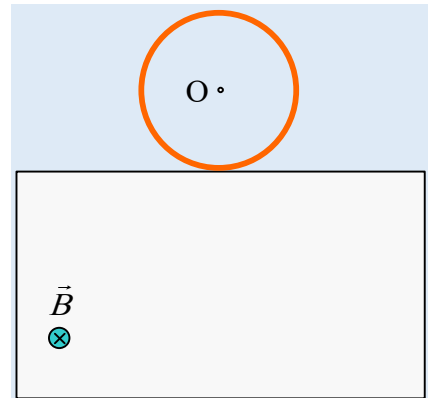


## Ένας κυκλικός αγωγός μπαίνει σε Μαγνητικό πεδίο

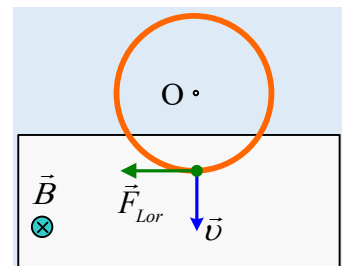
Ένας κυκλικός αγωγός κέντρου  $O$ , ακτίνας  $0,5\text{m}$  και μάζας  $2\text{kg}$  συγκρατείται στη θέση που φαίνεται στο σχήμα, πάνω από ένα οριζόντιο ομογενές μαγνητικό πεδίο και μια στιγμή  $t=0$  αφήνεται να πέσει κατακόρυφα, οπότε εισέρχεται στο μαγνητικό πεδίο, κινούμενο κάθετα στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Στη διάρκεια της εισόδου του πλαισίου στο πεδίο:



- i) Εξηγήστε για ποιο λόγο παρουσιάζεται ρεύμα στον κυκλικό αγωγό.
- ii) Ποια η φορά του παραπάνω ρεύματος;
- iii) Τη χρονική στιγμή  $t_1$  που το κέντρο  $O$  του κυκλικού αγωγού μπαίνει στο πεδίο, έχει ταχύτητα  $v_1=3\text{m/s}$ . Πόση θερμότητα έχει παραχθεί στον αγωγό μέχρι τη στιγμή  $t_1$ ;
- iv) Μόλις ο αγωγός μπει στο Μ.Π. κινείται με επιτάχυνση  $g=10\text{m/s}^2$ . Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί συμβαίνει αυτό;

### Απάντηση:

- i) Αν πάρουμε το πλαίσιο σε μια τυχαία θέση, κατά την πτώση του μέσα στο πεδίο, όπως στο διπλανό σχήμα, βλέπουμε να αυξάνεται με το χρόνο η επιφάνεια του πλαισίου, που βρίσκεται μέσα στο πεδίο, οπότε μεταβάλλεται η μαγνητική ροή  $|\Phi|=B \cdot A$ . Αλλά τότε στον κυκλικό αγωγό αναπτύσσεται μια ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή, σύμφωνα με τον νόμο του Faraday:



$$E_{\varepsilon\pi} = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

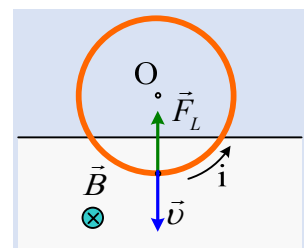
Αλλά τότε, αφού ο κυκλικός αγωγός αποτελεί ένα κλειστό κύκλωμα, θα διαρρέεται από ρεύμα, σύμφωνα με τον νόμο του Ohm για κλειστό κύκλωμα:

$$I = \frac{E_{\varepsilon\pi}}{R}$$

Όπου  $R$  η αντίσταση του αγωγού.

Εναλλακτικά, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τμήματος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο πεδίο, συμμετέχουν στην κίνηση του αγωγού, οπότε δέχονται δύναμη Lorentz, με αποτέλεσμα ο κυκλικός αγωγός να διαρρέεται από ρεύμα...

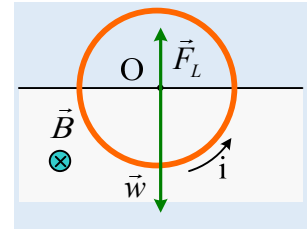
- ii) Με βάση την κατεύθυνση της δύναμης Lorentz που δέχεται ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο, όπως αυτή που έχει σχεδιαστεί στο παραπάνω σχήμα, βλέπουμε τα ηλεκτρόνια να κινούνται με την φορά περιστροφής των δεικτών του ρολογιού (δεξιόστροφα). Αλλά τότε η φορά του ρεύματος (η συμβατική φορά) είναι



αντίθετη, όπως στο διπλανό σχήμα.

Στο ίδιο συμπέρασμα θα μπορούσαμε να καταλήξουμε με την βοήθεια του κανόνα του Lenz. Ο αγωγός κινείται προς τα κάτω, οπότε το πλαίσιο θα διαρρέεται από ρεύμα τέτοιας φοράς, ώστε η ασκούμενη δύναμη Laplace να έχει φορά προς τα πάνω, ώστε να αντιστέκεται στην κίνηση. Αλλά τότε με τον κανόνα των τριών δακτύλων, βρίσκουμε την φορά του ρεύματος, όπως στο σχήμα.

- iii) Στην διάρκεια της παραπάνω πτώσης το τμήμα του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο δέχεται δύναμη Laplace, κατακόρυφη, με φορά προς τα πάνω, όπως στο σχήμα. Ταυτόχρονα δέχεται και το βάρος, με φορά προς τα κάτω. Αν εφαρμόσουμε για τον αγωγό το θεώρημα μεταβολής της κινητικής ενέργειας από  $t_0$  έως  $t_1$ , για πτώση κατά  $h$  ίσο με την ακτίνα, θα πάρουμε:



$$K_1 - K_0 = W_w + W_{F_L} \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 - 0 = mgh + W_{F_L} \rightarrow$$

$$W_{F_L} = \frac{1}{2}mv_1^2 - mgh = \frac{1}{2}2 \cdot 3^2 J - 2 \cdot 10 \cdot 0,5 J = -1J$$

Αλλά το έργο της δύναμης Laplace μετράει την μηχανική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική στο κύκλωμα, συνεπώς η θερμότητα που παράγεται πάνω στην αντίσταση του αγωγού θα είναι ίση:

$$Q_R = 1J$$

Προφανώς στο ίδιο συμπέρασμα μπορούμε να καταλήξουμε με βάση την διατήρηση της ενέργειας. Η μείωση της δυναμικής ενέργειας εμφανίζεται κατά ένα μέρος με την μορφή της κινητικής ενέργειας του πλαισίου, ενώ το υπόλοιπο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και τελικά σε θερμότητα στην αντίσταση του αγωγού.

- iv) Μόλις ολοκληρωθεί η είσοδος του πλαισίου στο πεδίο, η μαγνητική ροή παραμένει σταθερή, οπότε δεν έχουμε φαινόμενο επαγωγής, ούτε ΗΕΔ, ούτε ρεύμα, ούτε δύναμη Laplace, οπότε ακολουθεί κίνηση με επιτάχυνση που οφείλεται στο βάρος. Επιτάχυνση της βαρύτητας.

Και ένα πρόσθετο **ερώτημα:**

Ποια επιπλέον στοιχεία (δεδομένα) χρειάζεστε για να μπορέσετε να υπολογίσετε την ΗΕΔ από επαγωγή και την δύναμη Laplace την χρονική στιγμή  $t_1$ , όπου το κέντρο  $O$  μπαίνει στο πεδίο;

### Υλικό Φυσικής-Χημείας

Γιατί το να μοιράζεσαι πράγματα, είναι καλό για όλους...

Επιμέλεια:

**Διονύσης Μάργαρης**