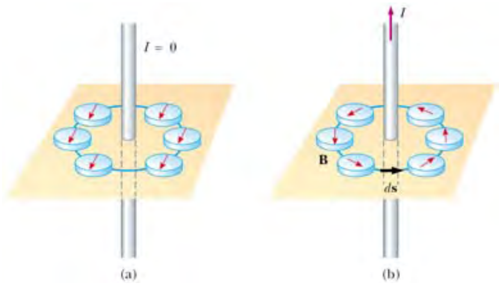
Ο νόμος του Ampère



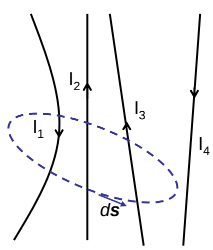
$$\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = B\oint ds = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}(2\pi r) = \mu_0 I$$

Ο νόμος του Ampère

$$\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = \mu_0 I = \mu_0 \int_{\text{Επιφάνεια}} \mathbf{J}\bullet d\vec{\mathbf{a}}$$

Η κυκλοφορία του μαγνητικού πεδίου κατά μηκός μιάς κλειστής διαδρομής ισούται με $\mu_0 I$, όπου I είναι το ολικό σταθερό (χρονικά αμετάβλητο) ρεύμα που διέρχεται μέσα από οποιαδήποτε επιφάνεια που περιβάλλεται από την κλειστή διαδρομή.

Ο νόμος του Ampère



$$\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = \mu_0 I = \mu_0(-I_1 + I_2 + I_3)$$

Διαφορική μορφή του ν.Ampère

$$\oint_{\text{Συνοριακή Γραμμή}} \mathbf{B}\bullet d\vec{\mathbf{l}} = \mu_0 I \Rightarrow$$

$$\int_{\text{Επιφάνεια}} (\nabla \times \mathbf{B})\bullet d\vec{\mathbf{a}} = \mu_0 \int_{\text{Επιφάνεια}} \mathbf{J}\bullet d\vec{\mathbf{a}} \Rightarrow$$

$$\boxed{\nabla \times \mathbf{B} = rot\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J}}$$

Παρ. 30.4 : Το πεδίο **B** ενός σύρματος μεγάλου μήκους

Περίπτωση 1

$$\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = B\oint ds = B(2\pi r) = \mu_0 I$$

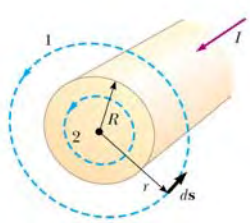
$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{\mu_0 J R^2}{2r}, \text{ για } r \geq R$$

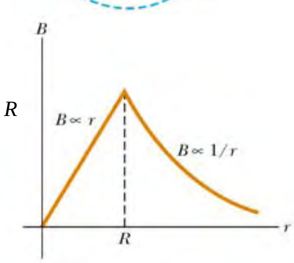
Περίπτωση 2

$$\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = B\oint ds = B(2\pi r) = \mu_0 I'$$

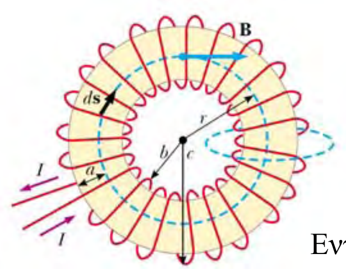
$$\left[\frac{I'}{I} = \frac{\pi r^2}{\pi R^2}\right] \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r = \frac{\mu_0 J r}{2}, \text{ για } r < R$$

$$I = J\pi R^2$$





Παρ. 30.5 : Το πεδίο **B** δακτυλιοειδούς πηνίου

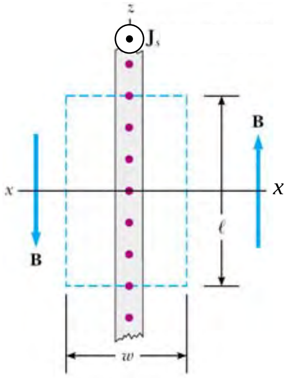


Εντός του πηνίου

$$\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = B\oint ds = B(2\pi r) = \mu_0 N I$$

$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$$

Παρ. 30.6: Μαγνητικό πεδίο **B** από επίπεδο φύλλο απείρων διαστάσεων που διαρρέεται από ρεύμα επιφανειακής πυκνότητας **J**

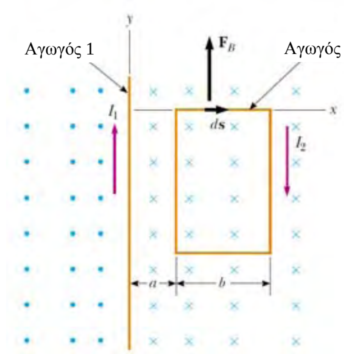


$$\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = \mu_0 I = \mu_0 J_s l$$

$$\Rightarrow 2Bl = \mu_0 J_s l \Rightarrow$$

$$B = \mu_0 \frac{J_s}{2}$$

Παρ. 30.7: Μαγνητική δύναμη σε τμήμα ρευματοφόρου αγωγού



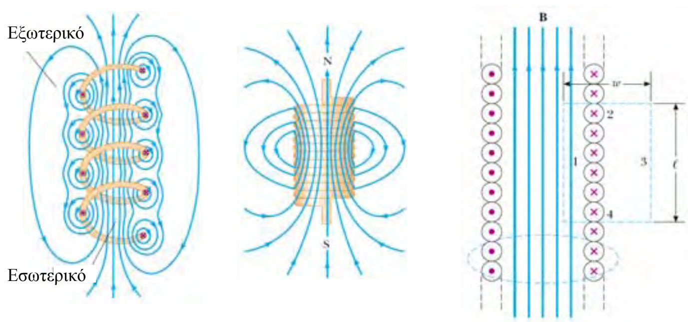
$$d\vec{\mathbf{F}} = Id\vec{\mathbf{s}} \times \vec{\mathbf{B}} \Rightarrow d\vec{\mathbf{F}} = I_2 d\vec{\mathbf{s}} \times \vec{\mathbf{B}}_1 \Rightarrow$$

$$d\vec{\mathbf{F}} = I_2 dx\,\hat{\mathbf{i}} \times \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x}\left(-\hat{\mathbf{k}}\right) = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi x} dx\,\hat{\mathbf{j}}$$

$$\Rightarrow \vec{\mathbf{F}} = \int_a^{a+b} \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi x} dx\,\hat{\mathbf{j}} \Rightarrow$$

$$\boxed{\vec{\mathbf{F}} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{b}{a}\right)\hat{\mathbf{j}}}$$

Μαγνητικό Πεδίο Ιδανικού Σωληνοειδούς

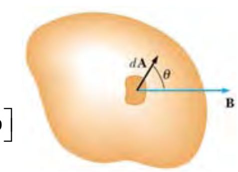


$$\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = B\oint ds = Bl = \mu_0 NI \;\Rightarrow\; \boxed{B = \mu_0 \frac{N}{l} I = \mu_0 nI}$$

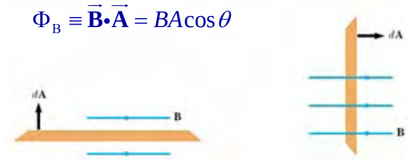
Μαγνητική Ροή

$$\Phi_B \equiv \lim_{\Delta A_i \to 0} \sum \vec{\mathbf{B}}_i \bullet \Delta\vec{\mathbf{A}}_i = \int_{\varepsilon\pi\iota\varphi\acute{\alpha}\nu\varepsilon\iota\alpha} \vec{\mathbf{B}} \bullet d\vec{\mathbf{A}}$$

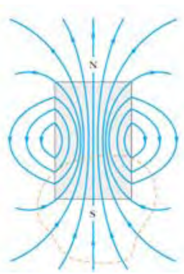
Μαγνητική Ροή: $\Phi_B \;\left[\mathrm{T.m^2} = 1\ \mathrm{Wb}\right]$



$$\Phi_B \equiv \vec{\mathbf{B}}\bullet\vec{\mathbf{A}} = BA\cos\theta$$



ν. Gauss για το μαγνητισμό



$$\Phi_B = \oint \vec{\mathbf{B}}\bullet d\vec{\mathbf{a}} = 0$$

ή

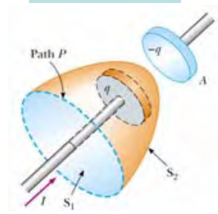
$$\nabla\bullet\mathbf{B} = 0$$

Δεν απαντώνται μαγνητικά μονόπολα στην φύση

Το ρεύμα μετατόπισης και ο γενικευμένος ν. Ampère

$$\boxed{\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = \mu_0 I}$$

$I = \dfrac{dQ}{dt}$ από S_1 και $I = 0$ από S_2 !!!!!

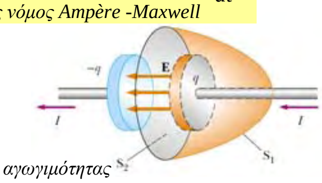


$I_d \equiv \varepsilon_0 \dfrac{d\Phi_e}{dt}$: Ρεύμα μετατόπισης

$$\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = \mu_0\left(I + I_d\right) = \mu_0 I + \mu_0\varepsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt}$$

Γενικευμένος νόμος Ampère -Maxwell

$$\boxed{\Phi_e = EA = \frac{Q}{\varepsilon_0}, \quad I_d \equiv \varepsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt} = \frac{dQ}{dt}}$$



Τα μαγνητικά πεδία παράγονται από ρεύματα αγωγιμότητας και από χρονομεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία!

<u>Παρ. 30.9</u> <u>Ρεύμα μετατόπισης πυκνωτή</u>: Εναλλασόμενη τάση πλάτους 30 V και συχνότητας 3 kHz εφαρμόζεται σε πυκνωτή. Υπολογίστε το ρεύμα μετατόπισης ανάμεσα στους οπλισμούς του πυκνωτή.

$$\omega = 2\pi f = 2\pi\left(3\times10^{3}\right)Hz = 6\pi\times10^{3}\ \sec^{-1}$$

$$V = V_m \sin\omega t = 30\sin\left(6\pi\times10^{3}\ t\right)\ \mathrm{V}$$

$$I_d = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(CV) = C\frac{dV}{dt} =$$

$$\left(8\times10^{-6}\right)\frac{d}{dt}\left[30\sin\left(6\pi\times10^{3}\ t\right)\right] = 4.52\ \cos\left(6\pi\times10^{3}\ t\right)\ \ \mathrm{A}$$

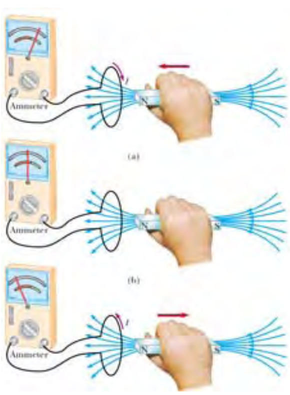
Διαφορική μορφή του ν.Ampère-Maxwell

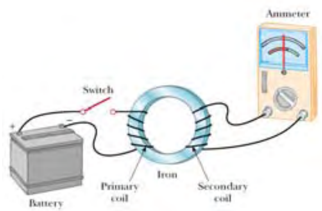
$$\nabla\times\mathbf{B} = rot\mathbf{B} = \mu_0\mathbf{J} + \mu_0\varepsilon_0\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow$$

$$\boxed{\nabla\times\mathbf{B} = rot\mathbf{B} = \mu_0\mathbf{J} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t}}$$

Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή





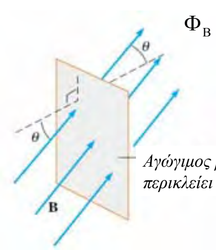
ν. Faraday

Το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο του πρωτεύοντος πηνίου επάγει Ηλεκτρεγερτική Δύναμη (ΗΕΔ) στο δευτερεύον πηνίο. Η επαγώμενη ΗΕΔ είναι ανάλογη του χρονικού ρυθμού μεταβολής της *μαγνητικής ροής* που διαπερνά το κύκλωμα.

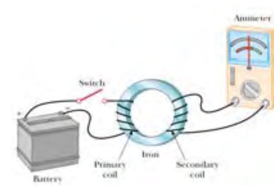
$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad [\mathrm{volt}]$$

$$\Phi_B = \int \vec{\mathbf{B}}\bullet d\vec{\mathbf{A}}$$

$$\mathcal{E} = -\frac{d}{dt}(BA\cos\theta)$$



Αγώγιμος βρόχος που περικλείει επιφάνεια A

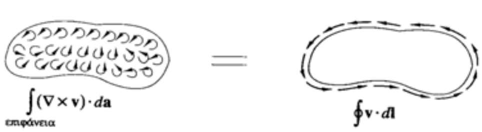


Διαφορική μορφή του ν. Faraday

$$\mathcal{E} = \int_{\kappa\alpha\mu\pi\acute{\upsilon}\lambda\eta} \vec{\mathbf{E}}\bullet d\vec{\mathbf{s}} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \Rightarrow$$

$$\int_{\text{Επιφάνεια}} \left(\nabla\times\vec{\mathbf{E}}\right)\bullet d\vec{\mathbf{a}} = -\frac{d}{dt}\int_{\text{Επιφάνεια}} \vec{\mathbf{B}}\bullet d\vec{\mathbf{a}} \Rightarrow$$

$$\ldots\Rightarrow \quad \boxed{\nabla\times\vec{\mathbf{E}} = -\frac{d\vec{\mathbf{B}}}{dt}}$$



<u>ΗΕΔ πηνίου</u>: Σωληνοειδές το οποίο αποτελείται από *N=200* τετραγωνικές σπείρες πλευράς *α=18 cm* βρίσκεται εντός εξωτερικού μαγνητικού πεδίου έντασης *B=0.60 T* με την επιφάνεια που ορίζει η κάθε σπείρα κάθετη στις γραμμές του πεδίου. Αν μέσα σε χρονικό διάστημα *Δt=0.8 sec* η ένταση του πεδίου μειωθεί γραμμικά μέχρι τα *0.10 T*, βρείτε την επαγώμενη Ηλεκτρεγερτική Δύναμη που θα αναπτυχθεί στο πηνίου. Ποια η ένταση του ρεύματος αν το πηνίο έχει *R=2 Ω* ? Ποια η ΗΕΔ αν η μείωση του πεδίου από τα *0.60* T στα *0.10* T γινόταν με εκθετικό τρόπο στο ίδιο χρονικό διάστημα?

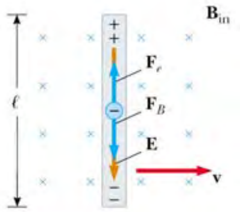
$$\boxed{|\mathcal{E}| = \frac{d\Phi_{tot}}{dt} = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = N\alpha^2\frac{\Delta B}{\Delta t}} \Rightarrow$$

$$|\mathcal{E}| = 200(0.18)^2\frac{0.6-0.1}{0.8-0}\ \ \mathrm{Tm^2/s} \Rightarrow$$

$$|\mathcal{E}| = 4.1\ \ \mathrm{V}$$

$\Rightarrow$..

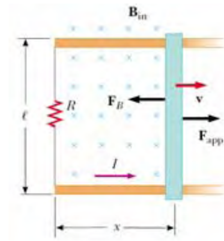
ΗΕΔ από κίνηση αγωγού σε ΜΠ



$$F_e = F_m \Rightarrow qE = q\upsilon B \Rightarrow E = \upsilon B$$

$$V = El = \upsilon Bl$$

ΗΕΔ από κίνηση αγωγού σε ΜΠ

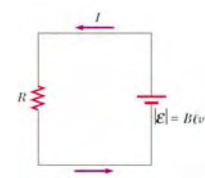


$$\Phi = BA = Blx$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(Blx) = -(Bl)\frac{dx}{dt}$$

$$\Rightarrow \boxed{\varepsilon = -\upsilon Bl}$$

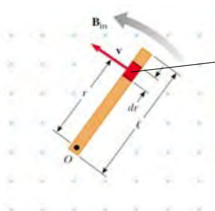
$$I = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{\upsilon Bl}{R}$$



$$P = F_{ext}\upsilon = (IlB)\upsilon = \frac{(\upsilon Bl)^2}{R}$$

$$P = I^2 R$$

Παρ. 30.9 Αγώγιμη ράβδος μήκους l που βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο **B** περιστρέφεται γύρω από το ένα της άκρο με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω. Βρείτε την επαγώμενη Ηλεκτρεγερτική Δύναμη

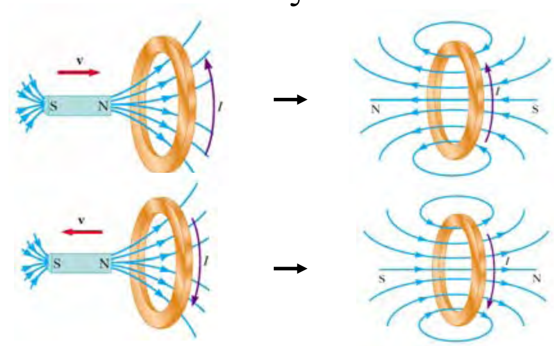


$$\boxed{\varepsilon = \upsilon Bl}$$

$$d\varepsilon = \upsilon Bdr \Rightarrow \varepsilon = \int \upsilon Bdr \Rightarrow \varepsilon = B\int_0^l \omega rdr$$

$$\Rightarrow \varepsilon = B\omega\int_0^l rdr \Rightarrow \boxed{\varepsilon = \frac{1}{2}B\omega l^2}$$

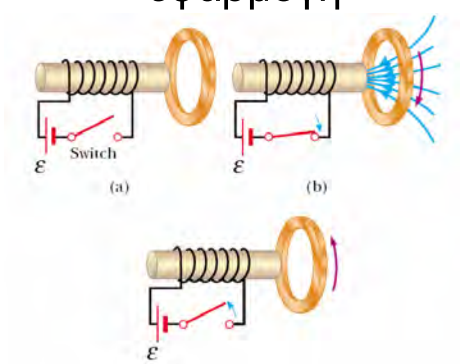
Κανόνας του Lenz



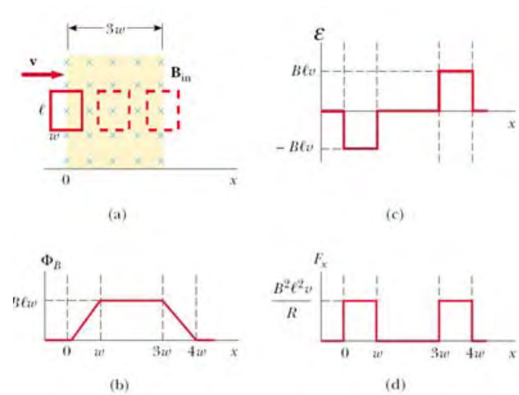
Η πολικότητα της επαγόμενης ΗΕΔ είναι τέτοια που να δημιουργεί ρεύμα που να παράγει μαγνητικό πεδίο που αντιτίθεται στην μεταβολή της μαγνητικής ροής.

(......το αποτέλεσμα αντιτίθεται στην αιτία που το προκάλεσε)

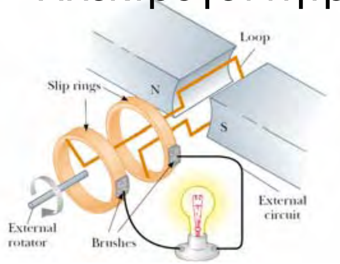
εφαρμογή

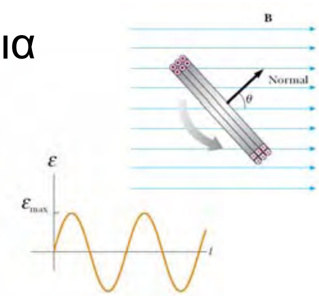


εφαρμογή



Ηλεκτρογεννήτρια





$$\Phi_B = BA\cos\theta = BA\cos\omega t$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -NAB\frac{d}{dt}(\cos\omega t) = NAB\omega\sin\omega t$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{\max} = NAB\omega$$

Οι εξισώσεις του Maxwell

$$\oint \vec{\mathbf{E}}\bullet d\vec{\boldsymbol{\alpha}} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$\oint \vec{\mathbf{B}}\bullet d\vec{\boldsymbol{\alpha}} = 0$$

$$\oint \mathbf{B}\bullet d\mathbf{s} = \mu_0 I + \mu_0\varepsilon_0\frac{d\Phi_e}{dt}$$

$$\oint \mathbf{E}\bullet d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

$$\nabla\bullet\mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

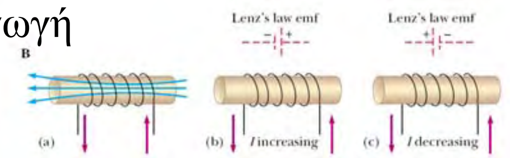
$$\nabla\bullet\mathbf{B} = 0$$

$$\nabla\times\mathbf{B} = \mu_0\mathbf{J} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t}$$

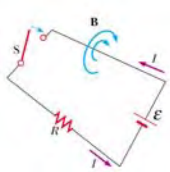
$$\nabla\times\vec{\mathbf{E}} = -\frac{d\vec{\mathbf{B}}}{dt}$$

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\boldsymbol{\upsilon}\times\mathbf{B}$$

Αυτεπαγωγή



$$\boxed{\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}}$$

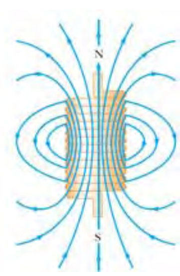


Για την περίπτωση πηνίου, $\varepsilon = -N\dfrac{d\Phi_m}{dt}$, ο συντελεστής αυτεπαγωγής θα είναι: $L = \dfrac{N\Phi_m}{I}$,

Γενικά ο ορισμός του συντελεστή είναι

$$L = -\frac{\varepsilon}{dI/dt} \quad \left[1\text{H} = 1\frac{\text{V.s}}{\text{A}}\right]$$

<u>Παρ. 32.1</u> Συντελεστής αυτεπαγωγής ενός σωληνοειδούς



$$B = \mu_0\frac{N}{l}I = \mu_0 nI$$

$$\Phi = \text{BA} = \mu_0\frac{N\text{A}}{l}I$$

$$L = \frac{N\Phi_m}{I} = \frac{\mu_0 N^2\text{A}}{l} = \mu_0 n^2 Al = \mu_0 n^2 \text{V}_{\text{όγκος}}$$