όλους τους ελεύθερα προσπελάσιμους από το κοινό χώρους στο περιβάλλον σταθμών κεραιών και διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας, προδιαγράφοντας ειδικά μέτρα προφύλαξης του κοινού (όπου είναι αυτά

απαραίτητα). Στην ιστοσελίδα της ΕΕΑΕ, υπάρχουν σειρά Προεδρικών Διαταγμάτων, Κανονισμών και βασικών οδηγιών της Ελληνικής και της Κοινοτικής Νομοθεσίας, εγκύκλιοι και αποφάσεις του Διοικητικού Συμβουλίου της ΕΕΑΕ, που αφορούν το πλαίσιο λειτουργίας διατάξεων που εκπέμπουν μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία, τα αποδεκτά όρια για τον πληθυσμό και τους εργαζόμενους σε χώρους όπου εκπέμπεται μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία, καθώς και τα μέτρα προστασίας του πληθυσμού και των εργαζομένων.

Για το αν υπάρχουν οριακές τιμές, πάνω από τις οποίες ενδέχεται να υπάρξουν δυσμενείς επιπτώσεις, αρμόδιοι φορείς για παροχή πληροφόρησης και οδηγιών είναι κυρίως η ICNIRP, η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Διάφοροι εθνικοί και διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει όρια επικινδυνότητας για έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα οποία διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα και στους διάφορους επιστημονικούς οργανισμούς. Τα όρια επικινδυνότητας διαφοροποιούνται επίσης ανάλογα με το σε ποιους απευθύνονται, στον γενικό πληθυσμό ή στους επαγγελματικά απασχολούμενους. Έτσι για παράδειγμα, τα όρια έκθεσης για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στη συχνότητα των 900 MHz (συχνότητα κινητής τηλεφωνίας), τα οποία καθιερώθηκαν το 1988 από τη “Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας, IRPA” (“International Radiation Protection Association”) [IRPA, 1988] και ισχύουν έως τώρα, αφού επιβεβαιώθηκαν το 1998 από τη “Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από τη Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία, ICNIRP”, (“International Commission on Non-Ionising Radiation Protection”) [ICNIRP, 1998], είναι:

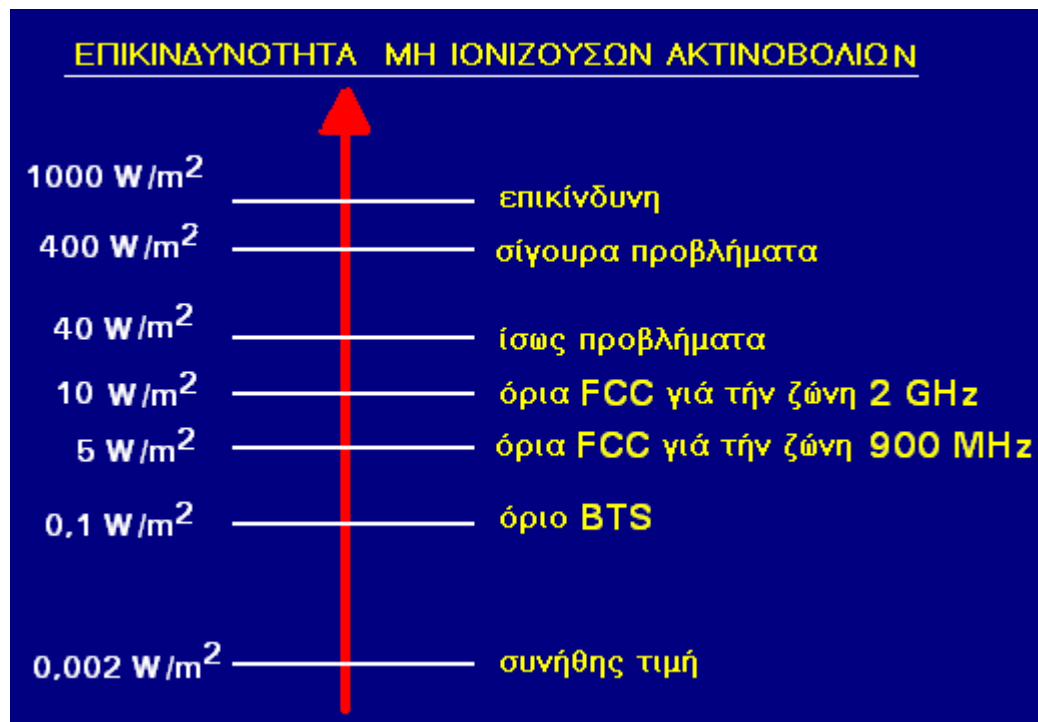
- για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους: μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος = 2.25 mW/cm², ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR) = 0.4 W/Kg. Οι μέσες τιμές αυτές αναφέρονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6min κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.
- για τον γενικό πληθυσμό: μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος = 0.45 mW/cm², ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR) = 0.08 W/Kg. Οι μέσες τιμές αυτές αναφέρονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6min, κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

Τα όρια αυτά έχουν υιοθετηθεί και από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Άλλα όρια έκθεσης έχουν προταθεί από άλλες επιστημονικές οργανώσεις, όπως: ANSI (“American National Standards Institute”) [ANSI, 1982], IEEE, (“Institute of Electrical and Electronic Engineers”) [IEEE, 1992] και NCRP, (“National Council on Radiation Protection and Measurements” - ΗΠΑ) [NCRP, 1995], με ελαφρά μεγαλύτερες τιμές ορίων έκθεσης (Verschaeve, 1998).

Στη χώρα μας η κινητή τηλεφωνία εκπέμπει στα 900 MHz, στα 1800 MHz και στα 2100 MHz για να αποτρέπεται η παρεμβολή μεταξύ των διαφορετικών ραδιοσημάτων, ενώ οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας που λειτουργούν στην Ελλάδα είναι η COSMOTE (GSM900, DCS1800, UMTS), η Q-TELECOM (DCS1800), η TIM (GSM900, DCS1800, UMTS) και η VODAFONE (GSM900, DCS1800, UMTS).

Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 5.1) εμφανίζεται η κλίμακα επικινδυνότητας της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας, η οποία έχει υιοθετηθεί από τους διεθνείς φορείς τηλεπικοινωνιών και υγείας.



Σχήμα 5.1: Η κλίμακα επικινδυνότητας της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας

Ο νόμος 3431/2006 επιβάλλει περιορισμούς σχετικά με όρους εγκατάστασης κεραιών κινητής τηλεφωνίας καθορίζοντας μάλιστα σαν ανώτατα όρια το 70% των ορίων της ICNIRP, ενώ αν σε απόσταση μικρότερη από 300 μέτρα υπάρχουν βρεφονηπιακοί σταθμοί, σχολεία, γηροκομεία, ή νοσοκομεία, τα επίπεδα έκθεσης του κοινού απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των ορίων της ICNIRP. Δηλαδή εφαρμόζονται ακόμα αυστηρότερα όρια σε σχέση με αυτά που ορίζονται από την ICNIRP, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Στις παρενθέσεις είναι οι τιμές που αντιστοιχούν στο 60%.

Πίνακας 5.4: Τα όρια εγκατάστασης κεραιών κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα

Εφαρμογή	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επίπεδου ΗΜ Κύματος (W/m ²)
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	28.7 (24.6)	0.08 (0.066)	3.15 (2.7)
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	40.6 (34.8)	0.11 (0.096)	6.3 (5.4)
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	42.7 (36.6)	0.11 (0.096)	7 (6)
Ασύρματα δίκτυα 2.4 GHz (WiFi)	42.7 (36.6)	0.11 (0.096)	7 (6)
Ασύρματα δίκτυα 3.5 GHz (WiMax)	42.7 (36.6)	0.11 (0.096)	7 (6)

Πηγή: ΕΕΚΤ

Στον παρακάτω πίνακα είναι τα όρια που έχει υιοθετήσει η χώρα μας για το μέγεθος SAR, ως προς διάφορα μέλη του σώματος, και τα οποία είναι πάλι το 70% ή το 60% των ορίων που προτείνει η ICNIRP.

Αρμόδιος φορέας για τον έλεγχο της τήρησης των ορίων έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), ενώ οι μετρήσεις της ακτινοβολίας πραγματοποιούνται από την ίδια ή από εξουσιοδοτημένους από αυτήν φορείς.

Πίνακας 5.5: Τα όρια για το μέγεθος SAR στην Ελλάδα

Εφαρμογή	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για όλο το σώμα)	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού της κεφαλής ή του κορμού)	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού των άκρων)
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	0.056 (0.048)	1.4 (1.2)	2.8 (2.4)
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	0.056 (0.048)	1.4 (1.2)	2.8 (2.4)
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	0.056 (0.048)	1.4 (1.2)	2.8 (2.4)
Ασύρματα δίκτυα 2.4 GHz (WiFi)	0.056 (0.048)	1.4 (1.2)	2.8 (2.4)
Ασύρματα δίκτυα 3.5 GHz (WiMax)	0.056 (0.048)	1.4 (1.2)	2.8 (2.4)

Πηγή: ΕΕΚΤ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

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

Οι γνωστότερες από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, είναι ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο, (ορατή, υπεριώδης, υπέρυθρη), τα διάφορα κύματα ηλεκτρομαγνητικά, μικροκύματα, ραδιοκύματα) που εκπέμπονται από διάφορες συσκευές και ακόμα ακτινοβολία που χρησιμοποιείται ακόμα και για ιατρικούς σκοπούς όπως η Laser, επεμβατικά και θεραπευτικά. Η διαφορά τους έγκειται στην συχνότητα και την ενέργεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δεληγά Μ.Γ. (2003). *Περιοδικό Υγιεινή και ασφάλεια της εργασίας*. Τριμηνιαία έκδοση του ελληνικού ινστιτούτου υγιεινής και ασφάλειας της εργασίας. Τεύχος 13 Ιανουάριος-Φεβρουάριος- Μάρτιος

Deborah Pavan-Langston (2006). Επιμ.: Κοζέης Ν. *Εγχειρίδιο και διάγνωση και θεραπείας παθήσεων οφθαλμού*. 5η έκδοση. Θεσσαλονίκη: Ιατρικές Εκδόσεις Σιώκης

Ιακωβάκης Δ., (2008). *Μη Ιονίζουσα Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία και οι Βιολογικές της Επιδράσεις: Βιβλιογραφική Έρευνα*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Κολιόπουλος, Ι. (1995). *Οφθαλμολογία*. Αθήνα: Γρ. Παρισιάνος

Κροντηράς Χρ., Παπαδοπούλου Χρ., Παντελιού Σ., Βανταράκης Απ., Κλεπετσάνης Π., Τσάνης, Κωνσταντοπούλου Γ., (2012). *Προστασία από Ραδιενέργεια*. Στο: *Οδηγός Υγιεινής & Ασφάλειας Πανεπιστημίου Πατρών*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών

Μιχαήλ Ν. Παντελής (2013). *Μελέτη Επιδράσεων της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας Από Κινητά Τηλέφωνα και Σταθμούς Βάσης Στον Ανθρώπινο Οργανισμό*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Πατενιώτης Κ. Μ. (2007). *Καρκίνος και Έκθεση στις Ιοντίζουσες και μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες*. Στο Επαγγελματική Ένωση Παθολόγων Ογκολόγων Ελλάδος (Επιμ.) *Κλινική Ογκολογία*. (σσ. 66-76). Τόμος Α' Γενικό μέρος. Αθήνα

Συμελιάδης, Θ., (2014). *Επιπτώσεις της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας και των ΤΠΕ στο Περιβάλλον*. Πτυχιακή εργασία. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Συνήγορος του Πολίτη, (2003). *Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, μακροχρόνια έκθεση στη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία*. Ειδική έκθεση ν. 3094/2003, Αρ. 3 § 5) Διαθέσιμο μέσω διαδικτύου στον δικτυακό τόπο: <http://www.synigoros.gr>

Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (1999). «Περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0Hz – 300GHz)». L 199 (1999/519/EC).

Τσάμης Χ.Ι., (2014). *Ο κόσμος μας. Από το μηδέν στο άπειρο*. Εκδοτικός Οίκος: myedition.gr

Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, (2009). *Η Ακτινοβολία στη ζωή μας*. Λευκωσία: Τμήμα Επιθεώρησης Εργασίας

Χατζημπούγιας Ι., (2003). *Στοιχεία ανατομικής του ανθρώπου*. 3η έκδοση Θεσσαλονίκη: GM DESING Γ. Μανιατογιάννης

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Becker R. & Andrew Marino (1995). *Electromagnetism and life*. Handbook of biological effects of electromagnetic fields. Charles Polk-Elliot Postow CRC Press

Kaufman, P., Albert, Alm. (2003). *Adler's Physiology of the Eye: Clinical application*. Tenth Edition, Philadelphia: Mosby

Spalton D.J., Hitchings R.A. & Hunter P., (2005). *Atlas of Clinical Ophthalmology*. 3rd Edition. Hardcover

Verschaeve, A. Maes, (1998). Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields. *Mutation Research* 410: 141–165.

Πηγές από το διαδίκτυο:

ΕΕΚΤ: <http://www.eekt.gr/LinkClick.aspx?fileticket=kGiaKhidnc%3D&tabid=102>

Σαμαράς Θ. 2012 *Διδακτικές Σημειώσεις για το μάθημα Εμβιοηλεκτρομαγνητισμός*. Τμήμα Φυσικής. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη. Διαθέσιμο μέσω διαδικτύου στο: http://users.auth.gr/theosama/docs/Bioelectromagnetics_Notes.pdf

Τσάμης Χ.Ι. *Περί ακτινοβολιών*. Διαθέσιμο μέσω διαδικτύου στο: <http://users.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/Aktinovolies/Aktinovolies.htm>

Ψαρράκος, Κ. Κουφογιάννης, Δ. Σιούντας. Α. (2002). *Ακτινοβολίες. Στο Επαγγελματικές παθήσεις* (σσ. 271-288). Θεσσαλονίκη. Ανακτήθηκε στις 25/05.2015 από <http://www.ethorax.gr/index.php?section=703>

<http://www.emfguru.org/CellPhone/cell-health/cellphone-health.html>

<http://www.land-sbg.gv.at/celltower>.