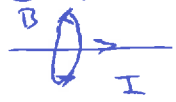
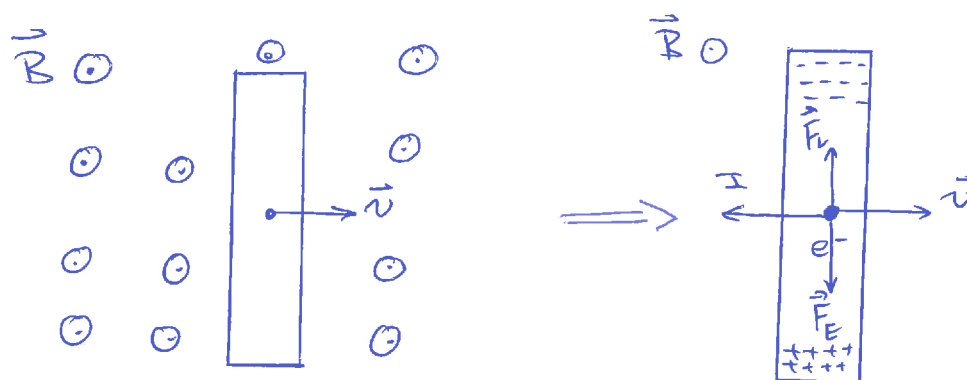


ΕΠΑΓΩΓΗ

► Το 1830 ο Faraday έχοντας στο μυαλό του το πείραμα του Oersted () όπου δηλαδή από σταθερό ρεύμα I δημιουργείται μαγνητικό πεδίο $\vec{B}$, προσπαθεί να κάνει το αντίστροφο. Να δημιουργήσει, δηλαδή από $\vec{B}$, ρεύμα I σε αγώγιμ (σύρματα).

► Προκειμένου να καταλάβουμε την ίδια και σφαγή να κάνουν τρία πειράματα.

1^ο Πείραμα: Αγωγική ράβδος κινείται σε σταθερό $\vec{B}$.



κινούμε μια αγωγική ράβδο σε σταθερό μαγνητικό πεδίο. Προφανώς αφού είναι αγωγός τα e^- δημιουργούν ρεύμα I αντίστροφης φοράς (νύκτα) και γι' αυτό θα δεχθούν μια δύναμη Lorentz: $\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B}) = -e(\vec{v} \times \vec{B}) = -e v B$

Λόγω αυτής θα δημιουργηθεί ένα ηλεκτρικό φορτίο πάνω και κάτω στη ράβδο και συνεπώς ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}_{\text{επαγ.}} \Rightarrow \vec{F}_E = e \vec{E}_{\text{επαγ.}}$

► Προφανώς η κίνηση των φορτίων θα σταματήσει όταν

$$|\vec{F}_L| = |\vec{F}_E|, \text{ δηλαδή οι δυνάμεις γίνουν ίσες και αντιστατικές.}$$

$$\Rightarrow e v B = e E_{\text{σταθ.}} \Rightarrow v B = E_{\text{σταθ.}} \quad (1)$$

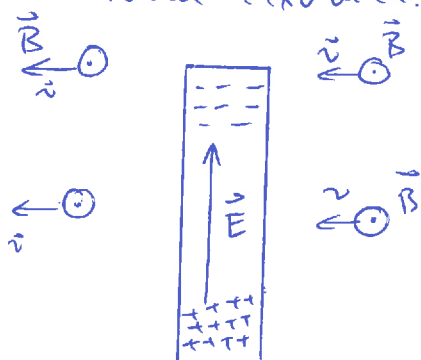
► Το γεγονός ότι έχουμε σταθερό ηλεκτρικό πεδίο $E_{\text{σταθ.}}$ μας οδηγεί στο να βρούμε και την αντίστοιχη διαφορά δυναμικού (έργο) στα άκρα του αγώγου. $V_{\text{σταθ.}} = E_{\text{σταθ.}} \cdot L \quad (2), \quad L = \text{μήκος αγώγου}$

Οπότε από (1), (2) έχουμε: $v B = \frac{V_{\text{σταθ.}}}{L} \Rightarrow \boxed{V_{\text{σταθ.}} = B v L}$

► Μέχρις στιγμής τα πράγματα είναι καθαρά αφού η κίνηση των e^- σε $\vec{B} = \text{σταθ.}$ δημιουργεί μια διαφορά δυναμικού ή ένα ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$, λόγω της συσσώρευσης των φορτίων

► Σκεφτείτε τώρα το εξής:

- Αφήνουμε ακίνητο τον αγώγι και κινούμε το μαγνητικό πεδίο με αντίθετη ταχύτητα.



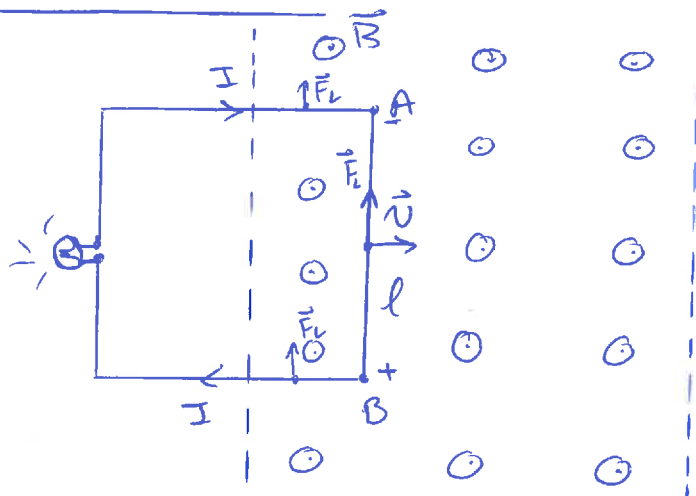
Παρατηρούμε ότι καθώς φεύγουν το $\vec{B}$, τα φορτία σέκονται.

Αφού ήταν ακίνητα σίχα ΔΕΝ δέχονταν μαγνητική δύναμη.

Επομένως πρέπει υποχρεωτικά να δέχονται ηλεκτρική δύναμη $\vec{E}$.

Άρα η μεταβολή του $\vec{B}$ δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$!!!

2^ο Πείραμα: Πλαίσιο κινείται σε σταθερό $\vec{B}$.



► Το πλαίσιο του σχήματος εισέρχεται σε περιοχή σταθερού μαγνητικού πεδίου $\vec{B}$. Στην άκρη του πλαισίου υπάρχει μία λάμπα.

► Λόγω της κίνησης των φορέων e^- του πλαισίου μέσα στο $\vec{B}$, όπως και πριν θα αναπτυχθεί μια τάση $V_{AB} = Bvl$, και ανάβει η λάμπα. Αυτή η τάση εξ'ελαττωμένης παίζει τον ρόλο της ΗΕΔ που ορίζεται από ηλεκτροστατική (για διαφορά δυναμικών που δίνουν τα φορτία). Έτσι γράφουμε:

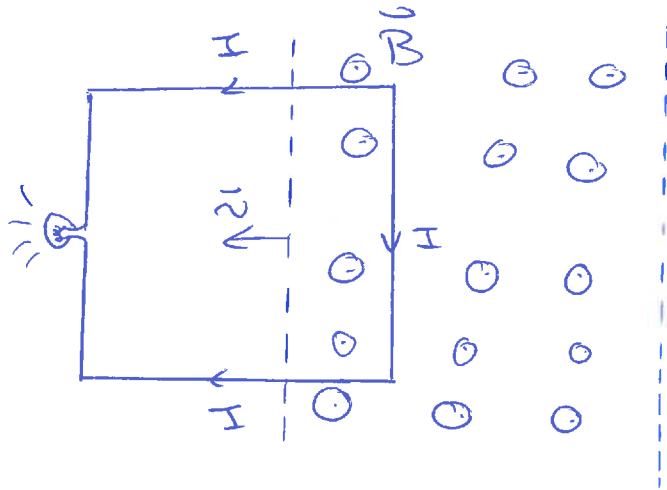
$$\mathcal{E} = -Bvl = -B l \cdot \frac{dx}{dt} = -B \frac{d(lx)}{dt} = -B \frac{dA}{dt}$$

Εάν το B δεν ήταν σταθερό θα γράφατε: $\mathcal{E} = -\frac{d(B \cdot A)}{dt}$

Ουφινδύεται όμως ότι το δυνατό $\underbrace{B \cdot A}_{\text{πεδίο μαγνητικό}} \equiv \Phi_B$

$$\Rightarrow \mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} ; \quad \text{γράφω το μέτρο } |\mathcal{E}| \text{ που το παρά.}$$

- Επαναλαμβάνουμε το ίδιο πείραμα ακριβώς πάλι, αλλά κινούμε το μαγνητικό πεδίο (μηνύμα) αντί για το πλαίσιο.

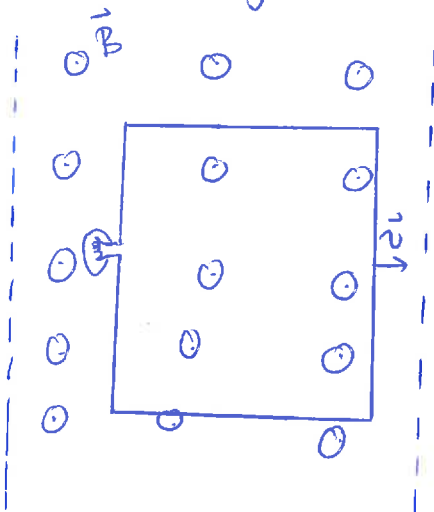


- Ομοίως παρατηρούμε ότι δημιουργείται ρεύμα στο βρόχο και ανάβει η λάμπα. Εδώ η μοναδική εξήγηση είναι ότι η μεταβολόμενη ροή στην επιφάνεια του βρόχου δημιουργήσει τάση εξιστάσης.

Η αλλιώς, η ΗΕΔ είναι η:
$$\mathcal{E} = -\frac{d(B \cdot A)}{dt} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Σχόλιο: Και στα δύο πειράματα όταν το πλαίσιο εισέλθει όσο το παδφύ $\vec{B}$, η λάμπα θα ανάψει $\Rightarrow$ ΔΕΝ έχουμε ρεύμα $I \Rightarrow$ ΔΕΝ έχουμε $|E|$.

Λογικά, αφού δεν αλλάζει η $\Phi_B = B \cdot A$ με το χρόνο. $\frac{d\Phi_B}{dt} = 0$



SOS

ΚΑΝΟΝΑΣ ΤΟΥ Lenz

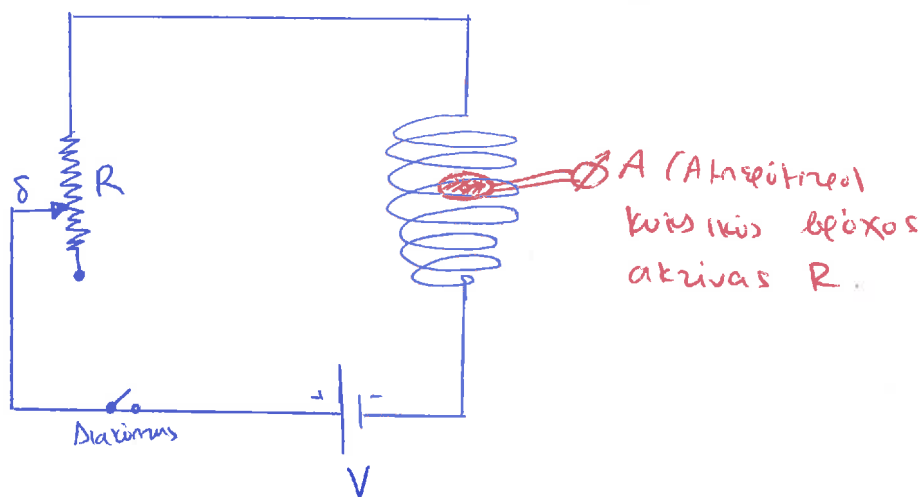
-5.

► Σχόλιο: Το πρόσημο "-" συν έκφραση $\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$

φαίνεται για να μας δείξει ότι το επαγωγόμενο ρεύμα σε ένα βρόχο έχει φορά τέτοια ώστε να δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, το οποίο να αντισταθεί στη μεταβολή του μαγνητικού ρεύματος που διαπερνάει το βρόχο.

► Δηλαδή αν πάλι να αυξηθεί η ροή του $\vec{B}$ μέσα από την επιφάνεια του βρόχου το επαγωγόμενο ρεύμα θα δημιουργήσει $\vec{B}$ αντίθετο σε αυτό. Από αυτόν κανόνα του Lenz να το ρέοντο στη ΗΕΔ.

3ο Πείραμα: (Πείραμα Faraday)



► Το δ ενεργοποιεί τον "δρόμο", ένα σπείρωμα που αυξομειώνει την αρτίαση.

• Έχουμε μια μπαταρία V και ένα αντίο.

► Μέσα στο αντίο βάζουμε ένα δώτερο σπείρωμα (βρόχο) τον οποίο συνδέουμε με ανεξάρτητο $\oint$ (φτιάχνει ρεύμα).

► κάνει τα εξής δύο πειράματα:

1) κρατάει το δ σταθερό και αφήνει το κύκλωμα να διαρρέεται από σταθερό ρεύμα I . Προφανώς τότε ποσότητα θα υπάρχει σταθερό $B = \mu_0 \eta I$.

$\Rightarrow$ Παρατηρεί ότι ο κόκκινος βρόχος δεν διαρρέεται από ρεύμα. $I_{\text{βροχ}} = 0$.

2) Αλλάζει στα', στα' το δ , δηλαδή την αντιστάση που έχει τον κύκλωμα $R = R(t)$ και προφανώς θα αλλάξει και το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα: $I(t) = \frac{V}{R(t)}$.

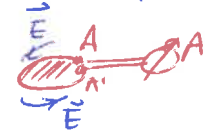
Οπότε θα αλλάξει και το μαγνητικό πεδίο $B(t)$ στο σημείο. Θα είναι: $B(t) = \mu_0 \eta I(t)$

$\Rightarrow$ Παρατηρεί ότι ο κόκκινος βρόχος διαρρέεται από ρεύμα $I_{\text{βροχ}}(t)$.

και βέβαια η τάση εξ'επαγωγής που δημιουργείται είναι:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= - \frac{d\Phi_B}{dt} = - \frac{d}{dt} (B(t) A) = - \frac{d}{dt} (\mu_0 \eta I(t) \pi R^2) \\ &= - \mu_0 \eta \pi R^2 \frac{dI(t)}{dt} \end{aligned}$$

και κρατάει ότι $I_{\text{βροχ}}(t) = \frac{|\mathcal{E}|}{R_{\text{βροχ}}}$.

► Επομένως μπορούμε να γράψουμε (π.χ. για τα άκρα του κόκκινου
 λούχου)  $\mathcal{E} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$

Ανταπόδ, αφού κινούνται φορτία θα υπάρχει και $\vec{E}$
 που τα κινεί. και πόλωση θα ισχύει:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{ή ισοδύναμα:}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Νόμος Faraday

$\Phi_B = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{a}$

με

**** Το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο $\vec{B}$
 δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$. ****

και μάλιστα το γεγονός ότι $\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} \neq 0$!!
 σημαίνει ότι από το μαγνητικό $\vec{E}$ ΔΕΝ είναι
 διατηρητικό !!

Στην ηλεκτροστατική το έργο ήταν ανεξάρτητο της
 διαδρομής, ενώ όχι !!!

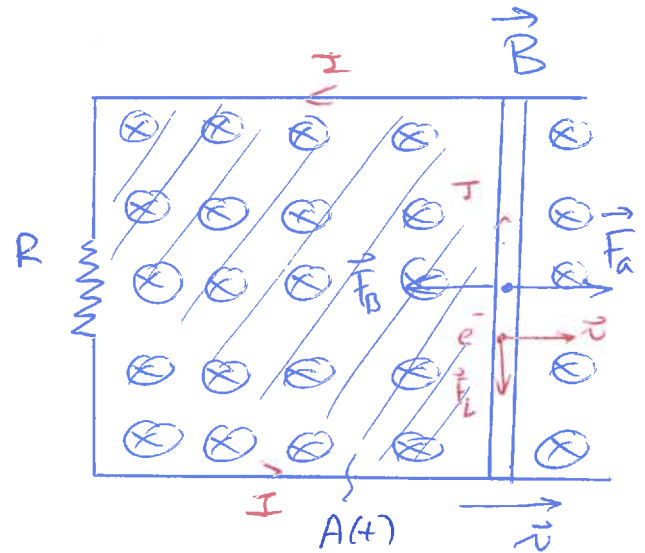
• Δείτε παρακάτω και παίξτε το ΡΗΕΤ.

Άσκηση: Ράβδος που ολισθαίνει

Δύο παράλληλα σύρματα ημεινικώς αντιστάσεως μήκους $L = 0.5 \text{ m}$ συνδέονται με αντιστάση $R = 3 \Omega$. Στα σύρματα μπορεί να ολισθαίνει ράβδος ημεινικώς αντιστάσεως βρισκόμενη σε επαφή με αυτά. Το όλο κύκλωμα βρίσκεται εντός κάδρου $\vec{B} = 0.15 \text{ T}$. Στη ράβδο ασκείται εξωτερική δύναμη $\vec{F}_A$ ώστε να κινείται με $\vec{v} = \text{σταθ. προς τα δεξιά}$.

α) Εξηγήστε τη φορά του ρεύματος στο κύκλωμα.

β) Πόση η $\vec{v} = \text{σταθ.}$ της ράβδου αν η ισχύς που δαπνάζεται (μηχανική) είναι $P = 7.5 \text{ mW}$



Απάντηση:

α). Είτε θα το δοίτε με την εικόνα ότι τα e^- δέχονται $\vec{F}_L = -q(\vec{v} \times \vec{B})$ άρα πάνε προς τα κάτω $\Rightarrow$ το ρεύμα ανέρχεται

. Είτε με βάση τον κανόνα του Lenz αφού $\Phi_B = B \cdot A(t)$ και αφού η $A(t)$ μεγαλώνει με το χρόνο $\Rightarrow$ αυξάνεται η ροή στο κύκλο. Άρα το I δημιουργείται ώστε να δημιουργηθεί $\vec{B}$ προς τα εσω. $\odot$, αντιστο. στην αύξηση της ροής. $\mathcal{E} = B \cdot v \cdot l$

β) Αφού δημιουργείται το I η ράβδος δέχεται δύναμη ίση με:

$$|\vec{F}_B| = B I l \quad \vec{F}_B \leftarrow \begin{array}{c} \vec{B} \otimes \\ \hline I \end{array}$$

$$d\vec{F} = dq(\vec{v} \times \vec{B}) = I(d\vec{l} \times \vec{B}) = I B dl$$

$$\Rightarrow |\vec{F}_B| = B I l$$

-9-

Για το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα θα ισχύει ο νόμος του Ohm. $V = IR \Rightarrow \mathcal{E} = IR$

και είναι εδωκε από Ν. Faraday $\mathcal{E} = Bvl$ } $IR = Bvl$
 $\Rightarrow I = \frac{Bvl}{R}$

Αφού έχουμε σταθερή ταχύτητα θα έχουμε $|F_A| = |F_B|$

και από δεδομένα δόθηκαν για ισχύ: $v|F_A| = v \cdot |F_B|$

αφού $F_B = B \cdot I \cdot l$ $\Rightarrow$ $P_A = v \left(\frac{Bvl}{R} \right) \cdot B \cdot l$

και $I = \frac{B \cdot vl}{R}$ $\Rightarrow$ $P_A = \frac{v^2 B^2 l^2}{R}$

$$\Rightarrow v = \frac{\sqrt{P_A \cdot R}}{B \cdot l} = \frac{\sqrt{3 \cdot 7.5 \cdot 10^{-3}}}{0.15 \cdot 0.5} = 2 \text{ m/s}$$