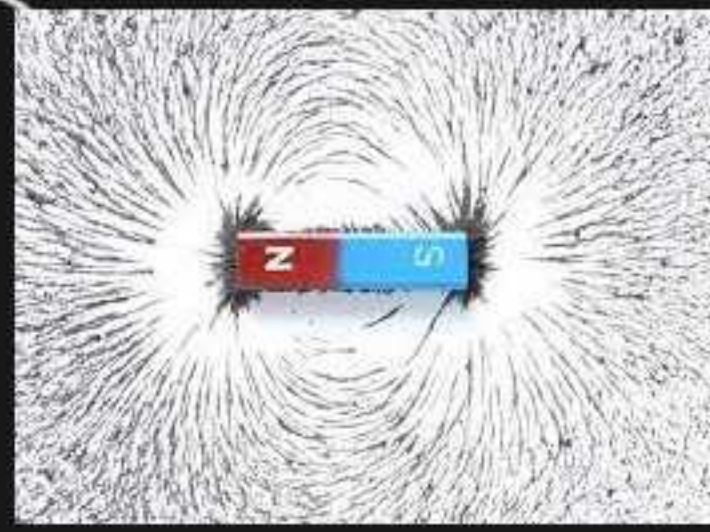
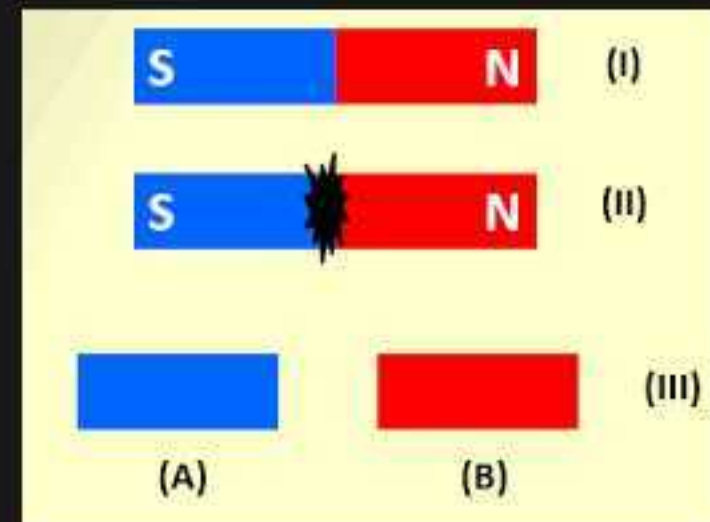


ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

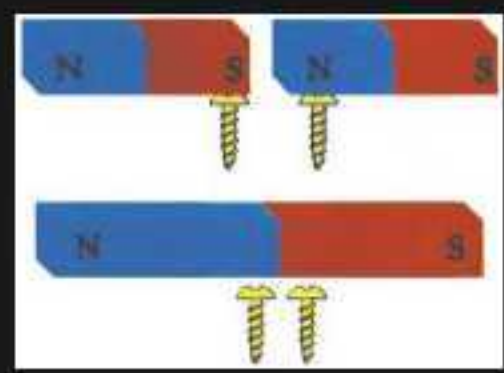
ρίνιωμα σιδήρου



Μαγνητικό φάσμα μαγνήτη



• όσο απομακρυνόμαστε από τους πόλους του μαγνήτη οι μαγνητικές δυνάμεις εξασθενούν



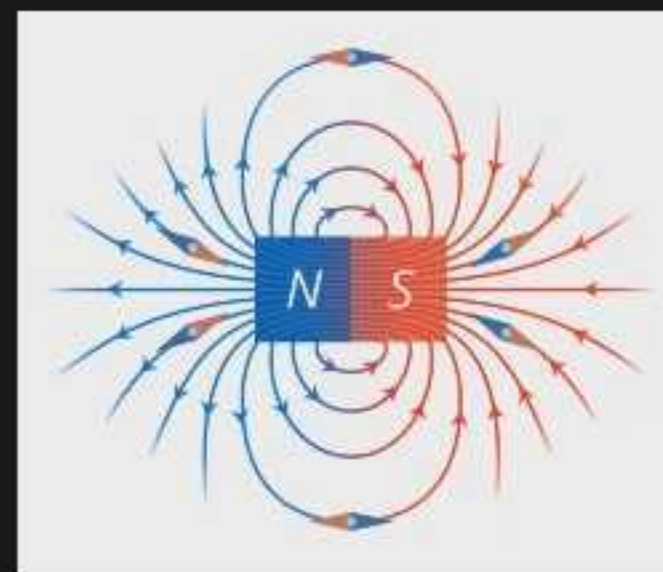
Στις θίδες ασκούνται δυνάμεις όταν τις βάλουμε στους πόλους του μαγνήτη αλλά όχι όταν τις βάλουμε στο κέντρο του.

Μαγνητικό πεδίο: Ο χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται οι μαγνητικές δυνάμεις.

Ένταση Μαγνητικού πεδίου ($\vec{B}$): Δείχνει πόσο ισχυρό είναι το πεδίο

Η διεύθυνση της μαγνητικής βελόνας (ηυξίδας) καθορίζει τη φορά του $\vec{B}$

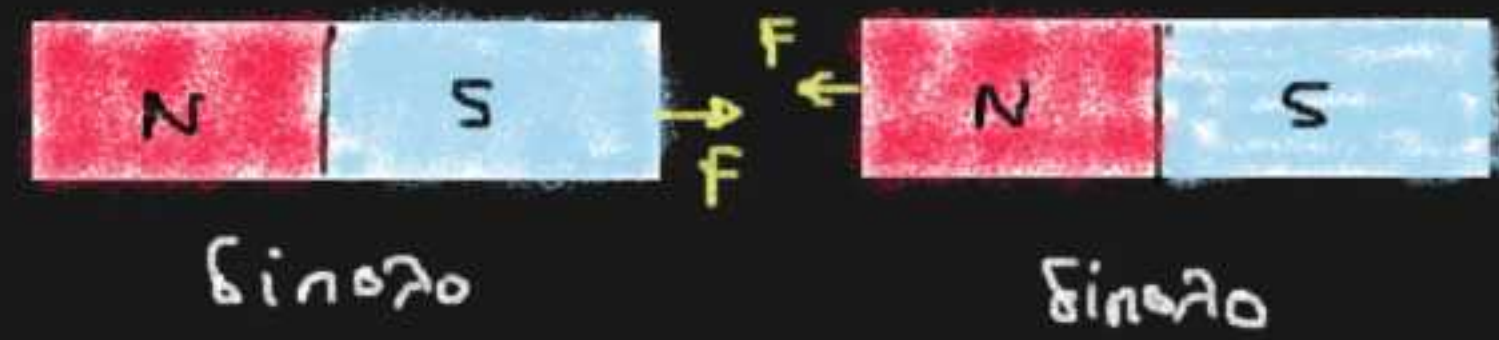
Εκεί όπου οι γραμμές είναι πιο πυκνές το $\vec{B}$ είναι πιο ισχυρό.



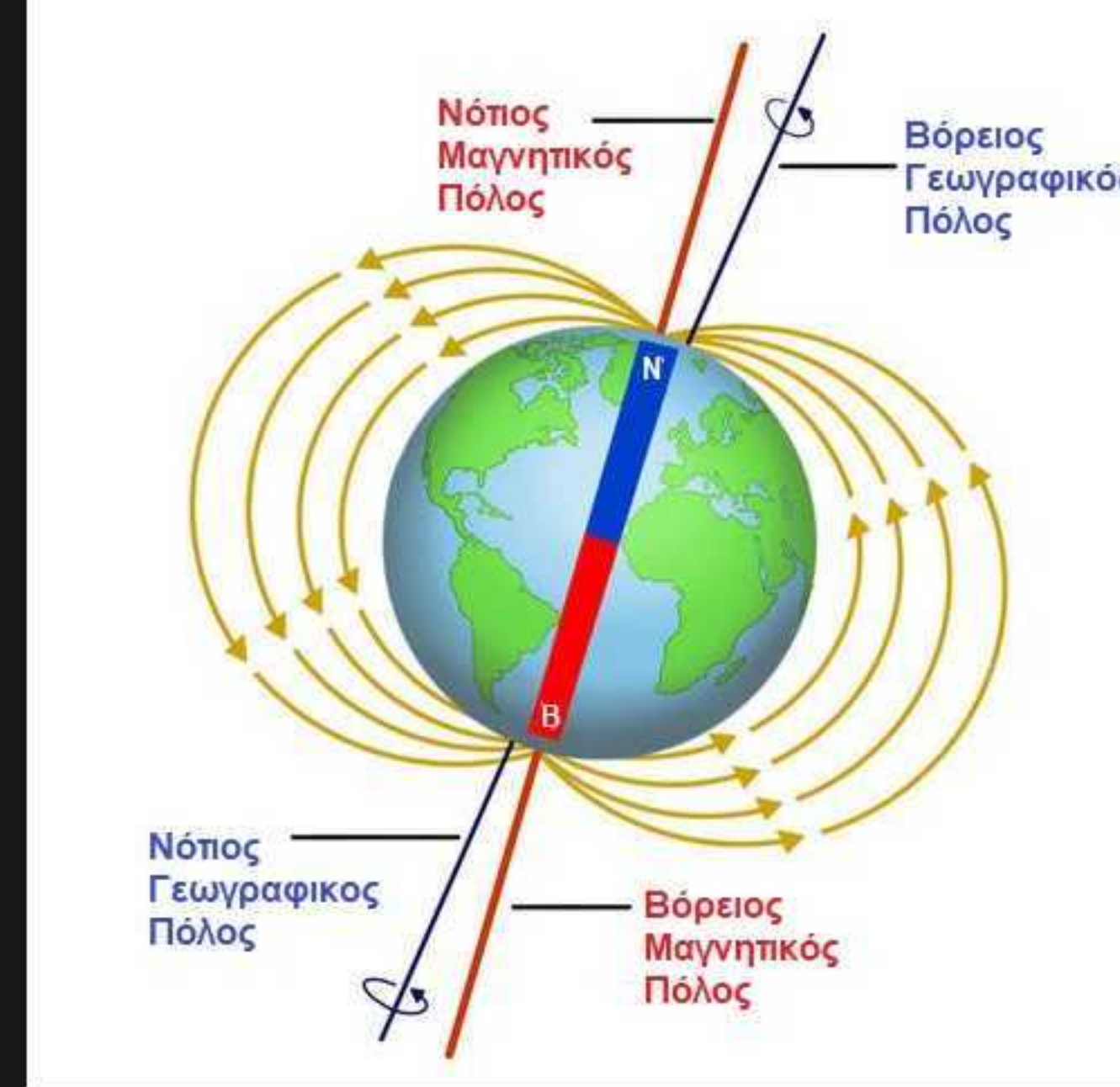
«Ο ΒΟΡΕΙΟΣ ΠΟΛΟΣ» της ηυξίδας δείχνει τον «ΝΟΤΙΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΟΛΟ ΤΗΣ ΓΗΣ» δηλ τον ΒΟΡΕΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ

Βόρειος Πόλος (N) Νότιος Πόλος (S)

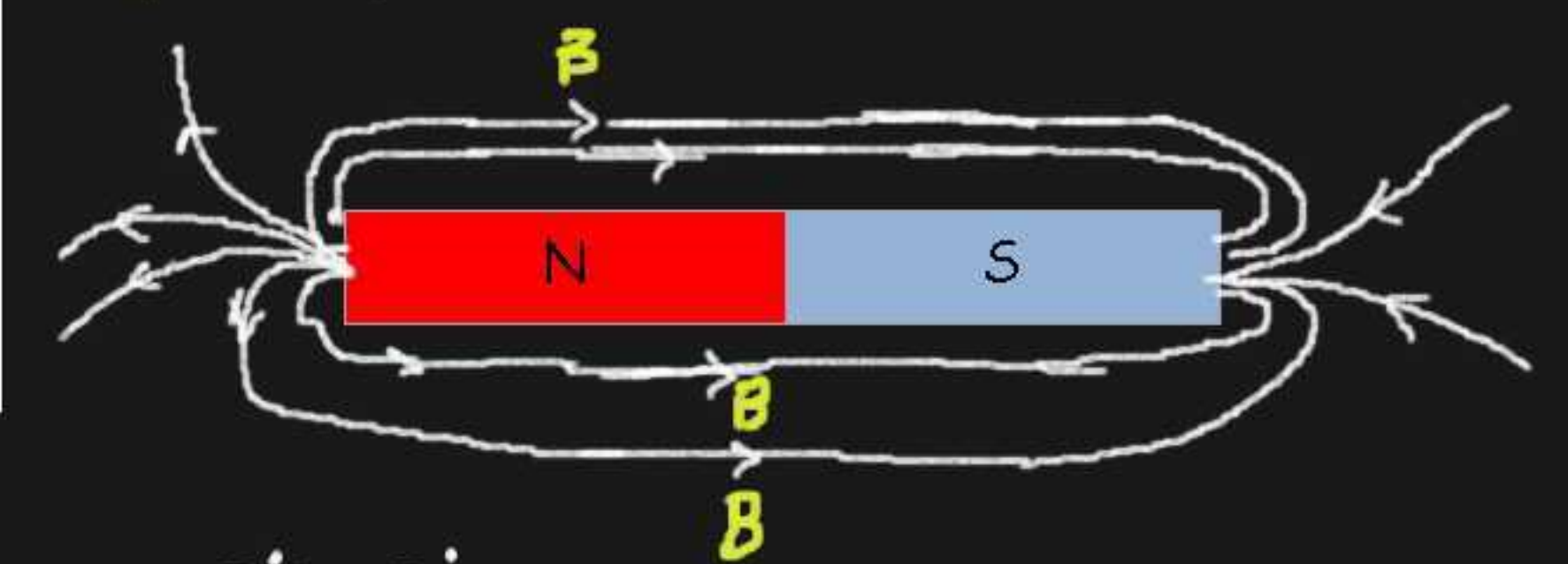
• ομώνυμοι πόλοι απωθούνται αμοιβαία
• ετερόνυμοι «ελκονται»



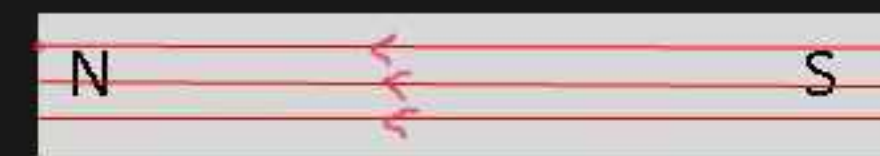
Από την εικόνα του μαγν. φάσματος:



Για να μελετήσουμε τις μαγνητικές δυνάμεις εδράζουμε την έννοια του μαγνητικού πεδίου (όπως στο ηλεκτρικό πεδίο) → Δυναμικές γραμμές



• Εντός του μαγνήτη το μαγν. πεδίο είναι ομογενές ($B = \text{σταθ}$)



• Το διάνυσμα $\vec{B}$ πάντα εφαπτόμενο στις γραμμές

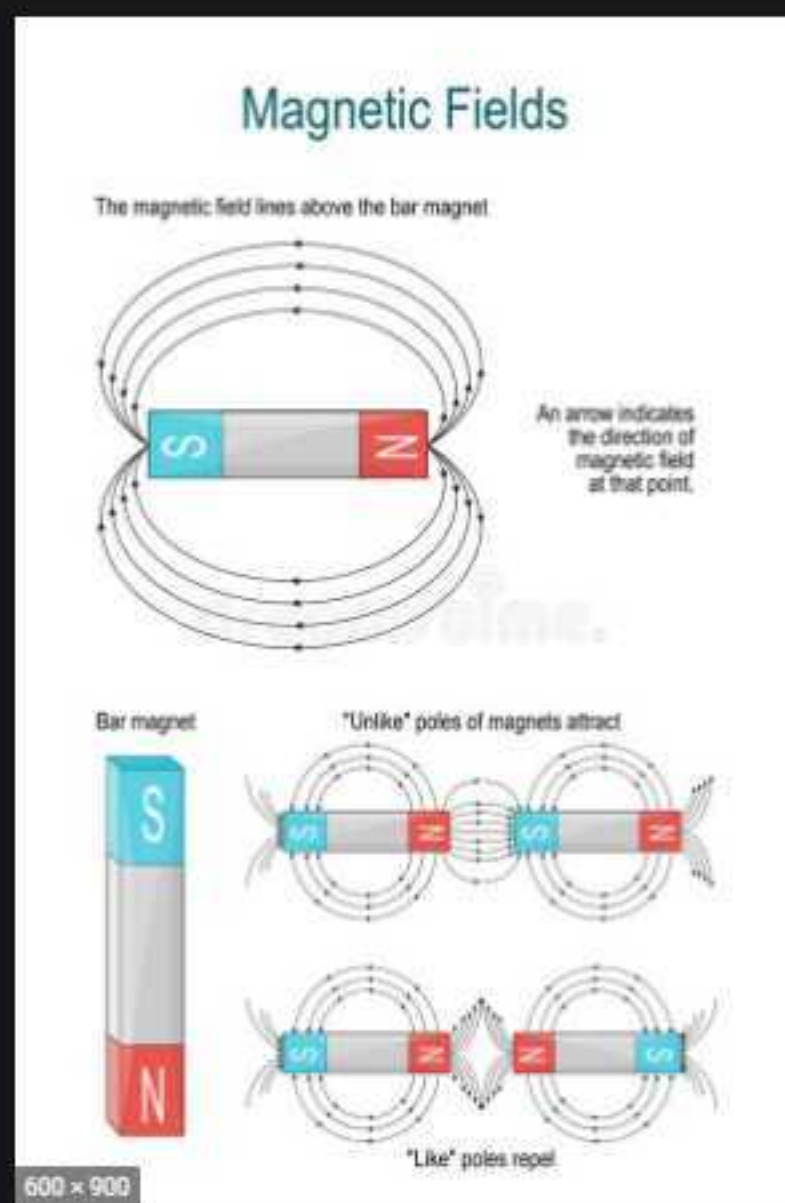
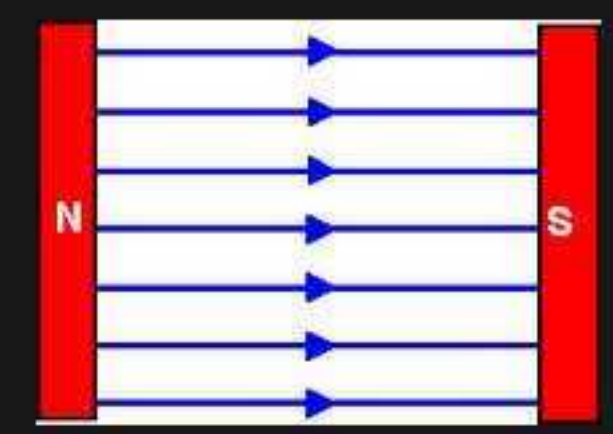
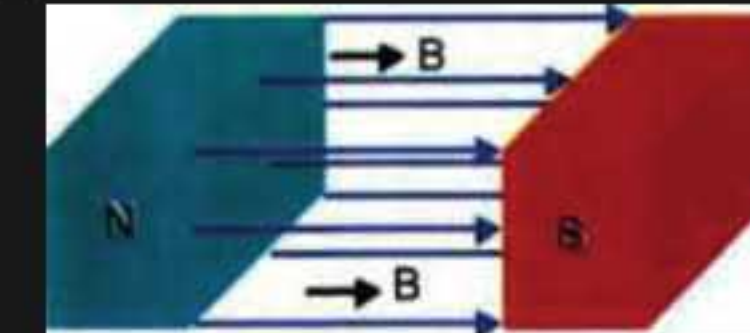


* Εντός του μαγνήτη οι δυναμικές γραμμές κατευθύνονται από τον S στο N

* Εκτός του μαγνήτη κατευθύνονται από N στο S.

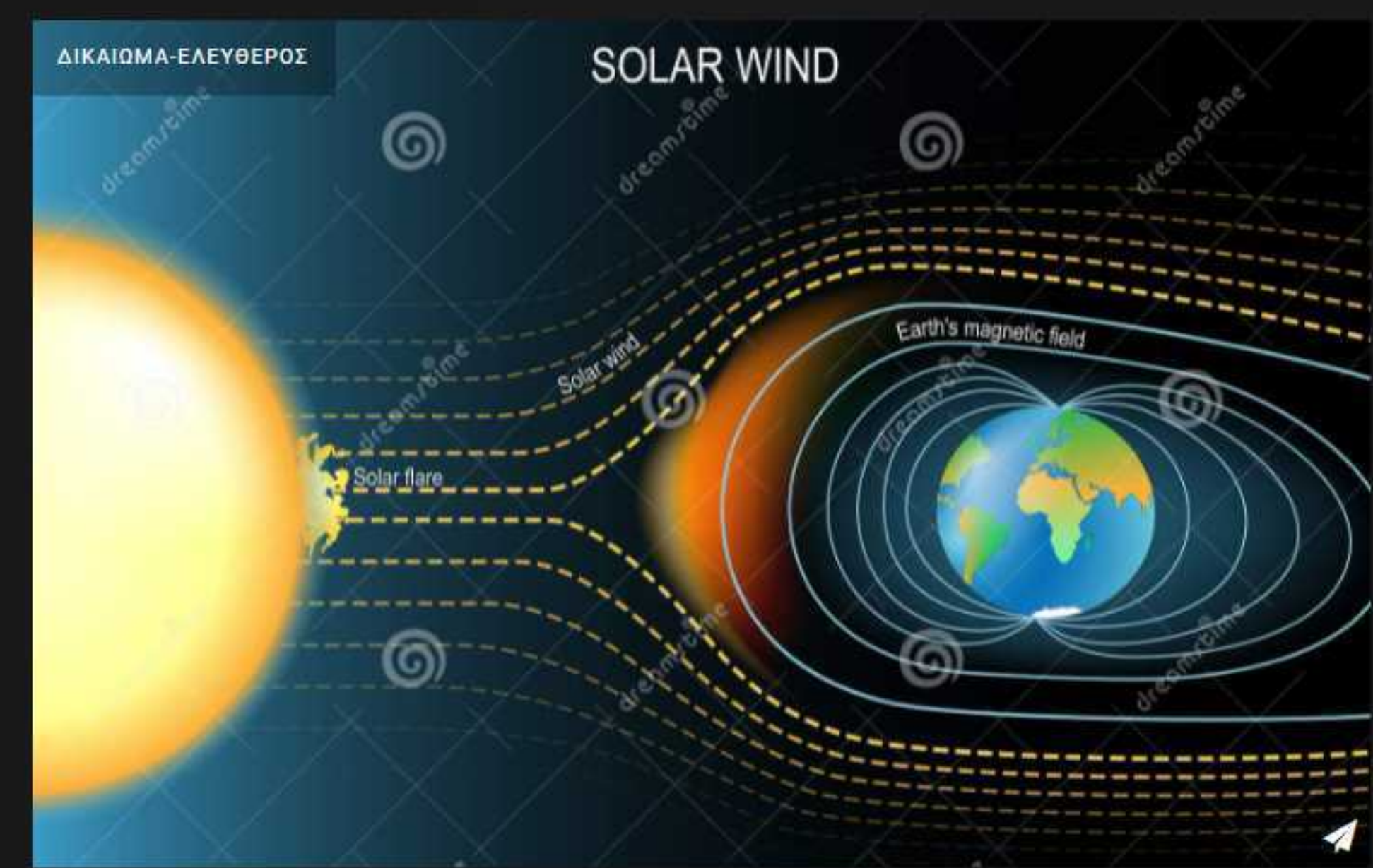
Προσοχή!

Εδώ έχουμε δυο ξεχωριστούς μαγνήτες



Γιατί ελκονται ή απωθούνται οι μαγνήτες;

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΣΠΙΔΑ ΓΗΣ



ΣΟΣ! Διαβάστε θεωρία βιβλίου.

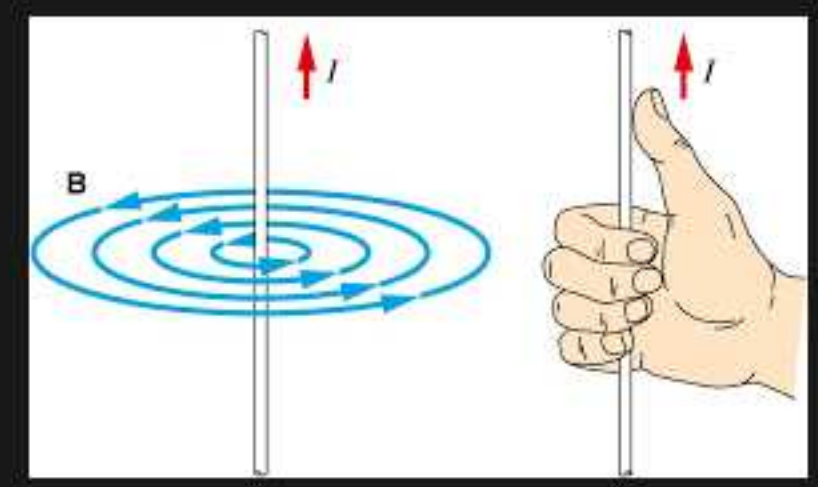
Μαγνητικό πεδίο 2 : Ρευματοφόρος αγωγός απείρου μήκους

πείραμα Oersted: Έδειξε ότι γύρω από ρευματοφόρο αγωγό δημιουργείται μαγν. πεδίο (Θεωρία βιβλίο)

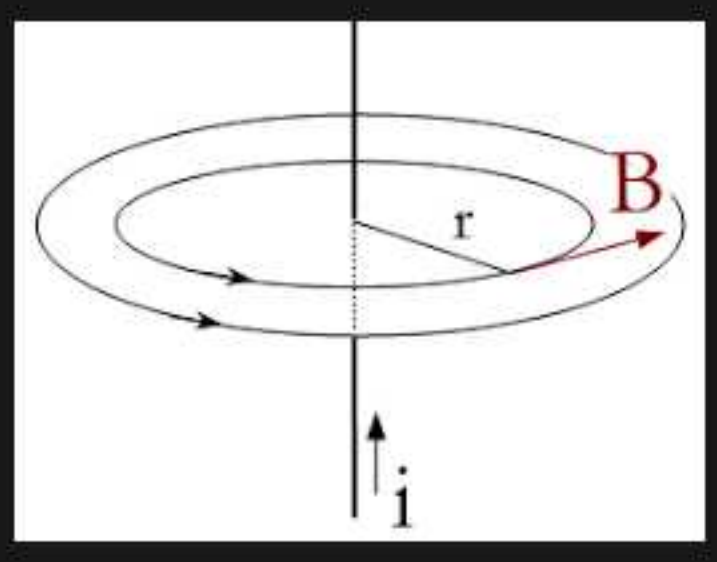
↓
ασκηθηκε δύναμη σε μαγν. βελόνα

Μονάδα μέτρησης $\vec{B}$: $[\vec{B}] = \frac{1}{A \cdot m} \frac{N}{A \cdot m}$

Γύρω από ρευματοφόρο αγωγό οι δυναμικές γραμμές



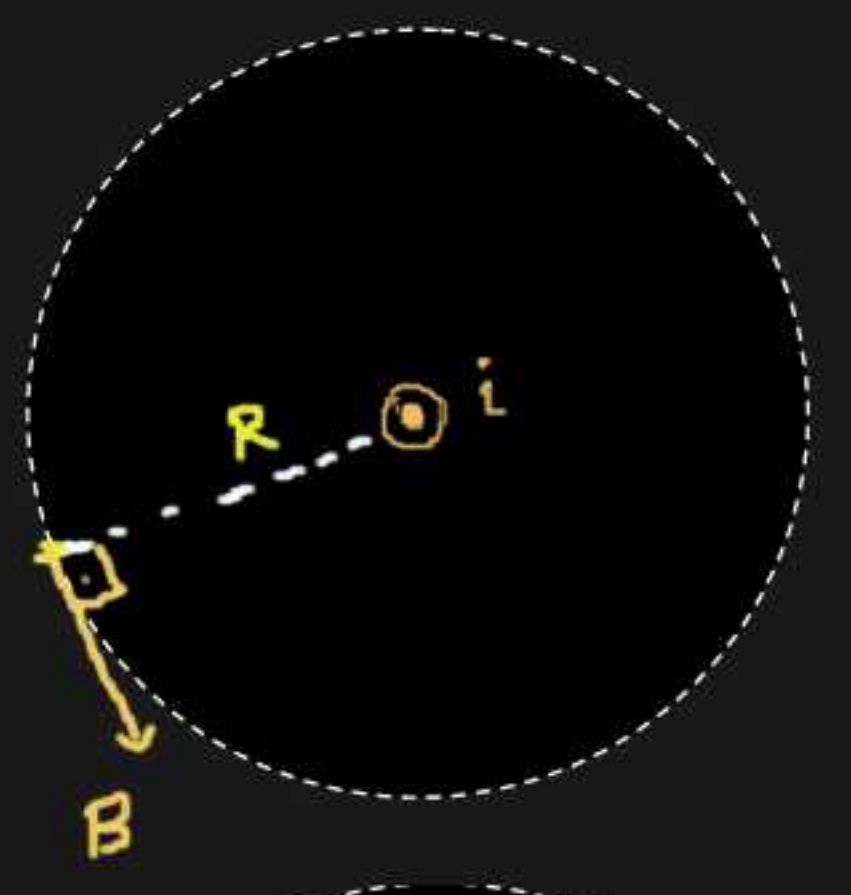
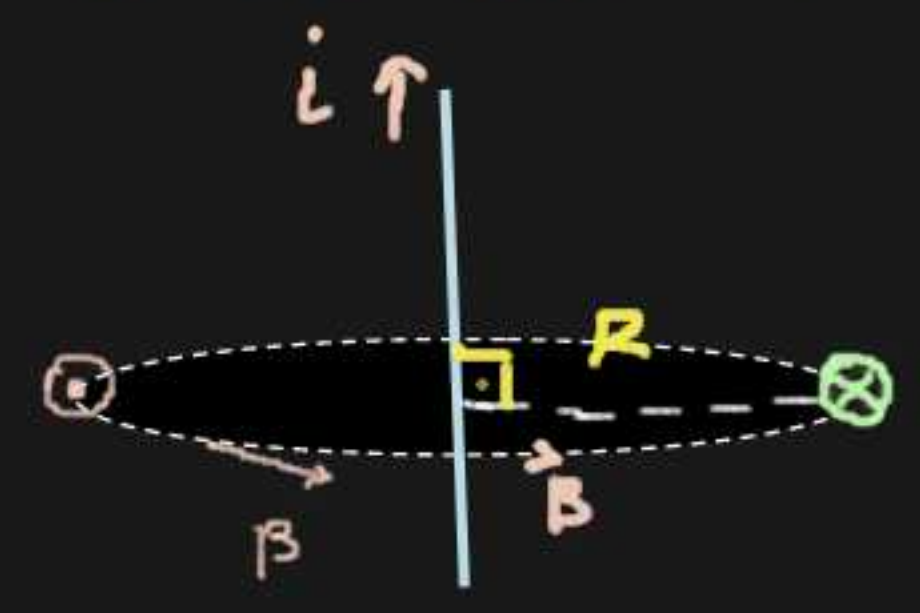
Είναι κυκλικές και η φορά του $\vec{B}$ βρίσκεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού (αντίθετος = φορά $\vec{I}$)
(δακτυλα = φορά $\vec{B}$)



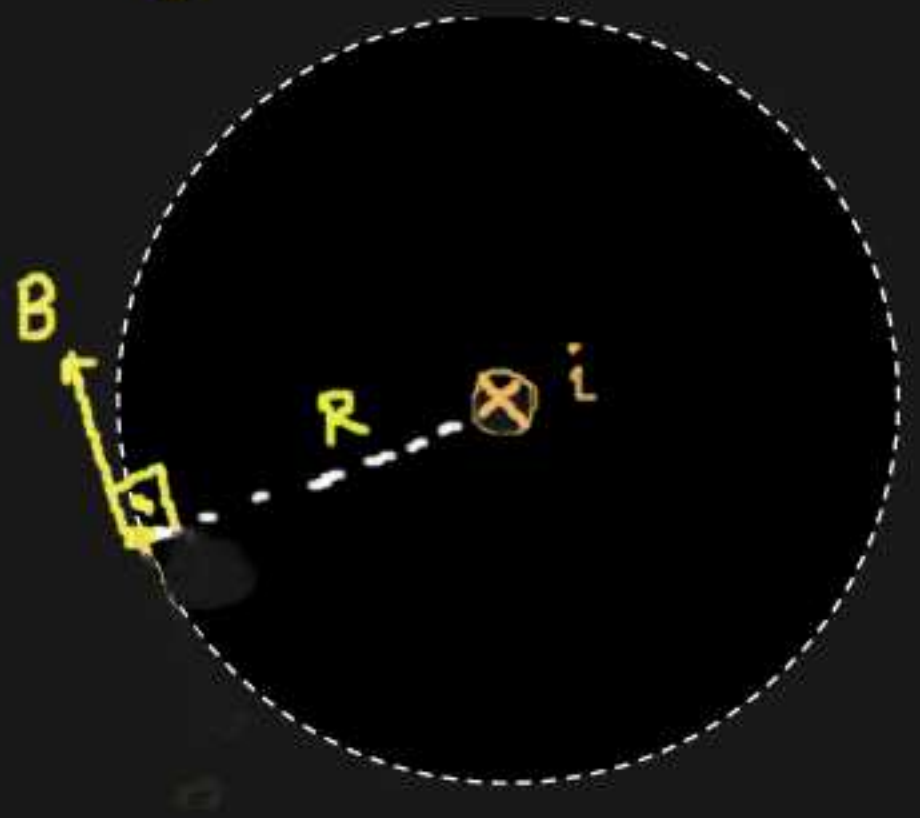
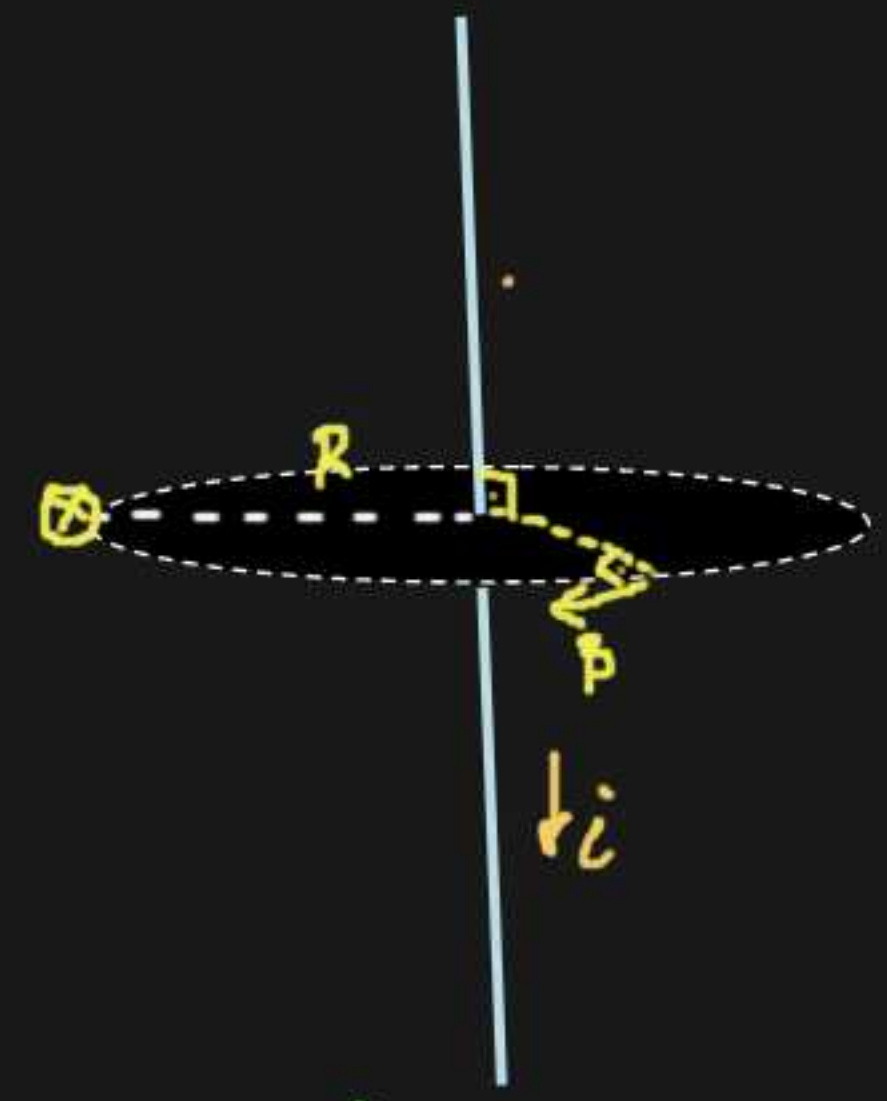
$B = \mu_0 \frac{2I}{r}$ $\mu_0 = 10^{-7} \frac{N}{A^2}$

Για δέσμη Ν αγωγών : $B = \mu_0 \frac{2I}{r} N$

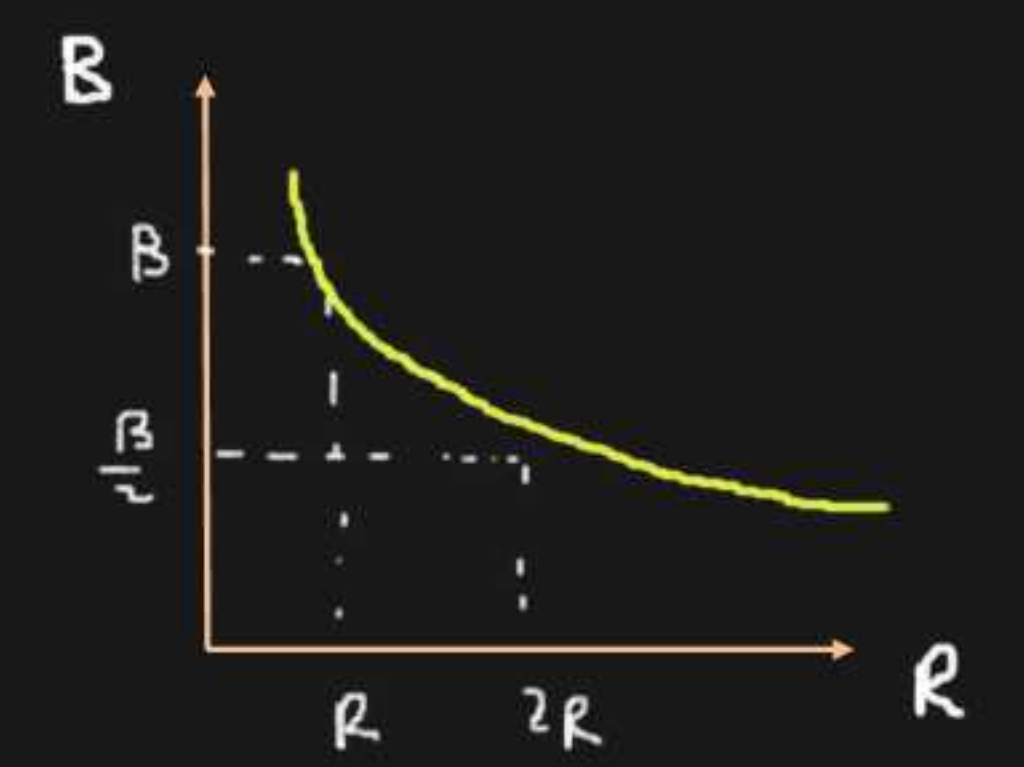
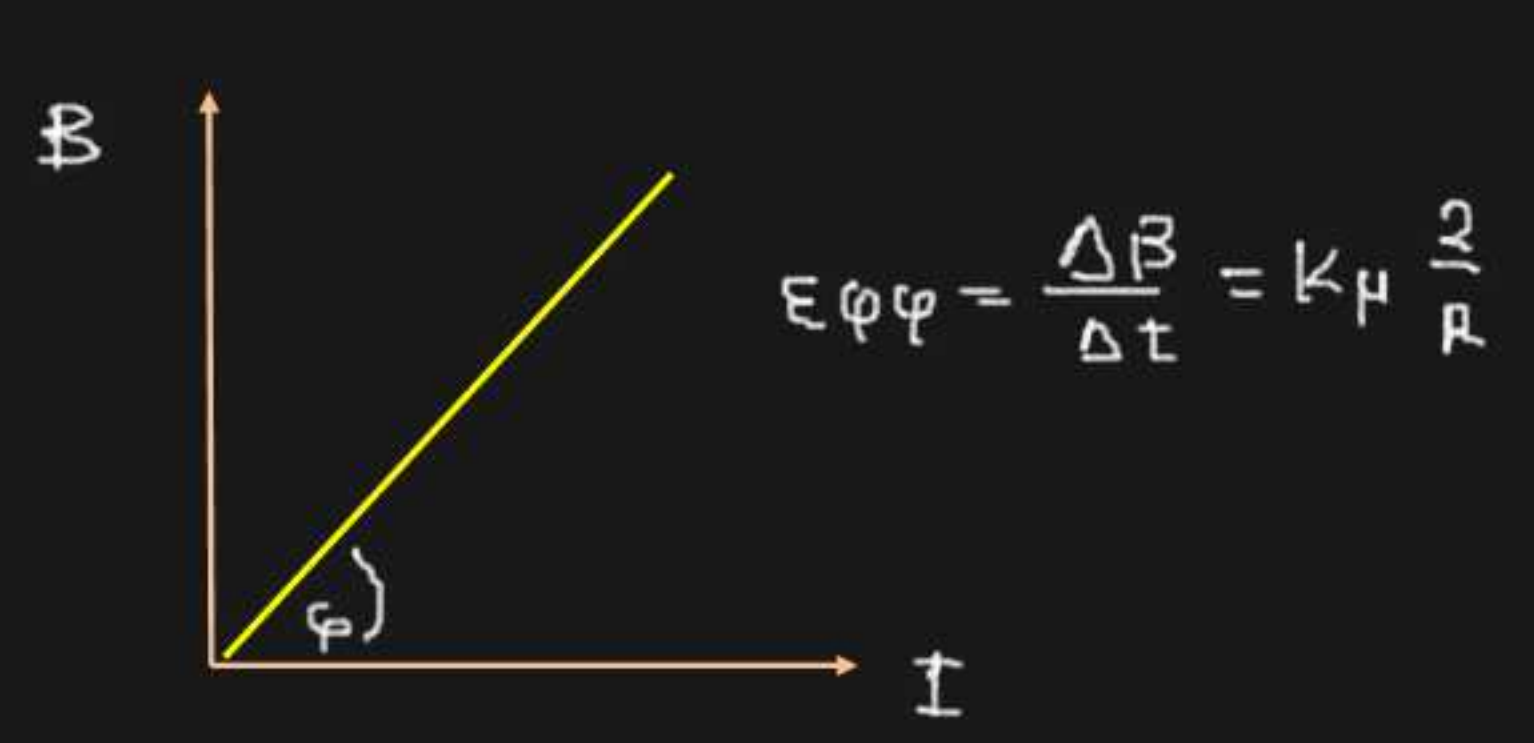
πολλές φορές μας βολεύει να δουλεύουμε με κάτοψη



⊙ : φορά από κάτω προς τα πάνω
⊗ : φορά από πάνω προς τα κάτω

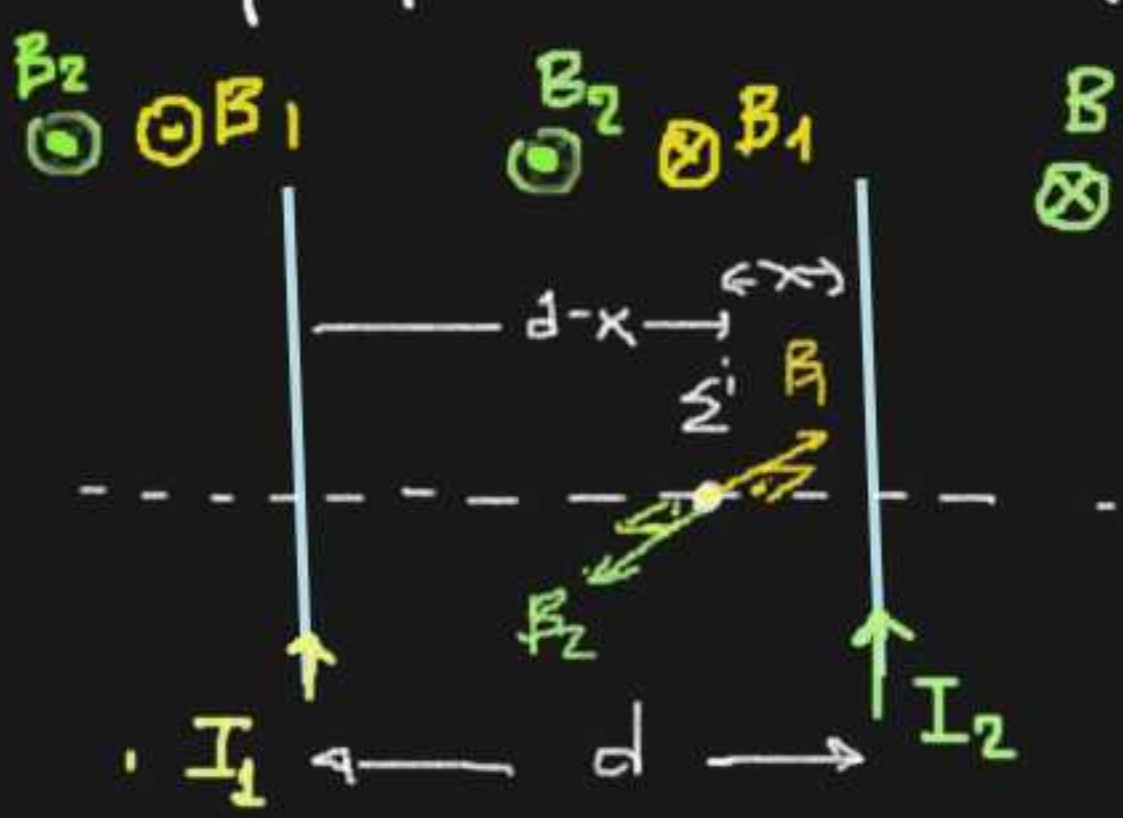


Το $\vec{B}$ είναι πάντα στην διεύθυνση της εφαπτομένης



ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΜΑΓΝ. ΠΕΔΙΟΥ ($B_{ολ}$)

Όταν σε μια περιοχή συνυπάρχουν πολλοί ρευμ/φόροι αγωγοί τότε η ολική ένταση $\vec{B}$ σε ένα σημείο δίνεται από το διανυσματικό άθροισμα των επιμέρους εντάσεων: $\vec{B}_{ολ} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots$



• Σχεδιάζουμε τα επιμέρους $\vec{B}$ στο ζητούμενο σημείο
• Σχεδιάζουμε το $B_{ολ}$

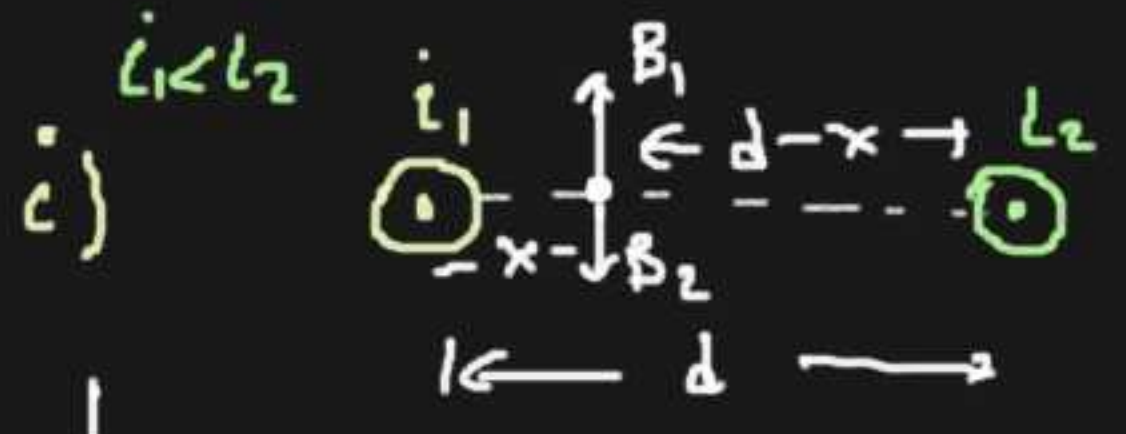
$\vec{B}_{ολ} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \Rightarrow B_{ολ} = B_1 - B_2 = \mu_0 \frac{2I_1}{d-x} - \mu_0 \frac{2I_2}{x}$
αν προκύψει (+) $B_{ολ}$ είναι ⊙
αν προκύψει (-) $B_{ολ}$ είναι ⊗

κάτοψη



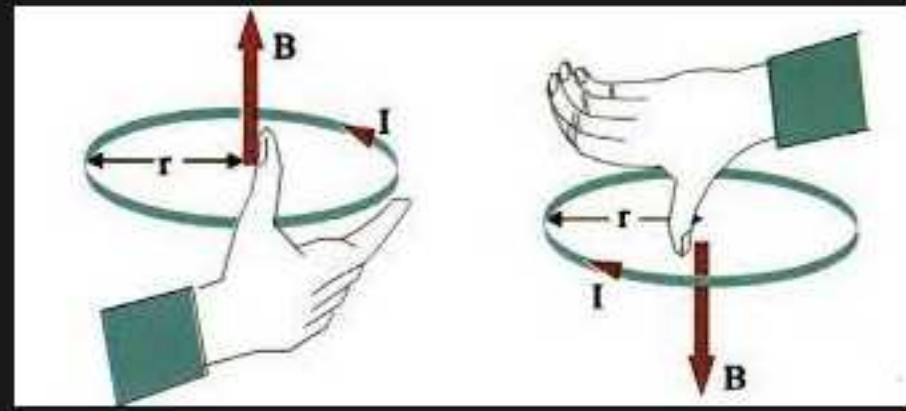
• Όταν ζητάμε το σημείο μεταξύ δυο ευδ. ρευματοφόρων αγωγών

όπου ισχύει $B_{ολ} = 0$ τότε: i) Αν τα ρεύματα είναι ομόρροπα, το (Σ) είναι μεταξύ των αγωγών και πιο κοντά στον αγωγό με την μικρότερη ένταση ρεύματος
ii) Αν τα ρεύματα είναι αντίρροπα τότε το (Σ) βρίσκεται εκατέρωθεν των αγωγών και πιο κοντά στον αγωγό με την μικρότερη ένταση ρεύματος



$B_1 = B_2 \Rightarrow \mu_0 \frac{2I_1}{x} = \mu_0 \frac{2I_2}{d-x} \Rightarrow \frac{I_1}{x} = \frac{I_2}{d-x}$

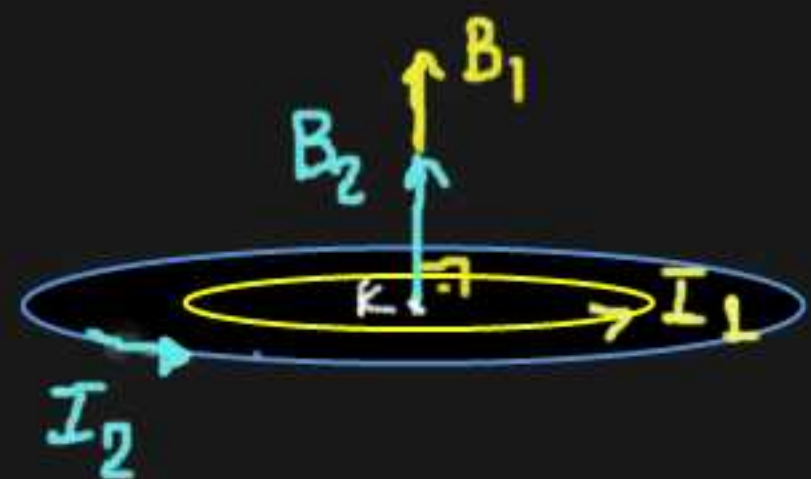
ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ 3: ΚΥΚΛΙΚΟΣ ΡΕΥΜΑΤΟΦΟΡΟΣ ΑΓΩΓΟΣ



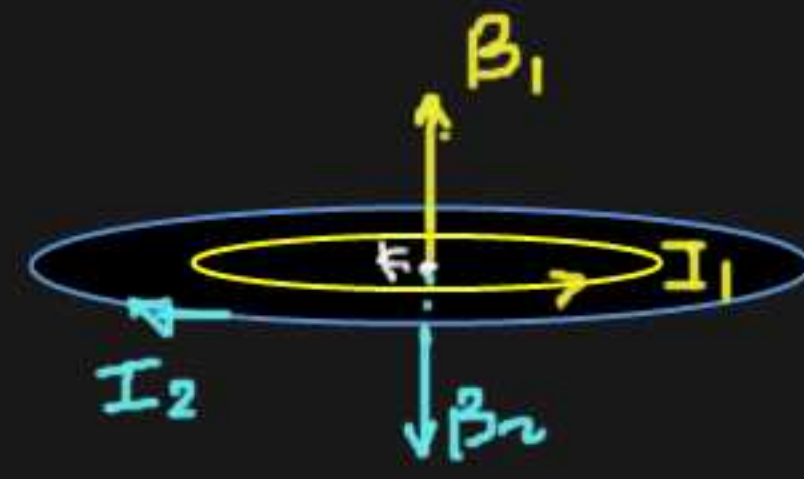
Ακολουθούμε τον κανόνα του δεξιού χεριού: $\left(\begin{matrix} \text{δακτυλά} \rightarrow i \\ \text{αντίχειρας} \rightarrow B \end{matrix} \right)$

Ένταση στο κέντρο κυκλικού αγωγού: $B = k_{\mu} \frac{2\pi I}{R}$
 $R = \text{ακτίνα κυκλικού αγωγού}$

για δέσμη N κυκλ. αγωγών: $B = k_{\mu} \frac{2\pi I}{R} \cdot N$

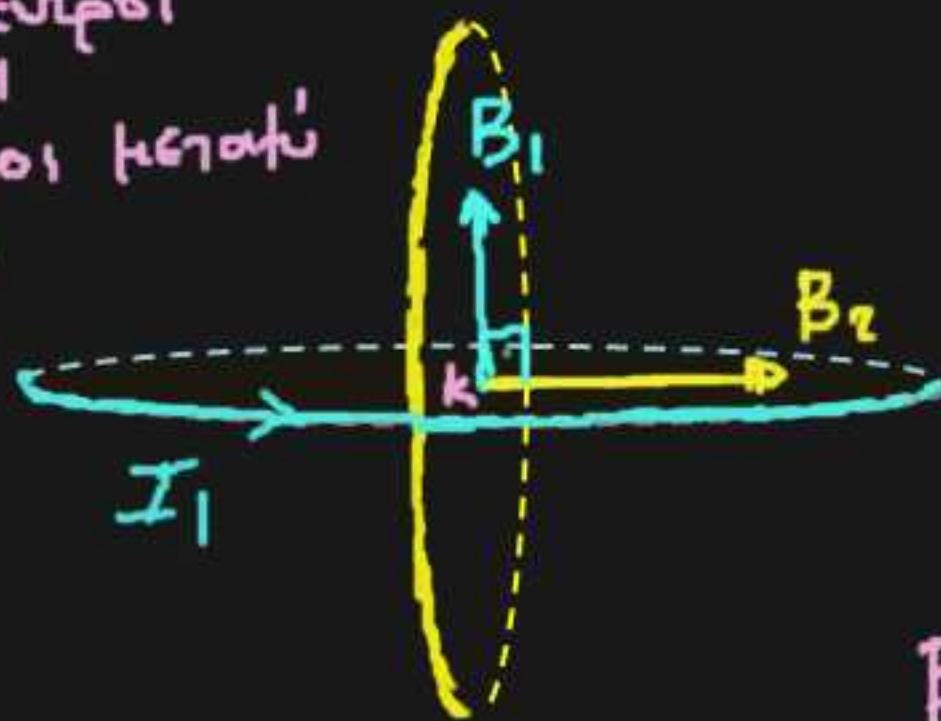


$$B_{0\lambda} = B_1 + B_2$$



$$B_{0\lambda} = |B_1 - B_2|$$

οριζόντιοι και
κάθετοι μεταξύ
τους

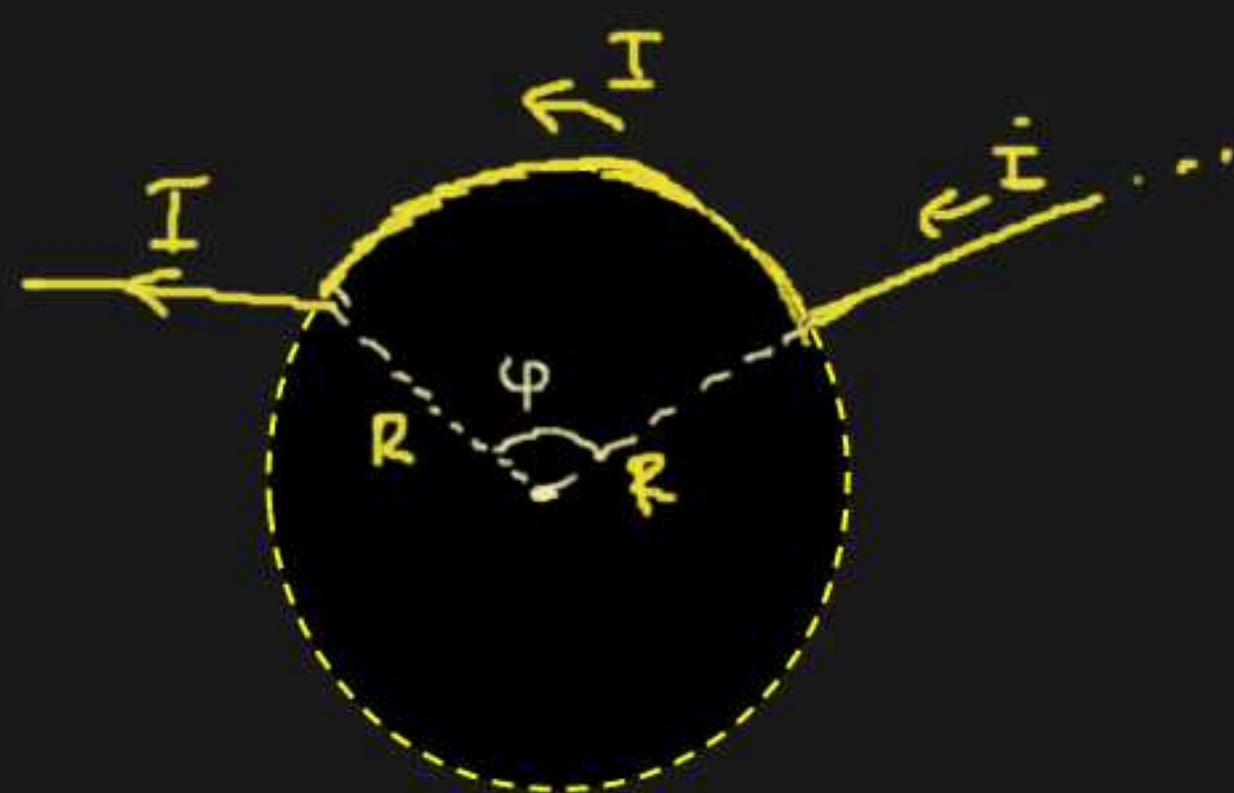


$$B_{0\lambda} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}, \quad \tan \varphi = \frac{B_1}{B_2}$$

• Αν διαρρέεται από I τμήτα του ακλ. αγωγού

Για $2\pi \rightarrow B = k_{\mu} \frac{2\pi I}{R}$

Για $\varphi \rightarrow B = k_{\mu} \frac{\varphi I}{R}$



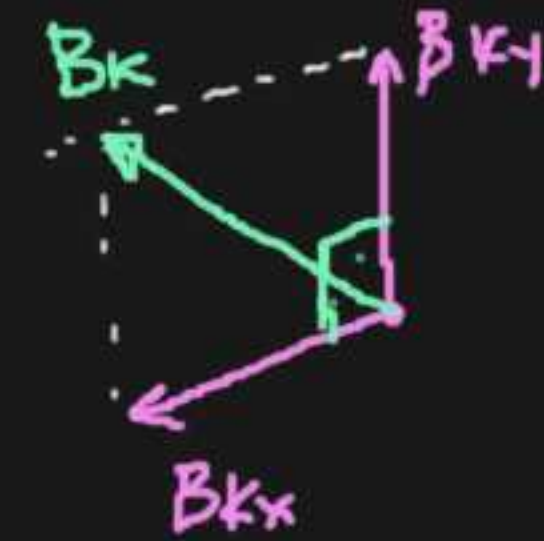
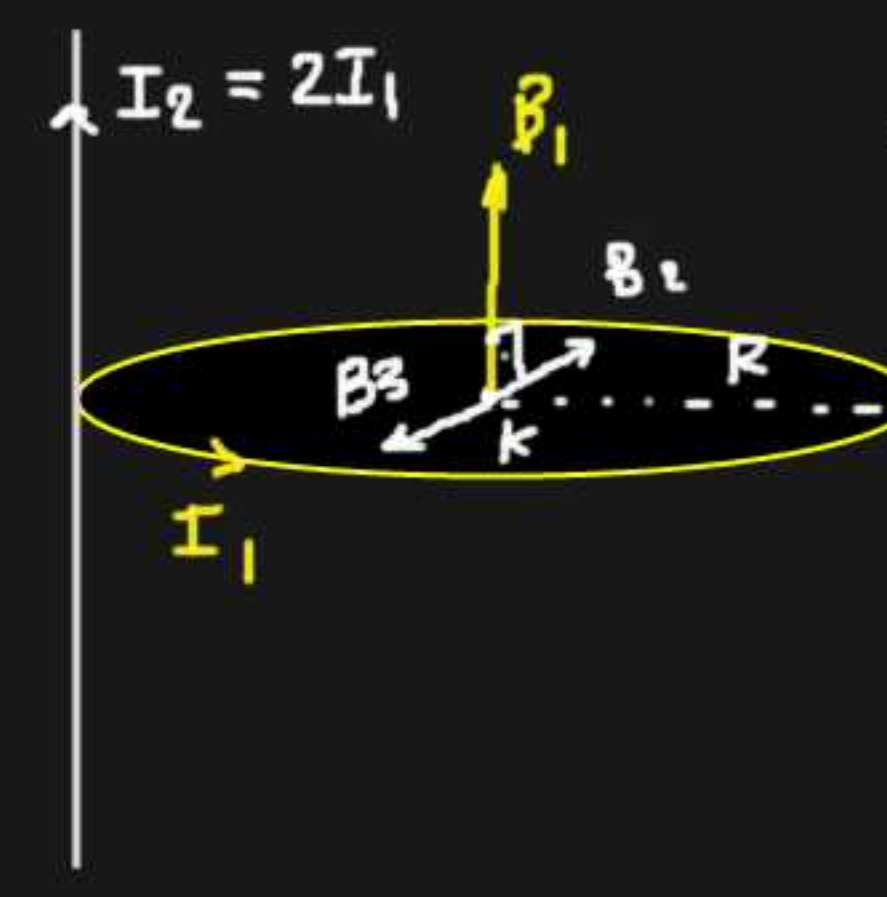
Παράδειγματα

(x): $B_k(x) = B_2 - B_3$
 $= k_{\mu} \frac{2I_2}{R} - k_{\mu} \frac{2I_3}{R}$

$$= \frac{k_{\mu} \cdot 2}{R} (2I_1 - I_1)$$

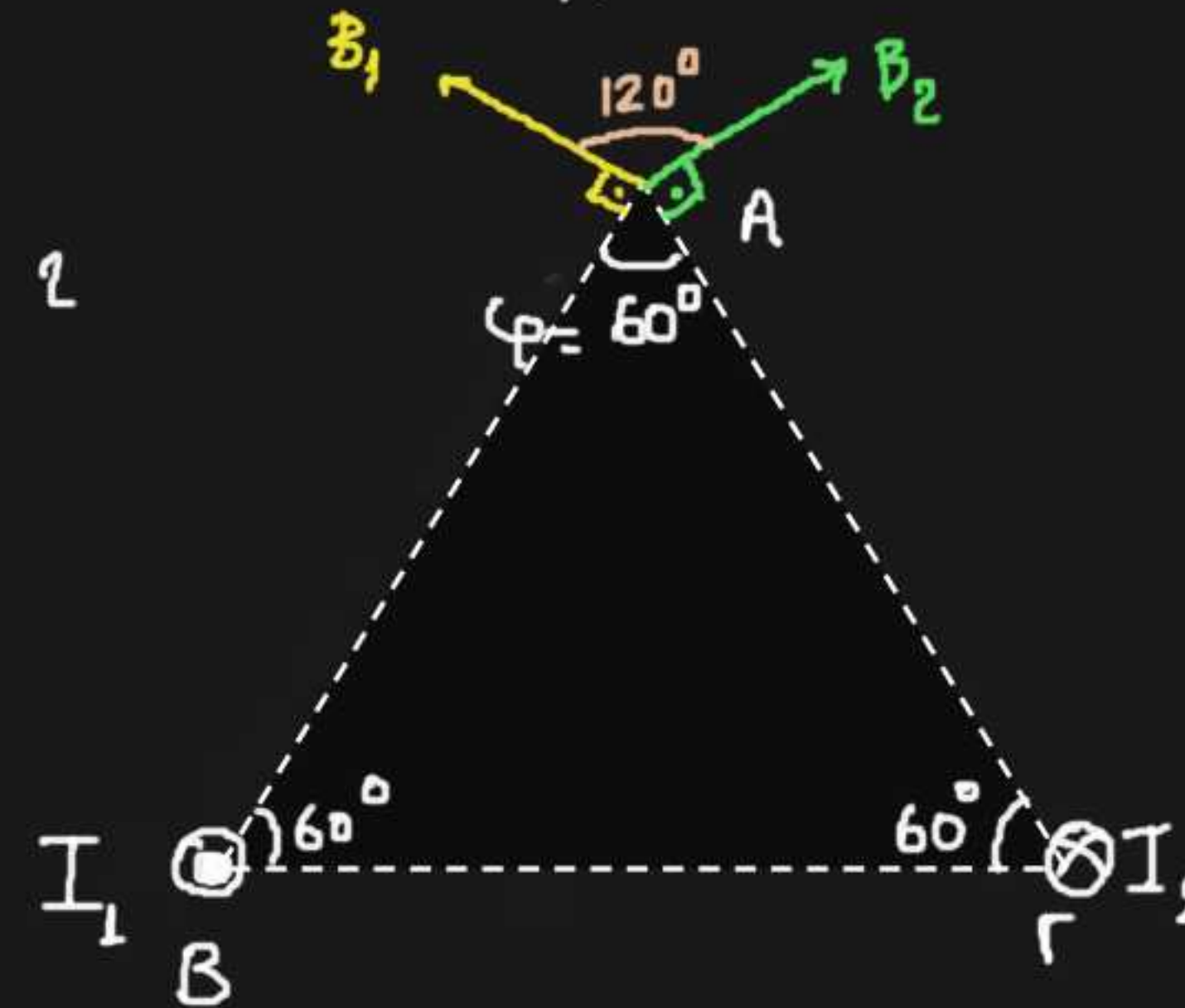
$$= \frac{2k_{\mu}}{R} I_1 \quad (1)$$

(y): $B_k(y) = k_{\mu} \frac{2\pi I_1}{R}$



(1), (2): $B_k = \sqrt{B_{kx}^2 + B_{ky}^2} = \frac{2I_1}{R} \sqrt{n^2 + 1}$

Παράδειγμα 2
 $\hat{\theta} = 60^\circ$
 ισοπλευρο



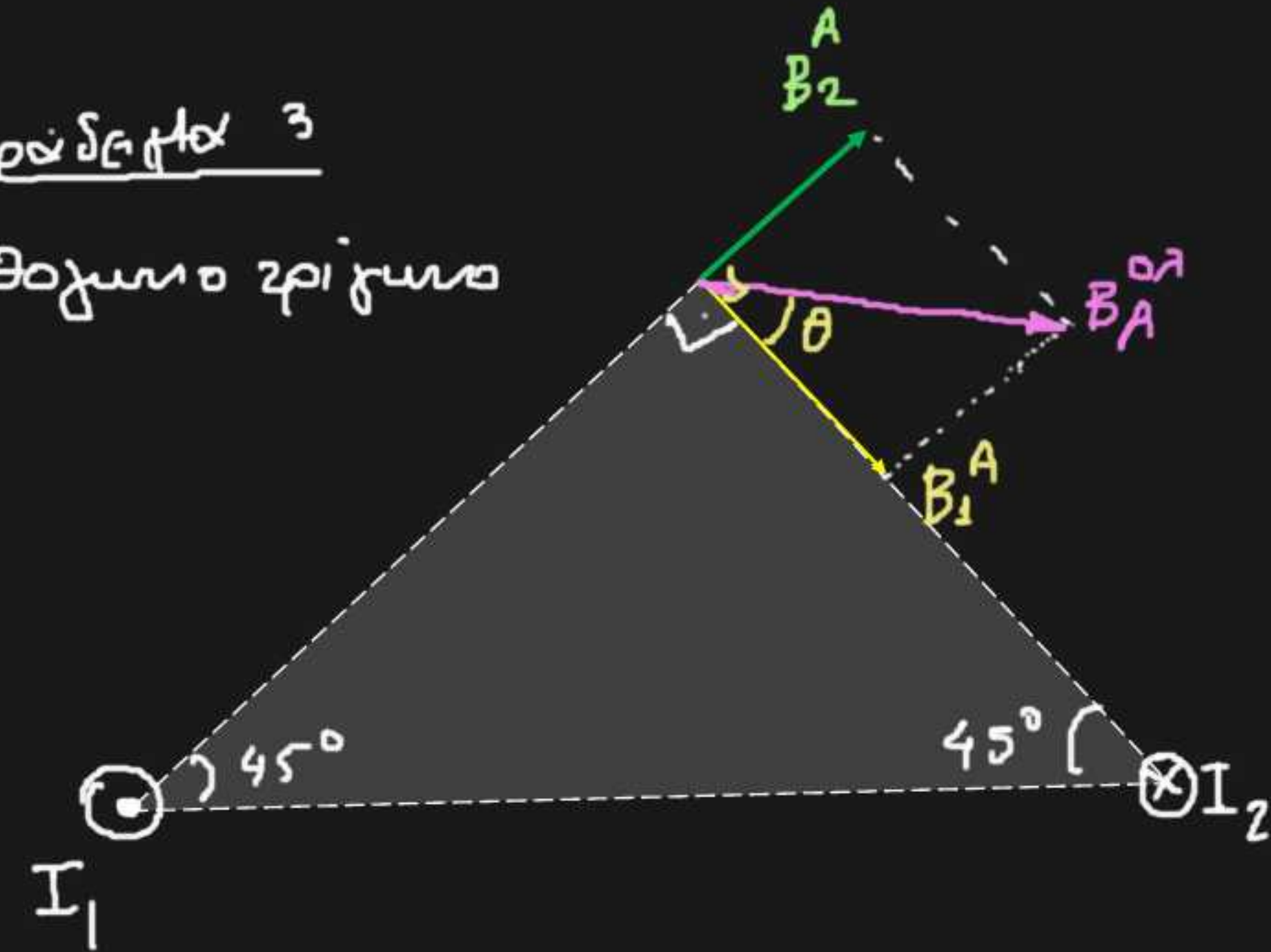
Προσοχή! Τα B κάθετα στην απόσταση από τα I

Γε ισοπλευρο: $\varphi = 60^\circ$

$$B_{0\lambda} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 \cos 120^\circ}$$

Παράδειγμα 3

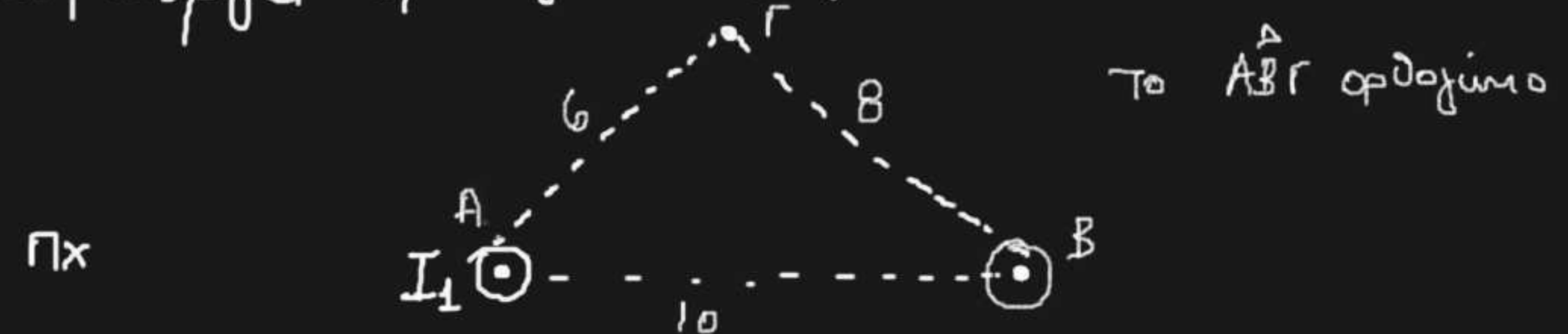
ορθογώνιο τρίγωνο



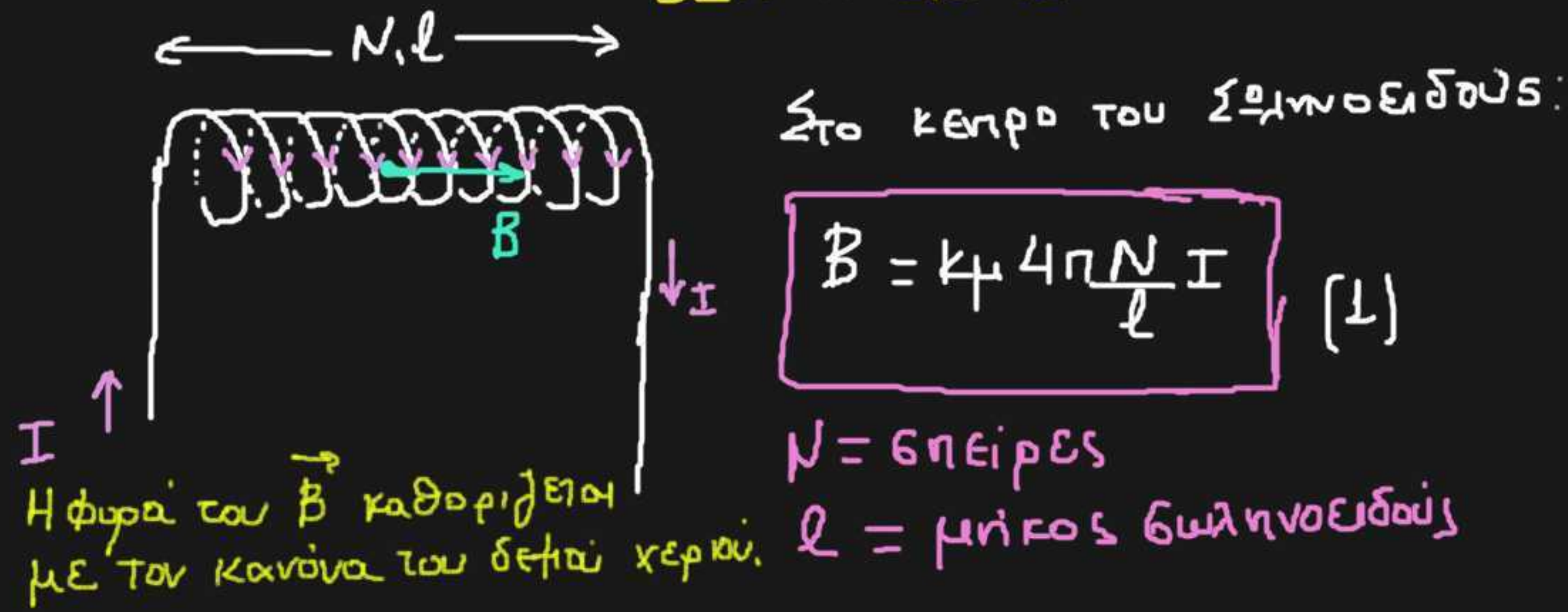
$$B_2^A \perp B_1^A \Rightarrow B_{0\lambda} = \sqrt{B_1^A + B_2^A}$$

$$\tan \theta = \frac{B_2}{B_1}$$

(*) Προσέχουμε αν το σημείο όπου ζητείται το $B_{0\lambda}$ δημιουργεί ορθογώνιο τρίγωνο με τους αγωγούς



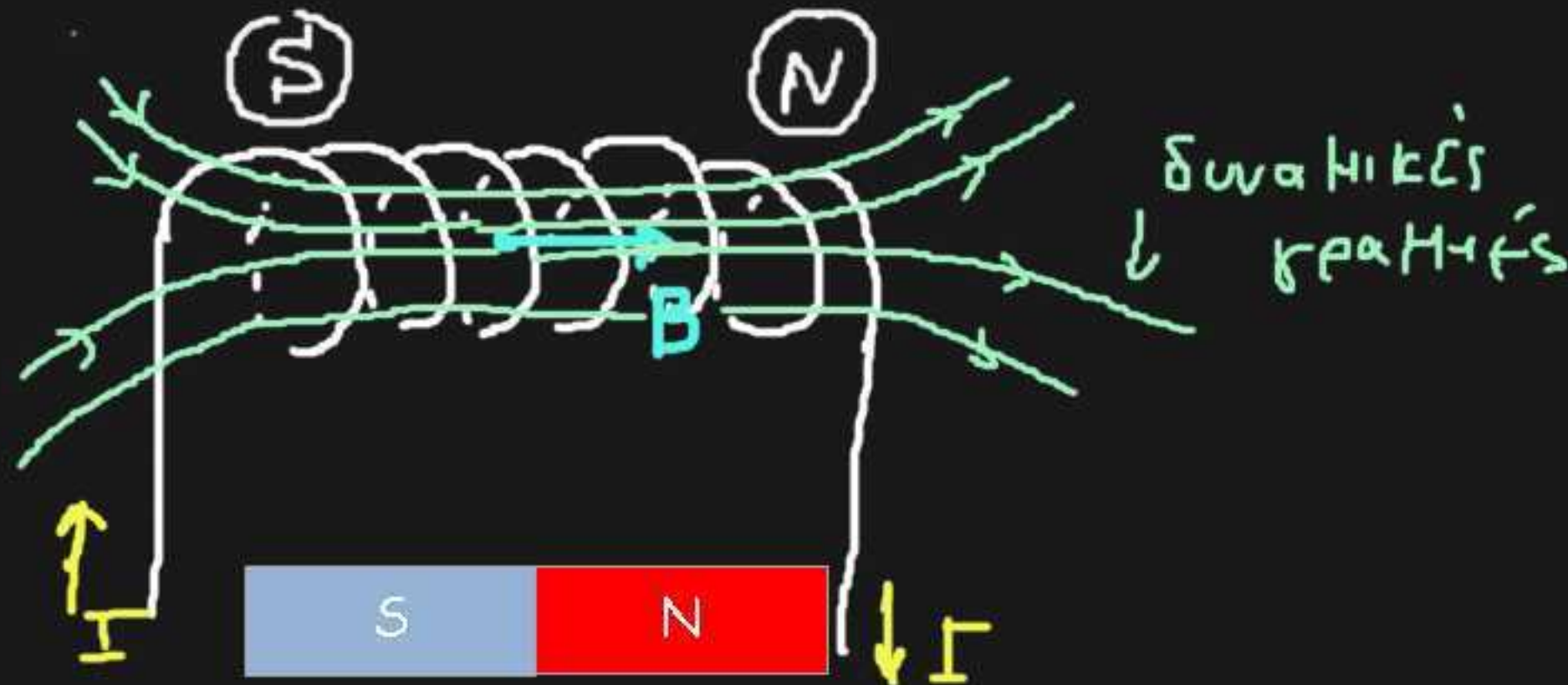
ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ 4: ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΣΩΛΗΝΟΕΙΔΟΥΣ



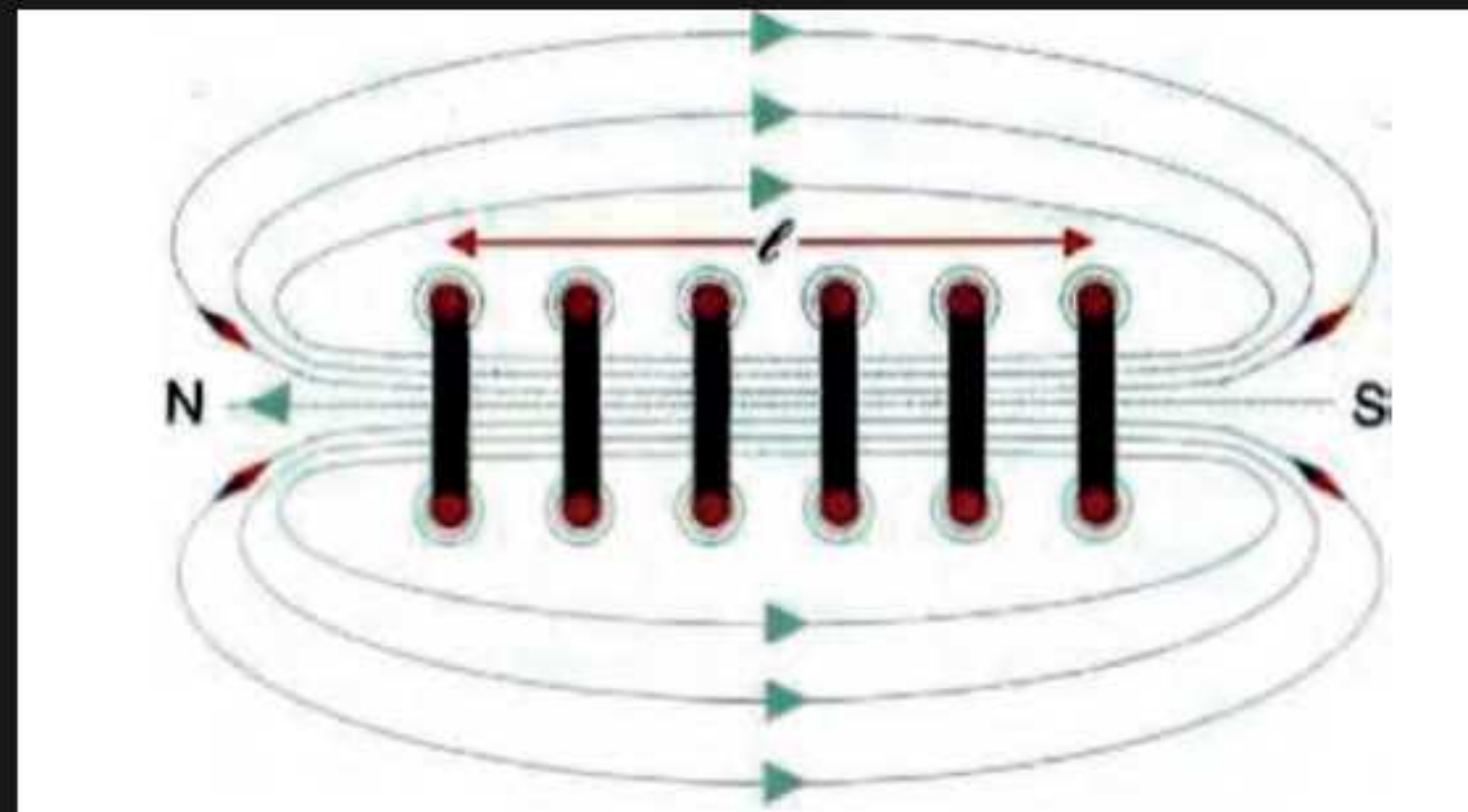
$n = \frac{N}{l}$ = σπείρες ανά μονάδα μήκους

(1) $\rightarrow B = \mu_0 4\pi n I$

• Στο άκρο του σωληνοειδούς: $B_{\text{άκρο}} = \frac{B_{\text{κέντρο}}}{2}$

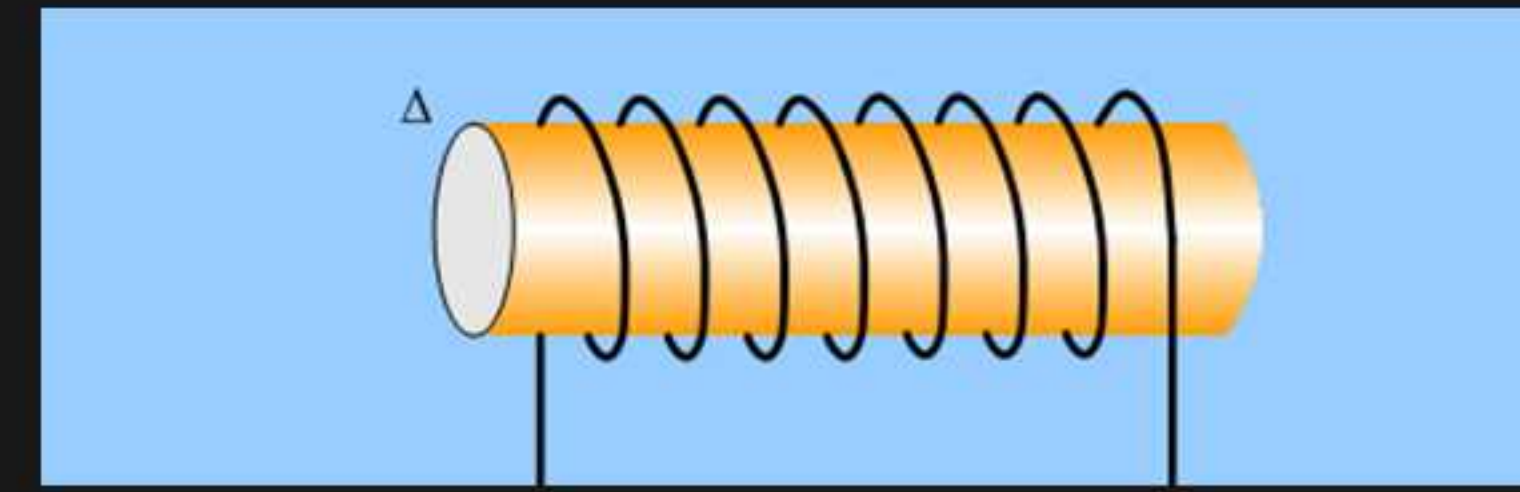


• Το σωληνοειδές συμπεριφέρεται ως ψαθυρικό δίπολο



• Οι γραμμές στο εσωτερικό του σωληνοειδούς είναι ομογενείς (το πεδίο είναι ομογενές)

Η ύλη επάνω του μαγνητικού πεδίου

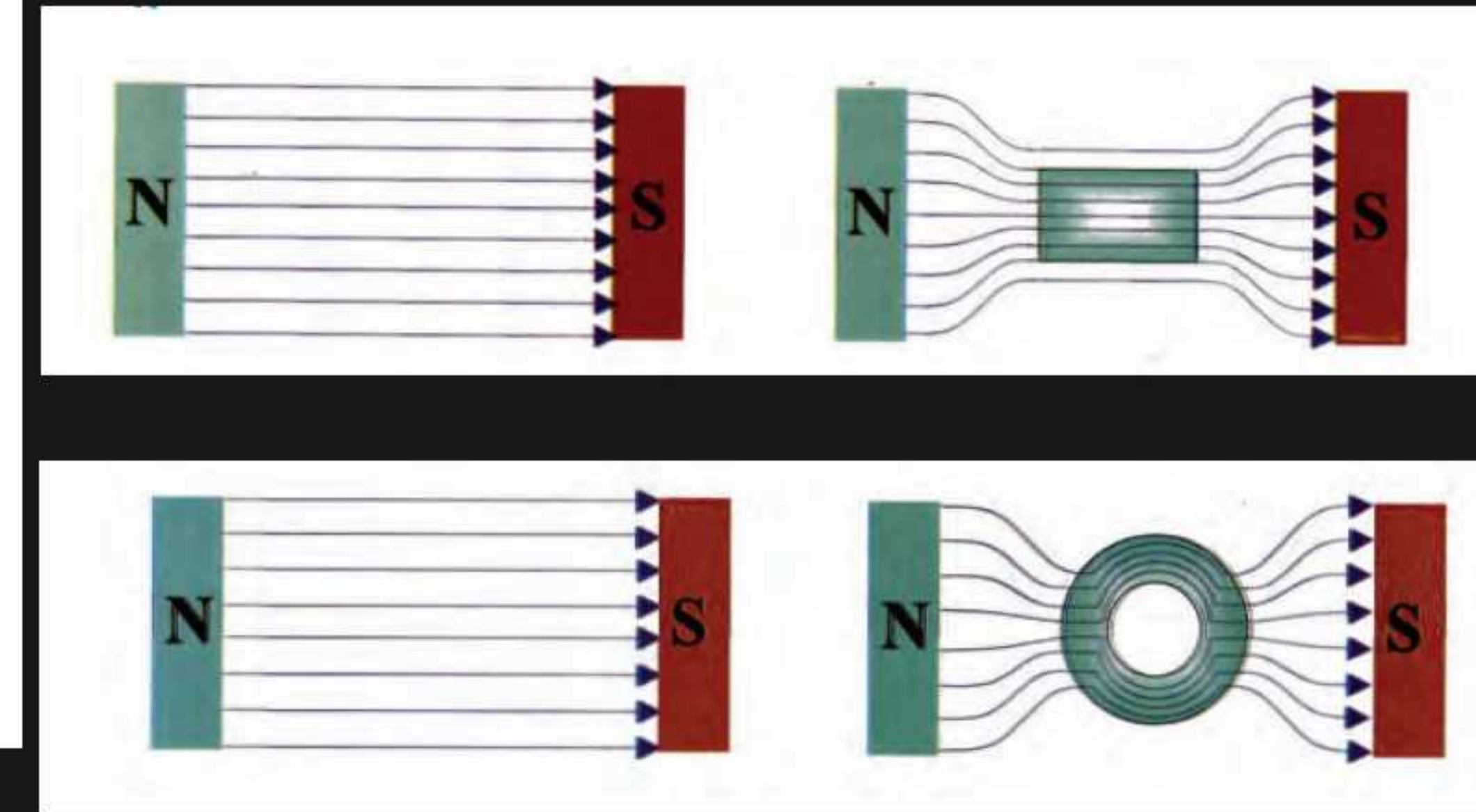


Αν ανάμεσα στις σπείρες του σωληνοειδούς υπάρχει κενό τότε το μαγν. πεδίο έχει τιμή B .
 Αν τοποθετήσουμε στο εσωτερικό του υλικό ηκ μαλακό σίδηρο τότε το μαγνητικό πεδίο γίνεται B' :

$$\mu = \frac{B'}{B}$$

μ = μαγνητική διαπερατότητα του υλικού

Μαγνητική διαπερατότητα	Υλικά	Χαρακτηρισμός
$\mu \gg 1$	Fe, Ni, Co	Σιδηρομαγνητικά
$\mu > 1$	Al, Cr	Παραμαγνητικά
$\mu < 1$	C, Cu	Διαμαγνητικά



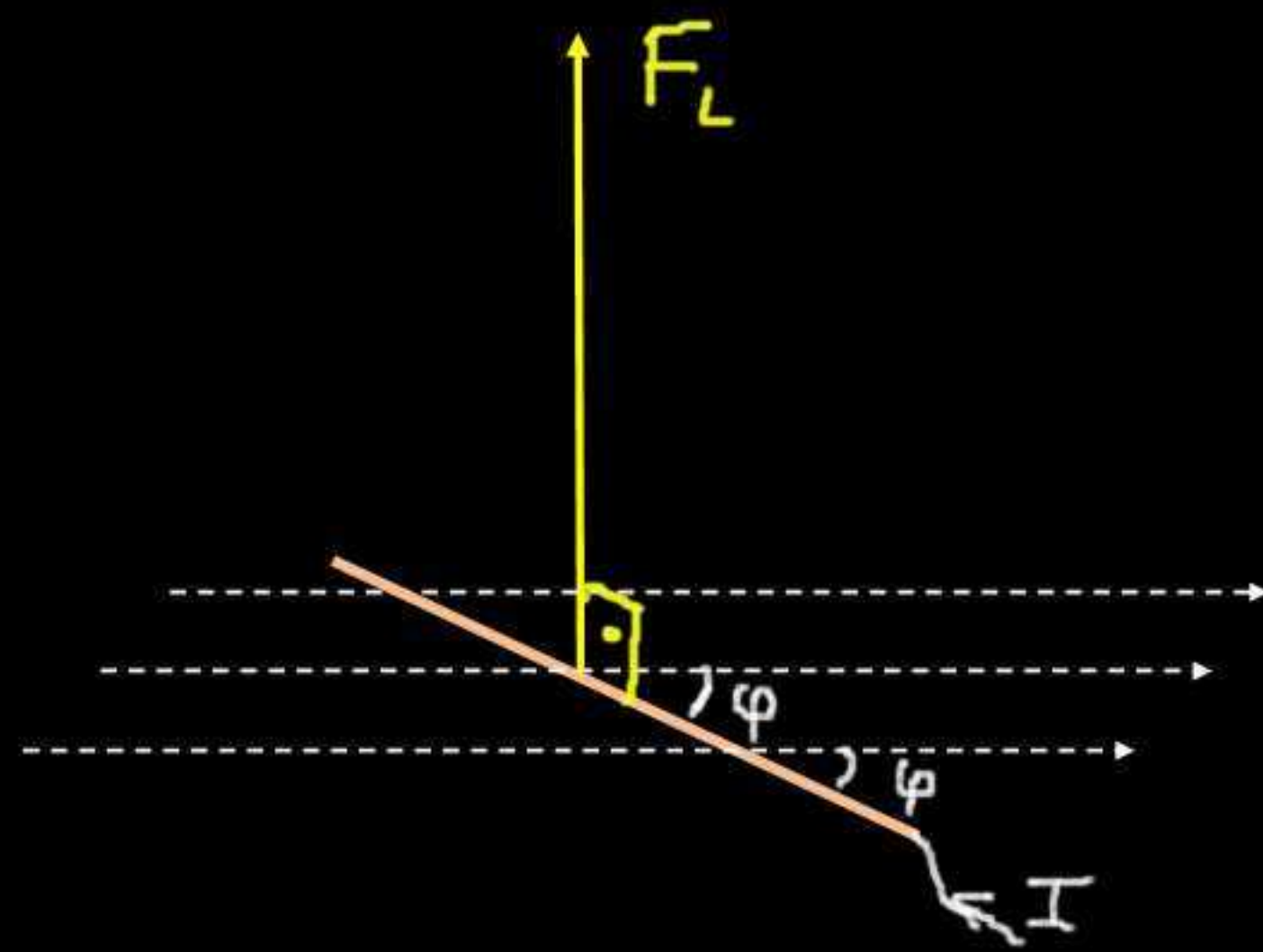
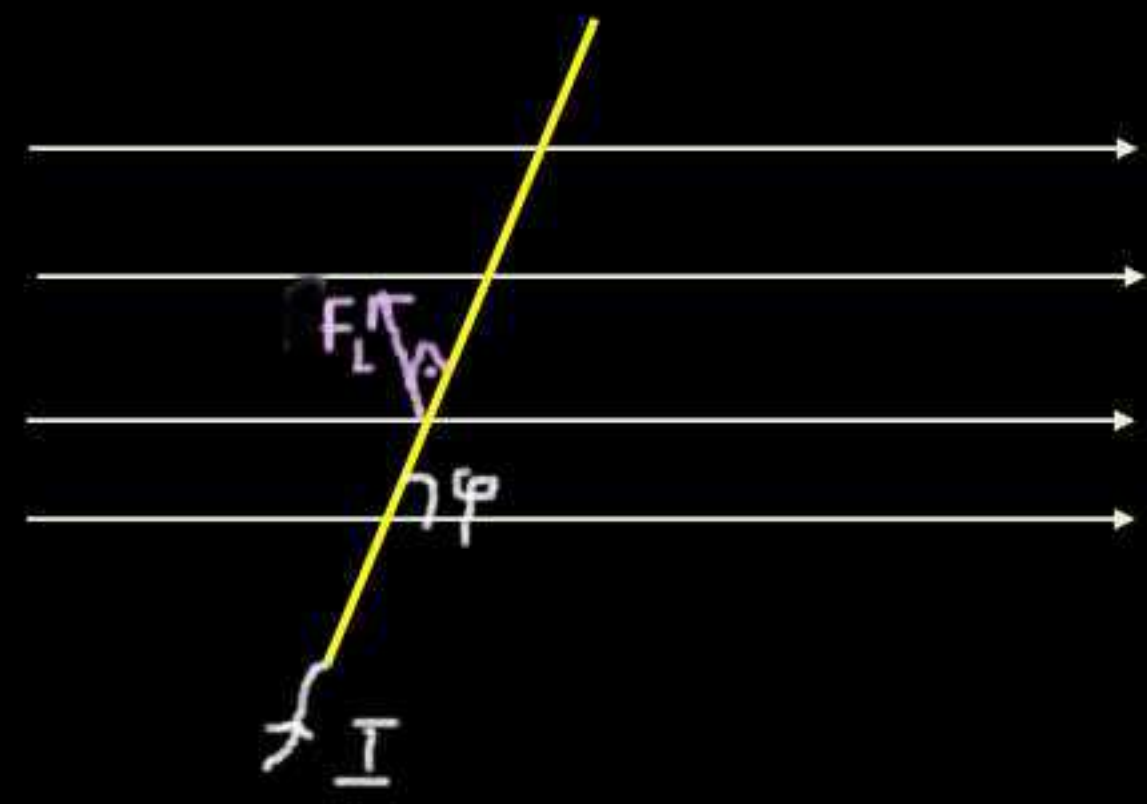
Μερικά υλικά διατηρούν τις μαγνητικές τους ιδιοτητες δηλ παραμένουν μόνιμοι μαγνήτες (πάθυβας)

Ερωτήσεις - Ασκήσεις βιβλίου.

Ηλεκτρομαγνητική δύναμη (δύναμη Laplace F_L)

Δύναμη Laplace:

Η δύναμη που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε ρευματοφόρο αγωγό που βρίσκεται εντός του



$$F_L = B I \ell \sin \varphi \quad (I)$$

B = ένταση Μ. πεδίου

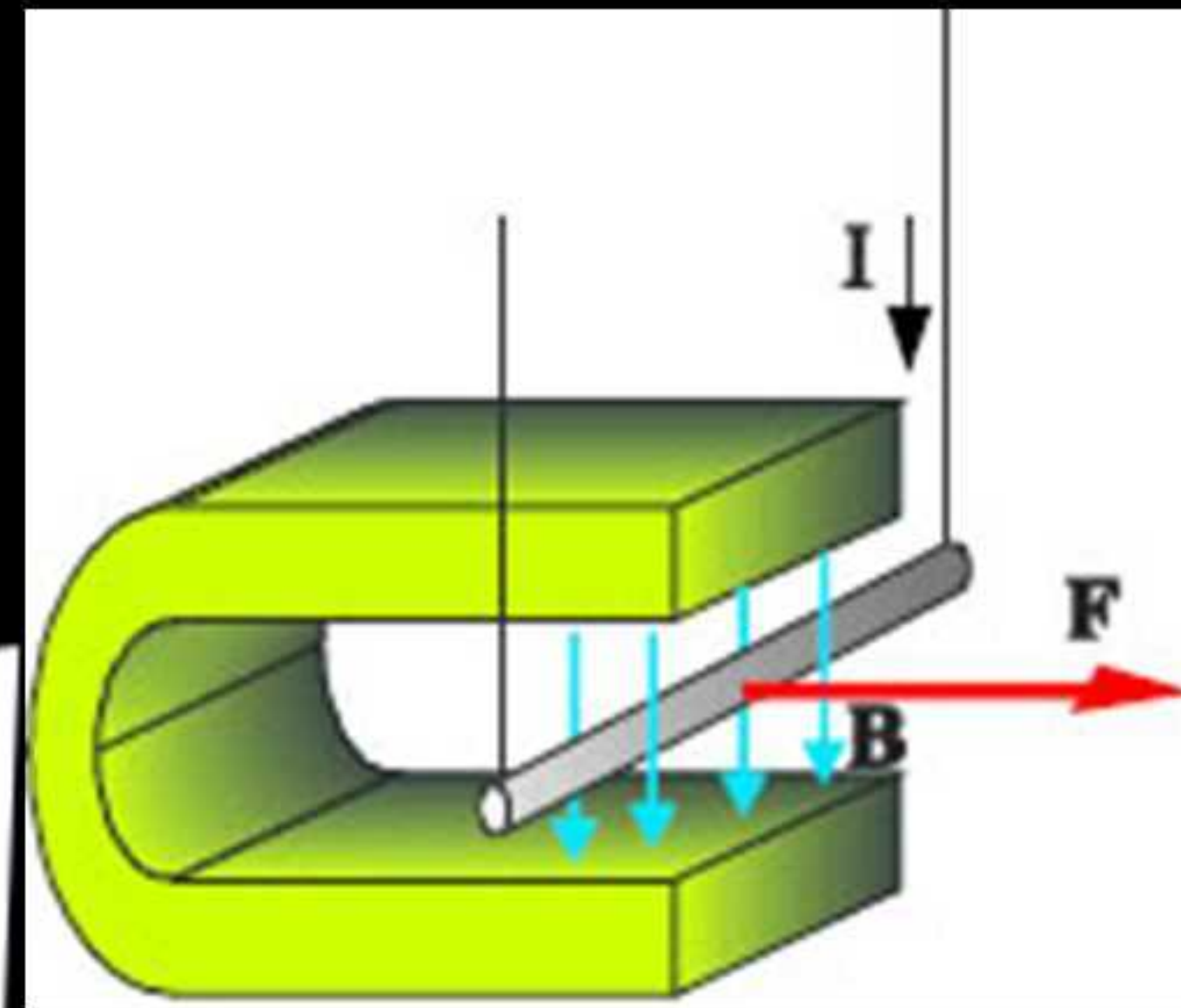
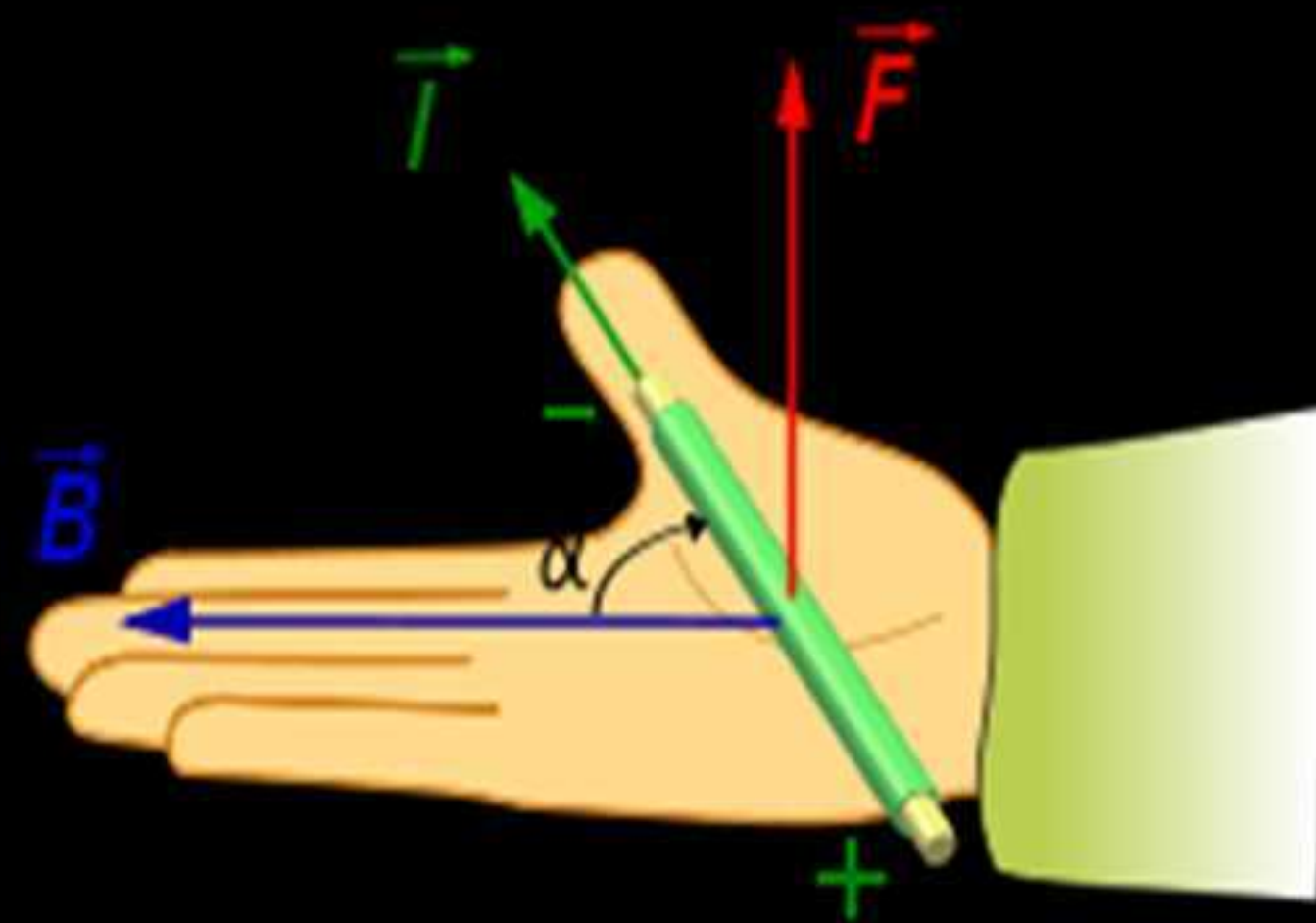
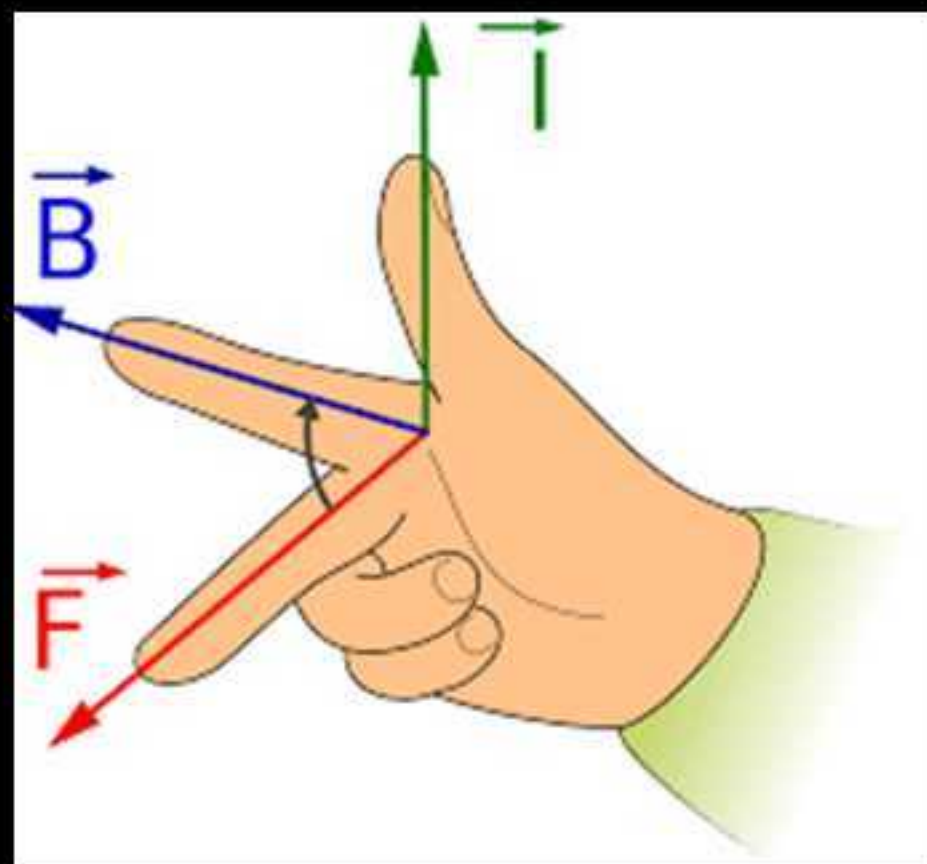
I = ένταση ρεύματος

ℓ = μήκος αγωγού

φ = γωνία μεταξύ αγωγού και δυναμικών γραμμών

σημείο εφαρμογής F_L : Το μέσο του αγωγού

φορά: κανόνας δεξιού χεριού



Από την (I) προκύπτει ο ορισμός της έντασης B όπως και ο ορισμός του 1 T.

$$(I) \Rightarrow B = \frac{F_L}{I \cdot \ell} \quad [B] = 1T = 1 \frac{N}{A \cdot m} \quad \left(\begin{array}{l} \text{δύναμη} \\ \text{εμβαδόν} \end{array} \right)$$

Από (I): Αν $\varphi = 0 \rightarrow$ ο αγωγός παραλληλός στις δυναμικές γραμμές $\Rightarrow F_L = 0$

Αν $\varphi = \frac{\pi}{2} \rightarrow$ αγωγός $\perp B \Rightarrow F_L = B I \ell$

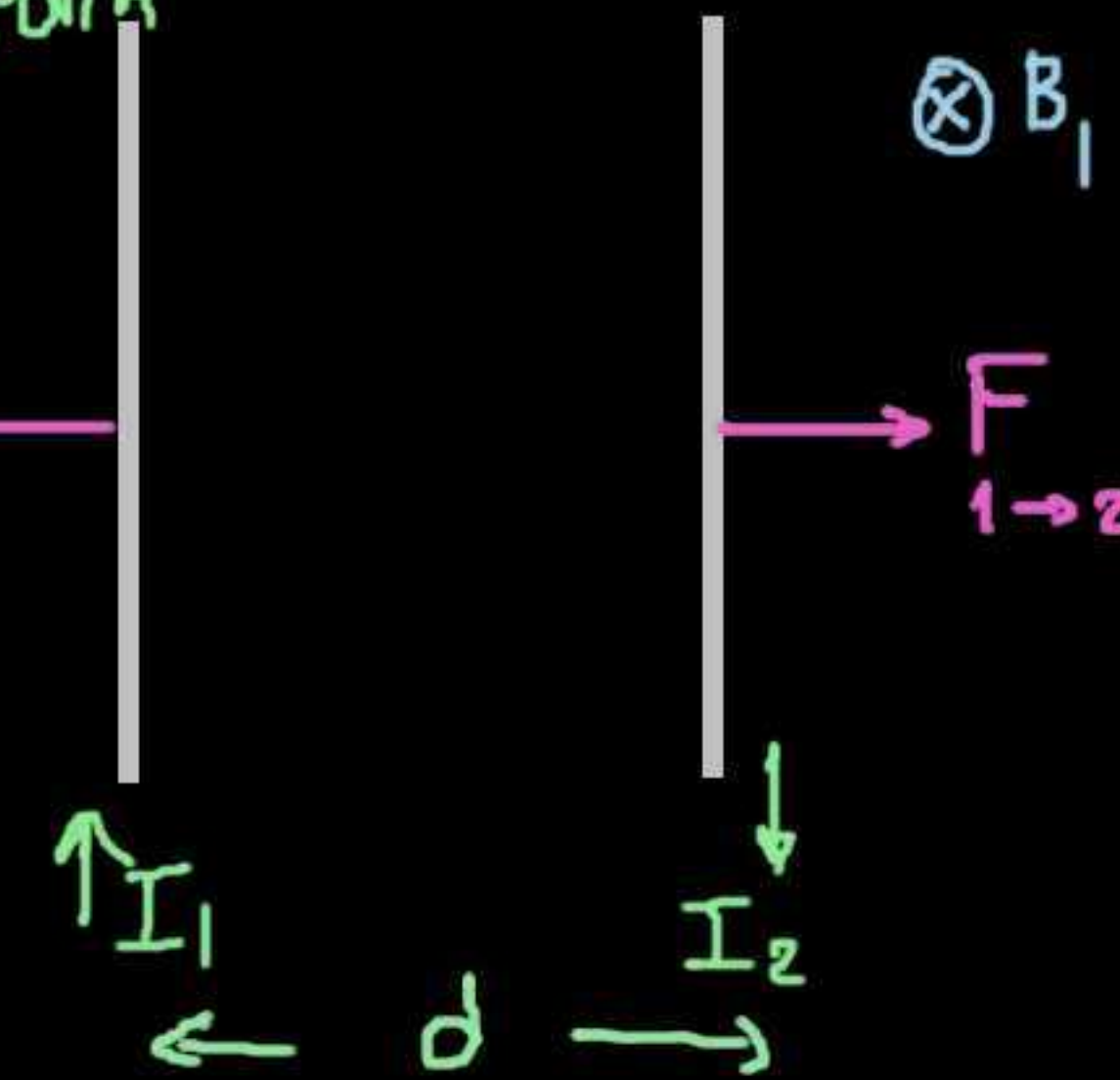
Προσοχή! Το ℓ είναι το μήκος του αγωγού που είναι εντός του B .

ΔΥΝΑΜΗ ΜΕΤΑΞΥ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΠΟΥ ΔΙΑΡΡΕΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΡΕΥΜΑ.

1) ΟΜΟΡΡΟΙΑ

$\odot B_2$

F_{21}

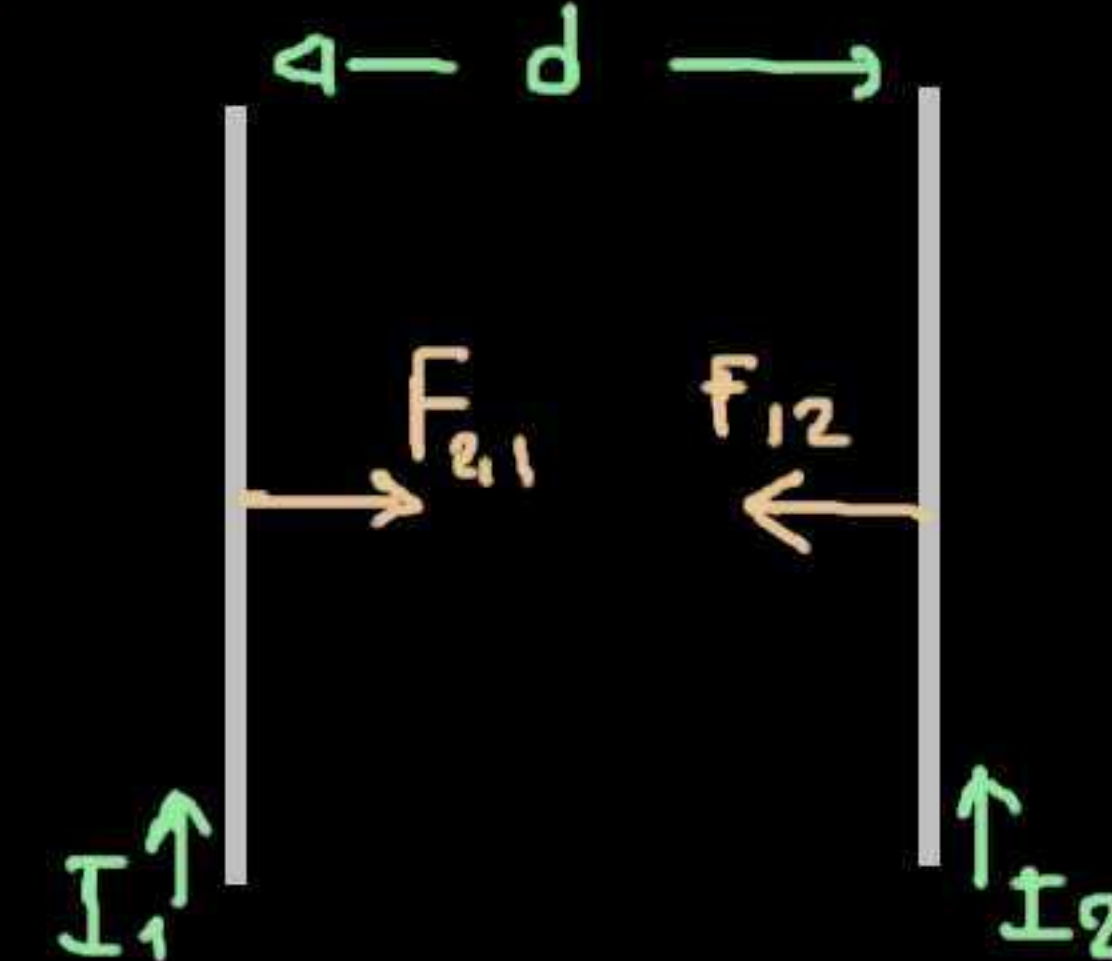


Οι αγωγοί απωθούνται αμοιβαία.

$$F = k_\mu \frac{2 I_1 I_2 \ell}{d}$$

d = απόσταση αγωγών
 ℓ = μήκος αγωγού

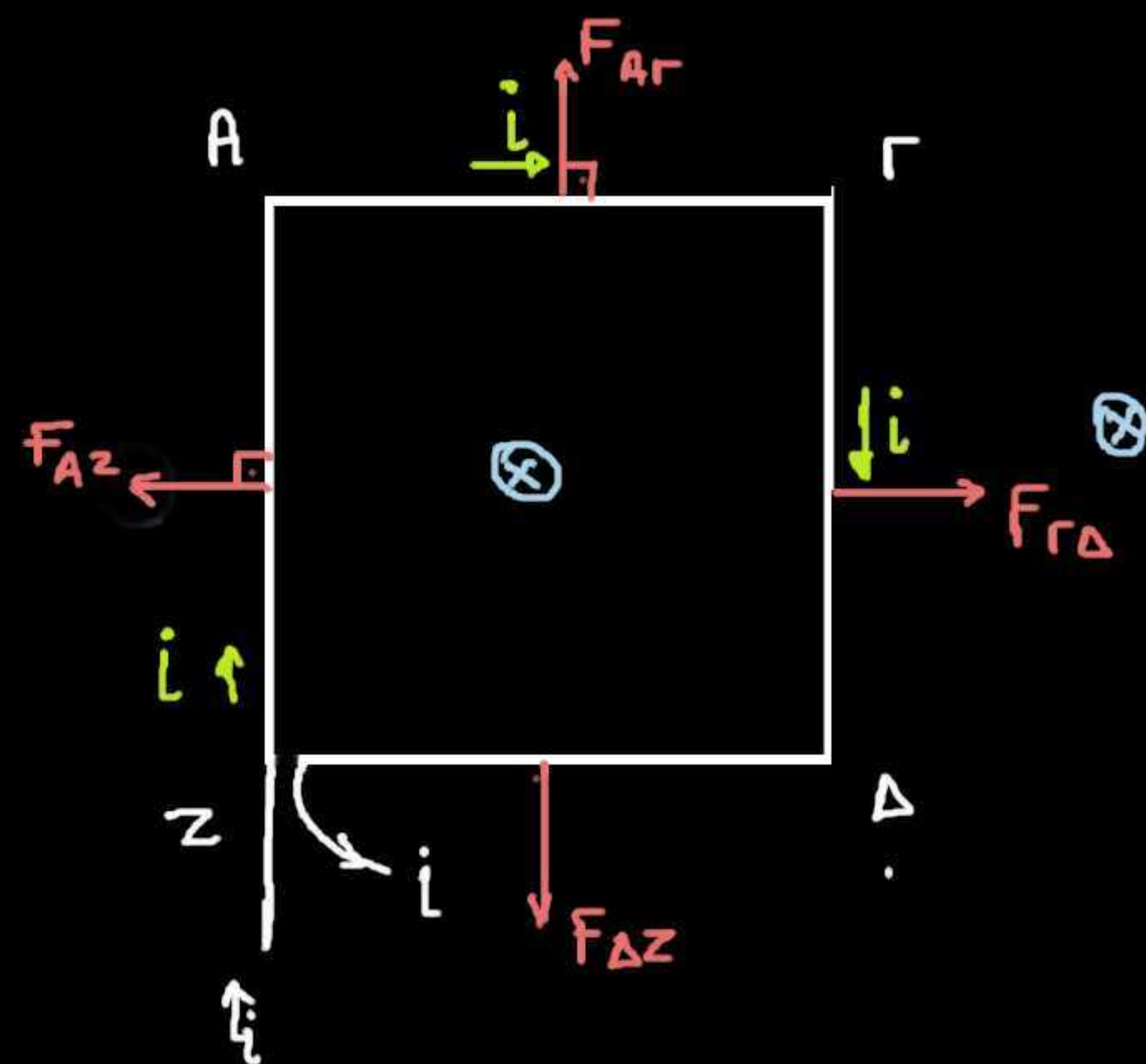
2) ΟΜΟΡΡΟΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ



Οι αγωγοί έλκονται αμοιβαία

$$F = k_\mu \frac{2 I_1 I_2 \ell}{d}$$

Παί να βρεθεί η συνολική δύναμη που ασκείται στο τετραγωνικό πλαίσιο



Ελεύθερο Γράφημα

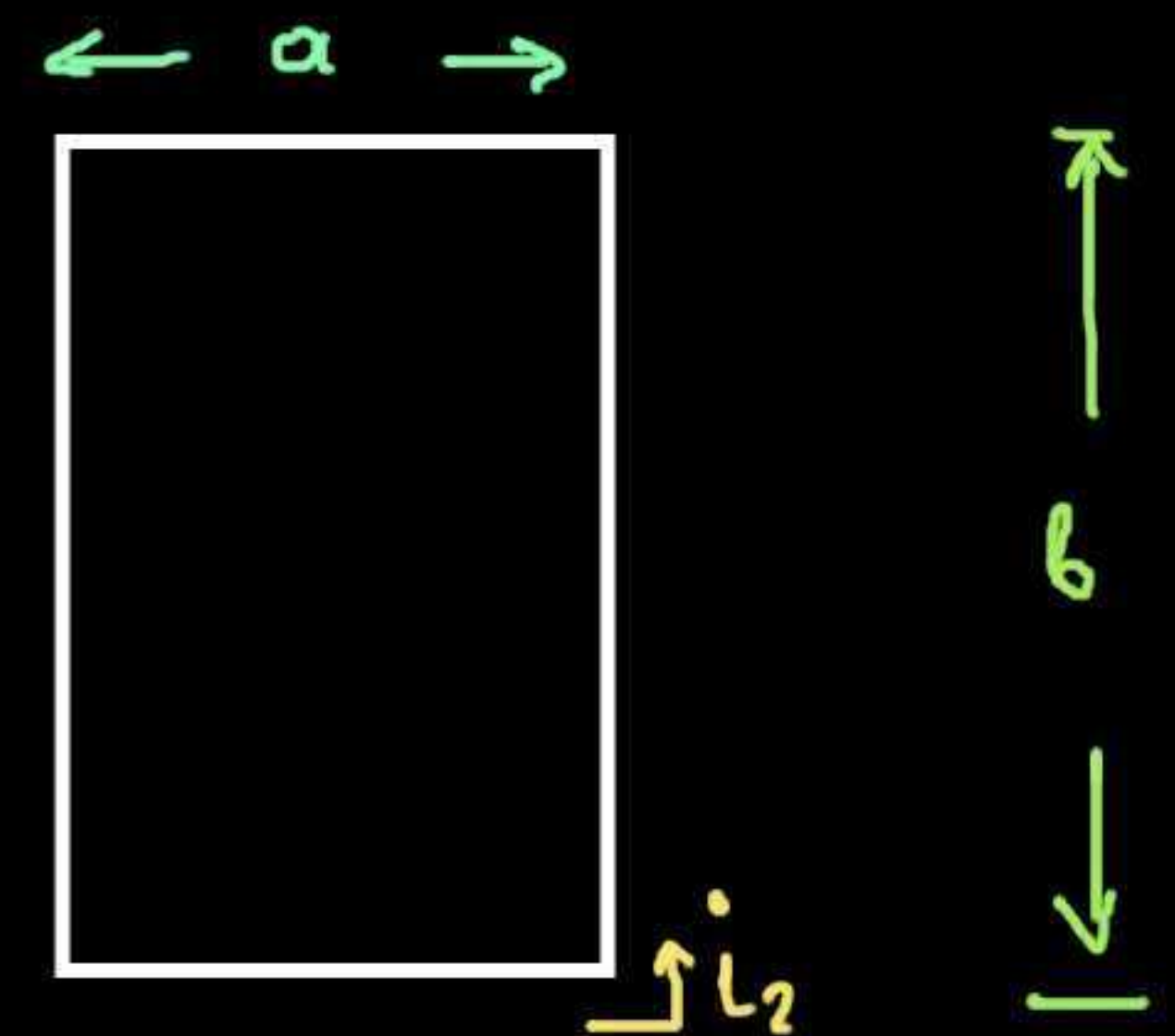
$$F_{Az} = F_{Ax} = F_{\Delta z} = F_{\Delta x}$$

$$= F_{Az} = k \mu \frac{2i}{a}$$

αφ' ου

$$\sum F = 0$$

* $i_1 = 4A$
 $a = 4cm, b = 3cm$
 * $i_2 = 2A$
 $d = 2cm$
 $f_{\text{πλαισίου}} = j$

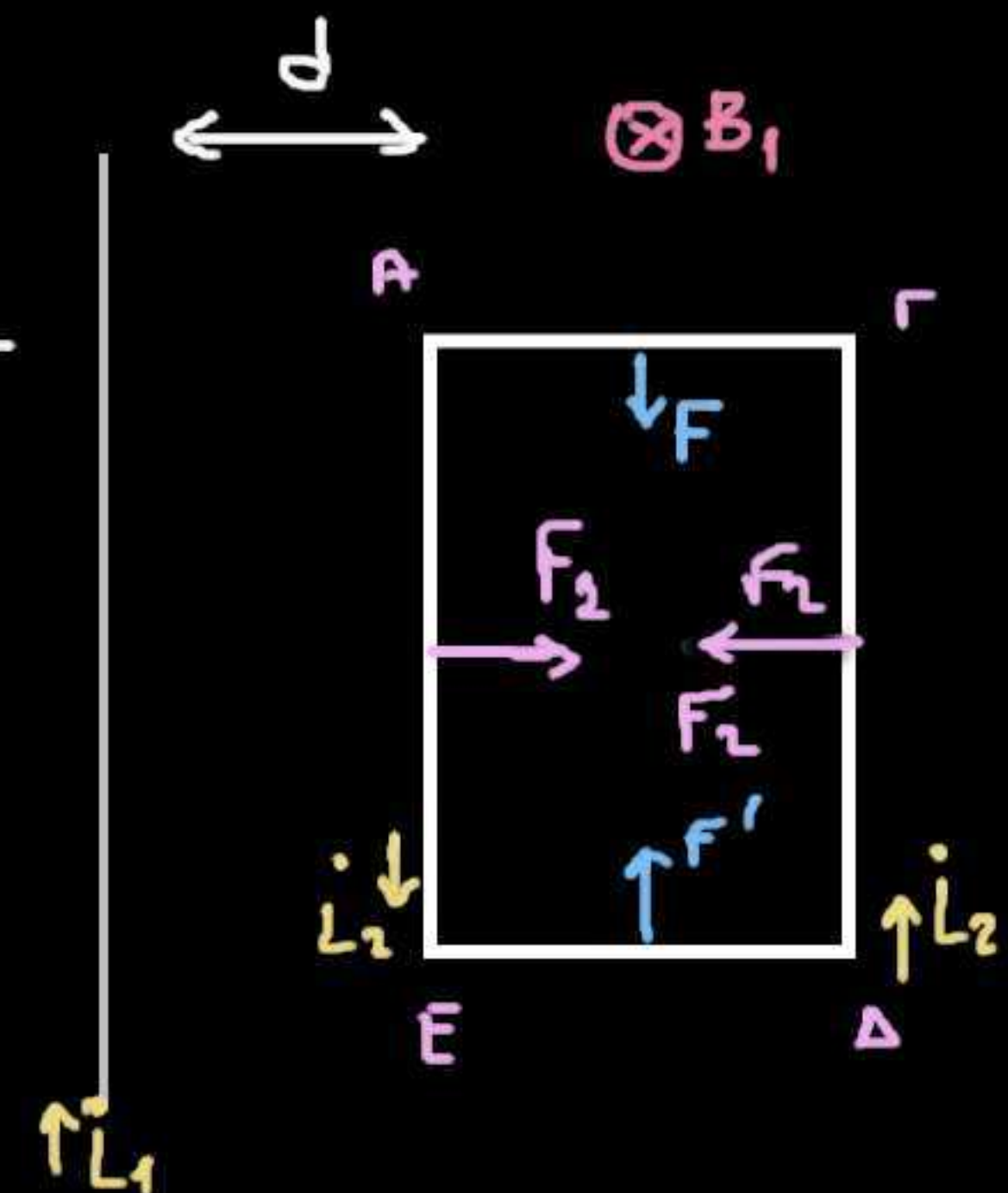


$i_1 \uparrow$ $\leftarrow d \rightarrow$

Στα σημεία (ΑΓ) και (ΕΔ)
 οι δυνάμεις F και F' αλληλο-

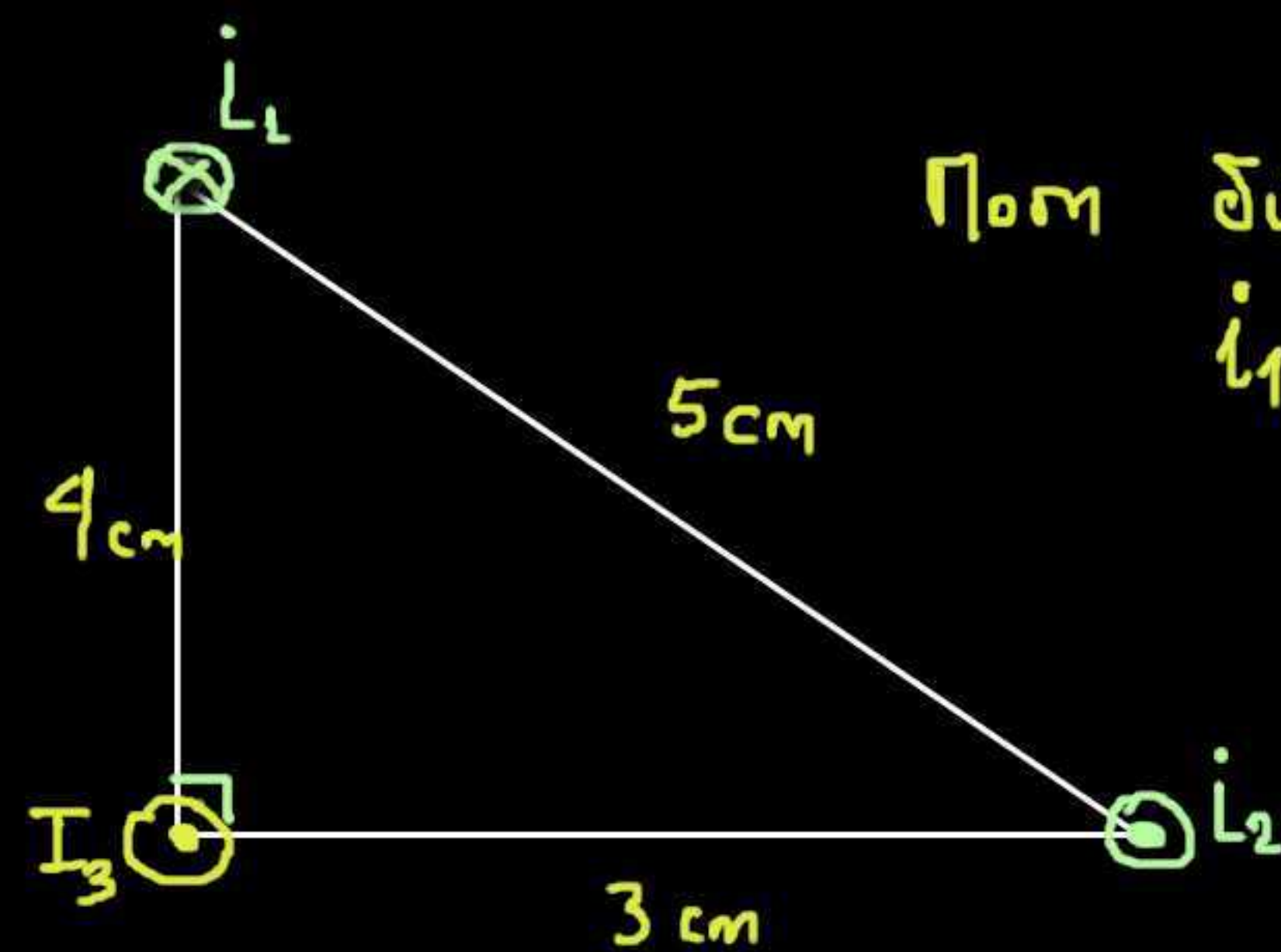
* αναιρούνται:

Για την $F_1 = B_1 \cdot i_2 (AE)$
 $= k \mu \frac{2I_1 I_2}{d} (AE) = k \mu \frac{2I_1 I_2}{d} b$



Για την $F_2: F_2 = k \mu \frac{2I_1 I_2}{(d+a)} b$

$F_{\text{ολ}} = F_1 - F_2 \Rightarrow F_{\text{ολ}} = k \mu 2 I_1 I_2 \cdot \left[\frac{1}{d} - \frac{1}{d+a} \right] b$



Ποση δύναμη δέχεται το I_3 ;
 $i_1 = 4A, i_2 = 3A$

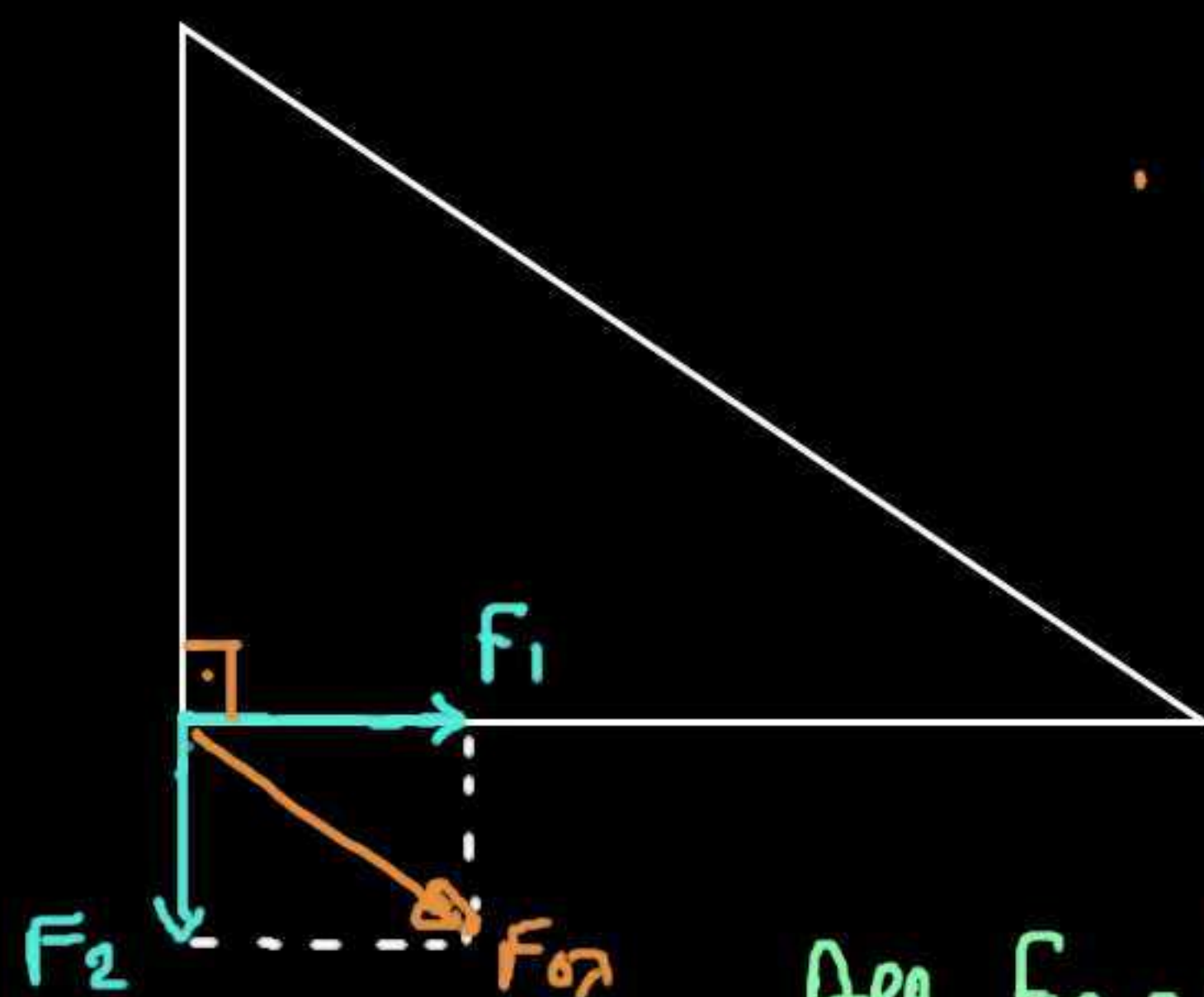
$F_1 = k \mu \frac{2I_1}{r_{13}} = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 4}{4 \cdot 10^{-2}}$

$F_1 = 2 \cdot 10^{-5} N$

$F_2 = k \mu \frac{2I_2}{r_{23}} = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 3}{3 \cdot 10^{-2}}$

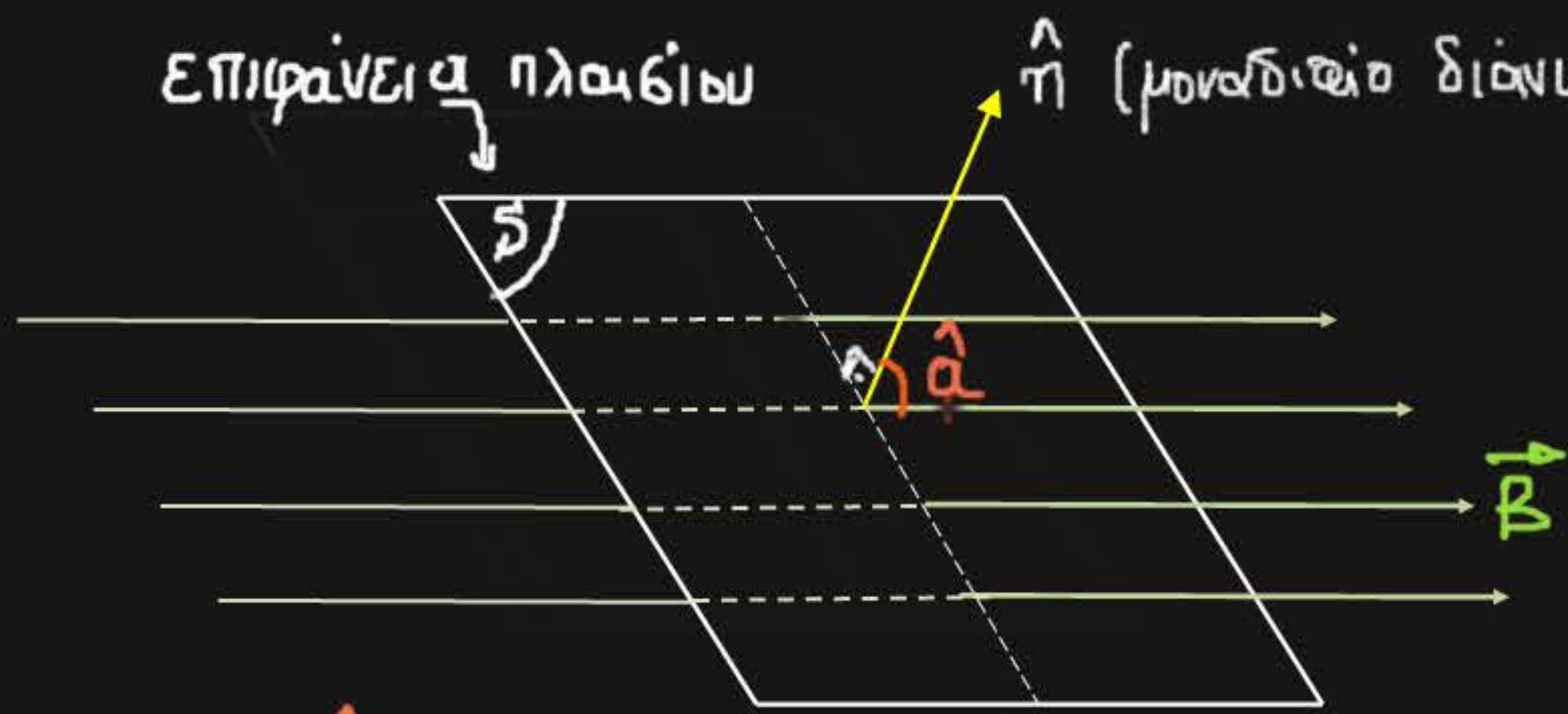
$\Rightarrow F_2 = 2 \cdot 10^{-5} N$

Αρα $F_{\text{ολ}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{2(2 \cdot 10^{-5})^2} \Rightarrow F = 2 \cdot 10^{-5} \sqrt{2} N$



ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΗ (Φ): Δηλώνει το πλήθος των δυναμικών γραμμών που διαπερνούν μέσα από μια επιφάνεια S

Επιφάνεια πλακιδίου $\hat{n}$ (μοναδιαίο διάνυσμα επιφάνειας)



Μαγνητική Ροή Φ

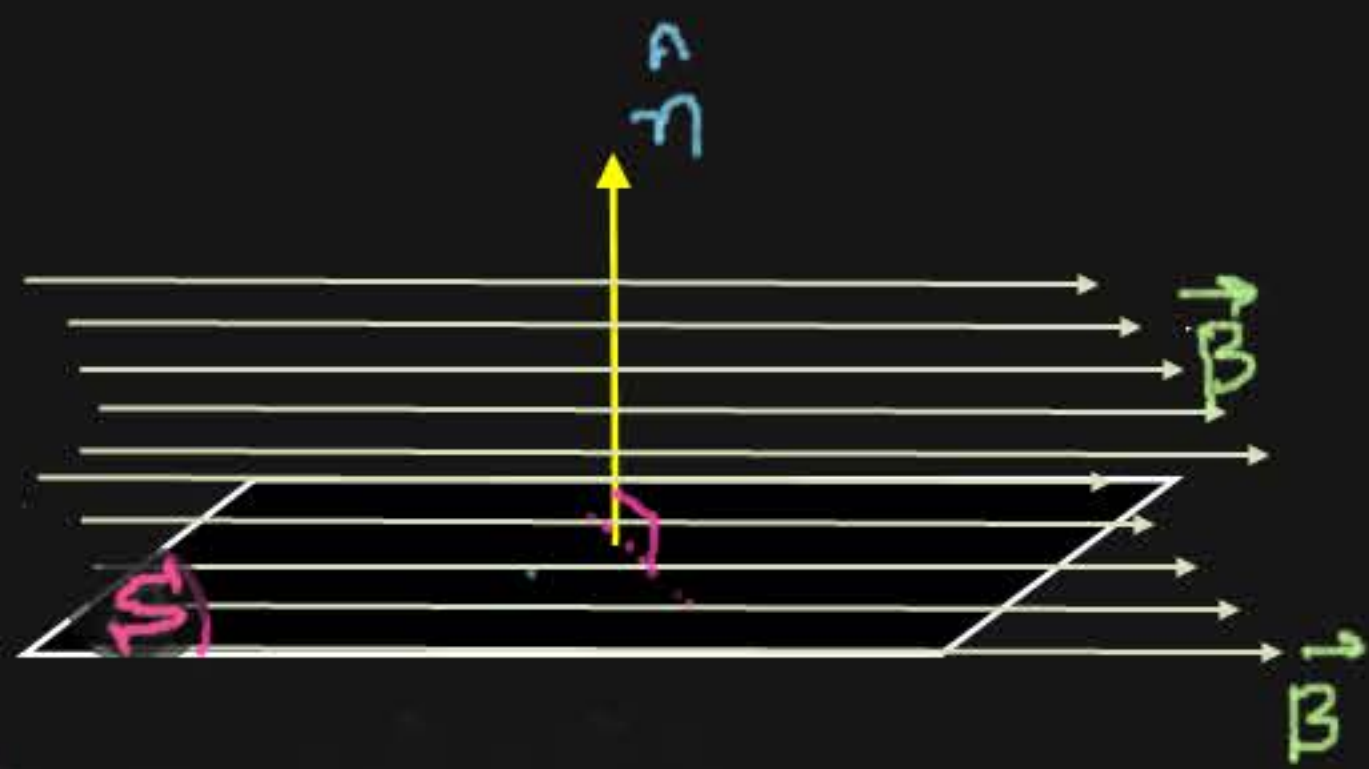
$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \hat{\alpha}$$

$\hat{\alpha}$ = γωνία μεταξύ δυναμικών γραμμών και ηλαδίου ($\hat{n}$)

Μονάδα Μαγνητικής Ροής: $1 \text{ Wb (βέμπερ)} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$
• Μονόμετρο μέγεθος

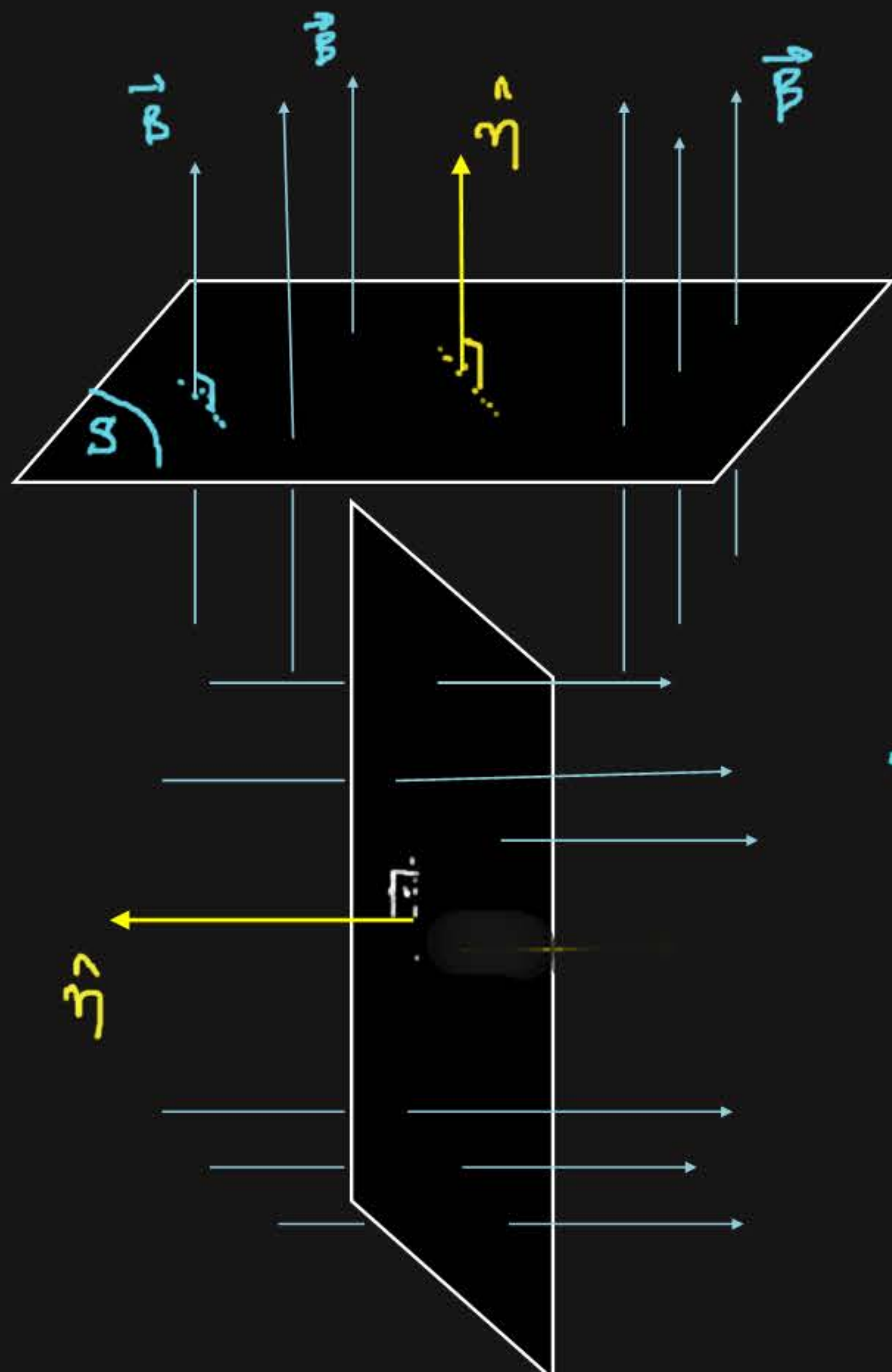
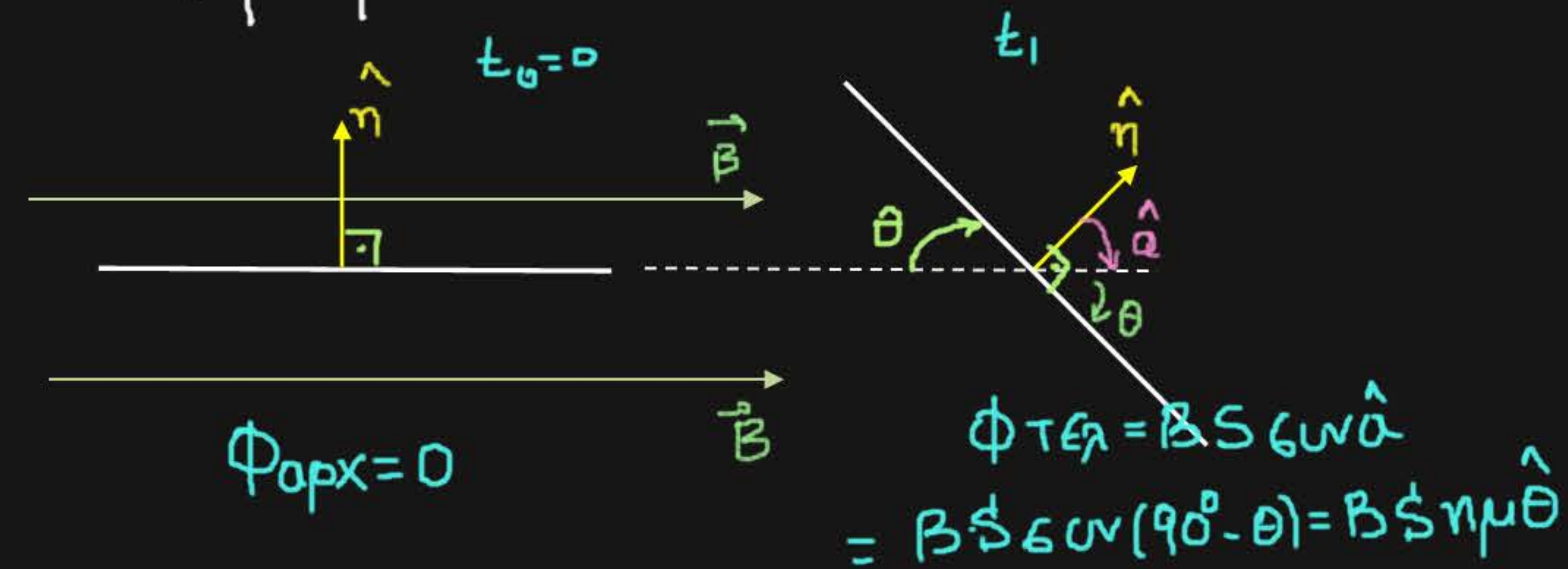
• Όσο μεγαλύτερο το πλήθος των γραμμών τόσο μεγαλύτερη είναι η ροή.

• Περίστροφή ηλαδίου



$$\Phi = 0 \quad (\hat{n} \perp \vec{B})$$

$$\cos \frac{\pi}{2} = 0$$



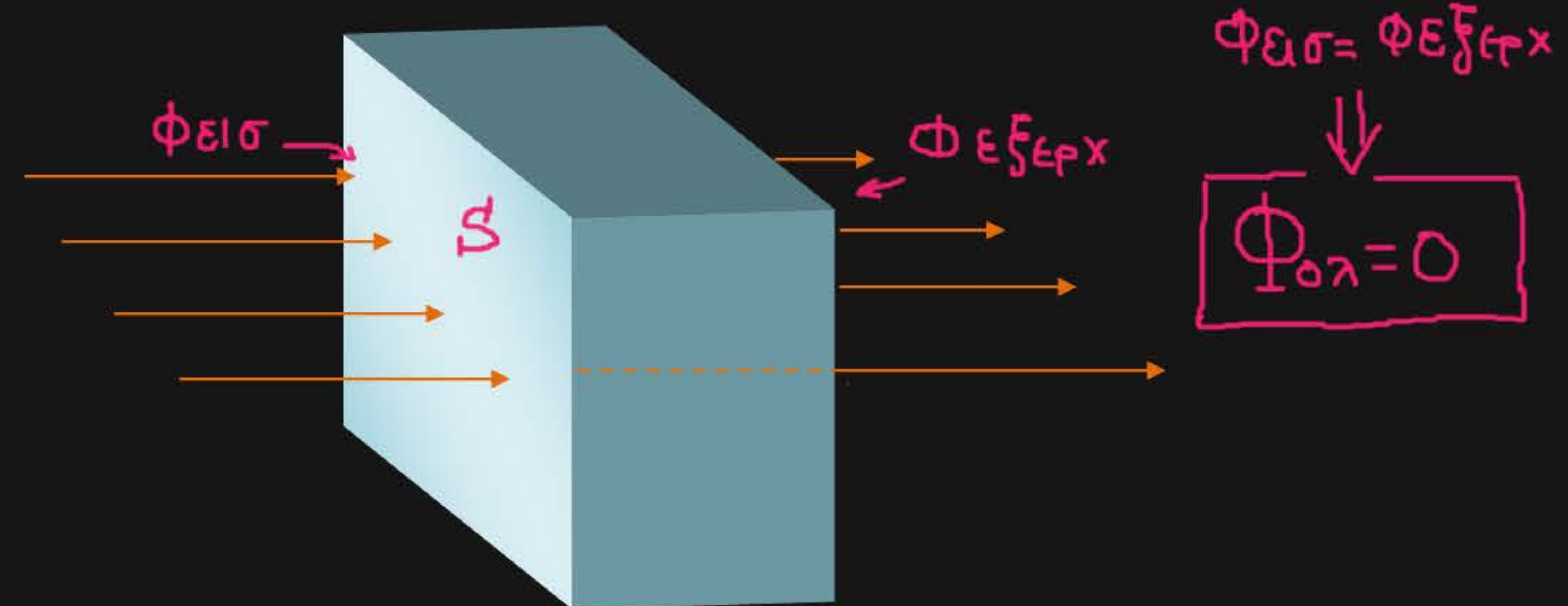
$$\Phi_{\text{max}} = B \cdot S \quad (\hat{n} \parallel \vec{B})$$

$$\cos 0^\circ = 1$$

$$\Phi = -B S \quad (\hat{n} \uparrow \downarrow \vec{B})$$

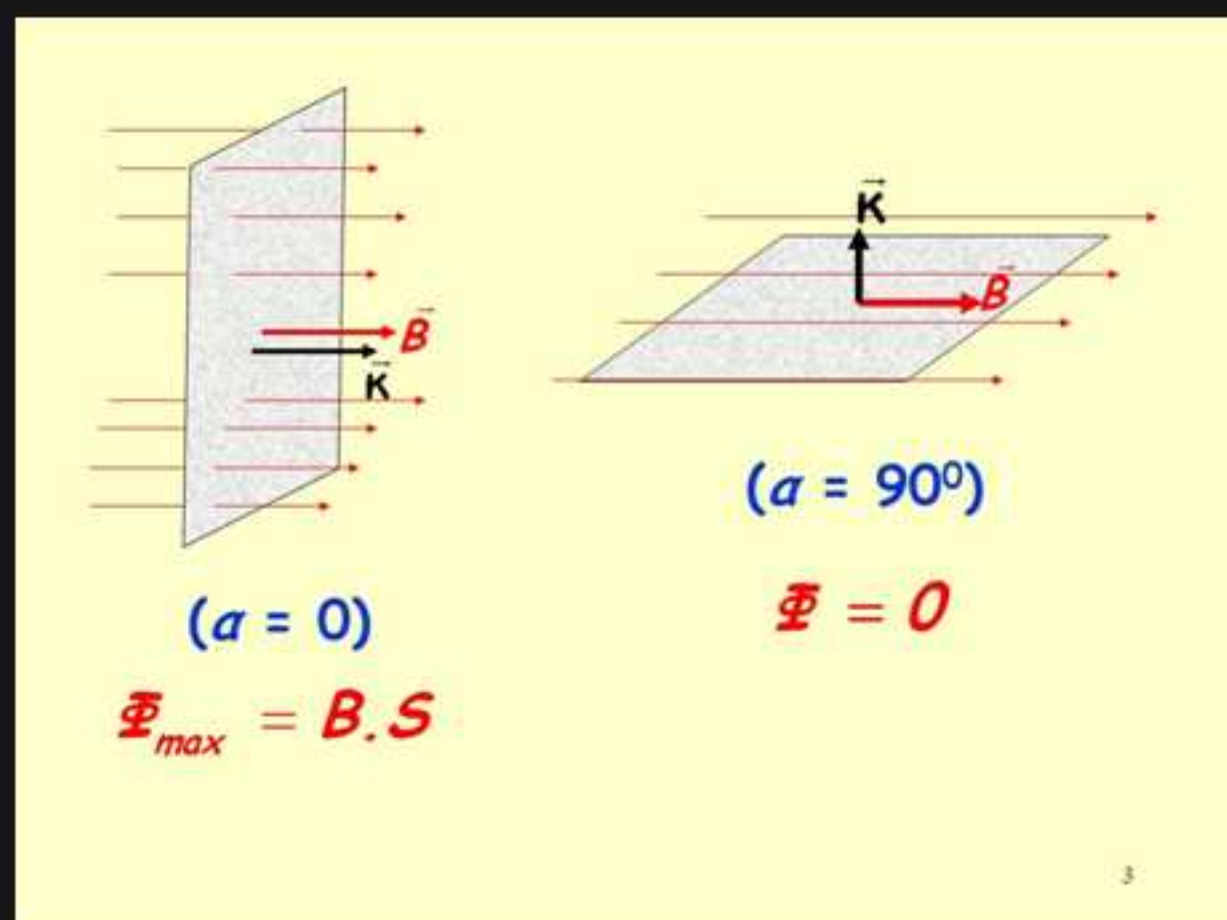
$$\cos \hat{\alpha} = -1$$

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΡΟΗ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ



ΜΕΘΗΝΑΤ: Μεταβολή Ροής ($\Delta\Phi$)

$$\Delta\Phi = \Phi_{\text{τελ}} - \Phi_{\text{αρχ}}$$



Για να συμβεί μεταβολή ροής:

- i) Αλλαγή τιμής μέγους $\vec{B}$
- ii) $\gg$ κατεύθυνσης $\vec{B}$
- iii) Στροφή ηλαιοσίου (αλλαγή επιφάνειας).

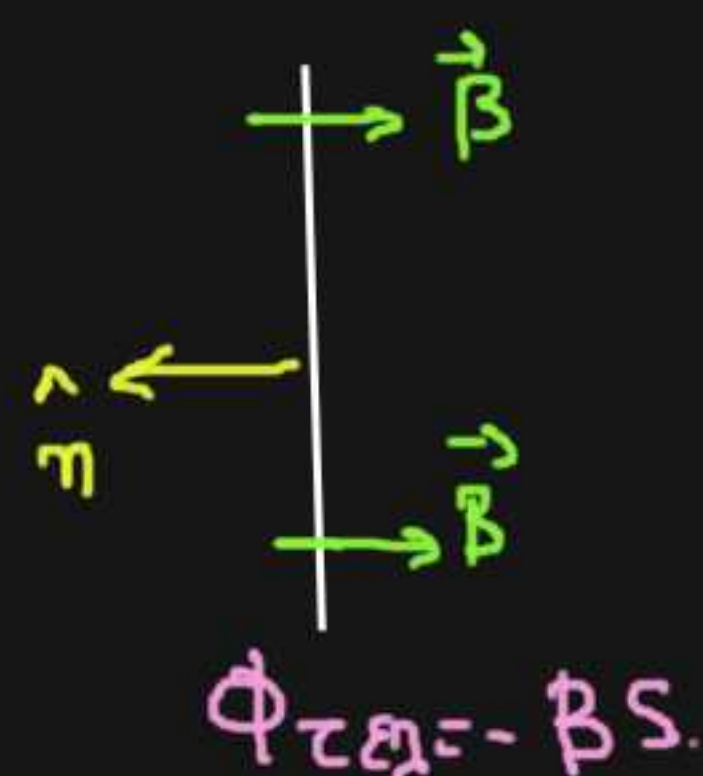


• Κανόνες του Lenz: Αμείση ενένεια της Α.Δ.Ε.

Το επαγωγικό ρεύμα έχει τέτοια φορά ώστε το μαγνητικό του πεδίο να αντιστέκεται στο αίτιο που το προκάλεσε.



ηλχ: ξ τροπή 180°



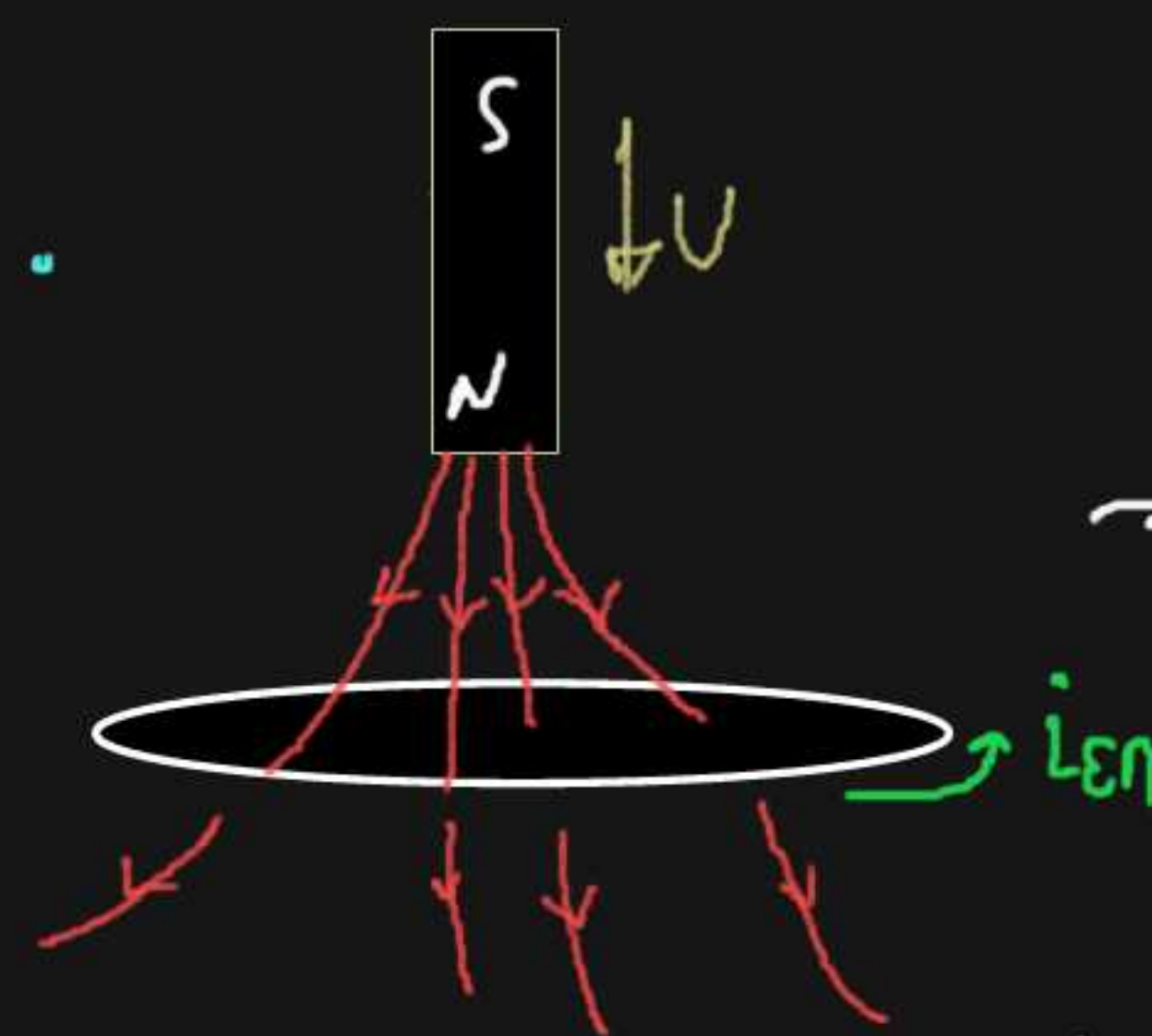
$$\begin{aligned}\Delta\Phi &= \Phi_{\text{τελ}} - \Phi_{\text{αρχ}} \\ &= -BS - (BS) \\ &= -2BS\end{aligned}$$

Νόμος Faraday: Μεταβολή μαγνητικής ροής $\rightarrow$ εμφάνιση ΗΕΔ από επαγωγή (πειραματικά)

• Όσο πιο μεγάλη είναι ο ρυθμός μεταβολής της ροής τόσο μεγαλύτερη η τιμή της ΗΕΔ.

$$E_{\text{επ}} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \cdot N, \text{ όπου } N = \text{σπείρες πλαισίου}$$

Το (-) ερμηνεύεται από τον κανόνα του Lenz



• Με την κίνηση του μαγνήτη φαίνεται η ροή μέσα από το κυκλικό πλαίσιο (αυξάνονται οι γραμμές που περνάνε)

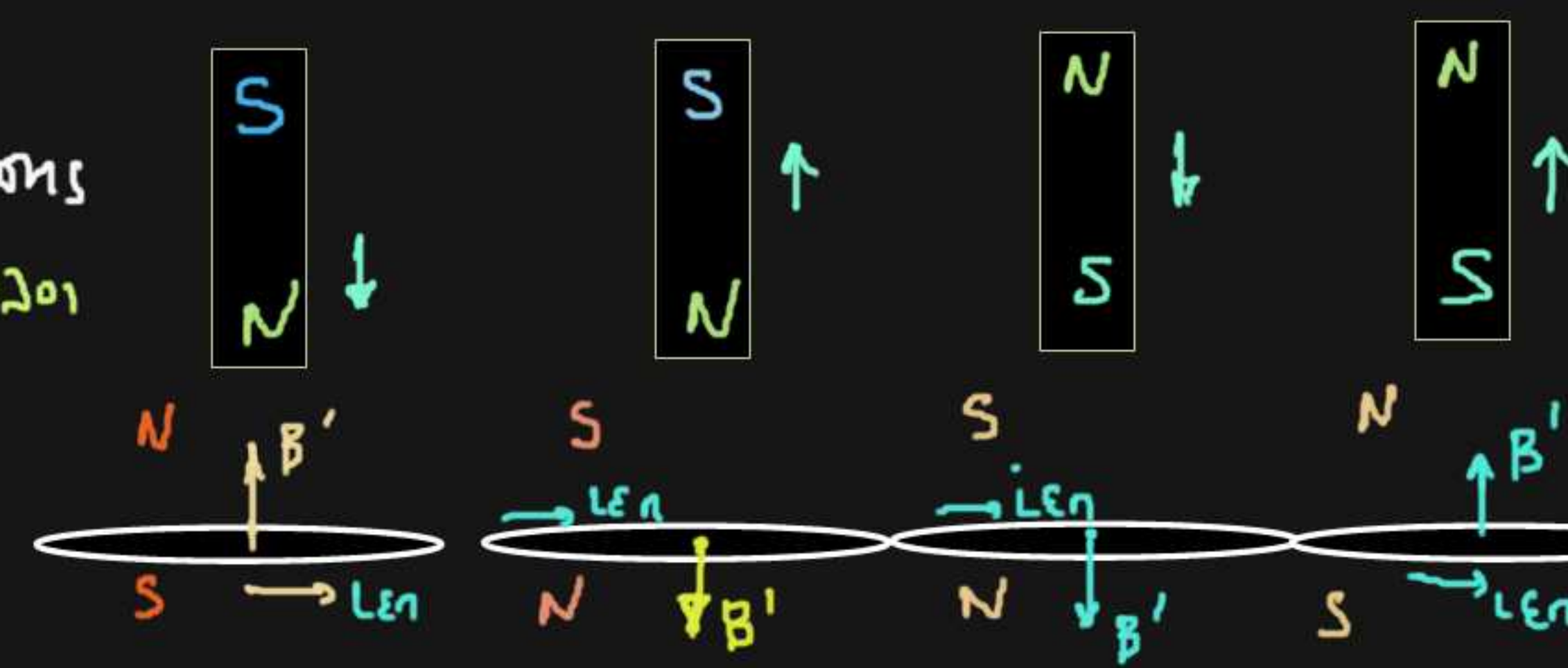
$\Rightarrow$ Έχουμε $\Delta\Phi \Rightarrow$

$\Rightarrow$ το $I_{\text{επ}}$ έχει τέτοια φορά ώστε

να φαίνεται να "βγαίνει" γραμμές $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ δηλ το $B_{\text{επ}}$ πρέπει να είναι προς τα πάνω.

Ενας άλλος τρόπος λύσης
• Εμφανίζεται B ώστε οι πόλοι να είναι αντίθετοι



Παραδείγματα:

Κυκλικός δακτύλιος:

$$r = \frac{10}{\sqrt{\pi}} \text{ cm}$$

$\vec{B} \perp$ επιφάνεια του δακτύλιου

$$\Phi = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$$

i) $B = ?$

ii) $\theta = 60^\circ$: $\Phi_{\text{τελ}} = ?$

$\Delta\Phi = ?$

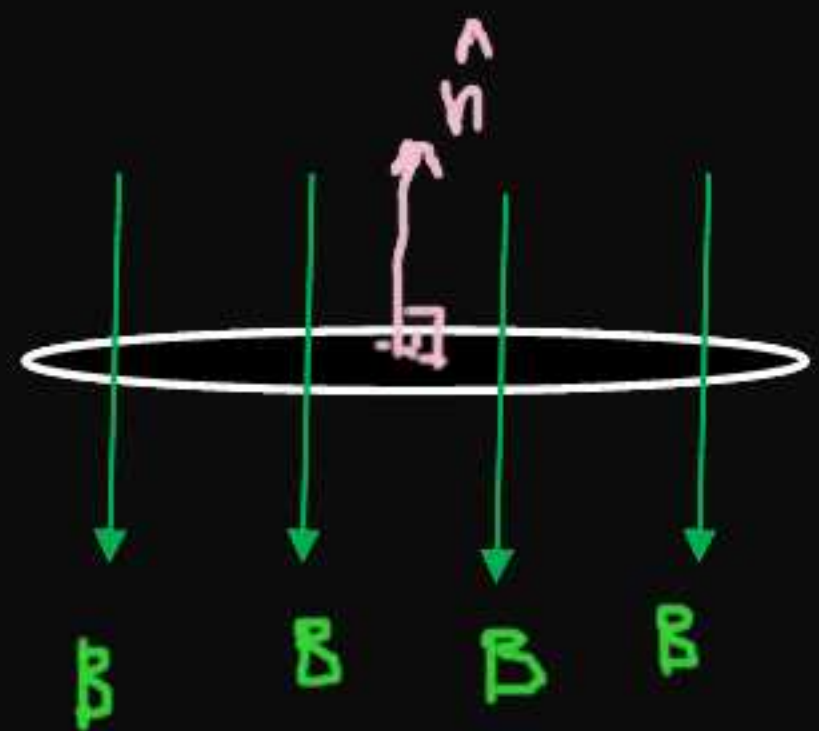
iii) $\theta = 180^\circ$: $\Delta\Phi = ?$

$$\Phi_{\text{τελ}} = BS \cos \hat{n} = ?$$

$$\Rightarrow \Phi = 10^{-2} \text{ Wb}$$

$$\Delta\Phi = \Phi_{\text{τελ}} - \Phi_{\text{αρχ}} = 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \Delta\Phi = -10^{-2} \text{ Wb}$$

iv)



$$\Phi'_{\text{τελ}} = BS \cos 180^\circ = -2 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$$

$$\text{όρα } \Delta\Phi' = \Phi_{\text{τελ}} - \Phi_{\text{αρχ}} =$$

$$= -BS - BS = -2BS$$

$$= -4 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$$

Παράδειγμα 2: Γεωμετρική ηλυσήση σε ομ.η

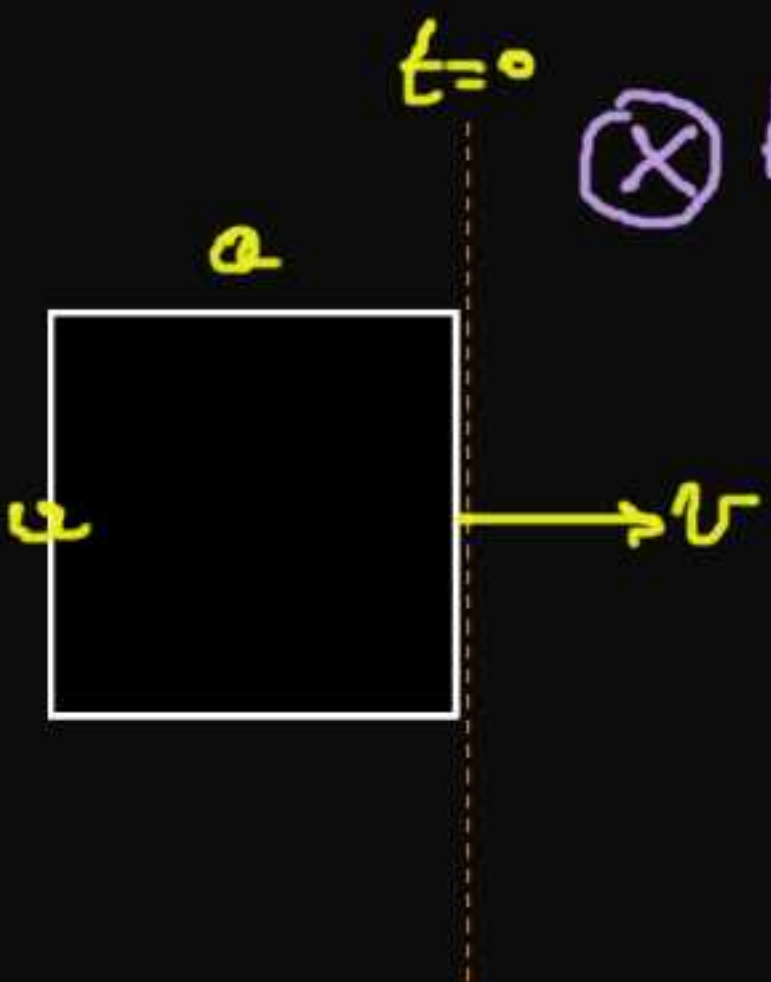
$$a = 0.2 \text{ m}$$

Στην $t = 2 \text{ s}$:

Η ημικύκλιος

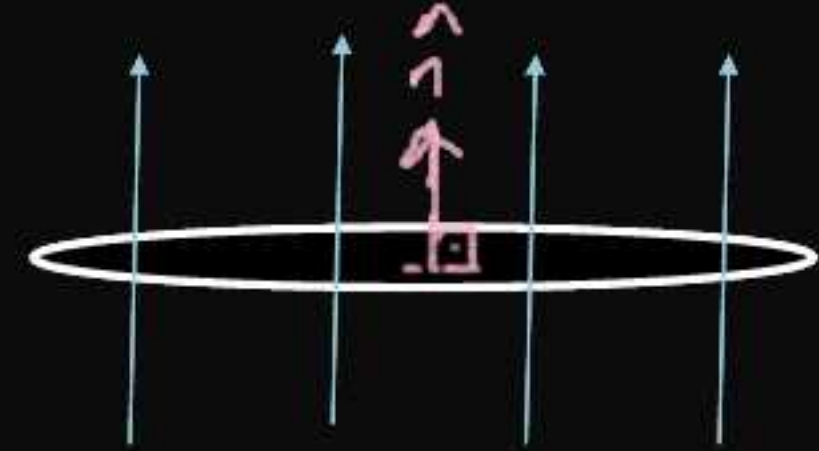
ολοκλήρωσε

εντός του B



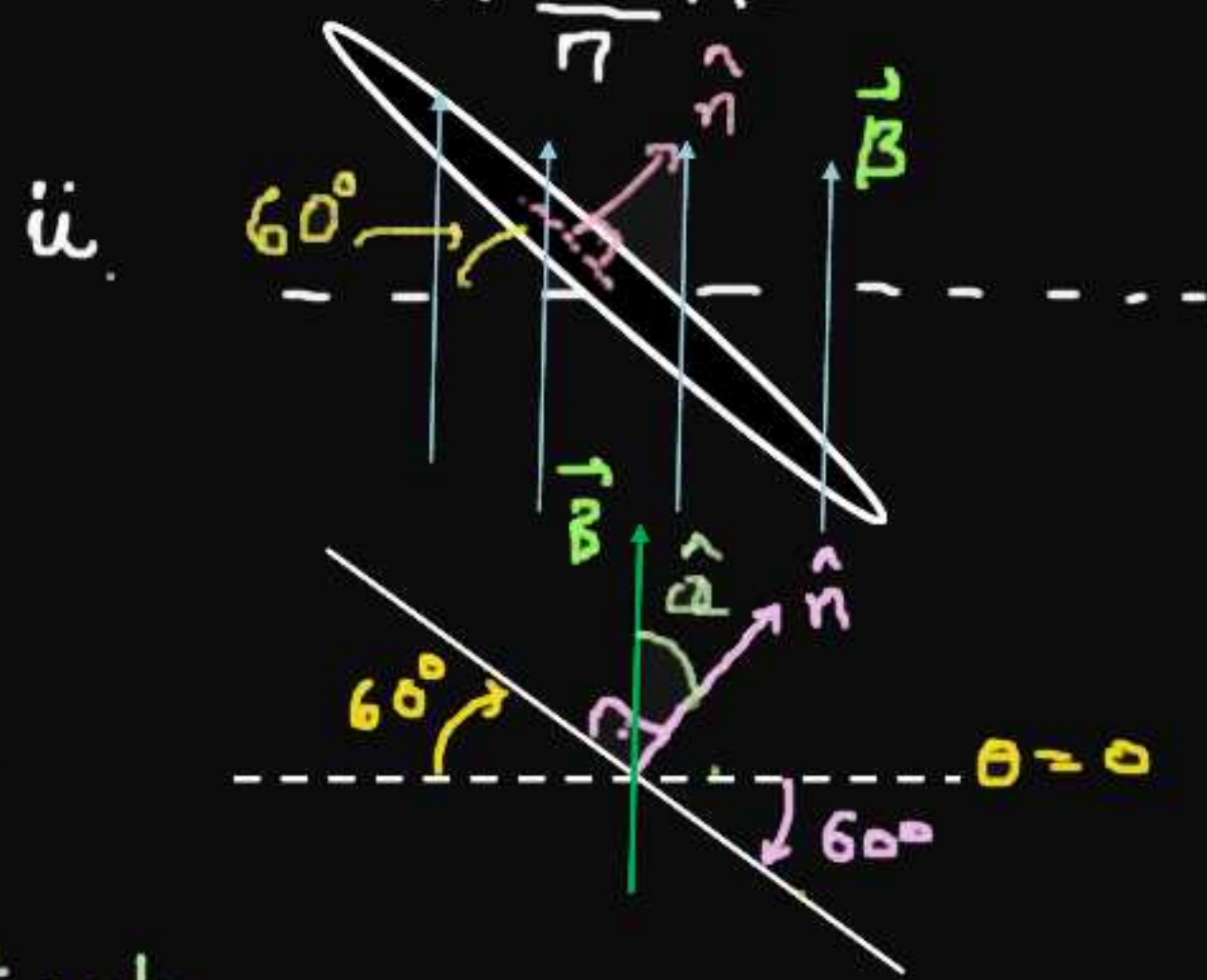
i) $v = ?$

ii) $\Phi = f(t)$



$$i) \Phi = B \cdot S = B \cdot \pi r^2 = 2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow B = \frac{2}{\pi \frac{10^2}{\pi} \cdot 10^{-2}} \Rightarrow B = 2 \text{ T}$$



• ΕΠΑΓΟΓΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (ΝΟΜΟΣ ΝΕΥΜΑΝΝ)

$$\Delta\Phi \Rightarrow E_{\text{επ}} \Rightarrow I_{\text{επ}} \Rightarrow Q_{\text{επ}} = \text{φορτίο που μετατοπίζεται μέσω μιας διατομής του αγωγού σε χρόνο } \Delta t.$$

0

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{επ}} &= \frac{Q_{\text{επ}}}{\Delta t} \\ I_{\text{επ}} &= \frac{E_{\text{επ}}}{R_{\text{ολ}}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow Q_{\text{επ}} = \frac{E_{\text{επ}} \cdot \Delta t}{R_{\text{ολ}}} \quad E_{\text{επ}} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \cdot N \quad Q_{\text{επ}} = - \frac{\Delta\Phi}{R_{\text{ολ}}} N \quad (1)$$

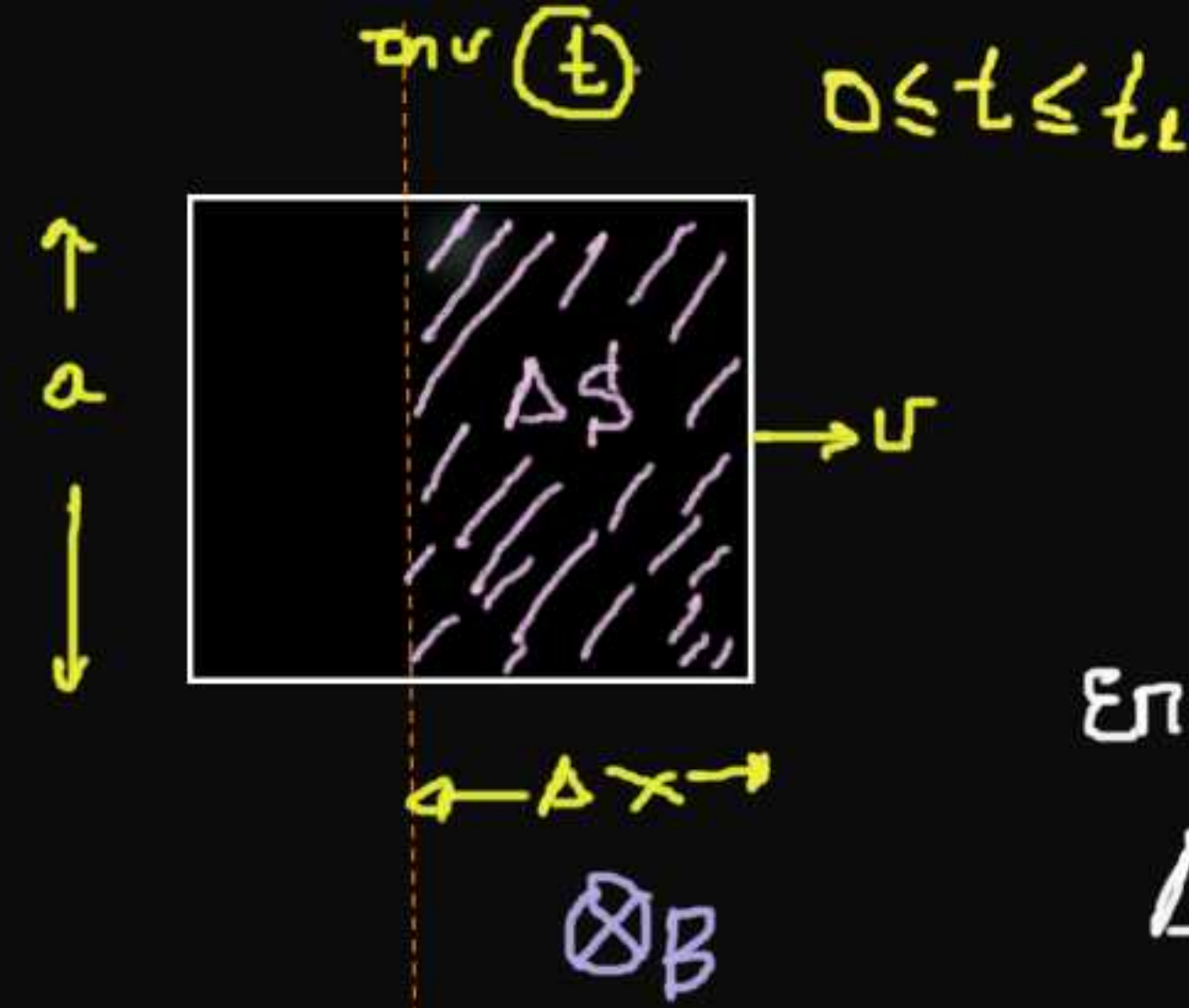
δηλ το ηλεκτρικό φορτίο που μετατοπίζεται είναι ανεξάρτητο από του χρόνου που διαρκεί η μεταβολή.

• Παρατηρήσεις: Αν $E_{\text{επ}} = 6 \text{ V}$ $\Rightarrow I_{\text{επ}} = 6 \text{ A}$ $\Rightarrow Q_{\text{επ}} = I_{\text{επ}} \cdot \Delta t$

Αν $E_{\text{επ}} \neq 6 \text{ V}$ τότε $I_{\text{επ}}$ μόνο από την (1)

• Επίσης αν $I_{\text{επ}} = 6 \text{ A}$: $Q = I_{\text{επ}} R \Delta t$ (θερμότητα που εκλύεται στην R σε Δt)

Αν $I_{\text{επ}} \neq 6 \text{ A}$ τότε το Q υπολογίζεται μόνο από ΑΔΕ!



Μια αλμα χρονική στιγμή το ημικύκλιο έχει εισέλθει κατά Δx εντός του B έχοντας διαγράψει επιφάνεια ΔS εντός αυτού.

$$\Delta S = a \cdot \Delta x = a \cdot v \cdot t$$

Επίσης $\Phi_{\text{αρχ}} = 0$

$$\Phi_{\text{τελ}} = B \cdot \Delta S = B a v t = 5 \cdot 0.2 \cdot 0.1 t$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\Phi_{\text{τελ}} = 0.1 t}}$$

Σε χρόνο $t_1 = 2 \text{ s}$ το ημικύκλιο μολύνει ολόκληρο το $\mu.η.$ οπότε:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{a}{t_1} = 0.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

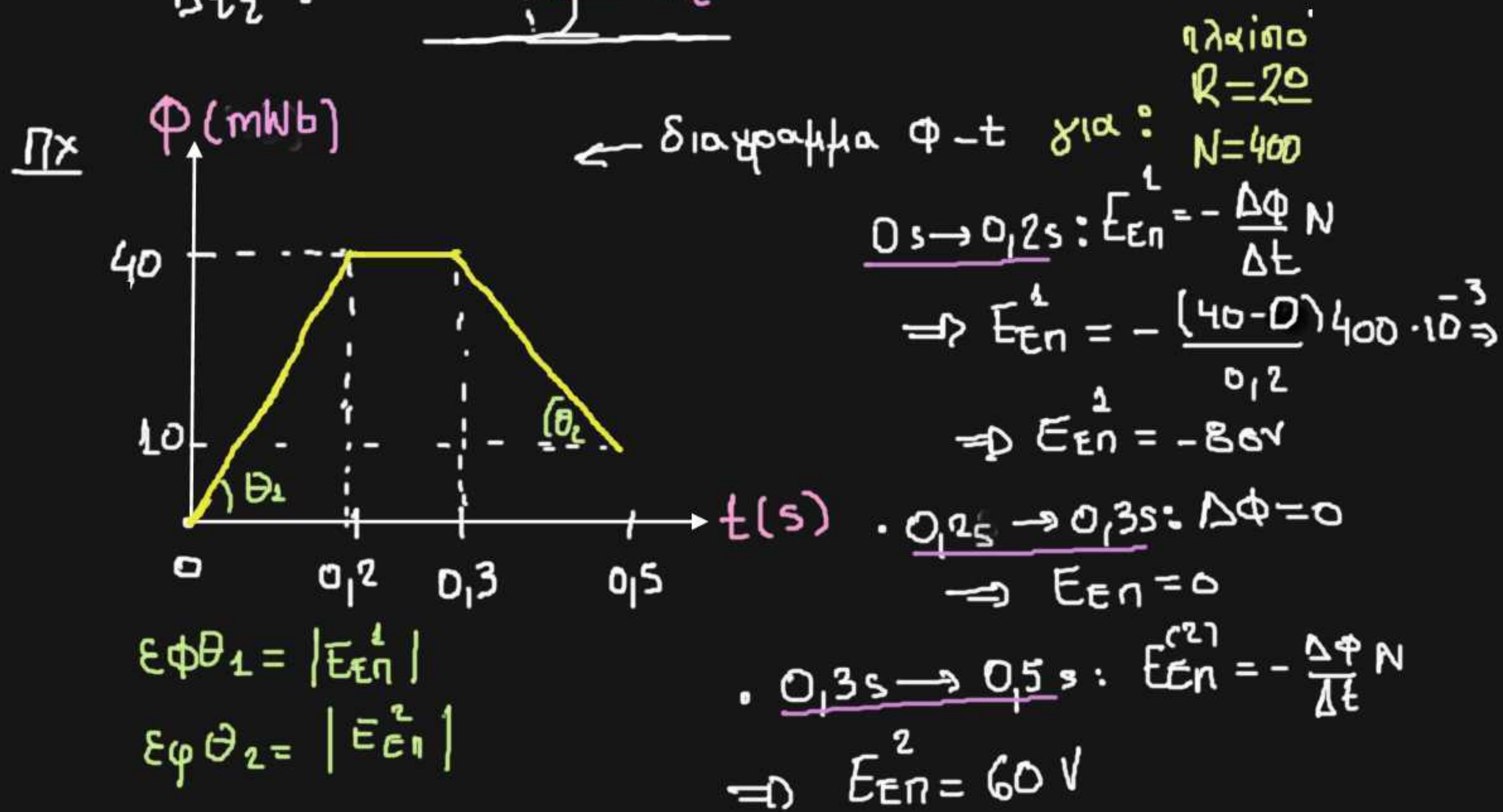
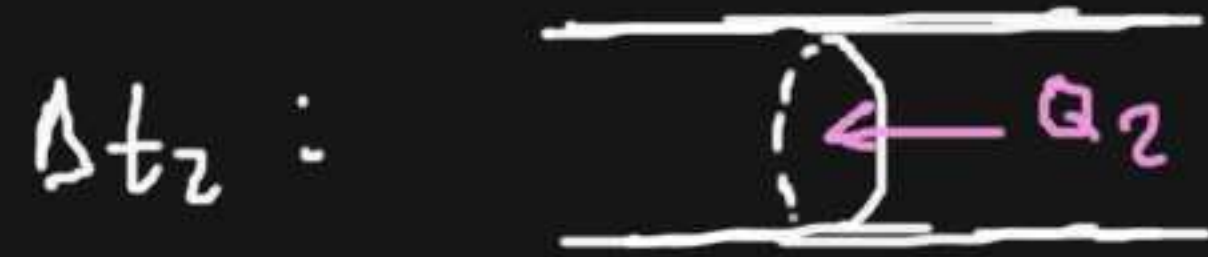
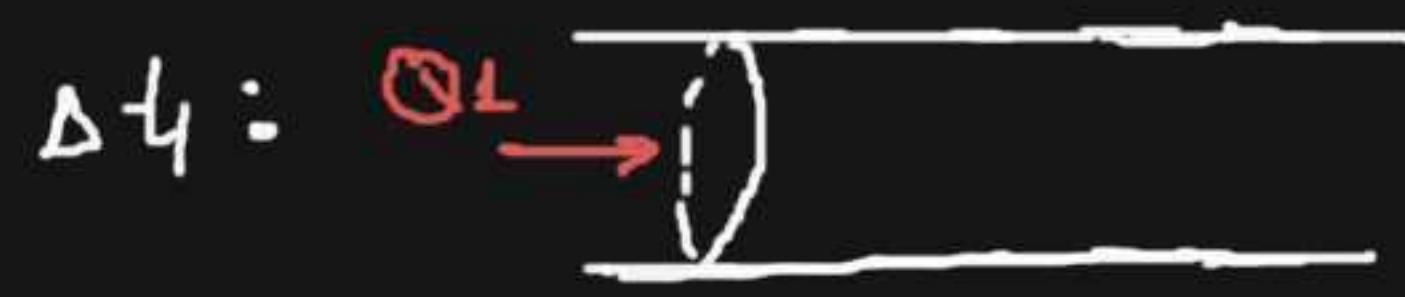
Συν (L) το (-) καθορίζει την φορά του ρεύματος
 οπότε η (L) δίνει το συνολικό φορτίο που
 μετατοπίζεται.

• Αν βε δύο διαδοχικά Δt έχουμε αντίθετες
 μεταβολές στην μαγνητική ροή → αντίθετη
 πολικότητα στην ΗΕΔ

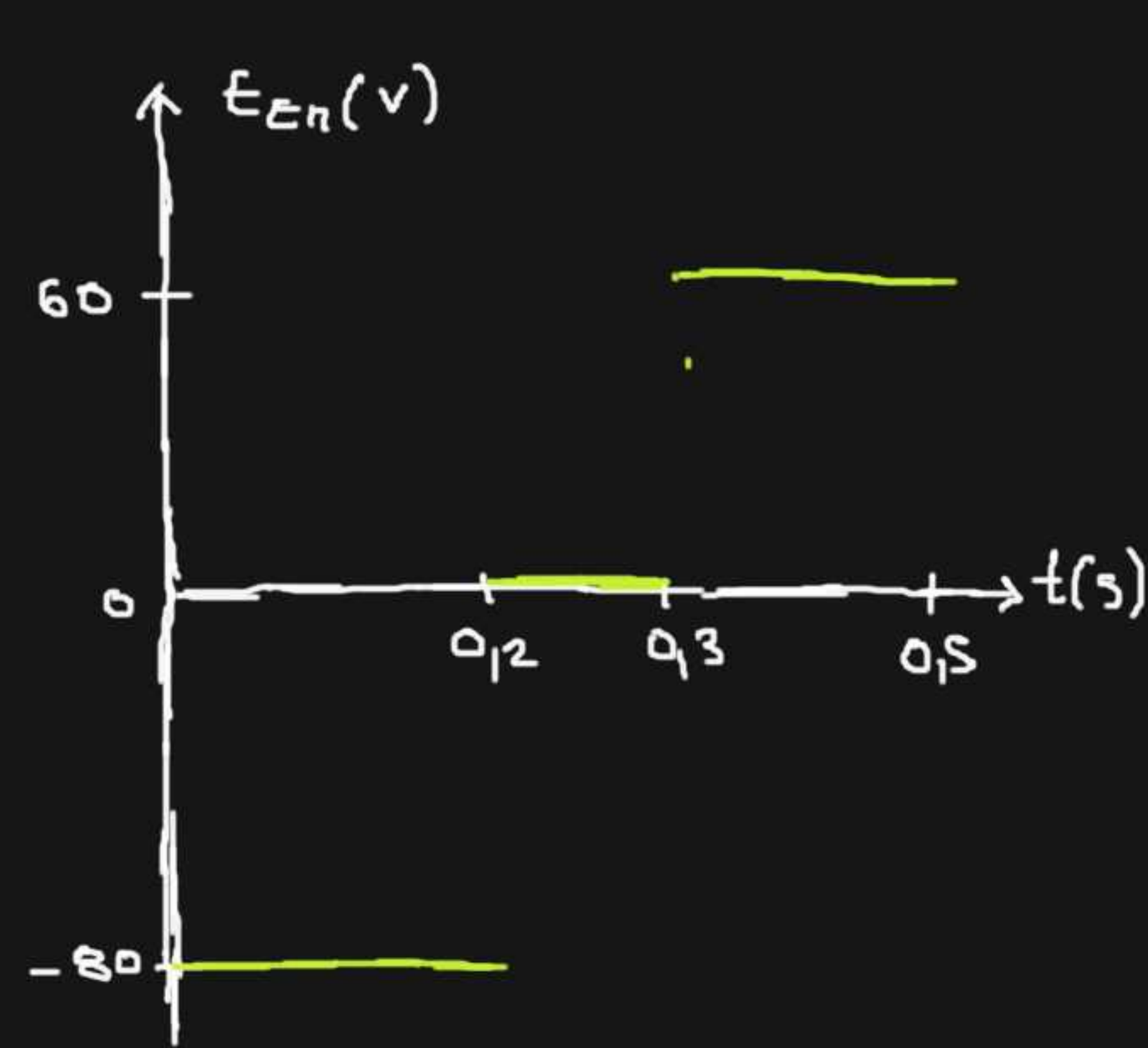
$\Delta t_1: \Delta \Phi_1 > 0 \rightarrow E_{\text{ΕΗ}} > 0 \rightarrow Q_1 > 0$ (έσω μετατόπιση προς τα δεξιά)
 $\Delta t_2: \Delta \Phi_2 < 0 \rightarrow E_{\text{ΕΗ}} < 0 \rightarrow Q_2 < 0$ (μετατόπιση φορτίου προς τα αριστερά)

Συνολικό φορτίο που διέρχεται: $Q_{\text{διερχ}} = Q_1 + Q_2$
 από μια διατομή

Συνολικό φορτίο που μετατοπίζεται: $Q_{\text{μετ}} = Q_1 - Q_2$



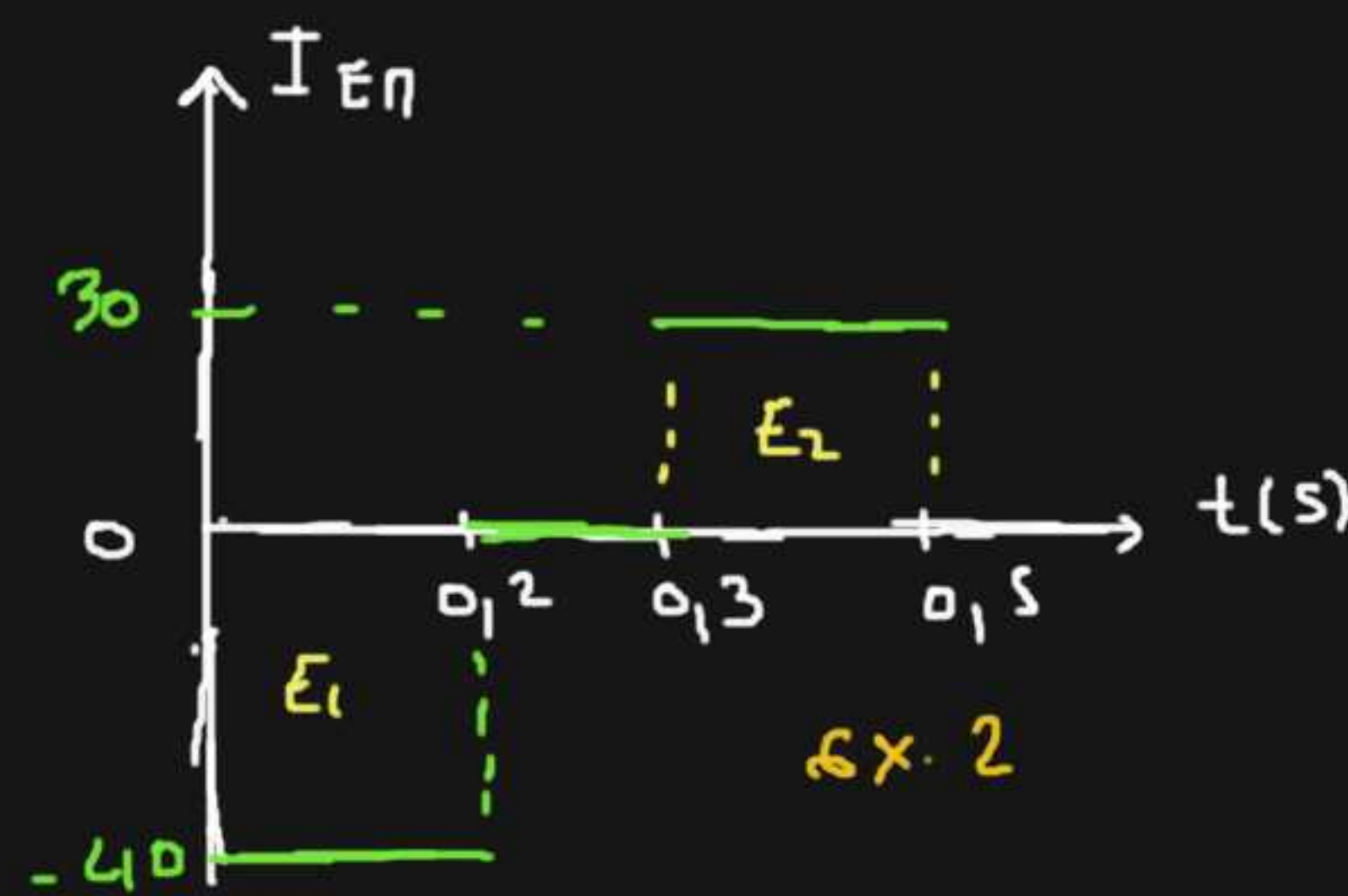
ii) Να γίνει η χρ. παράσταση $E_{\text{ΕΗ}} = f(t)$, $I = f(t)$



$0.5 \rightarrow 0.2 \text{ s}: I_1 = \frac{E_{\text{ΕΗ}}}{R} = -40 \text{ A}$

$0.2 \text{ s} \rightarrow 0.3 \text{ s}: I_2 = 0$

$0.3 \text{ s} \rightarrow 0.5 \text{ s}: I_3 = \frac{E_{\text{ΕΗ}}}{R}$
 $\Rightarrow I_3 = 30 \text{ A}$



Το (-) δηλώνει αντίθετη
 φορά του ρεύματος
 (αντίθετη πολικότητα)

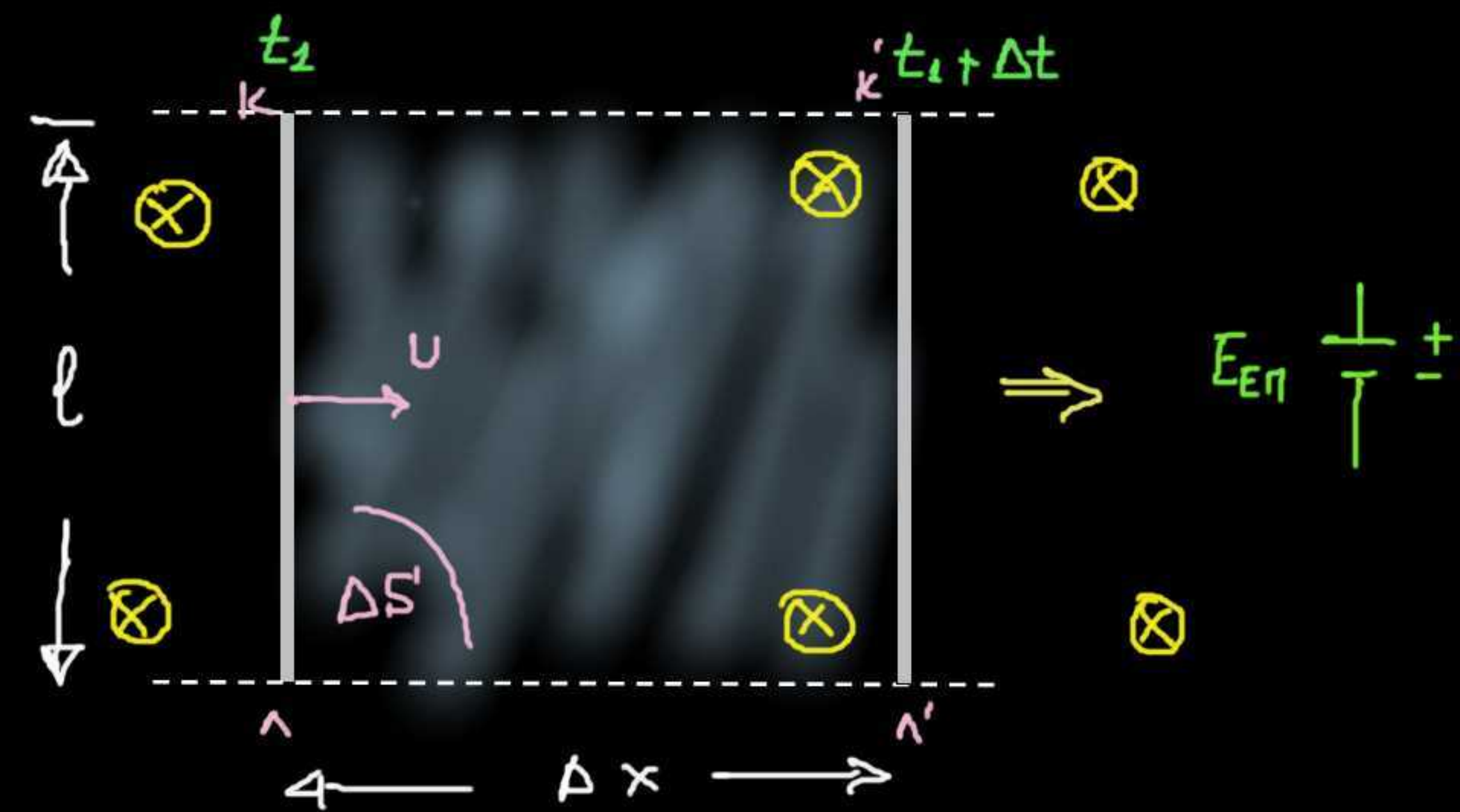
iii) Για όλο το χρονικό διάστημα $0.5 \rightarrow 0.3 \text{ s}$ να βρεθεί:
 i) Το $Q_{\text{ολ}}$ που διέρχεται από μια διατομή του αγωγού
 ii) Το Q που μετατοπίζεται > > >

i) Από το σχήμα 2: $Q_{\text{ολ}} = |E_1| + |E_2| = 40 \cdot 0.2 + 30 \cdot 0.2$
 $\Rightarrow Q_{\text{ολ}} = 14 \text{ Cb}$ (διέρχεται)

ii) Από το σχήμα 2: $Q_{\text{διερχ}} = |E_1| - |E_2| = 2 \text{ Cb}$

Από την Νευτωνική: $Q = -\frac{\Delta \Phi_{\text{ολ}}}{R_{\text{ολ}}} \cdot N = -\frac{0 - 10}{2} \cdot 400 \cdot 10^{-3}$
 $\Rightarrow Q = +2 \text{ Cb}$ (μετατοπίζεται)

ΚΙΝΗΣΗ ΑΓΩΓΟΥ ΕΝΤΟΣ Ο.Μ.Π



Έστω ο αγωγός ΚΛ κινείται με $v = \text{σταθ}$ εντός ομ. μαγνητικού πεδίου B όπως στο σχήμα.

Σε χρόνο Δt έχει μετακινηθεί κατά Δx

$$\Delta x = v \cdot \Delta t$$

Εντο ίδιο Δt ο αγωγός έχει δαρώσει επιφάνεια

$$\Delta S = l \cdot \Delta x, \quad l = \text{μήκος αγωγού}$$

$$\Delta \Phi = B \cdot \Delta S \Rightarrow \Delta \Phi = B \cdot l \cdot \Delta x$$

οποτε εμφανίζεται ΗΕΔ. $E_{\text{ind}} = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t} \Rightarrow$

$$\Rightarrow E_{\text{ind}} = \frac{B \cdot l \cdot \Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{E_{\text{ind}} = B v l}$$

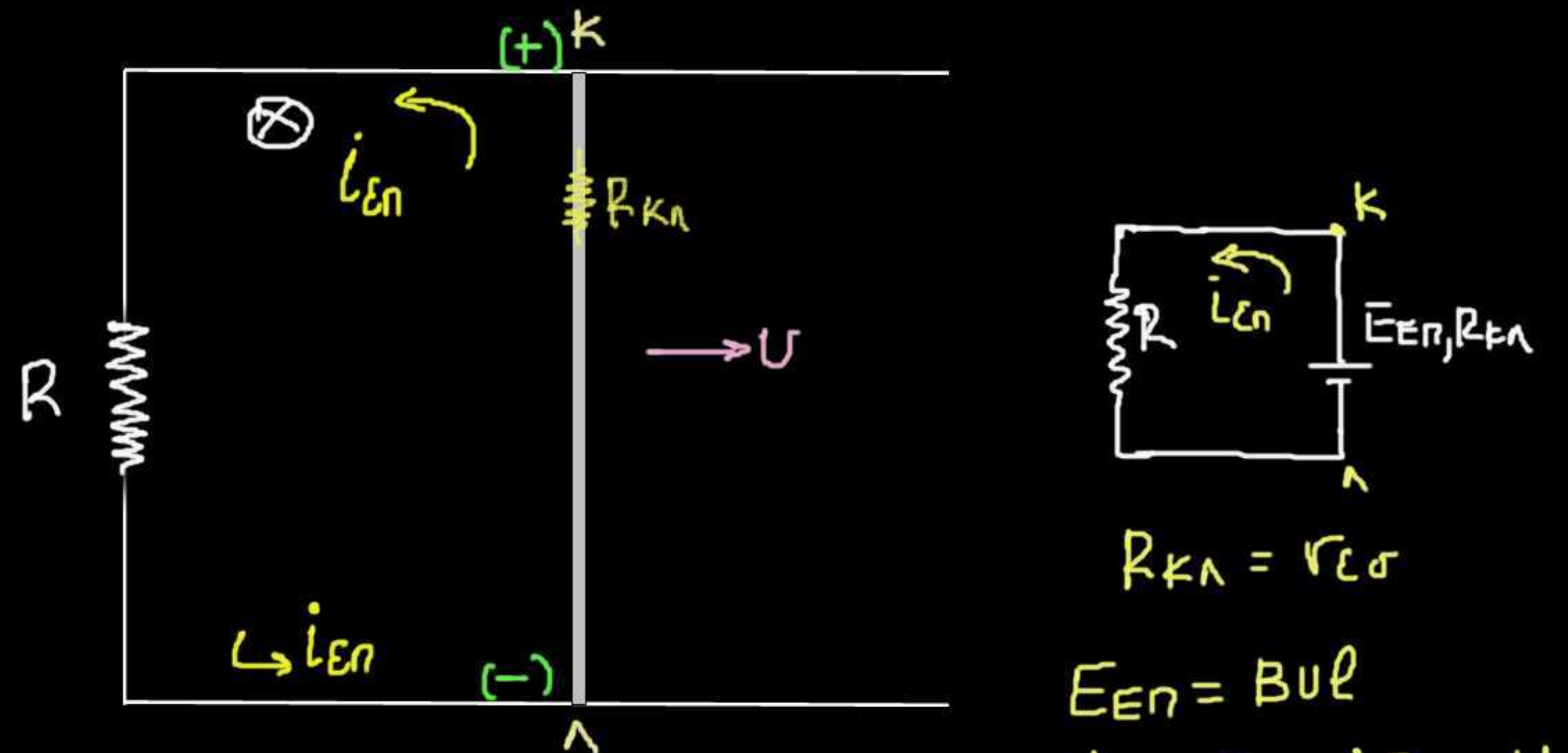
- Για την πολικότητα της πηγής κάνω κανονα
- Τριών δακτύλων:
 - αντίχειρας $\rightarrow$ κίνηση αγωγού
 - δείκτης $\rightarrow$ κατεύθυνση $\vec{B}$
 - μέσος $\rightarrow$ δείχνει τον (+) πόλο

- Το $E_{\text{ind}} = B v l$ δίνει την ελγτλοία τιμή της ΗΕΔ
- Δηλ αν ο αγωγός κάνει επιταχυνόμενη κίνηση
- τότε $v \neq \text{σταθ} \Rightarrow E_{\text{ind}} \neq \text{σταθ}$
- $v = v_0 \pm a t \rightarrow$ υπολογίζω το v κάποια χρονική t και μετά πομπε στο $B v l$

Συνολικά Όταν αγωγός μήκους l κινείται εντός ομογενούς B με ταχύτητα τότε στα άκρα του αναπτύσσεται ΗΕΔ από επαγωγή $E_{\text{ind}} = B v l$.



Αν βάλουμε τον αγωγό να κινείται σε ράγες που είναι γεφυρωμένες τότε ο αγωγός λειτουργεί ως ηλεκτρική πηγή με εσωτερική αντίσταση την αντίσταση του αγωγού ΚΛ

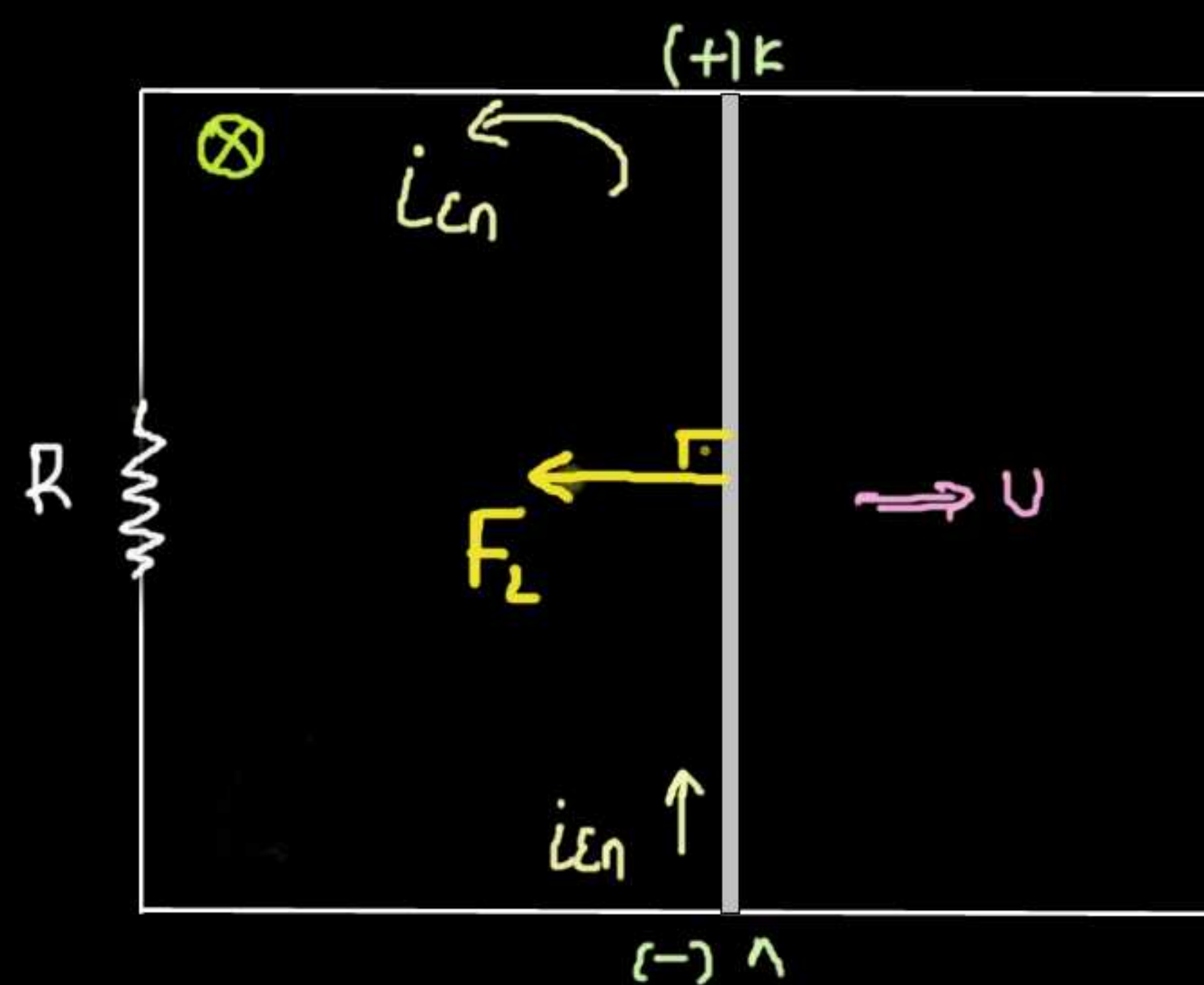


$$I_{\text{ind}} = \frac{E_{\text{ind}}}{R_{\text{ολ}}}$$

πολική τάση
 $\downarrow$
τάση στα άκρα της R

$$E_{\text{ind}} = B v l$$

$$V_{KL} = E_{\text{ind}} - I_{\text{ind}} R_{KL} = V_R$$



Ο ΚΑ κινείται εντός Β
και διαρρέεται από ρεύμα
 $i_{en} \Rightarrow$ Ασκείται πάνω του
 F_L όπως στο σχήμα
(αντίθετη της κίνησης)

$$F_L = B i_{en} l$$

Οπότε: $\mathcal{E}_{en} = B v l$ (1) $v = v_0 + a t$

$$i_{en} = \frac{\mathcal{E}_{en}}{R_{ολ}} \stackrel{(1)}{=} \frac{B v l}{R_{ολ}} \quad (2)$$

$$F_L = B i_{en} l \stackrel{(2)}{\Rightarrow} F_L = \frac{B^2 v l^2}{R_{ολ}} \quad (3)$$

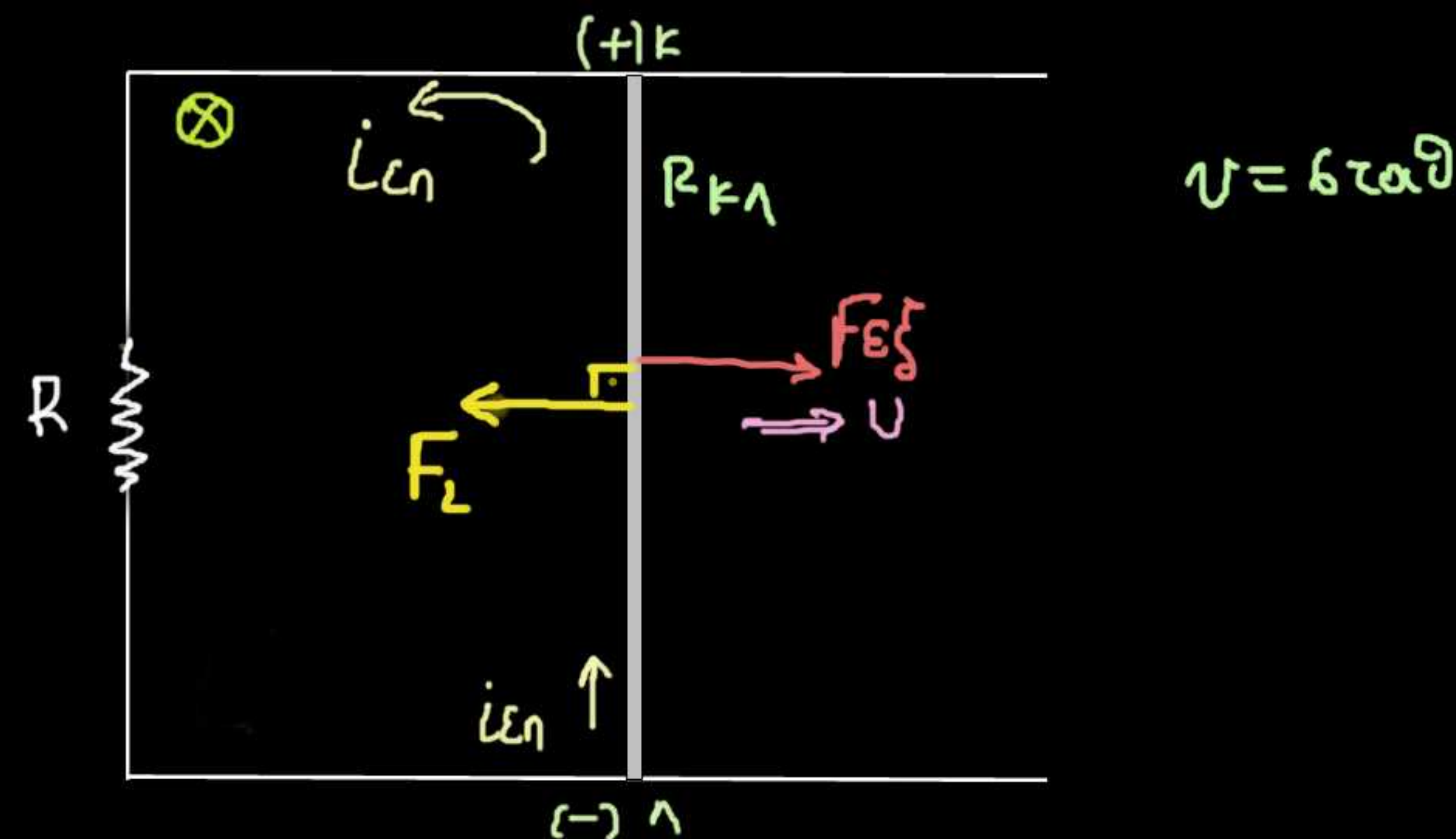
$$\sum F = m a \Rightarrow F_L = m a \Rightarrow a = \frac{F_L}{m} \Rightarrow$$

$$\stackrel{(3)}{\Rightarrow} a = \frac{B^2 v l^2}{m R_{ολ}} \quad (4)$$

Για να κινείται ο αγωγός με σταθερή
ταχύτητα ($a=0$) θα πρέπει να ασκείται
εξωτερική δύναμη που θα είναι πάντα

$$|F_{εξ}| = |F_L|$$

• Η Α.Δ.Ε στην επαγωγή



$$\mathcal{E}_{en} = B v l \quad (1), \quad i_{en} = \frac{B v l}{R_{ολ}} \quad (2), \quad F_L = \frac{B^2 v l^2}{R_{ολ}} \quad (3)$$

Αφού $v = \text{σταθ} \Rightarrow |F_L| = |F_{εξ}| = \frac{B^2 v l^2}{R_{ολ}}$

Αφού $v = \text{σταθ} \Rightarrow \mathcal{E}_{en} = \text{σταθ} \Rightarrow i_{en} = \text{σταθ}:$

Αρα $Q_{ολ} = I_{en}^2 R_{ολ} \Delta t \stackrel{(2)}{\Rightarrow} Q_{ολ} = \frac{(B v l)^2}{R_{ολ}^2} R_{ολ} \Delta t$

$$\Rightarrow Q_{ολ} = \frac{B^2 v^2 l^2}{R_{ολ}} \Delta t \quad (4)$$

Εργο της $F_{εξ}$: $v = \text{σταθ} \Rightarrow \Delta x = v \Delta t$

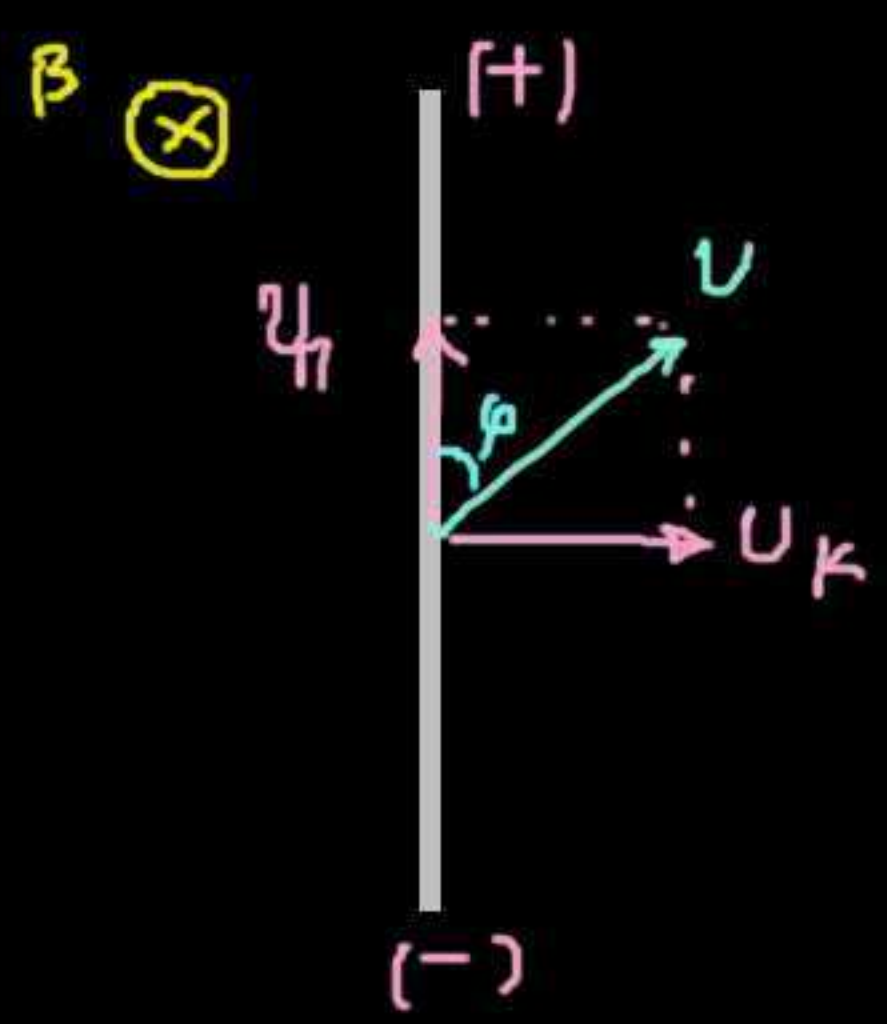
$$W_{F_{εξ}} = F_{εξ} \Delta x = \frac{B^2 v l^2}{R_{ολ}} v \Delta t \Rightarrow W_{F_{εξ}} = \frac{B^2 v^2 l^2}{R_{ολ}} \Delta t \quad (5)$$

Η ενέργεια που προσφέρεται μέσω
του W_F καταναλώνεται ολοκληρωτά ως απώστεις
του κυκλώματος ως θερμότητα Joule. $\Rightarrow$
 $\Rightarrow$ ο κανόνας Lenz αμέσως ενέλεει της ΑΔΕ

I) Προσδιορισμός ηολιεύζης

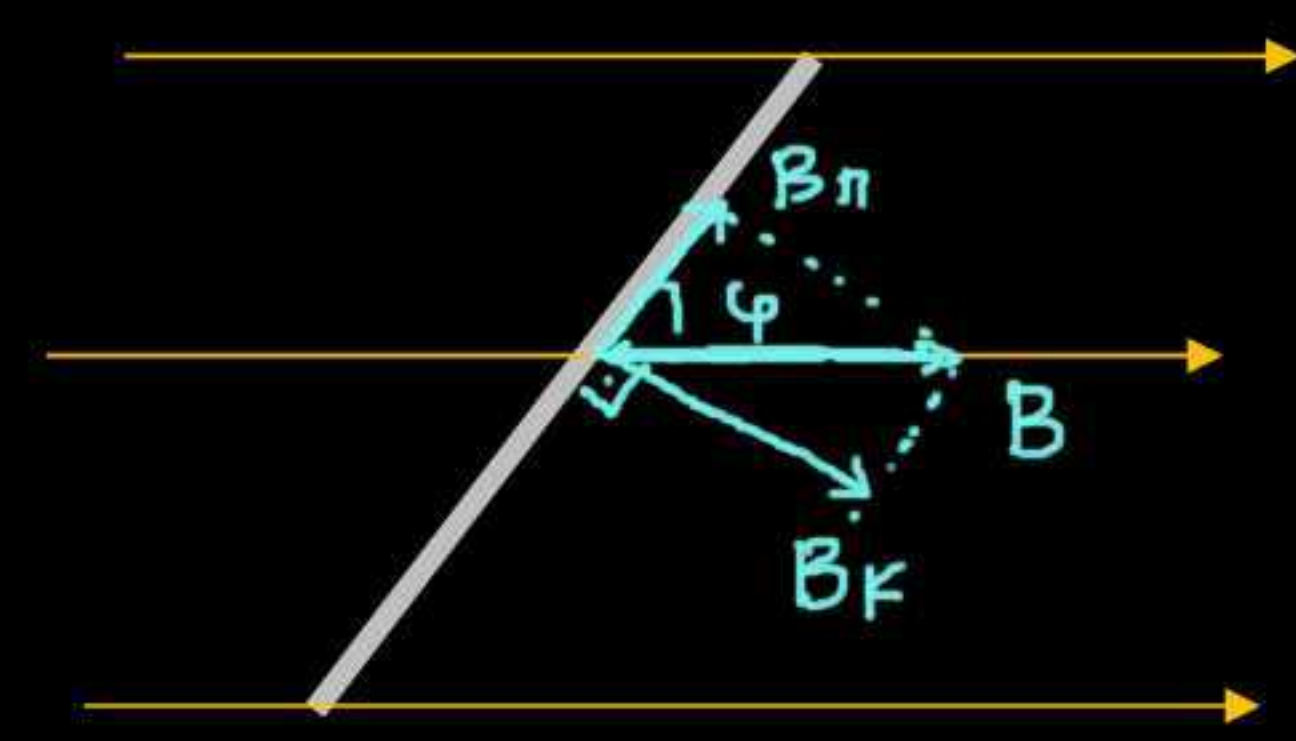
- $B \otimes$ $\otimes B$ κίνηση αγωγού παράλληλα με τον εαυτό του $\rightarrow$ δεν σαρώνει δυνάμεις γραμμές $\Rightarrow \Delta\Phi=0 \Rightarrow \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{EM}}=0$

- Η ταχύτητα του αγωγού σχηματίζει γωνία φ με το $\vec{B}$



$\mathcal{E}_{\text{EM}} = B \cdot v_{\perp} \cdot l \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{EM}} = B \cdot v \cdot l \cdot \sin\varphi$
 (Η συνιστώσα $v_{\perp}$ δεν δημιουργεί ΗΕΔ)

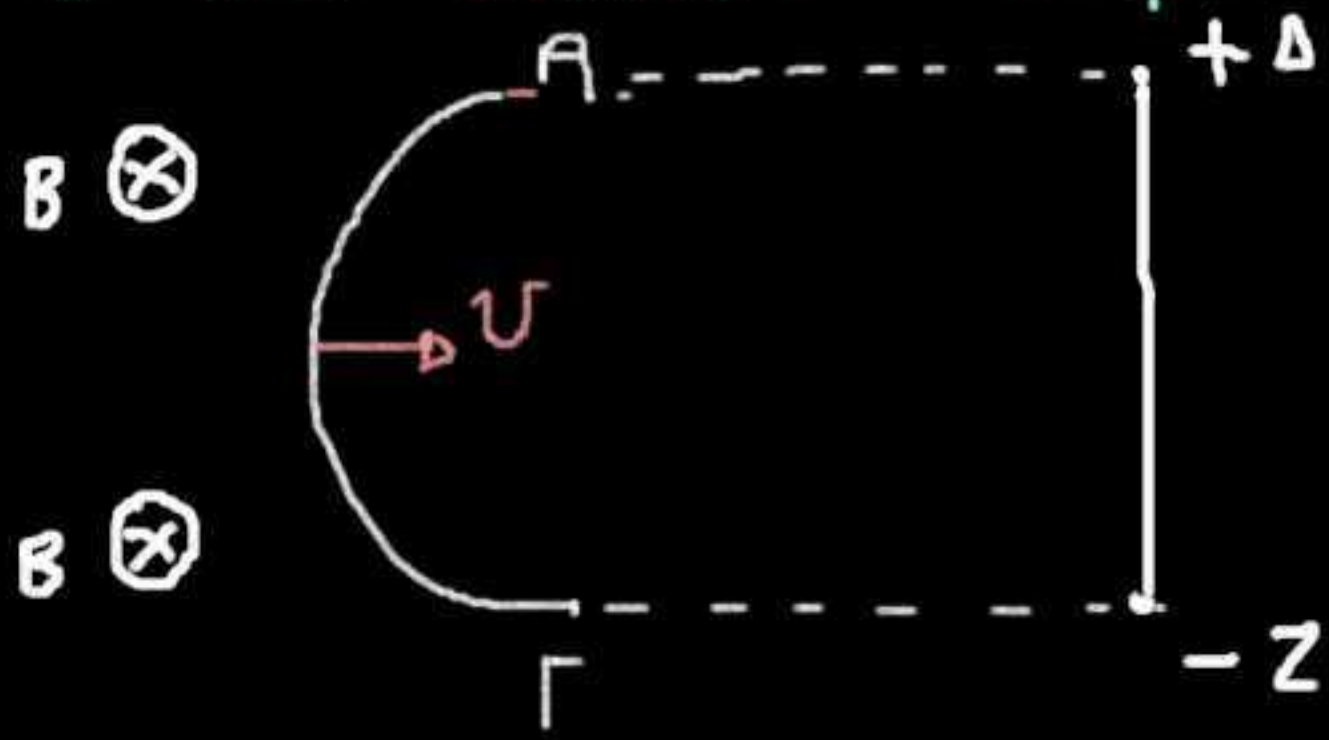
- Ο αγωγός σχηματίζει γωνία φ με το $\vec{B}$



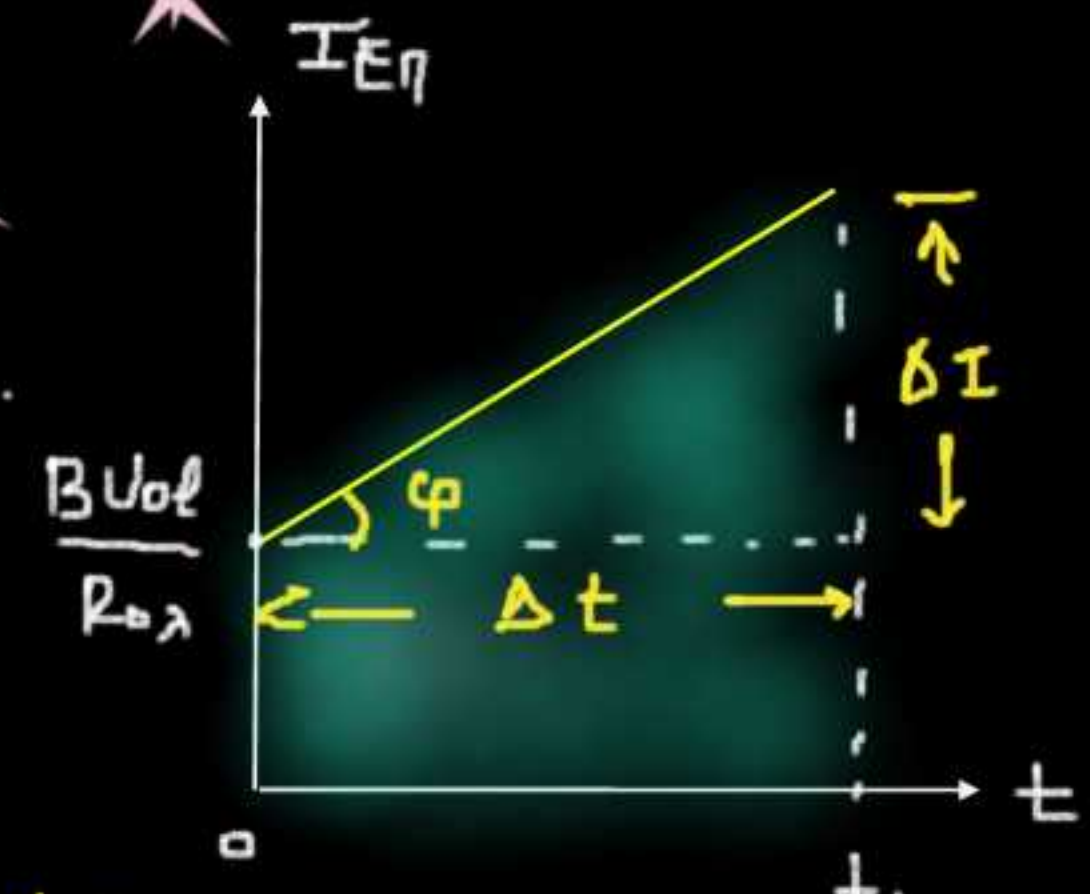
- Αναλύω το $\vec{B}$ σε δύο συνιστώσες $\vec{B}_{\parallel}$ και $\vec{B}_{\perp}$ (η παράλληλη στον αγωγό και κάθετη στον αγωγό αντίστοιχα)

$\mathcal{E}_{\text{EM}} = B_{\perp} \cdot v \cdot l \Rightarrow \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{EM}} = B v l \sin\varphi$

- Για τυχαίο σχήμα αγωγού



$\mathcal{E}_{\text{EM}} = B v (\Delta z)$

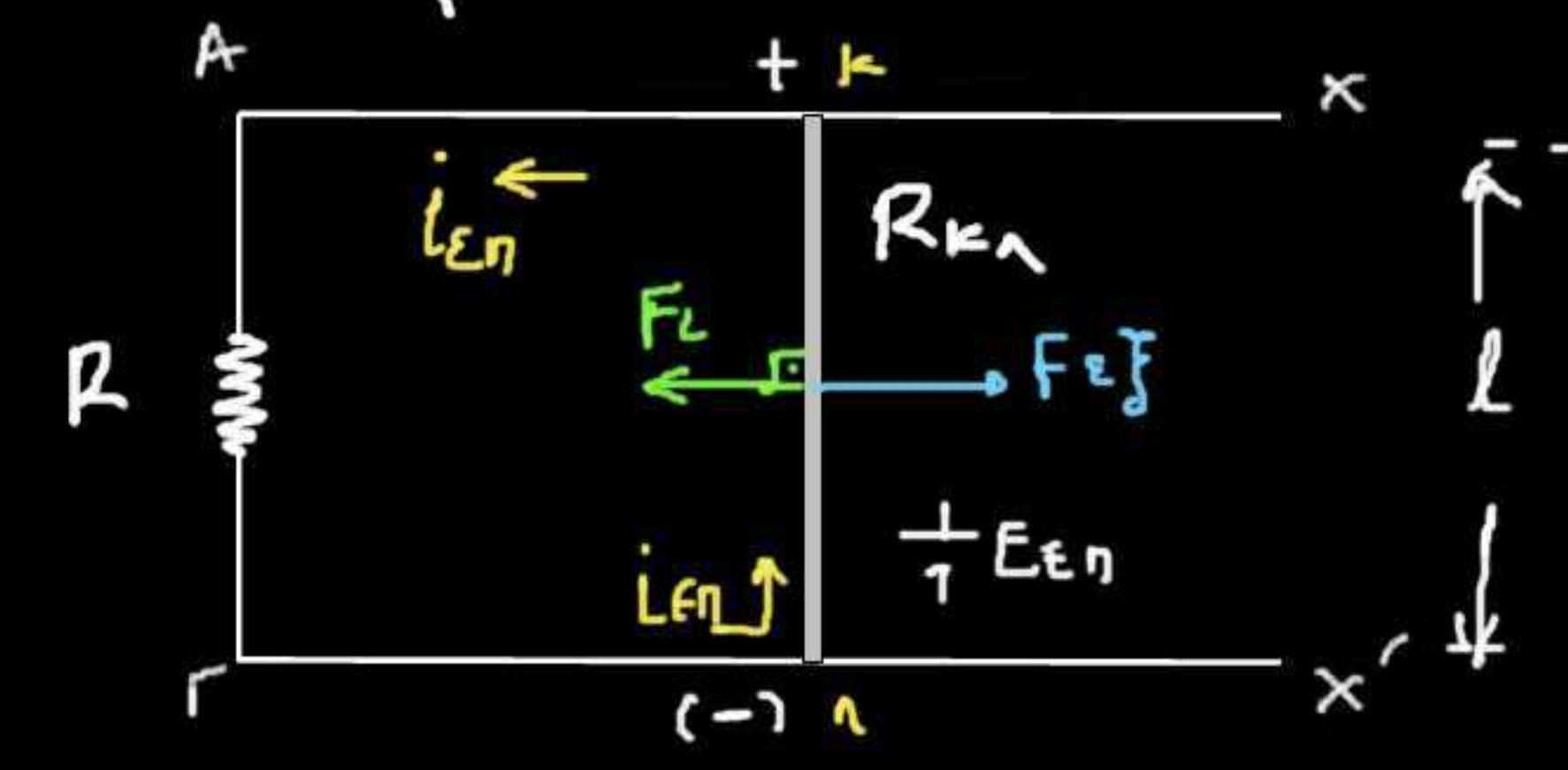


$\mathcal{E}_{\text{EM}} = \frac{d\mathcal{Q}}{dt} = \text{ρυθμός μεταβολής επαγμένης ρεύματος (2)}$
 $\mathcal{E} = \Delta\mathcal{Q} = \text{φορτίο που περνά από μια διατομή}$

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

1) ΚΙΝΗΣΗ ΜΕ $v = \text{σταθ}$

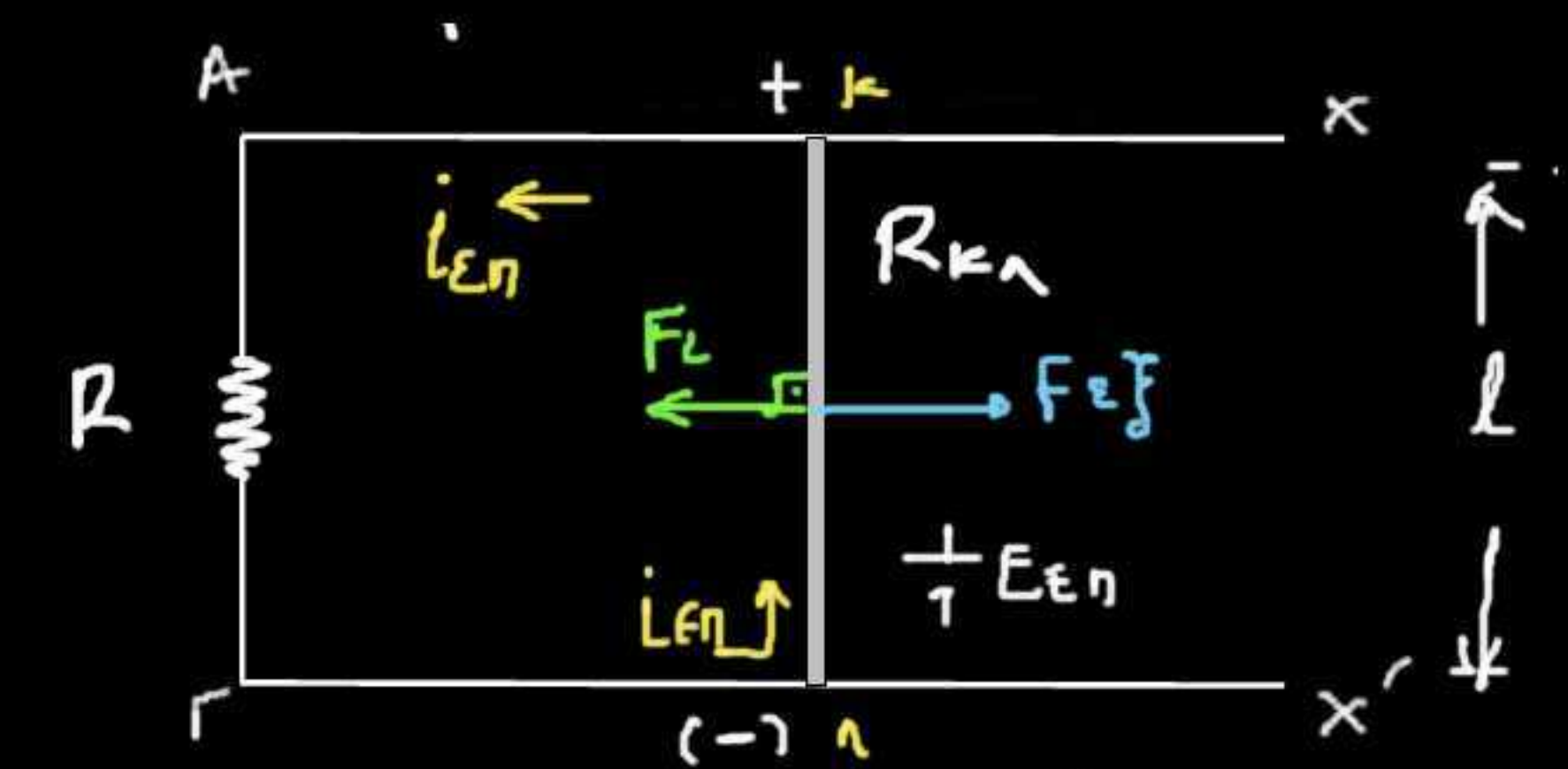
Για να κινείται με $v = \text{σταθ} \Rightarrow a = 0 \Rightarrow \Sigma F = 0 \Rightarrow$ θα πρέπει να υπάρχει $F_{\text{EF}} = F_L$



$\mathcal{E}_{\text{EM}} = B v l$ (1)
 $I_{\text{EM}} = \frac{B v l}{R_{\text{ολ}}}$ (2)
 $F_L = B I_{\text{EM}} l$ (3)
 $\Rightarrow F_L = \frac{B^2 v l^2}{R_{\text{ολ}}}$

$F_L = F_{\text{EF}}$, Η F_L πάντα αντίθετη στην κίνηση

2) ΚΙΝΗΣΗ ΜΕ $a = \text{σταθ}$



$\mathcal{E}_{\text{EM}} = B v l$ (1)
 $I_{\text{EM}} = \frac{B v l}{R_{\text{ολ}}}$ (2)
 $F_L = B I_{\text{EM}} l \Rightarrow F_L = \frac{B^2 v l^2}{R_{\text{ολ}}}$ (3)

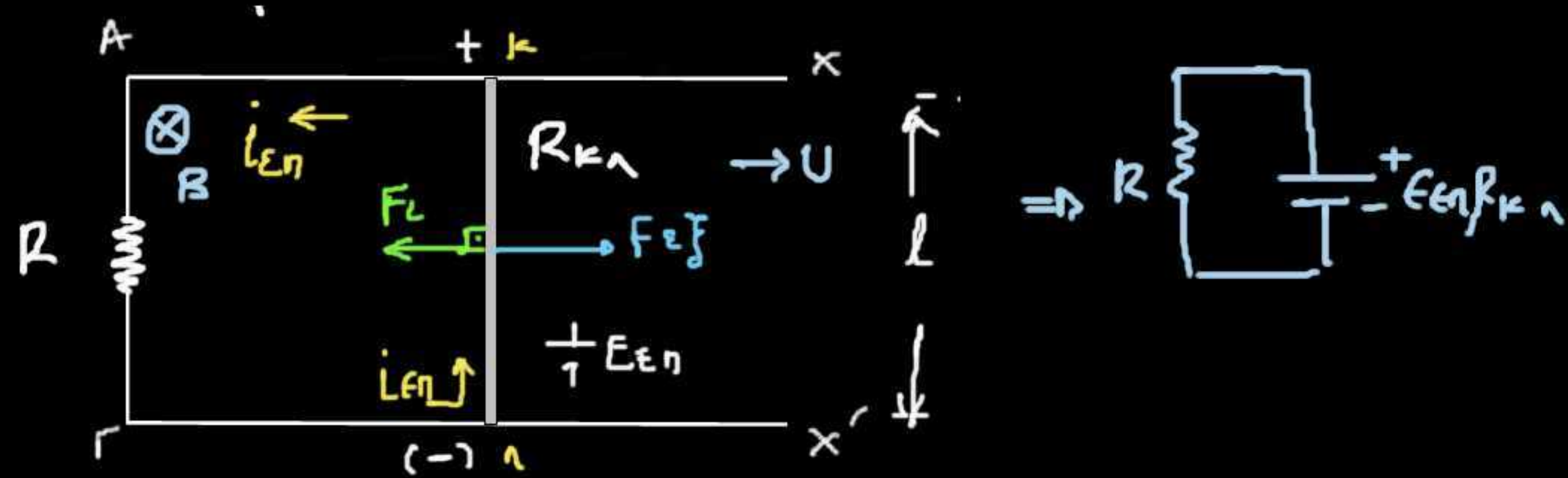
αφού $a = \text{σταθ} \Rightarrow \Sigma F = \text{σταθ} \Rightarrow$ η F_{EF} δεν έχει σταθερό μέτρο
 $a \neq 0 \rightarrow v \uparrow \xrightarrow{(3)} F_L \uparrow \rightarrow$ για να είναι $\Sigma F = \text{σταθ}$ τότε $F_{\text{EF}} \neq \text{σταθ}$ συνεχώς αυξάνεται

$\Sigma F = m a \Rightarrow F - F_L = m a \Rightarrow F = m a + \frac{B^2 v l^2}{R_{\text{ολ}}} \xrightarrow{v = v_0 + a t}$

$\Rightarrow F = m a + \frac{B^2 (v_0 + a t)^2 l^2}{R_{\text{ολ}}}$

$I_{\text{EM}} = \frac{B v_0 l}{R_{\text{ολ}}} + \frac{B a l}{R_{\text{ολ}}} t$ (Μορφή: $y = a + b x$)
 ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ.

3) ΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΕΠΙΔΡΑΣΗ $F = 6 \text{ ταθ}$



Αρχικά ο αγωγός ηρεμεί. Με την επίδραση της F αρχίζει να κινείται. Ισχύει $v = a \cdot t$

$$\text{οπότε } E_{\text{επ}} = Bv\ell \quad (1), \quad I_{\text{επ}} = \frac{E_{\text{επ}}}{R_{\text{ολ}}\lambda} = \frac{Bv\ell}{R_{\text{ολ}}\lambda} \quad (2)$$

$$F_L = B I \ell \Rightarrow F_L = \frac{B^2 v \ell^2}{R_{\text{ολ}}\lambda} \quad (3)$$

$$\Sigma F = m a \Rightarrow F - F_L = m a \Rightarrow a = \frac{F \cdot R_{\text{ολ}}\lambda - B^2 v \ell^2}{m R_{\text{ολ}}\lambda} \quad (4)$$

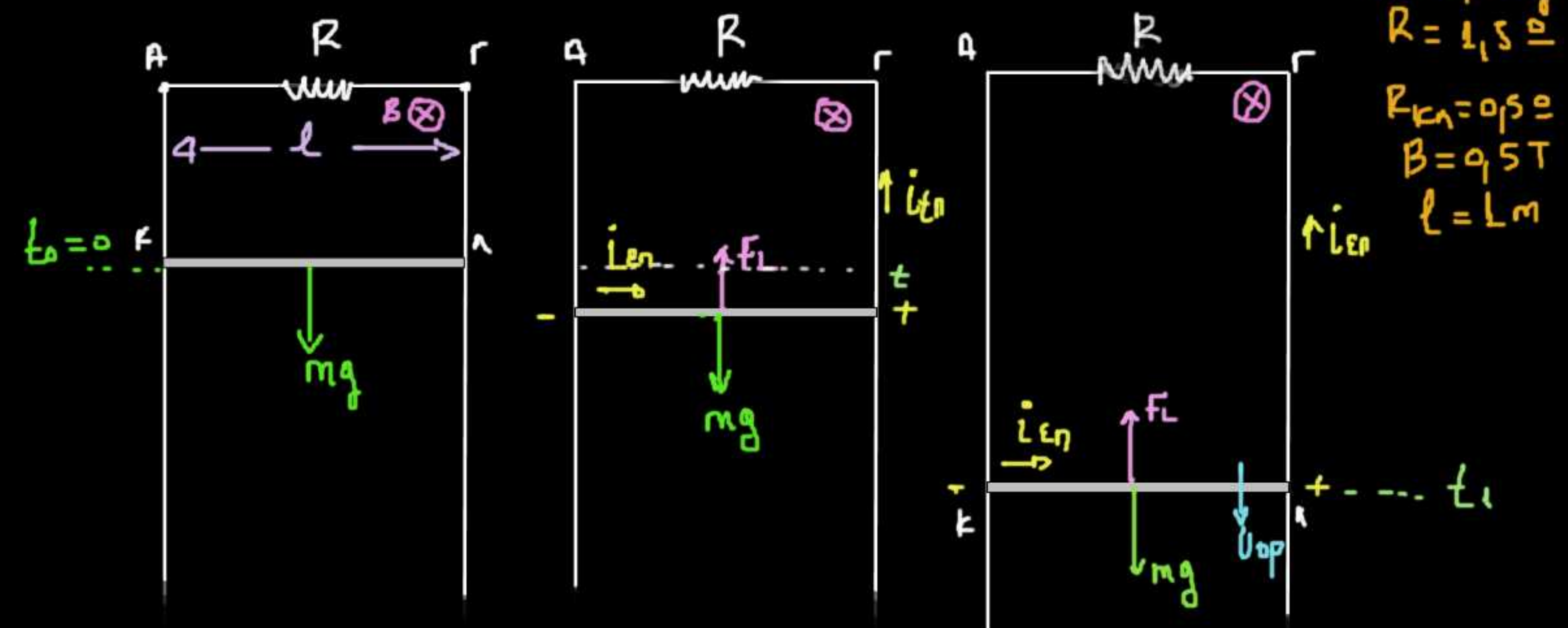
Η v του αγωγού αυξάνεται $\xrightarrow{(3)}$ η F_L αυξάνεται $\xrightarrow{(4)}$ η a μειώνεται $\rightarrow$ ο αγωγός θα εκτελεί επιταχυνόμενη κίνηση με συνεχώς μειούμενη επιτάχυνση.

Όταν $\underline{a=0} \Rightarrow$ ο αγωγός θα έχει την μέγιστη ταχύτητα του και από εκεί και μετά θα κινείται με αυτή την σταθερή ταχύτητα (οριακή ταχύτητα $v_{\text{ορ}}$)

$$\underline{\text{Τότε:}} \quad \Sigma F = 0 \Rightarrow F = F_L = \frac{B^2 v_{\text{ορ}} \ell^2}{R_{\text{ολ}}\lambda} \Rightarrow v_{\text{ορ}} = \frac{F \cdot R_{\text{ολ}}\lambda}{B^2 \cdot \ell^2}$$

Προσοχή! Όταν στον αγωγό ασκείται $F = 6 \text{ ταθ}$ τότε αυτός δεν αποκτά σταθερή επιτάχυνση.

Κατακόρυφη κίνηση ράβδου χωρίς αρχική ταχύτητα



Αφήνουμε την ράβδο ελεύθερη την $t_0 = 0$. Τότε $\Sigma F = mg \rightarrow$ κινείται προς τα κάτω. Στην ράβδο εμφανίζεται ΗΕΔ από επαγωγή όπως στο

6 σχήμα: $E_{\text{επ}} = Bv\ell \quad (1)$, $I_{\text{επ}} = \frac{E_{\text{επ}}}{R_{\text{ολ}}\lambda} = \frac{Bv\ell}{R_1 + R_2} \quad (2)$
 $F_L = B I_{\text{επ}} \ell \xrightarrow{(2)} F_L = \frac{B^2 v \ell^2}{R_1 + R_2} \quad (3)$
 $\Sigma F = m a \Rightarrow mg - F_L = m a \quad (4)$

$v = a \cdot t$, $a \neq 6 \text{ ταθ}$
 Επειδή η κίνηση είναι επιταχυνόμενη $\rightarrow v$ αυξάνεται $\xrightarrow{(3)}$ F_L αυξάνεται $\xrightarrow{(4)}$ η επιτάχυνση a μειώνεται όταν $\underline{a=0} \rightarrow F = F_L$

Επειδή η v αυξάνεται $\xrightarrow{(3)}$ η F_L αυξάνεται $\xrightarrow{(4)}$ η a μειώνεται. Άρα η κίνηση του αγωγού είναι επιταχυνόμενη με συνεχώς μειούμενη επιτάχυνση. Όταν $\underline{a=0}$ ο αγωγός θα αποκτήσει την μέγιστη

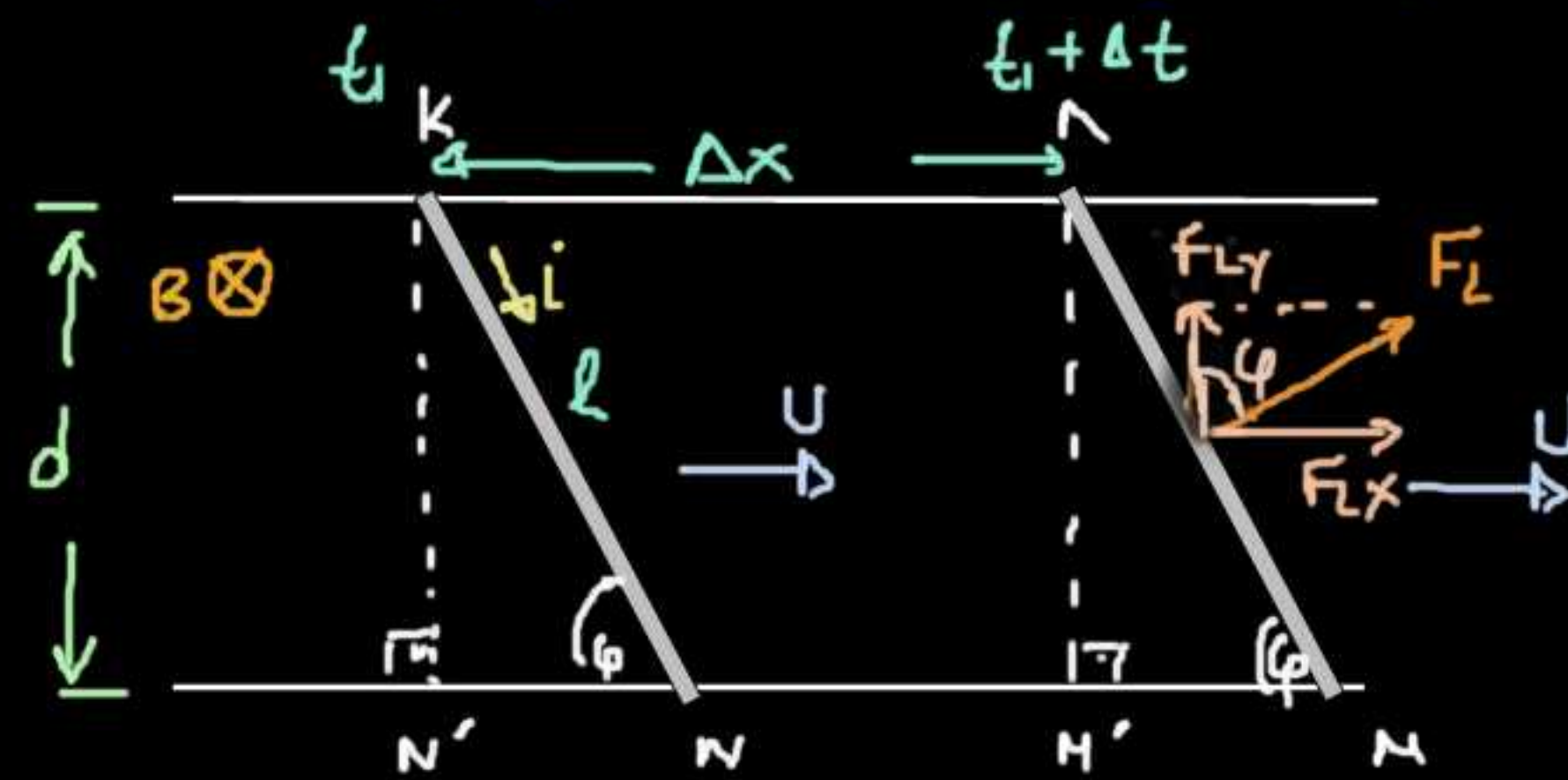
ταχύτητα του (οριακή ταχύτητα $v_{\text{ορ}}$) έστω την t_1 (6 σχήμα).

$$a=0 \Rightarrow \Sigma F = 0 \Rightarrow F_L = mg \xrightarrow{(3)} \frac{B^2 v_{\text{ορ}} \ell^2}{R_{\text{ολ}}\lambda} = mg \Rightarrow \boxed{v_{\text{ορ}} = \frac{mg R_{\text{ολ}}\lambda}{B^2 \ell^2}}$$

$$\Rightarrow \boxed{v_{\text{ορ}} = 8 \text{ m/s}}$$

Στην $\underline{t_1}$: $E_{\text{επ}} = Bv\ell \Rightarrow E = 4 \text{ V}$
 $I_{\text{επ}} = \frac{E_{\text{επ}}}{R_{\text{ολ}}\lambda} \Rightarrow I_{\text{επ}} = 2 \text{ A}$

- Αν ο αγωγός εκτεταίνεται χρονία φ με τους οδηγούς



Εστω ότι ο ΚΑ αγωγός εκτεταίνεται χρονία φ με τους οδηγούς και διαρρέεται από ρεύμα έντασης I .

Ο αγωγός ΚΑ δέχεται F_L όπως στο σχήμα

Για το εμβαδόν ΔS που διαγράφει σε Δt

$$\Delta S = E \kappa \mu \mu' N' = \Delta x \cdot (\kappa N') = \Delta x \cdot l \eta \mu \varphi = \Delta x \cdot d$$

ΡΥΘΜΟΙ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

α) Ρυθμός παροχής ενέργειας από δύναμη:

$$\frac{\Delta W_F}{\Delta t} = \frac{\Delta(F \cdot x)}{\Delta t} = F \cdot \frac{dx}{dt} = F \cdot v$$

β) Ρυθμός μεταβολής κινητικής ενέργειας

$$\frac{\Delta K}{\Delta t} = \Sigma W_F = \pm \Sigma F \cdot v$$

γ) Ρυθμός μεταβολής δυναμικής ενέργειας

$$\Delta U_{βαρ} = \pm m g y_y \begin{cases} + \text{ όταν κατεβαίνει} \\ - \text{ όταν ανεβαίνει} \end{cases}$$

δ) Ρυθμοί καταπόνησης ενέργειας υπό μορφή θερμότητας (θερμική ισχύς).

$$P_R = I^2 R$$

Ε) Η ισχύς της F_L (P_{FL}) μετατρέπεται εξ ολοκλήρου

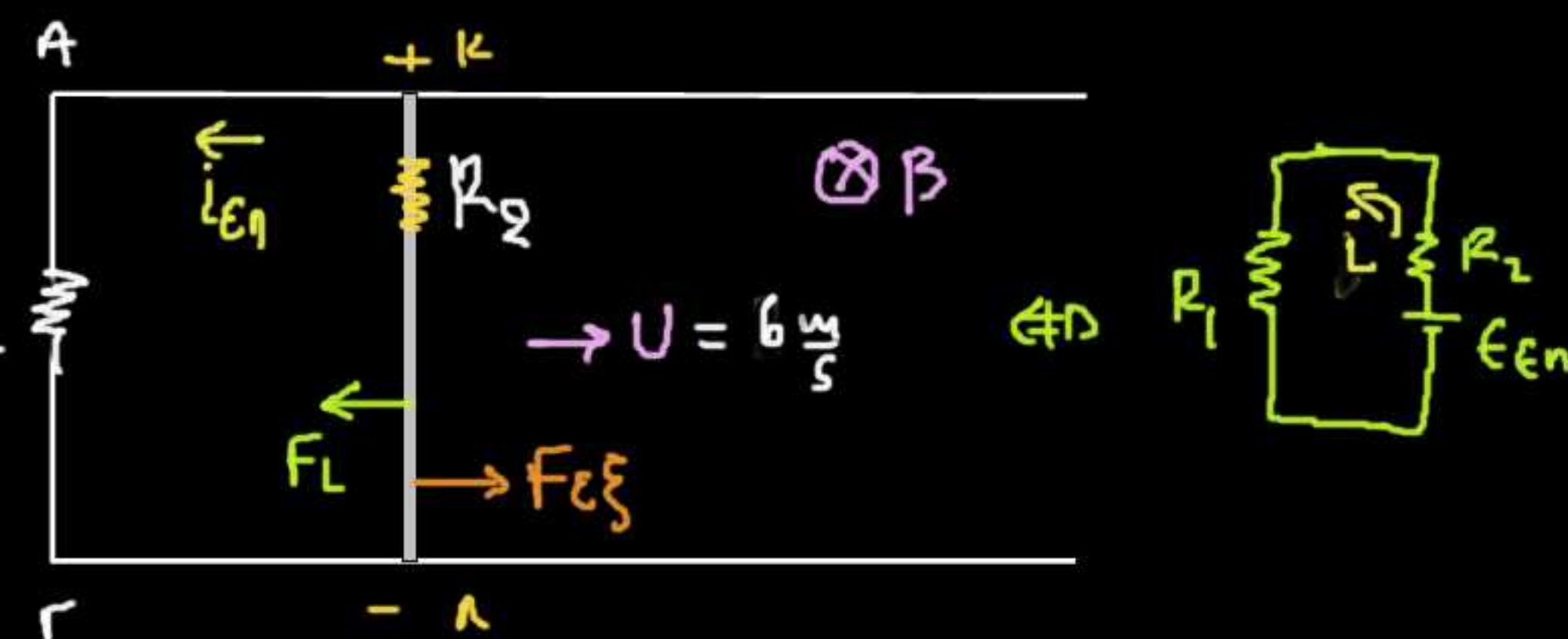
σε θερμική ισχύς στους αντιστάτες του κυκλώματος

$$|P_{FL}| = F_L \cdot v = I^2 R_{ολ}$$

$$\text{• Όταν } v = 6 \text{ m/s} \Rightarrow P_{FL} = P_{R_{ολ}} \quad (F_L = F_{εξ})$$

Παράδειγμα

$$R_1 = 2 \Omega \\ R_{κλ} = R_2 = 1 \Omega \\ B = 1 \text{ T}, l = 1 \text{ m}$$



Το W_{F_L} μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια στις αντιστάσεις

$$v = 6 \text{ m/s} \rightarrow \epsilon_{\epsilon\eta} = \frac{B v l}{R_{ολ}} \Rightarrow \epsilon_{\epsilon\eta} = 2 \text{ Volt}$$

$$I_{\epsilon\eta} = \frac{\epsilon_{\epsilon\eta}}{R_{ολ}} = \frac{2}{3} \text{ A} \Rightarrow Q_{R_1} = I^2 \cdot R_1 \cdot t \xrightarrow{t=1s} Q_{R_1} = \frac{4}{9} \text{ J}$$

$$Q_{R_2} = I^2 \cdot R_2 \cdot t \Rightarrow Q_{R_2} = \frac{4}{9} \cdot 2 \cdot 1 = \frac{8}{9} \text{ J}$$

$$\Rightarrow Q_{ολ} = Q_{R_1} + Q_{R_2} \Rightarrow Q_{ολ} = \frac{12}{9} \Rightarrow Q_{ολ} = \frac{4}{3} \text{ J}$$

β' τρόπο

* Επειδή R_1, R_2 είναι σε σειρά: $R_{ολ} = R_1 + R_2 = 3 \Omega$

$$\text{Για } \Delta t = 1 \text{ s: } Q_{ολ} = I^2 \cdot R_{ολ} \cdot \Delta t \Rightarrow Q_{ολ} = \frac{4}{9} \cdot 3 \cdot 1 \Rightarrow Q_{ολ} = \frac{4}{3} \text{ J}$$

• Προσοχή: Τα παραπάνω ισχύουν εφόσον διαρρέονται οι R_1 και R_2 από το ίδιο ρεύμα.

Αν οι R_1 και R_2 ήταν σε παράλληλη σύνδεση δεν διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα. Πρέπει πρώτα να βρούμε το ρεύμα που διαρρέει την κάθε αντίσταση.

Σε παράλληλη βολευς πολλές φορές η σχέση $Q = \frac{V^2}{R} t$

Παράδειγμα

$$R_1 = 3 \Omega$$

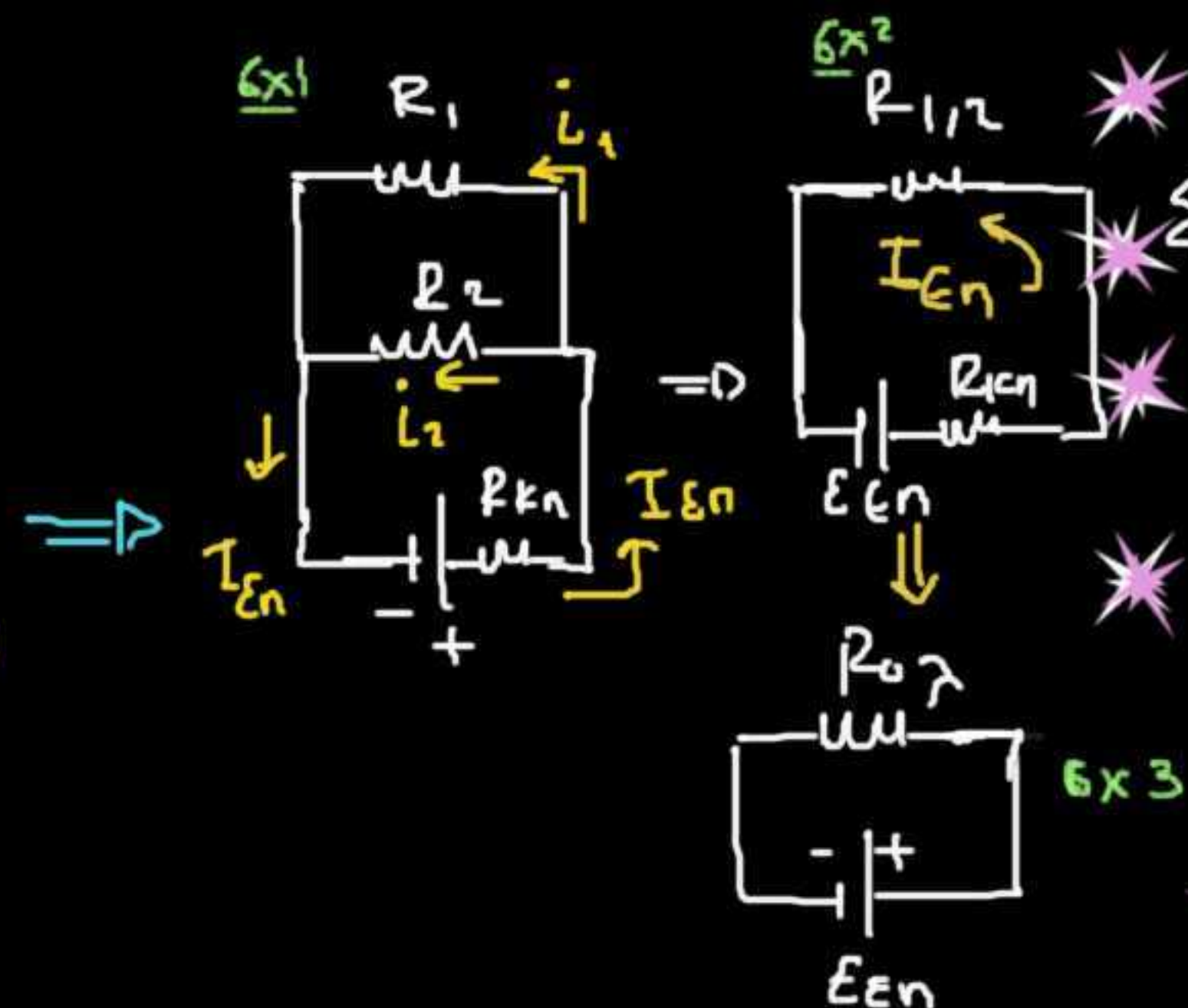
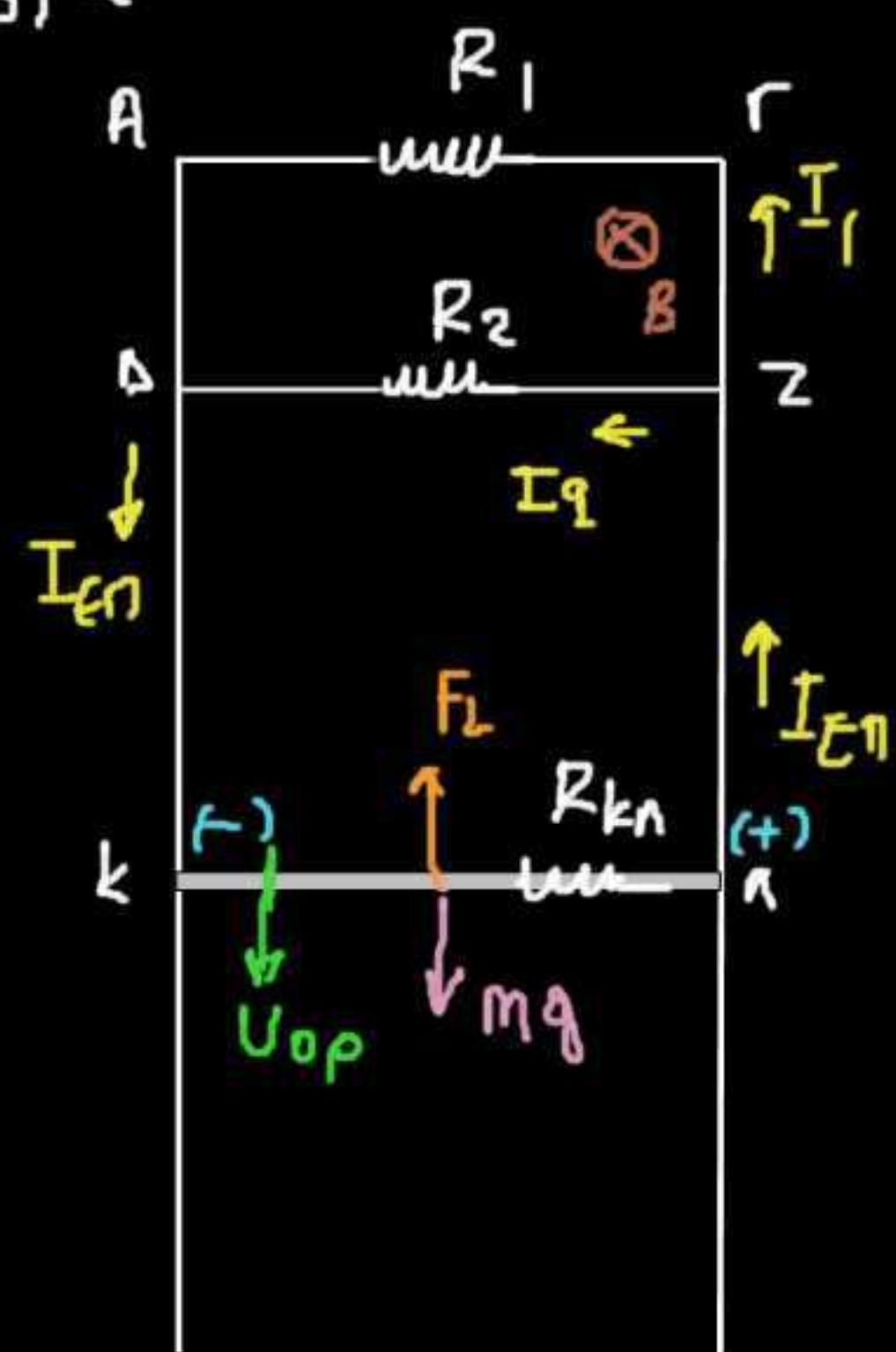
$$R_2 = 6 \Omega$$

$$R_{kn} = 2 \Omega$$

$$U_{op} = 6 \frac{m}{s}$$

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

$$l = 1 \text{ m}$$



$$E_{En} = B U_{op} l = 12 \text{ V}$$

$$R_{0\lambda} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_{kn} = \frac{18}{9} + 2 = 4 \Omega \Rightarrow I_{En} = \frac{E_{En}}{R_{0\lambda}} \Rightarrow I_{En} = 3 \text{ A}$$

Βρίσκω τα I_1 και I_2 : πρώτα την τάση $V_{AR} = V_{\Delta Z}$

$$\Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_2 \Rightarrow 3 I_1 = 6 I_2 \Rightarrow I_1 = 2 I_2 \quad (2)$$

$$\text{Ομως } I_{En} = I_1 + I_2 \xrightarrow{(1)} 3 = 2 I_2 + I_2 \Rightarrow I_2 = 1 \text{ A}$$

$$\text{αρα } I_1 = 2 \text{ A}$$

* Θα μπορούσα να βρω την $V_n = V_{AR} = E_{En} - I_{En} R_{kn}$

$$\Rightarrow V_{AR} = 12 - 3 \cdot 2 \Rightarrow V_{AR} = 6 \text{ Volt}$$

$$\text{οποτε } I_1 = \frac{V_{AR}}{R_1} = \frac{6}{3} \Rightarrow I_1 = 2 \text{ A και } I_2 = \frac{V_{AR}}{R_2} = \frac{6}{6} \Rightarrow I_2 = 1 \text{ A}$$

$$\text{Σε } \Delta t = 1 \text{ s: } Q_1 = I_1^2 R_1 \Delta t \Rightarrow Q_1 = 12 \text{ J}$$

$$Q_2 = I_2^2 R_2 \Delta t \Rightarrow Q_2 = 6 \text{ J}$$

$$Q_{kn} = I_{En}^2 R_{kn} \Delta t = Q_{kn} = 18 \text{ J}$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_1 = 12 \text{ J} \\ Q_2 = 6 \text{ J} \\ Q_{kn} = 18 \text{ J} \end{array} \right\} Q_{0\lambda} = 36 \text{ J}$$

Πόσο είναι το W_{FL} για $\Delta t = 1 \text{ s}$;

Σε $\Delta t = 1 \text{ s}$ ο κλ μετακινείται προς τα κάτω κατά $\Delta y = U \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta y = 6 \text{ m}$

$$|W_{FL}| = |F_L \cdot \Delta y| = |B I_{En} l \cdot \Delta y| = |2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 6| = 36 \text{ J}!$$

Το W_{FL} μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε $Q_{θερμ}$ στις αντιστάσεις του κυκλώματος

Ένας άλλος τρόπος λύσης:

$$\left. \begin{array}{l} Q_1 = \frac{V_{AR}^2}{R_1} \cdot \Delta t \\ Q_2 = \frac{V_{\Delta Z}^2}{R_2} \cdot \Delta t \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1} = 2 \Rightarrow Q_1 = 2 Q_2 \quad (1)$$

* Χρησιμοποιώ την σχέση $Q = \frac{V^2}{R} t$ επειδή οι R_1, R_2 έχουν ίδια τάση

$$\left. \begin{array}{l} Q_{1,2} = \frac{I_{En}^2 R_{1,2} \Delta t}{I_{En}^2 R_{kn} \Delta t} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{Q_{1,2}}{Q_{kn}} = \frac{R_{1,2}}{R_{kn}} = \frac{2}{2} \Rightarrow Q_{1,2} = Q_{kn}$$

* Οι $R_{1,2}$ και R_{kn} διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα (6x2)

$$\Rightarrow Q_1 + Q_2 = Q_{kn} \xrightarrow{(1)} Q_{kn} = 3 Q_2 \quad (2)$$

$$\text{Ομως } Q_{0\lambda} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \Rightarrow Q_{0\lambda} = 6 Q_2 \Rightarrow Q_2 = 6 \text{ J}$$

$$\text{και } Q_{0\lambda} = W_{FL} = 36 \text{ J}$$

$$\text{αρα } Q_1 = 12 \text{ J και } Q_{kn} = 18 \text{ J}$$

$$\text{ΜΕ ΑΔΕ: } E_{τελ} = E_{αρχ} - Q_{0\lambda}$$

$$\frac{1}{2} m U_{op}^2 = \frac{1}{2} m U_{op}^2 + m g \Delta y - Q_{0\lambda} \quad (1)$$

Η μάζα m δεν δίνεται.

$$\text{Ομως } U = \text{σταθ} \Rightarrow \sum F = 0 \Rightarrow F_L = m g \Rightarrow \frac{B^2 U_{op}^2 l^2}{R_{0\lambda}} = m g \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{αρα } \frac{4 \cdot 6 \cdot 1}{4} = m \cdot 10 \Rightarrow m = 0,6 \text{ kg} \end{array} \right\} \Rightarrow Q_{0\lambda} = 0,6 \cdot 10 \cdot 6 = 36 \text{ J} = W_{FL}$$

ΒΟΛΕΥΕΙ Η ΑΔΕ ΕΙΔΙΚΑ αν υπάρχει και τριβή.



Η οριζόντια μεταλλική ράβδος ΚΛ μήκους $L=0,5\text{ m}$, μάζας $m=0,5\text{ kg}$, έχει ωμική αντίσταση $R_1=0,1\Omega$ και συγκρατείται ακίνητη πάνω στους κατακόρυφους, αγωγίσιμους - αμελητέας αντίστασης - οδηγούς γ_1 και γ_2 . Στο χώρο υπάρχει οριζόντιο ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης $B=2\text{ T}$, κάθετο στη ράβδο ΚΛ, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Τα άκρα Α, Γ συνδέονται με αντίσταση $R_2=0,4\Omega$.

Τη χρονική στιγμή $t=0$, εκτοξεύουμε τη ράβδο ΚΛ προς τα κάτω με αρχική ταχύτητα $u_{\text{αρχ}}=2\text{ m/s}$, η οποία κινείται δεχόμενη από τους δύο οδηγούς συνολική τριβή μέτρου $T=2\text{ N}$.

Μετά από μετατόπιση $y=2\text{ m}$, ο αγωγός αποκτά σταθερή ταχύτητα.

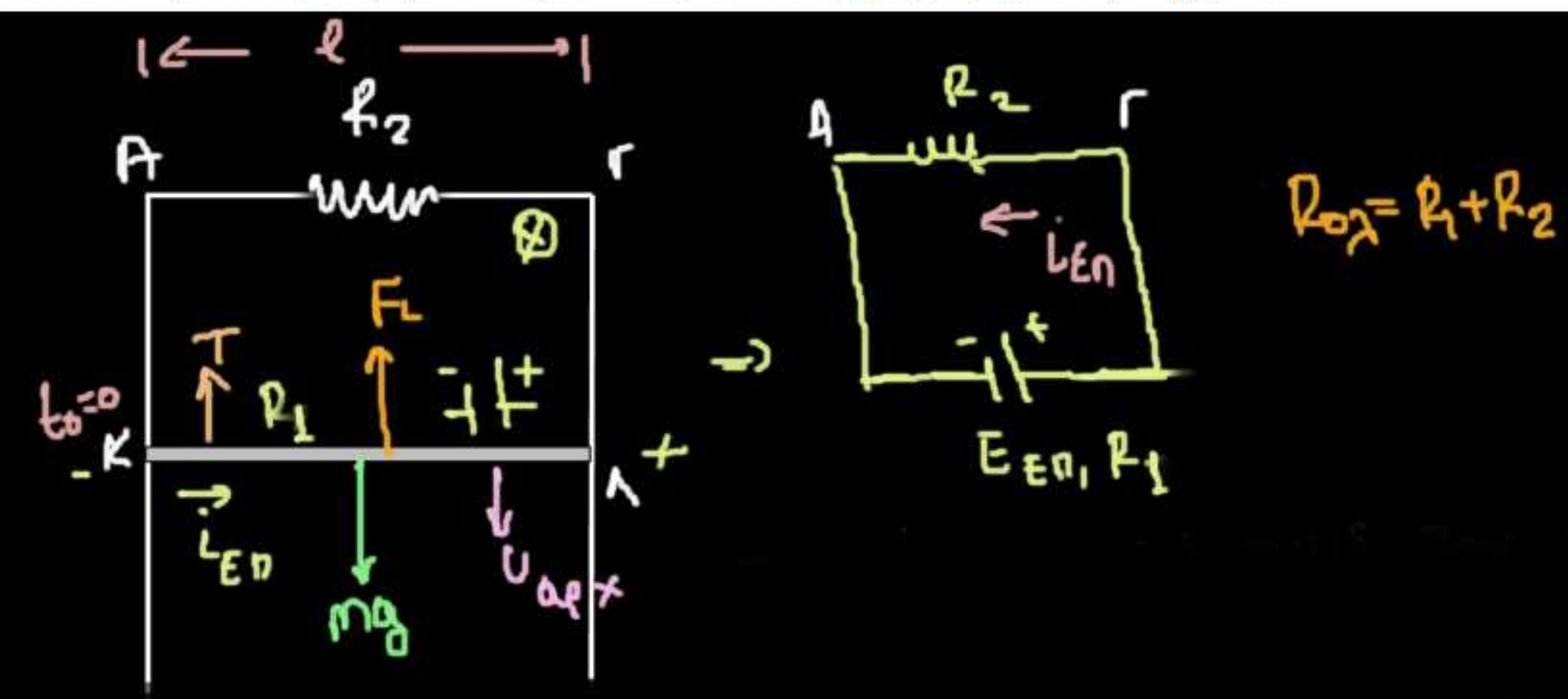
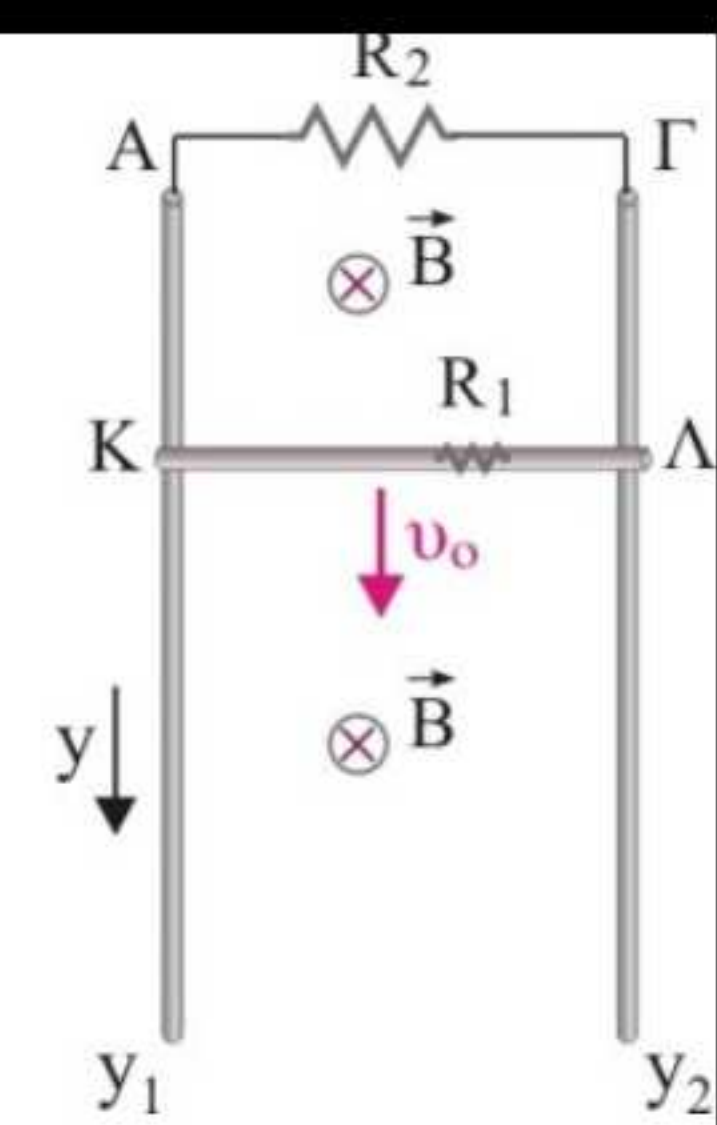
α) Να προσδιορίσετε τη φορά και την ένταση του επαγωγικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα αμέσως μετά την εκτόξευση της ράβδου.

β) Να προσδιορίσετε το είδος της κίνησης που θα εκτελέσει η ράβδος και να βρείτε τη σταθερή (οριακή) ταχύτητα $u_{\text{ορ}}$, που θα αποκτήσει ο αγωγός.

γ) Να υπολογίσετε τη θερμική ενέργεια που εκλύθηκε στους ωμικούς αντιστάτες μέχρι τη στιγμή που η ράβδος αποκτάει την οριακή ταχύτητα.

δ) Να υπολογίσετε το ρυθμό μεταβολής της δυναμικής ενέργειας τη χρονική στιγμή t_1 , που η δύναμη Laplace ισούται με $3,5\text{ N}$.

ε) Να υπολογίσετε τη διαφορά δυναμικού στην αντίσταση R_2 , τη χρονική στιγμή t_1 .



Εκτοξεύουμε τον αγωγό προς τα κάτω με $u_{\text{αρχ}}=2\text{ m/s}$.
 $u = u_{\text{αρχ}} + at \xrightarrow{t=0} u = 2\text{ m/s}$.

Καθώς κινείται προς τα κάτω, διαρύνει επιφάνεια $\Delta S = l \cdot \Delta y \rightarrow \Delta \Phi = B \cdot l \Delta y \rightarrow E_{\text{εη}} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{B l \Delta y}{\Delta t} = B v l$

Λόγω του κανόνα του Lenz εμφανίζεται $I_{\text{εη}}$ ώστε η F_L να αντιτιθέται στην κίνηση. Άρα η F_L είναι προς τα πάνω αφού το $I_{\text{εη}}$ έχει φορά όπως στο σχήμα.

Την $t=0$: $I_{\text{εη}} = \frac{E_{\text{εη}}}{R_{\text{ολ}}} = \frac{B v l}{R_{\text{ολ}}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,5}{0,5} \Rightarrow I_{\text{εη}} = 4\text{ A}$
και $F_L = B I l \Rightarrow F_L = 2 \cdot 4 \cdot 0,5 \Rightarrow F_L = 4\text{ N}$

Στον αγωγό ασκείται τριβή $T=2\text{ N}$ οπότε:

$\vec{\Sigma F} = m\vec{g} + \vec{F}_L + \vec{T} \xrightarrow{\downarrow +} \Sigma F = 5 - 4 - 2 = -1\text{ N} \rightarrow$ **ο αγωγός**

κινείται επιβραδυνόμενα προς τα κάτω με αρχική επιβράδυνση

$a_1 = \frac{\Sigma F}{m} = \frac{1}{0,5} \Rightarrow a_1 = 2\text{ m/s}^2$

$E_{\text{εη}} = B v l$ (1), $I_{\text{εη}} = \frac{B v l}{R_{\text{ολ}}}$ (2), $F_L = B I l \Rightarrow F_L = \frac{B^2 v l^2}{R_{\text{ολ}}}$ (3)

$\Sigma F = m a \xrightarrow{\uparrow +} F_L + T - m g = m a$ (4)

Η $v \downarrow \xRightarrow{(2)} I_{\text{εη}} \downarrow \xRightarrow{(3)} F_L \downarrow \xRightarrow{(4)} a \downarrow$. Όταν $\Sigma F = 0 \Rightarrow a = 0$

$\Rightarrow u = u_{\text{ορ}} = 6\text{ m/s}$. (4) $\Rightarrow F_L + T - m g = 0 \Rightarrow F_L = m g - T \Rightarrow F_L = 3\text{ N}$

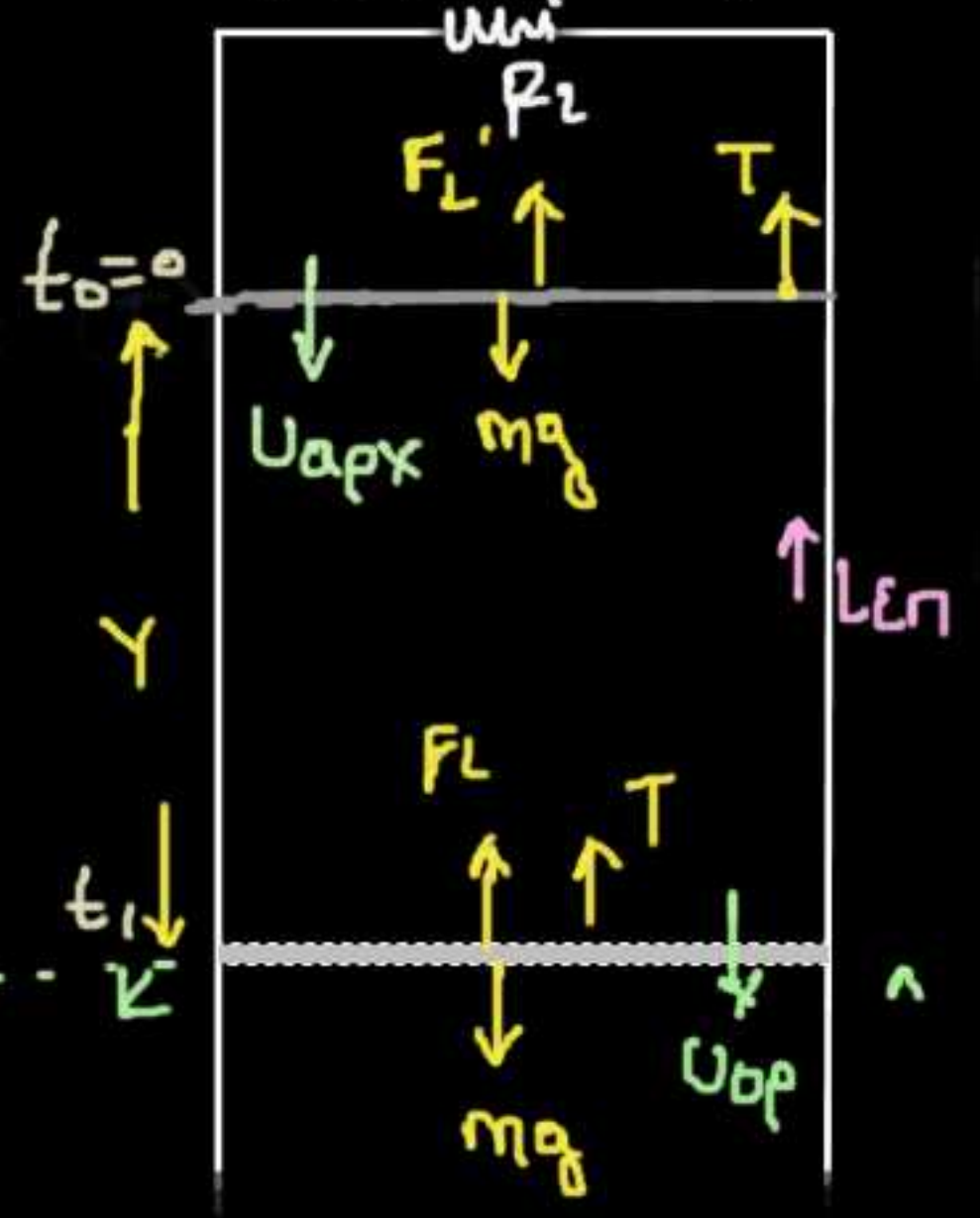
(4) $\Rightarrow \frac{B^2 u_{\text{ορ}}^2 l^2}{R_{\text{ολ}}} = 3 \Rightarrow \frac{4 \cdot u_{\text{ορ}}^2}{0,5} = 3 \Rightarrow \boxed{u_{\text{ορ}} = 1,5\text{ m/s}}$
Από τότε και μετά $u = 6\text{ m/s} = 1,5\text{ m/s}$

β) Μέχρι να αποκτήσει την $u_{\text{ορ}}$ ο κλ δεν διαρρέεται από ελεύθερο ρεύμα

($E_{\text{εη}} = B v l = u\text{ mV}$, $I_{\text{εη}} = \frac{B v l}{R_{\text{ολ}}} \Rightarrow I_{\text{εη}} = 2\text{ A}$, $F_L = B I l = 2\text{ N}$)

Για να υπολογίσουμε την θερμότητα Q δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την σχέση $Q = I^2 R \Delta t$.

Λύνουμε με ΑΔΕ από την $t=0$ μέχρι όταν $u = u_{\text{ορ}}$



$E_{\text{τεη}} = E_{\text{αρχ}} - Q - W_T \Rightarrow \frac{1}{2} m u_{\text{ορ}}^2 = \frac{1}{2} m u_{\text{αρχ}}^2 + m g y - Q - T \cdot y$

$\Rightarrow \frac{1}{4} \cdot \frac{9}{4} = \frac{1}{4} \cdot 4 + 10 - Q - 4 \Rightarrow \frac{-7}{16} = 6 - Q \Rightarrow Q = \frac{96+7}{16} = \frac{103}{16}$

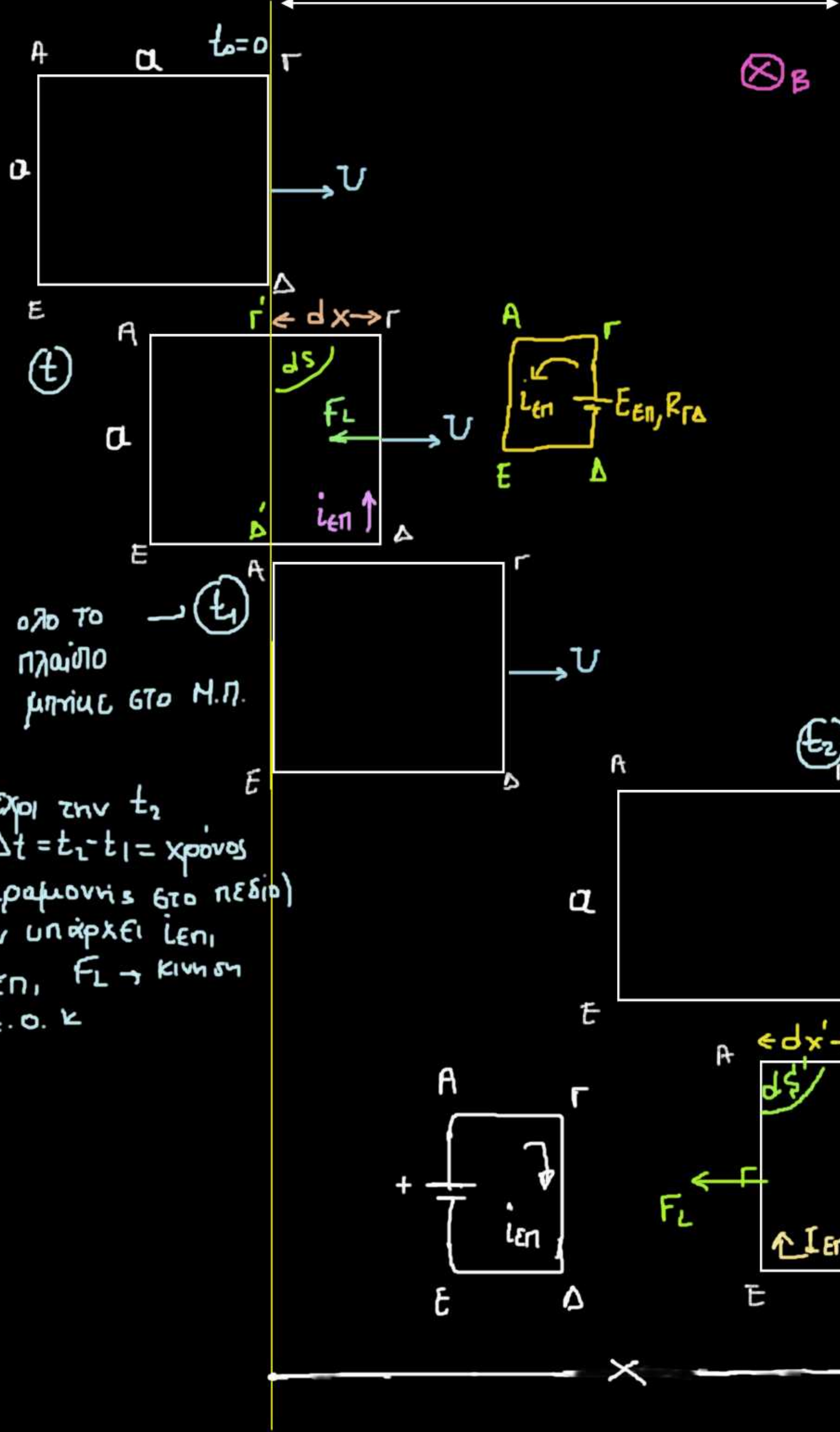
$\Rightarrow \boxed{Q = 6,4375\text{ J}}$

γ) $\frac{\Delta U}{\Delta t} = -m g v_y$ (5) Άρα πρέπει να βρούμε την v_y όταν $F_L = 3,5\text{ N}$. οπώς $F_L = 2 \cdot u \Rightarrow 2u = 3,5 \Rightarrow u = \frac{7}{4}\text{ m/s}$

(5) $\Rightarrow \frac{\Delta U}{\Delta t} = -5 \cdot \frac{7}{4} \Rightarrow \boxed{\frac{\Delta U}{\Delta t} = -8,75\text{ J/sec}}$

Εισαγωγή πλαισίου σε Ο.Η.Π

$$D=5a$$



Έστω ότι τετραγωνο πλαισιο πλευράς a εισέρχεται με $v = \text{σταθ}$ σε Ο.Η.Π που εκτείνεται σε απόσταση D .

Την $t_0=0$ εισέρχεται στο Ο.Η.Π: Για να μπει ολόκληρο: $x = v \cdot t \xrightarrow{x=a} t_1 = \frac{a}{v}$. Άρα χρονικό διάστημα εισόδου: $0 \leq t \leq \frac{a}{v}$

Μεταβολή ροής: $\Phi = B \cdot S = B \cdot a \cdot dx \Rightarrow \Phi = B a v t, 0 \leq t \leq \frac{a}{v}$. $\Phi_{αρχ} = 0$. Το (-) ερμηνεύεται από i_{en}

$$E_{en} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{B a v \Delta t}{\Delta t} \Rightarrow E_{en} = - B a v \Rightarrow i_{en} = \frac{E_{en}}{R_{\text{ολ}}}$$

Τάση στα άκρα (ΑΕ): Η επαγωγική τάση εμφανίζεται στα άκρα (ΓΔ) οπότε η εσωτερική αντίσταση της πηγής είναι η $R_{\Gamma\Delta}$ δηλ $R_{\Gamma\Delta} = R_{\Gamma\Delta}$.

Αν η συνολική αντίσταση είναι R και το πλαισιο τετραγωνο $R_{\Gamma\Delta} = \frac{R}{4}$ οπότε $R_{AE} = \frac{R}{4} \rightarrow V_{AE} = i_{en} \cdot \frac{R}{4} = \frac{B a v}{4}$ { ανάλογα ερχογόμοσε αν το πλαισιο ήταν παρ/μμο }

$$\text{Δύναμη } F_L: F_L = B i_{en} L = \frac{B^2 a^2 v}{R}$$

II) ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ: $\Delta \Phi = 0 \rightarrow E_{en} = 0 \rightarrow i_{en} = 0$
χρόνος παραμονής: $\Delta t = \frac{D - 2a}{v} = \frac{5a - 2a}{v} = \frac{3a}{v}$

χρονική στιγμή εισόδου: $t_1 = \frac{a}{v}$, χρονική στιγμή εξόδου: $t_2 = \frac{5a}{v}$

III) Εξόδος από το πεδίο:

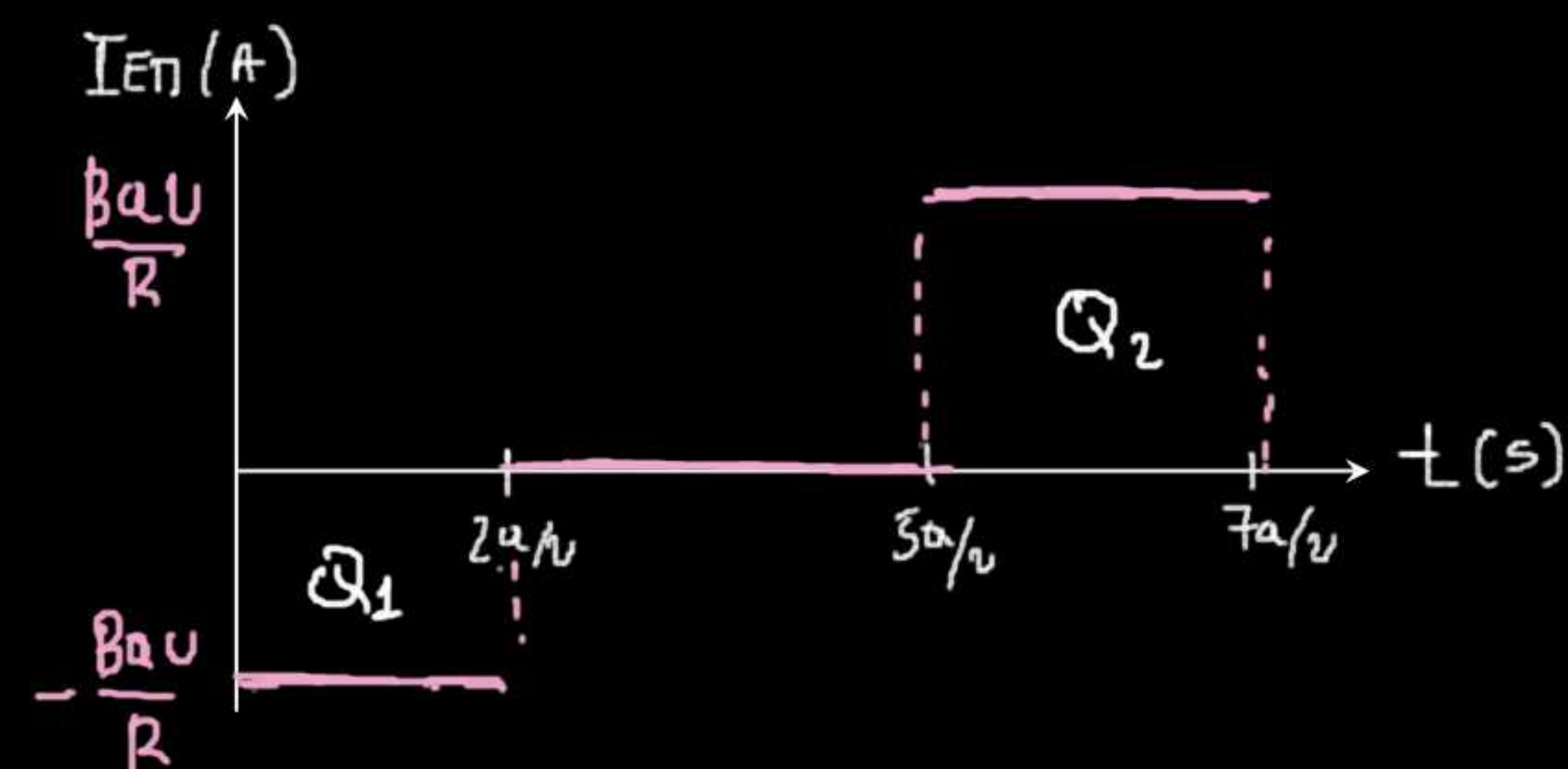
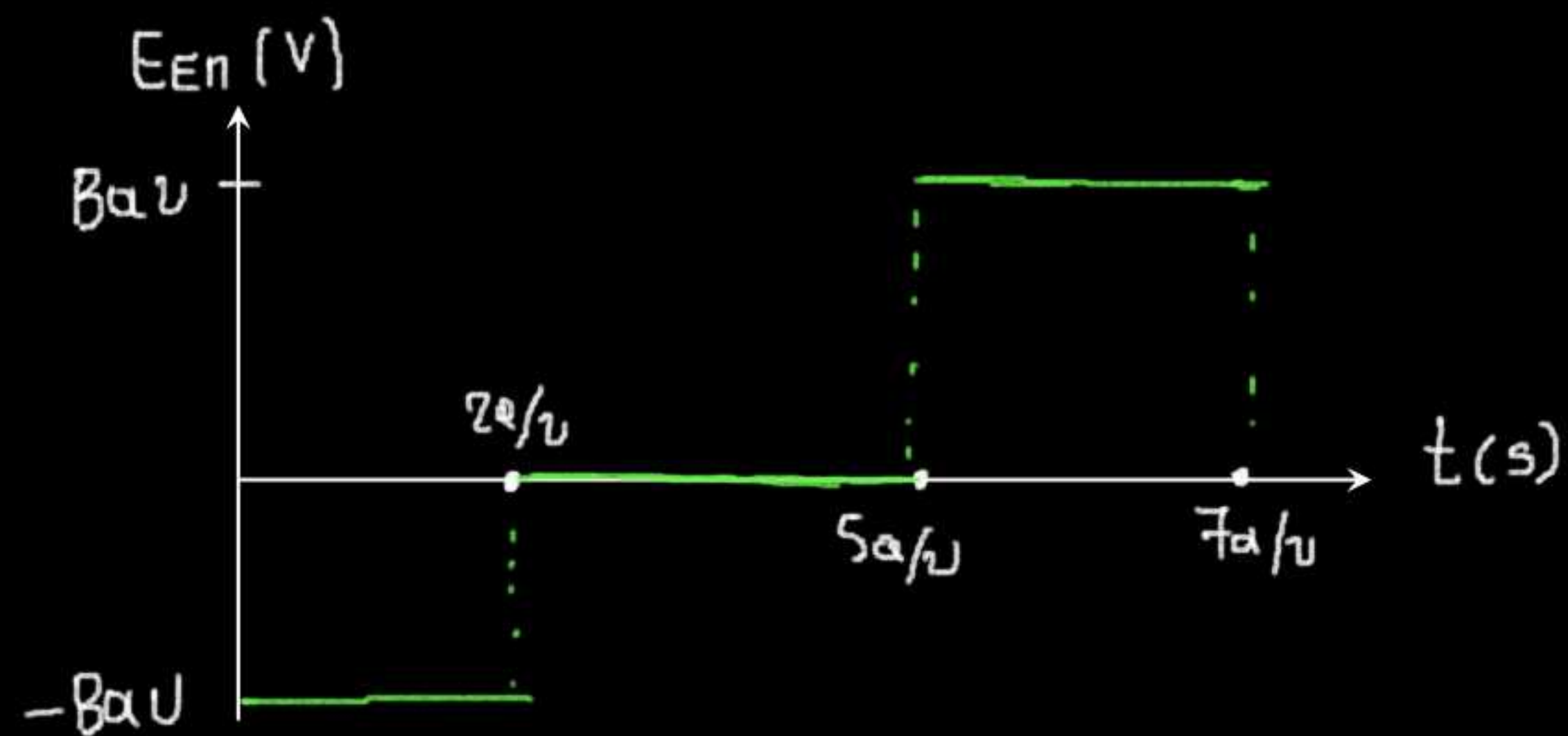
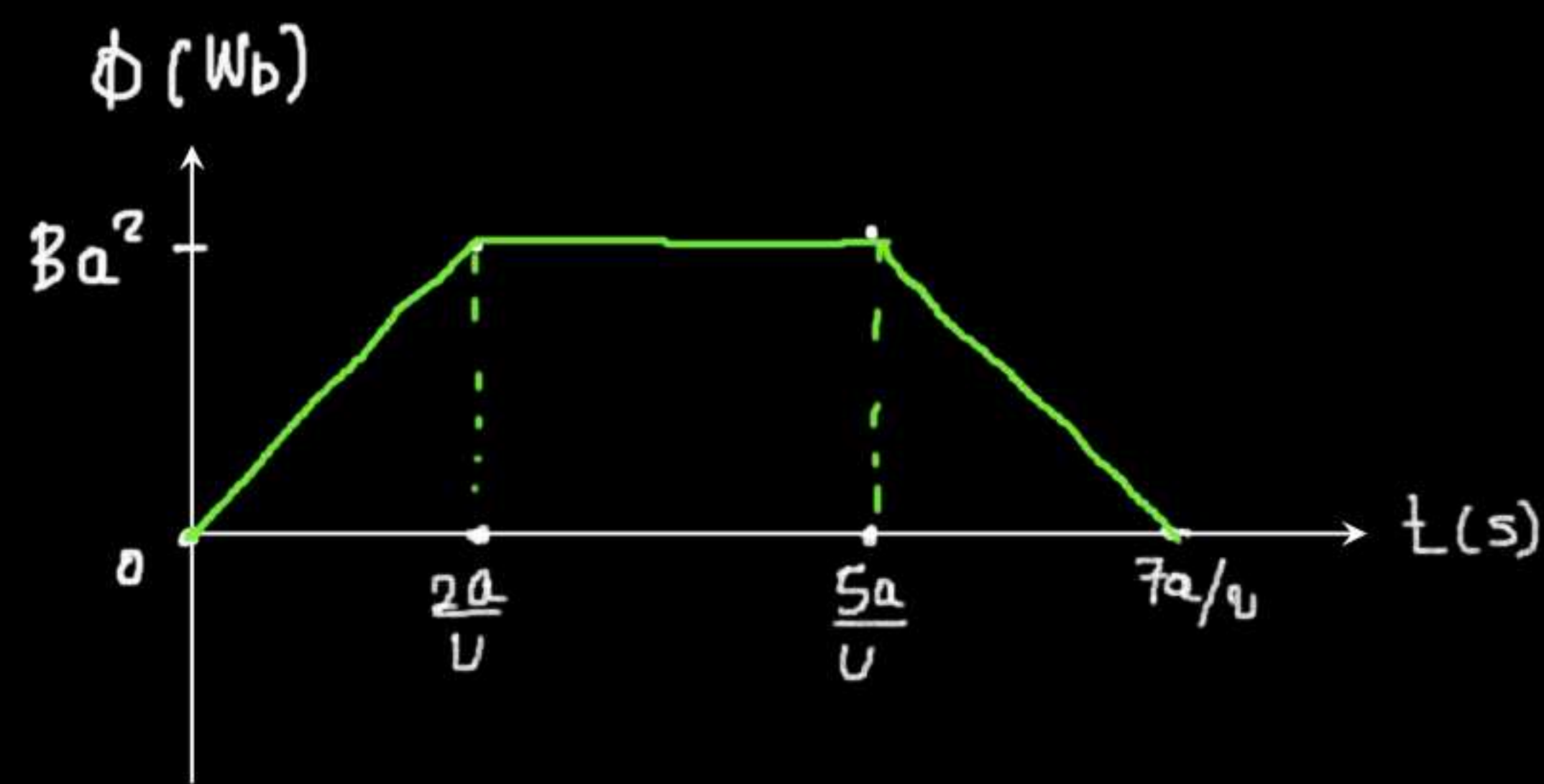
Αρχή εξόδου: $t_2 = \frac{5a}{v}$

Τέλος εξόδου: $t_3 = \frac{7a}{v}$

$$\text{Μαγνητική Ροή: } \Phi = B \cdot dS = B \cdot a \cdot dx' = B a [A\Gamma - \Gamma\Gamma] = B a [a - (x - D)] = B a [a - x + 5a] \Rightarrow \Phi = B a [6a - vt]$$

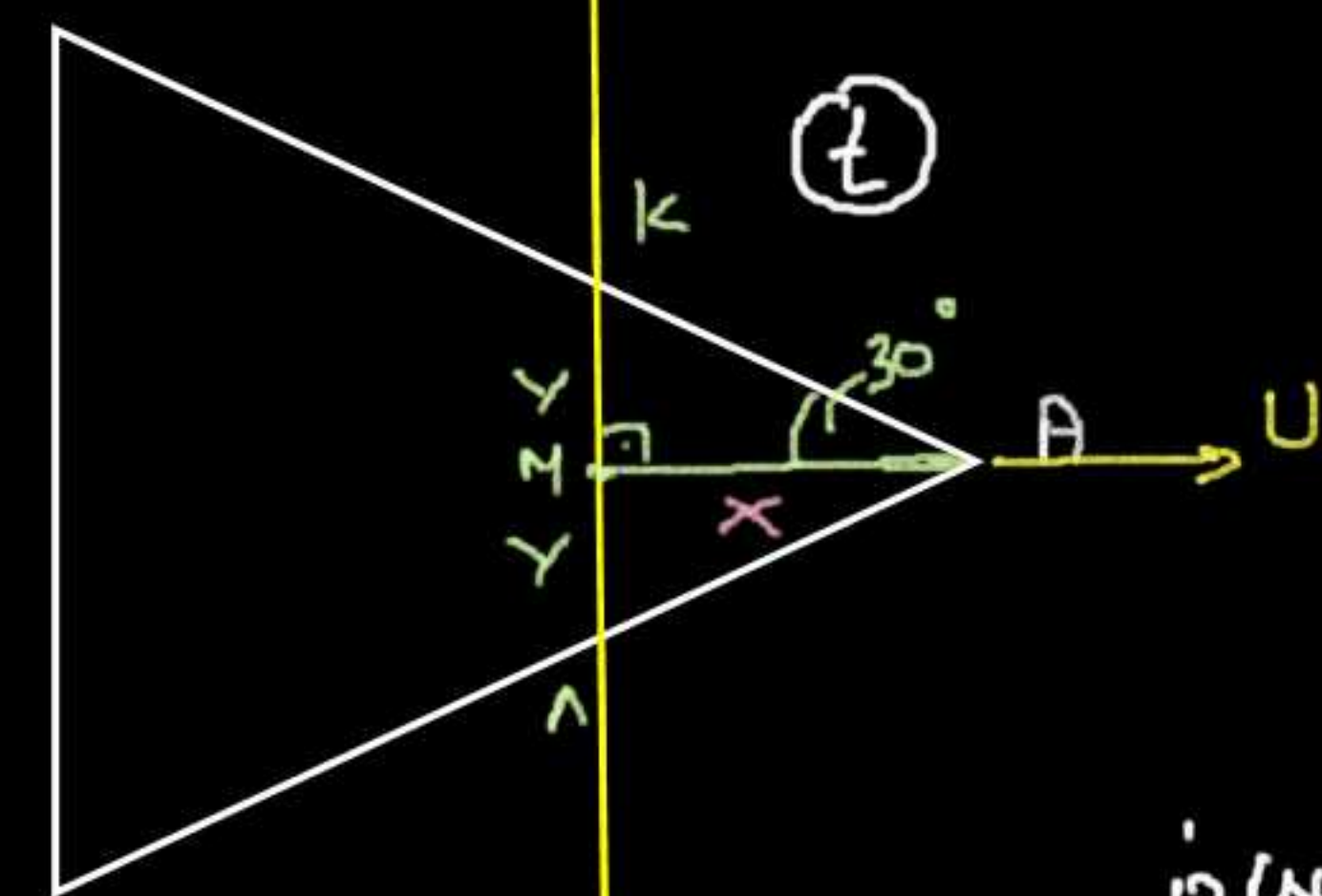
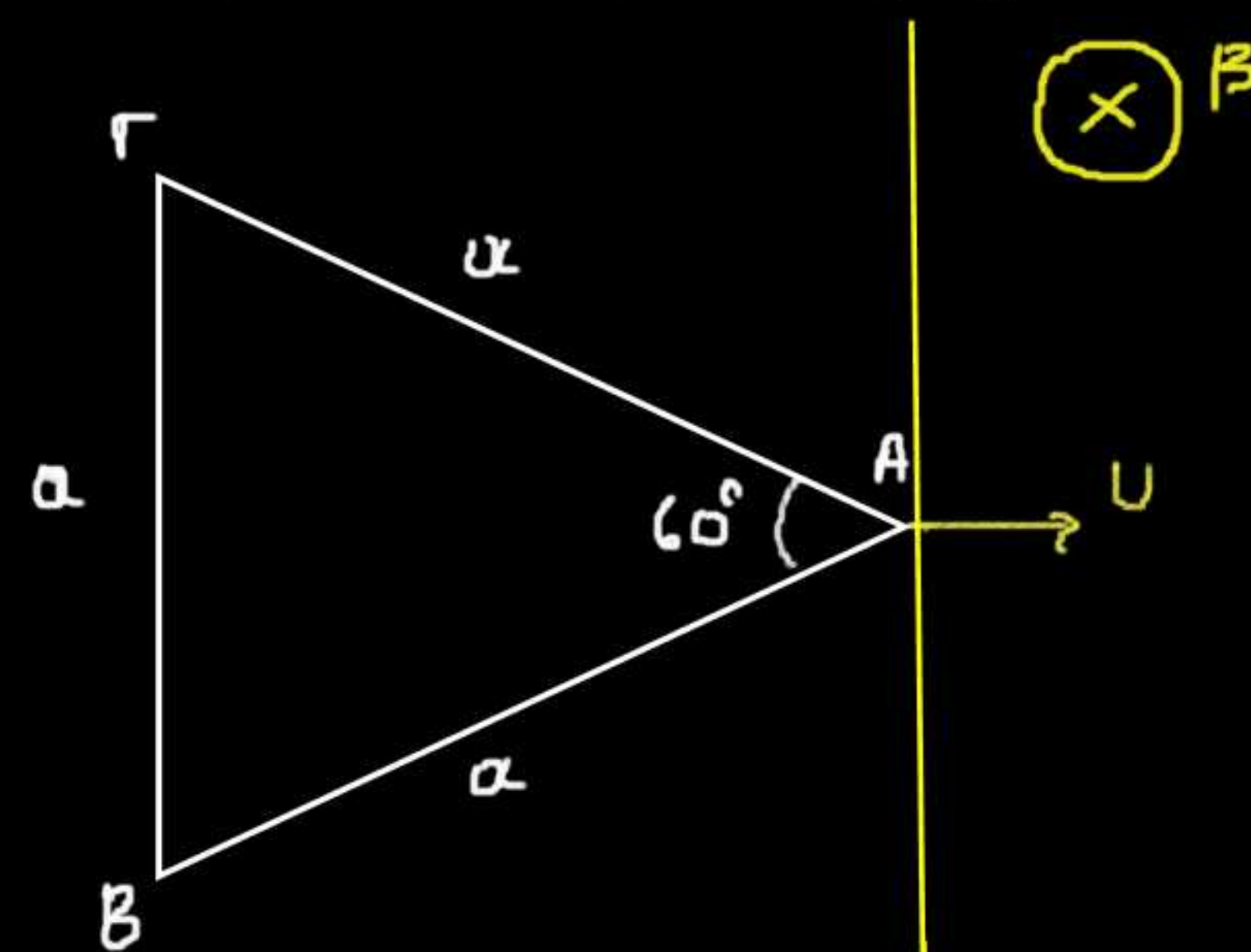
$$E_{en}^{(AE)} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = B a v \text{ [αντίθετη φορά]} \cdot i_{en} = \frac{B a v}{R}, V_{\Gamma\Delta} = \frac{B a v}{4}$$

Γραφικές παραστάσεις



Χρήσιμα το $Q_{\epsilon\eta}$ από την γραφική $I_{\epsilon\eta} = f(t)$
 παρατηρούμε $Q^{\circ\eta}_{\mu\epsilon\tau\alpha\tau\eta\sigma\eta} = 0$
 οπότε $Q_{\sigma\iota\alpha\kappa\iota\nu\eta\theta\eta\kappa\epsilon} = |Q_1| + |Q_2| = 2|Q_1|$

Άσκηση με τρίγωνο



Καθώς μπαίνει το
 τριγωνικό πλαίσιο $AB\Gamma$
 επάνω του $D.H.$ μεταβάλλεται η ροή που περνά
 μέσα από αυτό
 Έστω την t εκεί μετα-
 τοπιστεί κατά x εντός
 του B . ισχύει $x = U \cdot t$
 και το στοιχειώδες εμβα-
 δόν που έχει εισέλθει:

$$\Delta S = E_{AK\Lambda} = \frac{x \cdot 2y}{2} = x \cdot y$$

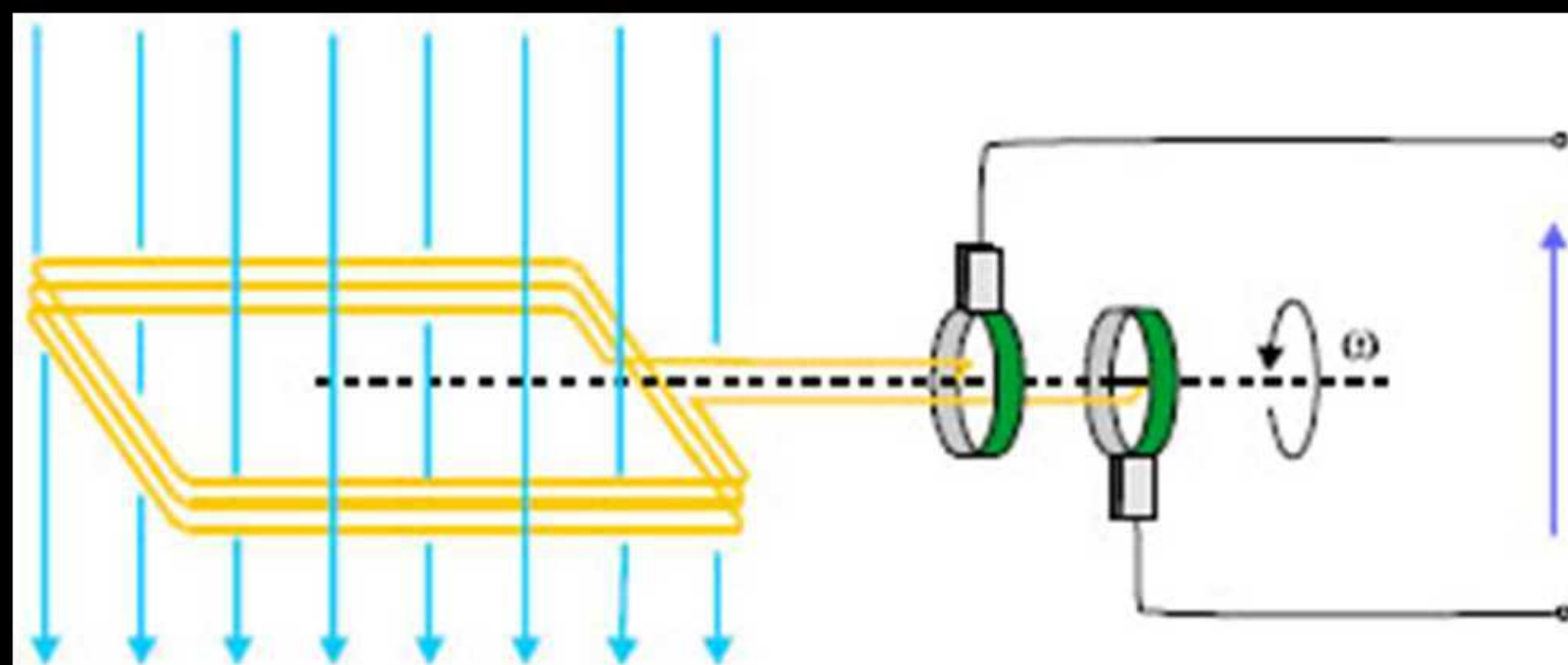
$$\text{όμως: } \tan 30^\circ = \frac{y}{x} \Rightarrow y = \frac{\sqrt{3}}{3} x$$

$$\Delta S = \frac{\sqrt{3}}{3} x^2 \stackrel{(1)}{=} \frac{\sqrt{3}}{3} U^2 t^2 \quad (2)$$

$$\text{Για την ροή } \Phi: \Phi = B \cdot \Delta S \rightarrow \Phi = \frac{\sqrt{3}}{3} B U^2 t^2$$

$$\text{Για την } E_{\epsilon\eta}: E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi}{t} = \frac{\sqrt{3}}{3} B \cdot U^2 \cdot t$$

ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΝΗ ΤΑΣΗ - ΕΝΑΛΛΑΞΙΜΕΝΑ ΡΕΥΜΑΤΑ - 1



Έστω σε ένα πλαίσιο εμβαδού A περικτρεύεται μέσα σε ο.μ.π έντασης B με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω .

Έστω N οι βηίρες του πλαισίου:

Στην αρχή το πλαίσιο $\perp \vec{B}$.

$$\Phi_{\text{αρχ}} = BA$$

Μετά από χρόνο t το πλαίσιο θα έχει στραφεί κατά γωνία $\theta = \omega \cdot t$. Τότε

η μαγνητική ροή που διέρχεται από κάθε βηίρα. $\Phi = BA \sin \omega t$

$$E_{\text{επ}} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{d(BA \sin \omega t)}{dt} = N\omega BA \eta \mu \omega t \leftarrow \text{στιγμιαία τιμή Επαγωγικής τάσης}$$

↓

Εξίσωση στιγμιαίας τάσης: $v = N\omega BA \eta \mu \omega t \Rightarrow v = V \cdot \eta \mu \omega t \quad (1)$
 με $V = N\omega BA = \text{μέγιστη τιμή τάσης}$

Η τάση της (1) είναι αρμονική συνάρτηση του t και το χαρακτηριστικό της είναι ότι η πολικότητά της μεταβάλλεται (εναλλασσεται) περιοδικά με τον χρόνο

πλάτος V : μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης τάσης

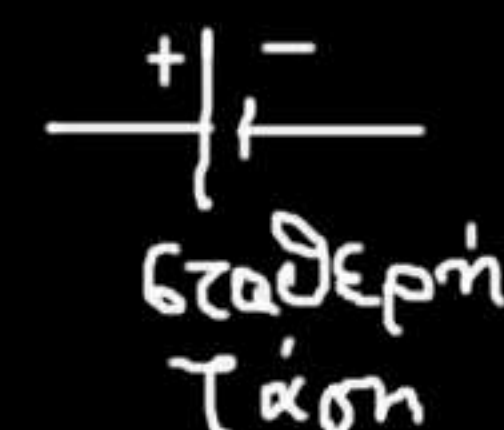
Χαρακτηριστικά: Περίοδος T : ο χρόνος για μια πλήρη εναλλαγή των τιμών της τάσης

Φάση $\varphi = \omega t$: Η γωνία της οποίας το ημίτονο καθορίζει την τιμή της στιγμιαίας τάσης.

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΠΗΓΗΣ

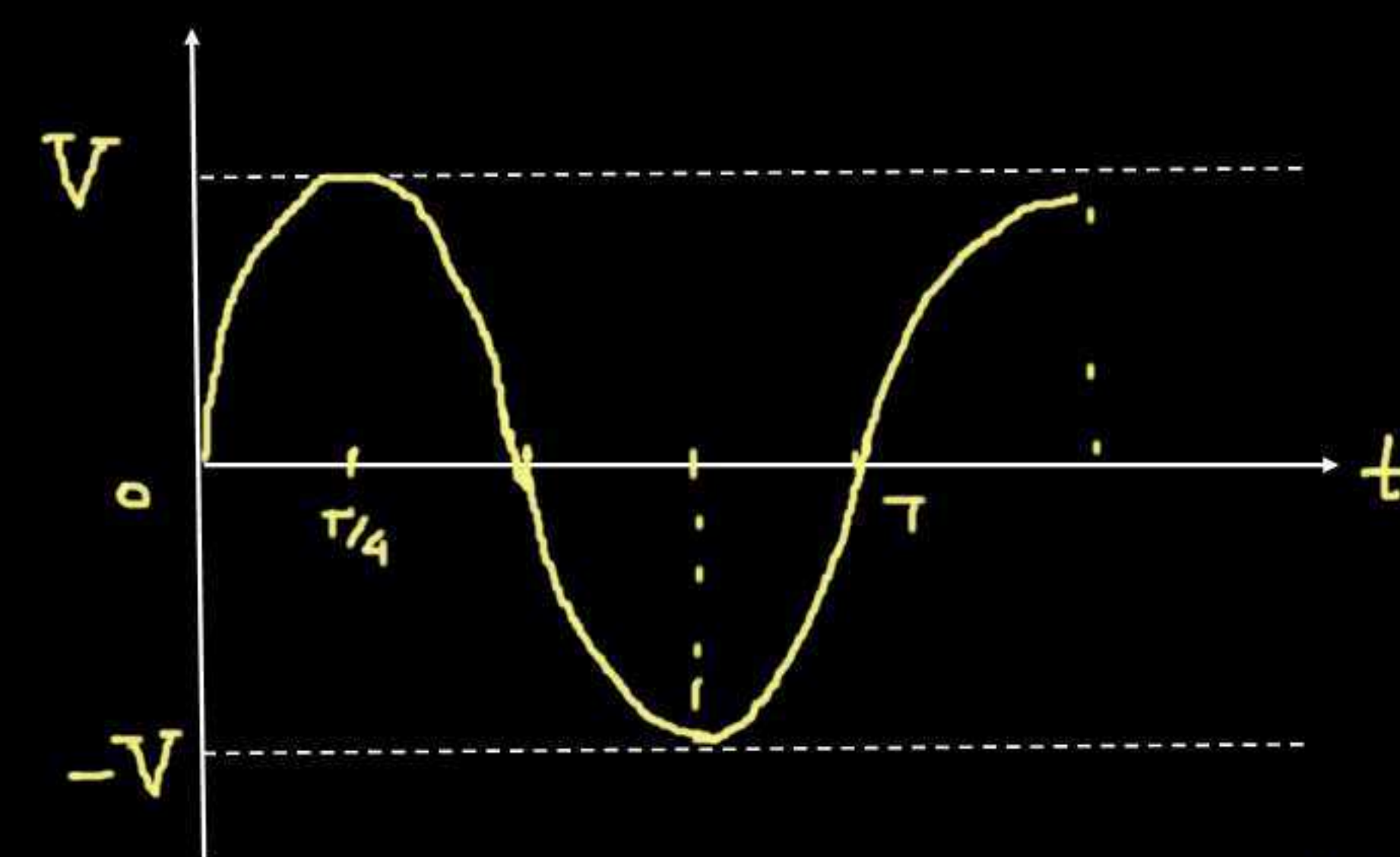


ΕΝΑΛ/ΝΟΜ ΡΕΥΜΑΤΟΣ



Στην Ελγάδα: $V = 220\sqrt{2} \text{ V}$

$$f = 50 \text{ Hz}$$



με $\Phi_{\text{αρχ}} = 0 \mid \text{πλαιο} \perp B$

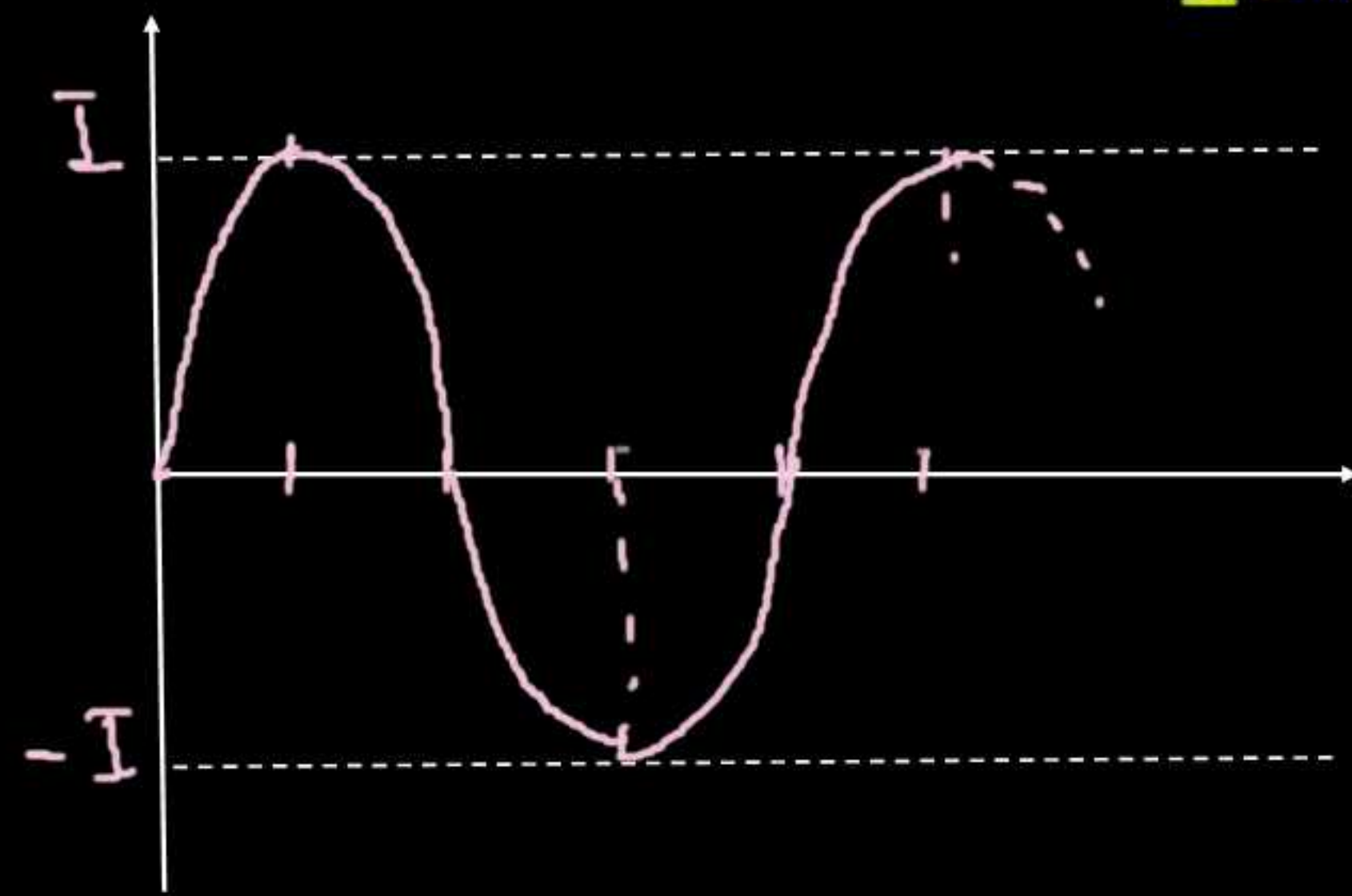
Αν αρχικά το πλαίσιο $\parallel \vec{B}$ τότε

$$\Phi_{\text{αρχ}} = \pi \rightarrow v = V \eta \mu (\omega t + \pi)$$

Εναλλασσόμενο ρεύμα

$$i = \frac{v}{R} = \frac{V}{R} \eta \mu \omega t \Rightarrow i = I \eta \mu \omega t \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{στιγμιαία τιμή} \\ \text{ρεύματος} \end{array}$$

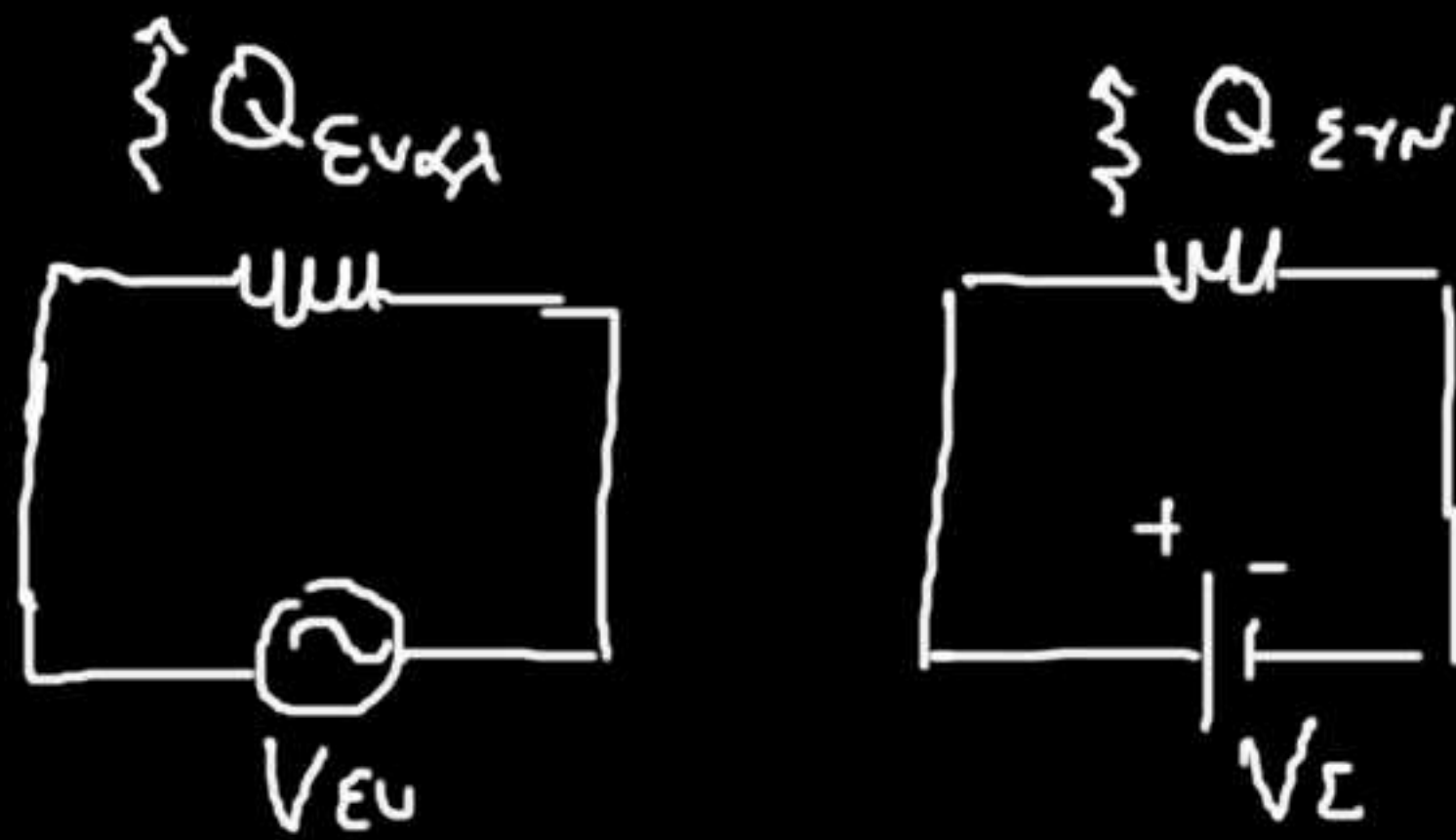
$$I = \text{πλάτος έντασης} = I_{\max} = \frac{V}{R}$$



Τα στοιχεία κανο
νικής λειτουργίας
βυσκευών αντιστοιχούν
σε $I_{\text{Εν}}$ και $V_{\text{Εν}}$ και
θαύς και σε μέση
ισχύ $\bar{P}$.

- Η στιγμιαία τάση και η στιγμιαία τιμή του i έχουν την ίδια φάση (συμφασικά)

ΕΝΕΡΓΙΑ ΕΝΤΑΣΗ — ΕΝΕΡΓΙΑ ΤΑΣΗ



Ενεργός ένταση $I_{\text{Εν}}$ ενός εν/νου ρεύματος είναι η ένταση του συνεχούς ρεύματος το οποίο προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα με το εν/νο ρεύμα όταν διαρρέει τον ίδιο αντιστάτη στον ίδιο χρόνο

$$I_{\text{Εν}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

Ενεργός τάση $V_{\text{Εν}}$ μιας εν/νης τάσης ονομάζεται η τιμή μιας συνεχούς τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα μιας R και προκαλεί συνεχές ρεύμα έντασης ίσης με την ενεργή ένταση του εν/νου ρεύματος που θα προκαλούσε η εν/νη τάση στα άκρα του ίδιου αντιστάτη R .

$$V_{\text{Εν}} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Ισχύει } V_{\text{Εν}} = I_{\text{Εν}} \cdot R$$

$$V = I \cdot R$$

Προσοχή! Στις οικιακές βυσκευές $v = i \cdot R$ αναγράφονται οι ενεργές τιμές!

πχ σίδερο (220 V, 12 A) $\rightarrow$ $V_{\text{Εν}} = 220 \text{ V}$
 $I_{\text{Εν}} = 12 \text{ A}$

ΝΟΜΟΣ JOULE: $Q = I_{\text{Εν}}^2 \cdot R \cdot \Delta t$ $\rightarrow P_{\max} = V \cdot I$

ΙΣΧΥΣ: α) Στιγμιαία ισχύς: $P_{\text{ΣΤ}} = v \cdot i = V I \eta \mu^2 \omega t$
 $P_{\text{ΣΤ}} = P_{\max} \eta \mu^2 \omega t$

β) Μέση ισχύς: $\bar{P} = I_{\text{Εν}} \cdot V_{\text{Εν}} = \frac{I}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V}{\sqrt{2}} = \frac{I \cdot V}{2} = \frac{P_{\max}}{2}$

Για όλα τα παραπάνω ισχύει: $P = \frac{V^2}{R} = I^2 \cdot R$

