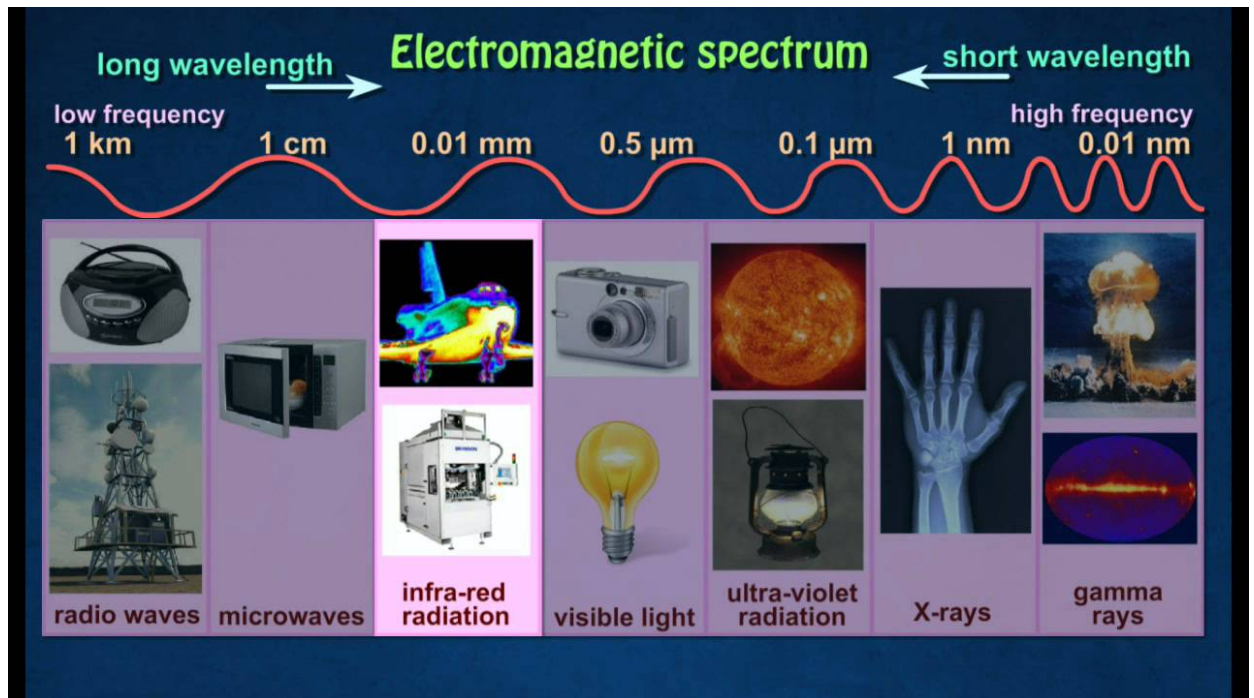


ΦΥΣΙΚΗ Γ' ΕΠΑΛ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 7.1) ΠΑΡΑΓΩΓΗ – ΔΙΑΔΟΣΗ (Η/Μ)
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ
 - 7.2) ΤΑΧΥΤΗΤΑ (Η/Μ) ΚΥΜΑΤΩΝ
 - 7.3) ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ
- ΑΣΚΗΣΕΙΣ

7.1) ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΑΔΟΣΗ (Η/Μ) ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Τι είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία;

- Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ενέργεια που μεταφέρεται στο χώρο
- Η μεταφορά ενέργειας επιτυγχάνεται με γρήγορες ταλαντώσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων
- Οι ταλαντώσεις αυτές διαδίδονται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

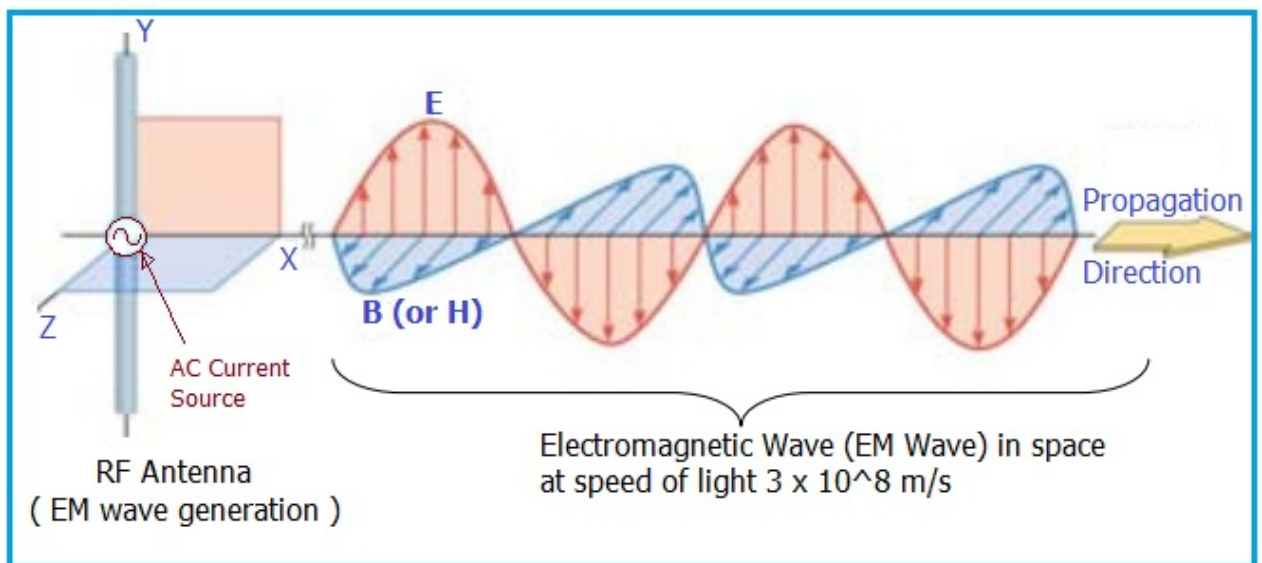
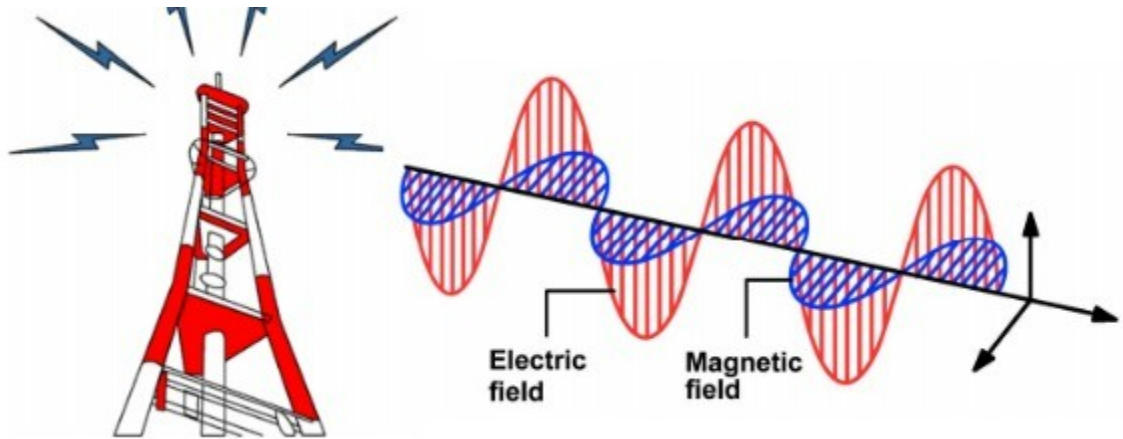
Ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, σε αντίθεση με τα μηχανικά κύματα ΔΕΝ χρειάζονται υλικό μέσο για να διαδοθούν. Έτσι μπορούν να διαδοθούν ΚΑΙ στο κενό.

Η αιτία δημιουργίας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων.

Με τον όρο « επιταχυνόμενη κίνηση » εννοούμε οποιαδήποτε μεταβαλλόμενη κίνηση ηλεκτρικού φορτίου (όπως η ταλάντωσή του). ΟΠΟΙΟΔΗΠΟΤΕ μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα παράγει (Η/Μ) κύματα. Το ΕΝΑΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ρεύμα είναι η πιο χαρακτηριστική περίπτωση τέτοιου ρεύματος.

- Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι **εγκάρσια**. Το ηλεκτρικό πεδίο (η έντασή του συμβολίζεται με E) και το μαγνητικό πεδίο (η έντασή του συμβολίζεται με B) είναι κάθετα μεταξύ τους και ταυτόχρονα είναι κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.



7.2) ΤΑΧΥΤΗΤΑ (Η/Μ) ΚΥΜΑΤΩΝ

$$c = f\lambda$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

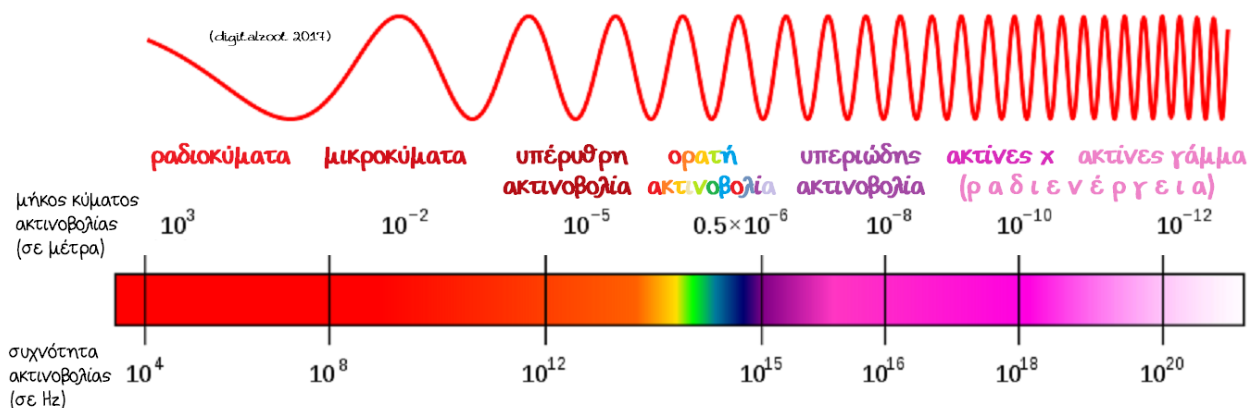
ΟΛΑ τα (Η/Μ) κύματα διαδίδονται στο ΚΕΝΟ με την ίδια ταχύτητα, την ταχύτητα ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ, ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ από την συχνότητά τους. Στα άλλα υλικά μέσα η ταχύτητα των (Η/Μ) κυμάτων είναι πιο μικρή και εξαρτάται από το υλικό μέσο. Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι η πιο μεγάλη ταχύτητα στη φύση.

ΤΟ ΦΩΣ ΕΙΝΑΙ Η/Μ ΚΥΜΑ

7.3) ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ (Η/Μ) ΦΑΣΜΑ

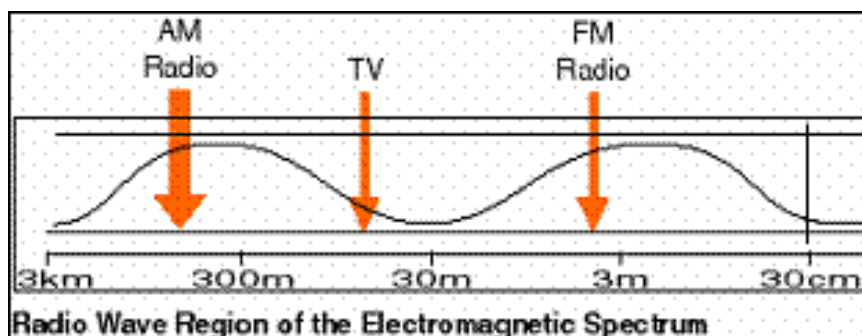
Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

- Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.
- Αποτελείται από :
 - τα ραδιοκύματα,
 - τα μικροκύματα,
 - η υπέρυθρη ακτινοβολία,
 - η ορατή ακτινοβολία (φως),
 - η υπεριώδης ακτινοβολία,
 - οι ακτίνες Χ
 - και οι ακτίνες γ.

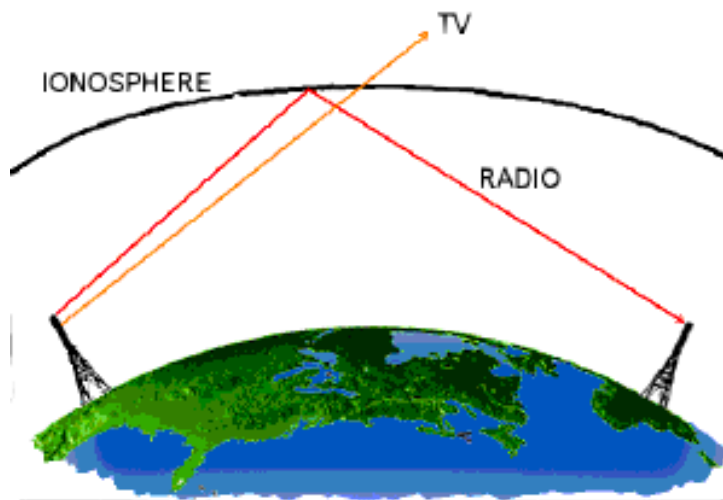


→ ΑΥΞΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ – ΜΕΙΩΣΗ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

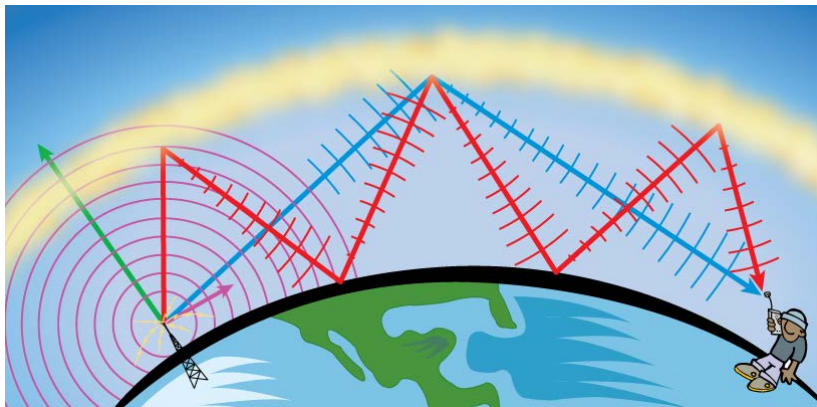
1) ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΑ



- Αποτελούν το τμήμα του φάσματος της (Η/Μ) ακτινοβολίας με τις πιο μικρές συχνότητες ($10 \text{ Hz} - 1 \text{ GHz}$) και τα μεγαλύτερα μήκη κύματος ($10^7 \text{ m} - 0,1 \text{ m}$). Χρησιμοποιούνται κυρίως στις τηλεπικοινωνίες, όπως τα ραδιόφωνα (AM και FM σήματα) και την τηλεόραση (TV). Τα FM έχουν συχνότητες $88 - 108 \text{ MHz}$, ενώ τα AM από $0,5 - 2 \text{ MHz}$.

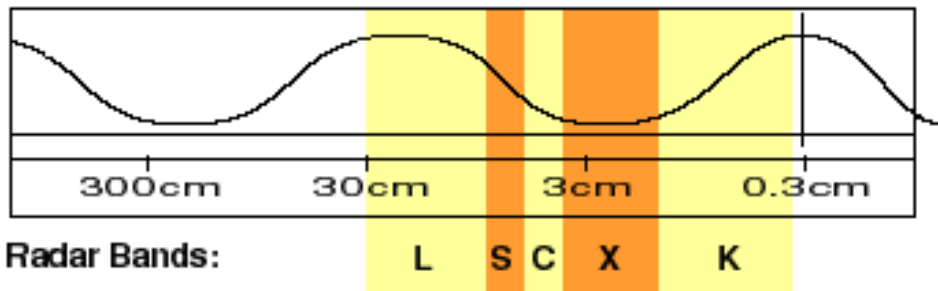


Από τα ραδιοκύματα οι μεγαλύτερες συχνότητες (FM, τηλεοπτικά) μπορούν να περάσουν την ατμόσφαιρα και να ληφθούν στο διάστημα από τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο σε αντίθεση με τις μικρότερες συχνότητες (AM) που ανακλώνται από την ανώτερη ατμόσφαιρα (ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ). Η ιδιότητα κάποιων ραδιοκυμάτων να περνούν την ατμόσφαιρα έχει μεγάλη εφαρμογή στην ραδιοαστρονομία. Με τα ραδιοτηλεσκόπια μελετάμε το σύμπαν στα ραδιοκύματα.

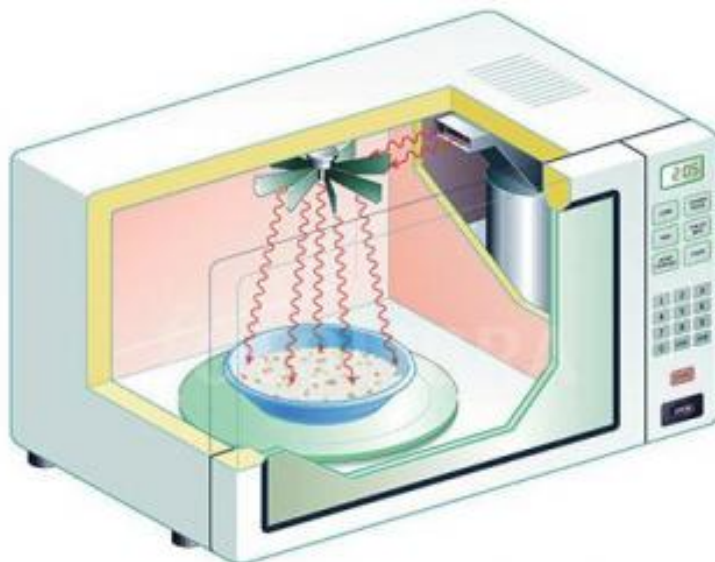
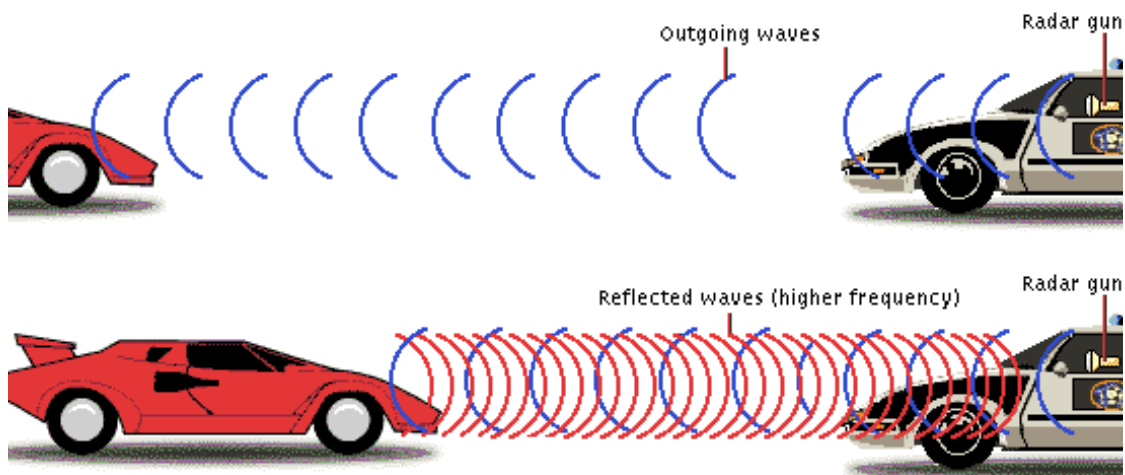


2) ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ

Microwave region of the Electromagnetic Spectrum



- Αποτελούν το τμήμα του φάσματος της (H/M) ακτινοβολίας με εύρος συχνοτήτων (1 GHz – 1.000 GHz) (300 cm – 0,3 cm). Η L περιοχή τους χρησιμοποιείται στους φούρνους μικροκυμάτων. Η S περιοχή τους έχει το χαρακτηριστικό ότι μπορεί να διαπεράσει (δεν απορροφάται από) τη βροχή, την ομίχλη, τα σύννεφα, τον καπνό και το χιόνι και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες (δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες). Τα RADAR χρησιμοποιούν την X περιοχή τους.

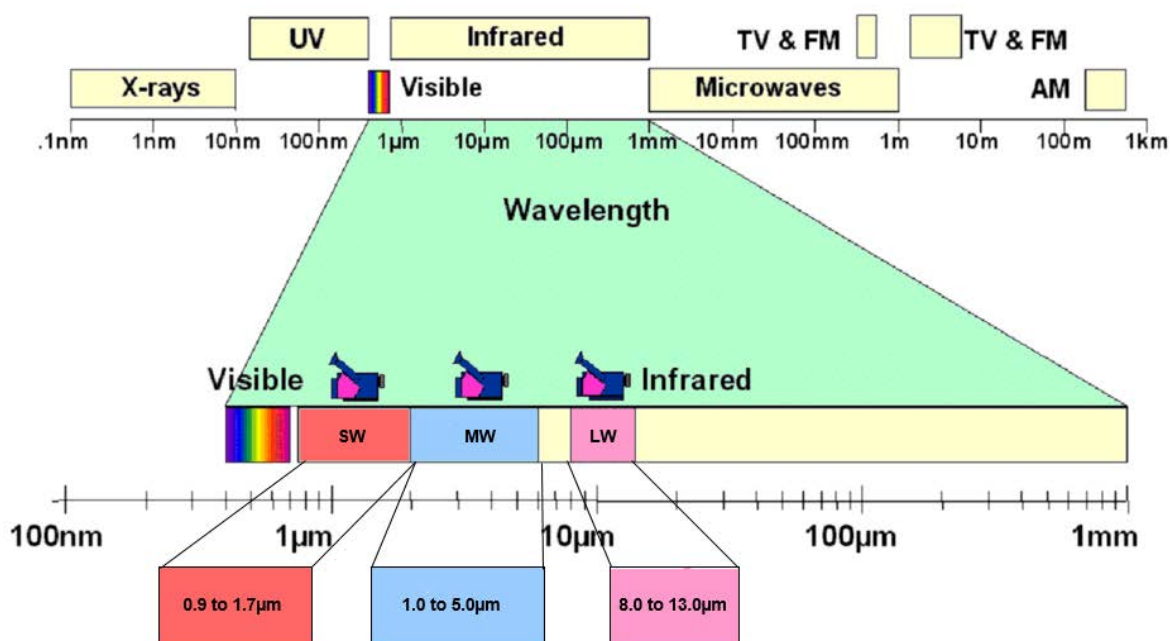


Στους φούρνους μικροκυμάτων οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι παρόμοιες με την συχνότητα ταλάντωσης του νερού. Έτσι καθώς προσφέρεται μέσω των μικροκυμάτων ενέργεια στην τροφή τα μόρια του νερού (που όλες οι τροφές έχουν) συντονίζονται, ταλαντώνονται έντονα και θερμαίνονται γρήγορα.

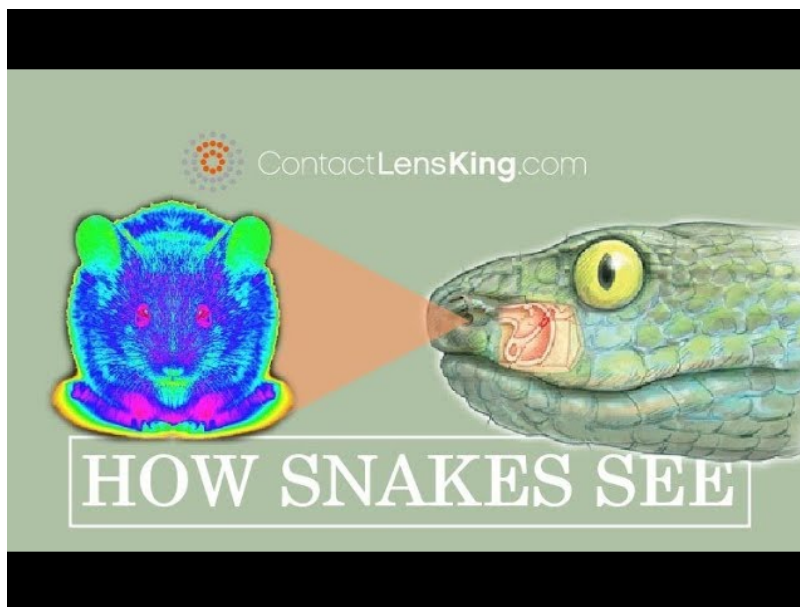
3) ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (IR – INFRA RED)



- Είναι η ακτινοβολία που εκπέμπει κάθε σώμα εξαιτίας της θερμοκρασίας του. Όσο πιο ζεστό είναι ένα σώμα τόσο περισσότερη ακτινοβολία IR εκπέμπει. Στις ειδικές συσκευές που απεικονίζουν την IR ακτινοβολία οι θερμότερες περιοχές απεικονίζονται με εντονότερο χρώμα.



Με την χρήση IR ακτινοβολίας βλέπουν τη νύχτα πολύ καλά τα φίδια,



Μια κοιλότητα που βρίσκεται μπροστά από τα μάτια των φιδιών λειτουργεί σαν αισθητήρας θερμότητας και τα βοηθά να βλέπουν καλύτερα τη νύχτα.

4) ΟΡΑΤΟ ΦΩΣ

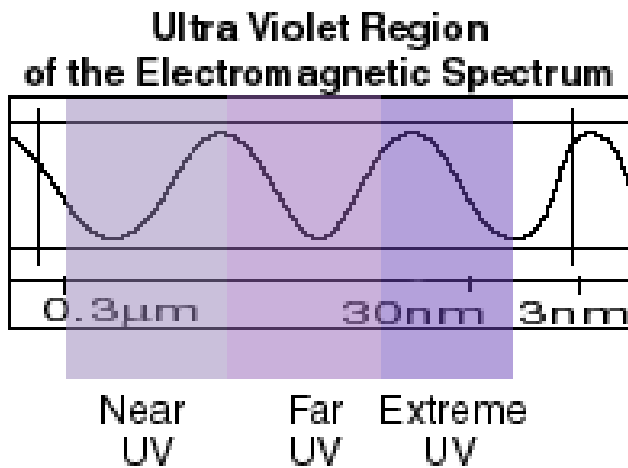
Τα χρώματα του ορατού φάσματος

Χρώμα	Περιοχή μηκών κύματος (nm)	Περιοχή συχνοτήτων (Hz)
Ερυθρό	~ 630–700 nm	~ 476–429 $\times 10^{12}$ Hz
Πορτοκαλί	~ 590–630 nm	~ 510–476 $\times 10^{12}$ Hz
Κίτρινο	~ 560–590 nm	~ 535–510 $\times 10^{12}$ Hz
Πράσινο	~ 500–560 nm	~ 600–535 $\times 10^{12}$ Hz
Κυανό	~ 440–500 nm	~ 680–600 $\times 10^{12}$ Hz
Ιώδες	~ 400–440 nm	~ 750–680 $\times 10^{12}$ Hz

- Αποτελεί εκείνο το τμήμα του φάσματος της (H/M) ακτινοβολίας που ενεργοποιεί την αίσθηση της όρασης. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό κομμάτι του φάσματος, παρότι αποτελεί μια πάρα πολύ μικρή περιοχή του (το ένα τρισεκατομμυριοστό δηλαδή 1 προς 1.000.000.000.000). Το ανθρώπινο μάτι έχει την ικανότητα να διακρίνει 6 διαφορετικά χρώματα στην περιοχή αυτή. Την μεγαλύτερη ευαισθησία το ανθρώπινο μάτι την έχει στο κίτρινο χρώμα. Είναι το χρώμα στο οποίο εκπέμπει κυρίως στο ορατό ο Ήλιος.

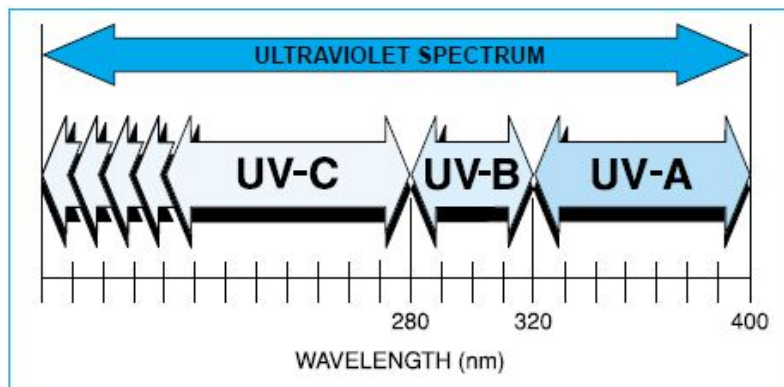


5) ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (UV – Ultra Violet)



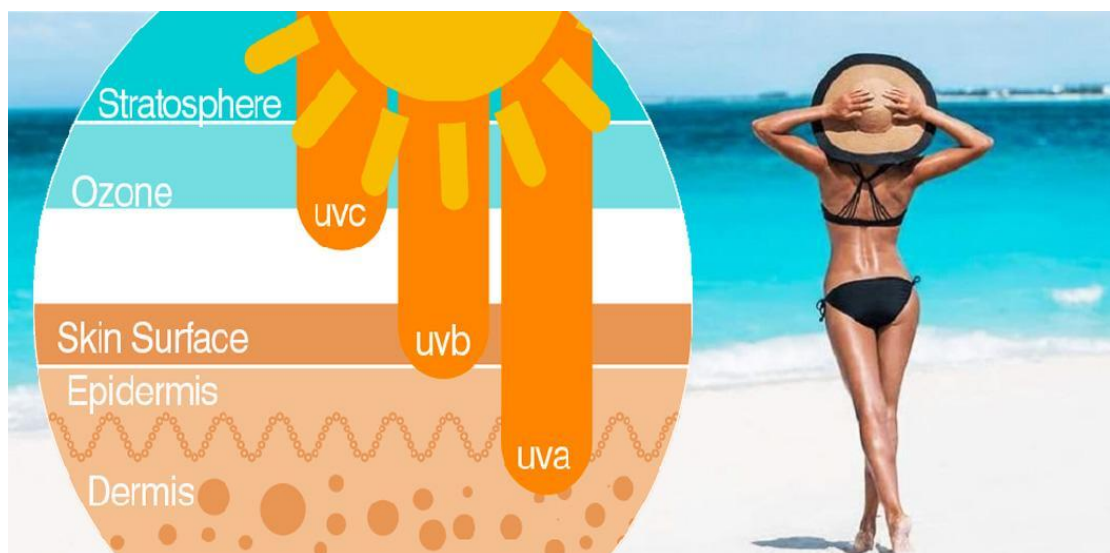
Η UV ακτινοβολία έχει 3 περιοχές :

- UV – A : Κοντινό (Near)
Το κομμάτι που είναι πιο κοντά στο ορατό.
- UV – B : Μακρινό (Far)
- UV – C : Πολύ μακρινό (extreme). Βρίσκεται πιο κοντά στις ακτίνες X.

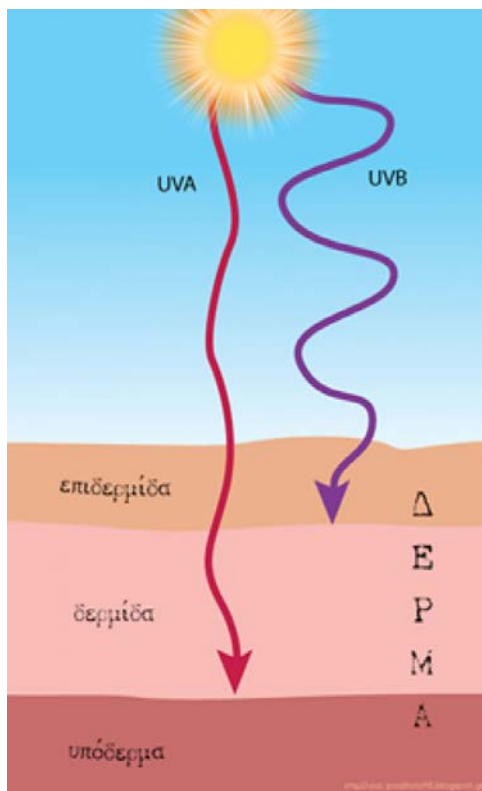


Από τις 3 περιοχές στο UV, η UV – C έχει την πιο μεγάλη ενέργεια. Τα μήκη κύματος της UV ακτινοβολίας είναι από ~ 400 nm έως ~ 40 nm

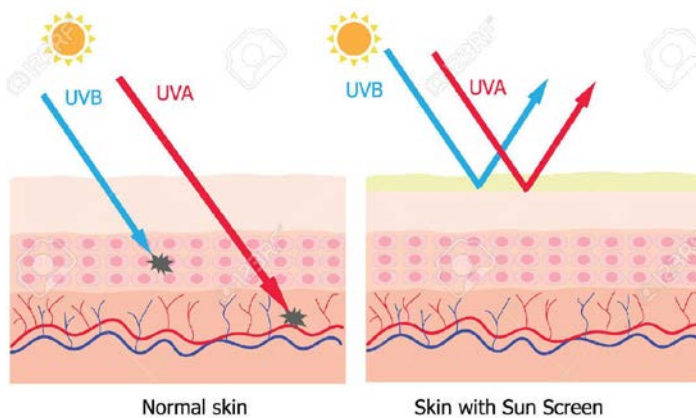
- Αποτελεί εκείνο το τμήμα του φάσματος της (H/M) ακτινοβολίας που βρίσκεται μετά το κάτω όριο της ορατής ακτινοβολίας, δηλαδή μετά το ιώδες (μωβ). Είναι μεγαλύτερης ενέργειας από το ορατό αφού έχει πιο μεγάλη συχνότητα (μικρότερα μήκη κύματος από το ορατό). Για τον λόγο αυτό είναι ιδιαίτερα επιβλαβής, και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή.



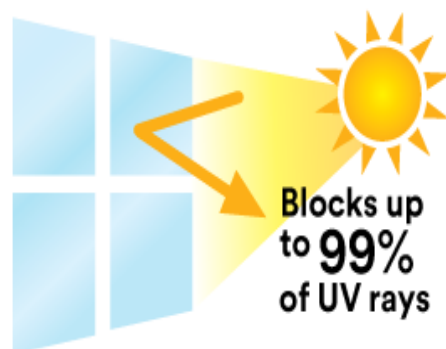
ΤΟ ΟΖΟΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΑ ΤΟ UV – C ΚΑΙ ΜΑΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΕΙ. Η ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ (ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ) ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΒΛΑΒΗΣ.



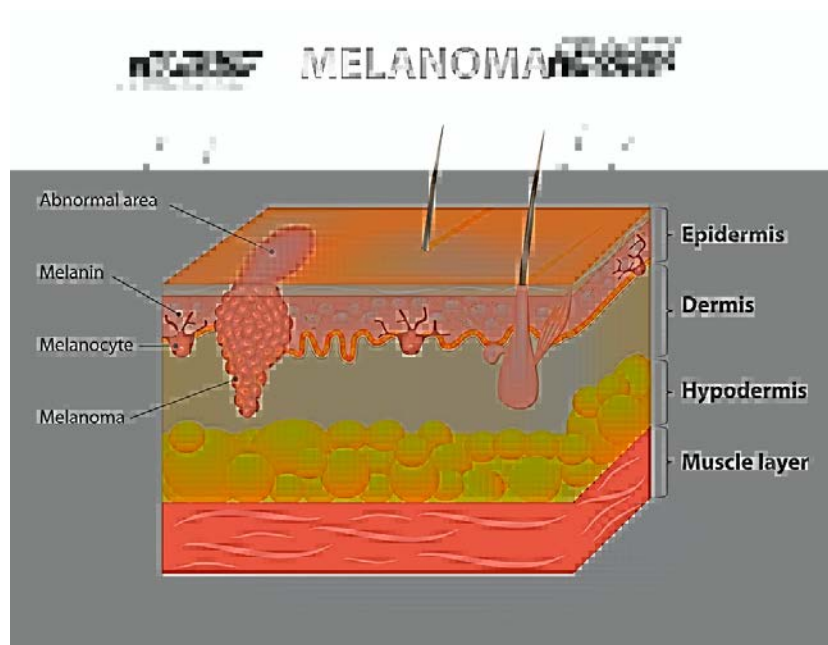
Η UV – B ακτινοβολία επιδρά στην επιδερμίδα και προκαλεί τα εγκαύματα στο δέρμα κατά την διάρκεια της ηλιοθεραπείας το καλοκαίρι. Αν δεν προσεχθεί η επίδρασή της επιφέρει μέχρι και καρκίνο του δέρματος. Για να μην συμβεί αυτό ο οργανισμός μας εκλύει την μελανίνη ως προστασία. Το μαύρισμα του δέρματος λόγω ηλιοθεραπείας οφείλεται ακριβώς σε αυτό το μηχανισμό προστασίας. Η UV – A ακτινοβολία διεισδύει περισσότερο μέσα στο δέρμα και είναι αυτή που προκαλεί ρυτίδες και γήρανση του δέρματος.



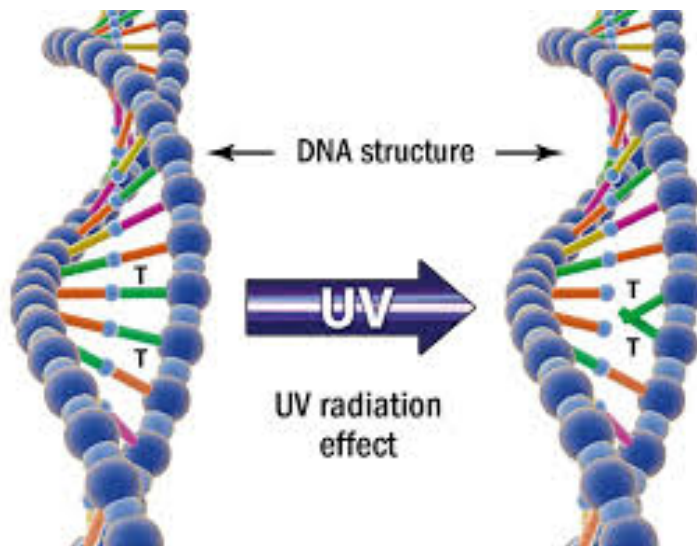
ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ
ΧΡΗΣΗ
ΑΝΤΗΛΙΑΚΟΥ



Το γυαλί ενώ είναι διαφανές στο ορατό είναι αδιαφανές στο UV σε πολύ μεγάλο ποσοστό. Τα γυαλιά Ηλίου, ενισχυμένα με ειδικά φίλτρα UV μας προστατεύουν από τα χειρότερα.



ΤΟ ΜΕΛΑΝΩΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙ ΜΙΑ ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΗ ΜΟΡΦΗ ΚΑΡΚΙΝΟΥ ΤΟΥ ΔΕΡΜΑΤΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΒΛΑΒΕΡΟΥΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



Η ακτινοβολία UV μπορεί να επιφέρει και αλλοιώσεις – μεταλλάξεις στο DNA.



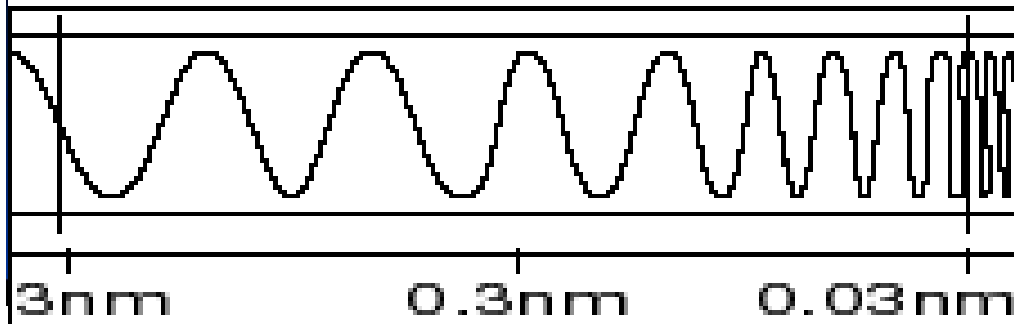
Ο Ήλιος μπορεί να μετατραπεί από « φίλο » σε « εχθρό ».

6) ΑΚΤΙΝΕΣ X (ΑΚΤΙΝΕΣ ROENTGEN)

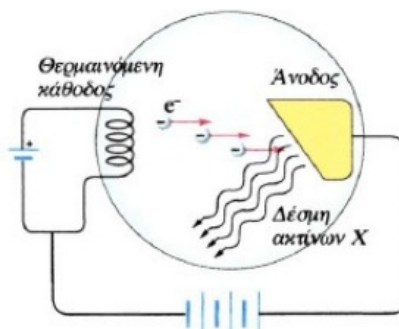
Φύση των ακτίνων X

Οι ακτίνες X είναι αόρατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που έχει μήκη κύματος πολύ μικρότερα από τα μήκη κύματος των ορατών ακτινοβολιών (από 10^{-8}m έως 10^{-13}m περίπου)

X-Ray Region of the Electromagnetic Spectrum



Παραγωγή ακτίνων X



Παραγωγή ακτίνων X

- Οι ακτίνες X παράγονται στη λυχνία. Η λυχνία είναι ένας γυάλινος σωλήνας που είναι εφοδιασμένος με δύο ηλεκτρόδια, την άνοδο και την κάθοδο.
- Η κάθοδος θερμαίνεται και εκπέμπει ηλεκτρόνια.
- Μεταξύ της ανόδου και της καθόδου εφαρμόζεται υψηλή τάση, η οποία επιταχύνει τα ηλεκτρόνια.
- Τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν στην άνοδο με μεγάλη ταχύτητα. Η άνοδος εκπέμπει μια πολύ διευσδυτική ακτινοβολία, που ονομάζεται ακτίνες X.

Επομένως: Οι ακτίνες X παράγονται, όταν ηλεκτρόνια μεγάλης ταχύτητας (και ενέργειας), που έχουν επιταχυνθεί από υψηλή τάση, προσπίπτουν σε μεταλλικό στόχο.

- Η χρήση των ακτίνων X είναι ΕΥΡΥΤΑΤΗ. Παρότι ιστορικά η χρήση τους έχει συνδεθεί με την ιατρική (ακτινογραφίες) χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, την επιστήμη, την τέχνη, την αστρονομία, την ασφάλεια.



Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται στην Ιατρική. Ενδεικτική χρήση είναι οι ακτινογραφίες. Η χρήση τους οφείλεται στο ότι οι ακτίνες X απορροφώνται περισσότερο από τα οστά σε σχέση με τον ιστό που τα περιβάλλει (δέρμα). Έτσι η φωτογραφική πλάκα είναι πιο λευκή στα σημεία των οστών γιατί οι ακτίνες X δεν φθάνουν σε αυτή επειδή έχουν απορροφηθεί από τα οστά.



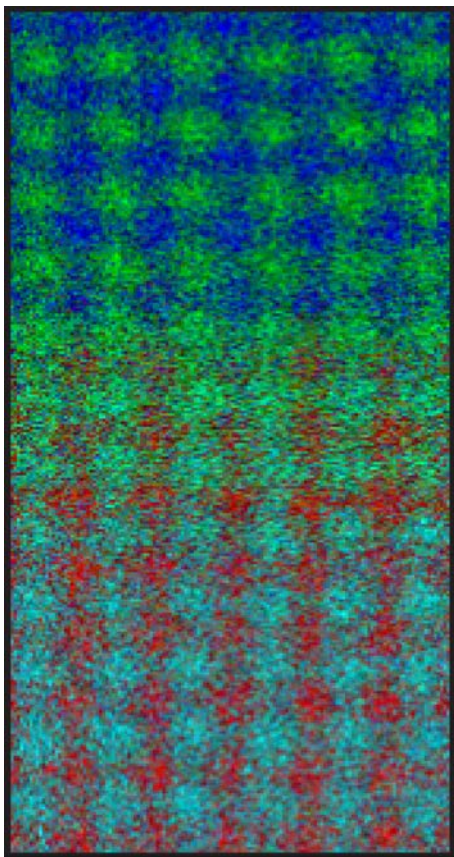
Συσκευή ακτίνων X η οποία ελέγχει τις αποσκευές σε ένα αεροδρόμιο.



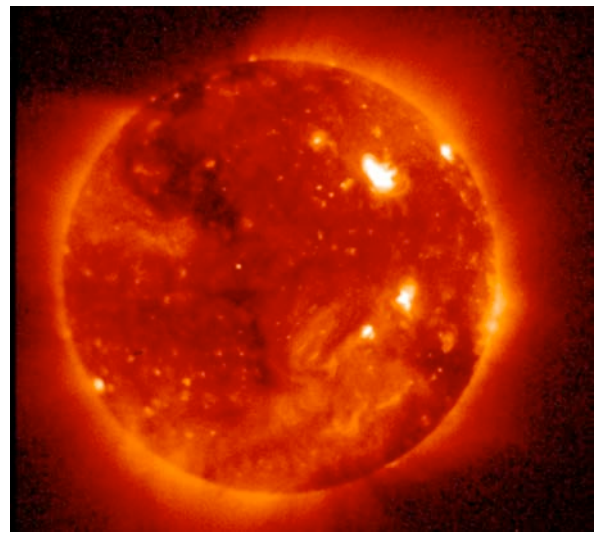
Συσκευή ακτίνων X η οποία ελέγχει σε σωλήνες μεταφοράς φυσικού αερίου την ύπαρξη ρωγμών



Συσκευή ακτίνων X η οποία κάνει ποιοτικό έλεγχο σε βιομηχανία τροφίμων



1 nm



Εικόνα πάνω : Φωτογραφία του Ήλιου στις ακτίνες Χ.

Αριστερά : Φωτογραφία μετάλλου με ακτίνες Χ, στην οποία φαίνεται η δομή του κρυσταλλικού πλέγματος, δηλαδή η θέση των ατόμων του.



Η σούπα (1902 -1903)

Πίνακας από την μπλε περίοδο του Πικάσο. Ανάλυση ακτίνων Χ έδειξε ότι στην αρχική του μορφή ο πίνακας εμφάνιζε το πορτρέτο μιας γυναίκας το οποίο στην τελική μορφή του πίνακα δεν υπάρχει. Ο Πικάσο το έσβησε με τη μορφή ατμών που αναδύονται μέσα από το μπολ με τη σούπα.

Απορρόφηση των ακτίνων Χ

- Όταν οι ακτίνες Χ προσπίπτουν σε ένα υλικό, τότε ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από το υλικό.
- Η απορρόφηση των ακτίνων Χ εξαρτάται από:
 - α. τη φύση του υλικού,
 - β. το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και.
 - γ. το πάχος του υλικού.

- Άτομα με μεγάλο ατομικό αριθμό (πολλά πρωτόνια στον πυρήνα τους) απορροφούν περισσότερο τις ακτίνες Χ.
- Όσο πιο ισχυρή είναι η ακτινοβολία των ακτίνων Χ, τόσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος της λ. τόσο πιο διεισδυτική είναι και τόσο λιγότερο απορροφάται.
- Όσο το πάχος του υλικού αυξάνει, αυξάνει και η απορρόφηση.

Βιολογικές βλάβες που προκαλούν οι ακτίνες Χ

Οι ακτίνες Χ προκαλούν βλάβες στους οργανισμούς. Όταν απορροφηθούν από τους ιστούς, διασπούν τους μοριακούς δεσμούς και δημιουργούν **ενεργές ελεύθερες ρίζες**, που με τη σειρά τους μπορεί να διαταράξουν τη μοριακή δομή των πρωτεϊνών και ειδικά του **γενετικού υλικού (DNA)**.

Αν το κύτταρο που έχει υποστεί βλάβη από την ακτινοβολία επιβιώσει, τότε μπορεί να δώσει πολλές γενεές μεταλλαγμένων κυττάρων.

Αν οι αλλαγές στο DNA αφορούν γονίδια που ελέγχουν το ρυθμό πολλαπλασιασμού των κυττάρων, οι ακτίνες Χ μπορεί να προκαλέσουν **καρκίνο**.

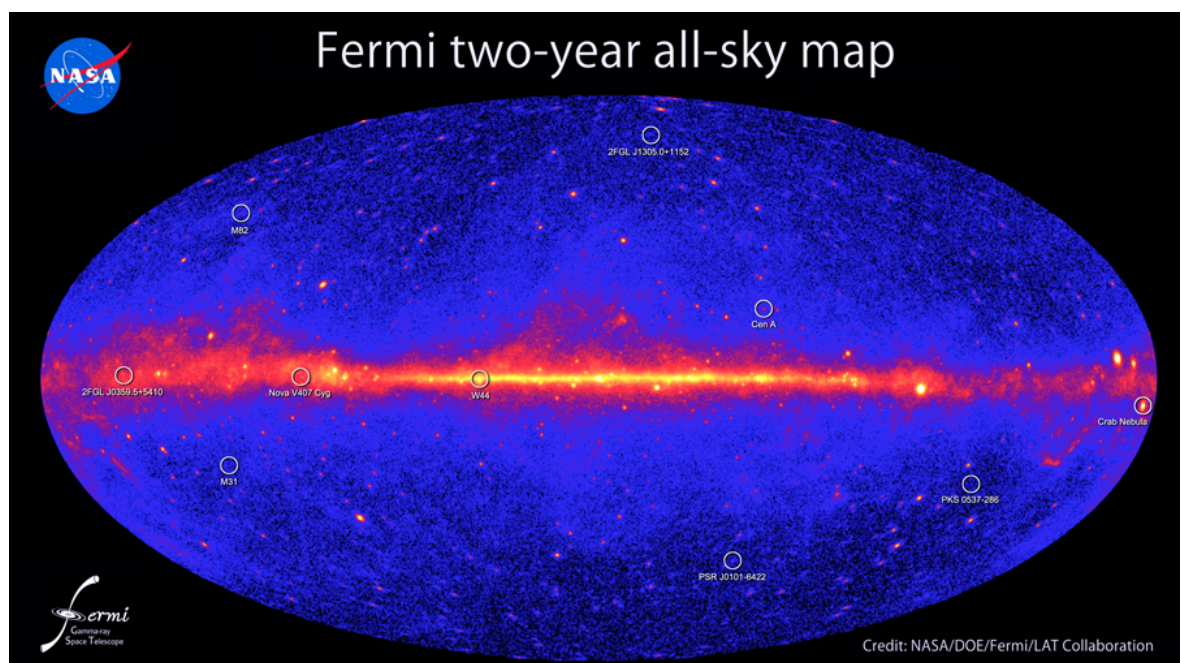
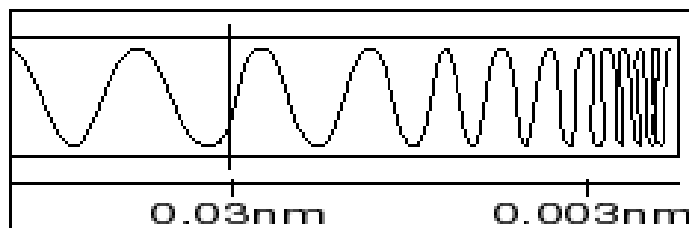
Η υπερβολική έκθεση ενός οργανισμού σε ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει μεταβολές **στα γενετικά κύτταρα**. Σ' αυτή την περίπτωση, ενώ ο ίδιος οργανισμός δε θα εμφανίσει κάποια βλάβη, θα **επηρεαστούν οι απόγονοί του**. Σημειώστε ότι απαγορεύεται η ακτινογραφία σε μία έγκυο γυναίκα.

Η χρήση των ακτίνων Χ για διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς πρέπει να γίνεται με προσοχή, εκτιμώντας τόσο τα οφέλη όσο και τους κινδύνους που προέρχονται από την έκθεση του οργανισμού σε ακτινοβολία για μεγάλο χρονικό διάστημα.

7) ΑΚΤΙΝΕΣ γ

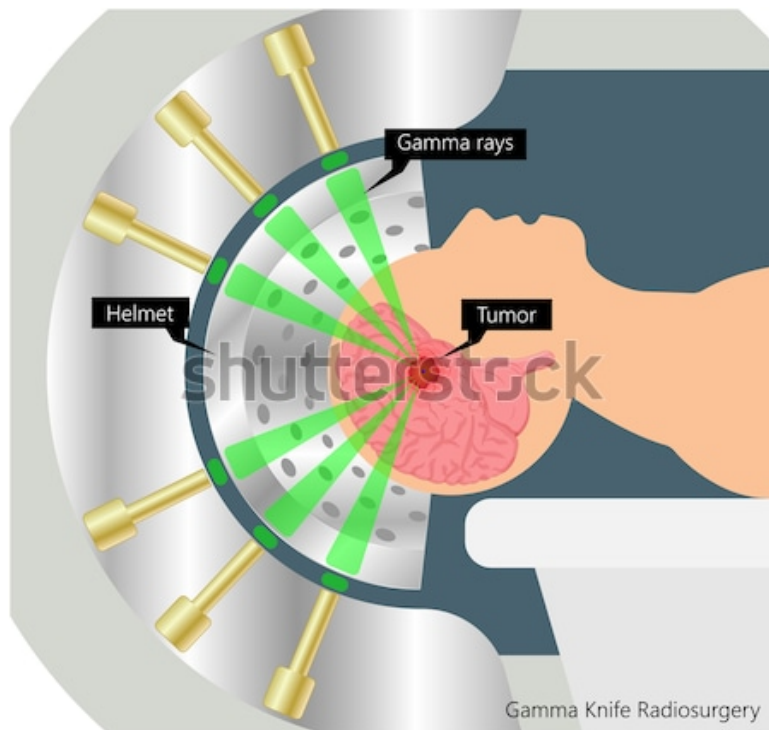
- Αποτελεί το πιο ενεργητικό τμήμα του φάσματος της ακτινοβολίας και χαρακτηρίζεται από τα μικρότερα μήκη κύματος λ και τις μεγαλύτερες συχνότητες f . Παράγονται από την διάσπαση ραδιενεργών πυρήνων. Η ύπαρξή τους είναι πολύτιμη στην Αστρονομία - Κοσμολογία αφού τα πιο βίαια φαινόμενα στο Σύμπαν (π.χ. μαύρες τρύπες, σύγκρουση γαλαξιών) χαρακτηρίζονται από έντονη εκπομπή ακτίνων γ (και X). Ακτίνες γ είναι δυνατόν να προκύψουν και όταν σωματίδια κοσμικής ακτινοβολίας από το σύμπαν συγκρούονται με μόρια της ανώτερης ατμόσφαιρας της Γης.

**Gamma Ray Region of the
Electromagnetic Spectrum**



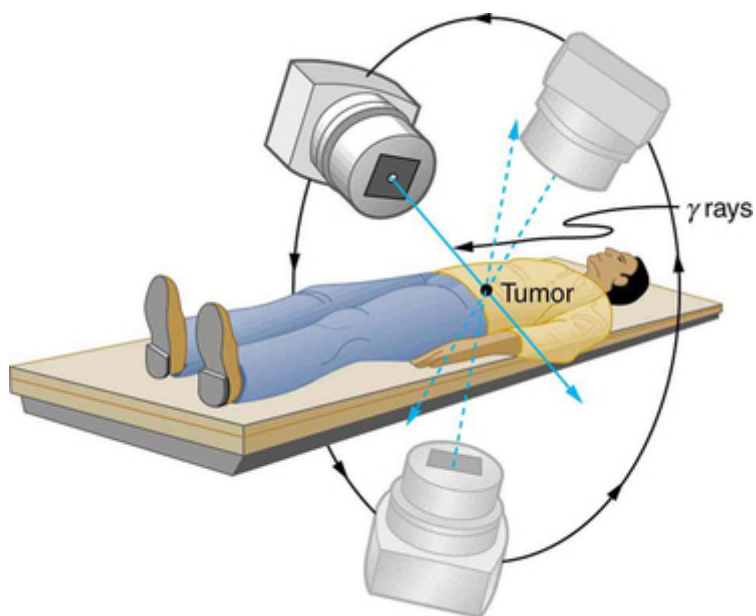
(Φωτογραφία του ουρανού στις ακτίνες γ από το διαστημικό τηλεσκόπιο Fermi της NASA. Η εικόνα είναι αποτέλεσμα σύνθεσης διαφορετικών εικόνων που ελήφθησαν σε διάστημα 2 ετών.)

Οι ακτίνες X και γ (όπως και το UV) ανήκουν στις ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΕΣ ακτινοβολίες. Λόγω της μεγάλης τους ενέργειας, η έκθεση σε αυτές μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας (καρκίνο, μεταλλάξεις στο DNA κλπ). Οι ίδιες ακτινοβολίες όμως, αν χρησιμοποιηθούν σωστά, είναι δυνατόν να σκοτώσουν καρκινικά κύτταρα βομβαρδίζοντάς τα.



www.shutterstock.com • 1732559951

Θεραπεία
καρκίνου
με χρήση
ακτίνων γ



Θεραπεία
καρκίνου
με χρήση
ακτίνων γ

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

A1) α) Θεωρήστε ότι οι ραδιοφωνικοί σταθμοί στα FM, εκπέμπουν σε εύρος συχνοτήτων από 88 MHz έως 108 MHz. Να βρείτε το εύρος των μηκών κύματος λ στα οποία εκπέμπουν.

β) Απαντήστε όπως στο ερώτημα α) αν οι ραδιοφωνικοί σταθμοί είναι στα AM όπου οι συχνότητες είναι από 0,5 MHz έως 2 MHz.

(Δίνεται ότι $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, και ότι $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$)

A2) α) Η απόσταση Γης – Σελήνης είναι $D = 3,9 \cdot 10^8$ m. Με πόση χρονική καθυστέρηση θα ακούμε την φωνή ενός αστροναύτη όταν αυτός μιλάει από την Σελήνη, αν αυτή φτάνει στην Γη με την βοήθεια ραδιοκυμάτων ;

β) Η απόσταση Γης – Άρη είναι $L = 5,7 \cdot 10^{10}$ m. Πόσος είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από την στιγμή που κάνουμε μια ερώτηση σε έναν μελλοντικό αστροναύτη στον πλανήτη Άρη μέχρι να λάβουμε την απάντησή του. Θεωρήστε ότι η φωνή του ταξιδεύει με ραδιοκύματα.

(Δίνεται ότι $c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

A3) Μια τηλεόραση με εσωτερική κεραία, για να συντονίζεται με το τηλεοπτικό σήμα θα πρέπει να έχει άνοιγμα κεραίας D ίσο με το ένα τέταρτο του μήκους κύματος λ του τηλεοπτικού σήματος. Αν το σήμα έχει συχνότητα $f = 100 \text{ MHz}$, πόσο πρέπει να είναι το άνοιγμα D της κεραίας.

(Δίνεται ότι $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, και ότι $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$)

A4) Σε μια ακτινογραφία οι ακτίνες X έχουν μήκος κύματος $\lambda = 10^{-10}$ m. Να βρεθεί η συχνότητα των ακτίνων X.