

Φυσική

Τεύχος Β΄
Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών &
Σπουδών Υγείας

Γ΄ τάξη
Γενικού Λυκείου

8ος τόμος

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

**ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: ΑΛΕΚΟΣ ΙΩΑΝΝΟΥ
ΓΙΑΝΝΗΣ ΝΤΑΝΟΣ
ΑΓΓΕΛΟΣ ΠΗΤΤΑΣ
ΣΤΑΥΡΟΣ ΡΑΠΤΗΣ**

Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ.

**Υποπρόγραμμα 1: ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**

**Μέτρο 1.1: ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟ-
ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙ-
ΔΕΥΣΗΣ**

**Ενέργεια 1.1α: Προγράμματα -
βιβλία**

**ΕΡΓΟ: ΑΝΑΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚ-
ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜ-
ΜΑΤΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑ-
ΡΑΓΩΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ**

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας, η οποία δημιουργήθηκε με χρηματοδότηση από το ΕΣΠΑ / ΕΠ «Εκπαίδευση & Διά Βίου Μάθηση» / Πράξη «ΣΤΗΡΙΖΩ»



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
ανάπτυξη στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Οι διορθώσεις πραγματοποιήθηκαν κατόπιν έγκρισης του Δ.Σ. του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής

**Η αξιολόγηση, η κρίση
των προσαρμογών και
η επιστημονική επιμέλεια
του προσαρμοσμένου βιβλίου
πραγματοποιείται από τη Μονάδα
Ενταξιακής και Ειδικής
Εκπαίδευσης του Ινστιτούτου
Εκπαιδευτικής Πολιτικής.**

**Η προσαρμογή του βιβλίου
για μαθητές με μειωμένη όραση
από το ΙΤΥΕ – ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ
πραγματοποιείται με βάση
τις προδιαγραφές που έχουν
αναπτυχθεί από ειδικούς
εμπειρογνώμονες για το ΙΕΠ.**

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ
ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ
ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ**

ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

**Α. ΙΩΑΝΝΟΥ - Γ. ΝΤΑΝΟΣ
Α. ΠΗΤΤΑΣ - Σ. ΡΑΠΤΗΣ**

**Η συγγραφή και η επιστημονική
επιμέλεια του βιβλίου
πραγματοποιήθηκε υπό την αιγίδα
του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου**

Φυσική

Τεύχος Β΄

Ομάδας Προσανατολισμού

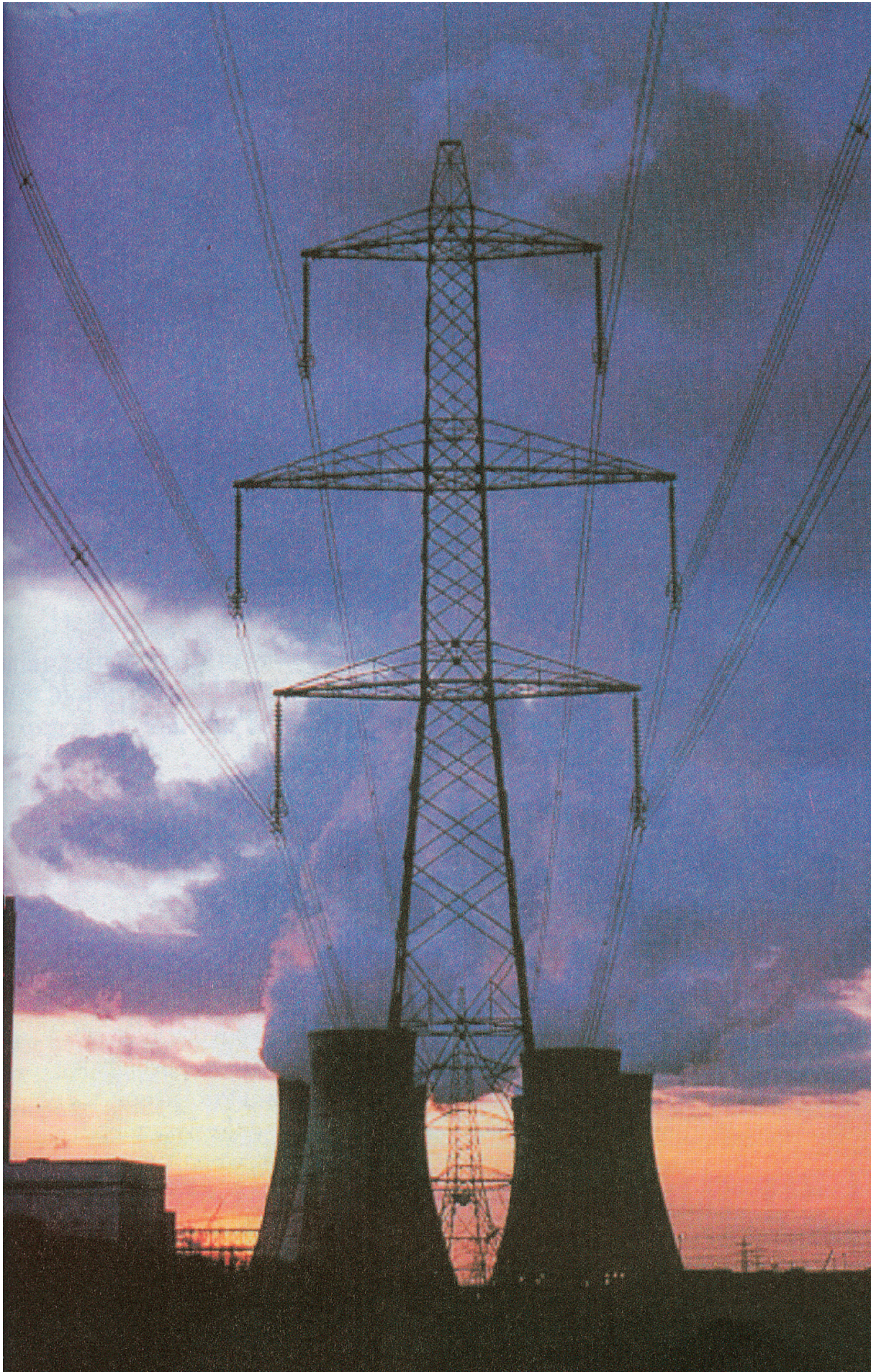
Θετικών Σπουδών &

Σπουδών Υγείας

Γ΄ τάξη Γενικού Λυκείου

8ος τόμος

Ι.Τ.Υ.Ε. «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»



ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ 5

ΕΠΑΓΩΓΗ

Νόμος Επαγωγής 6

Αγωγός κινούμενος
σε μαγνητικό πεδίο 28

Κανόνας Lenz 48

Στρεφόμενο πλαίσιο 65

Εναλλασσόμενο ρεύμα 71

Ασκήσεις 103

5-1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

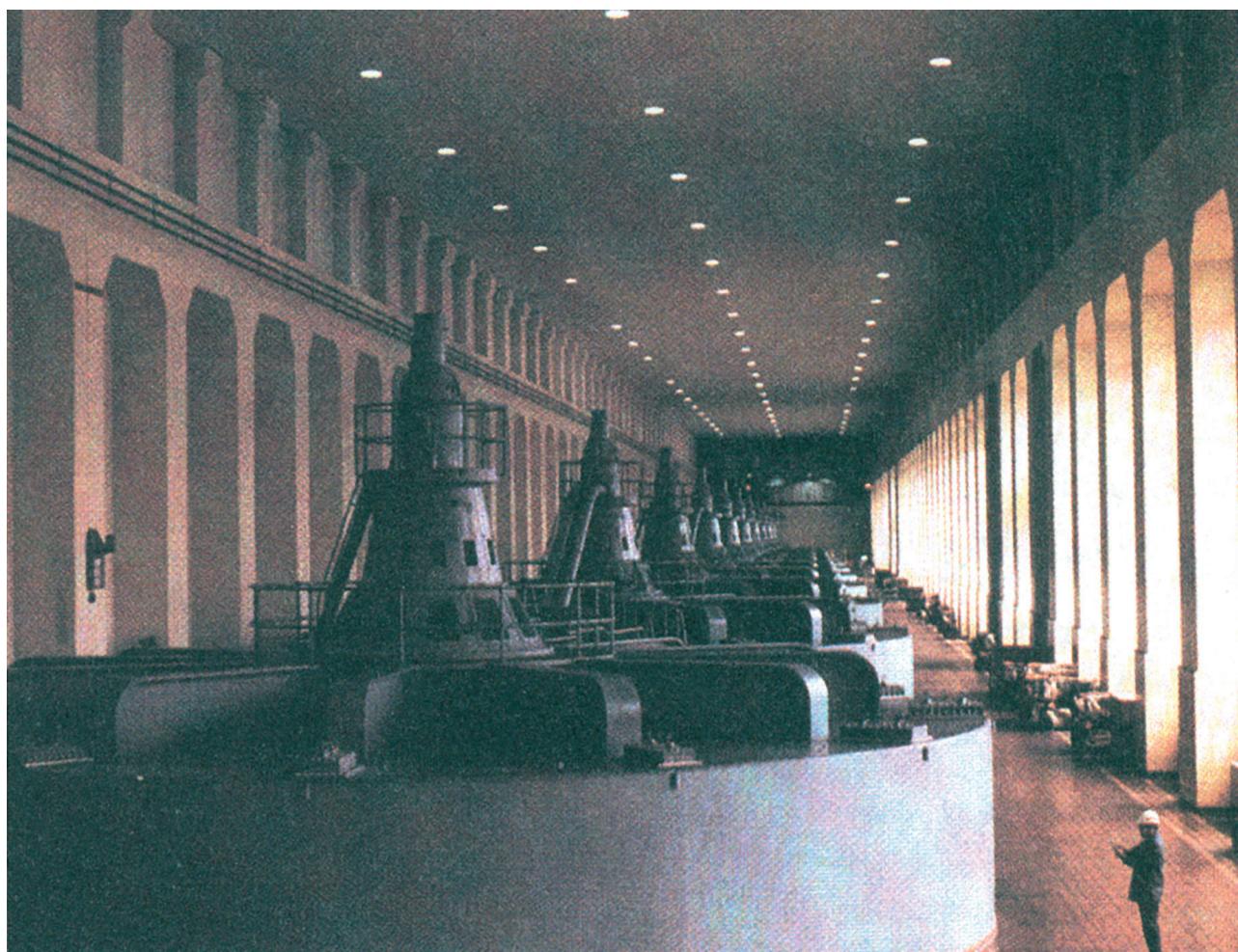
Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα συνεπάγεται τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου. Στα 1831 ο Άγγλος ερευνητής Michael Faraday (Φαραντέι) μελέτησε το ενδεχόμενο η ύπαρξη μαγνητικού πεδίου να δημιουργεί σ' ένα κλειστό κύκλωμα ηλεκτρικό ρεύμα. Μια σειρά από πειράματα τον οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο δε δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα. Αντίθετα, αν μεταβληθεί η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει το κύκλωμα, στο κύκλωμα εμφανίζεται ένα απροσδόκητο ρεύμα. Στα ίδια συμπεράσματα κατέληξε την ίδια χρονιά, ανεξάρτητα από τον Faraday, ο Αμερικανός Joseph

Henry (Χένρι). Η σημασία του φαινομένου, που ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, είναι πελώρια στο σύγχρονο κόσμο. Αρκεί να αναφέρουμε ότι η παραγωγή και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται σ' αυτό.

Λέγεται ότι όταν τον ρώτησε ένας πολιτικός πόσο χρήσιμες είναι οι ανακαλύψεις του, ο Faraday απάντησε: «Προς το παρόν δε γνωρίζω, αλλά μια μέρα θα μπορέσετε να τις φορολογήσετε».



Εικ. 5.1 Michael Faraday (1791-1867). Άγγλος. Ο πατέρας του ήταν φτωχός σιδεράς. Η εκπαίδευσή του ήταν στοιχειώδης. Σε ηλικία δεκατριών χρόνων δούλευε ως βοηθός βιβλιοδέτη. Ο Michael δε βιβλιοδετούσε απλώς τα βιβλία, τα διάβαζε κιόλας. Αργότερα, ως γραμματέας του Davy γνώρισε τους μεγαλύτερους φυσικούς της εποχής του. Ήταν βαθύτατα θρησκευόμενος. Η επιστημονική του δραστηριότητα ήταν τεράστια. Μέχρι το τέλος της ζωής του οι σημειώσεις του περιείχαν δεκαέξι χιλιάδες καταχωρίσεις, που καθарόγραφε και βιβλιοδετούσε προσεκτικά μόνος του. Ήταν εξαιρετικός πειραματικός φυσικός. Στον Faraday οφείλουμε τη θεμελίωση του ηλεκτρισμού με τη σύγχρονη μορφή.



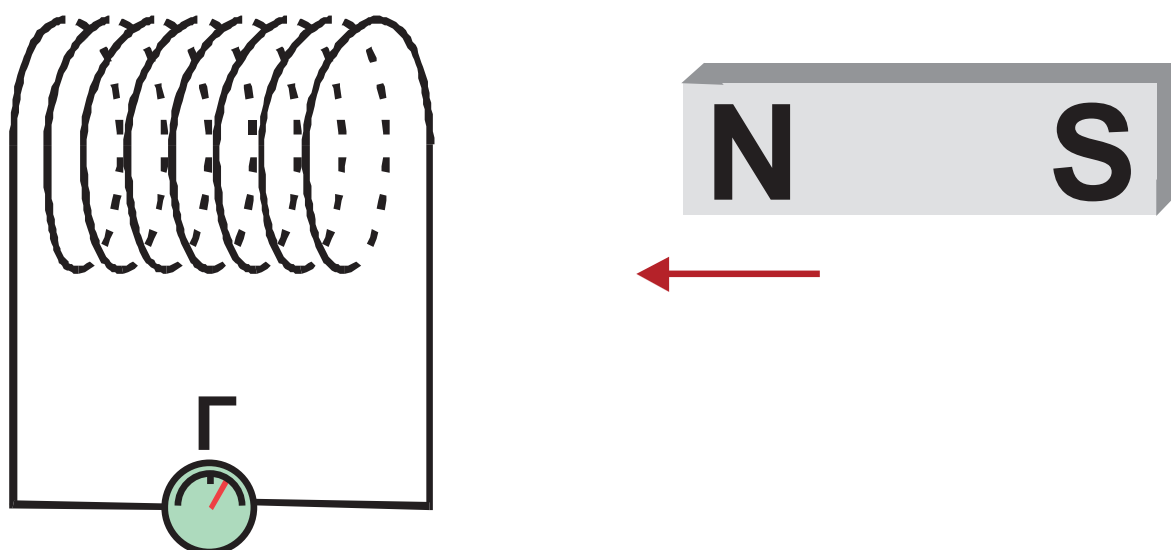
**Εικ. 5.2 Ηλεκτρογεννήτριες υδρο-
ηλεκτρικού σταθμού. Η παραγω-
γή ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται
στο φαινόμενο της επαγωγής.**

5-2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

Θα αρχίσουμε την περιγραφή του φαινομένου με δυο πειράματα με τα οποία μπορεί να παρατηρηθεί.

Πρώτο. Συνδέουμε τα άκρα ενός πηνίου με ένα «γαλβανόμετρο του μηδενός» ώστε να δημιουργηθεί κλειστό κύκλωμα. Τα γαλβανόμετρα είναι ευαίσθητα όργανα που μας επιτρέπουν να μετράμε μικρές εντάσεις ρεύματος. Στο γαλβανόμετρο που χρησιμοποιούμε, το μηδέν βρίσκεται στο μέσον της κλίμακας. Ο δείκτης του, ανάλογα με τη φορά του ρεύματος αποκλίνει προς τη μια ή την άλλη πλευρά του μηδενός. Πλησιάζουμε στο πηνίο ένα ραβδόμορφο μαγνήτη, έτσι ώστε ο

άξονάς του να ταυτίζεται με τον άξονα του πηνίου. Κατά τη διάρκεια της κίνησης του μαγνήτη το γαλβανόμετρο δείχνει ότι το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα, αν και δεν έχουμε καμιά πηγή.



Σχ. 5.1 Όταν υπάρχει σχετική κίνηση του μαγνήτη ως προς το πηνίο το γαλβανόμετρο δείχνει ρεύμα.



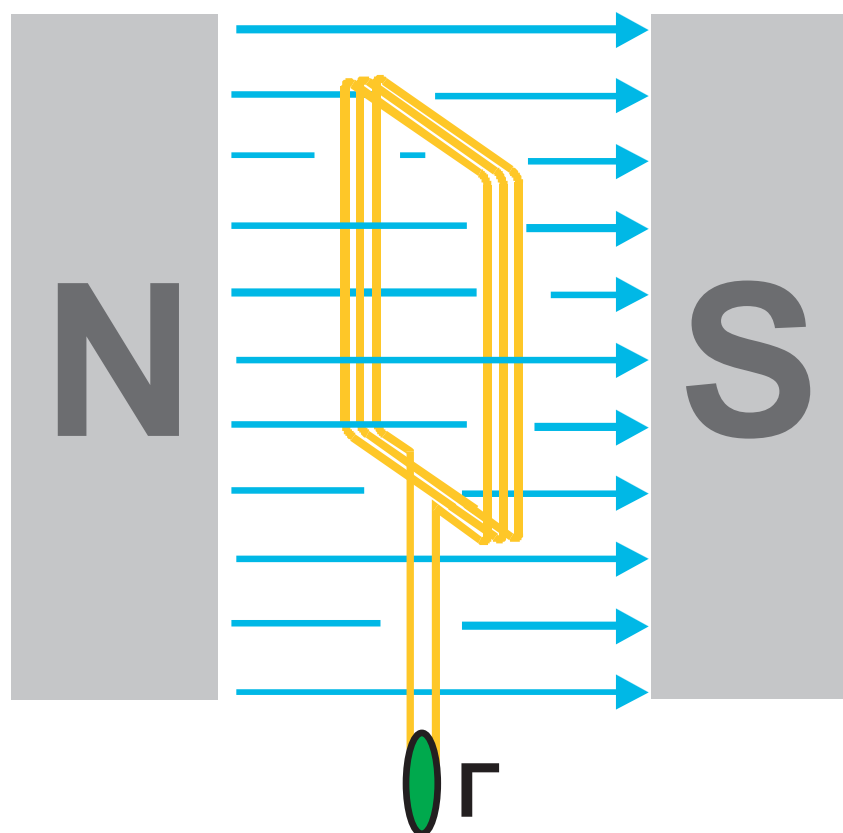
Εικ. 5.3 Πειραματική επίδειξη δημιουργίας ρεύματος σε κλειστό κύκλωμα εξαιτίας της κίνησης ενός μαγνήτη.

Όταν ο μαγνήτης σταματήσει να κινείται το ρεύμα μηδενίζεται. Αν απομακρύνουμε το μαγνήτη το γαλβανόμετρο δείχνει ότι πάλι το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα, αντίθετης φο-

ράς τώρα σε σχέση με πριν. Μια ακόμη παρατήρηση είναι ότι η απόκλιση του γαλβανομέτρου, άρα η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, εξαρτάται από το πόσο γρήγορα πλησιάζουμε ή απομακρύνουμε το μαγνήτη.

Δεύτερο. Συνδέουμε τα άκρα αγώγιμου πλαισίου σε γαλβανόμετρο έτσι ώστε να δημιουργείται κλειστό κύκλωμα. Εισάγουμε το πλαίσιο στο χώρο ενός ισχυρού ομογενούς μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη. Κατά τη διάρκεια της εισόδου (αν το επίπεδο του πλαισίου δεν είναι παράλληλο στις δυναμικές γραμμές), το γαλβανόμετρο δείχνει ρεύμα. Όταν το πλαίσιο βρεθεί να κινείται εξολοκλήρου εντός του πεδίου το ρεύμα μηδενίζεται. Κατά

τη διάρκεια της εξόδου του πλαισίου από το πεδίο εμφανίζεται πάλι ρεύμα στο πλαίσιο αντίθετης φοράς από πριν. Και εδώ η ένταση του ρεύματος είναι μεγαλύτερη αν η είσοδος και η έξοδος γίνουν γρηγορότερα.



Σχ. 5.2 Κατά την είσοδο του πλαισίου στο μαγνητικό πεδίο, το γαλβανόμετρο δείχνει ότι το πλαίσιο διαρρέεται από ρεύμα.

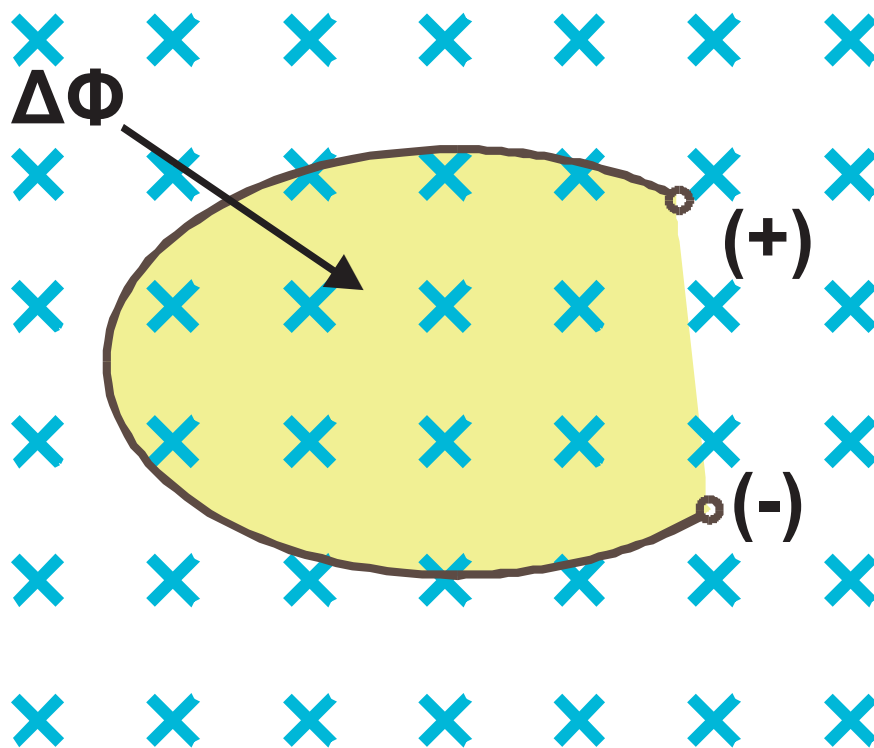
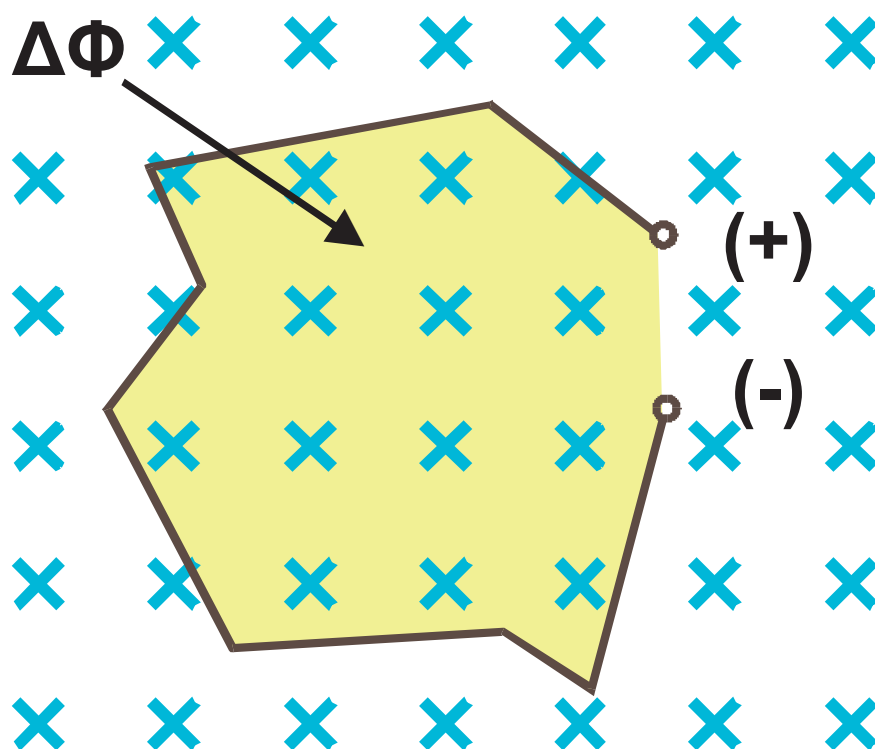
Αυτό που συνέβη στη διάρκεια των δυο αυτών πειραμάτων ήταν ότι μεταβλήθηκε η μαγνητική ροή από την επιφάνεια που ορίζεται από τις σπείρες του πηνίου στην πρώτη περίπτωση, από τις σπείρες του πλαισίου στη δεύτερη. Σε αυτή τη μεταβολή πρέπει να αναζητήσουμε την αιτία της δημιουργίας του ηλεκτρικού ρεύματος.

Αν σε κάποια από τις προηγούμενες περιπτώσεις το κύκλωμα ήταν ανοιχτό, δε θα υπήρχε ρεύμα. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια μεταβολής της μαγνητικής ροής, στα ανοιχτά άκρα του κυκλώματος -του πηνίου ή του πλαισίου- θα εμφανιζόταν τάση. Η τάση αυτή ονομάζεται τάση από επαγωγή.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για

την εμφάνιση αυτής της τάσης δεν είναι αναγκαίο να υπάρχει πηνίο ή πλαίσιο πολλών σπειρών. Αρκεί να μεταβληθεί η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει ο αγωγός. Τότε, κατά τη διάρκεια της μεταβολής, εμφανίζεται στα άκρα του αγωγού τάση από επαγωγή (σχ. 5.3).

Το φαινόμενο της εμφάνισης τάσης στα άκρα κάποιου αγωγού, εξαιτίας της μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει, ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.



Σχ. 5.3 Όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει ένας αγωγός με το σχήμα του, στα άκρα του αγωγού εμφανίζεται τάση από επαγωγή. Τα πρόσημα + και - στο σχήμα είναι αυθαίρετα.

Ο νόμος που διέπει το φαινόμενο, ονομάζεται νόμος της επαγωγής ή νόμος του Faraday και διατυπώνεται ως εξής:

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται σε ένα κύκλωμα είναι ίση με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει το κύκλωμα.

$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{|\Delta\Phi_B|}{\Delta t}$$

Αν το κύκλωμα αποτελείται από N σπείρες και $\Delta\Phi_B$ είναι η μεταβολή της μαγνητικής ροής σε κάθε σπείρα, ο νόμος της επαγωγής γράφεται

$$E_{ΕΠ} = N \frac{|\Delta\Phi_B|}{\Delta t} \quad (5.1)$$

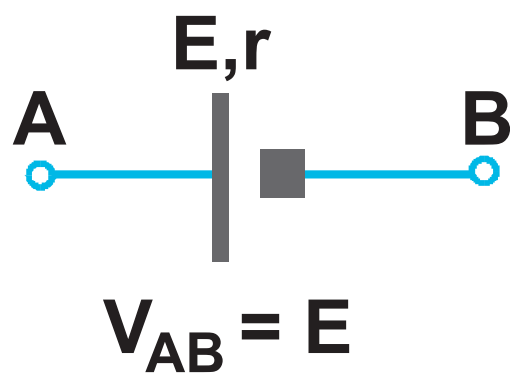
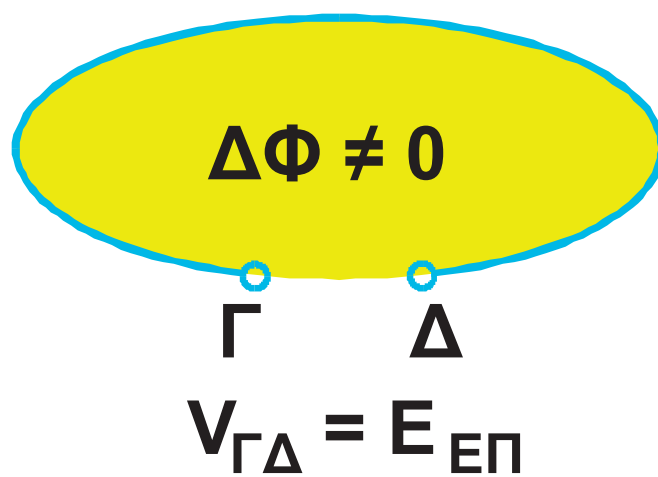
Παρατηρήσεις

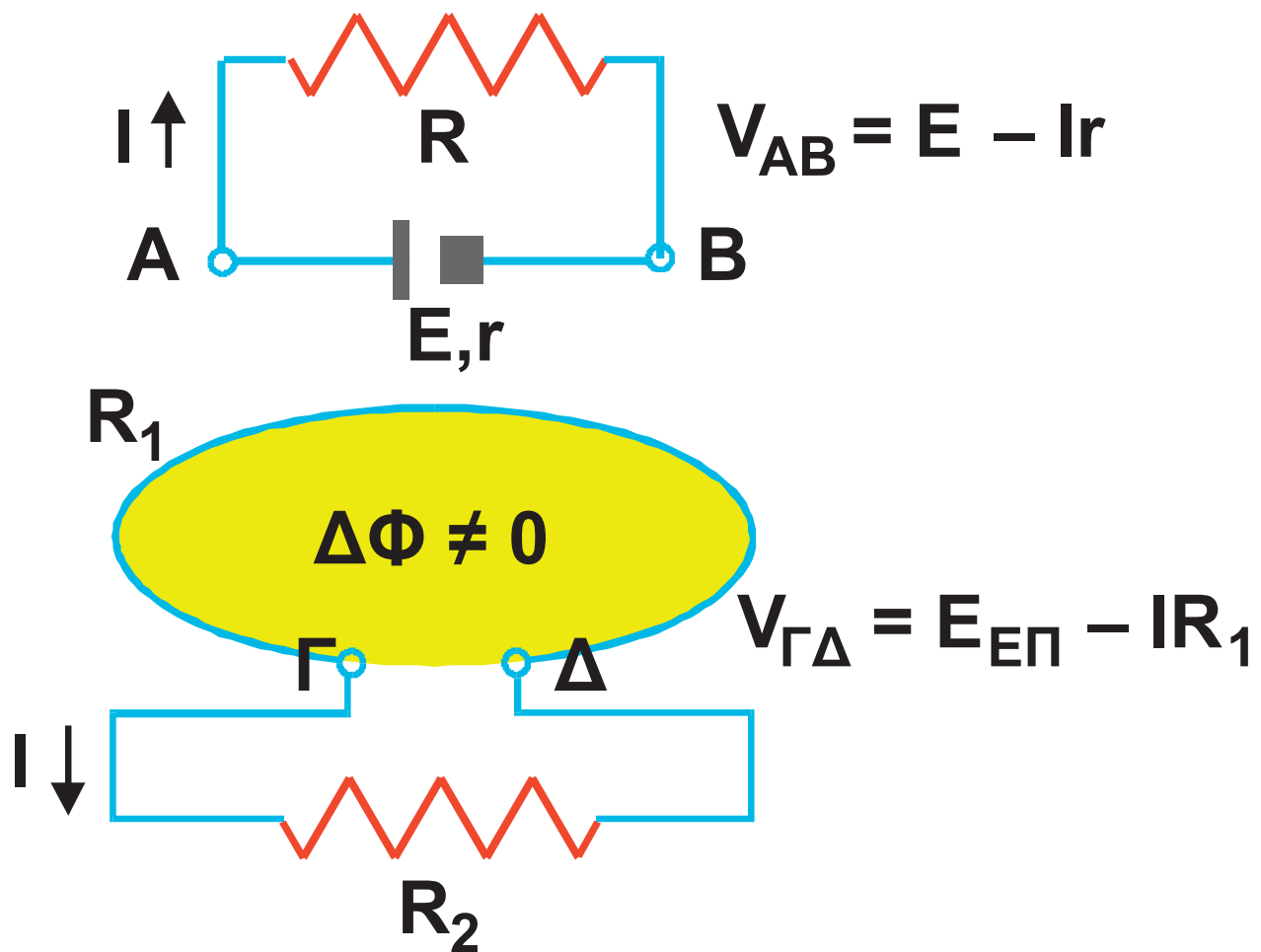
1. Η σχέση (5.1) δίνει τη μέση ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο κύκλωμα σε χρόνο Δt . Για να υπολογίσουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη, στο κύκλωμα, κάποια στιγμή t πρέπει ο χρόνος Δt να είναι απειροστά μικρός.

$$E_{ΕΠ} = N \frac{|d\Phi|}{dt}$$

2. Αν ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής είναι σταθερός και η $\mathcal{E}_{\text{ΕΠ}}$ θα έχει σταθερή τιμή στο χρονικό διάστημα Δt .

3. Το πηνίο ή το πλαίσιο που αναφέρθηκαν προηγούμενα, έγιναν ηλεκτρικές πηγές. Επομένως η τάση στα άκρα τους θα εξαρτάται από το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. Η σχέση (5.1) δίνει την ηλεκτρεγερτική δύναμη αυτής της πηγής, δηλαδή την τάση στα άκρα του αγωγού όταν δε διαρρέεται από ρεύμα. Αν ο αγωγός συνδεθεί σε κλειστό κύκλωμα, η τάση στα άκρα του δεν είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική δύναμη αλλά είναι μειωμένη κατά τον παράγοντα IR , όπου R η αντίστασή του.





$\Sigma\chi$. 5.4

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.1

Κλειστό συρμάτινο κυκλικό πλαίσιο βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με το επίπεδό του κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Κάποια στιγμή το μαγνητικό πεδίο αρχίζει να αυξάνεται με σταθερό ρυθμό και από την τιμή $B_1 = 0,1 \text{ T}$ γίνεται $B_2 = 0,5 \text{ T}$ σε χρόνο $\Delta t = 0,2 \text{ s}$. Το πλαίσιο αποτελείται από $N = 100$ σπείρες. Το εμβαδόν κάθε σπείρας είναι $A = 4 \times 10^{-2} \text{ m}^2$. Η αντίσταση του πλαισίου είναι $R = 20 \text{ } \Omega$. Να υπολογιστούν:

- α) Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο πλαίσιο.
- β) Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πλαίσιο κατά τη διάρκεια του φαινομένου.
- γ) Το ηλεκτρικό φορτίο που διέρχε-

ται από μια τομή του σύρματος κατά τη διάρκεια του φαινομένου.

Απάντηση:

α) Εφόσον μεταβάλλεται το μαγνητικό πεδίο, μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζουν οι σπείρες του πλαισίου. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο πλαίσιο είναι:

$$E_{ΕΠ} = N \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \quad (5.1)$$

$$\Delta\Phi = \Delta(BA) = A \Delta B = A(B_2 - B_1)$$

Αντικαθιστώντας στην (5.1.) βρίσκουμε $E_{ΕΠ} = 8 \text{ V}$

β) Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πλαίσιο στο χρονικό

διάστημα Δt είναι

$$I = \frac{E_{\text{ΕΠ}}}{R} \quad (5.2)$$

από όπου προκύπτει $I = 0,4 \text{ A}$

γ) Το φορτίο που διέρχεται από μια τομή του αγωγού κατά τη διάρκεια του φαινομένου είναι

$$\Delta q = I \Delta t \quad (5.3),$$

όπου Δt ο χρόνος που διαρκεί το φαινόμενο.

Παρόλο που τα στοιχεία που γνωρίζουμε επαρκούν για να υπολογιστεί το φορτίο από τη σχέση (5.3) αξίζει να αντικαταστήσουμε το ρεύμα από τη σχέση (5.2) οπότε η (5.3) γίνεται

$$\Delta q = \frac{E_{\text{ΕΠ}}}{R} \Delta t .$$

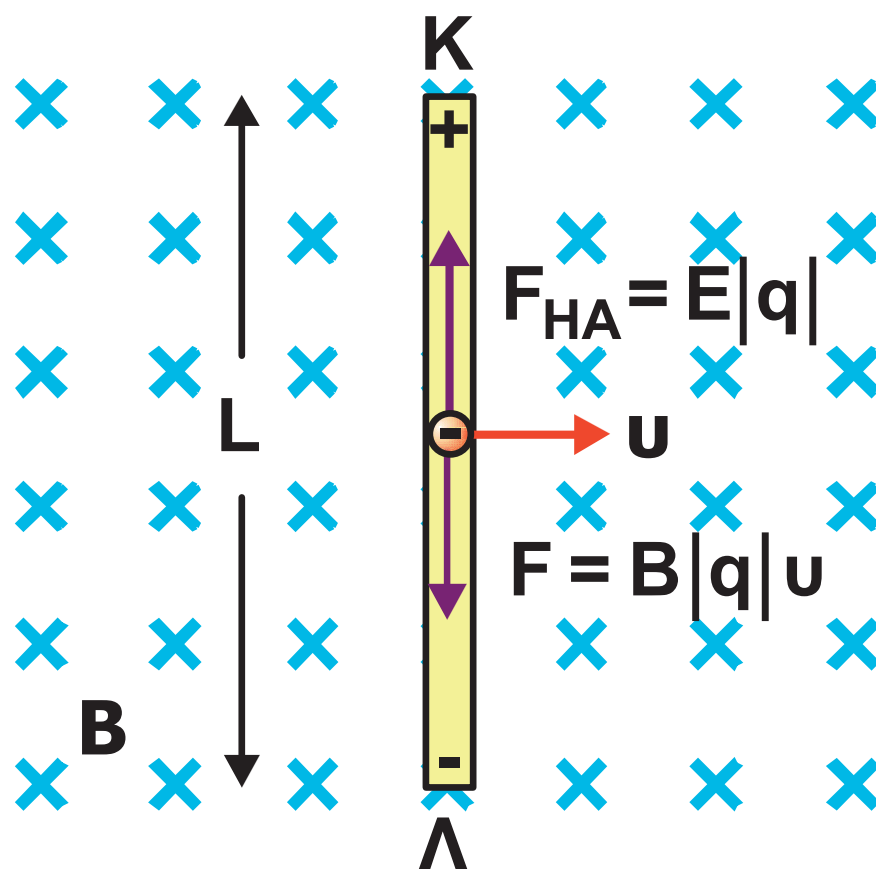
Αν στη σχέση αυτή αντικαταστήσουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη από την (5.1) προκύπτει

$$\Delta q = N \frac{|\Delta \Phi|}{R} \quad (5.4)$$

**και τελικά βρίσκουμε $\Delta q = 0,08 \text{ C}$
Παρατηρήστε ότι το συνολικό φορτίο που μετακινείται είναι ανεξάρτητο της χρονικής διάρκειας του φαινομένου.**

5-3 ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΚΙ- ΝΟΥΜΕΝΟΣ ΣΕ ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΜΑ- ΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Αν και τα πειράματα επιβεβαιώ-
νουν πλήρως το νόμο Faraday απο-
μένει αδιευκρίνιστο το πώς δημι-
ουργούνται τα επαγωγικά ρεύματα.
Το παρακάτω παράδειγμα φωτίζει
κάπως τα πράγματα.



Σχ. 5.5 Ο αγωγός ΚΛ κινείται μέσα
σε ομογενές μαγνητικό πεδίο.

Ευθύγραμμος αγωγός μήκους L κινείται με σταθερή ταχύτητα u κάθετα στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου B (σχ. 5.5). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνιά του, συμμετέχοντας στην κίνηση του αγωγού, κινούνται και αυτά με ταχύτητα u κάθετα στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο επειδή κινείται με ταχύτητα u μέσα σε μαγνητικό πεδίο θα δεχτεί δύναμη Lorentz $F = Bu|q|$ η φορά της οποίας φαίνεται στο σχήμα. Η δύναμη αυτή προκαλεί την κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων προς το άκρο Λ του αγωγού. Έτσι δημιουργείται συσσώρευση αρνητικού φορτίου στο άκρο Λ , και πλεόνασμα θετικού φορτίου στο άκρο K . Τα φορτία αυτά δημιουργούν στο χώρο του αγωγού ομογενές ηλεκτρικό πεδίο έντασης E με

φορά από το Κ προς το Λ. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δέχονται τώρα μια ακόμη δύναμη $F_{ΗΛ} = E|q|$ αντίθετης φοράς από τη μαγνητική. Όσο η δύναμη Lorentz είναι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική, η συσσώρευση φορτίων συνεχίζεται, με όλο και μικρότερο ρυθμό. Έτσι, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου αυξάνεται και σε πολύ λίγο χρόνο τα μέτρα των δυο δυνάμεων γίνονται ίσα, δηλαδή

$$E|q| = Bu|q| \quad \text{ή} \quad E = Bu \quad (5.5)$$

Τότε παύει η μετακίνηση φορτίου και το σημείο Κ βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό από το Λ.

Η διαφορά δυναμικού $V_{ΚΛ}$ μεταξύ των άκρων του αγωγού Κ και Λ υπολογίζεται από την (5.5) αν θέσουμε όπου $E = \frac{V_{ΚΛ}}{L}$ και λύσουμε

ως προς V_{KL} , οπότε προκύπτει $V_{KL} = BuL$.

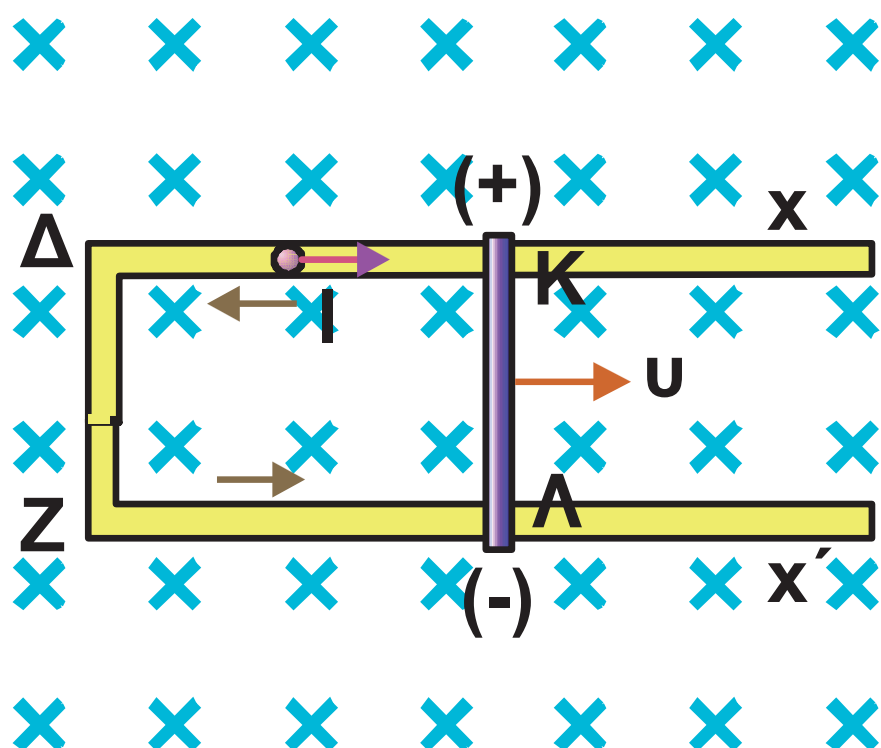
Πρόκειται για μια διαφορά δυναμικού που οφείλεται στη δράση του μαγνητικού πεδίου (επάγεται από το μαγνητικό πεδίο).

Ας θεωρήσουμε τον ίδιο ακριβώς αγωγό να κάνει την ίδια κίνηση μέσα στο ίδιο πεδίο. Τώρα όμως τα άκρα του αγωγού ολισθαίνουν πάνω στους ακίνητους αγωγούς $x\Delta Zx'$ (σχ. 5.6). Η συσσώρευση φορτίου, στα άκρα του αγωγού KL , που οφείλεται στην κίνησή του, προκαλεί την κίνηση φορτίου στο τμήμα $K\Delta ZL$ των ακίνητων αγωγών. Ας φανταστούμε ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο των αγωγών $K\Delta ZL$. Το ηλεκτρόνιο θα κινηθεί προς το σημείο K , διαταράσσοντας προς

στιγμήν την ισορροπία των φορτίων στα άκρα Κ και Λ. Μια νέα μετακίνηση φορτίου μέσα στον αγωγό ΚΛ θα αποκαταστήσει την ισορροπία. Το ίδιο θα συμβεί με κάθε ηλεκτρόνιο που φτάνει στο σημείο Κ, δηλαδή ο αγωγός ΚΛ, λειτουργεί ως αντλία φορτίου, ως ηλεκτρική πηγή, ηλεκτρεγερτικής δύναμης BuL .

Αν ένας ευθύγραμμος αγωγός κινείται με ταχύτητα u , μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, έτσι ώστε ο αγωγός, η ταχύτητα και το μαγνητικό πεδίο να είναι κάθετα ανά δύο μεταξύ τους, στον αγωγό αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή

$$E_{ΕΠ} = BuL$$



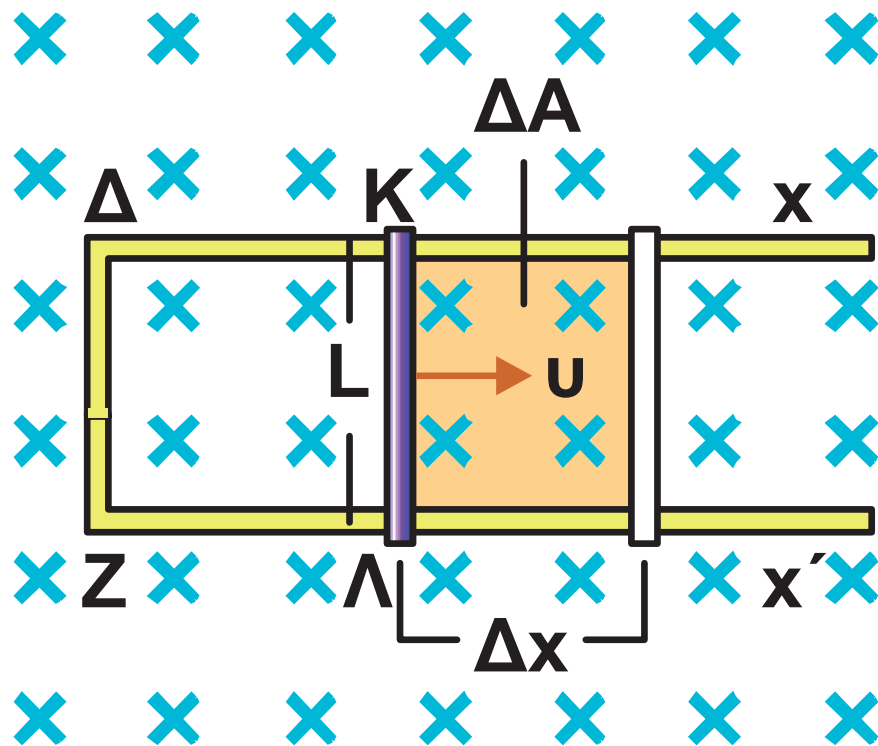
Σχ. 5.6 Ο αγωγός KL ολισθαίνει πάνω στους ακίνητους αγωγούς $x\Delta Zx'$. Όλο το σύστημα βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Η συσσώρευση φορτίου στα άκρα του αγωγού KL , προκαλεί κίνηση φορτίου στους ακίνητους αγωγούς.

Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουμε με το νόμο του Faraday. Ας επανέλθουμε στον αγωγό ΚΛ που ολισθαίνει πάνω στους ακίνητους αγωγούς xΔΖx'.

Ο αγωγός που κινείται και οι ακίνητοι αγωγοί σχηματίζουν ένα κλειστό πλαίσιο σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου με αυξανόμενο εμβαδόν Α. Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, στο πλαίσιο θα αναπτυχθεί ΗΕΔ από επαγωγή

$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = \frac{B\Delta A}{\Delta t} =$$

$$= \frac{BL\Delta x}{\Delta t} = BLv$$

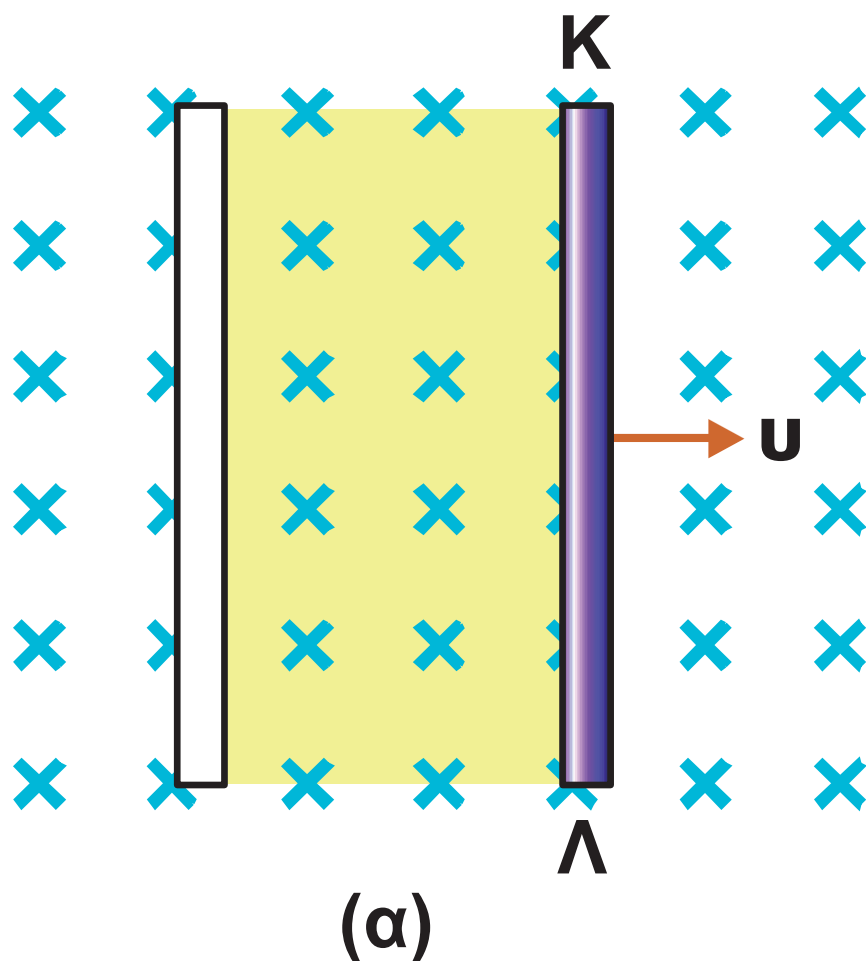


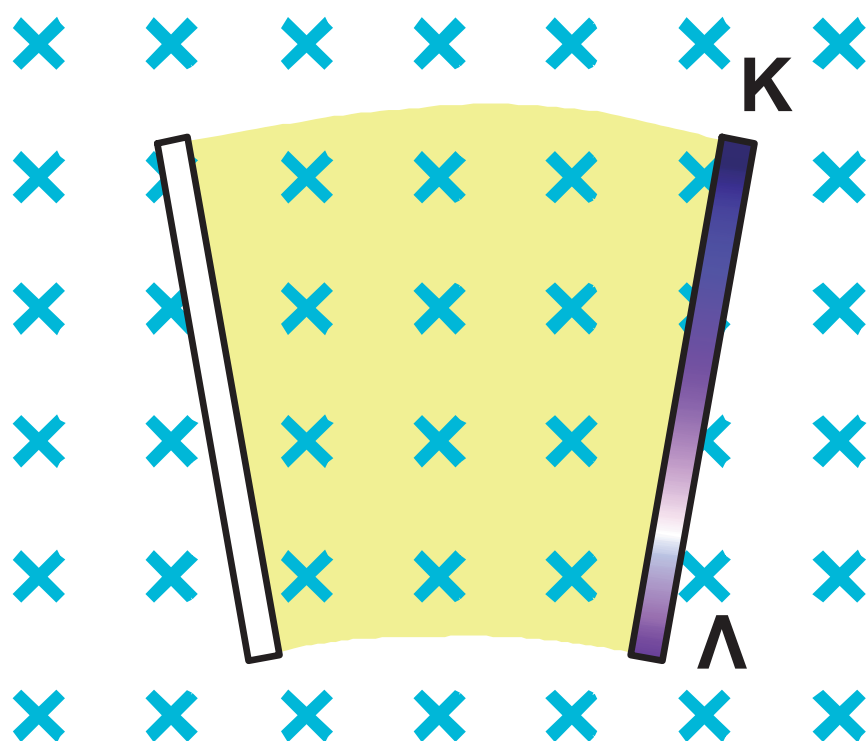
Σχ. 5.7 Καθώς ο αγωγός ΚΛ κινείται, μεταβάλλεται το εμβαδόν του πλαισίου ΚΔΖΛ, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από αυτό.

Βέβαια στην περίπτωση ενός ευθύγραμμου αγωγού που κινείται μέσα στο μαγνητικό πεδίο (σχ. 5.5),

το πηλίκο $\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$ στο νόμο του

Faraday, δεν μπορεί να παρέχει το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής, γιατί δεν έχει νόημα η μαγνητική ροή που διέρχεται από ένα ευθύγραμμο τμήμα όπως είναι ο αγωγός. Στην περίπτωση αυτή $\Delta\Phi_B$ είναι μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει ο αγωγός με την κίνησή του (σχ. 5.8).





(β)

Σχ. 5.8 Στην περίπτωση ενός αγωγού που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, $\Delta\Phi$ είναι η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει ο αγωγός με την κίνησή του.

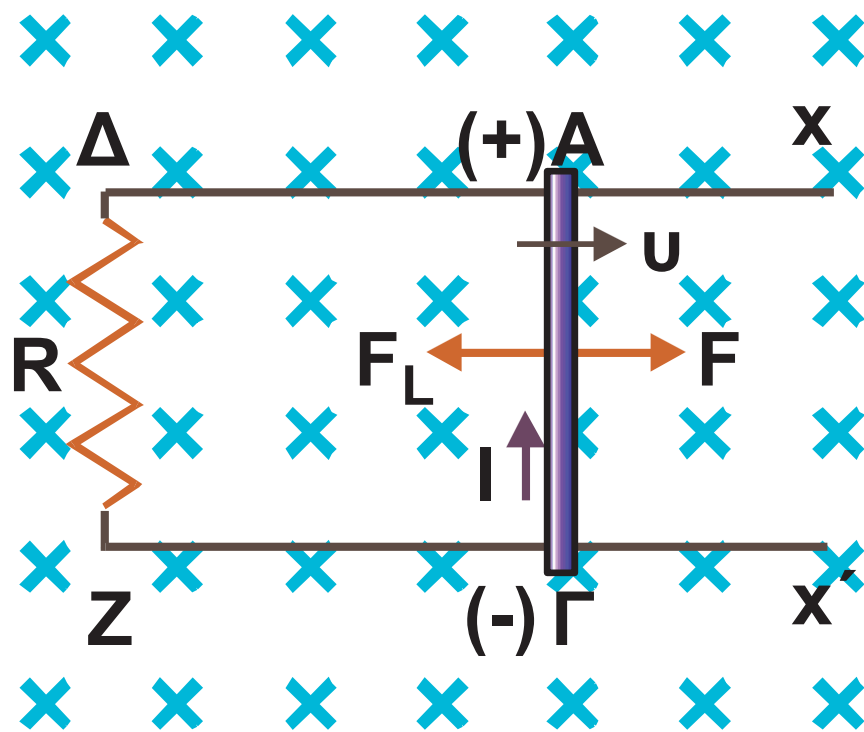
Θα μπορούσαμε λοιπόν να πούμε ότι ηλεκτρομαγνητική επαγωγή είναι το φαινόμενο της εμφάνισης τάσης στα άκρα αγωγών όταν

μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζουν με το σχήμα τους ή όταν από την επιφάνεια που ορίζουν με την κίνησή τους διέρχεται μαγνητική ροή.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.2

Αγωγός ΑΓ με μήκος $l = 0,4 \text{ m}$ κινείται με ταχύτητα $u = 5 \text{ m / s}$, χωρίς τριβές, πάνω στους παράλληλους αγωγούς Δχ και Ζχ' μένοντας διαρκώς κάθετος και σε επαφή με αυτούς. Τα άκρα Δ και Ζ των αγωγών συνδέονται μεταξύ τους με σύρμα αντίστασης $R = 5 \Omega$. Η αντίσταση όλων των άλλων αγωγών είναι αμελητέα. Η όλη διάταξη βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 0,5 \text{ T}$ κάθετο στο επίπεδο που ορίζουν

οι αγωγοί. Να βρεθεί η δύναμη που απαιτείται για να διατηρηθεί ισοταχής η κίνηση του αγωγού ΑΓ.



Σχ. 5.9

Απάντηση:

Επειδή ο αγωγός ΑΓ κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, σε αυτόν επάγεται ηλεκτρεγερτική δύναμη

$$E_{ΕΠ} = Bu\ell = 1 \text{ V}$$

Για να βρούμε τη φορά της ηλεκτρεγερτικής δύναμης φανταζόμαστε ένα από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού ΑΓ. Το ηλεκτρόνιο κινείται και αυτό, μαζί με τον αγωγό, με ταχύτητα u . Με τον κανόνα των τριών δακτύλων βρίσκουμε ότι το ηλεκτρόνιο θα δεχτεί δύναμη από το μαγνητικό πεδίο προς το άκρο Γ του αγωγού.

Επομένως, στο άκρο Γ σωρεύεται αρνητικό φορτίο και στο Α θετικό (σχ. 5.9). Το κλειστό κύκλωμα ΑΔΖΓ διαρρέεται από ρεύμα έντασης

$$I = \frac{E_{\text{ΕΠ}}}{R} = 0,2 \text{ A}$$

Η φορά του ρεύματος είναι αυτή του σχήματος.

Επειδή ο αγωγός ΑΓ διαρρέεται

από ρεύμα, δέχεται από το μαγνητικό πεδίο δύναμη Laplace.

$$F_L = BIl = 0,04 \text{ N}$$

Με τον κανόνα των τριών δακτύλων βρίσκουμε ότι η φορά της δύναμης είναι αντίθετη με τη φορά της κίνησης του αγωγού.

Για να κινείται ο αγωγός με σταθερή ταχύτητα πρέπει να ασκηθεί σε αυτόν δύναμη F αντίθετη με τη δύναμη F_L .

$$F = F_L = 0,04 \text{ N}$$

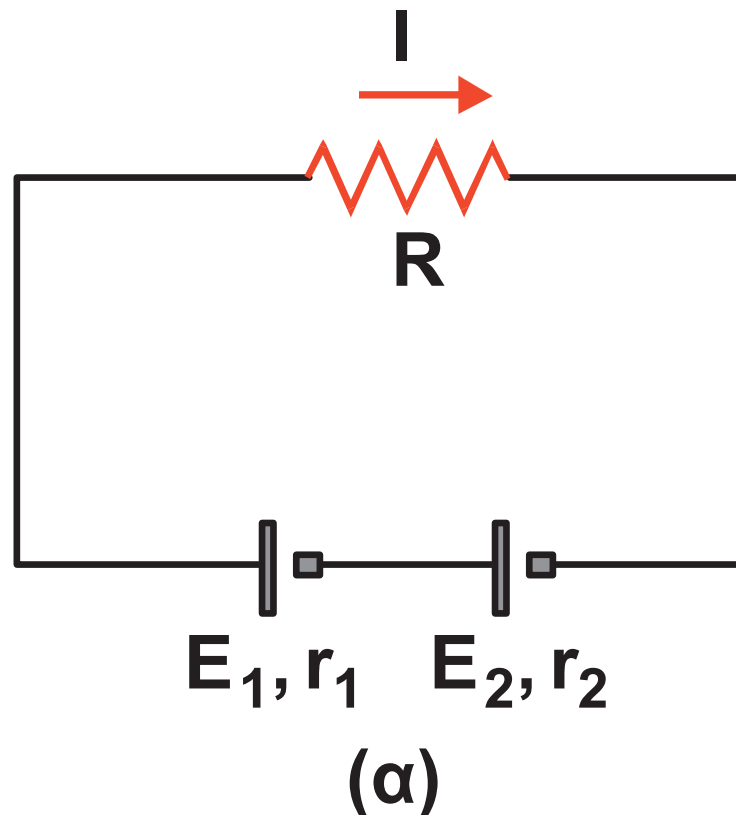
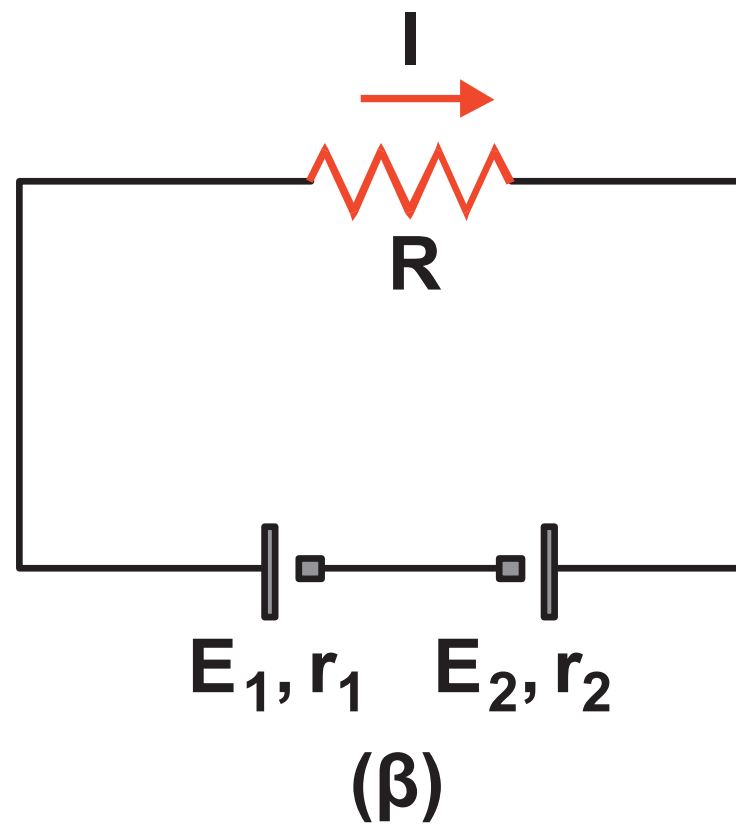
Σημείωση

Αν σε ένα κύκλωμα υπάρχουν δύο πηγές, συνδεδεμένες όπως δείχνει το σχήμα 5.10α, η συνολική ηλεκτρεγερτική δύναμη στο κύκλωμα είναι $E_{ολ} = E_1 + E_2$ και το ρεύμα

$$I = \frac{E_{o\lambda}}{R_{o\lambda}} = \frac{E_1 + E_2}{R_{o\lambda}}$$

Αν οι δύο πηγές είναι συνδεδεμένες όπως στο κύκλωμα του σχήματος 5.10β η συνολική ηλεκτρεγερτική δύναμη στο κύκλωμα είναι $E_{o\lambda} = E_1 - E_2$ και το ρεύμα

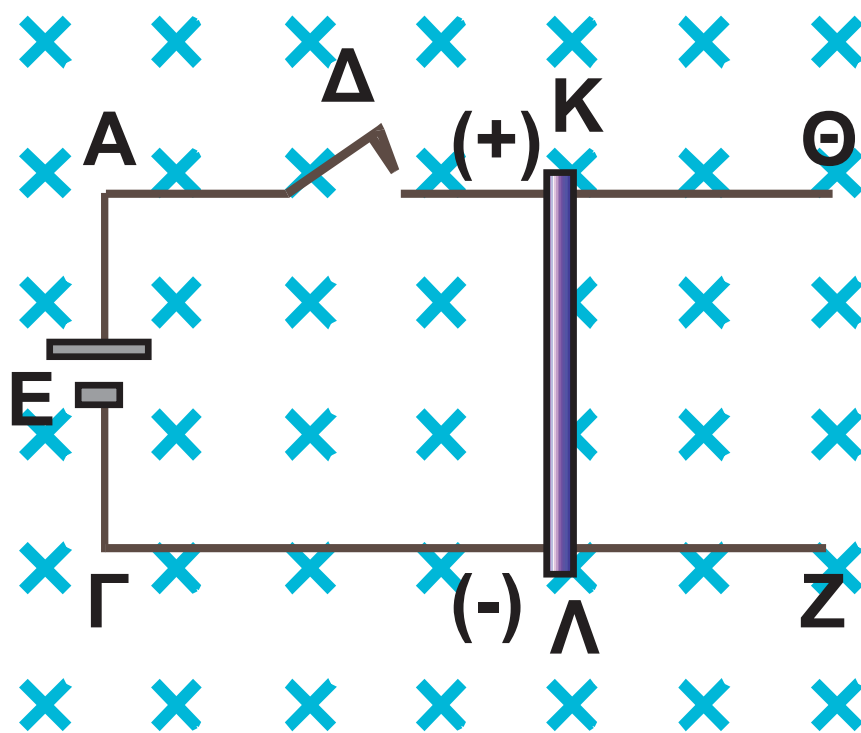
$$I = \frac{E_{o\lambda}}{R_{o\lambda}} = \frac{E_1 - E_2}{R_{o\lambda}}$$



Σχ. 5.10

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.3

Δύο οριζόντιοι μεταλλικοί αγωγοί ΑΘ και ΓΖ με αμελητέα αντίσταση απέχουν μεταξύ τους $l = 1 \text{ m}$ (σχ. 5.11). Οι αγωγοί βρίσκονται σε κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 1 \text{ T}$. Η μεταλλική ράβδος ΚΛ βρίσκεται σε συνεχή επαφή με τους αγωγούς ΑΘ και ΓΖ και μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές, παραμένοντας κάθετη σε αυτούς. Τα σημεία Α και Γ συνδέονται με πηγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης $E = 12 \text{ V}$. Τη στιγμή μηδέν κλείνουμε το διακόπτη Δ, οπότε η ράβδος ΚΛ αρχίζει να κινείται. Να υπολογιστεί η οριακή ταχύτητα που θα αποκτήσει.



Σχ. 5.11

Απάντηση:

Τη στιγμή μηδέν (σχ. 5.12α) που κλείσαμε το διακόπτη, ο αγωγός ΚΛ ήταν ακίνητος. Μοναδική ηλεκτρεγερτική δύναμη στο κύκλωμα είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη της πηγής (Ε). Το κύκλωμα διαρρέεται από

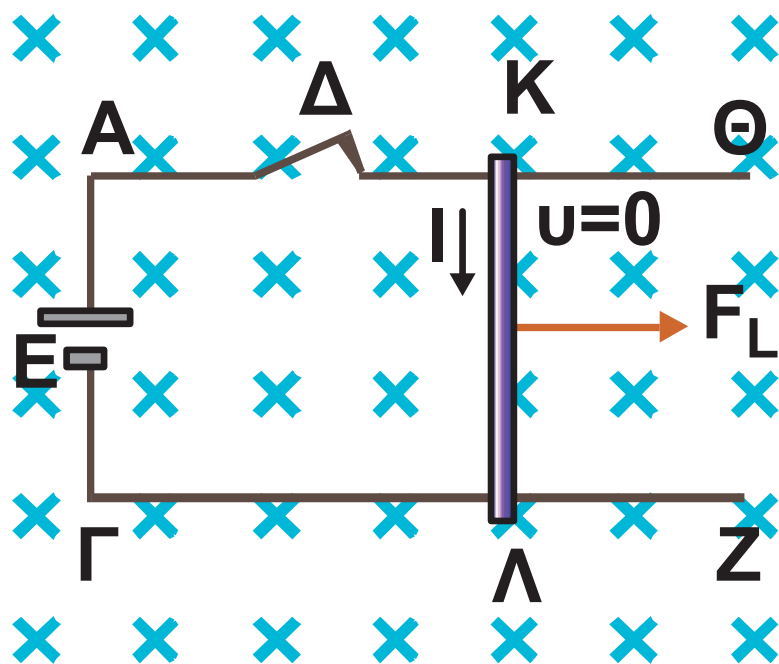
ρεύμα $I = \frac{E}{R_{ολ}}$, του οποίου η φορά του φαίνεται στο σχήμα 5.12α.

Επειδή ο αγωγός ΚΛ διαρρέεται από ρεύμα, δέχεται από το μαγνητικό πεδίο δύναμη Laplace $F_L = BIl$. Με την επίδραση αυτής της δύναμης ο αγωγός αποκτά επιτάχυνση $a = \frac{F_L}{m}$ ομόρροπη με τη δύναμη (σχ. 5.12α).

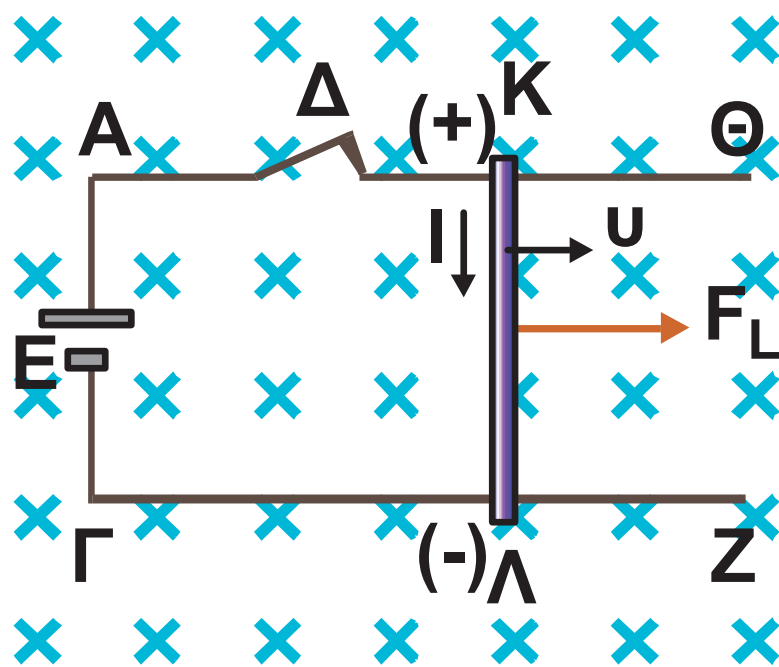
Έστω ότι τη στιγμή t (σχ. 5.12β), ο αγωγός θα έχει αποκτήσει ταχύτητα u . Εφόσον κινείται, λόγω επαγωγής αναπτύσσεται σ' αυτόν ηλεκτρεγερτική δύναμη $E_{ΕΠ} = Blu$ της οποίας η πολικότητα φαίνεται στο σχήμα.

Το ρεύμα στο κύκλωμα οφείλεται στη δράση της πηγής E και στην $E_{ΕΠ}$ και η έντασή του δίνεται από τη σχέση

$$I = \frac{E - E_{ΕΠ}}{R_{ολ}} = \frac{E - Blu}{R_{ολ}}$$



(α)



(β)

$\Sigma\chi$. 5.12

Ο αγωγός θα επιταχύνεται μέχρι τη στιγμή που η F_L θα μηδενιστεί. Αυτό θα συμβεί όταν η ένταση του ρεύματος θα μηδενιστεί δηλαδή όταν

$$E - Blv = 0$$

Η ταχύτητα εκείνη τη στιγμή θα πάρει τη μέγιστη τιμή της v_{op} , για την οποία θα είναι $v_{op} = \frac{E}{Bl} = 12 \text{ m/s}$

5-4 Ο ΚΑΝΟΝΑΣ ΤΟΥ LENZ ΚΑΙ Η ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Ο Lenz (Λεντς) διατύπωσε έναν κανόνα που δίνει τη φορά του ρεύματος από επαγωγή. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό

τα επαγωγικά ρεύματα έχουν τέτοια φορά ώστε να αντιτίθενται στο αίτιο που τα προκαλεί.

Παίρνοντας υπόψη τον κανόνα του Lenz, που προσδιορίζει τη φορά του επαγωγικού ρεύματος, άρα και την πολικότητα της επαγωγικής τάσης, γράφουμε τη σχέση (5.1) που εκφράζει το νόμο της επαγωγής με τη μορφή:

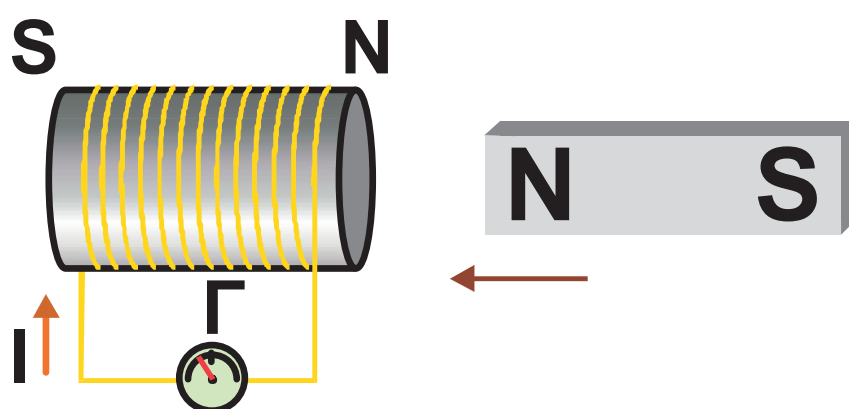
$$E_{\text{ΕΠ}} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Ο κανόνας του Lenz αποτελεί συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Στα δύο παραδείγματα που ακολουθούν θα δούμε πώς εφαρμόζεται ο κανόνας του

Lenz και γιατί η φορά του ρεύματος που ορίζει είναι συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας.

Πλησιάζουμε στο πηνίο του σχήματος 5.13 το βόρειο πόλο ενός ευθύγραμμου μαγνήτη. Καθώς πλησιάζει ο μαγνήτης, η μαγνητική ροή που περνάει από τις σπείρες του πηνίου αυξάνεται και το πηνίο συμπεριφέρεται ως πηγή. Επειδή τα άκρα του είναι ενωμένα, το κύκλωμα είναι κλειστό και έτσι το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα. Η φορά αυτού του ρεύματος σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, θα είναι τέτοια ώστε να αντιτίθεται στην αιτία που το προκάλεσε, να εμποδίζει δηλαδή το βόρειο πόλο του μαγνήτη να πλησιάσει. Αυτό σημαίνει ότι η άκρη του πηνίου που είναι προς το

μέρος του βόρειου πόλου του μαγνήτη που πλησιάζει θα συμπεριφέρεται ως βόρειος πόλος.

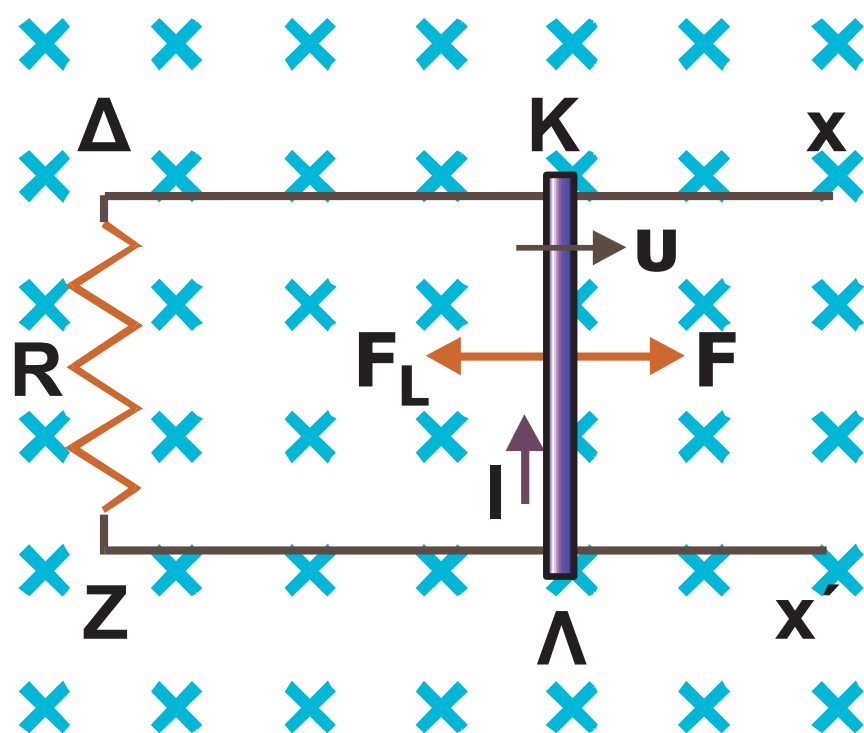


Σχ. 5.13 Ο μαγνήτης πλησιάζει στο πηνίο. Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, το ρεύμα που επάγεται στο πηνίο έχει τέτοια φορά ώστε απέναντι από το μαγνήτη που πλησιάζει το πηνίο να δημιουργεί όμοιο μαγνητικό πόλο.

Για να υπερνικηθεί η άπωση που δέχεται ο μαγνήτης από το πηνίο δαπανάται ενέργεια, που μετατρέπεται σε θερμότητα στους αγωγούς. Αν το πηνίο διαρρεόταν από ρεύμα αντίθετης φοράς, απέναντι από το βόρειο πόλο του μαγνήτη θα δημιουργούσε νότιο μαγνητικό πόλο. Ο νότιος μαγνητικός πόλος θα ασκούσε ελκτική δύναμη στο μαγνήτη με αποτέλεσμα να μην απαιτείται καμιά προσπάθεια για να πλησιάσει. Αυτό όμως είναι αντίθετο με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, γιατί χωρίς καμιά προσπάθεια, χωρίς να δαπανάται ενέργεια, στο πηνίο θα παραγόταν ηλεκτρική ενέργεια λόγω του φαινομένου της επαγωγής.

Έστω τώρα ο αγωγός ΚΛ που κινείται, μέσα σε ομογενές μαγνητι-

κό πεδίο B , με σταθερή ταχύτητα u , μένοντας σε επαφή με τους ακίνητους αγωγούς Δx και Zx' (σχ. 5.14). Λόγω του φαινομένου της επαγωγής ο αγωγός $K\Lambda$ συμπεριφέρεται ως πηγή και, επειδή το κύκλωμα είναι κλειστό, διαρρέεται από ρεύμα. Ο αγωγός δέχεται από το μαγνητικό πεδίο δύναμη Laplace. Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz η φορά του ρεύματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντιτίθεται στην αιτία που το προκάλεσε, δηλαδή στην κίνηση του αγωγού $K\Lambda$. Το ρεύμα πρέπει να έχει τέτοια φορά ώστε ή δύναμη Laplace που ασκείται στον αγωγό να αντιτίθεται στην κίνησή του.



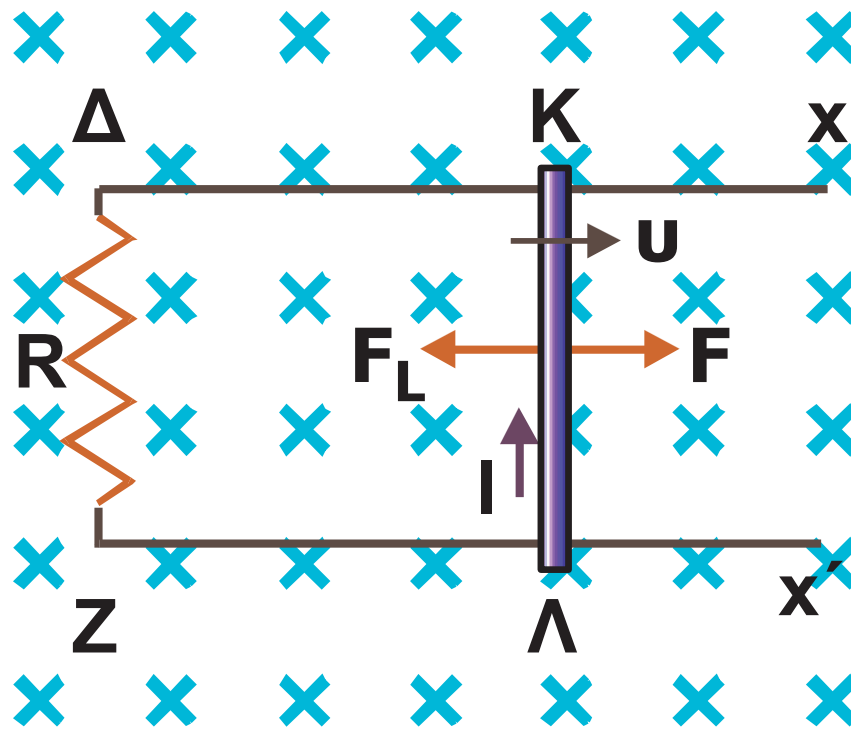
Σχ. 5.14 Ο αγωγός ΚΛ ολισθαίνει πάνω στους ακίνητους αγωγούς Δx και Ζx'. Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz το ρεύμα από επαγωγή που δημιουργείται στο κύκλωμα, έχει τέτοια φορά, ώστε ο κινούμενος αγωγός να δέχεται δύναμη Laplace, που αντιτίθεται στην κίνησή του.

Για να διατηρείται η κίνηση του αγωγού ισοταχής, είναι αναγκαίο να ασκείται σε αυτόν δύναμη F , αντίθετη με τη δύναμη Laplace. Μέσω της δύναμης αυτής προσφέρεται στο κύκλωμα ενέργεια. Αν το ρεύμα είχε αντίθετη φορά, το μαγνητικό πεδίο θα ασκούσε στον αγωγό δύναμη ίδιας κατεύθυνσης με την ταχύτητά του. Στην περίπτωση αυτή δεν απαιτείται ενέργεια για να διατηρηθεί η κίνηση του αγωγού και στο κύκλωμα θα παραγόταν διαρκώς ηλεκτρική ενέργεια που θα μετατρεπόταν σε θερμότητα στην αντίσταση R . Όμως, σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας είναι αδύνατη η παραγωγή μιας μορφής ενέργειας χωρίς αντίστοιχη δαπάνη άλλης μορφής ενέργειας.

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας στο φαινόμενο της επαγωγής

Η ισχύς της αρχής διατήρησης της ενέργειας στο φαινόμενο της επαγωγής μπορεί να δειχθεί και ποσοτικά.

Έστω πάλι ο αγωγός ΑΓ που κινείται με σταθερή ταχύτητα u μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο B , μένοντας σε επαφή με τους ακίνητους αγωγούς Δχ και Ζχ' (σχ. 5.15). Θεωρούμε ότι η κίνηση του αγωγού γίνεται χωρίς τριβές.



Σχ. 5.15

Έχουμε βρει ότι στο κύκλωμα επάγεται ηλεκτρεγερτική δύναμη

$$E_{ΕΠ} = BuL.$$

Εάν το κύκλωμα παρουσιάζει συνολικά αντίσταση R θα διαρρέεται από ρεύμα

$$I = \frac{E_{ΕΠ}}{R} = \frac{BuL}{R}.$$

Σε χρονικό διάστημα Δt , το ρεύμα, λόγω φαινομένου Joule, θα αποδώσει στο περιβάλλον θερμότητα

$$Q = I^2 R \Delta t = \frac{B^2 u^2 L^2}{R} \Delta t.$$

Για να διατηρούμε την κίνηση του αγωγού ΚΛ ισοταχή πρέπει να ασκούμε εξωτερική δύναμη F , αντίθετη της δύναμης Laplace που δέχεται ο ΚΛ.

$$F = F_L = BIL = B \frac{E_{\text{ΕΠ}}}{R} L = \frac{B^2 u L^2}{R}.$$

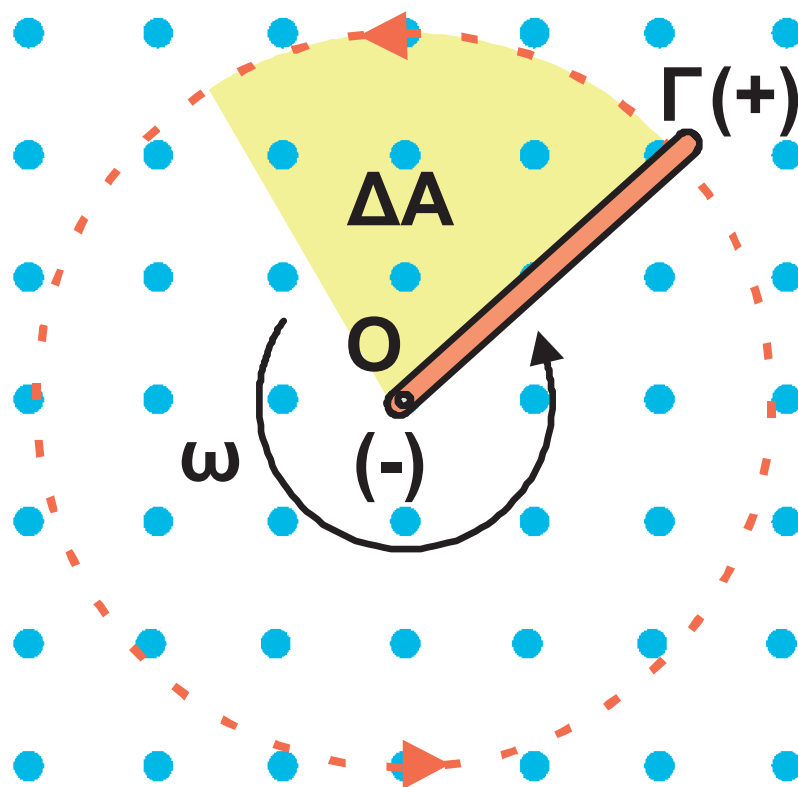
Στο χρονικό διάστημα Δt ο αγωγός μετατοπίζεται κατά $\Delta x = u \Delta t$ και το έργο της F στο ίδιο χρονικό διάστημα θα είναι

$$W_F = F \Delta x = \frac{B^2 u L^2}{R} u \Delta t = \frac{B^2 u^2 L^2}{R} \Delta t.$$

Βλέπουμε ότι χρειάστηκε να προσφέρουμε έργο ίσο με τη θερμότητα που παράχθηκε.

5-5 ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ

Ένας αγωγός ΟΓ, μήκους L , στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από άξονα που περνάει από το άκρο του Ο. Το επίπεδο περιστροφής του είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου B . Στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού που κινούνται μαζί με αυτόν το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη Lorentz εξαιτίας της οποίας στο άκρο Ο του αγωγού συσσωρεύεται αρνητικό φορτίο και στο άκρο Γ θετικό. Ο αγωγός γίνεται πηγή.



Σχ. 5.16 Ο αγωγός ΟΓ στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω , γύρω από το άκρο του Ο, μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Το επίπεδο περιστροφής του είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου.

Η μαγνητική δύναμη που δέχονται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δεν έχει το ίδιο μέτρο σε κάθε σημείο του αγωγού γιατί η γραμμική τα-

χύτητα των σημείων του αυξάνεται ανάλογα με την απόσταση από τον άξονα περιστροφής ($v = \omega \cdot r$, όπου r η απόσταση από το κέντρο περιστροφής).

Είδαμε στην παράγραφο 5-3 ότι μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή με το νόμο του Faraday, αρκεί στη θέση του $\Delta\Phi$ να βάλουμε τη ροή που περνάει από την επιφάνεια που ορίζει με την κίνησή του ο αγωγός στον αντίστοιχο χρόνο.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε θα ισχύει:

$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

όπου

$$\Phi_B = BA$$

άρα

$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{B\Delta A}{\Delta t} \quad (5.6)$$

Ο αγωγός σαρώνει την επιφάνεια
δίσκου που έχει κέντρο Ο και ακτί-
να L. Ο ρυθμός $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ με τον οποίο

σαρώνεται η επιφάνεια είναι σταθε-
ρός αφού η γωνιακή ταχύτητα περι-
στροφής είναι σταθερή. Έτσι μπο-
ρούμε να γράψουμε ότι

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\pi L^2}{T} \quad (5.7)$$

όπου πL^2 το εμβαδόν της επιφάνει-
ας που ορίζει ο αγωγός σε μια πλή-
ρη περιστροφή και T η περίοδος
περιστροφής του.

Θέτοντας $T = \frac{2\pi}{\omega}$ (5.8)

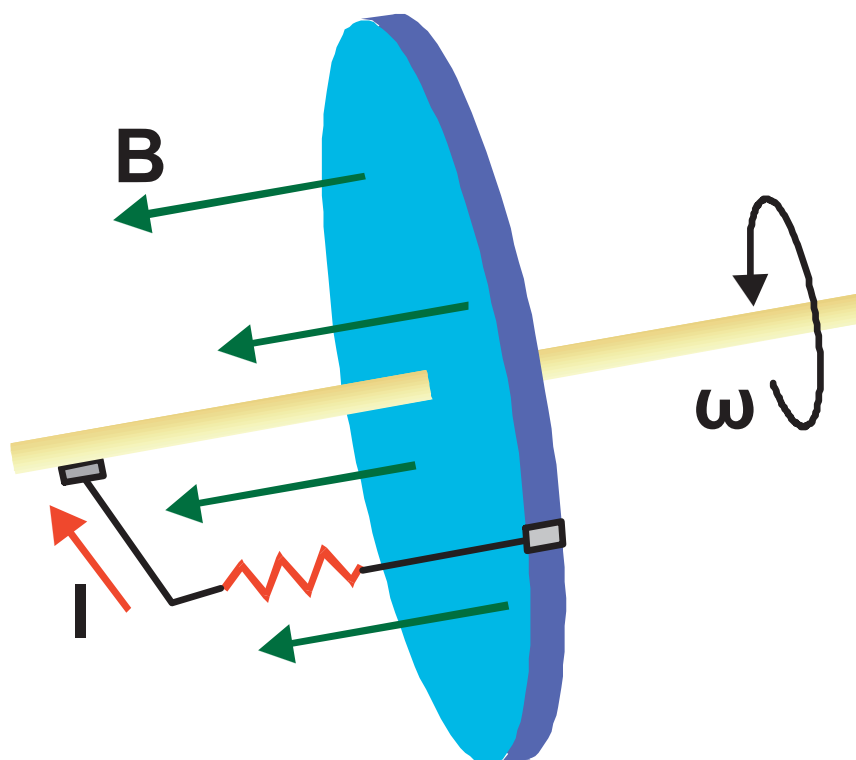
και με βάση την (5.7) η (5.6), δίνει

$$E_{\text{ΕΠ}} = \frac{1}{2} B \omega r^2$$

ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΣ ΔΙΣΚΟΣ

Θεωρούμε αγωγίμο δίσκο με ακτίνα r , του οποίου το επίπεδο είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου. Στρέφουμε το δίσκο με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από άξονα που περνάει από το κέντρο του και είναι παράλληλος στις δυναμικές γραμμές. Αν θεωρήσουμε ότι ο δίσκος αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό αγωγών σαν αυτόν της προηγούμενης παραγράφου, τότε ανάμεσα στο κέντρο και σε οποιοδήποτε σημείο της περιφέρειας θα

$$\text{υπάρχει } E_{\text{ΕΠ}} = \frac{1}{2} B \omega r^2$$



Σχ. 5.17 Ο δίσκος στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από άξονα που διέρχεται από το κέντρο του. Η στροφική κίνηση του δίσκου γίνεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Το επίπεδο του δίσκου είναι συνεχώς κάθετο στο μαγνητικό πεδίο.

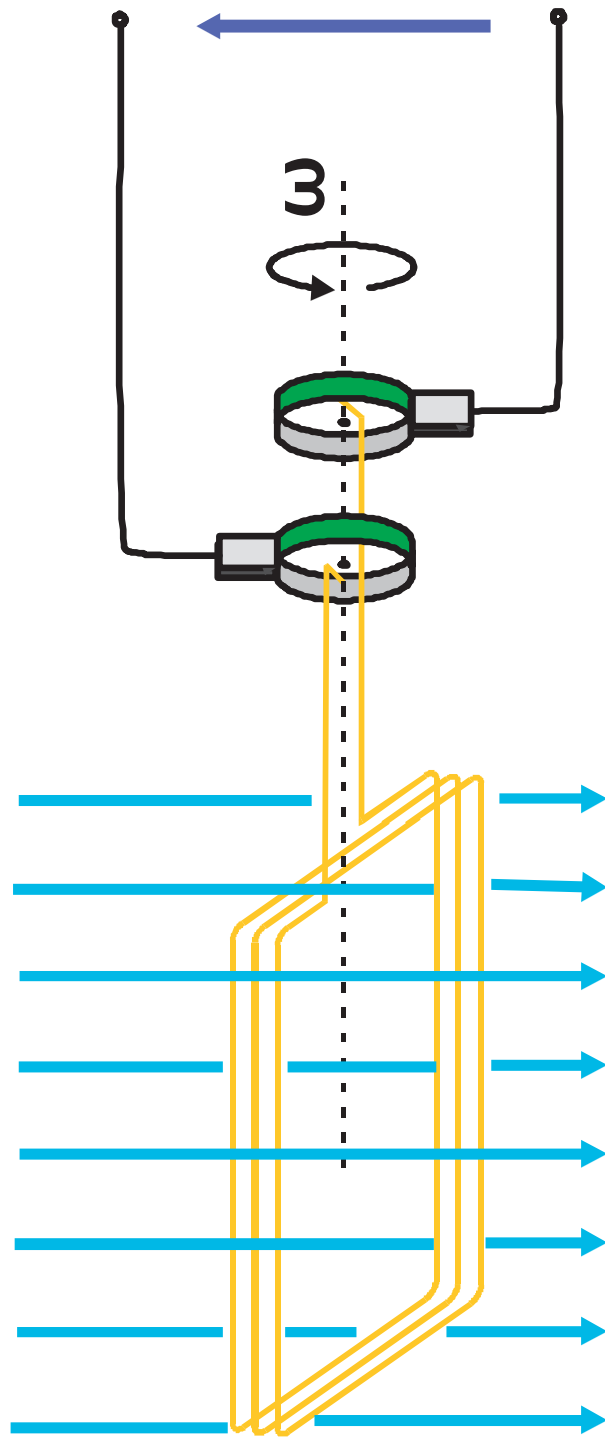
Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή τη συσκευή ως πηγή σταθερής τάσης αν τη συμπληρώσουμε με ολισθαίνουσες επαφές (ψήκτρες)

όπως στο σχήμα 5.17.

Η πολικότητα της ΗΕΔ που αναπτύσσεται από επαγωγή εξαρτάται από τη φορά περιστροφής του δίσκου. Στην περίπτωση του σχήματος τα σημεία της περιφέρειας του δίσκου βρίσκονται σε υψηλότερο δυναμικό από το κέντρο. Η συσκευή ονομάζεται δίσκος του Faraday.

5-6 ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ

Ένα αγώγιμο πλαίσιο σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου και εμβαδού A στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο γύρω από άξονα που είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές του πεδίου και βρίσκεται στο επίπεδό του.



Σχ. 5.18 Το πλαίσιο στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο.

Αν τη χρονική στιγμή $t = 0$ το επίπεδο του πλαισίου είναι κάθετο στο $\mathbf{B}$ σε μία τυχαία χρονική στιγμή t το πλαίσιο θα έχει στραφεί κατά γωνία $\theta = \omega t$ και η μαγνητική ροή μέσα από την επιφάνεια του πλαισίου θα είναι $\Phi_B = BA \sin \omega t$. Καθώς το πλαίσιο στρέφεται η μαγνητική ροή μέσα από την επιφάνειά του μεταβάλλεται και κατά συνέπεια στο πλαίσιο εμφανίζεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή. Από το νόμο του Faraday προκύπτει:

$$E_{\text{ΕΠ}} = - \frac{d\Phi_B}{dt} = \omega B A \eta \mu \omega t^1$$

¹ Το αποτέλεσμα προέκυψε από την παραγωγή της μαγνητικής ροής ως προς το χρόνο.

**Εάν το πλαίσιό μας έχει N σπείρες
τότε**

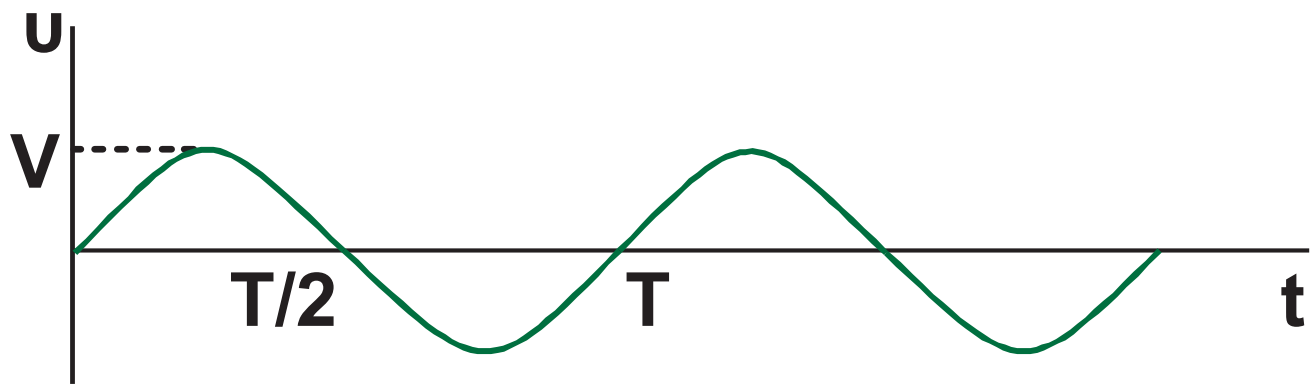
$$E_{ΕΠ} = N\omega B A \eta \mu \omega t.$$

Η τάση αυτή, που πιο συχνά γράφεται με τη μορφή

$$u = V \eta \mu \omega t,$$

όπου $V = N\omega B A$,

είναι ημιτονοειδής συνάρτηση του χρόνου (σχ. 5.19) και ονομάζεται εναλλασσόμενη τάση (ac) γιατί η πολικότητά της εναλλάσσεται, στο χρόνο μιας περιστροφής του πλαισίου.



Σχ. 5.19 Η εναλλασσόμενη τάση μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο.

- Το V είναι η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει η τάση, μετριέται σε Volts και ονομάζεται πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης.
- Το γινόμενο ωt ονομάζεται φάση της τάσης και είναι γωνία, μετρούμενη σε rad.
- Το ω ονομάζεται γωνιακή συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης και είναι ίσο με τη γωνιακή

ταχύτητα περιστροφής του πλαι-
σίου που παρήγαγε την τάση. Με-
τριέται σε $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$. Η γωνιακή συχνό-

τητα συνδέεται με την περίοδο T ,
της εναλλασσόμενης τάσης, δη-
λαδή το χρόνο μέσα στον οποίο
η τάση ολοκληρώνει μια πλή-
ρη εναλλαγή τιμών με τη σχέση

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \text{ Η περίοδος μετριέται σε}$$

s. Επίσης $\omega = 2\pi f$ όπου f η συχνό-
τητα της εναλλασσόμενης τάσης
δηλαδή ο αριθμός των πλήρων
εναλλαγών της τάσης στη μονά-

$$\text{δα του χρόνου } f = \frac{1}{T}. \text{ Μετριέται σε}$$

Hertz (Hz) ή, αλλιώς, s^{-1} .

Παντού η μεταφορά και διανομή
της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με

εναλλασσόμενη τάση. Στην Ελλάδα, στα δίκτυα των πόλεων το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης, στην κατανάλωση, είναι $V = 220\sqrt{2} \text{ V}$ και η συχνότητα $f = 50 \text{ Hz}$.

5-7 ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

Στα άκρα ενός αντιστάτη εφαρμόζουμε εναλλασσόμενη τάση $u = V\eta\mu \omega t$ με μια γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης.

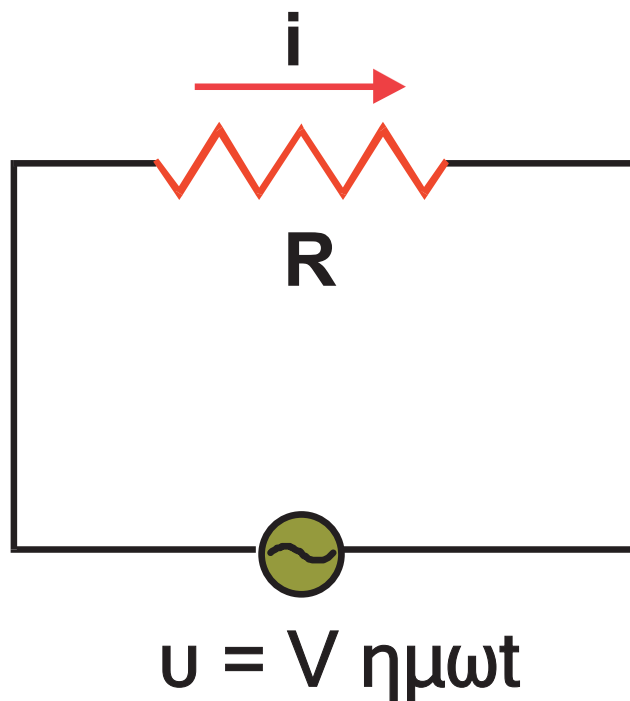
Η τάση αυτή εξαναγκάζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στους αγωγούς να κάνουν ταλάντωση με συχνότητα τη συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης που εφαρμόσαμε.

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κάποια στιγμή είναι

$$i = \frac{u}{R} = \frac{V \eta \mu \omega t}{R} \quad \text{ή} \quad i = I \eta \mu \omega t$$

όπου το I είναι η μέγιστη τιμή της έντασης του ρεύματος (πλάτος) και δίνεται από τη σχέση

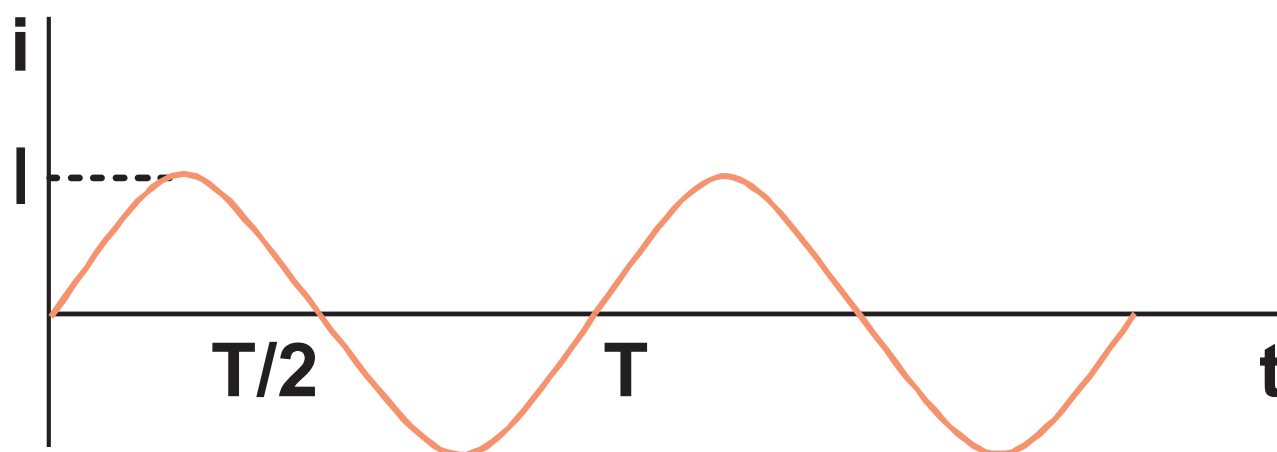
$$I = \frac{V}{R}$$



Σχ. 5.20 Στα άκρα του αντιστάτη R εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση. Το σύμβολο  παριστάνει μια γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης (εναλλάκτης).

Το ρεύμα αυτό, που η φορά του μεταβάλλεται περιοδικά με το χρόνο, ονομάζεται **εναλλασσόμενο ρεύμα**. Στο σχήμα 5.21 παριστάνεται γραφικά η ένταση του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνάρτηση με το χρόνο.

Με το σύμβολο i θα συμβολίζουμε ρεύματα που μεταβάλλονται με το χρόνο.



Σχ. 5.21 Το εναλλασσόμενο ρεύμα μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο.

Η γωνία ωt ονομάζεται φάση και το ω γωνιακή συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η εναλλασσόμενη τάση που εφαρμόσαμε στα άκρα του αντιστάτη και το ρεύμα παίρνουν ταυτόχρονα τη μέγιστη ή την ελάχιστη

τιμή. Λέμε ότι τα δύο μεγέθη βρίσκονται σε φάση (ή ότι η διαφορά φάσης τους είναι μηδέν).

Καθώς οι φορείς του ηλεκτρικού φορτίου μέσα στους αγωγούς του κυκλώματος ταλαντώνονται, προσκρούουν στα ιόντα του πλέγματος και χάνουν την ενέργεια που τους παρέχει για την κίνησή τους η πηγή. Η ενέργεια αυτή αποδίδεται υπό μορφή θερμότητας στο περιβάλλον. Παρουσιάζεται κι εδώ, όπως και στα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος, το φαινόμενο Joule.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5.4

Αντιστάτης με $R = 20 \, \Omega$, συνδέεται στο δίκτυο της ΔΕΗ. Όπως γνωρίζετε η τάση που παρέχει το δίκτυο της ΔΕΗ έχει πλάτος

$V = 220\sqrt{2} \text{ V}$ και συχνότητα 50 Hz .
Να γραφτεί η εξίσωση του εναλλασ-
σόμενου ρεύματος που διαρρέει
τον αντιστάτη.

Απάντηση:

Το πλάτος της έντασης του ρεύ-
ματος είναι $I = \frac{V}{R} = 11\sqrt{2} \text{ A}$

Η γωνιακή συχνότητα
 $\omega = 2\pi f = 100\pi$

Επομένως η εξίσωση του ρεύμα-
τος που διαρρέει τον αντιστάτη
είναι

$$i = I \eta \mu \omega t = 11\sqrt{2} \eta \mu 100\pi t$$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

Νόμος της επαγωγής

5.1 Ένας κυκλικός βρόχος βρίσκειται μέσα στο ομογενές μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ένας ηλεκτρομαγνήτης. Βρείτε τι προσανατολισμό πρέπει να έχει ο βρόχος ώστε η μαγνητική ροή που τον διαπερνά να είναι
α) μέγιστη,
β) ελάχιστη.

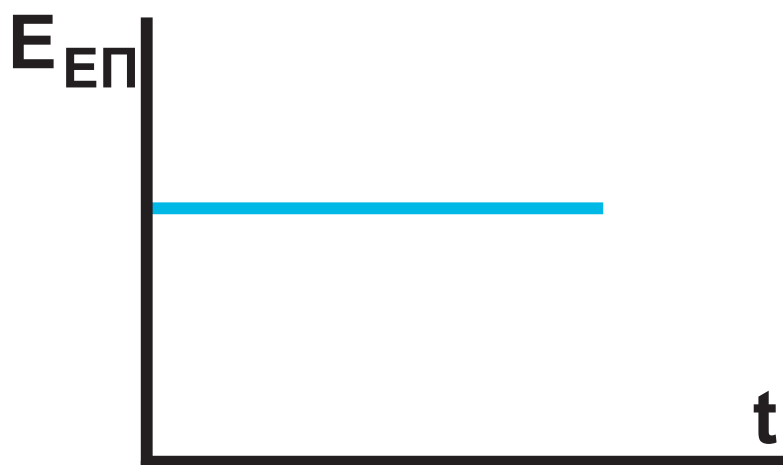
5.2 Συμπληρώστε τις προτάσεις:
Όταν πλησιάσουμε ένα ραβδόμορφο μαγνήτη σε ένα πηνίο, έτσι ώστε οι άξονές τους να συμπίπτουν, μεταβάλλεται που διέρχεται από τις σπείρες του πηνίου.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα
να δημιουργηθεί στο πηνίο
..... Το φαινόμενο
ονομάζεται

5.3 Ένα συρμάτινο πλαίσιο βρί-
σκεται μέσα στο μαγνητικό πε-
δίο που δημιουργεί ένας ηλε-
κτρομαγνήτης. Να αναφέρετε
δύο τρόπους με τους οποίους
μπορεί να δημιουργηθεί ηλε-
κτρεγερτική δύναμη από επα-
γωγή στο πλαίσιο.

5.4 Αν η μαγνητική ροή που διέρχε-
ται από την επιφάνεια που ορί-
ζει ένας αγωγός αυξάνεται με
σταθερό ρυθμό, η ηλεκτρεγερ-
τική δύναμη που δημιουργείται
στον αγωγό α) αυξάνεται; β)
μειώνεται; ή γ) μένει σταθερή;

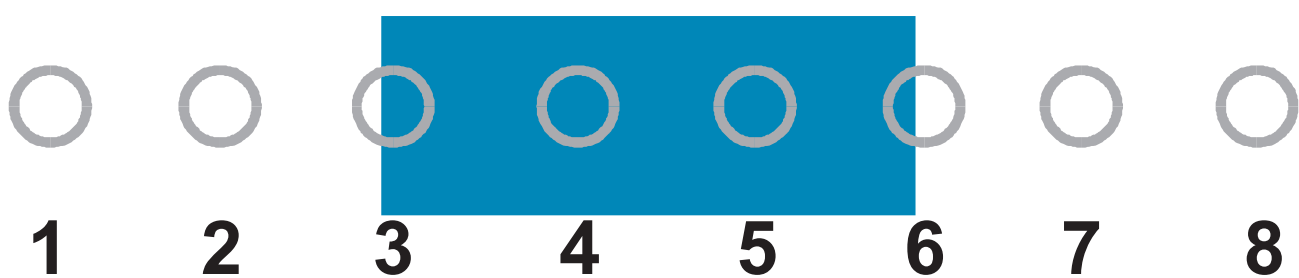
5.5 Στο διάγραμμα $E_{\text{ΕΠ}} = f(t)$ του σχήματος 5.40 παριστάνεται γραφικά η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται σε ένα κύκλωμα. Τι εκφράζει το εμβαδόν της επιφάνειας που περικλείεται ανάμεσα στη γραμμή του διαγράμματος και τον άξονα των χρόνων;



Σχ. 5.40

- 5.6 Το συνολικό φορτίο που μετακινείται σε κλειστό κύκλωμα, λόγω του φαινομένου της επαγωγής, εξαρτάται από**
- α) τη χρονική διάρκεια του φαινομένου.**
 - β) το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται η μαγνητική ροή.**
 - γ) την ένταση του ρεύματος στο κύκλωμα.**
 - δ) την ωμική αντίσταση που παρουσιάζει το κύκλωμα.**
- Επιλέξτε τη σωστή πρόταση.**

5.7 Στο σχήμα 5.41 φαίνονται οι διαδοχικές θέσεις ενός μεταλλικού δακτυλίου. Ο δακτύλιος περνάει από ένα μαγνητικό πεδίο (η περιοχή με το γαλάζιο χρώμα) που οι δυναμικές του γραμμές είναι κάθετες στο επίπεδο του δακτυλίου. Σε ποια ή σε ποιες από τις οχτώ φάσεις της κίνησης, που παριστάνονται στο σχήμα αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή στο δακτύλιο;



Σχ. 5.41

5.8 Ακίνητος κυκλικός αγωγός βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με το επίπεδό του κάθετο στις δυναμικές γραμμές. Αν το μέτρο B του μαγνητικού πεδίου μειώνεται εκθετικά με το χρόνο, στον αγωγό

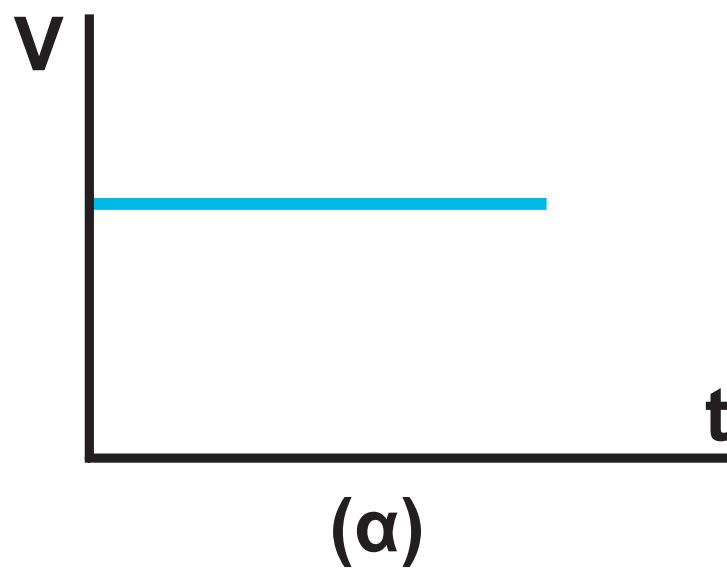
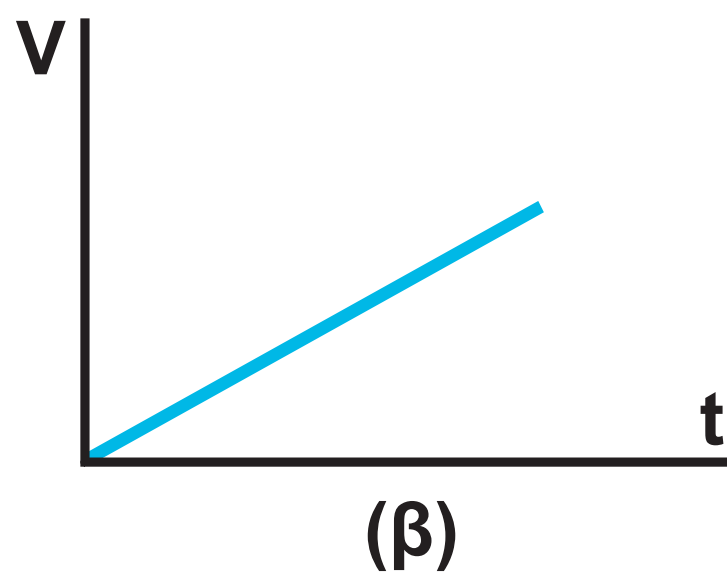
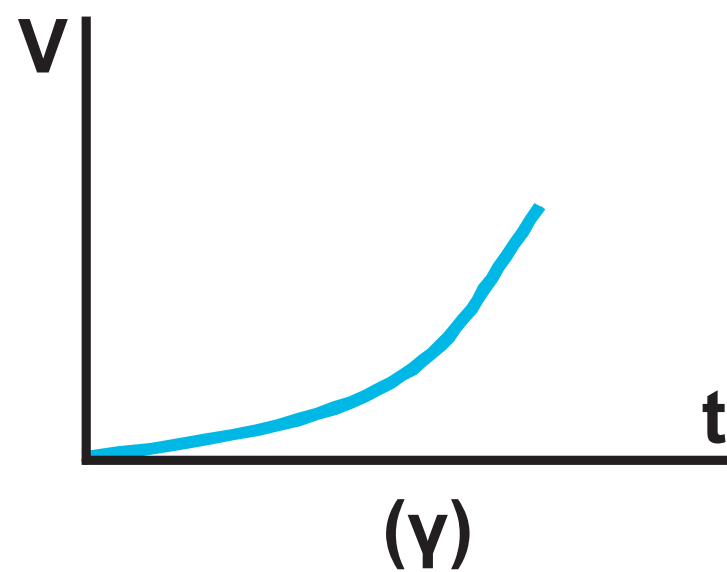
- α)** δημιουργείται σταθερή ηλεκτρεγερτική δύναμη.
- β)** δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη που μεταβάλλεται με το χρόνο.
- γ)** δε δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη.

Ποια απάντηση είναι ορθή;

Το φαινόμενο της επαγωγής σε κινούμενο αγωγό

5.9 Πού οφείλεται το φαινόμενο της επαγωγής στην περίπτωση που ένας αγωγός κινείται μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο;

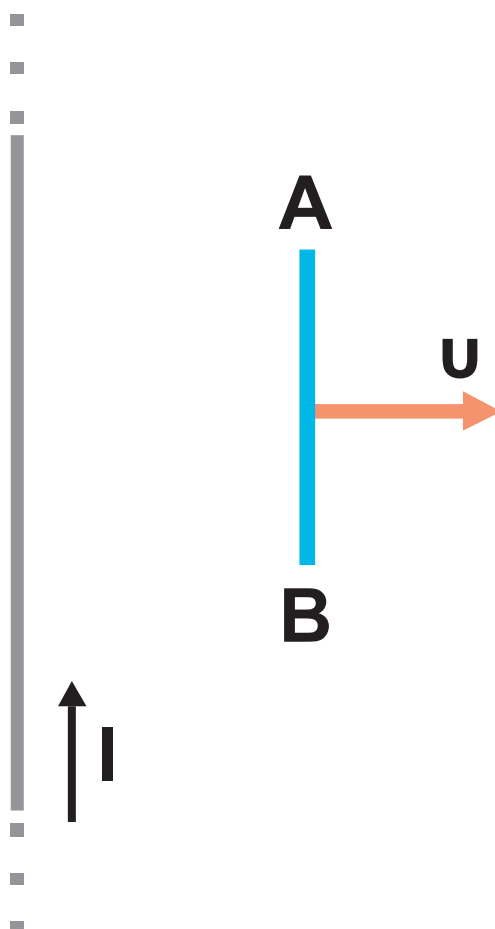
5.10 Ένας αγωγός αφήνεται να πέσει από ύψος h , σε περιοχή στην οποία υπάρχει οριζόντιο ομογενές μαγνητικό πεδίο. Ο αγωγός, σε όλη τη διάρκεια της κίνησής του, παραμένει οριζόντιος και κάθετος στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα παριστάνει την τάση στα άκρα του στις διάφορες χρονικές στιγμές; (Ως χρονική στιγμή μηδέν θεωρείται η στιγμή που αφέθηκε ελεύθερος ο αγωγός).



Σχ. 5.42

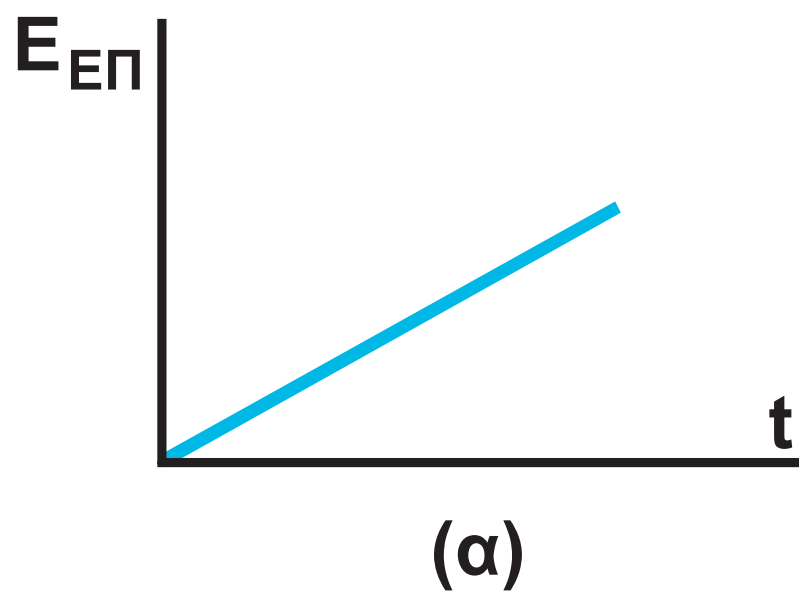
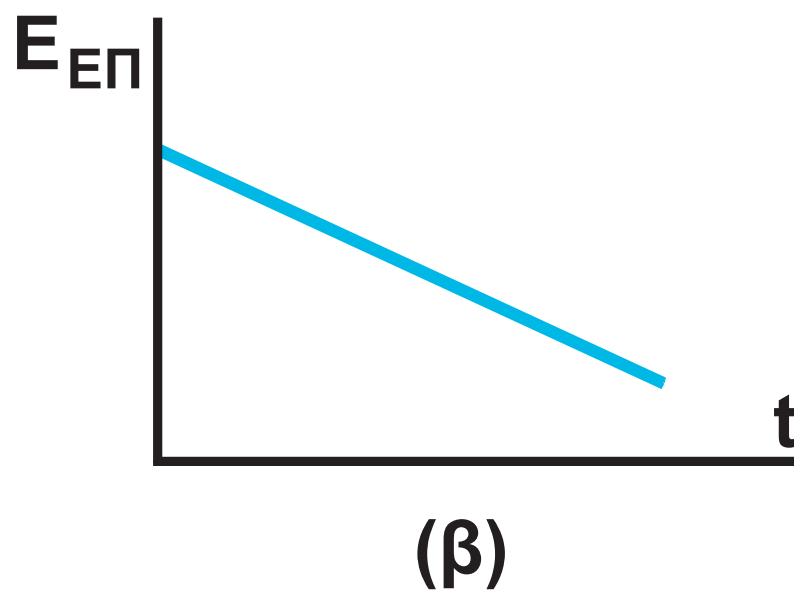
85 / 213

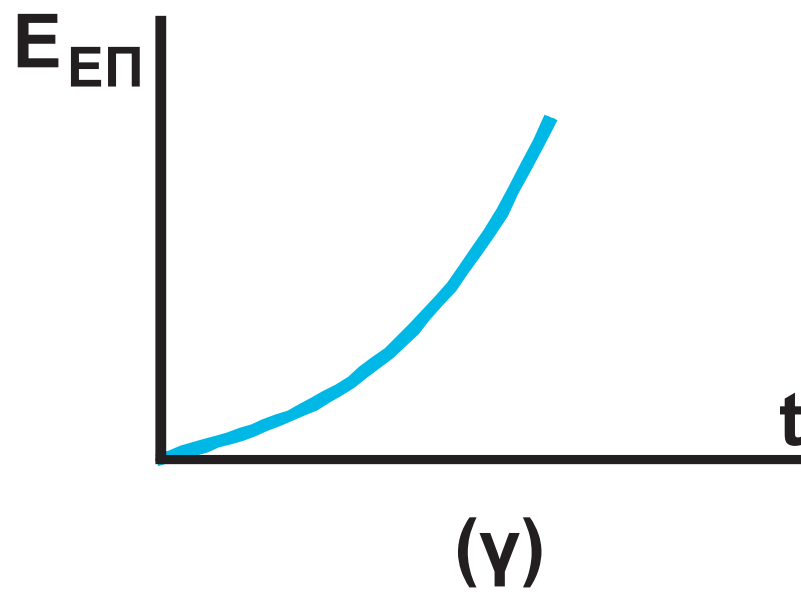
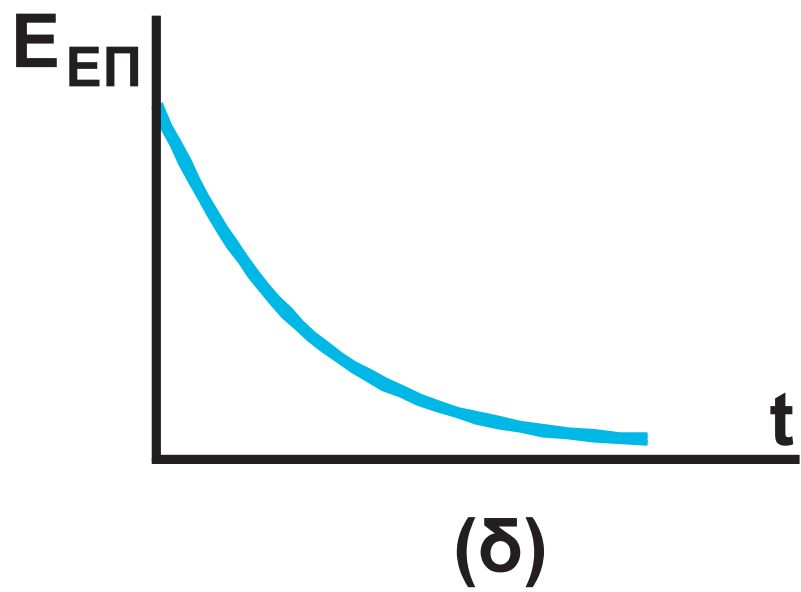
**5.11 Ακίνητος ευθύγραμμος αγωγός πολύ μεγάλου μήκους δι-
αρρέεται από σταθερό ρεύμα
έντασης I . Αγωγός AB είναι
παράλληλος στον πρώτο και
απομακρύνεται από αυτόν με
σταθερή ταχύτητα u (σχ. 5.43).**



Σχ. 5.43

Ποιο από τα διαγράμματα στο σχήμα 5.44 παριστάνει την ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στον αγωγό AB κατά την κίνησή του, σε συνάρτηση με το χρόνο;





Σχ. 5.44

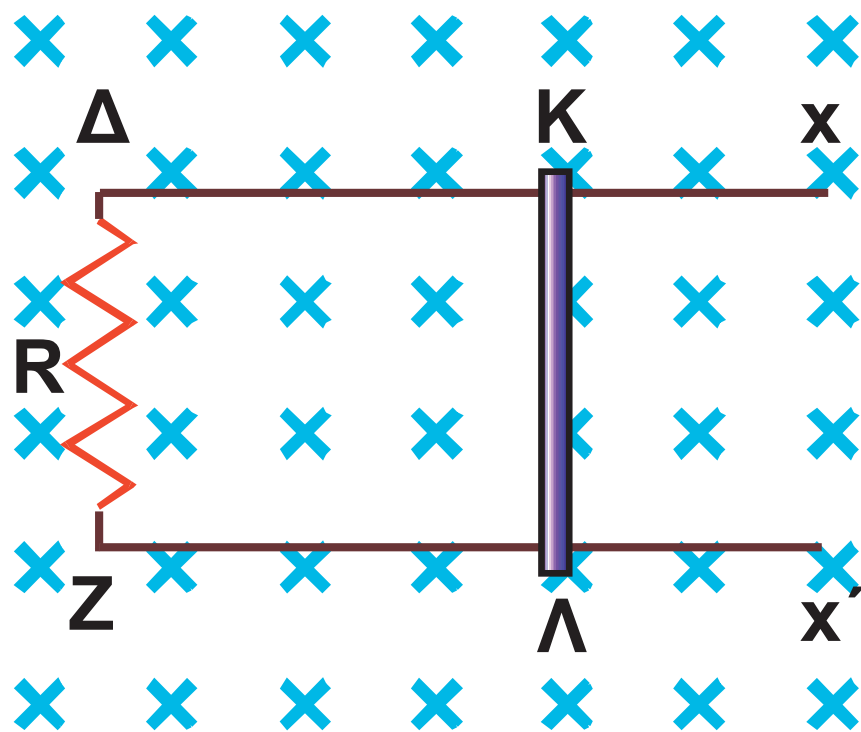
5.12 Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές;

- α) Σε ακίνητο αγωγό μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο δεν αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη.
- β) Δεν αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη σε αγωγό που κινείται μέσα σε ανομοιογενές μαγνητικό πεδίο.
- γ) Σε αγωγό που κινείται παράλληλα στις δυναμικές γραμμές μαγνητικού πεδίου δεν αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη.
- δ) Κατά την περιστροφή ενός αγωγού μέσα σε μαγνητικό πεδίο, ηλεκτρεγερτική δύναμη αναπτύσσεται στον αγωγό μόνο αν κατά την κίνησή του τέμνει τις δυναμικές γραμμές του πεδίου.

5.13 Η ράβδος ΚΛ του σχήματος 5.45 μπορεί να ολισθαίνει, χωρίς τριβές, στους οριζόντιους αγωγούς Δχ και Ζχ' παραμένοντας πάντα κάθετη σ' αυτούς. Τα άκρα Δ και Ζ των αγωγών συνδέονται με αντιστάτη R. Όλη η διάταξη βρίσκεται σε ομογενές κατακόρυφο μαγνητικό πεδίο. Δίνουμε στη ράβδο αρχική ταχύτητα u παράλληλη στους αγωγούς και την αφήνουμε ελεύθερη. Η κίνηση της ράβδου θα είναι

- α) ευθύγραμμη ομαλή.**
- β) ομαλά επιταχυνόμενη.**
- γ) επιταχυνόμενη μέχρις ότου η ταχύτητά της αποκτήσει μια οριακή τιμή (u_{op}).**
- δ) επιβραδυνόμενη.**

Σημειώστε τη σωστή απάντηση και αιτιολογήστε τη.



$\Sigma x. 5.45$

Ο κανόνας του Lenz

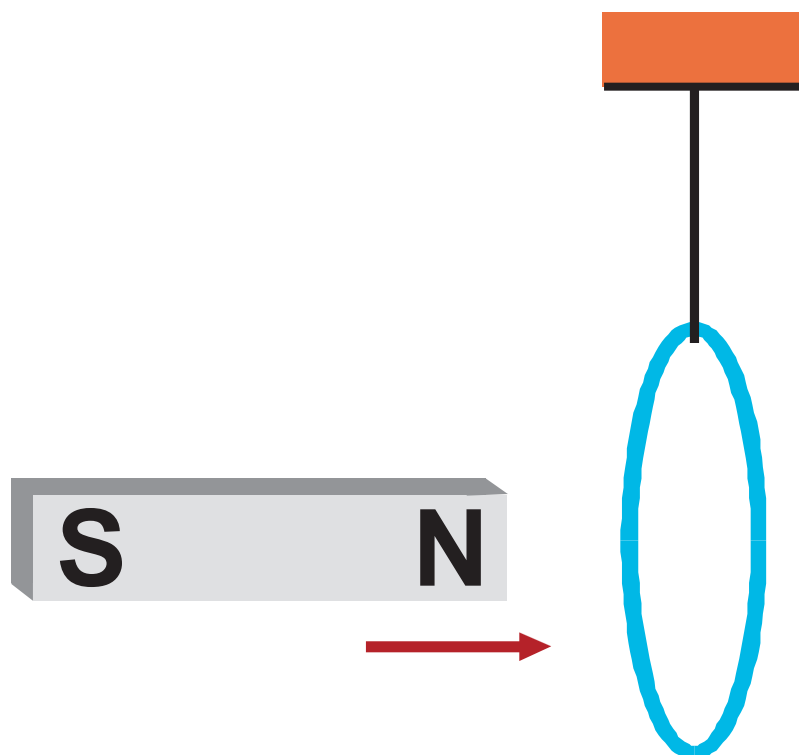
5.14 Να συμπληρωθούν τα κενά:

Ο κανόνας του Lenz είναι συνέπεια μιας γενικότερης αρχής της φυσικής, της αρχής

.....

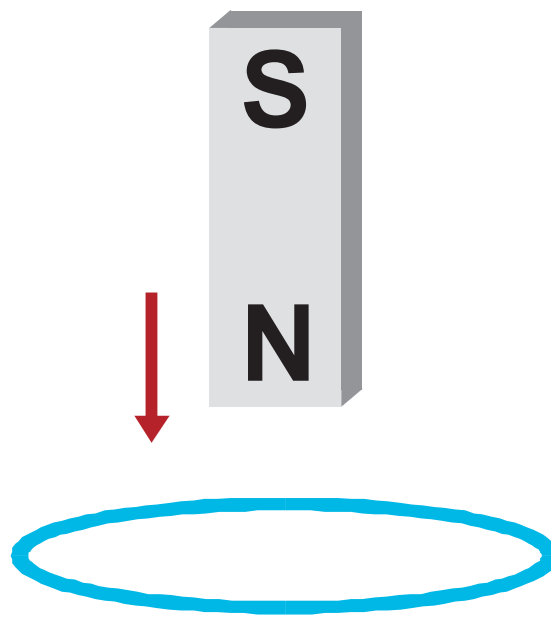
..... Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, το ρεύμα που δημιουργείται εξ αιτίας του φαινομένου της επαγωγής έχει τέτοια ώστε να αντιτίθεται στην αιτία που το προκάλεσε.

5.15 Από ένα λεπτό νήμα κρέμεται αβαρής μεταλλικός δακτύλιος. Εξηγήστε γιατί ο δακτύλιος θα εκτραπεί από τη θέση ισορροπίας του αν πλησιάσουμε σ' αυτόν ένα μαγνήτη, όπως δείχνει το σχήμα. 5.46. Τι περιμένετε να συμβεί αν ο δακτύλιος έχει εγκοπή;



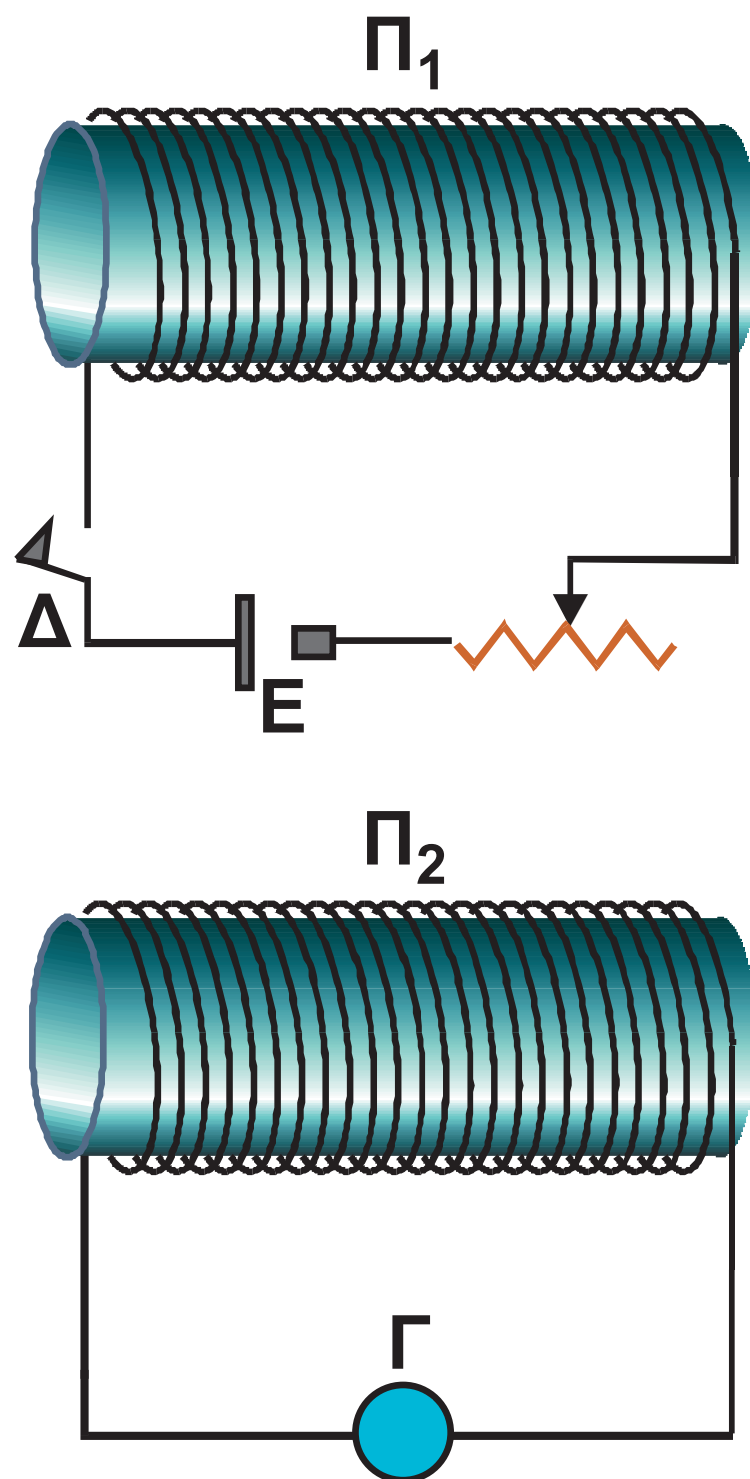
Σχ. 5.46

5.16 Αφήνουμε ένα μαγνήτη να πέσει κατακόρυφα. Κάτω από το μαγνήτη βρίσκεται οριζόντιος κυκλικός αγωγός (σχ. 5.47). Να συγκρίνετε την επιτάχυνση που έχει ο μαγνήτης στις διάφορες θέσεις του με την επιτάχυνση της βαρύτητας.



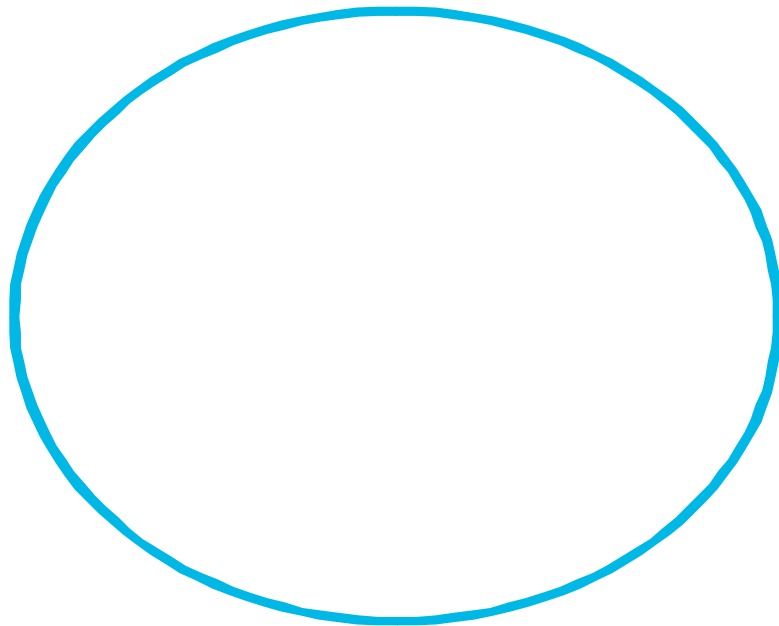
Σχ. 5.47

5.17 Βρείτε τη φορά του ρεύματος στο πηνίο Π_2 μόλις κλείσουμε το διακόπτη στο πηνίο Π_1 (σχ. 5.48).



Σχ. 5.48

5.18 Ο δακτύλιος του σχήματος 5.49 βρίσκεται μέσα σε μεταβαλλόμενο ομογενές μαγνητικό πεδίο. Το επίπεδο του δακτυλίου είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Όταν το μαγνητικό πεδίο αυξάνεται, ο δακτύλιος διαρρέεται από ρεύμα που έχει τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Ποια είναι η φορά των δυναμικών γραμμών του πεδίου;



Σχ. 5.49

Εναλλασσόμενη τάση - εναλλασσόμενο ρεύμα

5.19 Σε ποιο φυσικό φαινόμενο στηρίζεται η παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης;

5.20 Εάν αυξηθεί η συχνότητα περιστροφής του ρότορα μιας ηλεκτρογεννήτριας τι θα συμβεί στην ενεργό τιμή της τάσης που παρέχει η ηλεκτρογεννήτρια;

α) Θα παραμείνει ίδια;

β) Θα αυξηθεί;

γ) Θα μειωθεί;

Επιλέξτε το σωστό.

5.21 Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;

- α) Η φορά του εναλλασσόμενου ρεύματος αλλάζει περιοδικά.
- β) Η εναλλασσόμενη τάση στα άκρα ενός αντιστάτη και το ρεύμα που τον διαρρέει έχουν την ίδια συχνότητα και βρίσκονται σε φάση (παίρνουν ταυτόχρονα μέγιστη και ελάχιστη τιμή).
- γ) Η ενεργός τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος αποτελεί τη μέση τιμή της έντασής του.
- δ) Το αίτιο παραγωγής θερμότητας σε έναν αντιστάτη όταν διαρρέεται από ρεύμα είναι ίδιο, είτε πρόκειται για συνεχές είτε για εναλλασσόμενο ρεύμα.

ε) Το πλάτος του εναλλασσόμενου ρεύματος μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο.

5.22 Οι λάμπες στο σπίτι μας τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη τάση ενεργού τιμής 220 V και συχνότητας 50 Hz. Αυτό σημαίνει ότι διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα με την ίδια συχνότητα. Γιατί δεν παρατηρούνται αυξομειώσεις στην ένταση του φωτισμού;

5.23 Αν η ενεργός τιμή της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος που διαρρέει έναν αντιστάτη διπλασιαστεί, ο ρυθμός με τον οποίο ο αντιστάτης αποδίδει θερμότητα στο περιβάλλον

- α) διπλασιάζεται. β) τριπλασιάζεται. γ) τετραπλασιάζεται. δ) παραμένει ίδιος.
Επιλέξτε το σωστό.

5.24 Τα αμπερόμετρα και τα βολτόμετρα που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις στο εναλλασσόμενο ρεύμα δίνουν

- α) την ενεργό τιμή των μεγεθών. β) τη μέση τιμή. γ) το πλάτος. δ) η στιγμιαία τιμή.
Επιλέξτε το σωστό.

5.25 Συμπληρώστε τα κενά:

Μια ηλεκτρογεννήτρια μετατρέπει ενέργεια σε ενέργεια, ενώ ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε

**5.26 Η μετατροπή της εναλλασσό-
μενης τάσης σε συνεχή γίνε-
ται με το συνδυασμό δύο δια-
τάξεων του και του
..... Ο εξομαλυντής
αποτελείται από αντιστάτη
και συνδεδεμένα
.....**

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Νόμος της επαγωγής

5.34 Κυκλικός αγωγός εμβαδού

$A = 10^{-1} \text{ m}^2$ τοποθετείται με το επίπεδό του κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου $B = 0,2 \text{ T}$. Να βρεθεί η ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που δημιουργείται στον αγωγό αν μέσα σε χρόνο $\Delta t = 10^{-2} \text{ s}$

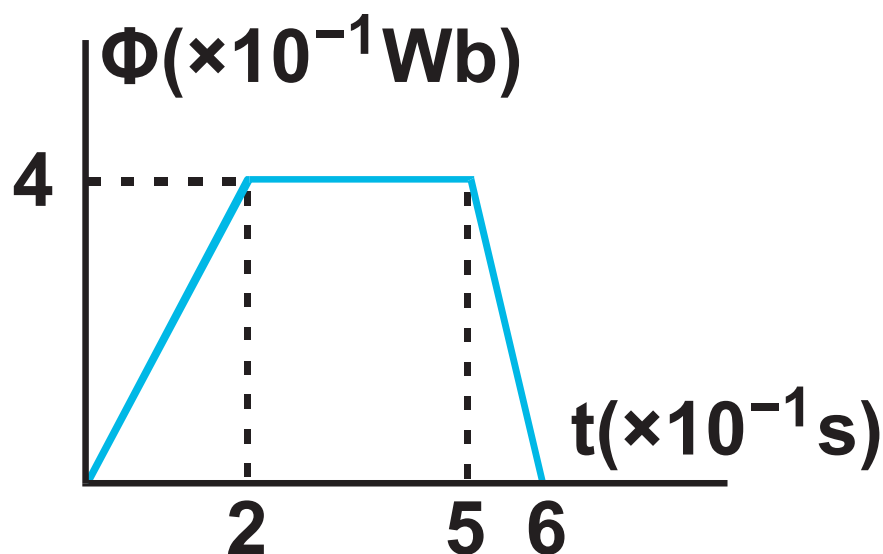
- α) το πεδίο μηδενίζεται,
- β) το πεδίο διπλασιάζεται,
- γ) η φορά του πεδίου αντιστρέφεται,
- δ) το πεδίο παραμένει σταθερό και ο αγωγός στρέφεται κατά 90° ώστε να γίνει παράλληλος με τις δυναμικές

γραμμές.
[Απ: 2 V, 2 V, 4 V, 2 V]

5.35 Κυκλικός αγωγός ακτίνας
 $r = 10/\sqrt{\pi}$ cm έχει αντίσταση
 $R = 2 \Omega$. Ο αγωγός τοποθετεί-
ται με το επίπεδό του κάθετο
σε ομογενές μαγνητικό πεδίο
που αυξάνεται με σταθερό ρυθ-
μό $\Delta B/\Delta t = 0,2$ T/s. Να βρείτε
την ένταση του ρεύματος που
διαρρέει τον κυκλικό αγωγό και
τη θερμική ισχύ που αναπτύσ-
σεται σ' αυτόν.
[Απ: 10^{-3} A, 2×10^{-6} W]

5.36 Η μαγνητική ροή που διέρχεται από κλειστό συρμάτινο πλαίσιο αντίστασης $R = 10 \, \Omega$, μεταβάλλεται με το χρόνο όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 5.52. Να γίνουν, με την ίδια κλίμακα χρόνου, τα διαγράμματα:

- α) της ηλεκτρεγερτικής δύναμης από επαγωγή που αναπτύσσεται στο πλαίσιο.
- β) της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το πλαίσιο.



Σχ. 5.52

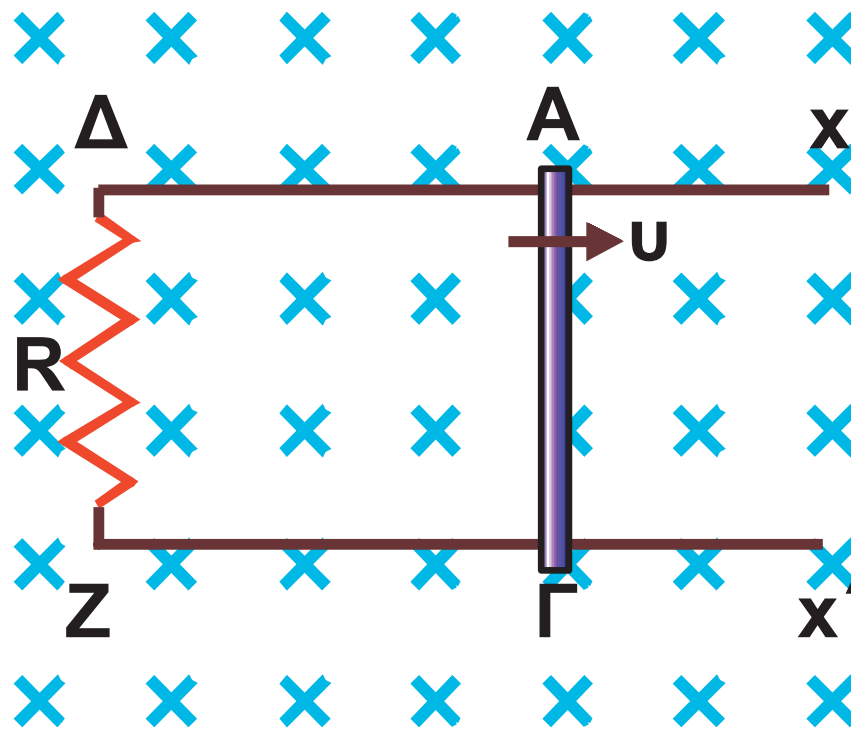
5.37 Κυκλικό πλαίσιο ακτίνας
 $r = 2 \text{ cm}$ με $N = 100$ σπείρες έχει αντίσταση $R = 25 \text{ } \Omega$. Το πλαίσιο βρίσκεται ολόκληρο μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο που σχηματίζεται ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη, με το επίπεδο των σπειρών του κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Στα άκρα του πλαισίου συνδέεται βαλλιστικό γαλβανόμετρο. (Το βαλλιστικό γαλβανόμετρο είναι ένα ευαίσθητο όργανο που μετράει την ποσότητα του φορτίου που μετακινείται στους αγωγούς.) Το βαλλιστικό γαλβανόμετρο έχει αντίσταση $R_f = 45 \text{ } \Omega$. Απομακρύνουμε το πλαίσιο από το πεδίο και διαπιστώνουμε ότι στη διάρκεια της απομάκρυνσης κινήθηκε στο κύκλωμα

φορτίο $183,4 \mu\text{C}$. Να υπολογιστεί το μέτρο B του μαγνητικού πεδίου ανάμεσα στους πόλους του ηλεκτρομαγνήτη.
[Απ: $10,22 \times 10^{-2} \text{ T}$]

5.38 Ένα μακρύ σωληνοειδές έχει 200 σπείρες/cm και διαρρέεται από ρεύμα $I = 4 \text{ A}$. Στο εσωτερικό του υπάρχει κυκλικό πλαίσιο με 100 σπείρες και διάμετρο $d = 2 \text{ cm}$. Το επίπεδο του κυκλικού πλαισίου είναι κάθετο στον άξονα του σωληνοειδούς. Το ρεύμα στο σωληνοειδές μηδενίζεται σε χρόνο $\Delta t = 0,02 \text{ s}$. Υπολογίστε τη μέση ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται στο κυκλικό πλαίσιο.
Δίνονται $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$, $\pi^2 = 10$, .
[Απ: $0,16 \text{ V}$]

Το φαινόμενο της επαγωγής σε κινούμενο αγωγό

5.39 Ο αγωγός ΑΓ, με μήκος $l = 1 \text{ m}$ και αντίσταση $R_1 = 5 \Omega$, κινείται, με ταχύτητα $u = 10 \text{ m / s}$, χωρίς τριβές πάνω στους παράλληλους αγωγούς Δχ και Ζχ', μένοντας διαρκώς κάθετος και σε επαφή μ' αυτούς. Τα άκρα Δ και Ζ, των παράλληλων αγωγών συνδέονται μεταξύ τους με αντίσταση $R = 5 \Omega$. Η αντίσταση όλων των άλλων αγωγών είναι αμελητέα. Η όλη διάταξη βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 2 \text{ T}$ κάθετο στο επίπεδο που ορίζουν οι αγωγοί.



Σχ. 5.53

Να υπολογιστούν:

α) Η ένταση του ρεύματος στο κύκλωμα.

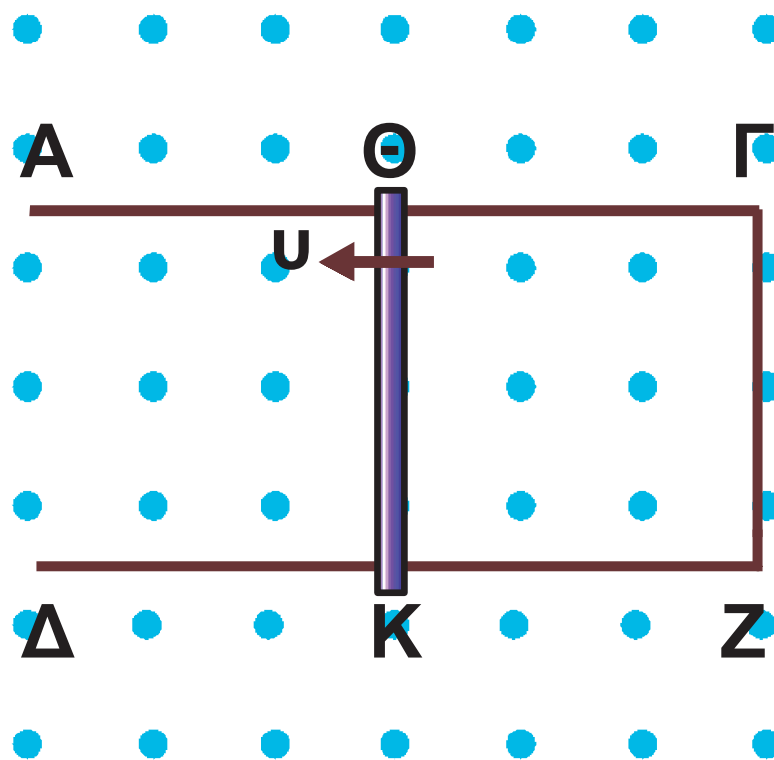
β) Η τάση στα άκρα του αγωγού ΑΓ.

γ) Η θερμότητα που αποδίδει η αντίσταση R σε χρόνο $t = 5$ min.

[Απ: α) 2 A, β) 10 V, γ) 6×10^3 J]

**5.40 Συρμάτινο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο πλαίσιο, η μικρότερη πλευρά του οποίου είναι $a = 20 \text{ cm}$, εισέρχεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 2 \text{ T}$ με το επίπεδό του κάθετο στις δυναμικές γραμμές. Η ταχύτητα του πλαισίου είναι παράλληλη στη μεγαλύτερη πλευρά του. Πόση δύναμη πρέπει να ασκήσουμε στο πλαίσιο για να μπαίνει στο μαγνητικό πεδίο με σταθερή ταχύτητα $u = 1,2 \text{ m / s}$. Η αντίσταση του πλαισίου είναι $R = 0,8 \text{ } \Omega$.
[Απ: $0,24 \text{ N}$]**

**5.41 Το σύρμα ΑΓΖΔ του σχήματος 5.54 έχει σταθερή διατομή. Οι πλευρές ΑΓ και ΔΖ είναι παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες στη ΓΖ. Το επίπεδο του πλαισίου είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου. Το σύρμα ΘΚ, που έχει αμελητέα αντίσταση, κινείται με ταχύτητα $u = 12 \text{ m / s}$ έτσι ώστε να είναι συνέχεια σε επαφή με τα σύρματα ΑΓ και ΔΖ και κάθετο σ' αυτά. Αν $\Gamma Z = 20 \text{ cm}$ και $B = 2 \text{ T}$ να υπολογιστεί η τάση $V_{\Gamma Z}$ τη στιγμή που $\Gamma \Theta = 20 \text{ cm}$.
[Απ: 1,6 V]**



Σχ. 5.54

5.42 Δύο κατακόρυφα σύρματα αμελητέας αντίστασης ύψους $h = 10 \text{ m}$, απέχουν μεταξύ τους $l = 1 \text{ m}$. Οι πάνω άκρες τους συνδέονται με σύρμα αντίστασης $R = 1 \ \Omega$. Ένα τέταρτο σύρμα με μάζα $m = 0,04 \text{ kg}$ μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβή πάνω στα δύο προηγούμενα σύρματα μένοντας συνεχώς οριζόντιο.

Τα σύρματα βρίσκονται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 0,4 \text{ T}$, κάθετο στο επίπεδο των συρμάτων. Κάποια στιγμή αφήνουμε το οριζόντιο σύρμα να πέσει, ξεκινώντας από τις πάνω άκρες των κατακόρυφων συρμάτων. Να υπολογιστεί:

α) Η οριακή (μέγιστη) ταχύτητα που θα αποκτήσει πέφτοντας.

β) Η θερμότητα που θα παραχθεί στην αντίσταση μέχρι τη στιγμή που το σύρμα φτάνει στο έδαφος με την οριακή του ταχύτητα.

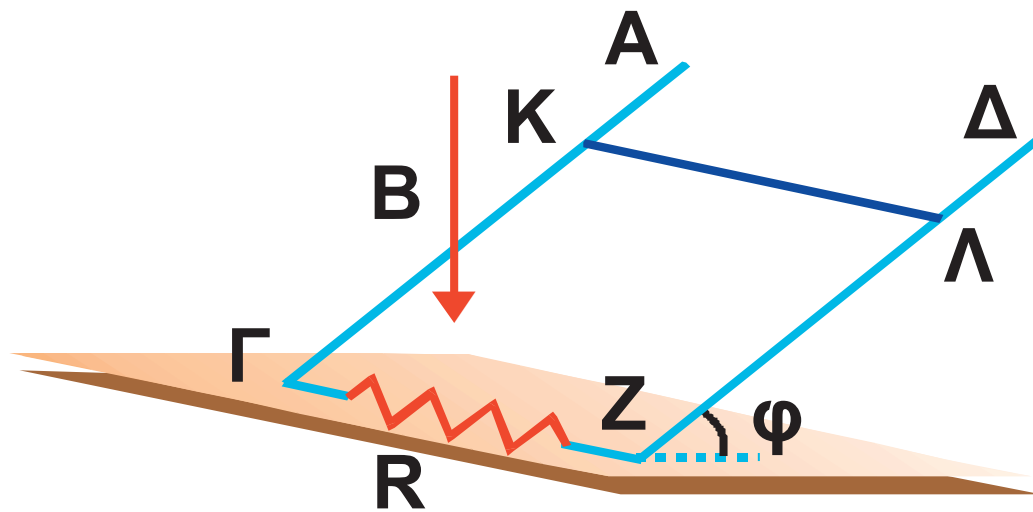
Δίνεται ότι τόσο τα κατακόρυφα σύρματα όσο και το σύρμα που ολισθαίνει παρουσιάζουν αμελητέα αντίσταση. Η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι $g = 10 \text{ m / s}^2$.
[Απ: $2,5 \text{ m / s}$, $3,875 \text{ J}$]

5.43 Δύο παράλληλα μεταλλικά σύρματα ΑΓ και ΔΖ απέχουν $l = 40 \text{ cm}$ και το επίπεδό τους σχηματίζει γωνία $\varphi = 30^\circ$ με τον ορίζοντα. Τρίτο σύρμα ΚΛ με μάζα 10 g μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές πάνω στα ΑΓ και ΔΖ μένοντας συνεχώς κάθετο και σε επαφή με αυτά. Συνδέουμε τα ΑΓ και ΔΖ στη βάση τους με αντίσταση $R = 1,6 \, \Omega$. Οι άλλοι αγωγοί δεν έχουν αντίσταση. Όλο το σύστημα βρίσκεται σε κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 1 \text{ T}$. Να υπολογιστούν:

α) Η οριακή ταχύτητα που θα αποκτήσει το σύρμα ΚΛ αν αφεθεί να κινηθεί.

β) Η δύναμη Laplace που δέχεται τότε το κινούμενο σύρμα.

Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.
[Απ: $0,667 \text{ m/s}$, $0,058 \text{ N}$]



Σχ. 5.55

Το φαινόμενο της επαγωγής σε στρεφόμενο αγωγό

5.44 Αγωγήμη ράβδος ΑΓ μήκους $l = 1 \text{ m}$ στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα $\omega = 10 \text{ rad / s}$ γύρω από άξονα που διέρχεται από σημείο Ο της ράβδου και είναι κάθετος στη ράβδο. Το επίπεδο περιστροφής της ράβδου είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου $B = 1 \text{ T}$. Η απόσταση του σημείου Ο από το άκρο Α της ράβδου είναι $AO = 0,4 \text{ m}$. Να βρεθεί η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται λόγω επαγωγής μεταξύ των άκρων της ράβδου.
[Απ: 1 V]

**5.45 Χάλκινος δίσκος έχει ακτίνα 10 cm και στρέφεται γύρω από τον άξονά του με συχνότητα 1500 στροφές/min. Το επίπεδο του δίσκου είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου. Η τάση που αναπτύσσεται μεταξύ της περιφέρειας και του κέντρου του δίσκου είναι -0,628 V. Να σχεδιάσετε τη διάταξη και να υπολογίσετε το μέτρο B του μαγνητικού πεδίου.
[Απ: 0,8 T]**

Εναλλασσόμενη τάση - εναλλασσόμενο ρεύμα

5.46 Να υπολογιστεί η ενεργός τιμή της εναλλασσόμενης τάσης που επάγεται στα άκρα ορθογωνίου πλαισίου εμβαδού $A = 500 \text{ cm}^2$ και $N = 80$ σπειρών όταν περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα $\omega = 48 \text{ rad / s}$ γύρω από άξονα που βρίσκεται στο επίπεδό του και είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου $B = 1,62 \text{ T}$. Αν το πλαίσιο έχει συνολική αντίσταση $R = 10 \text{ } \Omega$ και στα άκρα του συνδεθεί εξωτερική αντίσταση $R_1 = 100 \text{ } \Omega$ να υπολογιστεί η μεγαλύτερη τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.
[Απ: 220 V , $2\sqrt{2} \text{ A}$]

**5.47 Εναλλακτήρας αποτελείται από ορθογώνιο πλαίσιο 100 σπειρών, διαστάσεων 50 cm×20 cm, που στρέφεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 0,02 \text{ T}$, με συχνότητα 900 στροφές/min, γύρω από άξονα που είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές. Ποια είναι η μέγιστη τιμή της τάσης που παράγει.
[Απ: 18,84 V]**

**5.48 Πηγή συνεχούς τάσης $V_{\Sigma} = 100 \text{ V}$ όταν συνδεθεί με αντιστάτη R προκαλεί την ίδια θερμική ισχύ με πηγή εναλλασσόμενης τάσης συνδεόμενη με αντιστάτη $2R$. Αν οι εσωτερικές αντιστάσεις των πηγών θεωρηθούν αμελητέες να υπολογίσετε το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης.
[Απ: 200 V]**

5.49 Η εναλλασσόμενη τάση

$u = 100\sqrt{2} \sin 100\pi t$ (SI), εφαρμόζεται στα άκρα αγωγού αντίστασης $R = 50 \, \Omega$. Να υπολογιστεί το ποσό θερμότητας που παράγεται στον αγωγό σε χρόνο $\Delta t = 1 \text{ min}$.

[Απ: $1,2 \times 10^4 \text{ J}$]

5.50 Αντίσταση R τροφοδοτείται

με εναλλασσόμενο ρεύμα της μορφής $i = I_m \sin 314t$ και καταναλώνει μέση ισχύ 100 W .

α) Να υπολογιστεί η στιγμιαία ισχύς που καταναλώνει η αντίσταση τη στιγμή $t_1 = 5 \times 10^{-3} \text{ s}$.

β) Αν $I_{\text{εV}} = 0,4 \text{ A}$ ποια η τιμή της τάσης τη χρονική στιγμή $t_2 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ s}$;

[Απ: 200 W , 250 V]

**5.51 Ηλεκτρική λάμπα που έχει αντίσταση $R = 40 \, \Omega$ τροφοδοτείται με εναλλασσόμενη τάση της μορφής $u = 80\sqrt{2} \sin 100t$ (SI). Να υπολογιστεί η μέση ισχύς που καταναλώνει η λάμπα.
[Απ: 160 W]**

ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ - ΧΡΗΣΙΜΑ ΜΕΓΕΘΗ

ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ

Όνομα

Ταχύτητα του φωτός

Φορτίο ηλεκτρονίου (απόλυτη τιμή)

Βαρυτική σταθερά

Σταθερά Planck

Σταθερά Boltzmann

Σταθερά Avogadro

Σταθερά των αερίων

Μάζα ηλεκτρονίου

Μάζα νετρονίου

Μάζα πρωτονίου

Διηλεκτρική σταθερά του κενού

Σταθερά Coulomb

Μαγνητική διαπερατότητα του κενού

Σύμβολο Τιμή

c	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$
e	$1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
G	$6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
k	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$
N_A	$6,022 \times 10^{23} \text{ μόρια/mol}$
R	$8,314 \text{ J / mol} \cdot \text{K}$
m_e	$9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
m_n	$1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
m_p	$1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
ε_o	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$
K_c	$9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$
μ_o	$4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb / A} \cdot \text{m}$

ΑΛΛΕΣ ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ

Όνομα

Μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας

Κανονική ατμοσφαιρική πίεση

Απόλυτο μηδέν

Ηλεκτρονιοβόλτ

Ενέργεια ηρεμίας ηλεκτρονίου

Γραμμομοριακός όγκος ιδανικού
αερίου (s.t.p.)

Σύμβολο Τιμή

	4,186 J / cal
1 atm	$1,013 \times 10^5 \text{ P (N / m}^2\text{)}$
0 K	-273 °C
1 eV	$1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
mc^2	0,511 MeV
V_{mol}	22,4 L / mol

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΩΝ

A

αδιαβατική μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας το σύστημα δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον.

αδιαβατικό τοίχωμα: τοίχωμα που δεν επιτρέπει την ανταλλαγή θερμότητας.

ακτίνα Schwarzschild: η μέγιστη ακτίνα που πρέπει να έχει ένα ουράνιο σώμα μάζας M για να είναι μαύρη τρύπα.

ακτινοβολία Cerenkov: ορατή ακτινοβολία που προέρχεται από τις κρούσεις φορτισμένων σωματιδίων με τα άτομα.

αμοιβαία επαγωγή: η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης σε ένα κύκλωμα εξαιτίας της μεταβολής

του ρεύματος σε ένα άλλο κύκλωμα.

ανόρθωση εναλλασσόμενης τάσης: η μετατροπή της σε συνεχή τάση.

αντιστρεπτή μεταβολή: μεταβολή στην οποία υπάρχει δυνατότητα επαναφοράς του συστήματος και του περιβάλλοντος στην αρχική τους κατάσταση.

απόλυτη θερμοκρασία: η θερμοκρασία στην κλίμακα Kelvin. Το μηδέν της κλίμακας είναι το απόλυτο μηδέν.

απόλυτο μηδέν: η θερμοκρασία κάτω από την από την οποία δεν είναι δυνατό να φτάσουμε. Αντιστοιχεί στους $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ατμομηχανή: είδος θερμικής μηχανής. Σε αυτή το «μέσον» είναι το νερό, δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας

ο λέβητας όπου θερμαίνεται το νερό και δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας ο συμπυκνωτής όπου ψύχεται το νερό.

αυτεπαγωγή: η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης σε ένα κύκλωμα όταν μεταβάλλεται το ρεύμα που το διαρρέει.

B

βαρυτικό πεδίο: ο χώρος στον οποίο όταν βρεθεί μια μάζα θα δεχθεί δύναμη.

βόρειο σέλας: φωτεινό φαινόμενο που εκδηλώνεται κοντά στο βόρειο πόλο της Γης και οφείλεται στις κρούσεις φορτισμένων σωματιδίων με τα άτομα του αέρα.

βρασμός: φαινόμενο κατά το οποίο ένα υγρό μεταβαίνει στην αέρια φάση από όλη τη μάζα του.

Γ

γαλβανόμετρο: όργανο που δείχνει αν περνάει ρεύμα.

γραμμική πυκνότητα φορτίου: το πηλίκο του φορτίου Δq που αντιστοιχεί σε μήκος Δl ενός αγωγού προς το μήκος αυτό.

Δ

διατηρητικό πεδίο: πεδίο στο οποίο η δύναμη που ασκεί δεν παράγει έργο κατά τη μετακίνηση του υποθέματος σε κλειστή τροχιά.

διαφορά δυναμικού (μεταξύ δύο σημείων βαρυτικού πεδίου): το πηλίκο του έργου που παράγει ή καταναλώνει η δύναμη του πεδίου κατά τη μετακίνηση μιας μάζας m από το ένα σημείο στο άλλο προς τη μάζα αυτή.

διαφορά δυναμικού (μεταξύ δύο σημείων ηλεκτρικού πεδίου): το πηλίκο του έργου που παράγει ή καταναλώνει η δύναμη του πεδίου κατά τη μετακίνηση φορτίου q από το ένα σημείο στο άλλο προς το φορτίο αυτό.

διηλεκτρική αντοχή: η τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου πάνω από την οποία το διηλεκτρικό συμπεριφέρεται ως αγωγός.

διηλεκτρική σταθερά (διηλεκτρικού): ο λόγος της χωρητικότητας ενός πυκνωτή με το διηλεκτρικό προς τη χωρητικότητα του ίδιου πυκνωτή στο κενό.

διηλεκτρικό: σώμα στο οποίο δεν μπορούν να κινηθούν ηλεκτρικά φορτία, ο μονωτής.

δίοδος: συσκευή που επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων μόνο προς μία κατεύθυνση.

δύναμη Laplace: η δύναμη που δέχεται ρευματοφόρος αγωγός που βρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο.

δύναμη Lorentz: η δύναμη που δέχεται ένα ηλεκτρικό φορτίο που κινείται σε μαγνητικό πεδίο.

δύναμη κεντρική: η δύναμη αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο μαζών ή δύο φορτίων που έχει τη διεύθυνση της ευθείας που ορίζεται από τα κέντρα μάζας ή τα κέντρα φορτίων αντίστοιχα.

δυναμικό βαρυτικού πεδίου: το σταθερό πηλίκο του έργου που παράγει η δύναμη του πεδίου κατά τη μετακίνηση μάζας m από ένα σημείο του πεδίου μέχρι το άπειρο προς τη μάζα αυτή.

δυναμικό ηλεκτρικού πεδίου: το σταθερό πηλίκο του έργου που παράγει η δύναμη του πεδίου κατά

τη μετακίνηση φορτίου q από ένα σημείο του πεδίου μέχρι το άπειρο προς το φορτίο αυτό.
δυναμό: γεννήτρια.

Ε

ειδική γραμμομοριακή θερμότητα υπό σταθερή πίεση (C_p): το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε 1 mol αερίου, του οποίου η πίεση μένει σταθερή, για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1 °C.

ειδική γραμμομοριακή θερμότητα υπό σταθερό όγκο (C_v): το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε 1 mol αερίου, του οποίου ο όγκος είναι σταθερός για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1 °C.

ειδική γραμμομοριακή θερμότητα: το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε στη μονάδα μάζας του υλικού για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ειδική θερμότητα: το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε 1 g του υλικού για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία του κατά $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

εκτόνωση ελεύθερη: η αύξηση του όγκου του αερίου που γίνεται χωρίς παραγωγή έργου, η ανεμπόδιστη αύξηση του όγκου ενός αερίου.

εναλλακτήρας: η γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης.

εναλλασσόμενο ρεύμα: ρεύμα του οποίου η ένταση είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου.

ενεργός ένταση (εναλλασσόμενου ρεύματος): η ένταση ενός συνεχούς

ρεύματος που έχει τα ίδια θερμικά αποτελέσματα με το εναλλασσόμενο. **ενεργός τάση** (εναλλασσόμενης τάσης): η τιμή της συνεχούς τάσης που όταν εφαρμόζεται σε μια αντίσταση δίνει ρεύμα με ένταση ίση με την ενεργό τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος που προκαλεί η εναλλασσόμενη τάση.

ενεργός ταχύτητα: η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των ταχυτήτων.

ένταση βαρυτικού πεδίου: το πηλίκο της δύναμης που δέχεται μάζα m σε ένα σημείο του πεδίου προς τη μάζα αυτή.

ένταση ηλεκτρικού πεδίου: το πηλίκο της δύναμης που δέχεται φορτίο q σε ένα σημείο του πεδίου προς το φορτίο αυτό. Η κατεύθυνσή της συμπίπτει με την κατεύθυνση

της δύναμης που ασκείται σε θετικό φορτίο.

ένταση μαγνητικού πεδίου: το πηλίκο της μέγιστης δύναμης που δέχεται από μαγνητικό πεδίο ένας αγωγός μήκους l , που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I , προς το γινόμενο Il .

εντροπία: μέγεθος που συνδέεται με την αταξία που επικρατεί στα δομικά συστατικά του συστήματος και με την ικανότητα του συστήματος να παράγει έργο.

εξαερίωση: η μετάβαση ενός σώματος από την υγρή στην αέρια φάση.

εξάτμιση: η εξαερίωση που γίνεται μόνο από την επιφάνεια του υγρού.

εξίσωση της τροχιάς: η συνάρτηση $y = f(x)$ των συντεταγμένων του σώματος.

επαγωγή: η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης σε έναν αγωγό όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που περνάει από την επιφάνεια που ορίζει με το σχήμα του ή όταν διέρχεται μαγνητική ροή από την επιφάνεια που ορίζει με την κίνησή του.

επαγωγική σύζευξη δύο κυκλωμάτων: δύο κυκλώματα βρίσκονται σε επαγωγική σύζευξη όταν η μεταβολή του ρεύματος στο ένα δημιουργεί ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή στο άλλο.

επιλογέας ταχυτήτων: διάταξη που επιτρέπει να περάσουν μόνο φορτισμένα σωματίδια που έχουν ορισμένη ταχύτητα. Βασίζεται στο συνδυασμό μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου με τις δυναμικές γραμμές τους κάθετες μεταξύ τους.

επίπεδος πυκνωτής: πυκνωτής του οποίου οι οπλισμοί είναι παράλληλες επίπεδες μεταλλικές επιφάνειες.

επιφάνεια Gauss: μια κλειστή επιφάνεια που επιλέγουμε για να εφαρμόσουμε το νόμο του Gauss.

επιφανειακή πυκνότητα φορτίου: το πηλίκο του φορτίου Δq που αντιστοιχεί σε επιφάνεια ΔA προς την επιφάνεια αυτή.

εσωτερική ενέργεια: ενέργεια που εμπεριέχει ένα σώμα και είναι το άθροισμα των ενεργειών των σωματιδίων που το απαρτίζουν, ως αποτέλεσμα της σχετικής τους κίνησης ως προς το κέντρο μάζας του σώματος και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

Z

ζώνες Van Allen: ζώνες που περιβάλλουν τη Γη στις οποίες παρατηρήθηκε μεγάλη πυκνότητα φορτισμένων σωματιδίων.

H

ηλεκτρική ροή από στοιχειώδη επιφάνεια ΔA : το γινόμενο του μέτρου της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου επί το εμβαδόν της επιφάνειας ΔA επί το συνημίτονο της γωνίας ανάμεσα στην ένταση και την κάθετη στην επιφάνεια.

ηλεκτρικό πεδίο: ο χώρος στον οποίο όταν βρεθεί ένα φορτίο θα δεχθεί δύναμη.

ηλεκτρονικό τηλεβόλο: τμήμα του καθοδικού σωλήνα που εξασφαλίζει την εκπομπή, επιτάχυνση και εστίαση των ηλεκτρονίων.

ηλεκτρονιοβόλτ: το έργο που παράγει η δύναμη του πεδίου όταν μετατοπίζεται το στοιχειώδες φορτίο μεταξύ δύο σημείων που έχουν διαφορά δυναμικού 1 V.
(1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ Joule).



θερμικά μονωμένο σύστημα: σύστημα που δεν αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του. Θερμικά μονωμένο αν δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον.

θερμική μηχανή: μηχανή που μετατρέπει τη θερμότητα σε μηχανικό έργο.

θερμοδυναμική ισορροπία: η κατάσταση στην οποία οι θερμοδυναμικές μεταβλητές του συστήματος παραμένουν σταθερές.

θερμοδυναμική μεταβλητή: μέγεθος που χρησιμοποιούμε για να περιγράψουμε ένα θερμοδυναμικό σύστημα.

θερμοδυναμική: η επιστήμη που εξετάζει τις μετατροπές της θερμότητας σε μηχανικό έργο.

θερμότητα: μορφή ενέργειας που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο που έχει χαμηλότερη θερμοκρασία.

I

ιδανικά αέρια: Μακροσκοπικά, τα αέρια που υπακούουν στην καταστατική εξίσωση, σε όλες τις συνθήκες. Από μικροσκοπική άποψη τα αέρια των οποίων τα μόρια είναι τέλειες σφαίρες, δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους παρά μόνο όταν συγκρούονται και οι συγκρούσεις

με τα τοιχώματα του δοχείου στο οποίο βρίσκονται είναι τελείως ελαστικές.

ισοβαρής μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας η πίεση του αερίου μένει σταθερή.

ισόθερμη μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας η θερμοκρασία του αερίου μένει σταθερή.

ισότοπα (άτομα): άτομα που έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό αλλά διαφορετικό μαζικό αριθμό - άτομα του ίδιου στοιχείου που έχουν διαφορετικό αριθμό νετρονίων, άρα διαφορετική μάζα.

ισόχωρη μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας ο όγκος του αερίου μένει σταθερός.

K

κινητική θεωρία: θεωρία που διατυπώθηκε για να ερμηνευτεί η συμπεριφορά των αερίων. Βασική της παραδοχή ότι τα αέρια αποτελούνται από μεγάλο αριθμό σωματιδίων που κινούνται άτακτα.

κορεσμένοι ατμοί: Ατμοί που συνυπάρχουν σε ισορροπία με την υγρή φάση του σώματος.

κυκλική μεταβολή: κάθε μεταβολή στο τέλος της οποίας το αέριο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

κύκλος Carnot: Κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου που περιλαμβάνει ισόθερμη εκτόνωση, αδιαβατική εκτόνωση, ισόθερμη συμπίεση και αδιαβατική συμπίεση.

M

μαγνητική ροή από επιφάνεια ΔA :
το γινόμενο του μέτρου της έντασης του μαγνητικού πεδίου επί το εμβαδόν της επιφάνειας ΔA επί το συνημίτονο της γωνίας ανάμεσα στην ένταση και την κάθετη στην επιφάνεια.

μαγνητική φιάλη: μαγνητικό πεδίο που εγκλωβίζει φορτισμένα σωματίδια. Είναι ισχυρό στα άκρα και ασθενές στο μέσο.

μαγνητικό πεδίο: ο χώρος στον οποίο δέχονται δυνάμεις κινούμενα ηλεκτρικά φορτία ή ρευματοφόροι αγωγοί.

μακροσκοπική μελέτη: η μελέτη ενός συστήματος κατά τη διάρκεια της οποίας αδιαφορούμε για τους δομικούς του λίθους (άτομα, μόρια, κ.λπ.).

μαύρη τρύπα: ουράνιο σώμα για το οποίο η ταχύτητα διαφυγής ισούται με την ταχύτητα του φωτός-που δεσμεύει στο βαρυτικό του πεδίο και τα φωτόνια.

μέση ισχύς (εναλλασσόμενου ρεύματος): το πηλίκο της ενέργειας που μεταφέρει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε χρόνο μιας περιόδου προς το χρόνο αυτό.

μέση ταχύτητα μορίων: ο μέσος όρος των ταχυτήτων των μορίων.

μηχανή Carnot: Μια ιδανική θερμική μηχανή που έχει το μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης από όλες τις μηχανές που λειτουργούν ανάμεσα στις θερμοκρασίες T_1 και T_2 .

μικροσκοπική μελέτη: η μελέτη ενός συστήματος με βάση τη συμπεριφορά των δομικών του λίθων.

Π

παλμογράφος: ηλεκτρονική διάταξη που επιτρέπει να παρακολουθούμε και να μετράμε μεταβαλλόμενες τάσεις.

πεδίο δυνάμεων: χώρος στον οποίο ασκείται δύναμη στο κατάλληλο υπόθεμα που βρίσκεται σε αυτόν.

πιο πιθανή ταχύτητα (των μορίων ενός αερίου): αν ομαδοποιήσουμε τα μόρια ενός αερίου με βάση την ταχύτητά τους, η ταχύτητα της πιο πολυπληθούς ομάδας.

πόλωση διηλεκτρικού: η ανακατανομή των ηλεκτρικών φορτίων του διηλεκτρικού όταν εισάγεται σε ηλεκτρικό πεδίο.

πυκνωτής: σύστημα δυο αγωγών που βρίσκονται σε μικρή απόσταση και χωρίζονται από το κενό ή από ένα διηλεκτρικό.

P

ρότορας: το κινητό μέρος μιας γεννήτριας ή ενός ηλεκτροκινητήρα.

Σ

σημειακή μάζα: μάζα που είναι συγκεντρωμένη σε ένα σημείο- σώμα που έχει πολύ μικρές διαστάσεις.

σημείο βρασμού: το σημείο ζέσεως.

σημείο ζέσεως: η θερμοκρασία στην οποία βράζει ένα υγρό.

σταθερά του Boltzmann: το πηλίκο της παγκόσμιας σταθεράς των ιδανικών αερίων με τον αριθμό N_A .

στάτορας: το ακίνητο μέρος μιας γεννήτριας ή ενός ηλεκτροκινητήρα.

συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής δυο κυκλωμάτων: το πηλίκο της

επαγωγικής ηλεκτρεγερτικής δύναμης που αναπτύσσεται σε ένα κύκλωμα προς το ρυθμό μεταβολής του ρεύματος στο άλλο κύκλωμα. συντελεστής αυτεπαγωγής ενός κυκλώματος: το πηλίκο της επαγωγικής ηλεκτρεγερτικής δύναμης που αναπτύσσεται στο κύκλωμα προς το ρυθμό μεταβολής του ρεύματος που το διαρρέει.

συντελεστής απόδοσης θερμικής μηχανής: ο λόγος του έργου που αποδίδει σε έναν κύκλο η μηχανή προς τη θερμότητα που παίρνει από τη θερμή δεξαμενή στον ίδιο χρόνο.

συντελεστής απόδοσης θερμικής μηχανής: ο λόγος του ωφέλιμου έργου που αποδίδει μια θερμική μηχανή προς τη θερμότητα που προσλαμβάνει από το περιβάλλον.

T

τάση σάρωσης: η περιοδική τάση που εφαρμόζεται στα πλακίδια οριζόντιας εκτροπής ενός παλμογράφου. Χαρακτηριστικό της είναι ότι αυξάνεται γραμμικά και μηδενίζεται απότομα.

ταχύτητα διαφυγής: η ελάχιστη ταχύτητα που πρέπει να έχει ένα σώμα για να εγκαταλείψει το βαρυτικό πεδίο ενός ουράνιου σώματος.

Φ

φασματογράφος μάζας: διάταξη που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του πηλίκου m/q φορτισμένων σωματιδίων.

φθορισμός: η εκπομπή ακτινοβολίας από ένα σώμα στο οποίο προσπίπτουν φωτόνια ή φορτισμένα

σωματίδια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή.

X

χωρητικότητα πυκνωτή: το σταθερό πηλίκο του φορτίου του πυκνωτή προς τη διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους οπλισμούς του.

ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

Ε

επαγωγή ηλεκτρομαγνητική11

Η

ηλεκτρομαγνητική επαγωγή11

Κ

κανόνας του Lenz48

Ν

νόμος Faraday19

Ρ

ρεύμα εναλλασσόμενο71

Τ

τάση εναλλασσόμενη68



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. Πανεπιστημιακή Φυσική Hugh D. Young Εκδόσεις Παπαζήση.**
- 2. Physics for scientists & engineers Serway.**
- 3. Φυσική Halliday Resnick Εκδόσεις Πνευματικός.**
- 4. Halliday - Resnick - Walker Fundamentals of Physics Extended (fifth edition).**
- 5. F.J. Keller - W.E. Gettys - M.J. Skove Physics (second edition).**
- 6. ΟΗΑΝΙΑΝ Physics - Εκδόσεις Συμμετρία - Μετάφραση Α. Φίλιππα.**

- 7. Edward M. Purcell Ηλεκτρισμός
- Μαγνητισμός. Μαθήματα Φυσικής - Πανεπιστήμιο Berkeley.
Έκδοση Ε.Μ.Π.**
- 8. Κ.Δ. Αλεξόπουλος - Δ.Ι. Μαρίνος
Γενική Φυσική - Εκδόσεις ΟΛΥ-
ΜΠΙΑ.**
- 9. Οι έννοιες της Φυσικής Paul G.
Hewitt - Πανεπιστημιακές Εκδό-
σεις Κρήτης.**
- 10. Εισαγωγή στην Ηλεκτροδυνα-
μική David J. Griffiths - Πανεπι-
στημιακές Εκδόσεις Κρήτης.**
- 11. Κλασσική και σύγχρονη Φυσι-
κή Kenneth W. Ford - Εκδόσεις
Πνευματικός.**

**12. Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική
Einstein, Infeld - Εκδόσεις Δω-
δώνη.**

**13. Η ελαφρότητα της Βαρύτητας
Jayant Narlikar - Εκδόσεις Τρο-
χαλία.**

**14. Robert March Φυσική για ποιη-
τές - Εκδόσεις Δίαυλος.**

**15. Ιστορία της Φυσικής Emilio
Segre - Εκδόσεις Δίαυλος.**



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

5 Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή	
Εισαγωγή	6
Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή....	11
Ευθύγραμμος αγωγός κινούμενος σε ομογενές μαγνητικό πεδίο	28
Ο κανόνας του Lenz και η αρχή διατήρησης της ενέργειας στο φαινόμενο της επαγωγής	48
Στρεφόμενος αγωγός	59
Στρεφόμενο πλαίσιο - Εναλλασσόμενη τάση	65
Εναλλασσόμενο ρεύμα.....	71
Ερωτήσεις.....	77
Ασκήσεις	103

Παραρτήματα

Πίνακες σταθερών.....122

Λεξιλόγιο όρων.....126

Αλφαβητικό ευρετήριο.....150

Βιβλιογραφία152

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.