

## Εκπομπή ΗΜΚ...

Ρώτησα το **Deepseek**:

Αφήνουμε να πέσει ένας ραβδόμορφος μαγνήτης ο οποίος δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο μέγιστης έντασης  $B=0,1T$ . Σε μια στιγμή ο μαγνήτης έχει ταχύτητα  $v=2m/s$ . Μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που εκπέμπεται την παραπάνω στιγμή;

**Απάντηση:**

Για να υπολογίσουμε την ενέργεια (ή την ισχύ) που εκπέμπεται, πρέπει να κάνουμε μια προσέγγιση της φυσικής κατάστασης.

Ο ραβδόμορφος μαγνήτης συμπεριφέρεται σαν ένα **μαγνητικό δίπολο**. Όταν αυτό το δίπολο επιταχύνεται, εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως ακριβώς ένα ηλεκτρικό δίπολο εκπέμπει όταν ταλαντώνεται.

- **1. Το μοντέλο: Μαγνητικό δίπολο**

Για ένα μαγνητικό δίπολο ροπής  $m$  (σε μονάδες  $A \cdot m^2$ ) που επιταχύνεται με επιτάχυνση  $a$ , η συνολική ισχύς της ακτινοβολίας δίνεται από τον τύπο (αντίστοιχο με αυτόν ενός ηλεκτρικού διπόλου, αλλά με μαγνητικές σταθερές):

$$P = \frac{\mu_0}{6\pi c^3} \cdot (\ddot{m})^2$$

ή πιο απλά, αν η μαγνητική ροπή είναι σταθερή σε μέγεθος αλλά το δίπολο επιταχύνεται:

$$P = \frac{\mu_0}{6\pi c^3} \cdot m^2 \cdot \left(\frac{d^2\hat{n}}{dt^2}\right)^2$$

όπου  $\hat{n}$  είναι η κατεύθυνση του άξονα του διπόλου.

Στην περίπτωση πτώσης, αν ο άξονας του μαγνήτη είναι κατακόρυφος (ίδια κατεύθυνση με την πτώση), η μαγνητική ροπή ως προς το σύστημα αναφοράς δεν αλλάζει προσανατολισμό. Άρα το κέντρο του πεδίου κινείται, αλλά η κατανομή του παραμένει ίδια.

Για να υπάρχει έντονη ακτινοβολία, χρειάζεται:

1. **Μεταβολή της διεύθυνσης** (περιστροφή), ή
2. **Μεταβολή του μέτρου** (που εδώ δεν έχουμε), ή
3. **Ο μαγνήτης να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να δημιουργεί χρονική καθυστέρηση στη μεταβολή του πεδίου** (το φαινόμενο είναι πιο πολύπλοκο).

Στην απλή περίπτωση της ευθύγραμμης ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης, η ακτινοβολία είναι εξαιρετικά μικρή και δύσκολο να υπολογιστεί με απλό τύπο, αλλά μπορούμε να κάνουμε μια τάξη μεγέθους.

- **2. Υπολογισμός τάξης μεγέθους**

Ας υπολογίσουμε την ενέργεια που εκπέμπεται σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα  $\Delta t$  γύρω από τη στιγμή που έχει ταχύτητα  $2 \text{ m/s}$ .

### Βήμα 1: Εύρεση μαγνητικής ροπής $m$

Γνωρίζουμε ότι η μέγιστη ένταση του πεδίου κοντά στον μαγνήτη είναι  $B = 0,1 \text{ T}$ .

Το πεδίο ενός ραβδόμορφου μαγνήτη μοιάζει με πεδίο διπόλου. Στον άξονα του διπόλου, σε απόσταση  $r$ , η ένταση είναι:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2m}{r^3}$$

Αν υποθέσουμε ότι η "μέγιστη ένταση"  $B = 0,1 \text{ T}$  μετριέται στην επιφάνεια του μαγνήτη, και ότι ο μαγνήτης έχει μήκος π.χ.  $L \approx 0,1 \text{ m}$ , τότε η απόσταση  $r$  είναι της τάξης του μήκους του.

Λύνοντας ως προς  $m$ :

$$\begin{aligned} m &\approx \frac{B \cdot r^3 \cdot 4\pi}{2\mu_0} \\ m &\approx \frac{0,1 \cdot (0,1)^3 \cdot 4\pi}{2 \cdot (4\pi \times 10^{-7})} = \frac{0,1 \cdot 0,001 \cdot 4\pi}{8\pi \times 10^{-7}} \\ m &\approx \frac{0,0004\pi}{8\pi \times 10^{-7}} = \frac{4 \times 10^{-4}}{8 \times 10^{-7}} = 0,5 \times 10^3 \\ m &\approx 500 \text{ A} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

### Βήμα 2: Εύρεση επιτάχυνσης

$$a = g \approx 10 \text{ m/s}^2$$

### Βήμα 3: Εκτίμηση Ισχύος (P)

Υπάρχει ένας γνωστός τύπος για την ισχύ ακτινοβολίας από ένα επιταχυνόμενο μαγνητικό δίπολο, ο οποίος περιέχει όρους  $\frac{1}{c^5}$ , που τον κάνει απειροελάχιστο.

Μια πιο "χειροπιαστή" προσέγγιση είναι η εξής:

Η ισχύς ακτινοβολίας είναι ανάλογη με το τετράγωνο της τρίτης παραγώγου της μαγνητικής ροπής. Αν θεωρήσουμε ότι η κίνηση δημιουργεί μια μεταβολή στο πεδίο που γίνεται αντιληπτή σε χρόνο  $\Delta t = L/c$  (ο χρόνος που χρειάζεται το φως να διασχίσει τον μαγνήτη), τότε η επιτάχυνση εισάγει μια διαταραχή.

Μια πολύ προσεγγιστική σχέση (βασισμένη σε ανάλυση διαστάσεων) είναι:

$$P \sim \frac{\mu_0 m^2 a^2}{6\pi c^3 L^2}$$

Αντικαθιστούμε:

$$P \sim \frac{(4\pi \times 10^{-7}) \cdot (500)^2 \cdot (10)^2}{6\pi \cdot (3 \times 10^8)^3 \cdot (0,1)^2}$$

Υπολογίζουμε βήμα-βήμα:

$$1. \text{ Αριθμητής: } 4\pi \times 10^{-7} \times 250000 \times 100 = 4\pi \times 10^{-7} \times 2,5 \times 10^7 = 4\pi \times 2,5 = 10\pi.$$

$$\text{Άρα Αριθμητής} \approx 31,4.$$

$$2. \text{ Παρονομαστής: } 6\pi \times (27 \times 10^{24}) \times 0,01 = 6\pi \times 2,7 \times 10^{23}.$$

$$6\pi \approx 18,84, \text{ άρα } 18,84 \times 2,7 \times 10^{23} \approx 50,9 \times 10^{23} = 5,09 \times 10^{24}.$$

$$P \sim \frac{31,4}{5,09 \times 10^{24}} \approx 6,2 \times 10^{-24} \text{ W}$$

### • 3. Υπολογισμός Ενέργειας

Η ενέργεια που εκπέμπεται τη στιγμή εκείνη δεν είναι μια στιγμιαία τιμή, αλλά μια συνεχής διαδικασία. Η "στιγμή" στη Φυσική είναι ένα απειροστά μικρό χρονικό διάστημα  $dt$ .

Η ενέργεια που εκπέμπεται σε ένα λεπτό χρονικό διάστημα, π.χ.  $\Delta t = 1 \mu s = 10^{-6} \text{ s}$  γύρω από εκείνη τη στιγμή, είναι:

$$E = P \cdot \Delta t$$

$$E \approx (6,2 \times 10^{-24} \text{ W}) \cdot (10^{-6} \text{ s}) = 6,2 \times 10^{-30} \text{ J}$$

### • 4. Σύγκριση και Συμπέρασμα

Για να καταλάβουμε πόσο μικρή είναι αυτή η ενέργεια:

- Η ενέργεια ενός φωτονίου ορατού φωτός είναι περίπου  $3 \times 10^{-19} \text{ J}$ .
- Η ενέργεια που υπολογίσαμε είναι **10 δισεκατομμύρια φορές μικρότερη** από την ενέργεια ενός μόνο φωτονίου.

#### Τελική απάντηση:

Τη στιγμή που ο μαγνήτης πέφτει, εκπέμπει ενέργεια με ρυθμό (ισχύ) της τάξης του  $\sim 10^{-23} \text{ W}$ . Η συνολική ενέργεια που εκπέμπεται σε μια δεδομένη "στιγμή" (π.χ. σε 1 μικροδευτερόλεπτο) είναι απειροελάχιστη, της τάξης των  $10^{-30} \text{ J}$ , πρακτικά μη μετρήσιμη.