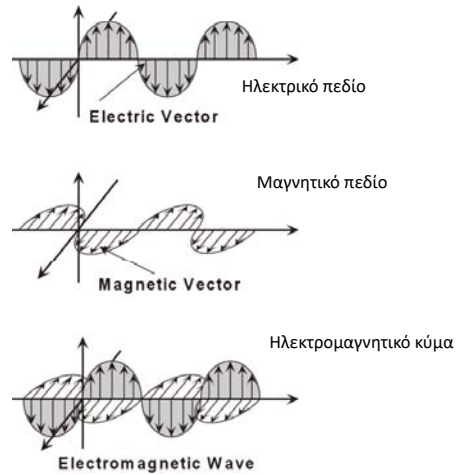


Έκθεση σε μη ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Σοφία Κόττου

Εργαστήριο
Ιατρικής Φυσικής,
Ιατρική Σχολή
Πανεπιστημίου
Αθηνών



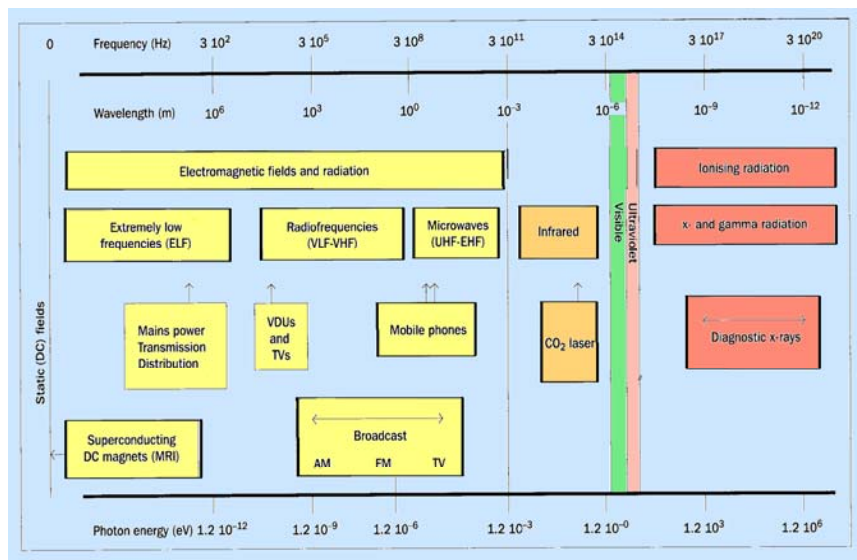
Τι ονομάζουμε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Το είδος της ενέργειας
που μεταδίδεται με τη μορφή
ηλεκτρομαγνητικών (ΗΜ) κυμάτων,
δηλ. τοπικών και χρονικών μεταβολών της έντασης
του ηλεκτρικού (E) και μαγνητικού πεδίου (H)

Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

- Η ταξινόμηση των ΗΜ κυμάτων σύμφωνα με τη συχνότητα ονομάζεται **ΗΜ φάσμα**
- Το ΗΜ φάσμα χωρίζεται σε διάφορες περιοχές (ζώνες συχνοτήτων)
- Τα όρια μεταξύ των περιοχών δεν είναι σαφή
- Τα ονόματα των περιοχών έχουν σχέση με τον τρόπο παραγωγής ή τον τρόπο χρήσης των συχνοτήτων 'τους'

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

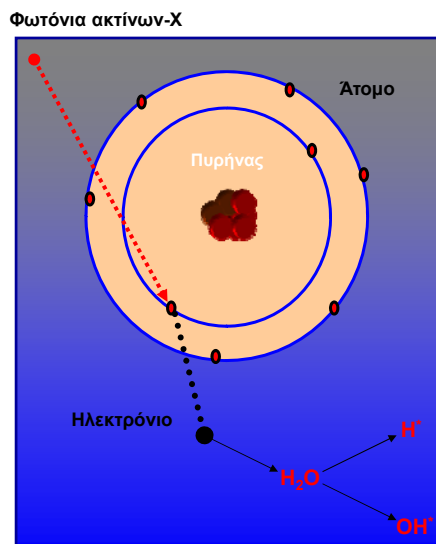


Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

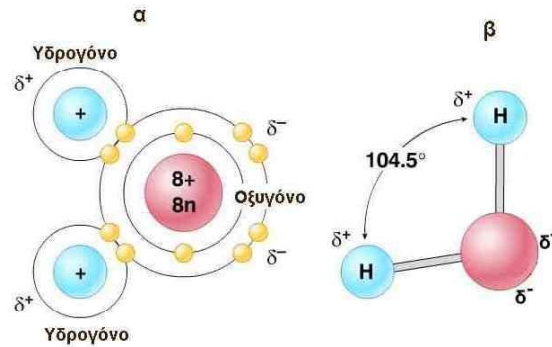
Ο διαχωρισμός μεταξύ
 – ιοντίζουσας και
 – μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας
 είναι σημαντικός, γιατί επιτρέπει
 την καλύτερη αντίληψη
 των πραγματικών κινδύνων
 των διαφόρων τύπων της ΗΜ ακτινοβολίας

Ιοντίζουσα ΗΜ ακτινοβολία ακτίνες Χ, ακτίνες γ

- **Ιοντισμός:** αφαίρεση ενός ή περισσότερων **ηλεκτρονίων** από τα άτομα ή μόρια της ύλης, που μετατρέπονται σε ιόντα
- Τα **ελεύθερα ηλεκτρόνια** που εγκαταλείπουν το άτομο, αντιδρούν με το H_2O της ζώσας ύλης
- Παράγονται **ελεύθερες ρίζες** **OH** και **H**, πολύ δραστικές και, μετά από μία σειρά χημικών αντιδράσεων, αλλοιώνουν τη δομή και λειτουργία του DNA με πιθανή πρόκληση **καρκινογένεσης**



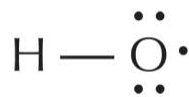
Το μόριο του ύδατος



Εικόνα 2.8 Το μόριο του νερού

- α) Κάθε μόριο νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου συνδεδεμένα με ομοιοπολικούς δεσμούς.
β) Το μόριο του νερού είναι δίπολο γιατί έχει δύο άκρα φορτισμένα με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία.

Το ιόν και η ελεύθερη ρίζα του υδροξυλίου είναι πολύ δραστικά



Ιοντίζουσα ΗΜ ακτινοβολία: ακτίνες Χ, ακτίνες γ

- Οι ομοιοπολικοί δεσμοί στα μόρια του νερού συχνά σπάζουν αυτόματα
- Το υδρογόνο αφήνει το ηλεκτρόνιό του στο υπόλοιπο μόριο του νερού και αποσπάται, συμπεριφερόμενο ως ένα θετικά φορτισμένο ιόν (H⁺)
- Το υπόλοιπο μέρος του μορίου του νερού, που διατήρησε τα ηλεκτρόνια του ομοιοπολικού δεσμού, μένει αρνητικά φορτισμένο ως ιόν υδροξυλίου (OH⁻)
- Σε θερμοκρασία 25°C, ένα στα 550 εκατομμύρια μόρια αποσταγμένου νερού βρίσκεται σε διάσταση
- Η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου (H⁺) και των ιόντων υδροξυλίου (OH⁻) στο αποσταγμένο νερό είναι 10⁻⁷ mol/λίτρο και γι' αυτό **το pH του αποσταγμένου νερού είναι 7** (ουδέτερο ως προς την οξύτητα ή αλκαλικότητα)
- Τα **ιόντα υδρογόνου** και τα **ιόντα υδροξυλίου** είναι πολύ δραστικά και γι' αυτό οποιαδήποτε αλλαγή γίνει στη συγκέντρωσή τους στο νερό, δυνατό να επιφέρει δραστικές συνέπειες στα πολύπλοκα μόρια του κυττάρου
- Ζωή μπορεί να υπάρξει μόνο σε στενά πλαίσια pH (pH = 5 – 8)

Ιοντίζουσα ΗΜ ακτινοβολία: ακτίνες Χ, ακτίνες γ

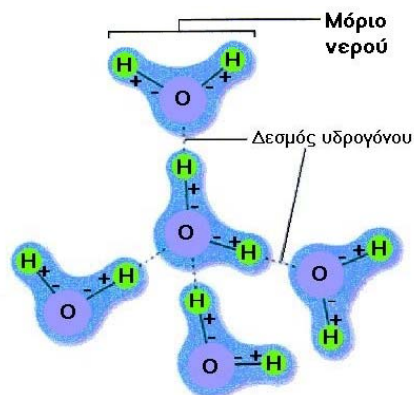
- Οι ΗΜ ακτινοβολίες υψηλών συχνοτήτων (υψηλότερων του ιώδους) διεισδύουν σε βιολογικούς ιστούς και η ενέργειά τους απορροφάται από αυτούς, σε βαθμό που εξαρτάται από
 - την εσωτερική δομή των ιστών
 - από τη θέση και γεωμετρία τους
 - καθώς και από τα χαρακτηριστικά της ΗΜ ακτινοβολίας
- Η αλληλεπίδραση αυτή μπορεί να προκαλέσει
 - χρήσιμα διαγνωστικά και θεραπευτικά αποτελέσματα
 - ή/και βιολογική βλάβη ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες

Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία

*ραδιοσυχνότητες (RF) και μικροκύματα (μW) (3 kHz – 300 GHz)
αλλά και εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες (ELF) (0 - 3 kHz)*

- Δεν προκαλεί **ιοντισμούς**
- Δεν προκαλεί χημικές μεταβολές στους ακτινοβολούμενους βιολογικούς ιστούς
- Στα 300 GHz (μέγιστη RF συχνότητα) η ενέργεια είναι **$1,2 \times 10^{-3}$ eV**
- **Ιοντισμός οργανικής ύλης** απαιτεί περίπου **5-10 eV**
- Ο **δεσμός Υδρογόνου** είναι εξαιρετικά ασθενής, αλλά με πολύ μεγάλη βιολογική σημασία, επειδή είναι ο δεσμός που συνδέει τμήματα πολύ βασικών βιολογικών μορίων (π.χ. στο DNA τις στροφές της έλικας)
- HF_2^- : Η ενέργεια σύνδεσης του ιόντος (δεσμός Υδρογόνου) είναι **$1,0 \times 10^{-1}$ eV**

Δεσμός Υδρογόνου



Εικόνα 2.9 Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ μορίων νερού

- Σύμφωνα με τους μετριοπαθέστερους υπολογισμούς, στο ανθρώπινο σώμα υπάρχουν περισσότερες από 30.000 διαφορετικές πρωτεΐνες
 - Καθεμία από αυτές εμφανίζει έναν ιδιαίτερο βιολογικό ρόλο
 - Η αιμοσφαιρίνη, για παράδειγμα, είναι επιφορτισμένη με τη μεταφορά του οξυγόνου
 - Το κολλαγόνο είναι δομική πρωτεΐνη ιστών (π.χ. του συνδετικού ιστού), ενώ τα ένζυμα επιταχύνουν τις αντιδράσεις που γίνονται μέσα στο κύτταρο
- Οι δεσμοί **Van der Waals** είναι δέκα φορές ασθενέστεροι

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

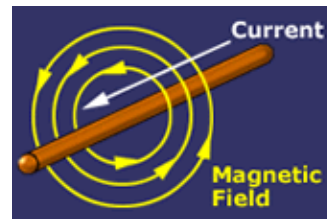
THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

radio waves very low frequency spectrum infrared visible ultra violet gamma rays

EMF sources: train & planes, AC power, CRT monitors, AM/FM, TV, cell phone, microwave & satellite, sunlight, medical X-ray, radioactive sources

Βιολογικές επιδράσεις της μη ιοντίζουσας ΗΜΑ

- Σε αντίθεση με τις ιοντίζουσες, οι τεχνητές πηγές μη ιοντίζουσας ευθύνονται κατά το μεγαλύτερο (εκατοντάδες φορές) ποσοστό για την έκθεση σε ΗΜΑ
- Εκδηλώνεται πλέον έντονα η ανησυχία των πολιτών για πιθανές βιολογικές επιδράσεις κάθε μορφής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας -ΗΜ- στον ανθρώπινο οργανισμό
- Σειρά πειραμάτων έχουν πραγματοποιηθεί ανά τον κόσμο προκειμένου να καθοριστούν οι επιδράσεις αυτές



Από τις χαμηλές συχνότητες κυρίως ενδιαφέρουν οι της κινητής τηλεφωνίας αλλά και οι πολύ χαμηλές συχνότητες (ELF)

- Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει συνεχής + έντονη διεθνής ανησυχία για τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, της ΗΜ ακτινοβολίας που προέρχεται από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας και από τα κινητά τηλέφωνα,
- Έχει μάλιστα διατυπωθεί η άποψη ότι η μαζική έκθεση εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο τα τελευταία χρόνια στα πεδία της κινητής τηλεφωνίας αποτελεί το μεγαλύτερο βιολογικό πείραμα που έχει ποτέ πραγματοποιηθεί

Η εξαιρετικά χαμηλή συχνότητα των 50 Hz

- Προβληματισμός υπάρχει για δυσμενείς επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία και **από τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που μεταβάλλονται με εξαιρετικά χαμηλή συχνότητα (50 Hz)** και που δημιουργούνται στο περιβάλλον
 - των γραμμών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας,
 - των υποσταθμών διανομής των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων,
 - καθώς και σ' αυτό όλων των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο
- Αυτά τα πεδία ονομάζονται **πεδία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας ή πεδία ELF (Extremely Low Frequency)**

Η εξαιρετικά χαμηλή συχνότητα των 50 Hz

- Τα πεδία ELF έχουν
 - διαφορετικές **φυσικές ιδιότητες**
 - διαφορετικό **τρόπο έκθεσης** των πολιτών και
 - διαφορετικές **βιολογικές επιδράσεις**
 από τα ραδιοκύματα RF και μικροκύματα MW που εκπέμπουν οι κεραιές ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών εκπομπών, καθώς και οι κεραιές της κινητής τηλεφωνίας
 - και γι' αυτό εξετάζονται χωριστά

Ποια η επίδραση ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων της πολύ χαμηλής ΗΜ ακτινοβολίας (50 Hz)

- Τα ηλεκτρικά πεδία επηρεάζονται από την παρουσία δέντρων, υψηλών φρακτών, οικοδομικών υλικών, σε αντίθεση με τα μαγνητικά πεδία
- Τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας στο εξωτερικό των σπιτιών μας μπορεί να διαπερνούν τους τοίχους και τις οροφές
- Τα μαγνητικά, όπως και τα ηλεκτρικά πεδία, εξασθενούν σημαντικά με την αύξηση της απόστασης από την πηγή τους



Υπάρχουν μακροχρόνιες επιδράσεις ειδικά των ELF πεδίων στον άνθρωπο ?

- Επιδημιολογικές έρευνες ανέδειξαν περιορισμένα στοιχεία σχετικά με την παιδική λευχαιμία
- Εμφανίσθηκε μία ασθενής θετική στατιστική συσχέτιση με το ELF μαγνητικό πεδίο
- Με μέση ημερήσια τιμή μαγνητικού πεδίου **μεγαλύτερου από 0,4 μT** (όριο επιτρεπόμενης έκθεσης για το γενικό πληθυσμό σε ELF είναι τα 100 μT), παρατηρήθηκε διπλασιασμός του κινδύνου παιδικής λευχαιμίας
- Σύμφωνα με το διεθνές σύστημα ταξινόμησης (της Διεθνούς Επιτροπής Έρευνας για τον καρκίνο, της Π.Ο.Υ. - WHO) των χημικών και φυσικών παραγόντων, ως προς την καρκινογενετικότητα τους, **ο Π.Ο.Υ.** κατέταξε τα ELF μαγνητικά πεδία στην κατηγορία **2B** ως «ενδεχομένως καρκινογενή» (possibly carcinogenic) για πρόκληση παιδικής λευχαιμίας

Ταξινόμηση κατά IARC (WHO)*

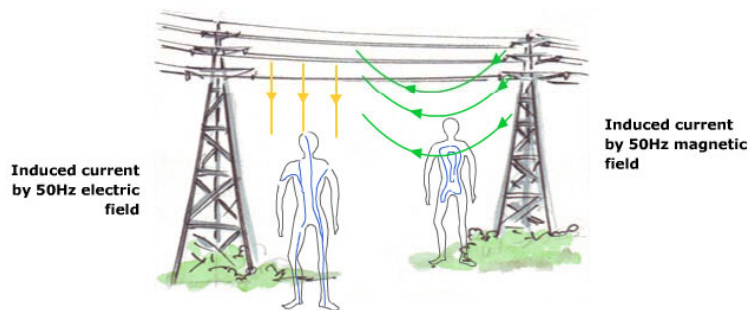
Ενδεικτικά υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που έχουν ταξινομηθεί από την IARC στην ίδια κατηγορία όπως ο καφές, τα καυσαέρια, ...

*WHO: world health organization

IARC: international agency for research on cancer

Ταξινόμηση	Παράγοντας
Καρκινογενής για τους ανθρώπους (συνήθως βάσει ισχυρών ενδείξεων καρκινογεντικότητας στους ανθρώπους)	αμίαντος, αέριο μουστάρδας, καπνός, ακτινοβολία γάμμα
Πιθανώς καρκινογενής για τους ανθρώπους (συνήθως βάσει ισχυρών ενδείξεων καρκινογεντικότητας στα πειραματόζωα)	καυσαέρια πετρελαιοκινητήρων, λάμπες μαυρίσματος, υπεριώδης ακτινοβολία, φορμαλδεΐδη
Ενδεχομένως καρκινογενής για τους ανθρώπους (συνήθως βάσει ενδείξεων στους ανθρώπους που θεωρούνται αξιόπιστες, αλλά δεν αποκλείονται και άλλες ερμηνείες για αυτές)	Καφές, λαχανικά στην άλμη, στυρένιο, καυσαέρια βενζινοκινητήρων, αέρια συγκόλλησης, ELF μαγνητικά πεδία

Ποια η επίδραση ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων της ELF ακτινοβολίας (50 Hz) στο σώμα



- A. Electric fields do not penetrate the body significantly but they do build up a charge on its surface, while**
B. exposure to magnetic fields causes circulating currents to flow in the body

**ESTABLISHING A DIALOGUE ON RISKS FROM ELECTROMAGNETIC FIELDS

RADIATION AND ENVIRONMENTAL HEALTH DEPARTMENT OF PROTECTION OF THE HUMAN ENVIRONMENT
 WORLD HEALTH ORGANIZATION GENEVA, SWITZERLAND 2002

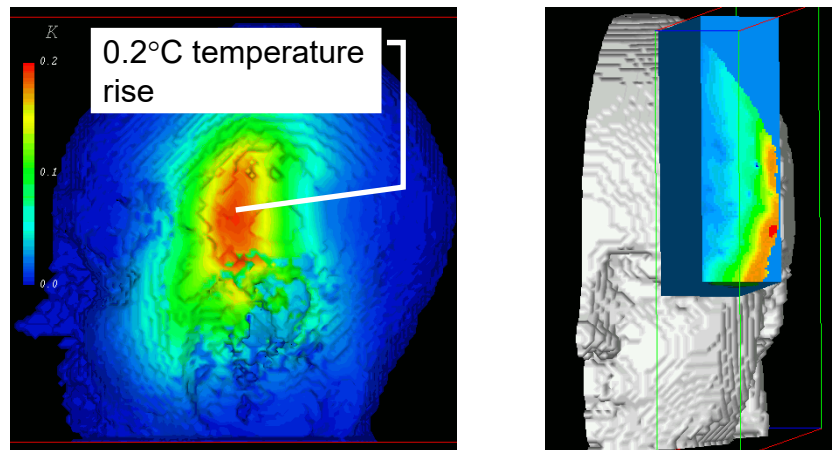
Διαφορές στην έκθεση σε ELF και RF ακτινοβολία

Έκθεση σε ELF (50 Hz)	Έκθεση σε RF (100 kHz – 300 GHz)
Μεγάλος χρόνος έκθεσης	Μικρός χρόνος έκθεσης
Τεχνολογία αμετάβλητη	Τεχνολογία σε εξέλιξη
Μεγάλος αριθμός εκτεθειμένων	Ολοένα αυξανόμενος αριθμός εκτεθειμένων
Ακτινοβόληση ολόσωμη και ομοιόμορφη	Ακτινοβόληση τοπική (πλάγια όψη της κεφαλής)
Απροσδιόριστος χρόνος έκθεσης	Ευκολότερα προσδιορίζεται η διάρκεια έκθεσης

Μη ιοντίζουσα ΗΜ ακτινοβολία και ΚΑΡΚΙΝΟΣ

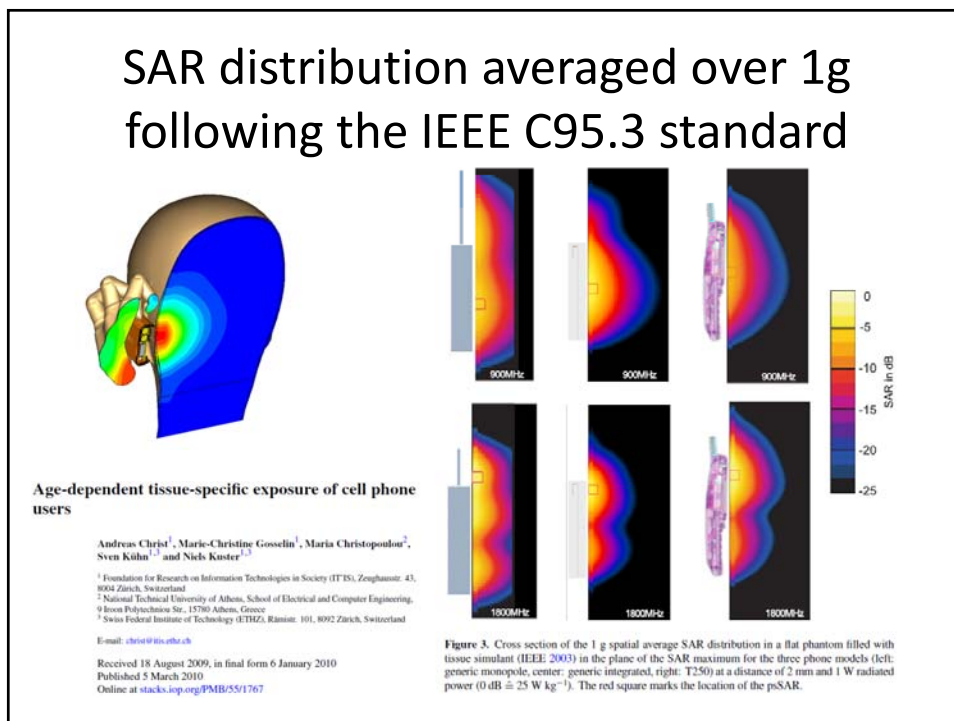
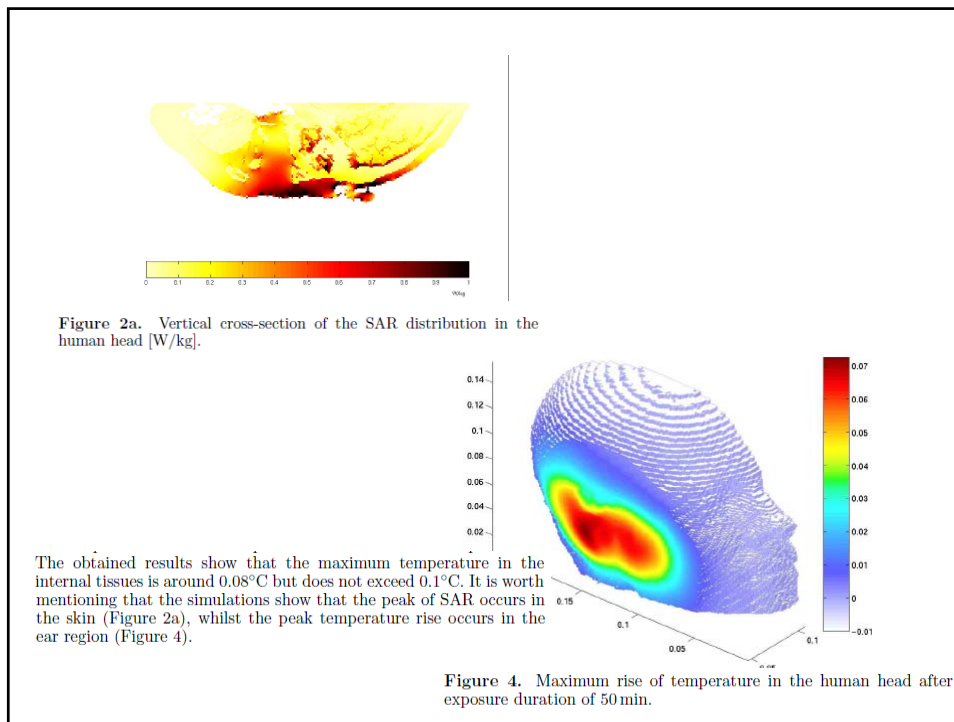
- Δεν υπάρχει μέχρι σήμερα επιστημονικά αποδεκτή απόδειξη ότι η μη ιοντίζουσα ακτινοβολία προκαλεί άμεσα καρκίνο
 - προκαλεί όμως «**θερμικά**» αποτελέσματα
 - έχουν θεσπιστεί όρια επικινδυνότητας
- Μερικοί επιστήμονες επιμένουν ότι η μη ιοντίζουσα ΗΜΑ είναι δυνατόν να ενεργοποιήσει και άγνωστους, υπό διερεύνηση, ίσως επικίνδυνους για την υγεία «**μη θερμικούς**» μηχανισμούς στους ιστούς
- **Ο ένας βαθμός Κελσίου** αποτελεί, κατά κάποιο τρόπο, τη 'διαχωριστική γραμμή' μεταξύ των δυο κατηγοριών
- **Μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας** των ιστών 'καλύπτεται' από θερμορυθμιστικούς μηχανισμούς, αποτρέποντας οποιαδήποτε αισθητή αύξησή της
- Στο ανθρώπινο σώμα λαμβάνουν συχνά χώρα **φωτοχημικές αντιδράσεις** ευαίσθητες σε ΗΜ πεδία

Radio Waves: Mobile Phones



Το RF ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να προκαλέσει

- **Θερμικά αποτελέσματα**
 - Επειδή οι περισσότεροι βιολογικοί ιστοί είναι ηλεκτρικά αγωγάμοι
 - Το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο επάγει ηλεκτρικά ρεύματα μέσα στο ανθρώπινο σώμα
 - η απαγωγή των οποίων οδηγεί σε απορρόφηση ενέργειας
 - δηλαδή αύξηση της θερμοκρασίας
 - με συνέπεια την “εμφάνιση” της βιολογικής επίδρασης ή/και βλάβης



Το RF ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να προκαλέσει

- **Μη θερμικά αποτελέσματα**

που πιθανόν σχετίζονται με

- Μεταβολή της χωροδιάταξης πρωτεΐνης με ποικίλες συνέπειες
- Μεταβολή στη διπολική ροπή και ενέργεια πρωτεΐνης
- Μετάπτωση που θα επέφερε πρωτεΐνη διαφορετικής αναδίπλωσης
- Μεταβολή στη διαμόρφωση της ΑΤΡάσης σχετιζόμενη με τους διαύλους ιόντων της κυτταρικής μεμβράνης (αντλίες ιόντων)
- Αύξηση του ποσοστού των μη αναδιπλωμένων πρωτεϊνών που οδηγεί σε αύξηση της συσσωμάτωσης
- Μεταβολή στην ικανότητα δέσμευσης των ιόντων Ca^{++} στις πρωτεΐνες του κυττάρου που λειτουργούν ως υποδοχείς

Το RF μαγνητικό πεδίο

- Σε γενικές γραμμές η αλληλεπίδρασή του με τον ιστό αναμένεται ασθενέστερη από του αντίστοιχου ηλεκτρικού πεδίου
- Πιθανή εξαίρεση η αλληλεπίδραση με εγκεφαλικό ιστό που περιέχει σωματίδια μαγνητίτη (ικανότητα προσανατολισμού)
- Το μαγνητικό πεδίο θα μπορούσε να αλληλεπιδράσει με σιδηρομαγνητικό συντονισμό
- Ή με μηχανική ενεργοποίηση των διαύλων ιόντων του κυττάρου
- Όσον αφορά στο νευρικό σύστημα, η ομάδα IEGMP (Independent Expert Group on Mobile Phones) υποστηρίζει πως μεταβολές στη διεγερσιμότητα των νευρώνων συμβαίνει μόνον όταν η έκθεση στην RF προκαλεί αύξηση θερμοκρασίας $> 1^{\circ}C$
- Θετικά ευρήματα για μη θερμικά αποτελέσματα δεν έχουν ακόμη επιβεβαιωθεί

Όμως:

- By **prolonging the lifetime of free radicals**, RF fields can increase the probability of free-radical-induced biological damage
- To **affect DNA recombination** and thus the repair of damage caused by radicals, external magnetic fields must act over the times that the radical pairs dissociate (above 10^{-9} s)
- It was concluded that the effect of RF fields on free-radical concentrations would likely be **limited to about 10 MHz or less**
- Resonance phenomena occur below 10 MHz, and may result in biological effects from low-level RF fields at about 1 MHz
- Several studies provide evidence for **the induction of oxidative stress** via the free-radical pair mechanism in biological systems exposed to RF radiation
- Some of the reported effects include increased production of reactive oxygen species, enhancement of oxidative stress-related metabolic processes, **an increase in DNA single-strand breaks**, increased lipid peroxidation, and alterations in the activities of enzymes associated with antioxidative defence
- Many of the changes observed in RF-exposed cells were prevented by (pre)treatment with antioxidants

Όμως (συνέχεια):

- Οι Hardell et al. (1999, 2000, 2001, 2002a, b, 2003, 2006a, b, 2009, 2010, 2011) έχουν δημοσιεύσει σειρά ευρημάτων που αφορούν τη συσχέτιση της χρήσης κινητού τηλεφώνου με καρκίνους του εγκεφάλου
- Τα συμπεράσματα της ομάδας Hardell συμπεριλήφθηκαν σε ένα ιδιαίτερα αξιόπιστο διεθνές ερευνητικό πρόγραμμα εκτίμησης της καρκινογενετικότητας των πεδίων RF με έμφαση στα της κινητής τηλεφωνίας (IARC 2013)
- Τα συμπεράσματα της επίσημης δημοσίευσης: «IARC's monograph Non-ionising Radiation, Part II: Radiofrequency Electromagnetic Fields [includes mobile telephones]» αναδημοσιεύονται συνοπτικά στο: Lancet Oncology (2011) με κύριες διαπιστώσεις:

Όμως (συνέχεια):

- “There is limited evidence in humans for the carcinogenicity of radiofrequency radiation.
- Positive associations have been observed between exposure to radiofrequency radiation from wireless phones and glioma, and acoustic neuroma”.
- The overall evaluation is that **“Radiofrequency electromagnetic fields are possibly carcinogenic to humans (Group 2B)”**

Εργαστηριακές μελέτες

Υπάρχει πληθώρα βιβλιογραφικών αναφορών για τα βιολογικά αποτελέσματα της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όμως το μεγαλύτερο μέρος των πειραμάτων έχει πραγματοποιηθεί σε ζώα και είναι αμφισβητήσιμη από πολλούς η δυνατότητα επέκτασης των αποτελεσμάτων στον άνθρωπο.

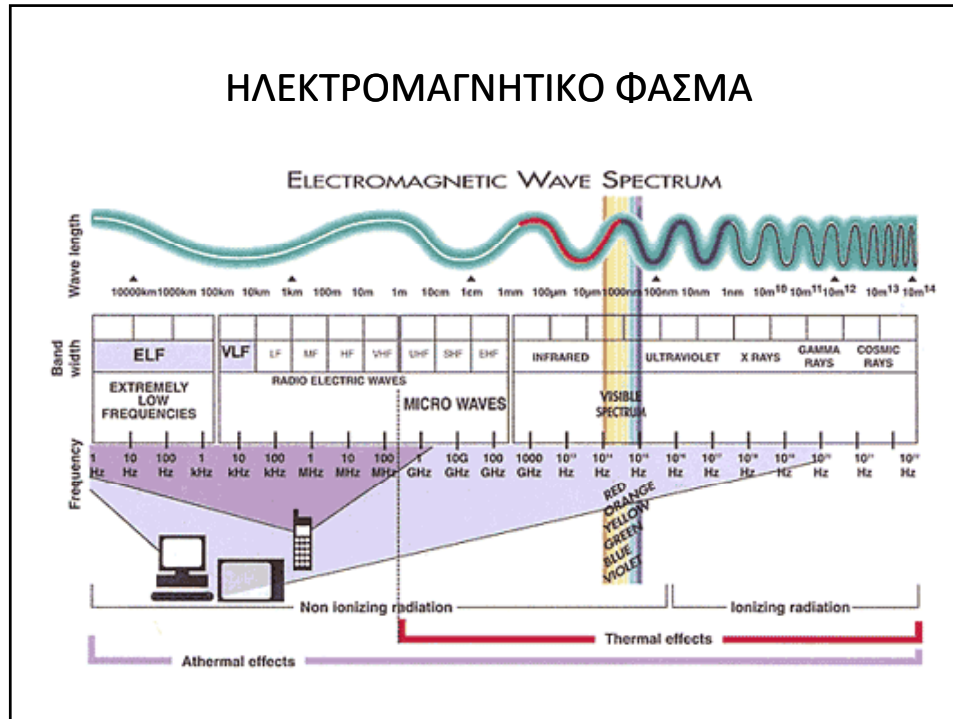
Καταρρακτογένεση: Σε πειραματόζωα που ακτινοβολήθηκαν με σχετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος παρατηρήθηκε η πρόκληση καταρράκτη. Το φαινόμενο αποδίδεται σε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας κατά την έκθεση σε RF ακτινοβολία, εξαιτίας της αδυναμίας του οφθαλμού να απάγει τη θερμότητα.

Μικροκυματικό - ακουστικό φαινόμενο: Στην περίπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας παλμικής φύσεως, όπως αυτή του ραντάρ, έχει παρατηρηθεί ότι άνθρωποι που βρίσκονται κοντά στην πηγή ακούνε ήχο που προέρχεται από συντονισμό του κρανίου. Σύμφωνα με τη σημερινή γνώση, πρόκειται για θερμικό φαινόμενο και οφείλεται σε απότομη μικρή αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών.

Επιδράσεις στο νευρικό σύστημα: Οι περισσότερες πειραματικές μελέτες αφορούν στον εγκέφαλο και αναφέρουν μεταβολές στο Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, στον αιματοεγκεφαλικό φραγμό και στην εκροή ιόντων ασβεστίου.

Επιδράσεις σε κυτταρικό επίπεδο: Επιδράσεις στο DNA και καρκινογενετικά φαινόμενα έχουν μελετηθεί εκτενώς από πολλούς ερευνητές σε διάφορες συνθήκες έκθεσης. Ανάπτυξη καρκίνου του εγκεφάλου έχει αναφερθεί σε ποντίκια που εκτέθηκαν σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία που χρησιμοποιούνται σε ασύρματες κυψελωτές επικοινωνίες. Ωστόσο τα αποτελέσματα αυτά δεν έχουν επιβεβαιωθεί από άλλα ανεξάρτητα εργαστήρια.

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

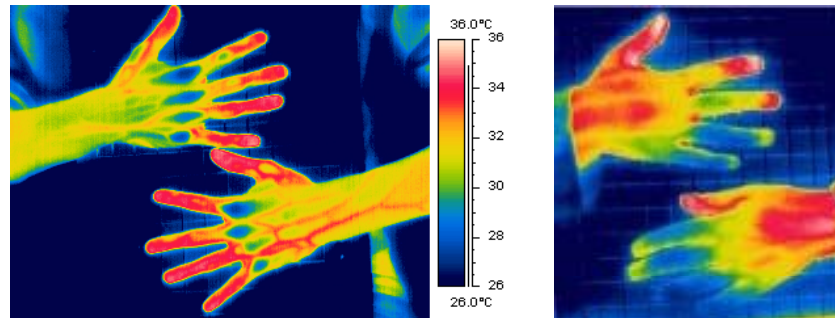


Μη ιοντίζουσα ΗΜ ακτινοβολία και επίδραση στους ιστούς

Micro-wave	300 GHz	Heating of body surface
	1 GHz	Heating with 'penetration depth' of 10 mm
	<100 KHz	Raised body temperature
Static	0 Hz	Cumulation of charge on body surface
		Disturbance of nerve & muscle responses
		Magnetic field – vertigo/ nausea
		Electric field – charge on body surface

Long-term effects are given in italics.

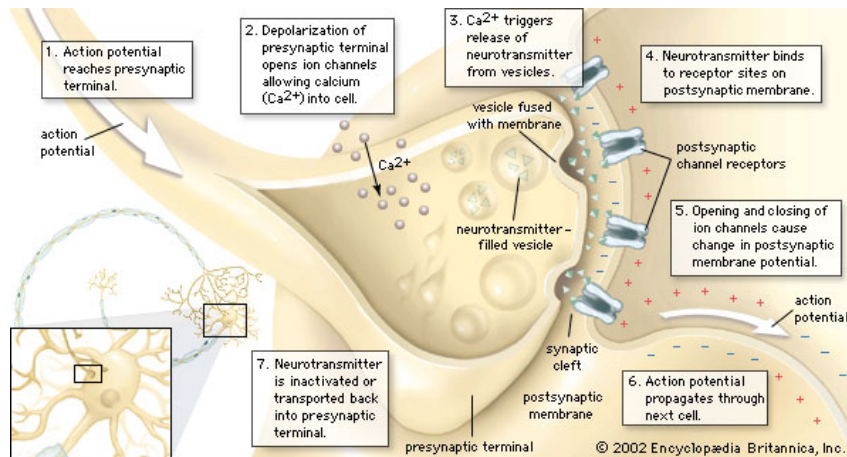
Infrared: Thermography



Ας θυμηθούμε ότι ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα ...

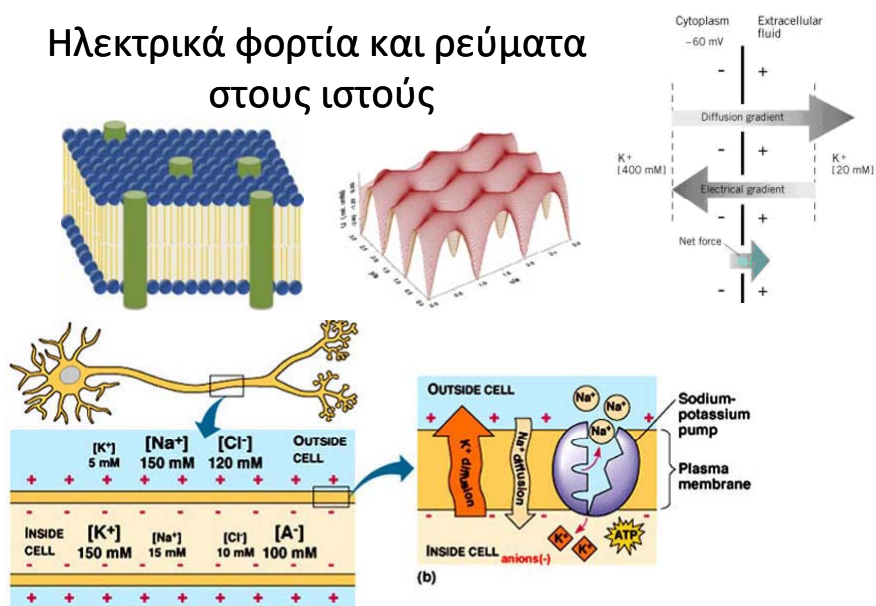
- Ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα υπάρχουν στο ανθρώπινο σώμα και είναι απαραίτητα για τις φυσιολογικές σωματικές λειτουργίες
- Όλες οι δομές του νευρικού συστήματος λειτουργούν μέσω ηλεκτρικών σημάτων
- Οι περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις
 - που σχετίζονται με την πέψη
 - που σχετίζονται με την εγκεφαλική λειτουργία περιλαμβάνουν ηλεκτρικές διεργασίες

Ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα στους ιστούς



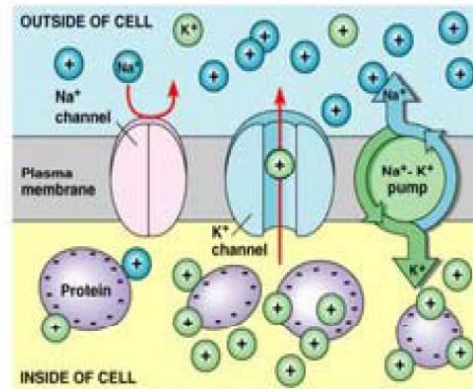
Χημική μετάδοση ηλεκτρικών παλμών στις συνάψεις μεταξύ δύο νευρώνων

Ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα στους ιστούς



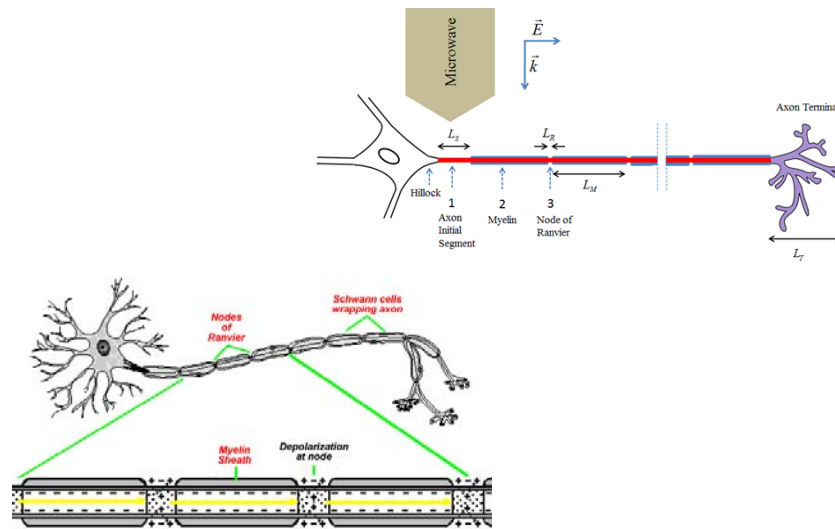
<http://www.bio.miami.edu/~cmallery/150/neuro/48x5.jpg>

Κανάλια K^+ και Na^+



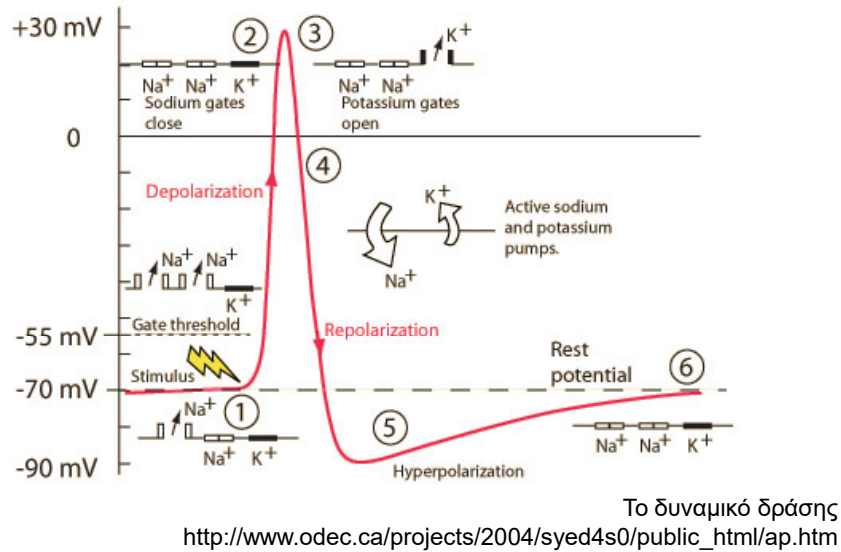
Για να διατηρήσουν το δυναμικό ηρεμίας στα -50 με -90mV , οι αντλίες πρέπει να λειτουργούν συνεχώς λόγω κυτταροπλασματικής έλλειψης K^+ , καθώς συγκεκριμένοι τύποι καναλιών K^+ είναι συνεχώς ανοιχτοί .

Ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα στους ιστούς

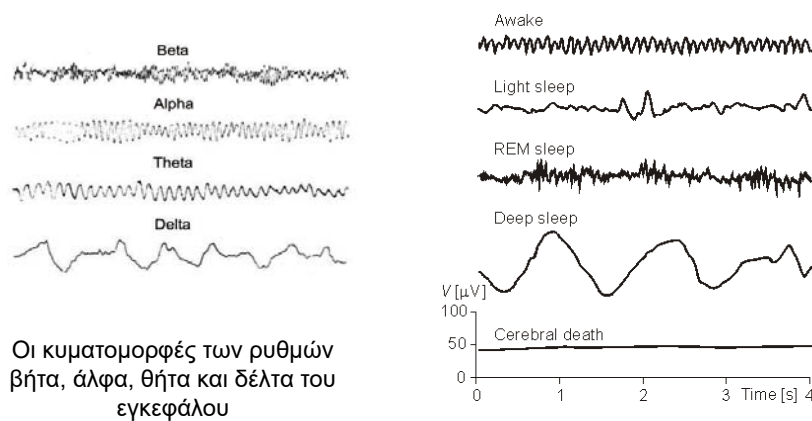


Saltatory conduction occurs in myelinated nerves
The impulse jumps from node to node where depolarization takes place

Ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα στους ιστούς



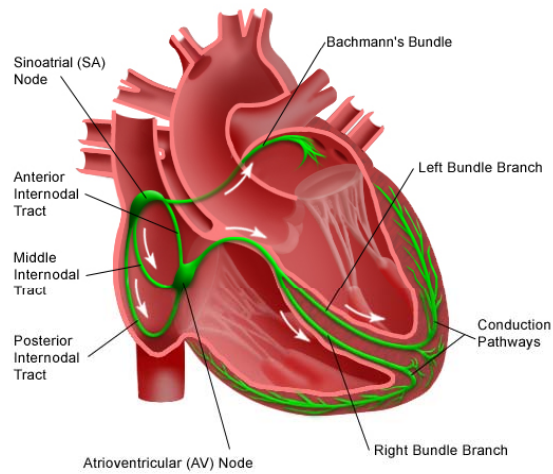
Ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα στους ιστούς



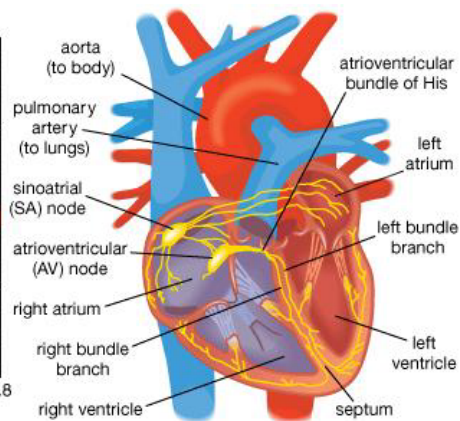
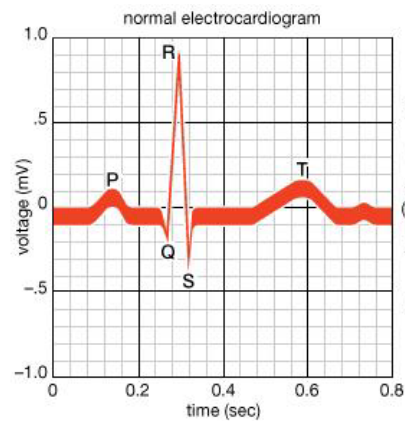
Κυματομορφές από τον εγκέφαλο κατά τη διάρκεια διάφορων επιπέδων εγρήγορσης

Ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα στους ιστούς

Electrical System of the Heart



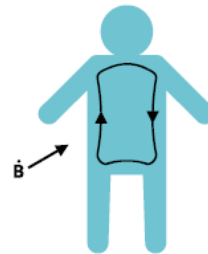
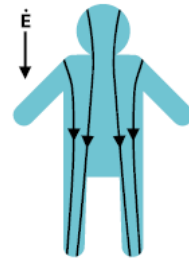
Ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα στους ιστούς



© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

Επαγόμενα πεδία

- Οι επιδράσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο οφείλονται στα επαγόμενα πεδία και ρεύματα κατά την έκθεση του ανθρώπινου σώματος στα πεδία αυτά
- Η GSM ακτινοβολία στα **900MHz** μπορεί να προκαλέσει:
 - Μεταβολές στα ηλεκτροεγκεφαλογράφημα **ΗΕΓ**
 - Μείωση στο ρυθμό σύνθεσης της **μελατονίνης**, μιας ορμόνης που ρυθμίζει τον ημερήσιο βιολογικό κύκλο και έχει αντικαρκινική δράση
 - Βράχυνση του **REM ύπνου**
 - Επίδραση στη λειτουργία της **μνήμης**



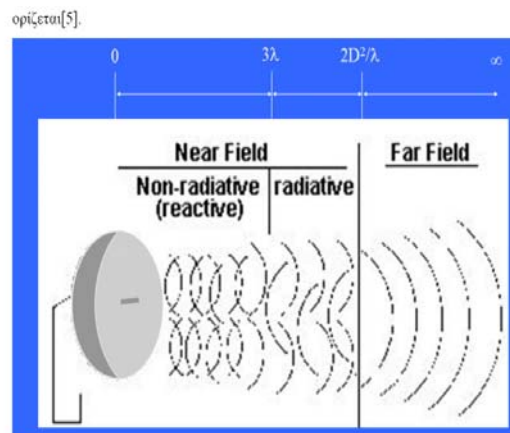
Ραδιοσυχνότητες και ραδιοκύματα

- Φυσικά μεγέθη που περιγράφουν την ένταση της ΗΜ ακτινοβολίας:
 - Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου **E**, που μετράται σε **V/m**
 - Η ένταση του μαγνητικού πεδίου **H**, σε μονάδες **A/m**
 - Η πυκνότητα ισχύος, που μετράται σε **W/m²**
 - $1 \text{ W/m}^2 = 1000 \text{ mW/m}^2 = 0,1 \text{ mW/cm}^2 = 100 \text{ μW/cm}^2$
- Σε συνθήκες **επιπέδου κύματος**,
 [όταν η απόσταση από την πηγή είναι μεγαλύτερη από το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας (συνθήκες μακρινού πεδίου)],
- τα τρία αυτά μεγέθη συνδέονται μεταξύ τους με απλές μαθηματικές σχέσεις

Εγγύς πεδίο, μακρινό πεδίο

- r = απόσταση πηγής - βιολογικού αντικειμένου
- λ = μήκος κύματος της ακτινοβολίας
- D = η μεγάλη διάσταση της κεραίας
- για $r < (D^2/\lambda)$ έχουμε **το εγγύς πεδίο**, που είναι πολύ σύνθετο και, στη περίπτωση που βρεθεί βιολογικός οργανισμός μέσα σ' αυτό, υφίσταται ισχυρή επίδραση
- ενώ για $r > (D^2/\lambda)$ έχουμε **το μακρινό πεδίο**, όπου η κατανομή των εντάσεων είναι πιο απλή και ο βιολογικός οργανισμός μέσα σ' αυτό υφίσταται μικρότερη επίδραση

Εγγύς πεδίο, μακρινό πεδίο



Εικόνα 1.3-Κοντινό-μακρινό πεδίο

Το αναγραφόμενο
« 3λ »
είναι εκ
παραδρομής.

Το σωστό είναι:

« $\lambda/6$ »

Το εγγύς πεδίο περιέχει δυο υπο-ζώνες

- Όταν $r < \lambda/6$ ($\lambda/2\pi$)
η περιοχή καλείται **near reactive**
- Όταν $r > \lambda/6$ ($\lambda/2\pi$)
και συγχρόνως $r < (D^2/\lambda)$
η περιοχή καλείται **near radiative**
- Υπενθύμιση: οι ακτινοβολίες **RF** που
έχουν συχνότητα από 3 kHz – 300 GHz
❖ έχουν λ από μερικά mm - 100 km

Εγγύς πεδίο, μακρινό πεδίο

- Το reactive πεδίο είναι ο χώρος γύρω από την πηγή και έχει 'τάση' αποθήκευσης της ενέργειας
- Όποιος βρίσκεται σε αυτό απορροφά έντονα την ενέργεια του πεδίου
- Οι μετρήσεις στο reactive πεδίο αποδεικνύονται ιδιαίτερα δύσκολες, επειδή η τοποθέτηση, ακόμη και μικρού αισθητήρα, διαταράσσει σημαντικά το πεδίο
- Radiative είναι ο χώρος σε μεγαλύτερη απόσταση από την πηγή και έχει την 'τάση' να προωθεί την ενέργεια πιο μακριά

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Type of EMF	Non-ionizing Radiation						Ionizing Radiation
	Static EMF	Extremely Low Frequency EMF (ELF-EMF)	Intermediate Frequency EMF (IF-EMF)	High Frequency EMF		Light	Radiation
Frequency	Zero	Below 300 Hz (50 to 60 Hz: Power Transmission and Distribution Facilities) (60 Hz: Wire)	300 Hz to 10 MHz (20 to 30 kHz: 50 Street Power)	10 MHz to 300 MHz	300 MHz to 3 GHz (2.4 GHz: Microwave Ovens)	3 GHz to 3,000 GHz (2.4 GHz)	Above 3,000 THz
Wavelength	None	Long	10' 10' 10'	10	1	10" 10" 10"	10' 10' Short
Main Sources and Usages	<ul style="list-style-type: none"> Geomagnetism Magnet Railway MRI 	<ul style="list-style-type: none"> Power Transmission and Distribution Facilities Appliance Power Supply Railway 	<ul style="list-style-type: none"> IH Stove Television, PC monitor Railway 	<ul style="list-style-type: none"> Radio Broadcasting Television Broadcasting 	<ul style="list-style-type: none"> Microwave Ovens Mobile Phone 	<ul style="list-style-type: none"> Satellite Television Broadcasting 	<ul style="list-style-type: none"> Sunlight X-ray

Note: The frequency unit "hertz (Hz)" represents the number of oscillations in a second, equal to the result obtained by dividing by the wavelength the speed, 300,000 kilometers per second (km/s) at which an electromagnetic wave propagates.
kilo- (k) = 10³, mega- (M) = 10⁶, giga- (G) = 10⁹, tera- (T) = 10¹².

Σύνδεση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου

- Στα επίπεδα ηλεκτρικά (E) και μαγνητικά (H) κύματα στον αέρα (μακρινό πεδίο)

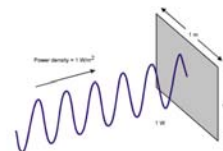
– το πηλίκο $E/H = 377 \text{ Ohm}$
είναι η σύνθετη κυματική αντίσταση του αέρα

- Η πυκνότητα ισχύος S , συνδέεται με τα E και H:

$$S = H \cdot E = E^2 / 377 = 377 H^2$$

αν η E σε V/m και η H σε A/m , τότε

η πυκνότητα ισχύος S μετράται σε W/m^2



Σύνδεση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου

- Τα E και B συνδέονται με τις **εξισώσεις Maxwell**:

$$\nabla \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + e \, d\vec{E}/dt \quad \text{και} \quad \nabla \times \vec{E} = - \, d\vec{B}/dt$$
 όπου $\vec{B} = \mu \times \vec{H}$ (για τον αέρα $\mu=1$)
- Στις χαμηλές συχνότητες οι ρυθμοί μεταβολής dE/dt και dB/dt των πεδίων με το χρόνο είναι πολύ μικροί και θεωρούνται αμελητέοι
- Επιπλέον, η αγωγιμότητα του αέρα είναι ασήμαντη, οπότε τα E και B είναι ασύζευκτα
- Στις χαμηλές συχνότητες δεν 'υπάρχει' ΗΜ κύμα, αλλά **δύο ανεξάρτητα πεδία**: το ηλεκτρικό και το μαγνητικό

Μέτρηση της επίδρασης της μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας στους ιστούς

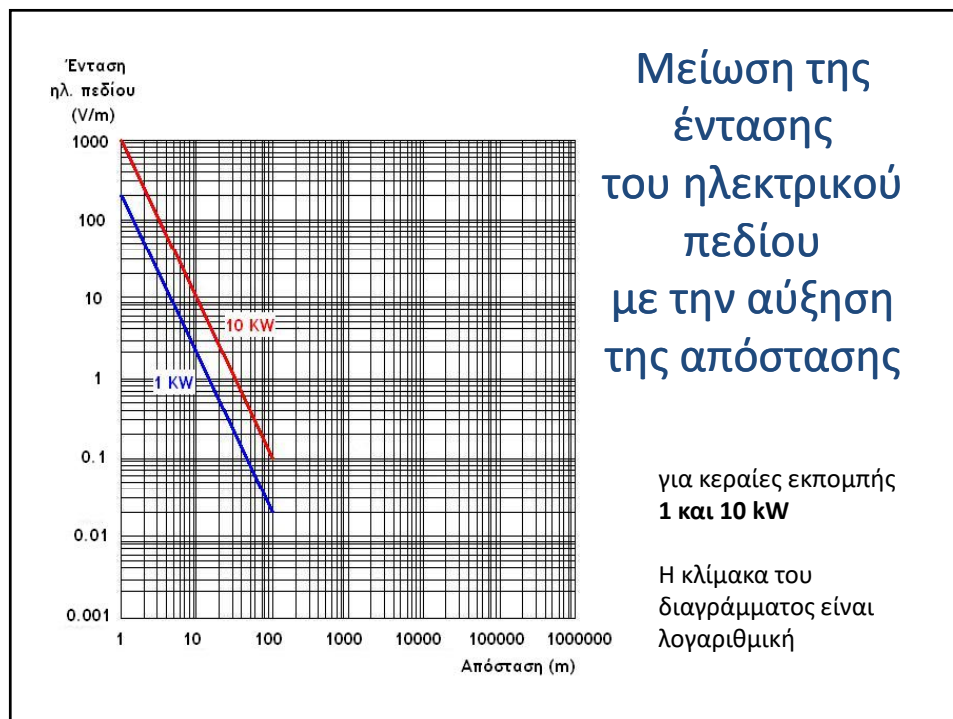
Βασικό χαρακτηριστικό για τη μελέτη των βιολογικών επιδράσεων και τη **δοσιμετρία** της μη ιοντίζουσας ΗΜ ακτινοβολίας αποτελεί η **συχνότητά** της:

- Στις **χαμηλές συχνότητες (0-100 kHz)** το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι ασύνδετα μεταξύ τους
- Γι' αυτό στις χαμηλές συχνότητες γίνεται μέτρηση του ηλεκτρικού (E) **και** του μαγνητικού πεδίου (B)

Μέτρηση της επίδρασης της μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας στους ιστούς

– Για **συχνότητες > 3 MHz** η ένταση του ηλεκτρικού (**E**) και του μαγνητικού πεδίου (**B**) συνδέονται μεταξύ τους όπως και με το τρίτο μέγεθος, την **πυκνότητα ισχύος**

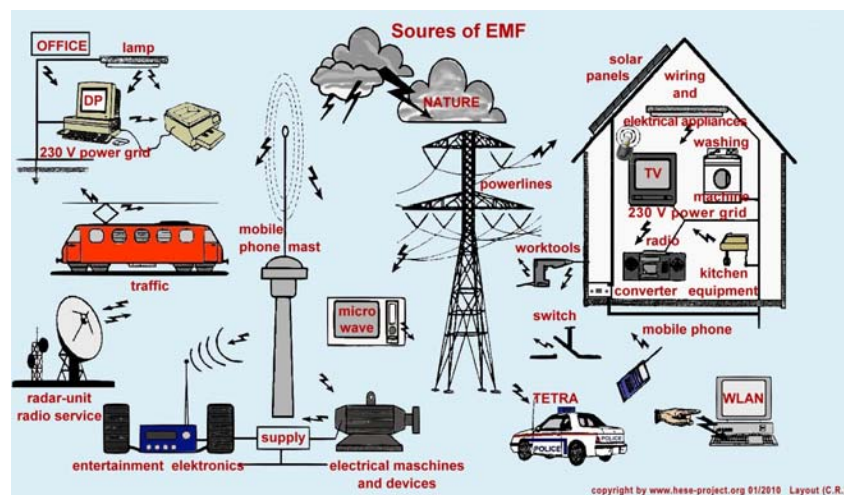
- Αρκεί η μέτρηση ενός εκ των δύο πεδίων (συνήθως του E) για τον προσδιορισμό του άλλου και της πυκνότητας ισχύος
- Η πυκνότητα ισχύος εξασθενεί με την απόσταση από την πηγή εκπομπής της ακτινοβολίας, ακολουθώντας το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου της απόστασης



ΗΜ ακτινοβολία και περιβάλλον

- **Φυσική ΗΜ ακτινοβολία** υπάρχει συνεχώς στη Γη
- Κάθε ζωντανός οργανισμός υπόκειται στην επίδραση **φυσικών** ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στατικών ή μη
- Κατά την διάρκεια του 20^{ου} αιώνα η “περιβαλλοντική” έκθεση σε τεχνητές πηγές ΗΜ ακτινοβολίας αυξήθηκε ραγδαία, εξαιτίας
 - των εφαρμογών του ηλεκτρισμού,
 - της ανάπτυξης της ασύρματης τεχνολογίας και των εφαρμογών της (ιδίως της κινητής τηλεφωνίας, του ασύρματου διαδικτύου και της ψηφιακής τηλεόρασης),
 - καθώς επίσης και των αλλαγών στις εργασιακές σχέσεις και τη ζωή στην κοινωνία.
- **Σήμερα, οι άνθρωποι εκτίθενται καθημερινά σε πλήθος ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων σε διάφορες συχνότητες**, τόσο στο χώρο κατοικίας όσο και στο χώρο εργασίας.

Ραδιοσυχνότητες και ραδιοκύματα στο περιβάλλον



Ραδιοκύματα

- Είναι ΗΜ κύματα με συχνότητα (περίπου) 3 kHz ως 300 GHz
- Τα μικροκύματα είναι υποσύνολο των ραδιοκυμάτων με συχνότητες (περίπου) από 300 MHz μέχρι 3 GHz
- Η πλέον σημαντική εφαρμογή των ραδιοκυμάτων είναι οι τηλεπικοινωνίες: Οι ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές, τα κινητά τηλέφωνα, τα ασύρματα τηλέφωνα, οι επικοινωνίες της αστυνομίας και της πυροσβεστικής, οι δορυφορικές εκπομπές πραγματοποιούνται μεταδίδοντας ενέργεια ραδιοκυμάτων
- Άλλες χρήσεις των ραδιοκυμάτων: οι φούρνοι μικροκυμάτων, τα ραντάρ, τα ιατρικά μηχανήματα, βιομηχανικά συστήματα θέρμανσης για συγκόλληση και στεγανοποίηση
- Ιατρικές χρήσεις της ενέργειας των ραδιοκυμάτων είναι η **μαγνητική τομογραφία**, ο έλεγχος και ο προγραμματισμός **βηματοδοτών**, η **υπερθερμία** για την αντιμετώπιση και του καρκίνου

Ραδιοκύματα

- ❖ Τα ραδιοκύματα όταν συναντούν αντικείμενα (σκεδαστές) κατά τη διάδοσή τους
 - ανακλώνται (σκεδάζονται) μερικώς ή ολικώς,
 - απορροφούνται μερικώς ή ολικώς
 - διαθλώνται από το σκεδαστή
- ❖ Με μεταλλικό αντικείμενο
 - μεγάλο ποσοστό ανάκλασης
 - μικρό ποσοστό απορρόφησης
 - καθόλου διάθλαση-διάδοση
- ❖ Με ζωντανό ιστό
 - μικρό ποσοστό ανάκλασης
 - λίγο μεγαλύτερο ποσοστό απορρόφησης
 - μικρή διαδρομή στη διάδοση (μερικά εκατοστά)

Ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία

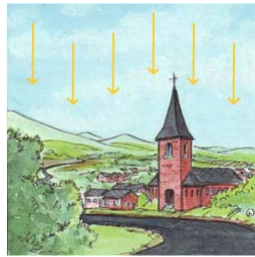
τυπικά μέγιστα σε αστικό περιβάλλον

Συχνότητα MHz	Ηλεκτρικό πεδίο V/m	Μαγνητικό πεδίο A/m	Πυκνότητα ισχύος mW/m ²
0,3 - 1	450	0,2 - 12	
3 - 30	350 - 1000	0,2	
300 - 2500	400 (συσκευή GSM 900)	0,8 (2 cm από συσκευή)	
			1 (50 m από σταθμό βάσης)
			500 (50 cm από φούρνο μικροκυμάτων)
3000			500 - 10000
10000 - 35000			2500 (traffic radar)

Φούρνος μικροκυμάτων

- Στους φούρνους μικροκυμάτων επιτρέπεται διαρροή 5 mW/cm^2 , δηλαδή 50.000 mW/m^2 , σε απόσταση περίπου 5 cm
- Εφόσον η ισχύς μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης, σε μισό μέτρο μακριά, η ισχύς του σήματος δεν θα υπερβαίνει τα $0,05 \text{ mW/cm}^2$ ή 500 mW/m^2
- Το επίπεδο αναφοράς για τη συχνότητα λειτουργίας του είναι 10 W/m^2 , δηλαδή 10.000 mW/m^2

Ηλεκτρικά πεδία, αστραπές και κεραυνοί -- ως 30 MHz



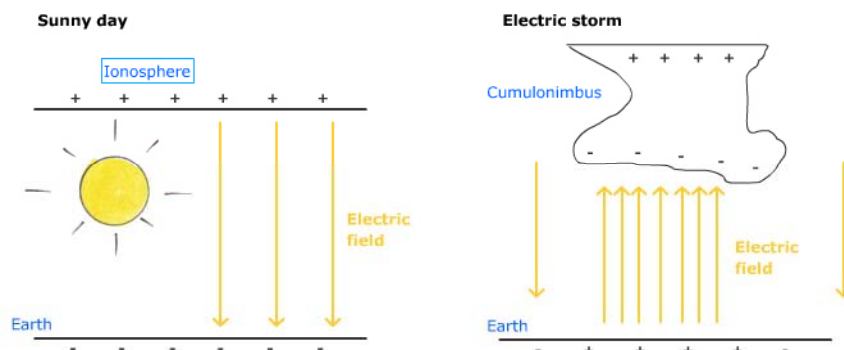
Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου
κυμαίνεται μεταξύ
100 και 150 V/m



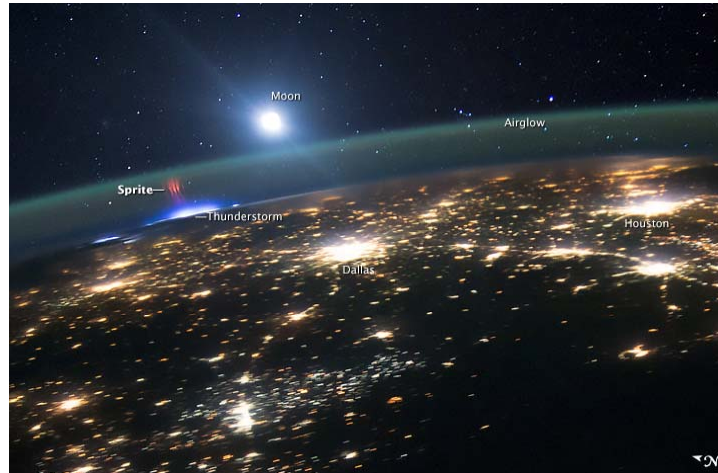
Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου
μπορεί να φτάσει τα
15 με 20 kV/m
(παλμοί διάρκειας περίπου
10-50 μs)

Ηλεκτρικά πεδία, αστραπές και κεραυνοί

Οι 'ηλεκτρικές' καταιγίδες συνδέονται με ένα συγκεκριμένο είδος σύννεφου: cumulonimbus, η κορυφή του οποίου μπορεί να βρίσκεται περισσότερο από 12.000 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της γης. Τα αρνητικά φορτία συσσωρεύονται στη βάση του σύννεφου και τα θετικά στην πάνω επιφάνειά του



Γιγάντιοι «κόκκινοι κεραυνοί» φωτογραφήθηκαν από το Διάστημα



Το «κόκκινο ξωτικό» πάνω από τις ΗΠΑ (Πηγή: NASA)

[Δημοσίευση: 26 Αυγ. 2015](#)

Γιγάντιοι «κόκκινοι κεραυνοί» φωτογραφήθηκαν από το Διάστημα

- ✓ Στη διάρκεια μεγάλης καταιγίδας πάνω από την αμερικανική ήπειρο, οι αστροναύτες του τροχιακού εργαστηρίου πρόλαβαν να φωτογραφίσουν ηλεκτρική εκκένωση γνωστή ως 'red sprites' ή «κόκκινα ξωτικά» σε ελεύθερη απόδοση.
- ✓ Το φαινόμενο πιστεύεται ότι είναι σύνηθες, σπάνια όμως γίνεται αντιληπτό από το έδαφος, αφού διαρκεί μόνο 20 χιλιοστά του δευτερολέπτου και εκτυλίσσεται σε ύψος δεκάδων χιλιομέτρων.
- ✓ Τα 'κόκκινα ξωτικά' είναι ουσιαστικά ηλεκτρικές εκκενώσεις παρόμοιες με τους κεραυνούς. Εμφανίζονται συνήθως πάνω από μεγάλες καταιγίδες και πιστεύεται ότι προκαλούνται από τη συσσώρευση ηλεκτρικών φορτίων.
- ✓ Όπως συμβαίνει και με τους κεραυνούς, οι εκκενώσεις των 'κόκκινων ξωτικών' κινούνται από πάνω προς τα κάτω. Η διαφορά είναι ότι οι κεραυνοί δημιουργούν ακραία υψηλές θερμοκρασίες, ενώ τα 'ξωτικά' είναι σχετικά ψυχρά φαινόμενα που σχετίζονται με κρύο πλάσμα ή ιονισμένο αέριο.

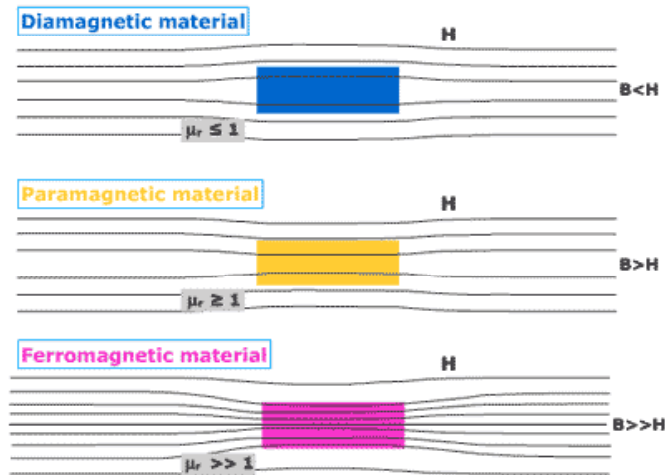
Στην επιφάνεια της γης

- “κυριαρχούν” ΗΜΑ με συχνότητες **30 MHz** ως **30 GHz** (εξαιτίας των ιδιοτήτων διαπερατότητας της ατμόσφαιρας)
- Οι ΗΜΑ είναι
 - Γήινες, εφόσον σχετικά θερμή επιφάνεια εδάφους εκπέμπει σε RF. Η Πυκνότητα ισχύος είναι της τάξεως των **mW/m²**
 - Εξωγήινες – από τον ήλιο και όλο τον ουρανό, στην περιοχή των **μικροκυμάτων**. Πυκνότητα ισχύος της τάξεως των **μW/m²**

Μαγνητικό πεδίο

- Το μέγεθος **H** αναφέρεται στην ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κενό (δηλ. ανεξάρτητα από το μέσο) και μετρείται σε **A/m**
- Το μέγεθος μαγνητική επαγωγή **B**, αναφέρεται στην ένταση του μαγνητικού πεδίου μέσα σε ένα συγκεκριμένο μέσο και μετρείται σε **tesla (T)**
- Μεταξύ αυτών ισχύει η σχέση **$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H$**
όπου **μ** η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του μέσου (σε σχέση με τον αέρα)
Για τα βιολογικά υλικά δεχόμαστε **$\mu = 1$**
- **μ_0** = η απόλυτη μαγνητική διαπερατότητα του κενού με τιμή **$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Henry/m**

Σχέση της μαγνητικής επαγωγής **B** με την ένταση του μαγνητικού πεδίου **H**



Μονάδες μέτρησης της έντασης του μαγνητικού πεδίου

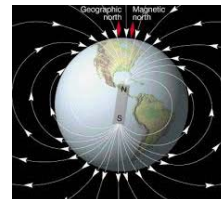
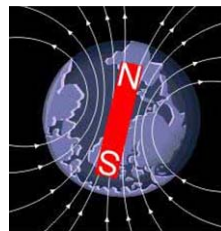
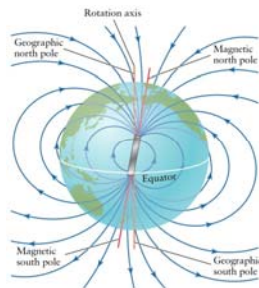
Η σχέση μονάδων μεταξύ **B** και **H** είναι:

- $10^{-4} \text{ T} = 100 \mu\text{T} = 79,58 \text{ A/m}$
- Για μικρότερες εντάσεις του μαγνητικού πεδίου, αντί του **Tesla (T)** χρησιμοποιούμε το **Gauss (G)**
- $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$ ή
- $1 \text{ G} = 79,58 \text{ A/m}$ ή
- $100 \mu\text{T} = 79,58 \text{ A/m}$

Μονάδες μέτρησης της έντασης πεδίων

- Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E μετράται σε V/m
- Η ένταση του μαγνητικού πεδίου H σε A/m , με:
 - $1G = 10^{-4} T$ ή
 - $1G = 79,58 A/m$ ή
 - $100 \mu T = 79,58 A/m$
- Η πυκνότητα ισχύος, μετράται σε W/m^2 , με:
 - $1 W/m^2 = 1000 mW/m^2 = 0,1 mW/cm^2 = 100 \mu W/cm^2$

Μαγνητικό πεδίο της γης



- Ένταση γήινου μαγνητικού πεδίου στην επιφάνεια της γης:
25 ~ 65 μTesla
- Στην Ελλάδα: 45 μTesla (μέση τιμή)
- εντός οικιών: 0,1 ~ 0,5 μTesla (= 0,08 – 0,40 A/m)

Μαγνητικό πεδίο στο σπίτι

Πηγή	Μαγνητική επαγωγή σε μT για απόσταση από την πηγή		
	3 cm	30 cm	1 m
Ηλεκτρικές εστίες μαγειρέματος	6 – 200	0,35 – 4	0,01 – 0,1
Ηλεκτρικοί φούρνοι	1 – 50	0,15 – 0,5	0,01 – 0,04
Φούρνοι μικροκυμάτων	75 – 200	4 – 8	0,25 – 0,6
Ψυγεία	0,5 – 1,7	0,01 – 0,25	<0,01
Πλυντήρια πιάτων	3,5 – 20	0,6 – 3	0,07 – 0,3
Πλυντήρια ρούχων	0,8 – 50	0,15 – 3	0,01 – 0,15
Στεγνωτήρια ρούχων	0,3 – 8	0,08 – 0,3	0,02 – 0,06
Ανεμιστήρες	2 – 30	0,03 – 4	0,01 – 0,35
Ηλεκτρικά σίδερα	8 – 30	0,12 – 0,3	0,01 – 0,25
Φορητές θερμάστρες	10 – 180	0,15 – 5	0,01 – 0,25
Καφετιέρες	1,8 – 25	0,08 – 0,15	<0,01
Τοστιέρες	7 – 18	0,06 – 0,7	<0,01
Ηλεκτρικές σκούπες	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
Μίξερ	60 – 700	0,6 – 10	0,02 – 0,25
Τηλεοράσεις	2,5 – 50	0,04 – 2	<0,01 – 0,15
Λάμπες φθορισμού γραφείου	40 – 400	0,5 – 2	0,02 – 0,25
Λάμπες φθορισμού οροφής	15 – 200	0,2 – 4	0,01 – 0,3
Στεγνωτήρες μαλλιών	6 – 2000	<0,01 – 7	<0,01 – 0,3
Ξυριστικές μηχανές	15 – 1500	0,08 – 9	<0,01 – 0,3
Δράπανα	400 – 800	2 – 3,5	0,08 – 0,2
Ηλεκτρικά πριόνια	250 – 1000	1 – 25	0,01 – 1

Πίνακας 1. Μαγνητική επαγωγή στο περιβάλλον οικιακών συσκευών και εργαλείων.

Μαγνητικό πεδίο σε άλλους χώρους

- Τυπικό γραφείο (στις ΗΠΑ): ως 0,2 μT
- Σουηδικό κατάστημα: 673 μT
- Παραγωγή αλουμινίου : γενικό επίπεδο ως 1000 μT
- Φωτοβολταϊκά (κοντά σε μετασχηματιστή)
 - Συνεχούς ρεύματος: ως 30 μT
 - Εναλλασσόμενου: ως 200 μT
- Διαθερμίες: ως 2,5 μT
- **MRI**
 - Στατικό πεδίο: ως 3 T
 - Βαθμιδωτό πεδίο: ως 50 T/s
 - Πεδίο από τα πηνία RF: ως 12,5 μT
- **MRI** προσωπικό: ως 10 T
- **MRI** εξεταζόμενοι: ως 7 T

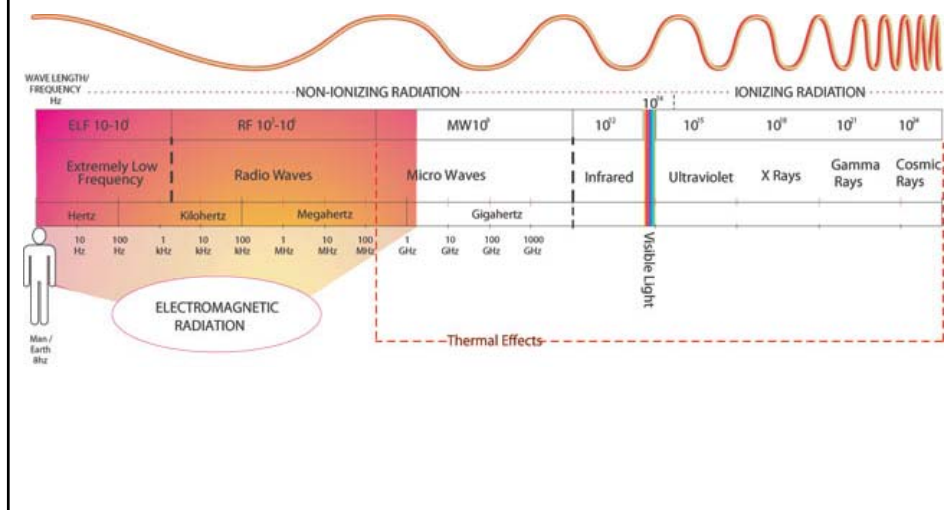
Blue: Blue light treatment of jaundice in babies**Όρια ασφαλούς έκθεσης για τη συχνότητα των 50 Hz (συχνότητα ηλεκτρικής ενέργειας)**

- Γενικός πληθυσμός
 - Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E): **5 kV/m**
 - Μαγνητική επαγωγή (B): **100 μ T**
- Εργαζόμενοι
 - Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E): **10 kV/m**
 - Μαγνητική επαγωγή (B): **500 μ T**
- Όμως, με μέση ημερήσια τιμή μαγνητικού πεδίου μεγαλύτερου από **0,4 μ T**, παρατηρήθηκαν ενδείξεις διπλασιασμού του κινδύνου παιδικής λευχαιμίας

Επίδραση ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων RF ΗΜ ακτινοβολίας στον ζωντανό ιστό

- Μέχρι τα 100 kHz το φυσικό μέγεθος που σχετίζεται με τις βιολογικές επιδράσεις της ΗΜΑ φαίνεται να είναι η ένταση του επαγόμενου ηλεκτρικού πεδίου πάνω και μέσα στον ιστό (αποτέλεσμα ανάλογο της πυκνότητας του επαγόμενου ρεύματος)
- Στις μεγαλύτερες συχνότητες το αντίστοιχο φυσικό μέγεθος είναι ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας του σώματος
- Η ενέργεια των ραδιοκυμάτων
 - Θέτει σε ταλάντωση διπολικά μόρια
 - Αυξάνει τη θερμοκρασία του ιστού
 - Ο ρυθμός της απορροφούμενης ενέργειας είναι ανάλογος της έντασης (στο τετράγωνο) του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου

Ο ρυθμός της απορροφούμενης ενέργειας για συχνότητες μεγαλύτερες από 100 kHz



Πώς προσδιορίζεται ποσοτικά (μαθηματικά) η απορροφούμενη ενέργεια από το ανθρώπινο σώμα και από ποιούς παράγοντες εξαρτάται;

- Εκτός από τη **συχνότητα και την ένταση** της ΗΜΑ, το βιολογικό αποτέλεσμα εξαρτάται σημαντικά και από τα **χαρακτηριστικά της πηγής** (διαμόρφωση σήματος, διεύθυνση διάδοσης, πόλωση, απόσταση, φυσικό περιβάλλον, συνθήκες γείωσης)
- Τη μεγαλύτερη σημασία για τη μελέτη των **βιολογικών αποτελεσμάτων** από την έκθεση στην μη ιοντίζουσα ΗΜ ακτινοβολία έχει ο ποσοτικός προσδιορισμός του ρυθμού της ενέργειας της ΗΜ ακτινοβολίας που απορροφάται από τους ζωντανούς οργανισμούς:
- **Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης**
(Specific Absorption Rate – **SAR**)

Δοσιμετρία

$$\text{SAR} = \frac{\sigma}{\rho} E^2 \text{ (W/kg)}$$

- σ : ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του βιολογικού ιστού (**Siemens/m**) στη συγκεκριμένη συχνότητα
- ρ : η πυκνότητα του βιολογικού ιστού (**kg/m³**)
- E : η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (**V/m**) μέσα στον ιστό
- ❖ **SAR**: το ποσό της απορροφημένης ισχύος της ΗΜ ακτινοβολίας από τη μονάδα μάζας ενός ιστού (**W/kg**)
- ❖ Υπολογίζεται ο μέσος όρος του **SAR**
 - ❖ για όλο το σώμα ή
 - ❖ για μέρη αυτού

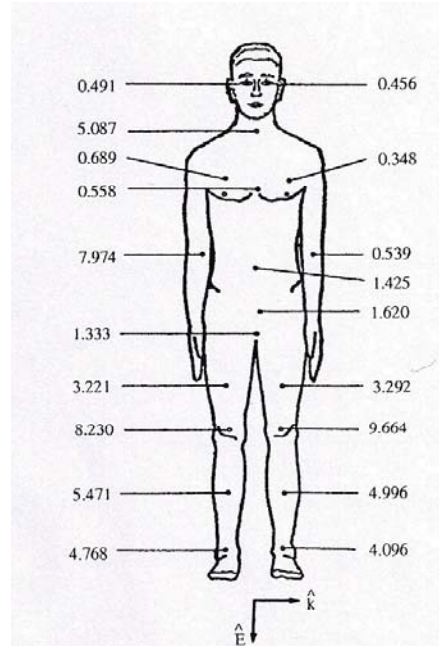
Η τιμή του SAR και η κατανομή του
μέσα στο σώμα εξαρτάται από:

- **τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας:**
 - συχνότητα
 - ένταση
 - πόλωση (προσανατολισμός άξονα σώματος ως προς E)
 - ρυθμός πρόσπτωσης του κύματος (συνεχές ή παλμικό)
- **τα χαρακτηριστικά του βιολογικού ιστού:**
 - μέγεθος – όγκος
 - βάρος
 - στάση του σώματος
 - καμπυλότητα της επιφάνειάς του
 - εσωτερική του δομή
(πυκνότητα, ειδική αγωγιμότητα, διηλεκτρική σταθερά)

Η τιμή του SAR και η κατανομή του ...συνέχεια
μέσα στο σώμα εξαρτάται από:

- **την απόσταση 'πηγής εκπομπής - βιολογικού αντικειμένου'**
($r < \lambda$ = εγγύς πεδίο, $r > \lambda$ = μακρινό πεδίο)
- **τη σχέση του ύψους** του σώματος και του μήκους κύματος της ακτινοβολίας
- **τα ενδύματα** (στην περιοχή των μικροκυμάτων, όπου το μήκος κύματος είναι συγκρίσιμο με το πάχος των ενδυμάτων)
- **η παρουσία εδάφους, ανακλαστικών επιφανειών και αγώγιμων υλικών** κοντά στο ανθρώπινο σώμα
- **αν η έκθεση είναι ολόσωμη ή τοπική**

Κατανομή σχετικών τιμών του SAR, όταν μέσο SAR=1, σε πεδίο με $S = 10 \text{ mW/cm}^2$ και προσαρμοσμένο 'λ' (προσαρμοσμένο στο ύψος του σώματος)



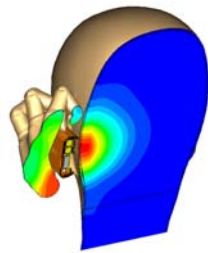
Κατανομή σχετικών τιμών του SAR στο ανθρώπινο σώμα

- Το ανθρώπινο σώμα απορροφά την μη ιοντιζουσα ακτινοβολία κατά τρόπο επιλεκτικό, διαφορετικό δηλαδή
 - για κάθε συχνότητα και
 - για κάθε είδος ιστού
- Η μεγαλύτερη απορρόφηση εμφανίζεται σε συχνότητες από 30 – 300 MHz (σύζευξη)
- Για συχνότητες > 1 MHz σημαντικός παράγοντας αναδεικνύεται ο προσανατολισμός του σώματος σε σχέση με το επίπεδο ταλάντωσης του προσπίπτοντος ηλεκτρικού πεδίου (το σώμα συμπεριφέρεται ως κεραία λήψης σήματος)
- Μεγίστη απορρόφηση, ανά είδος ιστού, εμφανίζουν σημεία του σώματος, όπως:
 - λαιμός
 - πόδια
 - αγκώνες
 - γόνατα
- Για συχνότητες > 1 GHz η απορρόφηση της ενέργειας περιορίζεται στο επιφανειακό στρώμα (δέρμα)

Όρια επιτρεπτής έκθεσης (ICNIRP) περιοχή συχνοτήτων 100 kHz -10 GHz

	SAR (μέση τιμή για όλο το σώμα και για διάστημα μέτρησης 6 min) W/kg	SAR (μέση τιμή για 10 gr ιστού κορμού και κεφαλής και για διάστημα μέτρησης 6 min) W/kg	SAR (μέση τιμή για 10 gr ιστού στα άκρα και για διάστημα μέτρησης 6 min) W/kg
Γενικός πληθυσμός	0,08	2	4
Εργαζόμενοι	0,4	10	20

SAR distribution averaged over 1g following the IEEE C95.3 standard



Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users

Andreas Christ¹, Marie-Christine Gosselin¹, Maria Christopoulou²,
Sven Kühn^{1,3} and Niels Kuster^{1,3}

¹ Foundation for Research on Information Technologies in Society (ITIS), Zeughausstr. 43,
8004 Zürich, Switzerland
² National Technical University of Athens, School of Electrical and Computer Engineering,
9 Iovon Polytechnic Str., 15701 Athens, Greece
³ Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ), Ramstein, 101, 8092 Zürich, Switzerland

E-mail: christ@itis.ethz.ch

Received 18 August 2009, in final form 6 January 2010
Published 5 March 2010
Online at stacks.iop.org/PMB/55/1767

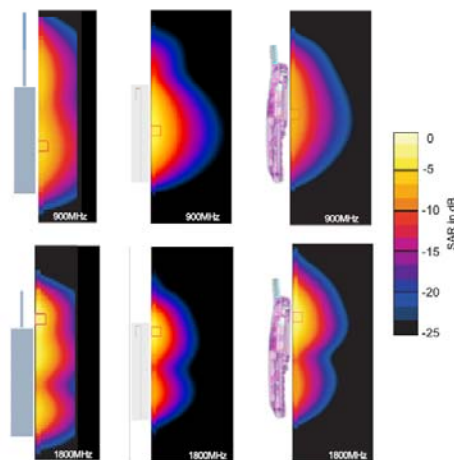


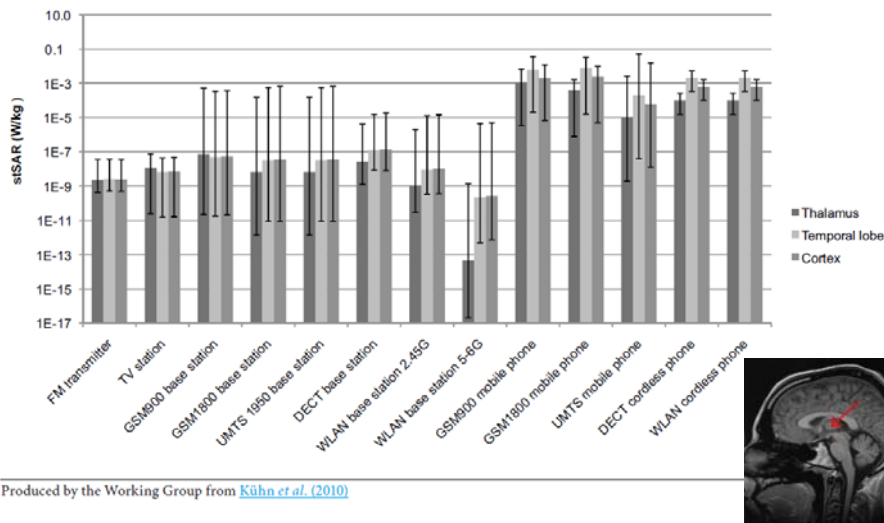
Figure 3. Cross section of the 1 g spatial average SAR distribution in a flat phantom filled with tissue simulant (IEEE 2003) in the plane of the SAR maximum for the three phone models (left: generic monopole, center: generic integrated, right: T250) at a distance of 2 mm and 1 W radiated power (0 dB \pm 25 W kg⁻¹). The red square marks the location of the psSAR.

Όρια επιτρεπτής έκθεσης (ICNIRP) περιοχή συχνοτήτων 100 kHz -10 GHz

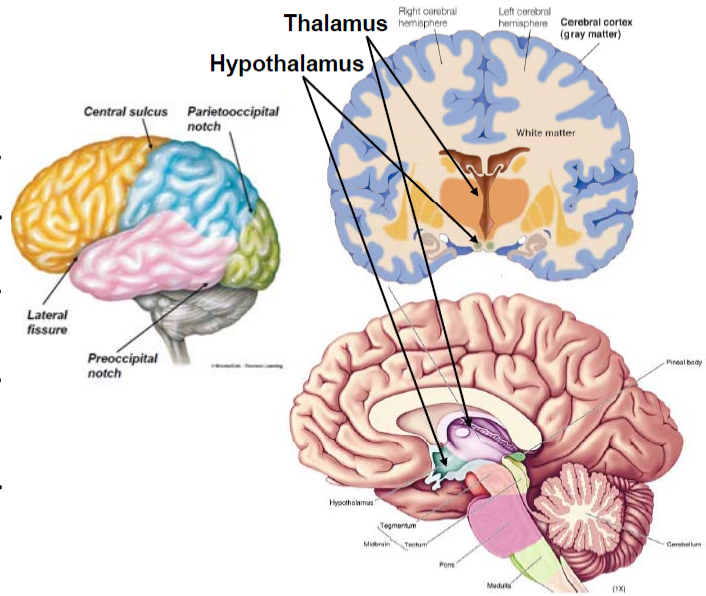
- Όσον αφορά στις τερματικές συσκευές, η ICNIRP έχει θεσπίσει ως όριο SAR από τα κινητά τηλέφωνα
- Στο κεφάλι την τιμή **2 W/kg** μάζας, όταν λαμβάνεται ο μέσος όρος της απορρόφησης σε 10 γραμμάρια μάζας συνεχούς ιστού στο κεφάλι, για μία περίοδο 6 λεπτών
- Αυτό το όριο έχει υιοθετήσει η ΕΕ και η Ελλάδα

IARC MONOGRAPHS – 102

Fig. 1.13 Estimated tissue-averaged specific absorption rate (stSAR) of the thalamus, temporal lobe and cortex of the brain, induced by various transmission sources

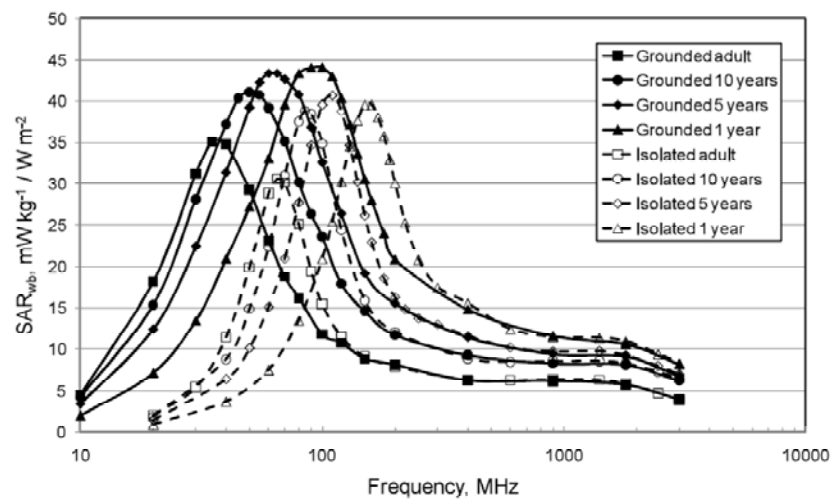


Θάλαμος – Υποθάλαμος –
Εγκεφαλικός φλοιός –
Κροταφικός λοβός



Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Τιμή ολόσωμου SAR για τυπικές διαστάσεις
ανθρώπινου σώματος / μονάδα πυκνότητας ισχύος



Είναι θεσμοθετημένα τα όρια για την προστασία του κοινού από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ?

Τα όρια αυτά έχουν επιστημονική βάση ?

- Η Ε.Ε υιοθέτησε τα όρια ICNRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection –Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες) για την προστασία του κοινού, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις σχετικές κατευθυντήριες γραμμές της
- Η ICNRP είναι μία ανεξάρτητη επιστημονική οργάνωση, μεγάλου κύρους, επίσημα αναγνωρισμένη από τον WHO και την Ε.Ε. που ασχολείται με την προφύλαξη των ανθρώπων από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες
- Έχει ως μέλη διεθνώς αναγνωρισμένους επιστήμονες που καλύπτουν επιστημονικές περιοχές της ιατρικής, της βιολογίας, της επιδημιολογίας

Πώς προέκυψαν τα όρια της ICNRP;

- Η **ICNRP** αφού αξιολόγησε το σύνολο των δημοσιευμένων ερευνών σχετικά με τις βιολογικές επιδράσεις της ΗΜ ακτινοβολίας στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων,
- **κατέληξε** ότι οι μόνες επιδράσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για τη θέσπιση ορίων έκθεσης των ανθρώπων είναι αυτές που οφείλονται στην **αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών** από την απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από το σώμα κατά **1° C**

Τι σημαίνει αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά 1 °C σε σχέση με την απορρόφηση ΗΜ ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα;

- Οι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί του ανθρώπινου σώματος αντέχουν μέχρι ένα ρυθμό απορρόφησης 4 W/kg, αποτρέποντας μέχρι το όριο αυτό, οποιαδήποτε αισθητή αύξηση της θερμοκρασίας του οργανισμού
- Η αύξηση κατά 1 °C γίνεται με την απορρόφηση ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα με ρυθμό απορρόφησης (SAR) ίσο με **4 W/kg** σωματικού βάρους υπολογισμένο ως μέση τιμή σε ολόκληρο το σώμα
- Για να συμπεριληφθούν επιστημονικές αβεβαιότητες, αυτό το επίπεδο κατωφλίου μειώθηκε με ένα συντελεστή ασφαλείας ίσο με **10** και έτσι προέκυψε η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του SAR **0,4 W/kg (επαγγελματική έκθεση)**
- Θέτοντας έναν επιπλέον συντελεστή ασφαλείας ίσο με **5** για το **γενικό πληθυσμό**, καθορίστηκε αντίστοιχη μέγιστη τιμή **0,08 W/kg** υπολογισμένη ως μέση τιμή για ολόκληρο το σώμα και για χρονικό διάστημα μέτρησης 6 λεπτών
- Με παρόμοιο σκεπτικό προέκυψαν αντίστοιχα όρια για τον περιορισμό της έκθεσης τιμημάτων του ανθρώπινου σώματος σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία

Γιατί χρησιμοποιείται υψηλότερος παράγοντας μείωσης στις οδηγίες έκθεσης του γενικού πληθυσμού ?

- Ο επαγγελματικά εκτιθέμενος πληθυσμός αποτελείται από ενήλικες εργαζόμενους οι οποίοι, γενικά, είναι ενημερωμένοι για την ύπαρξη των ΗΜ πεδίων και για τα αποτελέσματά τους
- Οι εργαζόμενοι εκπαιδεύονται ώστε να γνωρίζουν τον πιθανό κίνδυνο και να λαμβάνουν τις απαραίτητες προφυλάξεις
- Αντίθετα, ο γενικός πληθυσμός αποτελείται από άτομα όλων των ηλικιών με κυμαινόμενη κατάσταση υγείας, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις δεν γνωρίζουν ότι εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- Επιπλέον, οι εργαζόμενοι τυπικά εκτίθενται μόνο κατά τη διάρκεια της εργάσιμης ημέρας (συνήθως 8 ώρες την ημέρα), ενώ ο γενικός πληθυσμός μπορεί να είναι εκτεθειμένος μέχρι και 24 ώρες την ημέρα

Όταν δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός SAR

- Για τις περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η απευθείας εκτίμηση της απορροφούμενης ισχύος από τους ιστούς, ορίζονται από την ICNRP **επίπεδα αναφοράς** που αντιστοιχούν σε μεγέθη που μπορούν να μετρηθούν
- Ο υπολογισμός των πεδίων αναφοράς από τους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς έχει πραγματοποιηθεί για τις δυσμενέστερες συνθήκες (σύζευξη του ανθρώπινου σώματος με τα ΗΜ πεδία)

Τα επίπεδα αναφοράς που προτείνονται από την ICNIRP

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

Μεγέθη δοσιμετρίας στη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία

➤ **Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης SAR (W/kg):**

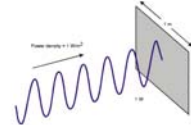
- Συνθήκες έκθεσης
- Εκτιθέμενο σώμα

➤ **Δυσκολία εκτίμησης και μέτρησης του SAR**

➤ **Η πυκνότητα ισχύος ισοδύναμου επιπέδου κύματος (mW/cm²)**

χρησιμοποιείται συχνά ως παράμετρος ηλεκτρομαγνητικής δοσιμετρίας

- Χαρακτηριστικό πηγής (μακρινό πεδίο)
- Ανεξαρτησία από το εκτιθέμενο σώμα



- Η πυκνότητα ισχύος, μας πληροφορεί έμμεσα μόνο για την ποσότητα ενέργειας που θα απορροφήσει το σώμα μας, όταν βρεθεί στο ακτινοβολούμενο σημείο
- Ουσιαστικά η πυκνότητα ισχύος είναι ένα μέτρο των συνθηκών που επικρατούν σε ένα σημείο, πριν βρεθούμε σ' αυτό

- Το σώμα μας, θα απορροφήσει ένα μέρος μόνο της ενέργειας αυτής και μάλιστα όχι απαραίτητως ομοιόμορφα

Πυκνότητα ισχύος και εντάσεις πεδίων

- Για τη μέγιστη επιτρεπόμενη πυκνότητα ισχύος

$$S = 0,2 \text{ mW/cm}^2 \text{ (γεν.πληθυσμός)}$$

στη περιοχή από **10 - 400 MHz,**

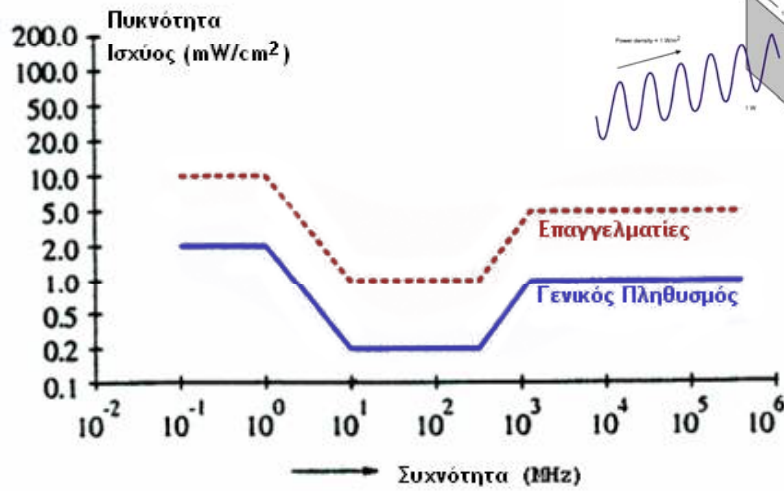
οι αντίστοιχες τιμές των E και H προκύπτουν με βάση τους τύπους $S=E^2/377$ και $E/H=377$ (για επίπεδο κύμα πάντα)

$$-E = 27,5 \text{ V/m} \text{ και}$$

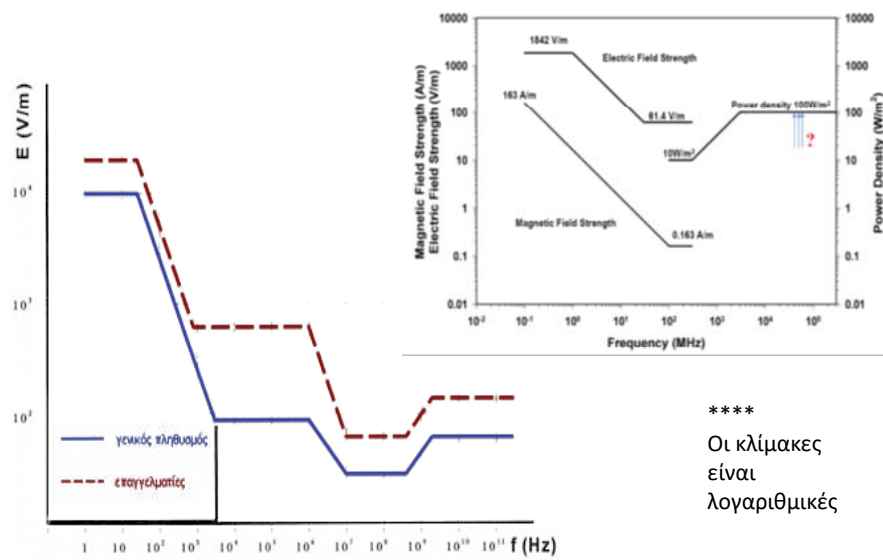
$$-H = 0,73 \text{ A/m}$$

Όρια έκθεσης εργαζομένων και γενικού πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (πυκνότητα ισχύος)

Η κλίμακα δεν είναι γραμμική



Όρια έκθεσης εργαζομένων και γενικού πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (ηλεκτρικό + μαγνητικό πεδίο)



Οι κλίμακες είναι
λογαριθμικές

Επίπεδα αναφοράς για τον γενικό πληθυσμό και τους εργαζόμενους (*) σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων

εφαρμογή	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου (A/m)	Πυκνότητα ισχύος ισοδυνάμου επιπέδου κύματος (W/m ²)
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	41 (90*)	0,11(0,24*)	4,5 (22,5*)
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	58 (127*)	0,16(0,34*)	9 (45*)
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	61 (137*)	0,16(0,36*)	10 (50*)
Ασύρματα δίκτυα 2400 MHz (WiFi)	61 (137*)	0,16(0,36*)	10 (50*)

Όρια αποδεκτής έκθεσης

- Παρόλα αυτά θεωρείται ότι δεν προστατεύεται η δημόσια υγεία από τους **δυναμικούς κινδύνους των μη θερμικών βλαβών**, της ΗΜ ακτινοβολίας, διότι μελέτες αποδεικνύουν ότι έχουμε βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό και στο περιβάλλον, ακόμα και όταν η ένταση της ακτινοβολίας είναι κάτω από αυτά τα όρια έκθεσης
- Δεν είναι άλλωστε τυχαίο το ότι σε αρκετές χώρες ισχύουν πολύ πιο αυστηρά «όρια αποδεκτής έκθεσης»
- Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του **Βελγίου**, όπου ψηφίστηκε στη Βουλή, στις 16 Φεβρουαρίου 2007, δραστική μείωση των «ορίων αποδεκτής έκθεσης» σε ηλεκτρικό πεδίο
 - από **27 V/m** σε **3 V/m** (στη 'ευαίσθητη' περιοχή των **10 - 400 MHz**)

Τιμές αποδεκτής έκθεσης στην ακτινοβολία από κεραίες κινητής τηλεφωνίας

- η πλειονότητα των κεραιών βάσης κινητής τηλεφωνίας **ενέχει κινδύνους για τους μονίμως διαμένοντες** (24 ώρες το 24ωρο) στις **πλησίον** ευρισκόμενες κατοικίες
- Οι τιμές που έχουμε μετρήσει εντός οικιών (μέγιστο μέχρι και 8,0 V/m) είναι μεγαλύτερες από τα όρια που ισχύουν στις «αυστηρές» χώρες

Exposure limits for the general public for electromagnetic fields in inhabited areas

(situation April 2011)

Country	50 Hz (ELF)		900 MHz (GSM)			1800 MHz (GSM)			2100 MHz (UMTS)		
	electric field strength	magnetic flux density	electric field strength	magnetic flux density	equivalent plain wave power density	electric field strength	magnetic flux density	equivalent plain wave power density	electric field strength	magnetic flux density	equivalent plain wave power density
	(V/m)	(μ T)	(V/m)	(μ T)	(W/m ²)	(V/m)	(μ T)	(W/m ²)	(V/m)	(μ T)	(W/m ²)
Recommendation 1999/519/EC	5000	100	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Austria	[5000]	[100]	[41]	[0.14]	[4.5]	[58]	[0.20]	[9]	[61]	[0.20]	[10]
Belgium (Flanders)		10	21 ⁽¹⁾			29 ⁽¹⁾			31 ⁽¹⁾		
Bulgaria	- ⁽²⁾	- ⁽²⁾			0.1			0.1			0.1
Cyprus	[5000]	[100]	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Czech Republic	5000	100	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Denmark	- ⁽³⁾	- ⁽³⁾									
France	5000 ⁽⁴⁾	100 ⁽⁴⁾	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Greece	5000	100	32 ⁽⁵⁾	0.11 ⁽⁵⁾	2.7 ⁽⁵⁾	45 ⁽⁵⁾	0.15 ⁽⁵⁾	5.4 ⁽⁵⁾	47 ⁽⁵⁾	0.16 ⁽⁵⁾	6 ⁽⁵⁾
Italy	⁽⁶⁾	3 ⁽⁶⁾	6 ⁽⁷⁾	0.02 ⁽⁷⁾	0.1 ⁽⁷⁾	6 ⁽⁷⁾	0.02 ⁽⁷⁾	0.1 ⁽⁷⁾	6 ⁽⁷⁾	0.02 ⁽⁷⁾	0.1 ⁽⁷⁾
Lithuania	500 ⁽⁸⁾				0.1			0.1			0.1

Exposure limits for the general public for electromagnetic fields in inhabited areas
(situation April 2011)

Country	50 Hz (ELF)		900 MHz (GSM)			1800 MHz (GSM)			2100 MHz (UMTS)		
	electric field strength (V/m)	magnetic flux density (μ T)	electric field strength (V/m)	magnetic flux density (μ T)	equivalent plane wave power density (W/m ²)	electric field strength (V/m)	magnetic flux density (μ T)	equivalent plane wave power density (W/m ²)	electric field strength (V/m)	magnetic flux density (μ T)	equivalent plane wave power density (W/m ²)
Recommendation 1999/519/EC	5000	100	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Luxembourg	5000 ⁽⁹⁾	100 ⁽⁹⁾	41 ⁽¹⁰⁾	0.14	4.5	58 ⁽¹⁰⁾	0.20	9	61 ⁽¹⁰⁾	0.20	10
<i>Poland</i>	<i>1000</i>	<i>75</i>	<i>7</i>		<i>0.1</i>	<i>7</i>		<i>0.1</i>	<i>7</i>		<i>0.1</i>
Slovenia	500 ⁽¹²⁾	10 ⁽¹²⁾	13 ⁽¹²⁾	0.04 ⁽¹²⁾	0.45 ⁽¹²⁾	18 ⁽¹²⁾	0.06 ⁽¹²⁾	0.9 ⁽¹²⁾	19 ⁽¹²⁾	0.06 ⁽¹²⁾	1 ⁽¹²⁾
Sweden	- ⁽¹³⁾	- ⁽¹³⁾	[41]	[0.14]	[4.5]	[58]	[0.20]	[9]	[61]	[0.20]	[10]
Australia	[5000] ⁽¹⁴⁾	[100] ⁽¹⁴⁾	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Russia	500	10			0.1			0.1			0.1
Switzerland		1 ⁽¹⁵⁾	4 ⁽¹⁶⁾			6 ⁽¹⁶⁾			6 ⁽¹⁶⁾		
U.S.A.	- ⁽¹⁷⁾	- ⁽¹⁷⁾			6			10			10

Exposure limits for the general public for electromagnetic fields in inhabited areas *

(situation April 2011)

- All limits are given as root mean square (rms) value
- Where necessary magnetic flux density was calculated from magnetic field strength using a magnetic permeability of $4\pi \times 10^{-7}$ H/m
- Normal typeface:
reference level for the external field in the meaning of Recommendation 1999/519/EC, derived from basic restriction
- Application is mandatory unless value is in square brackets
- *Italic typeface:*
mandatory exposure limit in terms of the external field outside the body

* Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields) Rianne Stam, Laboratory for Radiation Research, National Institute for Public Health and the Environment, the Netherlands

Notes for “Exposure limits for the general public for electromagnetic fields in inhabited areas”
(situation April 2011)

- 1) Regional regulation; maximum per antenna in Flanders or per site in Brussels: **3.0 V/m** at 900 MHz, **4.2 V/m** at 1800 MHz, **4.5 V/m** at 2100 MHz; maximum per antenna in **Wallonia: 3 V/m**
- 2) Minimal distances to power lines and to electrical distribution systems, differentiated by voltage; separate regulation for video display units
- 3) For new developments: agreement between local government and electricity sector to examine measures to **reduce magnetic fields if average yearly exposure above 0.4 μT**
- 4) For new or modified installations, technical conditions for electricity distribution
- 5) **For antenna stations closer than 300 m to “sensitive” locations (schools, kindergartens, hospitals, care homes)**; elsewhere **35 V/m, 0.11 μT, 3.1 W/m² at 900 MHz; 49 V/m, 0.16 μT, 6.3 W/m² at 1800 MHz; 51 V/m, 0.17 μT, 7 W/m² at 2100 MHz**
- 6) For new installations near homes, schools, playgrounds; 10 μT for existing installations near homes, schools, playgrounds; 1999/519/EC for all other places
- 7) **Near homes and their outdoor annexes, in schools and playgrounds, in places with stay greater than 4 hours**; elsewhere 20 V/m, 0.06 μT, 1 W/m²
- 8) Limit inside homes; **outside homes 1000 V/m**; suburban green zone, roads 10000 V/m; uninhabited 15000 V/m
- 9) Security conditions for electricity lines; there are also voluntary minimal distances to power lines for new developments
- 10) Limit per antenna 3.0 V/m
- 11) Recommendation to local government: create no new situations of long-term stay of children in magnetic flux density **greater than 0.4 μT around power lines**
- 12) Applies to homes, hospitals, health resorts, public buildings, tourism buildings, schools, nurseries, playgrounds, parks, recreational areas; otherwise limit for external electric and magnetic field strength equal to reference level in 1999/519/EC; for power frequency limits apply to new or reconstructed sources only
- 13) Reduce exposure radically deviating from natural background when possible at reasonable expense with reasonable consequences
- 14) **For continuous exposure**; for few hours per day 10000 V/m and 1 mT; for few minutes per day more than 10000 V/m or 1 mT, provided basic restriction is met
- 15) For new installations at places of sensitive use (buildings in which persons stay for longer periods, playgrounds); for existing installations limit for external electric field strength and magnetic flux density as reference level in 1999/519/EC, but optimise order of phases at places of sensitive use
- 16) **Limit per location for new and existing antenna installations at places of sensitive use** (buildings in which persons stay for longer periods, playgrounds); limit for aggregate exposure from multiple antenna locations equal to reference level in 1999/519/EC
- 17) No federal regulation; limits are set in some states, **other states have prudent avoidance policy** (measures to reduce exposure of the population at reasonable cost)

ΕΕ: Όριο στην ένταση μαγνητικού πεδίου 50 Hz

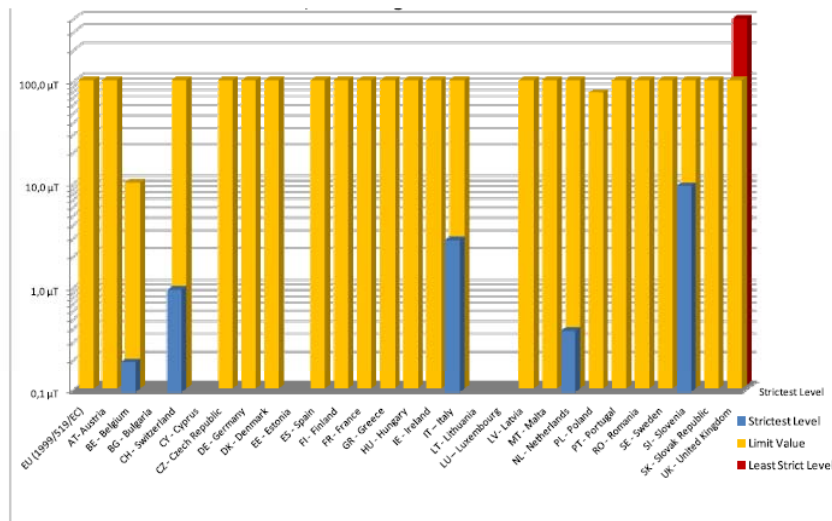


Figure 3 Overview of Limit Values in the MS for the magnetic flux [μT] at the power frequency 50 Hz

ΕΕ: Όριο στην ένταση ηλεκτρικού πεδίου 50 Hz

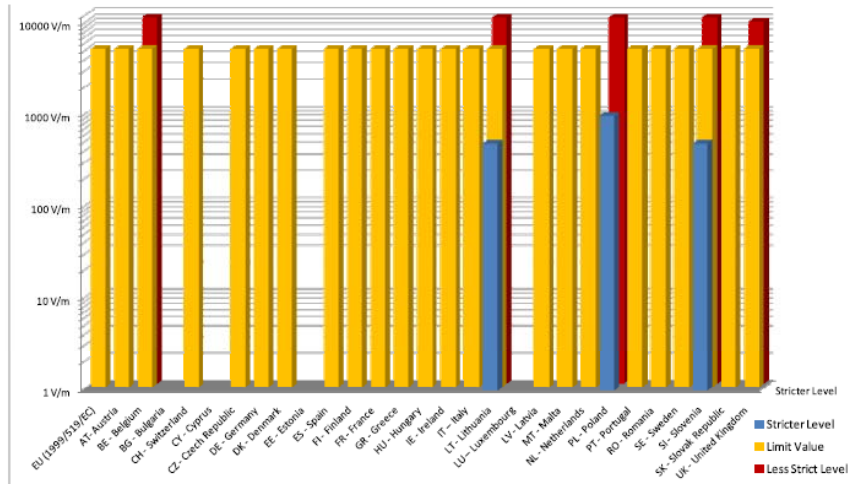


Figure 4 Overview of Limit Values in the MS for the electric field [V/m] at the power frequency 50 Hz

ΕΕ: Όριο στην ένταση ηλεκτρικού πεδίου 500 MHz

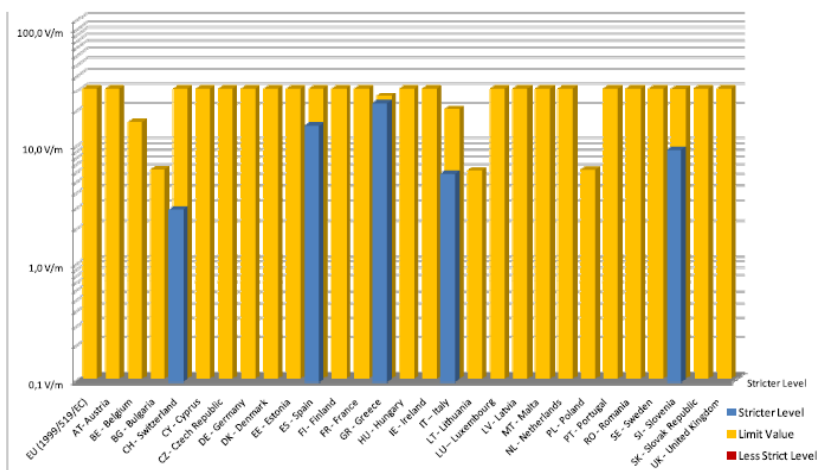


Figure 5 Overview of Limit Values in the MS for the electric field [V/m] for radio and TV broadcasting stations with a frequency of 500 MHz

ΕΕ: Όριο στην ένταση ηλεκτρικού πεδίου 940 MHz

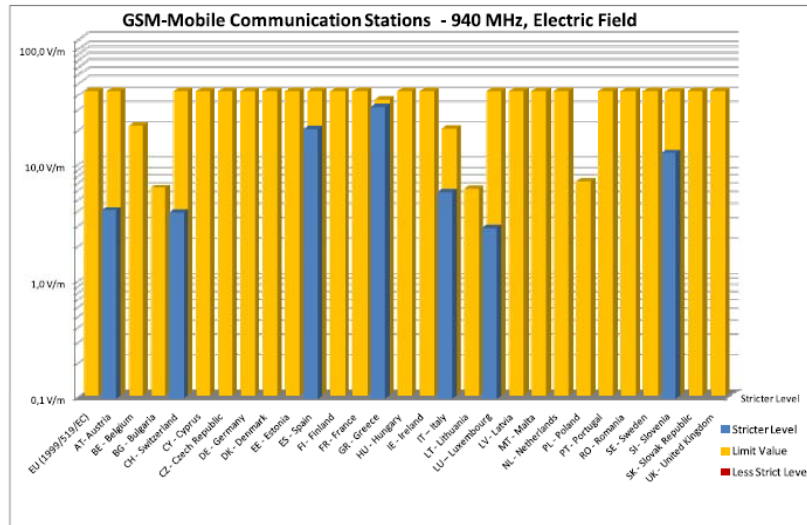
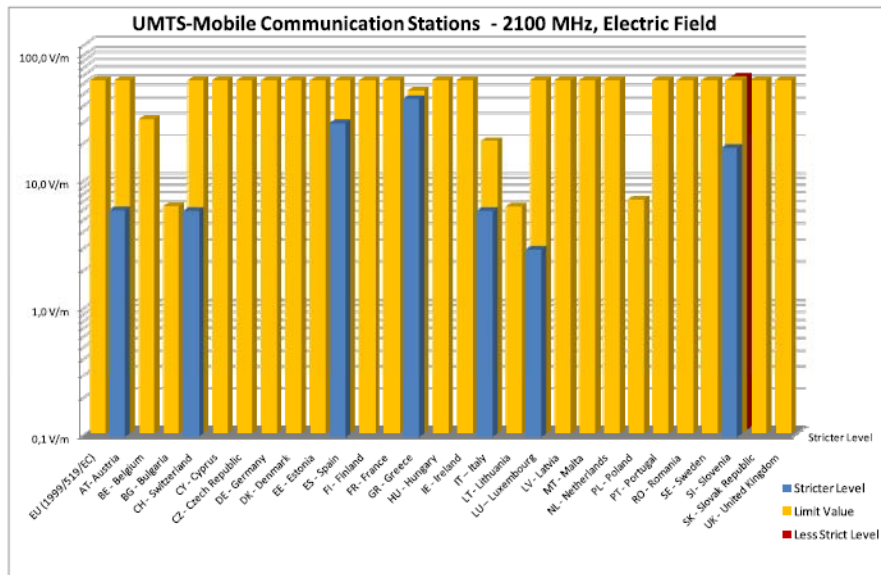
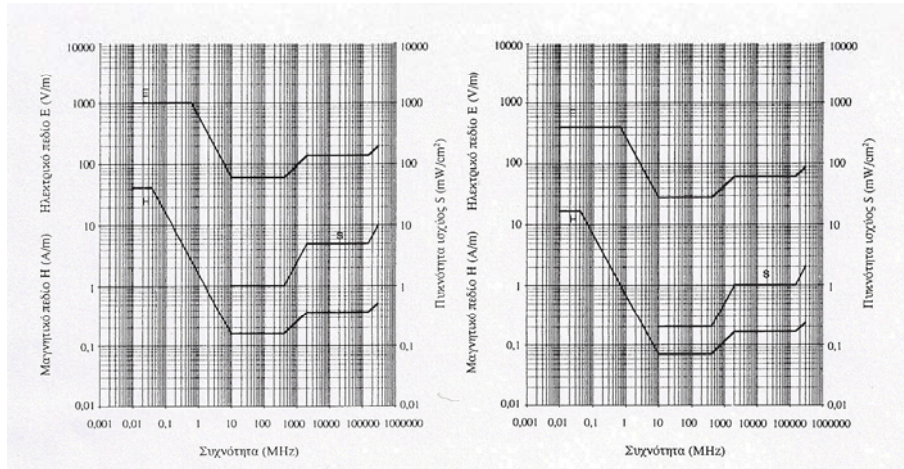


Figure 6 Overview of Limit Values in the MS for the electric field [V/m] for GSM mobile communication base stations with a frequency of 940 MHz

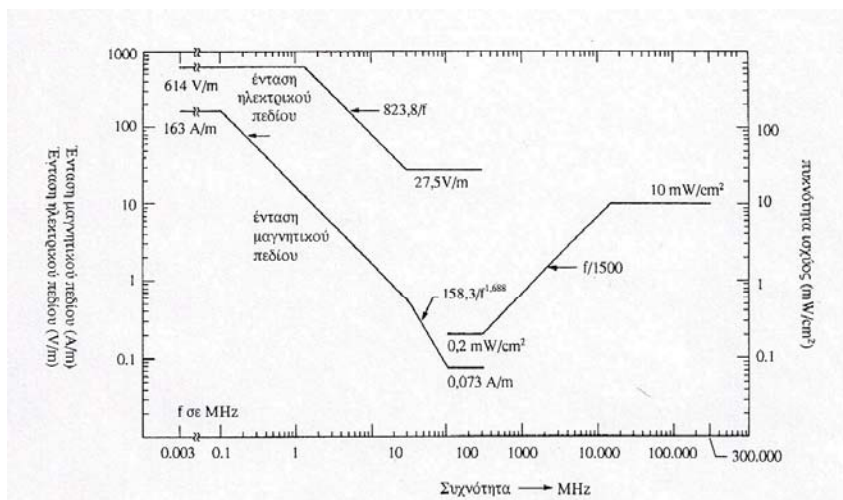
ΕΕ: Όριο στην ένταση ηλεκτρικού πεδίου 2100 MHz



Όρια επικινδυνότητας που προτάθηκαν από την ΕΕ (αριστερά: Εργαζόμενοι, δεξιά: Γενικός πληθυσμός)



Όρια επικινδυνότητας που καθιερώθηκαν από το ANSI για το γενικό πληθυσμό



Όρια επικινδυνότητας που καθιερώθηκαν από την πρώτη Σοβιετική Ένωση

