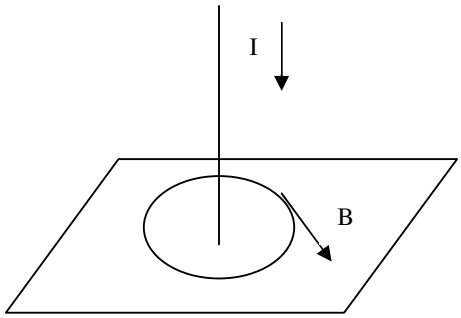
ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Μαγνητικό πεδίο είναι ο χώρος που έχει την ιδιότητα να ασκεί μαγνητικές δυνάμεις σε κατάλληλο υπόθεμα (μαγνήτες, ρευματοφόροι αγωγοί) .
Το μαγνητικό πεδίο το ανιχνεύουμε με την βοήθεια μιας μαγνητικής βελόνας .
Η ένταση του μαγνητικού πεδίου B ή η μαγνητική επαγωγή όπως αλλιώς την λέμε , εκφράζει το πόσο ισχυρό ή πόσο ασθενές είναι το μαγνητικό πεδίο .
Δυναμική γραμμή του μαγνητικού πεδίου είναι η γραμμή η οποία σε κάθε σημείο της η ένταση του μαγνητικού πεδίου B είναι εφαπτόμενη σ' αυτή. Οι δυναμικές γραμμές δεν τέμνονται και η πυκνότητά τους εκφράζει την ένταση του μαγνητικού πεδίου B .
Ομογενές μαγνητικό πεδίο λέγεται το πεδίο στο οποίο η ένταση του μαγνητικού πεδίου B είναι ίδια σ' όλα τα σημεία του. Στο ομογενές μαγνητικό πεδίο οι δυναμικές γραμμές είναι παράλληλες και ισαπέχουσες .
Οι ρευματοφόροι αγωγοί δημιουργούν μαγνητικό πεδίο γύρω τους το οποίο είναι ανάλογο του ρεύματος που διαρρέει τον ρευματοφόρο αγωγό.

Μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού.



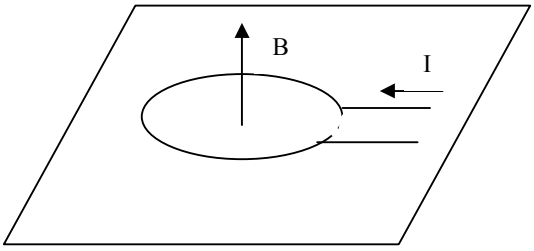
Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού απείρου μήκους είναι ομόκεντροι κύκλοι, κάθετοι στον αγωγό. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου B σε απόσταση r από τον αγωγό είναι εφαπτόμενη στις δυναμικές γραμμές , η φορά της καθορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού και το μέτρο της δίνεται από την σχέση :

$$B = \frac{\mu_O I}{2\pi r}$$

όπου μ_O η μαγνητική διαπερατότητα του κενού με τιμή : $\mu_O = 4\pi 10^{-7} \frac{Tm}{A}$

I η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό
r η απόσταση από τον αγωγό.

Μαγνητικό πεδίο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού.



Η ένταση του μαγνητικού πεδίου κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού στο κέντρο του είναι κάθετη στον αγωγό, η φορά της καθορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού και το μέτρο της δίνεται από την σχέση : $B = \frac{\mu_O I}{2r}$.
Όπου r η ακτίνα του κυκλικού αγωγού.

Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς.

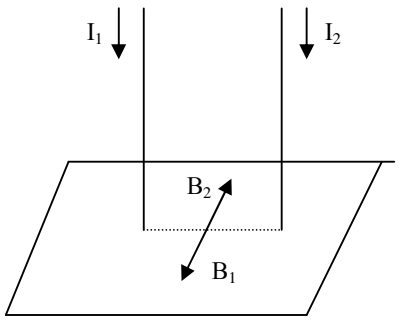
Η ένταση του μαγνητικού πεδίου σωληνοειδούς δίνεται από την σχέση : $B = \frac{\mu_O IN}{L}$.

Όπου μ_O μαγνητική διαπερατότητα του κενού.
I η ένταση του ρεύματος
N ο αριθμός των σπειρών
L το μήκος του σωληνοειδούς.

Παράδειγμα 1.

Δύο παράλληλοι ευθύγραμμοι αγωγοί απείρου μήκους διαρρέονται από ρεύματα I_1=10 A και I_2=20 A. Οι αγωγοί απέχουν μεταξύ τους 2 cm . Να βρεθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο μέσο της απόστασης των δύο αγωγών όταν α) τα ρεύματα είναι ομόρροπα , β) όταν είναι αντίρροπα .

Λύση



Η ένταση του πεδίου στο μέσο των δύο αγωγών βρίσκεται από την επαλληλία των εντάσεων B_1 , B_2 που προέρχονται από τον κάθε αγωγό ξεχωριστά. $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$

α) Όταν οι αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα I_1=10 A και I_2=20 A που είναι ομόρροπα , οι εντάσεις του μαγνητικού πεδίου στο μέσο της μεταξύ τους απόσταση B_1 , B_2 από τους δύο αγωγούς είναι αντίρροπες οπότε έχουμε :

$$B = B_1 - B_2 \Rightarrow B = \frac{\mu_O I_1}{1\pi r} - \frac{\mu_O I_2}{2\pi r} \Rightarrow B = \frac{\mu_O (I_1 - I_2)}{2\pi r} \Rightarrow B = \frac{4\pi 10^{-7}(10-20)}{2\pi 10^{-2}} \Rightarrow$$

$$B = -2 \cdot 10^{-4}\,T.$$

Δηλαδή η ένταση του μαγνητικού πεδίου B έχει φορά αντίθετη της B_1 .

β)) Όταν οι αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα I_1=10 A και I_2=20 A που είναι αντίρροπα , οι εντάσεις του μαγνητικού πεδίου B_1 , B_2 στο μέσο της απόσταση από τους δύο αγωγούς είναι ομόρροπες οπότε έχουμε :

$$B = B_1 + B_2 \Rightarrow B = \frac{\mu_O I_1}{1\pi r} + \frac{\mu_O I_2}{2\pi r} \Rightarrow B = \frac{\mu_O (I_1 + I_2)}{2\pi r} \Rightarrow B = \frac{4\pi 10^{-7}(10+20)}{2\pi 10^{-2}} \Rightarrow$$

$$B = 6 \cdot 10^{-4}\,T$$

Παράδειγμα 2.

Ένα σύρμα μήκους L=4π^2 m έχει αντίσταση R=16 Ω . Συνδέεται με πηγή ΗΕΔ E=100 V και r=4 Ω . Βρείτε την ένταση του μαγνητικού πεδίου αν
α) καμπυλώσουμε το σύρμα και φτιάξουμε έναν κύκλο ,
β) καμπυλώσουμε το σύρμα και φτιάξουμε πέντε κύκλους.

Λύση

Η ένταση I του ρεύματος που διαρρέει το σύρμα είναι : $I = \frac{E}{R_{ολ.}} \Rightarrow I = \frac{100}{16+4} \Rightarrow I = 5A$

α) Η ακτίνα του κύκλου είναι : $r_1 = \frac{L}{2\pi} \Rightarrow r_1 = \frac{4\pi^2}{2\pi} \Rightarrow r_1 = 2\pi m$.

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του κυκλικού αγωγού είναι :

$$B = \frac{\mu_O I}{2r_1} \Rightarrow B = \frac{4\pi 10^{-7} 5}{2 \cdot 2\pi} \Rightarrow B = 5 \cdot 10^{-7}\,T.$$

β) Όταν με το σύρμα κάνουμε 5 κύκλους τότε η ακτίνα του κάθε κύκλου είναι :

$$r_2 = \frac{\frac{L}{5}}{2\pi} \Rightarrow r_2 = \frac{\frac{4\pi^2}{5}}{2\pi} \Rightarrow r_2 = 0{,}4\pi m.$$

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο των πέντε κυκλικών αγωγών είναι :

$$B = \frac{N\mu_O I}{2r_2} \Rightarrow B = \frac{5 \cdot 4\pi 10^{-7} 5}{2 \cdot 0{,}4\pi} \Rightarrow B = 125 \cdot 10^{-7}\,T.$$

Παράδειγμα 3.

Σωληνοειδές μήκους L = π m με αριθμό σπειρών N=100 , συνδέεται με πηγή ΗΕΔ E=50V και εσωτερικής αντίστασης r=1 Ω . Αν κάθε σπείρα έχει αντίσταση 0,09 Ω , να βρείτε την ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του.

Λύση.

Η συνολική αντίσταση του σωληνοειδούς είναι : $R = 100 \cdot 0{,}09 \Rightarrow R = 9\Omega.$.

Η ένταση I του ρεύματος που διαρρέει το σωληνοειδές είναι :

$$I = \frac{E}{R_{ολ.}} \Rightarrow I = \frac{50}{9+1} \Rightarrow I = 5A.$$

Η ένταση B του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς είναι :

$$B = \frac{\mu_O IN}{L} \Rightarrow B = \frac{4\pi 10^{-7} 5}{\pi} \Rightarrow B = 2 \cdot 10^{-4}\,T.$$

Παράδειγμα 4.

Σύρμα αντίστασης R=3Ω , το τυλίγουμε ώστε να δημιουργηθεί σωληνοειδές με μήκος L=40 cm και 500 σπείρες . Το συνδέουμε με πηγή ΗΕΔ E=32 V και εσωτερικής αντίστασης r=1 Ω . Βρείτε την ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του.

Λύση.

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα είναι :

$$I = \frac{E}{R+r} \Rightarrow I = \frac{32}{3+1} \Rightarrow I = 8A.$$

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς είναι :

$$B = \frac{\mu_O IN}{L} \Rightarrow B = \frac{4\pi 10^{-7} 8 \cdot 500}{0{,}4} \Rightarrow B = 4\pi 10^{-3}\,T.$$

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου έχει διεύθυνση παράλληλη με τον άξονα του σωληνοειδούς και φορά που καθορίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού .

Δύναμη Laplace. (F = B I L ημφ)

Όταν ένας ρευματοφόρος αγωγός βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, ασκείται πάνω του ηλεκτρομαγνητική δύναμη από το πεδίο. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη της έντασης του μαγνητικού πεδίου , ανάλογη του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό, ανάλογη του μήκους του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο πεδίο και εξαρτάται από την γωνία που σχηματίζει ο αγωγός με τις δυναμικές γραμμές . Η διεύθυνσή της είναι κάθετη στα διανύσματα της έντασης του μαγνητικού πεδίου B και της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό I και η φορά της καθορίζεται με τον κανόνα των τριών δακτύλων.

Παράδειγμα 5.

Αγωγός μήκους L=10 cm διαρρέεται από ρεύμα έντασης I=10A και βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο ένταση B=0,2 T. Υπολογίστε τη δύναμη που δέχεται ο αγωγός όταν :

α) είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές

β) είναι παράλληλος στις δυναμικές γραμμές

γ) σχηματίζει γωνία 30° με τις δυναμικές γραμμές.

Λύση

α) Όταν ο αγωγός είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές έχουμε :

$$F_L = BIL \Rightarrow F_L = 0,2 \cdot 10 \cdot 0,1 \Rightarrow F_L = 0,2N.$$

β) Όταν ο αγωγός είναι παράλληλος με τις δυναμικές γραμμές , δεν ασκείται πάνω του καμία δύναμη . (ημ $0^o = 0$)

γ)) Όταν ο αγωγός σχηματίζει γωνία 30° με τις δυναμικές γραμμές έχουμε :

$$F_L = BIL\eta\mu\phi \Rightarrow F_L = 0,2 \cdot 10 \cdot 0,1 \cdot \eta\mu 30^o \Rightarrow F_L = 0,1N .$$

Παράδειγμα 6.

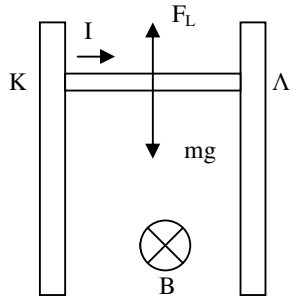
Ευθύγραμμο σύρμα μήκους L=40 cm και μάζας m = 80 g διαρρέεται από ρεύμα I=4 A . Το σώμα ισορροπεί σε οριζόντια θέση και σε διεύθυνση κάθετη στις δυναμικές γραμμές οριζόντιου ομογενούς μαγνητικού πεδίου . Υπολογίστε το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου.

Λύση

Για να ισορροπεί το σύρμα πρέπει :

$$F_L = B \Rightarrow BIL = mg \Rightarrow B = \frac{mg}{IL} \Rightarrow B = \frac{0,08 \cdot 10}{4 \cdot 0,4} \Rightarrow B = 0,5T.$$

Παράδειγμα 7.



Οριζόντια ράβδος ΚΛ , μάζας m=2 Kg , μήκους L=1m βρίσκεται μέσα σε οριζόντιο ομογενές μαγνητικό πεδίο B και διαρρέεται από ρεύμα έντασης I=10 A . Αν η ράβδος γλιστρά χωρίς τριβές στα δύο κατακόρυφα σύρματα , βρείτε την επιτάχυνση με την οποία κινείται η ράβδος και την ταχύτητά της 4 sec μετά από την στιγμή που θα την αφήσουμε .
Δίνονται B=1T , g=10 m/s^2 .

Λύση

Οι δυνάμεις που ασκούνται στη ράβδο είναι το βάρος της mg και η δύναμη Laplace F_L . Εφαρμόζουμε τον 2^O νόμο του Νεύτωνα και παίρνουμε :

$$\Sigma F = ma \Rightarrow mg - BIL = ma \Rightarrow a = \frac{mg - BIL}{m} \Rightarrow a = \frac{2 \cdot 10 - 1 \cdot 10 \cdot 1}{2} \Rightarrow a = 5m/s^2 \cdot$$

Η ταχύτητα μετά από 4 sec είναι :

$$u = at \Rightarrow u = 5 \cdot 4 \Rightarrow u = 20m/s .$$

Μαγνητική ροή

Η μαγνητική ροή που περνάει από μια επιφάνεια εμβαδού S ορίζεται ως το γινόμενο της έντασης του μαγνητικού πεδίου B επί το εμβαδόν της επιφάνειας S επί το συνημίτονο της γωνίας φ που σχηματίζει η κάθετη στην επιφάνεια με τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου.
Φ=Bsσυνφ.
Η μαγνητική ροή είναι μονόμετρο μέγεθος.
Μονάδα μέτρησης είναι το 1 Wb. (1Wb= $1Tm^2$).

Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.

Η μεταβολή της μαγνητικής ροής που περνά από έναν αγωγό δημιουργεί ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή στα άκρα του αγωγού.
Η ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που δημιουργείται σε ένα πηνίο, είναι ανάλογη με τον ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής που περνά από το πηνίο και ανάλογη με τον αριθμό των σπειρών N του πηνίου.

$$E = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Κανόνας του Lenz.

Το επαγωγικό ρεύμα που δημιουργείται σ' ένα πηνίο έχει τέτοια φορά ώστε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί να αντιτίθεται στο αίτιο που το προκάλεσε.

Παράδειγμα 8.

Τετράγωνο πλευράς α=10 cm βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης B=0,2 T. Υπολογίστε τη μαγνητική ροή που περνά από το πλαίσιο όταν :
α) είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές ,
β) σχηματίζει γωνία φ=30° με τις δυναμικές γραμμές,
γ) είναι παράλληλο με τις δυναμικές γραμμές.

Λύση.

α) όταν το πλαίσιο είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές τότε έχουμε :

$$\Phi = BS \Rightarrow \Phi = B\alpha^2 \Rightarrow \Phi = 0{,}2 \cdot 0{,}1^2 \Rightarrow \Phi = 2 \cdot 10^{-3}\,\text{Wb}.$$

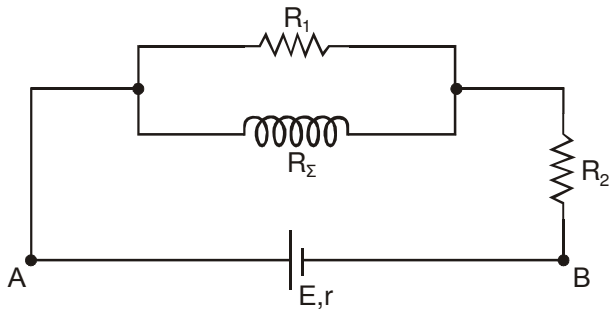
β) όταν το πλαίσιο σχηματίζει γωνία 30° με τις δυναμικές γραμμές , τότε η κάθετη στο πλαίσιο σχηματίζεί γωνία φ=60° με τις δυναμικές γραμμές και παίρνουμε :

$$\Phi = BS\sigma\upsilon\nu\phi \Rightarrow \Phi = B\alpha^2\sigma\upsilon\nu\phi \Rightarrow \Phi = 0{,}2 \cdot 0{,}1^2 0{,}5 \Rightarrow \Phi = 10^{-3}\,\text{Wb}.$$

γ) Όταν το πλαίσιο είναι παράλληλο στις δυναμικές γραμμές η μαγνητική ροή που περνά από το πλαίσιο είναι 0.

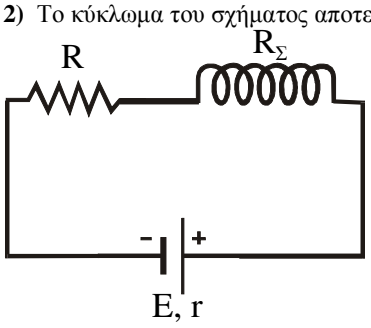
Ασκήσεις.

1) Δίνεται το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος.
Ο αντιστάτης R_1 έχει αντίσταση 60 Ω και το σωληνοειδές έχει αντίσταση R_Σ = 20 Ω. Το σωληνοειδές έχει μήκος *l*=1m και 1000 σπείρες. Το κύκλωμα περιλαμβάνει επίσης τον αντιστάτη R_2 με αντίσταση



10 Ω και πηγή με ηλεκτρεγερτική δύναμη E=120 V και εσωτερική αντίσταση r = 5 Ω. Να υπολογίσετε:
α) την ισοδύναμη αντίσταση του τμήματος ΑΒ του εξωτερικού κυκλώματος
β) την ένταση του ρεύματος που διαρρέει την πηγή
γ) την ισχύ που καταναλώνεται στον αντιστάτη R_1
δ) το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς.

2) Το κύκλωμα του σχήματος αποτελείται από πηγή με ηλεκτρεγερτική δύναμη 20V και εσωτερική



αντίσταση 2Ω, αντιστάτη αντίστασης 4Ω και σωληνοειδές που έχει μήκος 0,2m και 1000 σπείρες. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του σωληνοειδούς είναι 4π 10^{-3} T.
Α. Να υπολογιστούν:
α). Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

β). Η αντίσταση του σωληνοειδούς R_{Σ}.
γ). Η ισχύς που καταναλώνεται στον αντιστάτη R.
Β. Κόβουμε το σωληνοειδές στη μέση (500 σπείρες) και τοποθετούμε το ένα κομμάτι στη θέση του αρχικού. Να βρεθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του σωληνοειδούς, του νέου κυκλώματος.