



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Φυσική II

Ενότητα 10: Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Κουζούδης Δημήτρης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Σκοποί ενότητας

- Εισαγωγή στην έννοια της μαγνητικής ροής και ορισμός του μαθηματικού τύπου της
- Ορισμός και ερμηνεία του Νόμου του Faraday σε ρευματοφόρο πλαίσιο (βρόχο) – Νόμος της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής
- Τρόποι μεταβολής μαγνητικής ροής και ορισμός της ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ)
- Εισαγωγή στην έννοια της αυτεπαγωγής, μονάδες και τρόπος μέτρησης
- Μαθηματική έκφραση της ενέργειας σωληνοειδούς
- Κατανόηση μέσα από αντιπροσωπευτικά παραδείγματα



Περιεχόμενα ενότητας

- Μαγνητική ροή
- Τιμή μαγνητικής ροής
 - Παραδείγματα
- Ο Νόμος του Faraday
- Ορισμός αυτεπαγωγής
- Μέτρηση αυτεπαγωγής
 - Παραδείγματα
- Ενέργεια σωληνοειδούς

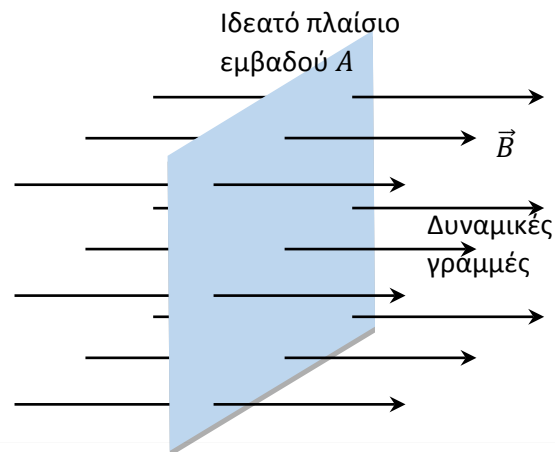


Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Ο Νόμος του Faraday

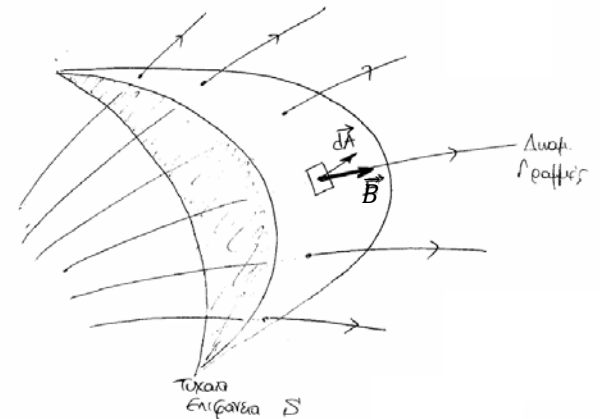
Μαγνητική ροή

- Ορισμός: Το πλήθος των μαγνητικών γραμμών που διαπερνούν ορθογώνιο πλαίσιο
 - Εμβαδόν πλαισίου
 - Πυκνότητα μαγνητικών γραμμών (ανάλογη του B)
 - Προσανατολισμός πλαισίου



Τιμή μαγνητικής ροής

- Γωνία θ μεταξύ του μοναδιαίου, κάθετου στο πλαίσιο, διανύσματος \vec{n} και των δυναμικών γραμμών: $\Phi_M = BA \cos \theta$
- Εσωτερικό γινόμενο: $\Phi_M = \vec{B} \cdot \vec{A}$
 - Διάνυσμα εμβαδού: $\vec{A} = A \vec{n}$
- Οποιοδήποτε σχήμα πλαισίου: $\Phi_M = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A}$
 - Απειροστό διάνυσμα εμβαδού $d\vec{A} = \vec{n} dA$



Παραδείγματα

1. Ορθογώνιο πλαίσιο πλάτους 10 cm και μήκους 20 cm σχηματίζει γωνία 60° με το μαγνητικό πεδίο μέτρου 0.3 T. Υπολογίστε την μαγνητική ροή διαμέσου του πλαισίου.

$$A = 10 \times 20 = 200 \text{ cm}^2 = 0.02 \text{ m}^2, B = 0.3 \text{ T}.$$

$$\Phi = BA \sin \theta = 0.3 \times 0.02 \times \cos 30^\circ = 0.003 \text{ T} \cdot \text{m}^2 = 0.00519 \text{ Wb}$$

2. Ένα κυκλικό πλαίσιο διαμέτρου 30 cm και 5 σπειρών είναι κάθετο σε ένα μαγνητικό πεδίο 0.6 T. Εάν το πλαίσιο αλλάξει θέση ώστε η επιφάνειά του να σχηματίζει 30° με το πεδίο, ποια είναι η αλλαγή της μαγνητικής ροής που διαπερνάει το πλαίσιο;

$$D = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m} \Rightarrow R = 0.15 \text{ m}, B = 0.6 \text{ T}, N = 5$$

$$A = \pi R^2 = 3.14 \times 0.15^2 = 0.0706 \text{ m}^2$$

$$\text{Αρχική ροή: } \Phi_0 = NBA \cos \theta_0 = 0.6 \times 0.0706 \times \cos 90^\circ = 0.212 \text{ Wb}$$

$$\text{Τελική ροή: } \Phi_F = NBA \cos \theta_F = 0.6 \times 0.0706 \times \cos 60^\circ = 0.184 \text{ Wb}$$

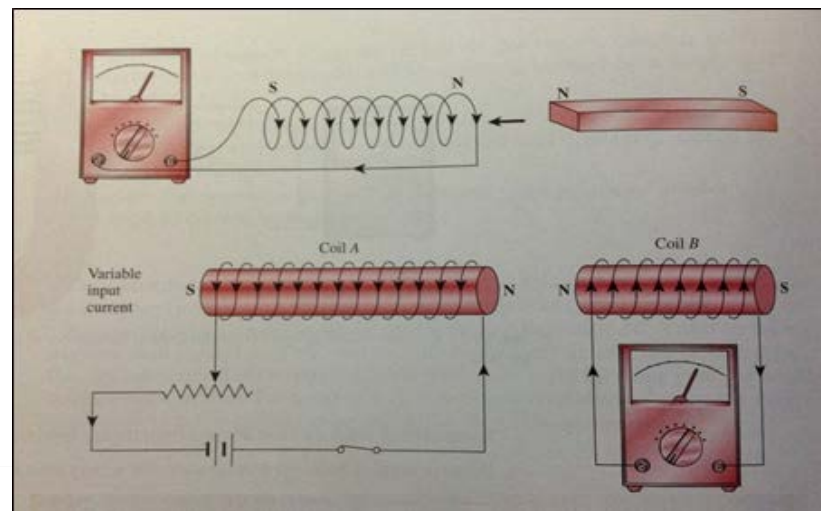
$$\Delta \Phi = 0.184 - 0.212 = -0.028 \text{ Wb}$$



Νόμος του Faraday

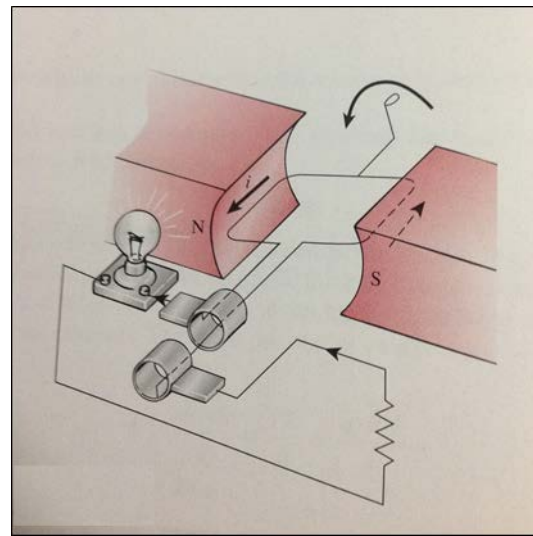
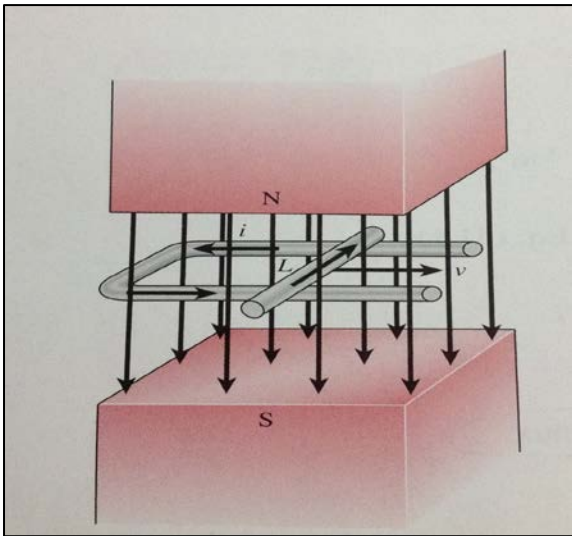
Νόμος της Ηλεκτρομαγνητικής Επαγωγής: «Όταν η μαγνητική ροή μεταβάλλεται διαμέσου ενός πλαισίου, τότε εμφανίζεται μια ηλεκτρική τάση στο πλαίσιο.»

- Μέτρηση σε ανοιχτό πλαίσιο – άκρα δρουν σαν πόλοι μπαταρίας
 - Ηλεκτρεγερτική δύναμη: **ΗΕΔ**
- α) Μεταβολή του B
- β) Μεταβολή I στο αριστερό πηνίο μεταβάλλει το B του



Νόμος του Faraday

- γ) Μεταβολή του θ
- δ) Η μετακίνηση του αγωγού μεταβάλλει το εμβαδό A του πλαισίου



«Η μεταβολή της μαγνητικής ροής διαμέσου ενός πλαισίου ή πηνίου, έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μιας τάσης που είναι ίση με την χρονική παράγωγο της ροής»

$$V = - \frac{d\Phi}{dt}$$



Ορισμός αυτεπαγωγής

- Σωληνοειδές, N σπείρες \rightarrow Πηνίο
 - Ροή ρεύματος \rightarrow μαγνητικό πεδίο \rightarrow μαγνητική ροή
 - Μεταβολή μαγνητικής ροής σε βρόχο \rightarrow ΗΕΔ
 - Κάθε σπείρα: πηγή τάσης \rightarrow αποθήκευση ενέργειας
- Αποθήκευση ενέργειας: φαινόμενο αυτεπαγωγής
- Συνολική τάση (L : αυτεπαγωγή σε Henry, H)

$$V = L \frac{dI}{dt}$$



Μέτρηση αυτεπαγωγής

- Σωληνοειδές μήκους l , ρεύματος I
- N σπείρες με εμβαδόν A

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

- Μεταβολή του I , νόμος του Faraday σε N σπείρες

$$V_1 = \frac{d\Phi}{dt} = A \frac{\mu_0 N}{l} \frac{dI}{dt}, V = NV_1 \rightarrow V = \frac{\mu_0 AN^2}{l} \frac{dI}{dt}$$

- Αυτεπαγωγή σωληνοειδούς

$$L = \frac{\mu_0 AN^2}{l}$$



Παράδειγμα 3

Ένα συρμάτινο πλαίσιο εμβαδού $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ τοποθετείται σε περιοχή που περιέχει μαγνητικό πεδίο $B=0.65 \text{ T}$. Μέσα σε χρονικό διάστημα 0.003 s , το B αυξάνει γραμμικά σε 1.4 T . Εάν το πλαίσιο περιέχει 20 σπείρες, πόση είναι η επαγόμενη ΗΕΔ;

$$A = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2, \theta = 0^\circ, N = 20, \Delta t = 0.003 \text{ s}$$

$$B_0 = 0.65 \text{ T}, B_F = 1.4 \text{ T}$$

$$B = B_0 + \lambda t$$

$$\lambda = \frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{1.4 - 0.65}{0.003} = 250 \frac{\text{T}}{\text{s}}$$

$$V = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(NBA\cos\theta)}{dt} = -NA\cos\theta \frac{dB}{dt} = -NA\cos\theta\lambda$$

$$V = -20 \times 2 \times 10^{-3} \times \cos 0^\circ \times 250 = -10 \text{ V}$$



Παράδειγμα 4

Ένα πηνίο 100 σπειρών με εμβαδό 0.055 m^2 η καθεμία, τοποθετείται με τις σπείρες του κάθετα σε μαγνητικό πεδίο $B=4 \text{ mT}$ (παράλληλα στον άξονα του πηνίου). Το πηνίο περιστρέφεται ώστε η γωνία του να μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο. Σε χρόνο 0.3 s το πηνίο έχει τέτοιο προσανατολισμό ώστε το πεδίο να είναι παράλληλο με το επίπεδο των σπειρών του (κάθετο στον άξονα του πηνίου). Ποια είναι η επαγόμενη ΗΕΔ σε αυτή τη θέση του πηνίου (θεωρώντας ότι η κίνηση συνεχίζεται και μετά από αυτή τη θέση);

$$N = 100, A = 0.055 \text{ m}^2, B = 0.004 \text{ T}, \Delta t = 0.3 \text{ s}, \theta_0 = \frac{\pi}{2}, \theta_F = 0$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} + \lambda t$$

$$\lambda = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{0 - \frac{\pi}{2}}{0.3} = -5.23 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$V = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(NBAS\sin\theta)}{dt} = -NAB\cos\theta \frac{d\theta}{dt} = -NAB\cos\theta\lambda$$

$$V = -100 \times 0.055 \times 0.004 \times \cos 0 \times (-5.23) = 0.11 \text{ Volts}$$



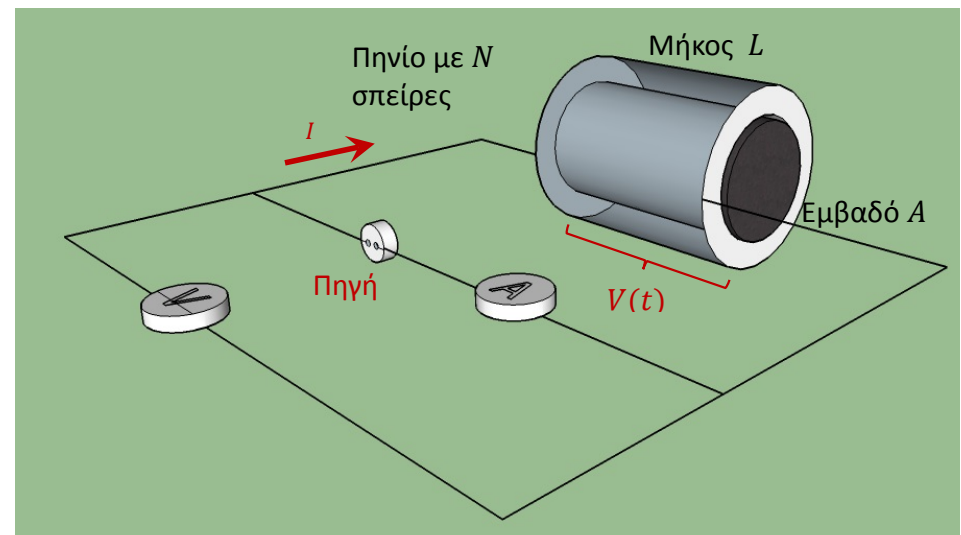
Ενέργεια Σωληνοειδούς

- Φόρτιση πηνίου με τελικό ρεύμα I
- Στιγμιαία: $i(t), V(t)$
- Αύξηση ενέργειας

$$dU = iVdt \rightarrow dU = iL \frac{di}{dt} dt = iLdi$$

- Ενέργεια πηνίου
 - Ολοκλήρωση

$$U = \int_{i=0}^I dU = L \int_{i=0}^I idi$$



$$U = \frac{1}{2} LI^2$$



Βιβλιογραφία

- Serway R. A., Jewett J. W., 2013, *Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς : ηλεκτρισμός και μαγνητισμός, φώς και οπτική, σύγχρονη φυσική*, Κλειδάριθμος , Αθήνα
- Halliday D., Resnick R, 2009, *Φυσική: μέρος Β*, 4^η εκδ., Γ. & Α. Πνευματικός, Αθήνα
- Young H.D., Freedman R.A., 2010, *Πανεπιστημιακή φυσική με σύγχρονη φυσική, τ. 2: Ηλεκτρομαγνητισμός-Οπτική* , 2^η έκδ., Παπαζήσης , Αθήνα
- Pollack G.L., Stump D. R., 2002, *Electromagnetism*, Addison Wesley, San Francisco
- Hecht E.P., 1975, *Schaum's outline of theory and problems of optics*, McGraw-Hill Book Company, New York



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών

Δημήτριος Κουζούδης. «Φυσική II»

Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2165/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.