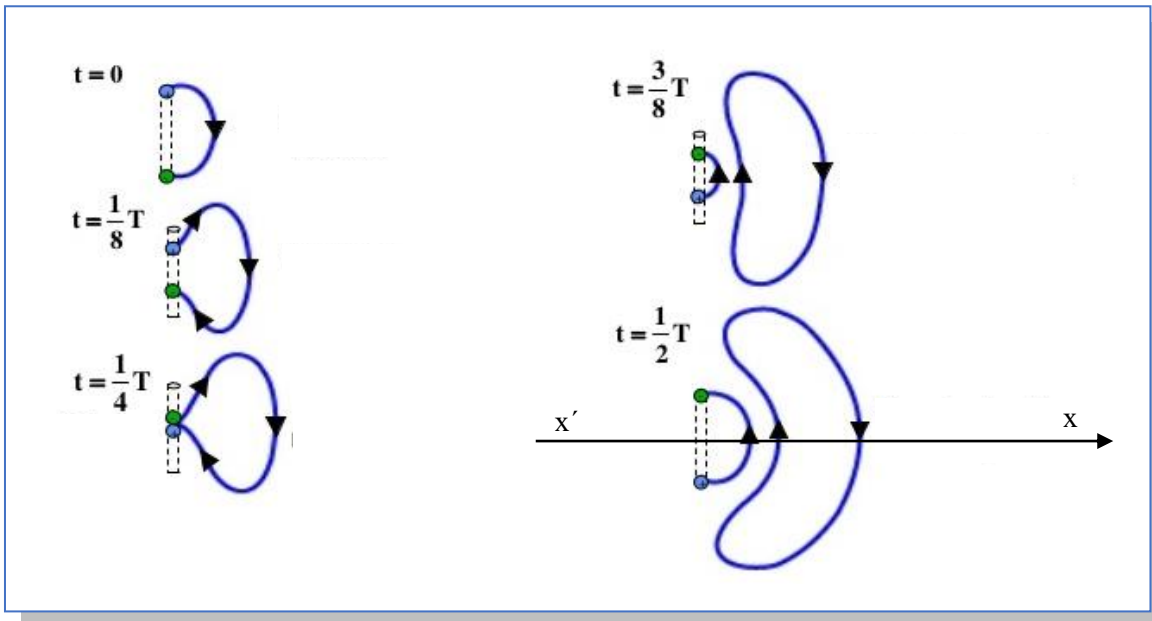


Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα ταλαντούμενου ηλεκτρικού διπόλου

Δίνονται τα στιγμιότυπα δυναμικών γραμμών, που παράγονται σε μια διπολική κεραία (ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο). Διεγέρτης της ταλάντωσης είναι μια πηγή αρμονικά εναλλασσόμενης τάσης. Να απαντήσετε τα παρακάτω ερωτήματα δικαιολογώντας την απάντησή σας.



- α)** Οι δυναμικές γραμμές που απεικονίζονται περιγράφουν το ηλεκτρικό ή το μαγνητικό πεδίο; Αν περιγράφουν το ηλεκτρικό πεδίο γιατί μετά τη χρονική στιγμή $T/4$ είναι κλειστές; Το ηλεκτρικό αυτό πεδίο είναι συντηρητικό;
- β)** Ποια θα είναι η εξίσωση $q = f(t)$ της αλγεβρικής τιμής του ηλεκτρικού φορτίου του άκρου A του διπόλου;
- γ)** Ποια θα είναι η αλγεβρική τιμή $i = f(t)$ της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το δίπολο;
- δ)** Όταν οι δυναμικές γραμμές απομακρύνονται από την κεραία, τα δυο πεδία γίνονται συμφασικά. Να σχεδιάσετε στην αποσπασμένη γραμμή τη χρονική στιγμή $t = T/2$, πάνω στον άξονα των x (μεσοκάθετος του διπόλου), τις εντάσεις των δύο πεδίων, που αποτελούν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα.
- ε)** Για τη λήψη του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, ο δέκτης (κεραία) (Σ ή Λ)
- ε1) πρέπει να ανιχνεύσει και το ηλεκτρικό και το μαγνητικό κύμα
- ε2) αρκεί να ανιχνεύσει το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος, επειδή η κεραία ανταποκρίνεται κυρίως στο ηλεκτρικό πεδίο και από αυτό παράγει το σήμα στον δέκτη.
- ε3) αρκεί να ανιχνεύσει μόνο το μαγνητικό κύμα
- ε4) μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να ανιχνεύει το μαγνητικό πεδίο, αλλά οι συνηθισμένες κεραίες (όπως της τηλεόρασης) δεν το κάνουν, αφού το μαγνητικό πεδίο είναι πολύ ασθενές.

Απάντηση

α) Παρατηρούμε - μέχρι τη χρονική $T/4$ - ανοιχτές δυναμικές γραμμές, που ξεκινούν ... και καταλήγουν... Αυτό σημαίνει ότι είναι ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές, περιγράφουν το ηλεκτρικό πεδίο. Όμως δεν παράγονται από στατικά ηλεκτρικά φορτία, αλλά από επιταχυνόμενα. Έχουμε ένα χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο, που δεν είναι συντηρητικό και συνοδεύεται από ένα επίσης μη συντηρητικό χρονικά

μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.

Μετά τη χρονική στιγμή $T/4$ οι δυναμικές γραμμές αποσπώνται από την κεραία, έχουμε δημιουργία κύματος, που απομακρύνεται από την κεραία με ταχύτητα φωτός. Το ηλεκτρικό πεδίο δεν “πηγάζει” πλέον από την κεραία, δεν είναι πεδίο φορτίων, είναι κυματικό πεδίο και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ή όπως

$$\text{έγραψε ο Maxwell } \nabla \times \vec{B} = -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

β) Βλέπουμε ότι τη χρονική στιγμή $t = 0$, στο άκρο A του διπόλου $q = +Q$. Κατά τα γνωστά από τις μηχανικές ταλαντώσεις, η ταλάντωση θα έχει αρχική φάση $\pi/2$ rad. Η αλγεβρική τιμή του φορτίου θα είναι

$$q = Q\eta\mu(\omega t + \pi/2) \text{ ή } q = Q\sigma\upsilon\nu(\omega t)$$

γ) Όπως στις μηχανικές ταλαντώσεις $v = \frac{dx}{dt}$, το ηλεκτρικό ρεύμα είναι αντίστοιχα $i = \frac{dq}{dt}$, οπότε

$$i = \omega Q \sigma\upsilon\nu(\omega t + \pi/2) \text{ ή } i = -I\eta\mu(\omega t)$$

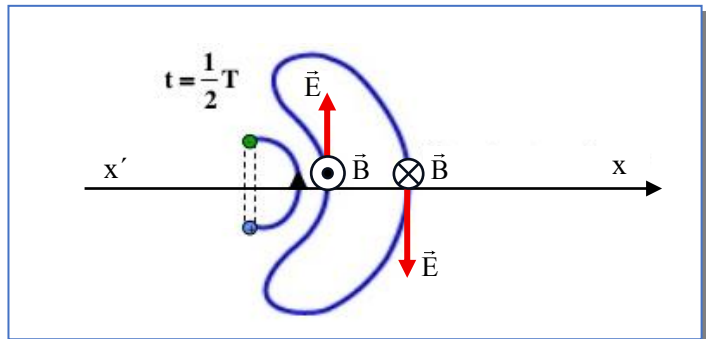
δ) Η ηλεκτρική δυναμική γραμμή έχει αποσπαστεί πλέον από την κεραία. Τα διανύσματα \vec{E} , \vec{B} είναι συμφασικά.

Οι κατευθύνσεις τους, ακολουθούν και τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Αντίχειρας \rightarrow φορά διάδοσης

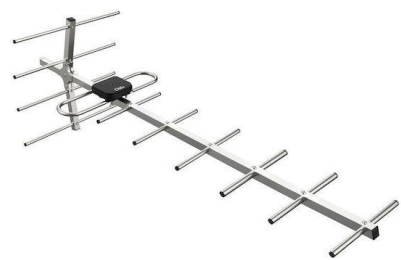
Δείκτης $\rightarrow \vec{E}$

Μέσος $\rightarrow \vec{B}$



ε) Η πληροφορία στο ηλεκτρομαγνητικό κύμα μεταφέρεται πανομοιότυπα και από τα δύο πεδία, αλλά ο δέκτης δεν χρειάζεται να «διαβάσει» και τα δύο. Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο και τα δύο είναι απολύτως δεμένα μεταξύ τους από τις εξισώσεις Maxwell. Δεν υπάρχει «ηλεκτρικό κύμα» ή «μαγνητικό κύμα» μόνο του. Το ένα συνεπάγεται το άλλο. Η πληροφορία (πλάτος, φάση, συχνότητα, διαμόρφωση) βρίσκεται στην ταλάντωση του E και στην ταλάντωση του B και είναι η ίδια και στα δύο.

Παρότι η πληροφορία υπάρχει και στα δύο πεδία, η κεραία λήψης ανταποκρίνεται σχεδόν αποκλειστικά στο ηλεκτρικό πεδίο E. Το μαγνητικό πεδίο B επάγει πολύ μικρότερη τάση λόγω μικρής τιμής μαγνητικής ροής. Άρα ενώ η πληροφορία είναι ίδια στο E και στο B, ο δέκτης την αντλεί από το E, επειδή αυτό παράγει ισχυρότερο σήμα.



Κοιτάξτε και το διπλανό σχήμα. Οι κεραίες τηλεόρασης εκπομπής εκπέμπουν με οριζόντια πόλωση, δηλαδή το ηλεκτρικό πεδίο E είναι οριζόντιο. Για να ληφθεί σωστά το σήμα, η κεραία λήψης πρέπει να έχει οριζόντια δίπολα. (Ανεβείτε στην ταράτσα να τις δείτε.)

Άρα οι απαντήσεις της ερώτησης θα είναι:

$$\epsilon 1 \rightarrow \Lambda \quad \epsilon 2 \rightarrow \Sigma \quad \epsilon 3 \rightarrow \Lambda \quad \epsilon 4 \rightarrow \Lambda \quad \epsilon 5 \rightarrow \Sigma$$

Ανδρέας Ριζόπουλος

