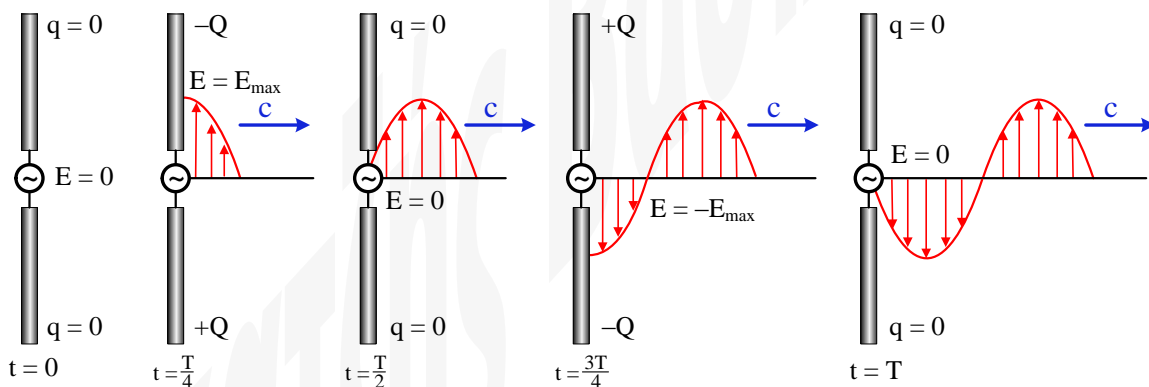


**ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ**

**1. Τι είναι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα**

**Ηλεκτρομαγνητικό κύμα** είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου στο χώρο. Το φως, οι ακτίνες X, τα ραδιοκύματα κ.λ.π. είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός, η οποία είναι ίση με  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s, ενώ στα υλικά μέσα διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα. Ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι το φως, οι ακτίνες X, οι ακτίνες γ, τα ραδιοκύματα κ.λπ.

**2. Η παραγωγή του ηλεκτρομαγνητικού κύματος**



Μια απλή συσκευή παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι το **ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο**. Πρόκειται για ένα σύστημα που αποτελείται από δύο μεταλλικές ράβδους, οι οποίες συνδέονται με πηγή εναλλασσόμενης τάσης, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Στην περίπτωση αυτή, οι ράβδοι φορτίζονται εναλλάξ με θετικά και αρνητικά φορτία που μεταβάλλονται αρμονικά με το χρόνο. Η κίνηση των φορτίων μέσα στο δίπολο αποτελεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η διάδοση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος το οποίο δημιουργείται από ένα ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο. Καθώς το ηλεκτρικό φορτίο των αγωγών εναλλάσσεται, το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται απομακρύνεται από τους αγωγούς με την ταχύτητα  $c$  του φωτός. **Αξίζει να σημειωθεί ότι οι κεραίες των ραδιοφωνικών ή τηλεοπτικών σταθμών είναι ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα και κατά την ταλάντωση του φορτίου στην κεραία παράγεται ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Το ρεύμα στην κεραία γίνεται μέγιστο** (άρα και το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί) **όταν τα φορτία στα άκρα της μηδενίζονται** (άρα μηδενίζεται και το ηλεκτρικό πεδίο). Αυτό σημαίνει ότι **κοντά στην κεραία το ηλεκτρικό και το μα-**

## ΘΕΩΡΙΑ ΣΤΟ ΑΡΜΟΝΙΚΟ ΚΥΜΑ

γνητικό πεδίο έχουν διαφορά φάσης  $90^\circ$ , ενώ μακριά από την κεραία μπορούμε να θεωρήσουμε ότι βρίσκονται σε φάση (δηλαδή μηδενίζονται ταυτόχρονα και μεγιστοποιούνται ταυτόχρονα).

### 3. Ποια είναι τα συμπεράσματα προκύπτουν από τη μελέτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Από τη μελέτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

**α.** Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι **εγκάρσιο**.

**β.** Τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

**γ.** Κάθε στιγμή το πηλίκο του μέτρου της έντασης **E**

του ηλεκτρικού πεδίου και της έντασης **B** του μαγνητικού πεδίου είναι σταθερό και ίσο με την ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο μέσο διάδοσης:

$\frac{E}{B} = c$  (στο κενό) και  $\frac{E}{B} = v$  (σε υλικό μέσο διάδοσης) όπου  $c$  και  $v$  οι ταχύτητες διάδοσης του ηλεκτρομα-

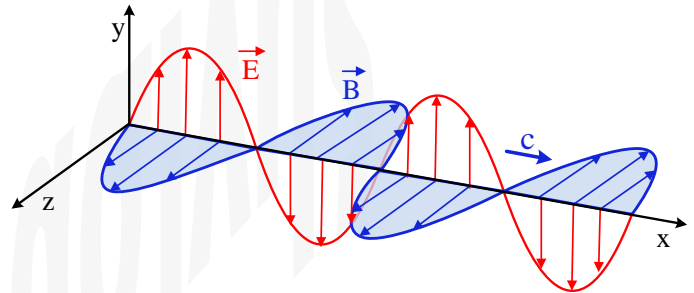
γνητικού κύματος στο κενό και στο υλικό μέσο, αντίστοιχα,

**δ.** Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, όπως και τα μηχανικά κύματα, υπακούν στην αρχή της επαλληλίας. Δηλαδή η διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο χώρο είναι ανεξάρτητη από την ύπαρξη άλλων κυμάτων στον ίδιο χώρο.

### 4. Η αιτία δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται από μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Ένα σταθερό ηλεκτρικό πεδίο ή ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο δεν παράγει ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Επομένως τα ακίνητα φορτία ή τα φορτία που κινούνται με σταθερή ταχύτητα (σταθερά ρεύματα) δεν μπορούν να δημιουργήσουν ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Όταν όμως έχουμε ηλεκτρικά φορτία των οποίων **η ταχύτητα αλλάζει (δηλαδή τα φορτία επιταχύνονται)**, τότε δημιουργείται ηλεκτρική και μαγνητική διαταραχή που διαδίδεται στο χώρο. Κατά συνέπεια:

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



### 5. Οι εξισώσεις που περιγράφουν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα

Οι εξισώσεις που περιγράφουν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός αρμονικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος, το οποίο διαδίδεται στη διεύθυνση του άξονα  $x'Ox$  προς τη θετική φορά, είναι:  $\mathbf{E} = E_{\max} \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$

$$\text{και } \mathbf{B} = B_{\max} \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

**Παρατήρηση:** Επειδή ισχύει ότι  $c = \frac{E}{B}$ , με βάση τους παραπάνω τύπους προκύπτει ότι  $c = \frac{E_{\max}}{B_{\max}}$ . Στην περι-

πτωση που το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται σε κάποιο υλικό είναι  $v_{\text{υλικ.}} = \frac{E_{\max(\text{υλικ.})}}{B_{\max(\text{υλικ.})}}$  όπου  $v_{\text{υλικ.}}$  η ταχύτητα

τα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο υλικό.

Στο **S.I.** η μονάδα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι το **1 V/m** και η μονάδα της έντασης του μαγνητικού πεδίου το **1 Tesla** (1 T).

### 6. Η ταχύτητα διάδοσης, η συχνότητα και το μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος εξαρτάται από τη φύση του μέσου διάδοσης. Στο κενό (και κατά προσέγγιση στον αέρα), η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

Σε οποιοδήποτε άλλο μέσο διάδοσης, η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι μικρότερη.

**Η συχνότητα  $f$**  του ηλεκτρομαγνητικού κύματος εξαρτάται από την πηγή που παράγει το κύμα και μεταβάλλεται μόνο αν αλλάξει η συχνότητα των ταλαντώσεων της πηγής.

**Μήκος κύματος  $\lambda$**  ονομάζεται η απόσταση που διανύει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα σε χρόνο ίσο με την περίοδο του κύματος. Ισχύει (για το κενό):  $\lambda = cT$ . Η θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής

Αν στη σχέση  $\lambda = cT$  αντικαταστήσουμε  $T = 1/f$  έχουμε:  $c = \lambda f$

Η σχέση αυτή αποτελεί την έκφραση της θεμελιώδους εξίσωσης της κυματικής για ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα αλλάξει μέσο διάδοσης:

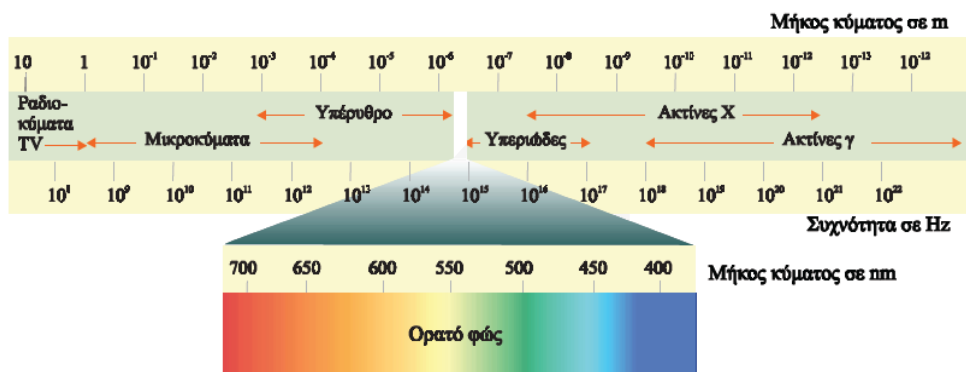
**α.** η ταχύτητα διάδοσης μεταβάλλεται,

**β.** η συχνότητα παραμένει σταθερή,

**γ.** το μήκος κύματος μεταβάλλεται, όπως προκύπτει από τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής ( $\lambda = c/f$ ).

7. Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται από ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα, από τις αποδιεγέρσεις διεγερμένων ατόμων ή πυρήνων καθώς επίσης και κατά τις πυρηνικές διασπάσεις. Στον επόμενο **πίνακα** γίνεται μια σύντομη περιγραφή του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά σειρά ελαττούμενου μήκους κύματος.



Όνομασία	Μήκος κύματος	Πώς παράγονται	Πώς ανιχνεύονται	Χρήσεις
<b>Ραδιοκύματα</b>	Από 10 <sup>5</sup> m έως μερικά εκατοστά περίπου	Από ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως το κύκλωμα LC	Με κεραίες ραδιοφώνου, τηλεόρασης κ.λπ.	Ραδιοφωνία, τηλεόραση, τηλεφωνία κ.λπ.
<b>Μικροκύματα</b>	Από 30 cm έως 1 mm περίπου	Από ηλεκτρονικά κυκλώματα	Με ραντάρ	Φούρνοι μικροκυμάτων, ραδιοαστρονομία, ραντάρ
<b>Υπέρυθρη ακτινοβολία</b>	Από 1 mm έως 7·10 <sup>-7</sup> m (700 nm) περίπου	Εκπέμπεται από θερμά σώματα	Με φωτογραφικά φιλμ, με θέρμανση του δέρματος κ.λπ.	Ειδικές φωτογραφήσεις τη νύχτα ή μέσα στα σύννεφα
<b>Ορατή ακτινοβολία</b>	Από 400 nm έως 700 nm περίπου	Από τις αποδιεγέρσεις των ατόμων	Από το ανθρώπινο μάτι, φωτοκτύπαρα, φωτογραφικά φιλμ κ.λπ.	Όραση, φωτοσύνθεση, οπτικές ίνες, φασματοσκοπία κ.λπ.
<b>Υπεριώδες ακτινοβολία</b>	Από 400 nm έως 6·10 <sup>-8</sup> m περίπου	Από τον Ήλιο και από τις αποδιεγέρσεις ορισμένων ατόμων	Με φωτογραφικά φιλμ και φωτοκτύπαρα	Αισθητική Ιατρική, αποστείρωση ιατρικών εργαλείων κ.λπ.
<b>Ακτίνες X (ή ακτίνες Roentgen)</b>	Από 10 <sup>-8</sup> m έως 10 <sup>-13</sup> m περίπου	Από την επιβράδυνση ταχέως κινούμενων ηλεκτρονίων καθώς προσκρούουν σε μεταλλικό στόχο	Με φωτογραφικά φιλμ	Στην Ιατρική για διαγνωστικούς σκοπούς και στη μελέτη της δομής των κρυστάλλων

<b>Ακτίνες γ</b>	Από $10^{-10}$ m έως $10^{-14}$ m περίπου	Από τις αποδιεγέρσεις ραδιενεργών πυρήνων και από πυρηνικές αντιδράσεις	Με απαριθμητή Geiger - Mueller	Εργαστηριακή μελέτη κρυσταλλικών δομών (ιδιαίτερα επικίνδυνες για τον άνθρωπο)
------------------	---	---	--------------------------------	--

### 8. Το ορατό φως και οι μονοχρωματικές ακτινοβολίες

**Το φως είναι το μέρος εκείνο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανιχνεύει το ανθρώπινο μάτι.**

Το μήκος κύματος του φωτός κυμαίνεται από **400 nm έως 700 nm περίπου για διάδοση στο κενό**. Το ορατό φάσμα αποτελείται από μικρότερες περιοχές (υποπεριοχές), οι οποίες προκαλούν στον άνθρωπο την αίσθηση συγκεκριμένων χρωμάτων. Τα μήκη κύματος των διαφόρων περιοχών και των αντίστοιχων χρωμάτων (απλά χρώματα) φαίνονται στο διπλανό πίνακα.

Μια ακτινοβολία που περιέχει μήκη κύματος σε μια πολύ **στενή περιοχή** ονομάζεται **μονοχρωματική**. Όταν χρησιμοποιούμε την έκφραση "μονοχρωματικό φως με μήκος κύματος 580 nm", στην πραγματικότητα εννοούμε φως σε μια πολύ στενή περιοχή μηκών κύματος γύρω στα 580 nm. **Το απόλυτα μονοχρωματικό φως αποτελεί μια εξιδανίκευση. Τα laser παράγουν φως που πλησιάζει πολύ στο μονοχρωματικό.**

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

**1.** Για να ελέγξουμε αν μια εξίσωση της μορφής  $E = E_{\max} \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$  ή  $B = B_{\max} \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$  αποτελεί

το ηλεκτρικό (ή, αντίστοιχα, το μαγνητικό πεδίο) ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος, αρκεί να εξετάσουμε αν ισχύει η θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής:

$$c = \lambda f \quad (\text{αν το κύμα διαδίδεται στο κενό ή στον αέρα})$$

$$v = \lambda f \quad (\text{αν το κύμα διαδίδεται σε υλικό μέσο με ταχύτητα } v)$$

**2.** Αν δίνονται εξισώσεις της μορφής  $E = E_{\max} \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$  ή  $B = B_{\max} \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$  και ζητείται να ελέγ-

ξουμε αν αποτελούν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος, πρέπει να εξετάσουμε:

**α.** αν το πηλίκο  $\frac{E_{\max}}{B_{\max}}$  ισούται με την ταχύτητα  $c$  του φωτός στο κενό (ή με την ταχύτητα του  $v$  αν το κύμα

διαδίδεται σε υλικό μέσο) και

**β.** αν ισχύει η θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής ( $c = \lambda f$  ή  $v = \lambda f$ ).

**3.** Αν δίνονται δύο εξισώσεις της μορφής  $X = X_{\max} \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$  και  $Z = Z_{\max} \eta \mu 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$  και ζητείται

να ελέγξουμε ποια από τις δύο αποτελεί το ηλεκτρικό και ποια το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού

κύματος, αρκεί να εξετάσουμε ποιο από τα δύο πηλίκια  $\left( \frac{X_{\max}}{Z_{\max}} \right)$  ή  $\left( \frac{Z_{\max}}{X_{\max}} \right)$  ισούται με την ταχύτητα  $c$  του φωτός

στο κενό (ή με την ταχύτητα του  $v$  αν το κύμα διαδίδεται σε υλικό μέσο).

#### 4. Λήψη ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Αν για τη λήψη ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος χρησιμοποιείται δέκτης με ιδανικό κύκλωμα LC, θα πρέπει η ιδιοσυχνότητα των ταλαντώσεων του κυκλώματος LC να ταυτίζεται με τη συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

$$f_{LC} = f \Rightarrow \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f.$$

### 5. Συμβολή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ισχύει η αρχή της επαλληλίας. Έτσι, αν δύο ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται, ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή του χώρου, σε κάποια σημεία θα συμβάλλουν ενισχυτικά και σε κάποια ακυρωτικά. Για τα σημεία ενισχυτικής και ακυρωτικής συμβολής ισχύουν αυτά που γνωρίζουμε από τη συμβολή των μηχανικών κυμάτων. Έτσι, αν  $r_1$  και  $r_2$  είναι οι αποστάσεις ενός σημείου του μέσου από τις πηγές παραγωγής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τότε:

- Αν  $r_1 - r_2 = \kappa\lambda$ ,  $\kappa = 0, 1, 2, \dots$ , τα κύματα συμβάλλουν ενισχυτικά στο σημείο οπότε οι μέγιστες τιμές των εντάσεων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου έχουν τιμές  $E'_{\max} = 2E_{\max}$  και  $B'_{\max} = 2B_{\max}$ .
- Αν  $r_1 - r_2 = (2\kappa + 1) \cdot \lambda/2$ ,  $\kappa = 0, 1, 2, \dots$ , τα κύματα συμβάλλουν ακυρωτικά στο σημείο.
- Αν δεν ισχύει καμία από τις προηγούμενες εξισώσεις, τότε:  $0 < E'_{\max} < 2E_{\max}$  και  $0 < B'_{\max} < 2B_{\max}$

### 6. Στάσιμο ηλεκτρομαγνητικό κύμα

Αν δύο ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, η συμβολή τους οδηγεί στη δημιουργία στάσιμου κύματος, με χαρακτηριστικά ανάλογα εκείνων του στάσιμου μηχανικού κύματος.