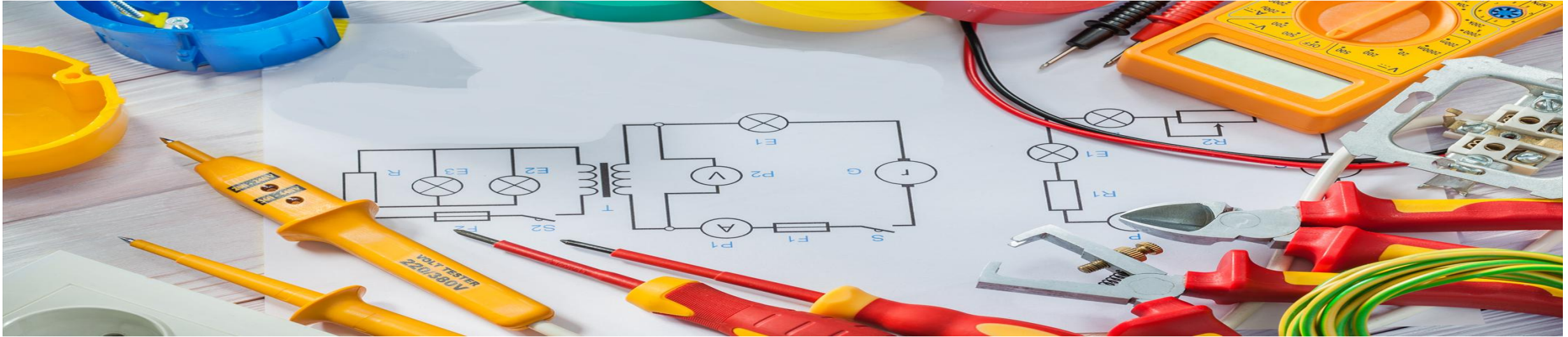


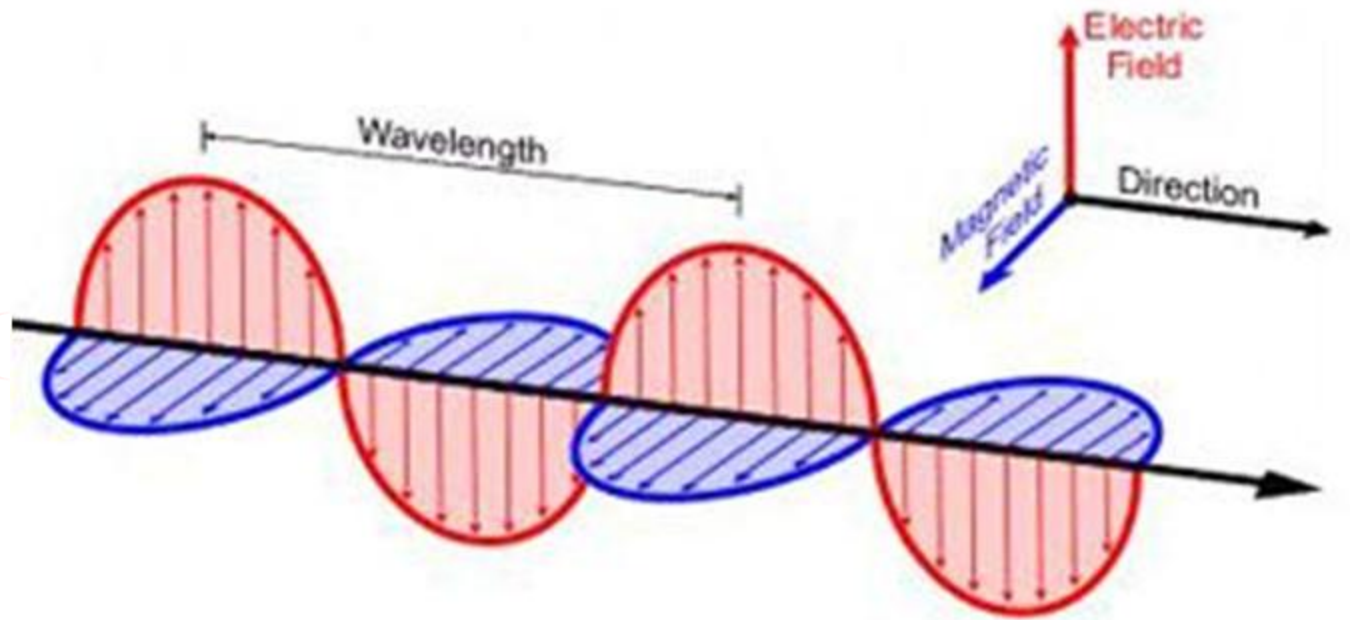
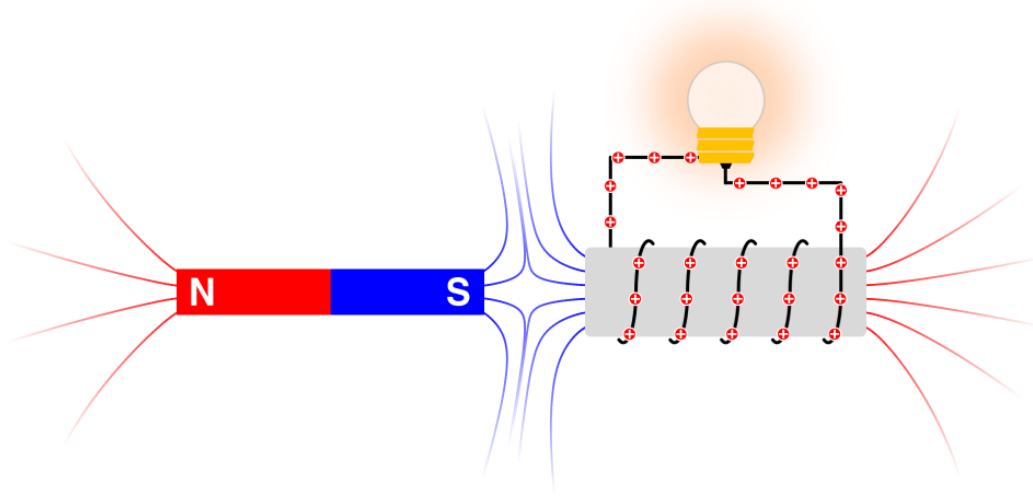
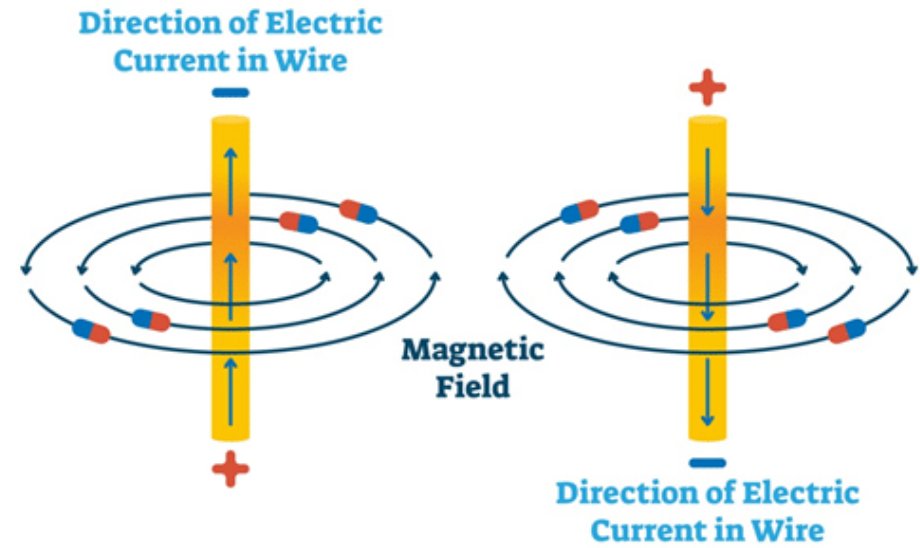
Σημειώσεις στο Μάθημα



ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Ηλεκτρομαγνητισμός



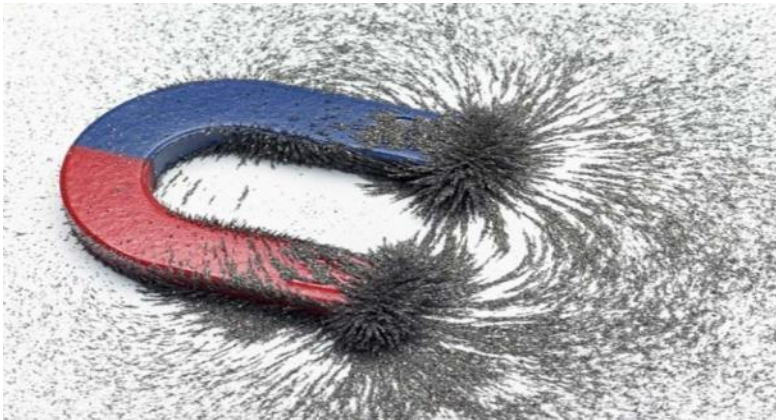
Ηλεκτρομαγνητισμός

- Ο **ηλεκτρομαγνητισμός**, ή ηλεκτρομαγνητική δύναμη ή ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση είναι μία από τις τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις / αλληλεπιδράσεις της φυσικής (η βαρυτική, η ηλεκτρομαγνητική, η ισχυρή και η ασθενής πυρηνική αλληλεπίδραση)
- Μελετά τα φαινόμενα που απορρέουν από το **ηλεκτρικό φορτίο** των σωματιδίων και από την **αλληλεπίδραση** των **ηλεκτρικών** με τα **μαγνητικά πεδία**.
- Η θεμελιώδης αυτή δύναμη επιτρέπει την κατανόηση πολλών φυσικών φαινομένων όπως ο **ηλεκτρισμός**, ο **μαγνητισμός**, και το φως, και αποτελεί το πρώτο δείγμα ενοποίησης δύο διαφορετικών δυνάμεων - του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού - στη φυσική.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνήτες - Μαγνητικοί Πόλοι

- **Μαγνήτης** ονομάζεται το υλικό που έχει την ιδιότητα να έλκει τον **σίδηρο** και ορισμένα άλλα υλικά (π.χ. νικέλιο, κοβάλτιο κ.λ.π.).
- **Μαγνητισμός** είναι η **ιδιότητα του μαγνήτη** να έλκει σιδερένια αντικείμενα.
- **Φυσικός μαγνήτης** είναι το ορυκτό υλικό μαγνητίτης, ενώ ο **τεχνητός μαγνήτης** αποτελείται από **κράματα του σιδήρου** που μαγνητίζονται με τη βοήθεια **ισχυρών ηλεκτρικών ρευμάτων**.
- Η **ελκτική ικανότητα** των μαγνητών είναι εντονότερη στα άκρα τους (στους μαγνητικούς πόλους).



Πεταλοειδής Μαγνήτης

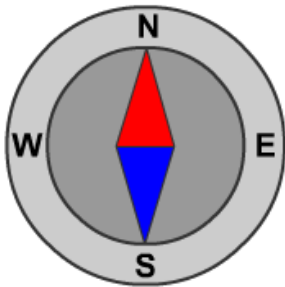


Ραβδόμορφος Μαγνήτης

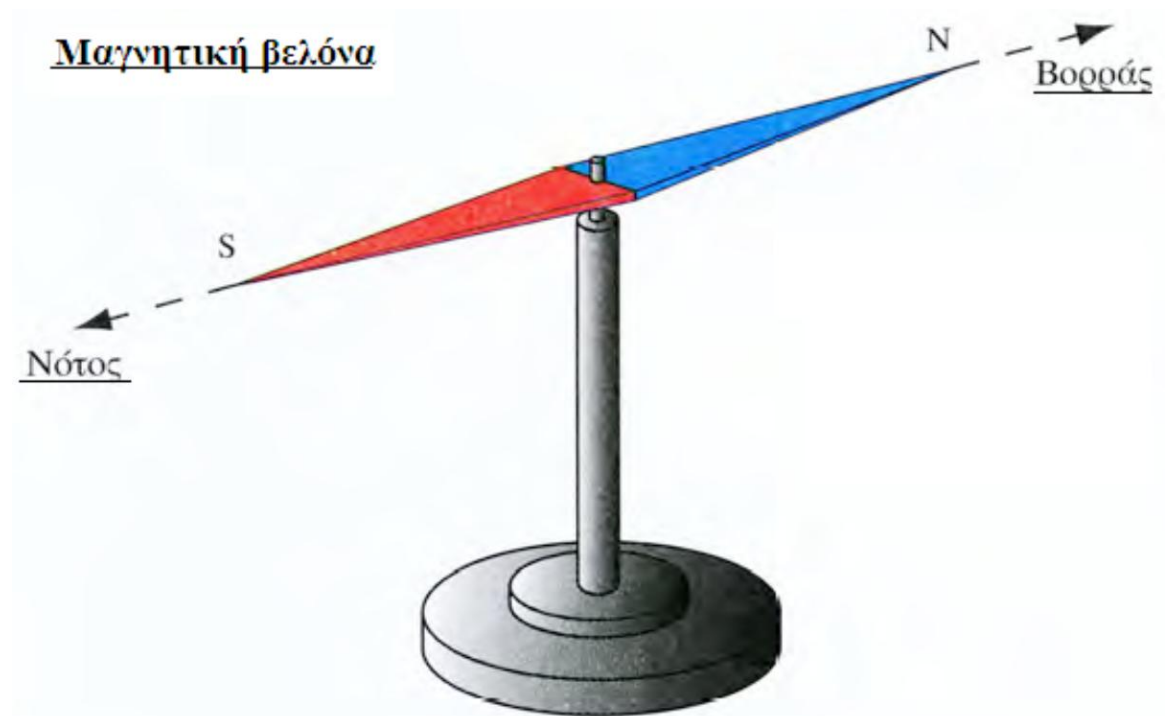
Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνήτες - Μαγνητικοί Πόλοι

- Ο μαγνητισμός μπορεί εντοπιστεί με την βοήθεια μιας **μαγνητικής πυξίδας**.
- Οι δύο άκρες της **μαγνητικής βελόνας** στρέφονται πάντα προς το **Βορρά** (North - Βόρειος μαγνητικός πόλος) και το **Νότο** (South - Νότιος μαγνητικός πόλος).
- Οι **ομώνυμοι** μαγνητικοί πόλοι **απωθούνται** ενώ οι **ετερόνυμοι έλκονται**.



Μαγνητική Πυξίδα



Ηλεκτρομαγνητισμός

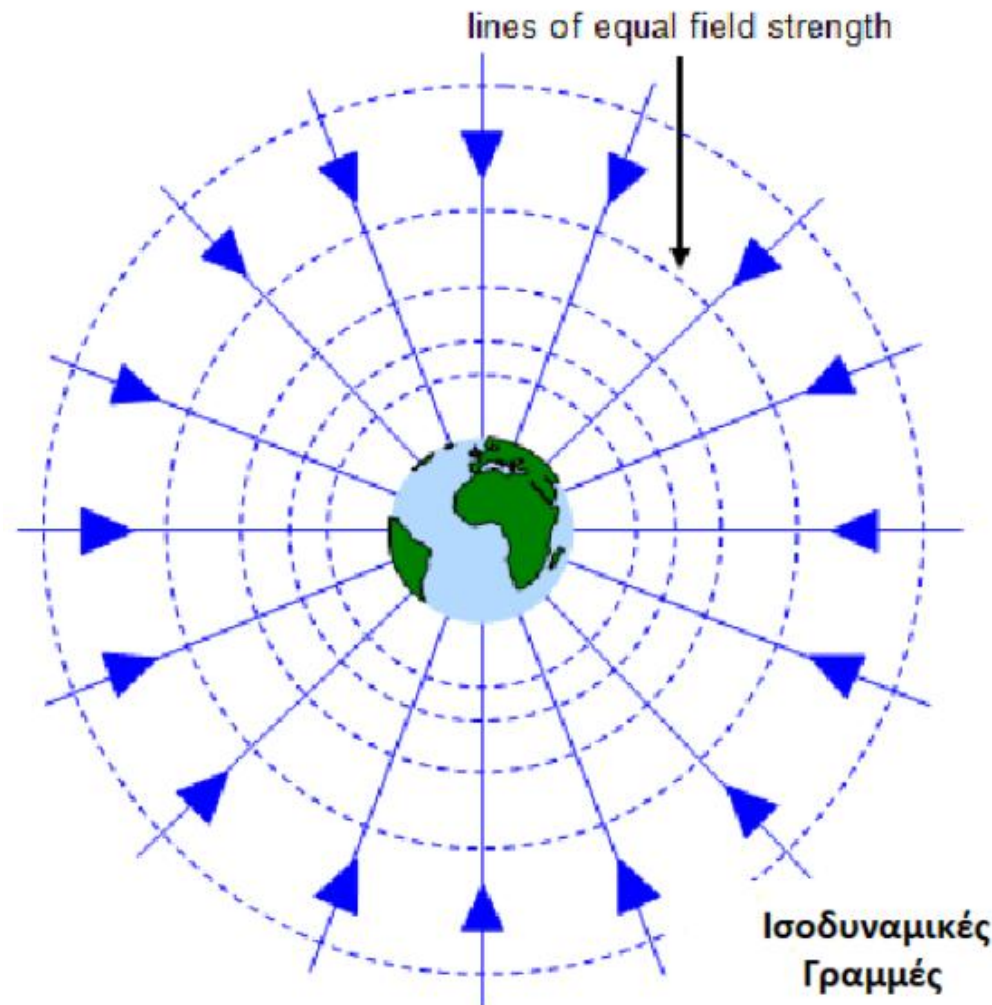
Πεδία Δυνάμεων - Μαγνητικό Πεδίο

- Ο όρος «**πεδίο**» μπήκε στο λεξιλόγιο των φυσικών στις αρχές του περασμένου αιώνα από τον **Michael Faraday** (Φαραντέι), που προσπαθούσε να εξηγήσει πώς **αλληλεπιδρούν** σώματα που δεν βρίσκονται σε επαφή.
- **Πεδίο** (δυνάμεων) είναι η περιοχή του χώρου μέσα στην οποία το κατάλληλο υπόθεμα δέχεται **δύναμη**.
- Είδη Πεδίων:
 - ✓ **Βαρυτικό Πεδίο**: Το δημιουργεί μια μάζα (π.χ. το βαρυτικό πεδίο της Γης)
 - ✓ **Ηλεκτροστατικό Πεδίο**: Το δημιουργεί ένα ακίνητο ηλεκτρικό φορτίο.
 - ✓ **Μαγνητικό Πεδίο**: Το δημιουργεί ένας **φυσικός μαγνήτης** ή ένα **κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο**.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Πεδία Δυνάμεων - Μαγνητικό Πεδίο

ΒΑΡΥΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

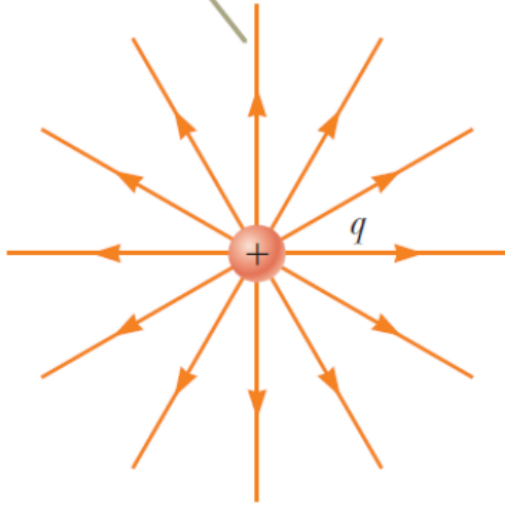


Ηλεκτρομαγνητισμός

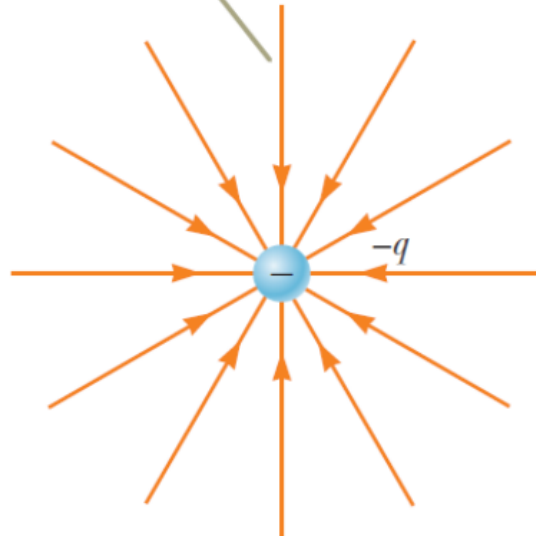
Πεδία Δυνάμεων - Μαγνητικό Πεδίο

ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

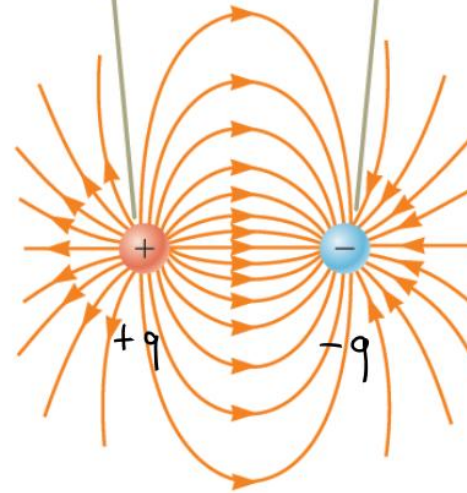
Για ένα θετικά φορτισμένο σωματίδιο, οι δυναμικές γραμμές έχουν κατεύθυνση ακτινικά προς τα έξω.



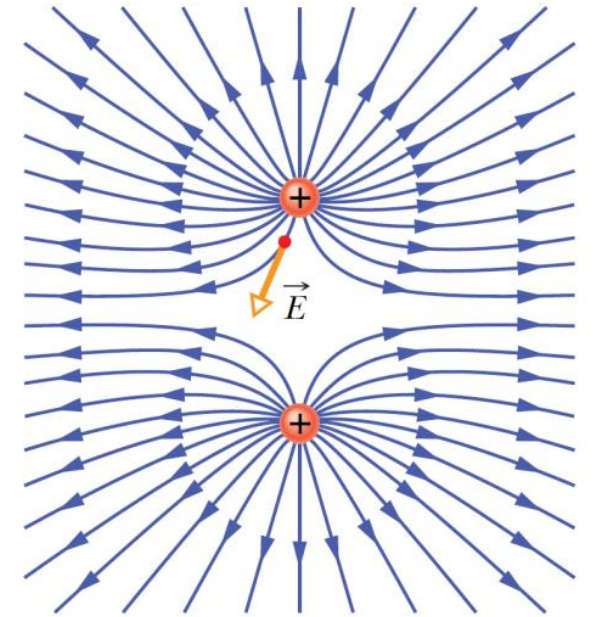
Για ένα αρνητικά φορτισμένο σωματίδιο, οι δυναμικές γραμμές έχουν κατεύθυνση ακτινικά προς τα μέσα.



Ο αριθμός των δυναμικών γραμμών που ξεκινούν από το θετικό φορτίο ισούται με τον αριθμό γραμμών που φθάνουν στο αρνητικό φορτίο.



Πεδίο Ομώνυμων Φορτίο

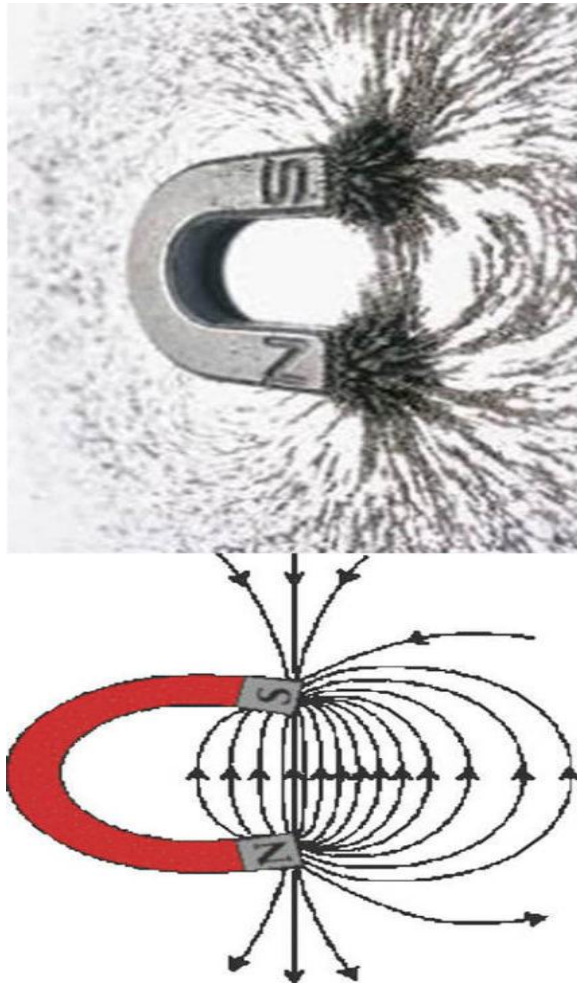


Ηλεκτρομαγνητισμός

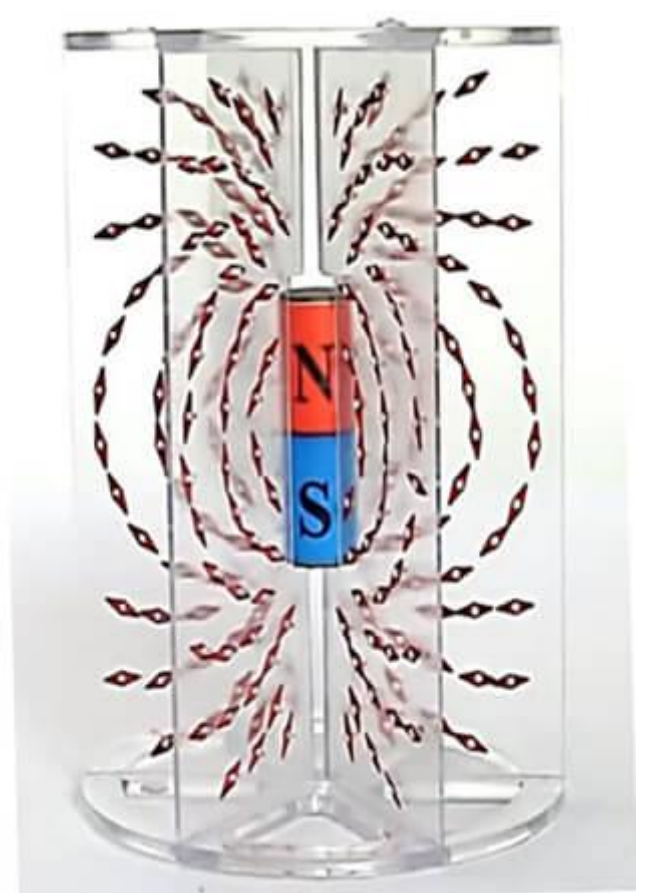
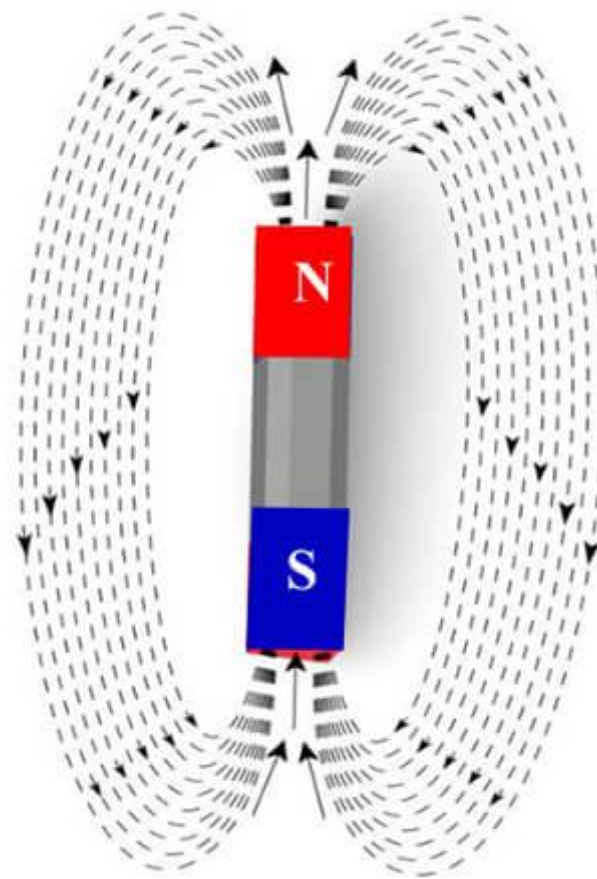
Πεδία Δυνάμεων - Μαγνητικό Πεδίο

ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Πεδίο Πεταλοειδούς Μαγνήτη



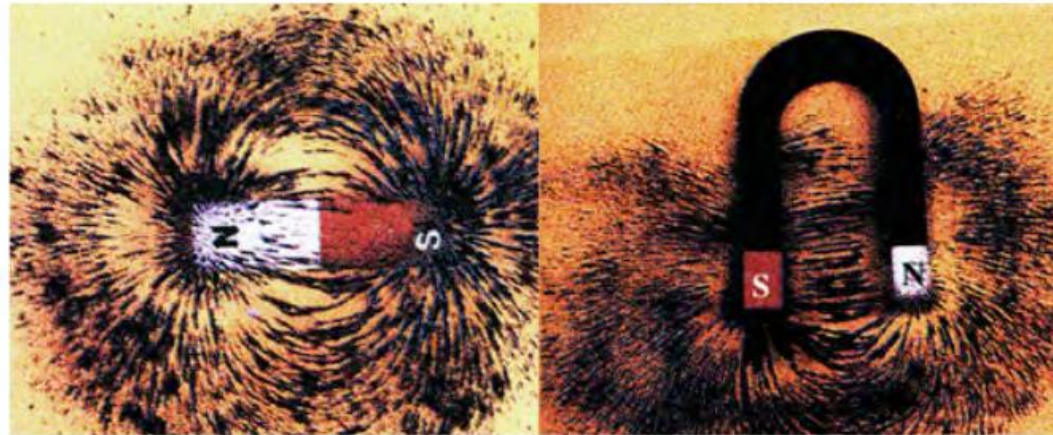
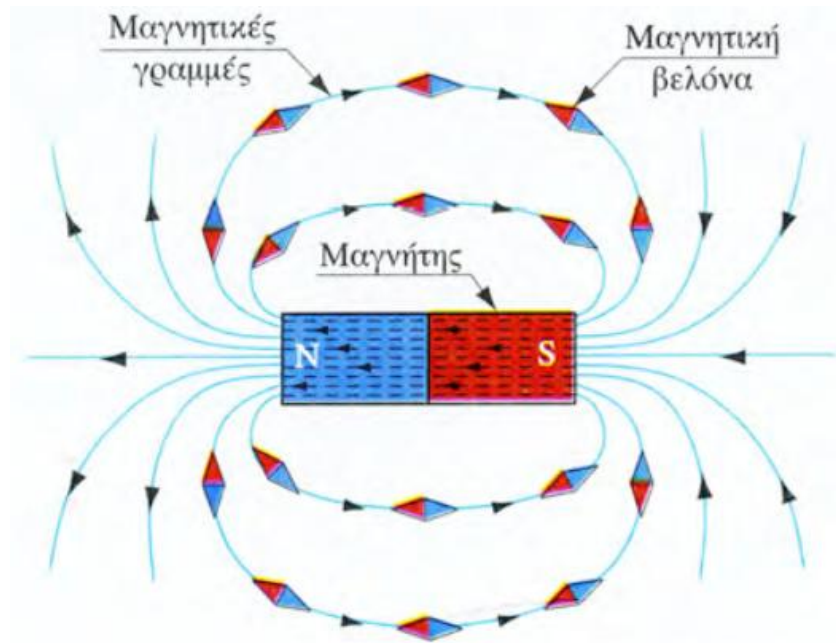
Πεδίο Πεταλοειδούς Μαγνήτη



Ηλεκτρομαγνητισμός

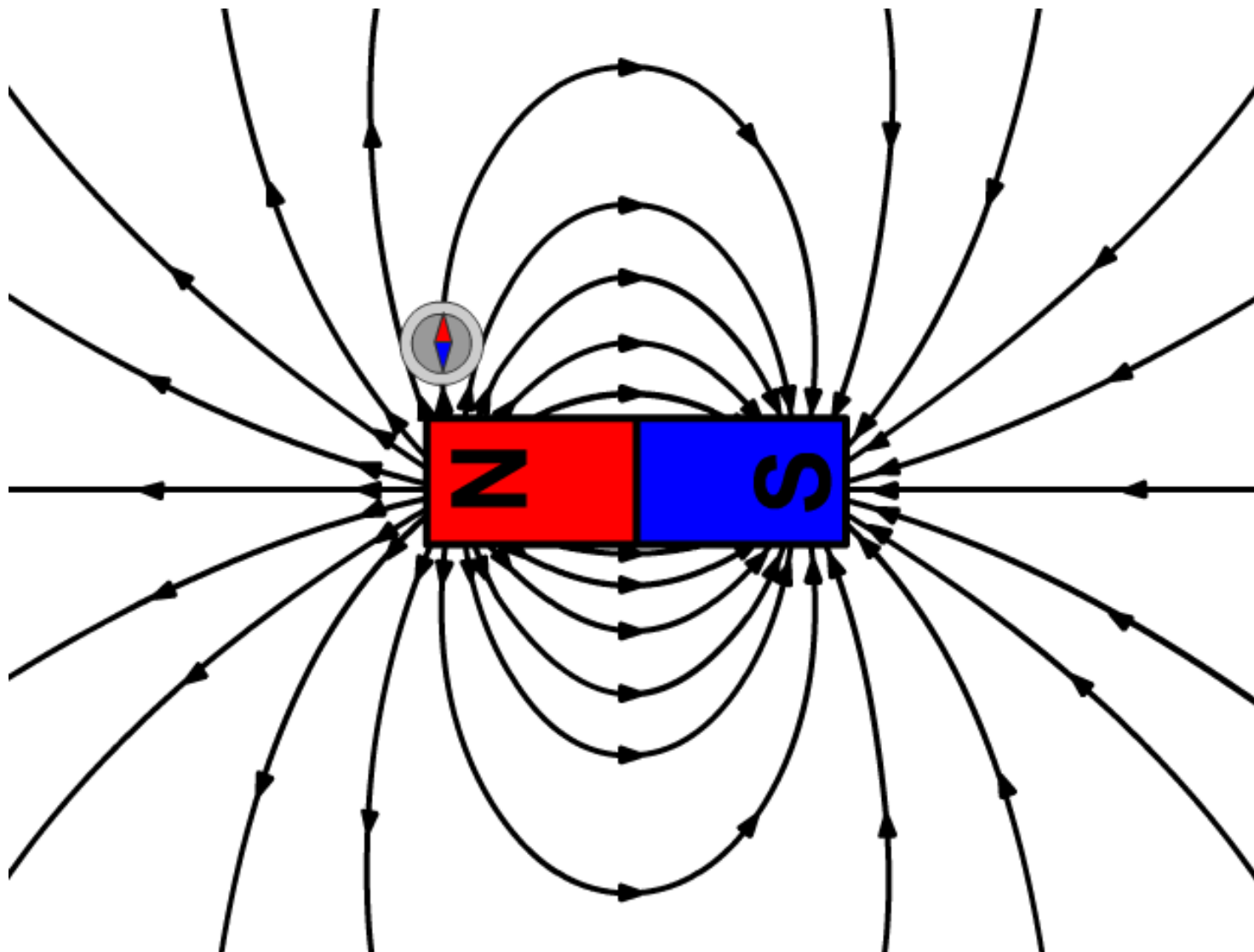
Μαγνητικές Γραμμές

- Οι **μαγνητικές γραμμές** δείχνουν τη διεύθυνση των δυνάμεων που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε κάθε σημείο του χώρου
- **Εξέρχονται** από τον βόρειο πόλο του μαγνήτη και **εισέρχονται** στο νότιο πόλο.
- Το μαγνητικό πεδίο είναι **ισχυρότερο στους πόλους** και οι μαγνητικές γραμμές εκεί είναι **πυκνότερες**.
- οι μαγνητικές καμπύλες είναι **κλειστές καμπύλες χωρίς αρχή και τέλος**.



Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικές Γραμμές



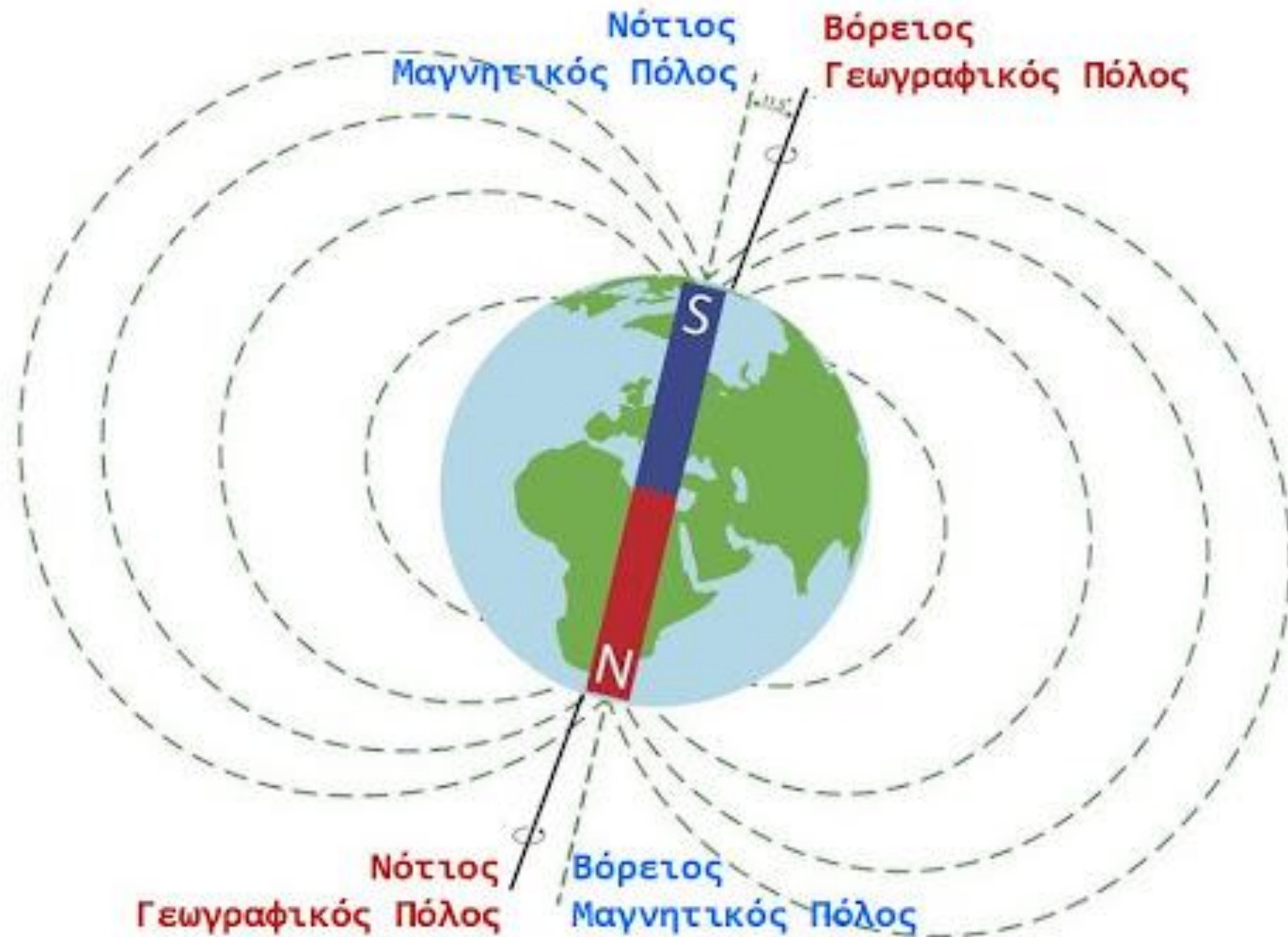
Ηλεκτρομαγνητισμός

Γήινος Μαγνητισμός (Γεωμαγνητισμός)

- Η γη αποτελεί ένα τεράστιο **φυσικό μαγνήτη** και δημιουργεί η γύρω της ένα **μαγνητικό πεδίο** το οποίο οφείλεται στην κίνηση του **λιωμένου ρευστού μάγματος** γύρω από τον σιδηροπυρήνα της γης
- Ο **μαγνητικός άξονας** της γης που ενώνει τους **μαγνητικούς πόλους** σχηματίζει γωνία $\theta = 11,5^\circ$ με τον **γεωγραφικό άξονα**.
- Οι **μαγνητικοί πόλοι** της γης **αντιστρέφονται περιοδικά** κάθε 200.000 με 300.000 χρόνια.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Γήινος Μαγνητισμός (Γεωμαγνητισμός)



Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικά Υλικά

Τα υλικά διακρίνονται ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στον μαγνητισμό στις εξής κατηγορίες:

Α. Υλικά που αποκρίνονται ασθενώς ή και καθόλου σε μαγνητικά πεδία.

- **Διαμαγνητικά:** Είναι τα υλικά που δεν μαγνητίζονται. Π.χ.: ο χαλκός, το ξύλο, το νερό, ο αέρας.
- **Παραμαγνητικά:** Έχουν ασθενή μαγνητική απόκριση σε εξωτερικά μαγνητικά πεδία. Δεν διατηρούν μαγνητισμό όταν αφαιρεθεί το εξωτερικό πεδίο. Π.χ.: το αλουμίνιο, το οξυγόνο, το μαγνήσιο.
- **Αντισιδηρομαγνητικά:** Είναι τα υλικά όπως ο αιματίτης, μέταλλα όπως το χρώμιο, κράματα όπως σιδήρου-μαγγανίου (FeMn) και οξείδια όπως το οξείδιο του νικελίου.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικά Υλικά

Β. Υλικά που μαγνητίζονται εύκολα.

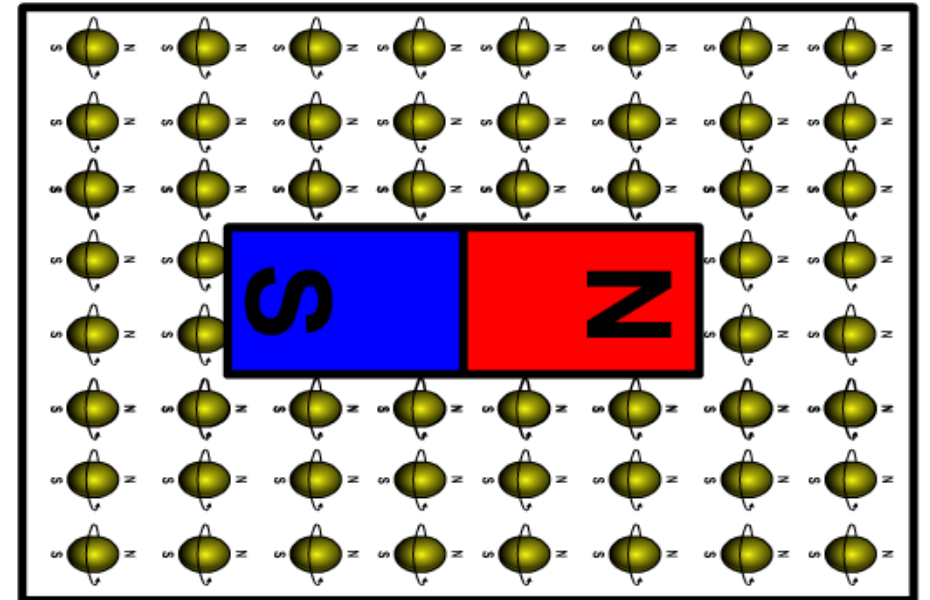
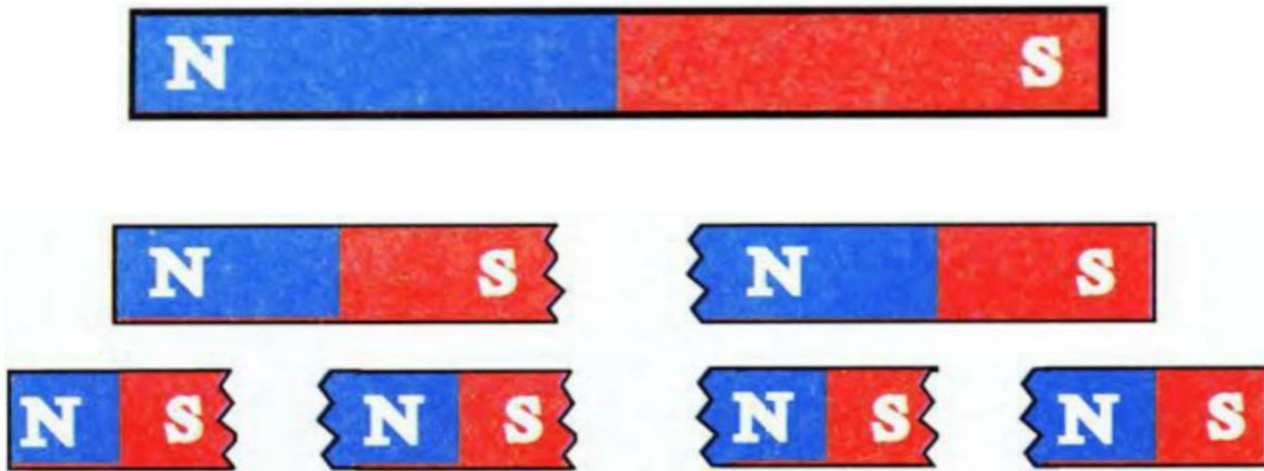
➤ **Σιδηρομαγνητικά υλικά:** Είναι υλικά πολύ σημαντικά για τη βιομηχανία και τη σύγχρονη τεχνολογία. Είναι η βάση για πολλές ηλεκτρικές και ηλεκτρομαγνητικές συσκευές όπως οι ηλεκτρομαγνήτες (electromagnets), οι ηλεκτρικοί κινητήρες, οι γεννήτριες, οι μετασχηματιστές και η μαγνητική αποθήκευση (magnetic storage) όπως στα κασετόφωνα (tape recorders) και τους σκληρούς δίσκους. Τα υλικά αυτά χωρίζονται σε:

- ✓ **Σκληρά σιδηρομαγνητικά:** είναι τα υλικά που όταν μαγνητιστούν γίνονται μόνιμοι μαγνήτες. Π.χ.: ο χάλυβας
- ✓ **Μαλακά σιδηρομαγνητικά:** είναι τα υλικά που μαγνητίζονται όταν βρεθούν σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο αλλά χάνουν το μαγνητισμό τους όταν πάψει επίδραση του μαγνητικού πεδίου που τα μαγνήτισε. Π.χ.: ο ήπιος χάλυβας (Low-carbon steel), τα φερρομαγνητικά κράματα νικελίου-σιδήρου.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικά Δίπολα

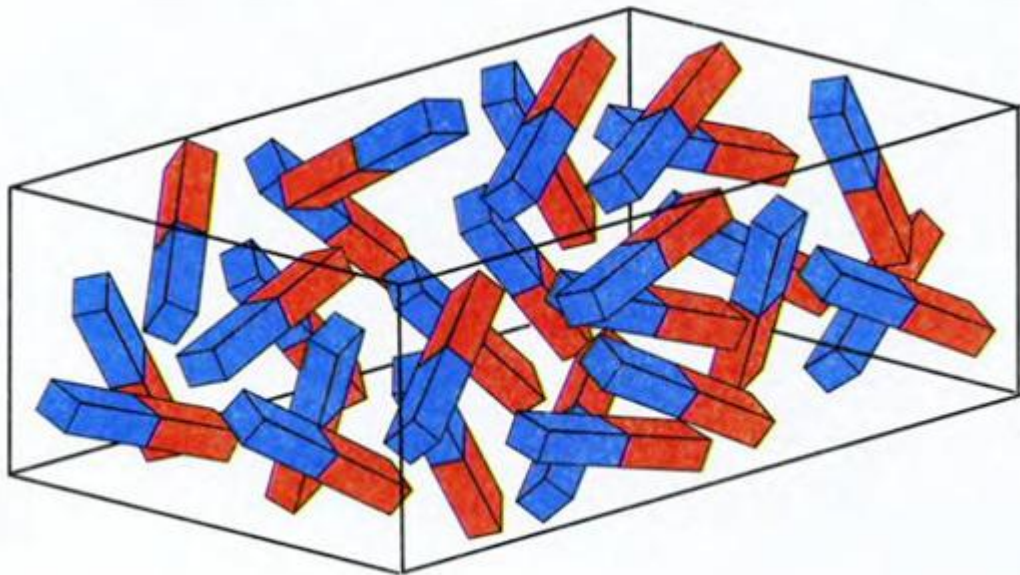
- Κάθε μαγνήτης έχει πάντα δύο πόλους: Τον **Βόρειο (North)** και τον **Νότιο (South)**
- Κάθε φορά που τεμαχίζουμε ένα μαγνήτη δημιουργούνται μικρότεροι διπολικοί μαγνήτες.



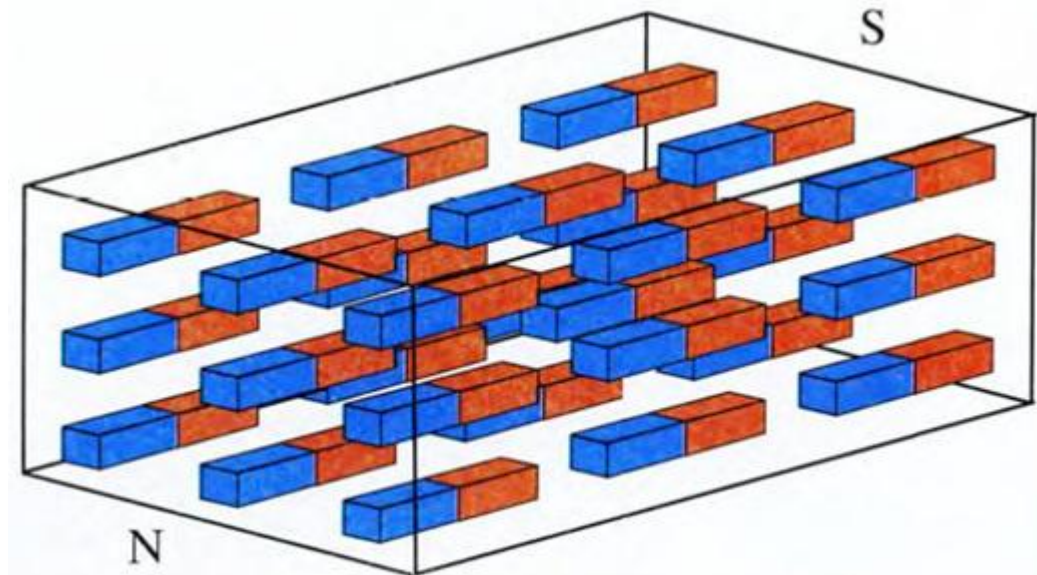
Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικός Κορεσμός

- Τα σιδηρομαγνητικά υλικά αποτελούνται από **στοιχειώδεις μαγνήτες** που κατέχουν τυχαίες θέσεις όταν το υλικό δεν είναι μαγνητισμένο.
- Ένα ισχυρό εξωτερικό μαγνητικό πεδίο μπορεί να προσανατολίσει τους στοιχειώδεις μαγνήτες και να δημιουργήσει **μόνιμο** ή **παροδικό** μαγνητισμό
- Όταν προσανατολιστούν όλοι στοιχειώδεις μαγνήτες τότε υφίσταται **μαγνητικός κορεσμός** δηλαδή το υλικό δεν μπορεί να μαγνητιστεί περισσότερο.



αμαγνήτιστο σιδηρομαγνητικό υλικό



σιδηρομαγνητικό υλικό πλήρως μαγνητισμένο

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

Μαγνητικά Υλικά

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικά Υλικά

1. Να χαρακτηρίσετε τις παρακάτω προτάσεις με Σ αν είναι σωστές ή με Λ αν είναι λανθασμένες (Τ.Θ. 19688, 19664, 19665, 19527):

α. Εάν κόψουμε στη μέση ένα μαγνήτη, θα πάρουμε δύο μαγνήτες. Σ

β. Ο μαγνητίτης είναι ένας τεχνητός μαγνήτης. Λ

γ. Ο μαγνήτης παρουσιάζει την ίδια ελκτική ικανότητα σε όλη τη μάζα του. Λ

δ. Οι ομώνυμοι πόλοι έλκονται. Λ

ε. Οι μαγνητικές γραμμές είναι πάντοτε κλειστές καμπύλες. Σ

στ. Φυσικοί ονομάζονται οι μαγνήτες που μαγνητίζονται με τη βοήθεια ισχυρών ρευμάτων. Λ

ζ. Η ελκτική ικανότητα ενός μαγνήτη είναι εντονότερη στις άκρες του. Σ

η. Μόνιμοι μαγνήτες ονομάζονται τα υλικά που έχουν την ιδιότητα να έλκουν το σίδηρο και ορισμένα άλλα υλικά, όπως το νικέλιο και το κοβάλτιο. Σ

θ. Οι πόλοι κάθε μαγνήτη είναι πάντα δύο. Σ

ι. Η μαγνητική βελόνα έχει την ιδιότητα να δείχνει πάντα το νότο. Λ

ια. Μπορούμε να βρούμε τη διεύθυνση και τη φορά των μαγνητικών γραμμών με τη χρήση μια μαγνητικής βελόνας. Σ

ιβ. Κοντά στην Ανταρκτική εντοπίζεται ο βόρειος μαγνητικός πόλος του μαγνητικού πεδίου της γης. Σ

ιγ. Ο σκληρός χάλυβας αποτελεί μαλακό σιδηρομαγνητικό υλικό. Λ

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικά Υλικά

2. Ένας μαγνήτης που ασκεί δυνάμεις σε έναν άλλο μαγνήτη, δημιουργεί γύρω του ένα:

- α. ηλεκτρικό πεδίο β. πεδίο βαρύτητας **γ. μαγνητικό πεδίο** δ. κανένα από τα παραπάνω

3. Οι μαγνητικές γραμμές: (Τ.Θ. 19666)

- α. δίνουν τη διεύθυνση των δυνάμεων που ασκεί το μαγνητικό πεδίο
β. δίνουν μια πιο παραστατική εικόνα του μαγνητικού πεδίου
γ. δίνουν τη φορά της δύναμης που ασκείται σε ένα βόρειο μαγνητικό πόλο
δ. όλα τα παραπάνω

4. Οι ετερώνυμοι μαγνητικοί πόλοι: (Τ.Θ. 19666)

- α. έλκονται** β. απωθούνται γ. δεν ασκούνται δυνάμεις δ. το α. και το β.

5. Συμπληρώστε τις παρακάτω προτάσεις:

- a. Ο ...**φυσικός**... μαγνήτης είναι το ορυκτό υλικό μαγνητίτης, ενώ ο ...**τεχνητός**... μαγνήτης αποτελείται από κράματα του σιδήρου που μαγνητίζονται με τη βοήθεια ισχυρών ηλεκτρικών ρευμάτων.
- b. Οι ομώνυμοι μαγνητικοί πόλοι ...**απωθούνται**..., ενώ οι ετερώνυμοι ...**έλκονται**...
- c. Οι μαγνητικές καμπύλες είναι ...**κλειστές**... καμπύλες, οι οποίες ...**πυκνώνουν**... στην περιοχή των πόλων.
- d. Τα υλικά που δεν μαγνητίζονται ονομάζονται ...**διαμαγνητικά**..., ενώ τα υλικά που όταν μαγνητιστούν, γίνονται μόνιμοι μαγνήτες, ονομάζονται ...**σκληρά μαγνητικά**...

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικά Υλικά

6. Να γίνει η παρακάτω αντιστοίχιση μεταξύ των μαγνητικών υλικών (Τ.Θ. 19688):

Υλικά	Μαγνητικές ιδιότητες
1. Σκληρά σιδηρομαγνητικά	α. μαγνητίζονται αλλά χάνουν το μαγνητισμό τους εκτός μαγνητικού πεδίου
2. Μαλακά σιδηρομαγνητικά	β. μαγνητίζονται και γίνονται μόνιμοι μαγνήτες
3. Διαμαγνητικά	γ. δεν μαγνητίζονται

7. Αναφέρετε δύο (2) διαφορές που παρουσιάζουν οι φυσικοί μαγνήτες έναντι των τεχνητών μαγνητών. (Τ.Θ. 19527)

Απάντηση

Οι φυσικοί μαγνήτες προέρχονται κυρίως από το ορυκτό που ονομάζεται μαγνητίτης και είναι ένα οξείδιο του σιδήρου.

Οι τεχνητοί μαγνήτες είναι κράματα του σιδήρου.

Οι τεχνητοί μαγνήτες έχουν καλύτερες μαγνητικές ιδιότητες και έχουν αντικαταστήσει στις ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές τους φυσικούς μαγνήτες.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικά Υλικά

8. Παρουσιάζει μαγνητικό πεδίο η γη; Η μαγνητική πυξίδα τι εντοπίζει, προς ποια κατεύθυνση προσανατολίζεται και γιατί; (Τ.Θ. 19526):

Απάντηση

Ναι. Μαγνητικό πεδίο.

Προσανατολίζεται προς τον βορρά. Διότι έλκεται από τον νότιο μαγνητικό πόλο της γης ο οποίος είναι ο βόρειος γεωγραφικός της πόλος.

9. α) Πόσους πόλους διαθέτει ένας μαγνήτης και πώς αποκαλούνται αυτοί; (Τ.Θ. 19526)

β) Αν τεμαχίσουμε έναν μόνιμο μαγνήτη σε τρία (3) επιμέρους κομμάτια, πόσοι πόλοι θα υπάρχουν συνολικά στο τέλος; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Απάντηση

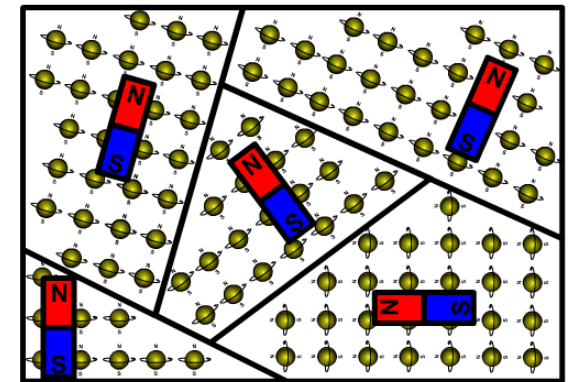
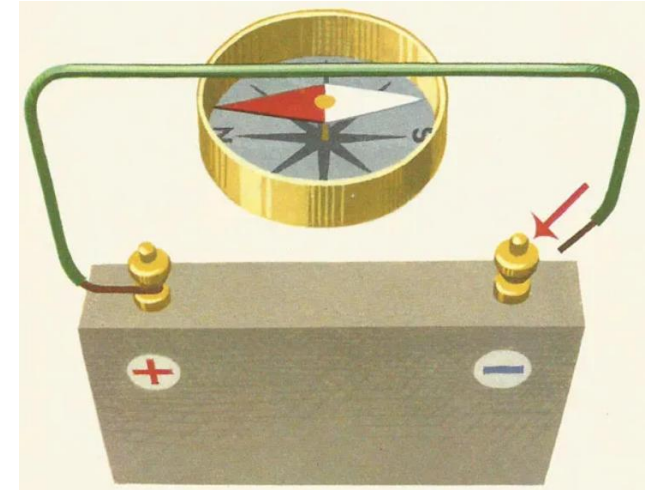
α) Δύο, βόρειος και νότιος μαγνητικός πόλος.

β) Έξι (6) μαγνητικοί πόλοι. Τρεις (3) βόρειοι και τρεις (3) νότιοι μαγνητικοί πόλοι. Διότι οι βόρειοι και οι νότιοι μαγνητικοί πόλοι δεν γίνεται να απομονωθούν.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Προέλευση του μαγνητισμού από το ηλεκτρικό ρεύμα

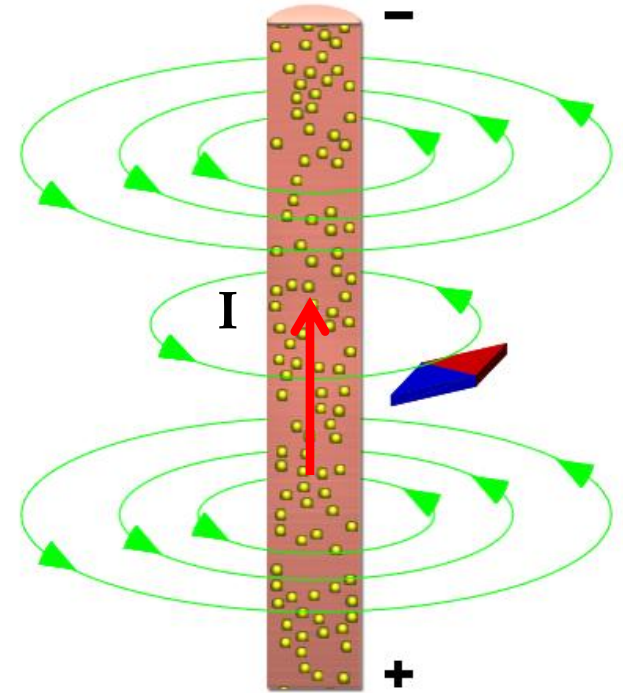
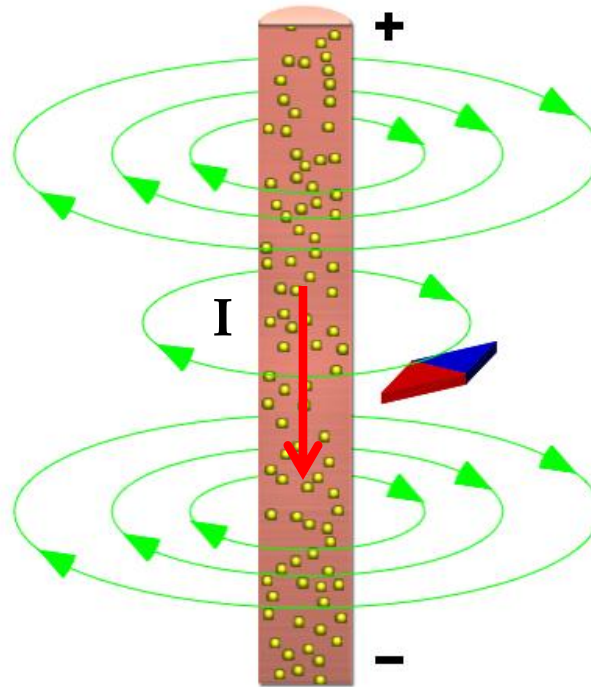
- Ένας αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα επιδρά σε μία μαγνητική βελόνα και την εκτρέπει από τη θέση ισορροπίας της (πείραμα Oersted)
- το μαγνητικό πεδίο οφείλεται αποκλειστικά στο κινούμενα ηλεκτρικά φορτία δηλαδή στο ηλεκτρικό ρεύμα (θεωρία ηλεκτρομαγνητισμού maxwell)
- Οι μαγνητικές ιδιότητες ενός σιδηρομαγνητικού υλικού οφείλονται στη σύνθεση των «στοιχισμένων» στοιχειωδών μαγνητικών πεδίων που δημιουργεί η κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα στα άτομα του υλικού.



Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικό Πεδίο Ευθύγραμμου Αγωγού

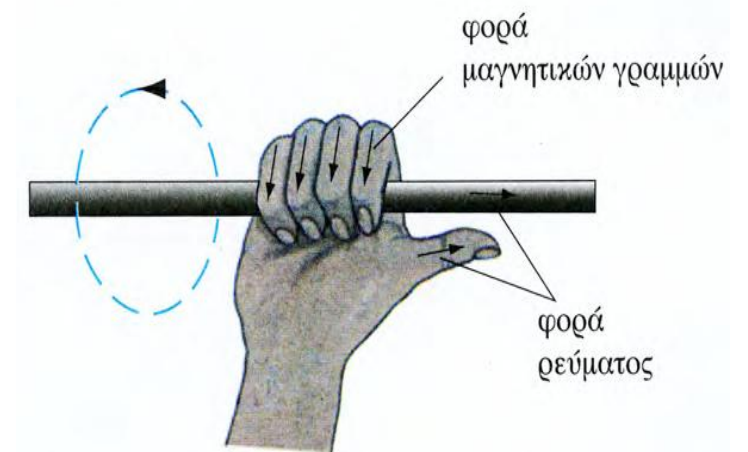
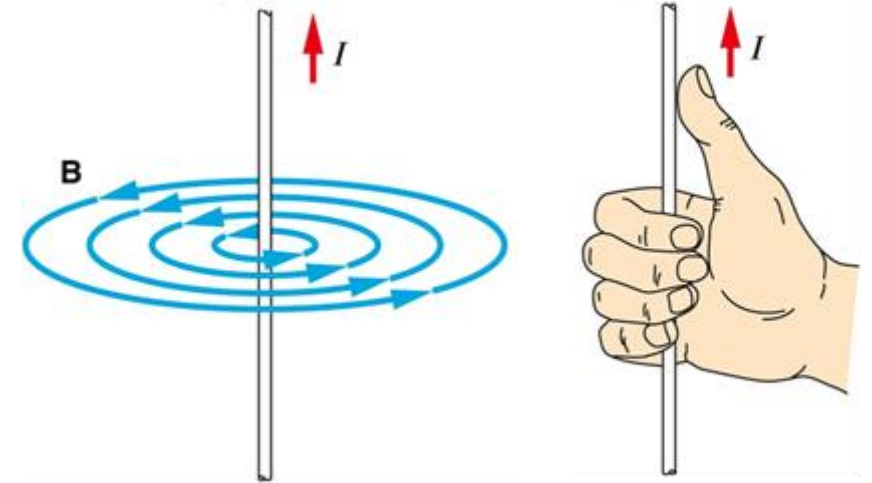
- Το συνεχές ρεύμα που διαρρέει έναν ευθύγραμμο αγωγό δημιουργεί γύρω από τον αγωγό μαγνητικό πεδίο του οποίου η μαγνητικές γραμμές σχηματίζουν ομόκεντρους κύκλους
- Αν το συνεχές ρεύμα αλλάξει φορά τότε θα αλλάξει και η φορά των μαγνητικών γραμμών.



Ηλεκτρομαγνητισμός

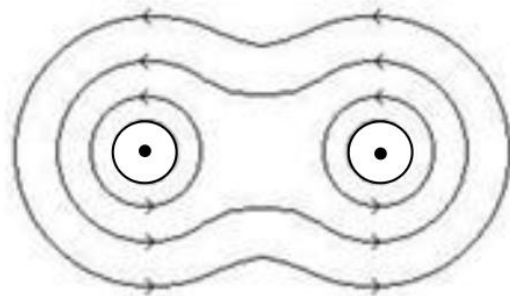
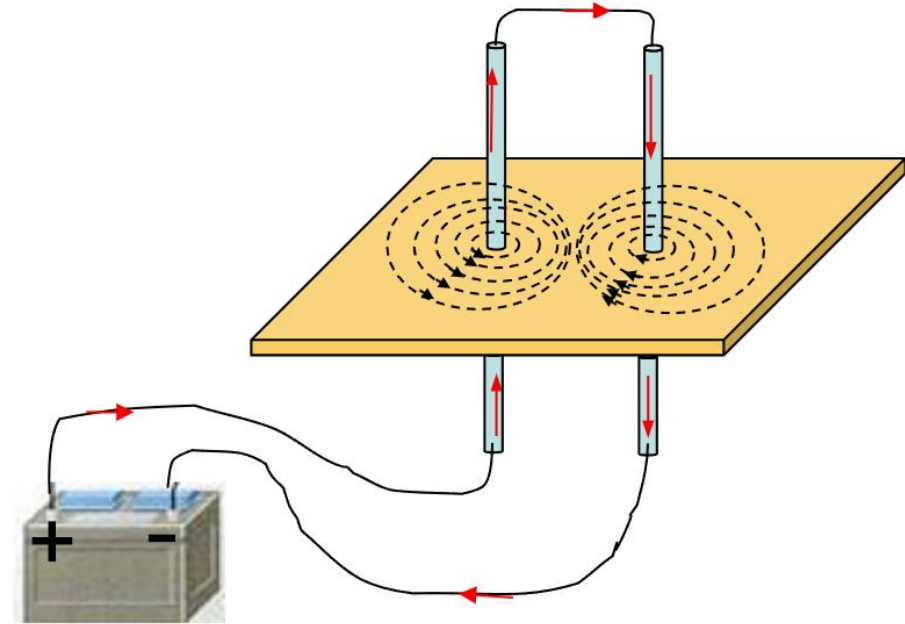
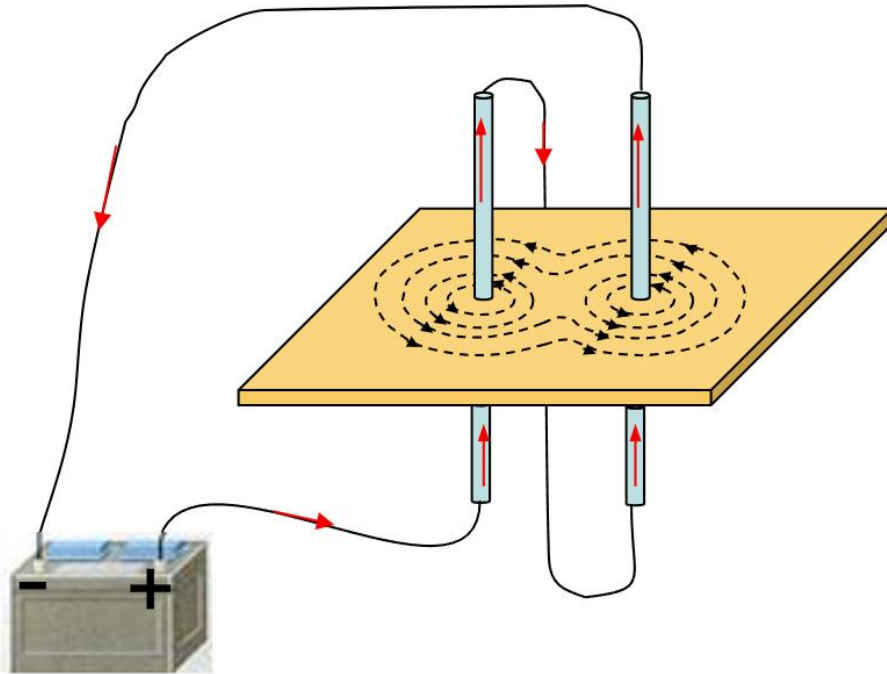
Μαγνητικές Γραμμές Ευθύγραμμου Αγωγού

- Γύρω από τον **ρευματοφόρο αγωγό** οι μαγνητικές γραμμές είναι **κλειστές** και σχηματίζουν κυλινδρικούς σωλήνες με κοινό άξονα τον ρευματοφόρο αγωγό.
- Το μαγνητικό πεδίο είναι ισχυρότερο κοντά στον αγωγό ενώ εξασθενεί ως απομακρυνόμαστε.
- Η φορά των μαγνητικών γραμμών μπορεί να βρεθεί με τη βοήθεια του «**κανόνα του δεξιού χεριού**» όπου ο αντίχειρας δείχνει τη φορά του ρεύματος και τα δάχτυλα δείχνουν τη φορά των μαγνητικών γραμμών.



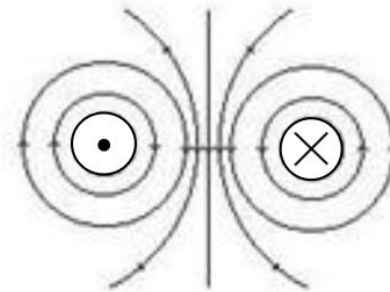
Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικό Πεδίο δύο παράλληλων ευθύγραμμων αγωγών



Με την ίδια φορά ρεύματος

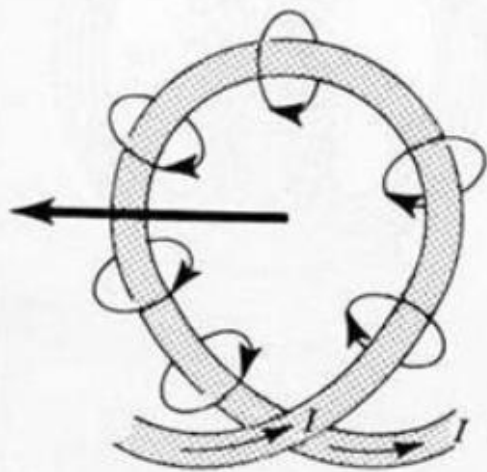
← Συμβολισμός →



Με αντίθετη φορά ρεύματος

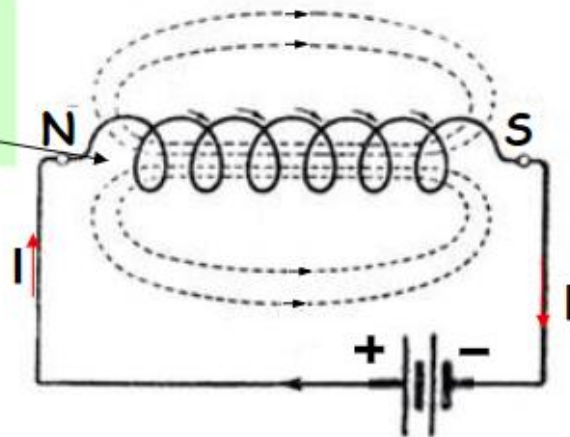
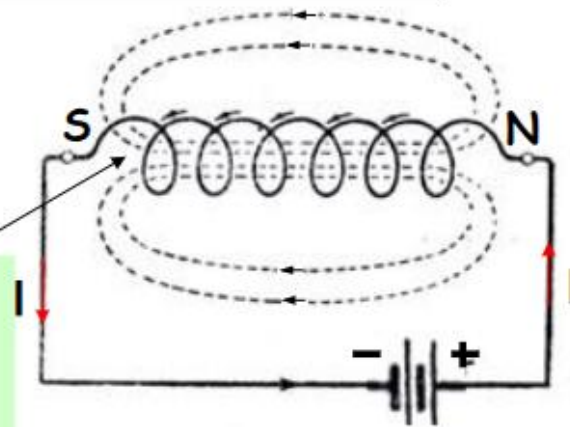
Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικό πεδίο πηνίου

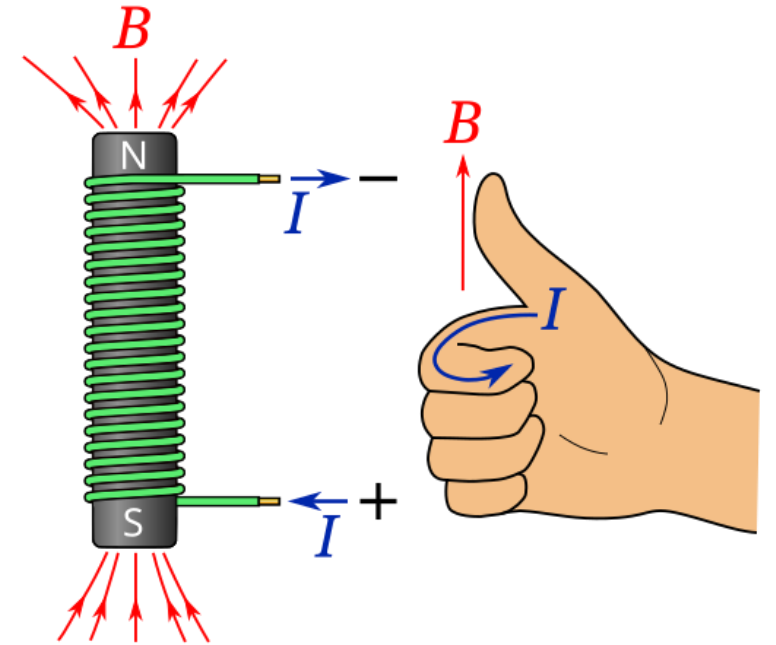


Μαγνητικό πεδίο μιας σπείρας

Το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πηνίου είναι ομογενές



Αντιστρέφοντας τη φορά του ρεύματος, αντιστρέφεται η φορά του μαγνητικού πεδίου



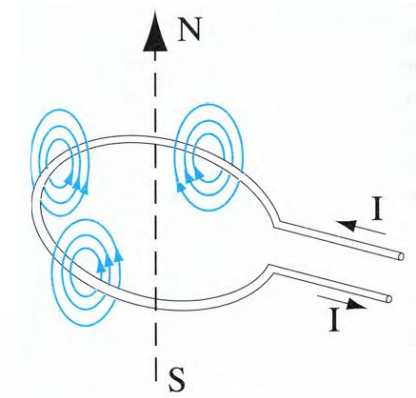
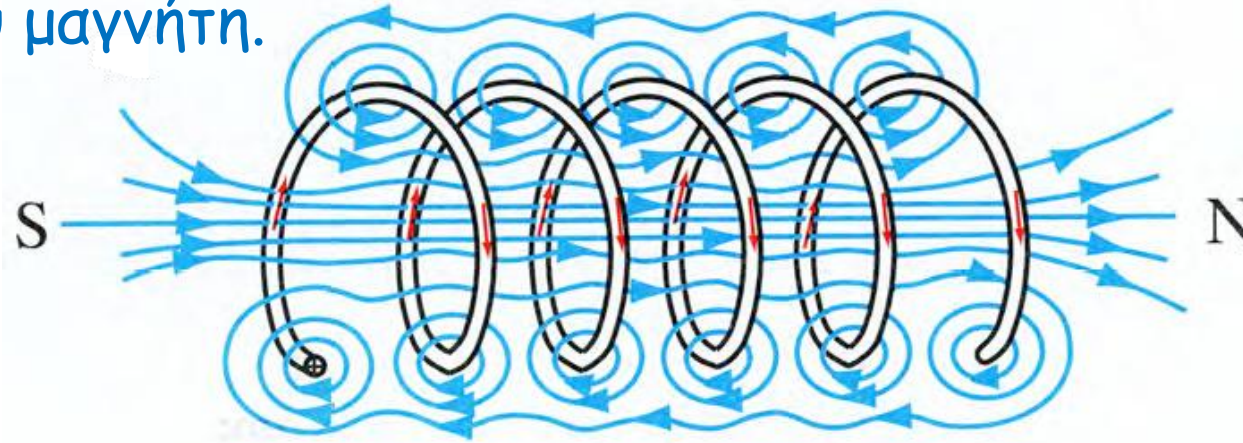
Για να προσδιορίσουμε την πολικότητα του μαγνητικού πεδίου του πηνίου εφαρμόζουμε τον κανόνα του δεξιού χειρός.

Σε αυτή την περίπτωση όταν αγκαλιάσουμε με τα δάκτυλα το πηνίο κατά την φορά του ρεύματος, ο αντίχειρας θα δείχνει τον βόρειο πόλο.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικό πεδίο πηνίου

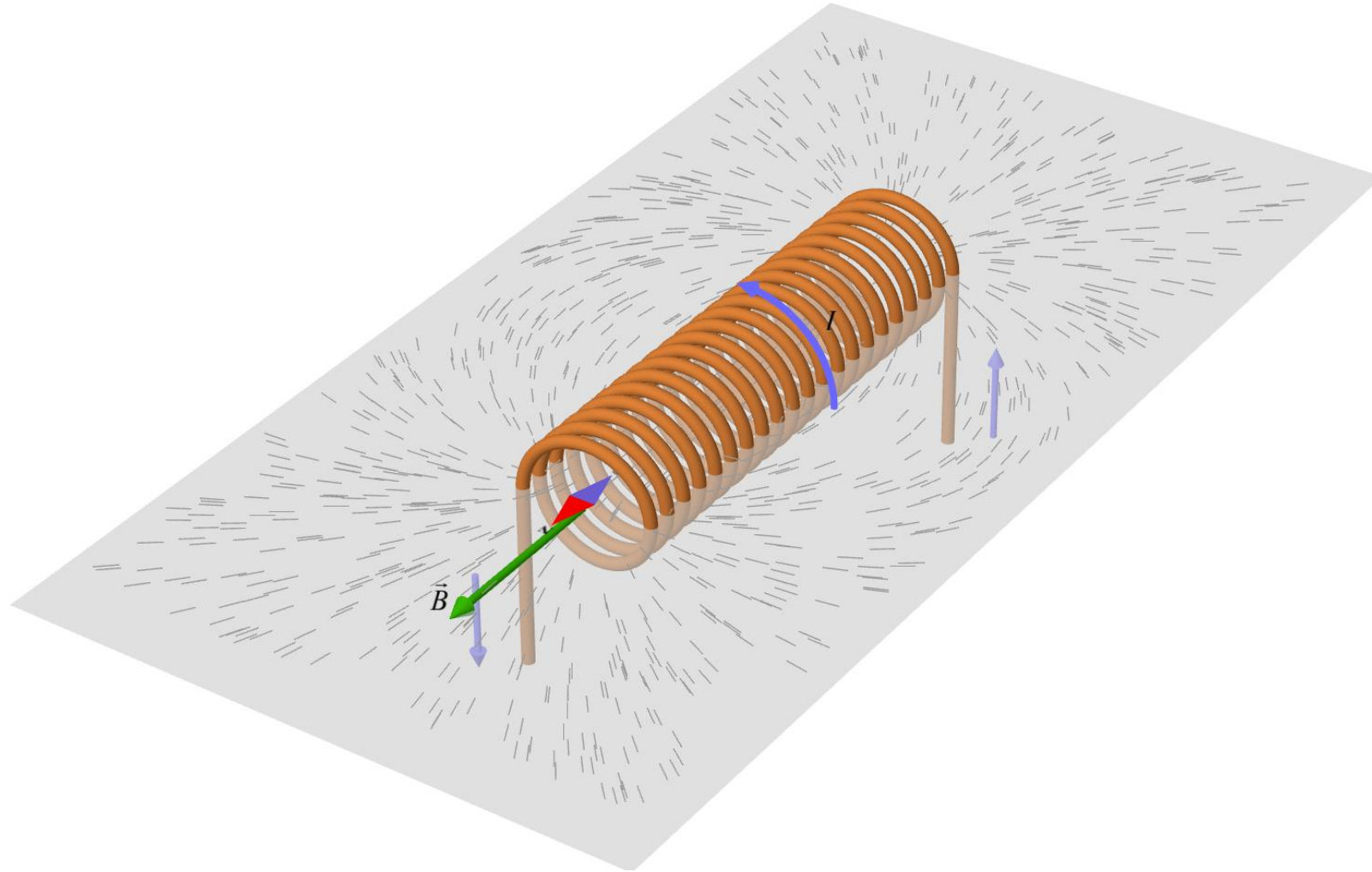
- Κάθε σπείρα του πηνίου ισοδυναμεί με ένα μικρό μαγνήτη.
- Το μαγνητικό πεδίο του πηνίου είναι η συνισταμένη των επιμέρους μαγνητικών πεδίων και είναι όμοιο με το πεδίο του ραβδόμορφου μαγνήτη.



- Το μαγνητικό πεδίο στο **εσωτερικό** του πηνίου είναι **ισχυρό** καθώς όλες οι μαγνητικές γραμμές από όλες τις σπείρες έχουν την ίδια φορά.
- Το μαγνητικό πεδίο **έξω από το πηνίο** είναι **ασθενέστερο** καθώς το μαγνητικό πεδίο κάθε σπείρας αναιρεί το πεδίο της διπλανής της.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητικό πεδίο ρευματοφόρου πηνίου



Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητική Επαγωγή ($\vec{B}$)

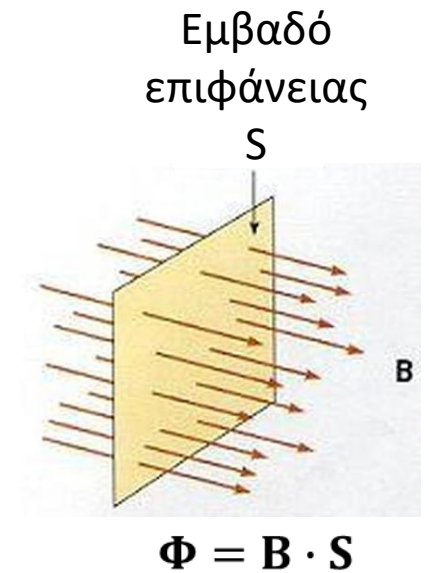
- **Μαγνητική επαγωγή $\vec{B}$** είναι το μέγεθος που εκφράζει την ύπαρξη μαγνητικού πεδίου σε κάθε σημείο του χώρου.
- Είναι το μέγεθος που μας δίνει την **πυκνότητα των δυναμικών γραμμών** σε κάθε σημείο του μαγνητικού πεδίου.
- Σε κάθε σημείο η **διεύθυνση** και **φορά** της μαγνητικής επαγωγής συμπίπτει με την **εφαπτόμενη** και τη **φορά** των **μαγνητικών γραμμών**.
- Μονάδα μέτρησης της μαγνητικής επαγωγής είναι το **Tesla (T)**.
- Μετριέται με ένα όργανο που ονομάζεται **πεδιόμετρο**.



Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητική Ροή (Φ)

- Ένα άλλο μέγεθος του μαγνητικού πεδίου που συνδέει συνδέεται με τη μαγνητική επαγωγή είναι η **μαγνητική ροή Φ**
- Η μαγνητική ροή εκφράζει τον αριθμό των δυναμικών γραμμών ενός μαγνητικού πεδίου που **διέρχονται κάθετα** μέσα από το **εμβαδό S** μιας επιφάνειας και ισούται με το γινόμενο της μαγνητικής επαγωγής B επί του εμβαδό S .
- **$\Phi = B \cdot S$**
- Το ομογενές μαγνητικό πεδίο έχει σταθερή πυκνότητα μαγνητικής ροής
- Μονάδα μέτρησης είναι το **Weber (Wb)**.
- $1\text{Wb} = 1\text{T} \cdot 1\text{m}^2$
- $1\text{T} = 1\text{Wb}/1\text{m}^2$



Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητική Ροή (Φ)

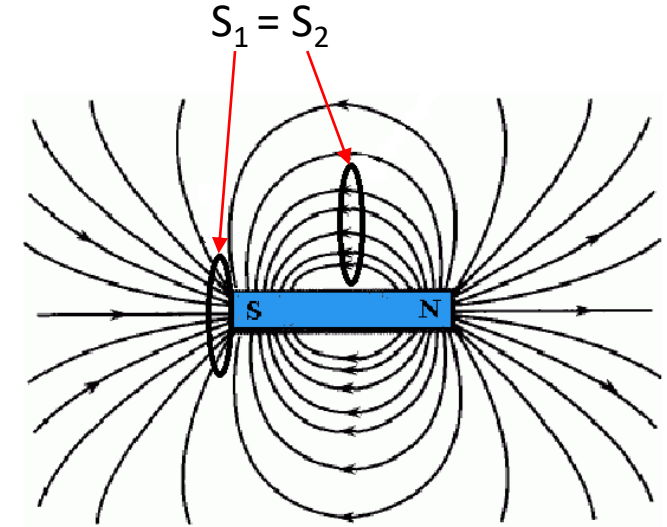
➤ Στα σημεία του μαγνητικού πεδίου, όπου οι **δυναμικές γραμμές** είναι **πυκνότερες**:

- ✓ η μαγνητική επαγωγή B θα είναι μεγαλύτερη.
- ✓ η μαγνητική ροή Φ θα είναι **πυκνότερη**.

Παράδειγμα 1: Δύο ίσες επιφάνειες ($S_2 = S_1 = S$) , όπου από την S_1 διέρχονται περισσότερες μαγνητικές γραμμές σε σχέση με την S_2 .

Αυτό σημαίνει ότι η μαγνητική επαγωγή B_1 είναι μεγαλύτερη στην S_1 από ότι στην S_2

Άρα για την μαγνητική ροή στις επιφάνειες αυτές θα ισχύει: $\Phi_1 = B_1 \cdot S > B_2 \cdot S = \Phi_2$

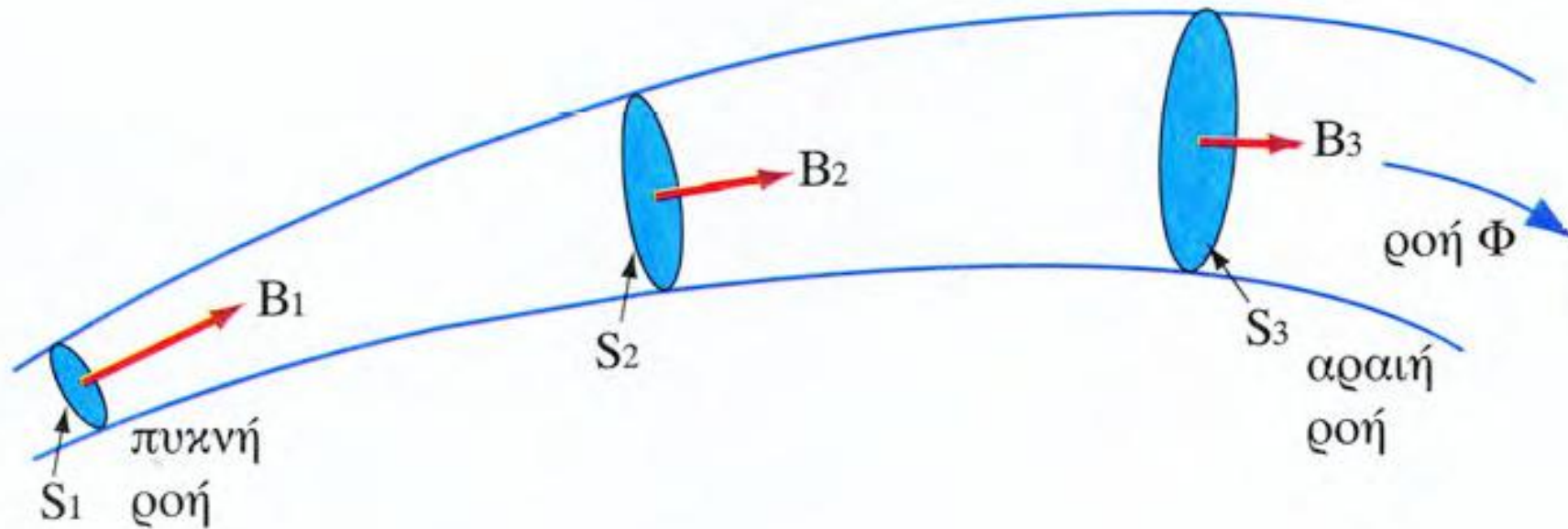


Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητική Ροή (Φ)

Παράδειγμα 2: Στο εικονιζόμενο σχήμα, η μαγνητική ροή Φ που περνάει μέσα από τις τρεις επιφάνειες S_1, S_2, S_3 είναι σταθερή. Επίσης ισχύει $S_3 > S_2 > S_1$.

Αυτό συνεπάγεται ότι στην διατομή S_1 (που είναι η μικρότερη επιφάνεια), η μαγνητική επαγωγή B_1 θα είναι η μεγαλύτερη.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

Μαγνητική Επαγωγή – Μαγνητική Ροή

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητική Επαγωγή - Μαγνητική Ροή

1. Το Tesla (T) είναι μονάδα μέτρησης της:

α. ηλεκτρικής τάσης

β. μαγνητικής επαγωγής

γ. ηλεκτρεγερτικής δύναμης

δ. μαγνητικής ροής

2. Το Weber (Wb) είναι μονάδα μέτρησης της:

α. ισχύος ηλεκτρικού ρεύματος

β. χωρητικότητας πυκνωτή

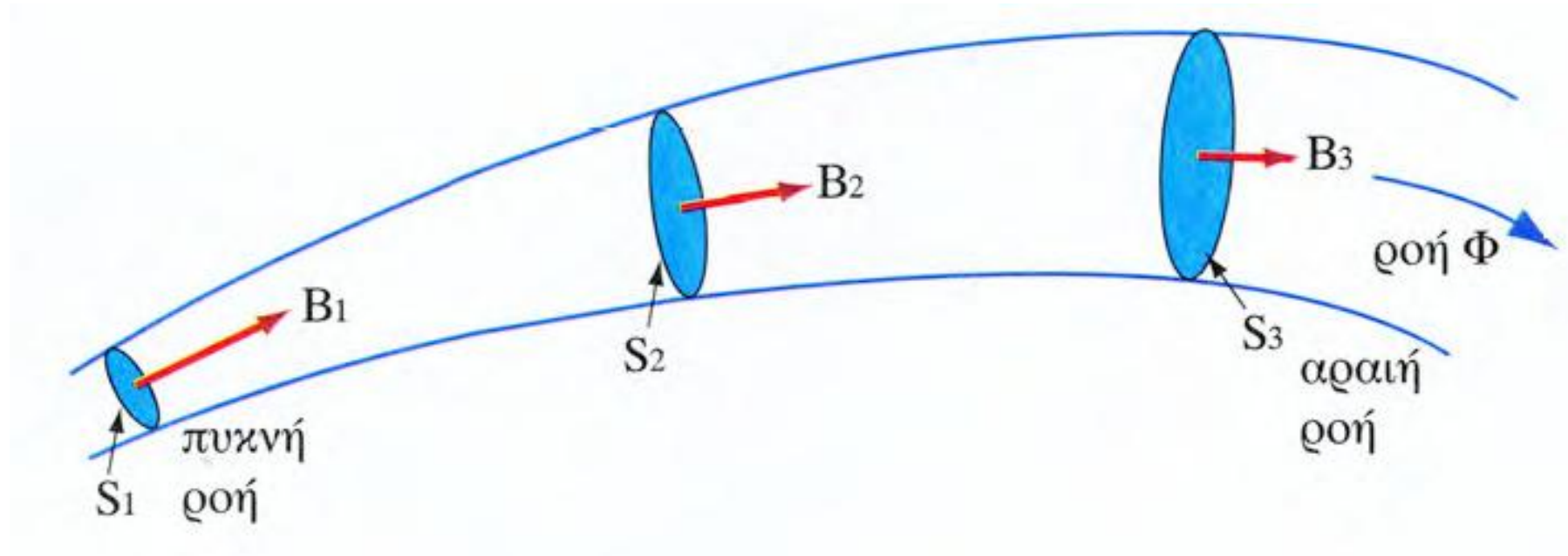
γ. μαγνητικής επαγωγής

δ. μαγνητικής ροής.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητική Επαγωγή - Μαγνητική Ροή

1. Αν μέσα από τις διατομές $S_1=1\text{cm}^2$, $S_2 = 5\text{cm}^2$, $S_3=10\text{cm}^2$ διέρχεται μαγνητική ροή $\Phi=0,1\text{Wb}$, τότε οι αντίστοιχες μαγνητικές επαγωγές είναι $B_1= 0,1 \text{ Wb/cm}^2$, $B_2= 0,02 \text{ Wb/cm}^2$, $B_3= 0,01 \text{ Wb/cm}^2$.



$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{0,1}{1} = 0,1 \frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2}$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{0,1}{5} = 0,02 \frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2}$$

$$B_3 = \frac{\Phi}{S_3} = \frac{0,1}{10} = 0,01 \frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2}$$

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μαγνητική Επαγωγή - Μαγνητική Ροή

2. Ένα πηνίο που διαρρέεται από ρεύμα έχει κυκλική διατομή με διάμετρο 2cm. Αν η μαγνητική επαγωγή στο εσωτερικό του πηνίου είναι 0,2T, τότε η μαγνητική ροή είναι $\Phi =$:

α. 0,628Wb

β. 62,8mWb

γ. 0,0002512Wb

δ. 2,512Wb

3. Συμπληρώστε τις παρακάτω προτάσεις:

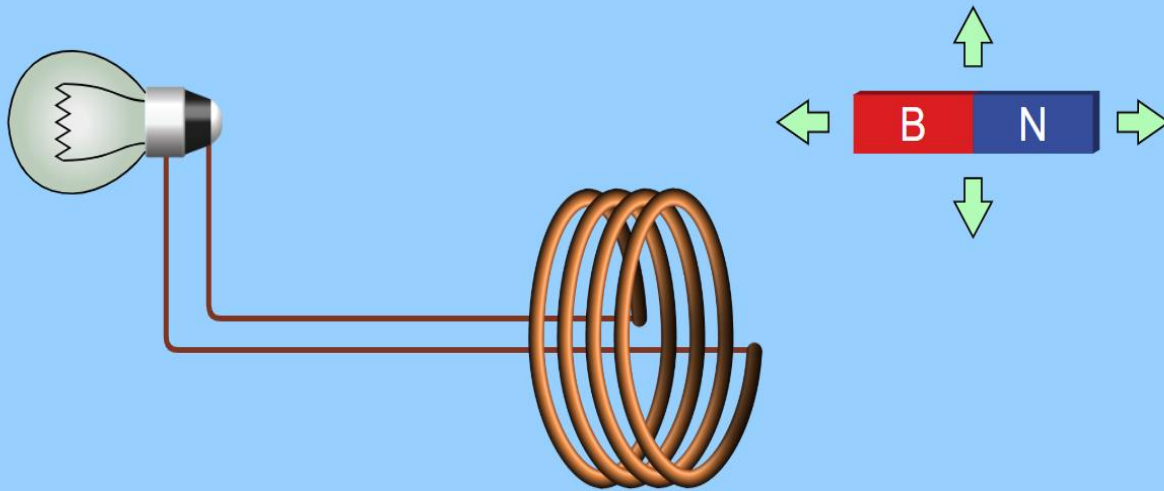
- Το μαγνητικό πεδίο οφείλεται αποκλειστικά στα **κινούμενα** ηλεκτρικά φορτία, δηλαδή στο ηλεκτρικό ρεύμα (Θεωρία ηλεκτρομαγνητισμού του Μάξγουελ).
- Το μαγνητικό πεδίο είναι **ισχυρότερο** κοντά στον ρευματοφόρο αγωγό, ενώ γίνεται **ασθενέστερο** όσο απομακρυνόμαστε από αυτόν.
- Το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πηνίου είναι **ισχυρότερο**, ενώ έξω από το πηνίο είναι **ασθενέστερο**.
- Η μαγνητική επαγωγή **B** εκφράζει **πυκνότητα** των δυναμικών γραμμών σε κάθε σημείο του μαγνητικού πεδίου και έχει μονάδα μέτρησης το **T (tesla)**.
- Η μαγνητική ροή **Φ** εκφράζει **τον αριθμό** των δυναμικών γραμμών που διέρχονται κάθετα σε κάθε επιφάνεια του μαγνητικού πεδίου και έχει μονάδα μέτρησης το **Wb (Weber)**.
- Η μαγνητική ροή είναι πυκνότερη στα σημεία που η μαγνητική επαγωγή είναι **μεγαλύτερη**.
- Το φυσικό μέγεθος που εκφράζει το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη ή ενός πηνίου είναι η μαγνητική **ροή** ανά πόλο.

Ηλεκτρομαγνητισμός

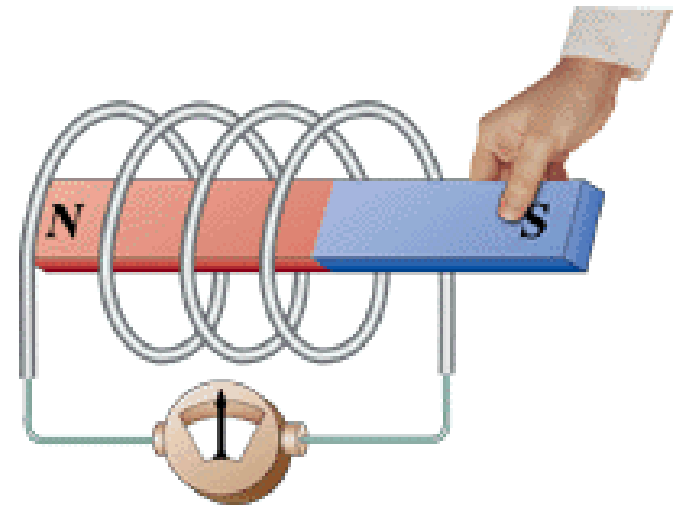
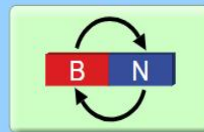
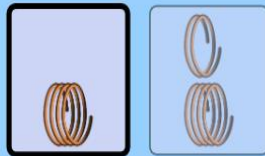
Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

- **Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή** (ή απλώς ηλεκτρική επαγωγή) (Electric Induction) ονομάζεται η εμφάνιση ηλεκτρισμού εξαιτίας μαγνητικού πεδίου.
- Ας μελετήσουμε το φαινόμενο με το παρακάτω πείραμα:

(Κάντε κλικ στην εικόνα για την εκτέλεση του πειράματος)



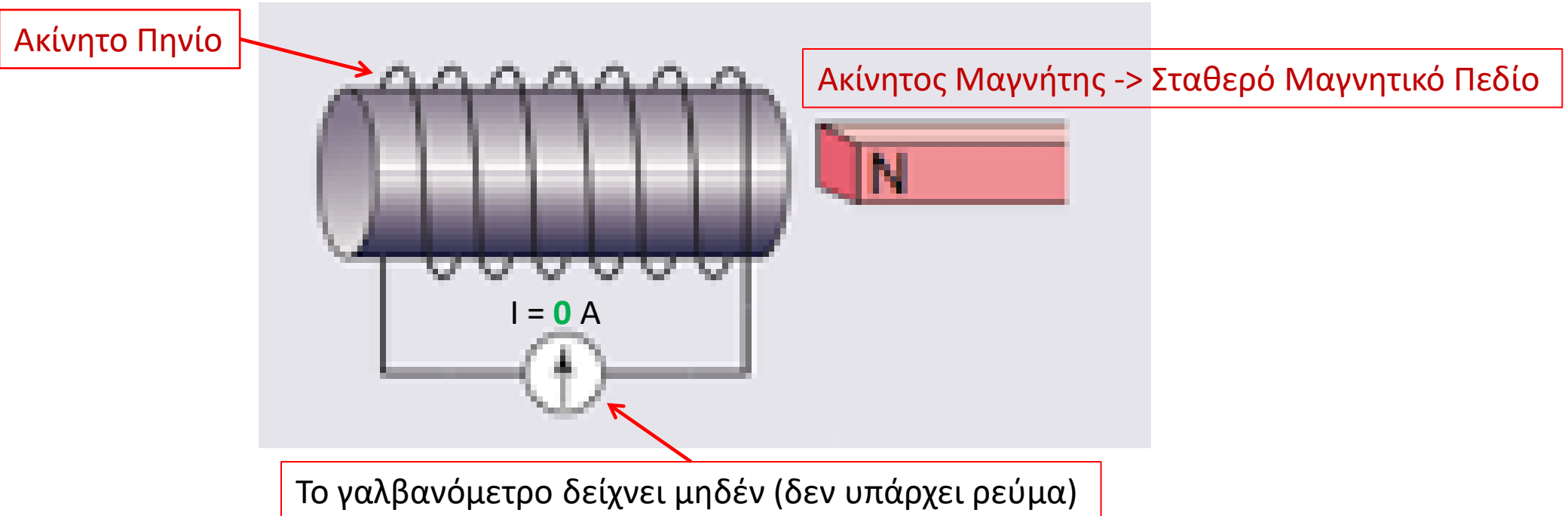
- ☐ Βολτόμετρο
- ☐ Δυναμικές γραμμές



Ηλεκτρομαγνητισμός

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

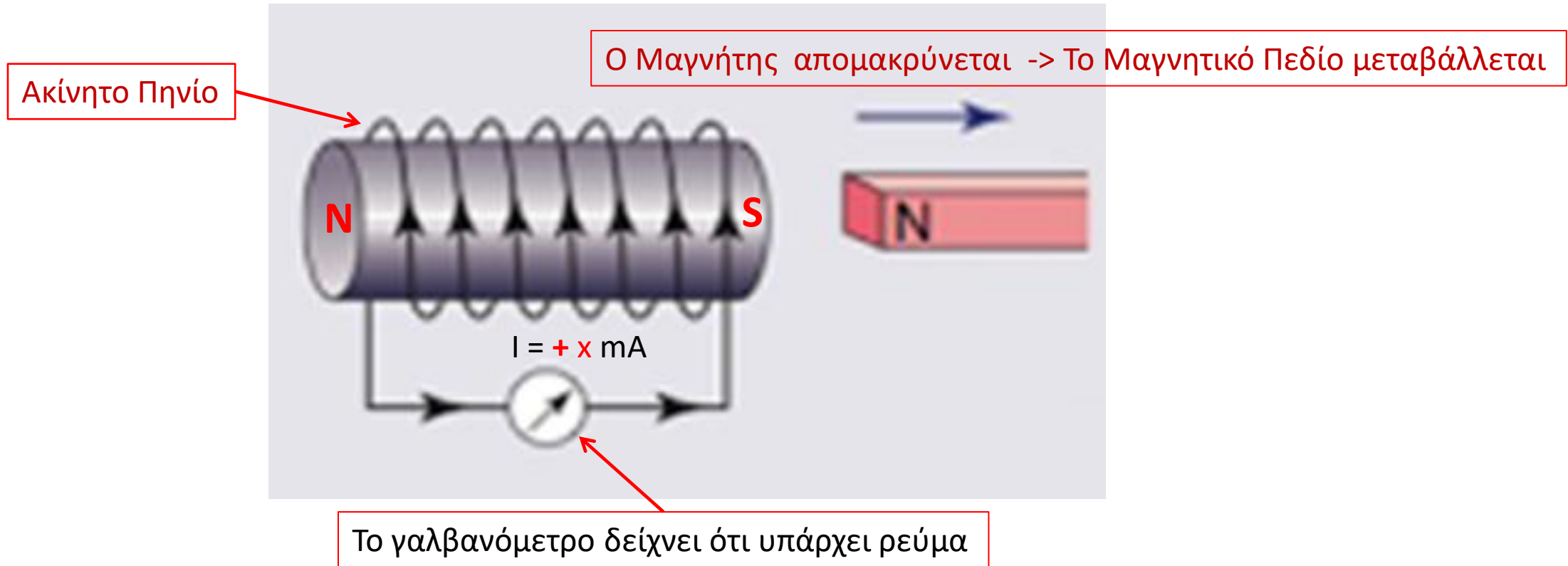
- Συνδέουμε στα άκρα ενός πηνίου ένα **γαλβανόμετρο** το οποίο μας δείχνει (με μεγάλη ευαισθησία) αν περνάει ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από το πηνίο.
- Παρατηρούμε ότι αν ο μαγνήτης και το πηνίο είναι ακίνητα το γαλβανόμετρο δείχνει σταθερά μηδέν.
- Επομένως, **ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο δεν επηρεάζει τα ηλεκτρικά κυκλώματα**.



Ηλεκτρομαγνητισμός

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

- Αν απομακρύνουμε τον μαγνήτη από το πηνίο, το γαλβανόμετρο θα δείξει ότι **από το πηνίο πέρασε ρεύμα κατά μία ορισμένη φορά**.
- Το πηνίο, λόγω του ρεύματος που θα κυκλοφορήσει σε αυτό, θα αναπτύξει και αυτό το δικό του μαγνητικό πεδίο. Η **φορά του ρεύματος** είναι τέτοια ώστε το μαγνητικό πεδίο του πηνίου να **εμποδίζει την απομάκρυνση** του μαγνήτη.



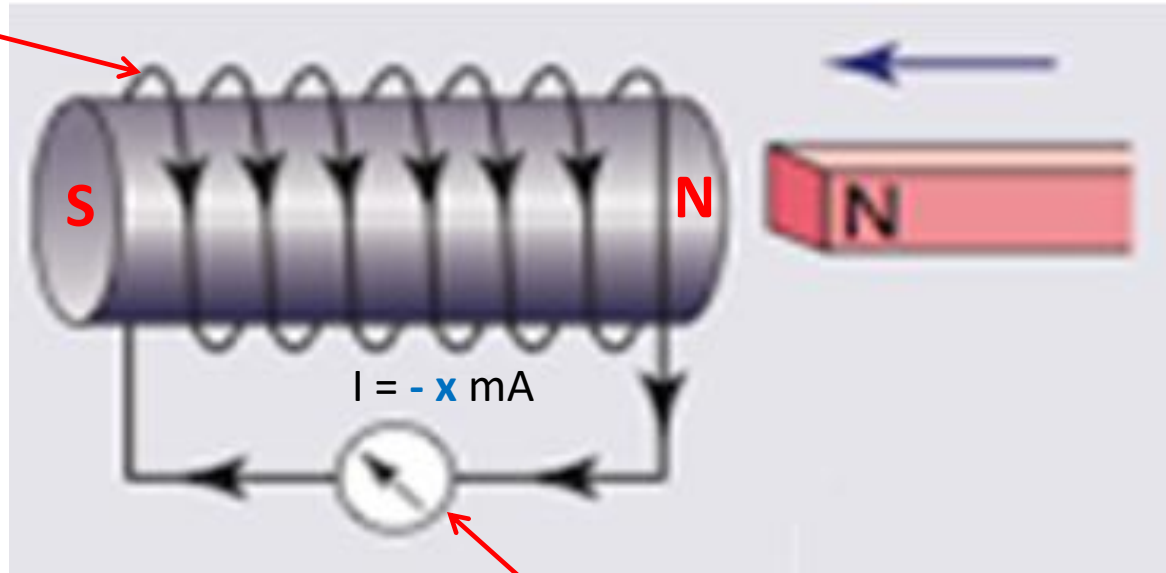
Ηλεκτρομαγνητισμός

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

- Αν πλησιάσουμε το μαγνήτη στο πηνίο τότε το γαλβανόμετρο θα δείξει ότι πέρασε ρεύμα από το πηνίο με αντίθετη φορά από ότι προηγουμένως.
- Το πηνίο, λόγω του ρεύματος που θα κυκλοφορήσει σε αυτό, θα αναπτύξει και πάλι το δικό του μαγνητικό πεδίο. Η φορά του ρεύματος τώρα είναι τέτοια ώστε το μαγνητικό πεδίο του πηνίου να **εμποδίζει την προσέγγιση** του μαγνήτη.

Ακίνητο Πηνίο

Ο Μαγνήτης πλησιάζει -> Το Μαγνητικό Πεδίο μεταβάλλεται



Το γαλβανόμετρο δείχνει ότι υπάρχει ρεύμα

Ηλεκτρομαγνητισμός

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

- Η εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το πηνίο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αναπτύχθηκε στο πηνίο μία **ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ)**.
- Το **μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο** είναι αυτό που προκαλεί την εμφάνιση της **ΗΕΔ** εξ **επαγωγής** στα ηλεκτρικά κυκλώματα.
- Επομένως, για να αναπτυχθεί **ΗΕΔ** από **επαγωγή**, θα πρέπει η **μαγνητική ροή** να **μεταβάλλεται** και να περνάει μέσα από το ηλεκτρικό κύκλωμα. Τότε λέμε ότι η μαγνητική ροή του μαγνήτη **εμπλέκει** το ηλεκτρικό κύκλωμα (ηλεκτρικό τύλιγμα).
- το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητική επαγωγή**.
- Μονάδα μέτρησης της ΗΕΔ από επαγωγή είναι το **1Volt**.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

Ηλεκτρομαγνητισμός

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

1. Το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής εμφανίζεται σ' ένα πηνίο, όταν:

- α. το πηνίο βρίσκεται ακίνητο απέναντι από έναν ακίνητο μαγνήτη, μακριά από το πηνίο.
- β. το πηνίο βρίσκεται ακίνητο απέναντι από έναν ακίνητο μαγνήτη, πολύ κοντά στο πηνίο.
- γ. ο μαγνήτης βρίσκεται ακίνητος στο εσωτερικό του ακίνητου πηνίου.

☒ δ. ο μαγνήτης πλησιάζει το ακίνητο πηνίο.

2. Το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής εμφανίζεται σ' ένα πηνίο, όταν:

- α. το πηνίο βρίσκεται ακίνητο απέναντι από έναν ακίνητο μαγνήτη, μακριά από το πηνίο.
- β. το πηνίο βρίσκεται ακίνητο απέναντι από έναν ακίνητο μαγνήτη, πολύ κοντά στο πηνίο.
- γ. ο μαγνήτης βρίσκεται ακίνητος στο εσωτερικό του ακίνητου πηνίου.

☒ δ. το πηνίο πλησιάζει τον ακίνητο μαγνήτη.

3. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή στο SI μετριέται με:

α. N (Newton)

β. J (Joule)

☒ γ. V (Volt)

δ. W (Watt)

Ηλεκτρομαγνητισμός

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

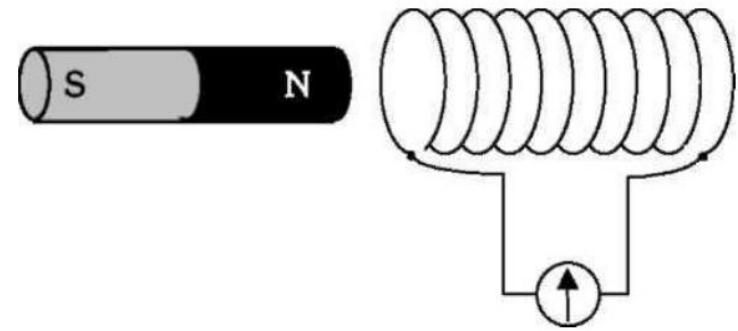
4. Στο διπλανό σχήμα ο ραβδόμορφος μαγνήτης βρίσκεται πολύ κοντά στο πηνίο και παραμένει ακίνητος ως προς αυτό. Το γαλβανόμετρο δεν δείχνει να περνάει ρεύμα, διότι:

α. ο ακίνητος μαγνήτης έπρεπε να είχε τοποθετηθεί μέσα στο πηνίο.

β. το γαλβανόμετρο δεν μπορεί να ανιχνεύσει ασθενή ρεύματα.

☒ γ. δεν έχουμε μεταβολή ροής μέσα από τις σπείρες του πηνίου.

δ. δεν διέρχεται ροή μέσα από τις σπείρες του πηνίου.



5. Στην διπλανή πειραματική διάταξη, αρχικά ο μαγνήτης πλησιάζει στο πηνίο με το βόρειο πόλο και τότε παρατηρούμε ότι ο δείκτης του γαλβανομέτρου αποκλίνει προς τα δεξιά.

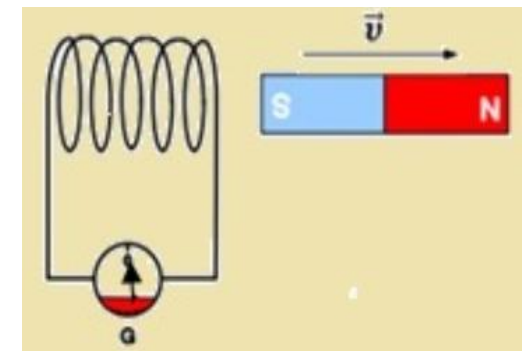
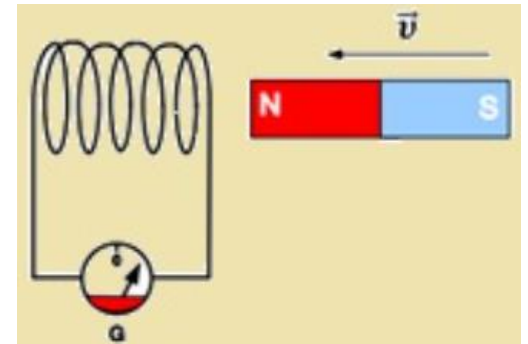
Αν ο μαγνήτης απομακρύνεται από το πηνίο όπως φαίνεται στο δεύτερο σχήμα, τότε:

☒ α. Ο δείκτης του γαλβανομέτρου θ' αποκλίνει προς τα αριστερά.

β. Ο δείκτης του γαλβανομέτρου θ' αποκλίνει προς τα δεξιά.

γ. Ο δείκτης του γαλβανομέτρου δεν θα αποκλίνει.

δ. Δεν έχω τα απαραίτητα στοιχεία ν' απαντήσω.



Ηλεκτρομαγνητισμός

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

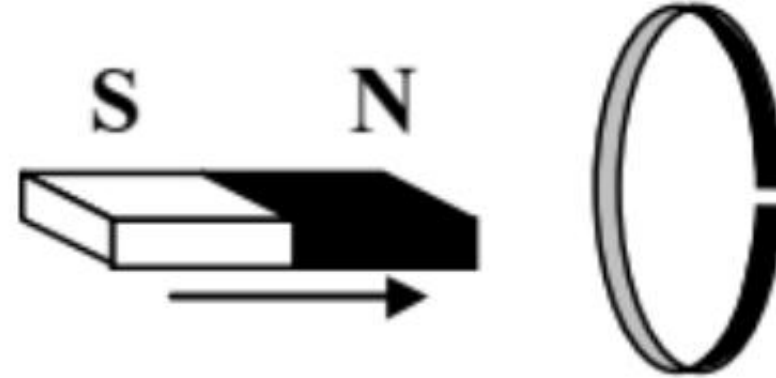
6. Πλησιάζοντας απότομα το μαγνήτη προς το κομμένο δακτυλίδι:

α. δεν θα περάσει ρεύμα από το δακτυλίδι, διότι δεν εμφανίζεται ΗΕΔ σ' αυτό.

β. θα περάσει ρεύμα του οποίου η φορά καθορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.

γ. εμφανίζεται ΗΕΔ όχι όμως μεταβολή ροής.

δ. δεν θα περάσει ρεύμα, διότι το κύκλωμα είναι ανοικτό.



Ηλεκτρομαγνητισμός

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

Παρατηρήστε το διπλανό σχήμα και στη συνέχεια χαρακτηρίστε τις παρακάτω προτάσεις:

1. η ένδειξη του γαλβανόμετρου θα αλλάξει, αν το **κύκλωμα A** προσεγγίσει το **κύκλωμα B**.

☒ α. Σωστό ☐ β. Λάθος

2. η ένδειξη του γαλβανόμετρου θα αλλάξει, αν το **κύκλωμα A** απομακρυνθεί από το **κύκλωμα B**.

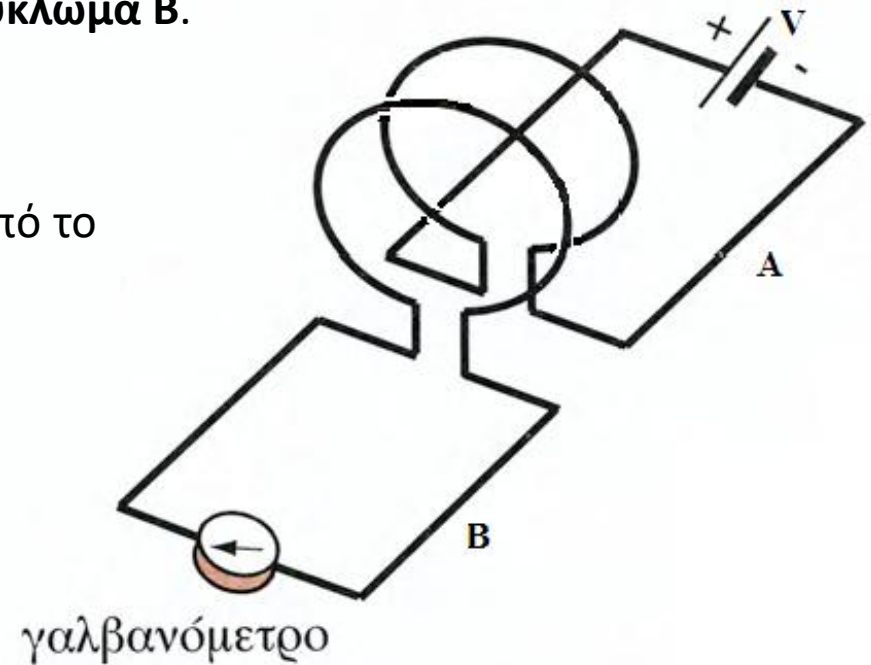
☒ α. Σωστό ☐ β. Λάθος

3. η ένδειξη του γαλβανόμετρου θα παραμείνει αμετάβλητη, αν τα **κυκλώματα A και B** είναι σταθερά ως προς τη μεταξύ τους θέση.

☒ α. Σωστό ☐ β. Λάθος

4. η ένδειξη του γαλβανόμετρου θα αλλάξει, αν το **κύκλωμα B** αλλάξει θέση ως προς το **κύκλωμα A**.

☒ α. Σωστό ☐ β. Λάθος



Ηλεκτρομαγνητισμός

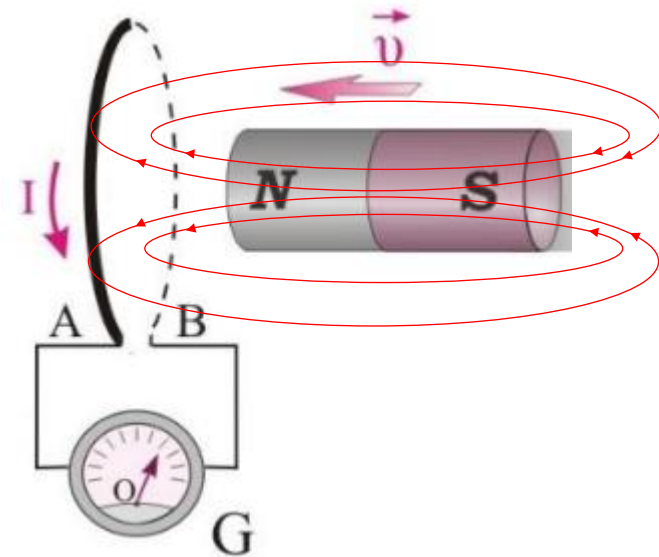
Νόμος του Faraday

- Η Ηλεκτρεγερτική Δύναμη (ΗΕΔ) E που αναπτύσσεται σε ένα μεταλλικό πλαίσιο είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ στο πλαίσιο αυτό.
- Επομένως, αν το $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ μεταβάλλεται απότομα (απότομη κίνηση του μαγνήτη) θα εμφανίζεται μεγάλη ΗΕΔ ενώ αν μεταβάλλεται αργά θα εμφανίζεται μικρή ΗΕΔ.

- Ο Νόμος του Faraday εκφράζεται μαθηματικά από τον τύπο

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ είναι η μεταβολή της μαγνητικής ροής και μετριέται σε Weber (Wb)
- Δt είναι το χρονικό διάστημα που διαρκεί η μεταβολή και μετριέται σε δευτερόλεπτα (sec)
- E είναι η ΗΕΔ από επαγωγή και μετριέται σε Volt (V)



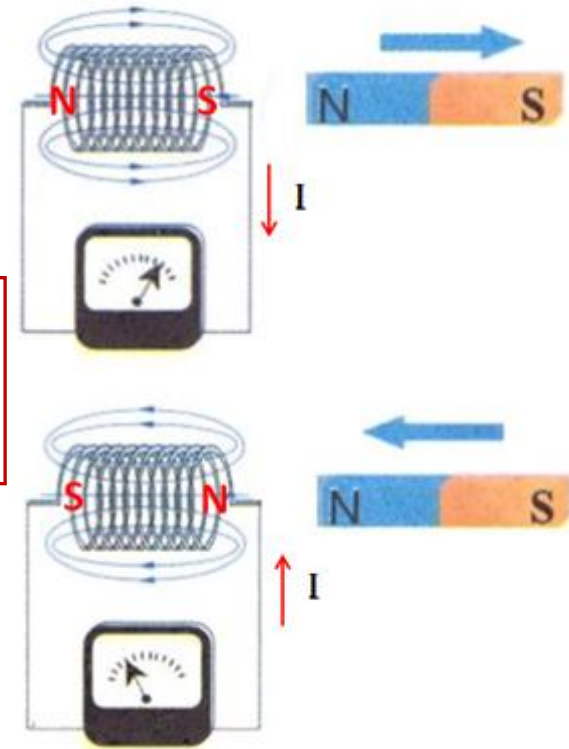
Ηλεκτρομαγνητισμός

Νόμος του Faraday

Σε ένα πηνίο με N σπείρες, όταν η μαγνητική ροή σε κάθε σπείρα μεταβάλλεται κατά $\Delta\Phi$ σε χρόνο Δt ο νόμος του Faraday μας δίνει την **συνολική ΗΕΔ** στα άκρα του πηνίου:

$$E = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- Προσθέτουμε δηλαδή τις ΗΕΔ που αναπτύσσονται σε κάθε μία από τις N σπείρες, δεδομένου ότι οι ΗΕΔ αυτές είναι σε σειρά.
- Επιπλέον, προκύπτει ότι $1V = \frac{1Wb}{1s}$ ή $1Wb = 1V \cdot s$
- Για να προσδιορίσουμε με τη **φορά** της επαγόμενης τάσης, πρέπει να θυμηθούμε την **αντίδραση** που συναντούμε όταν **πλησιάζουμε** ή **μακρύνουμε** τον μαγνήτη από το πηνίο.
- Η **αντίδραση** αυτή δείχνει ότι το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής **αντιδρά στην μεταβολή της μαγνητικής ροής** που επιχειρείται και προσπαθεί να την εμποδίσει.



Ηλεκτρομαγνητισμός

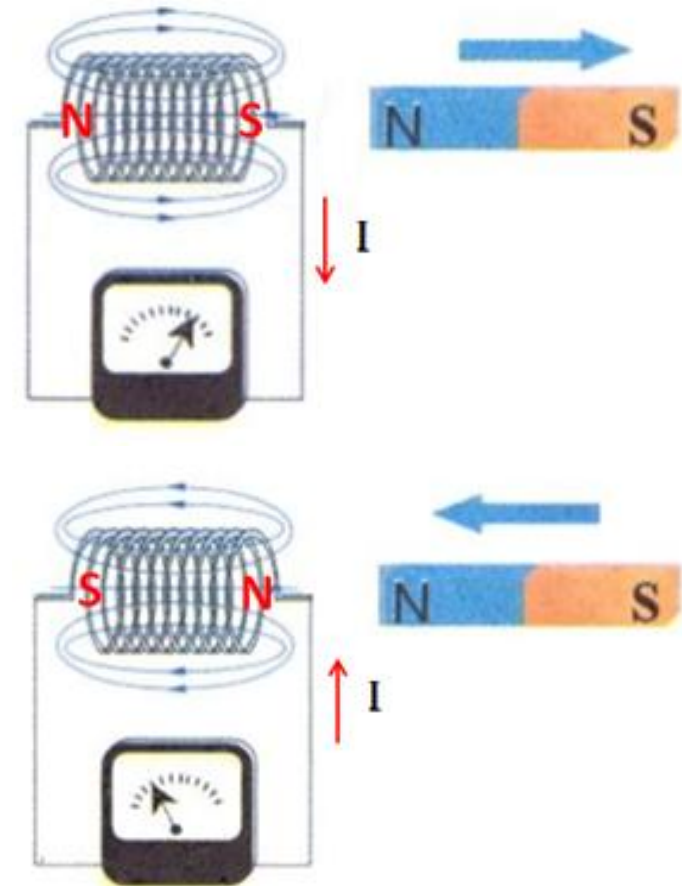
Κανόνας του Lenz

➤ Η αναπτυσσόμενη η **ΗΕΔ** εξ **επαγωγής** σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα έχει **φορά** τέτοια ώστε να **εμποδίζει** τη μεταβολή της μαγνητικής ροής που εμπλέκεται στο κύκλωμα.

➤ Το **επαγόμενο ρεύμα** έχει τη **φορά** που **αναιρεί** το **αίτιο** που το **προκάλεσε**.

➤ Όταν κινούμε τον μαγνήτη **από** ή **προς** το **πηνίο**, τότε το επαγόμενο ρεύμα δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο, τέτοιο ώστε να ασκεί **ελκτική** ή **απωστική** αντίστοιχα **δύναμη** στον μαγνήτη.

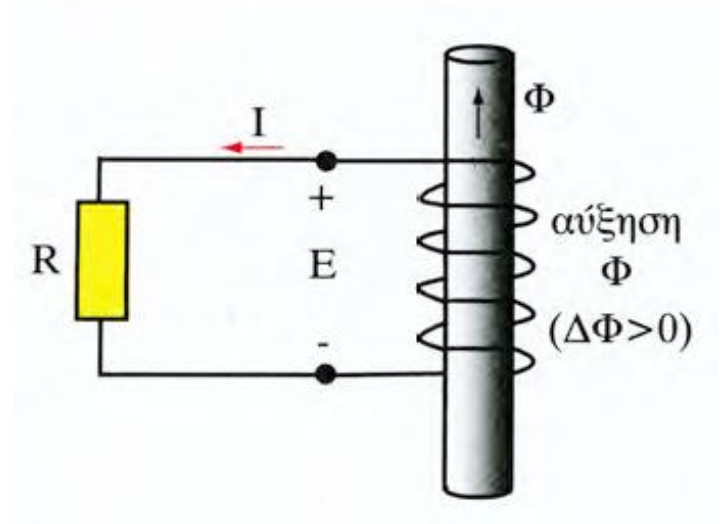
Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται κανόνας του Lenz



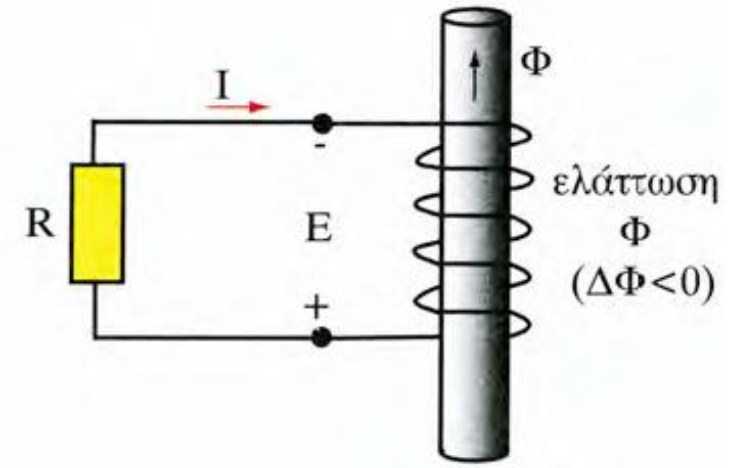
Ηλεκτρομαγνητισμός

Κανόνας του Lenz

➤ Όταν η μαγνητική ροή αυξάνεται ($\Delta\Phi > 0$), ΗΕΔ εξ επαγωγής θα δημιουργήσει ένα ρεύμα I με φορά τέτοια ώστε να προκαλέσει ένα μαγνητικό πεδίο που θα **μειώσει** κατά Φ' την αυξανόμενη μαγνητική ροή.



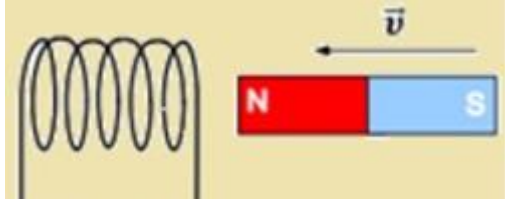
➤ Αν η μαγνητική ροή μειώνεται ($\Delta\Phi < 0$), η ΗΕΔ εξ επαγωγής θα δημιουργήσει ένα ρεύμα I με φορά τέτοια ώστε να προκαλέσει ένα μαγνητικό πεδίο που θα **ενισχύσει** κατά Φ' την μειούμενη μαγνητική ροή.



Ηλεκτρομαγνητισμός

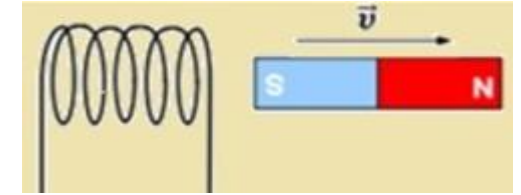
Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

ΑΙΤΙΟ



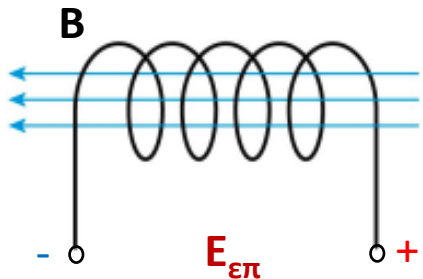
Πλησίασμα ή
απομάκρυνση του
Μαγνήτη

Αύξηση ή ελάττωση των
μαγνητικών γραμμών μέσα στο
πηνίο.
(δηλαδή έχουμε **μεταβολή ΔB**
της μαγνητικής επαγωγής **B**)



Μεταβολή $\Delta \Phi$ της
μαγνητικής ροής **Φ**
στο πηνίο

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ

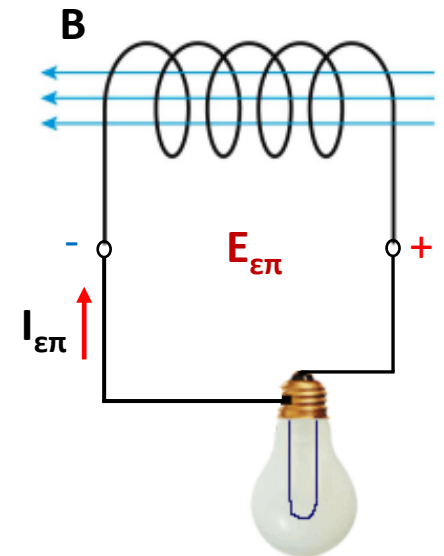


Ανοικτό κύκλωμα στο πηνίο

Εμφάνιση
ΗΕΔ από επαγωγή
 $E_{\epsilon\pi} = N(\Delta\Phi/\Delta t)$
στα άκρα του πηνίου

Κλειστό κύκλωμα στο πηνίο

Εμφάνιση
ΗΕΔ από επαγωγή **$E_{\epsilon\pi}$**
και ρεύματος από επαγωγή
 $I_{\epsilon\pi}$ στο πηνίο



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

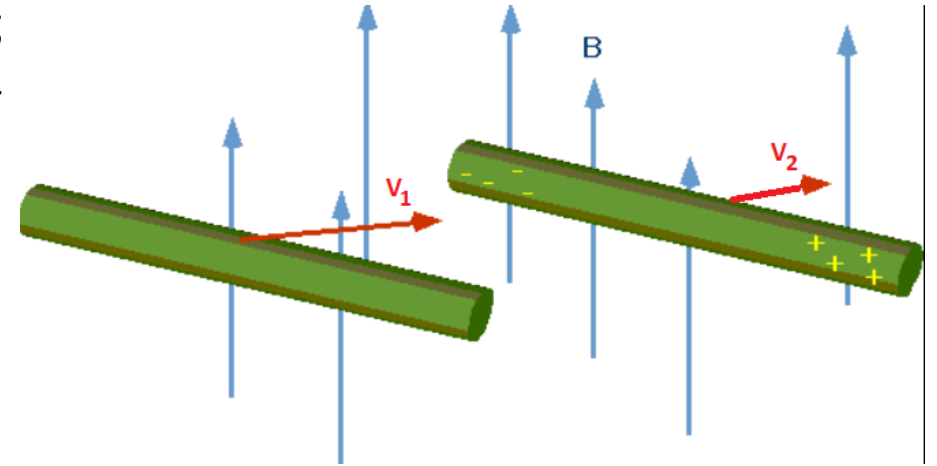
Νόμος του Faraday – Κανόνας του Lenz

Ηλεκτρομαγνητισμός

Νόμος του Faraday - Κανόνας του Lenz

1. Δύο όμοιοι αγωγοί κινούνται κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου. Αν ο πρώτος αγωγός κινείται με διπλάσια ταχύτητα από τον δεύτερο αγωγό, τότε:

- ☒ α. στον πρώτο αγωγό θα εμφανιστεί μεγαλύτερη ΗΕΔ εξ επαγωγής
- ☐ β. στον δεύτερο αγωγό θα εμφανιστεί μεγαλύτερη ΗΕΔ εξ επαγωγής
- ☐ γ. η ίδια ΗΕΔ εξ επαγωγής θα εμφανιστεί και στους δύο αγωγούς



2. Αν σε ένα πηνίο με **100** σπείρες, η μαγνητική ροή που περνά μέσα από κάθε σπείρα μεταβάλλεται κατά **0,002Wb** σε **χρόνο 0,01sec**, τότε η ΗΕΔ που αναπτύσσεται στο πηνίο είναι **E =** :

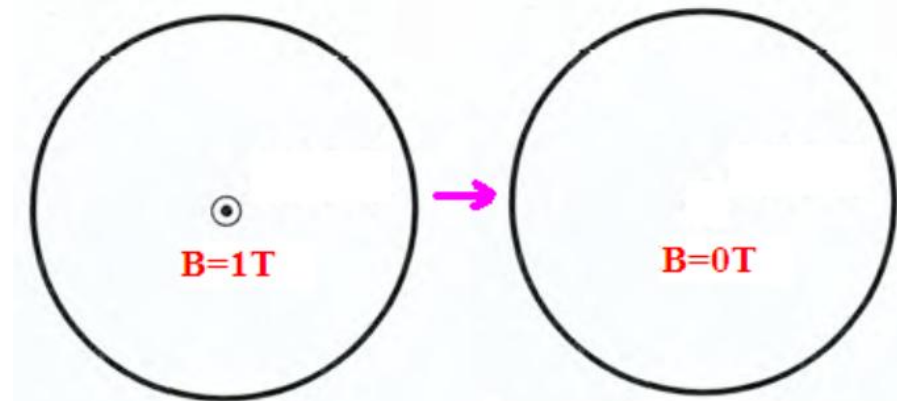
- α. 2Wb
- β. 2V
- γ. 20Wb
- ☒ δ. 20V

Λύση: $E = N \cdot \Delta\Phi / \Delta t = 100 \cdot 0,002Wb / 0,01sec = 20V$

Ηλεκτρομαγνητισμός

Νόμος του Faraday - Κανόνας του Lenz

2. Μια βραχυκυκλωμένη σπείρα πηνίου με αντίσταση $R = 0,1\Omega$ σχηματίζει ένα κλειστό κυκλικό κύκλωμα με ακτίνα $r = 5\text{cm}$. Όλο το κύκλωμα βρίσκεται σε **ομογενές μαγνητικό πεδίο** με μαγνητική επαγωγή $B_1 = 1\text{T}$ και κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου.



α. Η μαγνητική ροή που διέρχεται από την σπείρα είναι $\Phi_1 = 7,85$ mWb

Λύση: $\Phi_1 = B_1 \cdot S = B_1 \cdot \pi \cdot r^2 = 1\text{T} \cdot 3,14 \cdot (0,05\text{m})^2 = 0,00785\text{Wb} = 7,85\text{mWb}$

β. Αν μέσα σε χρονικό διάστημα $\Delta t = 0,1\text{sec}$ η μαγνητική επαγωγή γίνει $B_2 = 0\text{T}$, τότε η μαγνητική ροή θα είναι $\Phi_2 = 0$ Wb

Λύση: $\Phi_2 = B_2 \cdot S = 0\text{T} \cdot S = 0\text{Wb}$

γ. Λόγω μεταβολής της μαγνητικής ροής, στα άκρα του πηνίου θα αναπτυχθεί ΗΕΔ $E = -78,5$ mV

Λύση: $E = N \cdot \Delta\Phi / \Delta t = 1 \cdot (\Phi_2 - \Phi_1) / \Delta t = (0 - 7,85\text{mWb}) / 0,1\text{sec} = -78,5\text{mV}$

δ. Στην σπείρα θα εμφανιστεί ρεύμα $I = -785$ mA

Λύση: $I = E / R = -78,5\text{mV} / 0,1\Omega = -785\text{mA}$

ε. Τι δείχνουν τα αρνητικά πρόσημα; **Τα αρνητικά πρόσημα δείχνουν ότι η τάση και το ρεύμα αντιτίθενται στην μεταβολή της μαγνητικής ροής.**

Ηλεκτρομαγνητισμός

Νόμος του Faraday - Κανόνας του Lenz

3. Ένα πηνίο με **20** σπείρες και διατομή **50cm²** βρίσκεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με μαγνητική επαγωγή **B₁=120*10⁻⁴T** και κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου.

α. Η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πηνίο είναι $\Phi_1 = \text{...0,06...mWb}$

Λύση: $\Phi_1 = B_1 * S = 120 * 10^{-4} \text{T} * 50 * (10^{-2} \text{m})^2 = 6000 * 10^{-8} = 6 * 10^{-5} \text{Wb} = 0,06 \text{mWb}$

β. Αν μέσα σε χρονικό διάστημα $\Delta t = 0,1 \text{sec}$ η μαγνητική επαγωγή γίνει $B_2 = 0 \text{T}$, τότε η μαγνητική ροή θα είναι $\Phi_2 = \text{...0...Wb}$

Λύση: $\Phi_2 = B_2 * S = 0 \text{T} * S = 0 \text{Wb}$

γ. Λόγω μεταβολής της μαγνητικής ροής, στα άκρα του πηνίου θα αναπτυχθεί ΗΕΔ $E = \text{...-12... mV}$

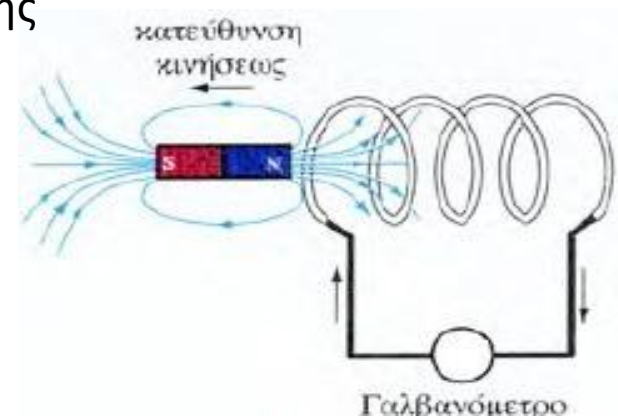
Λύση: $N * \Delta \Phi / \Delta t = 20 * (\Phi_2 - \Phi_1) / \Delta t = 20 * (0 - 0,06 \text{mWb}) / 0,1 \text{sec} = -12 \text{mV}$

Ηλεκτρομαγνητισμός

Νόμος του Faraday - Κανόνας του Lenz

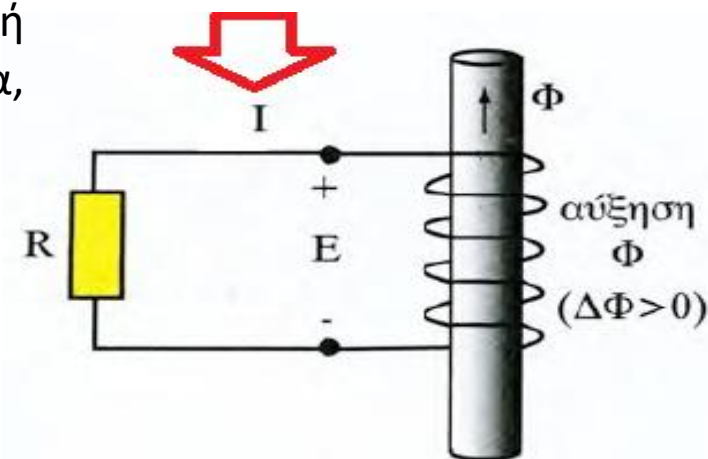
4. Εφαρμόζοντας τον κανόνα του Λεντς στο παρακάτω κύκλωμα, όπου ο μαγνήτης κινείται μέσα από το πηνίο με τη φορά που εμφανίζεται, το επαγόμενο ρεύμα:

- α. προκαλείται από την απομάκρυνση του μαγνήτη
- β. έχει τέτοια φορά ώστε το πηνίο να έλκει το μαγνήτη
- γ. έχει τέτοια φορά ώστε να εμποδίζει την απομάκρυνση του μαγνήτη
- δ. όλα τα παραπάνω



5. Εφαρμόζοντας τον κανόνα του Λεντς στο παρακάτω κύκλωμα, όπου η μαγνητική ροή αυξάνεται και η αναπτυσσόμενη ΗΕΔ έχει την πολικότητα που εμφανίζεται στο σχήμα, το επαγόμενο ρεύμα:

- α. δεν επηρεάζει τη μαγνητική ροή
- β. ελαττώνει τη μαγνητική ροή
- γ. αυξάνει τη μαγνητική ροή
- δ. δεν αναπτύσσεται επαγόμενο ρεύμα



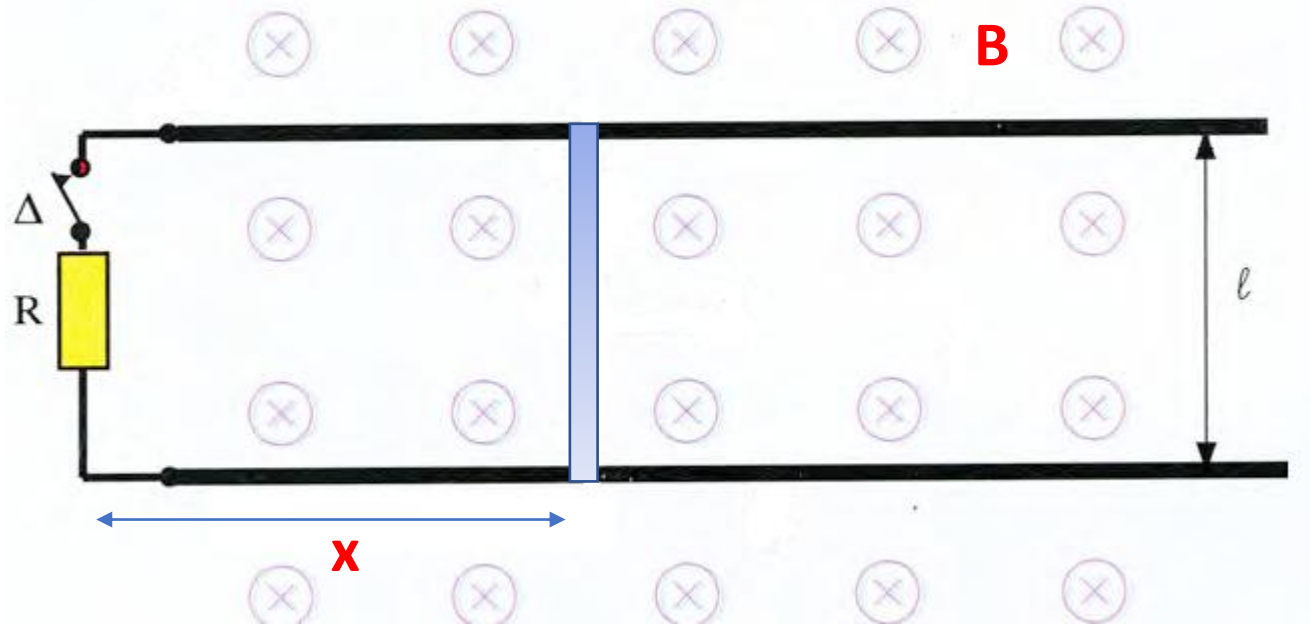
Ηλεκτρομαγνητισμός

ΗΕΔ σε Κινούμενο Αγωγό μέσα σε Μαγνητικό Πεδίο

- Φανταστείτε έναν αγωγό μήκους ℓ που βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο μαγνητικής επαγωγής B .
- Οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου είναι κάθετες στον αγωγό.
- Ο αγωγός μπορεί να ολισθαίνει πάνω σε δύο ράγες, στο άκρο των οποίων έχουμε συνδέσει μία αντίσταση R .

Πόση είναι η μαγνητική ροή Φ που περνάει μέσα από το κλειστό κύκλωμα που σχηματίζεται, αν x η απόσταση του αγωγού από την άκρη του κυκλώματος;

$$\Phi = B \cdot S = B \cdot \ell \cdot x$$



Ηλεκτρομαγνητισμός

ΗΕΔ σε Κινούμενο Αγωγό μέσα σε Μαγνητικό Πεδίο

- Ο αγωγός αρχίζει να κινείται με σταθερή ταχύτητα $u = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
- Επομένως, ο αγωγός μέσα σε χρόνο Δt θα έχει διανύσει μια απόσταση $\Delta x = u \cdot \Delta t$ και θα έχει «σαρώσει» μια επιφάνεια:

$$\Delta S = \ell \cdot \Delta x = \ell \cdot u \cdot \Delta t$$

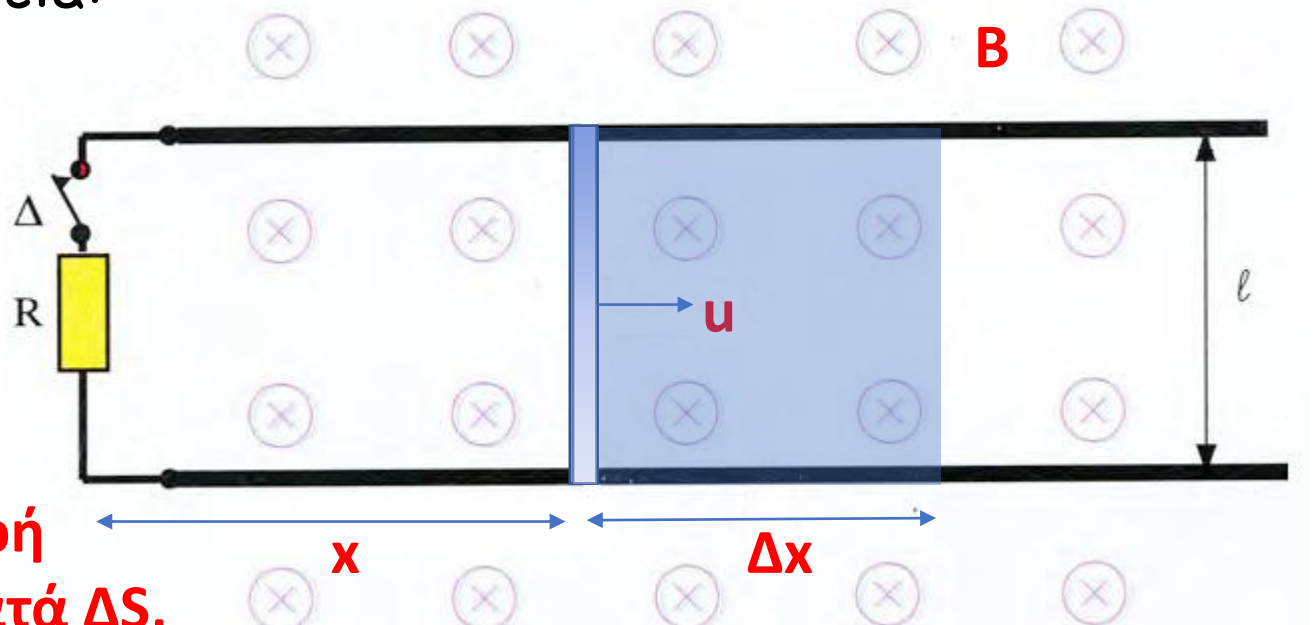
Υπάρχει μεταβολή στη μαγνητική ροή που διέρχεται μέσα από το κύκλωμα; **ΝΑΙ**

Αν ναι, πόση είναι αυτή;

Η μαγνητική επαγωγή B είναι σταθερή αλλά η κάθετη επιφάνεια αλλάζει κατά ΔS ,

άρα:

$$\Delta \Phi = B \cdot \Delta S = B \cdot \ell \cdot u \cdot \Delta t$$



Ηλεκτρομαγνητισμός

ΗΕΔ σε Κινούμενο Αγωγό μέσα σε Μαγνητικό Πεδίο

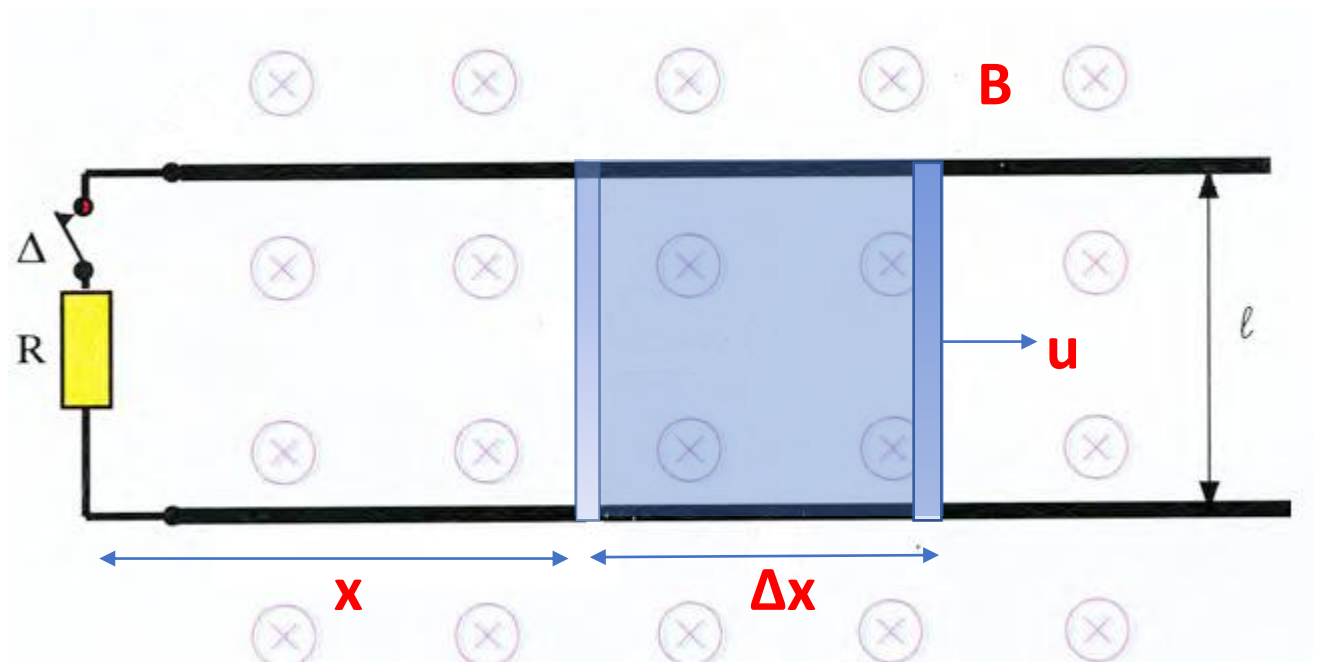
Σε αυτό το κύκλωμα θα εμφανιστεί ΗΕΔ από επαγωγή; **ΝΑΙ**

Αν ναι, πως μπορεί να υπολογιστεί; **Εφαρμόζοντας τον νόμο του Faraday**

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B \cdot \Delta S}{\Delta t} =$$
$$\frac{B \cdot \ell \cdot u \cdot \Delta t}{\Delta t} = B \cdot \ell \cdot u$$

Τελικά,

$$E = B \cdot \ell \cdot u$$

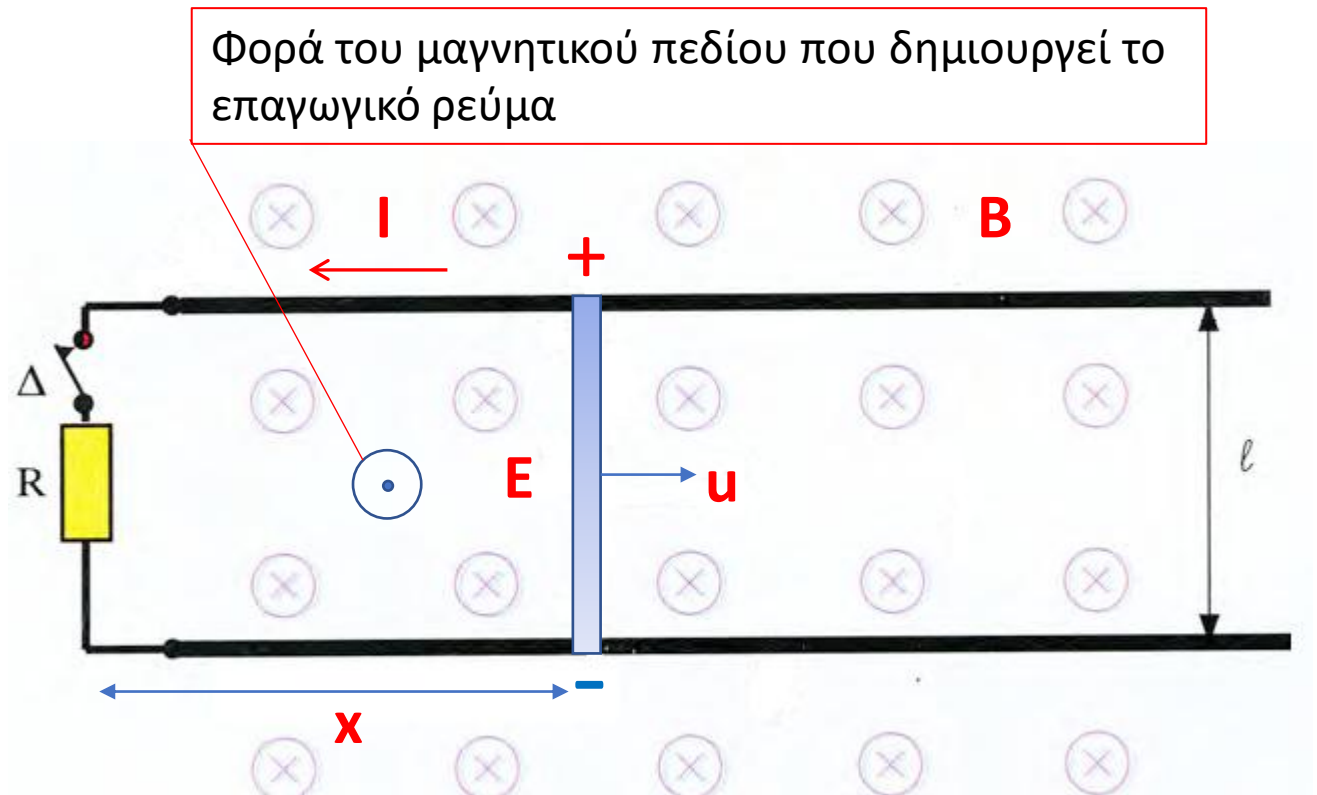


Ποια θα είναι η πολικότητα της τάσης αυτής; **Η πολικότητα της ΗΕΔ θα προσδιοριστεί σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz**

Ηλεκτρομαγνητισμός

ΗΕΔ σε Κινούμενο Αγωγό μέσα σε Μαγνητικό Πεδίο

- Εφαρμόζοντας τον κανόνα του Lenz στο κύκλωμα, η **πολικότητα της ΗΕΔ** προσδιορίζεται όπως φαίνεται στο σχήμα.
- **Παρατήρηση:** η μαγνητική ροή που εμπλέκει το κύκλωμα **αυξάνει** καθώς ο αγωγός κινείται προς τα δεξιά.
- Με **κλειστό τον διακόπτη Δ** , το ρεύμα από επαγωγή θα έχει τέτοια φορά, ώστε να **ελαττώνει** την μαγνητική ροή.



Έτσι το μαγνητικό πεδίο του επαγωγικού ρεύματος θα έχει αντίθετη φορά από το μαγνητικό B πεδίο που το προκάλεσε.

Ηλεκτρομαγνητισμός

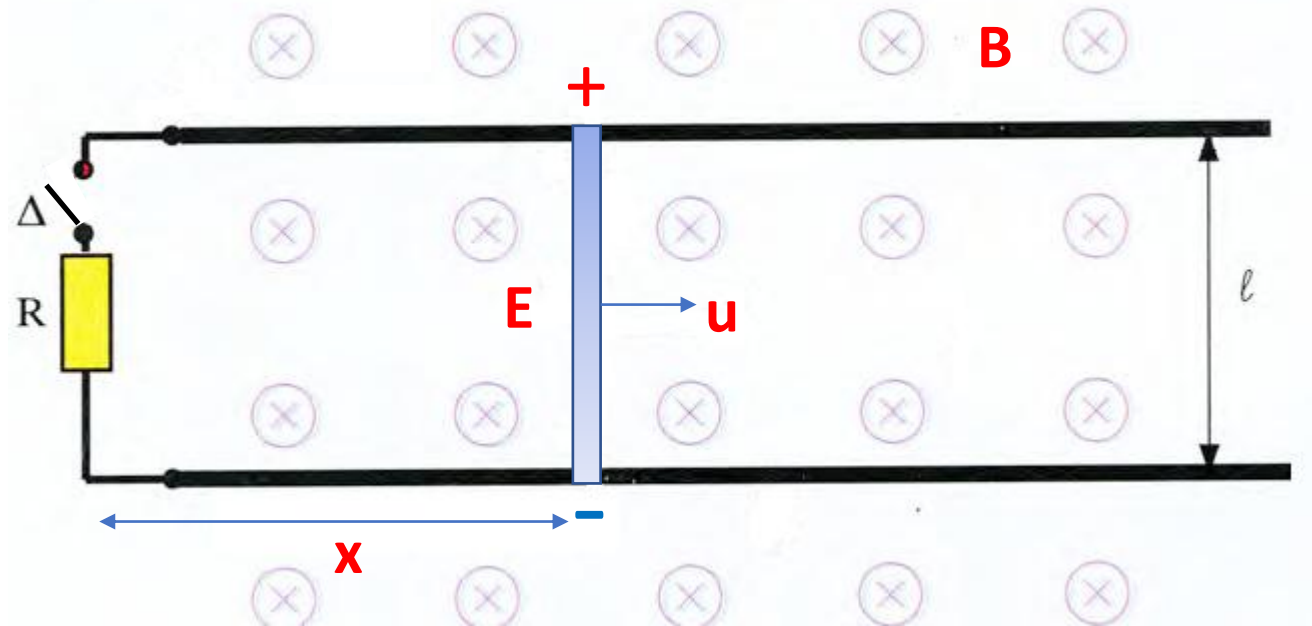
ΗΕΔ σε Κινούμενο Αγωγό μέσα σε Μαγνητικό Πεδίο

Μερικές ακόμη παρατηρήσει πάνω στο κύκλωμα:

- Η **ΗΕΔ Ε** θα αναπτυχθεί ακόμη και όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός.

Η πολικότητα της ΗΕΔ θα αλλάξει στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Αν αντιστρέψουμε την φορά της κίνησης του αγωγού.
- Αν αλλάξουμε την φορά των μαγνητικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου B



Οι εφαρμογές του **νόμου του Faraday** είναι πάρα πολλές και οδήγησαν στην σχεδίαση και την κατασκευή ηλεκτρικών γεννητριών.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

ΗΕΔ σε κινούμενο ρευματοφόρο αγωγό

ΗΕΔ σε Κινούμενο Αγωγό μέσα σε Μαγνητικό Πεδίο

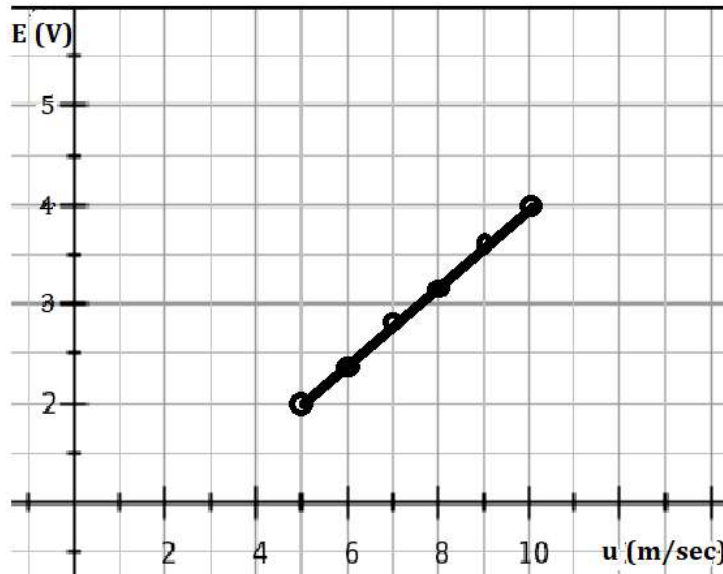
1. Αγωγός με μήκος $\ell = 0,5\text{m}$ τοποθετείται κάθετα σε μαγνητικό πεδίο που παρουσιάζει μαγνητική επαγωγή $B = 0,8\text{T}$. Αν ξεκινήσω με μια σταθερά αυξανόμενη ταχύτητα από $u_1 = 5\text{m/sec}$, και με βήμα το 1m/sec , να πάρετε 6 τιμές έως τα $u_6 = 10\text{m/sec}$, και αφού υπολογίσετε την ΗΕΔ σε κάθε βήμα, να σχεδιάσετε την γραφική παράσταση της σχέσης ΗΕΔ και ταχύτητας. Να σχολιάσετε τη σχέση των δύο μεγεθών;

Δεδομένα

$\ell = 0,5\text{m}$
 $B = 0,8\text{T}$
 $u_1 = 5\text{m/s}$
 $u_6 = 10\text{m/s}$
βήμα το 1m/s

Ζητούμενα

Για κάθε βήμα, $E =$;
Γραφική παράσταση
 $E = f(u)$;



ΛΥΣΗ: Γνωρίζουμε ότι $E = B * u * \ell$

$$\text{Άρα } E_1 = B * u * \ell = 0,8\text{T} * 5\text{m/sec} * 0,5\text{m} = 2\text{V}$$

$$E_2 = B * u * \ell = 0,8\text{T} * 6\text{m/sec} * 0,5\text{m} = 2,4\text{V}$$

$$E_3 = B * u * \ell = 0,8\text{T} * 7\text{m/sec} * 0,5\text{m} = 2,8\text{V}$$

$$E_4 = B * u * \ell = 0,8\text{T} * 8\text{m/sec} * 0,5\text{m} = 3,2\text{V}$$

$$E_5 = B * u * \ell = 0,8\text{T} * 9\text{m/sec} * 0,5\text{m} = 3,6\text{V}$$

$$E_6 = B * u * \ell = 0,8\text{T} * 10\text{m/sec} * 0,5\text{m} = 4\text{V}$$

Τα δύο αυτά μεγέθη είναι ανάλογα.

ΗΕΔ σε Κινούμενο Αγωγό μέσα σε Μαγνητικό Πεδίο

2. Αγωγός με μήκος $\ell = 0,5\text{m}$ τοποθετείται κάθετα σε μαγνητικό πεδίο και παρουσιάζει σταθερή ΗΕΔ $\mathcal{E} = 4\text{V}$ ενώ η μαγνητική του επαγωγή μεταβάλλεται από $B_1 = 1\text{T}$ σε $B_2 = 2\text{T}$, με βήμα τα $0,2\text{T}$. Να υπολογίσετε την ταχύτητα που αναπτύσσετε σε κάθε βήμα και να σχεδιάσετε την γραφική παράσταση της σχέσης ταχύτητας και μαγνητικής επαγωγής. Να σχολιάσετε τη σχέση των δύο μεγεθών;

Δεδομένα

$$\ell = 0,5\text{m}$$

$$B_1 = 1\text{T}$$

$$B_2 = 2\text{T}$$

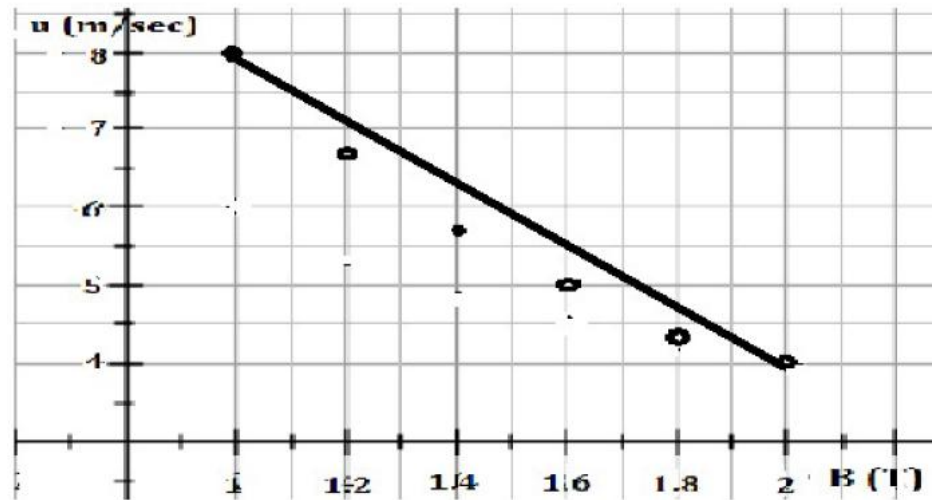
βήμα τα $0,2\text{T}$

Ζητούμενα

Για κάθε βήμα, $u =$;

Γραφική παράσταση

$$u = f(B);$$



ΛΥΣΗ:

$$\text{Γνωρίζουμε ότι } u = \frac{\mathcal{E}}{B \cdot \ell}$$

$$\text{Άρα } u_1 = \frac{\mathcal{E}}{B \cdot \ell} = \frac{4}{1 \cdot 0,5} = 8\text{A}$$

$$u_2 = \frac{\mathcal{E}}{B \cdot \ell} = \frac{4}{1,2 \cdot 0,5} = 6,66\text{m/sec}$$

$$u_3 = \frac{\mathcal{E}}{B \cdot \ell} = \frac{4}{1,4 \cdot 0,5} = 5,7\text{m/sec}$$

$$u_4 = \frac{\mathcal{E}}{B \cdot \ell} = \frac{4}{1,6 \cdot 0,5} = 5\text{m/sec}$$

$$u_5 = \frac{\mathcal{E}}{B \cdot \ell} = \frac{4}{1,8 \cdot 0,5} = 4,44\text{m/sec}$$

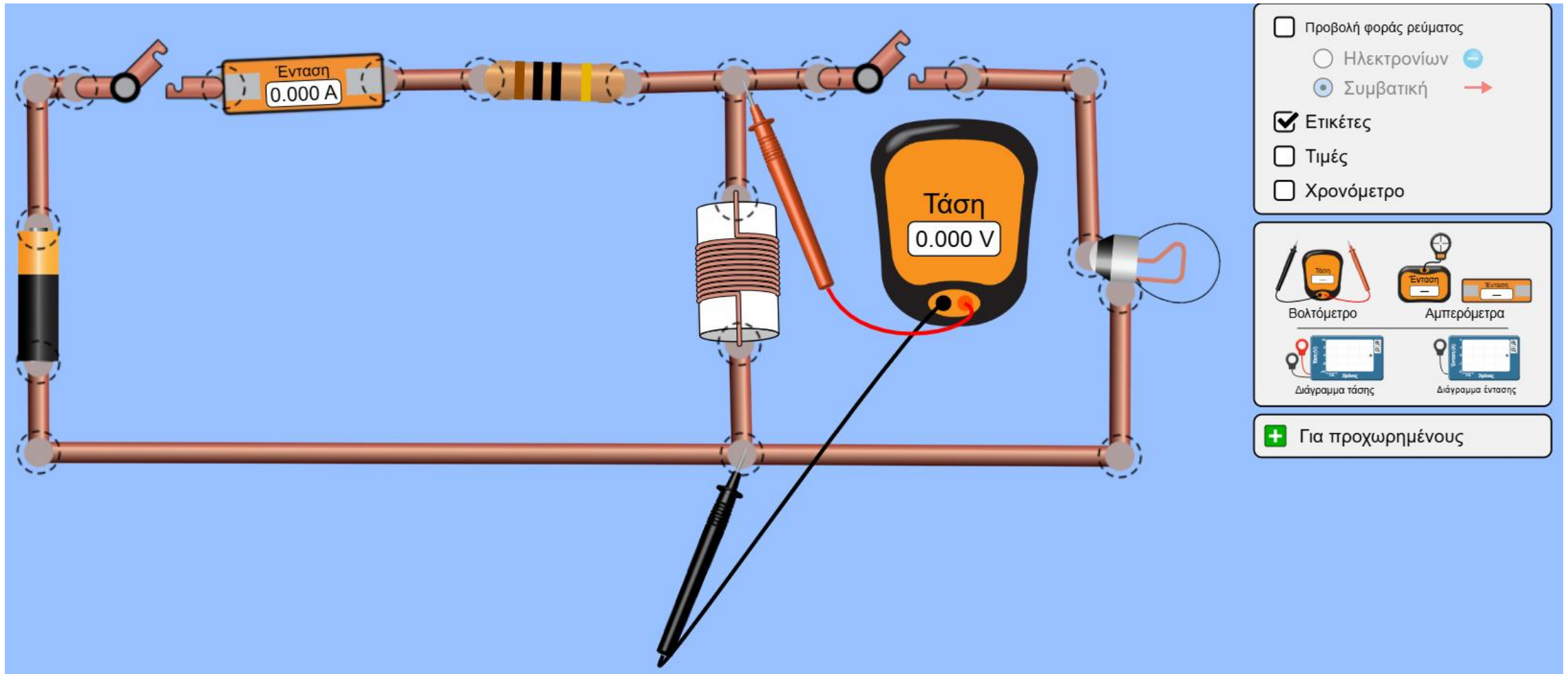
$$u_6 = \frac{\mathcal{E}}{B \cdot \ell} = \frac{4}{2 \cdot 0,5} = 4\text{m/sec}$$

Τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής

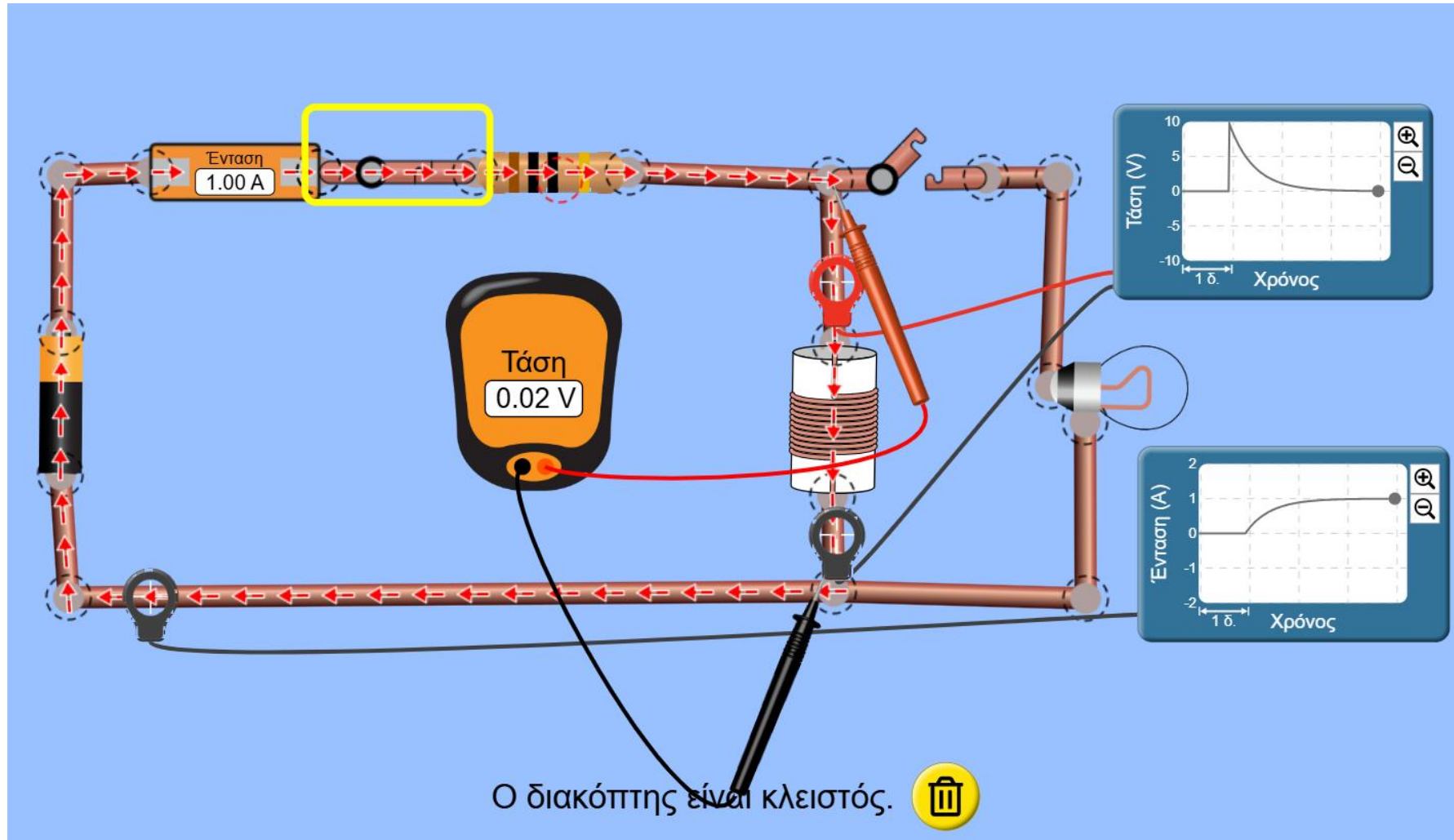
ΠΕΙΡΑΜΑ



Ηλεκτρομαγνητισμός

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής

ΠΕΙΡΑΜΑ



Ηλεκτρομαγνητισμός

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής

- **Αυτεπαγωγή** είναι η εμφάνιση **ΗΕΔ** σε ένα κύκλωμα που οφείλεται στη μεταβολή του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ίδιο το κύκλωμα.
- Το μέγεθος που χαρακτηρίζει την αυτεπαγωγή είναι ο **συντελεστής αυτεπαγωγής** L .
- αν το ρεύμα μεταβληθεί κατά ΔI μέσα σε χρόνο Δt τε τότε η αναπτυσσόμενη **ΗΕΔ** από επαγωγή είναι:

$$E = -L \cdot \frac{I_2 - I_1}{t_2 - t_1} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Ηλεκτρομαγνητισμός

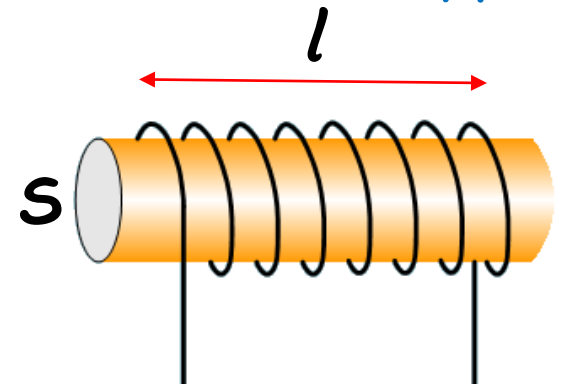
Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής

- Μονάδα μέτρησης του συντελεστή αυτεπαγωγής L είναι το **1 Henry (Ανρί)**:

$$1H = \frac{1V \cdot s}{A} = \frac{1Wb}{A}$$

- Ο συντελεστής αυτεπαγωγής L σε ένα πηνίο μπορεί να υπολογιστεί εάν γνωρίζουμε τα **γεωμετρικά χαρακτηριστικά** του πηνίου και το **υλικό** που βρίσκεται στο εσωτερικό του (πυρήνας):

$$L = N^2 \cdot \mu \cdot \frac{S}{l}$$



- **N** = ο αριθμός των σπειρών του πηνίου, **μ** = η μαγνητική διαπερατότητα του σιδηρομαγνητικού υλικού του πυρήνα που χρησιμοποιείται για να ενισχύσει το μαγνητικό του πεδίο, **S** = η διατομή και **L** = το μήκος του.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- Η αυτεπαγωγή μπορεί να χαρακτηριστεί και ως το **μέτρο της αδράνειας** - "**επαγωγικής αντίστασης**" - που προβάλλει το πηνίο στη διέλευση του ρεύματος.
- Όπως το πηνίο, έτσι και οποιοδήποτε ηλεκτρικό κύκλωμα **αντιδρά** (παρουσιάζει **αδράνεια**) στην οποιαδήποτε **μεταβολή του ρεύματος** που το διαρρέει.
- **Μέτρο της αδράνειας** ενός ηλεκτρικού κυκλώματος αποτελεί ο **συντελεστής αυτεπαγωγής** του L .
- Ένα πηνίο χαρακτηρίζεται από το **συντελεστή αυτεπαγωγής** του.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- Αν διπλασιάσουμε τις σπείρες ενός πηνίου, ο συντελεστής αυτεπαγωγής του τετραπλασιάζεται.
- Ένα απλό κύκλωμα δηλαδή ένα κύκλωμα από αποτελείται από μία και μόνο σπείρα ($N=1$), έχει μικρό συντελεστή αυτεπαγωγής σε σχέση με ένα πηνίο που έχει πολλές σπείρες.
- ένα πηνίο που δεν έχει πυρήνα έχει μικρότερο συντελεστή αυτεπαγωγής σε σχέση με το ίδιο πηνίο όταν έχει πυρήνα από σιδηρομαγνητικό υλικό.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Αυτεπαγωγή και Μεταβατικά Φαινόμενα

- Οι προηγούμενες παρατηρήσεις έχουν ως συνέπεια να μην εμφανίζονται έντονα φαινόμενα αυτεπαγωγής στα συνηθισμένα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος
- Ωστόσο, η τροφοδότηση με ρεύμα ενός κυκλώματος συνεχούς ρεύματος όπως και η διακοπή της τροφοδότησης με το άνοιγμα ενός διακόπτη συνεπάγονται πάντοτε **μεταβατικά φαινόμενα** που θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

Αυτεπαγωγή – Συντελεστής Αυτεπαγωγής

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής

1. Το ρεύμα που περνά από ένα πηνίο μεταβάλλεται κατά **20A** μέσα σε χρονικό διάστημα **0,02sec**. Αν ο συντελεστής αυτεπαγωγής του πηνίου είναι **0.1H**, τότε η ΗΕΔ από αυτεπαγωγή που αναπτύσσεται στο πηνίο είναι **E = 100 V**.

$$E = L \cdot \Delta I / \Delta t = 0,1H \cdot 20A / 0,02sec = 100V$$

2. Το ρεύμα που περνά από ένα πηνίο μεταβάλλεται κατά **32A** μέσα σε χρονικό διάστημα **0,02sec** και αναπτύσσεται στο πηνίο ΗΕΔ από αυτεπαγωγή **96V**. Ο συντελεστής αυτεπαγωγής του πηνίου είναι **L = 0.06 H**.

$$E = L \cdot \Delta I / \Delta t \Rightarrow L = E \cdot \Delta t / \Delta I = 96V \cdot 0,02sec / 32A = 0,06H$$

3. Ένα πηνίο διαρρέεται από ρεύμα που μεταβάλλεται με σταθερό ρυθμό από **I₁ = 3A** σε **I₂ = 1A** μέσα σε χρόνο **Δt = 2 msec**. Αν ο συντελεστής αυτεπαγωγής είναι **L = 0.01 Henry**, τότε η τάση από αυτεπαγωγή είναι **E = 10 V**.

$$E = L \cdot \Delta I / \Delta t = 0,01H \cdot (1A - 3A) / 0,002sec = 10V$$

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής

3. Ένα πηνίο έχει **200** σπείρες, διατομή **6 cm²**, σιδερένιο πυρήνα μαγνητικής διαπερατότητας **$\mu=0,01 \text{ H/m}$** και μήκος **L=24 cm**. Ο συντελεστής αυτεπαγωγής του πηνίου είναι **L = ...¹...H**. Αν μέσα από το πηνίο περνά ρεύμα **I₁ = 5A** και μέσα σε χρονικό διάστημα **$\Delta t = 0,01 \text{ sec}$** το ρεύμα γίνει **I₂=0A**, τότε στα άκρα του πηνίου θα εμφανιστεί ΗΕΔ **E = -⁵⁰⁰...V**.

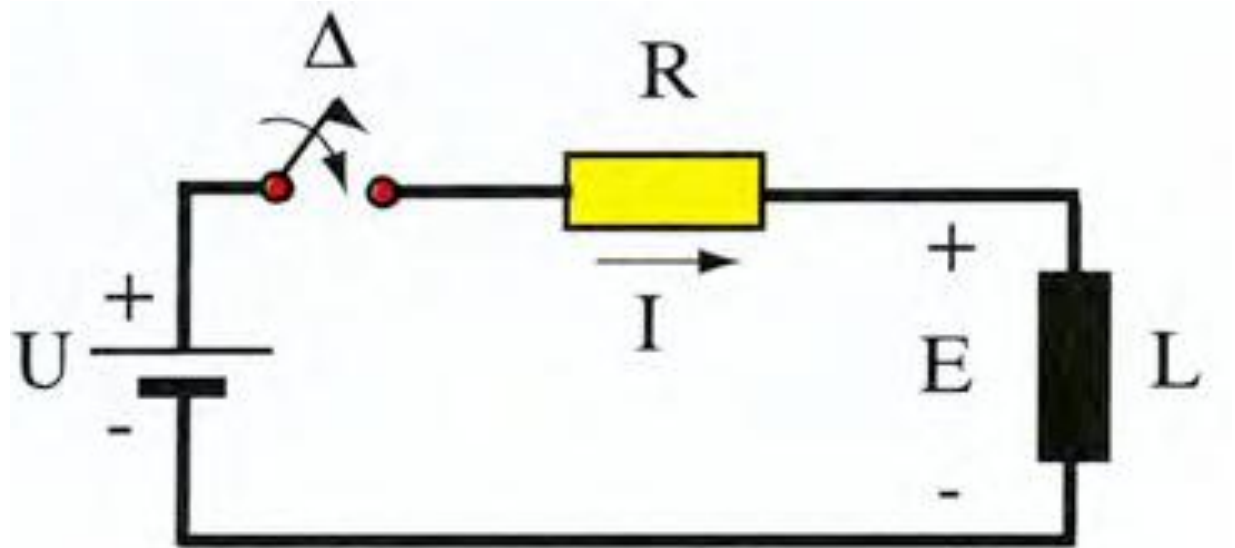
$$L = (N^2 \cdot \mu \cdot S) / L = (200^2 \cdot 0,01 \text{ H/m} \cdot 6 \text{ cm}^2) / 24 \text{ cm} = (40000 \cdot 0,01 \text{ H/m} \cdot 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) / 0,24 \text{ m} = 1 \text{ H}$$

$$E = L \cdot \Delta I / \Delta t = 1 \text{ H} \cdot (0 \text{ A} - 5 \text{ A}) / 0,01 \text{ sec} = -500 \text{ V}$$

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

- Όταν κλείσει ο διακόπτης Δ το ρεύμα στο κύκλωμα αυξάνει **σταδιακά** και όχι ακαριαία, λόγω εμφάνισης της τάσης εξ επαγωγής στα άκρα του πηνίου.
- Καθώς το ρεύμα αυξάνει σταδιακά για να αποκτήσει την τελική τιμή **U/R** , η τάση **E** στα άκρα του πηνίου σταδιακά μηδενίζεται.



Ηλεκτρομαγνητισμός

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

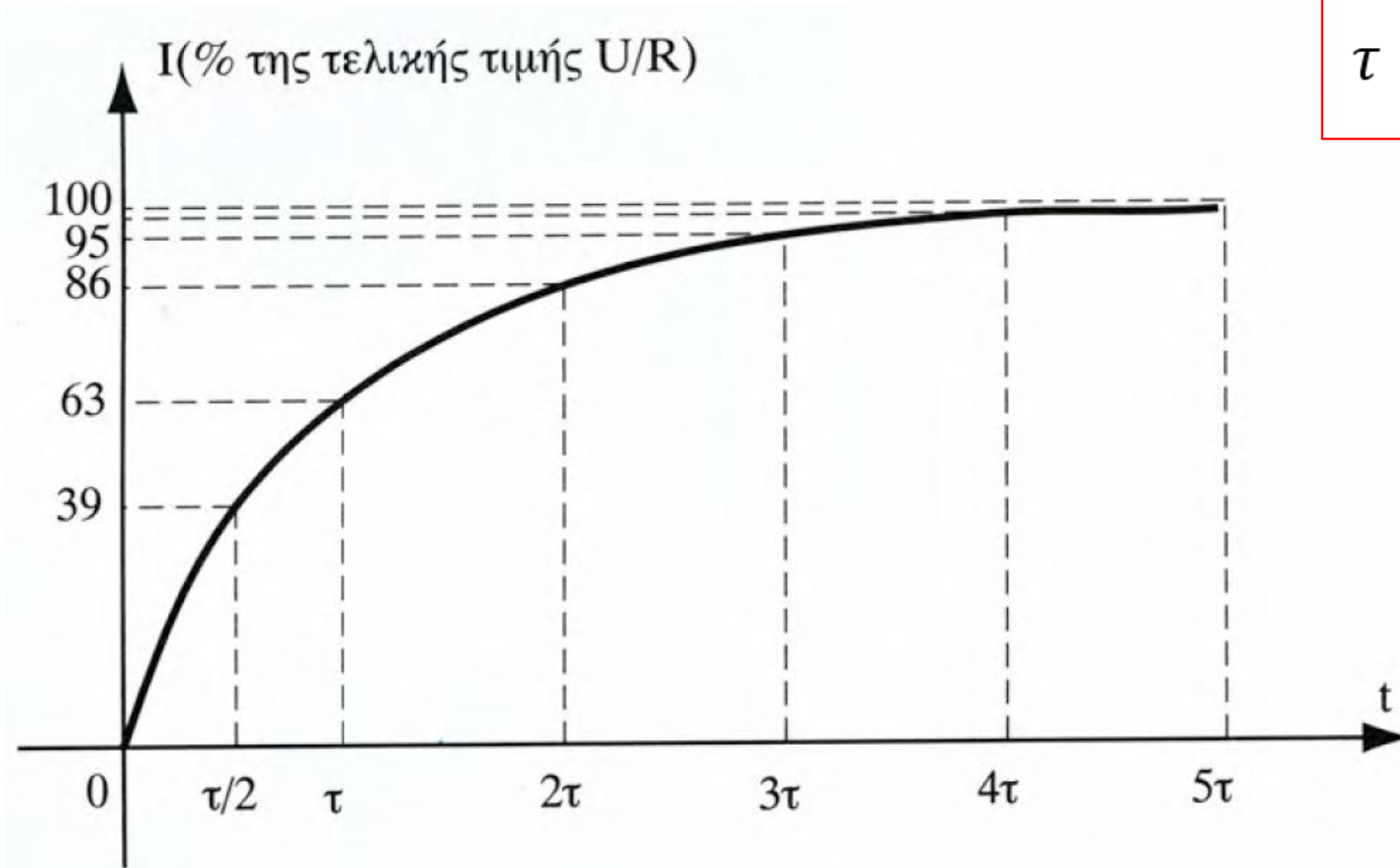
- Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής αυτεπαγωγής L του κυκλώματος ή όσο μικρότερη είναι η αντίσταση R τόσο περισσότερος χρόνος θα χρειαστεί για να αποκατασταθεί το ρεύμα στην τελική του τιμή.
- Ο λόγος του συντελεστή αυτεπαγωγής L προς την αντίσταση R ονομάζεται σταθερά χρόνου τ :

$$\tau = \frac{L}{R}$$
- όσο μικρότερη είναι σταθερά χρόνου τόσο πιο γρήγορα αποκαθίσταται το ρεύμα του κυκλώματος στην τελική του τιμή.

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

➤ Καμπύλη αποκατάστασης ρεύματος σε κύκλωμα R-L



$$\tau = \frac{L}{R}$$

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

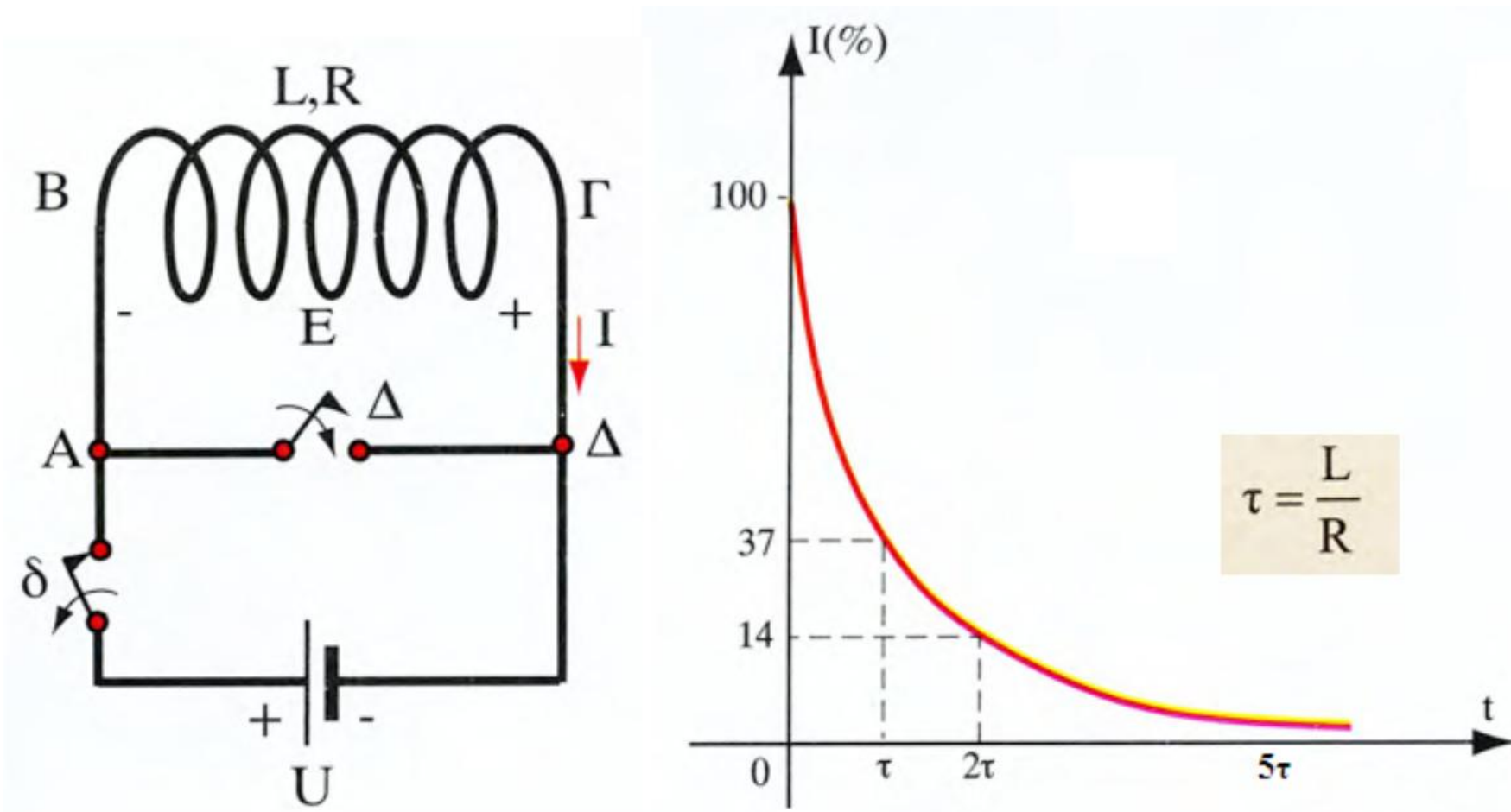
- Όταν αφαιρεθεί η τάση από ένα πηνίο και βραχυκυκλωθούν τα άκρα του, τότε το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο δεν θα μηδενίσει αμέσως αλλά **σταδιακά**.
- το ρεύμα αυτό οφείλεται αποκλειστικά στην ΗΕΔ που αναπτύσσεται στο πηνίο, η οποία έχει φορά τέτοια ώστε να διατηρήσει το αρχικό ρεύμα I του πηνίου.
- Το ρεύμα πρακτικά θα μηδενίσει μετά από χρόνο 5τ :

$$5\tau = 5 \frac{L}{R}$$

Ηλεκτρομαγνητισμός

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

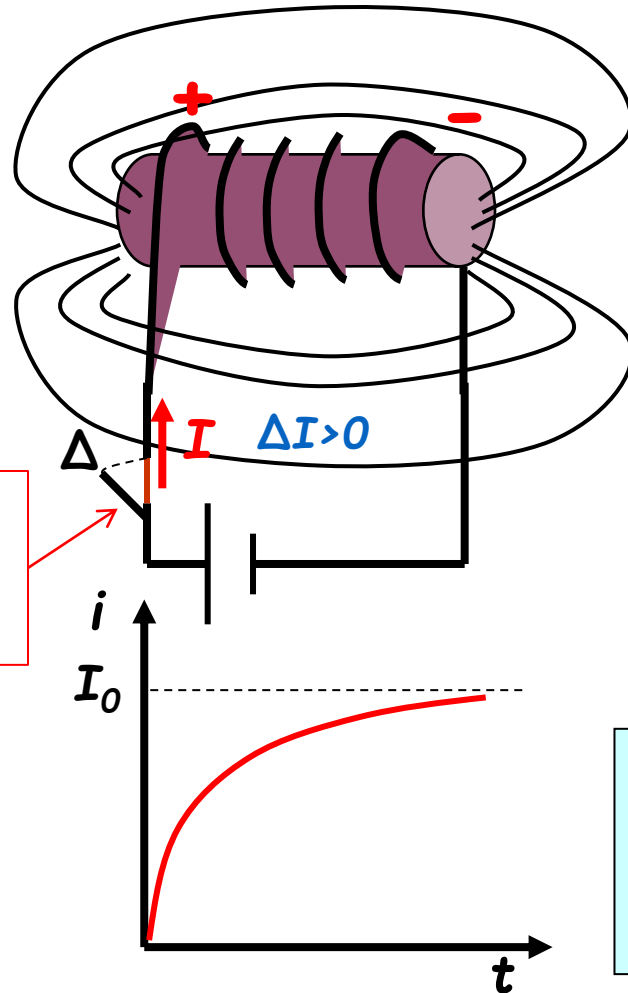
- Μηδενισμός ρεύματος πηνίου μετά από βραχυκύκλωση



Ηλεκτρομαγνητισμός

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

Το **πηνίο αντιδρά** στην μεταβολή του ρεύματος (**εμφανίζει αδράνεια**).



Όταν ο διακόπτης κλείνει

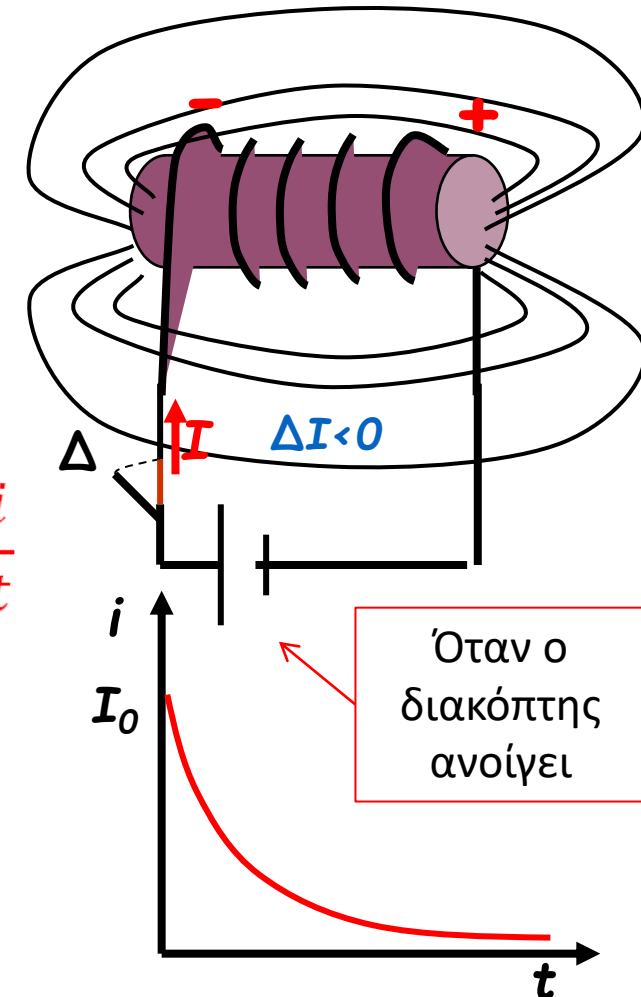
Μεταβολή ρεύματος Δi
στο πηνίο

Μεταβολή ροής $\Delta \Phi$
στο πηνίο

Εμφάνιση $E_{\varepsilon\pi}$
στο πηνίο

Επαγωγικό ρεύμα $I_{\varepsilon\pi}$ στο πηνίο
(δεύτερο ρεύμα, εκτός από αυτό που προέρχεται από την πηγή)

$$E_{\varepsilon\pi} = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$



Όταν ο διακόπτης ανοίγει

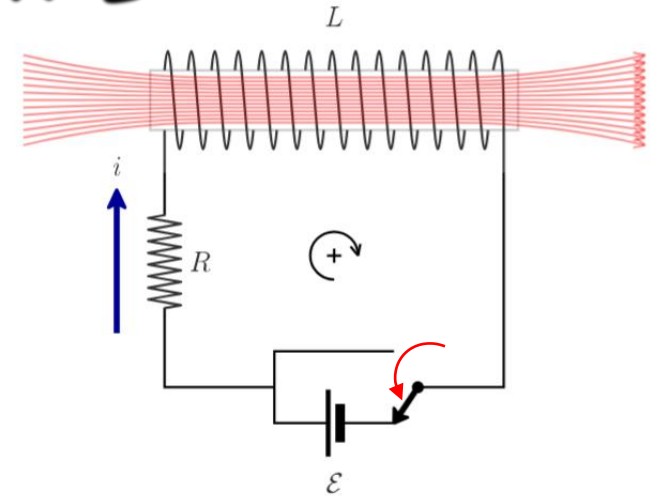
Ηλεκτρομαγνητισμός

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

Παράδειγμα:

Στο διπλανό κύκλωμα έχουμε $E=12V$, $L = 3H$, $R = 3\Omega$

Όταν μεταγωγικός διακόπτης συνδέσει το κύκλωμα στην πηγή ($t=0$), αρχίζει το μεταβατικό φαινόμενο του κυκλώματος R-L, όπου η τάση και το ρεύμα μεταβάλλονται όπως φαίνεται στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



Παρατηρείστε ότι: $I_0 = \frac{E}{R} = \frac{12}{3} = 4A$

- Όταν $t = \tau = \frac{L}{R} = \frac{3}{3} = 1 \text{ sec}$

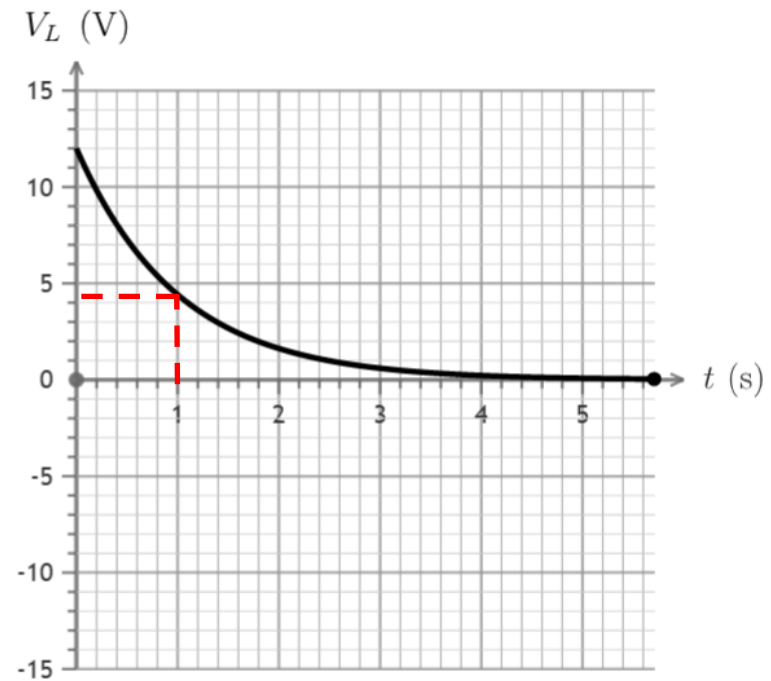
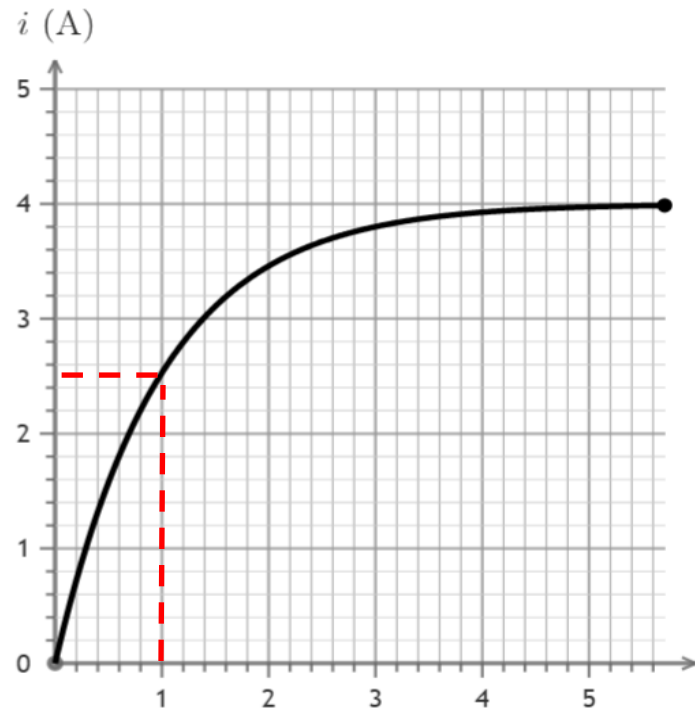
$\Rightarrow i = 63\% \text{ του } I_0 \text{ ή } 0.63 \cdot I_0 = 0.63 \cdot 4 = 2.52A$

$\Rightarrow U_L = 37\% \text{ του } E \text{ ή } 0.37 \cdot E = 0.37 \cdot 12 = 4.44V$

- Όταν $t = 5 \cdot \tau = 5 \text{ sec}$

$\Rightarrow i \cong I_0 = 4A$

$\Rightarrow U_L \cong 0V$



Ηλεκτρομαγνητισμός

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

Παράδειγμα:

Όταν μεταγωγικός διακόπτης αλλάξει θέση (αποσυνδέοντας την πηγή και συνδέοντας το πηνίο απευθείας με τη αντίσταση) ($t=0$), αρχίζει και πάλι το μεταβατικό φαινόμενο του κυκλώματος R-L, όπου η **τάση** και το **ρεύμα** μεταβάλλονται όπως φαίνεται στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.

Παρατηρείστε ότι: Η ΗΕΔ από επαγωγή στα άκρα του πηνίου, αλλάζει πολικότητα σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz.

Δηλ. αρχικά **$U_L = -E = -12V$**

- Όταν $t = \tau = \frac{L}{R} = \frac{3}{3} = 1 \text{ sec}$

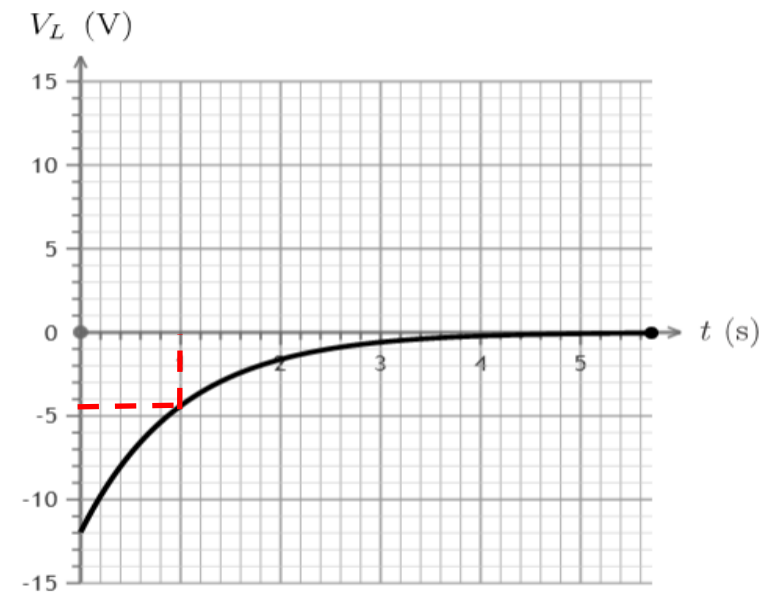
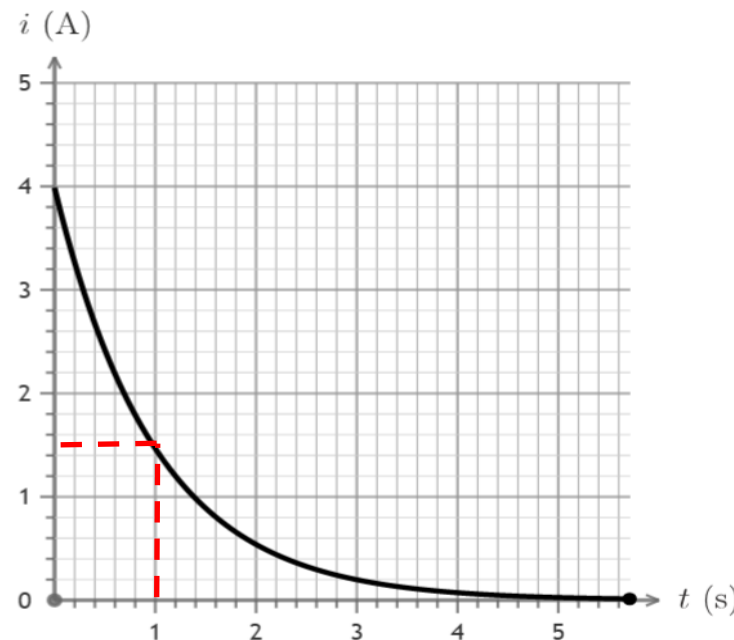
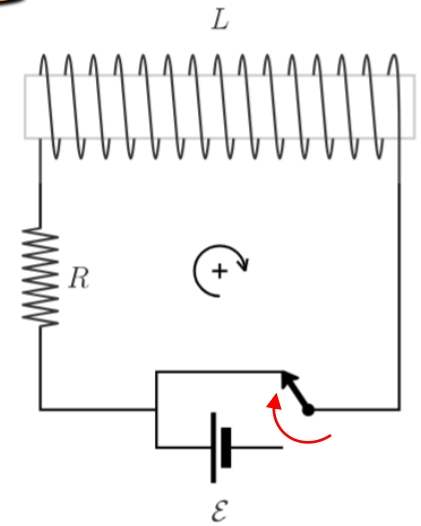
$\Rightarrow i = 37\% \text{ του } I_0 \text{ ή } 0.37 \cdot I_0 = 0.37 \cdot 4 = 1.48A$

$\Rightarrow U_L = 37\% \text{ του } E \text{ ή } 0.37 \cdot E = -0.37 \cdot 12 = -4.44V$

- Όταν $t = 5 \cdot \tau = 5 \text{ sec}$

$\Rightarrow i \cong 0$

$\Rightarrow U_L \cong 0V$



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

1. Αν ένα πηνίο έχει συντελεστή αυτεπαγωγής 1H και αντίσταση 4Ω , τότε η σταθερά χρόνου του κυκλώματος R-L είναι $\tau = 0,25$ sec.

$$\tau = L/R = 1\text{H}/4\Omega = 0,25\text{sec}$$

2. Κατά την τροφοδότηση ενός κυκλώματος R-L θα έχουμε ταχύτερη αποκατάσταση της τελικής τιμής του ρεύματος όταν:

- α. είναι μεγάλη η αντίσταση R και μικρός ο συντελεστής αυτεπαγωγής L
- β. είναι μεγάλη η αντίσταση R και μεγάλος ο συντελεστής αυτεπαγωγής L
- γ. είναι μικρή η αντίσταση R και μικρός ο συντελεστής αυτεπαγωγής L
- δ. είναι μικρή η αντίσταση R και μεγάλος ο συντελεστής αυτεπαγωγής L

Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

1. Στο διπλανό κύκλωμα δίνονται: $R=1K\Omega$, $L=10mH$, $V=12V$. Αρχικά ο διακόπτης είναι ανοικτός και το πηνίο δεν έχει αποθηκευμένη ενέργεια.

Τη χρονική στιγμή $t_0=0$ κλείνει ο διακόπτης.

α) Μόλις κλείσει ο διακόπτης το ρεύμα θα γίνει $I_0 = \dots\dots\dots 0 \dots\dots\dots$ mA, η τάση στο πηνίο θα είναι $\dots\dots\dots 12 \dots\dots\dots$ V και η τάση στην αντίσταση θα είναι $\dots\dots\dots 0 \dots\dots\dots$ V.

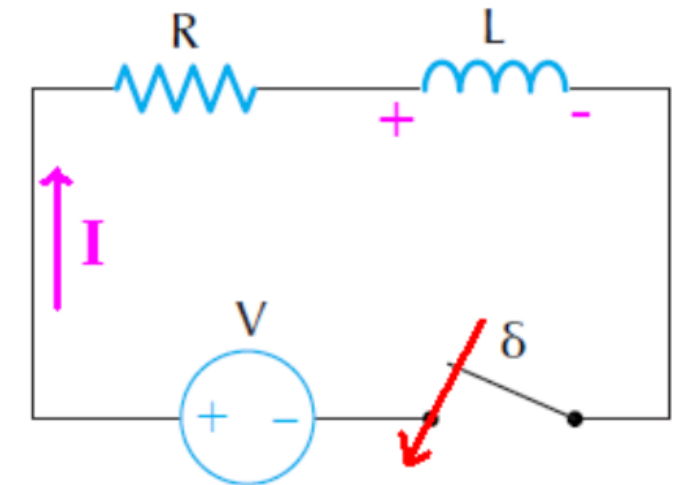
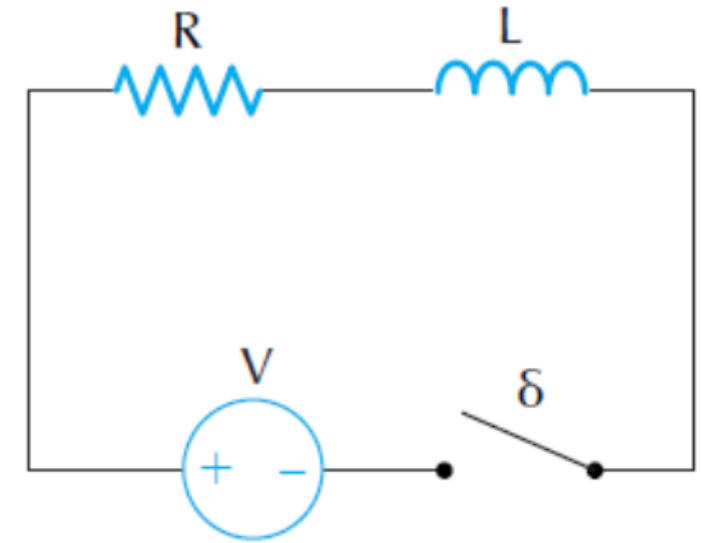
β) Με το πέρασμα του χρόνου σταδιακά η τάση του πηνίου $\dots\dots\dots$ μειώνεται $\dots\dots\dots$, το ρεύμα $\dots\dots\dots$ αυξάνεται $\dots\dots\dots$ και η τάση στην αντίσταση $\dots\dots\dots$ αυξάνεται $\dots\dots\dots$

γ) Το ρεύμα του κυκλώματος θα έχει αποκατασταθεί στο 63% της μέγιστης τελικής του τιμής μετά από χρόνο $\tau = \dots\dots\dots 10 \dots\dots\dots$ μsec .
$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10mH}{1K\Omega} = 10\mu sec$$

δ) Το ρεύμα του κυκλώματος θα έχει αποκατασταθεί πλήρως μετά από χρόνο $5*\tau = \dots\dots\dots 50 \dots\dots\dots$ μsec .
$$5*\tau = 5*10 \mu sec = 50 \mu sec$$

ε) Όταν το ρεύμα αποκατασταθεί πλήρως, τότε η τάση στα άκρα του πηνίου θα είναι $\dots\dots\dots 0 \dots\dots\dots$ V, το ρεύμα του κυκλώματος θα είναι $\dots\dots\dots 12 \dots\dots\dots$ mA και η τάση στην αντίσταση θα είναι $\dots\dots\dots 12 \dots\dots\dots$ V.

$$I = V/R = 12V/1K\Omega = 12mA \text{ και } V_R = I*R = 12mA*1K\Omega = 12V$$

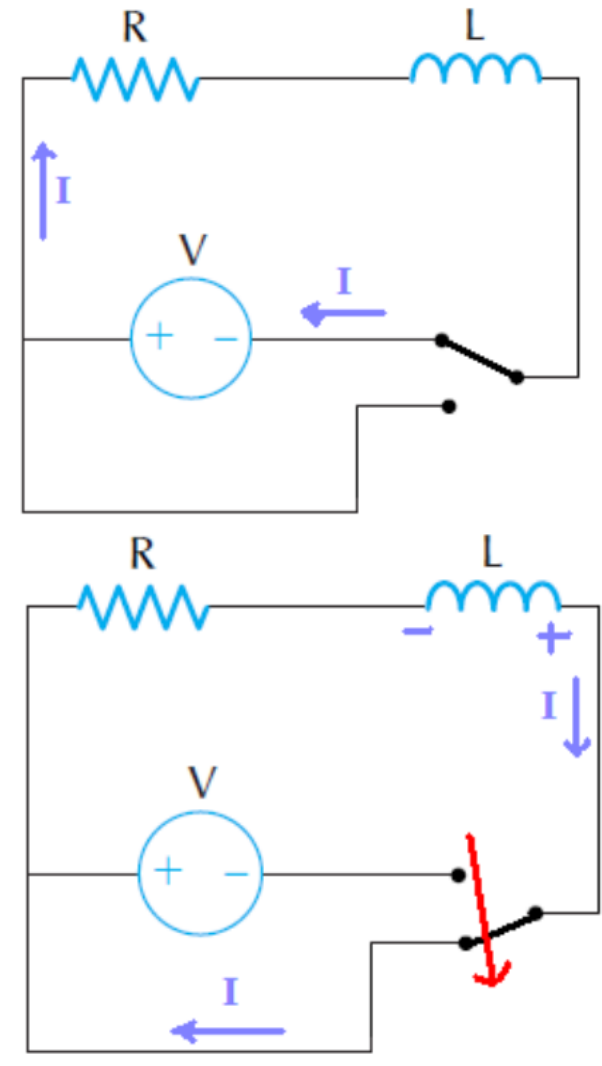


Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

1. Για το ανωτέρω κύκλωμα δίνονται: $R=1\text{K}\Omega$, $L=10\text{mH}$, $V=12\text{V}$. Αρχικά ο διακόπτης είναι στην άνω θέση και το ρεύμα του κυκλώματος είναι $I=12\text{mA}$.

Τη χρονική στιγμή $t_0=0$ ο διακόπτης μεταβαίνει στην κάτω θέση.

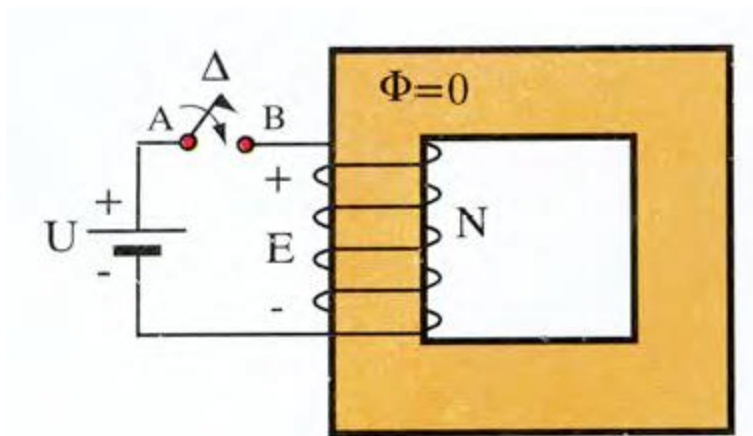
- α) Μόλις κλείσει ο διακόπτης το ρεύμα θα είναι $I_0 = \dots 12 \dots \text{mA}$, η τάση στο πηνίο θα γίνει $\dots -12 \dots \text{V}$ και η τάση στην αντίσταση θα είναι $\dots 12 \dots \text{V}$.
- β) Με το πέρασμα του χρόνου σταδιακά η τάση του πηνίου $\dots \text{μειώνεται} \dots$, το ρεύμα του κυκλώματος $\dots \text{μειώνεται} \dots$ και η τάση στην αντίσταση $\dots \text{μειώνεται} \dots$.
- γ) Το ρεύμα του κυκλώματος θα έχει μειωθεί στο 37% της αρχικής του τιμής μετά από χρόνο $\tau = \dots 10 \dots \mu\text{sec}$.
- δ) Το ρεύμα του κυκλώματος θα έχει σχεδόν μηδενιστεί μετά από χρόνο $5\tau = \dots 50 \dots \mu\text{sec}$.
- ε) Όταν το ρεύμα θα έχει μηδενιστεί, τότε η τάση στα άκρα του πηνίου θα είναι $\dots 0 \dots \text{V}$, το ρεύμα του κυκλώματος θα είναι $\dots 0 \dots \text{mA}$ και η τάση στην αντίσταση θα είναι $\dots 0 \dots \text{V}$.



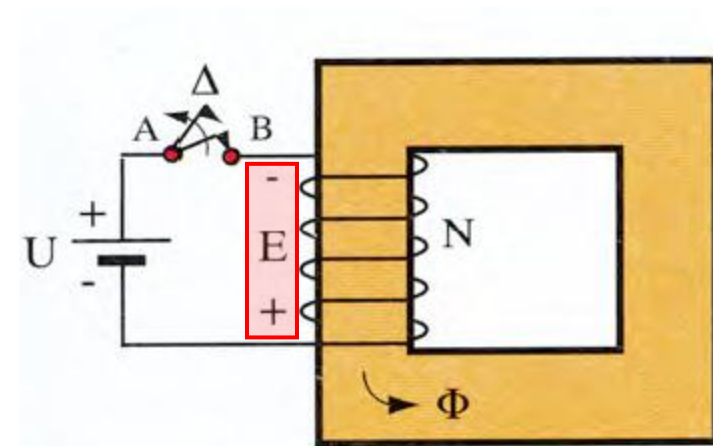
Ηλεκτρομαγνητισμός

Υπέρταση από άνοιγμα διακόπτη

- Όταν ανοίξει ο διακόπτης Δ σε κύκλωμα R-L (εικόνα β), η απότομη διακοπή του ρεύματος προκαλεί στα άκρα του πηνίου την ανάπτυξη ΗΕΔ E από επαγωγή.
- Εκείνη την στιγμή η τάση στα άκρα του διακόπτη είναι ίση με το **άθροισμα** της τάσης τροφοδοσίας U και της ΗΕΔ E , δηλαδή: $U_{\Delta} = U + E$
- Επομένως κατά το άνοιγμα του διακόπτη μπορεί να εμφανιστεί **υπέρταση**.



(α) κλείσιμο διακόπτη

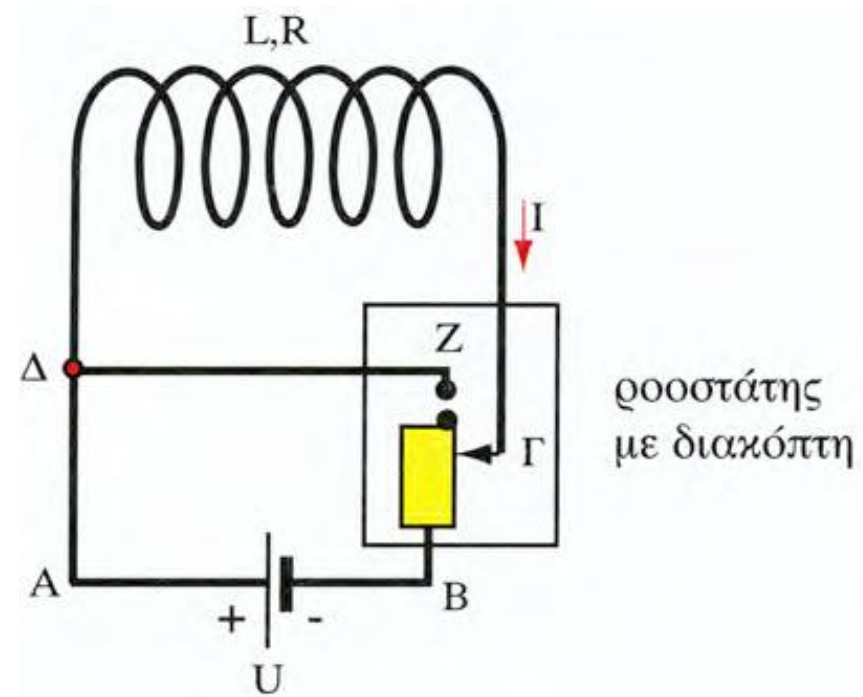
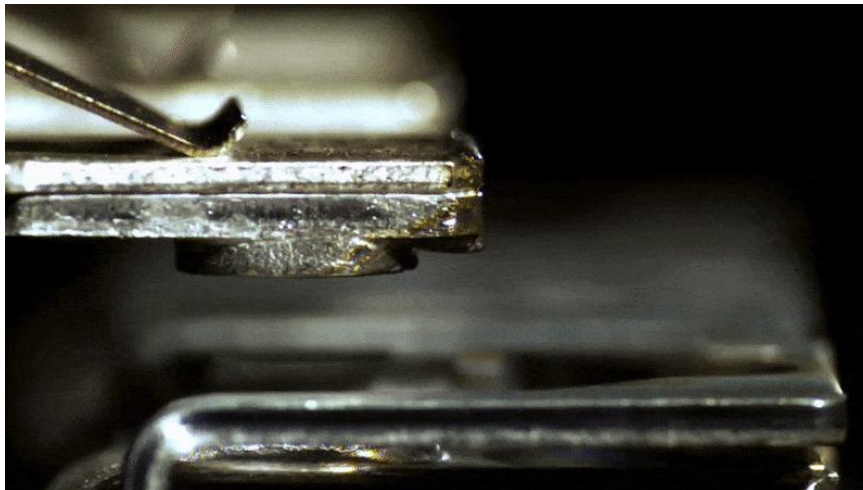


(β) άνοιγμα διακόπτη

Ηλεκτρομαγνητισμός

Υπέρταση από άνοιγμα διακόπτη

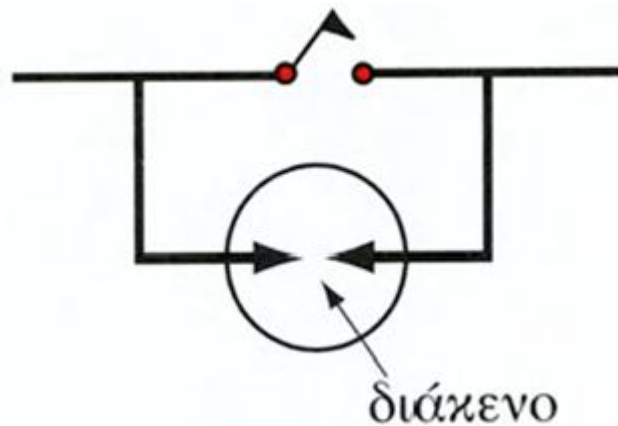
- Αποτέλεσμα των υπερτάσεων είναι η δημιουργία ηλεκτρικού τόξου (λάμψη μεταξύ των επαφών του διακόπτη, το οποίο μπορεί να τον καταστρέψει).
- Η χρήση ενός ροοστάτη με διακόπτη μπορεί να μειώσει την ένταση του ρεύματος πριν διακοπεί το κύκλωμα, αποφεύγοντας τις υπερτάσεις.



Ηλεκτρομαγνητισμός

Υπέρταση από άνοιγμα διακόπτη

- Παράλληλα προς τον διακόπτη μπορεί να συνδεθεί ένα αλεξικέραυνο (σπινθηριστής ή ένα βαρίστορ MOV), έτσι ώστε το τόξο να μην περάσει από τις επαφές του διακόπτη.
- Τα MOV υπό κανονικές συνθήκες εμφανίζουν πολύ μεγάλη αντίσταση, η οποία μηδενίζεται όταν επιβάλλεται στα άκρα τους μια **μεταβατική υπέρταση**.



(α) σπινθηριστής



(β) βαρίστορ MOV

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής
Μεταβατικά Φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής, Μεταβατικά Φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

Ένα μεταβαλλόμενο **μαγνητικό** πεδίο προκαλεί την εμφάνιση ΗΕΔ εξ επαγωγής στα ηλεκτρικά κυκλώματα που το περιβάλλουν.

Η ένταση του ρεύματος μέσα από ένα πηνίο δεν αυξάνεται ή μειώνεται **ακαριαία**, αλλά **σταδιακά**, λόγω του φαινομένου της επαγωγής.

Όταν ένα πηνίο διαρρέεται από ρεύμα, τότε στις σπείρες του πηνίου δημιουργείται **μαγνητικό** πεδίο.

Όταν μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος μέσα από το πηνίο, τότε μεταβάλλεται και το μαγνητικό πεδίο του πηνίου, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μια τάση από **επαγωγή** στα άκρα του πηνίου.

Η επαγωγική τάση σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz έχει τέτοια φορά, ώστε να **αντιδρά** στα αίτια που την προκαλούν.

Το φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζεται ΗΕΔ σε ένα κύκλωμα, όταν μεταβάλλεται το ρεύμα που το διαρρέει, ονομάζεται **αυτεπαγωγή**.

Τα μεταβατικά φαινόμενα διαρκούν **περισσότερο**, όταν ο συντελεστής αυτεπαγωγής είναι μεγάλος ή η αντίσταση του κυκλώματος είναι μικρή.

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής, Μεταβατικά Φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

Κατά το άνοιγμα των διακοπών δημιουργούνται λόγω αυτεπαγωγής**υπερτάσεις**..., οι οποίες μπορεί να καταστρέψουν τον διακόπτη.

Γι αυτό σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ειδικά εξαρτήματα προστασίας, όπως είναι οι **σπινθηριστές** και τα **βαρίστορ**.....

Αυτεπαγωγή - Συντελεστής Αυτεπαγωγής, Μεταβατικά Φαινόμενα σε κύκλωμα R-L

1. Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, η ΗΕΔ εξ επαγωγής έχει τέτοια φορά, ώστε να αντιδρά στα αίτια που την προκαλούν, δηλαδή να εμποδίζει τη μεταβολή της μαγνητικής ροής που περνάει από το κύκλωμα.

☒ α) Σωστό β) Λάθος

2. Όταν ένα πηνίο διαρρέεται από ρεύμα, τότε στο εσωτερικό του (ανάμεσα στις σπείρες του) αναπτύσσεται ηλεκτρικό πεδίο.

α) Σωστό ☒ β) Λάθος

3. Το ρεύμα μέσα από ένα πηνίο δεν μεταβάλλεται σταδιακά, αλλά ακαριαία.

α) Σωστό ☒ β) Λάθος

4. Η ΗΕΔ εξ επαγωγής είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής και του αριθμού σπειρών του πηνίου.

☒ α) Σωστό β) Λάθος

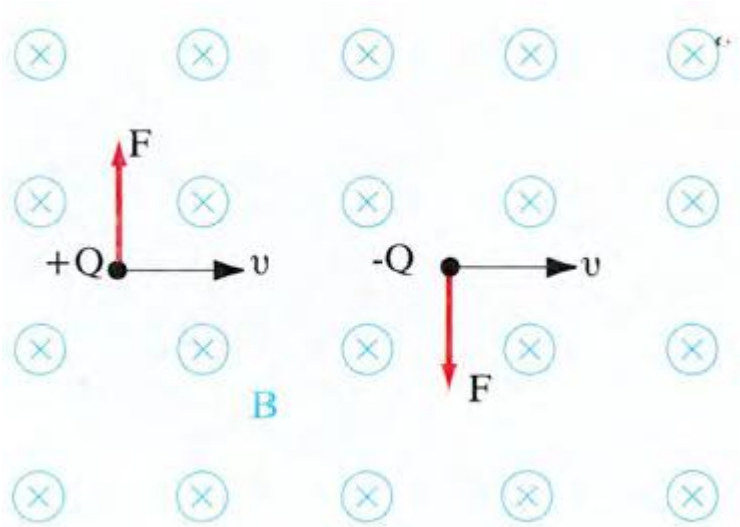
5. Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με αυτεπαγωγή δημιουργούνται μεταβατικά φαινόμενα κατά την τροφοδότηση, τη διακοπή ή την βραχυκύκλωσή του.

☒ α) Σωστό β) Λάθος

Ηλεκτρομαγνητισμός

Δύναμη σε κινούμενο φορτίο

- Ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί γύρω του ένα μαγνητικό πεδίο.
- Αν το φορτίο Q (C) κινηθεί με ταχύτητα u (m/s) και κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου μαγνητικής επαγωγής B (T), τότε θα ασκηθεί πάνω του μια δύναμη F (N), **ανάλογη** με την μαγνητική επαγωγή του πεδίου, με την ταχύτητα του φορτίου και με το φορτίο, δηλαδή:

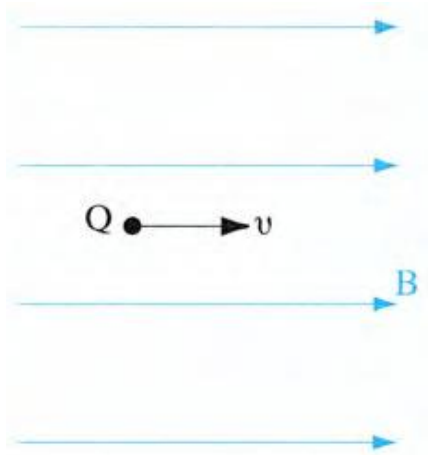


$$F = B \cdot u \cdot Q$$

Ηλεκτρομαγνητισμός

Δύναμη σε κινούμενο φορτίο

- Η ασκούμενη δύναμη F είναι μέγιστη ($F_{\max}$) όταν το φορτίο κινείται κάθετα (90°) ως προς τις μαγνητικές γραμμές, ενώ είναι μηδέν ($F=0$) όταν κινείται παράλληλα ως προς αυτές.

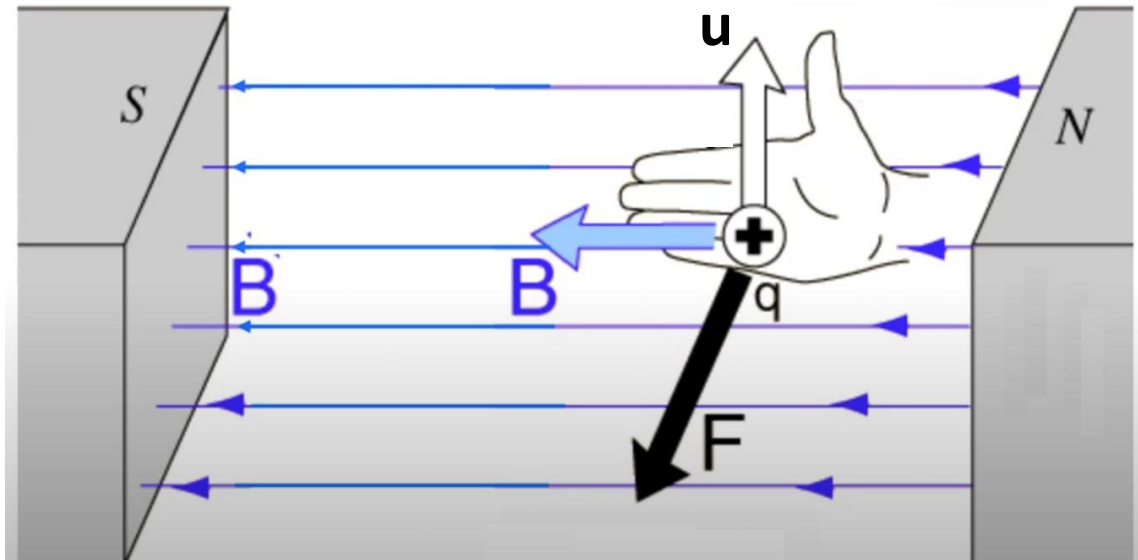


- Σε οποιαδήποτε άλλη γωνία κίνησης του φορτίου ως προς τις μαγνητικές γραμμές, η ασκούμενη δύναμη F θα είναι $F_{\max} > F > 0$.
- Η δύναμη F είναι κάθετη προς το επίπεδο που ορίζουν η ταχύτητα του φορτίου και η διεύθυνση της μαγνητικής επαγωγής (κανόνας δεξιού χεριού).

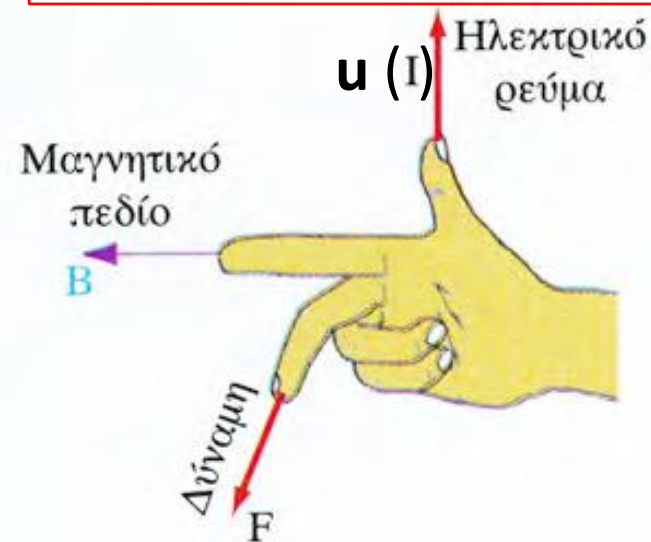
Ηλεκτρομαγνητισμός

Κανόνας δεξιού χεριού

- Ο αντίχειρας του δεξιού χεριού δείχνει τη φορά της κίνησης του **θετικού** ηλεκτρικού φορτίου
- Ο δείκτης δείχνει την φορά της μαγνητικής επαγωγής
- Ο μεσαίος δείχνει τη φορά της δύναμης.
- Η δύναμη έχει αντίθετη φορά αν το φορτίο είναι **αρνητικό**.



Η φορά της κίνησης του θετικού ηλεκτρικού φορτίου συμπίπτει με την φορά του ρεύματος που αυτό δημιουργεί κατά την κίνησή του.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

Δύναμη σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο

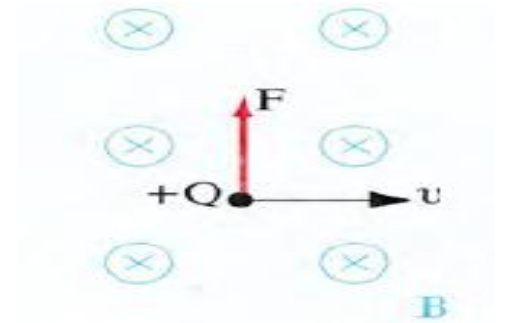
Δύναμη σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο

Τ.Θ 19671

1. Πόση είναι η δύναμη που ασκείται πάνω στο φορτίο που βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα;

Απάντηση:

$$F = B \cdot u \cdot Q$$



Τ.Θ 19671

2. Σε ένα φορτίο ασκείται δύναμη 10 N, όταν αυτό κινείται κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου με ταχύτητα $u = 10 \text{ m/s}$. Αν η μαγνητική επαγωγή είναι 2T πόσο είναι το μέγεθος του φορτίου;

α. 0,5 C **β.** 1 C **γ.** 2 C **δ.** 10 C

3. Ένα ηλεκτρόνιο με φορτίο $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ κινείται με ταχύτητα $u = 500 \text{ km/sec}$ κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου με μαγνητική επαγωγή $B = 1 \text{ T}$. Να υπολογιστεί η δύναμη F που ασκείται από το μαγνητικό πεδίο στο ηλεκτρόνιο.

α. $F = 8 \cdot 10^{-14} \text{ N}$ **β.** $F = 80 \cdot 10^{-14} \text{ N}$ **γ.** $F = 800 \cdot 10^{-14} \text{ N}$ **δ.** $F = 800 \cdot 10^{-16} \text{ N}$

Δύναμη σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο

4. Όταν ένα ηλεκτρικό φορτίο κινείται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο τέμνοντάς τις μαγνητικές γραμμές, τότε ασκείται πάνω του μια δύναμη ανάλογη με την ταχύτητά του και την μαγνητική επαγωγή του πεδίου.

☒ α) Σωστό β) Λάθος

5. Όταν ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο εισέλθουν με την ίδια κατεύθυνση και ταχύτητα μέσα στο ίδιο ομογενές μαγνητικό πεδίο, τότε θα ασκηθούν επάνω τους ίσες ως προς το μέτρο δυνάμεις F , αλλά με αντίθετες φορές.

☒ α) Σωστό β) Λάθος

6. Αν αλλάξει η φορά του μαγνητικού πεδίου, τότε θα αλλάξει και η φορά της δύναμης F που ασκεί το πεδίο πάνω στα φορτία που κινούνται μέσα του.

☒ α) Σωστό β) Λάθος

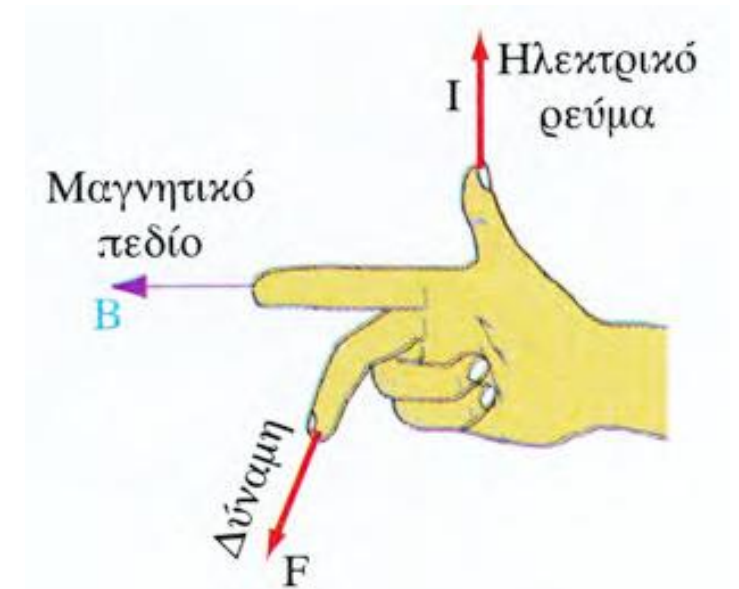
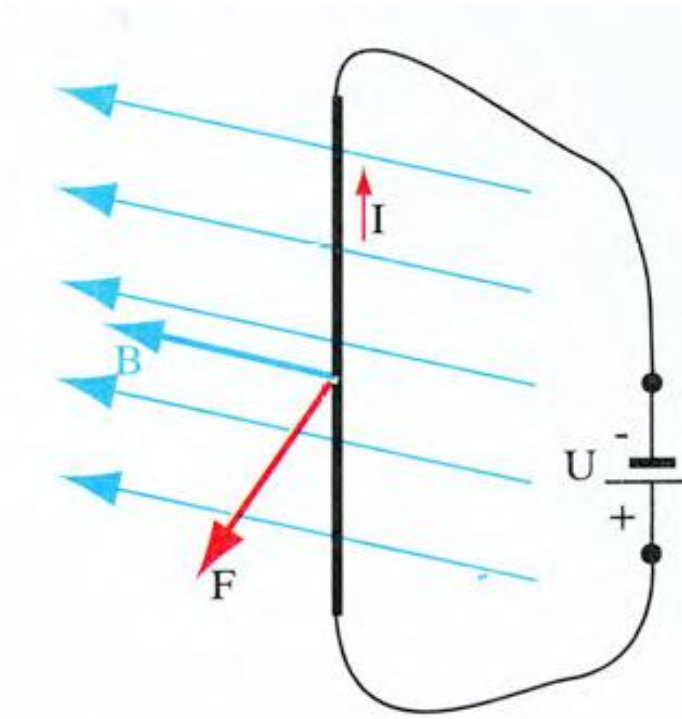
7. Αν διπλασιαστεί η ταχύτητα ενός κινούμενου ηλεκτρικού φορτίου μέσα σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο, τότε θα υποδιπλασιαστεί η δύναμη που ασκεί το πεδίο πάνω στο φορτίο.

α) Σωστό ☒ β) Λάθος

Ηλεκτρομαγνητισμός

Επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε ρευματοφόρο αγωγό

- Αν τοποθετήσουμε έναν ρευματοφόρο αγωγό μήκους L (m) που διαρρέεται από ρεύμα I (A) μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο B (T), τότε το πεδίο θα ασκήσει πάνω του δύναμη Laplace: $F = B \cdot I \cdot \ell$
- Η φορά της δύναμης Laplace καθορίζεται με τον **κανόνα του δεξιού χεριού**, όπως αυτό εικονίζεται παρακάτω:



Ηλεκτρομαγνητισμός

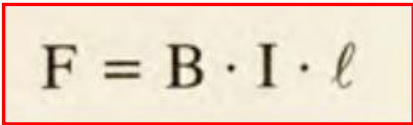
Επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε ρευματοφόρο αγωγό

Συνοψίζοντας:

- Η δύναμη Laplace $\mathbf{F}$ είναι **ανάλογη** με την ένταση $\mathbf{I}$ του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό, **ανάλογη** με την μαγνητική επαγωγή $\mathbf{B}$ του μαγνητικού πεδίου και **ανάλογη** με το μήκος ℓ του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο.
- Η διεύθυνση της δύναμης είναι **κάθετη προς το επίπεδο** που ορίζουν το ρεύμα $\mathbf{I}$ και η μαγνητική επαγωγή $\mathbf{B}$.
- Η φορά της δύναμης Laplace καθορίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού.
- Αρχή λειτουργίας των κινητήρων βασίζεται στη δύναμη Laplace.

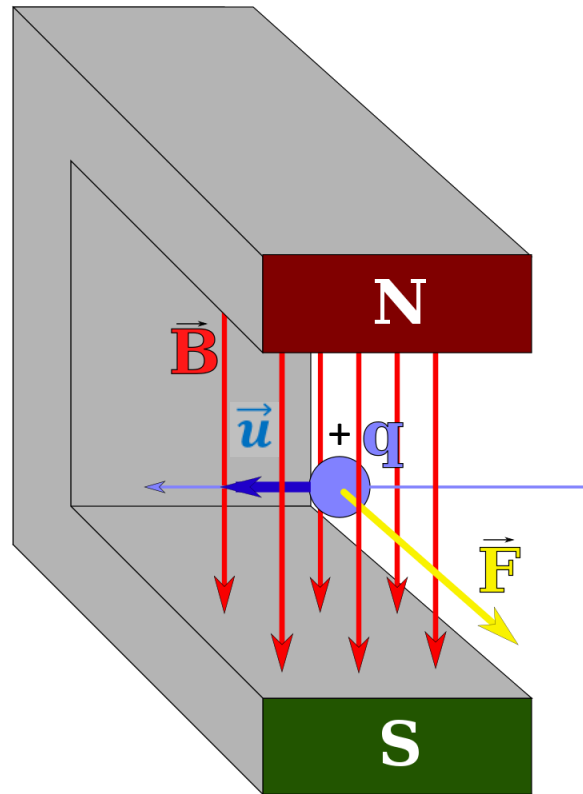
Ηλεκτρομαγνητισμός

Επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε ρευματοφόρο αγωγό

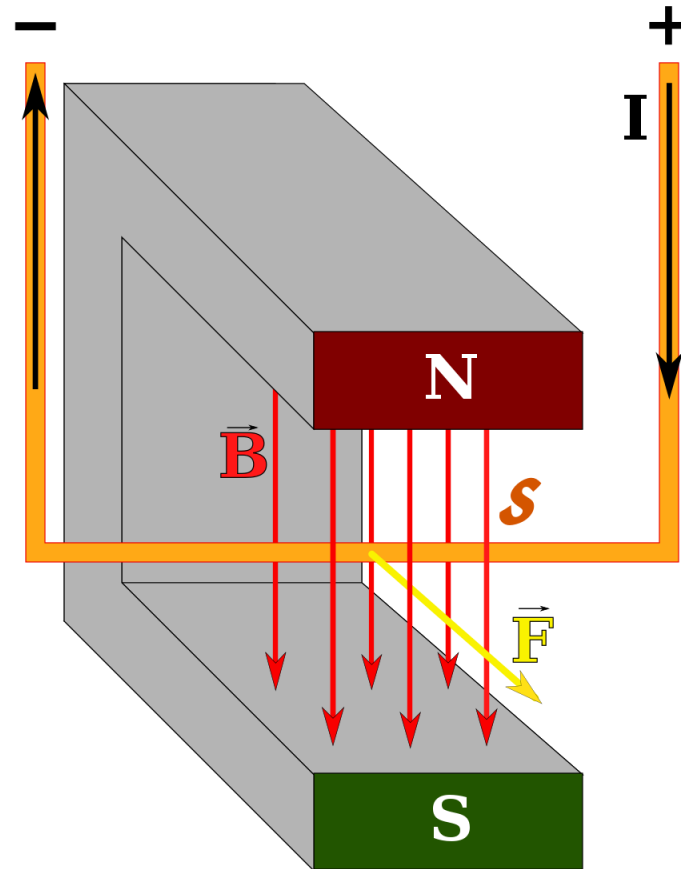


Ηλεκτρομαγνητισμός

Επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο και σε ρευματοφόρο αγωγό



$$F = B \cdot u \cdot Q$$

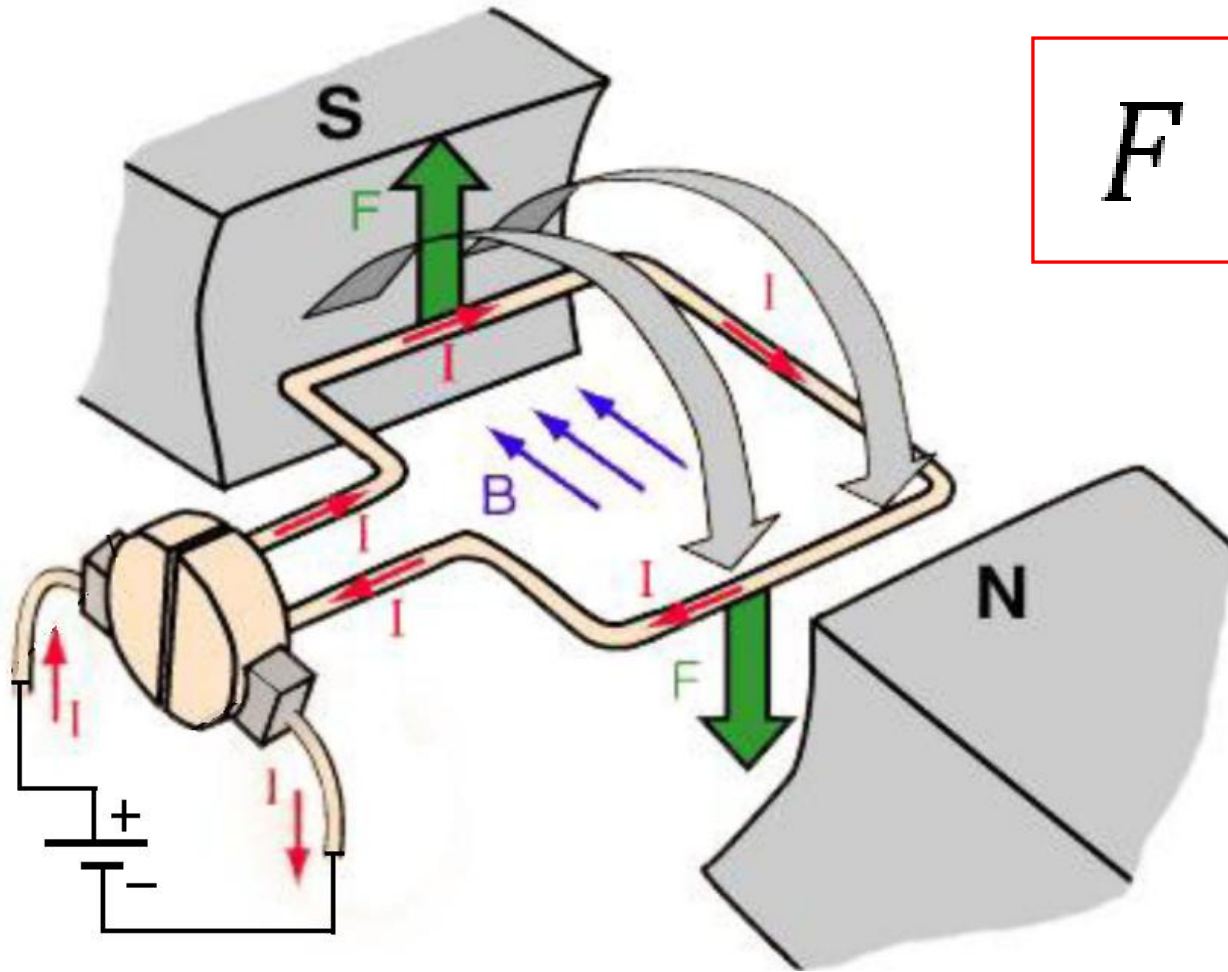


$$F = B \cdot I \cdot \ell$$

Ηλεκτρομαγνητισμός

Επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε ρευματοφόρο αγωγό

$$F = B \cdot I \cdot \ell$$



Αρχή Λειτουργίας Κινητήρων

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

Επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε ρευματοφόρο αγωγό

Επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε ρευματοφόρο αγωγό

Τ.Θ 19533

3. Προσδιορισμός φοράς δύναμης Λαπλάς (Laplace) με τον κανόνα του δεξιού χεριού. Ποια δάχτυλα αξιοποιούμε; Ποιο δάχτυλο δείχνει τη φορά της δύναμης και την φορά ποιων μεγεθών δείχνουν τα υπόλοιπα δάχτυλα; Η λειτουργία ποιων ηλεκτρικών μηχανών βασίζεται στη δύναμη Λαπλάς;

Απάντηση:

- Τον αντίχειρα, τον δείκτη και τον μέσο. Ο μέσος, φορά μαγνητικών γραμμών, φορά έντασης ηλεκτρικού ρεύματος.
- Των ηλεκτρικών κινητήρων.
- $F = B \cdot I \cdot \ell \Rightarrow F$ – δύναμη σε Newton (N), B – μαγνητική επαγωγή σε Tesla (T) ,
 I – ένταση ηλεκτρικού ρεύματος σε Ampere (A), ℓ – μήκος αγωγού σε μέτρα (m)

Επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε ρευματοφόρο αγωγό

4. Αν τριπλασιαστεί το ρεύμα που διαρρέει ένα αγωγό που βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, τότε θα τριπλασιαστεί και η δύναμη Laplace που ασκεί πάνω του το πεδίο.

☒ α) Σωστό β) Λάθος

5. Αν αλλάξει η φορά του ρεύματος που διαρρέει ένα αγωγό, ο οποίος βρίσκεται μέσα σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο, τότε θα αλλάξει και η φορά της δύναμης Laplace που ασκεί το πεδίο πάνω στον αγωγό.

☒ α) Σωστό β) Λάθος

6. Αν αλλάξει η φορά της μαγνητικής επαγωγής του ομογενούς μαγνητικού πεδίου, μέσα στο οποίο βρίσκεται ένας ρευματοφόρος αγωγός, τότε θα αλλάξει και η φορά της δύναμης Laplace που ασκεί το πεδίο πάνω στον αγωγό.

☒ α) Σωστό β) Λάθος

7. Αν ο ρευματοφόρος αγωγός είναι παράλληλος προς τις μαγνητικές γραμμές του ομογενούς μαγνητικού πεδίου, τότε δεν ασκείται πάνω του καμία δύναμη Laplace.

☒ α) Σωστό β) Λάθος

Επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε ρευματοφόρο αγωγό

8. Ένας αγωγός μήκους $L=0,5\text{m}$ βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με μαγνητική επαγωγή $B=2\text{T}$ και διαρρέεται από ρεύμα $I=10\text{A}$. Αν ο αγωγός είναι κάθετος προς τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου, τότε η δύναμη που ασκείται πάνω στον αγωγό είναι $F= \dots\dots\dots 10 \dots\dots\dots \text{N}$.

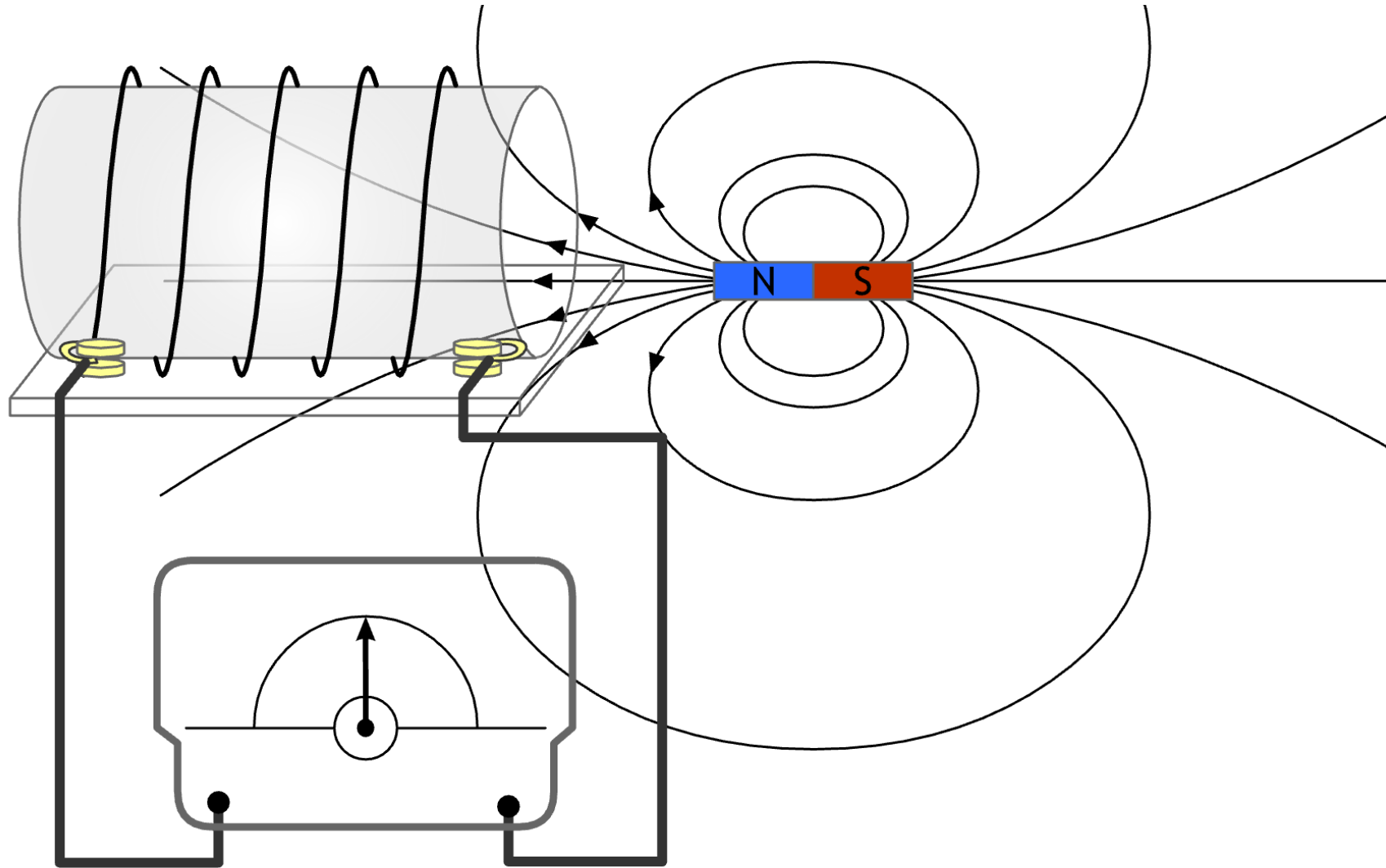
$$F = B \cdot I \cdot L = 2\text{T} \cdot 10\text{A} \cdot 0,5\text{m} = 10\text{N}$$

9. Αν ένας ρευματοφόρος αγωγός μήκους $L=1\text{m}$ βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο μαγνητικής επαγωγής $B=2\text{T}$ και ασκείται πάνω του δύναμη $F=40\text{N}$, τότε η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει είναι $I= \dots\dots\dots 20 \dots\dots\dots \text{A}$.

$$F = B \cdot I \cdot L \Rightarrow I = F / (B \cdot L) = 40\text{N} / (2\text{T} \cdot 1\text{m}) \Rightarrow I = 20\text{A}$$

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

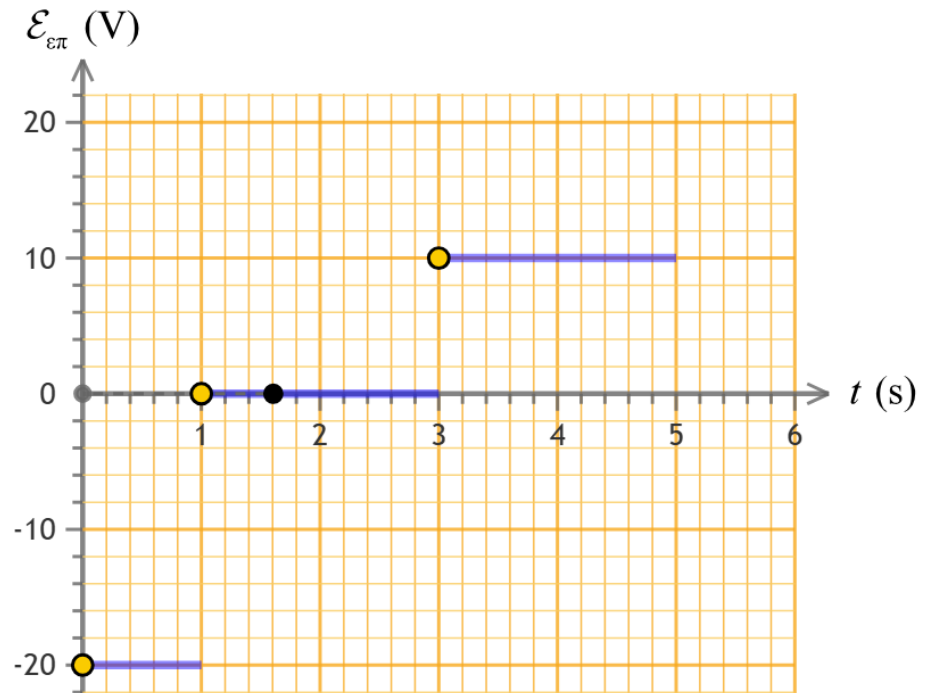
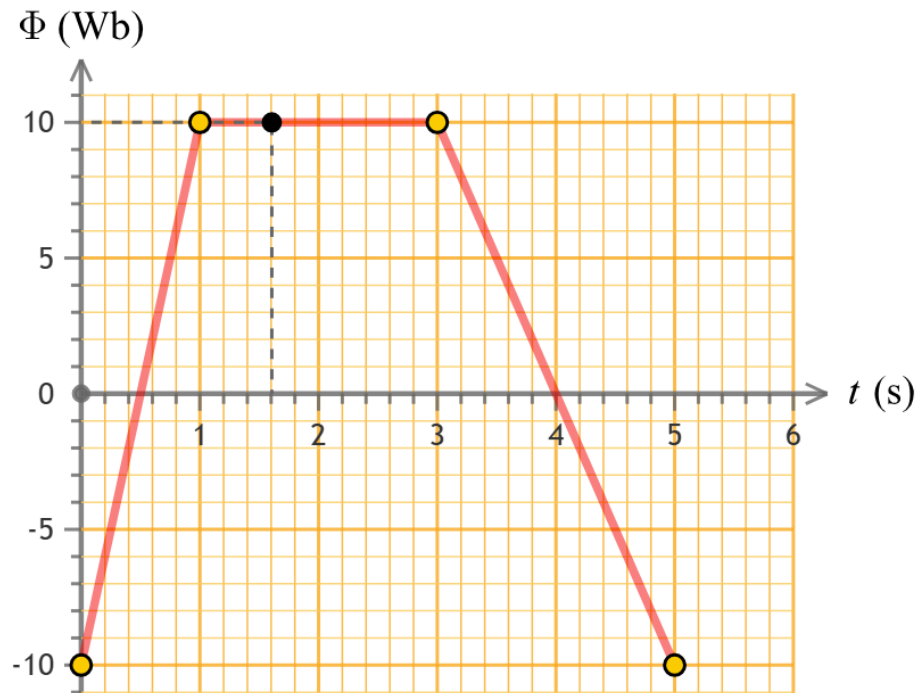
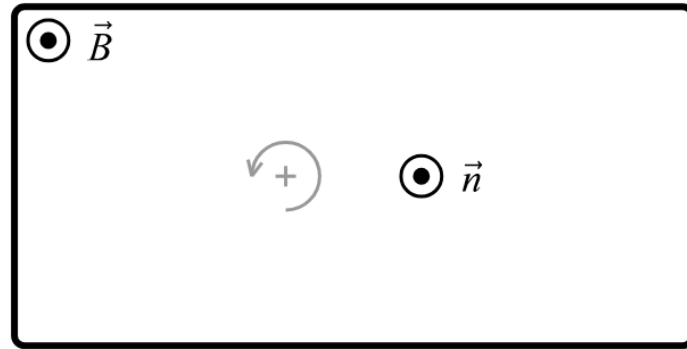
Νόμος Faraday



Αμπερόμετρο



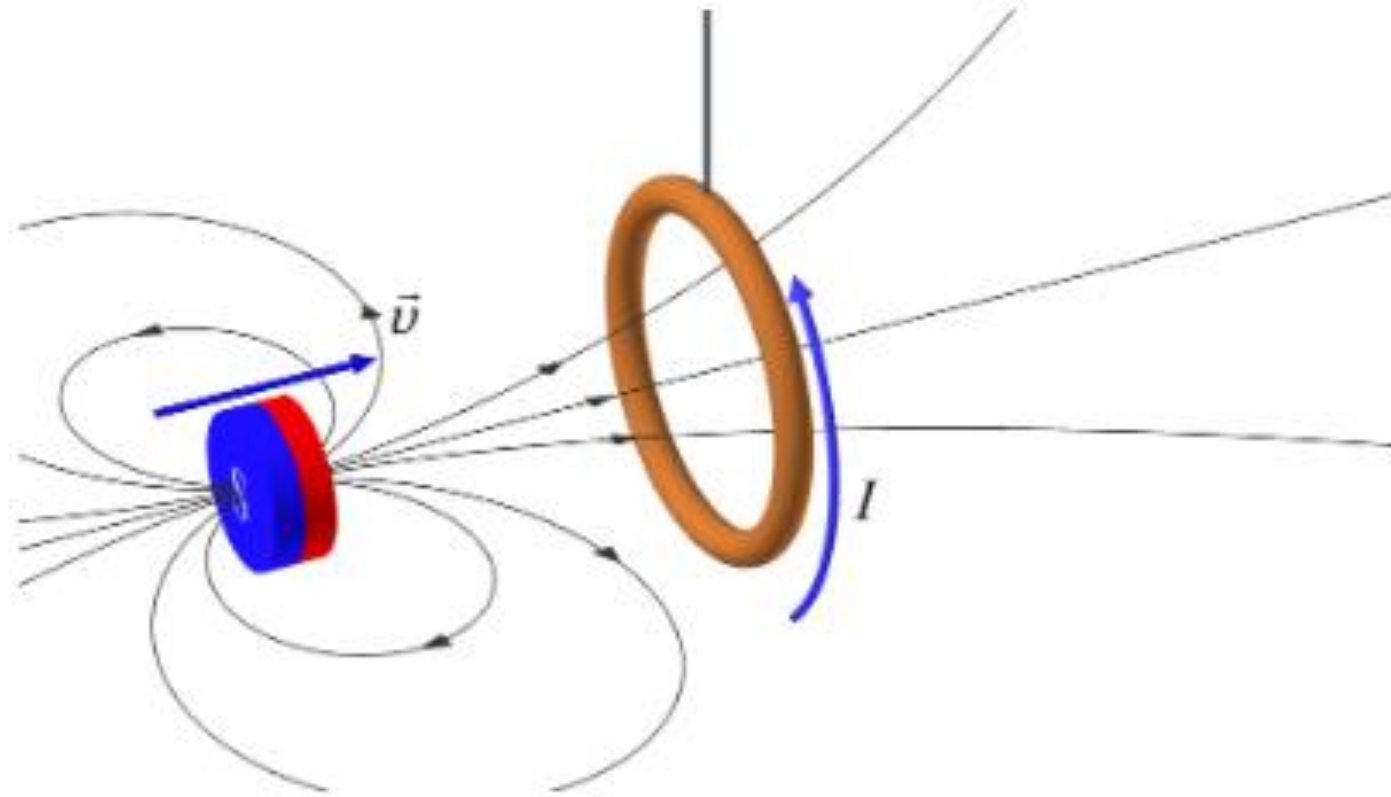
Νόμος Faraday



$t = 1.6 \text{ s}, \Phi = 10.0 \text{ Wb}, \mathcal{E}_{\epsilon\pi} = 0.0 \text{ V}$



Κανόνας του Lenz



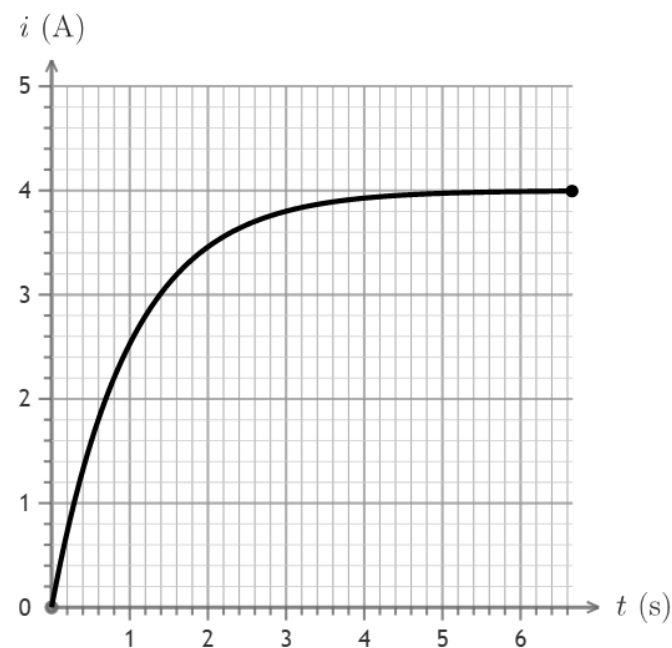
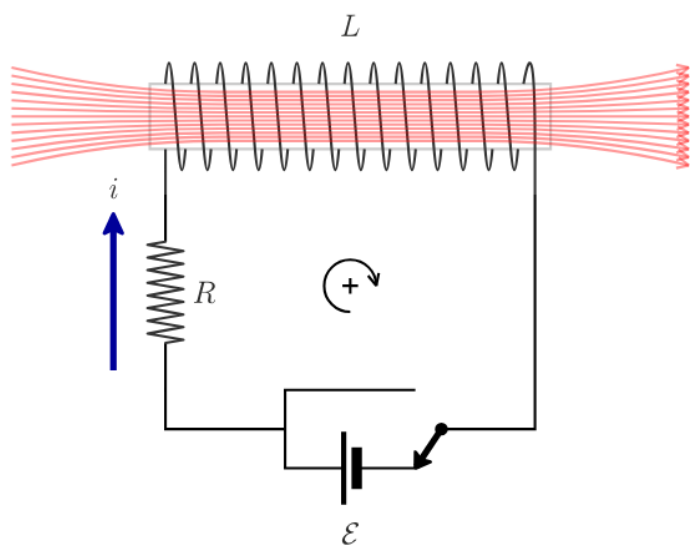
Αυτεπαγωγή - Μεταβατικά φαινόμενα σε κύκλωμα R-L - Σταθερά χρόνου $\tau = L/R$



Αργή Προβολή

● $i-t$

● V_L-t



$t = 6.66 \text{ s}$, $i = 3.99 \text{ A}$, $V_L = 0.02 \text{ V}$



Συντελεστής Αυτεπαγωγής

$E = 12 \text{ V}$

Αντίσταση

$R = 3 \text{ } \Omega$

Συντελεστής Αυτεπαγωγής

$L = 3 \text{ H}$

Κλίμακα Χρόνου

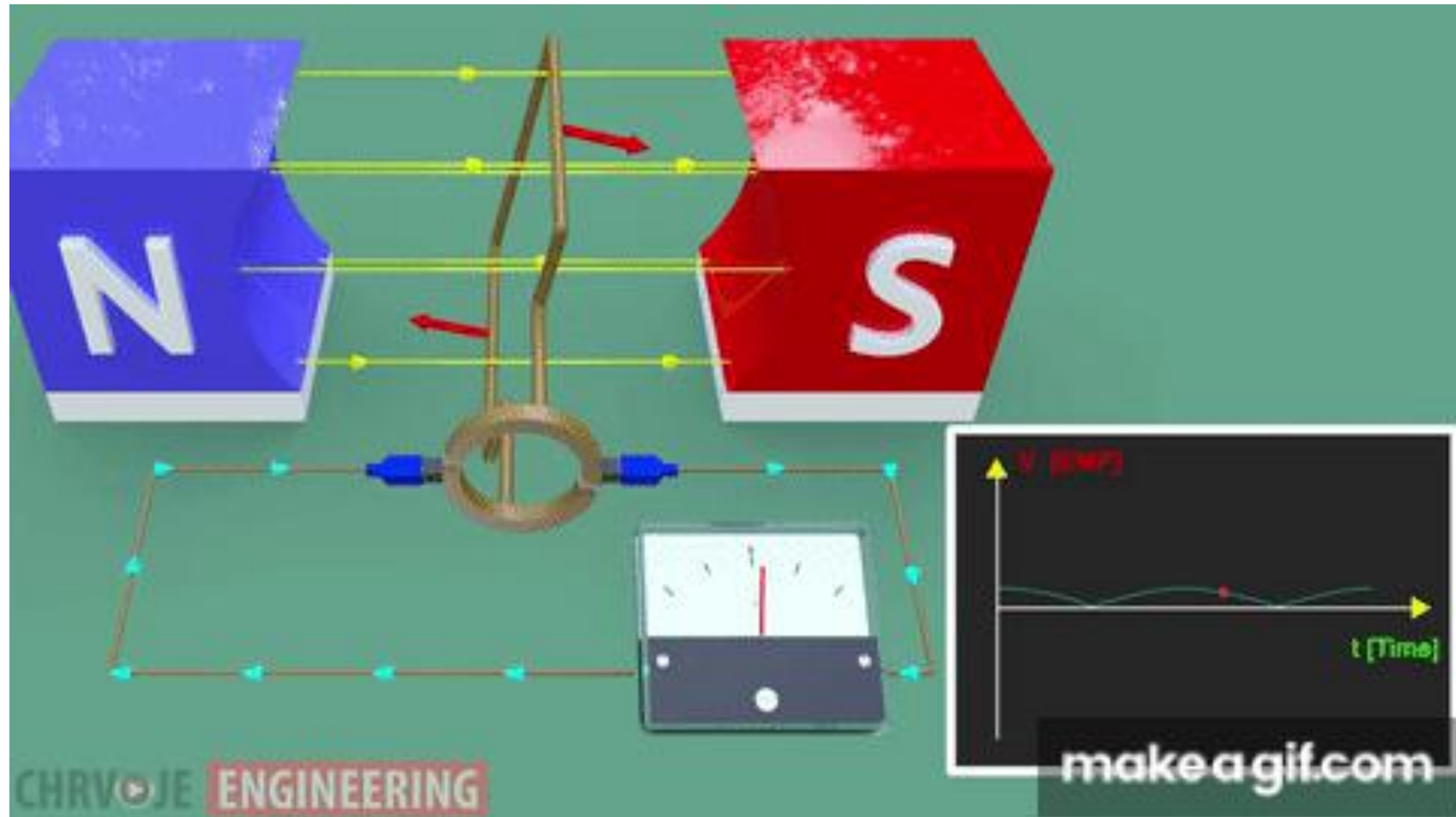
Κλίμακα Ρεύματος/Τάσης

Κλίμακα Διανυσμάτων

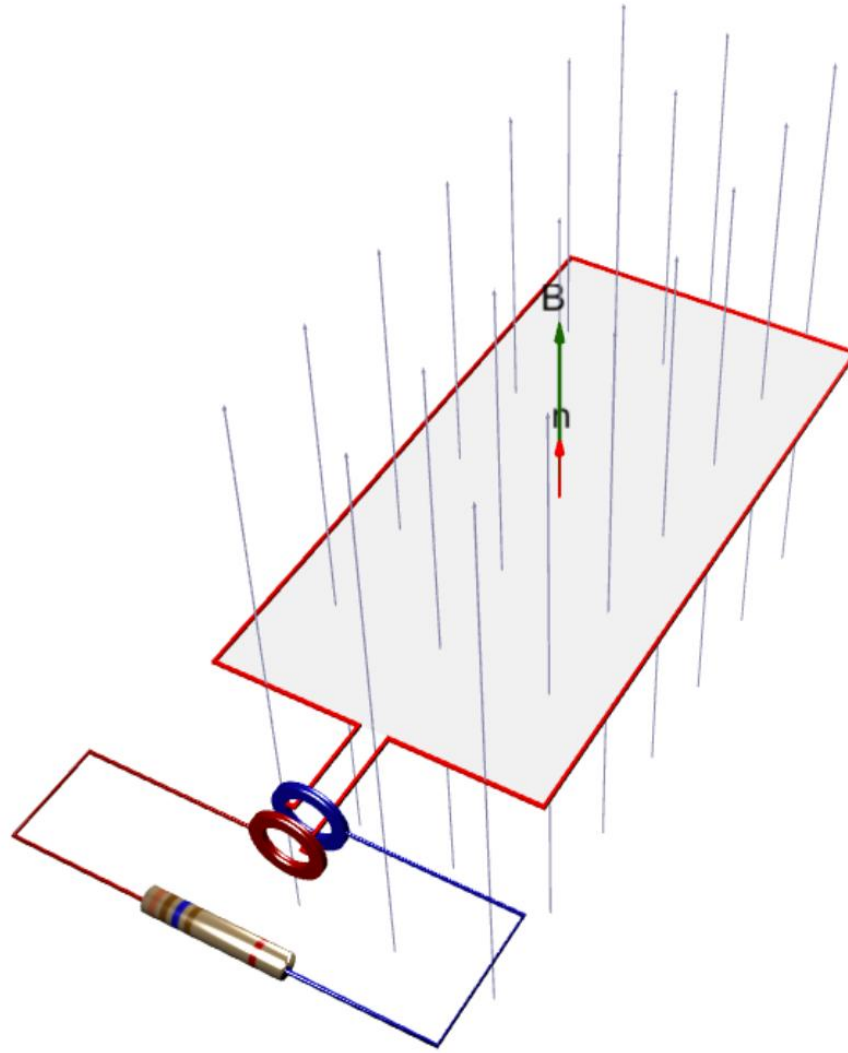
?

i

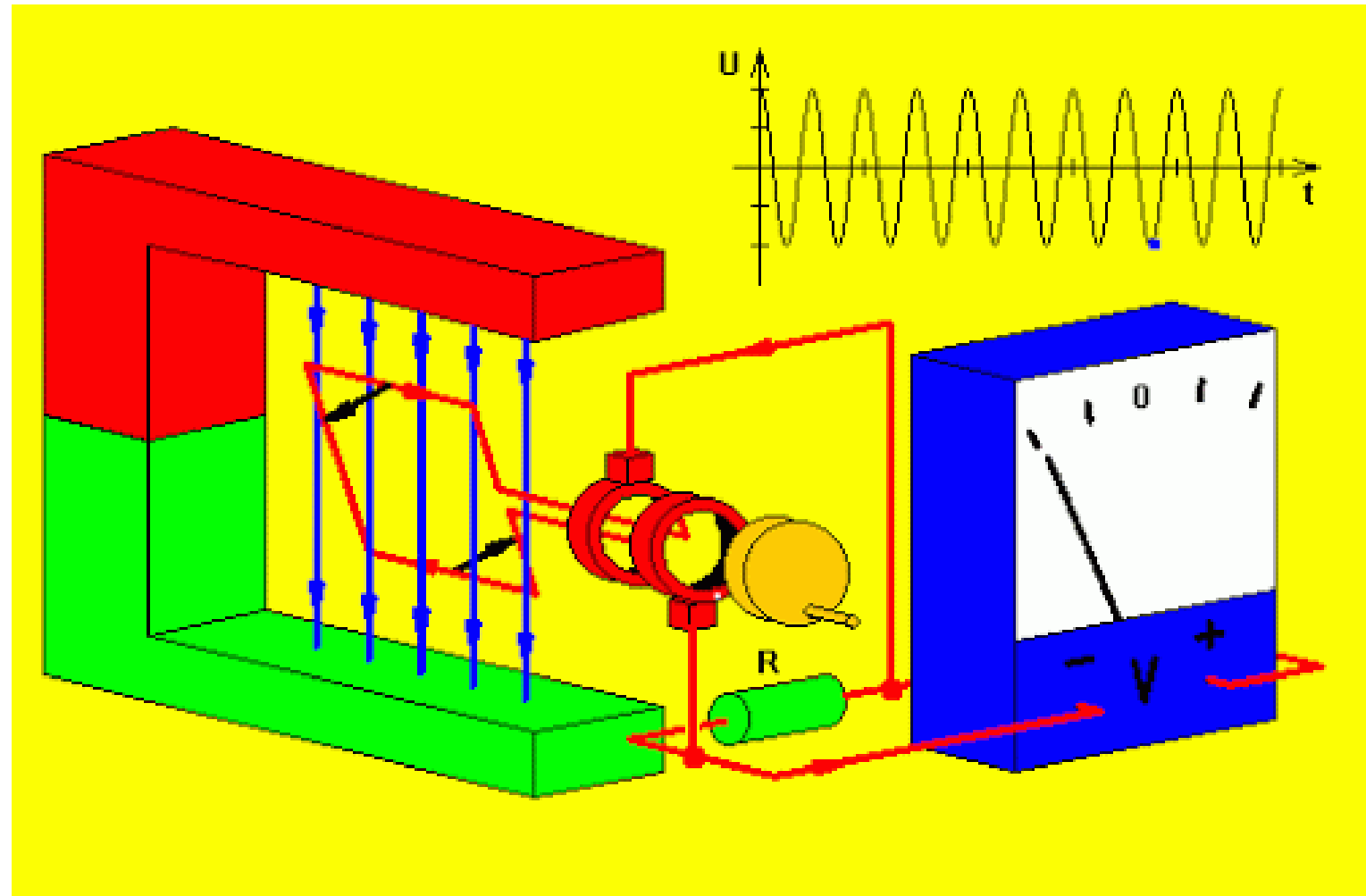
Αρχή Λειτουργίας Γεννήτριας D.C.



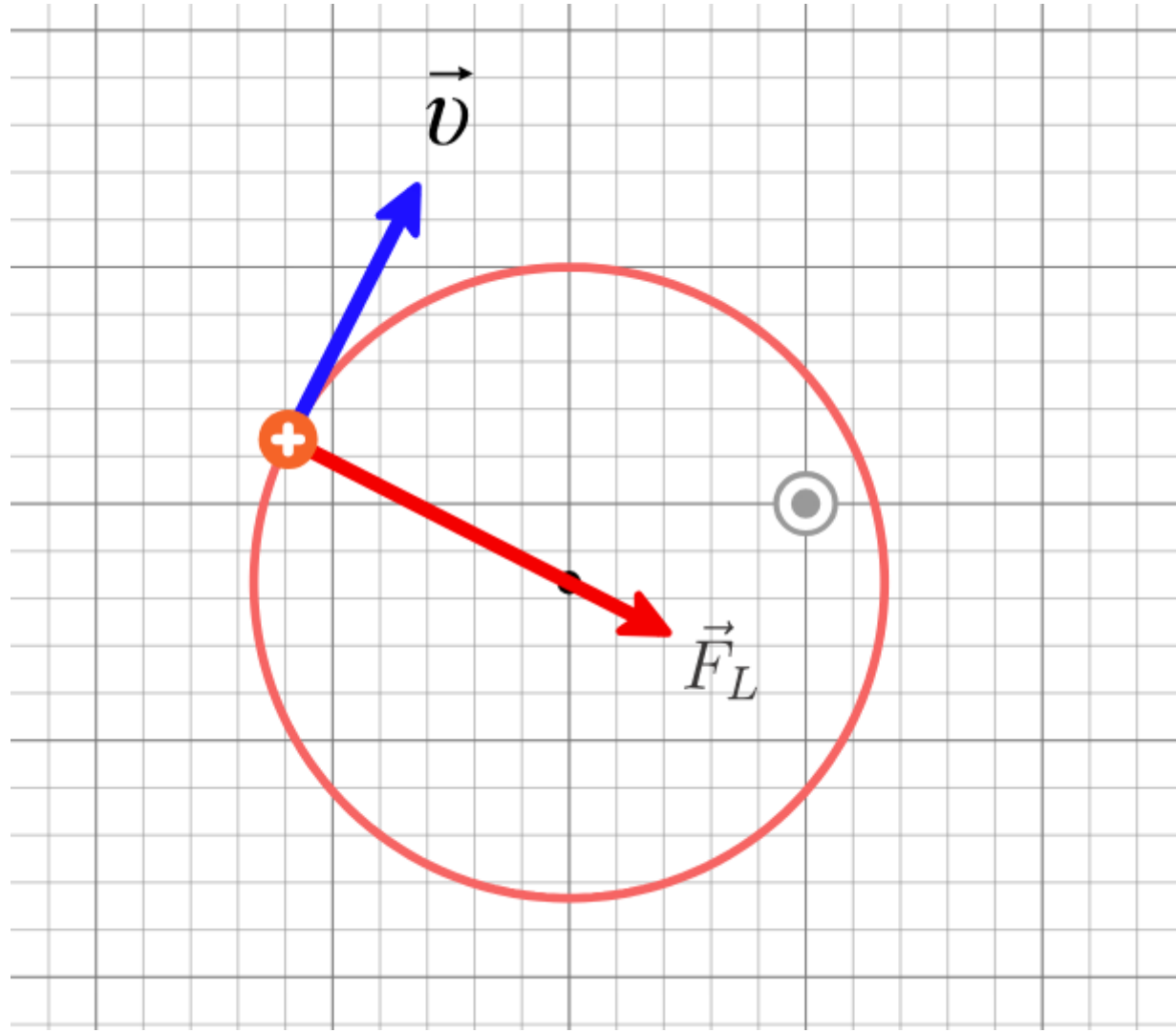
Μαγνητική ροή με ομογενές μαγνητικό πεδίο και περιστρεφόμενο πλαίσιο - Γεννήτρια Α.Σ.



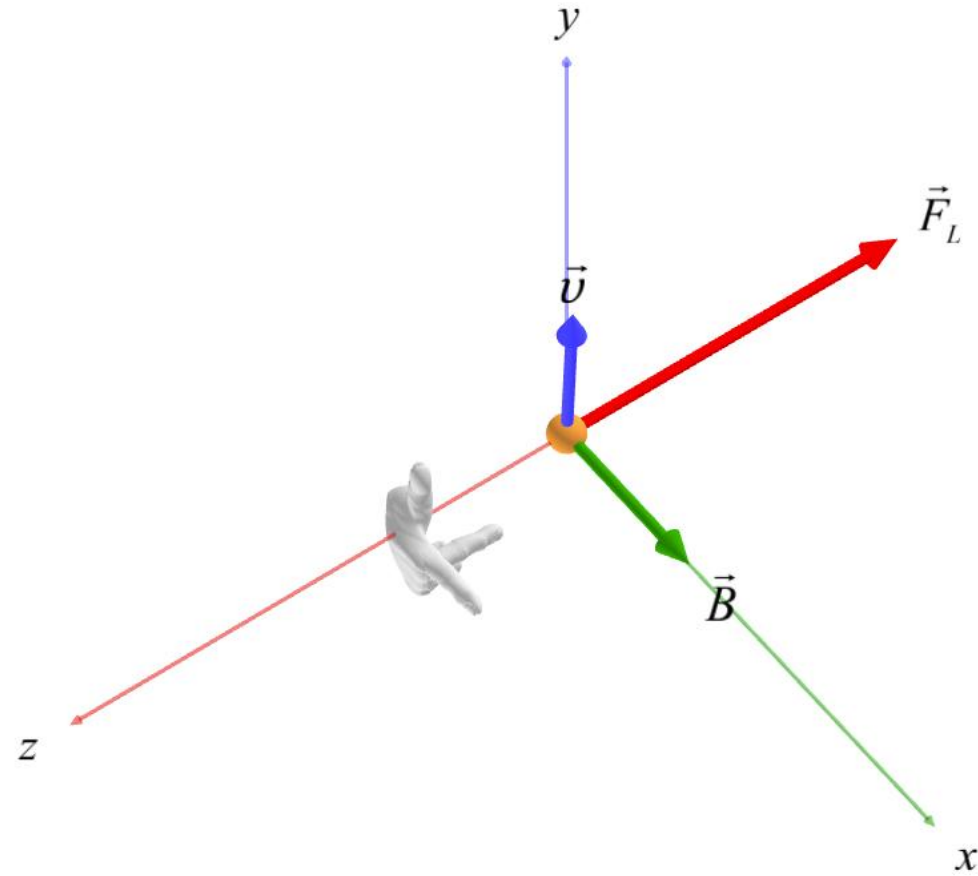
Αρχή Λειτουργίας Γεννήτριας Α.Σ.



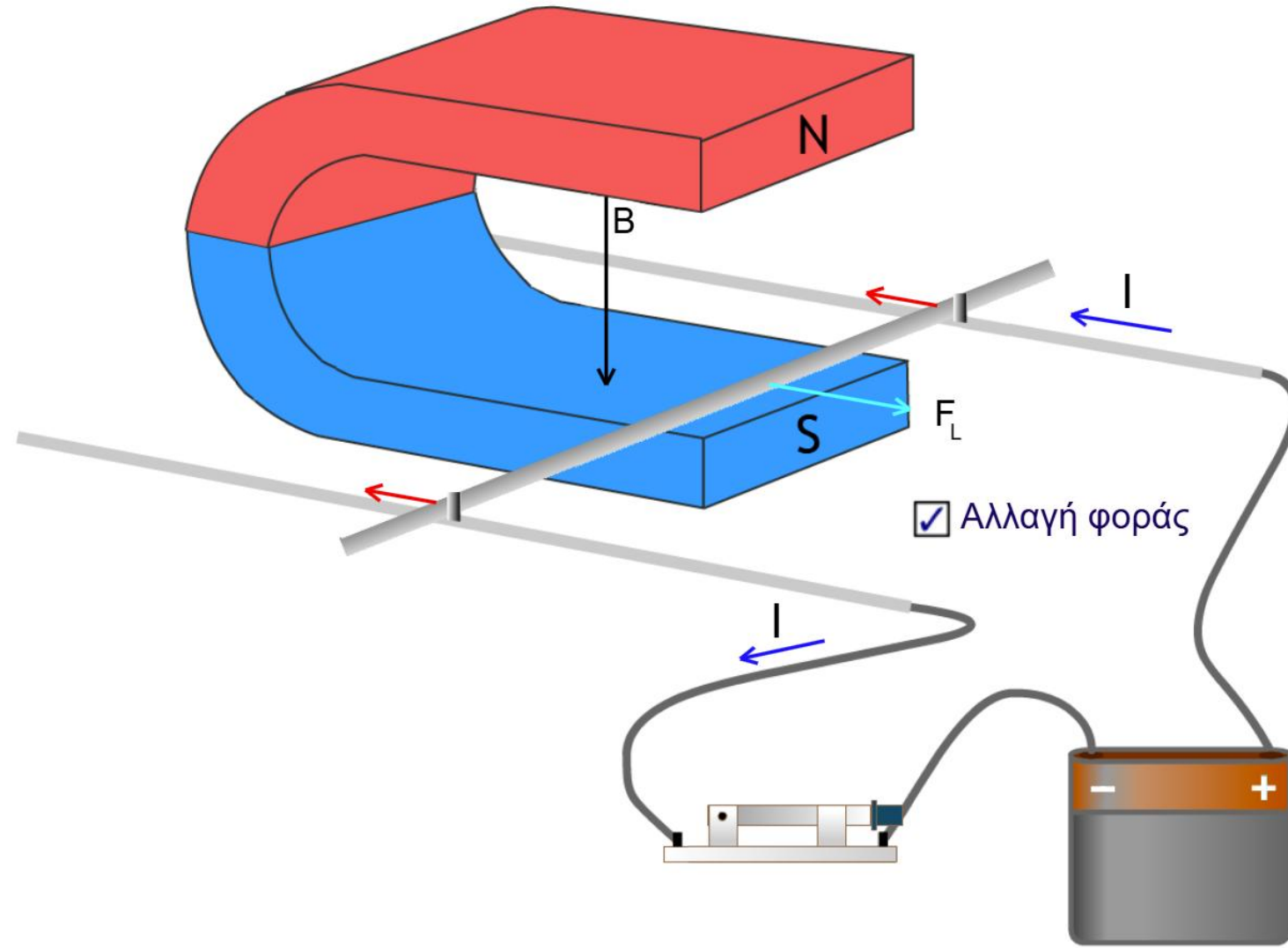
Κίνηση ηλεκτρικού φορτίου σε μαγνητικό πεδίο



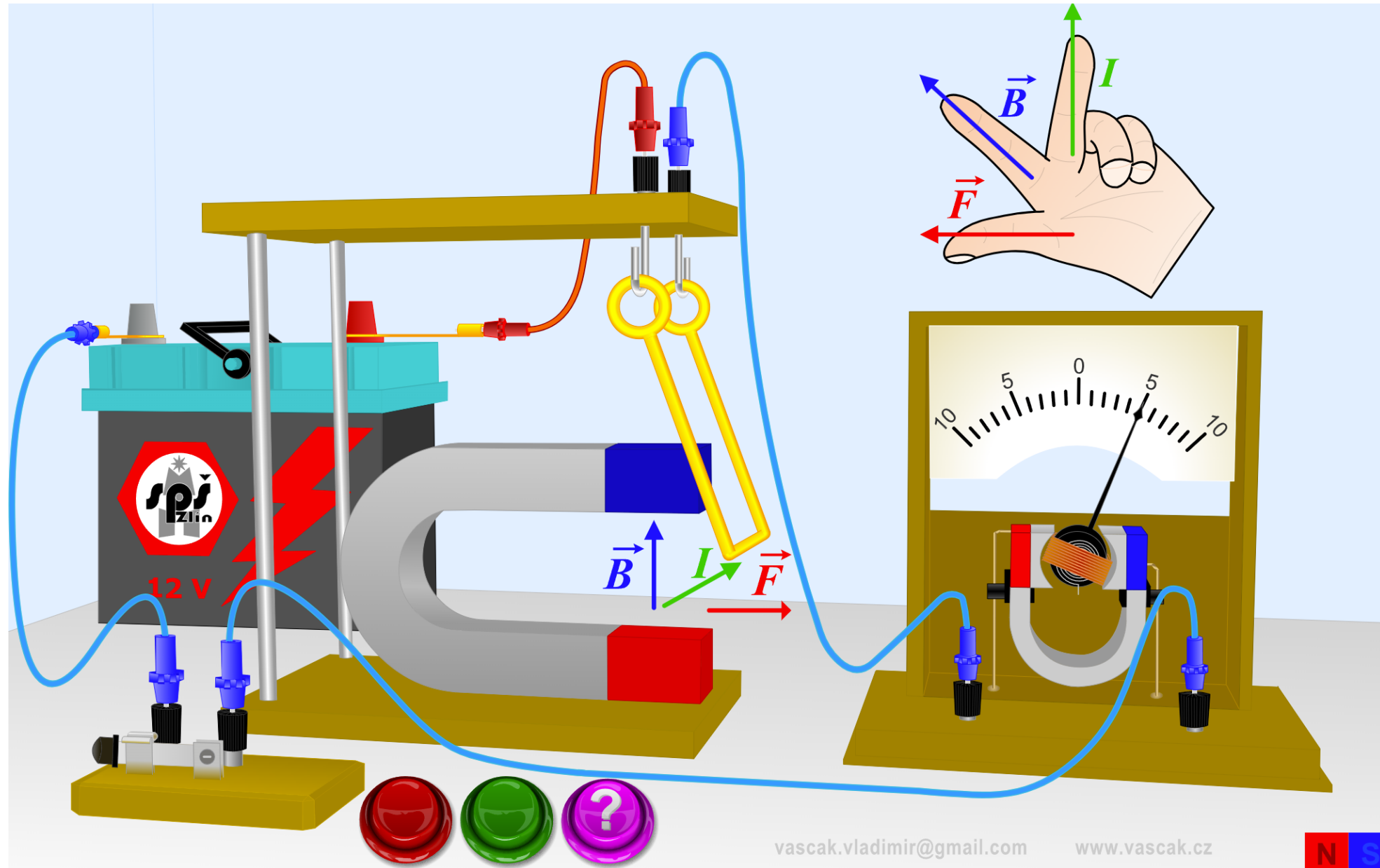
Κίνηση ηλεκτρικού φορτίου σε μαγνητικό πεδίο



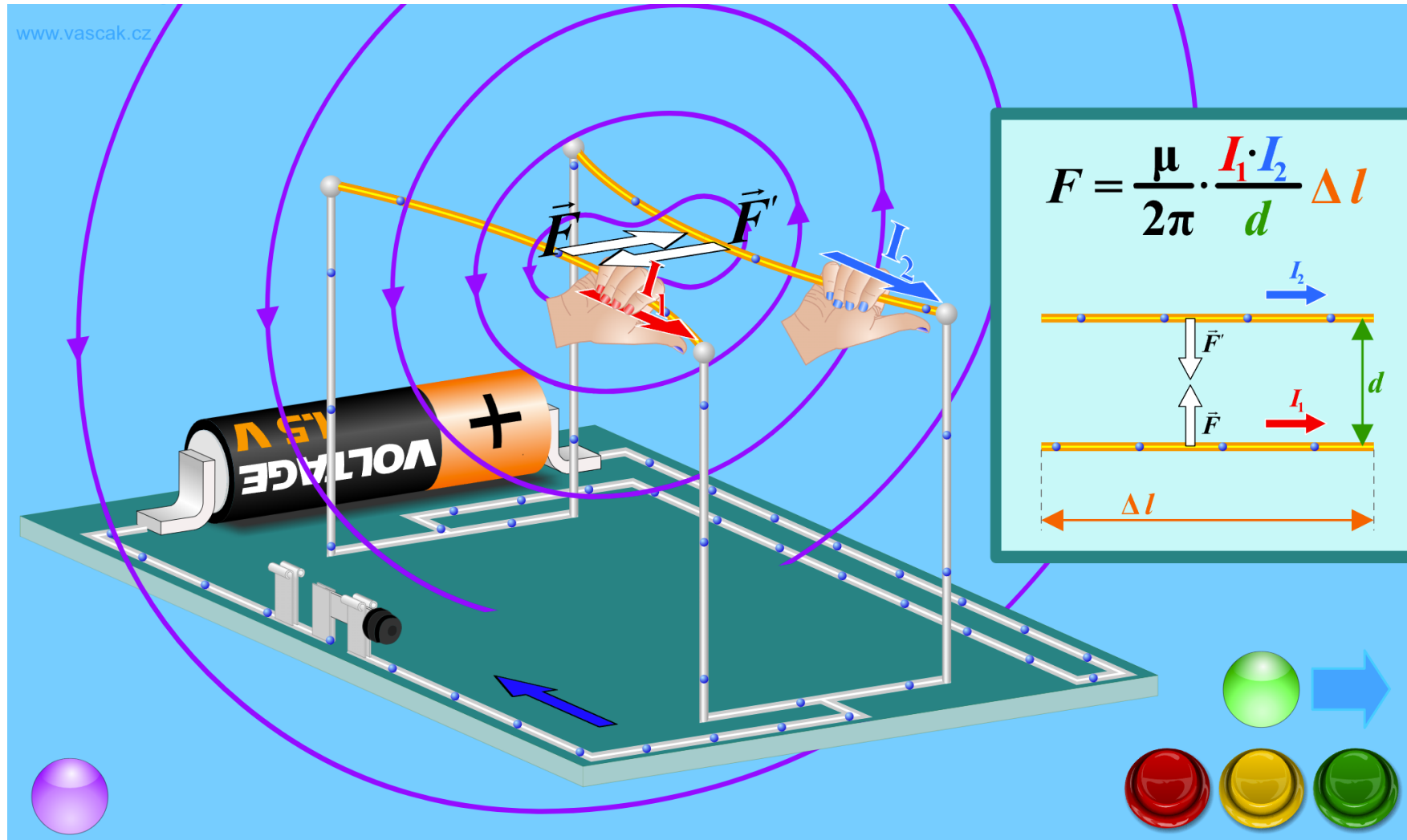
Δύναμη Laplace



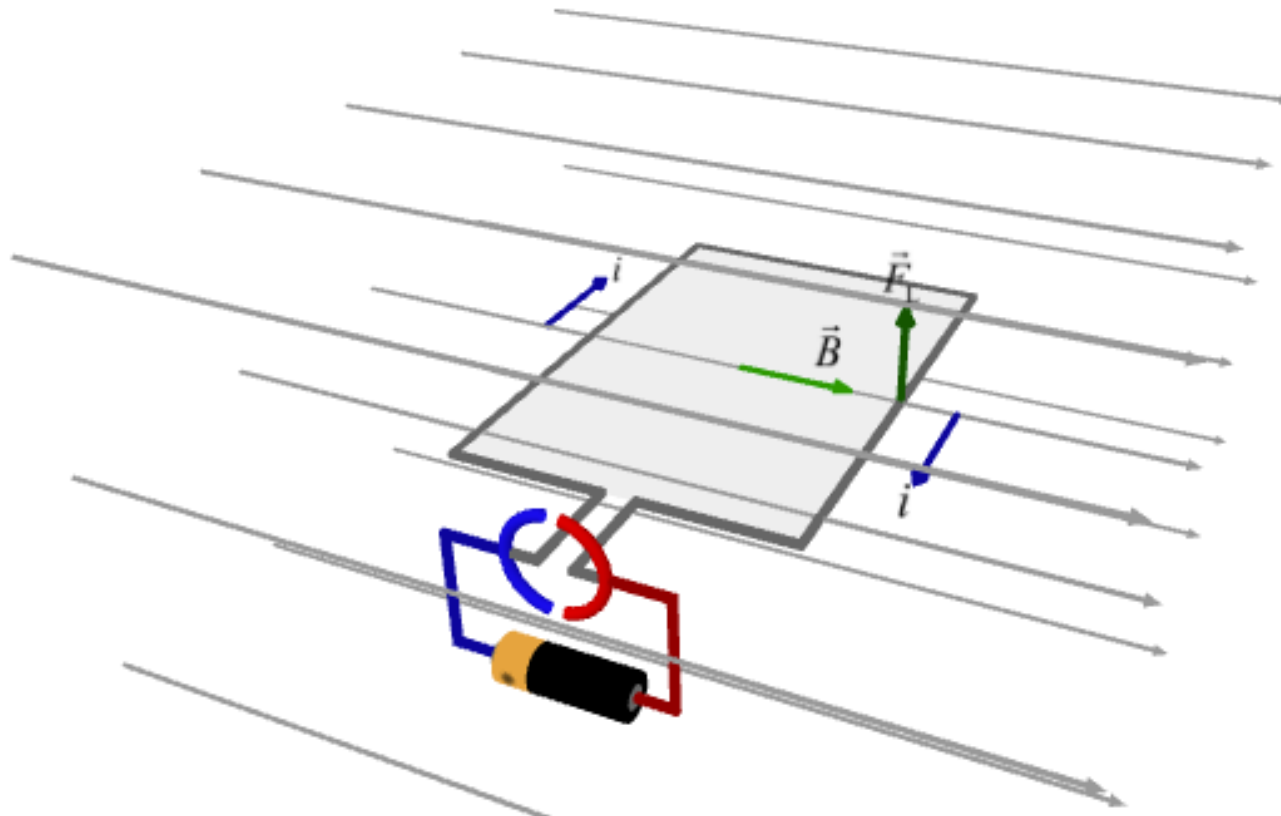
Δύναμη Laplace



Δύναμη Laplace μεταξύ δύο ρευματοφόρων αγωγών



DC Ηλεκτρικός Κινητήρας

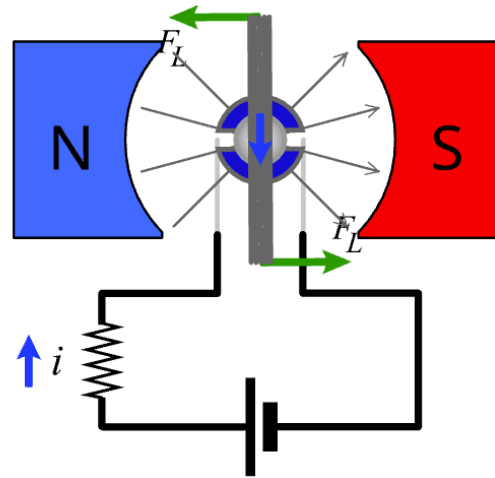


Αρχή Λειτουργίας Κινητήρα DC

Αργή/Γρήγορη προβολή



Ηλεκτρικός Κινητήρας



Ρυθμίσεις

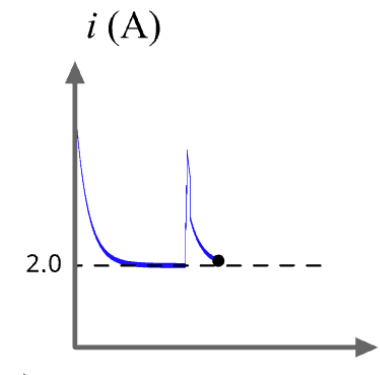
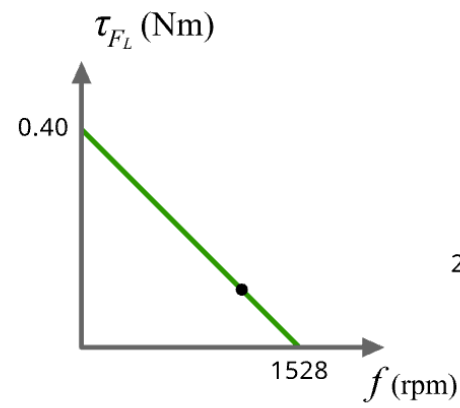
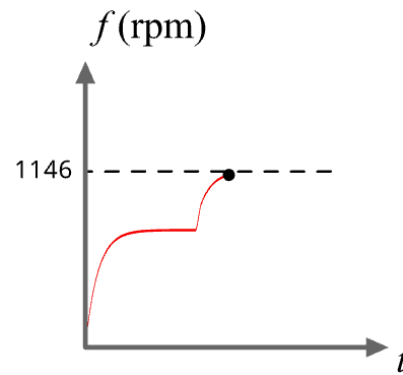
$E = 8$ V

$B = 1$ mT

$\tau_{εξ} = 0.1$ Nm

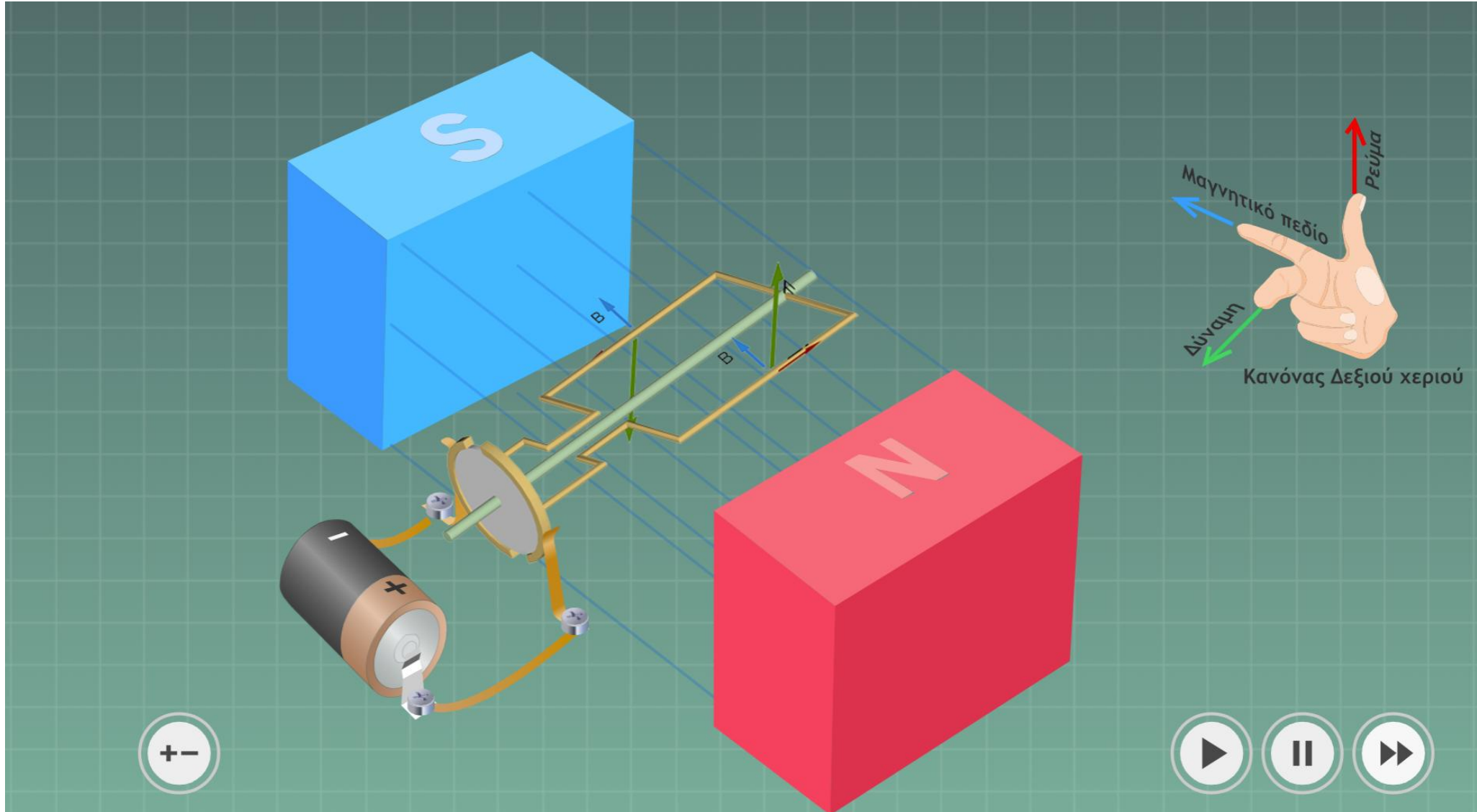
$N = 500$ σπ.

Τριβές

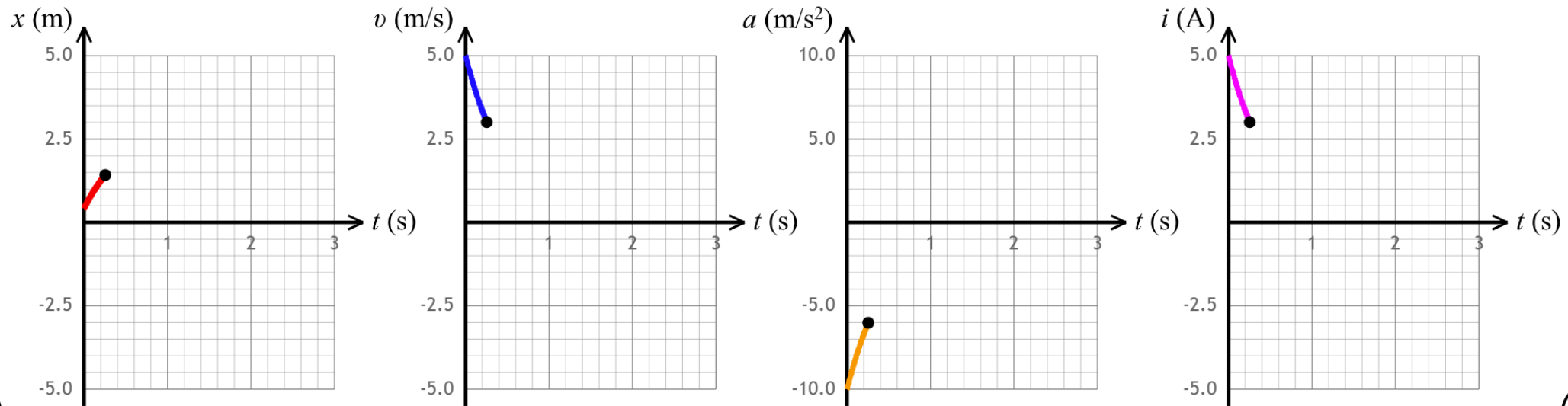
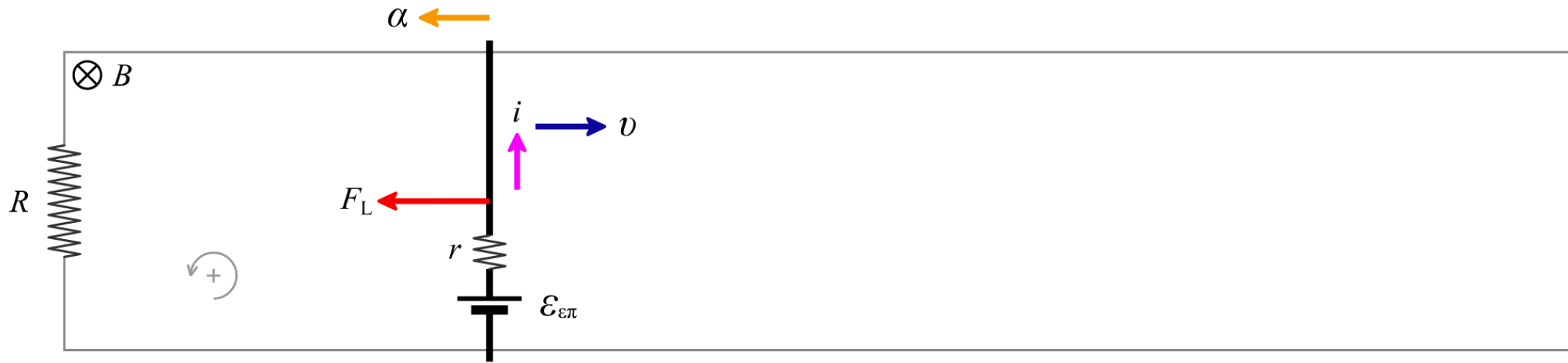


$f=1124$ rpm $i=2.1$ A $E'=5.9$ V $P_{ηλ}=12.4$ W $P_{μηχ}=11.8$ W $\tau=0.11$ Nm

Αρχή Λειτουργίας Κινητήρα DC



Επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε κινούμενο αγωγό



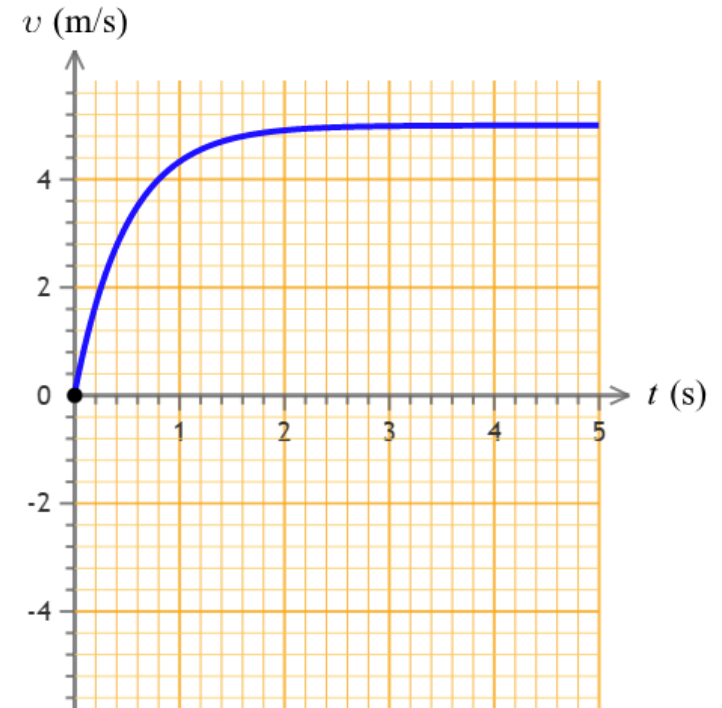
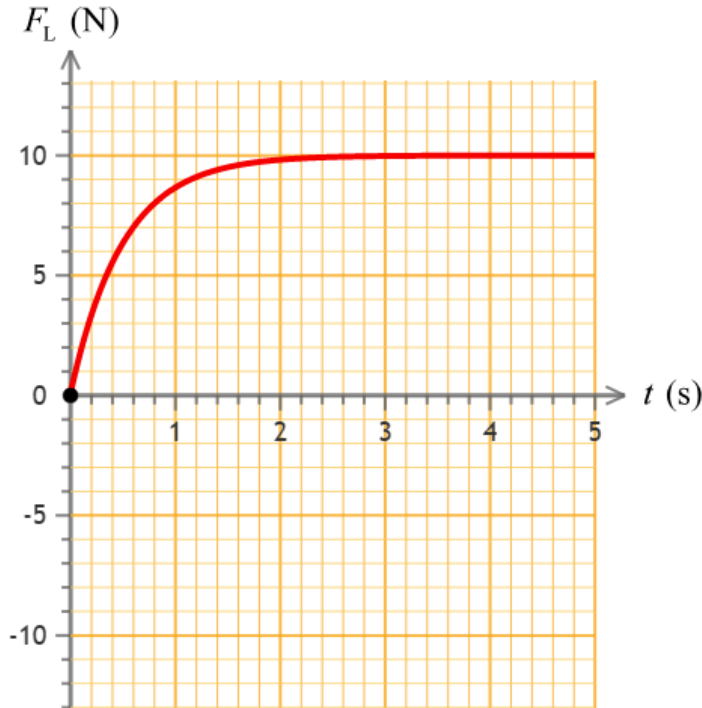
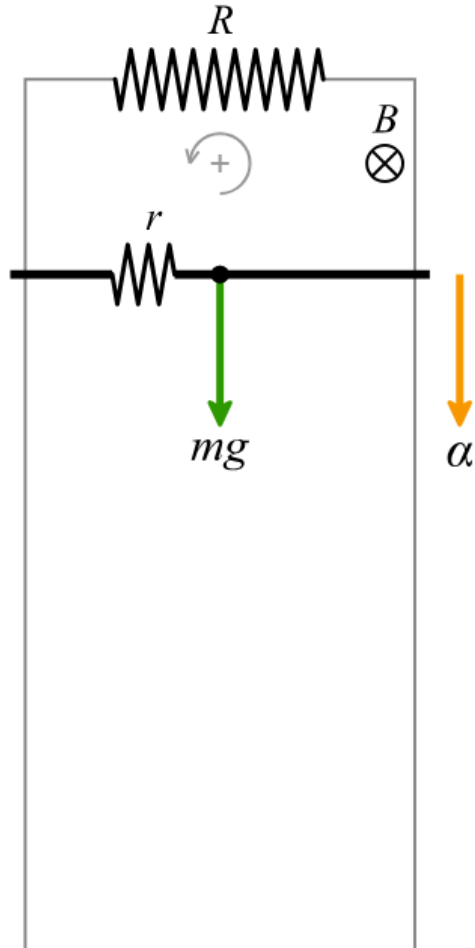
$t = 0.25 \text{ s}, x = 1.42 \text{ m}, v = 3.01 \text{ m/s}, \alpha = -6.02 \text{ m/s}^2, i = 3.01 \text{ A}$

?

i

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή (κίνηση σε κατακόρυφο επίπεδο)

◀ ▶ ↺ ⏮ ⏭ ⏪ ⏩ ⏴ ⏵ ☐ Αργή Προβολή



?

$t = 0.00$ s, $\Delta y = 0.00$ m, $v = 0.00$ m/s, $\alpha = 10.00$ m/s², $i = 0.00$ A

i