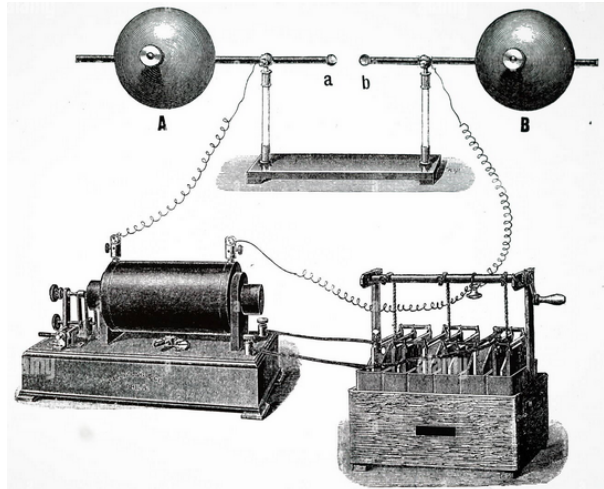


Ένας σπινθήρας μια ιστορία και το Η/Μ κύμα του

Το 1887 ο Γερμανός Φυσικός Heinrich Hertz κατασκεύασε το κύκλωμα, που φαίνεται στην γκραβούρα, με σκοπό να παράγει ηλεκτρομαγνητικά κύματα, αποδεικνύοντας πειραματικά τη θεωρία του Maxwell. Βλέπουμε σε αυτό δύο λεία σφαιρίδια *a* και *b*, δυο σφαίρες *A* και *B*, που δημιουργούν πυκνωτή, ένα επαγωγικό πηνίο Ruumkorff και μια πηγή συνεχούς τάσης.



Αν το ζωγραφίσουμε με σύμβολα, παίρνουμε το κύκλωμα του σχήματος 1, όπου έχει προστεθεί και ο δέκτης, που είναι ένας κυκλικός αγωγός με εγκοπή, στα άκρα του οποίου έχουν συγκολληθεί τα λεία σφαιρίδια *d*, *e*.

Κλείνουμε το διακόπτη *δ*. Το επαγωγικό πηνίο παράγει υψηλή εναλλασσόμενη τάση και ανάμεσα στα σφαιρίδια *a*, *b* εμφανίζεται ηλεκτρικός σπινθήρας. Τότε παρατηρούμε και ανάμεσα στα σφαιρίδια *d*, *e* του δέκτη δημιουργείται σπινθήρας.



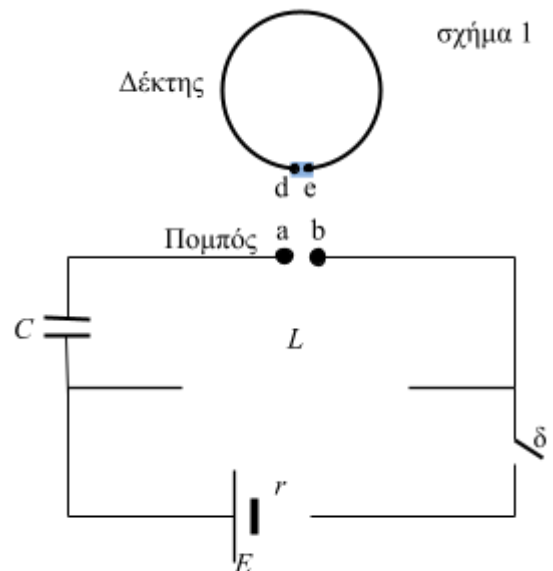
α) Τι εξήγηση θα μπορούσατε να δώσετε για το σπινθήρα ανάμεσα στα *d*, *e*;

β) Η τάση που παράγει το πηνίο Ruumkorff δεν είναι αρμονική. Ας υποθέσουμε ότι είναι. Τότε και στο δέκτη παρατηρούμε επίσης αρμονική τάση. Η συχνότητα του πομπού ήταν $f = 5 \cdot 10^7 \text{ Hz}$. Ο Hertz χρησιμοποιώντας ανακλαστήρες κατόρθωσε να εγκλωβίσει στάσιμο ηλεκτρομαγνητικό κύμα ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη και παρατήρησε ότι μετακινώντας έναν ανιχνευτή, κάθε 3 m , λάμβανε μηδενισμό της έντασης του κύματος. Πόση ήταν η ταχύτητα διάδοσης;

γ) Αν $E_{\max} = 3 \cdot 10^6 \text{ V/m}$, γράψτε τις εξισώσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού κύματος, μακριά από τον πομπό, θεωρώντας διάδοση στη διεύθυνση ενός άξονα $X'X$.

δ) Γιατί αυτό το Η/Μ κύμα δεν ήταν ορατό;

Σε ποια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανήκει; Θεωρείστε ότι ο αέρας συμπεριφέρεται ως κενό.



Απάντηση

α) Να σημειώσουμε ότι στο διάκενο εξαιτίας της υψηλής διαφοράς δυναμικού, αναπτύσσεται, ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο. Αν η έντασή του ξεπεράσει τη διηλεκτρική αντοχή του αέρα ($3 \cdot 10^6$

V/m), ο αέρας ιονίζεται, παύει να είναι μονωτής και διέρχεται μέσα από αυτόν ηλεκτρικό ρεύμα, που δίνει το οπτικό φαινόμενο του σπινθήρα (είναι ένας μικρός κεραυνός...).

Συμπεραίνουμε ότι το ίδιο πρέπει να συμβαίνει και στο διάκενο του δέκτη. Πως όμως παράχθηκε το ηλεκτρικό πεδίο, αφού δεν υπάρχει πηγή; Το ηλεκτρικό ρεύμα του σπινθήρα χρειάζεται ενέργεια. Πως μεταφέρθηκε αυτή; Γνωρίζουμε ότι ένας μηχανισμός μεταφοράς ενέργειας είναι τα κύματα. Άρα ένα κύμα, ας το ονομάσουμε ηλεκτρικό μετέφερε την ενέργεια. Γύρω όμως από ρευματοφόρους αγωγούς παράγεται και μαγνητικό πεδίο, άρα το ηλεκτρικό κύμα δεν υπάρχει μόνο του, είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

β) Προφανώς ο Hertz δημιούργησε στάσιμο H/M κύμα και κάθε $3m$ υπήρχε δεσμός.

$$\Delta\eta\lambda\alpha\delta\acute{\eta} \quad \frac{\lambda}{2} = 3 \Leftrightarrow \lambda = 6m$$

Ισχύει η θεμελιώδης εξίσωση της Κυματικής

$$v_{\delta} = \lambda \cdot f \Leftrightarrow v_{\delta} = 6 \cdot 5 \cdot 10^7 \Leftrightarrow v_{\delta} = 3 \cdot 10^8 m/s$$

δηλαδή $v_{\delta} = c$, άρα τα H/M κύματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός.

γ) Πλέον μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την H/M θεωρία του Maxwell, άρα

$$c = \frac{E_{max}}{B_{max}} \Leftrightarrow B_{max} = \frac{E_{max}}{c} \Leftrightarrow B_{max} = \frac{3 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^8} \Leftrightarrow B_{max} = 1 \cdot 10^{-2} T$$

$$\text{Το ηλεκτρικό κύμα:} \quad E = E_{max} \cdot \eta\mu 2\pi(f \cdot t - \frac{x}{\lambda}) \Leftrightarrow E = 3 \cdot 10^6 \cdot \eta\mu 2\pi(5 \cdot 10^7 t - \frac{x}{6}) \quad (\text{S.I.})$$

Το μαγνητικό κύμα:

$$B = B_{max} \cdot \eta\mu 2\pi(f \cdot t - \frac{x}{\lambda}) \Leftrightarrow B = 1 \cdot 10^{-2} \cdot \eta\mu 2\pi(5 \cdot 10^7 t - \frac{x}{6}) \quad (\text{S.I.})$$

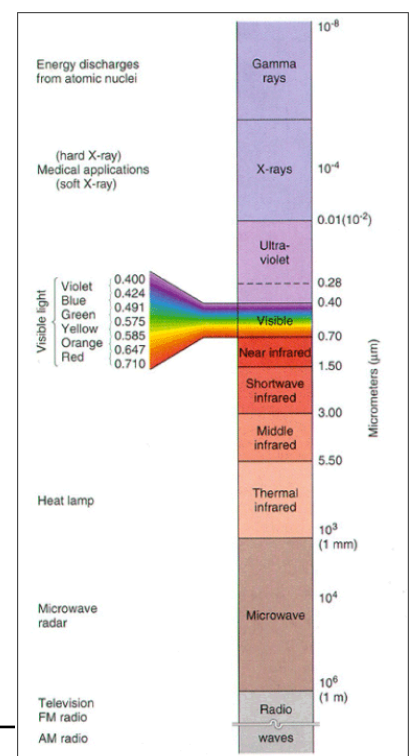
δ) Το μήκος κύματος του ορατού φωτός ανήκει στην περιοχή

$$400nm \leq \lambda \leq 700nm$$

Άρα δεν ήταν ορατό το H/M που έφτιαξε ο Hertz. Με βάση και το διπλανό διάγραμμα, ανήκε στα **ραδιοκύματα**.

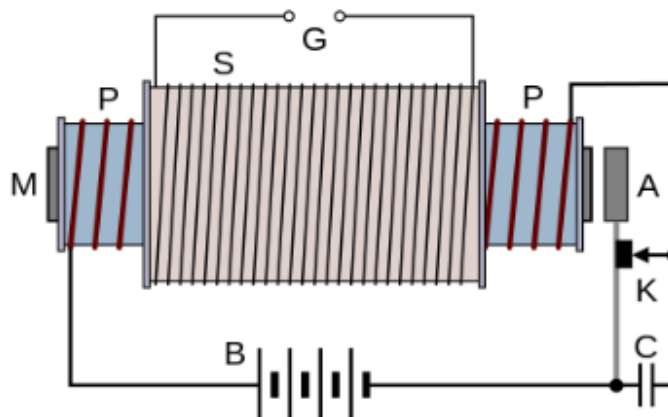
Σχόλια

α) Το επαγωγικό πηνίο Ruhmkorff φαίνεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα. Χωρίς να αναλωθούμε σε λεπτομέρειες, η λειτουργία στηρίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής ανάμεσα στο πρωτεύον P και στο δευτερεύον πηνίο S, με τη βοήθεια της διακοπόμενης επαφής A, (όπως στο ηλεκτρικό κουδούνι). Οι απότομες μεταβολές της μαγνητικής ροής, προκαλούν ΗΕΔ επαγωγής στο δευτερεύον, αρκετών



χιλιάδων Volt, που ανάλογα με το διάκενο, ξεπερνούν τη διηλεκτρική αντοχή του αέρα, ώστε να δημιουργείται σπινθήρας.

Ο πυκνωτής C χρειάζεται για την απορρόφηση των σπινθηρισμών, που δημιουργούνται στην επαφή A, οι οποίοι οδηγούν σε καταστροφή της επαφής και απώλεια ενέργειας.



Χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην παραγωγή ακτίνων X, πομπούς ραδιοφώνου, φωτισμό τόξου και συσκευές ιατρικής ηλεκτροθεραπείας από τη δεκαετία του 1880 έως τη δεκαετία του 1920. Σήμερα η μόνη χρήση του είναι ως πηνίο ανάφλεξης σε κινητήρες εσωτερικής καύσης (προκαλεί το σπινθήρα στο μπουζί).

β) Για να παραχθεί σπινθήρας, το διάκενο ανάμεσα στα σφαιρίδια d, e του δέκτη πρέπει να είναι μικρότερο από το αντίστοιχο διάκενο ανάμεσα στα a, b του πομπού. Γιατί;

Το Η/Μ κύμα που εκπέμπεται διαδίδεται στο χώρο σε τρεις διαστάσεις και η έντασή του μειώνεται με την απόσταση, από τον πομπό. Άρα το ηλεκτρικό πεδίο που αναπτύσσεται στο δέκτη έχει μικρότερη ένταση, από ότι στον πομπό και έτσι μειώνεται το πάχος του αέρα, που μπορεί να ιονιστεί ώστε να υπάρξει σπινθήρας.

γ) Το Η/Μ κύμα που έστειλε ο Hertz, είναι το πρώτο μήνυμα του είδους μας προς το υπόλοιπο σύμπαν. Ο ανθρώπινος πολιτισμός ξέφυγε από τα όρια του πλανήτη του και μπορούσε πλέον να δηλώσει την ύπαρξή του, σε οποιονδήποτε άλλο πολιτισμό, που είχε ανακαλύψει τα ραδιοκύματα. Που βρίσκεται σήμερα θεωρητικά, εκείνο το ραδιοκύμα του Hertz;

$2023 - 1887 = 136$ έτη φωτός μακριά.

Είναι μεγάλη αυτή η απόσταση; Το κέντρο του Γαλαξία μας απέχει 27000 έτη φωτός από τον Ήλιο μας. Τι λέτε; Στη διπλανή εικόνα βλέπουμε το φωτεινό γαλαξιακό κέντρο.

Αν κάποιος εξωγήινος αυτή τη στιγμή απαντήσει στο ραδιοκύμα του Hertz, θα περιμένουμε 136 χρόνια για να πάρουμε την απάντηση...



Ανδρέας Ριζόπουλος