

ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

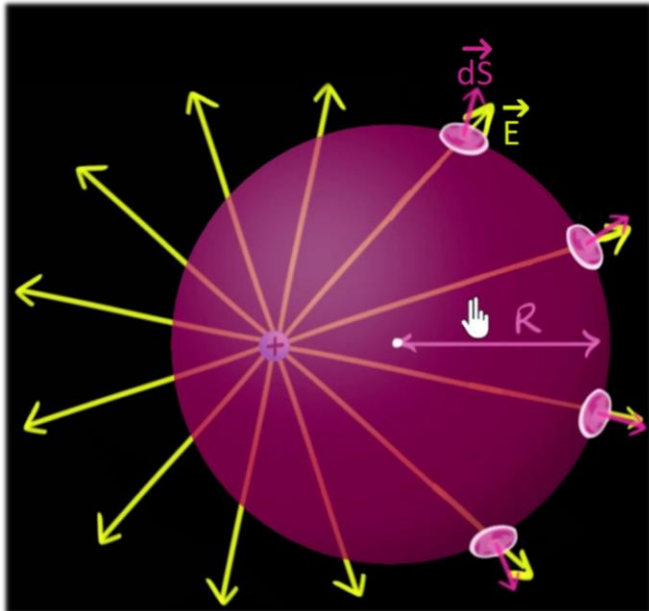
Κεφάλαιο 2: Εξισώσεις Maxwell

Νόμος του Gauss στον ηλεκτρισμό και στον μαγνητισμό

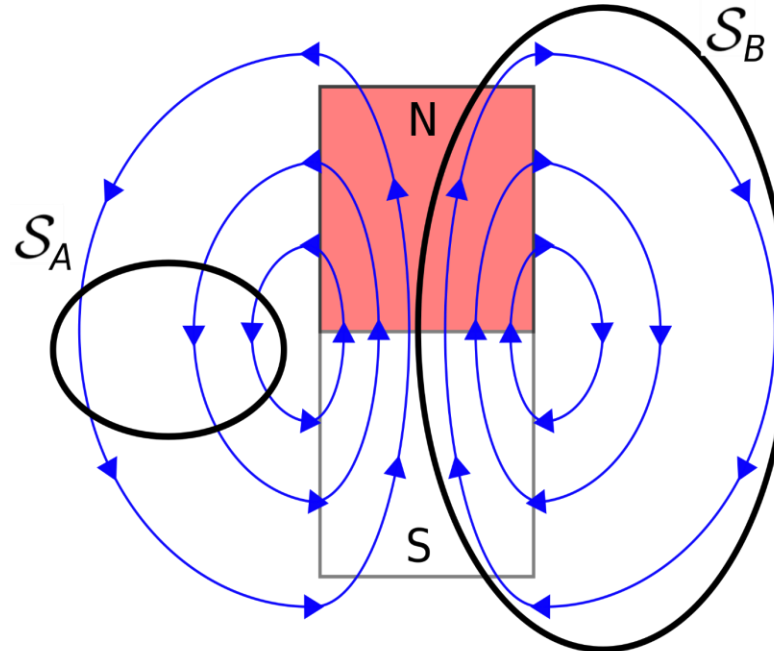
$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_V \rho dV \quad \longrightarrow \quad (\text{νόμος του Gauss στον ηλεκτρισμό})$$

$$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad \longrightarrow \quad (\text{νόμος του Gauss στον μαγνητισμό})$$

Ηλεκτρικό πεδίο



Μαγνητικό πεδίο



Εξισώσεις του Maxwell στο κενό σε ολοκληρωτική μορφή

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_V \rho dV$$

(νόμος του Gauss στον ηλεκτρισμό)

$$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

(νόμος του Gauss στον μαγνητισμό)

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$$

(νόμος του Faraday)

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \iint_S \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

(νόμος του Ampere-Maxwell)

Οι προσθήκες του Maxwell στις εξισώσεις του ηλεκτροστατικού και μαγνητοστατικού πεδίου. Δηλαδή οι μεταβολές των πεδίων ως προς τον χρόνο

Ο Maxwell πρώτα έγραψε τις εξισώσεις ώστε να συμφωνούν με τους νόμους του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού και μετά προέβλεψε την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και πώς σχετίζονται με το φως

Εξισώσεις του Maxwell στο κενό σε διαφορική μορφή

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (\text{νόμος του Gauss στον ηλεκτρισμό})$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{νόμος του Gauss στον μαγνητισμό})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{νόμος του Faraday})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (\text{νόμος του Ampere-Maxwell})$$

Υπενθύμιση: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$ και $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$ Όπου ϵ_0 και μ_0 η ηλεκτρική και η μαγνητική διαπερατότητα στο κενό αντίστοιχα

Εξισώσεις του Maxwell

Στην εξίσωση:
$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_o \iint_S \left(\vec{J} + \varepsilon_o \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

Ο πρώτος όρος ήταν γνωστός (Νόμος του Ampere). Η προσθήκη του Maxwell αφορούσε τον 2^ο όρο και αφορά τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου από χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

Άρα από την εξίσωση:
$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$$

Η εξίσωση δηλώνει ότι ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο.

Εξάρτηση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου

- Ένα χρονικά μεταβαλλόμενο **μαγνητικό** πεδίο δημιουργεί **ηλεκτρικό** πεδίο.
- Ένα χρονικά μεταβαλλόμενο **ηλεκτρικό** πεδίο δημιουργεί **μαγνητικό** πεδίο.
- Άρα το ένα δημιουργεί το άλλο και μπορεί να δημιουργηθεί στον χώρο μια διάδοση πεδίων, ηλεκτρικού και μαγνητικού. Αυτή ή διάδοση συνιστά ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.
- Αυτή ήταν μια πρόβλεψη του Maxwell που προέκυψε από τις εξισώσεις του.

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

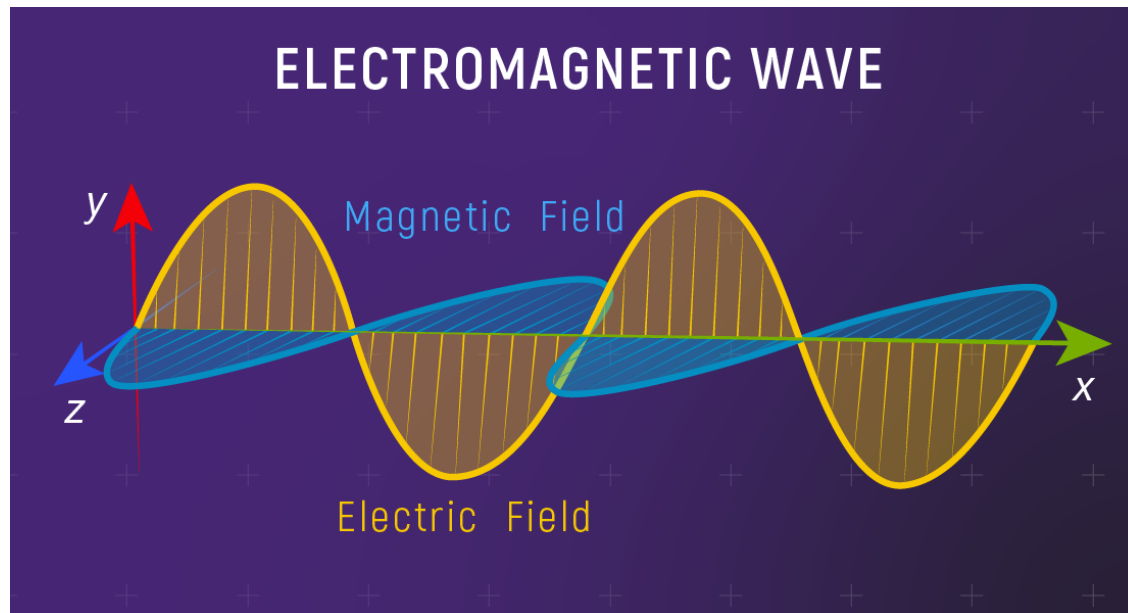
$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Συγκρίνοντας τις εξισώσεις παρατηρούμε ότι υπάρχει μια εμφανέστατη συμμετρία και αλληλοεξάρτηση μεταξύ του ηλεκτρικού πεδίου και του μαγνητικού πεδίου. Η χρονική μεταβολή του ενός προκαλεί τη δημιουργία του άλλου, με αποτέλεσμα η διαταραχή αυτή να διαδίδεται στο χώρο με τη μορφή κύματος

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Τα ΗΜ κύματα έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τα μηχανικά κύματα, περιγράφονται από παρόμοιες εξισώσεις διάδοσης, αλλά μπορούν να διαδίδονται και στο κενό. Άρα ένα ΗΜ κύμα μπορεί να υπάρχει εκεί που δεν υπάρχουν φορτία και ρεύματα.

Ο Maxwell το προέβλεψε αυτό καθώς και ότι μπορούν να έχουν διάφορες συχνότητες αλλά να κινούνται πάντα με την ταχύτητα του φωτός στο κενό.



Όλων των ειδών οι ακτινοβολίες (ορατό φως, ακτίνες Χ, υπεριώδεις, υπέρυθρες, ραδιοκύματα) είναι ΗΜ κύματα με διαφορετικές συχνότητες.

Κύματα

Βασική Κυματική Σχέση:

$$v = \lambda f$$

Συχνότητα f :

- γνώρισμα της πηγής
- ανεξάρτητη από το μέσο μετάδοσης (Hz)

Μήκος Κύματος λ :

- απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών (ή κοιλάδων) του κύματος (m)

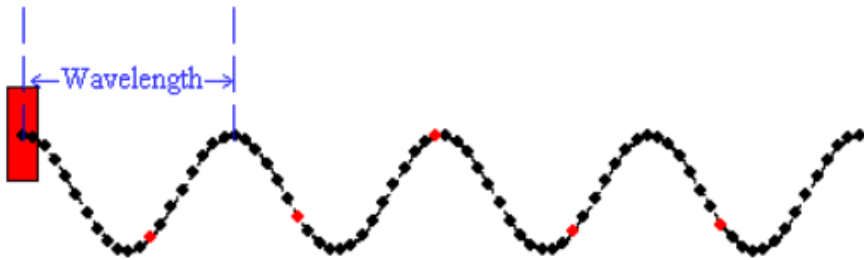
Ταχύτητα Διάδοσης v (m/sec)

■ Περίοδος Κύματος:

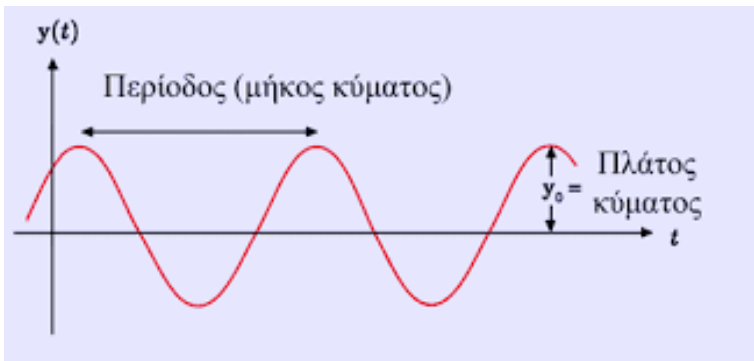
- χρόνος για την εκτέλεση ενός κύκλου, μετά τη λήξη του οποίου το κύμα επαναλαμβάνεται (sec)

$$T = 1/f$$

Transverse Wave

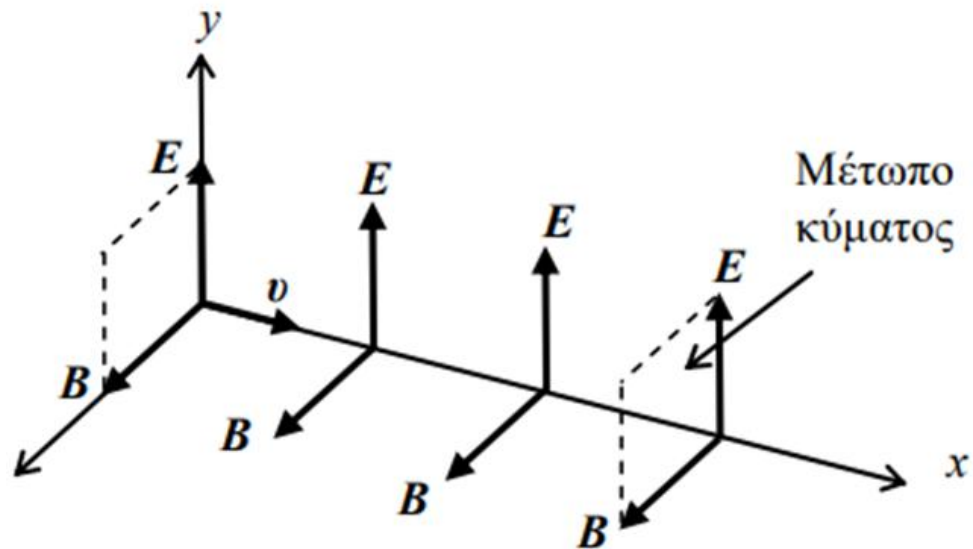


isvr

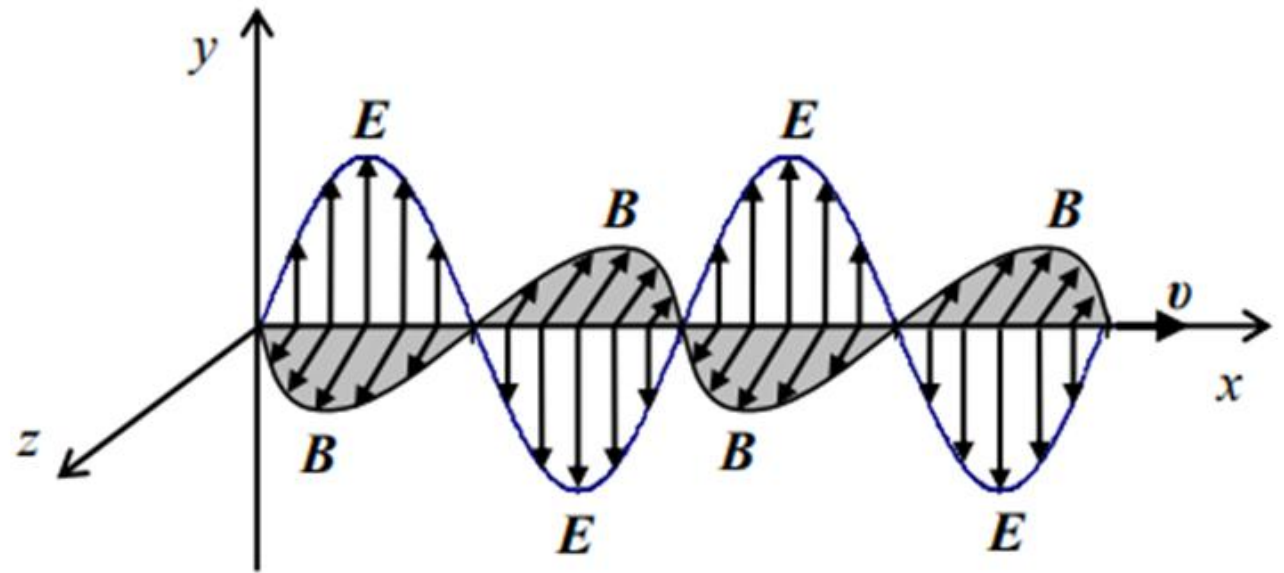


Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Επίπεδο ΗΜ κύμα που
διαδίδεται στη διεύθυνση x



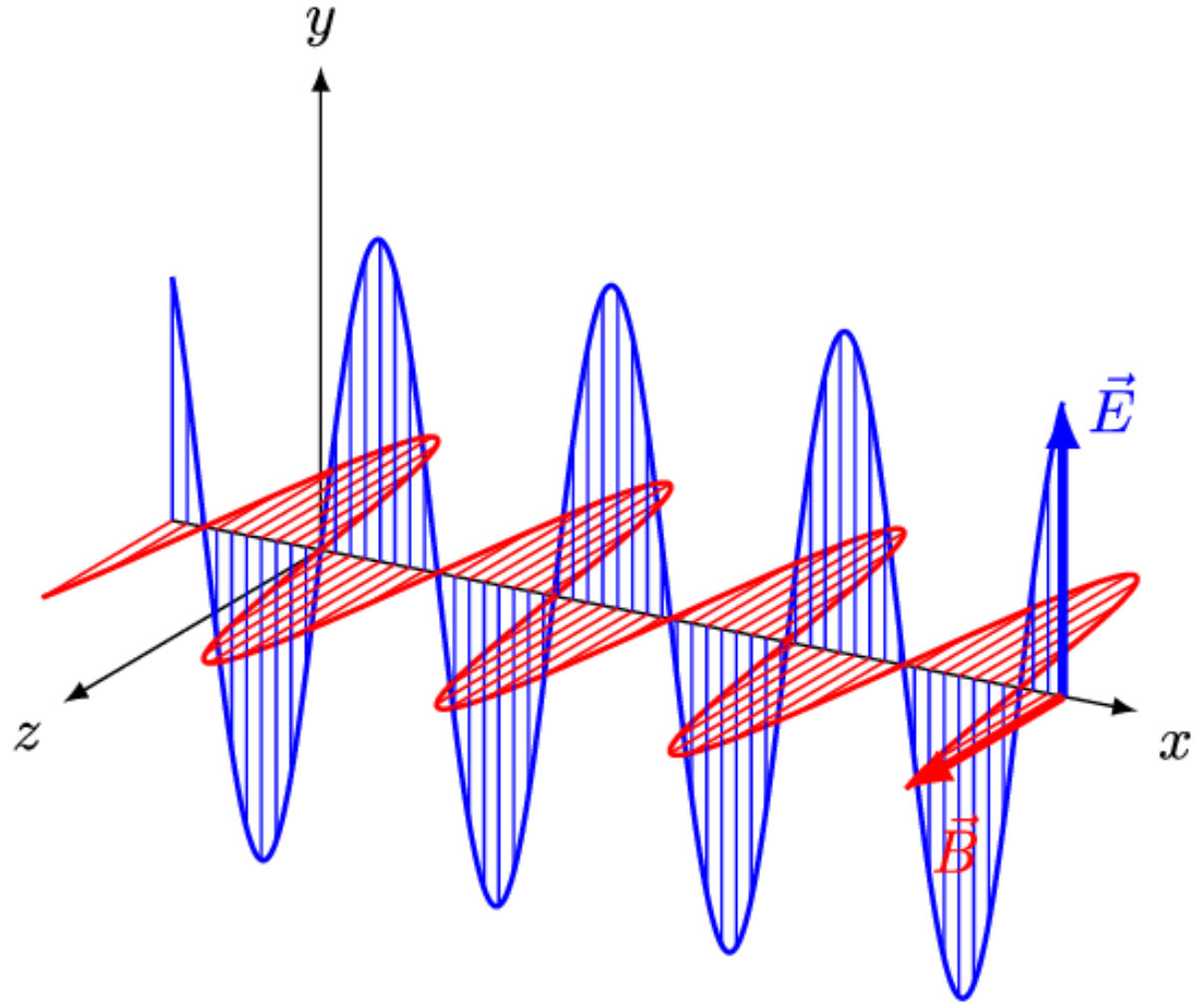
Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο
διαδίδονται κάθετα μεταξύ τους



Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι συγχρονισμένα (φτάνουν ταυτόχρονα στη μέγιστη και ελάχιστη τιμή τους) ταλαντούμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους (μπλε επίπεδο και κόκκινο επίπεδο) και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Διαδίδονται στο κενό με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός αλλά και μέσα στην ύλη με ταχύτητα λίγο μικρότερη απ' την ταχύτητα του φωτός.

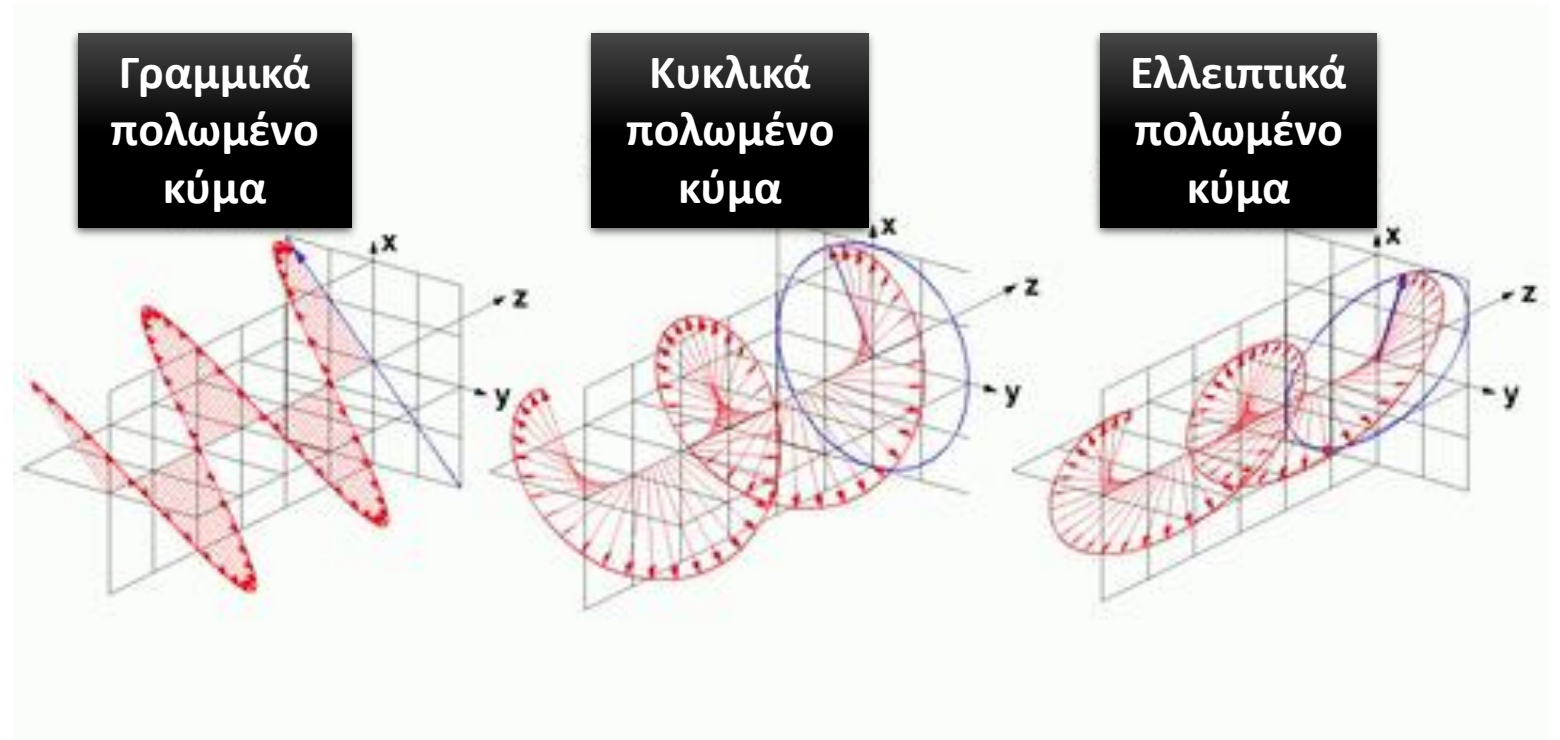


Πόλωση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - 1

Γραμμικά πολωμένο κύμα: Τα πεδία \mathbf{E} και \mathbf{B} ταλαντώνονται σε ένα σταθερό επίπεδο και η κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου παραμένει σταθερή με το χρόνο.

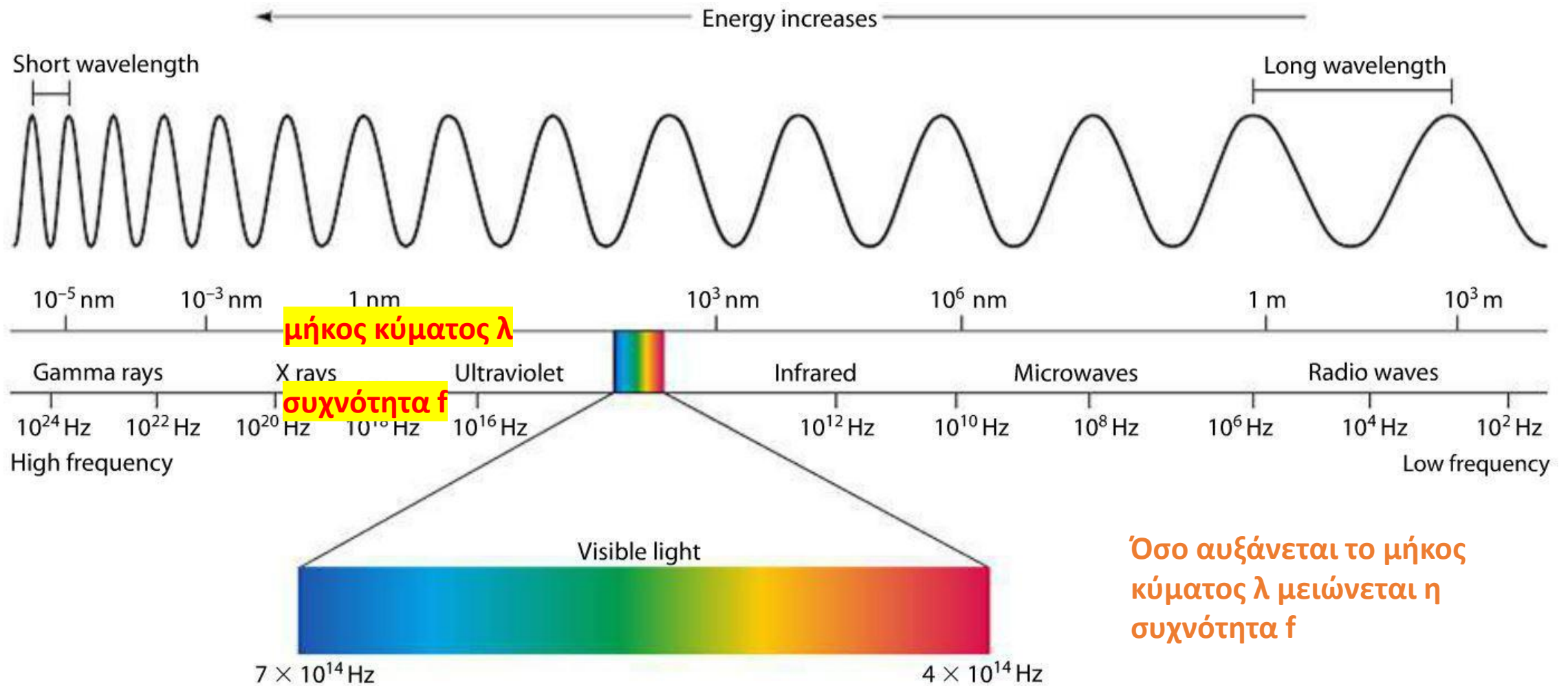
Κυκλικά πολωμένο κύμα: Τα πεδία \mathbf{E} και \mathbf{B} **περιστρέφονται** σε επίπεδο κάθετο προς την κατεύθυνση διάδοσης, διαγράφοντας έναν κύκλο. Τα κυκλικά πολωμένα κύματα μπορεί να είναι είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα.

Ελλειπτικά πολωμένο κύμα: Τα πεδία \mathbf{E} και \mathbf{B} ταλαντώνονται σε ελλειπτικό σχήμα. Το επίπεδο ταλάντωσης των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων έχει κλίση ως προς την κατεύθυνση διάδοσης.



Στο σχήμα φαίνεται μόνο η ταλάντωση του ηλεκτρικού πεδίου. Το μαγνητικό πεδίο που δεν αποτυπώνεται είναι πάντα κάθετο στο ηλεκτρικό πεδίο και ταλαντώνεται συγχρονισμένα μαζί του (δηλαδή όποτε φτάνει το ένα στη μέγιστη τιμή, φτάνει και το άλλο).

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



Όσο αυξάνεται το μήκος κύματος λ μειώνεται η συχνότητα f

Ερωτήσεις

- Πώς μετέβαλε ο Maxwell τον νόμο του Faraday για να συσχετίσει το ηλεκτρικό με το μαγνητικό πεδίο;
- Πώς μετέβαλε ο Maxwell τον νόμο του Ampere για να συσχετίσει το μαγνητικό με το ηλεκτρικό πεδίο;
- Τι δημιουργεί ένα χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο;
- Τι δημιουργεί ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο;
- Τι εννοούμε όταν λέμε ότι το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο ενός ΗΜ κύματος είναι συγχρονισμένα;
- Πώς ταλαντώνεται το ηλεκτρικό ως προς το μαγνητικό πεδίο ενός ΗΜ κύματος;
- Πώς ταλαντώνονται το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ως προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος;
- Τι είναι μήκος κύματος ενός κύματος
- Τι είναι περίοδος ενός κύματος;
- Πώς σχετίζονται μεταξύ τους η συχνότητα και το μήκος κύματος;
- Το φως μέσα στην ύλη διαδίδεται με ταχύτητα μικρότερη ή μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός στο κενό;
- Πώς ταλαντώνονται το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο σε ένα γραμμικά πολωμένο κύμα;
- Πώς ταλαντώνονται το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο σε ένα κυκλικά πολωμένο κύμα;
- Πώς ταλαντώνονται το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο σε ένα ελλειπτικά πολωμένο κύμα;