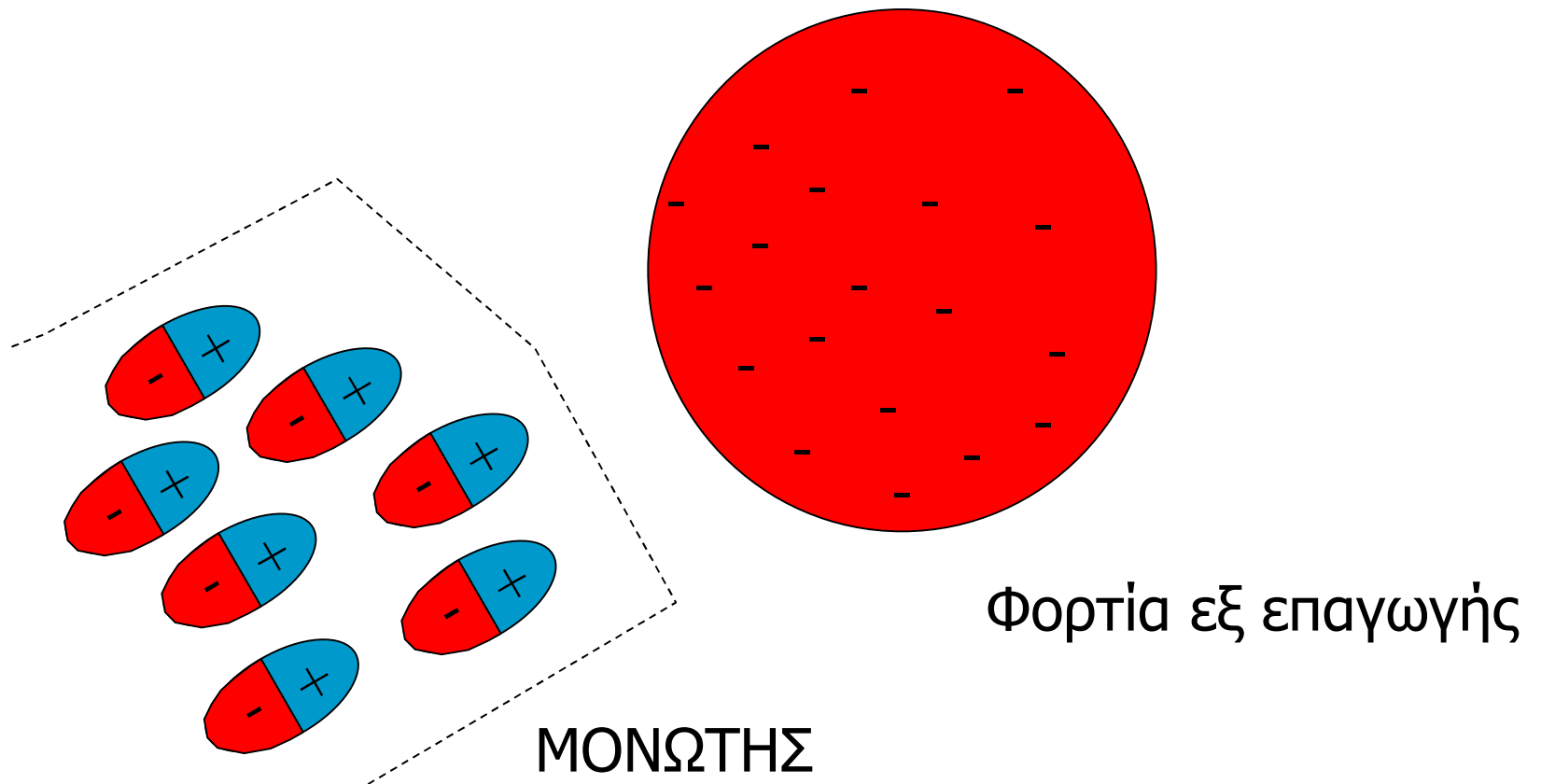


Αγωγοί και μονωτές

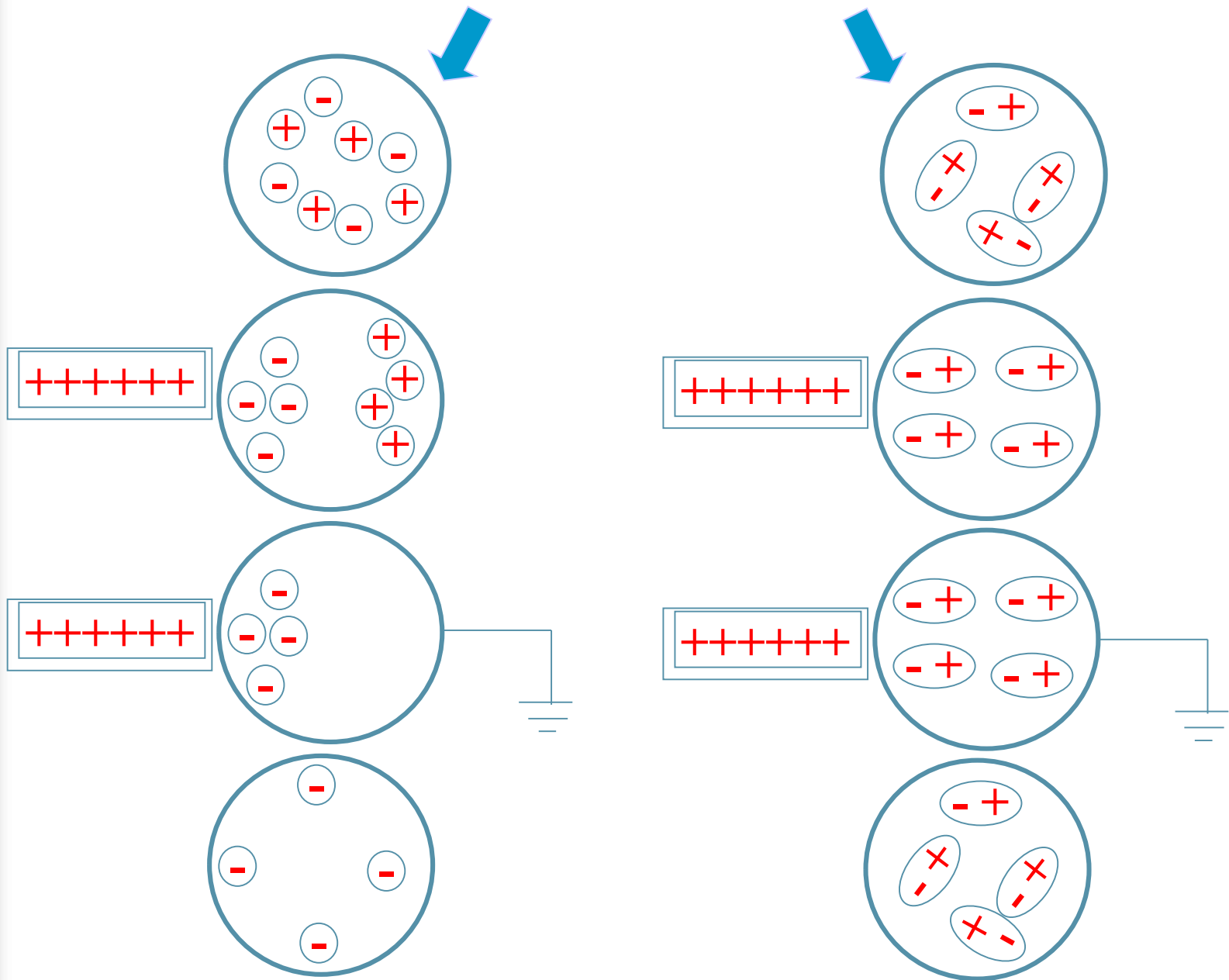
Αγωγοί: μέταλλα (Φαινόμενο Hall → αρνητικά φορτία μπορούν και κινούνται, εξαίρεση: μπαταρίες/ηλεκτρολύτες)

Μονωτές: γυαλί, πλαστικά κλπ [Πόλωση]

Ημιαγωγοί



ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΜΟΝΩΤΕΣ



Αγωγοί σε ηλεκτρικό πεδίο - κίνηση ελευθέρων φορέων

Ηλεκτρική αγωγιμότητα:
κίνηση ηλεκτρικών φορτίων

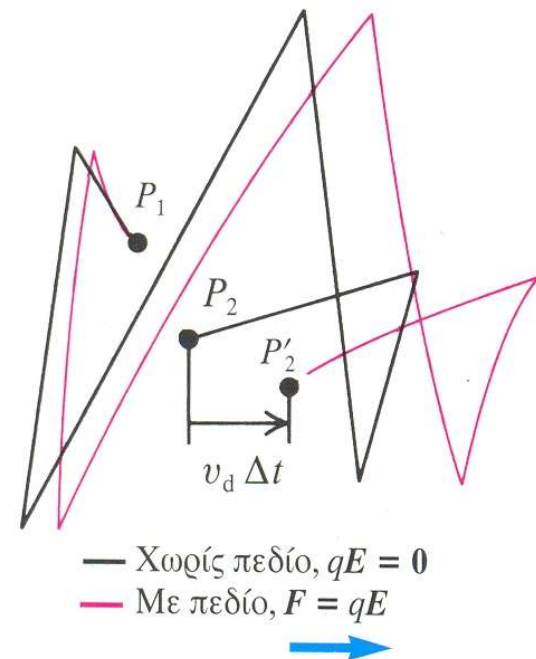
Ηλεκτρικό ρεύμα:
ροή φορτίων λόγω παρουσίας
ηλεκτρικού πεδίου
(τυχαία κίνηση + ολίσθηση ή
μετάθεση, u_d)

Συνεχές ρεύμα (dc):

Σταθερό πεδίο $\rightarrow$ σταθερή φορά και ροή του ρεύματος

Εναλλασσόμενο ρεύμα (ac)

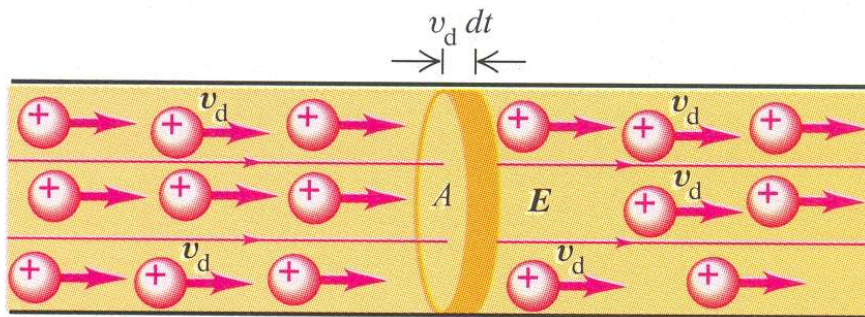
Περιοδικά μεταβαλλόμενο πεδίο



ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος (μακροσκοπικό, βαθμωτό μέγεθος):

Ο ρυθμός μεταφοράς φορτίου μέσω της διατομής A

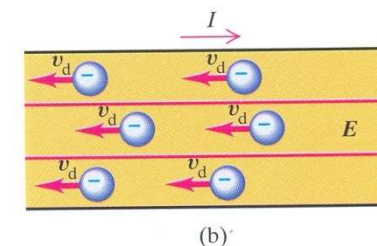
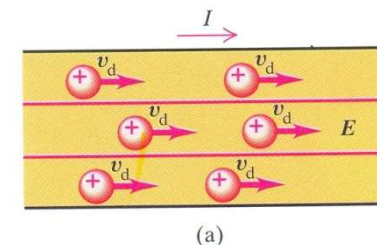


$$I = \frac{dQ}{dt}$$

1 A = 1 C/s
(mA, μ A, nA, pA)

✓ Φορά του ρεύματος:

Η φορά κίνησης θετικών φορτίων
(αντίθετη της κίνησης των
ηλεκτρονίων)

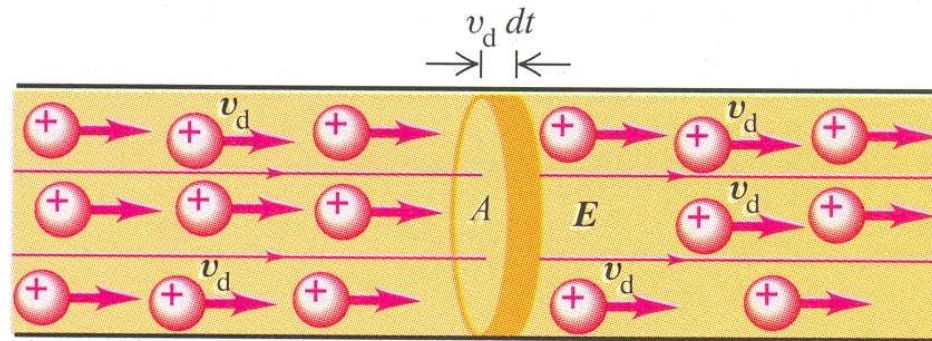


ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

✓ 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: $|j| = I/A = Q/(At)$

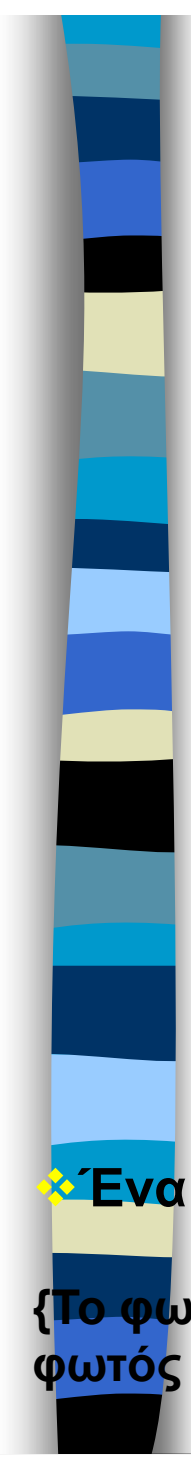


Σε χρόνο dt : $dQ = n(Au_d dt)q$, n : σωματίδια/όγκος, q : φορτίο σωματιδίων

$$I = dQ/dt = nqu_d A, \quad j = I/A = nqu_d$$

Η j έχει τη διεύθυνση της u_d

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



ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)

Υπολογισμός πυκνότητας ρεύματος και ταχύτητας ολίσθησης

Σύρμα από χαλκό
τροφοδοτεί λαμπτήρα:

$$A = \pi d^2 / 4 = 8.2 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$
$$J = I/A = 2 \times 10^6 \text{ A/m}^2$$

$$d = 1.02 \text{ mm} = 1.02 \times 10^{-3} \text{ m}$$
$$I = 1.67 \text{ A}, n = 8.5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

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

$$q = e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$u_d = 1.5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Τυχαία κίνηση: $u \sim 10^6 \text{ m/s}$

❖ 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 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ (H/M 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): $j \propto E \rightarrow j = \sigma E$

Ωμικά υλικά

σ : αγωγιμότητα

❖ Ειδική αντίσταση: $\rho = 1/\sigma \Rightarrow \rho = \frac{E}{J}$. $\{(V/m)/(A/m^2) = Vm/A = \Omega m, \Omega cm\}$

✓ Τιμές της ρ (R.T.)

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

ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)

Χάλκινο σύρμα ($\rho = 1.7 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$, $A = 2.09 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$)
διαρρέεται από ρεύμα $I = 1 \text{ A}$, $E =$;

$$\rho = \frac{E}{j}$$

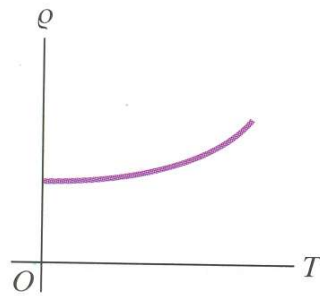
$$\rho = \frac{E}{\frac{I}{A}} \Rightarrow E = \rho \frac{I}{A}$$

$$\begin{aligned} \rho &= 1.7 \times 10^{-6} \Omega \text{cm} = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{m} \\ A &= 2.09 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 = 2.09 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \\ (I &= 1 \text{ A}) \end{aligned}$$

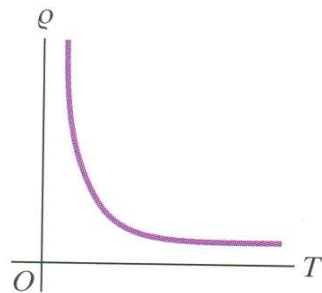
$$E = 8.1 \times 10^{-3} \text{ V/m}$$

→ Μονάδες: $\text{V/m} \equiv \text{N/C}$

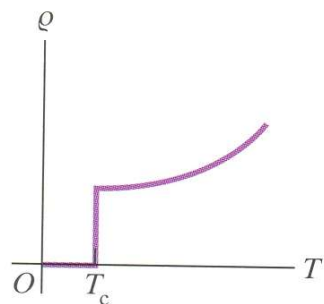
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ



(a) Μέταλλο



(b) Ημιαγωγός



(c) Υπεραγωγός

✓ Μεταλλικοί αγωγοί:

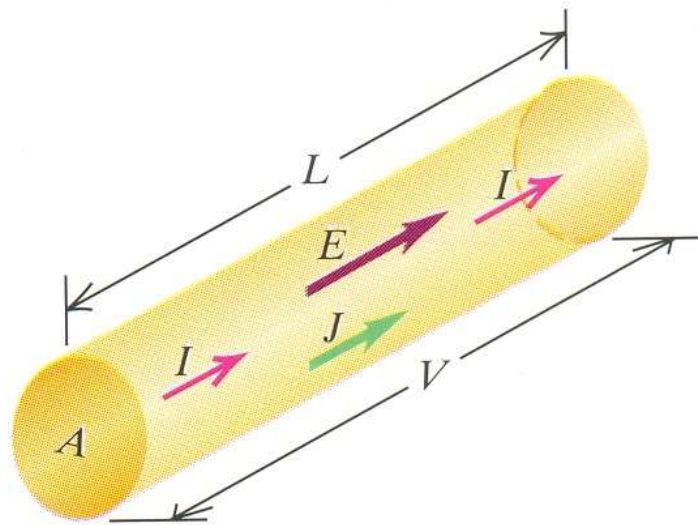
$$\rho_T = \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)],$$

α: θερμικός συντελεστής ειδικής αντίστασης

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

Υλικό	$\alpha [(^{\circ}\text{C})^{-1}]$	Υλικό	$\alpha [(^{\circ}\text{C})^{-1}]$
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:

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}, \sigma = 1/\rho$$

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

$$j = I/A \Rightarrow I = jA \Rightarrow I = (E/\rho)A$$

$(E = V/L)$

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

Αντίσταση αγωγού:

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

$$R = \frac{V}{I}$$

$$V = IR.$$

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

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

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)



Χάλκινο σύρμα 50 m ($\rho = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$, $\alpha = 0.0039 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

- i. $R(\text{R.T.}) = ; \{A = 8.2 \times 10^{-7} \text{ m}^2\}$
- ii. $R(0 \text{ } ^\circ\text{C}) = ; \quad R(100 \text{ } ^\circ\text{C}) = ; \quad \{R(20 \text{ } ^\circ\text{C}) = 1.05 \Omega\}$

i.

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

$$R(\text{R.T.}) = 1.05 \Omega$$

ii.

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

$$R(0 \text{ } ^\circ\text{C}) = R(20 \text{ } ^\circ\text{C}) [1 + \alpha(0 - 20)]$$

$$R(0 \text{ } ^\circ\text{C}) = 0.97 \Omega$$

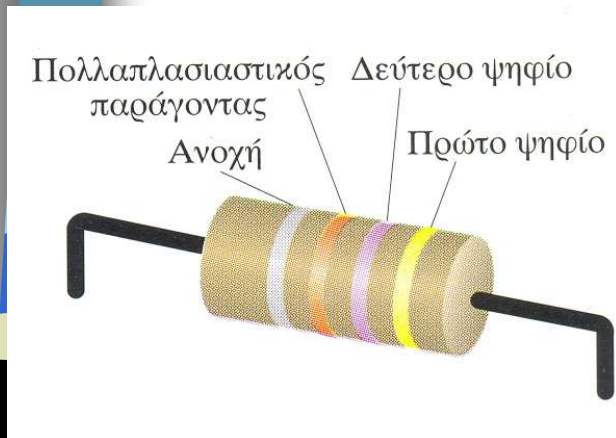
$$R(100 \text{ } ^\circ\text{C}) = R(20 \text{ } ^\circ\text{C}) [1 + \alpha(100 - 20)]$$

$$R(100 \text{ } ^\circ\text{C}) = 1.38 \Omega$$

ΑΝΤΙΣΤΑΤΗΣ



Στοιχείο κυκλώματος με καθορισμένη τιμή αντίστασης



$$R = AB \times 10^C \Omega$$

$$47 \times 10^3 \Omega = 47 \pm 10\% \text{ k}\Omega$$



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
Γκριζο	8	10^8
Άσπρο	9	10^9

ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΟΗΜ - ΩΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

A.

$$\rho = \frac{E}{j}$$

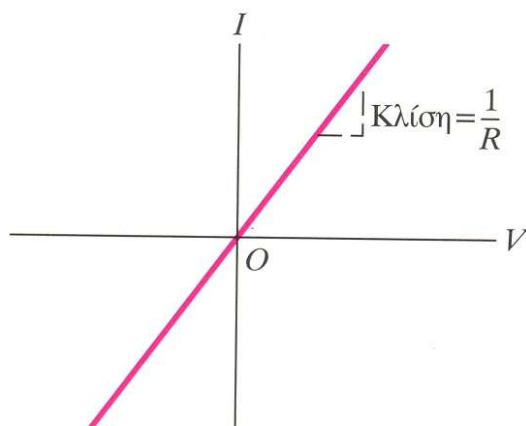
Η πυκνότητα ρεύματος είναι ανάλογη προς το ηλεκτρικό πεδίο (ο λόγος E/j είναι σταθερός και ανεξάρτητος της E)

B.

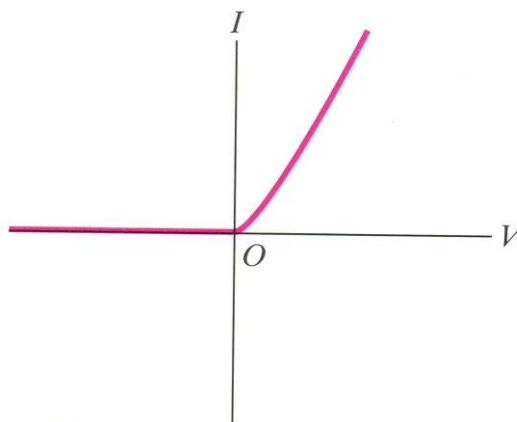
$$R = \frac{V}{I}$$

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)

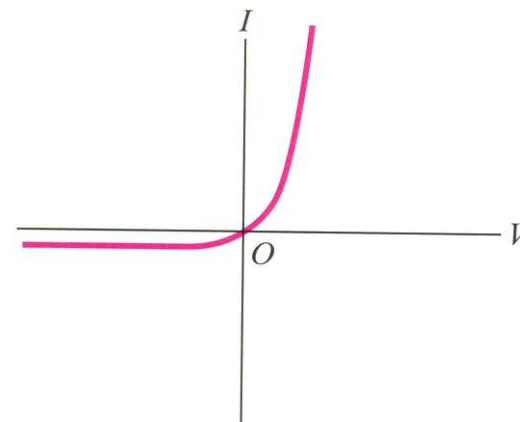
Ωμικά και μη ωμικά υλικά



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

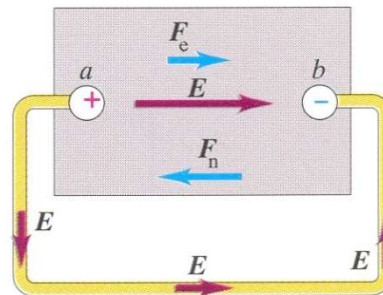
✓ Πρέπει να υπάρχει κάποιο στοιχείο στο κύκλωμα που να συντηρεί την διαφορά δυναμικού
(να αυξάνει στο εσωτερικό του η δυναμική ενέργεια)



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



Πηγές ΗΕΔ: Μπαταρίες, γεννήτριες, ηλιακά κύτταρα, θερμοζεύγη



❖ Ηλεκτρική πηγή {τάσης ($r \ll R$) ή ρεύματος ($r + R' \gg R$)}:

i. Ηλεκτρεγερτική δύναμη, $\mathcal{E}$ ($1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$)

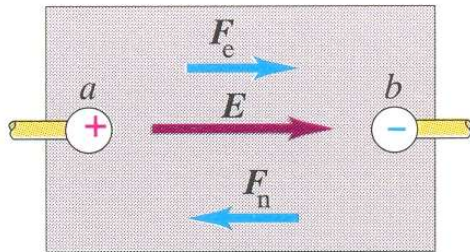
ii. Εσωτερική αντίσταση, r

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΗΕΔ



Ονομάζουμε ΗΕΔ $\mathcal{E}$ μιας πηγής την διαφορά δυναμικού που επικρατεί στους πόλους της όταν δεν διαρρέεται από ρεύμα (ανοικτό κύκλωμα)

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



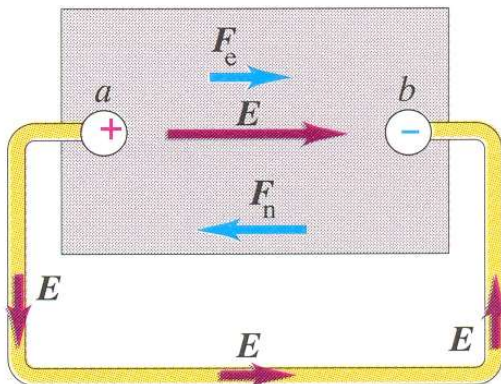
Δύναμη ηλεκτρικού πεδίου: $F_e = qE$

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



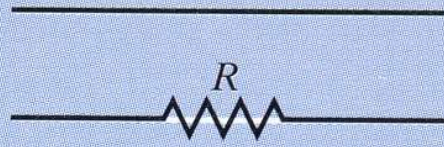
$$\mathcal{E} = V_{ab} = IR \quad (\text{ιδανική πηγή ΗΕΔ}).$$

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

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

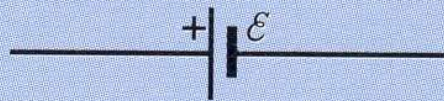
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

❖ Σύμβολα για διαγράμματα κυκλωμάτων:

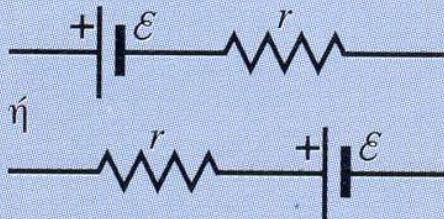


Αγωγός με αμελητέα ωμική αντίσταση

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)

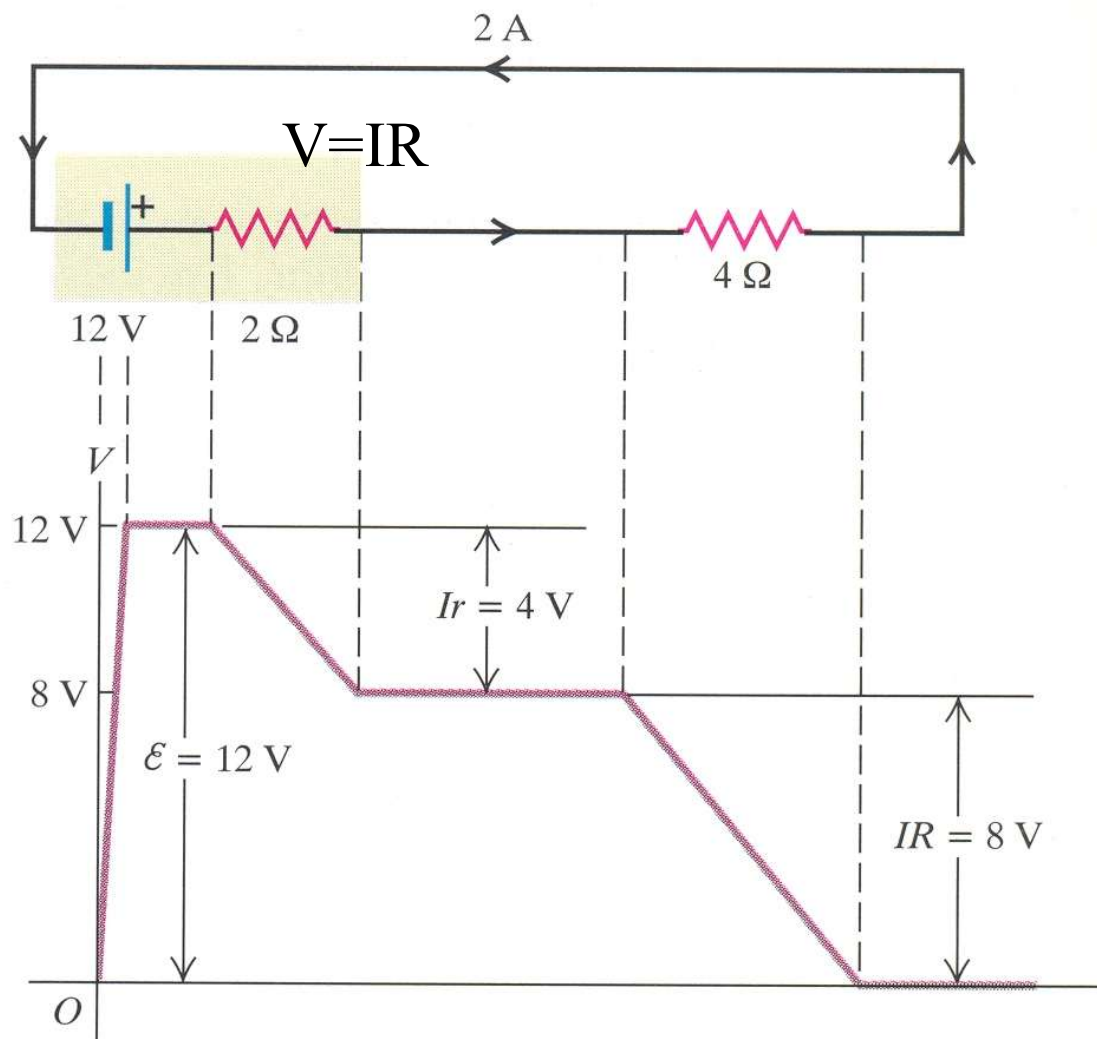


Αμπερόμετρο (μετρά ρεύμα που διέρχεται από αυτό)

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑ



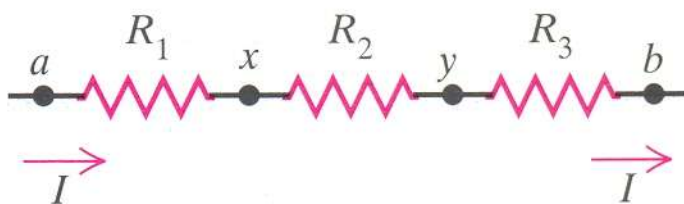
Το δυναμικό σ' ένα κλειστό κύκλωμα αυξάνεται και μειώνεται



ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



Σύνδεση σε σειρά



(a)

$$V_{ab} = IR_{ολ} \Rightarrow R_{ολ} = \frac{V_{ab}}{I} = \frac{V_{ax} + V_{xy} + V_{yb}}{I}$$

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

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

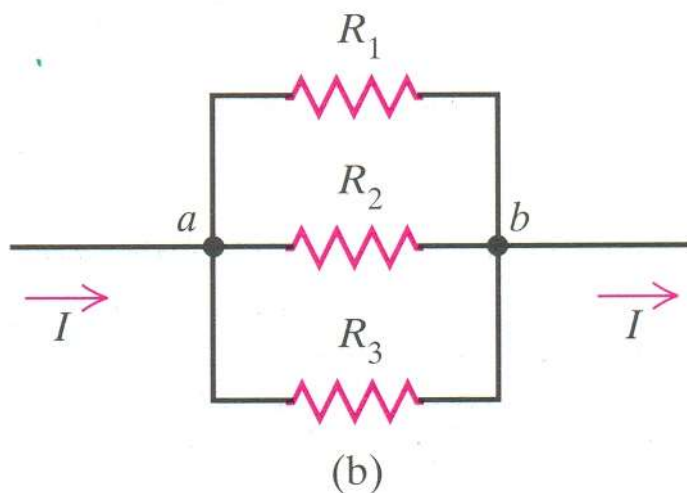
Οι αντιστάσεις διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα, έντασης I

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

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



Παράλληλη σύνδεση



✓ Η διαφορά δυναμικού στα άκρα τους είναι ίδια, V_{ab}

$$V_{ab} = IR_{ολ} \Rightarrow \frac{1}{R_{ολ}} = \frac{I}{V_{ab}}$$

✓ Στον κόμβο α:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V_{ab}}{R_1} + \frac{V_{ab}}{R_2} + \frac{V_{ab}}{R_3} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow I = V_{ab} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

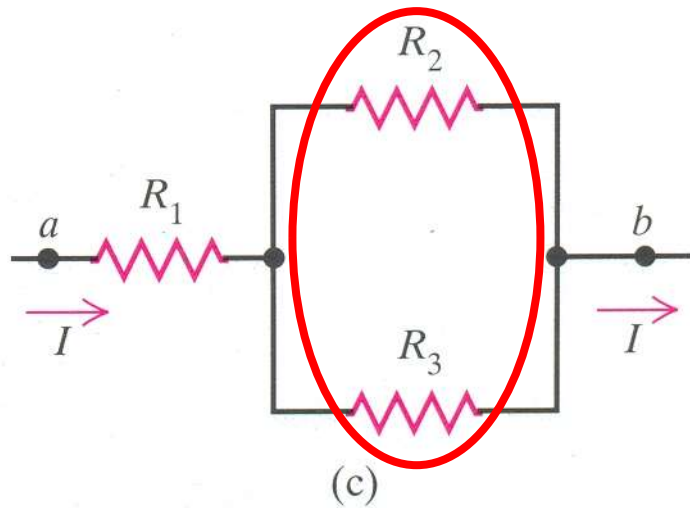
$$\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

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

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

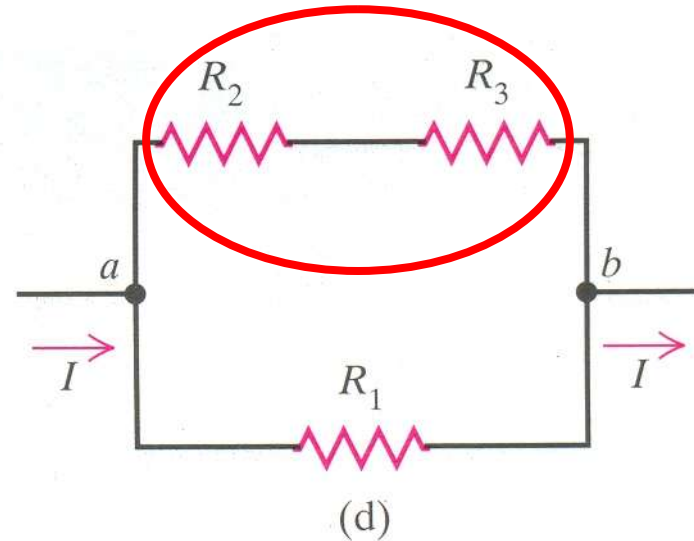


Μεικτή σύνδεση



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

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



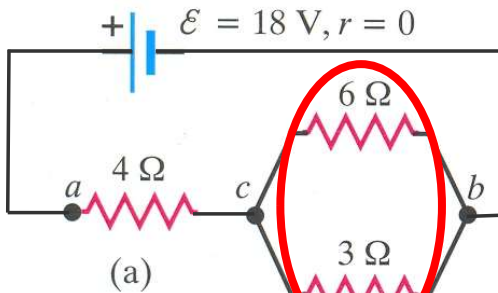
$$R_{23} = R_2 + R_3$$

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

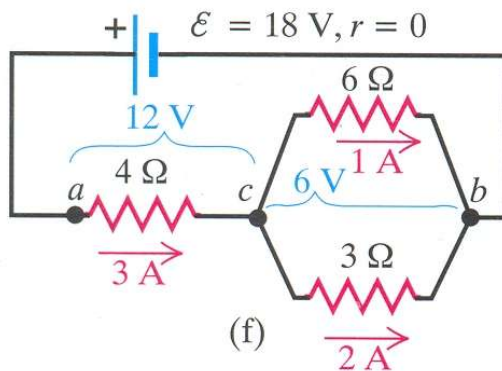
ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)



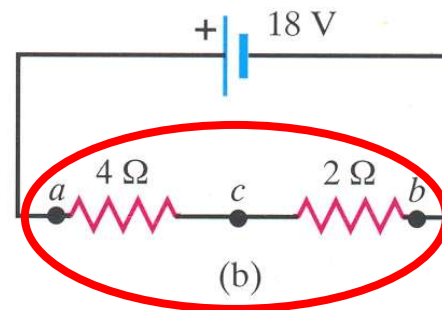
Υπολογισμός $R_{ολ}$ και I που διαρρέει κάθε αντίσταση



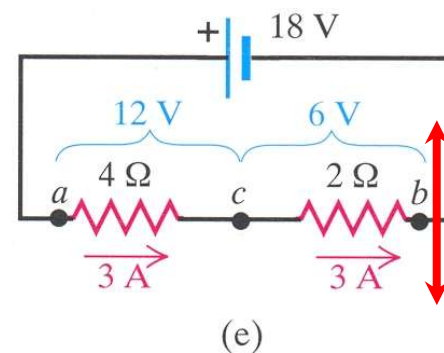
$$\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{6\Omega} + \frac{1}{3\Omega}$$



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



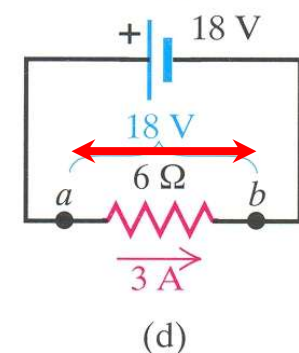
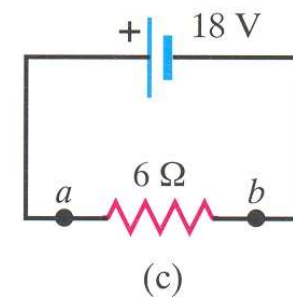
$$R_{ολ} = R_1 + R_2 = 4\Omega + 2\Omega$$



$$I = 3A$$

$$V_{ac} = (3A) \cdot (4\Omega) = 12V$$

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



$$I = \frac{V_{ab}}{R_{ολ}} = \frac{18V}{6\Omega} = 3A$$

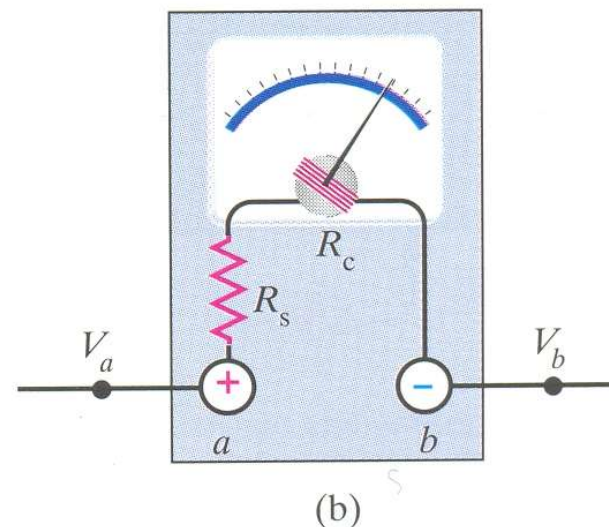
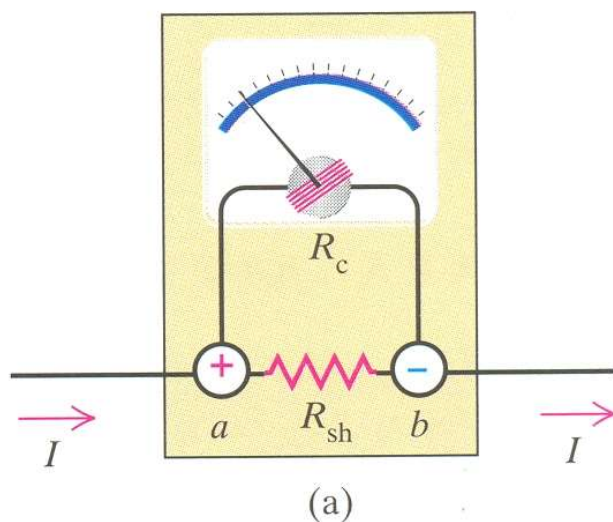
ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (1)



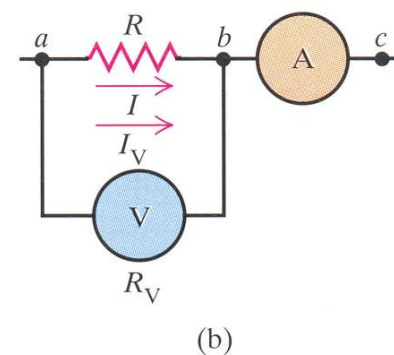
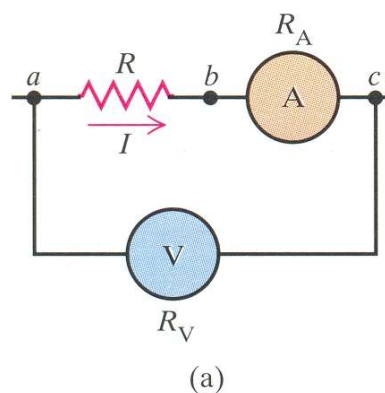
Αμπερόμετρο ($R_c \ll$)



Βολτόμετρο ($R_c \gg$)

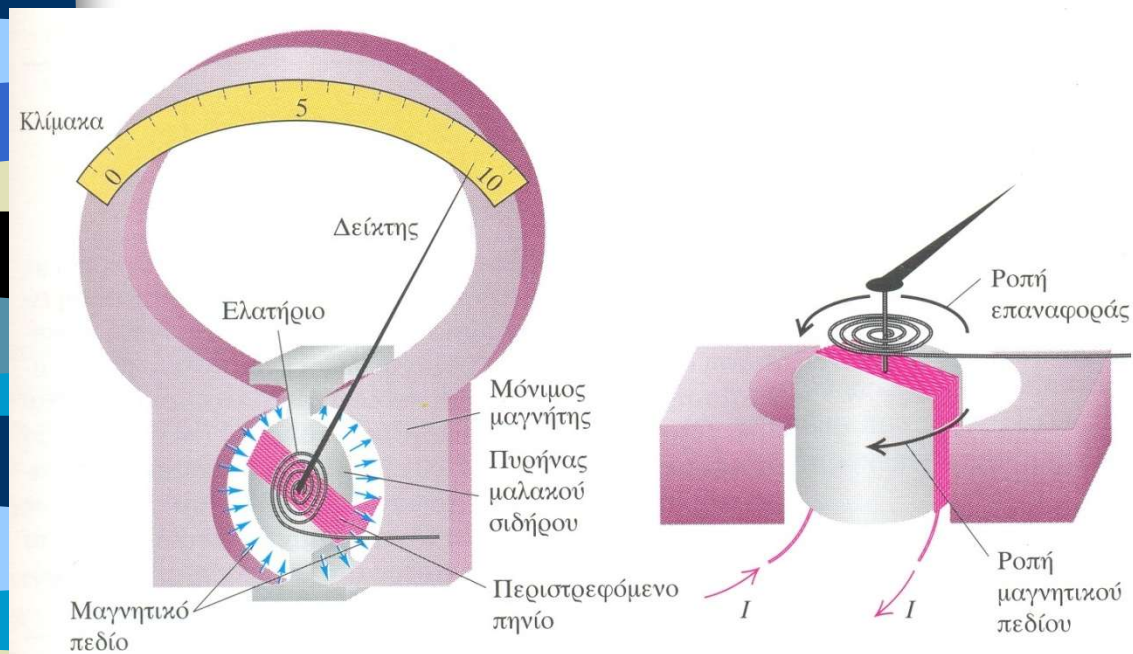


✓ Μέθοδος αμπερομέτρου - βολτομέτρου για τη μέτρηση αντίστασης

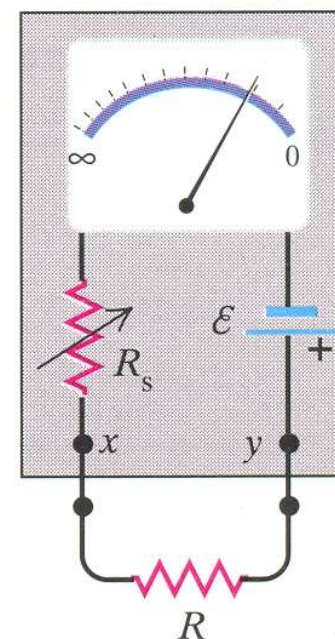


ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (2)

Γαλβανόμετρο d' Arsonval (βασικό όργανο, I/V)



Ωμόμετρο

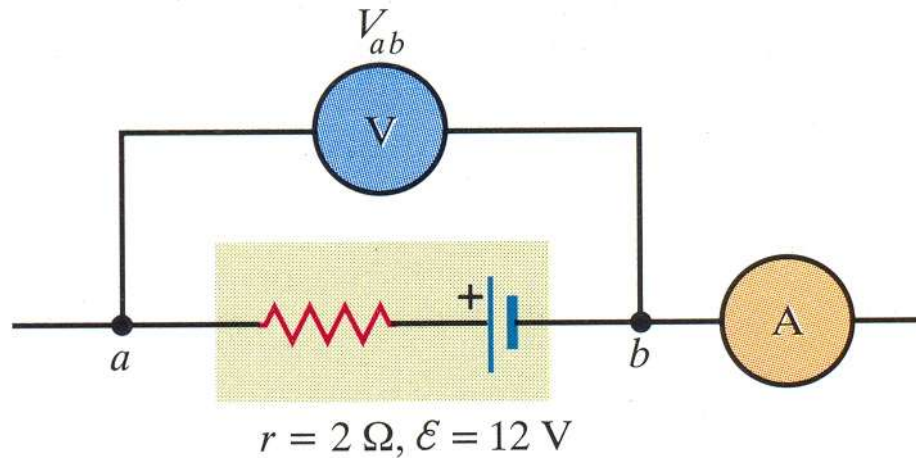


ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Προσδιορισμός ενδείξεων των οργάνων V και A

1. Πηγή σε ανοικτό κύκλωμα



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

$$I = 0 \text{ A}$$

$$V = V_{ab} = \mathcal{E} = 12 \text{ V}$$

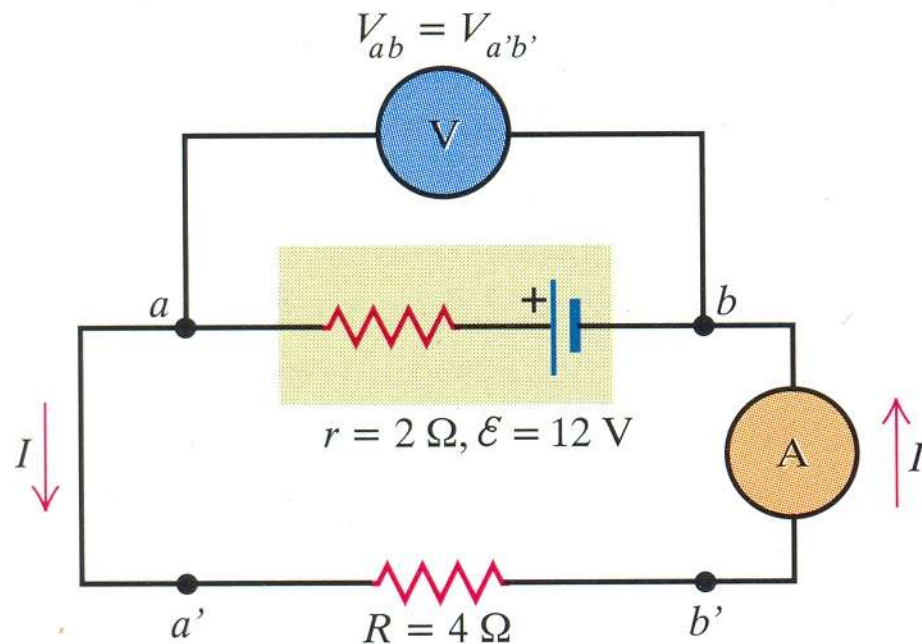
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Προσδιορισμός ενδείξεων των οργάνων V και A

2.

Πηγή σε κλειστό κύκλωμα



$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{12 \text{ V}}{4 \Omega + 2 \Omega} = 2 \text{ A}$$

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

$$V = V_{ab} = V_{a'b'}$$

$$V_{ab} = \mathcal{E} - Ir = (12 \text{ V}) - (2 \text{ A})(2 \Omega) = 8 \text{ V}$$

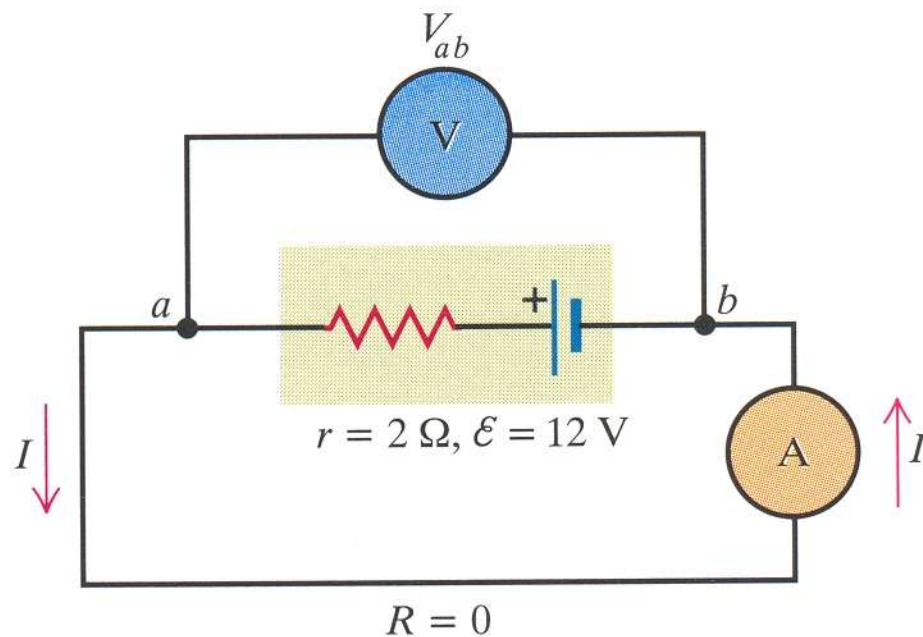
$$V_{a'b'} = IR = (2 \text{ A})(4 \Omega) = 8 \text{ V}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Προσδιορισμός ενδείξεων των οργάνων V και A

3. Βραχυκυκλωμένη πηγή



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

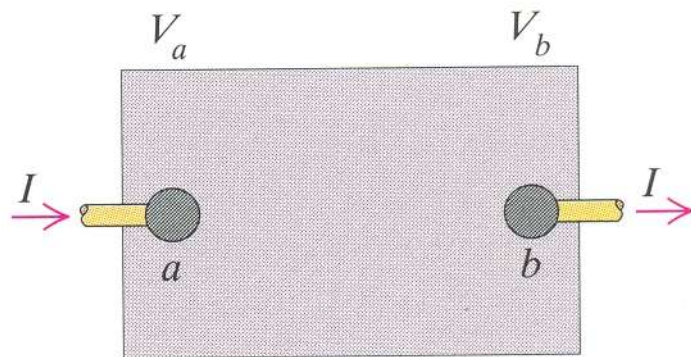
$$V = V_{ab} = 0 \text{ V} \quad (R = 0)$$

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

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ



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



Έργο που παράγεται σε φορτίο dQ

$$dW = V_{ab} dQ = V_{ab} Idt.$$

Ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται προς το στοιχείο



Ισχύς: ο ρυθμός μεταφοράς ενέργειας

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

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

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

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)

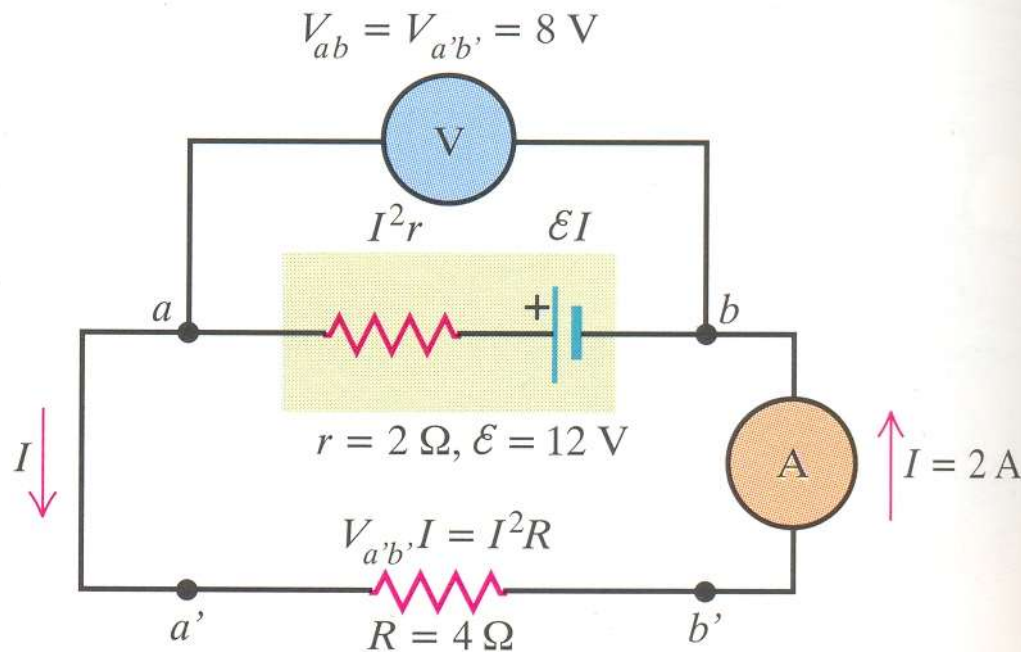
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



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

1.

Πηγή σε κλειστό κύκλωμα



Παραγωγή ισχύος ($\mathcal{E}$):

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

Κατανάλωση ισχύος ($\mathcal{E}$):

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

Κατανάλωση ισχύος (R):

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

Κατανάλωση ισχύος (R):

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

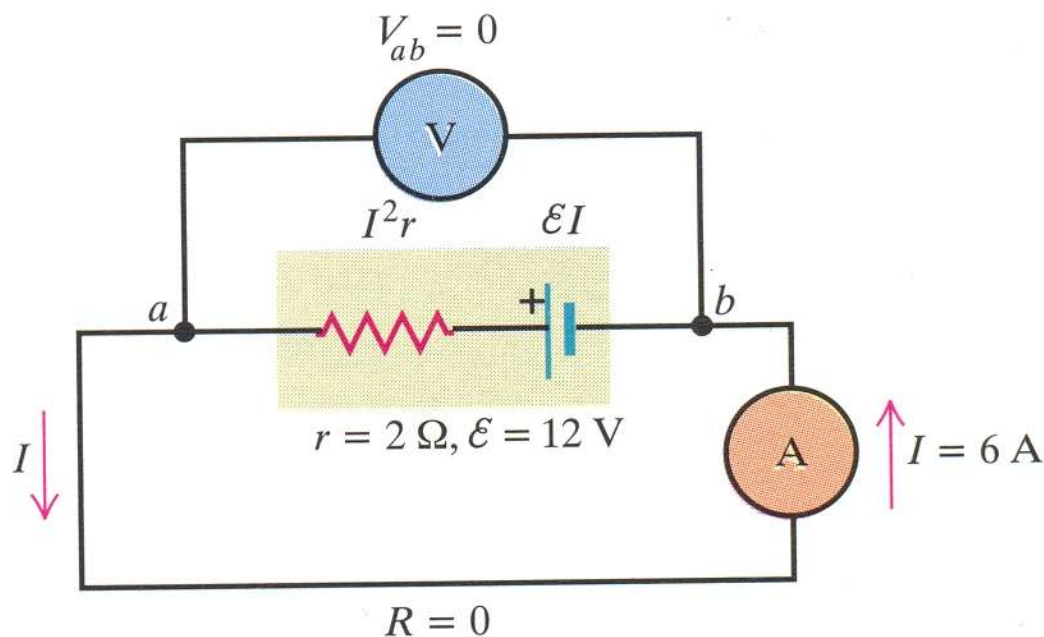
$$P_{\mathcal{E}} = P_r + P_R$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



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

2. Βραχυκυκλωμένη πηγή



Παραγωγή ισχύος ($\mathcal{E}$):

$$P_{\mathcal{E}} = \mathcal{E}I = (12 \text{ V})(6 \text{ A}) = 72 \text{ W}$$

Κατανάλωση ισχύος ($\mathcal{E}$):

$$P_r = I^2 r = (6 \text{ A})^2 (2 \Omega) = 72 \text{ W}$$

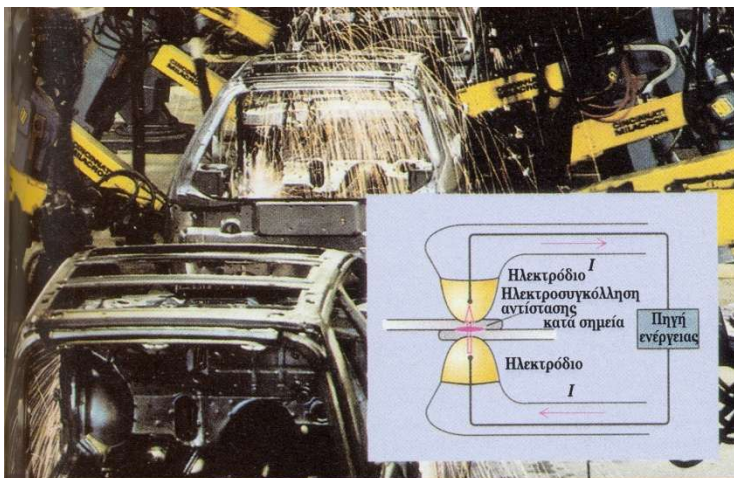
Κατανάλωση ισχύος (R):

$$P_R = I^2 R = (6 \text{ A})^2 (0 \Omega) = 0 \text{ W}$$



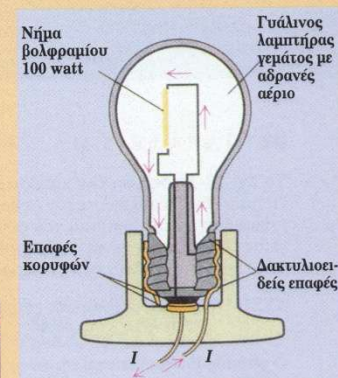
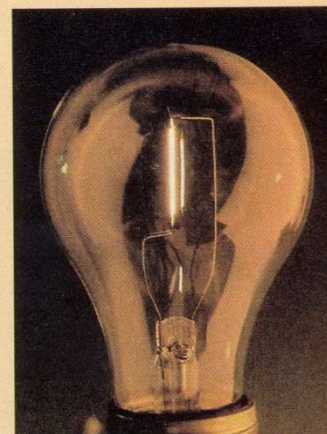
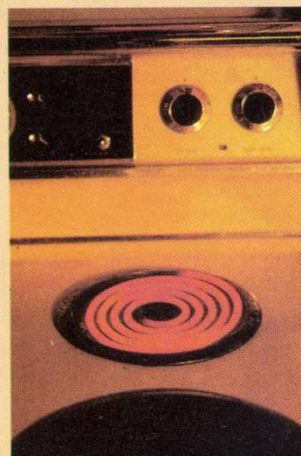
Ολόκληρη η χημική ενέργεια της πηγής καταναλίσκεται στο εσωτερικό της (καταστροφή ή ακόμη και έκρηξη μπαταριών)

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.

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.



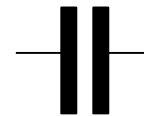
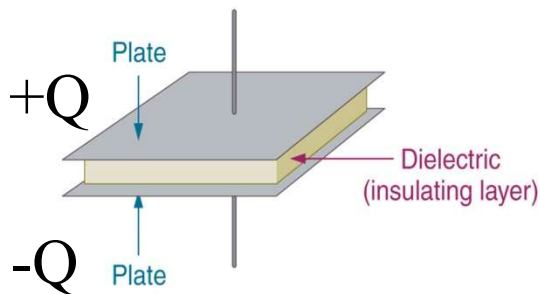
Το λεπτό νήμα σε μία λυχνία 100 W έχει αντίσταση 484 Ω σε κανονική οικιακή τάση 220 V. Το νήμα είναι κατασκευασμένο συνήθως από βολφράμιο και αναπτύσσει θερμοκρασία 2500 °C περίπου, όταν διαρρέεται από ρεύμα. Το βολφράμιο δεν τήκεται στη θερμοκρασία αυτή αλλά πυρακτώνεται, δρώντας σαν μία πηγή φωτός.

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

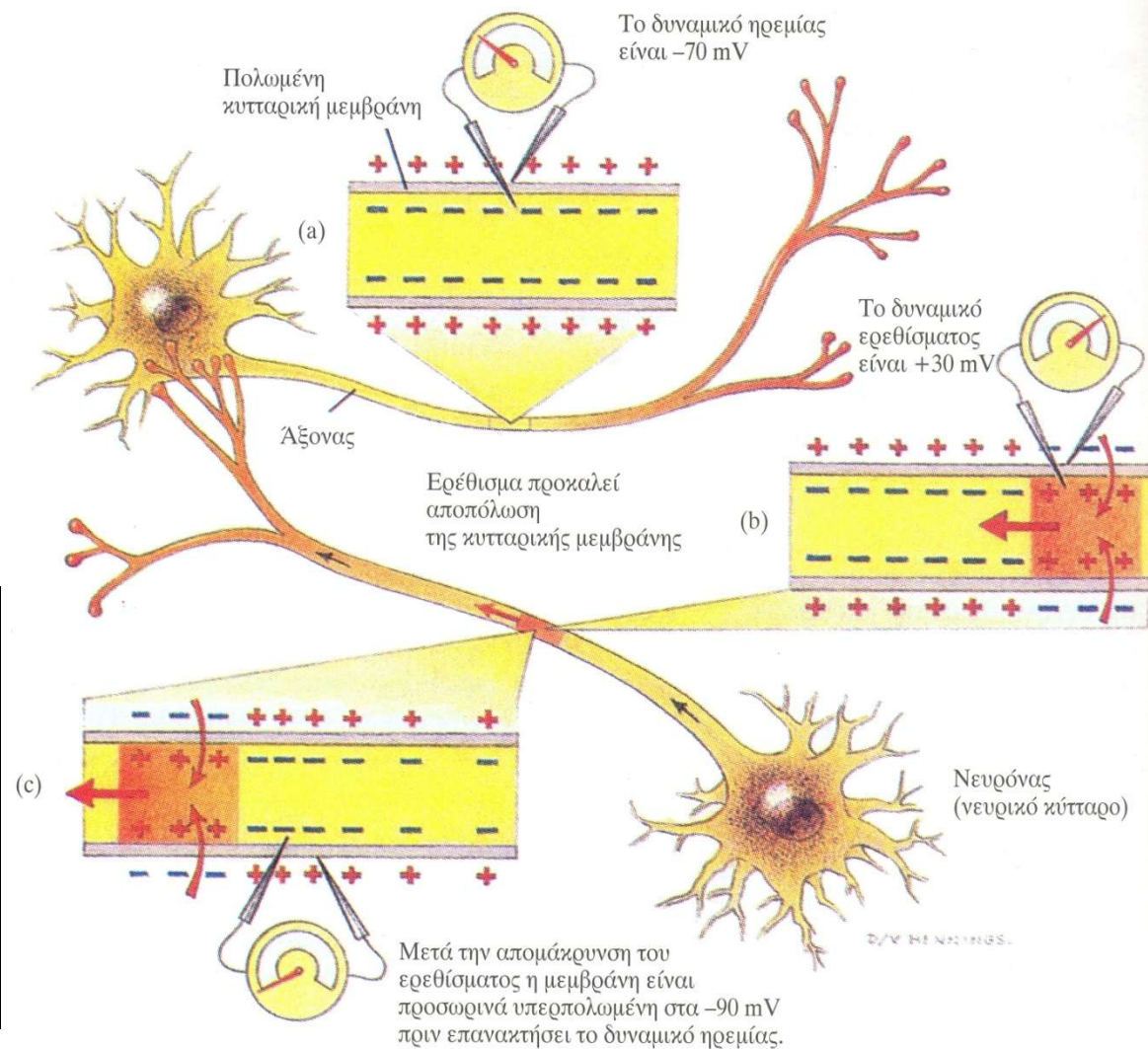
$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{or} \quad Q = CV$$



συμβολισμός

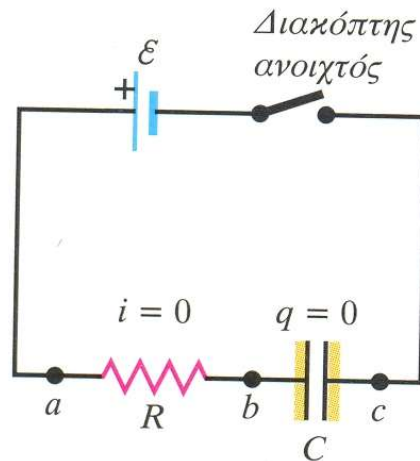
ΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ

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.

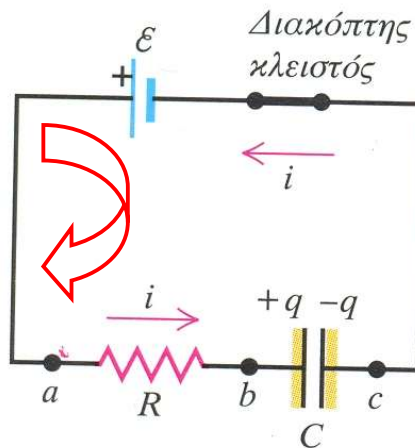


- i. Εγκαύματα από θέρμανση (I^2R)
- ii. 0.1 A: Παρέμβαση στις νευρικές δράσεις (καρδιακή λειτουργία)
- iii. 0.01 A: Ισχυρές μυϊκές συσπάσεις (πόνος)
- iv. 0.02 A: Ηλεκτροπληξία

ΚΥΚΛΩΜΑ RC, ΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ



(a)



(b)

$$\left. \begin{aligned} \sum_i V_i = 0 &\Rightarrow -\varepsilon + V_C + iR = 0 \\ V_C &= \frac{Q}{C} \\ i &= \frac{dQ}{dt} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \varepsilon = R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C}$$

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

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

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

Σταθερά χρόνου του κυκλώματος

$$\tau = RC. \quad V_C = 63.2\% \varepsilon$$

ΦΟΡΤΙΣΗ - ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ)

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

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

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

$$\tau = RC.$$

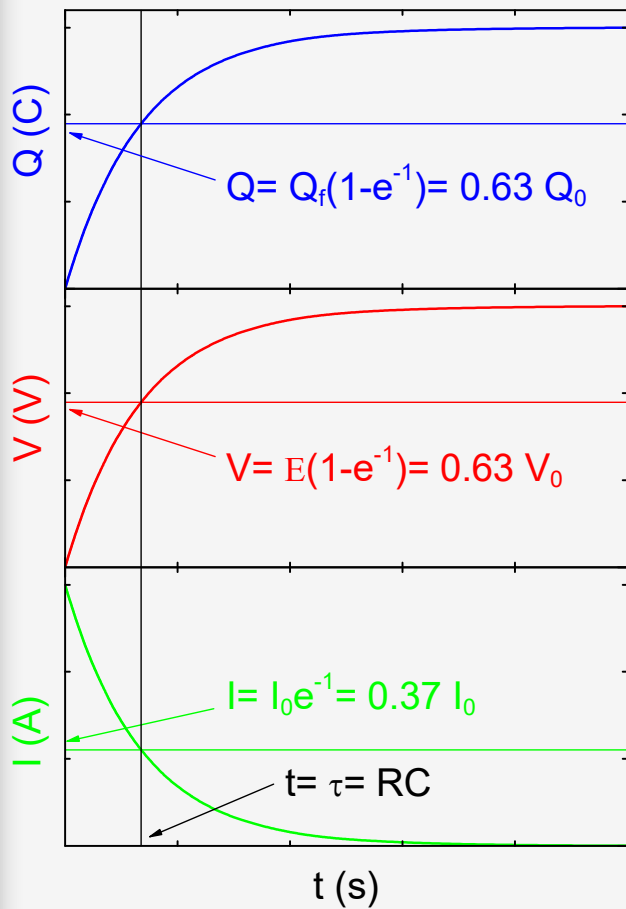
$$Q = Q_0 e^{-t/RC}$$

$$V_c = \mathcal{E} e^{-t/RC}$$

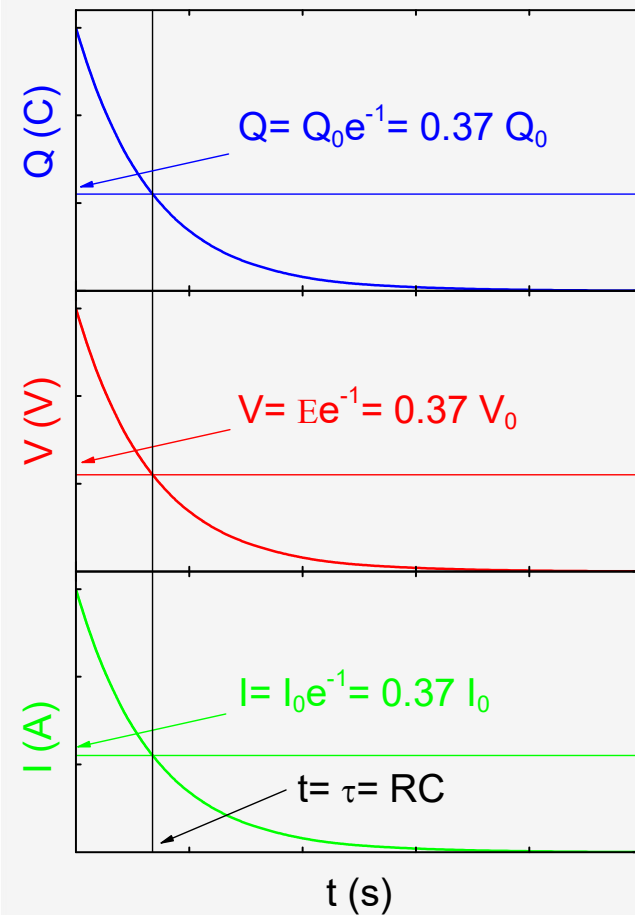
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC}$$



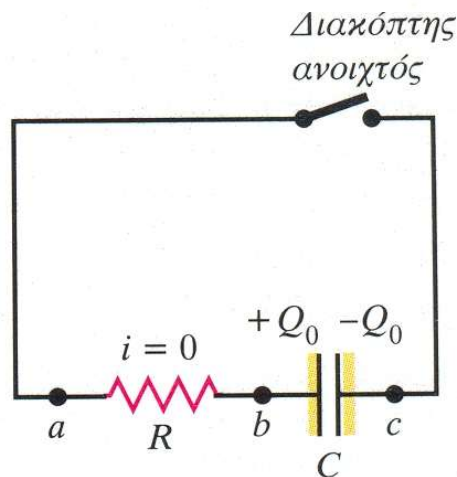
Φόρτιση πυκνωτή



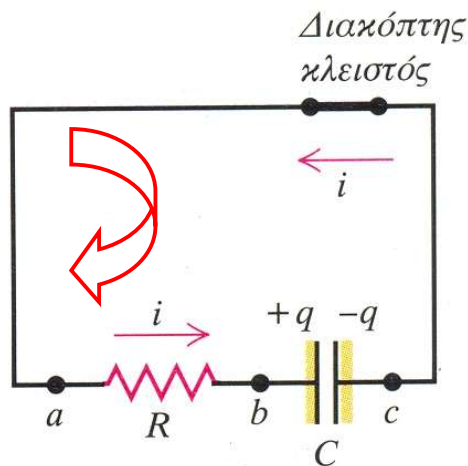
Εκφόρτιση πυκνωτή



ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ



(a)



(b)

$$\left. \begin{aligned} \sum_i V_i = 0 &\Rightarrow V_c + iR = 0 \\ V_c &= \frac{Q}{C} \\ i &= \frac{dQ}{dt} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{RC}Q$$

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

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

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

$$\tau = RC.$$

$$V_c = 36.8\% \mathcal{E}$$

Ηλεκτρική ενέργεια

$$\mathcal{E} : W_{\text{παρ}} = Q\mathcal{E} = \mathcal{E}^2 C$$

$$C : W_{\text{αποθ}} = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} Q\mathcal{E} = \frac{1}{2} \mathcal{E}^2 C$$

$$R : W_{\text{κατ}} = W_{\text{παρ}} - W_{\text{αποθ}} = \frac{1}{2} \mathcal{E}^2 C$$

ΚΥΚΛΩΜΑ RC (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)



1. Φόρτιση πυκνωτή $C = 2\mu\text{F}$ από $\mathcal{E} = 6\text{ V}$ μέσω $R = 100\ \Omega$, υπολογισμός I_0 , Q_f , τ , t ($90\%Q_f = 0.9Q_f$)

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

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}e^{-t/RC} = I_0e^{-t/RC}$$

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

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

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

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

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

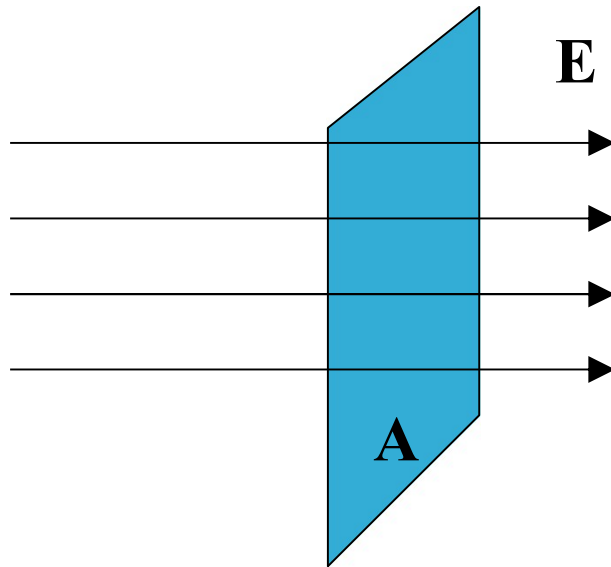
$$e^{-t/RC} = 0.1 \Rightarrow -\frac{t}{RC} = \ln(0.1) \Rightarrow$$

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

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

Ροή Ηλεκτρικού πεδίου

Ορίζουμε ως ροή του ηλεκτρικού πεδίου $\Phi_E = \mathbf{E} \cdot \mathbf{A} = EA \cos \theta$ [Nm²/C]

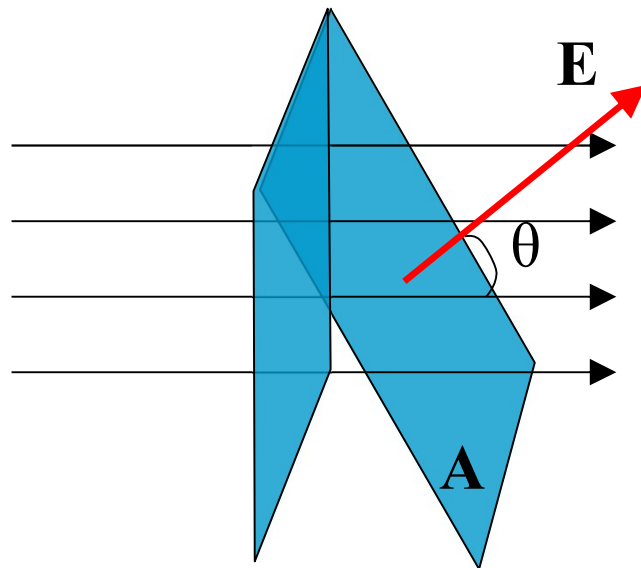


$$d\Phi_E = \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

Στοιχειώδης ροή

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

Ολική ροή από μια
επιφάνεια $\mathbf{A}$

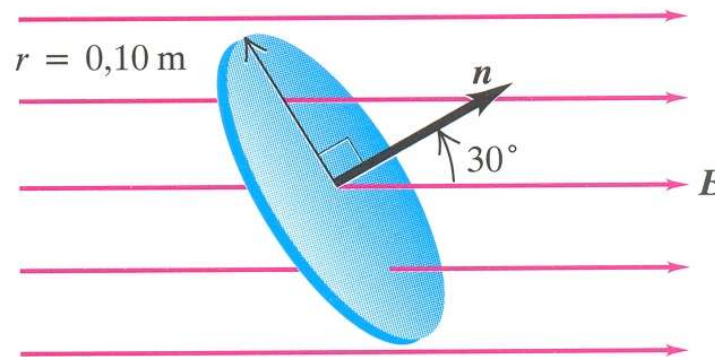


*** βαθμωτό μέγεθος,
ενδέχεται να έχει αρνητικές
τιμές

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΡΟΗ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)



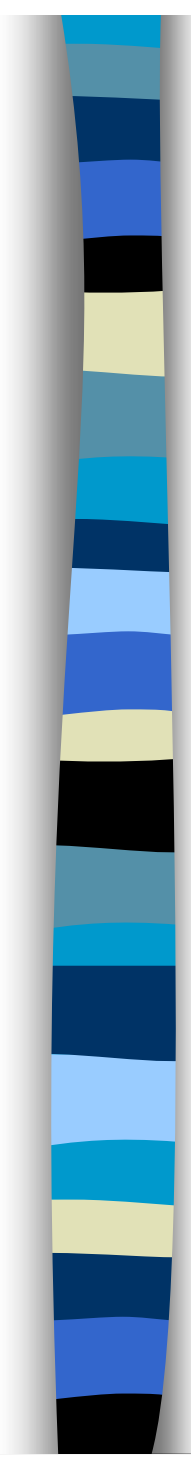
Υπολογισμός ηλεκτρικής ροής



$$E = 2 \times 10^3 \text{ N/C}$$

$$A = \pi r^2 = \pi (0,1)^2 = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$\Phi = E A \cos \varphi = 54 \text{ Nm}^2/\text{C}$$



NΟΜΟΣ του Gauss

Ηλεκτρικό πεδίο

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Κλωβός Faraday

ΡΟΗ

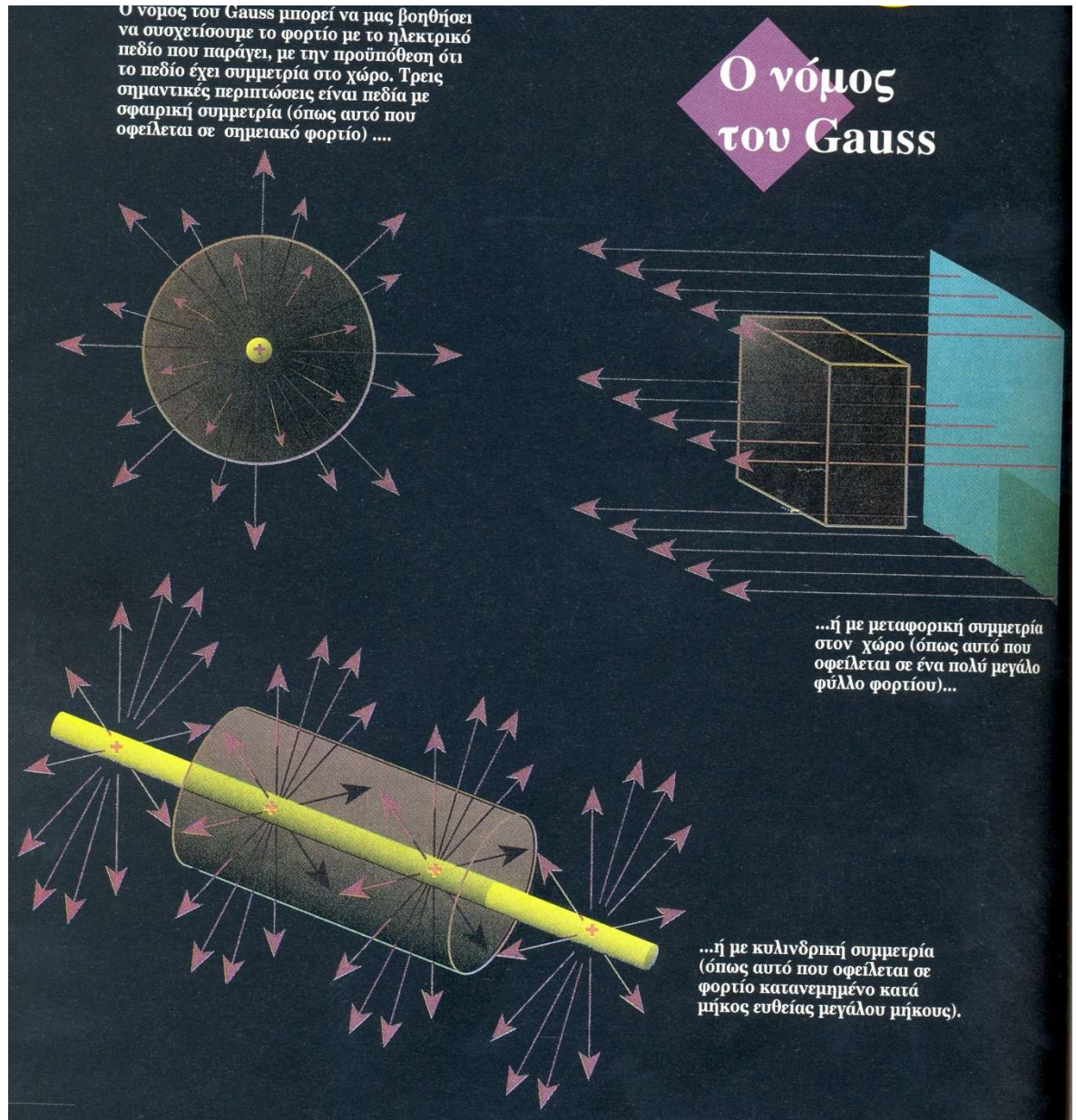
$$\Phi_E = \mathbf{E} \cdot \mathbf{A} = EA \cos \vartheta$$

ΕΦΑΡΜΟΓΗ v. GAUSS

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

**Συσχετίζει το φορτίο
με το πεδίο που
παράγει**

**Υπολογισμός E από q
(Υπολογισμός q από
 E)**



Μαγνητικό πεδίο

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

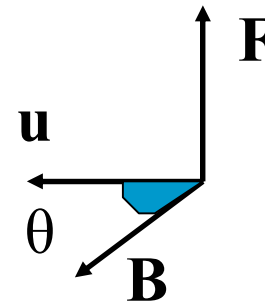
Στο χώρο ενός μαγνητικού πεδίου ασκείται δύναμη σε οποιοδήποτε φορτίο κινείται μέσα σε αυτόν. Το μαγνητικό πεδίο περιγράφεται από την αντίστοιχη ένταση μαγνητικού πεδίου που ονομάζεται μαγνητική επαγωγή **B**.

Αν θετικό δοκιμαστικό φορτίο q_0 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:

$$\mathbf{F} = q_0 \mathbf{u} \times \mathbf{B} \quad (q_0 u B \sin \theta)$$

$$\text{Tesla} = (\text{N/Cb})(\text{m/sec}) = \text{N/Am}$$

$$[\Gamma \eta \ 10^{-4} \text{T}]$$



Lorentz force

Παράδειγμα

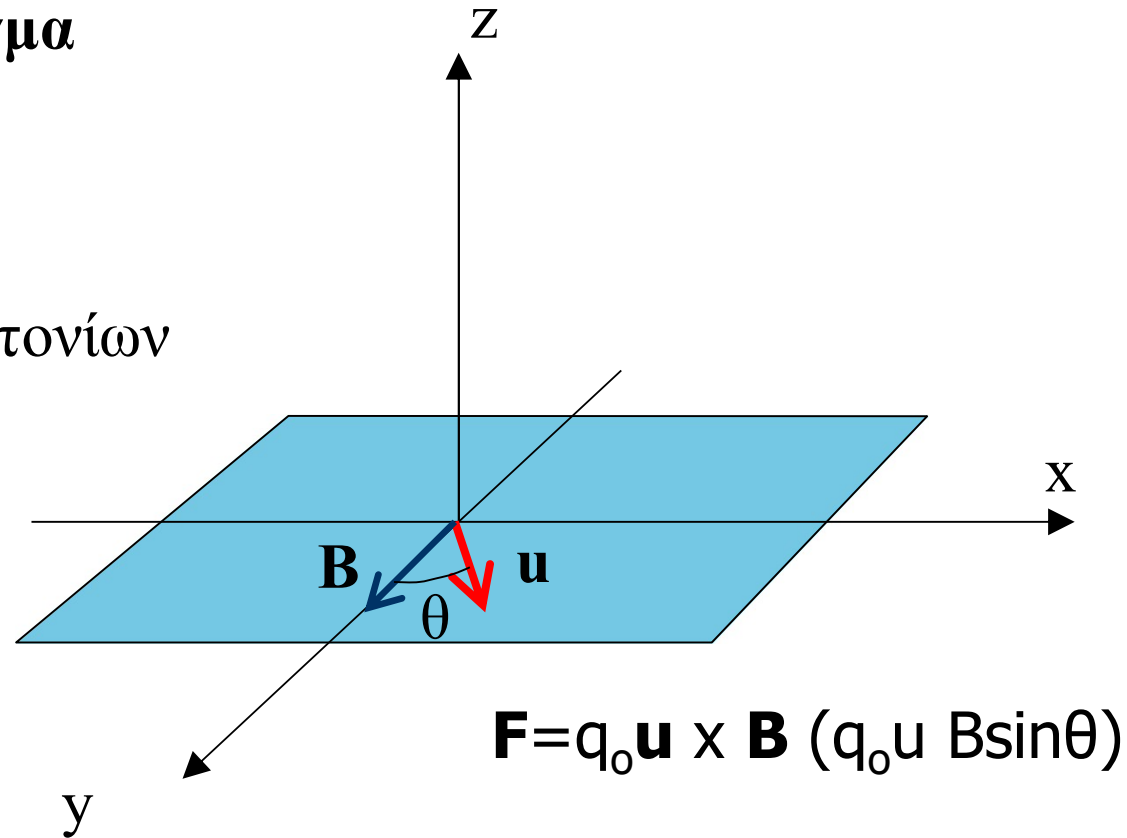
$$B=2\text{T}$$

$$u=3 \cdot 10^5 \text{m/s}$$

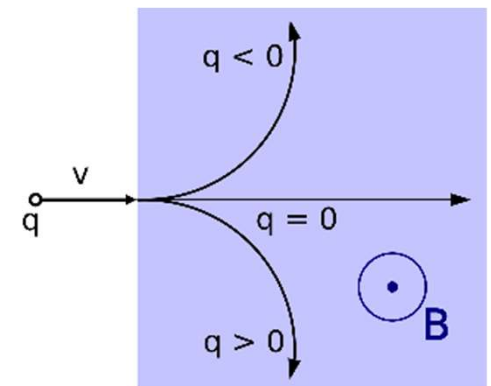
$$\theta=30^\circ$$

Δέσμη πρωτονίων

$$\sim 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$



$$4.8 \cdot 10^{-14} \text{ N}$$



Μαγνητική δύναμη σε ρευματοφόρο αγωγό

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

$$\mathbf{F} = I \mathbf{l} \times \mathbf{B}$$

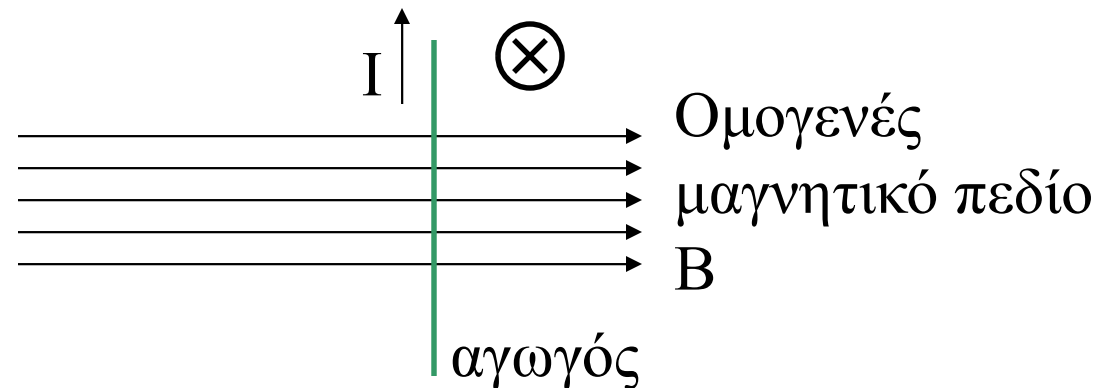
I το μήκος του αγωγού

I το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό

$\mathbf{B}$ το μαγνητικό πεδίο

Μέτρο $F = I l B$

$$[F = I l B \sin\theta]$$



Laplace force

ΟΡΙΖΟΥΜΕ

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

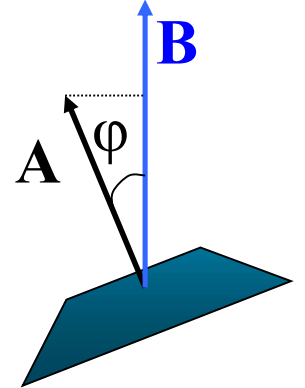
$$\Phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} = BA \cos \varphi$$

$\mathbf{A}$ διάνυσμα επιφανείας με μέτρο το εμβαδόν της επιφάνειας και διεύθυνση κάθετη στην επιφάνεια

*** βαθμωτό μέγεθος, ενδέχεται να έχει αρνητικές τιμές

Μονάδες

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

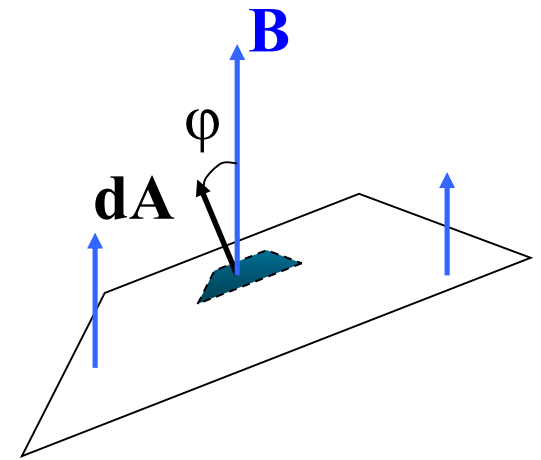


Σε περίπτωση που το πεδίο $\mathbf{B}$ δεν είναι ομογενές, χωρίζουμε την επιφάνεια σε στοιχειώδη τμήματα $d\mathbf{A}$ σε καθένα από τα οποία θεωρούμε πως το $\mathbf{B}$ είναι ομογενές. Η στοιχειώδης ροή γράφεται:

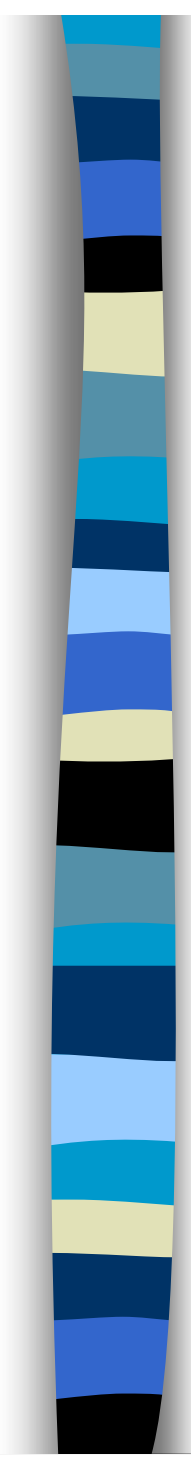
$$d\Phi_B = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = B dA \cos \varphi$$

Και η συνολική ροή από την επιφάνεια ορίζεται ως ολοκλήρωμα:

$$\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = \int B dA \cos \varphi$$



Παράδειγμα Επίπεδη επιφάνεια με εμβαδό 3cm^2 βρίσκεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Το επίπεδο της επιφάνειας σχηματίζει 30° 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

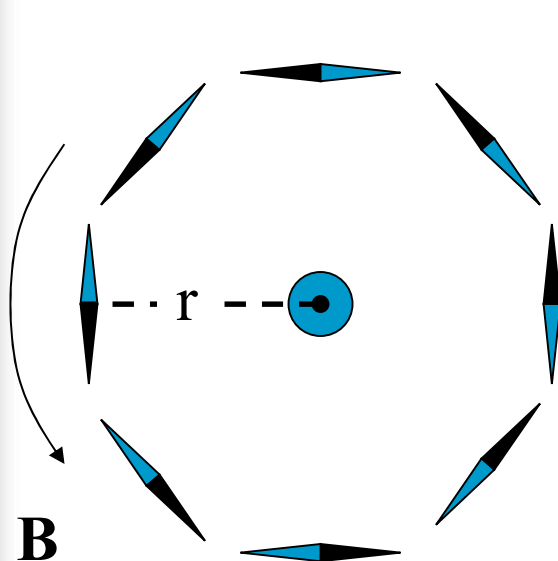
$$\Phi_B = 0$$

ΡΟΗ

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

Δεν υπάρχουν απομονωμένοι μαγνητικοί πόλοι

ΝΟΜΟΣ του Ampere



Μαγνητική βελόνα (N → μαύρο)

Δέχεται δύναμη όταν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα

Γιατί;

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Ευθύγραμμος
ρευματοφόρος
αγωγός

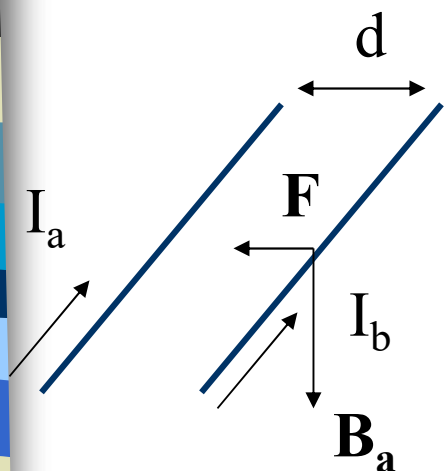
Ι ρεύμα του αγωγού
r η απόσταση από τον αγωγό
 μ_0 σταθερά μαγνητικής
διαπερατότητας

($=4\pi \cdot 10^{-7}$ weber/Ampere meter)

Φορά διανύσματος $\mathbf{B} \rightarrow$ Κανόνας δεξιού χεριού

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

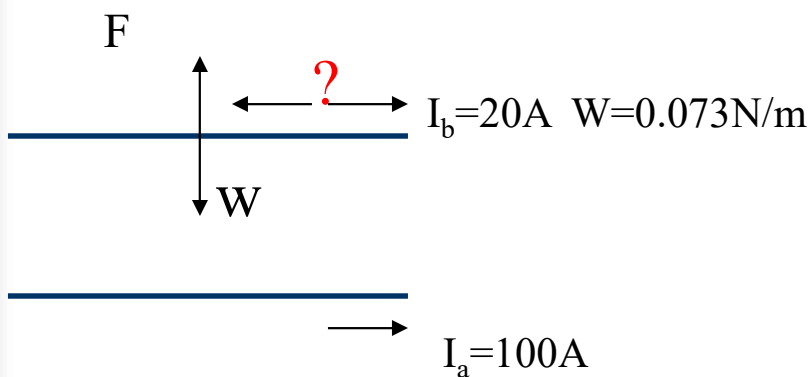
Δύναμη μεταξύ δύο αγωγών



$$B_a = \mu_0 I_a / 2\pi d$$

$$F_a = I_b l B_a = \mu_0 l I_b I_a / 2\pi d$$

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;



$$d = \mu_0 I_b I_a / 2\pi (F/l)$$

Απ. 5.5mm

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

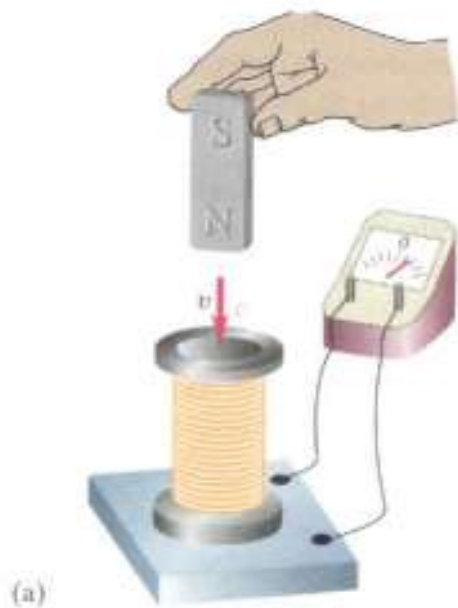
ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

Επαγωγικό ρεύμα και επαγόμενη ΗΕΔ

(α)

Κίνηση μαγνήτη



(β)

Κίνηση πηνίου που
διαρρέεται από ρεύμα



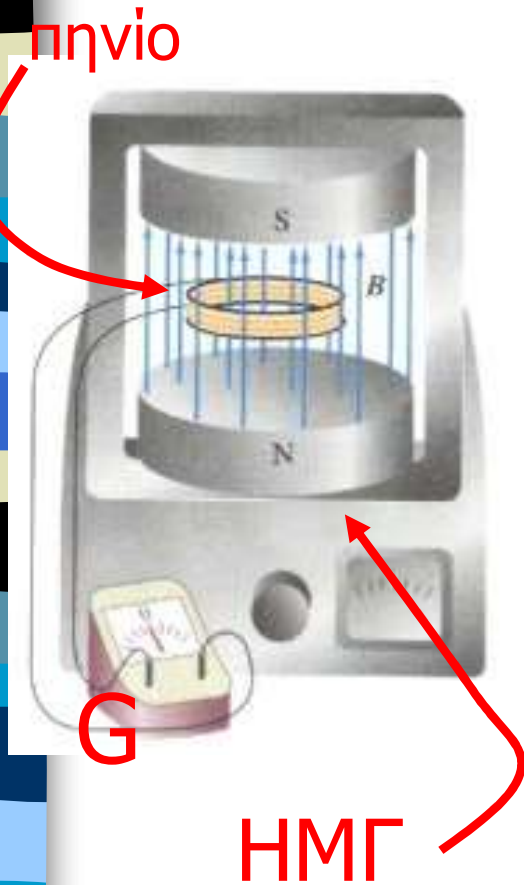
(γ)

Μεταβολή ρεύματος
στο πηνίο



ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

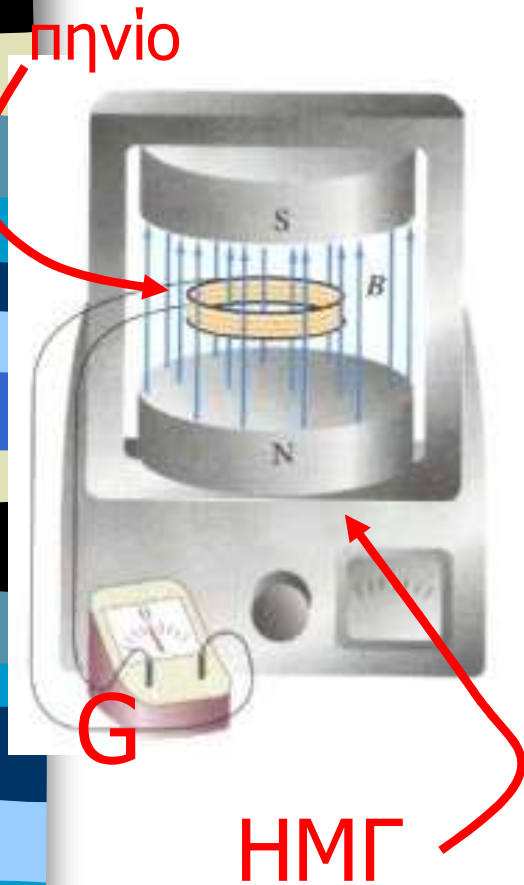


Πηνίο τοποθετείται σε μαγνητικό πεδίο ηλεκτρομαγνήτη

- Το ρεύμα του ΗΜΓ είναι μηδέν $\rightarrow B=0, I_G=0$
- ΗΜΓ τίθεται σε λειτουργία $\rightarrow B \uparrow \rightarrow$ στιγμιαίο ρεύμα στο G, $I_G=+I_0 \neq 0$
- Όταν $B=\text{σταθ} \rightarrow I_G=0$
- Όταν $B=\text{σταθ}$ καθώςον παραμορφώνουμε το πηνίο (μικραίνοντας την επιφάνειά του) $\rightarrow I_G=-I_0 \neq 0$. Καθόσον το επαναφέρουμε στο αρχικό σχήμα $\rightarrow I_G=+I_0 \neq 0$
- Όταν $B=\text{σταθ}$ καθώςον στρέφουμε το πηνίο $\rightarrow I_G=-I_0 \neq 0$. Καθόσον το επαναφέρουμε στην οριζόντιο $\rightarrow I_G=+I_0 \neq 0$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830



Πηνίο τοποθετείται σε μαγνητικό πεδίο ηλεκτρομαγνήτη

➤ Όταν $B = \text{σταθ}$ καθόσον τραβούμε το πηνίο έξω από το πεδίο του ΗΜΓ $\rightarrow I_G = -I_0 \neq 0$. Καθόσον το επαναφέρουμε στην αρχική θέση $\rightarrow I_G = +I_0 \neq 0$

➤ Όταν $B = \text{σταθ}$ & $\downarrow$ τον αριθμό των περιελίξεων του πηνίου $\rightarrow I_G = -I_0 \neq 0$. Αν τις $\uparrow \rightarrow I_G = +I_0 \neq 0$

➤ Όταν ο ΗΜΓ τίθεται εκτός λειτουργίας $\rightarrow B \downarrow \rightarrow$ στιγμιαίο ρεύμα στο G, $I_G = -I_0 \neq 0$

➤ 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

NΟΜΟΣ του Faraday

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

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

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

Διαφορά δυναμικού
του b ως προς το a

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

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 $0,020 \text{ T/s}$. Η επιφάνεια του αγωγίμου βρόχου μέσα στο πεδίο είναι 120 cm^2 και η ολική αντίσταση του κυκλώματος, μαζί με το γαλβανόμετρο και τον αντιστάτη, είναι $5,0 \Omega$. Να βρεθεί η επαγόμενη ΗΕΔ, καθώς και το επαγόμενο ρεύμα στο κύκλωμα.

Προσοχή στις μονάδες!!!

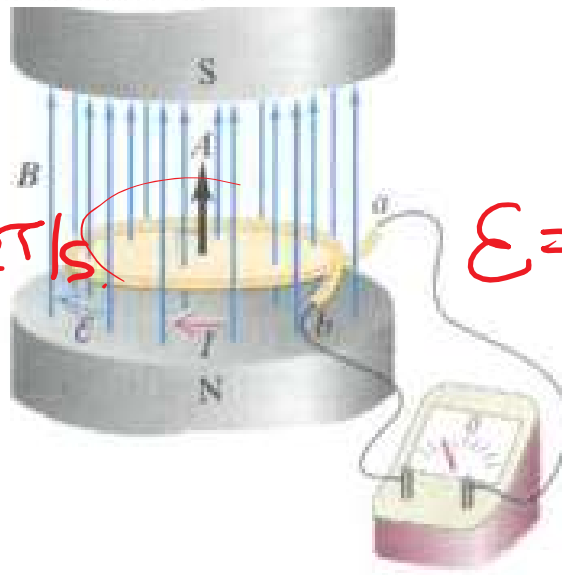
Tesla από τον τύπο

$$F = q u \times B$$

$$S = 120 \text{ cm}^2$$

$$B \uparrow$$

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



$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \theta$$

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

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

$$= -120 \cdot 10^{-4} \frac{dB}{dt} = -120 \cdot 10^{-4} \cdot 0,02 \text{ V}$$

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

ΦΟΡΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ???

$$[I = 0,048 \text{ mA}]$$

30-3 Ακίνητος αγωγίμος βρόχος σε αυξανόμενο μαγνητικό πεδίο.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

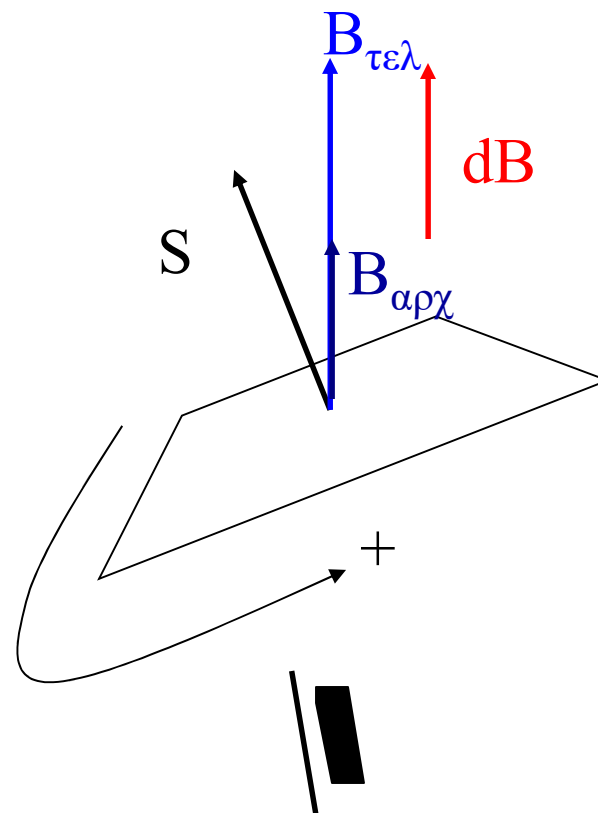
Faraday & Henry ~1830

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

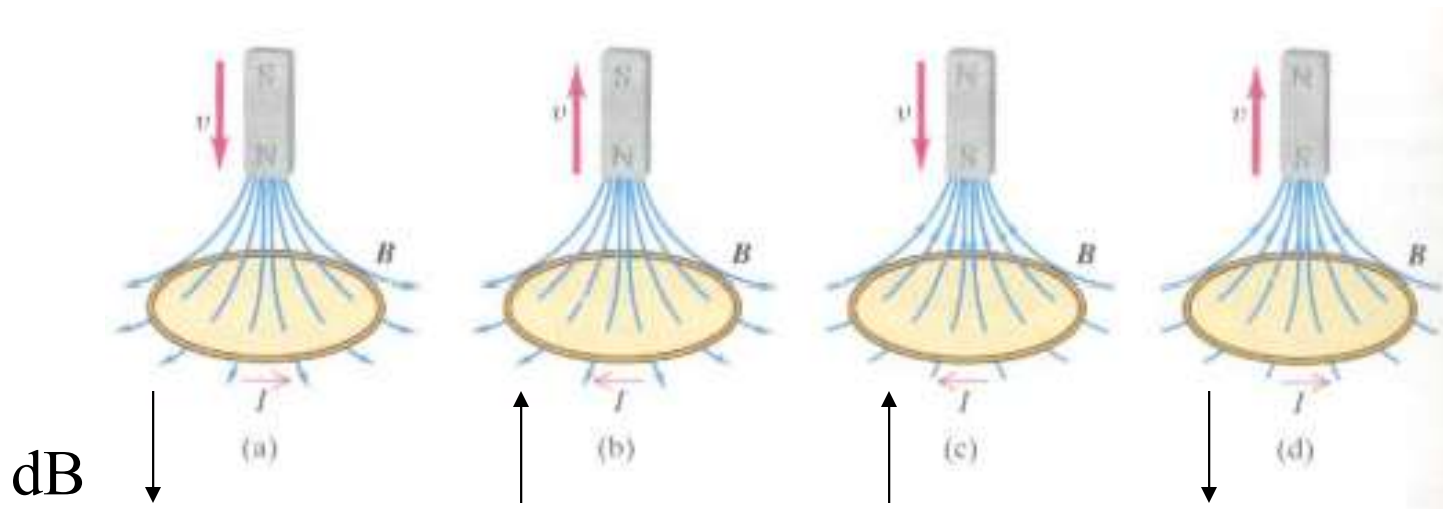
Νόμος του Lenz

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



ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830



Παραδείγματα εφαρμογής του νόμου του Lenz

Προσέξτε τη φορά των δυναμικών γραμμών

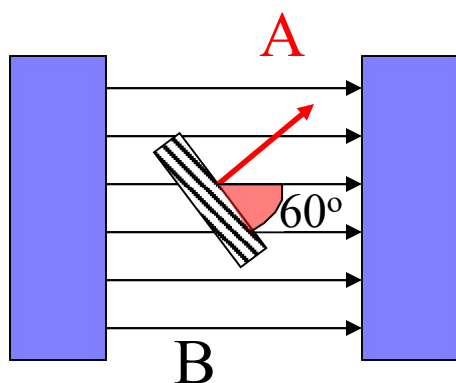
ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

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° από το επίπεδο του πηνίου. Το πεδίο ελαττώνεται με ρυθμό 0.2T/s. Να βρεθεί η απόλυτη τιμή της ΗΕΔ.

$$\Phi = BA \sin \varphi, \varphi = 30^\circ$$



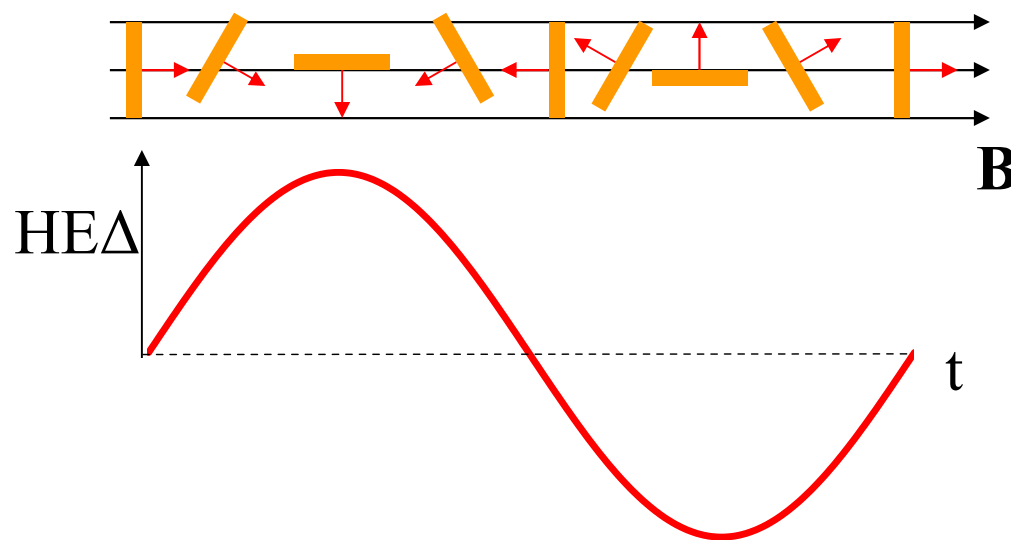
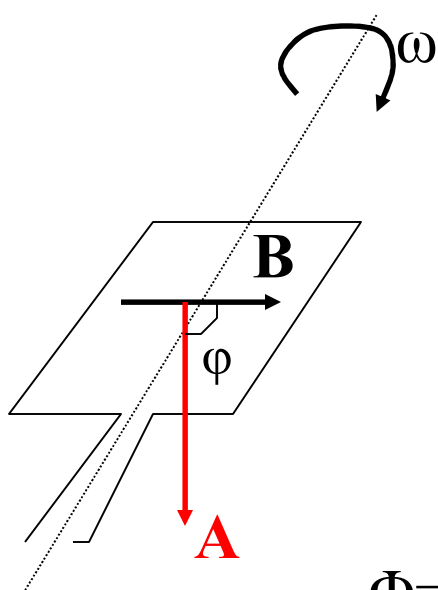
$$\text{ΗΕΔ} = 0.435\text{V}$$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

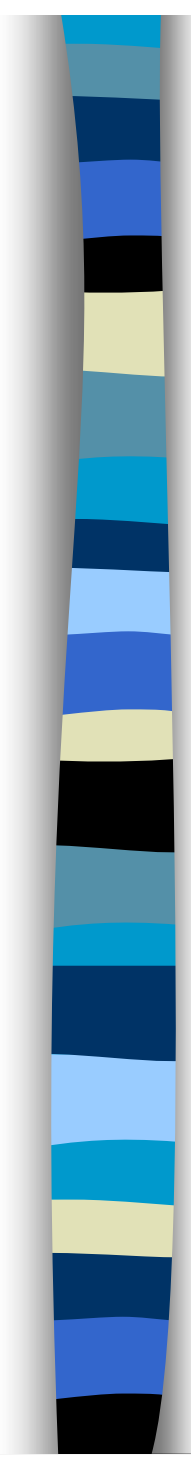
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

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



$$\Phi = BA \sin \varphi = BA \sin \omega t$$

$\text{ΗΕΔ} = \omega B A \eta \mu \omega t \rightarrow \text{ανεξάρτητη του σχήματος του βρόχου}$



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

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

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)

$$\Phi_B = 0$$

Νόμος Ampere (όρος Maxwell)

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

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \left(I_C + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)$$

Νόμος επαγωγής του Faraday

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

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