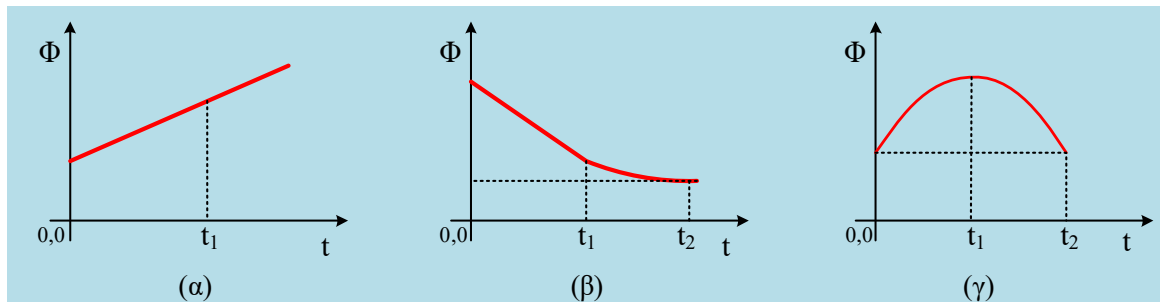
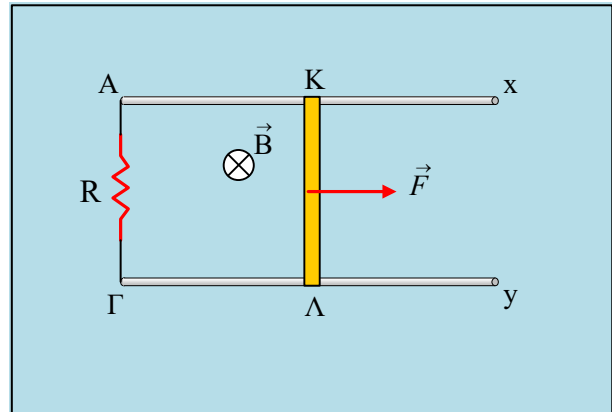


## Η κίνηση του αγωγού και η μαγνητική ροή.

Ο αγωγός ΚΛ μήκους  $\ell$ , μπορεί να κινείται οριζόντια, μέσα σε ένα ομογενές κατακόρυφο μαγνητικό πεδίο έντασης  $B$ , σε επαφή με δυο παράλληλους αγωγούς Αχ και Γγ. Μεταξύ των άκρων Α και Γ συνδέεται αντιστάτης, ενώ στον ΚΛ, μπορούμε να ασκούμε μια οριζόντια δύναμη  $F$  (η δύναμη μπορεί να είναι και αντίθετης φοράς, από αυτήν που φαίνεται στο σχήμα). Παρακάτω δίνονται τρία διαγράμματα  $\Phi = \Phi(t)$  για τη μαγνητική ροή που περνά από το ορθογώνιο ΑΚΛΓ, με την προϋπόθεση ότι η κάθετη στην επιφάνεια έχει φορά ίδια με την ένταση του πεδίου.



1) Αναφερόμενοι στο (α) σχήμα:

- α) Ο αγωγός ΚΛ κινείται προς τα δεξιά.
- β) Η κίνηση του ΚΛ είναι ευθύγραμμη ομαλή.
- γ) Στον αγωγό ΚΛ πρέπει να ασκούμε σταθερού μέτρου δύναμη  $F$ , με φορά προς τα δεξιά.

2) Αναφερόμενοι στην περίπτωση του (β) διαγράμματος:

- α) Ο αγωγός ΚΛ κινείται προς τα αριστερά.
- β) Από  $0-t_1$  ο αγωγός έχει σταθερή επιτάχυνση με φορά προς τα δεξιά.
- γ) Στον αγωγό ΚΛ πρέπει να ασκούμε σταθερού μέτρου δύναμη  $F$ , με φορά προς τα αριστερά.
- δ) Τη στιγμή  $t_2$  ο αγωγός είναι ακίνητος σε κάποια απόσταση από τον αντιστάτη.

3) Για την (γ) περίπτωση της ροής, όπου η καμπύλη είναι αρμονική.

- α) Τη στιγμή  $t=0$  ο αγωγός ΚΛ έχει ταχύτητα προς τα δεξιά.
- β) Τη στιγμή  $t_1$  ο αγωγός έχει μηδενική ταχύτητα.
- γ) τη στιγμή  $t_2$  ο αγωγός έχει επιστρέψει στην αρχική του θέση.
- δ) Το έργο της δύναμης  $F$  από  $0-t_2$  είναι ίσο με μηδέν.

Να χαρακτηρίσετε τις παραπάνω προτάσεις ως σωστές ή λανθασμένες, δίνοντας και σύντομες δικαιολογήσεις.

**Απάντηση:**

Ας δούμε λίγη ...θεωρία!

Έστω ότι τη στιγμή  $t=0$  ο αγωγός ΚΛ απέχει κατά  $d$  από τα άκρα ΑΓ και τη στιγμή  $t= \Delta t$  έχει μετατοπισθεί κατά  $\Delta x$ , κινούμενος προς τα δεξιά όπως στο σχήμα, με σταθερή ταχύτητα  $v$ . Τότε η μαγνητική ροή που περνά από το ορθογώνιο ΑΚΛΓ τη στιγμή  $t$ , είναι ίση με:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \sin \theta^\circ = B \cdot \ell \cdot (d + \Delta x) = B \cdot \ell d + B \cdot \ell v \cdot t$$

Αλλά τότε η κλίση σε ένα διάγραμμα  $\Phi = \Phi(t)$ :

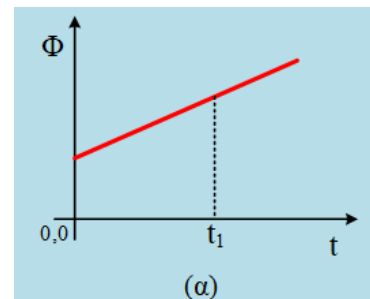
$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(B\ell d + B\ell vt)}{dt} = B\ell v$$

Είναι ανάλογη της ταχύτητας  $v$  και αν  $v > 0$ , τότε ο αγωγός κινείται προς τα δεξιά και έχουμε θετική κλίση, ενώ αν  $v < 0$ , τότε ο αγωγός ΚΛ κινείται προς τα αριστερά, με αρνητική κλίση (φθίνουσα συνάρτηση της ροής). Εξάλλου, αν η ταχύτητα είναι σταθερή η παραπάνω κλίση είναι σταθερή, διαφορετικά μεταβλητή κλίση σημαίνει και μεταβλητή ταχύτητα.

Έχοντας αυτά υπόψη, ας δούμε τα τρία ερωτήματα:

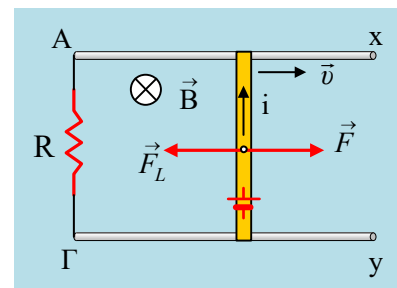
1) Για το (α) διάγραμμα, η ροή αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, αλλά τότε αυξάνεται το εμβαδόν του ορθογωνίου, πράγμα που μπορεί να συμβεί αν ο αγωγός κινείται προς τα δεξιά. Έτσι:

- α) Ο αγωγός ΚΛ κινείται προς τα δεξιά. (Σ)
- β) Η κίνηση του ΚΛ είναι ευθύγραμμη ομαλή. (Σ), αφού έχουμε σταθερή κλίση στο διάγραμμα  $\Phi(t)$ .



γ) Στον αγωγό ΚΛ πρέπει να ασκούμε σταθερού μέτρου δύναμη  $F$ , με φορά προς τα δεξιά. (Σ)

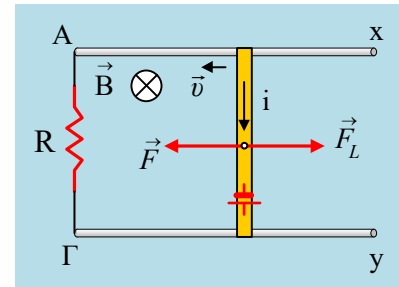
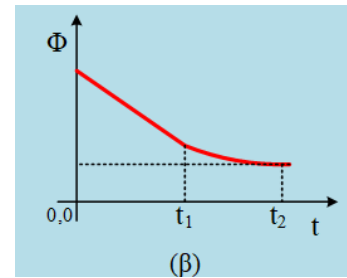
Λόγω μεταβολής της μαγνητικής ροής εμφανίζεται ΗΕΔ από επαγωγή και το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα. Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz η φορά του επαγωγικού ρεύματος θα είναι αυτή που έχει σημειωθεί στο διπλανό σχήμα, οπότε η εμφανιζόμενη δύναμη Laplace να τείνει να σταματήσει τον αγωγό.



Αλλά τότε για να έχουμε κίνηση με σταθερή ταχύτητα, είναι απαραίτητη και η εξάσκηση και μιας αντίθετης δύναμης  $F$ , με φορά προς τα δεξιά, όπως στο σχήμα.

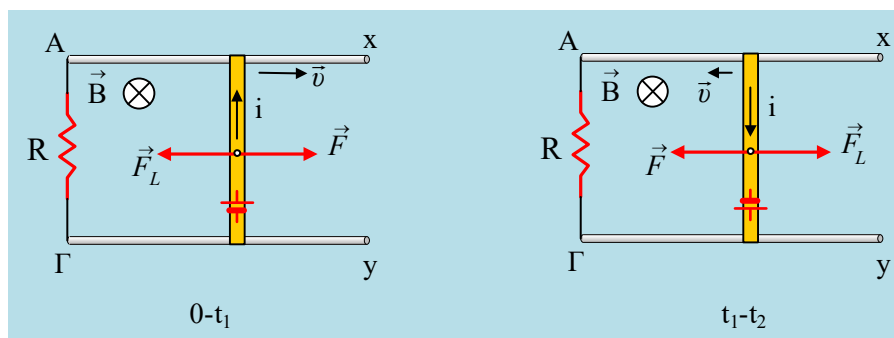
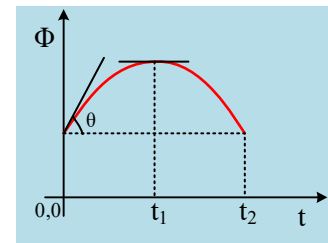
2) Μιλώντας για το (β) διάγραμμα:

- α) Ο αγωγός ΚΛ κινείται προς τα αριστερά. (Σ), αφού η ροή μειώνεται.
- β) Από 0-t<sub>1</sub> ο αγωγός έχει σταθερή επιτάχυνση με φορά προς τα δεξιά. (Λ)  
 Η κλίση της γραφικής παράστασης από 0-t<sub>1</sub> παραμένει σταθερή, πράγμα που σημαίνει κίνηση με σταθερή ταχύτητα.
- γ) Στον αγωγό ΚΛ πρέπει να ασκούμε σταθερού μέτρου δύναμη F, με φορά προς τα αριστερά. (Λ), αφού σταθερού μέτρου δύναμη απαιτείται αν ασκήσουμε μέχρι τη στιγμή t<sub>1</sub>, όπου έχουμε κίνηση με σταθερή ταχύτητα. Στη συνέχεια ο αγωγός επιβραδύνεται και σταματά μετά από λίγο...
- δ) Τη στιγμή t<sub>2</sub> ο αγωγός είναι ακίνητος σε κάποια απόσταση από τον αντιστάτη. (Σ). Βλέπουμε τη μαγνητική ροή να σταθεροποιείται, πράγμα που σημαίνει ότι σταματά η κίνηση του αγωγού.



3) Για την (γ) περίπτωση της ροής.

- α) Τη στιγμή t=0 ο αγωγός ΚΛ έχει ταχύτητα προς τα δεξιά. (Σ). Η κλίση της ροής είναι θετική (εφθ>0), συνεπώς και v>0.
- β) Τη στιγμή t<sub>1</sub> ο αγωγός έχει μηδενική ταχύτητα. (Σ). Τη στιγμή t<sub>1</sub> η κλίση dΦ/dt είναι μηδενική, αλλά τότε και v=0.
- γ) τη στιγμή t<sub>2</sub> ο αγωγός έχει επιστρέψει στην αρχική του θέση. (Σ). Τη t<sub>2</sub> η μαγνητική ροή έχει την ίδια τιμή με τη ροή τη στιγμή t=0. Αλλά αυτό σημαίνει ότι έχουμε και το ίδιο εμβαδόν του ορθογωνίου ΑΚΛΓ.
- δ) Το έργο της δύναμης F από 0-t<sub>2</sub> είναι ίσο με μηδέν (Λ). Το έργο της δύναμης F είναι θετικό και ίσο με την ηλεκτρική ενέργεια που εμφανίζεται στο κύκλωμα, αφού η αρχική ταχύτητα του ΚΛ είναι ίση και με την ταχύτητά του τη στιγμή t<sub>2</sub> (οι δυο κλίσεις κατά απόλυτο τιμή ίσες). Εξάλλου η κατάσταση περιγράφεται από τα σχήματα:



Με βάση τα οποία βλέπουμε ότι και στα δύο χρονικά διαστήματα η δύναμη έχει την φορά της ταχύτητας, συνεπώς παράγει θετικό έργο.

Επιμέλεια:

*Διονύσης Μάργαρης*