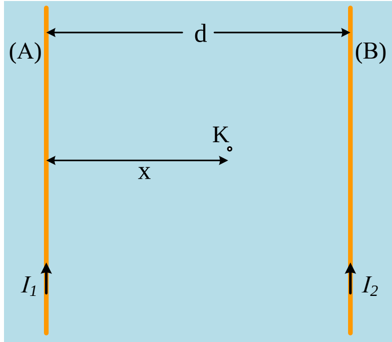
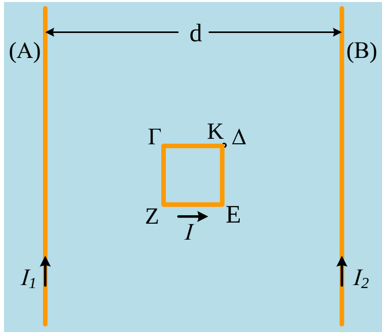
1) Σε λείο οριζόντιο επίπεδο έχουμε δύο παράλληλους οριζόντιους ευθύγραμμους αγωγούς (Α) και (Β), πολύ μεγάλου μήκους σε απόσταση d=0,5m, οι οποίοι διαρρέονται από ρεύματα με εντάσεις I_1=12 A και I_2=8 A, όπως στο σχήμα.



i) Αν η ένταση του μαγνητικού πεδίου σε ένα σημείο Κ του επιπέδου μεταξύ των δύο αγωγών είναι μηδενική, να βρεθεί η απόστασή του x από τον πρώτο αγωγό.

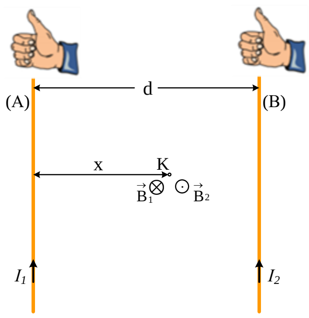
Στο ίδιο επίπεδο τοποθετούμε ένα αγώγιμο τετράγωνο πλαίσιο ΓΔΕΖ πλευράς α=0,1m, όπου η κορυφή Δ τοποθετείται στο σημείο Κ με την πλευρά ΔΕ παράλληλη στους δύο αγωγούς.



ii) Αν το πλαίσιο διαρρέεται από ρεύμα έντασης Ι=3 Α, με φορά από την κορυφή Ζ στην κορυφή Ε, να βρεθεί η συνολική δύναμη Laplace που ασκείται στο πλαίσιο, από το σύνθετο μαγνητικό πεδίο των δύο παράλληλων αγωγών.

iii) Αν απομακρύνουμε από την περιοχή τον αγωγό (Β) η δύναμη στο πλαίσιο από το μαγνητικό πεδίο, θα αυξηθεί ή θα μειωθεί;

Απάντηση:

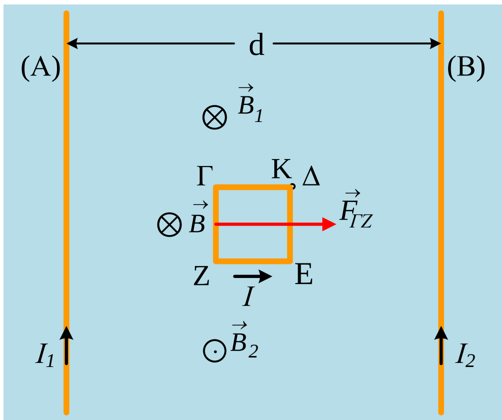


i) Στο χώρο γύρω από κάθε ευθύγραμμο αγωγό δημιουργείται μαγνητικό πεδίο, με δυναμικές ομόκεντρους κύκλους, σε κάθετο προς τον αγωγό επίπεδο. Έτσι με τη βοήθεια του δεξιού χεριού, βρίσκουμε ότι στο σημείο Κ, στο επίπεδο που ορίζουν οι δύο αγωγοί, ο πρώτος αγωγός (Α) δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, η ένταση του οποίου B_1, είναι κάθετη στο επίπεδο με φορά προς τα μέσα, ενώ αντίθετα ο δεύτερος αγωγός (Β) δημιουργεί μαγνητικό πεδίο με ένταση B_2, η οποία έχει φορά προς τα έξω, όπως στο σχήμα. Για να έχουμε μηδενική ένταση στο Κ, θα πρέπει λοιπόν τα μέτρα των δύο παραπάνω διανυσμάτων, να είναι ίσα. Αν λοιπόν x η απόσταση του Κ από τον (Α) αγωγό, θα έχουμε:

$$B_1 = B_2 \rightarrow k_\mu \frac{2I_1}{x} = k_\mu \frac{2I_2}{d-x} \rightarrow \frac{I_1}{x} = \frac{I_2}{d-x} \rightarrow$$

$$\frac{12}{x} = \frac{8}{0,5-x} \rightarrow x = 0,3m$$

ii) Προηγουμένως βρήκαμε ότι στο σημείο Κ, το οποίο απέχει κατά 0,3m από τον αγωγό (Α) η ένταση του (σύνθετου) μαγνητικού πεδίου μηδενίζεται. Αλλά αυτό δεν ισχύει μόνο για το σημείο Κ, αλλά για κάθε σημείο που απέχει κατά 0,3m από τον (Α). Συνεπώς σε όλα τα σημεία της πλευράς ΔΕ του τετράγωνου πλαισίου που θα τοποθετηθεί μέσα στο πεδίο, θα έχουμε μηδενική ένταση.



Αλλά τότε στην πλευρά ΔΕ δεν πρόκειται να ασκηθεί κάποια δύναμη, εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου των δύο αγωγών.

Όλα τα σημεία της πλευράς ΓΖ, απέχουν την ίδια απόσταση από τον αγωγό (Α), με αποτέλεσμα η ένταση του μαγνητικού του πεδίου B_1, κάθετη στο επίπεδο του σχήματος με φορά προς τα μέσα, να έχει μέτρο:

$$B_1 = k_\mu \frac{2I_1}{r_1} = k_\mu \frac{2I_1}{x-a} \rightarrow$$

$$B_1 = k_\mu \frac{2I_1}{x-a} = 10^{-7} \frac{2 \cdot 12}{0,3-0,1} T = 1,2 \cdot 10^{-5} T$$

Με την ίδια λογική η ένταση του μαγνητικού πεδίου B_2 εξαιτίας του (Β) αγωγού, κάθετη στο επίπεδο με φορά προς τα έξω, έχει μέτρο:

$$B_2 = k_\mu \frac{2I_2}{r_2} = k_\mu \frac{2I_2}{d-x+a} \rightarrow$$

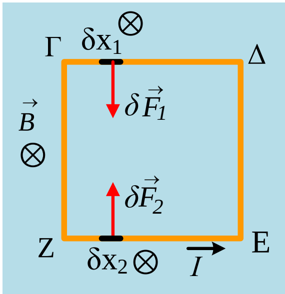
$$B_2 = k_\mu \frac{2I_2}{d-x+a} = 10^{-7}\frac{2\cdot 8}{0{,}5-0{,}3+0{,}1}T = \frac{1{,}6}{3}\cdot 10^{-5}T$$

Με βάση τις παραπάνω τιμές, βλέπουμε ότι η συνολική ένταση του μαγνητικού πεδίου των δύο ευθύγραμμων αγωγών στα σημεία που βρίσκεται η πλευρά ΓΖ του πλαισίου, έχει φορά προς τα μέσα και μέτρο:

$$B=B_1-B_2=\frac{2}{3}\cdot 10^{-5}T$$

Συνεπώς, με την βοήθεια των τριών δακτύλων, βρίσκουμε ότι στην πλευρά ΓΖ ασκείται δύναμη πάνω στο επίπεδο, κάθετη στην πλευρά, στο μέσον της με μέτρο:

$$F_{ΓΖ}=B\cdot I\cdot \ell=\frac{2}{3}\cdot 10^{-5}\cdot 3\cdot 0{,}1N = 2\cdot 10^{-5}N \ (1)$$



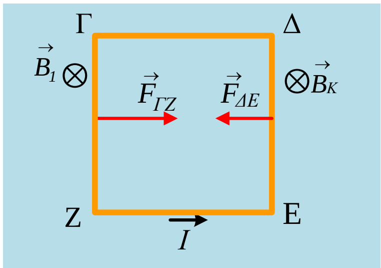
Σε κάθε σημείο των πλευρών ΓΔ και ΕΖ η ένταση του μαγνητικού πεδίου, είναι κάθετη στο επίπεδο, με φορά προς τα μέσα (γιατί;) και αν πάρουμε δύο (ίσα) απειροελάχιστα τμήματα των πλευρών αυτών, τα δx_1 και δx_2 τα οποία να ισαπέχουν από τις κορυφές Γ και Ζ, τότε τα τμήματα αυτά δέχονται δυνάμεις Laplace με φορά όπως στο σχήμα και με ίσα μέτρα:

$$\delta F_1=\delta F_2=B_i\cdot I\cdot \delta x$$

αφού και οι δύο εντάσεις έχουν ίσα μέτρα (απέχουν τις ίδιες αποστάσεις από τους αγωγούς). Αλλά τότε η συνισταμένη των δF_1 και δF_2 είναι μηδενική, όπως μηδενική θα είναι και η συνισταμένη για κάθε άλλο αντίστοιχο ζευγάρι μηκών δx. Συμπέρασμα: Και η συνολική δύναμη που ασκείται στην πλευρά ΓΔ θα είναι αντίθετη από την αντίστοιχη δύναμη στην ΕΖ, με αποτέλεσμα η συνισταμένη τους να είναι μηδενική.

Έτσι όμως δεν μένει, παρά η δύναμη $F_{ΓΖ}$ να ονομαστεί!!! και συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο πλαίσιο.

iii) Με βάση τα παραπάνω, εστιάζουμε ξανά στις πλευρές ΓΖ και ΔΕ, αφού η συνισταμένη των δυνάμεων στις άλλες δύο πλευρές είναι μηδενική. Οι δυνάμεις έχουν τις φορές που έχουν σημειωθεί στο σχήμα, με μέτρα:



$$F_{ΓΖ}=B_1\cdot I\cdot \alpha= 1{,}2\cdot 10^{-5}\cdot 3\cdot 0{,}1N=3{,}6\cdot 10^{-6}N$$

$$F_{ΔΕ} = B_K I\alpha = k_\mu \frac{2I_1}{x} I\alpha \rightarrow$$

$$F_{ΔΕ} = k_\mu \frac{2I_1}{x} I\alpha = 10^{-7}\frac{2\cdot 12}{0{,}3}3\cdot 0{,}1N = 2{,}4\cdot 10^{-6}N$$

Οπότε:

$$\Sigma F= F_{ΓΖ}-F_{ΔΕ}= (3{,}6-2{,}4)\cdot 10^{-6}N= 1{,}2\cdot 10^{-6}N \ \ (2)$$

Με φορά προς τα δεξιά.

Από τη σύγκριση των τιμών (1) και (2), προκύπτει ότι η συνισταμένη στο πλαίσιο μίκρυνε.