



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Φυσική III

Ενότητα 3: Επαγωγή

Γεώργιος Βούλγαρης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Φυσικής

Μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία

Ιστορική εισαγωγή

Πειράματα Faraday

- Νόμος Faraday

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



Νόμος του Lentz (1834)

Πειράματα Lentz

Παράδειγμα

Διατήρηση Ενέργειας

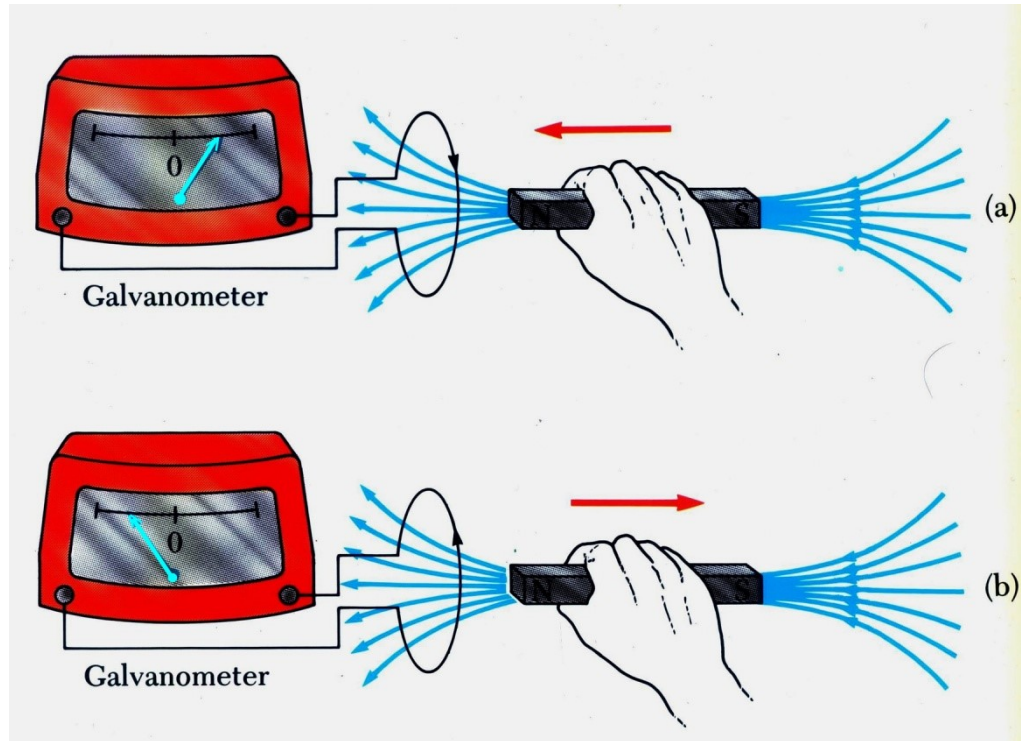
Helmhotz



Μαγνητική Επαγωγή.

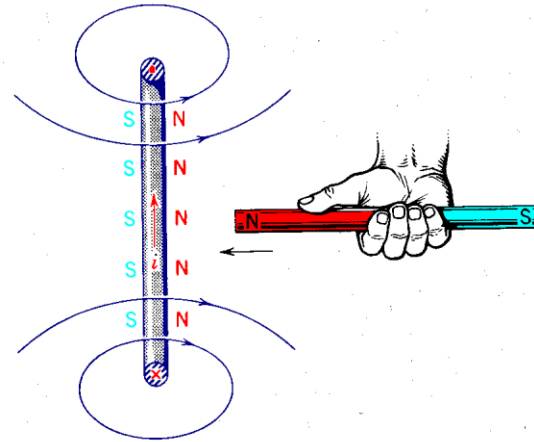
➤ Κατά την προσέγγιση του μαγνήτη, εμφανίζεται ρεύμα στο πηνίο.

➤ Κατά την απομάκρυνση, το ρεύμα έχει αντίθετη φορά.

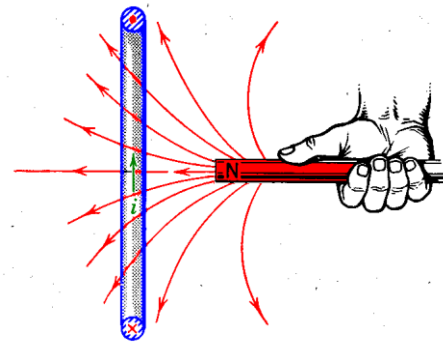


Νόμος του Lenz

Το επαγόμενο ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο με αντίθετη φορά από τον μαγνήτη.



«Προσπαθεί» να διατηρήσει την πυκνότητα των δυναμικών γραμμών.



Διατήρηση ενέργειας

Ο νόμος του Lenz περιγράφει την παραγωγή έργου από τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις.

Μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του μαγνητικού πεδίου σε κινητική του αγωγού και αντίστροφα.

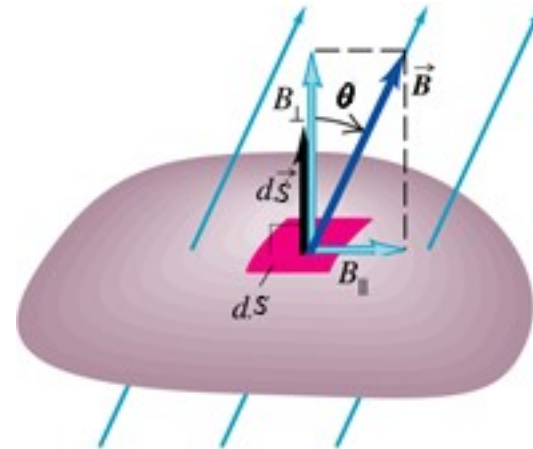
Αργότερα το 1847 ο Helmholtz δημοσίευσε την ιστορική εργασία για την διατήρηση της ενέργειας κατά τις μετατροπές της.

$$K \rightarrow U \rightarrow Q$$



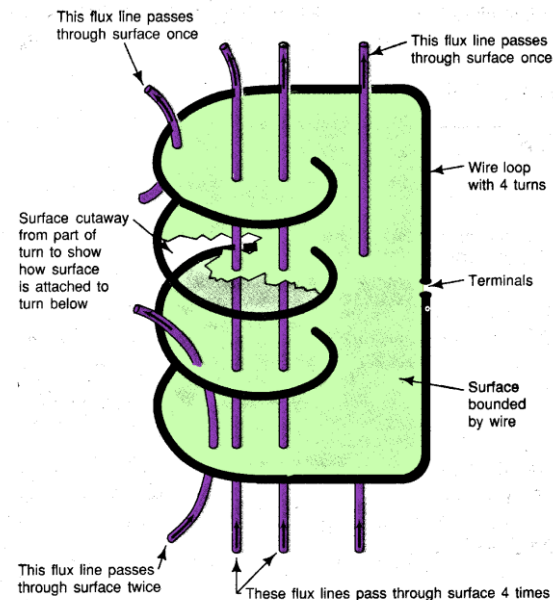
Μαγνητική Ροή

$$\Phi = \int \vec{B} d\vec{S} = \int B dS \cos \theta$$



Για σωληνοειδές

$$\Lambda = (NS)B = N\Phi \Rightarrow V_e = -\frac{d\Lambda}{dt}$$

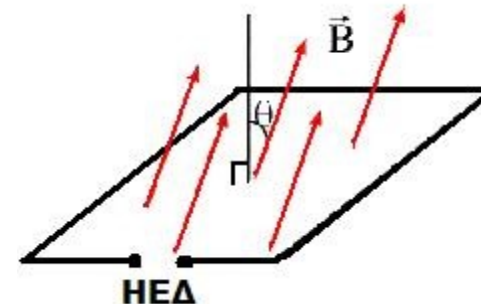
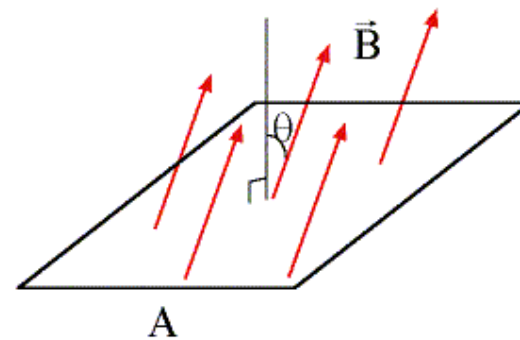


Μαγνητική Ροή

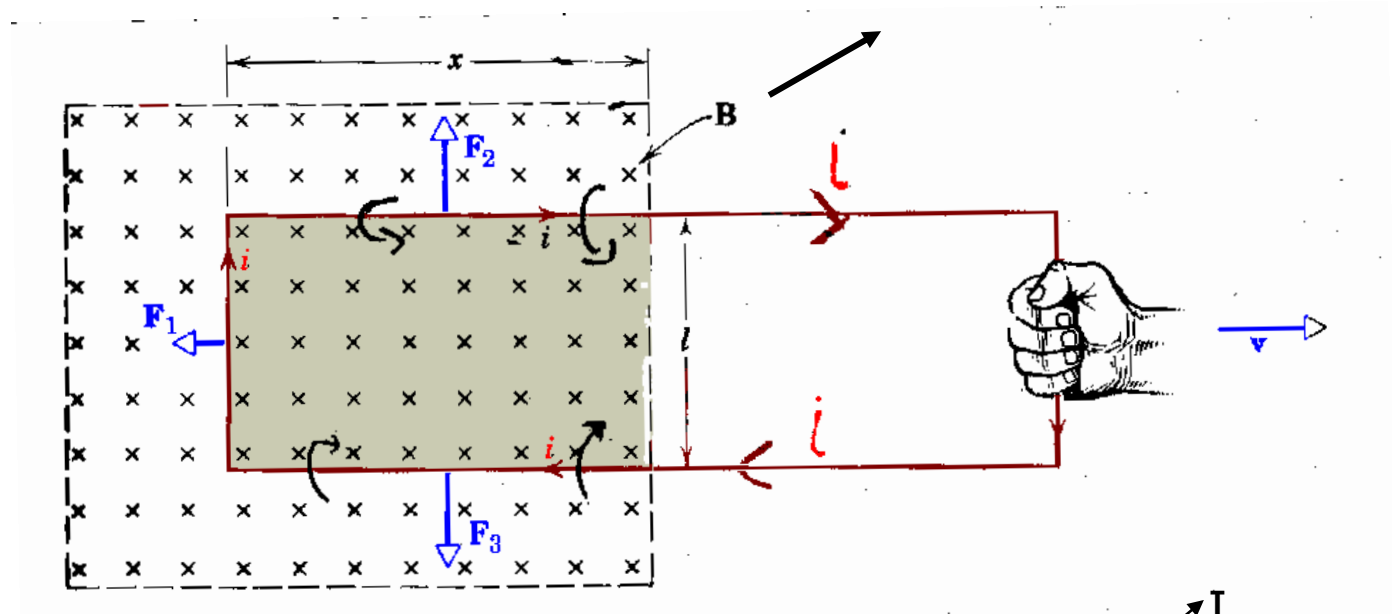
$$\Phi = \int \vec{B} d\vec{S} = \int B dS \cos \theta$$

Για επίπεδη επιφάνεια.

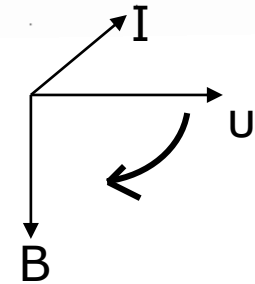
Αντικαθιστούμε την επιφάνεια με ένα αγώγιμο πλαίσιο.



Κινητική ΗΕΔ (Γεννήτριας)



$$V_e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(Blx) = l v B$$



Ρεύμα, Ισχύς

Ρεύμα από την ΗΕΔ

$$I = \frac{V_e}{R} = \frac{Blv}{R}$$

Δύναμη Laplace που ασκείται στο πλαίσιο

$$\vec{F}_1 = I\vec{l} \times \vec{B}$$

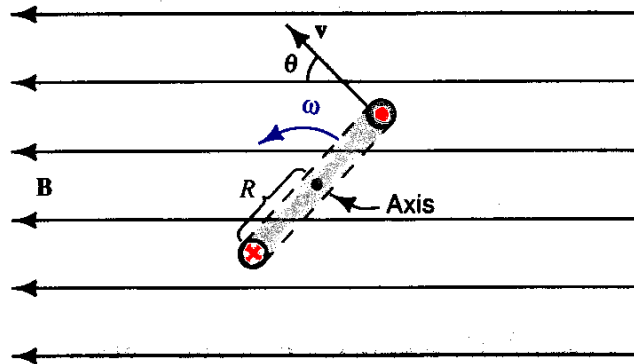
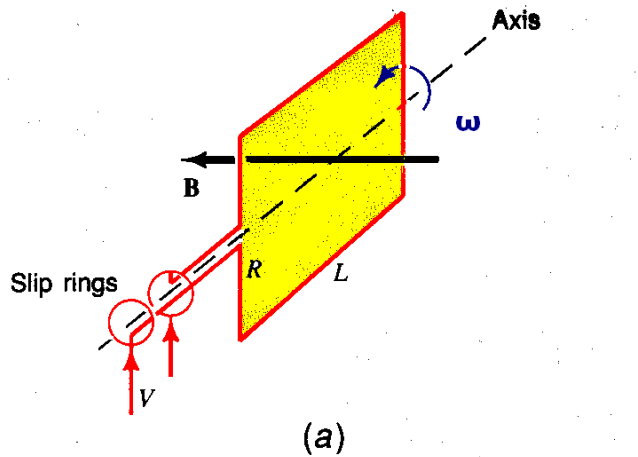
$$F_1 = IlB \sin \theta = IlB = \frac{B^2 l^2 v}{R}$$

$$P_Q = I^2 R = \left(\frac{Blv}{R} \right)^2 R = \frac{B^2 l^2 v}{R}$$

$$P_M = F \cdot v = \frac{B^2 l^2 v^2}{R}$$



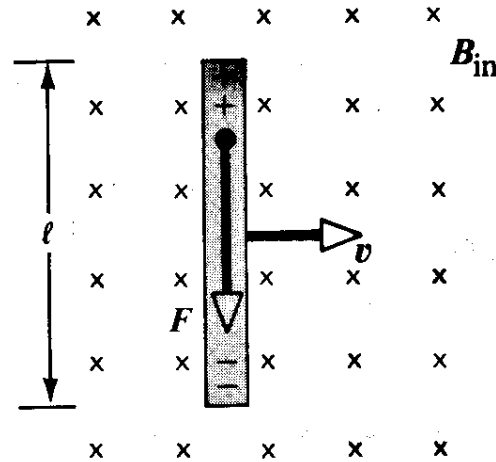
Γεννήτρια



$$V_e = -\frac{d}{dt}(AB_0 \cos(\omega t))$$

$$V_e = \omega AB_0 \sin(\omega t)$$

Δύναμη Laplace, κινούμενος αγωγός.

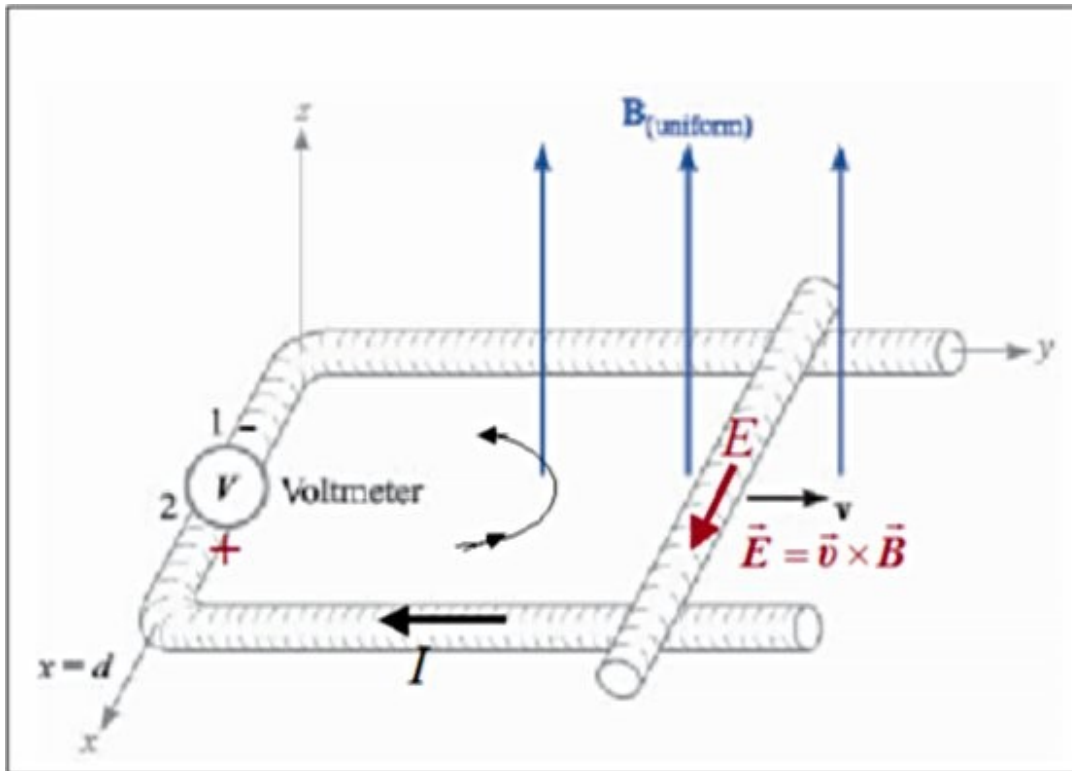


$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

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

Αν θεωρήσουμε τον αγωγό που κινείται μέσα σε ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο, η δύναμη Laplace ωθεί τα φορτία στα άκρα του αγωγού. Η δύναμη ισορροπείται από τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στη συνέχεια.

Άλλος υπολογισμός



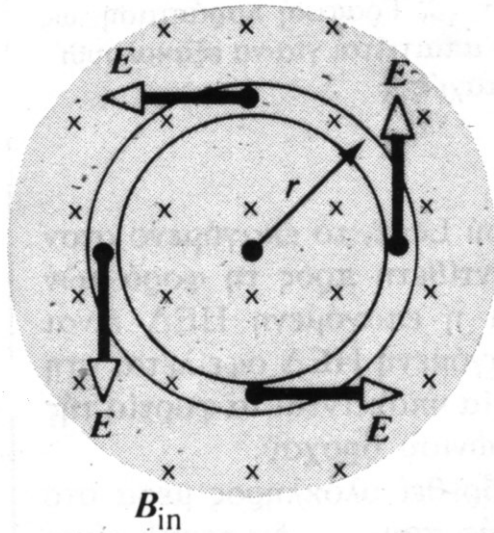
Το Ηλ. πεδίο δημιουργείται στην κινούμενη ράβδο.

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) d\vec{l}$$

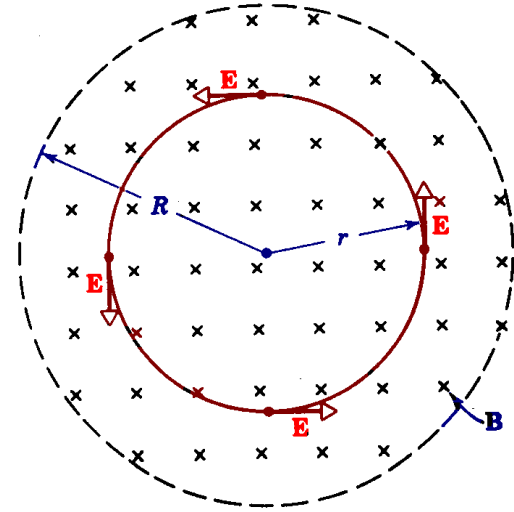
$$\oint \vec{E} d\vec{l} = -vBd$$

Παίρνουμε το ίδιο αποτέλεσμα.

Χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο



$$\oint \vec{E} d\vec{l} = - \frac{d\Phi}{dt}$$



Το ηλεκτρικό πεδίο επάγεται στον κυκλικό αγωγό

Το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργείται ανεξάρτητα από τον αγωγό

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{s}$$

Συνολικά

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) d\vec{l} - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \qquad \oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

Ο πρώτος όρος είναι το κινητικό κομμάτι και δεύτερος προέρχεται από την μεταβολή του μαγνητικού πεδίου.

Το πρώτο ολοκλήρωμα γίνεται στη διαδρομή που περιβάλλει την επιφάνεια S.

Ουσιαστικά έχουμε δύο διαφορετικούς νόμους που παρουσιάζονται κάτω από την ίδια έκφραση. Είναι μοναδικό παράδειγμα στη φυσική!



Εξίσωση Maxwell από το νόμο του Faraday, σε κυκλωματική μορφή.

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\begin{aligned} \text{Διαστάσεις του } B &\rightarrow \frac{\text{Δύναμη}}{\text{Ροπή ρεύματος}} = \frac{\text{Δύναμη}}{\text{Ρεύμα} \cdot \text{Μήκος}} \\ &= \frac{\text{Δύναμη}}{\text{Φορτίο} \cdot \text{Μήκος/Χρόνος}} \end{aligned}$$

$$\text{Άρα } dB/dt \rightarrow \frac{\text{Δύναμη}}{\text{Φορτίο} \cdot \text{Μήκος}}$$

Και το ολοκλήρωμα \rightarrow Έργο/Φορτίο.

Τις ίδιες διαστάσεις με το αριστερό μέρος.



Παράδειγμα

$$\frac{dB}{dt} = 0,1 \text{ T / s}$$

$$r = 10 \text{ cm}$$

$$R = 2 \Omega$$

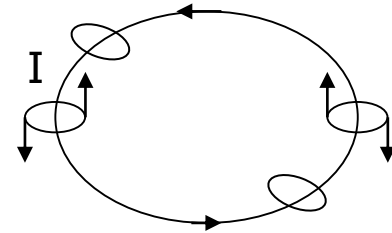
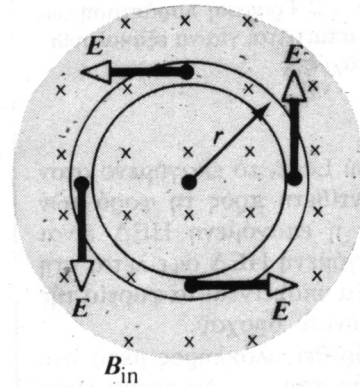
$$\oint \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$2\pi r E = -\pi r^2 \frac{dB}{dt} \Rightarrow E = -\frac{r}{2} \frac{dB}{dt}$$

$$E = 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 0,005 \text{ V / m}$$

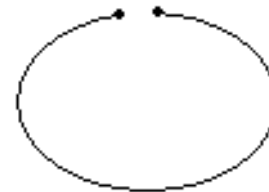
$$V_e = 2\pi r E \Rightarrow V_e = 3,1 \text{ mV}$$

$$I = \frac{V_e}{R} \Rightarrow I = 1,6 \text{ mA}$$

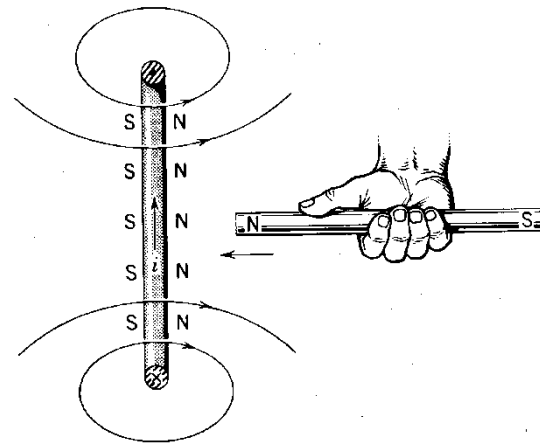
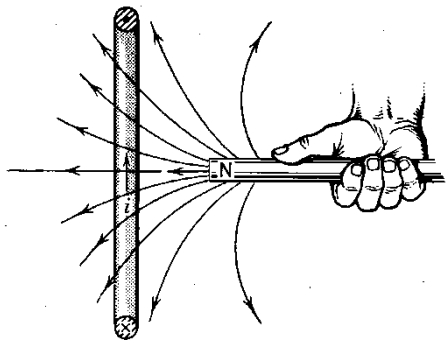


Επειδή το μαγνητικό πεδίο αυξάνεται, το επαγόμενο ρεύμα είναι δεξιόστροφο

$$V_e = 3,1 \text{ mV}$$



Παράδειγμα



Εξηγήστε τα παραπάνω διαγράμματα χρησιμοποιώντας τους νόμους του Faraday και Lenz

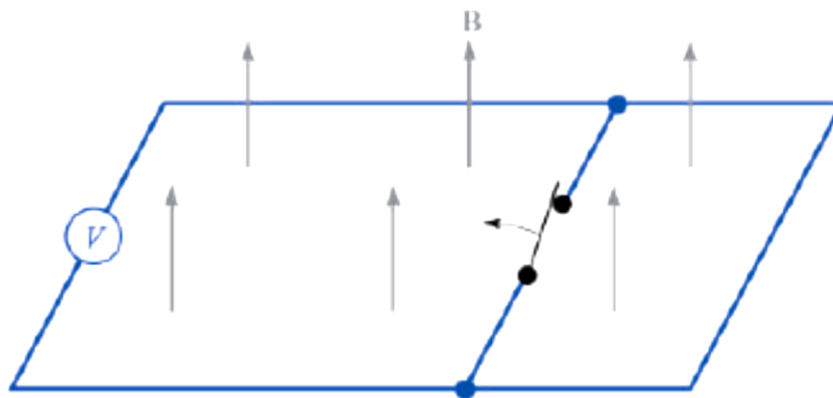


Ο νόμος της ροής. R.P. Feynman

- So the "flux rule" that the emf in a circuit is equal to the rate of change of the magnetic flux through the circuit applies whether the flux changes because the field changes or because the circuit moves (or both) ...
- Yet in our explanation of the rule we have used two completely distinct laws for the two cases – for "circuit moves" and for "field changes".
- We know of no other place in physics where such a simple and accurate general principle requires for its real understanding an analysis in terms of *two different phenomena*.
 - — Richard P. Feynman, *The Feynman Lectures on Physics*



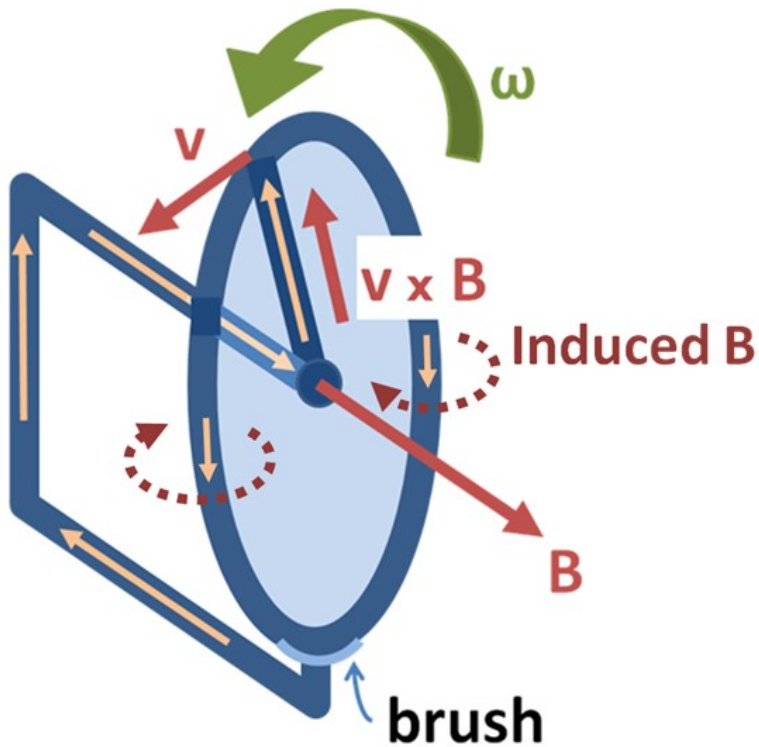
Αντιπαραδείγματα.



Η αύξηση της επιφάνειας δεν δημιουργεί ΗΕΔ!

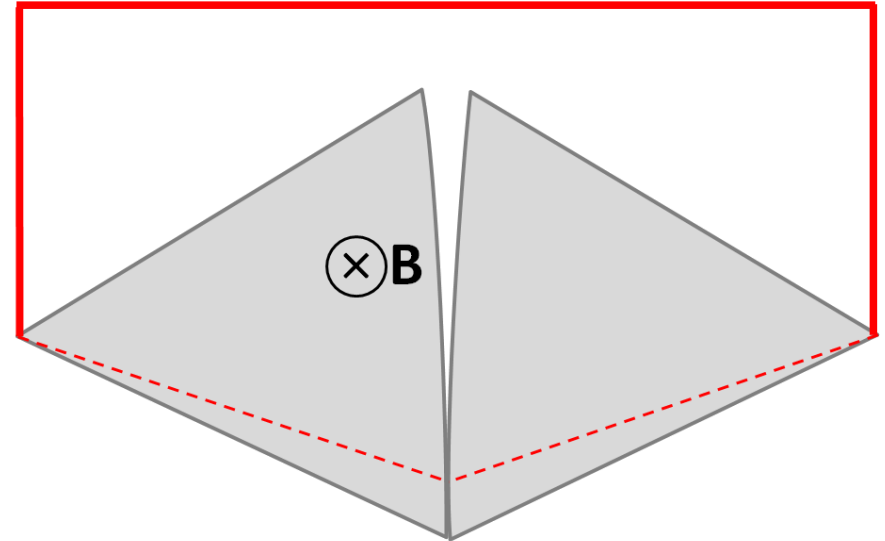


Αντιπαραδείγματα.



Δεν αλλάζει η επιφάνεια του κυκλώματος. Τα φορτία κινούνται μαζί με το υλικό. Η τάση παράγεται από τη δύναμη Laplace.

Με την περιστροφή των τομέων αλλάζει σημαντικά η διαδρομή. Όμως δεν παράγεται τάση από την αλλαγή. Μια μικρή τάση θα παραχθεί λόγω της ταχύτητας των φορέων όπως στο προηγούμενο.



Ασκήσεις

- 17.1- 17.4 , 49, 50 Μεταβαλλόμενο Μαγνητικό Πεδίο
- 17.6 – 17.11 , 23, 24 48 Κινούμενο πλαίσιο
- 17.12 – 17.16 Αμοιβαία επαγωγή
- 17.17 -17.19 Κινούμενο φορτίο
- 17.20 – 17.22 Αυτεπαγωγή
- 17.26 – 17.29 Κυκλώματα RLC
- 17.30 – 17.47 Εναλλασσόμενα ρεύματα



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.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Γεώργιος Βούλγαρης, 2015. Γεώργιος Βούλγαρης. «Φυσική ΙΙΙ. Επαγωγή». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<http://opencourses.uoa.gr/courses/PHYS14/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 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-sa/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.

