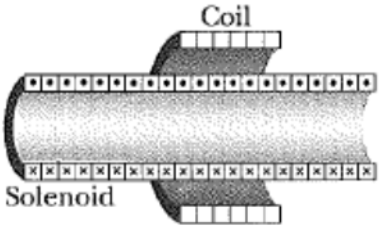
Κυκλικό πηνίο με 100 σπείρες και αντίσταση =5 Ω, τοποθετείται γύρω από σωληνοειδές όπως στο σχήμα. Το σωληνοειδές έχει 200 σπ./cm και διάμετρο d=3 cm. Το ρεύμα του σωληνοειδούς μεταβάλλεται από 1,5 A σε 0 A, σε χρόνο Δt=0,05 s. Πόσο ρεύμα περνά το πηνίο;



Η μαγνητική ροή που περνά μέσα από το πηνίο είναι η ροή που δημιουργείται από το σωληνοειδές.
Η μαγνητική ροή στο εσωτερικό του σωληνοειδούς είναι:

$$\Phi_{\mathrm{B}} = \left(\mu_0 \frac{N}{l} \mathrm{I}\right) \mathrm{A}_\sigma$$

όπου A_σ η επιφάνεια του σωληνοειδούς και I το ρεύμα.

Η επαγόμενη τάση στα άκρα του πηνίου:

$$V_e = -n \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = \mu_0 n \frac{N}{l} \mathrm{A}_s \frac{dI}{dt}$$

$$V_e = -\mu_0 n \frac{N}{l} \mathrm{A}_s \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{1,5\,A}{0,05s} = 30\ \mathrm{A/s}$$

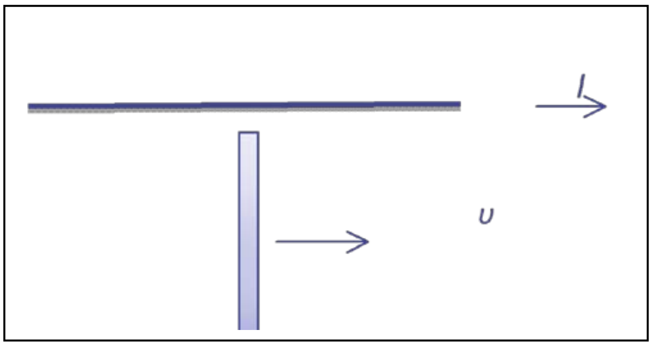
$$B = 3,75 \times 10^{-2}\ \mathrm{T}$$

$$\Phi_{\mathrm{B}} = 10,5 \times 10^{-5}\ \mathrm{Wb}$$

$$V_e = 2,1 \times 10^{-1}\ \mathrm{V}$$

$$I = \frac{V_e}{R} = 0,04\,\mathrm{A}$$

1) Ένα μακρύ μεταλλικό σύρμα, διαρρέεται από ρεύμα 100 A. Ένας αγωγός είναι κάθετος προς το σύρμα και κινείται με ταχύτητα *υ* παράλληλη προς αυτό. Αν η ταχύτητα υ=5m/s και οι αποστάσεις *a=5cm* και *b=20 cm*, να υπολογίσετε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος του κινούμενου αγωγού και την τάση στα άκρα του.



Το ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο γύρω από τον αγωγό. Επειδή το μήκος του αγωγού είναι πολύ μεγάλο, το πεδίο έχει κυλινδρική συμμετρία. Υπολογίζω χρησιμοποιώντας τον νόμο Biot-Savart.

$$\oint_C \vec{B}\,d\vec{l} = \mu_0 I$$
$$2\pi r B = \mu_0 I$$
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Στα ηλεκτρόνια του αγωγού ασκείται δύναμη Laplace (ακίνητος παρατηρητής) ή ισοδύναμα εμφανίζεται ηλεκτρικό πεδίο εξ επαγωγής :

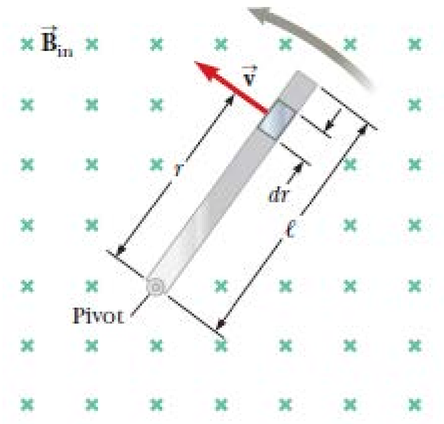
$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$$
$$\vec{v}\ \text{κάθετος}\ \vec{B} \rightarrow E = vB$$

Τα ηλεκτρόνια απωθούνται στο άκρο του αγωγού και λόγω της συσσώρευσης των ηλεκτρονίων δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο ίσο και αντίθετο με το εξ επαγωγής. Τα φορτία φτάνουν σε ισορροπία.
Η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα δύο άκρα της ράβδου:

$$dV_e = Edr = \frac{\mu_0 I v}{2\pi r}$$
$$V_e = \frac{\mu_0 I v}{2\pi}\int_a^b \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 I v}{2\pi}\ln\frac{b}{a}$$
$$V_e = \frac{4\pi \times 10^{-7} 100 \times 5}{2\pi}\ln\frac{0,20}{0,01} = 0,3 \quad mV$$

2) Ράβδος μήκους l περιστρέφεται γύρω από άξονα που περνά από το άκρο της, μέσα σε μαγνητικό πεδίο B, με γωνιακή ταχύτητα ω. Υπολογίστε ην ΗΕΔ που αναπτύσσεται στα άκρα της.

Τα ηλεκτρόνια, υπό την επίδραση του επαγόμενου ηλεκτρικού πεδίου κινούνται στο άκρο της ράβδου. Όταν αποκατασταθεί η ισορροπία, δημιουργείται διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα δύο άκρα της ράβδου. Αντίστοιχα με το προηγούμενο πρόβλημα.



$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B} \rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{e} = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{v} \perp \vec{B}$$

$$v = \omega l \quad E = \omega l B$$

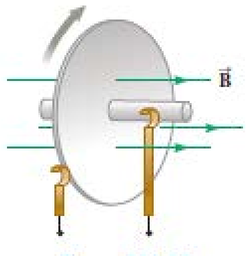
$$\text{ΗΕΔ}:$$

$$V_e = \int_0^l \vec{E}\, d\vec{l} = \int_0^l \omega B l\, dl = \frac{1}{2}\omega B l^2$$

$$V_e = \frac{1}{2}\omega B l^2$$

3) Μεταλλικός δίσκος d=10 cm περιστρέφεται με 1800 στρ/min μέσα σε μαγνητικό πεδίο 1 T, κάθετο στο επίπεδο του. Ποια διαφορά δυναμικού αναπτύσσεται ανάμεσα στον άξονα και την περιφέρεια του δίσκου;

Τα ηλεκτρόνια διαγράφουν κυκλικές τροχιές κάθετες προς το μαγνητικό πεδίο. Η δύναμη που ασκείται στο ηλεκτρόνιο είναι ανάλογη της ταχύτητας του δηλαδή ανάλογη της ακτίνας r. Ακτινικά στον δίσκο, δημιουργείται διαφορά δυναμικού λόγω της μετατόπισης των ηλεκτρονίων.



$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B} \rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{e} = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{v} \quad \vec{B}$$

$$v = 2\pi f \quad E = 2\pi frB$$

$$\text{ΗΕΔ}:$$

$$V_e = \int_0^r \vec{E} d\vec{r} = \int_0^r 2\pi fBrdr = \pi fBr^2$$

$$V_e = \pi fBr^2$$

$$V_e = 0,24V$$

4) Ομογενές, χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο έχει διάμετρο R. Τι μορφή έχει το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται; πως μεταβάλλεται σαν συνάρτηση της απόστασης r από τον άξονα;

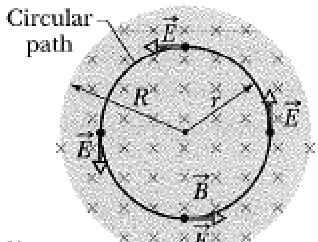
Σύμφωνα με τον νόμο του Faraday για το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, εμφανίζεται ηλεκτρικό πεδίο, ανεξάρτητα από την ύπαρξη αγωγού. Η ΗΕΔ προκαλείται από την μεταβολή της ροής που περικλείεται από την διαδρομή. Διαλέγουμε κυκλική διαδρομή. Λόγω συμμετρίας η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου έχει σταθερό μέτρο και είναι εφαπτομενική προς την διαδρομή. Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το ολοκλήρωμα της ΗΕΔ (ορισμός της ΗΕΔ) για να υπολογίσουμε το ηλεκτρικό πεδίο.

$$\Phi_B = \oint \vec{B}\, d\vec{S} = BS$$

$$V_e = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -S\frac{dB}{dt} = -\pi r^2 \frac{dB}{dt}$$

$$V_e = \oint \vec{E}\, d\vec{l} = (2\pi r)E$$

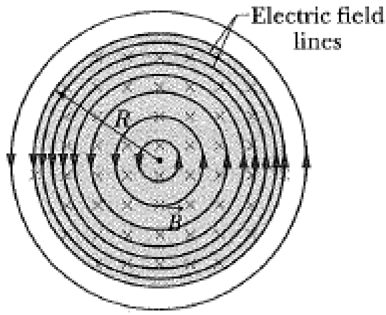
$$\rightarrow (2\pi r)E = -\pi r^2 \frac{dB}{dt}$$



b)

$$i)\ r < R$$

$$E = -\frac{1}{2} r \frac{dB}{dt}$$



c)

$$ii)\ r > R$$

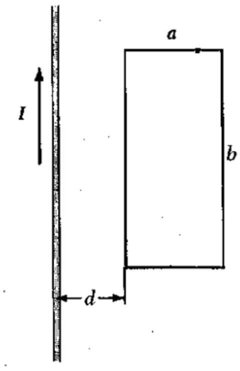
$$\Phi_B = \oint \vec{B}\, d\vec{S} = B\pi R^2$$

$$\rightarrow (2\pi r)E = -\pi R^2 \frac{dB}{dt}$$

$$\rightarrow E = -\frac{R^2}{2r}\frac{dB}{dt}$$

Στην πρώτη περίπτωση, η μαγν. ροή αυξάνεται με την ακτίνα και προκύπτει γραμμική αύξηση της έντασης, ενώ στην δεύτερη, η ροή είναι σταθερή και η ένταση μειώνεται αντίστροφα με την ακτίνα.

5) Ένα μεγάλου μήκους ευθύγραμμο σύρμα είναι παράλληλο προς μία πλευρά ορθογωνίου βρόχου μιας μόνο σπείρας και βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο του βρόχου όπως στο σχήμα. (a) Αν το ρεύμα στο σύρμα μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου ως $I=I_0 e^{-t/\tau}$ υπολογίστε την επαγόμενη ΗΕΔ. (β) Υπολογίστε την ΗΕΔ τη χρονική στιγμή t=5 s, όταν I_0=10 A , d=3 cm ,a =6 cm, τ=5s.



Ο ευθύγραμμος αγωγός παράγει μαγνητικό πεδίο, λόγω συμμετρίας το πεδίο θα είναι ακτινικό και σε απόσταση r από τον αγωγό, υπολογίζουμε με τον νόμο του Ampere.

$$\oint B ds = \mu_0 I \rightarrow B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}$$

Στη θέση r θεωρούμε λεπτή λωρίδα πλάτους dr.

Η μαγνητική ροή που περνά από την λωρίδα είναι:

$$d\Phi_B = BdA = \mu_0 \frac{I}{2\pi r} b\, dr$$

Η ολική ροή μέσα από τον βρόχο δίνεται από το ολοκλήρωμα:

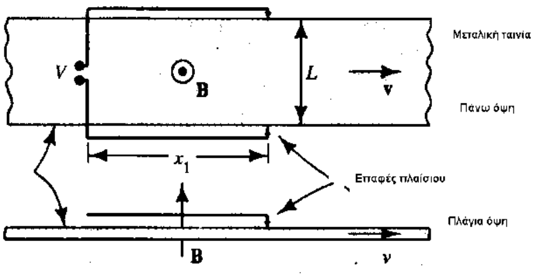
$$\Phi_B = \int_d^{d+a} d\Phi_B = \mu_0 \frac{I}{2\pi} \int_d^{d+a} \frac{dr}{r} = \mu_0 \frac{I}{2\pi} ln \frac{d+a}{d}$$

$$V_e = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Με αντικατάσταση βρίσκουμε:

$$V_e = \frac{dI}{dt} = \frac{\mu_0}{2\pi} ln \frac{d+a}{d} \times \frac{I_0}{\tau}\ e^{-t/\tau}$$

6)Μία μεταλλική ταινία κινείται με σταθερή ταχύτητα v μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο το οποίο είναι κάθετο στο επίπεδο της. Τα μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται σύμφωνα με την σχέση B=B0 cos(ωt). Δύο σύρματα εφάπτονται στην ταινία όπως στο σχήμα και σχηματίζουν βρόχο μέσω της ταινίας. Να υπολογίσετε την τάση στα άκρα των συρμάτων



$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B} \rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{e} = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$V_1 = \oint \vec{E} d\vec{l} = \oint \left(\vec{v} \times \vec{B}\right) d\vec{l} = \int_0^L Bvdl = BvL$$

$i)$ ΗΕΔ *που προκαλείται από την κίνηση της ταινίας*

$$V_1 = vLB_0 \cos(\omega t)$$

$ii)$

ΗΕΔ *που προκαλείται από την μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου*

$$V_2 = -\int \frac{\partial B}{\partial t} dS = -x_1 L \frac{\partial}{\partial t}\left(B_0 \cos \omega t\right) = \omega x_1 L B_0 \sin \omega t$$

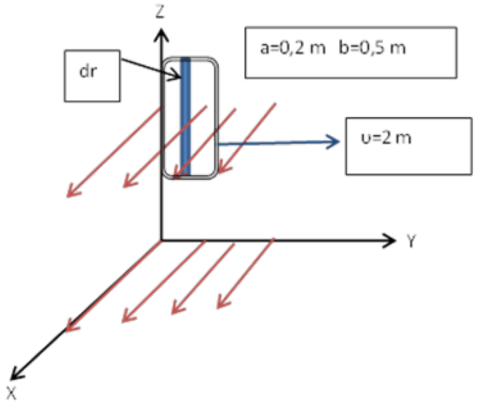
Το διανυσματικό άθροισμα των τάσεων

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = vB_0 \cos \omega t + \omega x_1 B_0 L \sin \omega t$$

$$= B_0 L \sqrt{v^2 + \omega x^2{}_1} \sin(\omega t + \delta) \quad \tan \delta = \frac{v}{\omega x_1}$$

7)Ένας ορθογώνιος βρόχος κινείται μέσα σε περιοχή στην οποία το μαγνητικό πεδίο δίνεται από τις σχέσεις: $B_x = B_y=0$ και $B_z=(6-y)$ T. Να βρεθεί η ΗΕΔ στον βρόχο σαν συνάρτηση του χρόνου όταν ο βρόχος βρίσκεται στη θέση που φαίνεται στο σχήμα, (i) Αν ο βρόχος έχει ταχύτητα $u_y = 2$ m/s. (ii) Αν ο βρόχος ξεκινά από την ηρεμία και έχει επιτάχυνση 2 m/s^2 . (iii) Να επαναληφθεί ο υπολογισμός για κίνηση παράλληλη στον άξονα ΟΖ αντί του ΟΥ. (iv) Να υπολογιστούν τα ρεύματα αν $R_{βρόχος} = 2\ Ω$.



Το πεδίο είναι χρονικά σταθερό. Η μαγνητική ροή μεταβάλλεται λόγω της «γεωμετρίας» του μαγν. Πεδίου κατά την μετατόπιση του πλαισίου.

$$\Phi = \oint \vec{B}_x\, d\vec{s}$$

$$\vec{B} = B_x(y)\hat{\imath} \quad d\vec{s} = 0{,}5dy\, \hat{\imath}$$

$$\Phi = \int_y^{y+0{,}2} (6-y) \times 0{,}5 \times dy = \cdots = 0{,}6 - 0{,}1y \ \text{Wb}$$

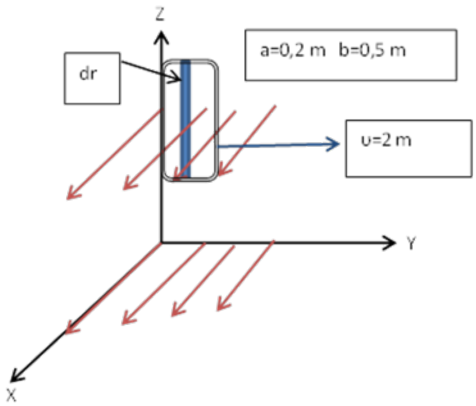
(I) $V_e = -\frac{d\Phi}{dt} = 0{,}1\, \frac{dy}{dt} = 0{,}2\, V$

(ii) $V_e = 0{,}1 \times 2t = 0{,}2t\, V$

(iii) V_e=0 δεν μεταβάλλεται η ροή που διαπερνά το πλαίσιο.

(iv) $I = \frac{V_e}{R}$ ...

7)Ένας ορθογώνιος βρόχος κινείται μέσα σε περιοχή στην οποία το μαγνητικό πεδίο δίνεται από τις σχέσεις: $B_x = B_y = 0$ και $B_z = (6-y)$ T. Να βρεθεί η ΗΕΔ στον βρόχο σαν συνάρτηση του χρόνου όταν ο βρόχος βρίσκεται στη θέση που φαίνεται στο σχήμα, (i) Αν ο βρόχος έχει ταχύτητα $\upsilon_y = 2$ m/s. (ii) Αν ο βρόχος ξεκινά από την ηρεμία και έχει επιτάχυνση 2 m/s^2 . (iii)Να επαναληφθεί ο υπολογισμός για κίνηση παράλληλη στον άξονα ΟΖ αντί του ΟΥ. (iv) Να υπολογιστούν τα ρεύματα αν $R_{βρόχος} = 2$ Ω.



Το πεδίο είναι χρονικά σταθερό. Η μαγνητική ροή μεταβάλλεται λόγω της «γεωμετρίας» του μαγν. Πεδίου κατά την μετατόπιση του πλαισίου.

$$\Phi = \oint \vec{B}_x \, d\vec{s}$$

$$\vec{B} = B_x(y)\hat{\imath} \quad d\vec{s} = 0{,}5dy\;\hat{\imath}$$

$$\Phi = \int_{y}^{y+0{,}2} (6-y) \times 0{,}5 \times dy = \cdots = 0{,}6 - 0{,}1y \;\; \text{Wb}$$

(I) $V_e = -\frac{d\Phi}{dt} = 0{,}1\ \frac{dy}{dt} = 0{,}2\ V$

(ii) $V_e = 0{,}1 \times 2t = 0{,}2t\ V$

(iii) V_e=0 δεν μεταβάλλεται η ροή που διαπερνά το πλαίσιο.

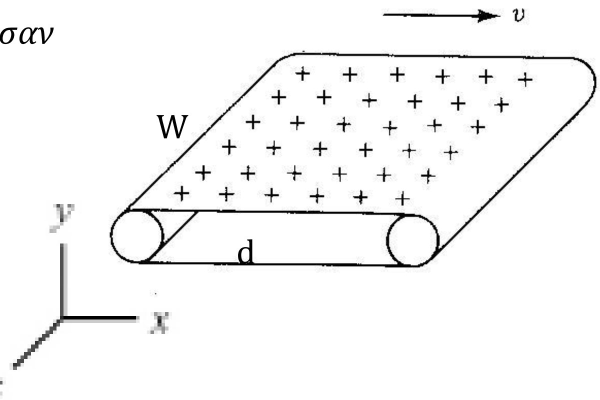
(iv) $I = \frac{V_e}{R}$ ...

8)Ιμάντας από μονωτικό υλικό , κινείται με ταχύτητα υ και είναι φορτισμένος με σταθερή επιφανειακή πυκνότητα σ. Υπολογίστε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί, σε σημείο πάνω και κάτω από την επιφάνεια του καθώς και τον ενδιάμεσο χώρο. (Υπάρχουν δύο φορτισμένες επιφάνειες). Υπολογίστε τη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας που ασκεί η η κάτω επιφάνεια στην επάνω.

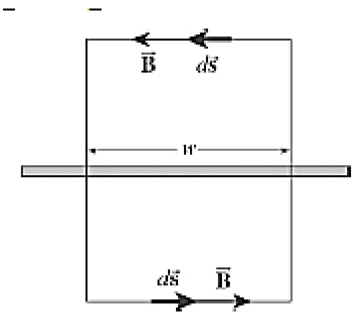
Ο φορτισμένος ιμάντας λειτουργεί σαν επίπεδη κατανομή ρεύματος.

Το φορτίο της μίας επιφάνειας Δq=σWd περνά από μία κάθετη τομή σε μία τυχαία θέση σε χρόνο Δt=d/υ=σWd . Δημιουργεί πυκνότητα ρεύματος

J_s =σWυ/W=συ



Για να εφαρμόσουμε τον νόμο του Ampere διαλέγουμε ένα ορθογώνιο πλαίσιο, κεντραρισμένο στην επάνω επιφάνεια και παράλληλο προς την πλευρά W. Το ρεύμα έχει φορά προς εμάς. Στις πλευρές που είναι κάθετες προς τον ιμάντα το γινόμενο $\vec{B}\mathrm{d}\vec{s}$ = 0.



Έτσι: $\oint \vec{B}\, d\vec{s} = \mu_0 I \rightarrow \;\; B(2W) = \mu_0(j_s\, W) \;\;\; \rightarrow B = \frac{\mu_0 J_s}{2} = \frac{\mu_0 \sigma \upsilon}{2}$

Έτσι η επάνω επιφάνεια δημιουργεί μαγνητικό πεδίο πάνω: $\vec{B} = \frac{\mu_0 J_s}{2}\,\vec{k}$

και κάτω : $\vec{B} = \frac{\mu_0 J_s}{2}\,(-\vec{k})$

Αντίστοιχα η κάτω επιφάνεια λειτουργεί σαν ρεύμα πρός τα αριστερά, έτσι δημιουργεί πεδίο στην επάνω περιοχή : $\vec{B} = \frac{\mu_0 J_s}{2}\,(-\vec{k})$*:*

και στην κάτω: $\vec{B} = \frac{\mu_0 J_s}{2}\,\vec{k}$

Τελικά στο χώρο μεταξύ των επιφανειών το μαγνητικό πεδίο είναι :

$\vec{B} = \mu_0 J_s(-\vec{k})$

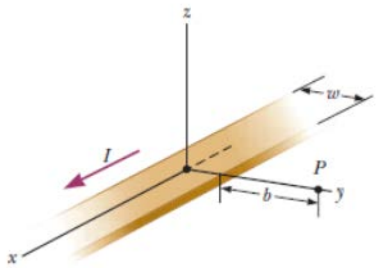
Ενώ πάνω και κάτω από τον ιμάντα 0.

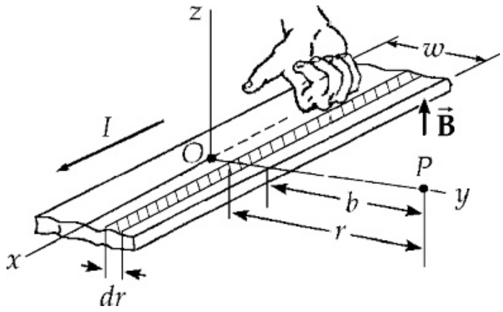
Θεωρούμε ότι η επιφάνειες είναι μεγάλες, ώστε το πεδίο B να είναι σταθερό στο πλάτος και μήκος του ιμάντα. Ο επάνω ιμάντας βρίσκεται στο *μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο κάτω:* $\vec{B} = \frac{\mu_0 J_s}{2}\ (-\vec{k})$ *. Τότε η δύναμη που ασκείται:*

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} = \sigma W d \upsilon \hat{\imath} \times \frac{\mu_0 J_s}{2}\ (-\vec{k}) = \frac{1}{2}\sigma^2 \upsilon^2 W d \vec{\jmath} \ \rightarrow \ \frac{\vec{F}}{Wd} = \frac{1}{2}\sigma^2 \upsilon^2 \vec{\jmath}$$

Δηλαδή προς το επάνω μέρος της σελίδας. Τα ρεύματα είναι παράλληλα και αντίθετης φοράς και συνεπώς απωθούνται.

9)Αγωγός σε σχήμα λεπτής λωρίδας με πλάτος α και μήκος β διαρρέεται από ρεύμα I. Υπολογίστε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στο σημείο P , που απέχει b από την πλευρά της ταινίας.





Θεωρούμε μια λεπτή λωρίδα πάχους dr σε απόσταση r από το σημείο P.
Η λεπτή λωρίδα διαρρέεται από ρεύμα dI οποίο δημιουργεί μαγνητικό πεδίο :

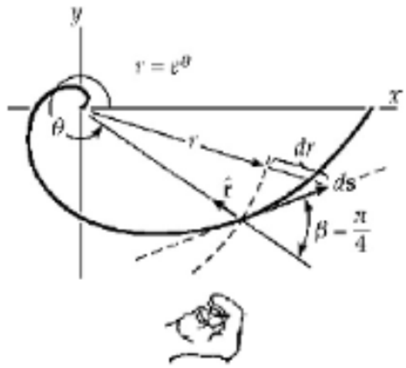
$$dB = \frac{\mu_0 dI}{2\pi\, r}$$

Όπου: $$dI = I(\frac{dr}{W})$$

Τελικά το μαγν. Πεδίο δίνεται από το ολοκλήρωμα :

$$B = \int_b^{b+w} \frac{\mu_0 I}{2\pi W}\frac{dr}{r}\hat{k} = \frac{\mu_0 I}{2\pi W}\, ln(1+\frac{W}{b})\hat{k}$$

10)Ένα σύρμα που διαρρέεται από ρεύμα I κάμπτεται σε σχήμα εκθετικής έλικας *r=*$^{e\vartheta}$ από $\vartheta=0$ ως $\vartheta=2\pi$. Για να συμπληρωθεί ο βρόχος τα άκρα της έλικας συνδέονται με ευθύγραμμο αγωγό κατά μήκος του άξονα X. Βρείτε το μέτρο και την κατεύθυνση του **B** στην αρχή των αξόνων. (Η γωνία β μεταξύ της επιβατικής ακτίνας και της εφαπτομένης σε ένα σημείο της έλικας, συνδέονται με τη σχέση *tan β =r/(dr/dϑ). Αποδείξτε ότι tanβ =1).*



Το ρεύμα κατά μήκος του άξονα X, δεν συνεισφέρει στη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου, διότι διέρχεται από το σημείο μέτρησης που είναι η αρχή των αξόνων.

Το μαγνητικό πεδίο θα είναι κάθετο στο επίπεδο της έλικας δηλαδή βρίσκεται κατά μήκος του άξονα Z.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} \quad \text{Biot-Savart}$$

$$\tan\beta = \frac{r}{dr/d\theta} \quad , \quad r = e^{\theta} \rightarrow \tan\beta = \frac{e^{\theta}}{e^{\theta}} = 1 \rightarrow \beta = 45^0, \gamma = 135^0$$

$$ds = \frac{dr}{\sin 45} = \sqrt{2}\, dr \qquad \hat{r} = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

$$d\vec{s} \times \hat{r} = \sqrt{2}\, dr \sin\theta(-\hat{k})$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} I \sqrt{2} \frac{\sqrt{2}}{2} \int_0^{2\pi} e^{\theta} d\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} I \left(e^{2\pi} - 1\right)$$

Ένας δακτυλιοειδής θάλαμος (κενός αέρα) τοποθετείται στην περιφέρεια του πόλου ενός μαγνήτη. Το Μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται και τα ηλεκτρόνια που κινούνται κυκλικά επιταχύνονται. α) Υπολογίστε την εφαπτομενική επιτάχυνση των ηλεκτρονίων. β)Υπολογίστε την κεντρομόλο επιτάχυνση που χρειάζεται ώστε τα ηλεκτρόνια να διαγράφουν κυκλική τροχιά μέσα στον θάλαμο. Θεωρήστε ότι η ακτίνα παραμένει σταθερή. Το μαγν. πεδίο στην περιφέρεια του πόλου είναι διαφορετικό από το πεδίο στο εσωτερικό του πόλου. Ποια σχέση πρέπει να ικανοποιούν οι τιμές του πεδίου ώστε τα ηλεκτρόνια να βρίσκονται σε σταθερή τροχιά στη διάρκεια της επιτάχυνσης;

Από τα α) και β) υπολογίζουμε τα dP/dt και εξισώνουμε. ($B=1/2\ B_{av}$)

Στο κινούμενο ηλεκτρόνιο, ασκούνται οι δυνάμεις

α) δύναμη Laplace, κάθετη στην ταχύτητα.

β) Ηλεκτροστατική λόγω του ηλεκτρικού πεδίου που εμφανίζεται λόγω της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου.

Η συνδυασμένη αυτή δύναμη ονομάζεται δύναμη Lorentz.

Το εξ επαγωγής ηλεκτρικό πεδίο E είναι εφαπτομενικό :
Η ηλεκτρική δύναμη είναι εφαπτομενική F_T

$$E = -\frac{1}{2} r \frac{d}{dt} B_{AV}$$

$$F_T = -eE = \frac{1}{2} er \frac{d}{dt} B_{AV}$$

Η Μαγνητική δύναμη είναι κεντρομόλος F_N

$$\vec{F}_N = e\vec{v} \times \vec{B} \quad F\mu \quad \varepsilon\rho\nu B \qquad =$$

$$\text{Κ}\varepsilon\nu\tau\rho o\mu\acute{o}\lambda o\varsigma\ F_N = m_e \frac{v^2}{r}$$

$$\rightarrow m_e v = erB$$

$$F_T = \frac{dP}{dt} = \frac{d}{dt}(mv) = \frac{d}{dt}(erB) = er\frac{dB}{dt}$$

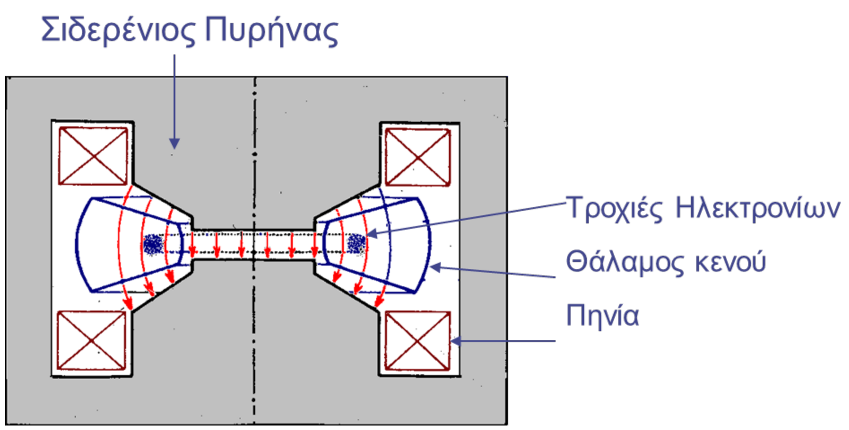
$$\rightarrow er\frac{dB}{dt} = \frac{1}{2} er \frac{d}{dt} B_{AV}$$

$$\rightarrow B = \frac{1}{2} B_{AV}$$

Δηλαδή η το Μαγνητικό Πεδίο στην περιφέρεια πρέπει να το μισό από εκείνο στην επιφάνεια του πόλου!

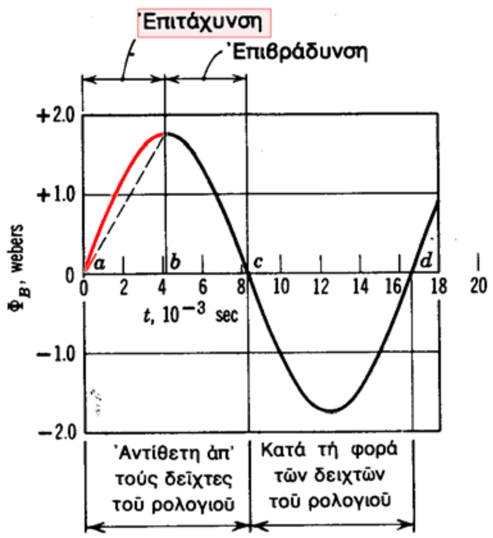
Η F_T εξαρτάται από το περικλειόμενο μαγνητικό Πεδίο,
Η F_E εξαρτάται από το τοπικό μαγνητικό Πεδίο!

Λειτουργία Betatron



Η επιτρόχια επιτάχυνση οφείλεται στο μεταβαλλόμενο Μαγνητικό Πεδίο.

Η κεντρομόλος επιτάχυνση στη δύναμη Laplace.



Για την επιτάχυνση χρησιμοποιούμε το πρώτο τέταρτο της περιόδου.