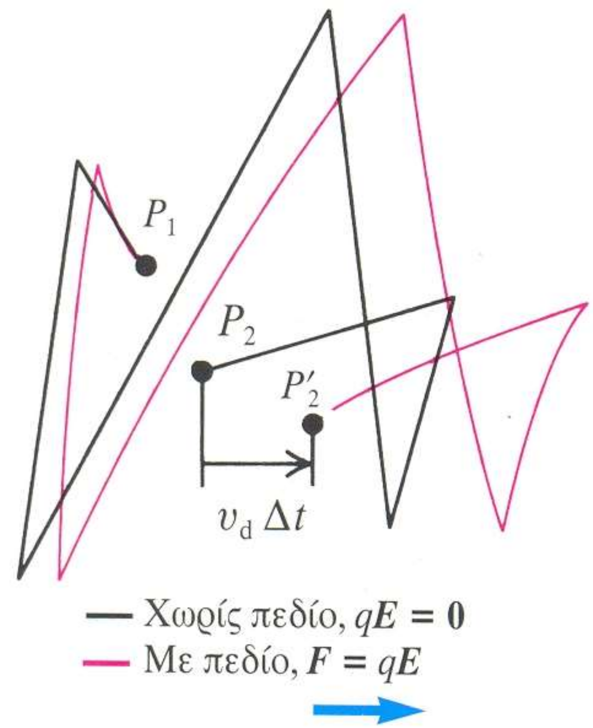
🕮Αγωγοί σε ηλεκτρικό πεδίο - κίνηση ελευθέρων φορέων

- **Ηλεκτρική αγωγιμότητα:**

  κίνηση ηλεκτρικών φορτίων

- **Ηλεκτρικό ρεύμα:**

  ροή φορτίων λόγω παρουσίας ηλεκτρικού πεδίου (τυχαία κίνηση + ολίσθηση ή μετάθεση, u_d)



- **Συνεχές ρεύμα (dc):**

  Σταθερό πεδίο → σταθερή φορά και ροή του ρεύματος

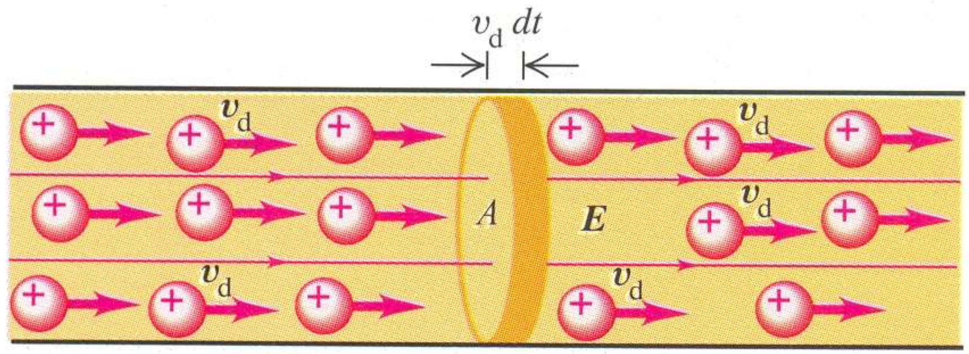
- **Εναλλασσόμενο ρεύμα (ac)**

  Περιοδικά μεταβαλλόμενο πεδίο

ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

- **Ένταση του ρεύματος (μακροσκοπικό, βαθμωτό μέγεθος):**

Ο ρυθμός μεταφοράς φορτίου μέσω της διατομής Α



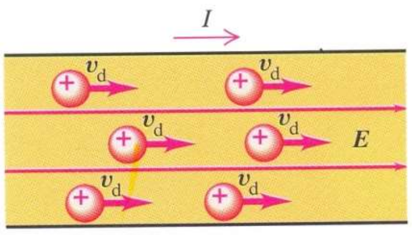
$$I = \frac{dQ}{dt}.$$

1 A= 1 C/s
(mA, μA, nA, pA)

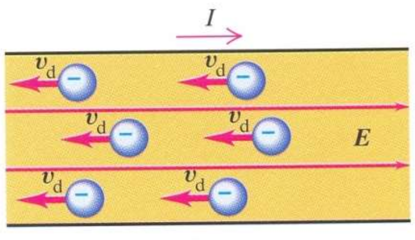
- **Φορά του ρεύματος:**

Η φορά κίνησης θετικών φορτίων

(αντίθετη της κίνησης των ηλεκτρονίων)



(a)



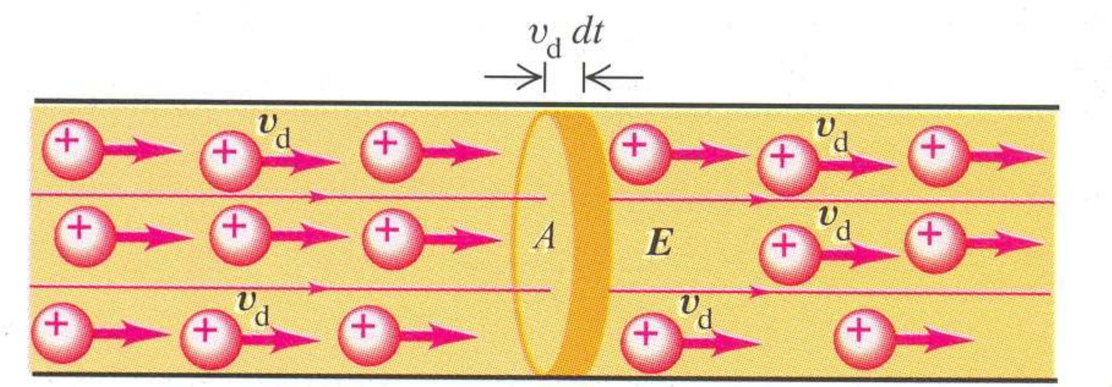
(b)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

✓ **Πυκνότητα του ρεύματος (μικροσκοπικό, διανυσματικό μέγεθος):**

Το φορτίο που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα επιφάνειας του αγωγού

|j|= dI/dA, για σταθερή ένταση ρεύματος: |j|= I/A= Q/(At)



Σε χρόνο dt: dQ= n(Au$_d$dt)q, n: σωματίδια/όγκος, q: φορτίο σωματιδίων

I= dQ/dt= nqu$_d$A / j= I/A= nqu$_d$

$$J = n_1 q_1 v_{d1} + n_2 q_2 v_{d2} + \cdots .$$

Η j έχει τη διεύθυνση της u$_d$

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)

- **Υπολογισμός πυκνότητας ρεύματος και ταχύτητας ολίσθησης**

Σύρμα από χαλκό τροφοδοτεί λαμπτήρα:

d= 1.02 mm= 1.02×10^{-3} m

I= 1.67 A, n= 8.5×10^{28} m^{-3}

A= $\pi d^2/4$= 8.2×10^{-7} m^2

J= I/A= 2×10^6 A/m^2

J= $nqu_d \Rightarrow u_d$= J/(nq)

q= e^-= 1.6×10^{-19} C

u_d= 1.5×10^{-4} m/s

Τυχαία κίνηση: u~ 10^6 m/s

- **Ένα ηλεκτρόνιο απαιτεί 1 h και 50 min (6700 s) για να διασχίσει 1 m !!!**

{Το φως ανάβει αμέσως γιατί το ηλεκτρικό πεδίο διαδίδεται με την ταχύτητα του φωτός 3×10^8 m/s (Η/Μ κύμα) και κινεί ηλεκτρόνια σε όλο το μήκος του αγωγού}

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ - ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

- **Πυκνότητα του ρεύματος:**

Σ' έναν αγωγό: j= f(E),

Σε πολλά υλικά (μέταλλα): j~ E → j= σE (σ: αγωγιμότητα)

- **Ειδική αντίσταση: ρ= 1/σ ⇒** $\rho = \frac{E}{J}$. **{(V/m)/(A/m^2)= Vm/A= Ωm, Ωcm}**

✓ **Τιμές της ρ (R.T.)**

Υλικό		ρ(Ω · m)	Υλικό	ρ(Ω · m)
Αγωγοί			Ημιαγωγοί	
Μέταλλα	Άργυρος	$1{,}47 \times 10^{-8}$	Καθαρός Άνθρακας	$3{,}5 \times 10^{-5}$
	Χαλκός	$1{,}72 \times 10^{-8}$	Καθαρό Γερμάνιο	0,60
	Χρυσός	$2{,}44 \times 10^{-8}$	Καθαρό Πυρίτιο	2300
	Αργίλιο	$2{,}63 \times 10^{-8}$	Μονωτές	
	Βολφράμιο	$5{,}51 \times 10^{-8}$	Ήλεκτρο	5×10^{14}
	Χάλυβας	20×10^{-8}	Γυαλί	$10^{10} - 10^{14}$
	Μόλυβδος	22×10^{-8}	Λουσίτης	$> 10^{13}$
	Υδράργυρος	95×10^{-8}	Μίκα	$10^{11} - 10^{15}$
Κράματα	Μαγγανίνη (Cu 84, Mn 12, Ni 4)	44×10^{-8}	Χαλαζίας (τετηγμένος)	75×10^{16}
	Κονσταντάνη (Cu 60, Ni 40)	49×10^{-8}	Θείο	10^{15}
	Χρωμονικελίνη	100×10^{-8}	Τεφλόν	$> 10^{13}$
			Ξύλο	$10^{8} - 10^{11}$

ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)

- **Χάλκινο σύρμα (ρ= 1.7x10^{-6} Ωcm, A= 2.09x10^{-2} cm^2) διαρρέεται από ρεύμα I= 1 A, E= ;**

$$\rho = \frac{E}{J}.$$

$$\rho = \frac{E}{j} = \frac{E}{I/A} \Rightarrow E = \rho \frac{I}{A}$$

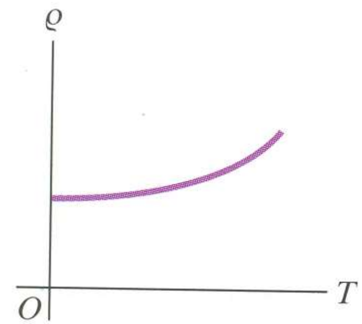
ρ= 1.7x10^{-6} Ωcm= 1.7x10^{-8} Ωm

A= 2.09x10^{-2} cm^2= 2.09x10^{-6} m^2

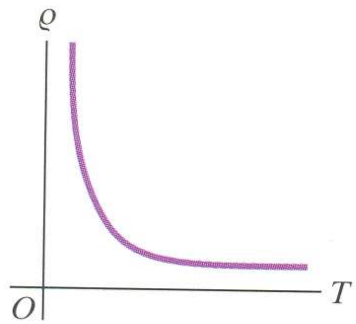
(I= 1 A)

E= 8.1x10^{-3} V/m

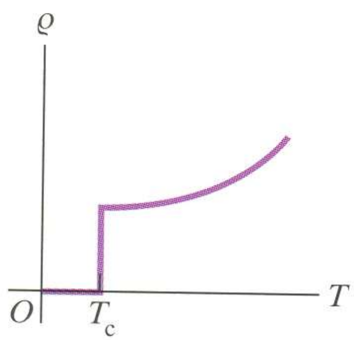
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ



(a) Μέταλλο



(b) Ημιαγωγός



(c) Υπεραγωγός

✓ **Μεταλλικοί αγωγοί:**

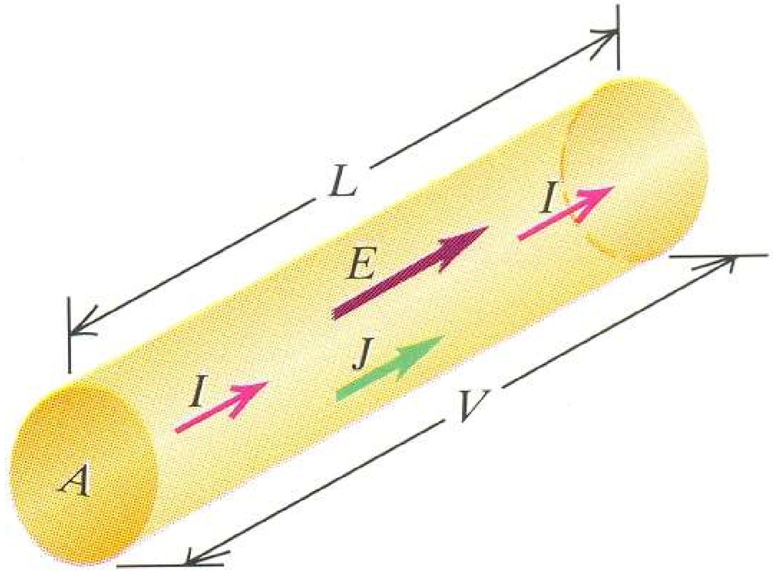
$$\rho_T = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)],$$

α: θερμικός συντελεστής ειδικής αντίστασης

✓ **Θερμικοί συντελεστές της ρ (R.T.)**

Υλικό	$\alpha[(^\circ C)^{-1}]$	Υλικό	$\alpha[(^\circ C)^{-1}]$
Αργίλιο	0,0039	Μόλυβδος	0,0043
Ορείχαλκος	0,0020	Μαγγανίνη	0,000000
Άνθρακας	– 0,0005	Υδράργυρος	0,00088
Κονσταντάνη	0,000002	Χρωμονικελίνη	0,0004
Χαλκός	0,0039	Άργυρος	0,0038
Σίδηρος	0,0050	Βολφράμιο	0,0045

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ)



✓ **Ειδική αντίσταση:**

j= σE, σ=1/ρ $\rho = \dfrac{E}{J}.$

j= I/A ⇒ I= jA ⇒ I= (E/ρ)A

(E= V/L)

$$V = I\frac{\rho L}{A}$$

<u>Αντίσταση αγωγού</u>: $R = \dfrac{\rho L}{A}.$ $R = \dfrac{V}{I}$ $V = IR.$

$$\rho_T = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)], \quad \Rightarrow \quad R_T = R_0[1 + \alpha(T - T_0)].$$

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)

Χάλκινο σύρμα 50 m (ρ= 1.72x10^{-8} Ωm, α= 0.0039 $^oC^{-1}$)

i. **R(R.T.)= ; {A= 8.2x10^{-7} m^2}**

i. **R(0 ^{o}C)= ; R(100 ^{o}C)= ; {R(20 ^{o}C)= 1.05 Ω}**

i.

$$R = \frac{\rho L}{A}.$$

R(R.T.)= 1.05 Ω

ii.

$$R_T = R_0[1 + \alpha(T - T_0)].$$

R(0 ^{o}C)= R(20 ^{o}C) [1 + α(0-20)]

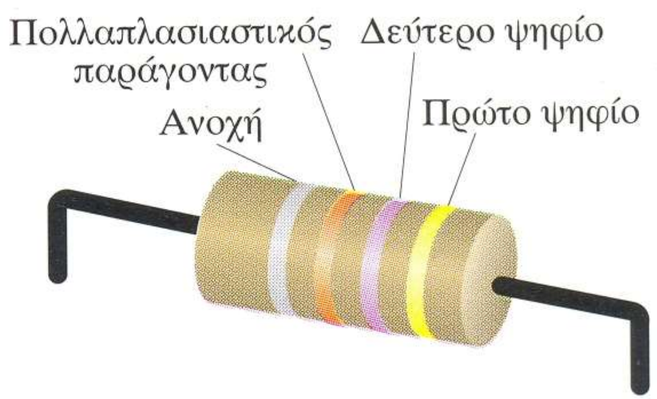
R(0 ^{o}C)= 0.97 Ω

R(100 ^{o}C)= R(20 ^{o}C) [1 + α(100-20)]

R(100 ^{o}C)= 1.38 Ω

ΑΝΤΙΣΤΑΤΗΣ

- **Στοιχείο κυκλώματος με καθορισμένη τιμή αντίστασης**



✓ **Χρωματικός κώδικας αντιστάσεων**

Χρώμα	Τιμή ψηφίου	Πολλαπλασιαστικός παράγοντας
Μαύρο	0	1
Καφέ	1	10
Ερυθρό	2	10^2
Πορτοκαλί	3	10^3
Κίτρινο	4	10^4
Πράσινο	5	10^5
Κυανό	6	10^6
Ιώδες	7	10^7
Γκρίζο	8	10^8
Άσπρο	9	10^9

$R = AB \times 10^{C}$ Ω

47×10^3 Ω= 47±10% kΩ

ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΟΗΜ - ΩΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

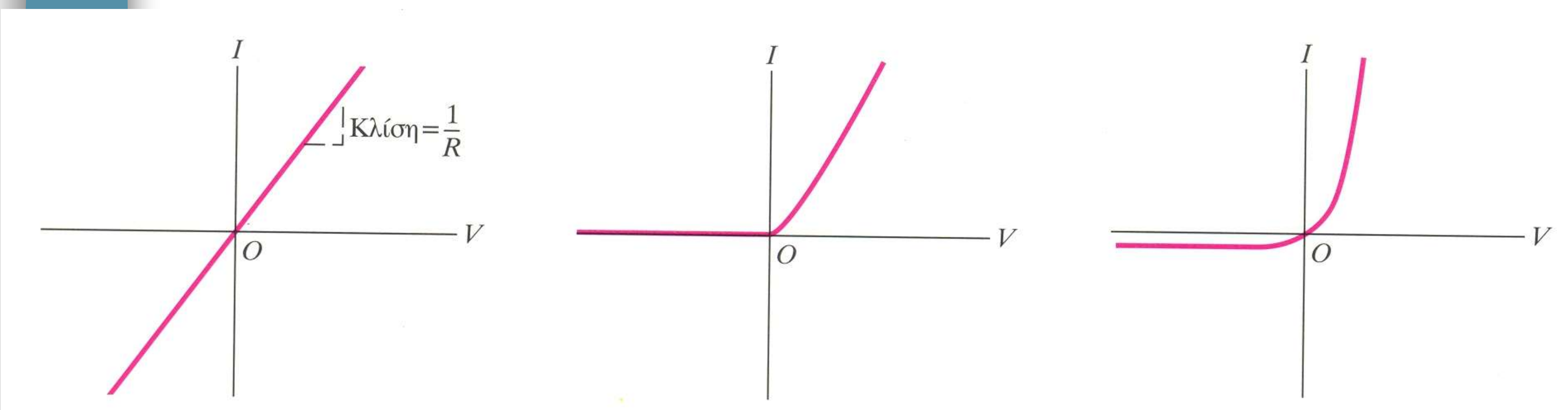
Α. $\rho = \dfrac{E}{j}$

Η πυκνότητα ρεύματος είναι ανάλογη προς το ηλεκτρικό πεδίο (ο λόγος E/j είναι σταθερός και ανεξάρτητος της E)

Β. $R = \dfrac{V}{I}$

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης διαφοράς δυναμικού στα άκρα του (ο λόγος V/I είναι σταθερός και ανεξάρτητος της V)

✓ **Ωμικά και μη ωμικά υλικά**



αντιστάτης **δίοδος λυχνία** **ημιαγωγός**

ΗΛΕΚΤΡΕΓΕΡΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (ΗΕΔ)

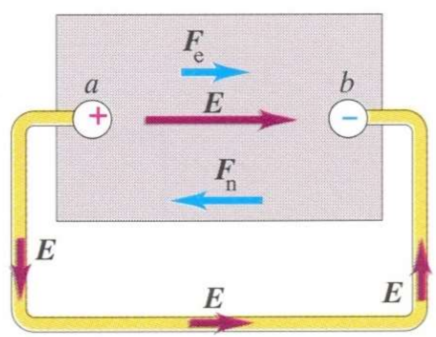
- ✓ Για να διαρρέεται ένας αγωγός από σταθερό ρεύμα θα πρέπει να αποτελεί τμήμα κλειστού βρόχου (πλήρες κύκλωμα)

- ✓ Σ' έναν αγωγό τα θετικά φορτία κινούνται πάντα προς το μικρότερο δυναμικό

- ✓ Πρέπει να υπάρχει κάποιο στοιχείο στο κύκλωμα που να συντηρεί την διαφορά δυναμικού
(να αυξάνει στο εσωτερικό του η δυναμική ενέργεια)

Η αιτία που κάνει το φορτίο να κινηθεί από χαμηλότερο προς υψηλότερο δυναμικό ονομάζεται ηλεκτρεγερτική δύναμη

- Πηγές ΗΕΔ: Μπαταρίες, γεννήτριες, ηλιακά κύτταρα, θερμοζεύγη



❖ <u>Ηλεκτρική πηγή {τάσης (r<<R) ή ρεύματος (r+R'>>R)}:</u>

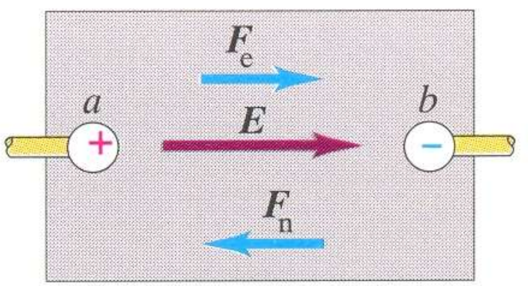
i. Ηλεκτρεγερτική δύναμη, Ɛ (1 V= 1 J/C)

ii. Εσωτερική αντίσταση, r

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΗΕΔ

- **Ονομάζουμε ΗΕΔ Ɛ μιας πηγής την διαφορά δυναμικού που επικρατεί στους πόλους της όταν δεν διαρρέεται από ρεύμα (ανοικτό κύκλωμα)**

$$V_{ab} = \mathcal{E} \qquad \text{(μη πλήρες ή ανοιχτό κύκλωμα).}$$

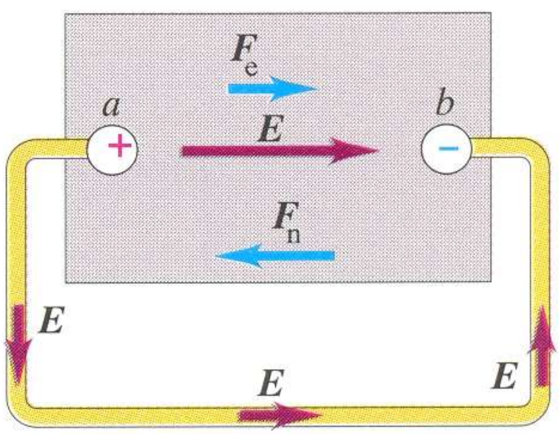


Δύναμη ηλεκτρικού πεδίου: $F_e = qE$

Ανοικτό κύκλωμα: $F_n = -F_e$

Παραγόμενο έργο: $W = q\mathcal{E}$

- ✓ **Σε κλειστό κύκλωμα το ρεύμα έχει φορά από το a προς το b στο εξωτερικό κύκλωμα και από το b προς το a μέσα στην πηγή**



$$\mathcal{E} = V_{ab} = IR \qquad \text{(ιδανική πηγή ΗΕΔ).}$$

$$V_{ab} = \mathcal{E} - Ir \qquad \text{(πηγή με εσωτερική αντίσταση).}$$

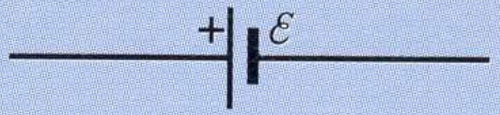
V_{ab}: πολική τάση, $V_{ab} < \mathcal{E}$

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

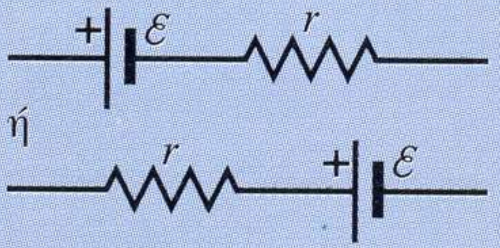
❖ **Σύμβολα για διαγράμματα κυκλωμάτων:**

Αγωγός με αμελητέα ωμική αντίσταση

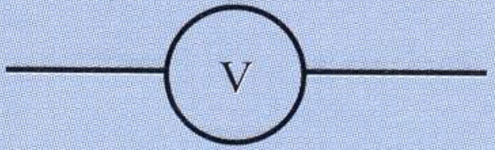
Αντιστάτης



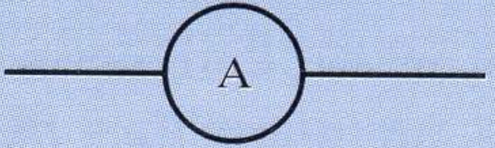
Πηγή ΗΕΔ (η μακρύτερη γραμμή είναι πάντοτε ο θετικός πόλος)



Πηγή με εσωτερική αντίσταση r (η r μπορεί να τοποθετηθεί στη μία ή στην άλλη πλευρά)



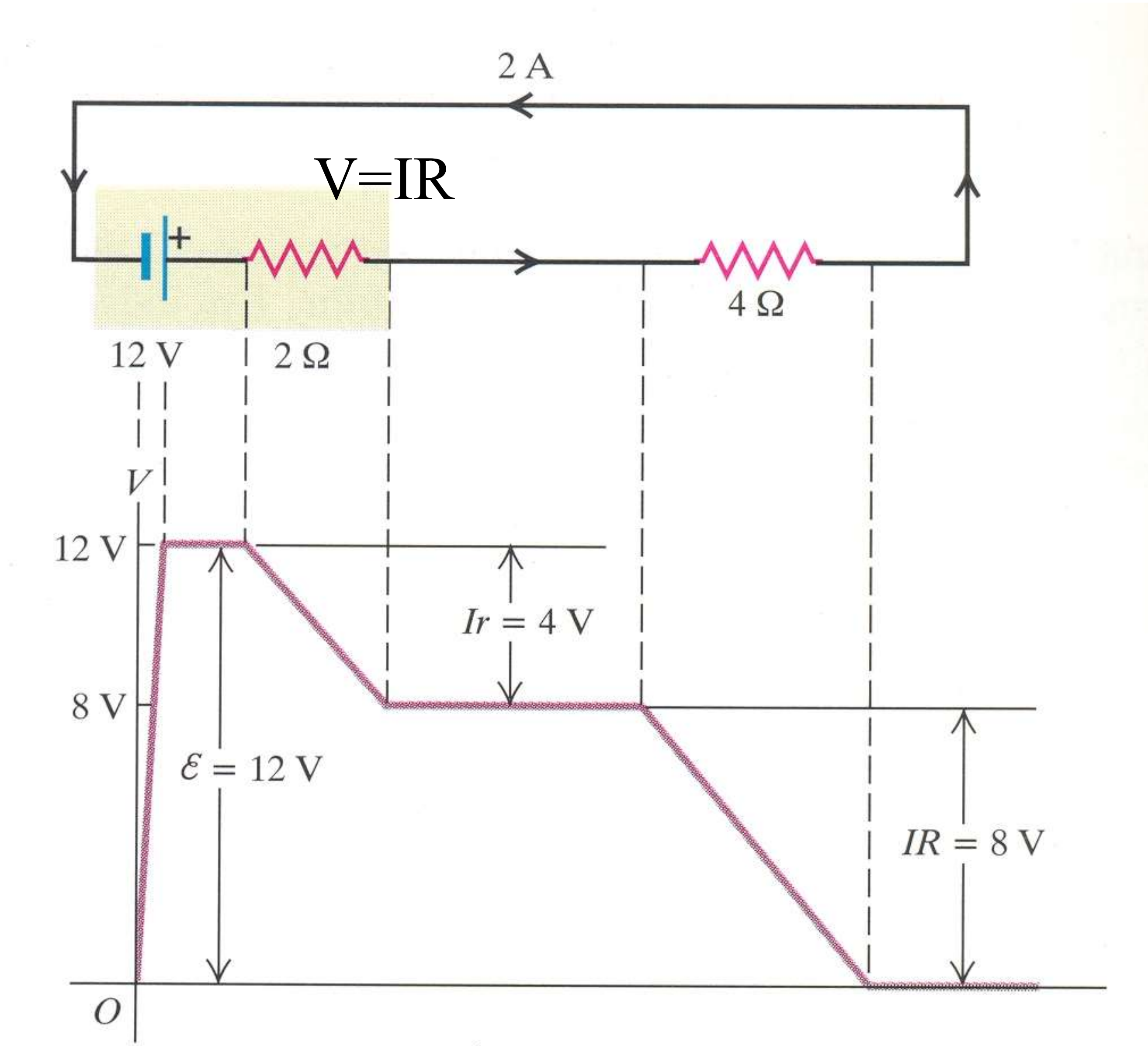
Βολτόμετρο (μετρά διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών του)



Αμπερόμετρο (μετρά ρεύμα που διέρχεται από αυτό)

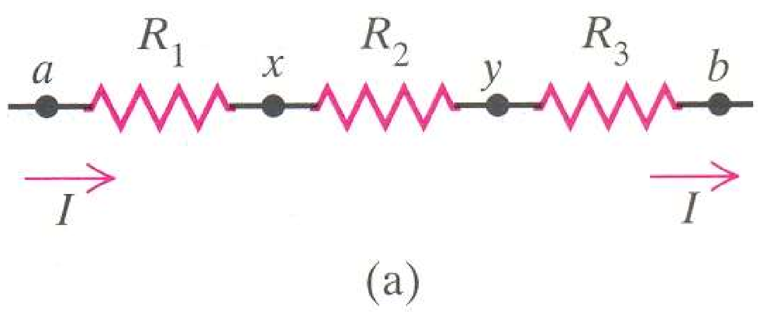
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑ

- **Το δυναμικό σ' ένα κλειστό κύκλωμα αυξάνεται και μειώνεται**



ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Σύνδεση σε σειρά



$$V_{\alpha b} = IR_{o\lambda} \Rightarrow R_{o\lambda} = \frac{V_{\alpha b}}{I} = \frac{V_{\alpha x} + V_{xy} + V_{yb}}{I}$$

$$V_{\alpha x} = IR_1, \quad V_{xy} = IR_2, V_{yb} = IR_3$$

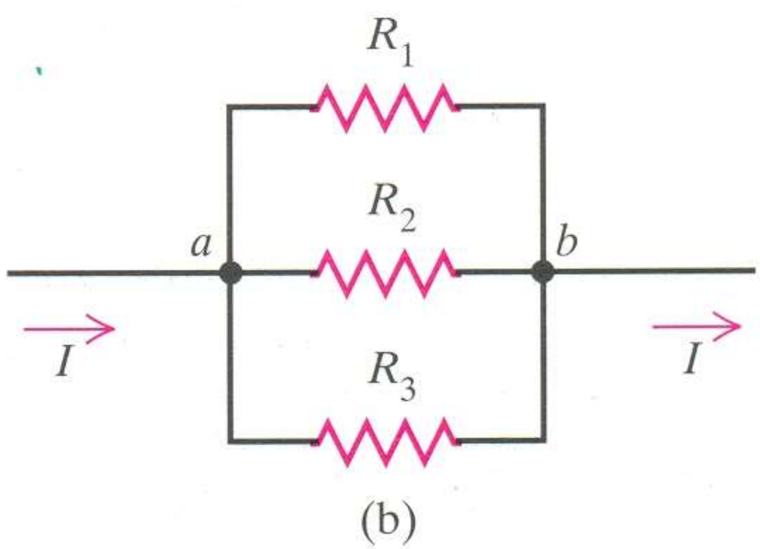
- **Οι αντιστάσεις διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα, έντασης I**

$$R_{o\lambda} = \frac{IR_1 + IR_2 + IR_3}{I} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots \quad \text{(αντιστάτες σε σειρά).}$$

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Παράλληλη σύνδεση



$$V_{\alpha b} = IR_{o\lambda} \Rightarrow \frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{I}{V_{\alpha b}}$$

- **Στον κόμβο α:**

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V_{\alpha b}}{R_1} + \frac{V_{\alpha b}}{R_2} + \frac{V_{\alpha b}}{R_3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I = V_{\alpha b}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)$$

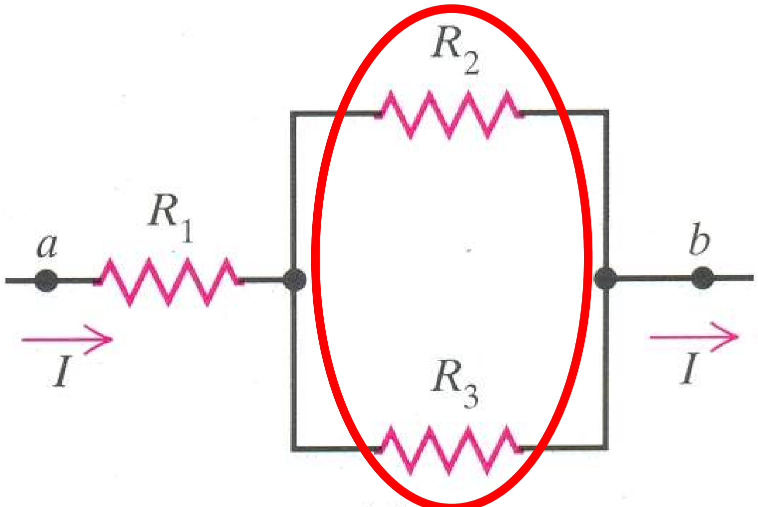
- **Η διαφορά δυναμικού στα άκρα τους είναι ίδια, $V_{\alpha b}$**

$$\frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

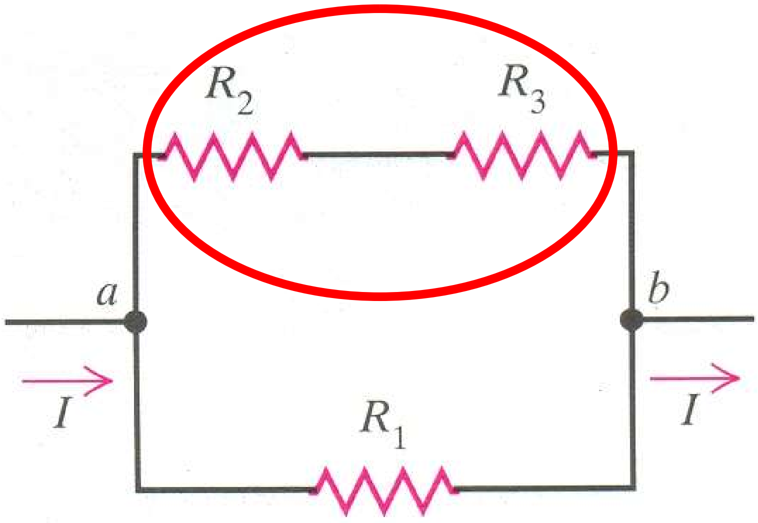
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots \quad \text{(αντιστάτες σε παράλληλη σύνδεση).}$$

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Μεικτή σύνδεση



(c)



(d)

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

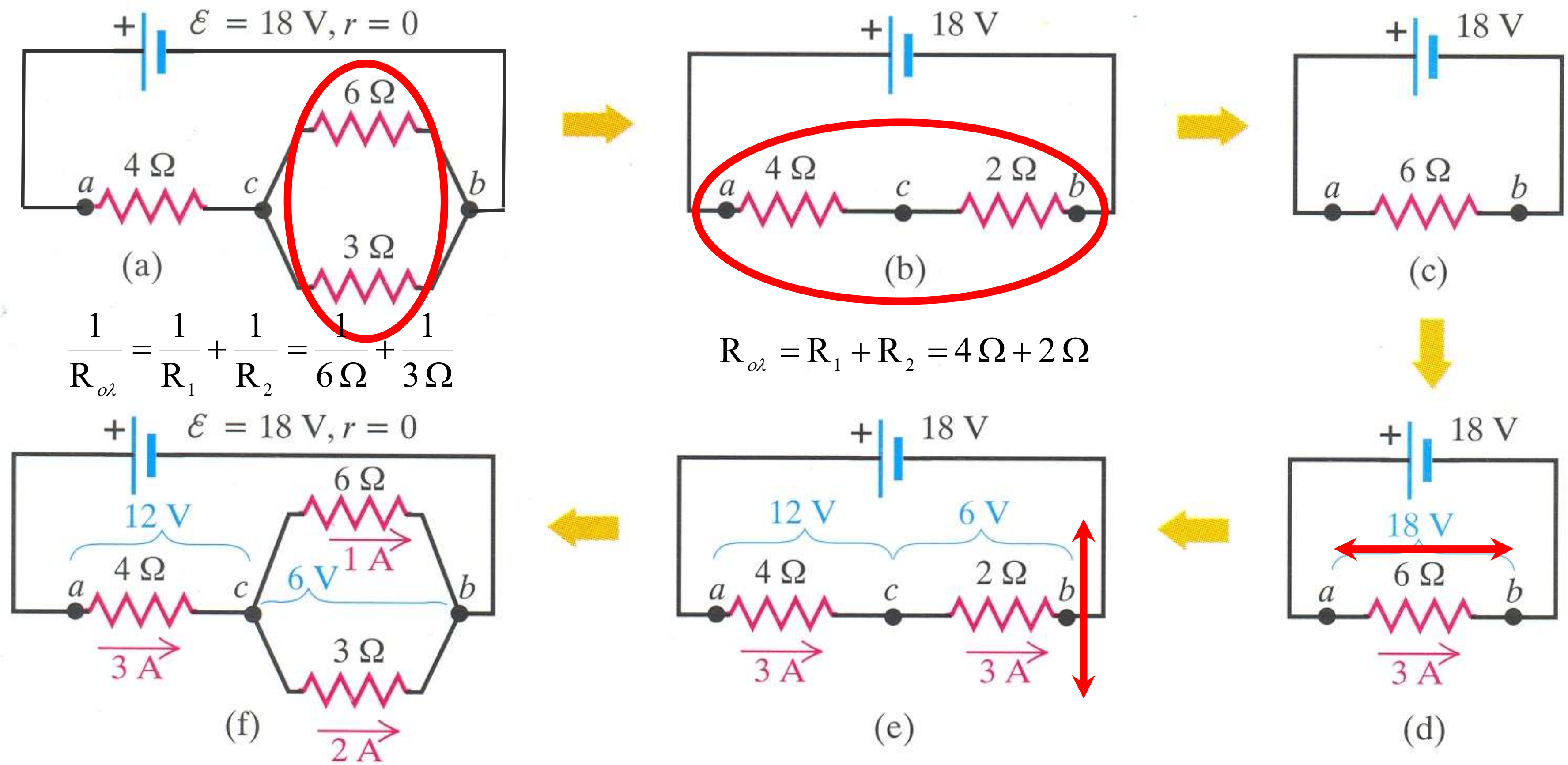
$$R_{o\lambda} = R_1 + R_{23}$$

$$R_{23} = R_2 + R_3$$

$$\frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{23}}$$

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)

Υπολογισμός Rολ και I που διαρρέει κάθε αντίσταση



$$\frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{6\,\Omega} + \frac{1}{3\,\Omega}$$

$$R_{o\lambda} = R_1 + R_2 = 4\,\Omega + 2\,\Omega$$

$$I = \frac{V_{cb}}{R_i} = \begin{cases} \dfrac{6\,V}{6\,\Omega} \\ \\ \dfrac{6\,V}{3\,\Omega} \end{cases} = \begin{cases} 1\,A \\ \\ 2\,A \end{cases}$$

$$I = 3\,A$$

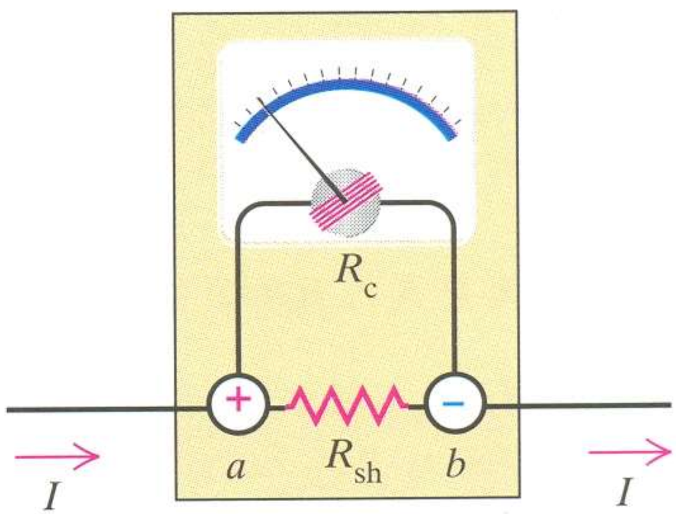
$$V_{\alpha c} = (3\,A)\cdot(4\,\Omega) = 12\,V$$

$$V_{cb} = (2\,A)\cdot(3\,\Omega) = 6\,V$$

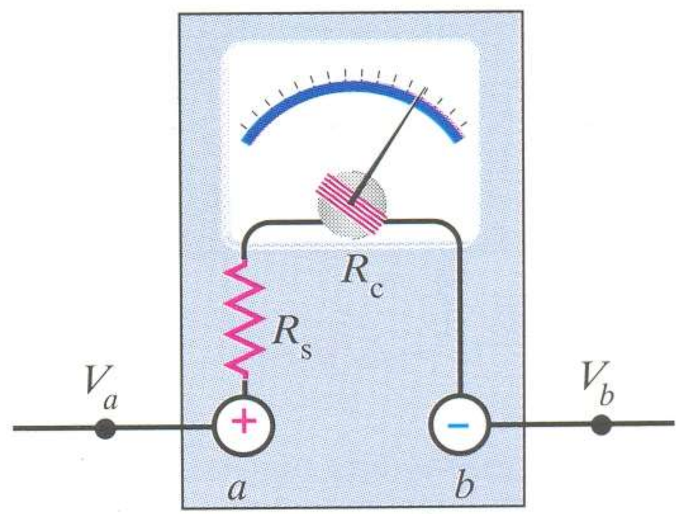
$$I = \frac{V_{\alpha b}}{R_{o\lambda}} = \frac{18\,V}{6\,\Omega} = 3\,A$$

ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (1)

- **Αμπερόμετρο (R_c<<)**
- **Βολτόμετρο (R_c>>)**

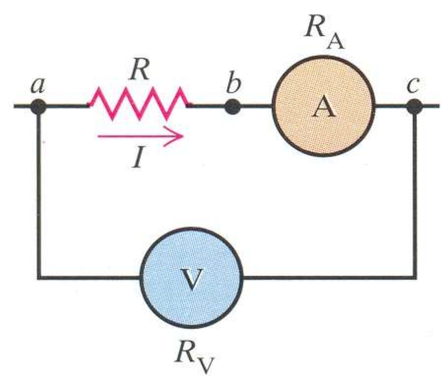


(a)

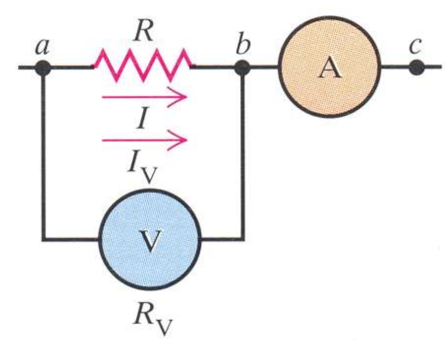


(b)

- **Μέθοδος αμπερομέτρου - βολτομέτρου για τη μέτρηση αντίστασης**



(a)



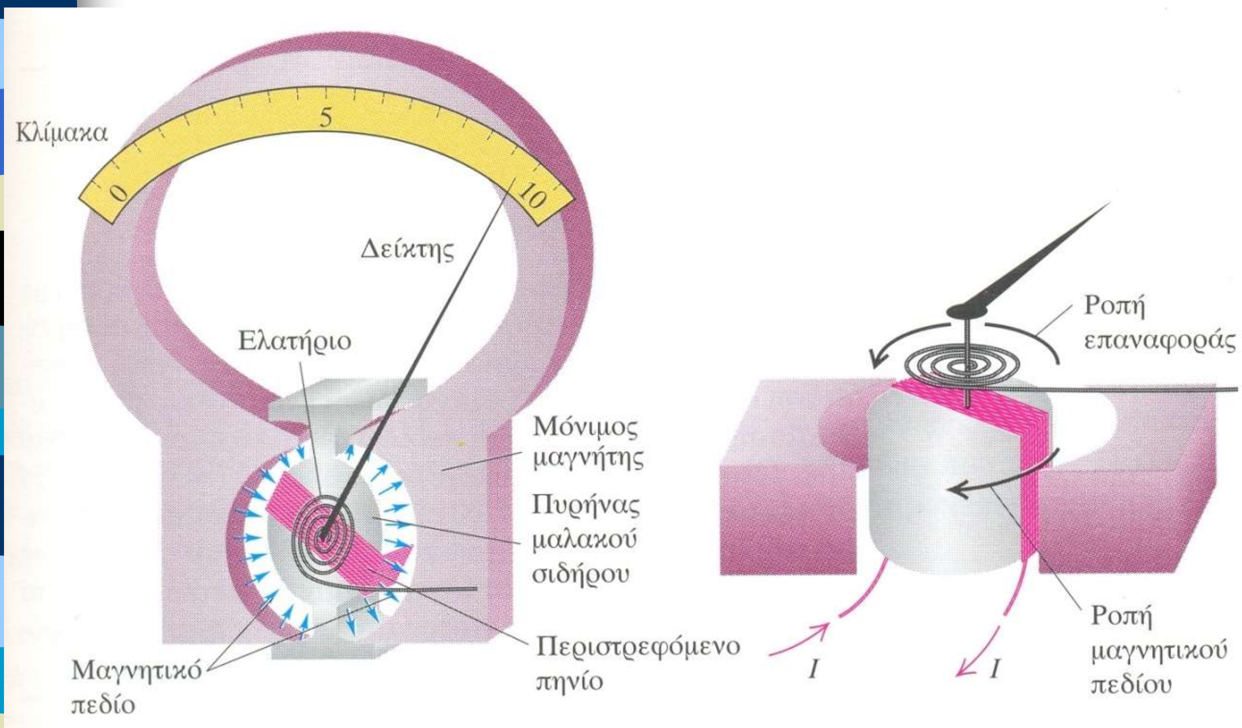
(b)

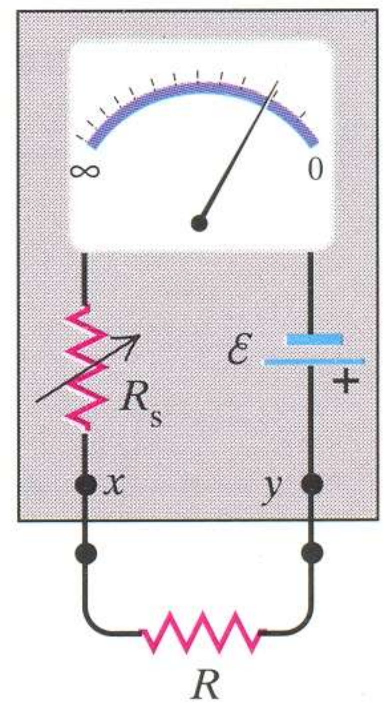
ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (2)

- **Γαλβανόμετρο d' Arsonval**

  (βασικό όργανο, I/V)

- **Ωμόμετρο**

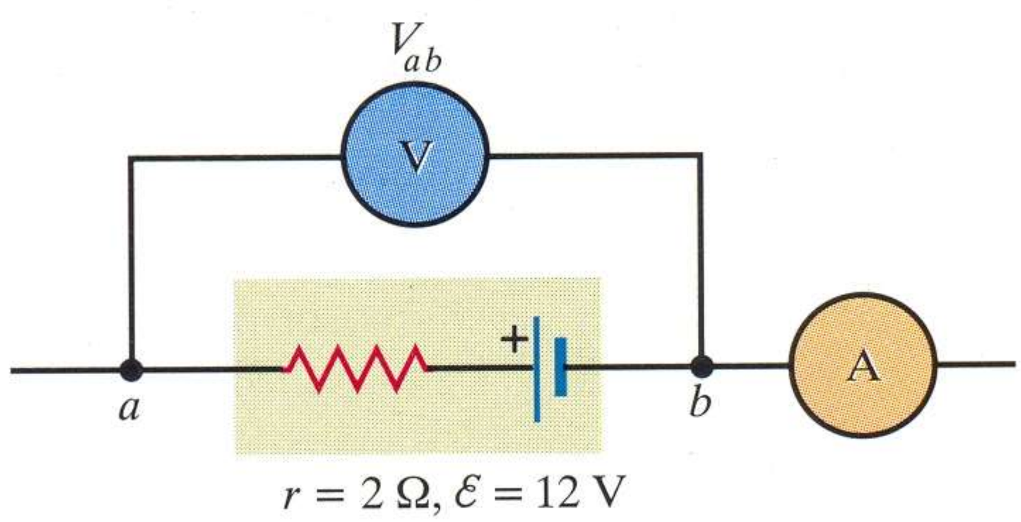




ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Προσδιορισμός ενδείξεων των οργάνων V και A

1. **Πηγή σε ανοικτό κύκλωμα**



Θεωρούμε ότι $R_v \to \infty$

($R_A = 0$)

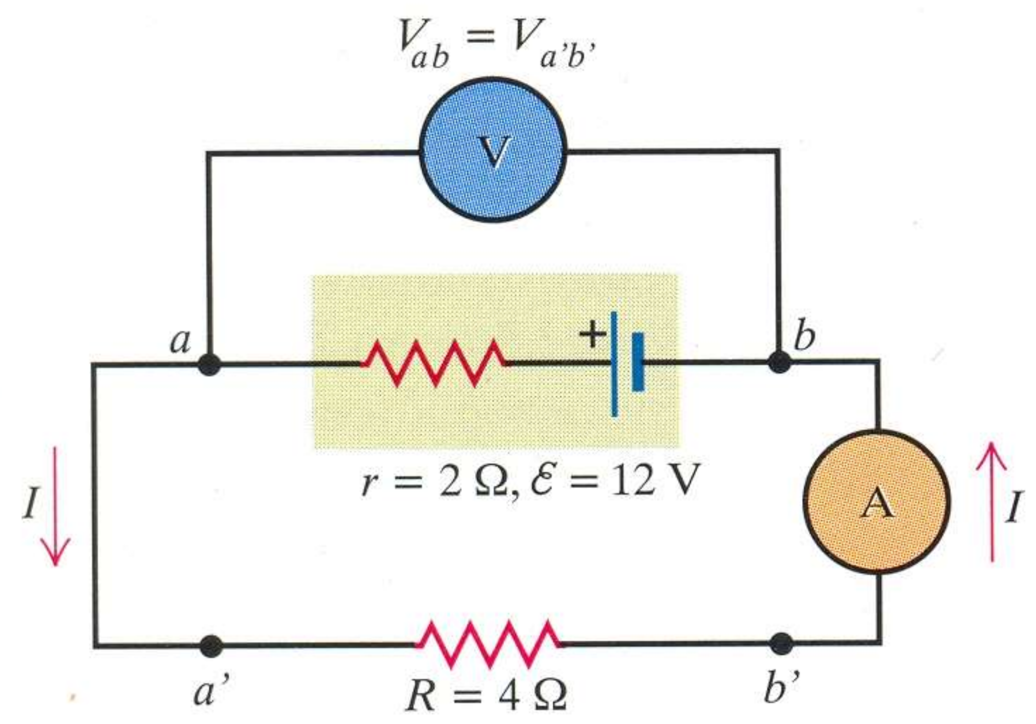
$I = 0\ A$

$V = V_{\alpha b} = \mathcal{E} = 12\ V$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Προσδιορισμός ενδείξεων των οργάνων V και A

2. **Πηγή σε κλειστό κύκλωμα**



$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{12\,V}{4\,\Omega + 2\Omega} = 2\,A$$

Θεωρούμε ότι $R_A = 0$

($R_V \to \infty$)

$V = V_{\alpha b} = V_{\alpha' b'}$

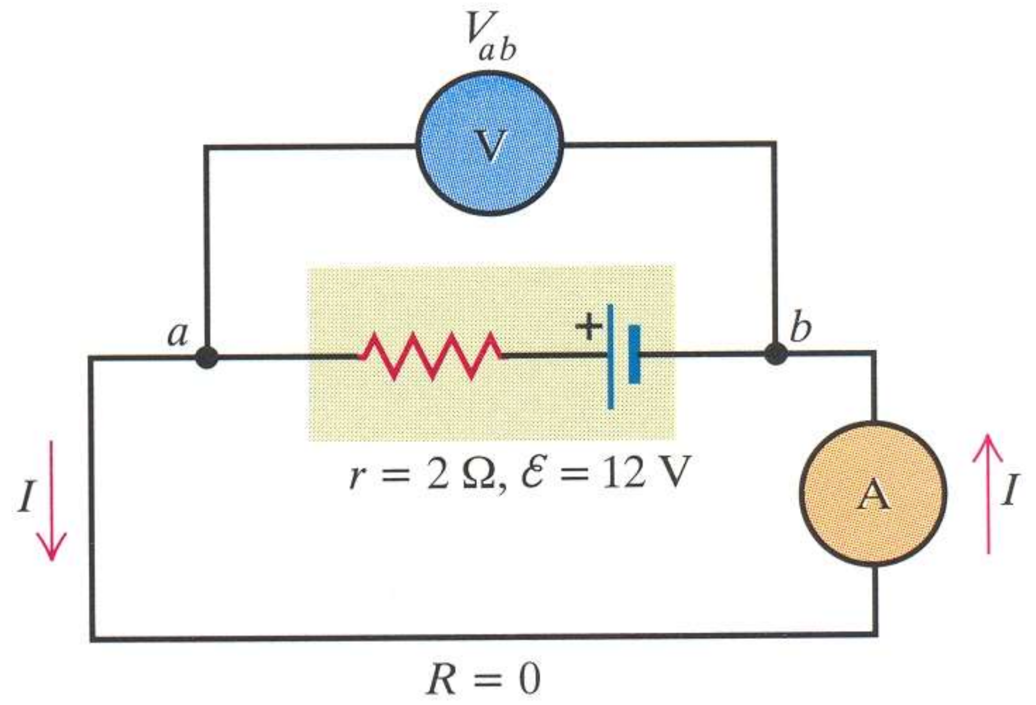
$V_{\alpha b} = \mathcal{E} - Ir = (12\,V) - (2\,A)(2\,\Omega) = 8\,V$

$V_{\alpha' b'} = IR = (2\,A)\,(4\,\Omega) = 8\,V$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Προσδιορισμός ενδείξεων των οργάνων V και A

3. **Βραχυκυκλωμένη πηγή**



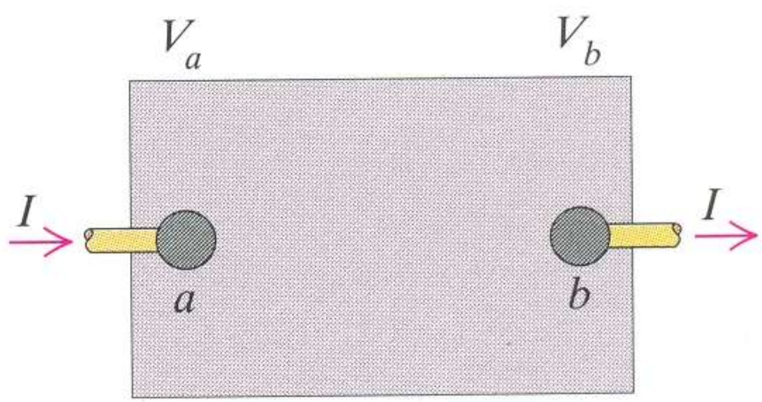
Θεωρούμε ότι $R_A = 0$ ($R_V \to \infty$)

$V = V_{\alpha b} = 0\ V$ $(R = 0)$

$V_{\alpha b} = \mathcal{E} - Ir = 0\ V \Rightarrow I = \mathcal{E}/r = (12\ V)/(2\ \Omega) = 6\ A$

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

- Στοιχείο κυκλώματος με διαφορά δυναμικού $V_{\alpha b} = V_{\alpha} - V_{b}$ μεταξύ των ακροδεκτών του που διαρρέεται από I ($\alpha \rightarrow b$)



Έργο που παράγεται σε φορτίο dQ

$$dW = V_{ab}\,dQ = V_{ab}\,I\,dt.$$

Ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται προς το στοιχείο

- <u>Ισχύς</u>: ο ρυθμός μεταφοράς ενέργειας

$$\frac{dW}{dt} = P = V_{ab}\,I.$$

$$(1\ \text{J/C})(1\ \text{C/s}) = 1\ \text{J/s} = 1\ \text{W}.$$

{1J= 1Ws, 1kWh= $3.6\text{x}10^6$ Ws (J)}

Ηλεκτρική ισχύς που προσφέρεται σε αντιστάτη από το κύκλωμα

$$V = IR.$$

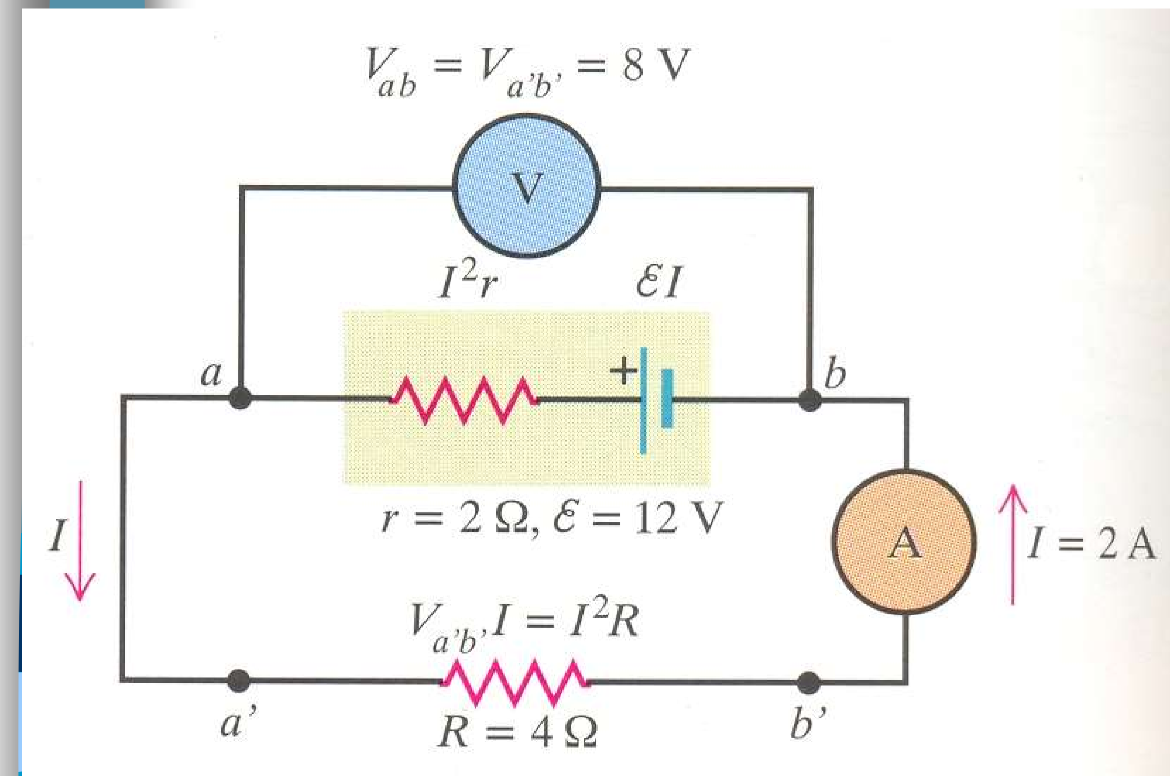
$$P = V_{ab}\,I = I^2 R = \frac{V_{ab}^{\;2}}{R}.$$

- Θερμότητα που εκλύεται (ταλαντώσεις ιόντων): $Q = I^2 R t$ (νόμος του Joule)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Προσδιορισμός ισχύος ($\mathcal{E}$, r, R)

1. **Πηγή σε κλειστό κύκλωμα**



Παραγωγή ισχύος ($\mathcal{E}$):

$P_{\varepsilon} = \mathcal{E} I = (12\ \text{V})(2\ \text{A}) = 24$ W

Κατανάλωση ισχύος ($\mathcal{E}$):

$P_r = I^2 r = (2\ \text{A})^2 (2\ \Omega) = 8$ W

Κατανάλωση ισχύος (R):

$P_R = I^2 R = (2\ \text{A})^2 (4\ \Omega) = 16$ W

Κατανάλωση ισχύος (R):

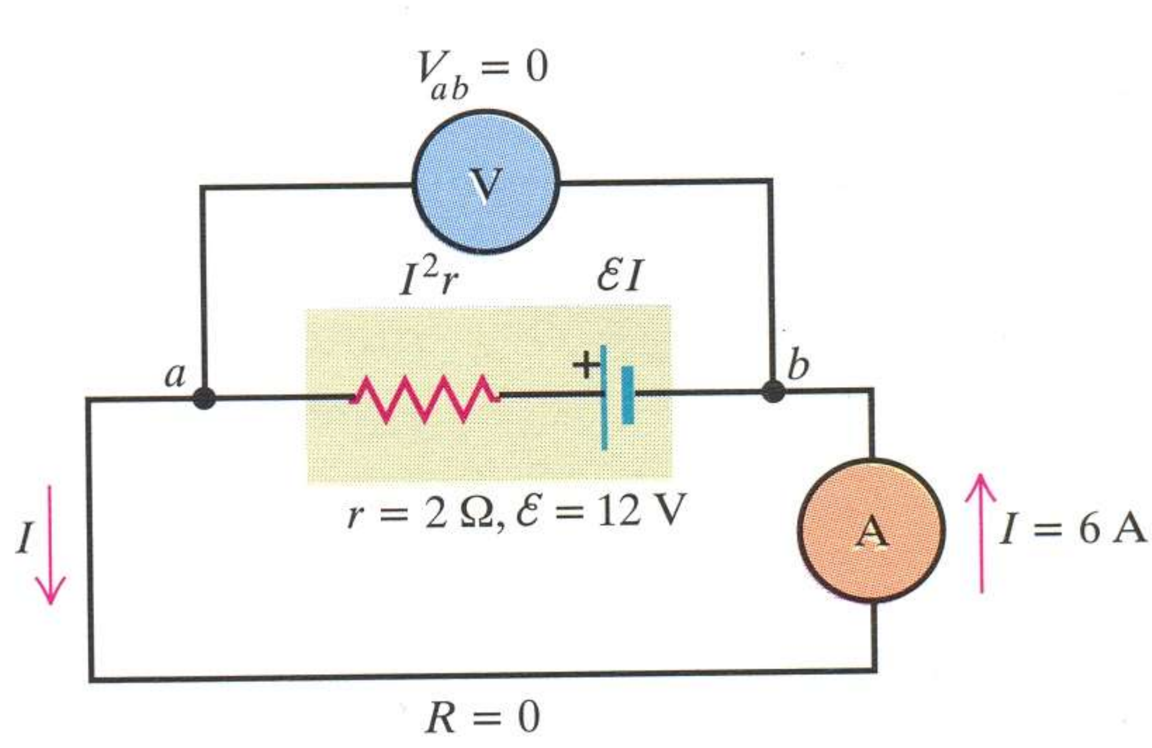
$P_R = V_{\alpha'b'} I = (8\ \text{V})(2\ \text{A}) = 16$ W

$$\boxed{P_{\varepsilon} = P_r + P_R}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Προσδιορισμός ισχύος (Ɛ, r, R)

2. <u>Βραχυκυκλωμένη πηγή</u>



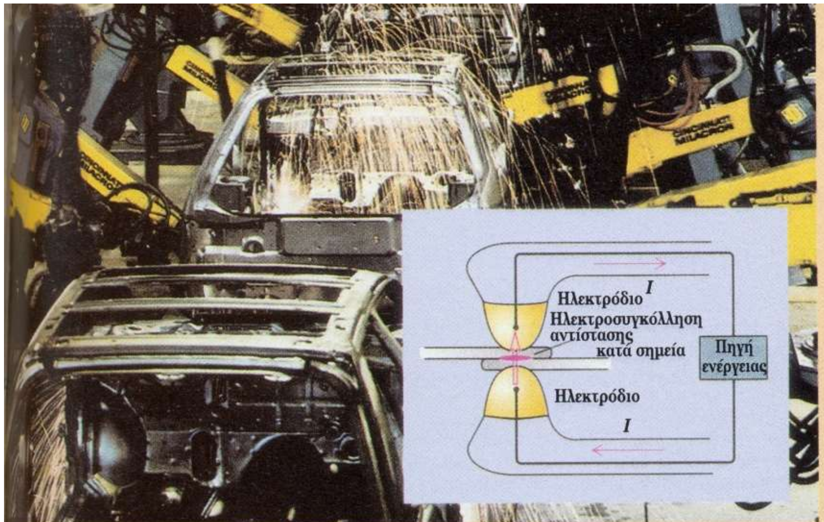
Παραγωγή ισχύος (Ɛ):
P_{ε}= ƐI= (12 V)(6 A)= 72 W

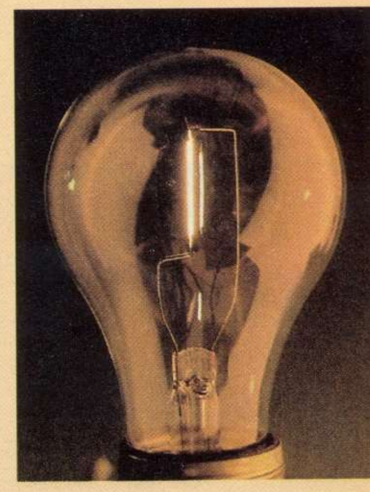
Κατανάλωση ισχύος (Ɛ):
P_r= I^2r= $(6\ A)^2(2\ \Omega)$= 72 W

Κατανάλωση ισχύος (R):
P_R= I^2R= $(6\ A)^2(0\ \Omega)$= 0 W

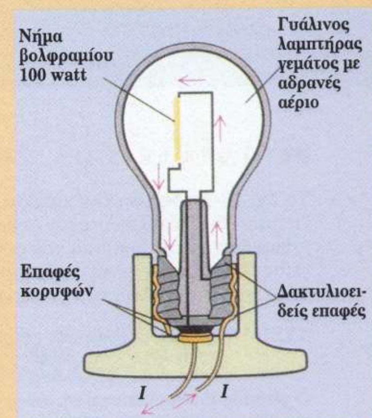
❖ **Ολόκληρη η χημική ενέργεια της πηγής καταναλίσκεται στο εσωτερικό της (καταστροφή ή ακόμη και έκρηξη μπαταριών)**

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ





Η ηλεκτροσυγκόλληση αντίστασης είναι μία πολύ κοινή βιομηχανική διαδικασία. Η ηλεκτροσυγκόλληση αντίστασης κατά σημεία, που φαίνεται εδώ, ενώνει δύο μέταλλα με τη θερμότητα και την πίεση, που εφαρμόζεται από δύο ηλεκτρόδια. Η αντίσταση των ηλεκτροδίων είναι συνήθως πολύ χαμηλή (της τάξης των 100 mΩ) και το ρεύμα κυμαίνεται από 3000 ως 40 000 A και εξαρτάται από τα υλικά που συγκολλούνται και το πάχος τους. Σε ένα αυτοκίνητο μπορεί να υπάρχουν μέχρι 10 000 ηλεκτροσυγκολλήσεις αντιστάσεων κατά σημεία.



Το λεπτό νήμα σε μία λυχνία 100 W έχει αντίσταση 484 Ω σε κανονική οικιακή τάση 220 V. Το νήμα είναι κατασκευασμένο συνήθως από βολφράμιο και αναπτύσσει θερμοκρασία 2500 °C περίπου, όταν διαρρέεται από ρεύμα. Το βολφράμιο δεν τήκεται στη θερμοκρασία αυτή αλλά πυρακτώνεται, δρώντας σαν μία πηγή φωτός.

Αντιστάτες χρησιμοποιούνται συχνά σαν πηγές θερμότητας. Το θερμαντικό στοιχείο σε μία ηλεκτρική εστία μπορεί να έχει μία αντίσταση 29 Ω για μία οικιακή τάση 240 V και να φθάσει μία θερμοκρασία 420 °C.

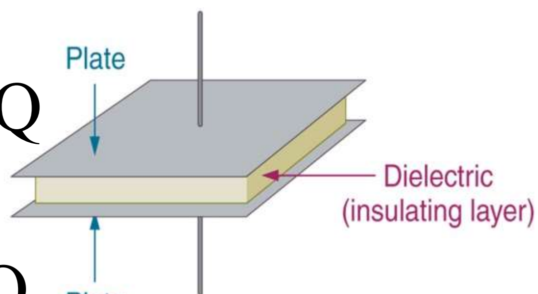
ΠΥΚΝΩΤΕΣ – αποθήκες ενέργειας

Χωρητικότητα (C): η ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που μπορεί να αποθηκευτεί για κάθε 1 V

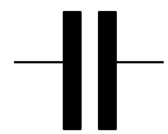
C ανάλογη το φορτίου και αντιστρόφως ανάλογη της διαφοράς δυναμικού

$$C = \frac{Q}{V} \qquad \text{or} \qquad Q = CV$$

+Q



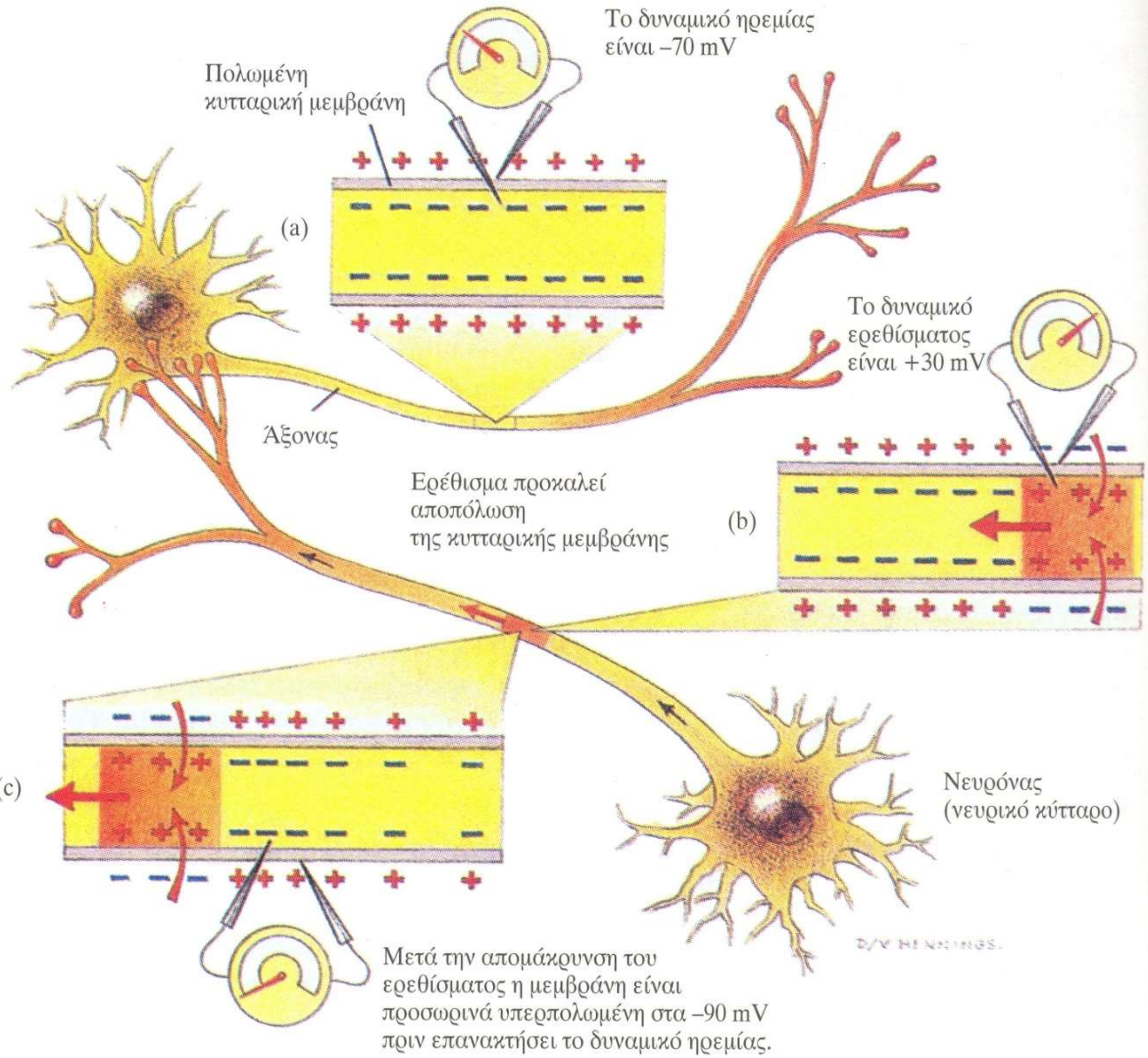
-Q



συμβολισμός

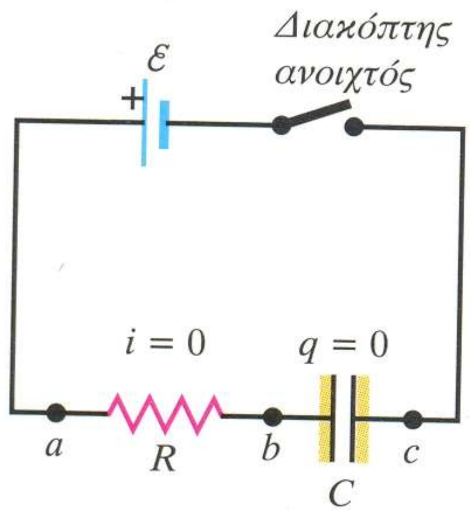
ΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

26–25 (a) Η κυτταρική μεμβράνη γύρω από ένα νευρικό ιστό διατηρεί μία διαφορά δυναμικού περίπου 0,1 V μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού υγρού. (b) Ένα ηλεκτρικό ερέθισμα αποπολώνει την μεμβράνη και η διαφορά δυναμικού μικραίνει. (c) Η πτώση της διαφοράς δυναμικού διαδίδεται κατά μήκος του νευρικού ιστού, ο οποίος ξαναπαίρνει την αρχική τιμή της διαφοράς δυναμικού μετά την διέλευση του παλμού.

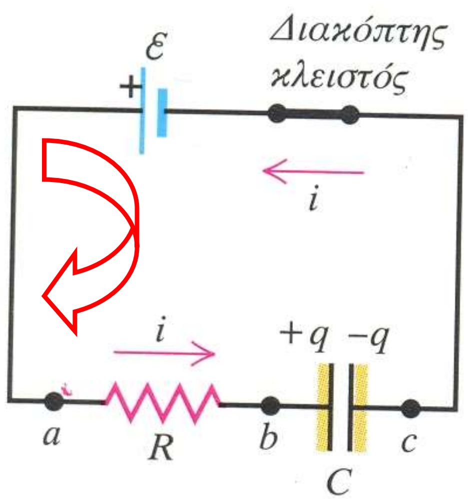


i. **Εγκαύματα από θέρμανση (I^2R)**
ii. **<u>0.1 A</u>: Παρέμβαση στις νευρικές δράσεις (καρδιακή λειτουργία)**
iii. **<u>0.01 A</u>: Ισχυρές μυϊκές συσπάσεις (πόνος)**
iv. **<u>0.02 A</u>: Ηλεκτροπληξία**

ΚΥΚΛΩΜΑ RC, ΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ



(a)



(b)

$$\left.\begin{array}{l} \sum_i V_i = 0 \Rightarrow -\mathcal{E} + V_C + iR = 0 \\ V_C = \dfrac{Q}{C} \\ i = \dfrac{dQ}{dt} \end{array}\right\} \Rightarrow \mathcal{E} = R\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C}$$

$$q = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC}) = Q_f(1 - e^{-t/RC}),$$

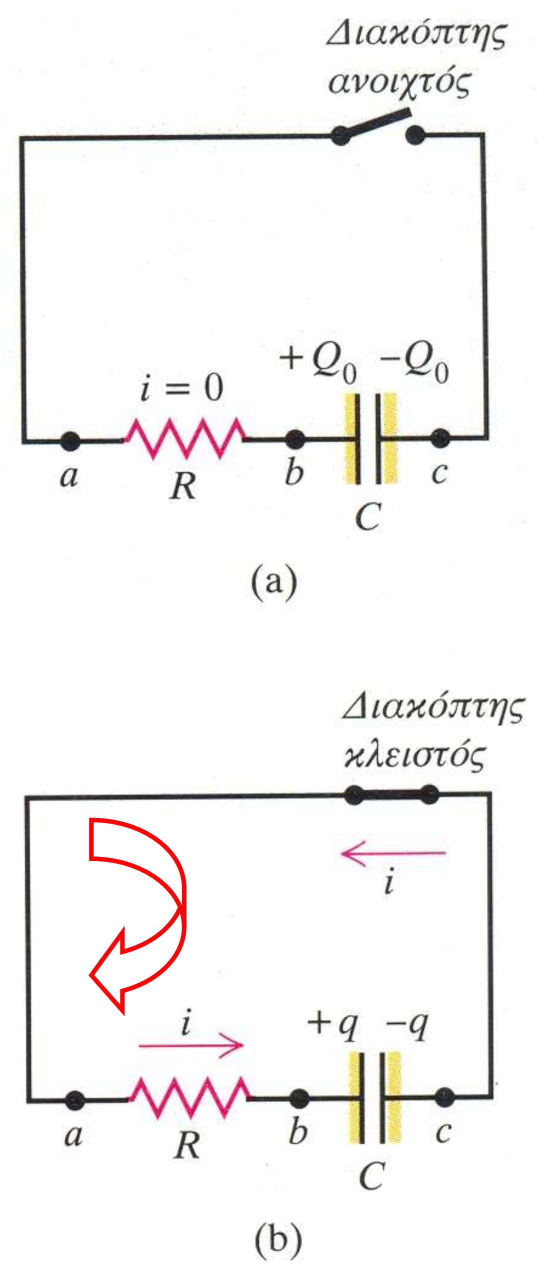
$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R}e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC}.$$

$$V_C = \frac{Q}{C} = \mathcal{E}(1 - e^{-t/RC})$$

Σταθερά χρόνου του κυκλώματος

$\tau = RC.$ $V_c = 63.2\% E$

ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ



$$\left.\begin{array}{r} \sum_i V_i = 0 \Rightarrow V_C + iR = 0 \\ V_C = \dfrac{Q}{C} \\ i = \dfrac{dQ}{dt} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{RC}Q$$

$$q = Q_0 e^{-t/RC},$$

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{Q_0}{RC}e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC}.$$

$$V_C = \frac{Q}{C} = \frac{Q_0}{C}e^{-t/RC} = \mathcal{E}e^{-t/RC}$$

$$\tau = RC.$$

V_c=36.8%E

Ηλεκτρική ενέργεια

$$\mathcal{E} : W_{\pi\alpha\rho} = Q\mathcal{E} = \mathcal{E}^2 C$$

$$C : W_{\alpha\pi o\vartheta} = \tfrac{1}{2}QV = \tfrac{1}{2}Q\mathcal{E} = \tfrac{1}{2}\mathcal{E}^2 C$$

$$R : W_{\kappa\alpha\tau} = W_{\pi\alpha\rho} - W_{\alpha\pi o\vartheta} = \tfrac{1}{2}\mathcal{E}^2 C$$

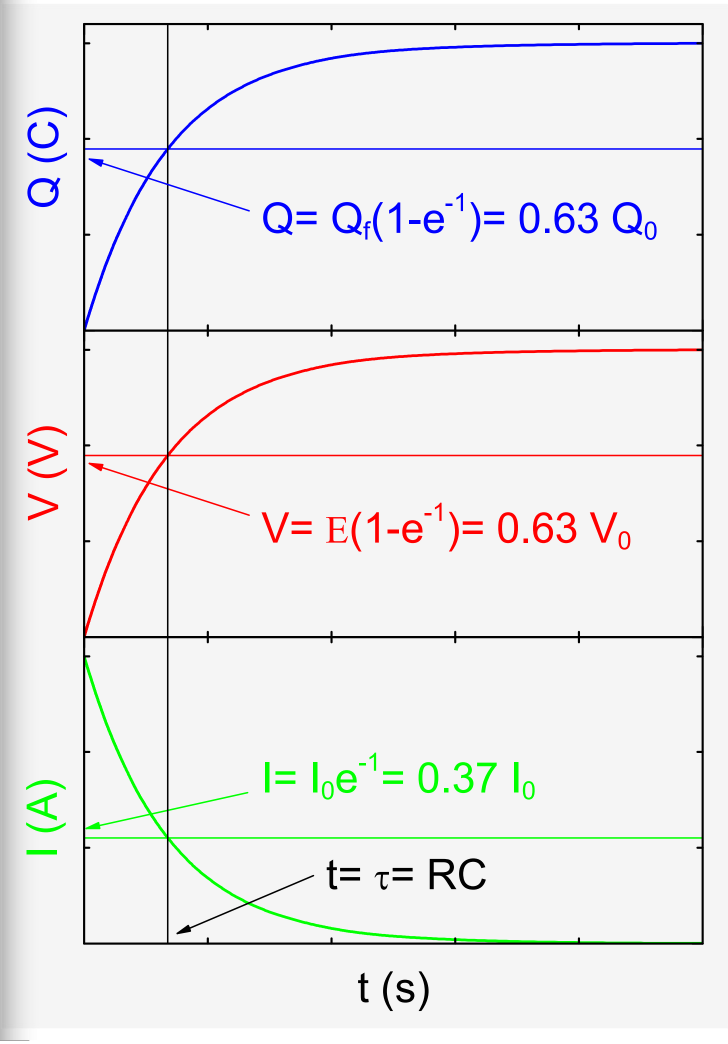
ΦΟΡΤΙΣΗ - ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ)

$$Q = Q_f\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$
$$V_C = \mathcal{E}\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC}$$

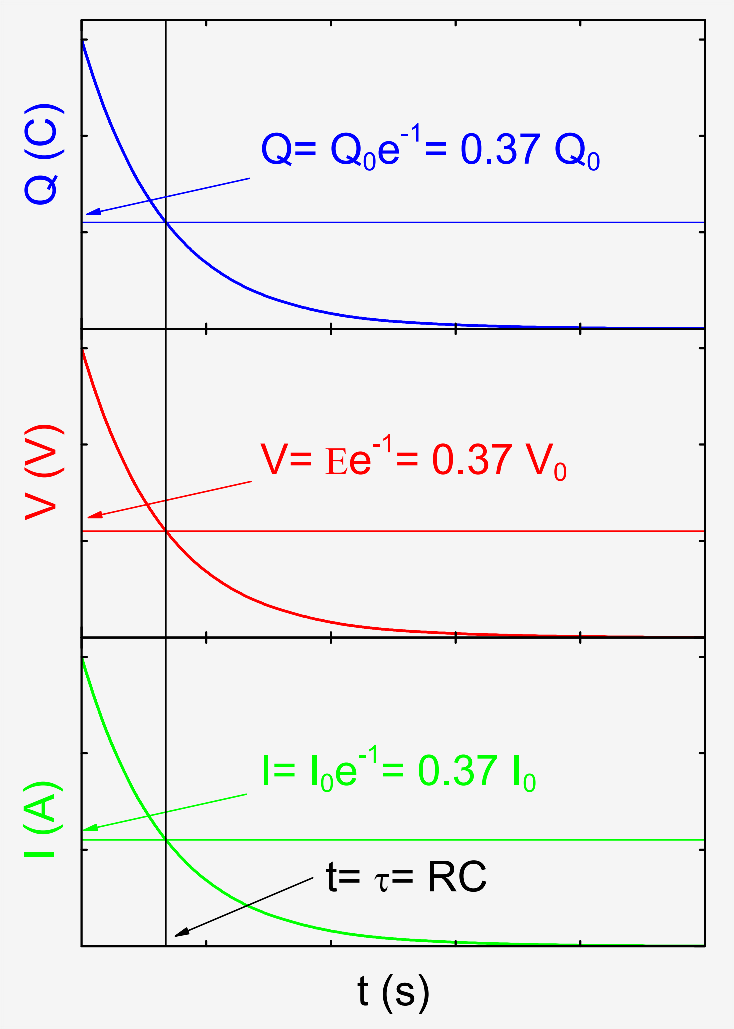
$$\tau = RC.$$

$$Q = Q_0 e^{-t/RC}$$
$$V_C = \mathcal{E} e^{-t/RC}$$
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC}$$

Φόρτιση πυκνωτή



Εκφόρτιση πυκνωτή



ΚΥΚΛΩΜΑ RC (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)

1. **Φόρτιση πυκνωτή C= 2μF από Ɛ= 6 V μέσω R= 100 Ω, υπολογισμός I_0, Q_f, τ, t (90%Q_f= 0.9Q_f)**

$$Q = \mathcal{E}C(1 - e^{-t/RC}) = Q_f(1 - e^{-t/RC})$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC}$$

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{6\ \mathrm{V}}{100\ \Omega} = 0.06\ \mathrm{A}$$

$$Q_f = \mathcal{E}C = (6\ \mathrm{V})\cdot(2\cdot 10^{-6}\ \mathrm{F}) = 12\cdot 10^{-6}\ \mathrm{C}$$

$$\tau = RC = (100\ \Omega)\cdot(2\cdot 10^{-6}\ \mathrm{F}) = 200\cdot 10^{-6}\ \mathrm{s}$$

$$Q = Q_f(1 - e^{-t/RC}) \Rightarrow$$

$$0.9\cdot Q_f = Q_f(1 - e^{-t/RC}) \Rightarrow$$

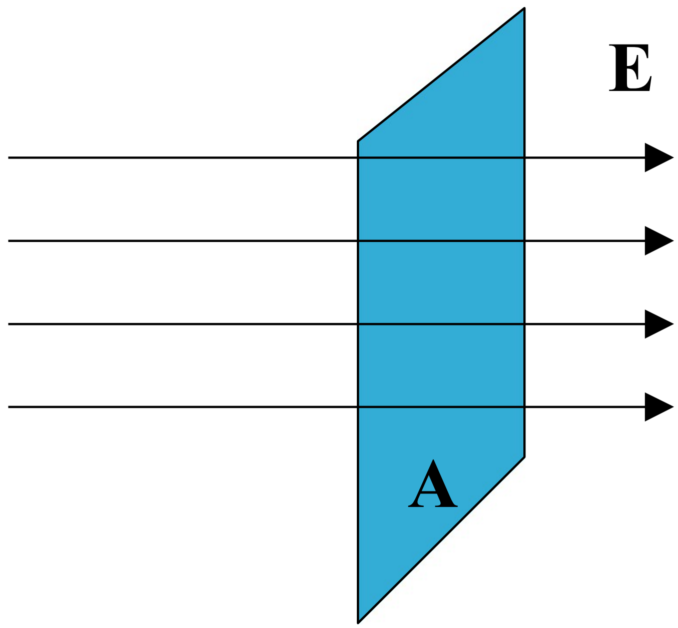
$$e^{-t/RC} = 0.1 \Rightarrow -\frac{t}{RC} = \ln(0.1) \Rightarrow$$

$$-\frac{t}{RC} = \ln(\frac{1}{10}) \Rightarrow \frac{t}{RC} = \ln(10) - \ln(1) \Rightarrow$$

$$t = RC\ln 10 = 460\cdot 10^{-6}\ \mathrm{s}$$

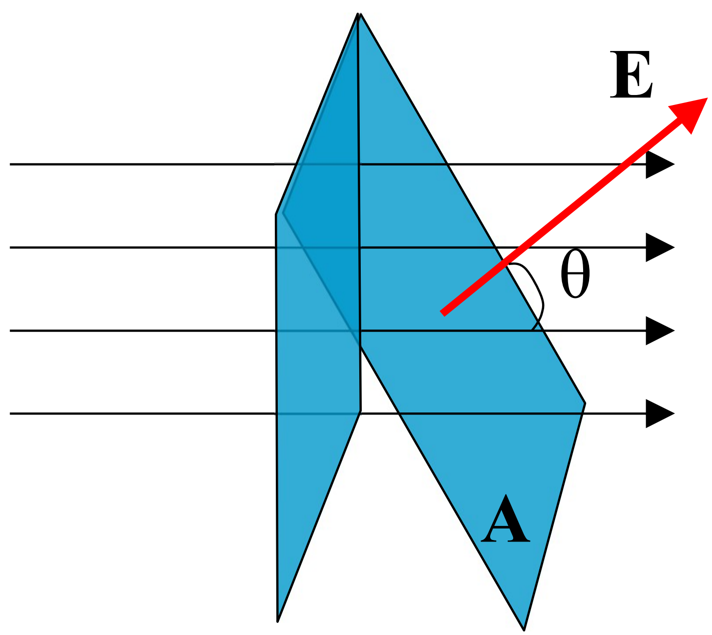
Ροή Ηλεκτρικού πεδίου

Ορίζουμε ως ροή του ηλεκτρικού πεδίου $\Phi_E = \mathbf{EA} = EA\cos\theta$ [Nm^2/C]



$$d\Phi_E = \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

Στοιχειώδης ροή



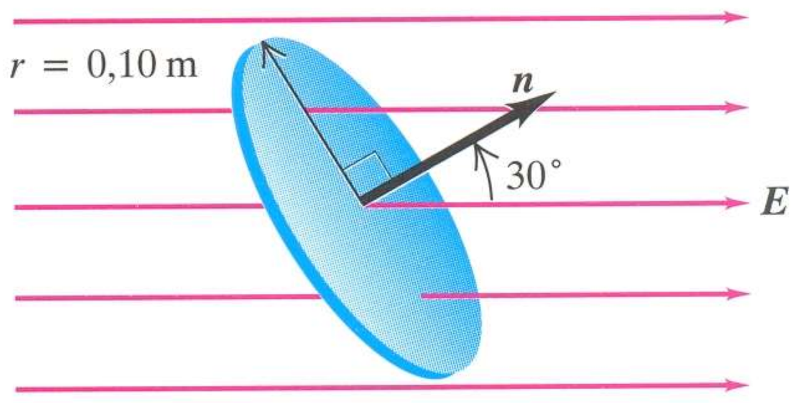
$$\Phi_E = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

Ολική ροή από μια επιφάνεια **A**

*** βαθμωτό μέγεθος, ενδέχεται να έχει αρνητικές τιμές

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΡΟΗ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)

Υπολογισμός ηλεκτρικής ροής



E= 2x10^3 N/C

$A = \pi r^2 = \pi\, 0.1^2 = 0.0314\ m^2$

$\Phi = E\, A \cos\varphi = 54\ Nm^2/C$

ΝΟΜΟΣ του Gauss

Ηλεκτρικό πεδίο

$$\boxed{\Phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}}$$

Κλωβός Faraday

ΡΟΗ

$$\boxed{\Phi_E = \mathbf{E} \cdot \mathbf{A} = EA\cos\vartheta}$$

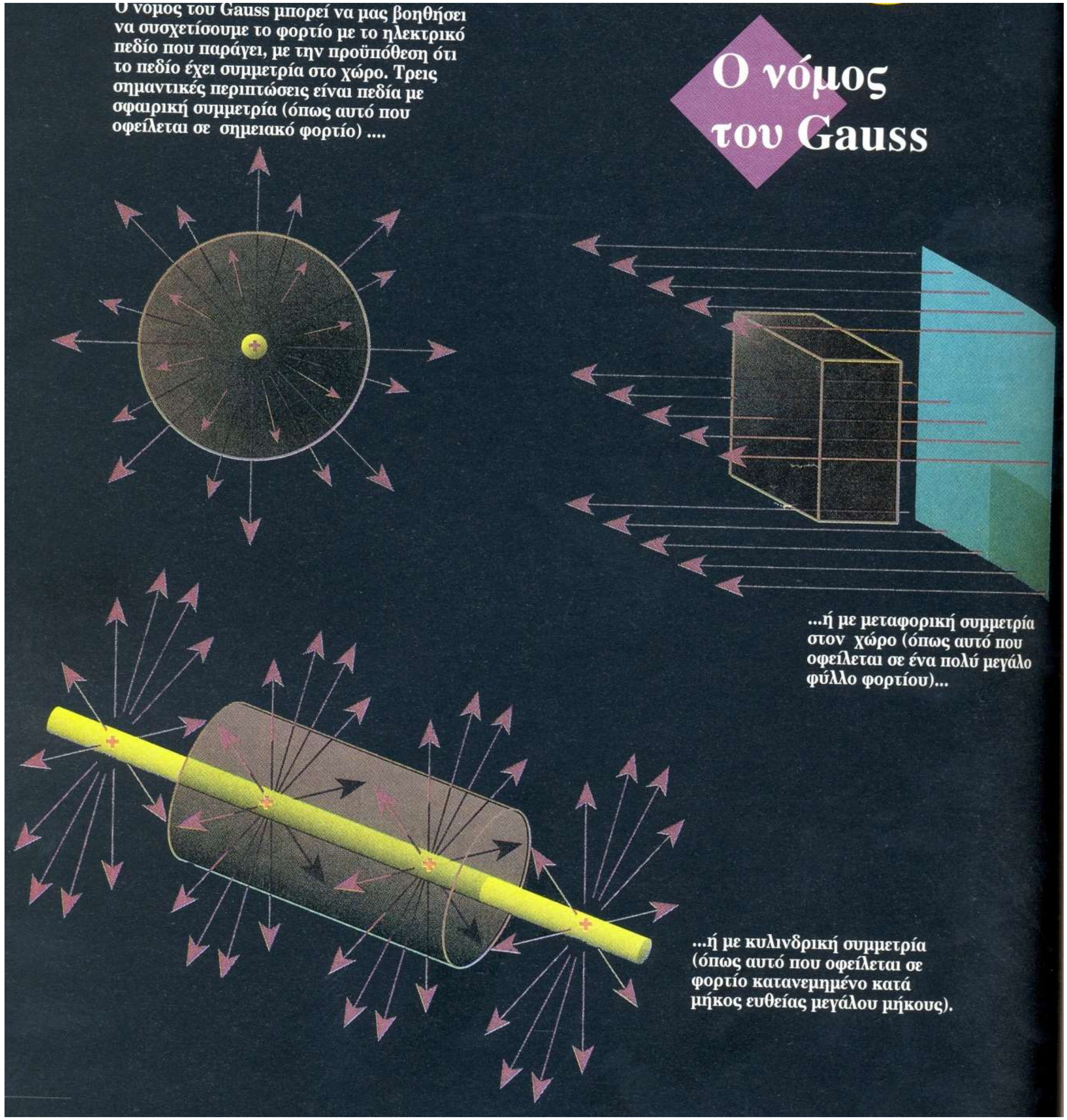
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ν. GAUSS

Ο νόμος του Gauss είναι γενικότερος του Coulomb (σημειακά φορτία-κατανομές φορτίου)

Συσχετίζει το φορτίο με το πεδίο που παράγει

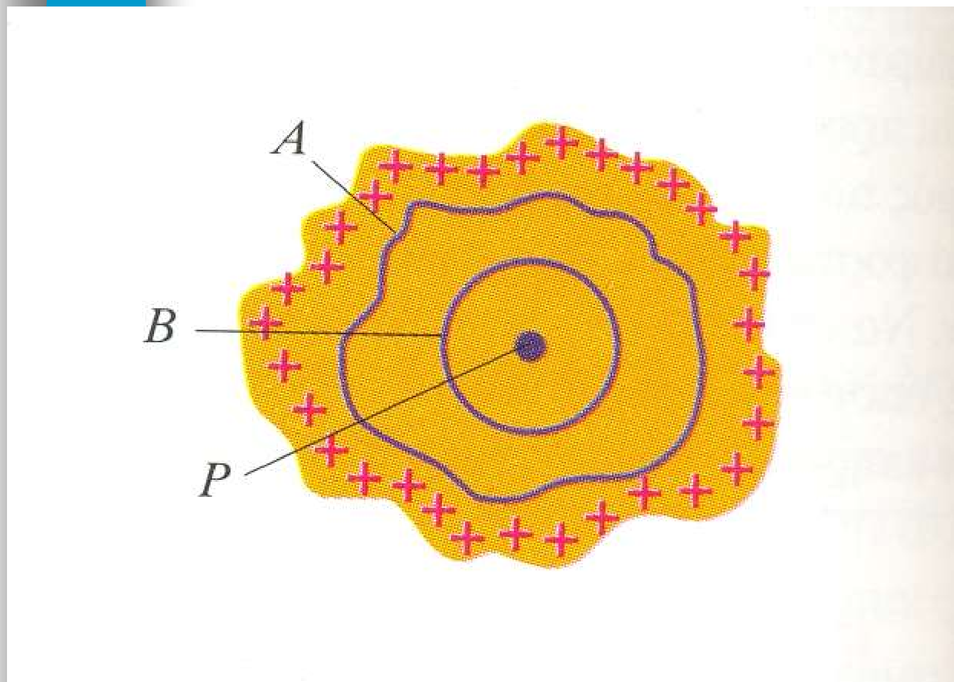
Υπολογισμός Ε από q

(Υπολογισμός q από Ε)



ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ν. GAUSS

Κατανομή περίσσειας φορτίου σε αγωγό (ισορροπία)



- **Επιφάνεια P, B ή A**

  $\Phi_{ο\lambda} = \Sigma E_i \, \Delta S_i \cos\varphi_i = \Sigma q_{\varepsilon\sigma}/\varepsilon_0$

- **Αλλά $E_i = 0$**

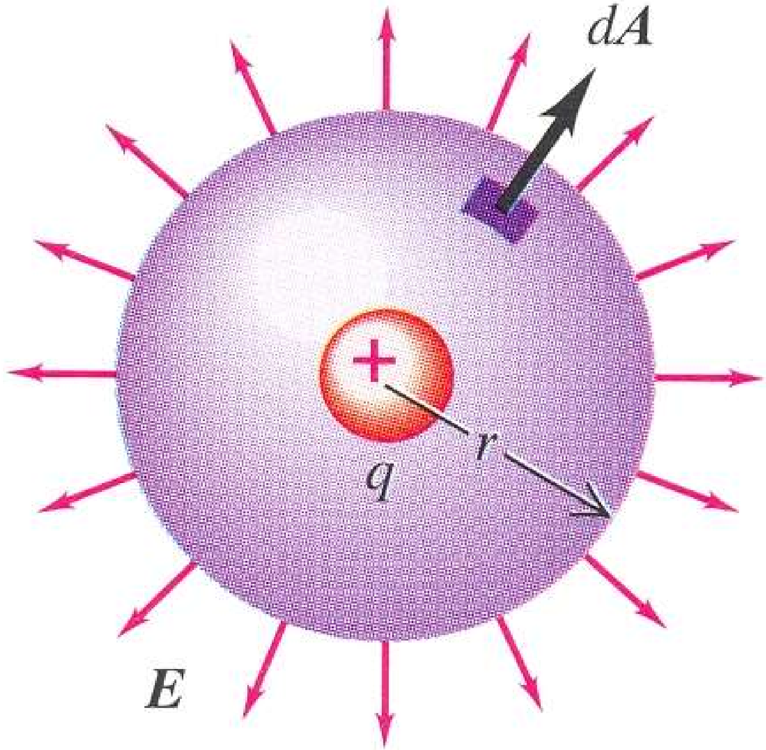
- **Αλλιώς τα φορτία θα κινούνταν και ο αγωγός δεν θα βρισκόταν σε ισορροπία (ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ)**

- **Άρα $q_{\varepsilon\sigma} = 0$**

(Κατανομή φορτίου στην επιφάνεια)

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ν. GAUSS

- Υπολογισμός Ε (σημειακό φορτίο – πεδίο Coulomb)



✓ <u>Σφαιρική συμμετρία</u>

$\Phi_{o\lambda}= \Sigma E_i\, \Delta S_i \cos\varphi_i = \Sigma E_i\, \Delta S_i = E\, \Sigma \Delta S_i = ES$

$\Rightarrow \Phi = E4\pi r^2$

✓ $\Phi = q/\varepsilon_0$ (ν. Gauss)

✓ $E4\pi r^2 = q/\varepsilon_0 \Rightarrow$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q|}{r^2}.$$

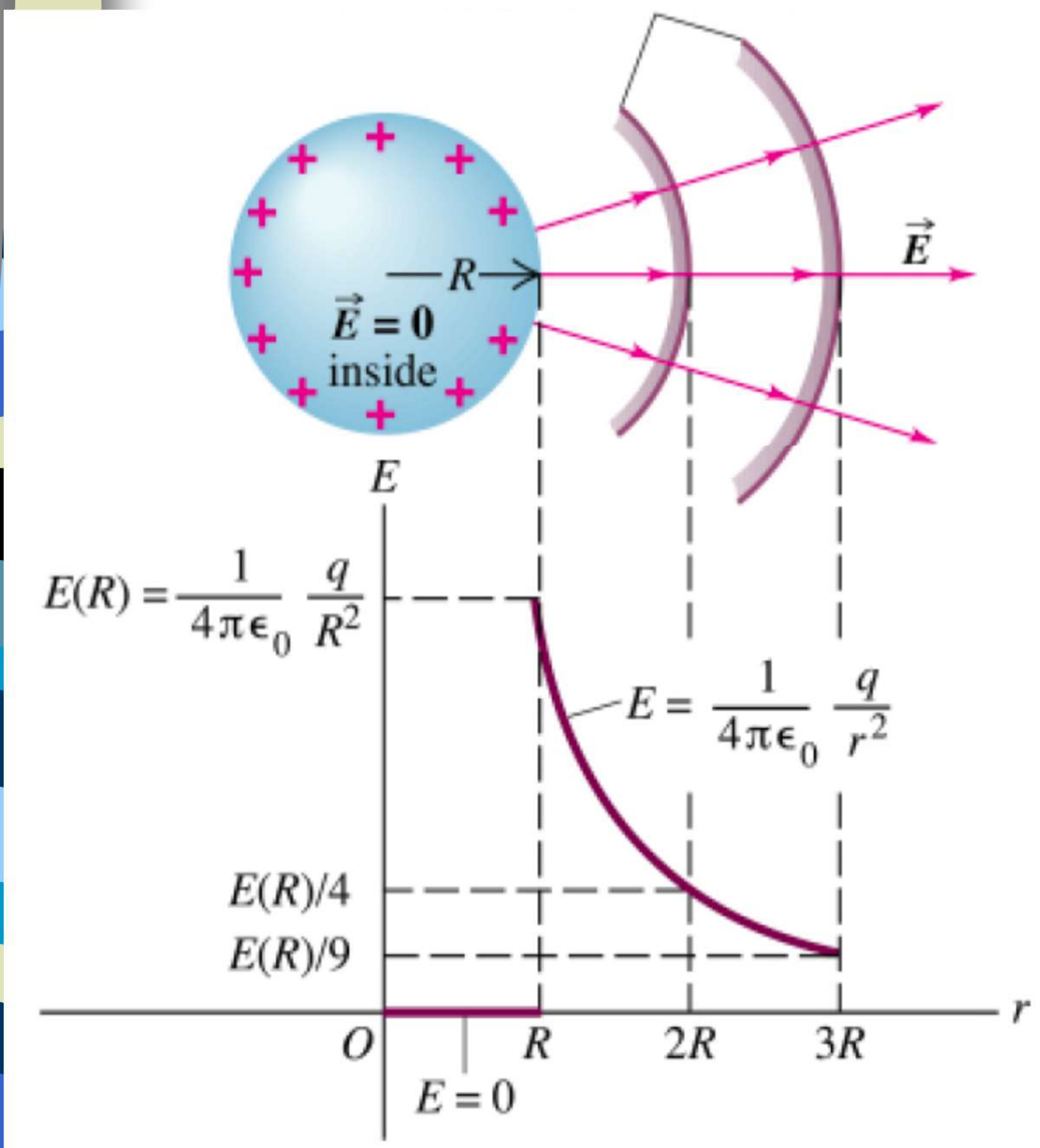
☞ $F = Eq_2 \Rightarrow$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q_1 q_2|}{r^2}.$$

Gauss ⇒ Coulomb

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ν. GAUSS

Υπολογισμός Ε (σφαιρική κατανομή φορτίου)



- **Σφαιρική συμμετρία**

  $\Phi_{o\lambda} = \Sigma E_i\, \Delta S_i \cos\varphi_i =$
  $\Sigma E_i\, \Delta S_i = E\, \Sigma \Delta S_i = ES$

  $\Rightarrow \Phi = E4\pi r^2$

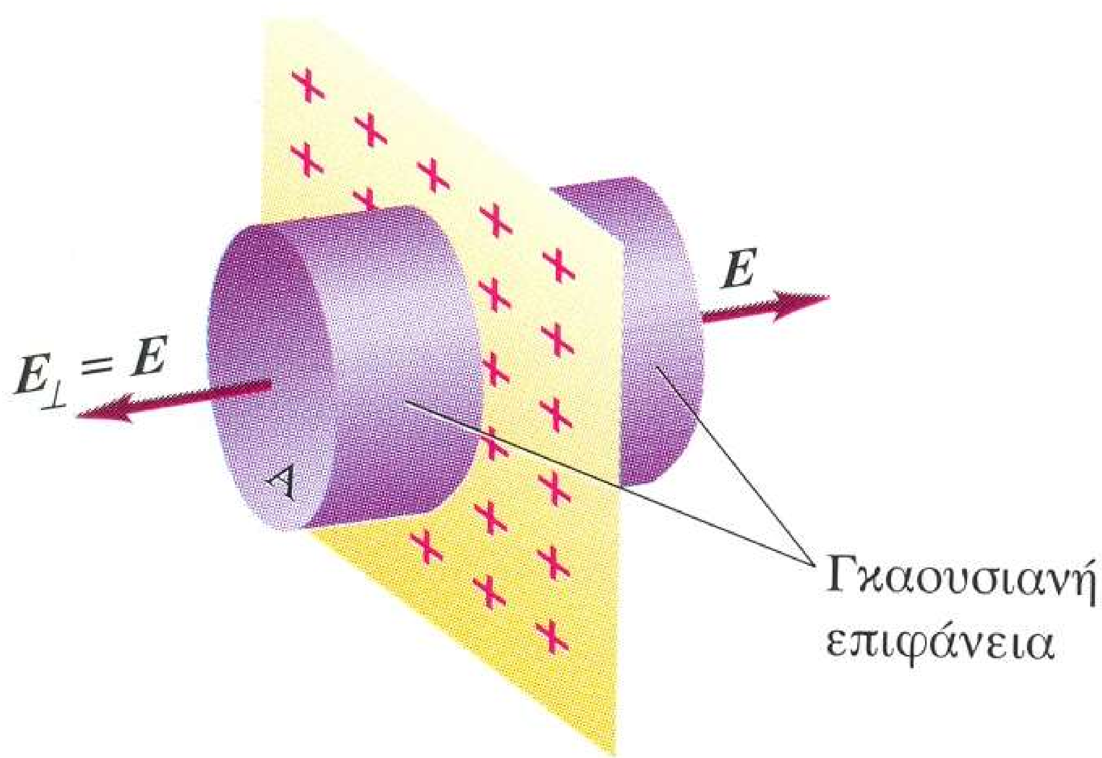
- $\Phi = \Sigma q/\varepsilon_0$ (ν. Gauss)
- $E4\pi r^2 = q/\varepsilon_0 \Rightarrow$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q|}{r^2}.$$

- $\sigma = q/S = q/4\pi R^2$ (επιφανειακή πυκνότητα)
- $E = \sigma/\varepsilon_0$ (στην επιφάνεια)

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ν. GAUSS

Υπολογισμός E (επίπεδη κατανομή φορτίου σ άπειρης έκτασης)



- **Κυλινδρική συμμετρία**

  $\Phi_{ολ} = \Sigma E_i\, \Delta S_i \cos\varphi_i =$
  $\Sigma E_i\, \Delta S_i = E\, \Sigma \Delta S_i = 2ES$

- $\Phi = \Sigma \Delta q/\varepsilon_0 = q/\varepsilon_0$ (Gauss)

- $2ES = q/\varepsilon_0 \Rightarrow E = (q/S)\,(1/2\varepsilon_0)$

  $E = \sigma/2\varepsilon_0$

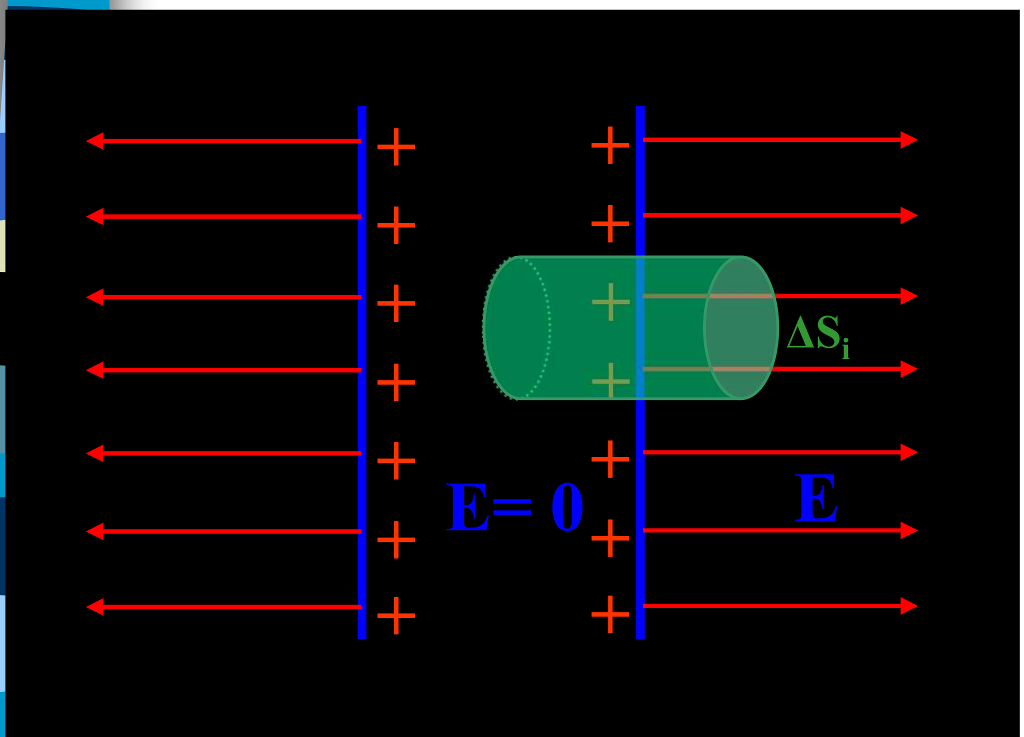
  $(K = 1/4\pi\varepsilon_0 = 9\text{x}10^9\ Nm^2/C^2)$

  $E = 2K\pi\sigma$

- $\sigma = 2\ mC/m^2 \Rightarrow E = \sigma/2\varepsilon_0 = (2\text{x}10^{-3})/(2\text{x}8.85\text{x}10^{-12}) = 1.1\text{x}10^8\ N/C$
  $(\varepsilon_0 = 8.85\text{x}10^{-12}\ C^2/Nm^2)$

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ν. GAUSS

- Υπολογισμός Ε (επίπεδη φορτισμένη μεταλλική πλάκα άπειρης έκτασης, σ)



- <u>**Κυλινδρική συμμετρία**</u>

  $\Phi_{ο\lambda} = \Sigma E_i\, \Delta S_i \cos\varphi_i =$

  $\Sigma E_i\, \Delta S_i = E\, \Sigma \Delta S_i = ES$

- $\Phi = \Sigma \Delta q/\varepsilon_0 = q/\varepsilon_0$ (Gauss)

- $ES = q/\varepsilon_0 \Rightarrow E = (q/S)\,(1/\varepsilon_0)$

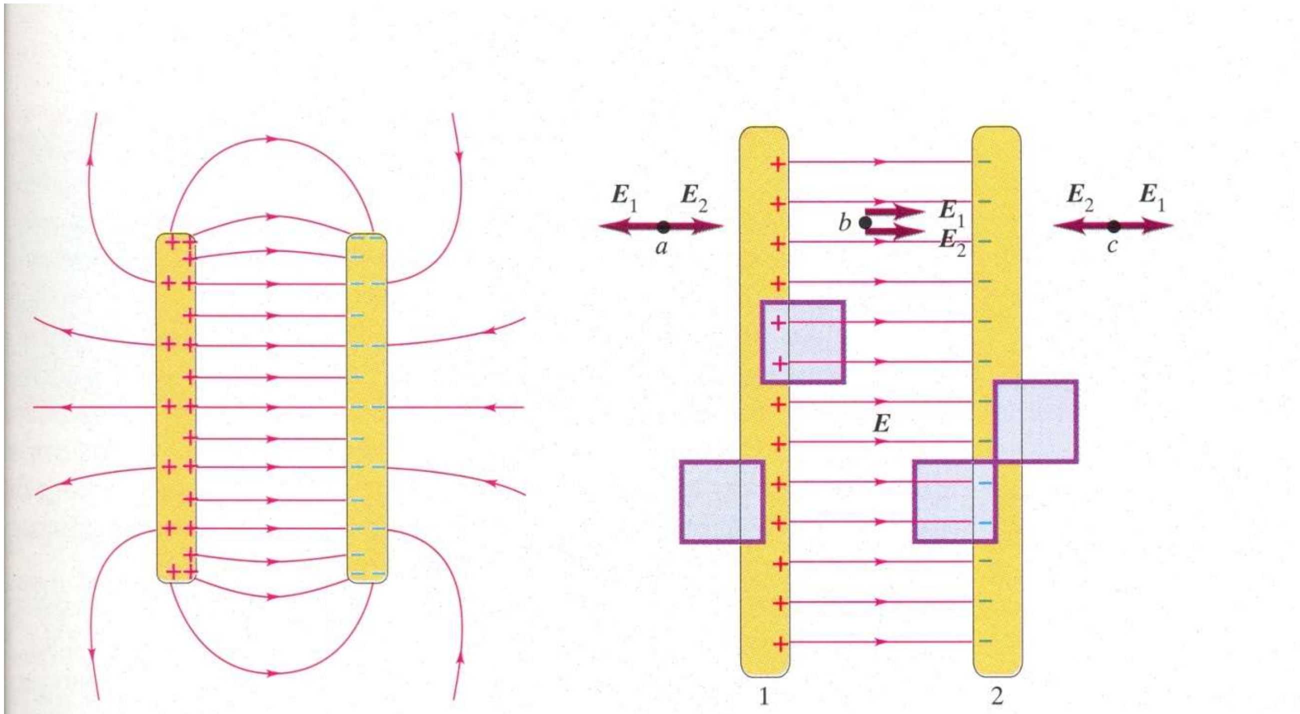
  $E = \sigma/\varepsilon_0$

  $(K = 1/4\pi\varepsilon_0 = 9x10^9\ Nm^2C^2)$

  $E = 4K\pi\sigma$

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ν. GAUSS

Υπολογισμός Ε (μεταξύ παράλληλων μεταλλικών πλακών αντίθετα φορτισμένων, σ)



(a) (b)

- **Εκτός των πλακών:**

$E_2 = -E_1 = \sigma/2\varepsilon_0$

$E = E_1 + E_2 = 0$

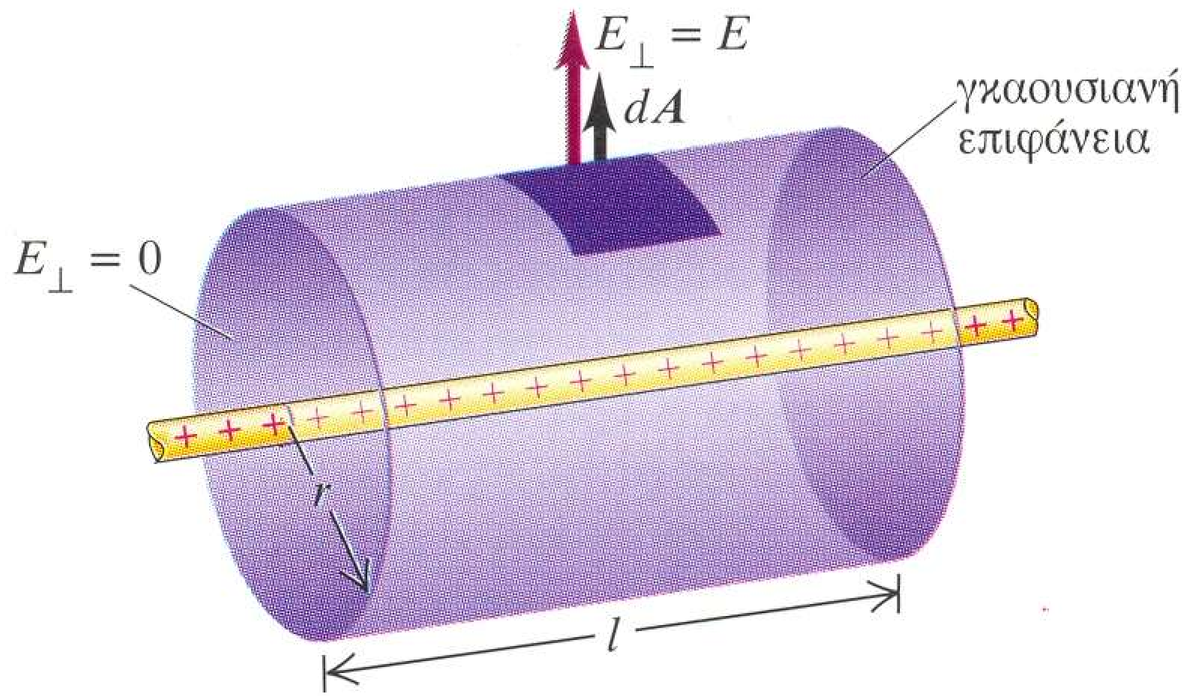
- **Εντός των πλακών:**

$E = \sigma/2\varepsilon_0 + \sigma/2\varepsilon_0 = \sigma/\varepsilon_0$ ($E = \sigma/\varepsilon_0$)

(επίπεδος πυκνωτής)

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ν. GAUSS

- **Υπολογισμός Ε (γραμμική κατανομή φορτίου λ, άπειρης έκτασης)**



Ηλεκτρική ροή υπάρχει μόνο μέσα από την παράπλευρη επιφάνεια

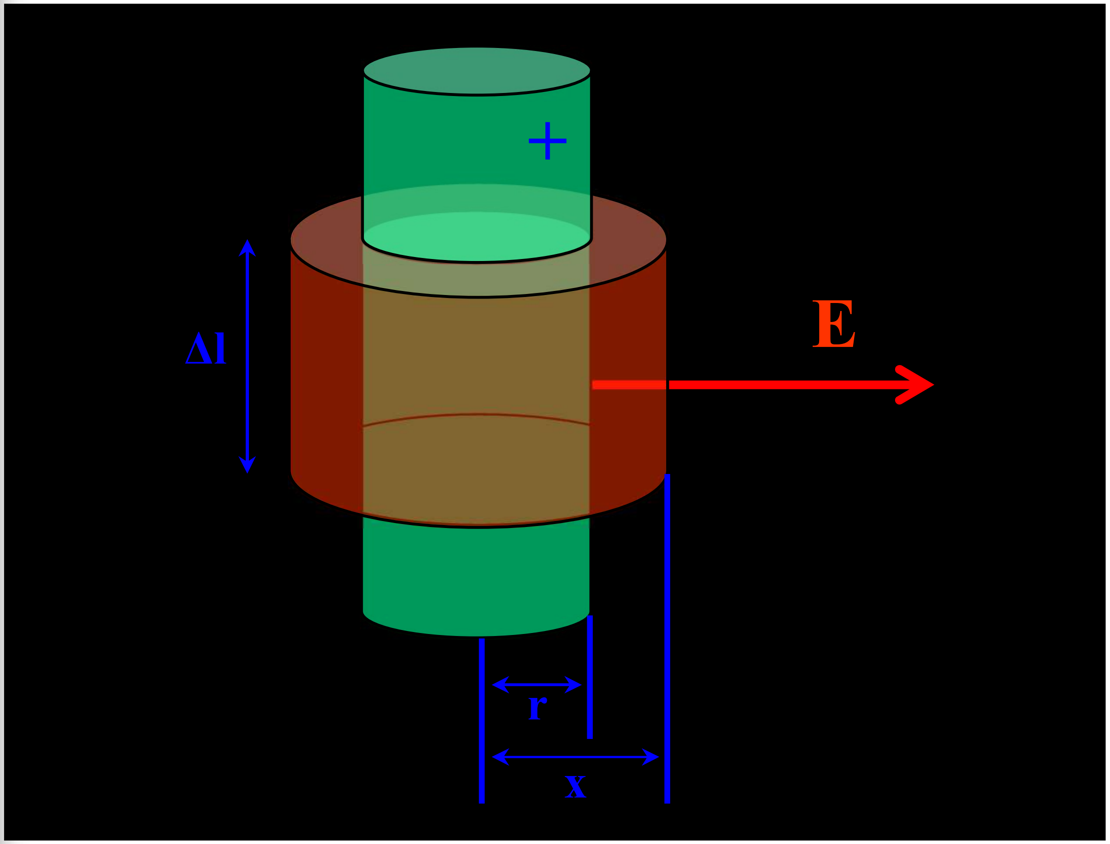
✓ **<u>ν. Gauss:</u>**

$\Phi_{o\lambda} = \Sigma\Delta q/\varepsilon_0 \Rightarrow \Sigma E_i\, \Delta S_i \cos\varphi_i = \Sigma\Delta q/\varepsilon_0 \Rightarrow E\, \Sigma\Delta S_i = \Sigma\Delta q/\varepsilon_0$

$\Rightarrow E2\pi rl = q/\varepsilon_0 \Rightarrow E = (q/l)\,(1/2\pi r\varepsilon_0) \Rightarrow E = \lambda/2\pi\varepsilon_0 r$

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ν. GAUSS

- Υπολογισμός Ε (κυλινδρική φορτισμένη επιφάνεια, σ ή λ)



Ηλεκτρική ροή υπάρχει μόνο μέσα από την παράπλευρη επιφάνεια

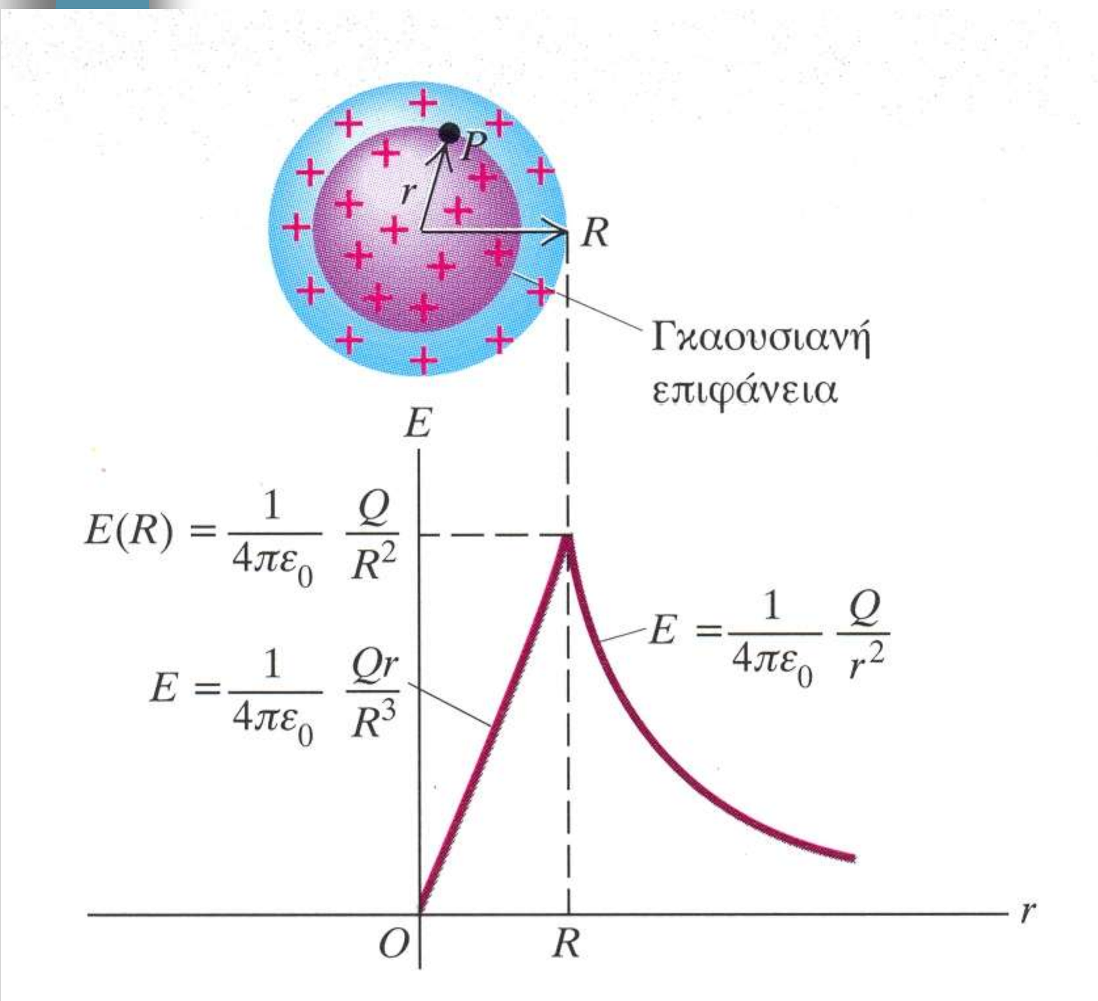
- <u>ν. Gauss:</u>

$\Phi_{o\lambda} = \Sigma\Delta q/\varepsilon_0 \Rightarrow \Sigma E_i\, \Delta S_i \cos\varphi_i = \Sigma\Delta q/\varepsilon_0 \Rightarrow E\, \Sigma\Delta Si = \Sigma\Delta q/\varepsilon 0$

$\Rightarrow E2\pi x\Delta l = \sigma 2\pi r\Delta l/\varepsilon_0 \Rightarrow E = \sigma r/\varepsilon_0 x$ $\{E2\pi x\Delta l = \lambda\Delta l/\varepsilon_0 \Rightarrow E = \lambda/2\pi\varepsilon_0 x\}$

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ν. GAUSS

Υπολογισμός E (ομοιόμορφα φορτισμένη μονωτική σφαίρα: πυκνότητα ρ, ολικό φορτίο Q)



- $\rho = Q/V$, $V = (4/3)\pi R^3$
- ✓ $\Phi_{o\lambda} = \Sigma E_i\, \Delta S_i \cos\varphi_i =$
  $\Sigma E_i\, \Delta S_i = E\, \Sigma \Delta S_i = ES$

  $\Rightarrow \Phi = E 4\pi r^2$
- ✓ $\Phi = Q/\varepsilon_0$ (ν. Gauss)

  $Q_{\varepsilon\sigma} = \rho V' = \rho\, (4/3)\pi r^3 = Qr^3/R^3$

  $Q_{\varepsilon\xi} = Q$
- ✓ $E_{\varepsilon\sigma} = (1/4\pi\varepsilon_0)(Qr/R^3)$
- ✓ $E_{\varepsilon\xi} = (1/4\pi\varepsilon_0)(Q/r^2)$

Μαγνητικό πεδίο

Μαγνητικά πεδία έχουμε **μόνο** σε περιπτώσεις που υπάρχει **κίνηση**/ροή φορτίων.

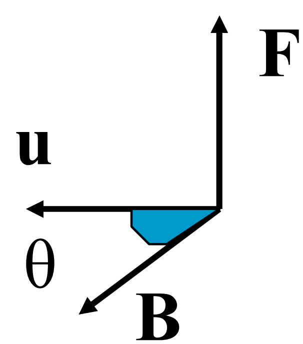
Στο χώρο ενός μαγνητικού πεδίου ασκείται δύναμη σε οποιοδήποτε φορτίο κινείται μέσα σε αυτόν. Το μαγνητικό πεδίο περιγράφεται από την αντίστοιχη ένταση μαγνητικού πεδίου που ονομάζεται μαγνητική επαγωγή **B**.

Αν θετικό δοκιμαστικό φορτίο q_o κινείται με ταχύτητα u περνάει από σημείο P και σε αυτό ασκείται δύναμη **F** τότε στο σημείο P υπάρχει μαγνητική επαγωγή **B** με το **B** να ικανοποιεί τη σχέση:

$\mathbf{F}=q_o\mathbf{u} \times \mathbf{B}$ ($q_o u\, B\sin\theta$)

Tesla = (N/Cb)(m/sec) = N/Am

[Γη 10^{-4}T]



Lorentz force

Πραράδειγμα

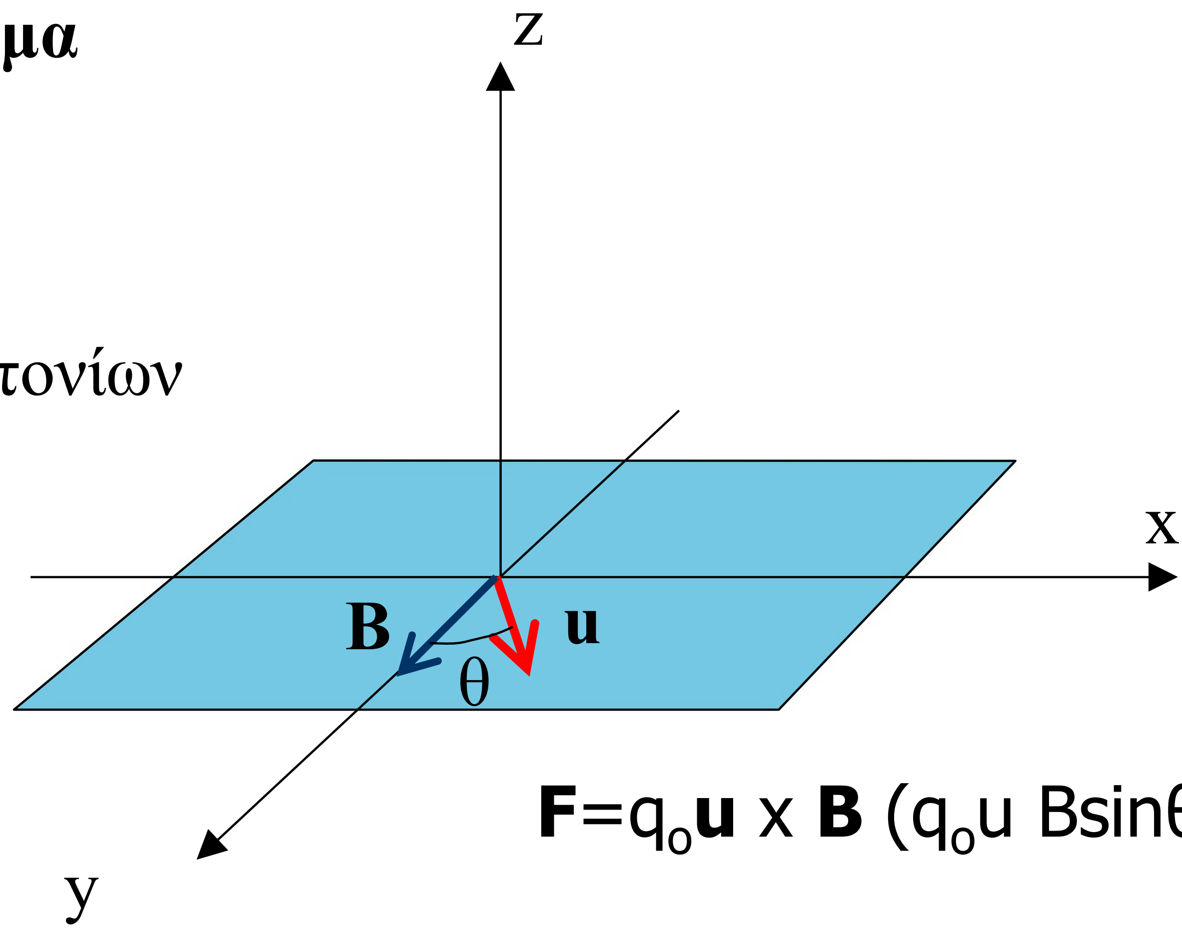
B=2T

u=3 10^5m/s

θ=30^o

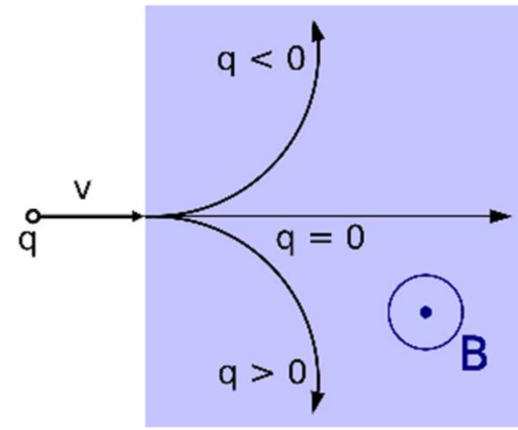
Δέσμη πρωτονίων

~1.6 10^{-19} C



F=q_o**u** x **B** (q_ou Bsinθ)

4.8 10^{-14} N



Μαγνητική δύναμη σε ρευματοφόρο αγωγό

Όταν αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα τοποθετείται σε μαγνητικό πεδίο δέχεται δύναμη. Αυτή υπολογίστηκε:

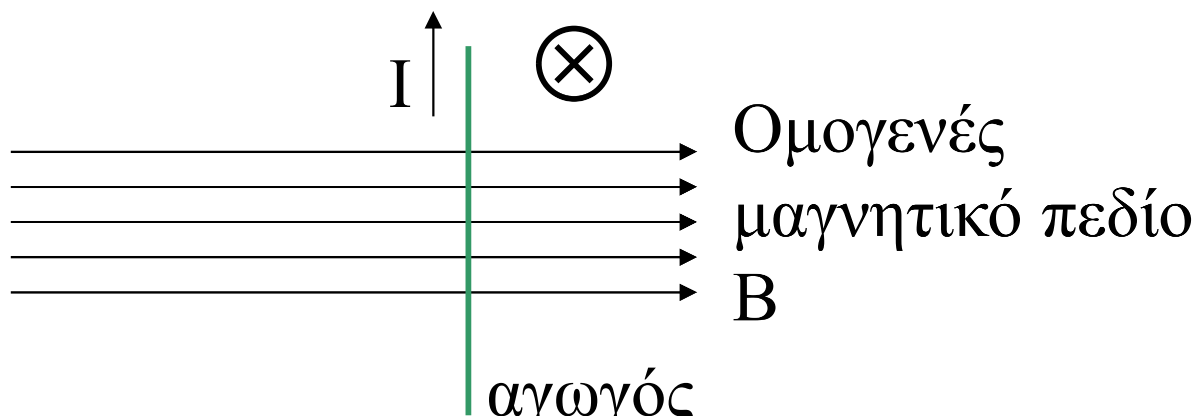
$\mathbf{F} = I\,\mathbf{l}\times\mathbf{B}$ **l** το μήκος του αγωγού

I το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό

B το μαγνητικό πεδίο

Μέτρο F=I l B

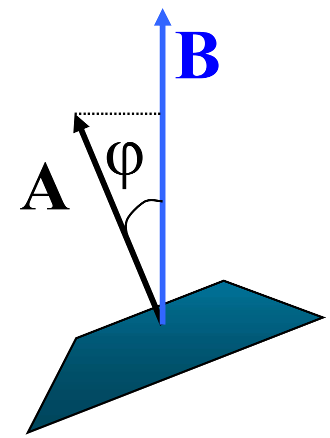
[F=I l B sinθ]



Laplace force

ΟΡΙΖΟΥΜΕ

Μαγνητική ροή ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου, Φ_B, μέσα από μια επιφάνεια το γινόμενο του διανύσματος **B** του μαγνητικού πεδίου με την προβολή του διανύσματος επιφάνειας **A** στη διεύθυνση του **B**.



$\Phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} = BA\text{συν}\varphi$

A διάνυσμα επιφανείας με μέτρο το εμβαδόν της επιφάνειας και διεύθυνση κάθετη στην επιφάνεια

*** βαθμωτό μέγεθος, ενδέχεται να έχει αρνητικές τιμές

Μονάδες

$Tm^2 \rightarrow$ Weber (Wb) 1Wb=1 Nm/A

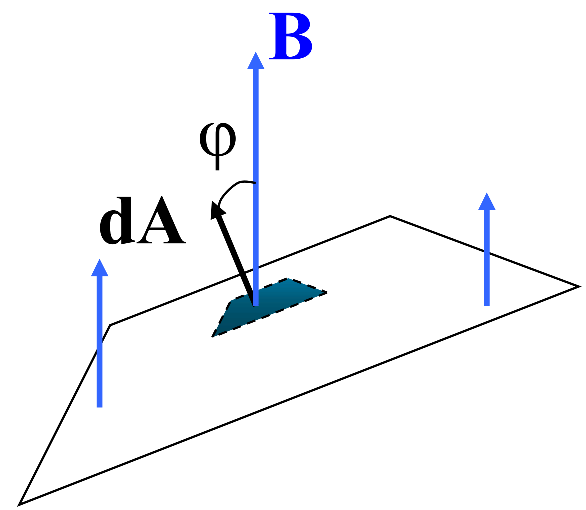
Σε περίπτωση που το πεδίο Β δεν είναι ομογενές, χωρίζουμε την επιφάνεια σε στοιχειώδη τμήματα d**A** σε κεθένα από τα οποία θεωρούμε πως το **B** είναι ομογενές. Η στοιχειώδης ροή γράφεται:

$d\Phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{dA} = BdA\sigma\upsilon\nu\varphi$

Και η συνολική ροή από την επιφάνεια ορίζεται ως

ολοκλήρωμα:

$$\Phi_B = \int B \cdot dA = \int BdA\cos\varphi$$



Παράδειγμα Επίπεδη επιφάνεια με εμβαδό $3cm^2$ βρίσκεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Το επίπεδο της επιφάνειας σχηματίζει 30^o με το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου. Αν η μαγνητική ροή είναι 0.9mWb υπολογίστε το μέτρο του μαγνητικού πεδίου και βρείτε την κατεύθυνση του διανύσματος επιφανείας.

ΝΟΜΟΣ του Gauss για το μαγνητικό πεδίο

Μαγνητικό πεδίο

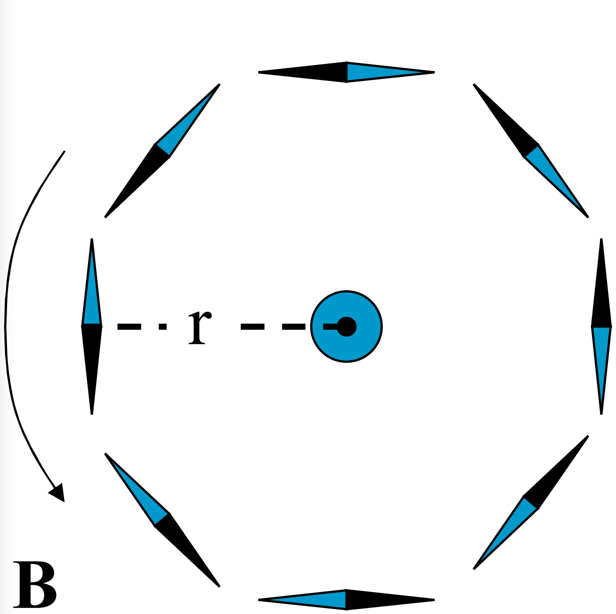
$$\boxed{\Phi_B = 0}$$

ΡΟΗ

$$\boxed{\Phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = BS\cos\vartheta}$$

Δεν υπάρχουν απομονωμένοι μαγνητικοί πόλοι

ΝΟΜΟΣ του Ampere



B

 Μαγνητική βελόνα (Ν → μαύρο)

Δέχεται δύναμη όταν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα

Γιατί;

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$$

Ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός

I ρεύμα του αγωγού

r η απόσταση από τον αγωγό

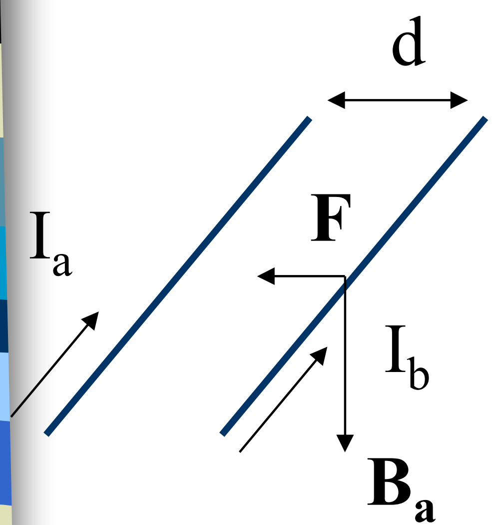
μ_o σταθερά μαγνητικής διαπερατότητας

(=4π 10^{-7} weber/Ampere meter)

Φορά διανύσματος Β → Κανόνας δεξιού χεριού

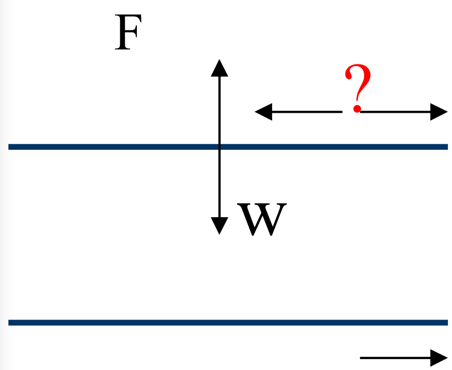
$$\boxed{\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \left(I_C + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)}$$

Δύναμη μεταξύ δύο αγωγών



$$B_a = \mu_o I_a / 2\pi d \qquad F_a = I_b \, l \, B_a = \mu_o \, l \, I_b I_a / 2\pi d$$

Οριζόντιο καλά στερεωμένο σύρμα μεγάλου μήκους διαρρέεται από ρεύμα I_a. Ακριβώς από πάνω του και παράλληλα με αυτό βρίσκεται λεπτό σύρμα που διαρρέεται από ρεύμα I_b και έχει βάρος W. Πόσο πρέπει να απέχει από το πρώτο σύρμα ώστε να στηρίζεται με μαγνητική άπωση;



I_b=20A W=0.073N/m

I_a=100A

$$d = \mu_o I_b I_a / 2\pi (F / l)$$

Απ. 5.5mm

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

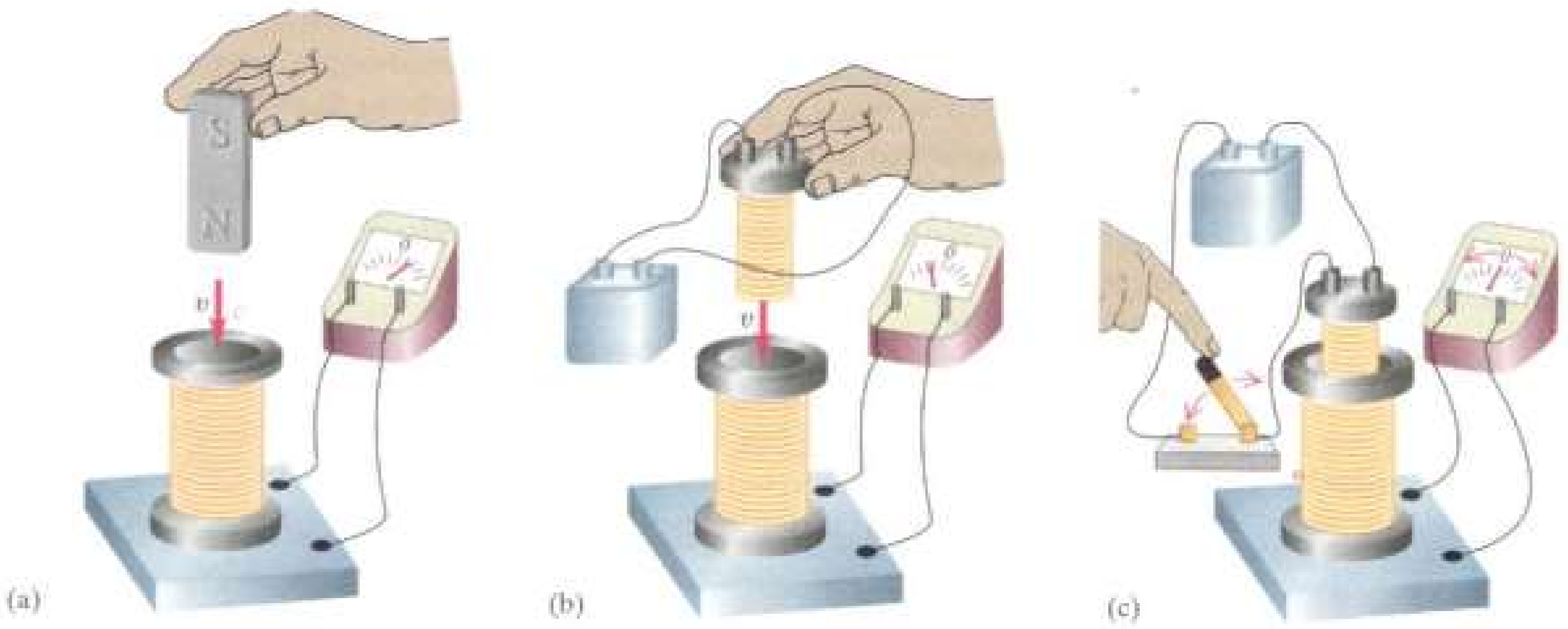
Faraday & Henry ~1830

Επαγωγικό ρεύμα και επαγόμενη ΗΕΔ

(α)
Κίνηση μαγνήτη

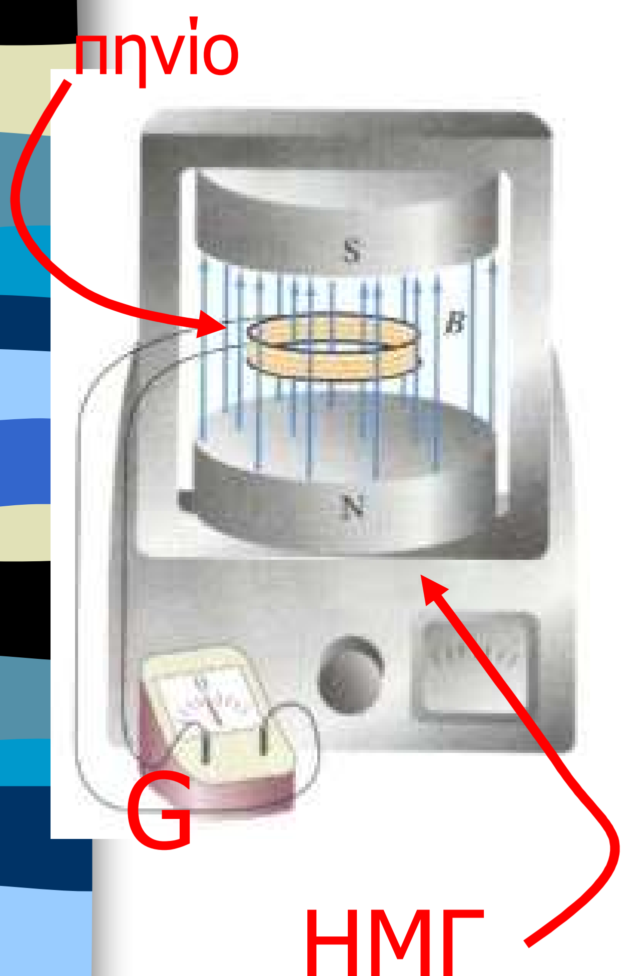
(β)
Κίνηση πηνίου που διαρρέεται από ρεύμα

(γ)
Μεταβολή ρεύματος στο πηνίο



ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830



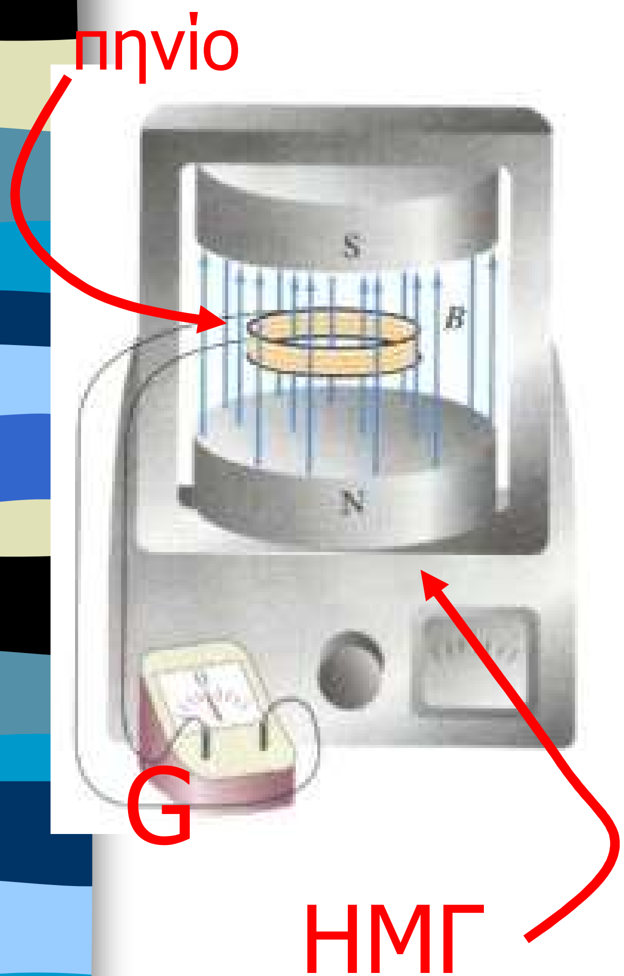
Πηνίο τοποθετείται σε μαγνητικό πεδίο ηλεκτρομαγνήτη

- Το ρεύμα του ΗΜΓ είναι μηδέν → $B=0$, $I_G=0$
- ΗΜΓ τίθεται σε λειτουργία → B ↑ → στιγμιαίο ρεύμα στο G, $I_G=+I_o\neq 0$
- Όταν B=σταθ → $I_G=0$
- Όταν B=σταθ καθόσον παραμορφώνουμε το πηνίο (μικραίνοντας την επιφάνειά του) → $I_G=-I_o\neq 0$. Καθόσον το επαναφέρουμε στο αρχικό σχήμα → $I_G=+I_o\neq 0$
- Όταν B=σταθ καθόσον στρέφουμε το πηνίο → $I_G=$

$-I_o\neq 0$. Καθόσον το επαναφέρουμε στην οριζόντιο → $I_G=+I_o\neq 0$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830



Πηνίο τοποθετείται σε μαγνητικό πεδίο ηλεκτρομαγνήτη

- Όταν B=σταθ καθόσον τραβούμε το πηνίο έξω από το πεδίο του ΗΜΓ $\rightarrow$ $I_G=-I_o\neq 0$. Καθόσον το επαναφέρουμε στην αρχική θέση $\rightarrow$ $I_G=+I_o\neq 0$

- Όταν B=σταθ & $\downarrow$ τον αριθμό των περιελίξεων του πηνίου $\rightarrow$ $I_G=-I_o\neq 0$. Αν τις $\uparrow$ $\rightarrow$ $I_G=+I_o\neq 0$

- Όταν ο ΗΜΓ τίθεται εκτός λειτουργίας $\rightarrow$ B $\downarrow$ $\rightarrow$ στιγμιαίο ρεύμα στο G, $I_G=-I_o\neq 0$

- Όσο ταχύτερα πραγματοποιήσουμε μια από τις παραπάνω αλλαγές τόσο $\uparrow$ I_G

- Αν αλλάξουμε το υλικό του πηνίου (αλλάξουμε την R) τότε $I_G \propto 1/R$ $\rightarrow$ ΗΓΔ ανεξάρτητη από το υλικό παρά μόνο από το σχήμα του πηνίου και το μαγνητικό πεδίο

ΝΟΜΟΣ του Faraday

Η επαγόμενη σε ένα κύκλωμα ΗΕΔ ισούται με το αρνητικό του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής που διαπερνά το κύκλωμα

$$V = -\frac{d\Phi_B}{dt} \xrightarrow{\text{N σπείρες}} -N\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$V_a - V_b = \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

Διαφορά δυναμικού
του b ως προς το a

$$\boxed{\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}}$$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

Παράδειγμα

Ρεύμα που επάγεται σε βρόχο Στο Σχ. 30–3 το μαγνητικό πεδίο ανάμεσα στους πόλους του ηλεκτρομαγνήτη είναι ομογενές σε κάθε χρονική στιγμή, αλλά αυξάνει με ρυθμό 0,020 T/s. Η επιφάνεια του αγώγιμου βρόχου μέσα στο πεδίο είναι 120 cm² και η ολική αντίσταση του κυκλώματος, μαζί με το γαλβανόμετρο και τον αντιστάτη, είναι 5,0 Ω. Να βρεθεί η επαγόμενη ΗΕΔ, καθώς και το επαγόμενο ρεύμα στο κύκλωμα.

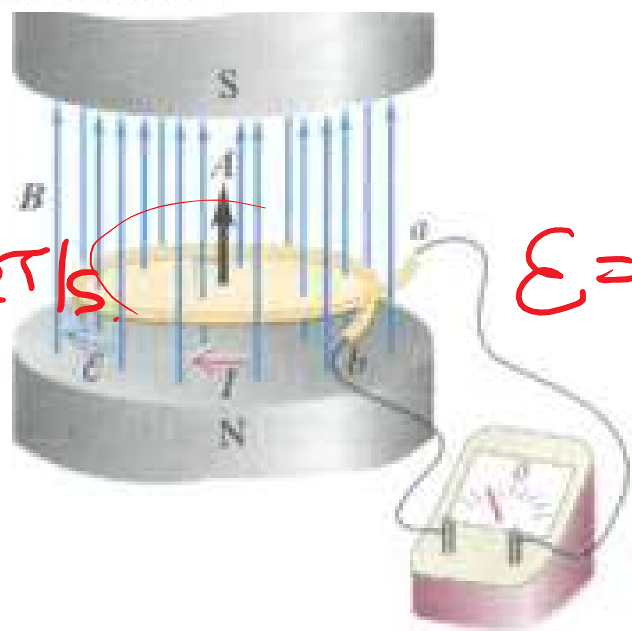
Προσοχή στις μονάδες!!!

Tesla από τον τύπο
F = *q* u x B

$S = 120\,cm^2$

$B\uparrow$

$\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0{,}02\,T/s$



30–3 Ακίνητος αγώγιμος βρόχος σε αυξανόμενο μαγνητικό πεδίο.

$$\Phi_{B_1} = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS\,\sigma\upsilon\nu 0^\circ$$

$$= B \cdot S = 120 \cdot 10^{-4} (m^2) \cdot B$$

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d(120 \cdot 10^{-4} B)}{dt}$$

$$= -120 \cdot 10^{-4} \frac{dB}{dt} = -120 \cdot 10^{-4} \cdot 0.02\,V$$

$$V = IR \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{\mathcal{E}}{5\Omega}$$

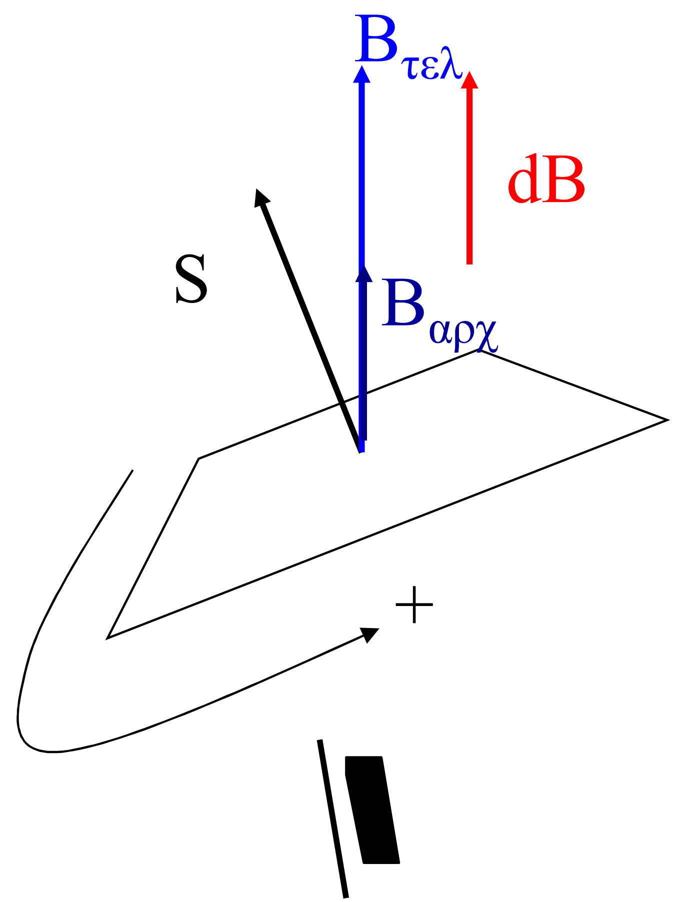
ΦΟΡΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ???

[I=0.048mA]

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

Για τη φορά του ρεύματος
Ορίζουμε αυθαίρετα θετική φορά στο βρόχο της επιφάνειας
Υπολογίζουμε το πρόσημο του $d\Phi = dB \cdot S$
$\mathcal{E} = -d\Phi/dt$



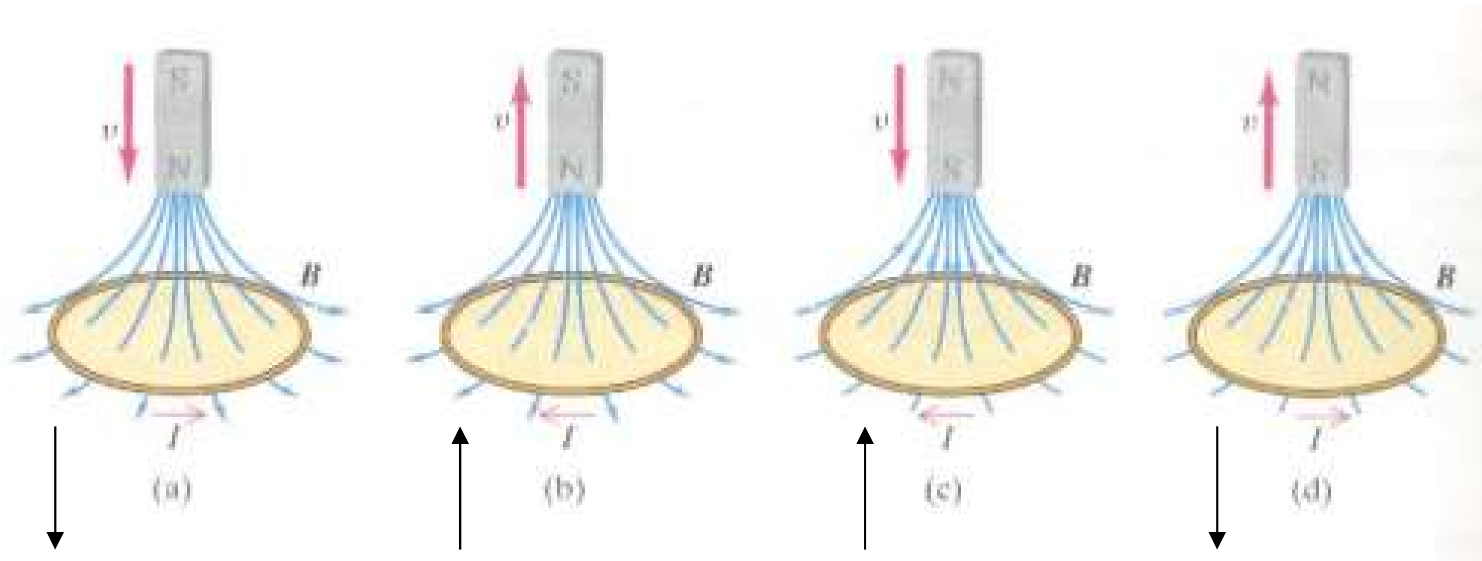
Στο παράδειγμα έχει αρνητικό πρόσημο οπότε και το ρεύμα θα έχει αντίθετη φορά από την εκλεγμένη ως θετική

Νόμος του Lenz
Η φορά οποιουδήποτε μαγνητικού φαινομένου επαγωγής είναι τέτοια ώστε να αντιτίθεται στο αίτιο που το προκάλεσε

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

dB



Παραδείγματα εφαρμογής του νόμου του Lenz

Προσέξτε τη φορά των δυναμικών γραμμών

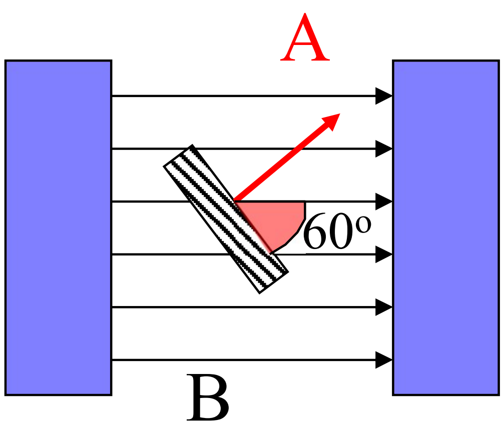
ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ένα πηνίο που αποτελείται από 500 κυκλικούς βρόχους σύρματος με ακτίνα 4cm είναι τοποθετημένο ανάμεσα στους πόλους ενός μεγάλου ΗΜΓ. Το μαγνητικό πεδίο είναι σταθερό με διεύθυνση 60^o από το επίπεδο του πηνίου. Το πεδίο ελαττώνεται με ρυθμό 0.2T/s. Να βρεθεί η απόλυτη τιμή της ΗΕΔ.

$\Phi = BA\sigma\upsilon\nu\varphi$, $\varphi = 30^o$



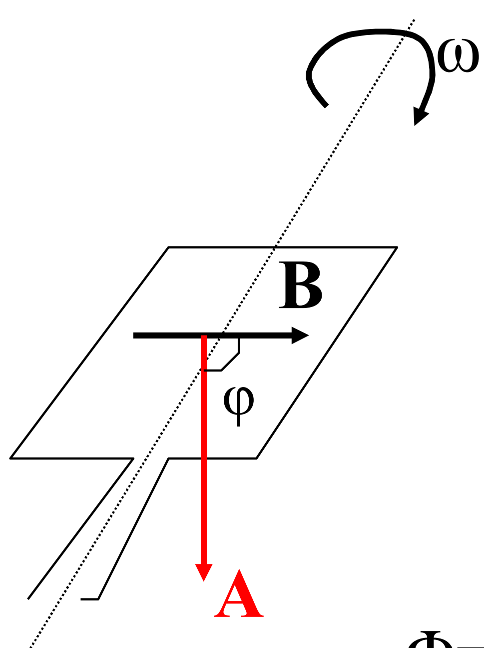
ΗΕΔ = 0.435V

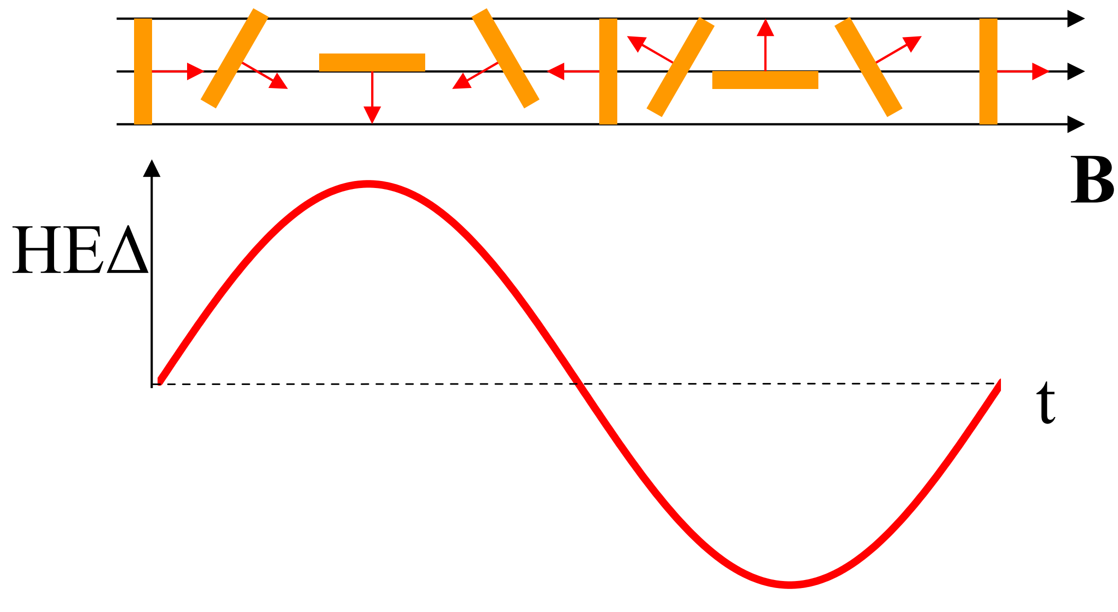
ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ένας τετραγωνικός βρόχος περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από τον άξονα όπως φαίνεται στο σχήμα. Το μαγνητικό πεδίο Β είναι ομογενές και σταθερό. Στη χρονική στιγμή t=0 είναι φ=0. Να βρεθεί η ΗΕΔ.





Φ=ΒΑσυνφ=ΒΑσυνωt

ΗΕΔ=ωΒΑημωt → ανεξάρτητη του σχήματος του βρόχου

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ Maxwell

Νόμος Gauss για τον ηλεκτρισμό

Η ροή (πλήθος δυναμικών γραμμών) του ηλεκτρικού πεδίου που διέρχεται μέσα από μια κλειστή επιφάνεια είναι ανάλογη του συνολικού αριθμού των ηλεκτρικών φορτίων που περικλείει η επιφάνεια

$$\boxed{\Phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}}$$

Νόμος Gauss για το μαγνητισμό

Η ροή (πλήθος δυναμικών γραμμών) του μαγνητικού πεδίου που διέρχεται μέσα από μια κλειστή επιφάνεια είναι μηδέν (δεν υπάρχουν μαγνητικά μονόπολα)

$$\boxed{\Phi_B = 0}$$

Νόμος Ampere (όρος Maxwell)

Μαγνητικό πεδίο επάγεται με δύο τρόπους: είτε με ροή ρεύματος είτε από χρονική μεταβολή ηλεκτρικού πεδίου

$$\boxed{\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \left(I_C + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)}$$

Νόμος επαγωγής του Faraday

Χρονική μεταβολή της ροής του μαγνητικού πεδίου B μέσα από μια επιφάνεια επάγει ηλεκτρικό πεδίο

$$\boxed{\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}}$$