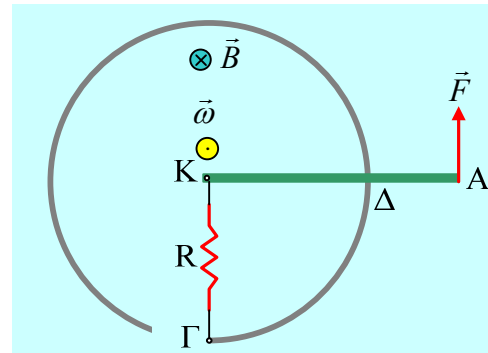


**Η περιστροφή ενός αγωγού και οι ενέργειες**

Μια ευθύγραμμη μεταλλική ράβδος ΚΑ, μήκους  $l=3m$ , μπορεί να στρέφεται χωρίς τριβές σε οριζόντιο επίπεδο, γύρω από κατακόρυφο άξονα ο οποίος περνά από το άκρο της Κ και σε επαφή με έναν οριζόντιο κυκλικό μεταλλικό οδηγό, κέντρου Κ και ακτίνας  $r=2m$ , όπως στο σχήμα (σε κάτοψη). Ο οδηγός παρουσιάζει μια εγκοπή και μεταξύ του ενός άκρου Γ και του άξονα στο Κ, συνδέεται μια αντίσταση  $R=2\Omega$ . Ο οδηγός δεν παρουσιάζει αντίσταση, ενώ η ράβδος ΚΑ έχει αντίσταση  $R_{KA}=3\Omega$ . Στο χώρο υπάρχει ένα κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης  $B=0,8T$ . Για την στιγμή που η ράβδος βρίσκεται στην θέση που δείχνει το σχήμα, έχοντας γωνιακή ταχύτητα περιστροφής  $\omega=5rad/s$ , ενώ δέχεται στο άκρο της μια οριζόντια δύναμη  $F$ , μέτρου  $F=2N$ , κάθετη στην ράβδο, ζητούνται:



- i) Να υπολογιστεί η ΗΕΔ από επαγωγή που αναπτύσσεται στην ράβδο ΚΑ.
- ii) Αφού βρείτε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση R, να υπολογίσετε της τάσεις α)  $V_{KA}$  και β)  $V_{\Delta A}$  όπου Δ το σημείο επαφής της ράβδου με τον κυκλικό οδηγό.
- iii) Να υπολογίσετε την δύναμη Laplace η οποία ασκείται στην ράβδο, καθώς και η ισχύς της στην θέση αυτή.
- iv) Με ποιο ρυθμό μεταφέρεται ενέργεια στην ράβδο, μέσω του έργου της δύναμης F;
- v) Να σχολιάσετε της ενεργειακές μετατροπές που εμφανίζονται στο σύστημα.

**Απάντηση:**

- i) Με βάση τον κανόνα των τριών δακτύλων βρίσκουμε ότι στον αγωγό ΚΑ θα αναπτυχθεί μια ΗΕΔ από επαγωγή, με τον θετικό πόλο της προς το άκρο Κ και τιμή:

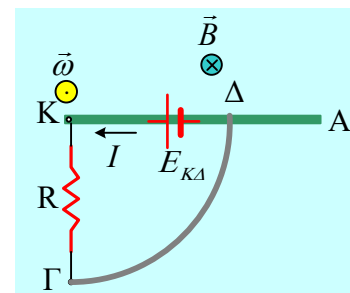
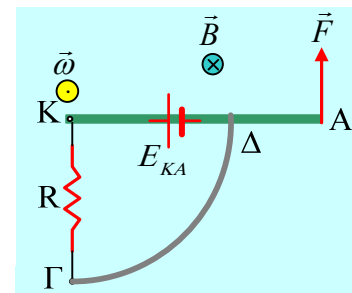
$$E_{KA} = \frac{l}{2} B \omega l^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,8 \cdot 5 \cdot 3^2 V = 18V$$

- ii) Ηλεκτρικό ρεύμα θα έχουμε στον βρόχο ΚΔΓΚ, οπότε μας ενδιαφέρει η ΗΕΔ που αναπτύσσεται στο τμήμα ΚΔ της ράβδου, μήκους r:

$$E_{KA} = \frac{l}{2} B \omega r^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,8 \cdot 5 \cdot 2^2 V = 8V$$

Συνεπώς το διπλανό κύκλωμα θα διαρρέεται από ρεύμα, με φορά όπως στο σχήμα, έντασης:

$$I = \frac{E_{KA}}{R_{KA} + R} \quad (1)$$



Αλλά για την αντίσταση του τμήματος ΚΔ της ράβδου έχουμε  $R_{ΚΔ} = \rho \frac{(ΚΔ)}{S}$ , ενώ η αντίσταση όλης της ράβδου είναι  $R_{ΚΑ} = \rho \frac{(ΚΑ)}{S}$ , οπότε με διαίρεση κατά μέλη παίρνουμε:

$$\frac{R_{ΚΔ}}{R_{ΚΑ}} = \frac{(ΚΔ)}{(ΚΑ)} \rightarrow R_{ΚΔ} = R_{ΚΑ} \frac{(ΚΔ)}{(ΚΑ)} = 3\Omega \frac{2m}{3m} = 2\Omega$$

Και με αντικατάσταση στην (1) παίρνουμε:

$$I = \frac{E_{ΚΔ}}{R_{ΚΔ} + R} = \frac{8V}{2\Omega + 2\Omega} = 2A$$

Όσον αφορά τις ζητούμενες τάσεις, η τάση  $V_{ΚΔ}$ , δεν είναι τίποτα παρά η πολική τάση μιας πηγής, με τιμή:

$$V_{ΚΔ} = V_{\text{πολ}} = E_{ΚΔ} - IR_{ΚΔ} = 8V - 2 \cdot 2V = 4V$$

Ενώ η τάση  $V_{ΔΑ}$  είναι ίση με την ΗΕΔ στο αντίστοιχο τμήμα, η οποία συνδέεται με τις δύο ΗΕΔ που έχουμε υπολογίσει παραπάνω:

$$E_{ΚΑ} = E_{ΚΔ} + E_{ΔΑ} \rightarrow V_{ΔΑ} = E_{ΔΑ} = E_{ΚΑ} - E_{ΚΔ} = 18V - 8V = 10V$$

**Εναλλακτικά** η παραπάνω ΗΕΔ μπορεί να υπολογιστεί με την βοήθεια της μαγνητικής ροής από την επιφάνεια που σαρώνει το τμήμα ΔΑ. Για ευκολία, ας πάρουμε για μια πλήρη περιστροφή σε χρόνο  $\Delta t = T$ , θα έχουμε για τις εμφανιζόμενες ΗΕΔ:

$$V_{ΔΑ} = E_{ΔΑ} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B(\pi l^2 - \pi r^2)}{T} = \frac{B \cdot \pi l^2}{T} - \frac{B \cdot \pi r^2}{T} = E_{ΚΑ} - E_{ΚΔ}$$

iii) Στην ράβδο ΚΑ ασκείται δύναμη Laplace, με σημείο εφαρμογής το μέσον Μ του τμήματος ΚΔ, όπως στο σχήμα, αφού δύναμη δέχεται μόνο το τμήμα της που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, με μέτρο:

$$F_L = B \cdot l \cdot I = 0,8 \cdot 2 \cdot 2N = 3,2N$$

Εξάλλου το σημείο εφαρμογής της δύναμης αυτής, το σημείο Μ έχει ταχύτητα αντίθετης κατεύθυνσης, όπως στο σχήμα, με μέτρο:

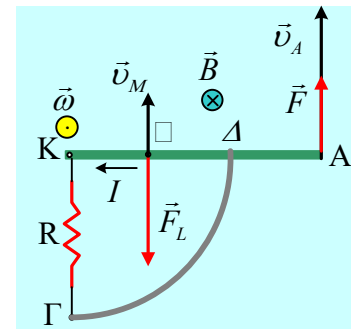
$$v_M = \omega \cdot (KM) = 5 \cdot 1m / s = 5m/s$$

Αλλά τότε η ισχύς της δύναμης Laplace είναι ίση:

$$P_{F_L} = F_L \cdot v_M \cdot \cos 180^\circ = -F_L \cdot v_M = -3,2 \cdot 5W = -16W$$

iv) Ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται ενέργεια στον αγωγό ΚΑ, μέσω του έργου της δύναμης F, είναι ίσος με την ισχύ της δύναμης:

$$P_F = F \cdot v_A \cdot \cos 0^\circ = F \cdot \omega l = 2 \cdot 5 \cdot 3W = 30W \rightarrow$$



$$\frac{dW_F}{dt} = 30 \text{ J/s}$$

ν) Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, η δύναμη F μεταφέρει στην ράβδο ενέργεια με ρυθμό  $30 \text{ J/s}$ . Από αυτά τα  $16 \text{ J/s}$  αφαιρούνται από την ράβδο, μέσω του έργου της δύναμης Laplace. Αλλά τότε το θεώρημα μεταβολής της κινητικής ενέργειας, μας λέει ότι το υπόλοιπο  $14 \text{ J/s}$  αυξάνουν την κινητική ενέργεια της ράβδου. Εξάλλου η μηχανική ενέργεια που αφαιρεί η Laplace (τα  $16 \text{ J/s}$ ), εμφανίζεται στο κύκλωμα με την μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας και τελικά με την μορφή της θερμότητας στις δύο αντιστάσεις. Πράγματι:

$$P_{E_{\text{ext}}} = E_{\text{κΔ}} \cdot I = 8\text{V} \cdot 2\text{A} = 16\text{W} \text{ και}$$

$$P_Q = I^2 R_{\text{κΔ}} + I^2 R = I^2 (R_{\text{κΔ}} + R_{\text{κΔ}}) = 2^2 (2 + 2)\text{W} = 16\text{W}$$

### Υλικό Φυσικής-Χημείας

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

Επιμέλεια:

*Διονύσης Μάργαρης*