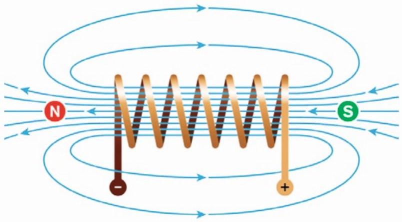
Γιάννης Μπατσαούρας
Γιάννης Χριστοδούλου

ΦΥΣΙΚΗ

Γ΄ λυκείου



Ηλεκτρομαγνητισμός

Λύσεις Θεμάτων Σχολικού Βιβλίου

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

- Τα θέματα με αστερίσκο είναι εκτός ύλης. Ωστόσο τα έχουμε συμπεριλάβει για το ενδεχόμενο αλλαγής της ύλης στο μέλλον.
- Αξίζει να προσεχθούν ιδιαίτερα οι ερωτήσεις 50, 51, 55, 58. Στα θέματα αυτά η εκφώνηση παρουσιάζει ασάφεια που μπορεί να οδηγήσει τον μαθητή σε λανθασμένο αποτέλεσμα.

1

Δυναμική γραμμή λέγεται η γραμμή, σε κάθε σημείο της οποίας το διάνυσμα $\vec{B}$ είναι εφαπτόμενο. Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου έχουν τις παρακάτω ιδιότητες:

- Είναι πυκνές εκεί όπου το πεδίο είναι ισχυρό.
- Είναι κλειστές γραμμές (δεν έχουν αρχή και τέλος) διότι δεν υπάρχουν απομονωμένοι μαγνητικοί πόλοι (μαγνητικά μονόπολα).
- Εξέρχονται από τον βόρειο πόλο ενός μαγνήτη και εισέρχονται στον μαγνήτη από τον νότιο πόλο του.
- Δύο δυναμικές γραμμές δεν τέμνονται ποτέ.

2

Ο Oersted απέδειξε ότι γύρω από κάθε ρευματοφόρο αγωγό δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Τοποθέτησε ένα σύρμα παράλληλα σε μια μαγνητική βελόνα.

- Όταν το σύρμα δε διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, η βελόνα ισορροπεί στην αρχική της θέση.
- Όταν το σύρμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, η βελόνα εκτρέπεται και ισορροπεί σε νέα θέση.
- Όταν διακόπτουμε το ηλεκτρικό ρεύμα, η βελόνα επανέρχεται στην αρχική της θέση.
- Όταν η ένταση του ρεύματος αυξάνεται, η εκτροπή της βελόνας αυξάνεται, όχι όμως ανάλογα.

3

Οι μαγνητικές ιδιότητες της ύλης οφείλονται στο ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργεί η κίνηση των ηλεκτρονίων στα άτομα. Κάθε άτομο συμπεριφέρεται σαν στοιχειώδης μαγνήτης.

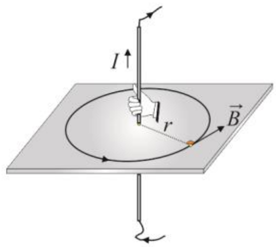
Σημείωση: Κάθε ηλεκτρόνιο εκτελεί περιφορά γύρω από τον πυρήνα και περιστροφή γύρω από τον άξονά του.

4

Για το μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού ισχύουν τα εξής:

- Οι δυναμικές γραμμές είναι ομόκεντροι κύκλοι, με κέντρο τον αγωγό και το επίπεδό τους κάθετο στον αγωγό.
- Η φορά των δυναμικών γραμμών βρίσκεται με τη βοήθεια του κανόνα δεξιού χεριού, ως εξής:

(Αντίχειρας → φορά ρεύματος) ⇒ Νύχια στα δάκτυλα → $\vec{B}$



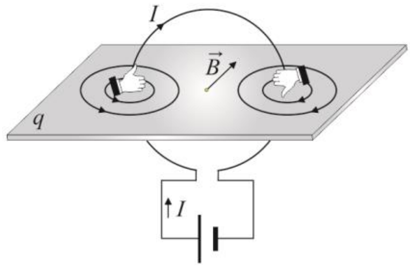
- Σε απόσταση r από τον αγωγό, η ένταση του μαγνητικού πεδίου έχει μέτρο:

$$\boldsymbol{B = k_\mu \frac{2I}{r}}$$

όπου k_μ είναι μια σταθερά που έχει τιμή $k_\mu = 10^{-7}\mathrm{N/A^2}$.

5

Για το μαγνητικό πεδίο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού ισχύουν τα εξής:



- Οι δυναμικές γραμμές είναι ομόκεντροι κύκλοι, με κέντρο τον αγωγό και το επίπεδό τους κάθετο στον αγωγό.
- Η ένταση $\vec{B}$ του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού έχει μέτρο:

$$\boldsymbol{B = k_\mu \frac{2\pi I}{R}}$$

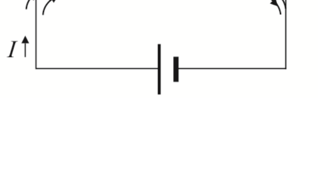
  όπου k_μ είναι μια σταθερά που έχει την τιμή $k_\mu = 10^{-7}\mathrm{N/A^2}$ και R είναι η ακτίνα του αγωγού.
- Το διάνυσμα $\vec{B}$ είναι κάθετο στο επίπεδο του κυκλικού αγωγού.
- Η φορά του $\vec{B}$ βρίσκεται με τον κανόνα δεξιού χεριού, ως εξής:
  Αν τα νύχια στα δάκτυλα του δεξιού χεριού δείχνουν τη φορά του ρεύματος, τότε ο αντίχειρας δείχνει το $\vec{B}$.

6

Το πηνίο ή το σωληνοειδές πλεονεκτεί έναντι του ρευματοφόρου αγωγού στο γεγονός ότι δημιουργεί μαγνητικό πεδίο πολύ μεγαλύτερης έντασης από το μαγνητικό πεδίο του ρευματοφόρου αγωγού.

7

Για το μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς ισχύουν τα εξής:

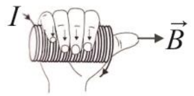


- Το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του σωληνοειδούς (κοντά στο μέσον του) είναι **ομογενές** και η έντασή του στην περιοχή αυτή έχει μέτρο:

$$\boldsymbol{B = k_\mu 4\pi \frac{N}{l} I}$$

όπου: k_μ μια σταθερά που έχει τιμή $k_\mu = 10^{-7}\mathrm{N/A^2}$, N ο αριθμός σπειρών του πηνίου, l το μήκος του πηνίου και I η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο.

- Στο εσωτερικό του σωληνοειδούς οι δυναμικές γραμμές είναι ευθείες παράλληλες στον άξονα του σωληνοειδούς. Η φορά τους καθορίζεται με τη βοήθεια του κανόνα δεξιού χεριού, ως εξής:



Πιάνουμε το σωληνοειδές με το δεξί χέρι έτσι ώστε τα νύχια να δείχνουν τη φορά του ρεύματος στις σπείρες. Ο αντίχειρας δείχνει τότε τη φορά του $\vec{B}$.

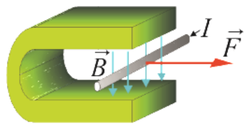
- Στα άκρα του σωληνοειδούς, αποδεικνύεται ότι η ένταση του μαγνητικού πεδίου έχει μέτρο ίσο με το **μισό** του μέτρου της έντασης στο κέντρο του σωληνοειδούς.

$$B' = \frac{B}{2} \text{ ή } B' = k_\mu 2\pi \frac{N}{l} I$$

- Όταν στο εσωτερικό του σωληνοειδούς τοποθετήσουμε μια ράβδο (πυρήνα) μαλακού σιδήρου μαγνητικής διαπερατότητας μ, τότε η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του γίνεται ίση με μB.

8

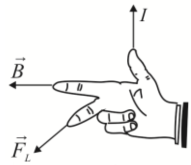
Η **δύναμη Laplace** είναι η δύναμη που δέχεται ένας ρευματοφόρος αγωγός όταν βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Στην περίπτωση ομογενούς μαγνητικού πεδίου έντασης $\vec{B}$, η δύναμη Laplace έχει μέτρο:



- ανάλογο του μήκους l του αγωγού που βρίσκεται στο μαγνητικό πεδίο.
- ανάλογο της έντασης I του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.
- που εξαρτάται από τη γωνία φ που σχηματίζει ο αγωγός με τις δυναμικές γραμμές.

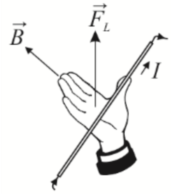
$$\boldsymbol{F_L = BIl\eta\mu\varphi}$$

Το σημείο εφαρμογής της δύναμης $\vec{F}_L$ είναι το μέσον του τμήματος του ρευματοφόρου αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο. Το διάνυσμα $\vec{F}_L$ είναι κάθετο στον αγωγό και στις δυναμικές γραμμές. Η φορά της $\vec{F}_L$ βρίσκεται με κανόνα δεξιού χεριού:



α. Κανόνας τριών δακτύλων

Αν τοποθετήσουμε τα δάκτυλα του δεξιού χεριού όπως στο σχήμα, βρίσκουμε την κατεύθυνση της δύναμης Laplace.



β. Κανόνας δεξιάς παλάμης

Αν τοποθετήσουμε την παλάμη του δεξιού χεριού όπως στο σχήμα, βρίσκουμε την κατεύθυνση της δύναμης Laplace.

9

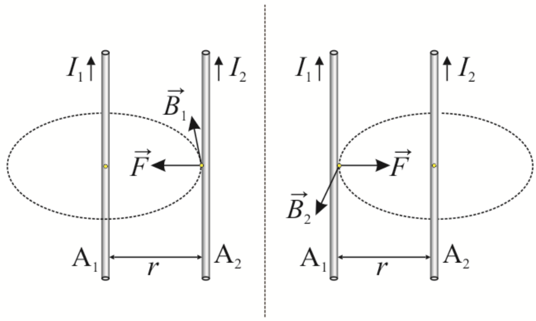
Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι το πηλίκο της δύναμης Laplace που ασκείται σε ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό προς το γινόμενο της έντασης I του ρεύματος επί το μήκος l του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, όταν αυτός τοποθετηθεί κάθετα στις δυναμικές γραμμές. Δηλαδή:

$$B = \frac{F_L}{Il}$$

Η διεύθυνση της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι η διεύθυνση στην οποία αν τοποθετήσουμε τον ρευματοφόρο αγωγό δε δέχεται δύναμη.
Η μονάδα της έντασης στο SI είναι το 1 tesla (1 T = 1 N/Am). Δηλαδή, 1 tesla είναι η ένταση του ομογενούς μαγνητικού πεδίου το οποίο ασκεί δύναμη 1 N σε ευθύγραμμο αγωγό, που έχει μήκος 1 m, όταν διαρρέεται από ρεύμα έντασης 1 A και βρίσκεται μέσα στο πεδίο τέμνοντας κάθετα τις δυναμικές γραμμές του.

10

Έστω ότι οι παράλληλοι αγωγοί διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα. Κάθε αγωγός βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο του άλλου και έτσι δέχεται δύναμη Laplace. Αν r η απόσταση μεταξύ των αγωγών τότε η ένταση του μαγνητικού πεδίου $\vec{B}_1$ που δημιουργεί ο αγωγός A_1 σε απόσταση r είναι:



$$B_1 = k_\mu \frac{2I_1}{r}$$

Σε μήκος l του αγωγού A_2 θα ασκηθεί δύναμη Laplace:

$$F = B_1 I_2 l \Rightarrow \boldsymbol{F = k_\mu \frac{2I_1 I_2}{r} l}$$

Λόγω δράσης - αντίδρασης, ο αγωγός A_1 θα δέχεται δύναμη $-\vec{F}$ από το μαγνητικό πεδίο του αγωγού A_2.

- Αν οι δύο αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα **ίδιας φοράς** τότε **έλκονται**.
- Αν οι δύο αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα **αντίθετης φοράς** τότε **απωθούνται**.

11

Το Ampere είναι θεμελιώδης μονάδα στο SI και ορίζεται από την εξίσωση:

$$F = k_\mu \frac{2I_1 I_2}{r} l$$

1 A είναι η ένταση του σταθερού ρεύματος που όταν διαρρέει δύο ευθύγραμμους παράλληλους αγωγούς απείρου μήκους, οι οποίοι βρίσκονται στο κενό και σε απόσταση $r = 1$ m ο ένας από τον άλλον, τότε σε τμήμα μήκους $l = 1$ m ο ένας ασκεί στον άλλο δύναμη $F = 2 \cdot 10^{-7}$N.

12

Αν μέσα στο σωληνοειδές τοποθετήσουμε πυρήνα μαλακού σιδήρου τότε η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς αυξάνεται κατά παράγοντα ίσο με τη μαγνητική διαπερατότητα μ του πυρήνα.

13

Η μαγνητική διαπερατότητα μ ενός υλικού είναι το πηλίκο:

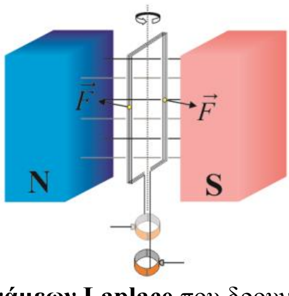
$$\boldsymbol{\mu = B/B_0}$$

όπου B_0 το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου όταν στο εσωτερικό του πηνίου υπάρχει κενό ή αέρας και B το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου όταν στο εσωτερικό του πηνίου υπάρχει το συγκεκριμένο υλικό. Η μαγνητική διαπερατότητα μ είναι καθαρός αριθμός.

14

Σιδηρομαγνητικά ($\boldsymbol{\mu \gg 1}$). Η τοποθέτησή τους σ' ένα μαγνητικό πεδίο συνεπάγεται πολύ μεγάλη αύξηση της έντασής του. Π.χ. Fe, Ni, Co.
Παραμαγνητικά ($\boldsymbol{\mu > 1}$). Τα υλικά αυτά έχουν μαγνητική διαπερατότητα λίγο μεγαλύτερη της μονάδας και η τοποθέτησή τους σ' ένα μαγνητικό πεδίο συνεπάγεται μικρή αύξηση της έντασής του. Π.χ. Al, Cr.
Διαμαγνητικά ($\boldsymbol{\mu < 1}$). Η τοποθέτησή τους σ' ένα μαγνητικό πεδίο συνεπάγεται ελάττωση της έντασής του. Π.χ. C, Cu.

15⋆



Θεωρούμε ένα ορθογώνιο συρμάτινο πλαίσιο που μπορεί να περιστρέφεται χωρίς τριβές γύρω από άξονα που βρίσκεται στο επίπεδό του. Το πλαίσιο βρίσκεται σε περιοχή ομογενούς μαγνητικού πεδίου και τοποθετείται αρχικά με το επίπεδό του παράλληλο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Αν διαβιβάσουμε ρεύμα στο πλαίσιο, θα παρατηρήσουμε ότι αυτό θα αρχίσει να περιστρέφεται και αφού εκτελέσει ορισμένες ταλαντώσεις γύρω από τον άξονά του, τελικά θα ισορροπήσει κάθετα στις δυναμικές γραμμές. Η περιστροφή του πλαισίου οφείλεται στο **ζεύγος των δυνάμεων Laplace** που δρουν σε αυτό. Όταν το πλαίσιο γίνει κάθετο στις δυναμικές γραμμές, οι δυνάμεις που ασκούνται στις πλευρές του εξουδετερώνονται. Όταν όμως το πλαίσιο, λόγω αδράνειας, περνά από τη θέση ισορροπίας, τότε οι δυνάμεις Laplace τείνουν να επαναφέρουν το πλαίσιο στην αρχική του θέση. Για να πετύχουμε σταθερή φορά περιστροφής του πλαισίου, πρέπει όταν αυτό γίνεται κάθετο στις δυναμικές γραμμές, να αλλάζουμε τη φορά του ρεύματος οπότε οι δυνάμεις που ενεργούν στις κατακόρυφες πλευρές να αλλάζουν φορά ώστε να συντηρούν την περιστροφή του πλαισίου. Οι πραγματικοί κινητήρες δεν έχουν μόνο ένα πλαίσιο, αλλά μια ομάδα πλαισίων κατάλληλα τοποθετημένων, που μπορεί να έχουν στο εσωτερικό τους πυρήνα μαλακού σιδήρου.

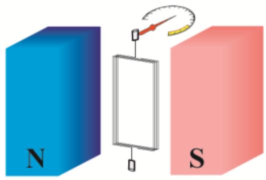
16⋆

Οι χρήσεις των ηλεκτρικών κινητήρων καλύπτουν ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως στη μίζα του αυτοκινήτου και της μοτοσικλέτας, στον ηλεκτρικό σιδηρόδρομο, στον ανεμιστήρα και αλλού.

17⋆

Βολτόμετρο είναι το όργανο με το οποίο μετράμε την τάση μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος στα οποία συνδέεται. **Αμπερόμετρο** είναι το όργανο με το οποίο μετράμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει.

18⋆

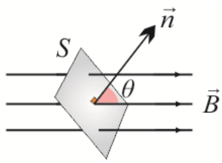


Κρεμάμε ένα ορθογώνιο πλαίσιο από πολλές λεπτές μεταλλικές ταινίες ώστε να μπορεί να περιστρέφεται γύρω από άξονα μέσα στους πόλους ενός μόνιμου πεταλοειδούς μαγνήτη. Στις μεταλλικές ταινίες διαβιβάζουμε το ρεύμα που πρόκειται να μετρηθεί. Δημιουργείται έτσι ένα **ζεύγος δυνάμεων** που περιστρέφει το πλαίσιο. Το πλαίσιο είναι προσαρτημένο σε δύο σπειροειδή ελατήρια που το επαναφέρουν στη θέση ισορροπίας, όταν διακοπεί το ρεύμα που το διαρρέει. Πάνω στον άξονα του πλαισίου προσαρμόζουμε έναν δείκτη, από την εκτροπή του οποίου βρίσκουμε την τιμή της έντασης του ρεύματος. Τη χρονική στιγμή που ο δείκτης έχει εκτραπεί και ισορροπεί σε μία θέση, η δύναμη επαναφοράς του ελατηρίου είναι ίση κατά μέτρο με τη δύναμη που δημιουργείται από το ρεύμα. Αν αλλάξουμε φορά στο ρεύμα, θα δούμε ότι ο δείκτης θα αποκλίνει προς την αντίθετη κατεύθυνση και αυτό γιατί αλλάζουν φορά οι δυνάμεις που ενεργούν στο πλαίσιο με αποτέλεσμα να το περιστρέφουν αντίθετα. Για τον λόγο αυτόν τα όργανα με περιστρεφόμενο πλαίσιο δεν είναι δυνατό να μετρήσουν ρεύμα μεταβαλλόμενης φοράς, όπως το εναλλασσόμενο ρεύμα.

19⋆

Τα όργανα με μαλακό σίδηρο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη μέτρηση εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτό δεν είναι εφικτό σε όργανα με περιστρεφόμενο πλαίσιο.

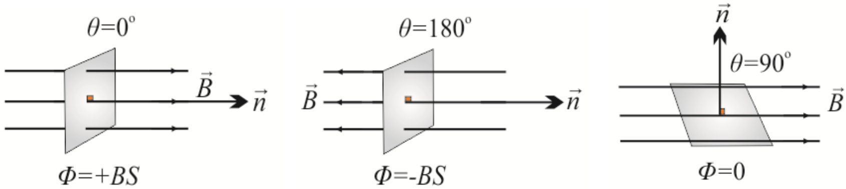
20



Η **μαγνητική ροή** Φ που διέρχεται από μία επιφάνεια εμβαδού S η οποία βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης $\vec{B}$, είναι το μονόμετρο φυσικό μέγεθος που ορίζεται από τον τύπο:

$$\boldsymbol{\Phi = BS\sigma\upsilon\nu\theta} \qquad 0° \leq \theta \leq 180°$$

όπου θ η γωνία που σχηματίζει η **κάθετη** στην επιφάνεια με τις δυναμικές γραμμές. Μονάδα μαγνητικής ροής στο SI είναι το 1 weber ($1\ \mathrm{Wb} = 1\ \mathrm{Tm^2}$). Η μαγνητική ροή δείχνει το πλήθος των δυναμικών γραμμών που διαπερνούν την επιφάνεια.



α. Όταν η επιφάνεια είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές, τότε $\theta = 0°$ ή $180°$. Άρα:

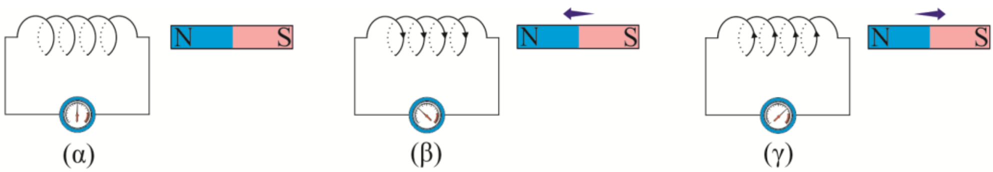
$$\Phi = \pm BS$$

β. Όταν η επιφάνεια είναι παράλληλη στις δυναμικές γραμμές, τότε δεν την διαπερνούν δυναμικές γραμμές, οπότε $\theta = 90°$. Άρα:

$$\Phi = 0$$

Επομένως: $\Phi_{max} = BS$ και $\Phi_{min} = -BS$.
Αν δε μας ενδιαφέρει το πρόσημο (δουλεύουμε με απόλυτες τιμές) τότε: $\Phi_{min} = 0$.

21



α. Στη διάταξη του σχήματος, η σχετική κίνηση του κυκλώματος και του μαγνήτη δημιουργεί επαγωγική ΗΕΔ στο κύκλωμα: Όσο ο μαγνήτης είναι ακίνητος, η ένδειξη του γαλβανομέτρου είναι μηδέν. Όταν πλησιάζουμε τον μαγνήτη προς το πηνίο, παρατηρούμε εκτροπή του δείκτη του γαλβανομέτρου, η οποία διαρκεί όσο διαρκεί η κίνηση του μαγνήτη. Αν, στη συνέχεια, απομακρύνουμε τον μαγνήτη, παρατηρούμε ότι η εκτροπή του δείκτη του οργάνου είναι αντίθετη της αρχικής. Αν κινούμε τον μαγνήτη πέρα - δώθε, παρατηρούμε πως ο δείκτης του οργάνου εκτρέπεται πότε δεξιά πότε αριστερά.
β. Αντί του μαγνήτη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σωληνοειδές που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και να το πλησιάσουμε στο πηνίο. Θα παρατηρήσουμε ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα όπως στην περίπτωση του μαγνήτη.

22

Η επαγωγική ΗΕΔ που αναπτύσσεται σ' ένα κύκλωμα πηνίου είναι ανάλογη με τον ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής και ανάλογη του αριθμού σπειρών του πηνίου:

$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Το αρνητικό πρόσημο εκφράζει την πολικότητα της ΗΕΔ και εξηγείται από τον κανόνα του Lenz.

23

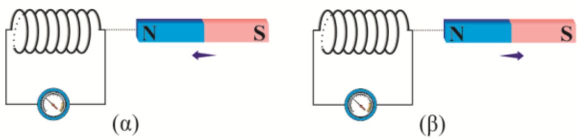
Το ένα Weber ορίζεται με τη βοήθεια του νόμου της επαγωγής ως εξής:
1 Wb είναι η μαγνητική ροή η οποία όταν περνά από μια σπείρα και ελαττώνεται ομοιόμορφα έως την τιμή μηδέν μέσα σε 1 s, αναπτύσσει ΗΕΔ από επαγωγή ίση με 1 V.

$$1\ \mathrm{Wb} = 1\ \mathrm{Vs}$$

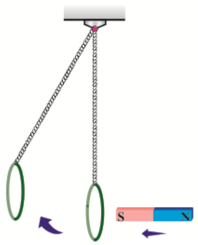
24

Το επαγωγικό ρεύμα έχει τέτοια φορά ώστε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί να αντιστέκεται στο **αίτιο** (=μεταβολή της μαγνητικής ροής) το οποίο προκάλεσε το ρεύμα.

25

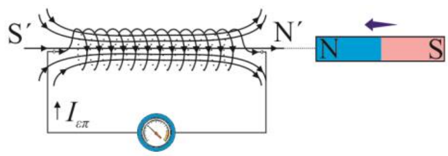


α. Με τη βοήθεια του γαλβανομέτρου, βλέπουμε ότι δημιουργείται βόρειος πόλος στο δεξιό άκρο του πηνίου για να αποτρέψει το πλησίασμα του μαγνήτη ενώ δημιουργείται νότιος πόλος για να αποτρέψει την απομάκρυνση του μαγνήτη.

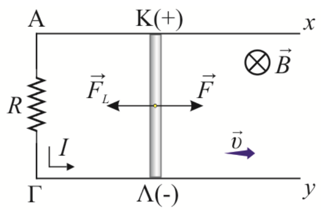


β. Το ρεύμα που διαρρέει τον δακτύλιο δημιουργεί μαγνητικό πεδίο που αντιτίθεται στην κίνηση του μαγνήτη. Έτσι, ο δακτύλιος εκτρέπεται από την κατακόρυφο όταν ο μαγνήτης τον πλησιάζει. Όταν ο μαγνήτης απομακρυνθεί από τον δακτύλιο, αφού έχει εισέλθει σε αυτόν, τότε ο δακτύλιος κινείται προς τον μαγνήτη.

26



α. Αν το ρεύμα είχε φορά αντίθετη από αυτήν που προβλέπει ο κανόνας του Lenz, τότε στο δεξί άκρο του πηνίου θα εμφανιζόταν νότιος πόλος, οπότε ο μαγνήτης θα επιταχυνόταν προς το πηνίο. Έτσι θα είχαμε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ θα αύξανε και η κινητική ενέργεια του μαγνήτη, χωρίς καμία προσφορά ενέργειας. Επομένως θα είχαμε παραγωγή ενέργειας από το μηδέν, που σημαίνει ότι δε θα ίσχυε η ΑΔΕ.



β. Αν το ρεύμα είχε φορά αντίθετη από αυτήν που προβλέπει ο κανόνας του Lenz, τότε η δύναμη Laplace θα είχε αντίθετη κατεύθυνση και θα βοηθούσε την κίνηση του αγωγού. Έτσι θα είχαμε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ θα αύξανε και η κινητική ενέργεια του αγωγού, χωρίς καμία προσφορά ενέργειας. Επομένως θα είχαμε παραγωγή ενέργειας από το μηδέν, που σημαίνει ότι δε θα ίσχυε η ΑΔΕ.

27

Το ηλεκτρικό φορτίο που μετατοπίζεται από μια διατομή ενός κλειστού κυκλώματος όταν η μαγνητική ροή μέσα από αυτό μεταβάλλεται κατά $\Delta\Phi$, είναι ανεξάρτητο από τη χρονική διάρκεια της μεταβολής και δίνεται από τον τύπο:

$$q = -\frac{\Delta\Phi}{R_{ολ}} \text{ ή } q = \frac{|\Delta\Phi|}{R_{ολ}}$$

όπου $R_{ολ}$ η ολική ωμική αντίσταση του κυκλώματος.

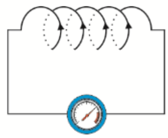
Σχόλιο: Ισχύει επίσης $q = \Sigma I \Delta t$ και αν $I =$ σταθ. , τότε $q = I\Delta t$.

28

Δύο τρόποι ανίχνευσης του μαγνητικού πεδίου είναι οι εξής:

α. Από την εκτροπή: **(i)** μιας μαγνητικής βελόνας, **(ii)** ενός ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού που είναι αναρτημένος από λεπτά μονωτικά νήματα.

β. Από την απότομη εξαγωγή πηνίου ανίχνευσης. Αν παρατηρήσουμε ότι το γαλβανόμετρο διαρρέεται από ρεύμα, αυτό σημαίνει ότι στην αρχική περιοχή υπάρχει μαγνητικό πεδίο.



29

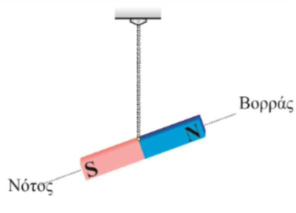
Οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου είναι ανοικτές, δηλαδή έχουν αρχή και τέλος (ξεκινούν από θετικά και καταλήγουν σε αρνητικά φορτία) ενώ του μαγνητικού πεδίου είναι κλειστές, δηλαδή δεν έχουν αρχή και τέλος (δεν υπάρχουν απομονωμένοι μαγνητικοί πόλοι).

30

Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου δείχνει το πόσο ισχυρό ή ασθενές είναι το πεδίο. Η κατεύθυνση της έντασης του μαγνητικού πεδίου δείχνει την κατεύθυνση μηδενισμού της δύναμης του μαγνητικού πεδίου.

31

Για να κατασκευάσουμε μια πυξίδα χρειαζόμαστε έναν ισχυρό μαγνήτη, μια λεπτή βελόνα από σιδηρομαγνητικό υλικό και ένα μονωτικό νήμα. Με τον μαγνήτη μαγνητίζουμε τη βελόνα και την αναρτάμε από το μέσον της με το νήμα. Η διάταξη αυτή λειτουργεί σαν πυξίδα.



32⋆

Μπορούμε να απομαγνητίσουμε έναν μαγνήτη με δύο τρόπους:

α. με θέρμανση του μαγνήτη σε υψηλή θερμοκρασία.
β. με σφυρηλάτηση του μαγνήτη.

33

Αν κοντά σε μία πυξίδα ενός πλοίου υπάρχει ένας μαγνήτης ή ένας αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα τότε η πυξίδα δε θα δείχνει τον Βορρά. Η πυξίδα θα ισορροπεί με τέτοιον τρόπο ώστε να είναι εφαπτόμενη στις δυναμικές γραμμές του σύνθετου πεδίου που παράγεται από το μαγνητικό πεδίο της Γης και του μαγνήτη ή του αγωγού. Δείτε το λυμένο πρόβλημα 2 στη σελίδα 32 του βιβλίου μας «Ηλεκτρομαγνητισμός Γ΄ Λυκείου».

34

Συμπλήρωση κενών:
Γύρω από ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό μεγάλου μήκους δημιουργείται μαγνητικό πεδίο η ένταση του οποίου είναι **ανάλογη** με την ένταση του **ρεύματος** που διαρρέει τον αγωγό και **αντιστρόφως** ανάλογη με **την απόσταση** από τον ρευματοφόρο αγωγό.

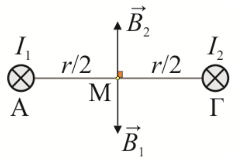
35

Συμπλήρωση κενών:
Στο κέντρο ενός κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι **ανάλογη** με την ένταση του **ρεύματος** που διαρρέει τον αγωγό και **αντιστρόφως ανάλογη** με την **ακτίνα** του κυκλικού αγωγού.

36

Σωστό είναι το **β**.
Στο μέσον Μ οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων που δημιουργούν οι δύο αγωγοί έχουν αντίθετη κατεύθυνση και ίσα μέτρα:

$$B_1 = B_2 = k_\mu \frac{2I}{r}$$

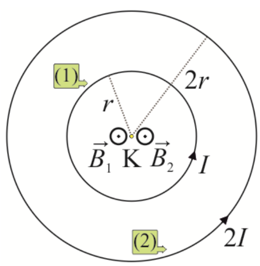


Επομένως η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο μέσον Μ είναι:

$$B_M = B_1 - B_2 \Rightarrow B_M = 0$$

37

Αν οι αγωγοί διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα τότε σωστό είναι το **α**.



Στο κέντρο Κ του κύκλου οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων που δημιουργούν οι δύο αγωγοί έχουν την ίδια κατεύθυνση και μέτρα:

$$B_1 = k_\mu \frac{2\pi I}{r} \text{ και } B_2 = k_\mu \frac{2\pi 2I}{2r} = B_1$$

Επομένως:

$$B_K = B_1 + B_2 = 2B_1 \Rightarrow B_K = k_\mu \frac{4\pi I}{r}$$

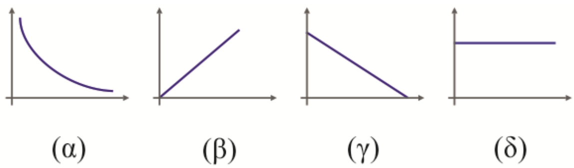
Αν οι αγωγοί διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα τότε σωστό είναι το **γ**. Πράγματι:

$$B_K = B_1 - B_2 = B_1 - B_1 \Rightarrow B_K = 0$$

38

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο ενός κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού έχει μέτρο:

$$B = k_\mu \frac{2\pi I}{r}$$

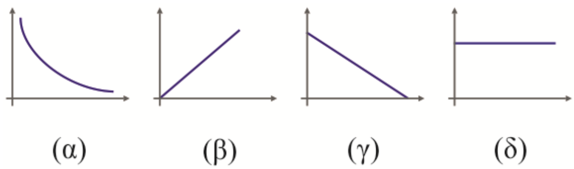


α. Η συνάρτηση $B(I)$ θα είναι η ευθεία του διαγράμματος β.
β. Η συνάρτηση $B(r)$ θα είναι η υπερβολή του διαγράμματος α.

39

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου σε απόσταση r από ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό έχει μέτρο:

$$B = k_\mu \frac{2I}{r}$$



α. Η συνάρτηση $B(I)$ θα είναι η ευθεία του διαγράμματος β.
β. Η συνάρτηση $B(r)$ θα είναι η υπερβολή του διαγράμματος α.

40

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς, κοντά στο κέντρο του έχει μέτρο:

$$B = k_\mu 4\pi \frac{N}{l} I$$

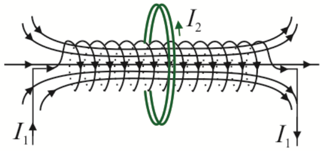
α. Το B είναι ανάλογο του I, οπότε αν διπλασιάσουμε την ένταση του ρεύματος, η ένταση του μαγνητικού πεδίου θα διπλασιαστεί.
β. Το B είναι αντιστρόφως ανάλογο του l, οπότε αν διπλασιάσουμε το μήκος του σωληνοειδούς, η ένταση του μαγνητικού πεδίου θα υποδιπλασιαστεί.
γ. Το B είναι ανάλογο του N, οπότε αν διπλασιάσουμε τον αριθμό των σπειρών, η ένταση του μαγνητικού πεδίου θα υποδιπλασιαστεί.

41

Στο κέντρο του κυκλικού αγωγού η ένταση του μαγνητικού πεδίου που οφείλεται στο ρεύμα του σωληνοειδούς είναι:

$$B_1 = k_\mu 4\pi \frac{N_1}{l} I_1$$

ενώ αυτή που οφείλεται στο ρεύμα των κυκλικών αγωγών είναι:

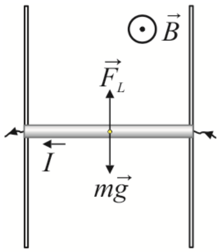


$$B_2 = k_\mu \frac{2\pi I_2}{r} N_2 = k_\mu \frac{2\pi 2 I_1}{l} \lambda N_2$$

Για να είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου μηδέν στο κέντρο του κυκλικού αγωγού πρέπει:

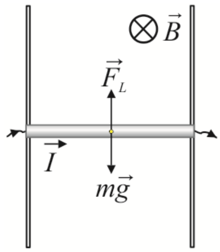
$$B = 0 \Rightarrow B_1 - B_2 = 0 \Rightarrow k_\mu 4\pi \frac{N_1}{l} I_1 = k_\mu \frac{2\pi 2 I_1}{l} \lambda N_2 \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \lambda$$

42



Εφόσον ο αγωγός ισορροπεί, οριζόντιος στους κατακόρυφους λείους οδηγούς, πρέπει η δύναμη Laplace να είναι αντίθετη του βάρους του αγωγού, δηλαδή θα είναι κατακόρυφη προς τα πάνω. Χρησιμοποιώντας τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού (αντίχειρας το I, μέσος η $\vec{F}_L$) βρίσκουμε ότι η ένταση του μαγνητικού πεδίου (δείκτης) έχει κατεύθυνση $\odot$ (προς τη σελίδα).

43



Εφόσον ο αγωγός ισορροπεί, πρέπει:

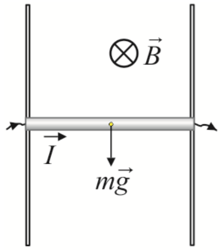
$$\Sigma F = 0 \Rightarrow F_L - mg = 0 \Rightarrow BIl = mg$$

Αν διπλασιάσουμε το ρεύμα, το μέτρο της δύναμης Laplace θα διπλασιαστεί και ο θεμελιώδης νόμος της μηχανικής γράφεται:

$$\Sigma F = ma \Rightarrow B2Il - mg = ma \Rightarrow 2mg - mg = ma \Rightarrow a = g$$

Επομένως ο αγωγός θα κινηθεί προς τα πάνω με επιτάχυνση g.

44



α. Αν αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος τότε η φορά της δύναμης Laplace αντιστρέφεται (γίνεται ομόρροπη του βάρους), χωρίς μεταβολή του μέτρου της. Άρα ο αγωγός επιταχύνεται προς τα κάτω και ισχύει:

$$\Sigma F = ma \Rightarrow BIl + mg = ma \Rightarrow mg + mg = ma \Rightarrow a = 2g$$

β. Αν αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος και της έντασης του μαγνητικού πεδίου ταυτόχρονα, τότε η δύναμη Laplace δε μεταβάλλεται. Άρα ο αγωγός θα συνεχίσει να ισορροπεί.

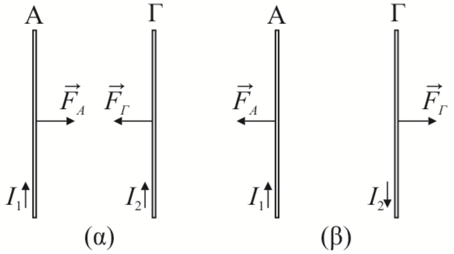
γ. Αν διπλασιάσουμε το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου και ταυτόχρονα υποδιπλασιάσουμε την ένταση του ρεύματος, τότε το μέτρο της δύναμης Laplace θα είναι:

$$F'_L = 2B\frac{I}{2}l = BIl = F_L$$

Δηλαδή η δύναμη Laplace δε μεταβάλλεται. Άρα ο αγωγός θα συνεχίσει να ισορροπεί.

45

Σωστό είναι το **γ**. Τα μέτρα των δυνάμεων αλληλεπίδρασης των αγωγών είναι:



$$F_A = B_\Gamma I_A l = k_\mu \frac{2I_\Gamma}{r} 3I_\Gamma l = k_\mu \frac{6I_\Gamma^2}{r} l$$

$$F_\Gamma = B_A I_\Gamma l = k_\mu \frac{2I_A}{r} I_\Gamma l = k_\mu \frac{6I_\Gamma^2}{r} l$$

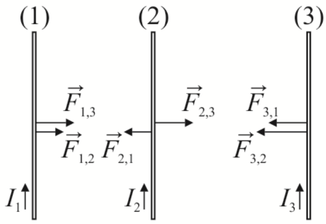
Επομένως είναι $F_A = F_\Gamma$.

Αν τα ρεύματα είναι ομόρροπα, οι αγωγοί έλκονται, ενώ αν είναι αντίρροπα, οι αγωγοί απωθούνται.

Ή με άλλον τρόπο: Λόγω δράσης - αντίδρασης, οι αγωγοί δέχονται αντίθετες δυνάμεις. Επομένως οι δυνάμεις αλληλεπίδρασης έχουν ίσα μέτρα.

46

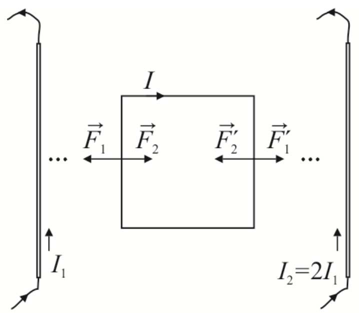
Εφόσον οι αγωγοί διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα, έλκονται ανά δύο με δυνάμεις όπως φαίνονται στο διπλανό σχήμα. Για να είναι μηδέν η συνισταμένη δύναμη σ' έναν αγωγό, πρέπει οι δυνάμεις σ' αυτόν να είναι αντίθετες. Αυτό είναι δυνατόν να συμβαίνει στον αγωγό (2), ενώ δεν μπορεί να συμβαίνει στους αγωγούς (1) και (3), οι οποίοι δέχονται ομόρροπες δυνάμεις.



47

Σωστό είναι το **α**.

Οι δυνάμεις $\vec{F}_1$ και $\vec{F}'_1$ από τον αγωγό 1 φαίνονται στο σχήμα και έχουν μέτρα:



$$F_1 = B_1 I\alpha = k_\mu \frac{2I_1 I}{\alpha}\alpha \text{ και } F'_1 = B'_1 I\alpha = k_\mu \frac{2I_1 I}{2\alpha}\alpha$$

Οι δυνάμεις $\vec{F}_2$ και $\vec{F}'_2$ από τον αγωγό 2 φαίνονται στο σχήμα και έχουν μέτρα:

$$F_2 = B_2 I\alpha = k_\mu \frac{4I_1 I}{3\alpha}\alpha \text{ και } F'_2 = B'_2 I\alpha = k_\mu \frac{4I_1 I}{2\alpha}\alpha$$

Η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο πλαίσιο έχει μέτρο:

$$\Sigma F = -F_1 + F'_1 + F_2 - F'_2 \Rightarrow$$

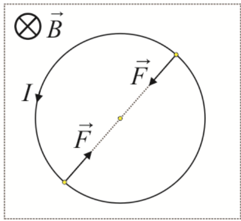
$$\Sigma F = -2k_\mu I_1 I + k_\mu I_1 I + \frac{4}{3}k_\mu I_1 I - 2k_\mu I_1 I \Rightarrow \Sigma F = -\frac{5}{3}k_\mu I_1 I$$

Επομένως το πλαίσιο θα κινηθεί προς τον αγωγό 1.

48

Σωστό είναι το **α**.

Πράγματι, δύο οποιαδήποτε αντιδιαμετρικά στοιχειώδη, ίσα και σχεδόν ευθύγραμμα τμήματα του αγωγού δέχονται αντίθετες δυνάμεις από το μαγνητικό πεδίο. Άρα η συνολική δύναμη που δέχεται ο αγωγός από το πεδίο είναι μηδέν.



49

α. Σ, **β.** Λ, **γ.** Σ, **δ.** Σ

Η εισαγωγή πυρήνα μαλακού σιδήρου μέσα στο σωληνοειδές προκαλεί μαγνήτιση του του σιδήρου, αύξηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου κατά παράγοντα μ και πύκνωση των δυναμικών γραμμών στο εσωτερικό του σωληνοειδούς.

50

Ένα ρευματοφόρο σωληνοειδές και ένας ραβδόμορφος μαγνήτης εμφανίζουν ακριβώς την ίδια μαγνητική συμπεριφορά, εφόσον ο μαγνήτης είναι κυλινδρικός. Αυτό διαπιστώνεται πειραματικά όταν μελετάμε το μαγνητικό πεδίο στο εξωτερικό του σωληνοειδούς ή του μαγνήτη.

51

α. Λ, **β.** Λ, **γ.** Λ

Όταν βρεθούν μέσα σε μαγνητικό πεδίο, μαγνητικές επιδράσεις δέχονται όλα τα μαγνητικά υλικά (σιδηρομαγνητικά, διαμαγνητικά, παραμαγνητικά). Μη μαγνητικά μέταλλα (όπως το αλουμίνιο) δε δέχονται μαγνητικές επιδράσεις.

52

Συμπλήρωση κενών:

Μαγνητική ροή μίας επιφάνειας S που είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου, ονομάζεται το φυσικό μέγεθος που ισούται με **το γινόμενο** της **έντασης** του μαγνητικού πεδίου επί **το εμβαδόν της επιφάνειας**. Η ροή είναι μέγιστη όταν **η επιφάνεια είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές του πεδίου** και ελάχιστη όταν **η επιφάνεια είναι παράλληλη στις δυναμικές γραμμές του πεδίου**. Μονάδα ροής είναι **το ένα weber (1 Wb)**.

53

Συμπλήρωση κενών:

Όταν μεταβάλλεται η ροή σε οποιοδήποτε κύκλωμα, τότε εμφανίζεται **ηλεκτρεγερτική δύναμη**. Το φαινόμενο αυτό λέμε **επαγωγή**.

54

Συμπλήρωση κενών:

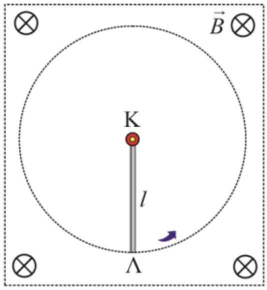
Η ΗΕΔ επαγωγής που αναπτύσσεται σε μία σπείρα είναι **ανάλογη με τον ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής μέσα από τη σπείρα**.

55

Δεν έχει νόημα να μιλάμε για μεταβολή μαγνητικής ροής όταν ο αγωγός δεν αποτελεί τμήμα κλειστού κυκλώματος. Μπορούμε τότε να μιλάμε για **αποκοπτόμενη** μαγνητική ροή, που συμβολίζεται με $\Delta\Phi$. Αυτή δείχνει το πλήθος των δυναμικών γραμμών που τέμνει ο αγωγός καθώς κινείται. Έτσι στις παρακάτω περιπτώσεις υπολογίζουμε την αποκοπτόμενη μαγνητική ροή.

Όταν ο αγωγός περιστρέφεται κατά 90° (τεταρτοκύκλιο), τότε:

$$\Delta\Phi = B\Delta S \Rightarrow \Delta\Phi = B\frac{\pi l^2}{4}$$



Όταν ο αγωγός περιστρέφεται κατά 180° (ημικύκλιο), τότε:

$$\Delta\Phi = B\Delta S \Rightarrow \Delta\Phi = B\frac{\pi l^2}{2}$$

Όταν ο αγωγός περιστρέφεται κατά 360° (κύκλος), τότε:

$$\Delta\Phi = B\Delta S \Rightarrow \Delta\Phi = B\pi l^2$$

56

Από τον ορισμό της μαγνητικής ροής έχουμε:

$$\Phi = NBS = Nk_\mu 4\pi\frac{N}{l}IS = k_\mu 4\pi\frac{N^2}{l}IS$$

Επομένως μπορούμε να μεταβάλλουμε τη μαγνητική ροή μέσα από το σωληνοειδές μεταβάλλοντας:

- τον αριθμό των σπειρών N του σωληνοειδούς.
- το μήκος l του σωληνοειδούς.
- το εμβαδόν των σπειρών S του σωληνοειδούς.
- την ένταση του ρεύματος I που διαρρέει το σωληνοειδές.

57

Τρόποι ανάπτυξης ΗΕΔ από επαγωγή:

- Μετακινώντας έναν μαγνήτη δίπλα σ' ένα πηνίο.
- Μετακινώντας ένα ρευματοφόρο σωληνοειδές δίπλα σ' ένα πηνίο.
- Περιστρέφοντας έναν μαγνήτη δίπλα σ' ένα πηνίο.
- Μεταβάλλοντας την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα πηνίο.

58

α. Λ, **β.** Σ, **γ.** Λ, **δ.** Σ

Από το ερώτημα δ προκύπτει ότι το σωληνοειδές συνδέεται στους πόλους κάποιας πηγής. Εφόσον διαρρέεται από ρεύμα, ο μαλακός σίδηρος μαγνητίζεται. Άρα όταν ο πυρήνας μετακινείται, η μαγνητική ροή μεταβάλλεται και έχουμε φαινόμενο επαγωγής.

⇝ Ανακαλύψαμε την εκφώνηση μέσω του ερωτήματος δ!

59

Συμπλήρωση κενών:

Το επαγωγικό ρεύμα έχει **τέτοια φορά** ώστε **το μαγνητικό πεδίο** να **αντιτίθεται** στην αιτία που το προκαλεί..

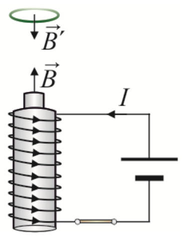
60

Σωστό είναι το **α**. Το κύριο φαινόμενο της επαγωγής είναι η δημιουργία ΗΕΔ. Τα άλλα τρία φαινόμενα (δημιουργία επαγωγικού ρεύματος, δημιουργία επαγωγικού φορτίου, ανάπτυξη δύναμης Laplace) εκδηλώνονται όταν το κύκλωμα είναι κλειστό.

61

Σωστό είναι το **β**. Η σφαιρική επιφάνεια είναι μια κλειστή επιφάνεια, οπότε ο αριθμός των δυναμικών γραμμών που εισέρχονται σε αυτήν είναι ίσος με τον αριθμό των δυναμικών γραμμών που εξέρχονται από αυτήν. Άρα η μαγνητική ροή που διέρχεται από τη σφαίρα είναι μηδέν.

62



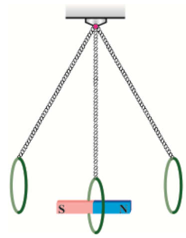
Με το κλείσιμο του διακόπτη, μεταβάλλεται η μαγνητική ροή μέσα από τον δακτύλιο, οπότε αναπτύσσεται σε αυτόν επαγωγική ΗΕΔ. Επειδή ο δακτύλιος είναι κλειστός, θα διαρρέεται από επαγωγικό ρεύμα, οπότε γίνεται μαγνήτης και το μαγνητικό του πεδίο $\vec{B}'$ αντιτίθεται στην αύξηση της μαγνητικής ροής. Άρα το $\vec{B}'$ θα είναι αντίρροπο του μαγνητικού πεδίου του σωληνοειδούς και έτσι θα εμφανίζεται βόρειος πόλος απέναντι από βόρειο πόλο. Επομένως ο δακτύλιος θα απωθείται από το σωληνοειδές και έτσι θα κινηθεί προς τα πάνω.

63

Σωστό είναι το **γ**. Ο κανόνας του Lenz είναι απόρροια της διατήρησης της ενέργειας.

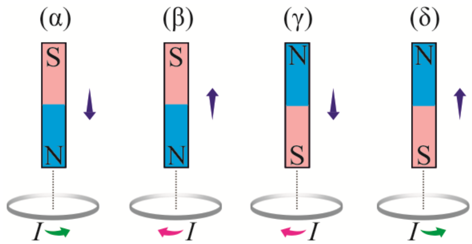
64

Δυναμική εξήγηση: Η σχετική κίνηση δακτυλίου - μαγνήτη προκαλεί μεταβολή της μαγνητικής ροής μέσα από τον δακτύλιο. Εμφανίζεται έτσι επαγωγική ΗΕΔ στον δακτύλιο και, επειδή είναι κλειστός, θα διαρρέεται από ρεύμα που θα αντιτίθεται στην κίνηση του δακτυλίου. Άρα το πλάτος αιώρησης θα μειωθεί. Αν κόψουμε τον δακτύλιο, τότε δε θα διαρρέεται από ρεύμα και έτσι το πλάτος αιώρησης δε θα μεταβληθεί.



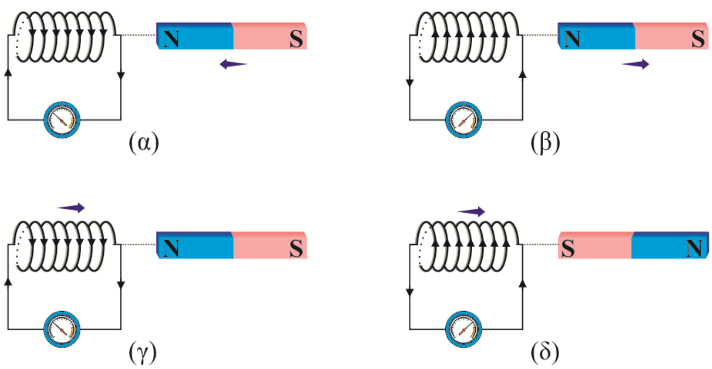
Ενεργειακή εξήγηση: Λόγω του φαινομένου της επαγωγής, ένα μέρος της μηχανικής ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία γίνεται θερμότητα Joule εφόσον ο δακτύλιος διαρρέεται από ρεύμα. Έτσι μειώνεται η μηχανική ενέργεια και άρα το πλάτος αιώρησης θα μειωθεί. Αν κόψουμε τον δακτύλιο, τότε δε θα διαρρέεται από ρεύμα και έτσι το πλάτος αιώρησης δε θα μεταβληθεί.

65



Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η φορά του ρεύματος που διαρρέει τον δακτύλιο. Σε κάθε περίπτωση ισχύει ο κανόνας του Lenz. Το επαγωγικό ρεύμα που διαρρέει τον δακτύλιο έχει φορά τέτοια ώστε το μαγνητικό πεδίο που παράγει να αντιτίθεται στην κίνηση του μαγνήτη. Έτσι μπορούμε να σχεδιάσουμε το διάνυσμα της έντασης $\vec{B}'$ του μαγνητικού πεδίου που οφείλεται στο επαγωγικό ρεύμα. Με τον κανόνα του δεξιού χεριού βρίσκουμε τη φορά του επαγωγικού ρεύματος.

66



Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η φορά του ρεύματος που διαρρέει το σωληνοειδές. Σε κάθε περίπτωση ισχύει ο κανόνας του Lenz. Το επαγωγικό ρεύμα που διαρρέει το σωληνοειδές έχει φορά τέτοια ώστε το μαγνητικό πεδίο που παράγει να αντιτίθεται στην κίνηση του μαγνήτη. Έτσι μπορούμε να σχεδιάσουμε το διάνυσμα της έντασης $\vec{B}'$ του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί το επαγωγικό ρεύμα στο σωληνοειδές. Με τον κανόνα του δεξιού χεριού βρίσκουμε τη φορά του επαγωγικού ρεύματος

67

Συμπλήρωση κενών:
Το ηλεκτρικό φορτίο είναι ανεξάρτητο από **τον χρόνο** που διαρκεί η μεταβολή **της μαγνητικής ροής**.

68

Η σωστή αντιστοίχιση φαίνεται στην παρακάτω διάταξη.

B	T
$\mathcal{E}$	V
Φ	Wb
μ	καθαρός αριθμός

69

Η σωστή αντιστοίχιση φαίνεται στην παρακάτω διάταξη.

Ένταση επαγωγικού ρεύματος	$\mathcal{E}/R$
Επαγωγική τάση	$\Delta\Phi/\Delta t$
Ένταση μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό σωληνοειδούς	$k_\mu 4\pi \frac{N}{l} I$
Ένταση μαγνητικού πεδίου στο κέντρο κυκλικού αγωγού	$k_\mu \frac{2\pi I}{r}$
Επαγωγικό φορτίο	$\Delta\Phi/R$
Δύναμη Laplace	BIl
Ένταση μαγνητικού πεδίου ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού μεγάλου μήκους, σε απόσταση r από αυτόν	$k_\mu \frac{2I}{r}$

ΛΥΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

1

Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε απόσταση r από τον αγωγό είναι:

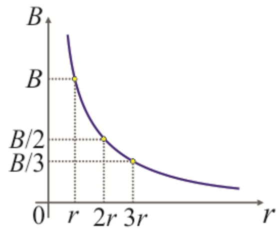
$$B = k_{\mu}\frac{2I}{r} \Rightarrow B = 2 \cdot 10^{-4}\mathrm{T}$$

2

Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε απόσταση x από τον αγωγό είναι:

$$B = k_{\mu}\frac{2I}{x} \Rightarrow x = k_{\mu}\frac{2I}{B}$$

Επομένως τα ζητούμενα σημεία είναι:



$$x_1 = k_{\mu}\frac{2I}{B}$$

$$x_2 = k_{\mu}\frac{2I}{B/2} = 2k_{\mu}\frac{2I}{B} = 2x_1$$

και γενικά:

$$x_{\nu} = k_{\mu}\frac{2I}{B/\nu} = \nu k_{\mu}\frac{2I}{B} = \nu x_1$$

Η γραφική παράσταση της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε συνάρτηση με την απόσταση x από τον ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό φαίνεται στο σχήμα.

3

α. Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε απόσταση r από τον αγωγό είναι:

$$B = k_{\mu}\frac{2I}{r} \Rightarrow I = \frac{Br}{2k_{\mu}} \Rightarrow I = 20\ \mathrm{A}$$

β. Αν διπλασιάσουμε την ένταση του ρεύματος, το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε απόσταση $2r$ από τον αγωγό είναι:

$$B' = k_{\mu}\frac{2 \cdot 2I}{2r} = k_{\mu}\frac{2I}{r} = B \Rightarrow B' = 2 \cdot 10^{-5}\mathrm{T}$$

4

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό είναι:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = 6\ \mathrm{A}$$

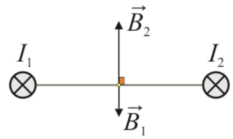
Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε απόσταση x από τον αγωγό είναι:

$$B = k_{\mu}\frac{2I}{x} \Rightarrow B = 12 \cdot 10^{-6}\mathrm{T}$$

5

Στο μέσο της απόστασης των αγωγών οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων έχουν μέτρα:

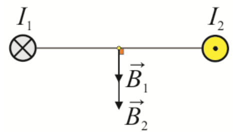
$$B_1 = k_\mu \frac{2I_1}{d/2} = \frac{4}{3} \cdot 10^{-5}\text{T} \;\text{ και }\; B_2 = k_\mu \frac{2I_2}{d/2} = \frac{8}{3} \cdot 10^{-5}\text{T}$$



α. Όταν τα ρεύματα είναι ομόρροπα, οι επιμέρους εντάσεις είναι αντίρροπες και η συνισταμένη ένταση στο μέσον έχει μέτρο:

$$B = B_2 - B_1 \Rightarrow B = \frac{4}{3} \cdot 10^{-5}\text{T}$$

και κατεύθυνση ίδια με αυτήν της $\vec{B}_2$.

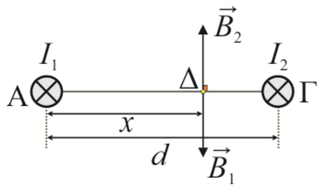


β. Όταν τα ρεύματα είναι αντίρροπα, οι επιμέρους εντάσεις είναι ομόρροπες και η συνισταμένη ένταση στο μέσον έχει μέτρο:

$$B' = B_2 + B_1 \Rightarrow B' = 4 \cdot 10^{-5}\text{T}$$

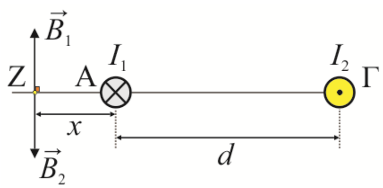
και κατεύθυνση ίδια με αυτήν της $\vec{B}_2$.

6



α. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι δυνατόν να μηδενίζεται στα σημεία ευθείας παράλληλης στους αγωγούς, που βρίσκεται ανάμεσά τους και είναι στο ίδιο επίπεδο με αυτούς. Έστω σημείο που απέχει x από τον αγωγό ρεύματος I_1. Θεωρώντας τους αγωγούς κάθετους στο επίπεδο του σχεδίου, μπορούμε να σχεδιάσουμε τις εντάσεις σε κάθε σημείο του επιπέδου. Οι αγωγοί τέμνουν το επίπεδο του σχεδίου στα σημεία Α και Γ. Όταν τα ρεύματα έχουν ίδια φορά (ομόρροπα) τότε οι συνιστώσες $\vec{B}_1$ και $\vec{B}_2$ είναι αντίρροπες στα σημεία του ευθυγράμμου τμήματος ΑΓ. Άρα σε κάποιο σημείο Δ του ευθυγράμμου τμήματος θα είναι:

$$B_\Delta = 0 \Rightarrow B_1 = B_2 \Rightarrow k_\mu \frac{2I_1}{x} = k_\mu \frac{2I_2}{d-x} \Rightarrow \frac{I_1}{x} = \frac{3I_1}{d-x} \Rightarrow d - x = 3x \Rightarrow x = 7{,}5 \text{ cm}$$



β. Όταν τα ρεύματα έχουν αντίθετη φορά τότε οι συνιστώσες $\vec{B}_1$ και $\vec{B}_2$ είναι αντίρροπες πάνω στην ευθεία που ορίζουν τα Α και Γ, αλλά έξω από το ευθύγραμμο τμήμα ΑΓ.

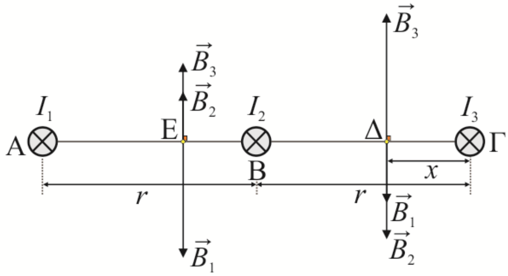
Άρα η ένταση του μαγνητικού πεδίου θα είναι μηδέν σε κάποιο σημείο Ζ που θα βρίσκεται πιο κοντά στον αγωγό Α και θα απέχει x από αυτόν:

$$B_Z = 0 \Rightarrow B_1 = B_2 \Rightarrow k_\mu \frac{2I_1}{x} = k_\mu \frac{2I_2}{d+x} \Rightarrow \frac{I_1}{x} = \frac{3I_1}{d+x} \Rightarrow$$

$$d + x = 3x \Rightarrow x = d/2 \Rightarrow x = 15 \text{ cm}$$

7

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι δυνατόν να μηδενίζεται στα σημεία ευθείας παράλληλης στους αγωγούς, που βρίσκεται ανάμεσά τους, είναι στο ίδιο επίπεδο με αυτούς και μεταξύ των σημείων Α και Γ. Έστω σημείο Δ που απέχει x από τον αγωγό ρεύματος I_3. Θα ισχύει:



$$B_3 = B_1 + B_2 \Rightarrow$$

$$k_\mu \frac{2I_3}{x} = k_\mu \frac{2I_1}{2r-x} + k_\mu \frac{2I_2}{r-x} \Rightarrow \frac{2{,}5I_1}{x} = \frac{I_1}{2r-x} + \frac{I_1}{r-x} \Rightarrow$$

$$2{,}5(2r-x)(r-x) = x(r-x) + x(2r-x) \Rightarrow$$

$$9x^2 - 21rx + 10r^2 = 0 \Rightarrow$$

$$x = 2r/3 \;\text{ ή }\; x = 5r/3$$

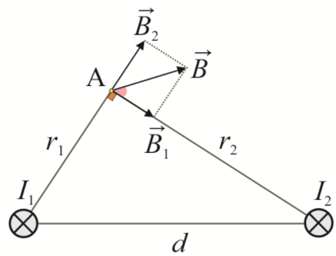
Επομένως η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι ίση με το μηδέν στο σημείο Δ που απέχει $x = 2r/3 = 4$ cm από τον αγωγό ρεύματος I_3 αλλά και στο σημείο Ε που απέχει $x = 5r/3 = 10$ cm από τον αγωγό ρεύματος I_3.

8

Ισχύει:

$$r_1^2 + r_2^2 = 3^2 + 4^2 = 25 = d^2$$

Από το αντίστροφο του Πυθαγορείου θεωρήματος προκύπτει ότι $\widehat{\mathrm{A}} = 90°$. Οι εντάσεις του μαγνητικών πεδίων που δημιουργούν οι αγωγοί στο σημείο Α είναι κάθετες μεταξύ τους και έχουν μέτρα:



$$B_1 = k_\mu \frac{2I_1}{r_1} \;\text{ και }\; B_2 = k_\mu \frac{2I_2}{r_2}$$

Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο σημείο Α θα είναι:

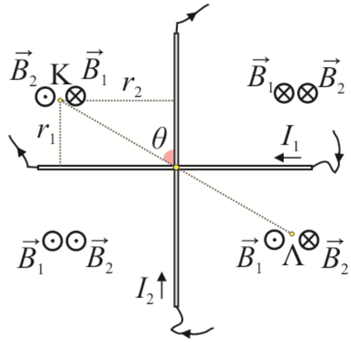
$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = 2k_\mu \sqrt{\left(\frac{I_1}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{I_2}{r_2}\right)^2} \Rightarrow B = \sqrt{2} \cdot 10^{-4}\mathrm{T}$$

9

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι δυνατόν να μηδενίζεται στις περιοχές των σημείων Κ και Λ όπου οι επιμέρους εντάσεις είναι αντίρροπες.

Θα πρέπει:

$$B_1 = B_2 \Rightarrow k_\mu \frac{2I_1}{r_1} = k_\mu \frac{2I_2}{r_2} \Rightarrow \frac{r_2}{r_1} = \sqrt{3}$$



Για τη γωνία θ ισχύει:

$$\varepsilon\varphi\theta = \frac{r_2}{r_1} = \sqrt{3} \Rightarrow \theta = 60°$$

Επομένως η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι ίση με μηδέν στα σημεία της ευθείας που διέρχεται από τα Κ και Λ και σχηματίζει γωνία $60°$ με τον αγωγό ρεύματος I_2, εκτός από το σημείο τομής των αγωγών.

10

Από τον τύπο που δίνει το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού, βρίσκουμε:

$$B = k_\mu \frac{2\pi I}{r} \Rightarrow I = \frac{Br}{2\pi k_\mu} \Rightarrow I = 10 \text{ A}$$

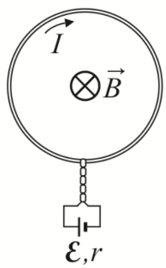
11

Από τον τύπο που δίνει το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού με N σπείρες, βρίσκουμε:

$$B = k_\mu \frac{2\pi I}{r} N \Rightarrow r = k_\mu \frac{2\pi I N}{B} \Rightarrow r = \pi \text{ cm}$$

12

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό είναι:



$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2} = 1 \text{ A}$$

Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του κύκλου είναι:

$$B = k_\mu \frac{2\pi I}{r} \Rightarrow B = 2 \cdot 10^{-6} \text{T}$$

13

Η κυκλική κίνηση του φορτίου ισοδυναμεί με ηλεκτρικό ρεύμα έντασης:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Επειδή το ρεύμα έχει σταθερή ένταση, η παραπάνω σχέση ορισμού γράφεται:

$$I = q/T = qf$$

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο της κυκλικής τροχιάς έχει μέτρο:

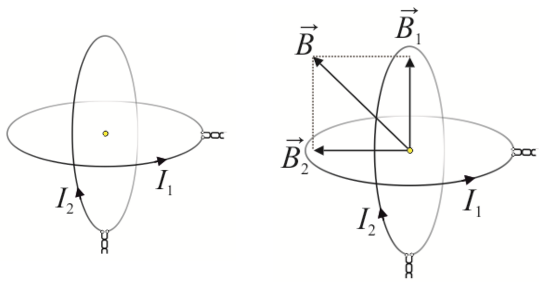
$$B = k_\mu \frac{2\pi I}{r} = k_\mu \frac{2\pi q f}{r} \Rightarrow B = 2 \cdot 10^{-4}\mathrm{T}$$

14

Οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων που οφείλονται στους δύο κυκλικούς αγωγούς έχουν στο κέντρο Κ μέτρα:

$$B_1 = k_\mu \frac{2\pi I_1}{r}$$

$$B_2 = k_\mu \frac{2\pi I_2}{r} = k_\mu \frac{2\pi I_1}{r} = B_1$$



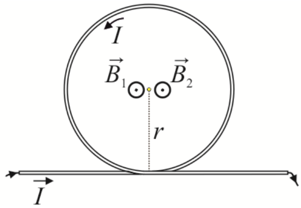
και οι διευθύνσεις τους είναι κάθετες.
Επομένως η συνισταμένη ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο Κ της κυκλικής τροχιάς έχει μέτρο:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{B_1^2 + B_1^2} = B_1\sqrt{2} \Rightarrow B = \sqrt{2} \cdot 10^{-4}\mathrm{T}$$

15

α. Όταν και οι δύο αγωγοί βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, οι επιμέρους εντάσεις είναι ομόρροπες, οπότε η συνισταμένη ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του κύκλου έχει μέτρο:

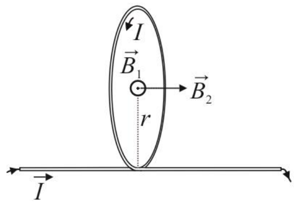
$$B = B_1 + B_2 = k_\mu \frac{2I}{r} + k_\mu \frac{2\pi I}{r} \Rightarrow B = k_\mu \frac{2I}{r}(1 + \pi)$$



β. Όταν το επίπεδο του κύκλου γίνει κάθετο στον ευθύγραμμο αγωγό, οι επιμέρους εντάσεις έχουν κάθετες διευθύνσεις, οπότε η συνισταμένη ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του κύκλου έχει μέτρο:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{\left(k_\mu \frac{2I}{r}\right)^2 + \left(k_\mu \frac{2\pi I}{r}\right)^2} \Rightarrow$$

$$B = k_\mu \frac{2I}{r}\sqrt{1 + \pi^2}$$



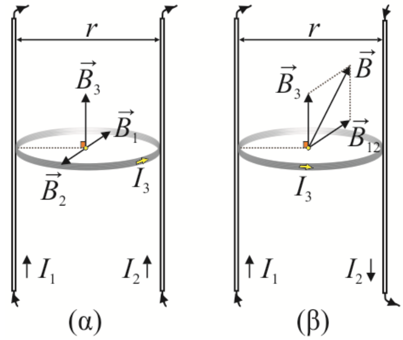
16

α. Όταν τα ρεύματα στους δύο κατακόρυφους αγωγούς είναι ομόρροπα, οι επιμέρους εντάσεις των μαγνητικών πεδίων που δημιουργούν είναι αντίρροπες, με μέτρα:

$$B_1 = B_2 = k_\mu \frac{2I}{r/2}$$

Επομένως το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται στο κέντρο του κυκλικού αγωγού είναι:

$$B = B_3 = k_\mu \frac{2\pi I}{r/2} \Rightarrow B = 4 \cdot 10^{-5}\mathrm{T}$$



β. Όταν τα ρεύματα στους δύο κατακόρυφους αγωγούς είναι αντίρροπα, οι επιμέρους εντάσεις των μαγνητικών πεδίων που δημιουργούν είναι ομόρροπες και έχουν ίσα μέτρα:

$$B_1 = B_2 = k_\mu \frac{2I}{r/2}$$

Η συνισταμένη των δύο αυτών εντάσεων είναι κάθετη στην $\vec{B}_3$ και έχει μέτρο:

$$B_{12} = B_1 + B_2 = 2k_\mu \frac{2I}{r/2} = 4 \cdot 10^{-5}\mathrm{T}$$

ενώ η $\vec{B}_3$ έχει μέτρο:

$$B_3 = k_\mu \frac{2\pi I}{r/2} = 4 \cdot 10^{-5}\mathrm{T}$$

Επομένως το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται στο κέντρο του κυκλικού αγωγού είναι:

$$B = \sqrt{B_3^2 + B_{12}^2} \Rightarrow B = 4\sqrt{2} \cdot 10^{-5}\mathrm{T}$$

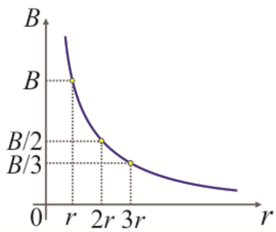
17

Οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων που δημιουργούν οι κυκλικοί αγωγοί στο κέντρο τους έχουν μέτρα:

$$B_1 = k_\mu \frac{2\pi I}{r} = B,\; B_2 = k_\mu \frac{2\pi I}{2r} = \frac{B}{2}\,,\; B_3 = k_\mu \frac{2\pi I}{3r} = \frac{B}{3}$$

και γενικεύοντας:

$$B_\nu = k_\mu \frac{2\pi I}{\nu r} = \frac{B}{\nu}$$

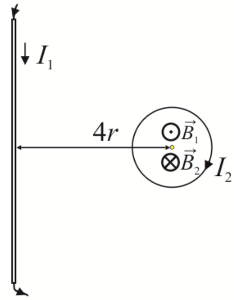


Η γραφική παράσταση της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε συνάρτηση με την ακτίνα r του κύκλου φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

18

Για να είναι μηδέν η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του κύκλου, πρέπει οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων που δημιουργούν ο ευθύγραμμος και ο κυκλικός αγωγός να είναι αντίθετες.

Άρα το ρεύμα στον ευθύγραμμο αγωγό πρέπει να έχει φορά προς τα κάτω. Από τη σχέση που ισχύει για τα μέτρα των εντάσεων, υπολογίζουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον ευθύγραμμο αγωγό:

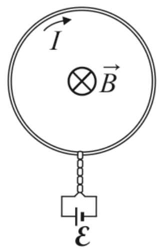


$$B_1 = B_2 \Rightarrow k_\mu \frac{2I_1}{5r} = k_\mu \frac{2\pi I_2}{r} \Rightarrow I_1 = 5\pi I_2 \Rightarrow$$

$$I_1 = 25 \text{ A}$$

19

Από την ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του αγωγού υπολογίζουμε την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει:



$$B = k_\mu \frac{2\pi I}{r} \Rightarrow I = \frac{Br}{2\pi k_\mu} = \frac{50}{\pi} \text{ A}$$

Η αντίσταση του κυκλικού αγωγού υπολογίζεται από τον νόμο του Ohm:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} \Rightarrow R = \frac{\mathcal{E}}{I} = 2\pi \ \Omega$$

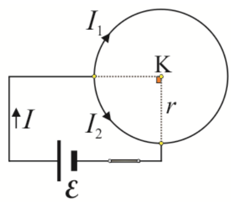
Επομένως η αντίσταση ανά μονάδα μήκους του αγωγού είναι:

$$R^\star = \frac{R}{2\pi r} \Rightarrow R^\star = 5 \ \Omega/\text{m}$$

20

Ο κυκλικός αγωγός χωρίζεται σε ένα τμήμα αντίστασης R_1 που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I_1 και ένα τμήμα αντίστασης R_2 που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I_2.

Επειδή η αντίσταση ενός αγωγού είναι ανάλογη του μήκους του, l, οι αντιστάσεις αυτές συνδέονται με τη συνολική αντίσταση R του κυκλικού αγωγού με τις σχέσεις:



$$R_1 = \frac{3l/4}{l} R = \frac{3}{4} R \ \text{ και } \ R_2 = \frac{l/4}{l} R = \frac{1}{4} R$$

Οι εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν τα δύο τμήματα του κυκλικού αγωγού και τα αντίστοιχα μέτρα των εντάσεων μαγνητικού πεδίου είναι:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1} = \frac{4\mathcal{E}}{3R} \ \text{ και } \ B_1 = \frac{3}{4} k_\mu \frac{2\pi I_1}{r} = \frac{3}{4} k_\mu \frac{2\pi}{r} \cdot \frac{4\mathcal{E}}{3R} = k_\mu \frac{2\pi}{r} \cdot \frac{\mathcal{E}}{R}$$

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2} = \frac{4\mathcal{E}}{R} \ \text{ και } \ B_2 = \frac{1}{4} k_\mu \frac{2\pi I_2}{r} = \frac{1}{4} k_\mu \frac{2\pi}{r} \cdot \frac{4\mathcal{E}}{R} = k_\mu \frac{2\pi}{r} \cdot \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Επειδή οι επιμέρους εντάσεις των μαγνητικών πεδίων είναι αντίρροπες, η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του κυκλικού αγωγού έχει μέτρο:

$$B = B_1 - B_2 \Rightarrow B = 0$$

21

Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του σωληνοειδούς δίνεται από τη σχέση:

$$B = k_\mu 4\pi \frac{N}{l} I \Rightarrow B = 4 \cdot 10^{-3}\mathrm{T}$$

22

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το σωληνοειδές υπολογίζεται από το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του σωληνοειδούς:

$$B = k_\mu 4\pi \frac{N}{l} I \Rightarrow I = \frac{Bl}{4\pi N k_\mu} \Rightarrow I = 2\ \mathrm{A}$$

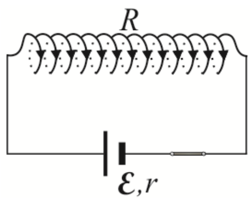
23

Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του σωληνοειδούς θα είναι το άθροισμα των μέτρων των εντάσεων που οφείλονται σε κάθε μισό:

$$B = B_1 + B_2 = \frac{1}{2} k_\mu 4\pi n_1 I + \frac{1}{2} k_\mu 4\pi n_2 I = \frac{1}{2} k_\mu 4\pi I (n_1 + n_2) \Rightarrow B = \pi \cdot 10^{-3}\mathrm{T}$$

24

Το σωληνοειδές έχει αντίσταση NR και η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει δίνεται από τον νόμο του Ohm:



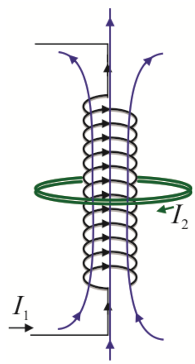
$$I = \frac{\mathcal{E}}{NR + r} = 1\ \mathrm{A}$$

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς έχει μέτρο:

$$B = k_\mu 4\pi \frac{N}{l} I \Rightarrow B = 10^{-3}\mathrm{T}$$

25

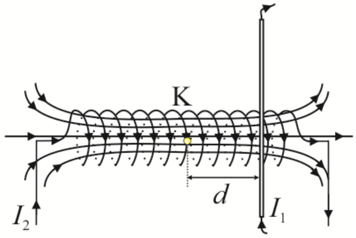
Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του σωληνοειδούς είναι η συνισταμένη δύο εντάσεων: της $\vec{B}_1$ που οφείλεται στο ρεύμα του σωληνοειδούς και της $\vec{B}_2$ που οφείλεται στο ρεύμα του κυκλικού αγωγού. Οι εντάσεις αυτές πρέπει να είναι αντίθετες:



$$B_1 = B_2 \Rightarrow k_\mu 4\pi n I_1 = k_\mu \frac{2\pi I_2}{r} N \Rightarrow 2nrI_1 = 10 I_1 N \Rightarrow$$

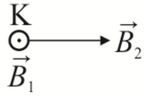
$$r = 5\frac{N}{n} \Rightarrow r = 0{,}1\ \mathrm{m}$$

26



Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του σωληνοειδούς είναι η συνισταμένη δύο έντασεων: της $\vec{B}_1$ που οφείλεται στο ρεύμα του ευθύγραμμου αγωγού και της $\vec{B}_2$ που οφείλεται στο ρεύμα του σωληνοειδούς. Τα μέτρα των εντάσεων αυτών είναι:

$$B_1 = k_\mu \frac{2I_1}{d} \text{ και } B_2 = k_\mu 4\pi n I_2$$



Οι εντάσεις αυτές είναι κάθετες μεταξύ τους, οπότε το μέτρο της συνισταμένης έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο Κ του σωληνοειδούς είναι:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{\left(k_\mu \frac{2I_1}{d}\right)^2 + \left(k_\mu 4\pi n I_2\right)^2} \Rightarrow B = 5 \cdot 10^{-4}\text{T}$$

27

Το μέτρο της δύναμης Laplace που δέχεται ο αγωγός από το μαγνητικό πεδίο έχει μέτρο που δίνεται από τη σχέση:

$$F_L = BIl\eta\mu\varphi$$

α. Για $\varphi = 90°$ έχουμε:

$$F_L = BIl\eta\mu 90° = BIl \Rightarrow F_L = 4 \text{ N}$$

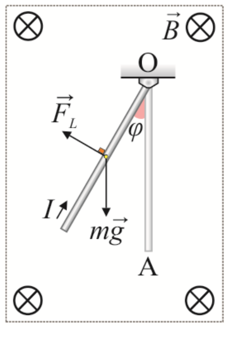
β. Για $\varphi = 30°$ έχουμε:

$$F_L = BIl\eta\mu 30° = BIl\frac{1}{2} \Rightarrow F_L = 2 \text{ N}$$

γ. Για $\varphi = 0°$ έχουμε:

$$F_L = BIl\eta\mu 0° \Rightarrow F_L = 0 \text{ N}$$

28



Η άσκηση μπορεί να λυθεί χωρίς ροπές αν θεωρήσουμε ως δεδομένο ότι η δύναμη από τον άξονα περιστροφής Ο διέρχεται από το κέντρο μάζας του αγωγού. Αυτό πράγματι ισχύει, αλλά πρέπει να το τεκμηριώσουμε. Θα δώσουμε τη λύση με τις ροπές που είναι η σωστή. Η αντιμετώπιση της άσκησης μόνο με δυνάμεις δίνει *συμπτωματικά* σωστή λύση. Από την ισορροπία του αγωγού προκύπτει ότι η συνισταμένη ροπή που ασκείται σ' αυτόν, ως προς τον άξονα περιστροφής του, είναι μηδέν:

$$\Sigma\tau = 0 \Rightarrow F_L\frac{l}{2} = mg\eta\mu\varphi\frac{l}{2} \Rightarrow BIl = mg\eta\mu\varphi \Rightarrow$$

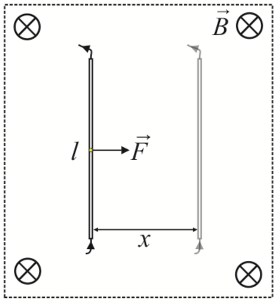
$$B = \frac{mg\eta\mu\varphi}{Il} \Rightarrow B = 0{,}25 \text{ T}$$

29

Η δύναμη Laplace έχει σταθερό μέτρο:

$$F_L = BIl$$

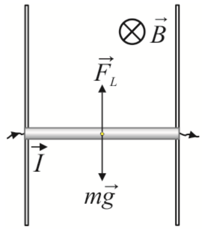
οπότε ο αγωγός εκτελεί ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση με μετατόπιση $x = at^2/2$. Το έργο της δύναμης Laplace για χρόνο t είναι:



$$W = F_L x = BIl\frac{1}{2}at^2 \Rightarrow W = 80 \text{ J}$$

30

α. Για να κατεβαίνει με σταθερή ταχύτητα, πρέπει:



$$\Sigma F = 0 \Rightarrow BIl = mg \Rightarrow I = \frac{mg}{Bl} \Rightarrow I = 2{,}5 \text{ A}$$

β. Για να έχει σταθερή επιτάχυνση $g/3$, με φορά προς τα κάτω, πρέπει:

$$\Sigma F = ma \Rightarrow mg - BIl = m\frac{g}{3} \Rightarrow$$

$$BIl = \frac{2}{3}mg \Rightarrow I = \frac{2mg}{3Bl} \Rightarrow I = 5/3 \text{ A}$$

γ. Για να έχει σταθερή επιτάχυνση $g/4$, με φορά προς τα πάνω, πρέπει:

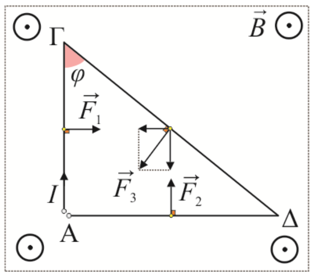
$$\Sigma F = ma \Rightarrow BIl - mg = m\frac{g}{4} \Rightarrow BIl = \frac{5}{4}mg \Rightarrow I = \frac{5mg}{4Bl} \Rightarrow I = 25/8 \text{ A}$$

31

Σε κάθε πλευρά του τριγωνικού αγωγού ασκείται δύναμη Laplace από το μαγνητικό πεδίο με κατευθύνσεις όπως φαίνονται στο σχήμα και μέτρα:

$$F_1 = BI\delta,\ F_2 = BI\gamma,\ F_3 = BI\alpha$$

Η συνισταμένη δύναμη κατά μήκος των αξόνων $x'x$ και $y'y$ είναι:



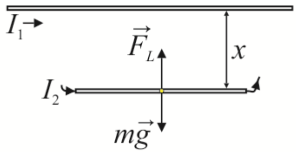
$$\Sigma F_x = F_1 - F_3\sigma\upsilon\nu\varphi = BI\delta - BI\alpha\frac{\delta}{\alpha} = 0$$

$$\Sigma F_y = F_2 - F_2\eta\mu\varphi = BI\gamma - BI\alpha\frac{\gamma}{\alpha} = 0$$

Επομένως η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στον τριγωνικό αγωγό είναι:

$$\Sigma F = 0$$

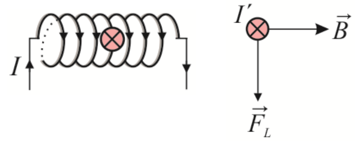
32



Οι δυνάμεις που ασκούνται στον αγωγό είναι το βάρος και η δύναμη Laplace. Για να ισορροπεί ο αγωγός πρέπει οι δυνάμεις αυτές να είναι αντίθετες, δηλαδή η δύναμη Laplace θα είναι κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω και σημείο εφαρμογής το μέσον του αγωγού. Με τον κανόνα των τριών δακτύλων βρίσκουμε ότι το ρεύμα I_2 που διαρρέει τον αγωγό είναι ομόρροπο του I_1. Από την ισορροπία έχουμε:

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow BI_2 l = mg \Rightarrow k_\mu \frac{2I_1}{x} I_2 l = mg \Rightarrow I_2 = \frac{mgx}{2k_\mu I_1 l} \Rightarrow I_2 = 50 \text{ A}$$

33



Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς έχει μέτρο:

$$B = k_\mu 4\pi \frac{N}{l} I \Rightarrow B = \pi \cdot 10^{-3}\text{T}$$

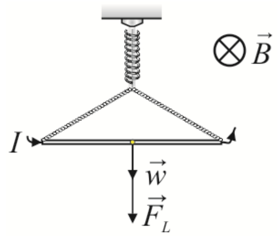
Από το μέτρο της δύναμης Laplace που ασκείται στον αγωγό από το μαγνητικό πεδίο, θα βρούμε την ένταση του ρεύματος I' που διαρρέει τον αγωγό:

$$F_L = BI'l \Rightarrow I' = \frac{F_L}{Bl} = 50 \text{ A}$$

Η αντίσταση του αγωγού θα υπολογιστεί από τον νόμο του Ohm:

$$I' = \frac{\mathcal{E}}{R+r} \Rightarrow R + r = \frac{\mathcal{E}}{I'} \Rightarrow R = \frac{\mathcal{E}}{I'} - r \Rightarrow R = 1{,}5 \ \Omega$$

34



α. Όταν η ράβδος δε διαρρέεται από ρεύμα, το βάρος της ράβδου ισούται με την ένδειξη του δυναμομέτρου:

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow w = F_1 \Rightarrow w = 0{,}4 \text{ N}$$

β. Όταν η ράβδος διαρρέεται από ρεύμα, ασκείται σ' αυτήν δύναμη Laplace, μέτρου $F_L = BIl$, ομόρροπη του βάρους της. Λόγω ισορροπίας, το άθροισμα αυτών των δυνάμεων πρέπει να ισούται με τη δεύτερη ένδειξη του δυναμομέτρου:

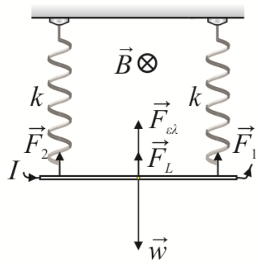
$$\Sigma F = 0 \Rightarrow w + F_L = F_2 \Rightarrow F_L = F_2 - w \Rightarrow F_L = 0{,}2 \text{ N}$$

γ. Από τη σχέση που δίνει το μέτρο της δύναμης Laplace θα βρούμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου:

$$F_L = BIl \Rightarrow B = \frac{F_L}{Il} \Rightarrow B = 2 \cdot 10^{-2}\text{T}$$

35

Όταν τα ελατήρια έχουν τον φυσικό τους μήκος, η ράβδος ισορροπεί υπό την επίδραση του βάρους της και της δύναμης Laplace που ασκείται σ' αυτήν από το μαγνητικό πεδίο:



$$\Sigma F = 0 \Rightarrow w = F_L \Rightarrow w = BIl$$

Όταν τα ελατήρια έχουν επιμηκυνθεί κατά x, στη ράβδο ασκείται επιπλέον η δύναμη των ελατηρίων που έχει συνισταμένη μέτρου:

$$F_{\varepsilon\lambda} = F_1 + F_2 = kx + kx = 2kx$$

Από την ισορροπία της ράβδου έχουμε:

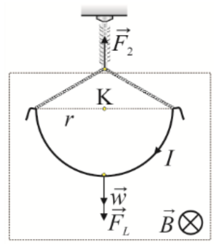
$$\Sigma F = 0 \Rightarrow w = BI'l + 2kx \Rightarrow BIl = BI'l + 2kx \Rightarrow I' = I - \frac{2kx}{Bl} \Rightarrow I' = -10\ \text{A}$$

Το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι το ρεύμα έχει αντίθετη φορά από αυτήν που φαίνεται στο σχήμα. Άρα και η δύναμη Laplace θα έχει αντίθετη φορά, δηλαδή θα είναι ομόρροπη του βάρους.

36

Όταν το σύρμα δε διαρρέεται από ρεύμα, η ένδειξη του δυναμομέτρου, $F_1 = 1$ N, ισούται με το βάρος του σύρματος: $\Sigma F = 0 \Rightarrow w = F_1$.

Όταν το σύρμα διαρρέεται από ρεύμα, η ένδειξη του δυναμομέτρου, $F_2 = 4$ N, ισούται με τη συνισταμένη του βάρους του σύρματος και της δύναμης Laplace που δέχεται το σύρμα από το μαγνητικό πεδίο:

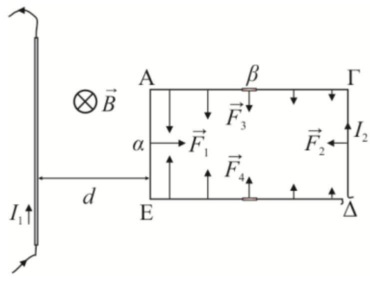


$$\Sigma F = 0 \Rightarrow w + BIl = F_2 \Rightarrow F_1 + BI2r = F_2 \Rightarrow$$

$$B = \frac{F_2 - F_1}{2Ir} \Rightarrow B = 1\ \text{T}$$

37

Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο ευθύγραμμος αγωγός σε απόσταση r έχει κατεύθυνση ⊗ και μέτρο:



$$B_1 = k_\mu \frac{2I_1}{r}$$

Στο σχήμα βλέπουμε το πλαίσιο ΑΓΔΕ του οποίου οι πλευρές ΑΓ και ΔΕ έχουν μήκος β ενώ οι πλευρές ΓΔ και ΕΑ έχουν μήκος α. Οι δυνάμεις που δέχονται οι πλευρές μήκους α είναι αντίρροπες και έχουν μέτρα:

$$F_1 = B_1 I_2 \alpha = k_\mu \frac{2I_1}{d} I_2 \alpha \ \text{ και } \ F_2 = B_1 I_2 \alpha = k_\mu \frac{2I_1}{d+\beta} I_2 \alpha$$

και κατευθύνσεις όπως στο σχήμα. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο ευθύγραμμος αγωγός δεν έχει σταθερή ένταση κατά μήκος των οριζόντιων τμημάτων του πλαισίου. Έτσι αν θεωρήσουμε στους αγωγούς ΑΓ και ΔΕ στοιχειώδη τμήματα μήκους Δl που ισαπέχουν από τον ευθύγραμμο αγωγό, τότε αυτά δέχονται αντίθετες δυνάμεις. Στο σχήμα φαίνονται οι δυνάμεις $\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$ που δέχονται δύο στοιχειώδη τμήματα που απέχουν $d+\beta/2$ από τον ευθύγραμμο αγωγό και οι οποίες έχουν μέτρα:

$$F_3 = F_4 = B_1 I_2 \beta = k_\mu \frac{2I_1}{d+\beta/2} I_2 \beta$$

Οι δυνάμεις $\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$ έχουν τη διεύθυνση του άξονα $y'y$ και η συνισταμένη τους είναι μηδέν. Σχεδιάζουμε πολλές δυνάμεις στους αγωγούς ΑΓ και ΔΕ και παρατηρούμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από τον ευθύγραμμο αγωγό, μικραίνει το μέτρο των δυνάμεων στα στοιχειώδη τμήματα. Λόγω συμμετρίας, όλες οι δυνάμεις που ασκούνται στα στοιχειώδη τμήματα των ΑΓ και ΔΕ έχουν τη διεύθυνση $y'y$ και θα είναι:

$$\Sigma F_y = 0$$

Επομένως η συνισταμένη δύναμη στο πλαίσιο θα είναι:

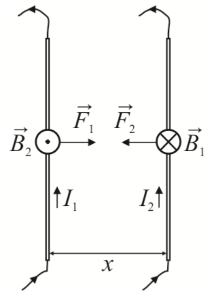
$$\Sigma F = F_1 - F_2 = k_\mu \frac{2I_1}{d} I_2 \alpha - k_\mu \frac{2I_1}{d+\beta} I_2 \alpha = k_\mu 2 I_1 I_2 \alpha \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d+\beta}\right) \Rightarrow$$

$$\Sigma F = k_\mu 2 I_1 I_2 \frac{\alpha\beta}{d(d+\beta)} \Rightarrow \Sigma F = 8 \cdot 10^{-6}\mathrm{N}$$

με κατεύθυνση ομόρροπη της $\vec{F}_1$.

38

Έστω ότι οι αγωγοί διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα. Ο αγωγός I_1 δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, η ένταση του οποίου στην περιοχή του αγωγού I_2 έχει μέτρο:



$$B_1 = k_\mu \frac{2I_1}{x}$$

και κατεύθυνση $\otimes$. Ο αγωγός I_2 δέχεται δύναμη Laplace από το μαγνητικό πεδίο έντασης $\vec{B}_1$ που έχει μέτρο:

$$F_2 = B_1 I_2 l = k_\mu \frac{2I_1}{x} I_2 l$$

και κατεύθυνση όπως στο σχήμα. Ο αγωγός I_2 δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, η ένταση του οποίου στην περιοχή του αγωγού I_1 έχει μέτρο:

$$B_2 = k_\mu \frac{2I_2}{x}$$

και κατεύθυνση $\odot$. Ο αγωγός I_1 δέχεται δύναμη Laplace από το μαγνητικό πεδίο έντασης $\vec{B}_2$ που έχει μέτρο:

$$F_1 = B_2 I_1 l = k_\mu \frac{2I_2}{x} I_1 l$$

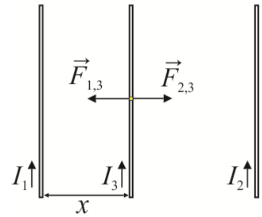
και κατεύθυνση όπως στο σχήμα. Επομένως οι αγωγοί έλκονται με δυνάμεις $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ που αποτελούν ζεύγος δράσης - αντίδρασης και έχουν ίσα μέτρα:

$$F_1 = F_2 = k_\mu \frac{2I_1 I_2}{x} l \Rightarrow F_1 = F_2 = 5 \cdot 10^{-3}\text{N}$$

Όταν οι αγωγοί διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα, με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να δείξουμε ότι απωθούνται. Οι δυνάμεις έχουν τότε αντίθετες κατευθύνσεις, αλλά έχουν ίσα μέτρα, δηλαδή: $F_1 = F_2 = 5 \cdot 10^{-3}$N.

39

Έστω I_3 η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον τρίτο ρευματοφόρο αγωγό. Ο αγωγός αυτός θα έλκεται από τους άλλους δύο με δυνάμεις $\vec{F}_{1,3}$, $\vec{F}_{2,3}$, οι κατευθύνσεις των οποίων φαίνονται στο διπλανό σχήμα. Τα μέτρα των δυνάμεων είναι:



$$F_{1,3} = k_\mu \frac{2I_1 I_3}{x} l \text{ και } F_{2,3} = k_\mu \frac{2I_2 I_3}{r - x} l$$

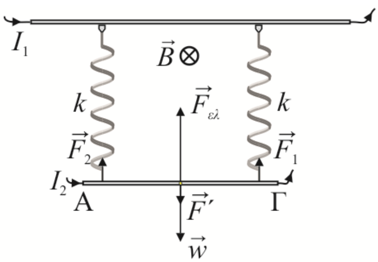
Από την ισορροπία του τρίτου αγωγού προκύπτει:

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow F_{1,3} = F_{2,3} \Rightarrow k_\mu \frac{2I_1 I_3}{x} l = k_\mu \frac{2I_2 I_3}{r - x} l \Rightarrow$$

$$\frac{I_1}{x} = \frac{I_2}{r - x} \Rightarrow \frac{I_1}{x} = \frac{5I_1}{r - x} \Rightarrow 5x = r - x \Rightarrow x = r/6 \Rightarrow x = 2\text{ cm}$$

40

Όταν τα ρεύματα είναι ομόρροπα, τα ελατήρια βρίσκονται στο φυσικό τους μήκος και η ράβδος ισορροπεί υπό την επίδραση του βάρους και της ελκτικής δύναμης μέτρου F από την ακλόνητη ράβδο:



$$\Sigma F = 0 \Rightarrow w = F \Rightarrow w = k_\mu \frac{2I_1 I_2}{l_0} l \Rightarrow w = 2 \cdot 10^{-2}\text{N}$$

Όταν τα ρεύματα είναι αντίρροπα, η δύναμη μεταξύ των ράβδων γίνεται απωστική ενώ στη ράβδο ασκείται επιπλέον η δύναμη των ελατηρίων που έχει συνισταμένη μέτρου:

$$F_{\varepsilon\lambda} = F_1 + F_2 = kx + kx = 2kx$$

Από την ισορροπία της ράβδου έχουμε:

$$F_{\varepsilon\lambda} = w + F' \Rightarrow 2kx = w + k_\mu \frac{2I_1 I_2}{l_0 + x} l \Rightarrow k = \frac{w}{2x} + k_\mu \frac{I_1 I_2}{x(l_0 + x)} l \Rightarrow k = 1{,}8\text{ N/m}$$

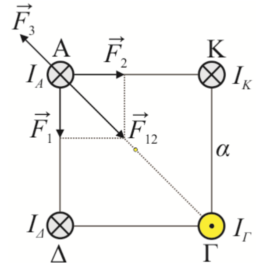
41

Η διαγώνιος του τετραγώνου έχει μήκος $r = \alpha\sqrt{2}$. Οι δυνάμεις που δέχεται ο αγωγός Α από τους άλλους αγωγούς έχουν τις κατευθύνσεις που φαίνονται στο σχήμα και μέτρα:

$$F_1 = k_\mu \frac{2I_A I_\Delta}{\alpha} l = 4 \cdot 10^{-4}\text{N},\ F_2 = k_\mu \frac{2I_A I_K}{\alpha} l = 4 \cdot 10^{-4}\text{N},$$

$$F_3 = k_\mu \frac{2I_A I_\Delta}{r} l = k_\mu \frac{2I_A I_\Delta}{\alpha\sqrt{2}} = \sqrt{2}\cdot 10^{-4}\mathrm{N}$$

Η συνισταμένη των δυνάμεων $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ έχει μέτρο:



$$F_{12} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = 4\sqrt{2}\cdot 10^{-4}\mathrm{N}$$

και είναι αντίρροπη της $\vec{F}_3$. Επομένως η συνισταμένη δύναμη που ασκείται σε κάθε $l = 1$ m του αγωγού Α έχει μέτρο:

$$\Sigma F = F_{12} - F_3 \Rightarrow \Sigma F = 3\sqrt{2}\cdot 10^{-4}\mathrm{N}$$

και διεύθυνση κατά μήκος της διαγωνίου ΑΓ του τετραγώνου με φορά προς το Γ.

42

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς έχει μέτρο:

$$B_0 = k_\mu 4\pi n I \Rightarrow B_0 = 4\pi\cdot 10^{-4}\mathrm{T}$$

Αν στο εσωτερικό του σωληνοειδούς βάλουμε υλικό που έχει μαγνητική διαπερατότητα μ, τότε το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς θα γίνει:

$$B = \mu B_0 \Rightarrow B = 0{,}4\pi\ \mathrm{T}$$

43

Από την εξίσωση ορισμού της μαγνητικής ροής:

$$\Phi = BS\sigma\upsilon\nu\varphi$$

έχουμε σε κάθε περίπτωση:

α. Είναι $\varphi = 0°$, οπότε:

$$\Phi = BS\sigma\upsilon\nu 0° \Rightarrow \Phi = 4\cdot 10^{-3}\mathrm{Wb}$$

β. Είναι $\varphi = 90°$, οπότε:

$$\Phi = BS\sigma\upsilon\nu 90° \Rightarrow \Phi = 0$$

γ. Είναι $\varphi = 60°$, οπότε:

$$\Phi = BS\sigma\upsilon\nu 60° \Rightarrow \Phi = 2\cdot 10^{-3}\mathrm{Wb}$$

44

Από τον νόμο του Faraday έχουμε για τη μέση επαγωγική ΗΕΔ:

$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -5\ \mathrm{V}$$

Το αρνητικό πρόσημο εκφράζει την πολικότητα της επαγωγικής ΗΕΔ και αιτιολογείται από τον κανόνα του Lenz.

45

Από τον νόμο του Faraday έχουμε για τη μέση επαγωγική ΗΕΔ:

$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -1\frac{\Phi - \Phi_0}{\Delta t} = -\frac{0 - BS}{\Delta t} = \frac{B\pi r^2}{\Delta t} \Rightarrow \bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = \pi \cdot 10^{-2}\text{V}$$

46

Από τον νόμο του Faraday έχουμε:

$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -N\frac{S\Delta B}{\Delta t} = -N\pi r^2\frac{\Delta B}{\Delta t}$$

α. Αν το μέτρο της μαγνητικής επαγωγής τετραπλασιαστεί, τότε η μέση ΗΕΔ από επαγωγή είναι:

$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -N\pi r^2\frac{4B - B}{\Delta t} = -N\pi r^2\frac{3B}{\Delta t} \Rightarrow \bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = 4{,}8\text{ V}$$

β. Αν το μέτρο της μαγνητικής επαγωγής υποτετραπλασιαστεί, τότε η μέση ΗΕΔ από επαγωγή είναι:

$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -N\pi r^2\frac{B/4 - B}{\Delta t} = N\pi r^2\frac{3B}{4\Delta t} \Rightarrow \bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = 1{,}2\text{ V}$$

γ. Αν το μέτρο της μαγνητικής επαγωγής αντιστραφεί, τότε η μέση ΗΕΔ από επαγωγή είναι:

$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -N\pi r^2\frac{-B - B}{\Delta t} = N\pi r^2\frac{2B}{\Delta t} \Rightarrow \bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = 3{,}2\text{ V}$$

47

Η μέση επαγωγική ΗΕΔ που αναπτύσσεται στο πηνίο δίνεται από τον νόμο του Faraday:

$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -NS\frac{\Delta B}{\Delta t}$$

Το επαγωγικό ρεύμα που διαρρέει το πηνίο έχει ένταση:

$$I = \frac{\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi}}{NR_1 + R_2} = -\frac{NS}{NR_1 + R_2}\frac{\Delta B}{\Delta t}$$

α. Όταν η ένταση του μαγνητικού πεδίου διπλασιάζεται, τότε $\Delta B = 2B - B = B$ και η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι:

$$I = -\frac{NS}{NR_1 + R_2}\frac{B}{\Delta t} \Rightarrow I = -2 \cdot 10^{-2}\text{A}$$

β. Όταν η ένταση του μαγνητικού πεδίου μηδενίζεται, τότε $\Delta B = 0 - B = -B$ και η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι:

$$I = \frac{NS}{NR_1 + R_2}\frac{B}{\Delta t} \Rightarrow I = 2 \cdot 10^{-2}\text{A}$$

48

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς έχει μέτρο:

$$B = k_\mu 4\pi n I \Rightarrow B = 4\pi \cdot 10^{-4}\text{T}$$

Η μέση επαγωγική ΗΕΔ που αναπτύσσεται στο πηνίο δίνεται από τον νόμο του Faraday:

$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -nl\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Για το ηλεκτρικό φορτίο ισχύει:

$$q = I\Delta t = \frac{\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi}}{R_{o\lambda}}\Delta t$$

α. Αν διακόψουμε το ρεύμα σε χρόνο $\Delta t = 0{,}01$ s, τότε $\Delta\Phi = 0 - BS = -BS$, οπότε έχουμε:

$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = nl\frac{BS}{\Delta t} \Rightarrow \bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = 4\pi \cdot 10^{-2}\mathrm{V}$$

$$q = \frac{\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi}}{R_{o\lambda}}\Delta t \Rightarrow q = \pi \cdot 10^{-5}\mathrm{V}$$

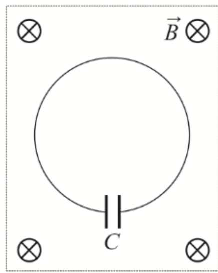
β. Αν βάλουμε μέσα στο σωληνοειδές σιδηρομαγνητικό υλικό που έχει μαγνητική διαπερατότητα $\mu = 2001$ σε χρόνο $\Delta t = 1$ s, τότε $\Delta\Phi = \mu BS - BS = (\mu - 1)BS$, οπότε έχουμε:

$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -nl(\mu - 1)\frac{BS}{\Delta t} \Rightarrow \bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -0{,}8\pi\ \mathrm{V}$$

$$q = \frac{\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi}}{R_{o\lambda}}\Delta t \Rightarrow q = -2\pi \cdot 10^{-2}\mathrm{C}$$

49

α. Η μέση επαγωγική ΗΕΔ που αναπτύσσεται στον δακτύλιο δίνεται από τον νόμο του Faraday:



$$\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -S\frac{\Delta B}{\Delta t} = -\pi r^2\frac{\Delta B}{\Delta t} = -0{,}2\ \mathrm{V}$$

Από τον ορισμό της χωρητικότητας βρίσκουμε το ηλεκτρικό φορτίο του πυκνωτή:

$$C = \frac{Q}{V_C} \Rightarrow Q = CV_C = C|\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi}| \Rightarrow Q = 0{,}4\ \mu C$$

β. Η ενέργεια που αποθηκεύεται στον πυκνωτή δίνεται από τη σχέση:

$$U = \frac{1}{2}CV_C^2 = \frac{1}{2}C(\bar{\mathcal{E}}_{\varepsilon\pi})^2 \Rightarrow U = 4 \cdot 10^{-8}\mathrm{J}$$

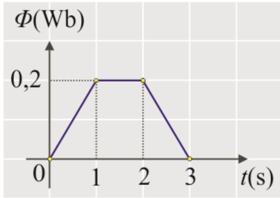
50

Θα υπολογίσουμε το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιώντας τον νόμο του Neumann:

$$q = -N\frac{\Delta\Phi}{R_{o\lambda}} = -N\frac{0 - \Phi}{NR + R_1} = N\frac{BS}{NR + R_1} \Rightarrow B = \frac{q(NR + R_1)}{NS} \Rightarrow B = 1/48\,\mathrm{T}$$

51

Στο χρονικό διάστημα $0 \leq t \leq 1$ s ισχύουν:

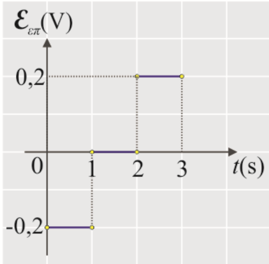


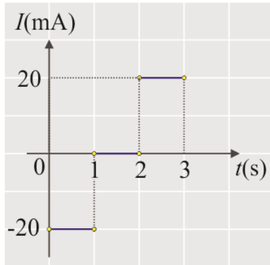
$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{0{,}2}{1} = -0{,}2\ \text{V} \ \text{ και } \ I = \frac{\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}}{R} = \frac{-0{,}2}{10} = -0{,}02\ \text{A}$$

Στο χρονικό διάστημα $1\ \text{s} \leq t \leq 2\ \text{s}$ ισχύουν:

$$\Phi = \text{σταθ.} \Rightarrow \mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = 0\ \text{V} \ \text{ και } \ I = 0$$

Στο χρονικό διάστημα $2\ \text{s} \leq t \leq 3\ \text{s}$ ισχύουν:





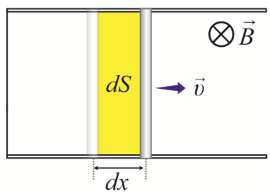
$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{-0{,}2}{1} = 0{,}2\ \text{V} \ \text{ και}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}}{R} = \frac{0{,}2}{10} = 0{,}02\ \text{A}$$

Τα διαγράμματα ηλεκτρεγερτικής δύναμης - χρόνου και επαγωγικού ρεύματος - χρόνου φαίνονται στα διπλανά σχήματα.

52

Θεωρούμε ότι η ράβδος παίρνει μέρος σε κλειστό κύκλωμα, για παράδειγμα όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα. Η κίνηση της ράβδου προκαλεί μεταβολή της μαγνητικής ροής που διέρχεται από το κύκλωμα και έτσι αναπτύσσεται επαγωγική ΗΕΔ. Η επαγωγική ΗΕΔ αναπτύσσεται στα άκρα της ράβδου και έχει μέτρο:

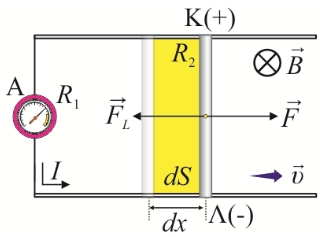


$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = \frac{|d\Phi|}{dt} = \frac{BdS}{dt} = \frac{Bldx}{dt} = Bl\frac{dx}{dt} = Blv \Rightarrow \mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = 4\ \text{V}$$

Ακόμη και ανοικτό κύκλωμα η ΗΕΔ στη ράβδο είναι $\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = 4$ V.

53

α. Σε χρονικό διάστημα dt ο αγωγός έχει διανύσει διάστημα dx αυξάνοντας έτσι το εμβαδόν του κυκλώματος κατά $dS = ldx$. Η μαγνητική ροή που διέρχεται μέσα από το κύκλωμα αυξάνεται κατά:



$$d\Phi = BdS = Bldx$$

Το μέτρο της επαγωγικής ΗΕΔ είναι:

$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{Bldx}{dt} = Blv$$

Η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι:

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}}{R_{o\lambda}} = \frac{Blv}{R_1 + R_2} \Rightarrow I = 0{,}2\ \text{A}$$

β. Η ισχύς που καταναλώνεται στις αντιστάσεις είναι:

$$P_1 = I^2 R_1 \Rightarrow P_1 = 0{,}08\ \mathrm{W} \ \text{ και } \ P_2 = I^2 R_2 \Rightarrow P_1 = 0{,}32\ \mathrm{W}$$

γ. Εφόσον ο αγωγός κινείται με σταθερή ταχύτητα, πρέπει να ασκείται σε αυτόν εξωτερική δύναμη αντίθετη της δύναμης Laplace έτσι ώστε να ισχύει:

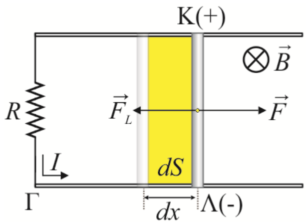
$$\Sigma F = 0 \Rightarrow F - BIl = 0 \Rightarrow F = BIl \Rightarrow F = 0{,}08\ \mathrm{N}$$

δ. Η διαφορά δυναμικού ΚΛ είναι ίση με την τάση στα άκρα του αμπερομέτρου:

$$V_{K\Lambda} = IR_1 \Rightarrow V_{K\Lambda} = 0{,}4\ \mathrm{V}$$

54

Σε χρονικό διάστημα dt η ράβδος έχει διανύσει διάστημα dx αυξάνοντας έτσι το εμβαδόν του κυκλώματος κατά $dS = ldx$. Η μαγνητική ροή στο κύκλωμα μεταβάλλεται και έτσι αναπτύσσεται επαγωγική ΗΕΔ:



$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = \frac{d\Phi}{dt} = B\frac{dS}{dt} = Bl\frac{dx}{dt} = Bl\upsilon$$

Το επαγωγικό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα έχει ένταση:

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}}{R} = \frac{Bl\upsilon}{R}$$

Η ράβδος ΚΛ δέχεται δύναμη Laplace η οποία, σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, θα έχει κατεύθυνση αντίθετη της ταχύτητας, ώστε να αντιστέκεται στην αύξηση της μαγνητικής ροής. Με τον κανόνα δεξιού χεριού βρίσκουμε ότι το ρεύμα διαρρέει τη ράβδο ΚΛ από το Λ προς το Κ. Ισχύει:

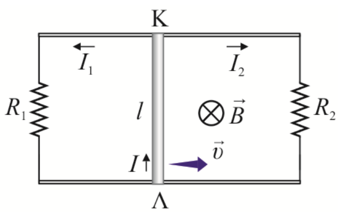
$$F_L = BIl = B\frac{Bl\upsilon}{R}l \Rightarrow F = \frac{B^2 l^2}{R}\upsilon$$

Το μέτρο της δύναμης Laplace αυξάνεται συνέχεια μέχρι να γίνει ίσο με F. Τότε η ράβδος αποκτά οριακή ταχύτητα που υπολογίζεται ως εξής:

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow F_L = F \Rightarrow \frac{B^2 l^2}{R}\upsilon_{o\rho} = F \Rightarrow \upsilon_{o\rho} = \frac{FR}{B^2 l^2} \Rightarrow \upsilon_{o\rho} = 20\ \mathrm{m/s}$$

55

Σε χρονικό διάστημα dt η ράβδος έχει διανύσει διάστημα dx αυξάνοντας έτσι το εμβαδόν του κυκλώματος κατά $dS = ldx$. Η μαγνητική ροή στο κύκλωμα μεταβάλλεται και έτσι αναπτύσσεται επαγωγική ΗΕΔ:



$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = \frac{d\Phi}{dt} = B\frac{dS}{dt} = Bl\frac{dx}{dt} = Bl\upsilon = 2\ \mathrm{V}$$

Οι αντιστάτες R_1, R_2 συνδέονται παράλληλα και έχουν ισοδύναμη αντίσταση:

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 2\ \Omega$$

Από τον νόμο του Ohm βρίσκουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τη ράβδο:

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}}{R_{12} + R_{K\Lambda}} \Rightarrow I = 0{,}5\ \mathrm{A}$$

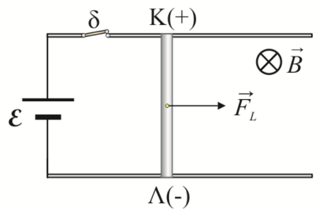
Η τάση στα άκρα του αγωγού ΚΛ είναι:

$$V_{K\Lambda} = IR_{K\Lambda} = 1\ \mathrm{V}$$

Επομένως οι αντιστάτες R_1, R_2 διαρρέονται από ρεύματα με εντάσεις:

$$I_1 = \frac{V_{K\Lambda}}{R_1} \Rightarrow I_1 = \frac{1}{6}\ \mathrm{A} \ \text{ και } \ I_2 = \frac{V_{K\Lambda}}{R_2} \Rightarrow I_2 = \frac{1}{3}\ \mathrm{A}$$

56



Όταν κλείσουμε τον διακόπτη η ράβδος διαρρέεται από ρεύμα και επειδή βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, θα δέχεται δύναμη Laplace. Η δύναμη αυτή επιταχύνει τη ράβδο προκαλώντας μεταβολή στη μαγνητική ροή που διέρχεται από το κύκλωμα. Έτσι αναπτύσσεται επαγωγική ΗΕΔ:

$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = \frac{d\Phi}{dt} = B\frac{dS}{dt} = Bl\frac{dx}{dt} = Blv$$

Το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα έχει ένταση:

$$I = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}_{\varepsilon\pi}}{R} = \frac{\mathcal{E} - Blv}{R}$$

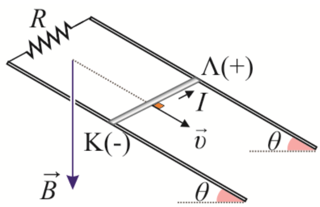
Το μέτρο της δύναμης Laplace είναι:

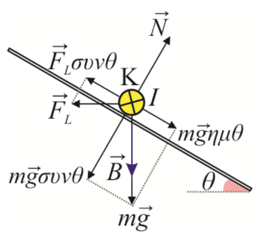
$$F_L = BIl = B\frac{\mathcal{E} - Blv}{R}l$$

και μειώνεται συνεχώς καθώς η ράβδος επιταχύνεται. Η ράβδος αποκτά οριακή ταχύτητα όταν $F_L = 0$. Ισχύει:

$$F_L = 0 \Rightarrow B\frac{\mathcal{E} - Blv_{o\rho}}{R}l = 0 \Rightarrow \mathcal{E} - Blv_{o\rho} = 0 \Rightarrow v_{o\rho} = \frac{\mathcal{E}}{Bl} \Rightarrow v_{o\rho} = 25\ \mathrm{m/s}$$

57





Λόγω της συνιστώσας του βάρους $m\vec{g}\eta\mu\theta$, η ράβδος θα κινηθεί προς τα κάτω. Σε χρονικό διάστημα dt η ράβδος έχει διανύσει διάστημα dx αυξάνοντας έτσι το εμβαδόν του κυκλώματος κατά $dS = ldx$. Η μαγνητική ροή στο κύκλωμα μεταβάλλεται και έτσι αναπτύσσεται επαγωγική ΗΕΔ:

$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}=\frac{d\Phi}{dt}=B\sigma\upsilon\nu\theta\frac{dS}{dt}=B\sigma\upsilon\nu\theta l\frac{dx}{dt}=B\sigma\upsilon\nu\theta l\upsilon$$

Το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα έχει ένταση:

$$I=\frac{\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}}{R_1+R_2}=\frac{B\sigma\upsilon\nu\theta l\upsilon}{R_1+R_2}$$

Το μέτρο της δύναμης Laplace είναι:

$$F_L=BIl=B\frac{B\sigma\upsilon\nu\theta l\upsilon}{R_1+R_2}l=\frac{B^2l^2}{R_1+R_2}\upsilon\sigma\upsilon\nu\theta$$

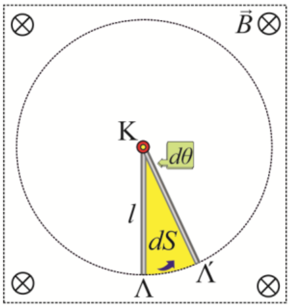
Η ράβδος αποκτά οριακή ταχύτητα όταν $\Sigma F_x=0$. Ισχύει:

$$\Sigma F_x=0\Rightarrow mg\eta\mu\theta-F_L\sigma\upsilon\nu\theta=0\Rightarrow mg\eta\mu\theta-\frac{B^2l^2}{R_1+R_2}\upsilon_{o\rho}\sigma\upsilon\nu^2\theta=0\Rightarrow$$

$$\upsilon_{o\rho}=\frac{(R_1+R_2)mg\eta\mu\theta}{B^2l^2\sigma\upsilon\nu^2\theta}\Rightarrow\upsilon_{o\rho}=4/3\text{ m/s}$$

58

Σε χρόνο dt ο αγωγός περιστρέφεται κατά γωνία $d\theta$ και το εμβαδόν της επιφάνειας που σαρώνει είναι:



$$dS=\frac{1}{2}l^2d\theta$$

Η μαγνητική ροή που διέρχεται από αυτήν την επιφάνεια είναι:

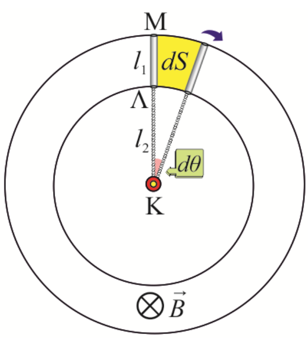
$$d\Phi=BdS=B\frac{1}{2}l^2d\theta$$

Αναπτύσσεται έτσι επαγωγική ΗΕΔ που θα έχει μέτρο:

$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}=\frac{d\Phi}{dt}=\frac{\frac{1}{2}Bl^2d\theta}{dt}=\frac{1}{2}Bl^2\omega\Rightarrow\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}=2{,}12\text{ V}$$

59

Σε χρόνο dt ο αγωγός περιστρέφεται κατά γωνία $d\theta$ και το εμβαδόν της επιφάνειας που σαρώνει είναι:



$$dS=\frac{1}{2}(l_1+l_2)^2d\theta-\frac{1}{2}l_2^2d\theta=\frac{1}{2}(l_1^2+2l_1l_2)d\theta$$

Η μαγνητική ροή που διέρχεται από αυτήν την επιφάνεια είναι:

$$d\Phi=BdS=B\frac{1}{2}(l_1^2+2l_1l_2)d\theta$$

Αναπτύσσεται έτσι επαγωγική ΗΕΔ που θα έχει μέτρο:

$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{B\frac{1}{2}(l_1^2 + 2l_1 l_2)d\theta}{dt} = \frac{1}{2}B(l_1^2 + 2l_1 l_2)\omega \Rightarrow$$

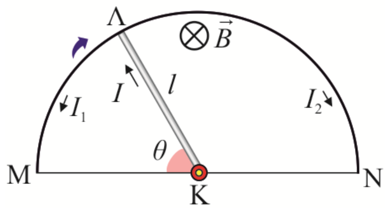
$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = \frac{1}{2}B(l_1^2 + 2l_1 l_2)2\pi f = \pi f B(l_1^2 + 2l_1 l_2) \Rightarrow$$

$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = 10^{-2}\mathrm{V}$$

60

Σε χρόνο dt η ράβδος περιστρέφεται κατά γωνία $d\theta$ αυξάνοντας έτσι το εμβαδόν του κυκλώματος κατά:

$$dS = \frac{1}{2}l^2 d\theta$$



Η μαγνητική ροή στο κύκλωμα μεταβάλλεται και έτσι αναπτύσσεται επαγωγική ΗΕΔ που έχει μέτρο:

$$\mathcal{E}_{\varepsilon\pi} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\frac{1}{2}Bl^2 d\theta}{dt} = \frac{1}{2}Bl^2\omega = \frac{1}{2}Bl^2 2\pi f = \pi f B l^2 = 18\ \mathrm{V}$$

Επειδή η αντίσταση ενός αγωγού είναι ανάλογη του μήκους του, όταν η ράβδος σχηματίζει γωνία $60°$ με την ΚΜ, οι αντιστάσεις των τόξων ΛΜ, ΛΝ είναι αντίστοιχα:

$$R_1 = \frac{1}{3}R = 3\ \Omega \ \text{ και } \ R_2 = \frac{2}{3}R = 6\ \Omega$$

και συνδέονται παράλληλα, οπότε η ισοδύναμη αντίσταση είναι:

$$R_{o\lambda} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 2\ \Omega$$

Επομένως η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τη ράβδο και τους αγωγούς ΚΜ και ΚΝ είναι:

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}}{R_{o\lambda}} \Rightarrow I = 9\ \mathrm{A},\ I_1 = \frac{\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}}{R_1} \Rightarrow I_1 = 6\ \mathrm{A} \ \text{ και } \ I_2 = \frac{\mathcal{E}_{\varepsilon\pi}}{R_2} \Rightarrow I_2 = 3\ \mathrm{A}$$

ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

19

Η παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης στηρίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής. Η περιστροφή ενός αγώγιμου πλαισίου μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο δημιουργεί μια χρονικά μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή μέσα από το πλαίσιο, η οποία παράγει μια ΗΕΔ στο πλαίσιο.

20

Σωστό είναι το **β**.
Η ενεργός τιμή της τάσης δίνεται από τη σχέση:

$$V_{εν} = \frac{V}{\sqrt{2}} = \frac{NωBS}{\sqrt{2}} = \frac{N2πfBS}{\sqrt{2}}$$

Αν αυξηθεί η συχνότητα περιστροφής f, θα αυξηθεί ανάλογα και η ενεργός τάση.

21

α. Σωστό. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα, η φορά του ρεύματος αλλάζει περιοδικά με τον χρόνο.
β. Σωστό. Όταν η τάση στα άκρα ενός αντιστάτη έχει τη μορφή $v = Vημωt$, τότε η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη έχει τη μορφή $i = Iημωt$. Επομένως τάση και ρεύμα έχουν την ίδια συχνότητα ($f = ω/2π$) και βρίσκονται σε φάση (έχουν ίδιο $φ = ωt$).
γ. Λάθος. Η ενεργός τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος δεν αποτελεί τη μέση τιμή της έντασής του. Είναι η τετραγωνική ρίζα της μέσης τετραγωνικής τιμής:

$$I_{εν} = \sqrt{\overline{i^2}}$$

δ. Σωστό. Η θερμότητα σ’ έναν αντιστάτη οφείλεται στις συγκρούσεις των ελευθέρων ηλεκτρονίων με τα ιόντα του μεταλλικού πλέγματος. Αυτές συμβαίνουν τόσο στο συνεχές όσο και στο εναλλασσόμενο ρεύμα.
ε. Λάθος. Στα κυκλώματα με αντιστάτες, το πλάτος του εναλλασσόμενου ρεύματος δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{NωBS}{R}$$

Επομένως το πλάτος του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι χρονικά σταθερό.

22

Το εναλλασσόμενο ρεύμα σε μια κοινή λάμπα πυρακτώσεως μηδενίζεται δύο φορές σε κάθε περίοδο. Άρα η λάμπα αναβοσβήνει με συχνότητα 100 Hz. Το νήμα βολφραμίου μιας τέτοιας λάμπας εκπέμπει φωτεινή ακτινοβολία που σχετίζεται με τη θερμοκρασία του νήματος. Σε μια περίοδο, το νήμα προλαβαίνει να ακτινοβολήσει μικρό μόνο μέρος της φωτεινής ενέργειας και έτσι η θερμοκρασία μεταβάλλεται πολύ λίγο αλλά ταχύτατα γύρω από μια μέση τιμή.

Επομένως η φωτεινή ακτινοβολία της λάμπας μεταβάλλεται με συχνότητα πολύ μεγαλύτερη από τη συχνότητα που μπορεί να γίνει αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι.

23

Σωστό είναι το **γ**.
Η μέση ισχύς που παρέχει η γεννήτρια στον αντιστάτη, η οποία αποδίδεται ως θερμότητα στο περιβάλλον, είναι:

$$P = I_{εν}^2 R$$

Αν η ενεργός τιμή της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος διπλασιαστεί, η μέση ισχύς γίνεται:

$$P' = (2I_{εν})^2 R = 4I_{εν}^2 R = 4P$$

Δηλαδή τετραπλασιάζεται.

24

Σωστό είναι το **α**.
Τα αμπερόμετρα και τα βολτόμετρα που χρησιμοποιούνται στο εναλλασσόμενο ρεύμα δίνουν πάντα τις ενεργές τιμές των αντίστοιχων μεγεθών.

ΛΥΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

46

Το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης που επάγεται στα άκρα του πλαισίου είναι:

$$V = N\omega BS = 311{,}04\ \mathrm{V} = 220\sqrt{2}\ \mathrm{V}$$

Η ενεργός τιμή της εναλλασσόμενης τάσης είναι:

$$V_{\varepsilon\nu} = \frac{V}{\sqrt{2}} \Rightarrow V_{\varepsilon\nu} = 220\ \mathrm{V}$$

Η μεγαλύτερη τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα είναι:

$$I = \frac{V}{R_{o\lambda}} = \frac{V}{R_1 + R} \Rightarrow I = 2\sqrt{2}\ \mathrm{A}$$

47

Το εμβαδόν της επιφάνειας που περικλείει το πλαίσιο είναι:

$$S = 50\ \mathrm{cm} \times 20\ \mathrm{cm} = 0{,}1\ \mathrm{m}^2$$

Η γωνιακή συχνότητα περιστροφής του πλαισίου είναι:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 900\ \text{στροφές}/60\ \mathrm{s} = 30\pi\ \mathrm{rad/s}$$

Η μέγιστη τιμή της τάσης που παράγει το πλαίσιο είναι:

$$V = N\omega BS \Rightarrow V = 6\pi\ \mathrm{V}$$

48

Η θερμική ισχύς που καταναλώνεται στον αντιστάτη R όταν συνδέεται με πηγή συνεχούς τάσης είναι:

$$P_\Sigma = \frac{V_\Sigma^2}{R}$$

Η μέση ισχύς που καταναλώνεται στον αντιστάτη $2R$ όταν συνδέεται με πηγή εναλλασσόμενης τάσης είναι:

$$P = \frac{V_{\varepsilon\nu}^2}{2R}$$

Ισχύει:

$$P = P_\Sigma \Rightarrow \frac{V_{\varepsilon\nu}^2}{2R} = \frac{V_\Sigma^2}{R} \Rightarrow V_{\varepsilon\nu}^2 = 2V_\Sigma^2 \Rightarrow V_{\varepsilon\nu} = \sqrt{2}V_\Sigma \Rightarrow \frac{V}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}V_\Sigma \Rightarrow$$

$$V = 2V_\Sigma \Rightarrow V = 200\ \mathrm{V}$$

49

Από την εξίσωση της εναλλασσόμενης τάσης $\upsilon = 100\sqrt{2}\eta\mu 100\pi t$ (SI) προκύπτουν τα εξής:

$$V = 100\sqrt{2}\,\text{V} \;\text{ και }\; \omega = 100\pi \text{ rad}/s$$

Η ενεργός τιμή της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι:

$$I_{εν} = \frac{V_{εν}}{R} = \frac{V}{\sqrt{2}R} = 2 \text{ A}$$

Η περίοδος είναι:

$$T = 2\pi/\omega = 1/50 \text{ s}$$

Επειδή $\Delta t \gg T$, το ποσό θερμότητας που παράγεται στον αγωγό σε χρόνο Δt μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$Q = I_{εν}^2 R\Delta t \Rightarrow Q = 1{,}2 \cdot 10^4 \text{J}$$

50

α. Επειδή το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι της μορφής $i = I\eta\mu\omega t$, με γωνιακή συχνότητα $\omega = 314$ rad/s ή $\omega = 100\pi$ rad/s, η εναλλασσόμενη τάση στα άκρα του αντιστάτη θα είναι της μορφής:

$$v = V\eta\mu\omega t$$

Η μέση ισχύς που καταναλώνεται στον αντιστάτη είναι:

$$P = V_{εν} I_{εν} = VI/2$$

και η στιγμιαία ισχύς είναι:

$$p = vi = VI\eta\mu^2\omega t = 2P\eta\mu^2\omega t$$

Τη χρονική στιγμή $t_1 = 5 \cdot 10^{-3}$s είναι:

$$p = 2P\eta\mu^2\omega t_1 = 200\eta\mu^2(\pi/2) \Rightarrow p = 200 \text{ W}$$

β. Ισχύει:

$$I_{εν} = \frac{I}{\sqrt{2}} \Rightarrow I = I_{εν}\sqrt{2}$$

Η ένταση του εναλλασσόμενου ρεύματος έχει χρονική εξίσωση:

$$i = I\eta\mu\omega t = I_{εν}\sqrt{2}\eta\mu\omega t \Rightarrow i = 0{,}4\sqrt{2}\eta\mu 100\pi t \text{ (SI)}$$

Τη χρονική στιγμή $t_2 = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$s η ένταση του ρεύματος είναι:

$$i = 0{,}4\sqrt{2}\eta\mu 100\pi t_2 = 0{,}4\sqrt{2}\eta\mu(\pi/4) = 0{,}4 \text{ A}$$

Από τη μέση ισχύ υπολογίζουμε την τιμή της αντίστασης:

$$P = I_{εν}^2 R \Rightarrow R = \frac{P}{I_{εν}^2} = 625\ \Omega$$

Επομένως η τιμή της τάσης τη χρονική στιγμή t_2 είναι:

$$v = iR \Rightarrow v = 250 \text{ V}$$

51

Από την εξίσωση της εναλλασσόμενης τάσης $\upsilon = 80\sqrt{2}\eta\mu 100t$ (SI) προκύπτει ότι το πλάτος της τάσης είναι ίσο με

$$V = 80\sqrt{2}\ \mathrm{V}$$

Η ενεργός τιμή της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι:

$$I_{\varepsilon\nu} = \frac{V_{\varepsilon\nu}}{R} = \frac{V}{\sqrt{2}R} = 2\ \mathrm{A}$$

Η μέση ισχύς που καταναλώνει η λάμπα είναι:

$$P = I_{\varepsilon\nu}^2 R \Rightarrow P = 160\ \mathrm{W}$$

Το τεύχος αυτό περιλαμβάνει:

- Αναλυτικές απαντήσεις των ερωτήσεων του Σχολικού Βιβλίου
- Αναλυτικές λύσεις των προβλημάτων του Σχολικού Βιβλίου

Δίνεται Δωρεάν