



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Φυσική III

Ενότητα 3: Επαγωγή

Γεώργιος Βούλγαρης  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Φυσικής

# Michel Faraday

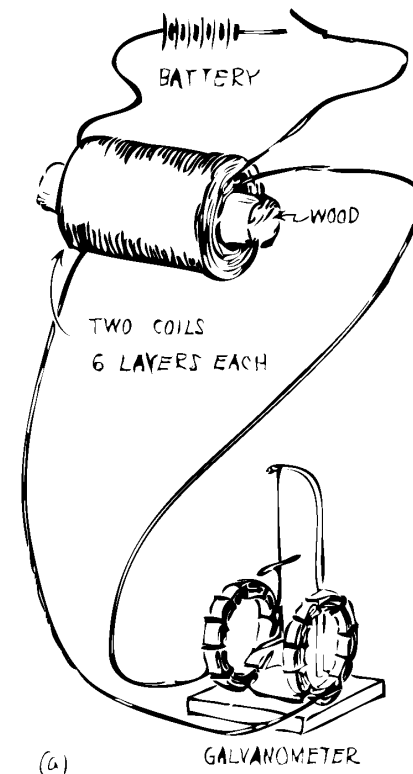
## 1791-1867

Μελέτησε τα φαινόμενα της μαγνητικής επαγωγής από το 1820 μέχρι το 1831. Η σύνοψη των πειραμάτων παρουσιάστηκε στην Ακαδημία Επιστημών το 1831 και δημοσιεύτηκε το 1832 στο Philosophical Transactions.



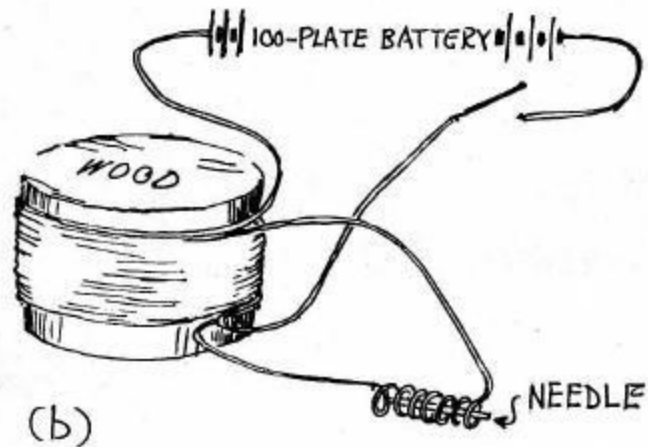
# Συνοπτικά τα πιο σημαντικά πειράματα

- Προσπάθησε να αποδείξει το φαινόμενο της επαγωγής που παρατήρησε στα στατικά φορτία, χρησιμοποιώντας «Βολταϊκό» Ηλεκτρισμό.
- Χρησιμοποίησε δύο ομοαξονικά πηνία τυλιγμένα γύρω από έναν ξύλινο κύλινδρο.
- Το ένα πηνίο διαρρέονταν από ρεύμα που προέρχονταν από ηλεκτρική στήλη, στο άλλο πηνίο είχε συνδέσει ένα γαλβανόμετρο.



# Περίληψη των αποτελεσμάτων

- Δεν παρατήρησε ρεύμα κατά την **σταθερή κατάσταση** του κυκλώματος.
- Παρατήρησε μικρή απόκλιση κατά τη **σύνδεση και αποσύνδεση** της στήλης.
- Η φορά της απόκλισης ήταν **αντίθετη** κατά την **σύνδεση και αποσύνδεση**.
- Η απόκλιση **αντιστρέφονταν** όταν άλλαζε την πολικότητα της στήλης.
- Επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα **μαγνητίζοντας** μια σιδερένια βελόνα.



# Συμπέρασμα.

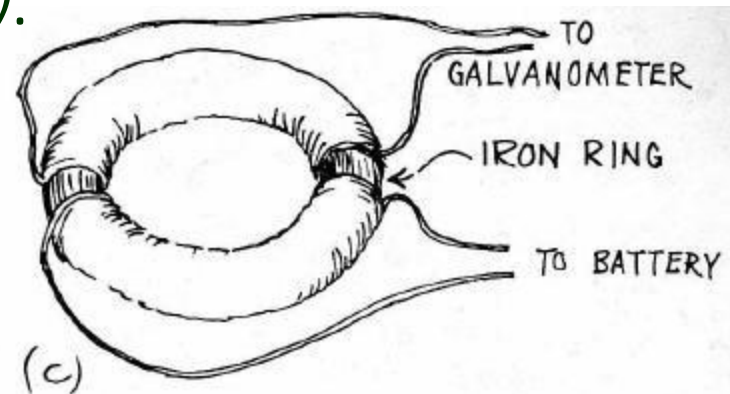
- Το ρεύμα εμφανίζονταν μόνο κατά την σύνδεση ή αποσύνδεση της στήλης.
- Κατά την σύνδεση, η προκαλούμενη μαγνήτιση ήταν αντίθετη από την φορά της μαγνήτισης που προκαλούσε το ρεύμα.
- Κατά την αποσύνδεση ήταν κατά την φορά που προκαλούσε το ρεύμα.



# Συνέχεια

- Επανέλαβε το πείραμα χρησιμοποιώντας παράλληλους αγωγούς. Το φαινόμενο επανελήφθη.
- Η φορά του επαγόμενου ρεύματος ήταν αντίθετη στην προσέγγιση και απομάκρυνση των αγωγών
- Επίσης απέδειξε ότι το επαγόμενο ρεύμα εξαρτιόνταν από την απόσταση των αγωγών.

➤ Χρησιμοποίησε δύο πηνία τυλιγμένα γύρω από σιδερένιο δακτυλίδι. Το ρεύμα ήταν πολύ ισχυρότερο.

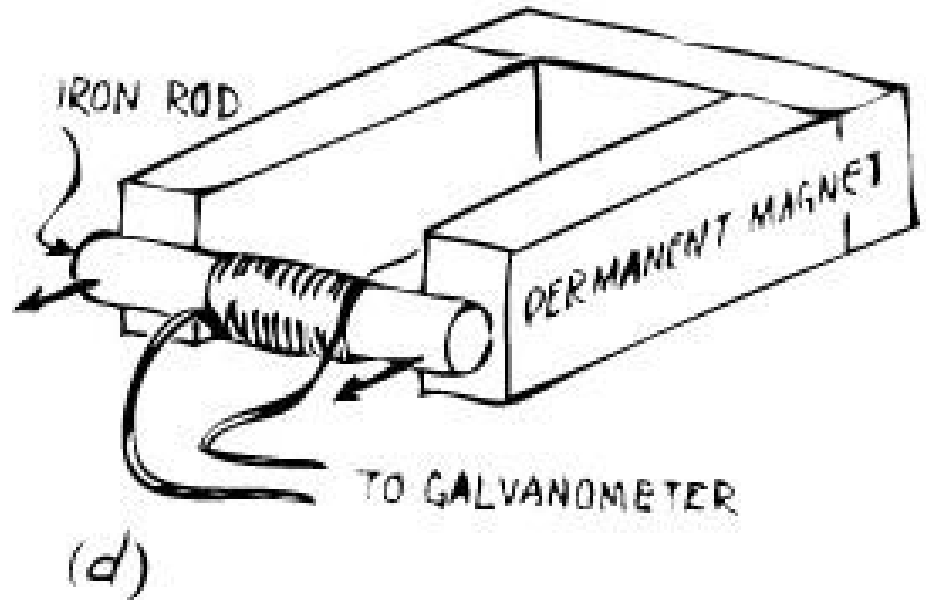


# Μαγνητική σύνδεση.

Το πηνίο τυλιγμένο γύρω από ένα σιδερένιο πυρήνα,

Πλησιάζει και απομακρύνει μόνιμο μαγνήτη.

Εισάγει και εξάγει μόνιμο μαγνήτη στο πηνίο.



Καταλήγει στο συμπέρασμα ότι τα φαινόμενα συνδέονται με την μεταβολή της μαγνητικής ροής.

# Κανόνας Lentz, αντιστοιχία φαινομένων.

α) Παράλληλοι αγωγοί.  
(Ampere)

a) Faraday

β) Κάθετοι κυκλικοί αγωγοί.  
(Ampere)

b) Lentz

γ) Κάθετοι ευθύγραμμοι αγωγοί.  
(Nobili)

c) Nobili

δ) Μαγνητική βελόνα και ρεύμα.  
(Oersted)

d) Lentz

Όταν ένας κινούμενος αγωγός πλησιάζει έναν αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα, επάγεται ρεύμα του οποίου η φορά είναι αυτή που θα προκαλούσε κίνηση του κινούμενου αγωγού στην αντίθετη κατεύθυνση...

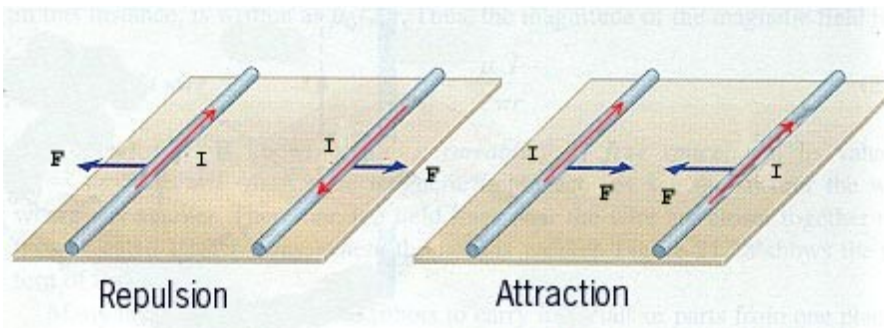




# α) Παράλληλοι αγωγοί.

Όταν δύο παράλληλοι αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα της ίδιας φοράς, αναπτύσσεται ελκτική δύναμη μεταξύ τους. Όταν είναι αντίρροπα, αναπτύσσεται απωστική δύναμη.

Ένας σταθερός αγωγός διαρρέεται από ρεύμα ενώ ένας κινούμενος αγωγός συνδέεται με γαλβανόμετρο. Όταν ο αγωγός πλησιάζει τον ακίνητο, εμφανίζεται ρεύμα αντίθετης φοράς του ρεύματος του ακινήτου. Όταν απομακρύνεται το ρεύμα γίνεται της ίδιας φοράς.



## β) Κυκλικοί αγωγοί.

Δύο αγωγοί σε σχήμα στεφάνης, μπορούν να περιστρέφονται γύρω από κοινό άξονα. Αν και οι δύο διαρρέονται από ρεύμα προσανατολίζονται σε κάθετη θέση. (Ampere)

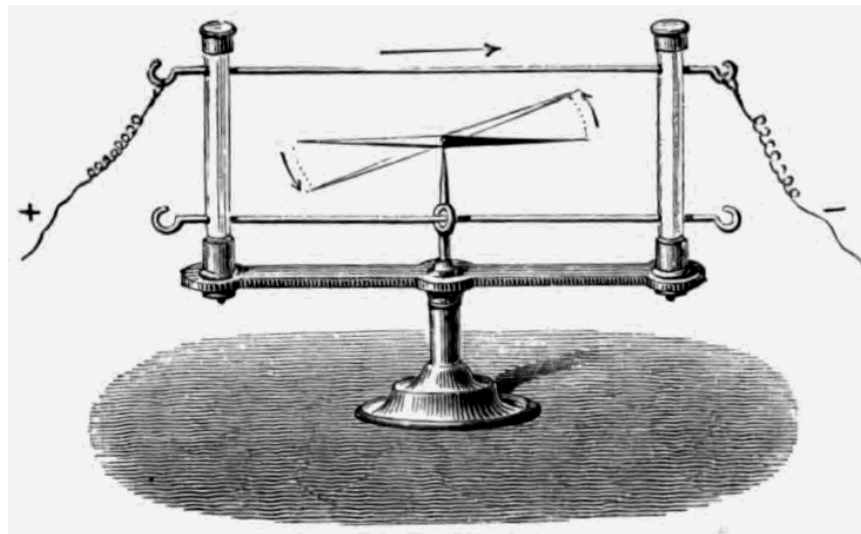
Το ένα στεφάνι διαρρέεται από ρεύμα, το άλλο συνδέεται με γαλβανόμετρο. Αν το στεφάνι περιστραφεί, θα εμφανιστεί ρεύμα στο γαλβανόμετρο. (Lentz)



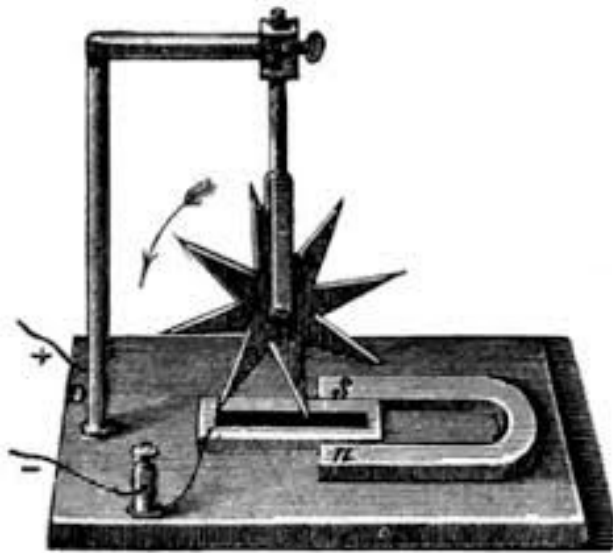
# δ) Αγωγός και μόνιμος μαγνήτης.

Μια μαγνητική βελόνη προσανατολισμένη στο Μαγνητικό πεδίο της γης. Παράλληλα με τον άξονα της τοποθετείται αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα με φορά από N προς S. Η βελόνα αποκλίνει προς τη Δύση. Αν η φορά του ρεύματος είναι από S προς N αποκλίνει προς την Ανατολή. Πείραμα Oersted.

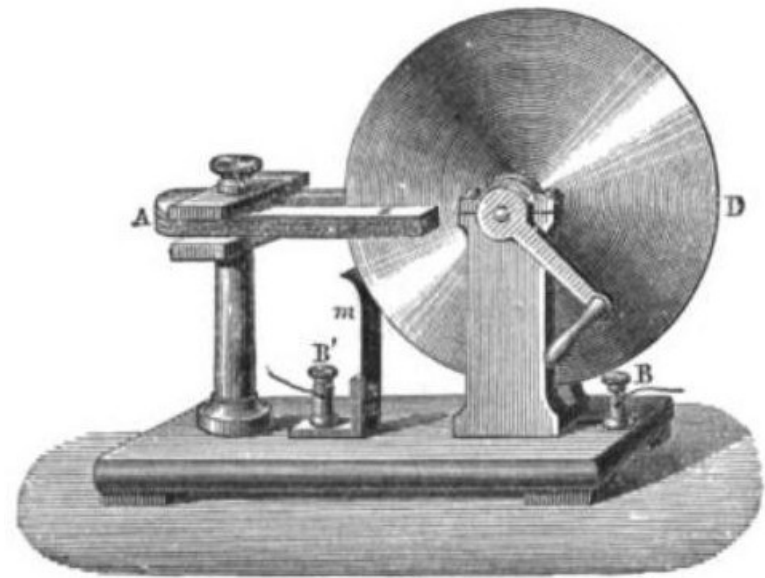
Αν ένας αγωγός τοποθετηθεί πάνω και παράλληλα από ένα μόνιμο μαγνήτη προσανατολισμένο με το βόρειο πόλο να δείχνει στον Βορρά. Αν στραφεί ο μαγνήτης προς τη Δύση, στον αγωγό θα εμφανιστεί ρεύμα από Νότο προς Βορρά. Αν ο μαγνήτης στραφεί προς την Ανατολή, το επαγόμενο ρεύμα θα έχει αντίθετη φορά. Lenz



# Τροχός Barlow, Faraday.



Όταν η ακτίνα διαρρέεται από ρεύμα ασκείται πάνω της δύναμη Laplace και ο τροχός περιστρέφεται.



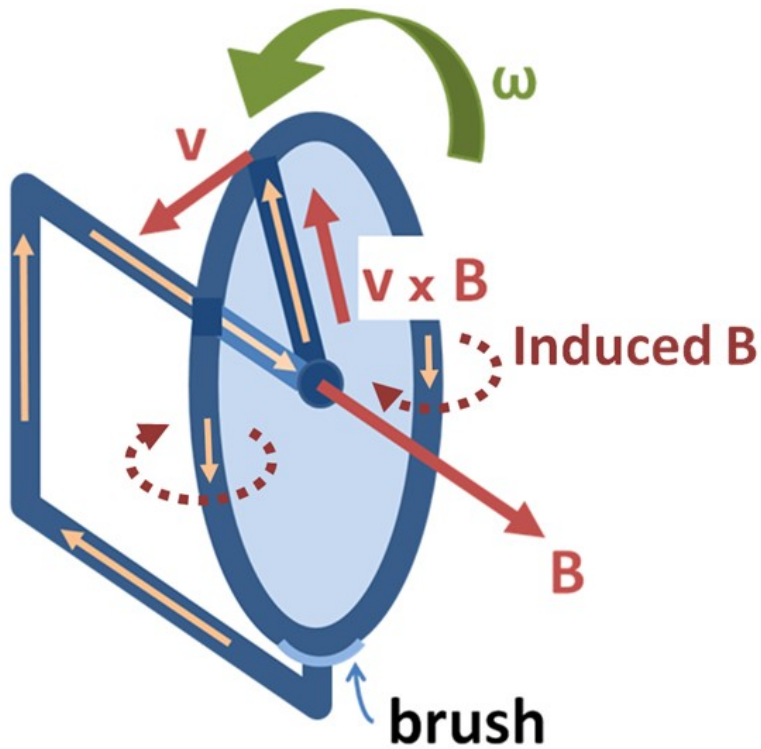
Όταν ο τροχός περιστρέφεται ανάμεσα στον άξονα και την περιφέρεια δημιουργείται ΗΕΔ.

# Ο νόμος της ροής Richard Feynman

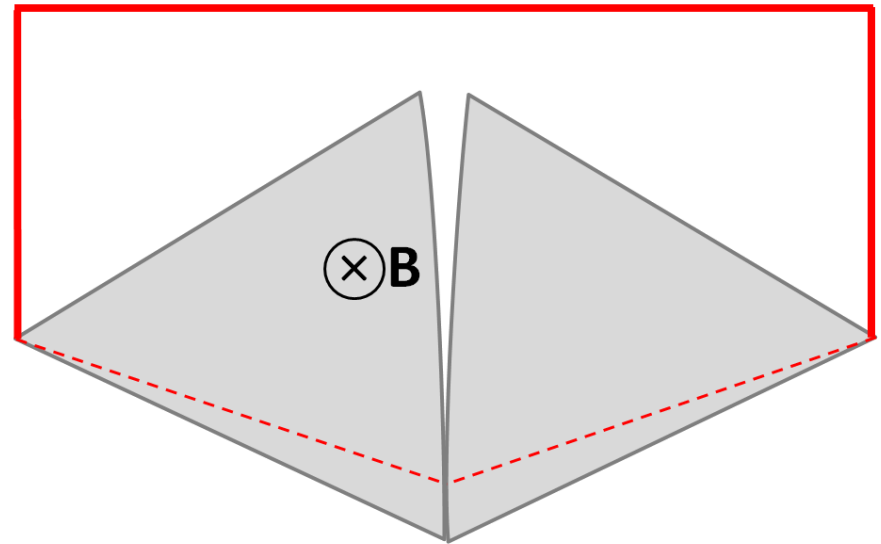
- So the "flux rule" that the emf in a circuit is equal to the rate of change of the magnetic flux through the circuit applies whether the flux changes because the field changes or because the circuit moves (or both) ...
- Yet in our explanation of the rule we have used two completely distinct laws for 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*



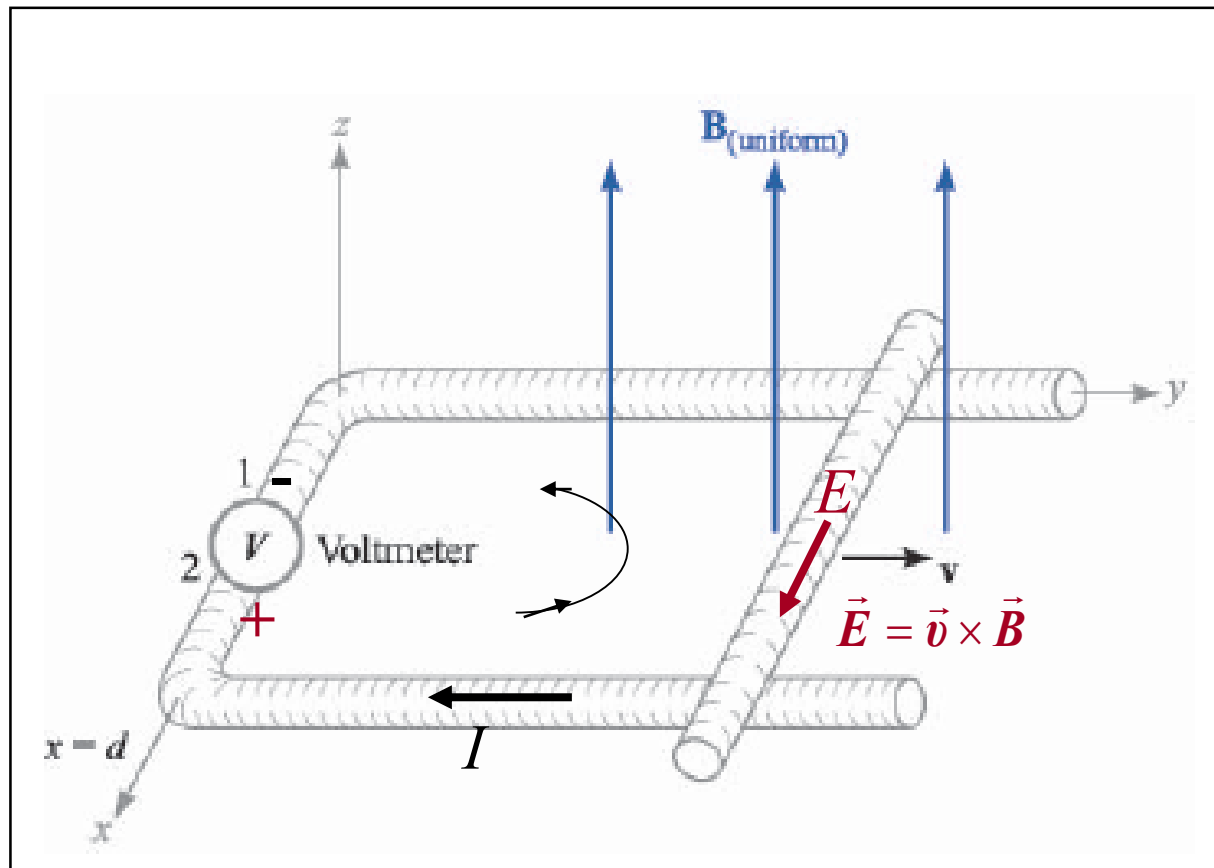
# Αντιπαραδείγματα.



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.



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



# 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.





## Εξίσωση Maxwell από Νόμο Faraday

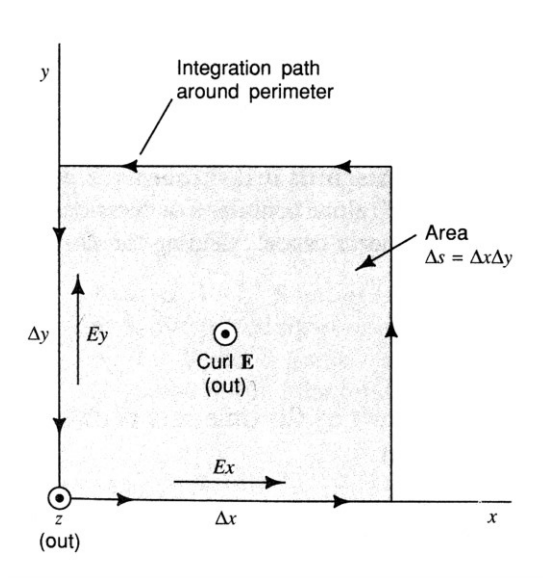
$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = \int_S (\vec{\nabla} \times \vec{E}) d\vec{S} \quad (\text{Stokes})$$

$$\iint (\vec{\nabla} \times \vec{E}) d\vec{S} = - \iint \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

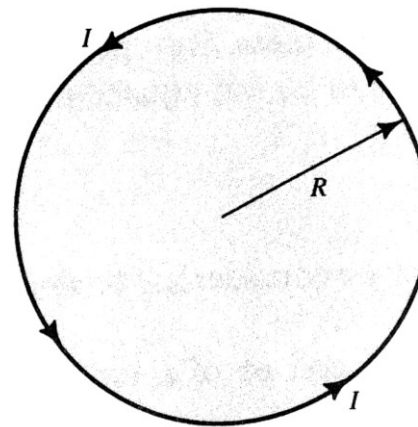


# Γεωμετρική ερμηνεία.

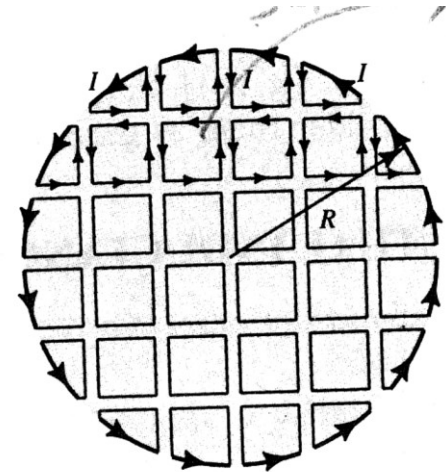


$$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = \int_S (\nabla \times \mathbf{E}) \cdot d\mathbf{s}$$

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L}}{\Delta s} = (\nabla \times \mathbf{E}) \cdot \hat{\mathbf{z}} = \text{curl}_z \mathbf{E}$$



(a)



(b)

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.

