

ΥΛΗ που θα καλυφθεί στη διάρκεια του εξαμήνου

Φυσική και Βιολογία.

Μεγέθη και συστήματα μονάδων.

Γραφικές παραστάσεις φαινομένων.

Δυνάμεις. Ροπές.

Κλασική φυσική, Νόμοι του Νεύτωνα.

Ενέργεια.

Θερμότητα, ειδική θερμότητα, θερμοκρασία. Μετατροπές φάσεων.

Πίεση σε ρευστά, άνωση. Κίνηση σε ρευστό, ρευστοδυναμική (νόμοι συνέχειας και Bernoulli).

Ελαστικότητα.

Επιφανειακή τάση.

Αρμονική ταλάντωση. Κύματα.

Η φύση του φωτός. Διάθλαση. Φακοί και Είδωλα. Κυματικά φαινόμενα (περίθλαση, συμβολή, πόλωση).

Ηλεκτροστατική. Ηλεκτρικά πεδία. Πυκνωτές.

Ηλεκτρικό ρεύμα. Νόμος του Ohm. Αντίσταση. Το ποτενσιόμετρο.

Ηλεκτρικό ρεύμα και μαγνητικό πεδίο.

Εναλλασσόμενο ρεύμα.

Ανορθωτές και δίοδοι.

Μετρητές ηλεκτρικών ποσοτήτων.

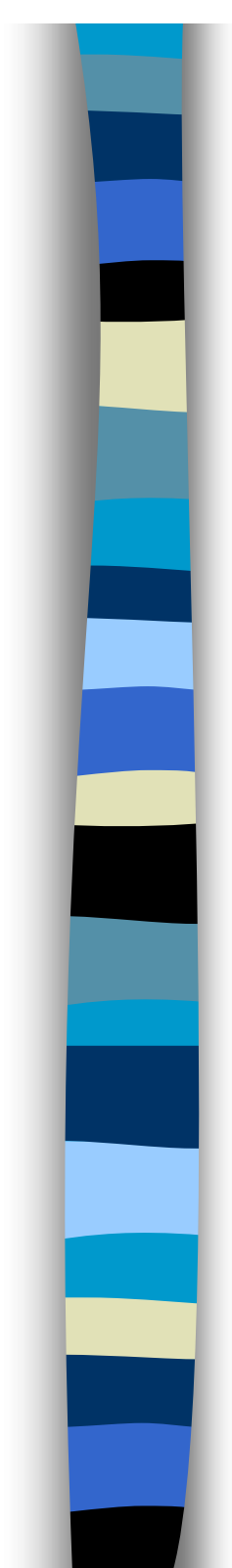
Έκπομπή ηλεκτρονίων.

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Κίνηση φορτίων σε μαγνητικό πεδίο. Κύκλωτρο. Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο.

Ατομικό υπόδειγμα του Bohr. Στοιχεία μοντέρνας (κβαντικής) φυσικής.

Ραδιενεργοί πυρήνες, ραδιενέργεια.



Διαφάνειες

Κ.Σ. Ανδρικόπουλος

Ι. Αρβανιτίδης

Φορτίο και Ύλη

Ηλεκτρομαγνητισμός

Ιστορικά στοιχεία

Ηλεκτρισμός: 600π.Χ. **Θαλής Μιλήσιος** κεχριμπάρι (ήλεκτρο) έλκει μικρά κομμάτια άχυρου όταν τρίβεται

Μαγνητισμός: Φυσικά πετρώματα έλκουν το σίδηρο

Έως και το 1820 (**Oersted**: ρευματοφόρος αγωγός εκτρέπει μαγνητική βελόνα) ηλεκτρισμός και μαγνητισμός αναπτύσσονται χωριστά

Faraday, Gauss, Ampere έδωσαν σχέσεις που συνέδεαν ηλεκτρισμό και μαγνητισμό

Maxwell (1833-1879) διαμόρφωσε τους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού ΚΑΙ υπέδειξε πως το φως είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσης και η ταχύτητά του μπορεί να μετρηθεί με ηλεκτρικές ή μαγνητικές μεθόδους

→ ΟΠΤΙΚΗ ↔ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

Hertz (1857-1894): δημιούργησε στο εργαστήριο ηλεκτρομαγνητικά κύματα παρόμοια με τα βραχέα ραδιοφωνικά κύματα

(**Lorentz, Marconi** κλπ)

ΣΗΜΕΡΑ: Εφαρμογές, ενοποίηση ασθενούς και ισχυρής πυρηνικής δύναμης με την ηλεκτρομαγνητική και ενοποίηση αυτών με τη βαρύτητα



Ηλεκτρικό φορτίο

Με εύκολο πείραμα μπορούμε να δείξουμε πως υπάρχουν δύο ειδών διαφορετικοί φορείς ηλεκτρικών δυνάμεων:

Αυτοί οι φορείς ονομάστηκαν φορτία (Franklin 1709-1790) αρνητικά (εβονίτης) και θετικά (γυαλί).

Ποιοτικά μπορούμε εύκολα να πούμε πως

- Τα ομώνυμα φορτία απωθούνται
- Τα ετερόνυμα φορτία έλκονται

Κάποια **δύναμη** ασκείται σε κάθε φορτίο που βρίσκεται στη “γειτονιά” κάποιου άλλου

Πώς ποσοτικοποιούμε αυτή τη δύναμη;

Νόμος Coulomb (1736-1806)

Το μέτρο της δύναμης για δύο σημειακά, ακίνητα φορτία q_1 και q_2 που βρίσκονται στο κενό

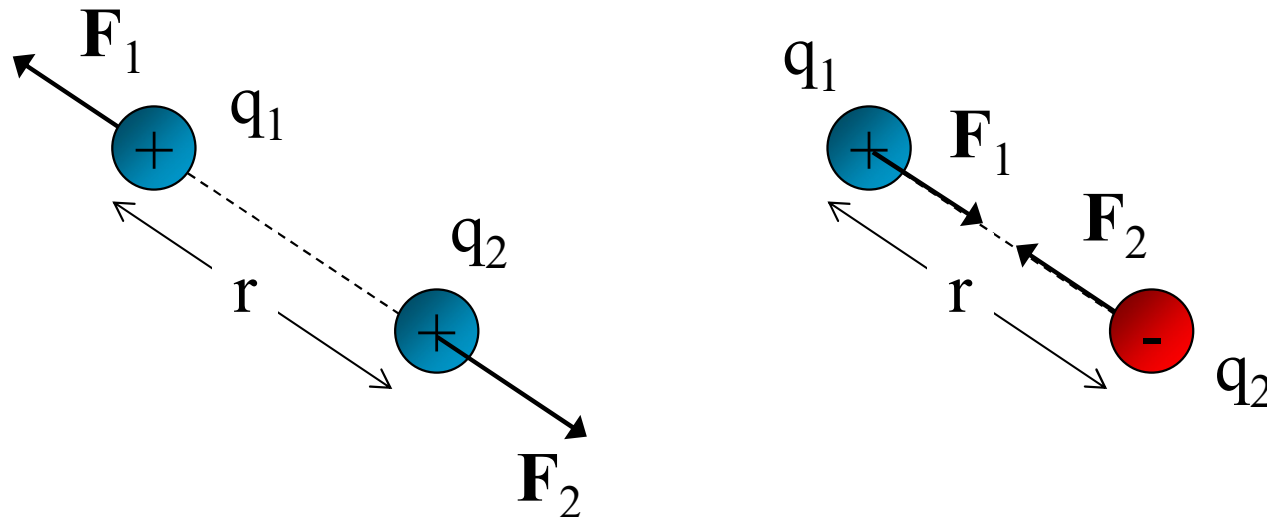
$$F \propto |q_1 q_2| / r^2 \quad (\text{αναλογία})$$

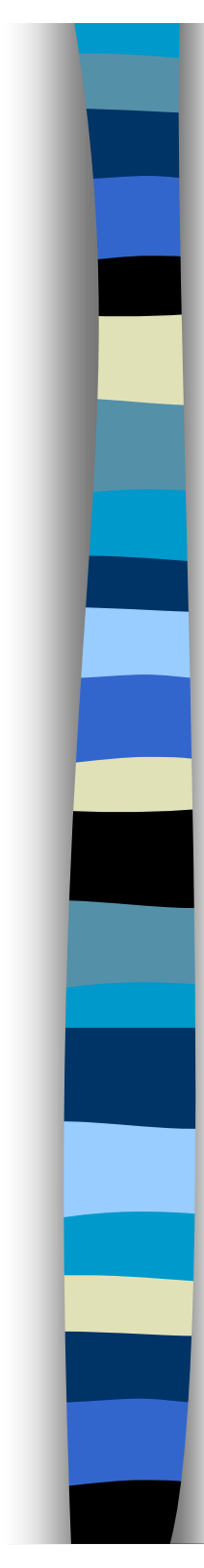
$$F = k_{\eta\lambda} |q_1 q_2| / r^2$$

(συντελεστής αναλογίας $k_{\eta\lambda} = 1/4\pi\epsilon_0 \cong 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$) [$k_{\eta\lambda} = 10^{-7} (\text{Ns}^2/\text{C}^2)\text{c}^2$]

\mathbf{F} η δύναμη η οποία δρα σε κάθε ένα φορτίο (q_1, q_2) και \mathbf{r} η μεταξύ τους απόσταση (ισχύει για σημειακά φορτία)

\mathbf{F} διανυσματικό μέγεθος (Φορά / διεύθυνση, $\mathbf{F}_2 = -\mathbf{F}_1$)




$$F = k_{\eta\lambda} |q_1 q_2| / r^2$$

Από τη σχέση αυτή μπορούμε να ορίσουμε τη μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου

Για πρακτικούς λόγους η μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου ορίζεται από τη μονάδα ηλεκτρικού ρεύματος $q = It$

1Cb ορίζεται το φορτίο που διέρχεται από μια διατομή αγωγού σε χρόνο 1sec όταν από τον αγωγό διέρχεται σταθερό ρεύμα 1Ampere.

Αποτελεί μια σχετικά μεγάλη μονάδα μέτρησης (δύο φορτία του 1Cb σε απόσταση 1m ασκούν δύναμη το ένα στο άλλο ίση με $9 \cdot 10^9$ N)
Συνήθως τα φορτία είναι της τάξης των nC ή μ C.

Τι γίνεται όταν δύο φορτία ασκούν δύναμη σε ένα τρίτο;
Η ολική δύναμη στο τρίτο θα είναι το διανυσματικό άθροισμα των δυνάμεων που θα ασκούσε καθένα από τα δύο φορτία ξεχωριστά.

ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΕΠΑΛΛΗΛΙΑΣ

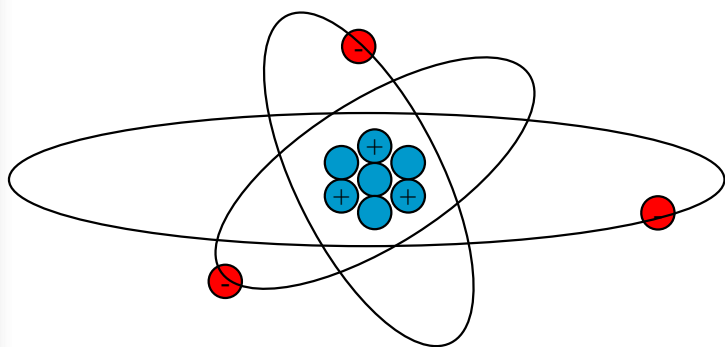
ΚΒΑΝΤΩΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Η συνηθισμένη ύλη δομείται από τρία σωματίδια:

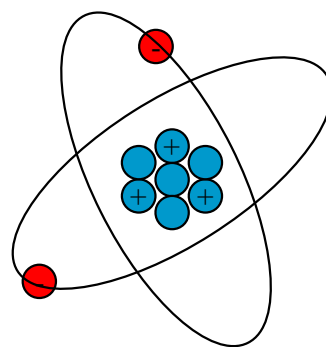
Ηλεκτρόνιο [φορτίο $-e$, μάζα $m_e \approx 9.109 \cdot 10^{-31} \text{Kgr}$]

Πρωτόνιο [φορτίο e , μάζα $m_p \approx 1.673 \cdot 10^{-27} \text{Kgr}$]

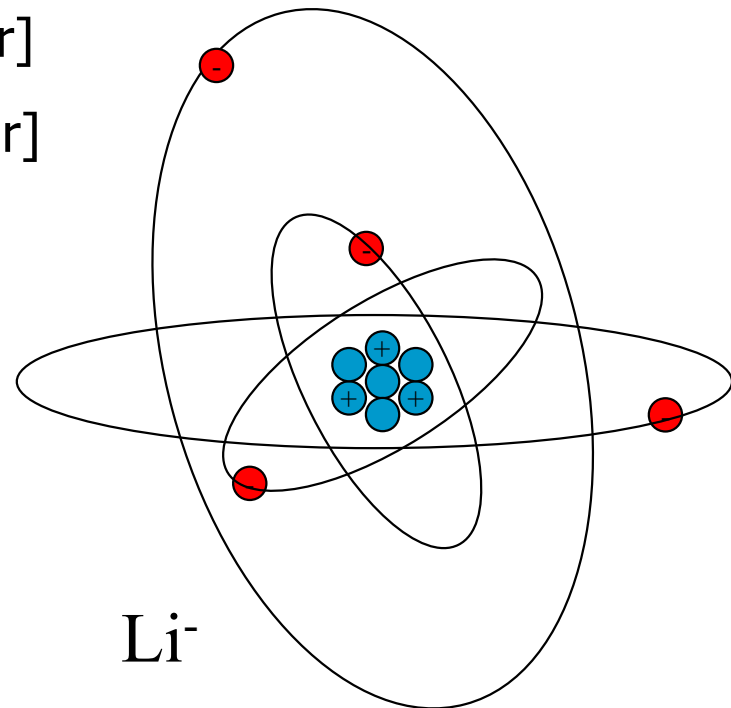
Νετρόνιο [φορτίο 0 , μάζα $m_n \approx 1.675 \cdot 10^{-27} \text{Kgr}$]



Li



Li⁺



Li⁻

Το φορτίο είναι **κβαντισμένο** δηλ. είναι ακέραιο πολλαπλάσιο μιας ελάχιστης ποσότητας θεμελιώδους φορτίου $e = 1.60210 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Το φορτίο αυτό είναι η απόλυτη τιμή του φορτίου του ηλεκτρονίου και για τα "ανθρώπινα (μακροσκοπικά) δεδομένα" είναι απειροελάχιστα μικρό

π.χ. Λάμπα 100Watts σε 220Volts $\rightarrow \sim 3 \cdot 10^{18}$ στοιχειώδη φορτία ανά sec

Το συνολικό φορτίο των περισσοτέρων σωμάτων είναι μηδέν.



Ποιος ο αριθμός των αρνητικών ή θετικών φορτίων που υπάρχουν σε ένα χάλκινο κέρμα 3gr;

1mole το βάρος N_0 ($= 6.023 \cdot 10^{23}$) ατόμων, για το χαλκό 64gr.

64gr N_0 άτομα

3gr x ;

$x=2.8 \cdot 10^{22}$ άτομα δηλ. $81.2 \cdot 10^{22}$ φορτία

~ 130000 C

Χωρίζουμε τα φορτία (αρνητικά/θετικά) του κέρματος και τα τοποθετούμε σε τέτοια απόσταση ώστε η μεταξύ τους δύναμη να είναι 4.5N. Ποια η απόσταση;

Πόση θα ήταν η δύναμη αν η απόσταση γινόταν 1m;

Η απόσταση r μεταξύ ηλεκτρονίου – πρωτονίου στο άτομο του υδρογόνου είναι $5.3 \cdot 10^{-11}m$. Ποια είναι τα μέτρα της (α) ηλεκτρικής δύναμης (β) της βαρυτικής δύναμης ανάμεσα στα δύο σωματίδια; $m_e=9.1 \cdot 10^{-31}Kgr$, $m_p=1.7 \cdot 10^{-27}Kgr$, $G=6.7 \cdot 10^{-11} Nm^2/Kgr^2$

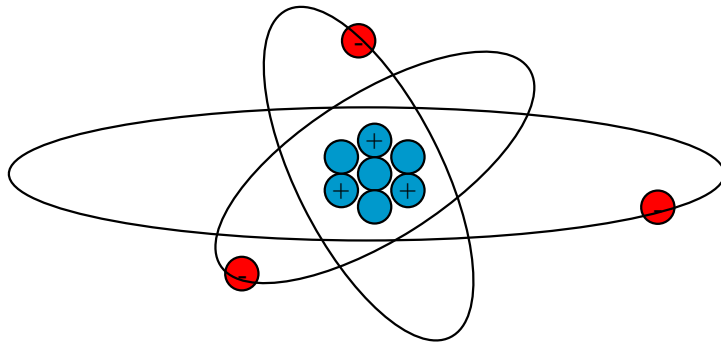
Ποια είναι η απωστική δύναμη Coulomb ανάμεσα σε δύο πρωτόνια στον πυρήνα του ατόμου (υποθέστε πως η μεταξύ τους απόσταση είναι $4 \cdot 10^{-15}m$);

Periodic Table of the Elements

1 1IA 11A																	18 VIII 8A
1 H Hydrogen 1.0079	2 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	2 He Helium 4.00260
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01218											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.998403	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.989768	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 Al Aluminum 26.981539	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.732	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92169	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.9072	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.90543	56 Ba Barium 137.327	57-71	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.9665	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98037	84 Po Polonium [208.9824]	85 At Astatine 209.9871	86 Rn Radon 222.0176
87 Fr Francium 223.0197	88 Ra Radium 226.0254	89-103	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Uut Ununtrium unknown	114 Uuq Ununquadium [289]	115 Uup Ununpentium unknown	116 Uuh Ununhexium [298]	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown
Lanthanide Series		57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.9127	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.9655	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	
Actinide Series		89 Ac Actinium 227.0278	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium 237.0482	94 Pu Plutonium 244.0642	95 Am Americium 243.0614	96 Cm Curium 247.0703	97 Bk Berkelium 247.0703	98 Cf Californium 251.0796	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.0951	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.1009	103 Lr Lawrencium [262]	
		Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetals	Nonmetals	Halogens	Noble Gas	Lanthanides	Actinides						

Τι διατηρεί τα πρωτόνια στον πυρήνα; Τι διατηρεί τα ηλεκτρόνια στις “τροχιές” τους;

Όταν ένα μακροσκοπικό σώμα διαθέτει φορτίο της τάξης του $1\mu\text{C}$ πόσο ποσοστό των ατόμων που απαρτίζουν το σώμα έχουν πλεόνασμα φοτίου;



Li

ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΕΙΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Το αλγεβρικό άθροισμα των ηλεκτρικών φορτίων οποιουδήποτε κλειστού συστήματος είναι σταθερό

Παράδειγμα

$$OA=2\text{cm}$$

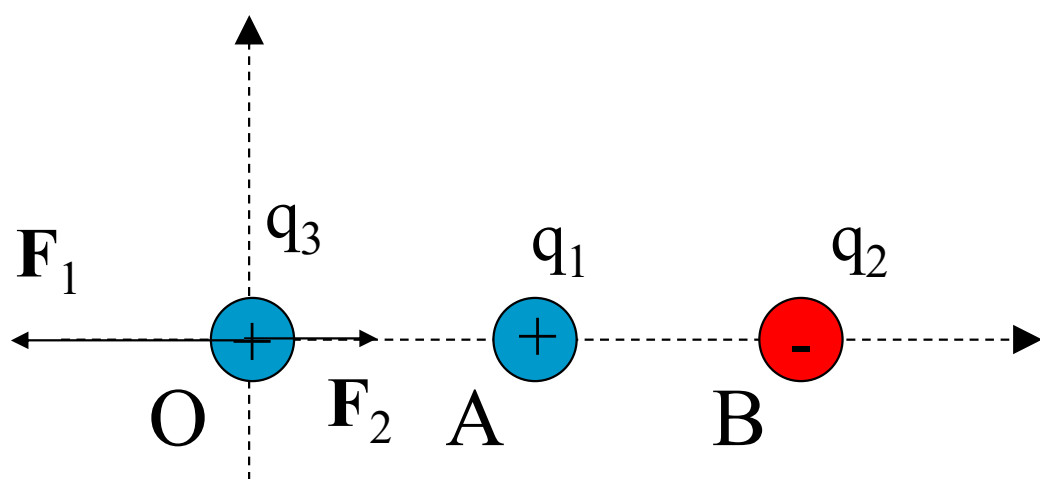
$$OB=4\text{cm}$$

$$q_1= 2\text{nC}$$

$$q_2= -3\text{nC}$$

$$q_3= 5\text{nC}$$

$$F_{q_3}=?;$$



[Απάντηση $F_{q_3}=-1.41 \cdot 10^{-4}\text{N}$]

Παράδειγμα

$$OA=0.3\text{m}$$

$$OB=0.3\text{m}$$

$$O\Gamma=0.4\text{m}$$

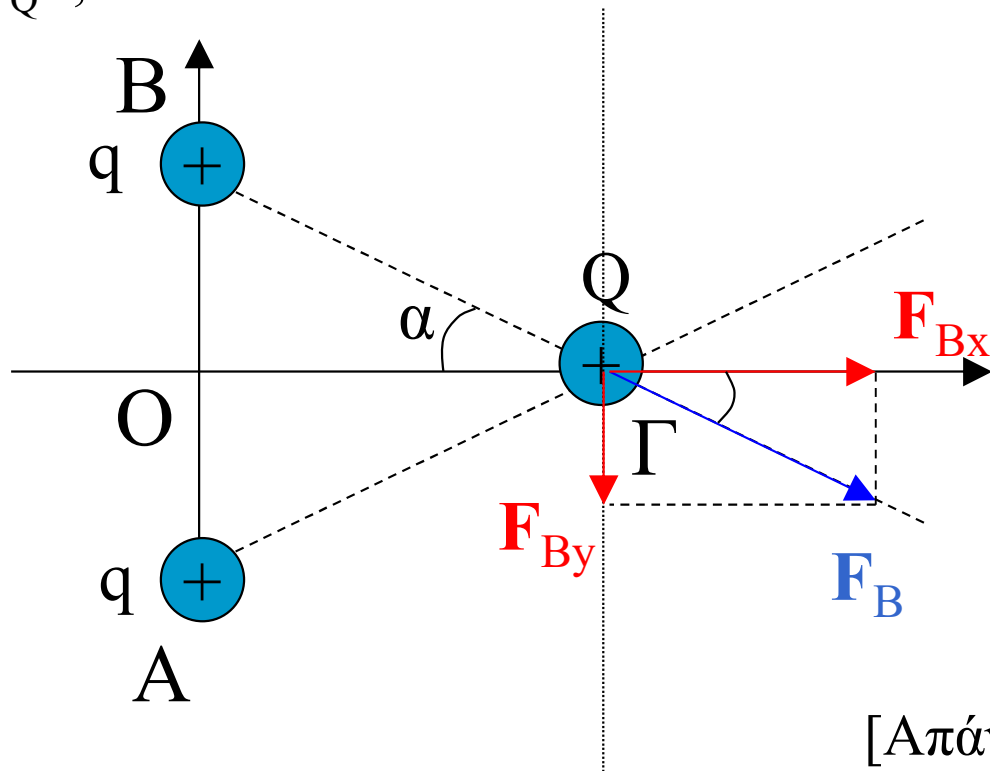
$$q= 2\mu\text{C}$$

$$Q= 4\mu\text{C}$$

$$F_Q=;$$

$$F_x=F\cos\alpha$$

$$F_y=F\sin\alpha$$



$$[\text{Απάντηση } F_x=0.46\text{N}, F_y=0]$$

$$[F_{Bx}=0.23\text{N}, F_{By}=-0.17\text{N}] \quad [F_{Ax}=0.23\text{N}, F_{Ay}=0.17\text{N}]$$

Εξ αποστάσεως δράση

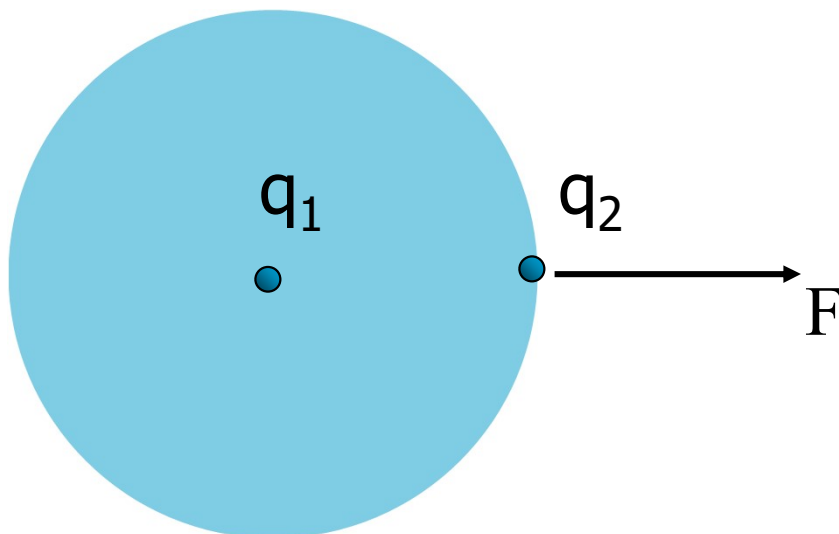
Άμεση και στιγμιαία αλληλεπίδραση μεταξύ φορτίων



Η έννοια του πεδίου

Η αλληλεπίδραση μεταξύ φορτίων κατανοείται ως διαδικασία δύο σταδίων

1. Ένα φορτίο q_1 δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο
2. Το πεδίο δρα στο φορτίο q_2 . Αυτό φαίνεται από τη δύναμη F πάνω στο q_2 .



Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου \mathbf{E}

Πειραματικά για να ορίσουμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου \mathbf{E} τοποθετούμε μικρό φορτισμένο σώμα (δοκιμαστικό φορτίο) με φορτίο q_0 στο σημείο του χώρου στο οποίο θέλουμε να μετρήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Μετρούμε την ηλεκτρική δύναμη \mathbf{F} που ασκείται στο σώμα.

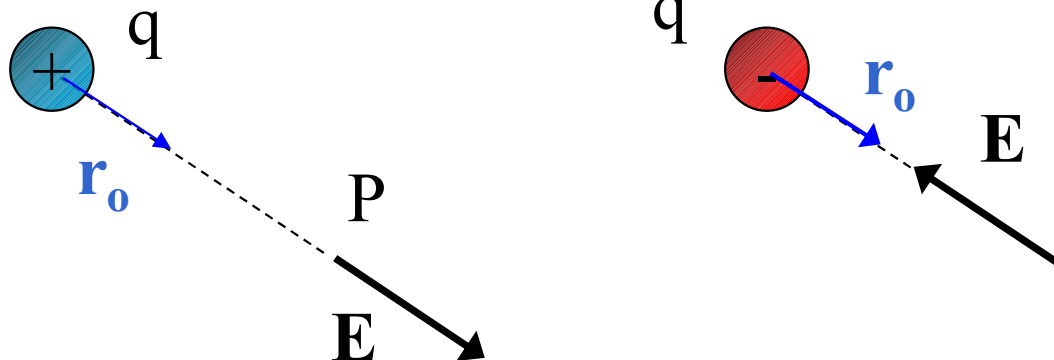
Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ορίζεται:

$$\mathbf{E} = \mathbf{F} / q_0 \quad (\text{Διανυσματικό μέγεθος, N/C})$$

\mathbf{E} και \mathbf{F} είναι συγγραμμικά. Αν το q_0 είναι θετικό \mathbf{E} και \mathbf{F} είναι ομόρροπα. Αν το q_0 είναι αρνητικό \mathbf{E} και \mathbf{F} είναι αντίρροπα.

Πιο σωστά

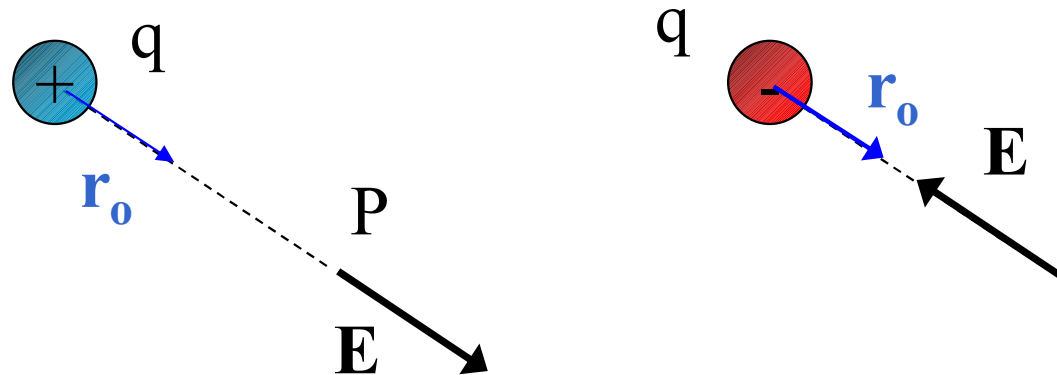
$$\mathbf{E} = \lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{\mathbf{F}}{q_0}$$



Για σημειακό φορτίο μπορούμε να υπολογίσουμε το πεδίο εύκολα από το νόμο του Coulomb.

$$\mathbf{E} = (F/q_0) \mathbf{r}_0 = [(1/4\pi\epsilon_0) q/r^2] \mathbf{r}_0 \qquad \mathbf{F} = F\mathbf{r}_0$$

Αν δοκιμαστικό φορτίο q_0 τοποθετηθεί σε σημείο P και σε αυτό ασκείται δύναμη \mathbf{F} τότε στο σημείο P υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο \mathbf{E} με το \mathbf{E} να ικανοποιεί την παραπάνω σχέση.



Όταν το \mathbf{E} σε διάνυσμα είναι σταθερό σε μια περιοχή του χώρου τότε λέμε ότι στην περιοχή αυτή το πεδίο είναι **ομογενές**.

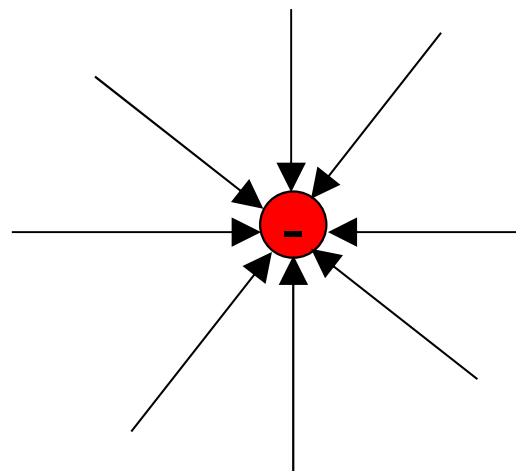
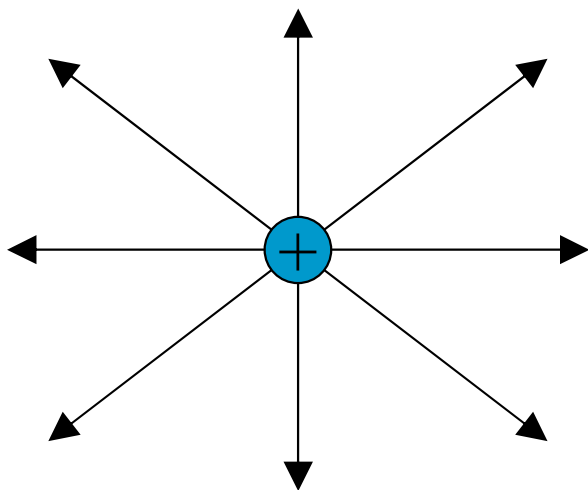
Γενικά όμως το μέτρο αλλά και η κατεύθυνση του πεδίου μπορεί να μεταβάλλονται από σημείο σε σημείο.

ΙΣΧΥΕΙ και για τα πεδία η αρχή της επαλληλίας

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E

Μονάδες, μέτρο, φορά – διεύθυνση

$$E = F/q \text{ [N/C]}$$



Παράδειγμα 22-9

$$O\Delta = 10\text{cm}$$

$$OA = 6\text{cm}$$

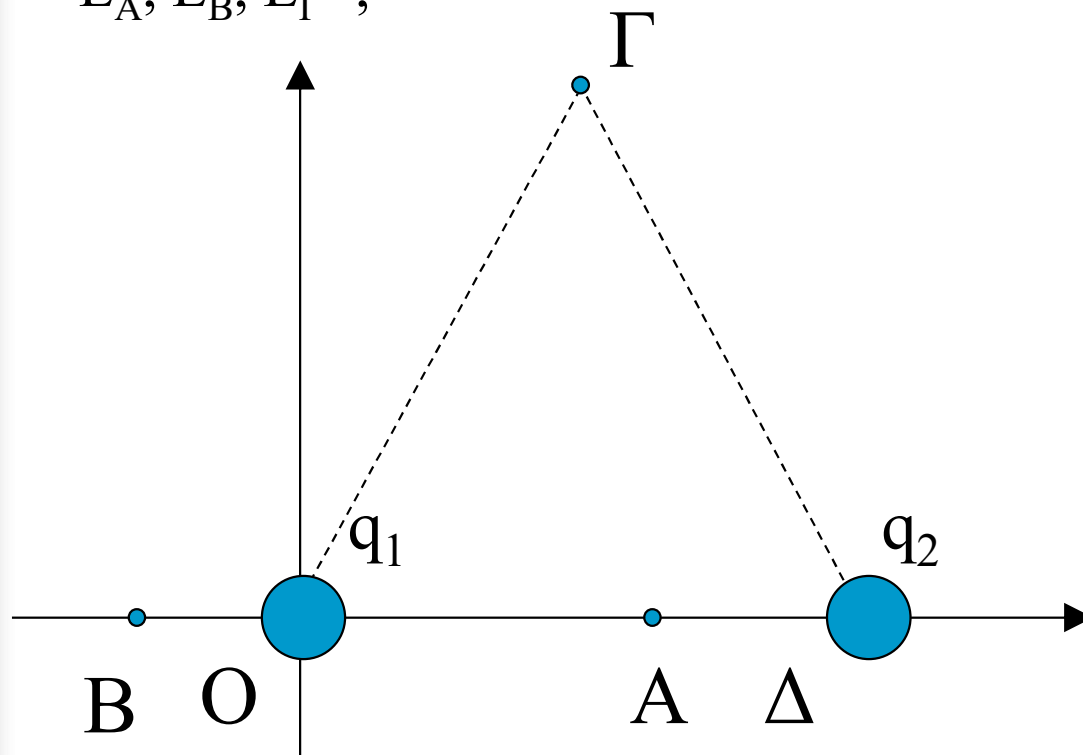
$$OB = 4\text{cm}$$

$$O\Gamma = \Delta\Gamma = 13\text{cm}$$

$$q_1 = 12\text{nC}$$

$$q_2 = -12\text{nC}$$

$$E_A, E_B, E_\Gamma = ?$$



Δυναμικές γραμμές ηλεκτρικού πεδίου

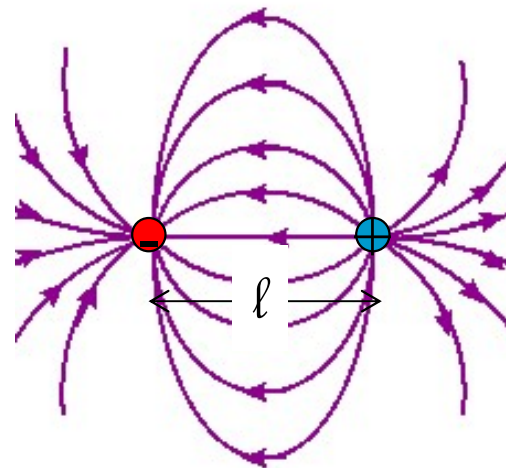
Είναι μια φανταστική γραμμή που σχεδιάζεται σε κάθε σημείο του χώρου έτσι ώστε η εφαπτόμενη της σε οποιοδήποτε σημείο της δίνει την διεύθυνση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου \mathbf{E} .

Ο αριθμός των δυναμικών γραμμών ανά μονάδα επιφάνειας σε κάθετη διατομή είναι ανάλογος του μέτρου της έντασης \mathbf{E} .

Δύο δυναμικές γραμμές δεν τέμνονται.

Ηλεκτρικό δίπολο

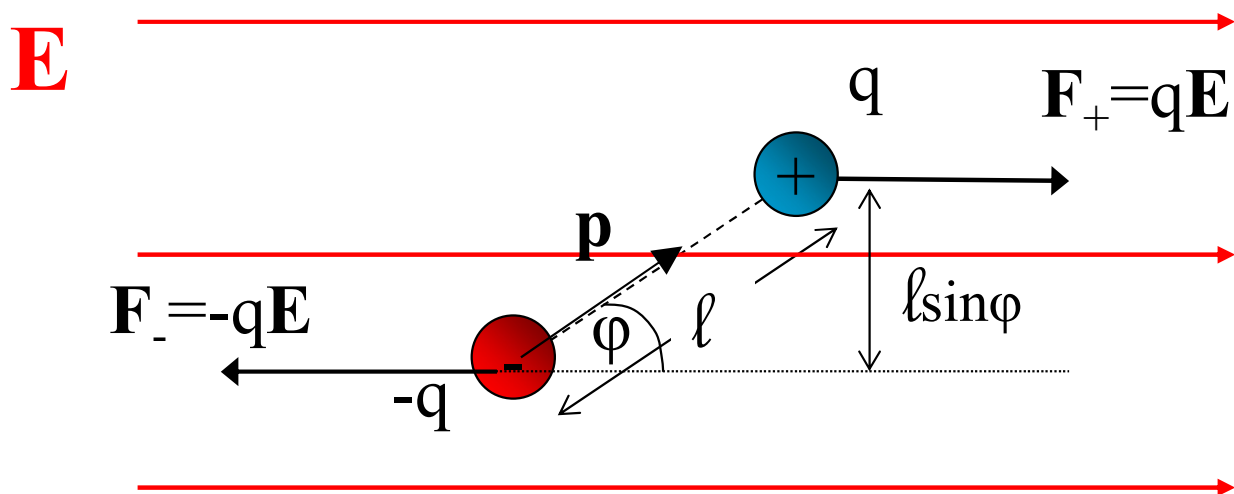
Ζεύγος ηλεκτρικών φορτίων με ίσα και αντίθετα πρόσημα σε απόσταση ℓ .



Ηλεκτρική διπολική ροπή

Η συνισταμένη δύναμη σε ηλεκτρικό δίπολο που βρίσκεται μέσα σε εξωτερικό, ομογενές ηλεκτρικό πεδίο

Οι δυνάμεις είναι ίσες και αντίθετες (συνισταμένη μηδέν) αλλά δεν είναι συγγραμμικές. Η συνισταμένη ροπή τους δε μηδενίζεται (ζεύγος δυνάμεων).



Από τον ορισμό της ροπή ζεύγους δυνάμεων

$$\tau = (qE)(l \sin \varphi)$$

Το γινόμενο $p = ql$ ονομάζεται **ηλεκτρική διπολική ροπή** (Cm)

Είναι **διάνυσμα** με διεύθυνση την ευθεία που ενώνει τα φορτία του διπόλου και φορά από το αρνητικό προς το θετικό φορτίο. ($\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$)

Το έργο ζευγους δυνάμεων που επιτελεί στροφή σώματος κατά απειροστή γωνία $d\varphi$ δίνεται από τη σχέση

$$dW = \tau d\varphi = -pE \sin \varphi d\varphi$$

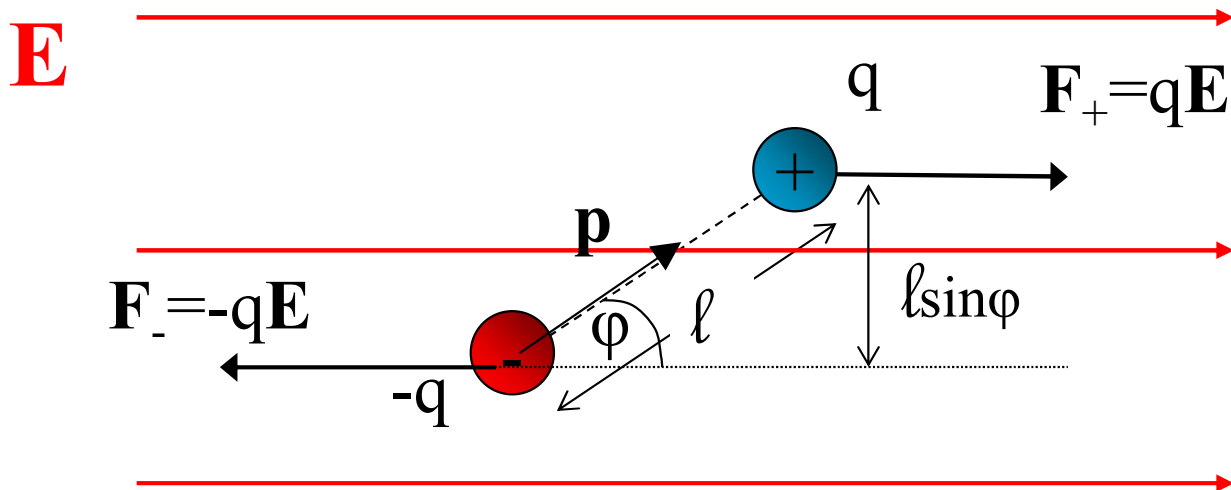
Για στροφή από γωνία φ_1 σε γωνία φ_2 το έργο που επιτελείται πάνω στο δίπολο είναι:

$$W = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} -pE \sin \varphi d\varphi = pE(\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1)$$

Όμως:
$$W = U_1 - U_2$$

Επομένως **η δυναμική ενέργεια** του συστήματος δίνεται από τη σχέση:

$$U(\varphi) = -pE \cos \varphi \qquad U(\varphi) = -pE \cos \varphi = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$$



Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια

Το έργο που παράγεται από μια δύναμη που ασκείται σε ένα σωματίο το οποίο κινείται από ένα σημείο a σε ένα σημείο b είναι

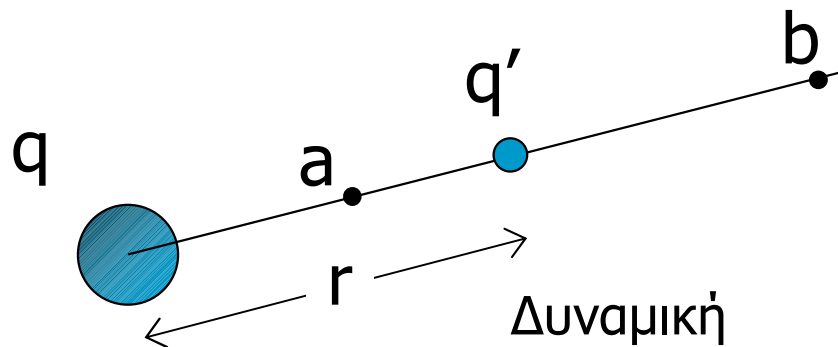
$$W_{a \rightarrow b} = \int_a^b \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = \int_a^b F \cos \varphi dl$$

Όταν η δυναμική ενέργεια στα σημεία a και b είναι U_a και U_b αντίστοιχα το έργο γράφεται

$$W_{a \rightarrow b} = U_a - U_b$$

Για την περίπτωση κίνησης φορτίου q' στο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από ένα φορτίο q

$$W_{a \rightarrow b} = \int_a^b \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_a^b \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2} dr = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right)$$



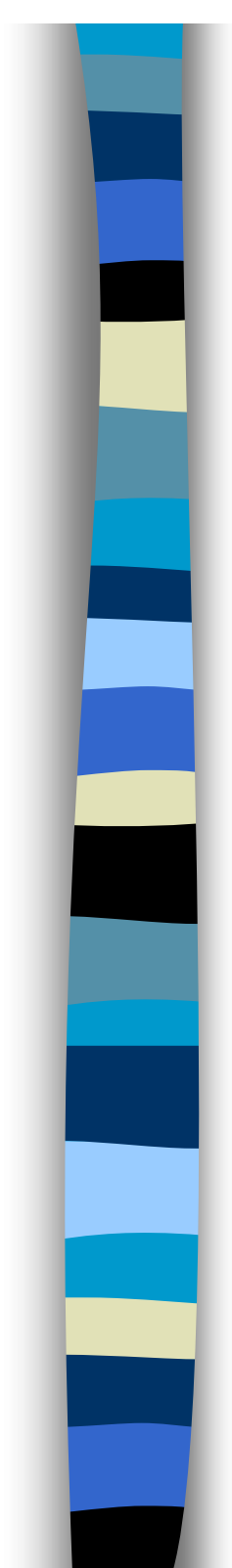
Δυναμική
ενέργεια

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r}$$

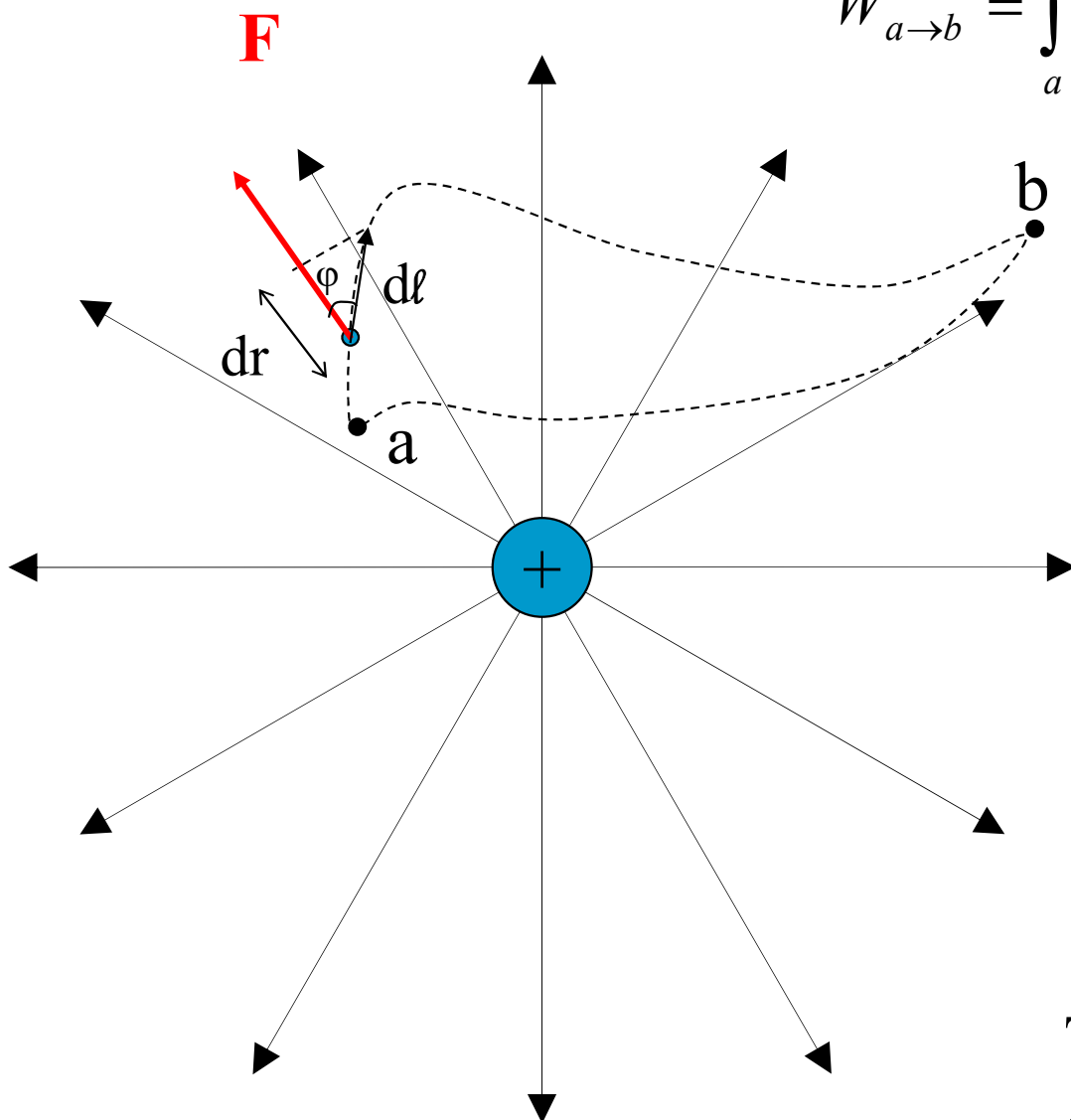
Δυναμική

ενέργεια από συλλογή φορτίων

$$U = \frac{q'}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$



$$W_{a \rightarrow b} = \int_a^b \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = \int_a^b F \cos \varphi dl$$



Το έργο είναι
ανεξάρτητο της
διαδρομής

Δυναμικό

Ορίζεται η δυναμική ενέργεια ανά μονάδα φορτίου [Volt=J/C].

$$V = \frac{U}{q'}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \longrightarrow$$

Δυναμικό σημείου σε απόσταση r από φορτίο q

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i} \longrightarrow$$

Δυναμικό σημείου σε απόσταση r_i από φορτία q_i

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r} \longrightarrow$$

Δυναμικό σημείου από κατανομή φορτίου

Από \mathbf{E} σε V και αντίστροφα

$$W_{a \rightarrow b} = \int_a^b \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = \int_a^b q' \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

$$W_{a \rightarrow b} = U_a - U_b = q'(V_a - V_b)$$

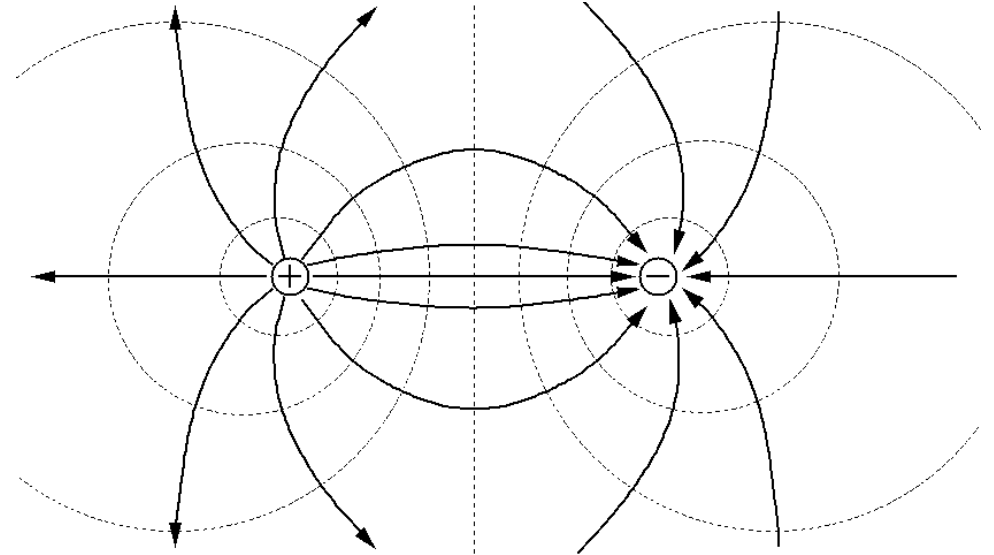
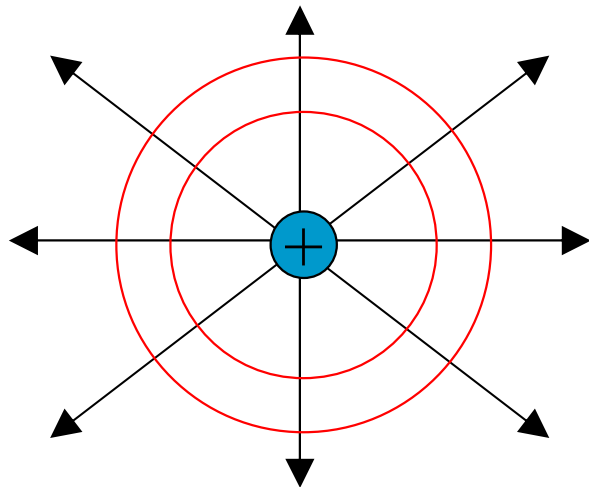
$$V_a - V_b = \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

Διαφορά δυναμικού του b ως προς το a

Ισοδυναμικές επιφάνειες

Επιφάνεια στην οποία το δυναμικό έχει την ίδια τιμή. Οι δυναμικές γραμμές και οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι πάντα κάθετες μεταξύ τους.

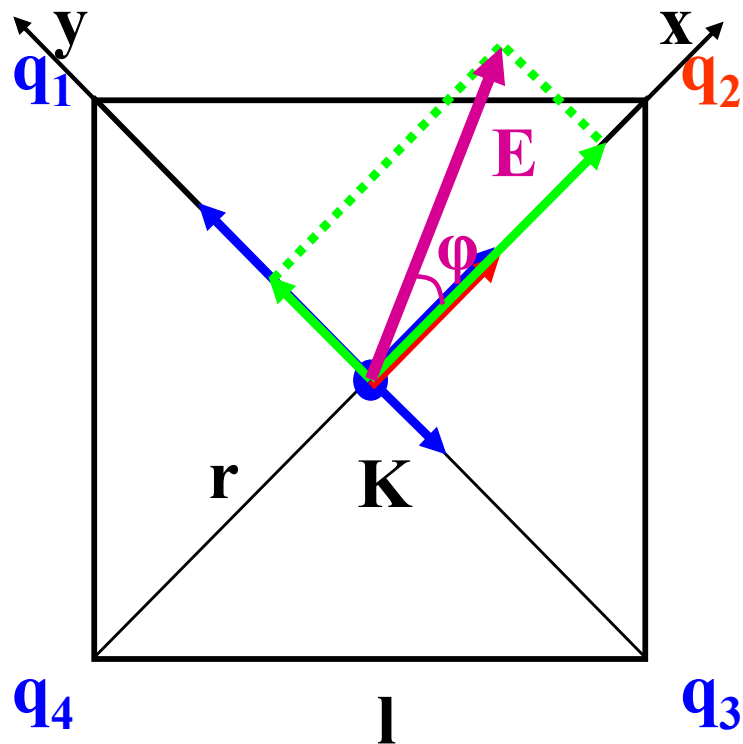
Δυναμικές γραμμές και ισοδυναμικές επιφάνειες σημειακού θετικού φορτίου και διπόλου



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Υπολογισμός E και V στο κέντρο τετραγώνου



$$q_1 = +1 \times 10^{-8} \text{ C}, \quad q_2 = -2 \times 10^{-8} \text{ C}$$

$$q_3 = +3 \times 10^{-8} \text{ C}, \quad q_4 = +2 \times 10^{-8} \text{ C}$$

$$l = 1 \text{ m}, \quad r^2 + r^2 = l^2 \Rightarrow r^2 = 0.5 \text{ m}^2$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2} \quad (K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)$$

$$E_1 = 180 \text{ N/C}, \quad E_2 = 360 \text{ N/C}$$

$$E_3 = 540 \text{ N/C}, \quad E_4 = 360 \text{ N/C}$$

$$E_x = E_2 + E_4 = 720 \text{ N/C}$$

$$E_y = E_3 - E_1 = 360 \text{ N/C}$$

$$|E| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = 805 \text{ N/C}$$

$$\tan\phi = E_y/E_x \Rightarrow \phi = 26.6^\circ$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

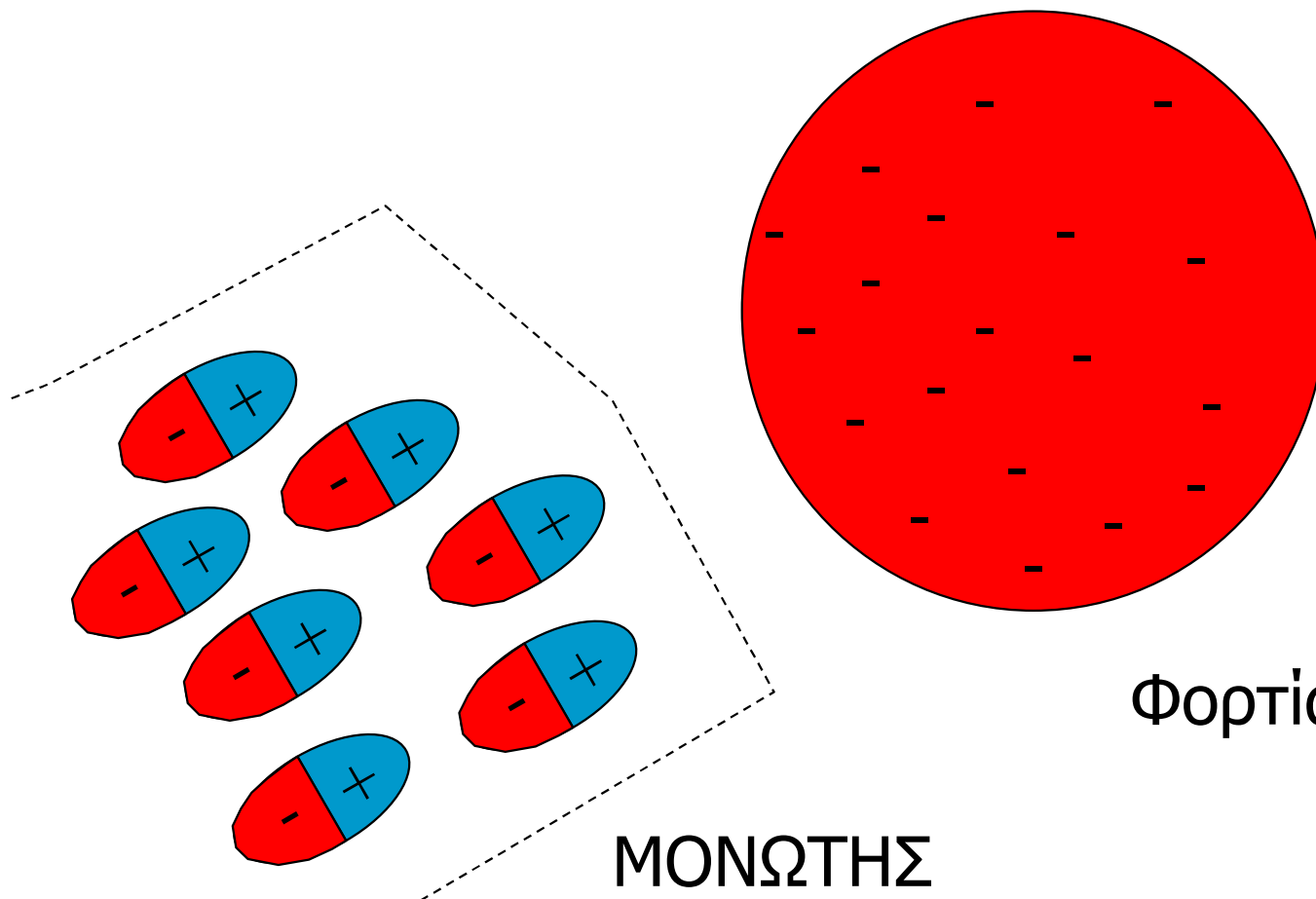
$$V = 509 \text{ Volts}$$

Αγωγοί και μονωτές

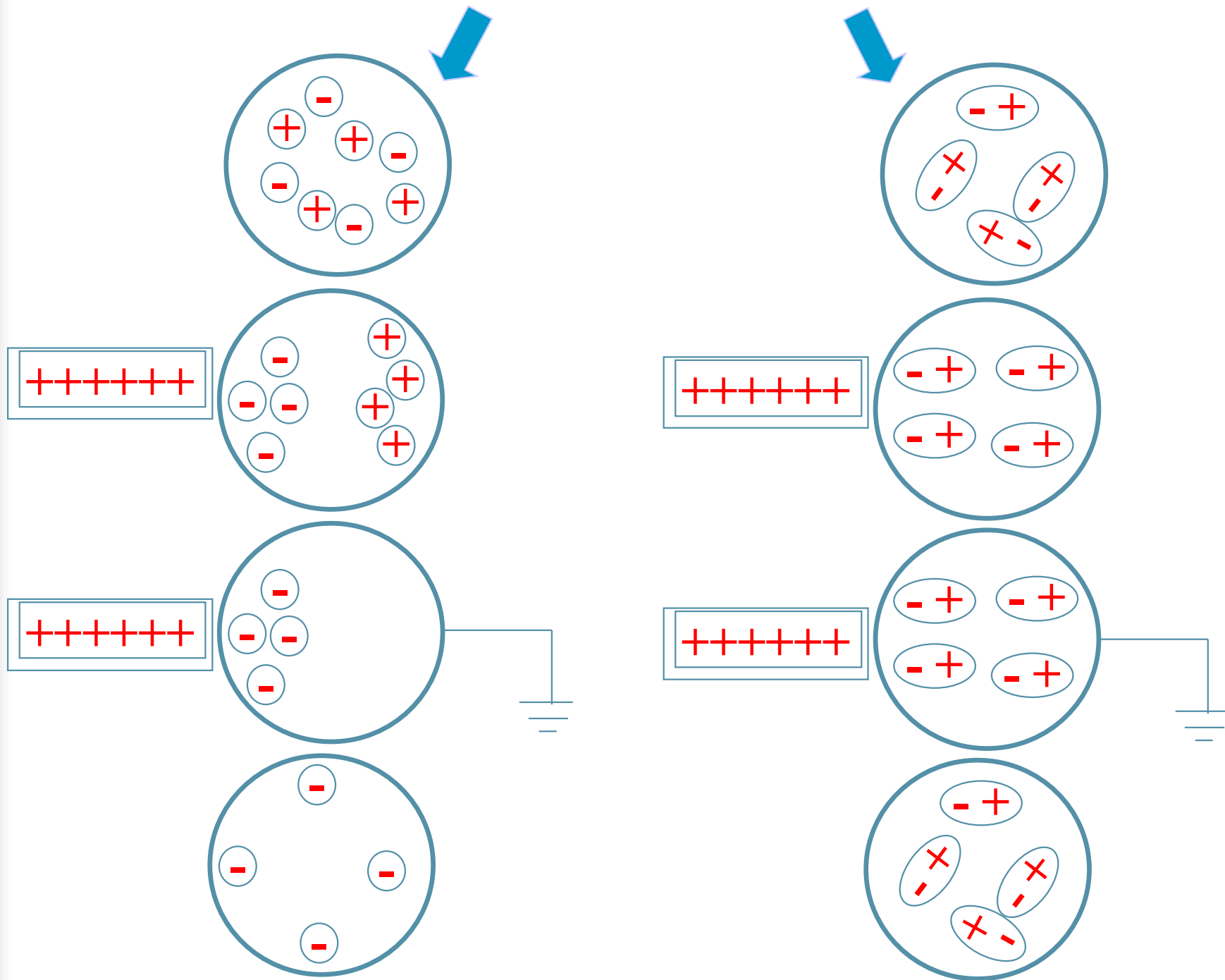
Αγωγοί: μέταλλα (Φαινόμενο Hall → αρνητικά φορτία μπορούν και κινούνται, εξαίρεση: μπαταρίες/ηλεκτρολύτες)

Μονωτές: γυαλί, πλαστικά κλπ [Πόλωση]

Ημιαγωγοί

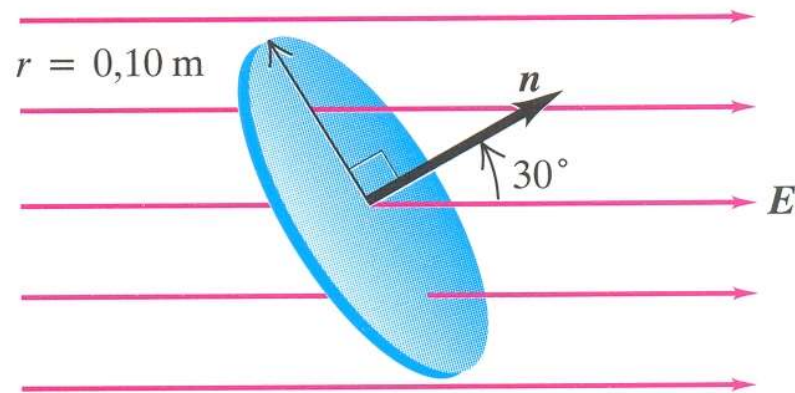


ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΜΟΝΩΤΕΣ



ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΡΟΗ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)

Υπολογισμός ηλεκτρικής ροής



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

$$A = \pi r^2 = \pi 0.1^2 = 0.0314 \text{ m}^2$$

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

ΝΟΜΟΣ του Gauss

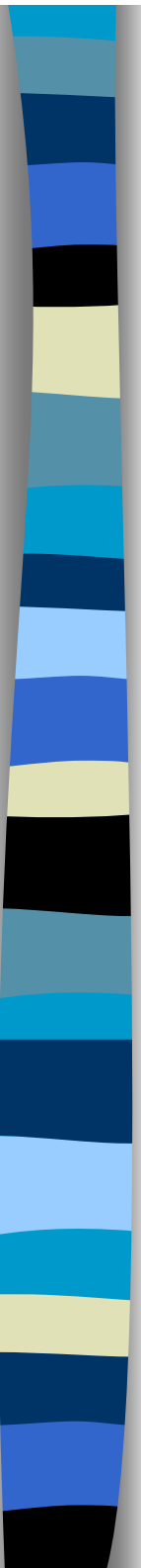
Ηλεκτρικό πεδίο

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

Κλωβός Faraday

ΡΟΗ

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

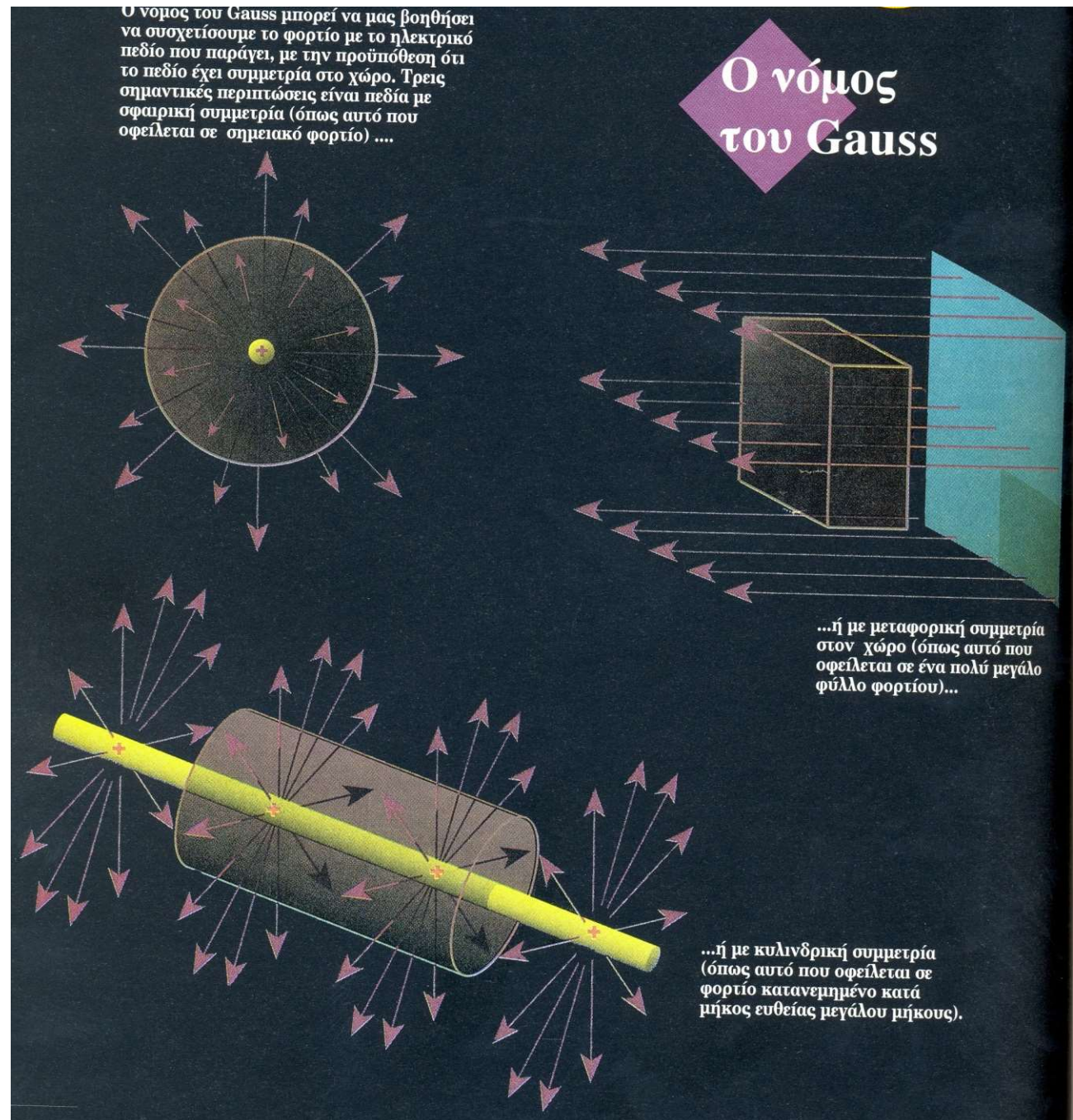


ΕΦΑΡΜΟΓΗ v. GAUSS

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)**



ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ v. GAUSS



Κατανομή περίσσειας φορτίου σε αγωγό (ισορροπία)

✓ Επιφάνεια P, B ή A

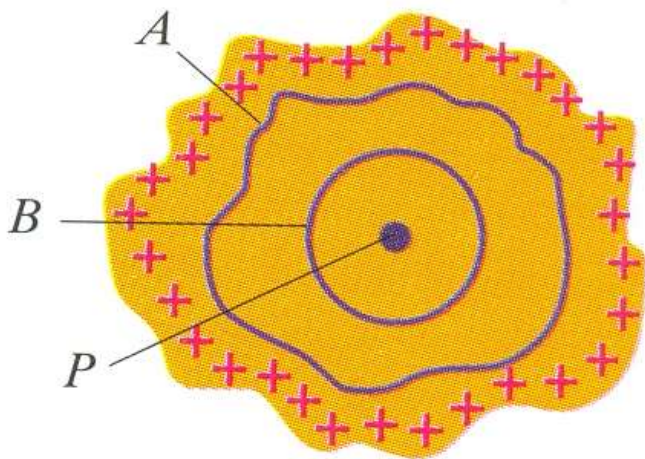
$$\Phi_{ολ} = \sum E_i \Delta S_i \cos \varphi_i = \sum q_{\epsilon\sigma} / \epsilon_0$$

✓ Αλλά $E_i = 0$

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

✓ Άρα $q_{\epsilon\sigma} = 0$

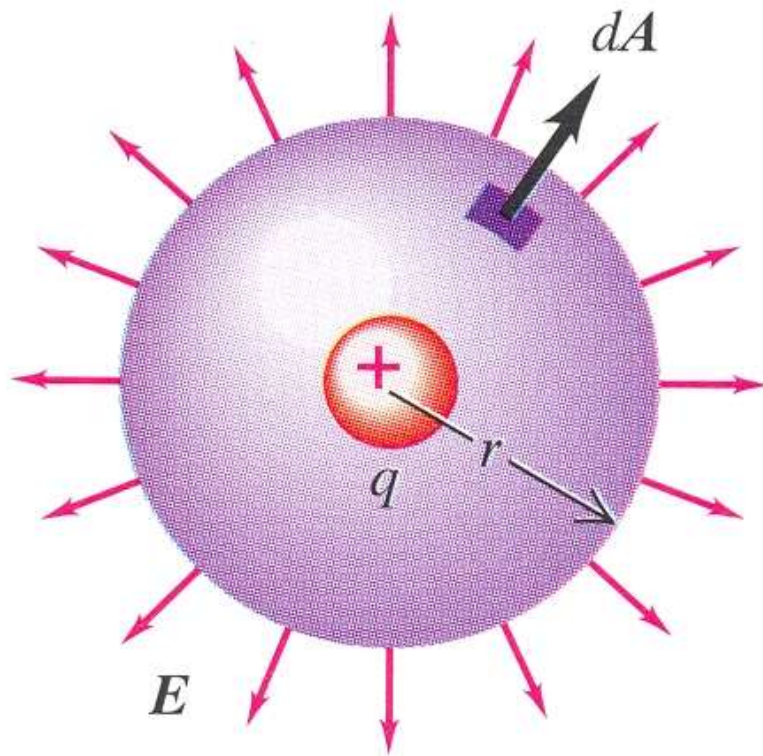
(Κατανομή φορτίου στην επιφάνεια)



ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ v. GAUSS



Υπολογισμός E (σημειακό φορτίο – πεδίο Coulomb)



✓ Σφαιρική συμμετρία

$$\Phi_{ολ} = \sum E_i \Delta S_i \cos \varphi_i = \sum E_i \Delta S_i = E \sum \Delta S_i = ES$$

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

✓ $\Phi = q/\epsilon_0$ (v. Gauss)

✓ $E4\pi r^2 = q/\epsilon_0 \Rightarrow$

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

☞ $F = Eq_2 \Rightarrow$

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

**Gauss \Rightarrow
Coulomb**

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ v. GAUSS



Υπολογισμός E (σφαιρική κατανομή φορτίου)

✓ Σφαιρική συμμετρία

$$\Phi_{ολ} = \sum E_i \Delta S_i \cos \varphi_i = \sum E_i \Delta S_i = E \sum \Delta S_i = ES$$

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

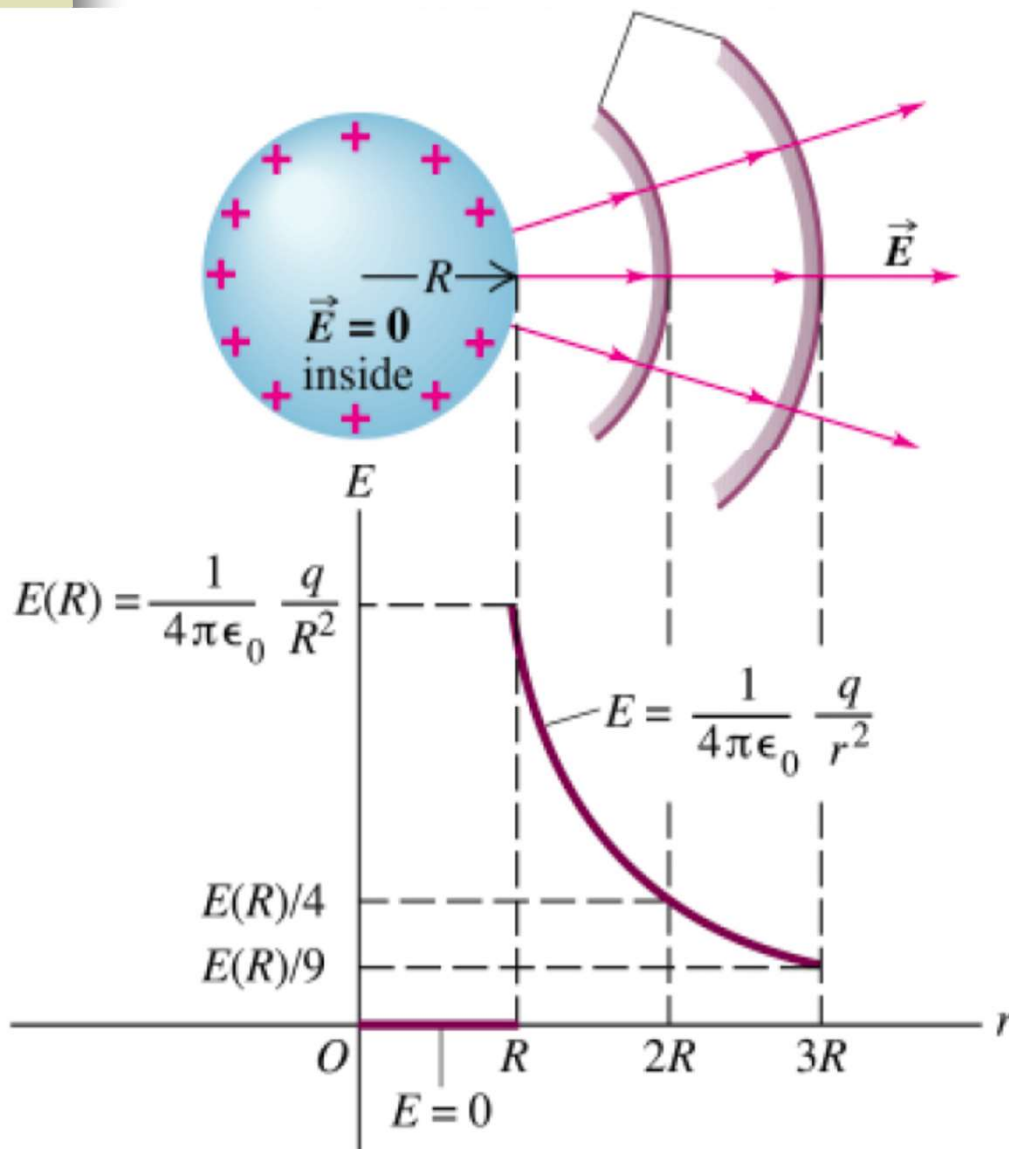
✓ $\Phi = \sum q/\epsilon_0$ (v. Gauss)

✓ $E4\pi r^2 = q/\epsilon_0 \Rightarrow$

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

✓ $\sigma = q/S = q/4\pi R^2$
(επιφανειακή πυκνότητα)

✓ $E = \sigma/\epsilon_0$ (στην επιφάνεια)



ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ v. GAUSS



Υπολογισμός E (επίπεδη κατανομή φορτίου σ
άπειρης έκτασης) ✓

Κυλινδρική συμμετρία

$$\Phi_{ολ} = \sum E_i \Delta S_i \cos \varphi_i =$$

$$\sum E_i \Delta S_i = E \sum \Delta S_i = 2ES$$

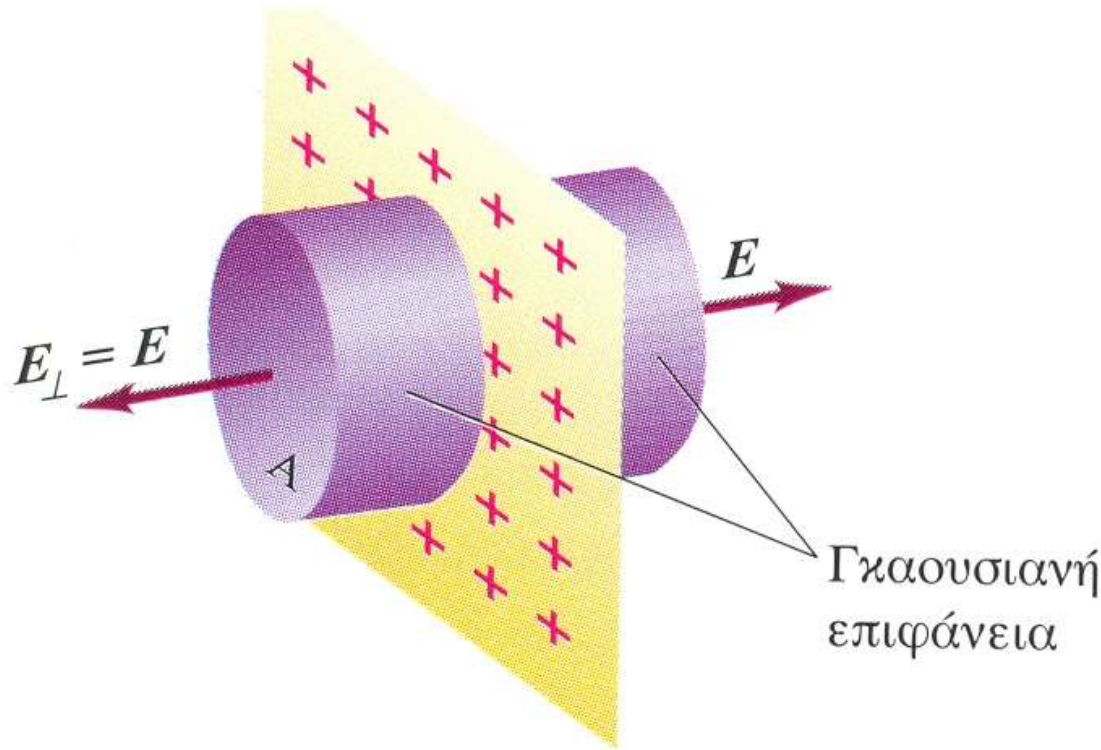
✓ $\Phi = \sum \Delta q / \epsilon_0 = q / \epsilon_0$ (Gauss)

✓ $2ES = q / \epsilon_0 \Rightarrow E = (q/S) (1/2\epsilon_0)$

$$E = \sigma / 2\epsilon_0$$

$$(K = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)$$

$$E = 2K\pi\sigma$$

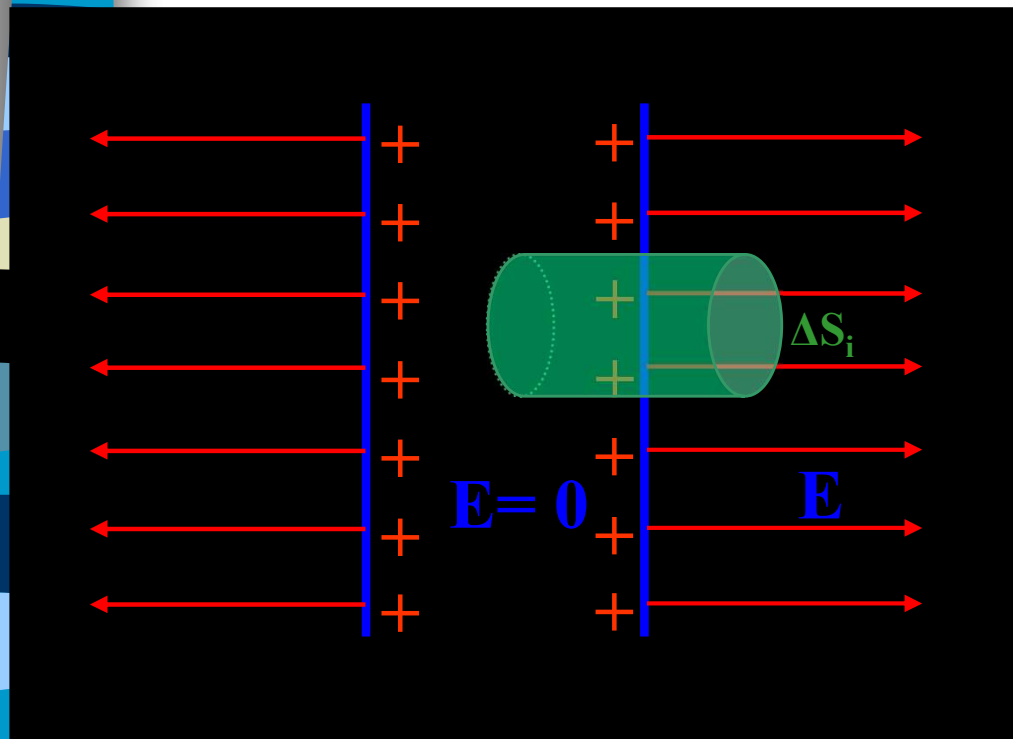


❖ $\sigma = 2 \text{ mC/m}^2 \Rightarrow E = \sigma / 2\epsilon_0 = (2 \times 10^{-3}) / (2 \times 8.85 \times 10^{-12}) = 1.1 \times 10^8 \text{ N/C}$
($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$)

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ v. GAUSS



Υπολογισμός E (επίπεδη φορτισμένη μεταλλική πλάκα άπειρης έκτασης, σ)



✓ Κυλινδρική συμμετρία

$$\Phi_{ολ} = \sum E_i \Delta S_i \cos \varphi_i =$$
$$\sum E_i \Delta S_i = E \sum \Delta S_i = ES$$

✓ $\Phi = \sum \Delta q / \epsilon_0 = q / \epsilon_0$ (Gauss)

✓ $ES = q / \epsilon_0 \Rightarrow E = (q/S) (1/\epsilon_0)$

$$E = \sigma / \epsilon_0$$

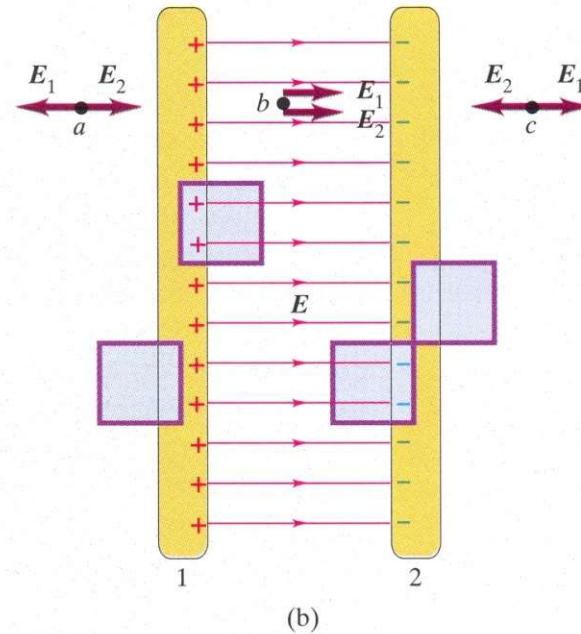
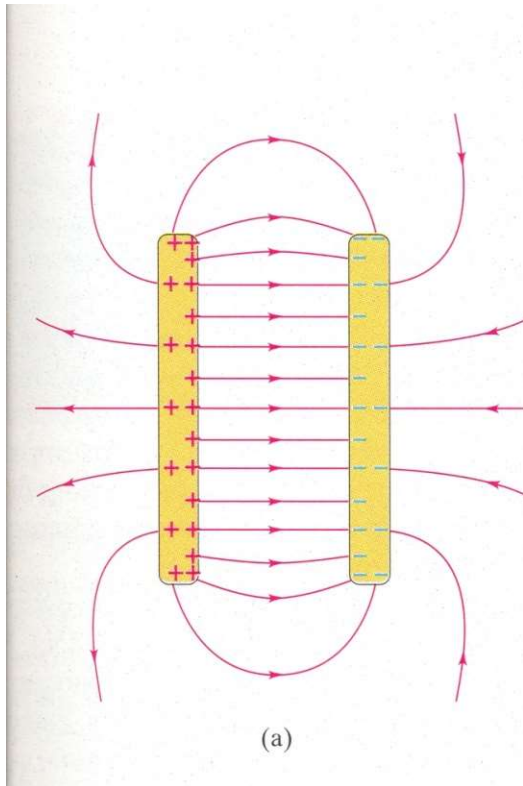
$$(K = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2})$$

$$E = 4K\pi\sigma$$

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ v. GAUSS



Υπολογισμός E (μεταξύ παράλληλων μεταλλικών πλακών αντίθετα φορισμένων, σ)



Εκτός των πλακών:

$$E_2 = -E_1 = \sigma/2\epsilon_0$$

$$E = E_1 + E_2 = 0$$

Εντός των πλακών:

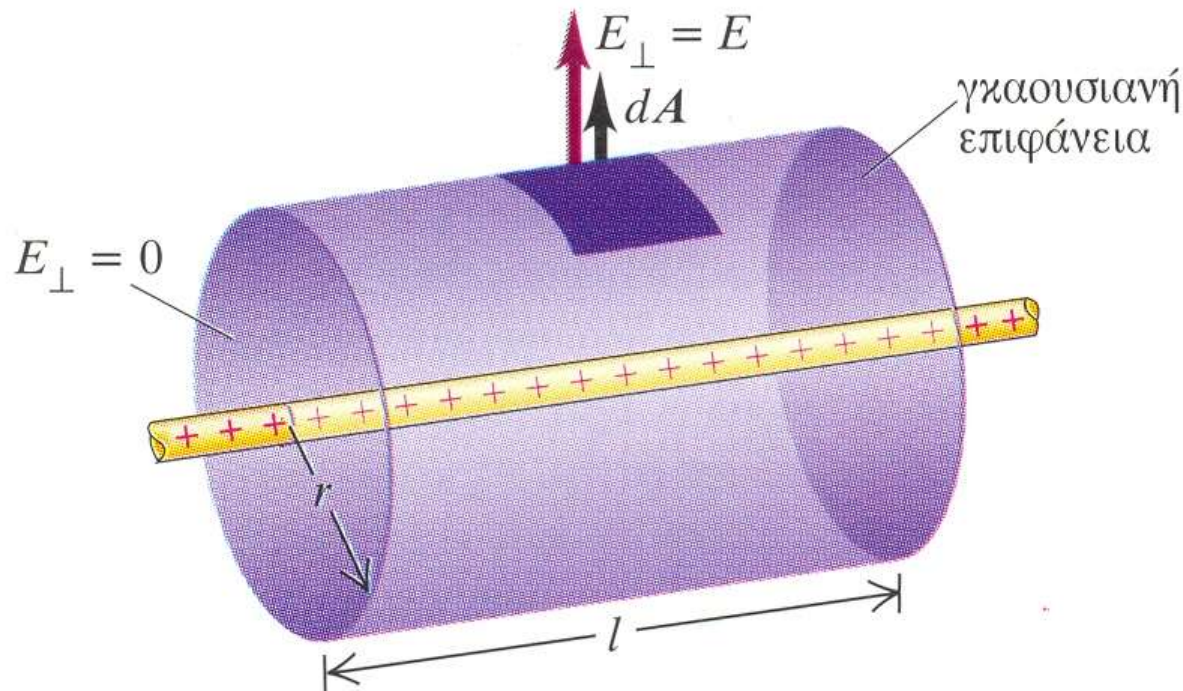
$$E = \sigma/2\epsilon_0 + \sigma/2\epsilon_0 = \sigma/\epsilon_0 \quad (E = \sigma/\epsilon_0)$$

(επίπεδος πυκνωτής)

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ v. GAUSS



Υπολογισμός E (γραμμική κατανομή φορτίου λ ,
άπειρης έκτασης)



Ηλεκτρική
ροή υπάρχει
μόνο μέσα
από την
παράπλευρη
επιφάνεια

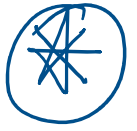


v. Gauss:

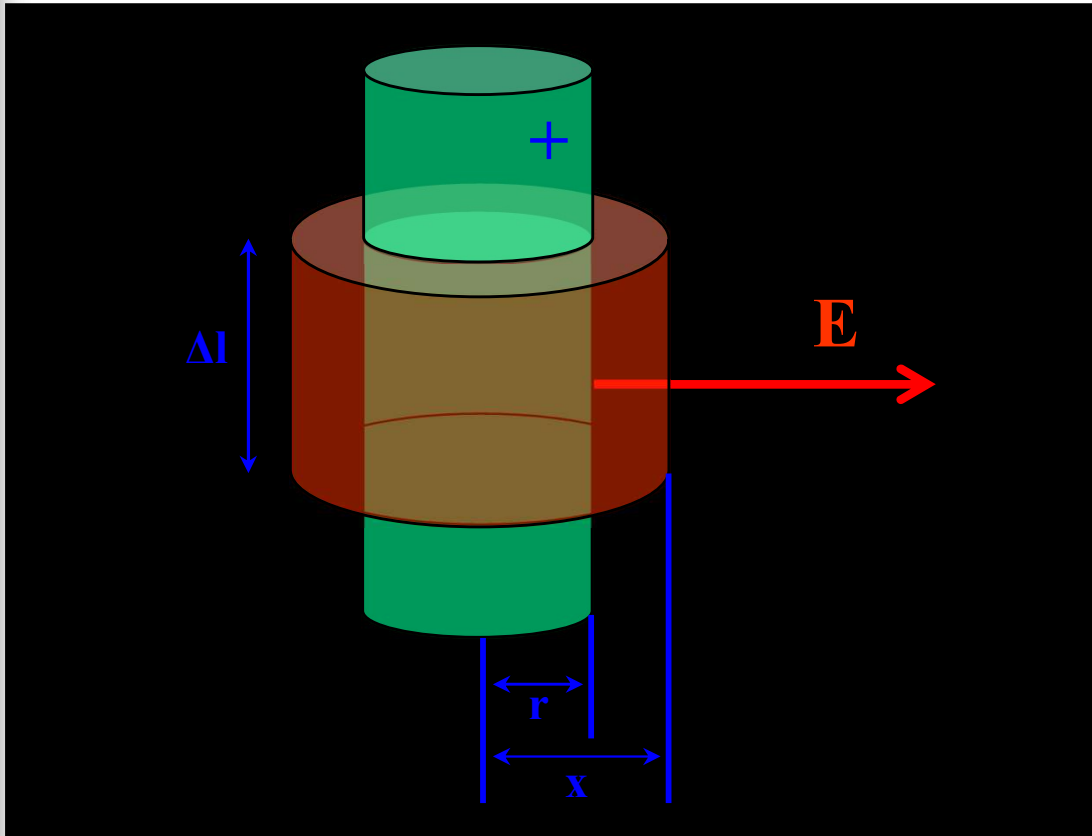
$$\Phi_{o\lambda} = \Sigma \Delta q / \epsilon_0 \Rightarrow \Sigma E_i \Delta S_i \cos \phi_i = \Sigma \Delta q / \epsilon_0 \Rightarrow E \Sigma \Delta S_i = \Sigma \Delta q / \epsilon_0$$

$$\Rightarrow E 2\pi r l = q / \epsilon_0 \Rightarrow E = (q/l) (1/2\pi r \epsilon_0) \Rightarrow E = \lambda / 2\pi \epsilon_0 r$$

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ v. GAUSS



Υπολογισμός E (κυλινδρική φορτισμένη επιφάνεια, σ ή λ)



Ηλεκτρική ροή υπάρχει μόνο μέσα από την παράπλευρη επιφάνεια

✓ v. Gauss:

$$\Phi_{\text{ολ}} = \Sigma \Delta q / \epsilon_0 \Rightarrow \Sigma E_i \Delta S_i \cos \varphi_i = \Sigma \Delta q / \epsilon_0 \Rightarrow E \Sigma \Delta S_i = \Sigma \Delta q / \epsilon_0$$

$$\Rightarrow E 2\pi x \Delta l = \sigma 2\pi r \Delta l / \epsilon_0 \Rightarrow E = \sigma r / \epsilon_0 x \quad \{ E 2\pi x \Delta l = \lambda \Delta l / \epsilon_0 \Rightarrow E = \lambda / 2\pi \epsilon_0 x \}$$

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ v. GAUSS



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

□ $\rho = Q/V, V = (4/3)\pi R^3$

✓ $\Phi_{ολ} = \sum E_i \Delta S_i \cos \phi_i =$
 $\sum E_i \Delta S_i = E \sum \Delta S_i = ES$

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

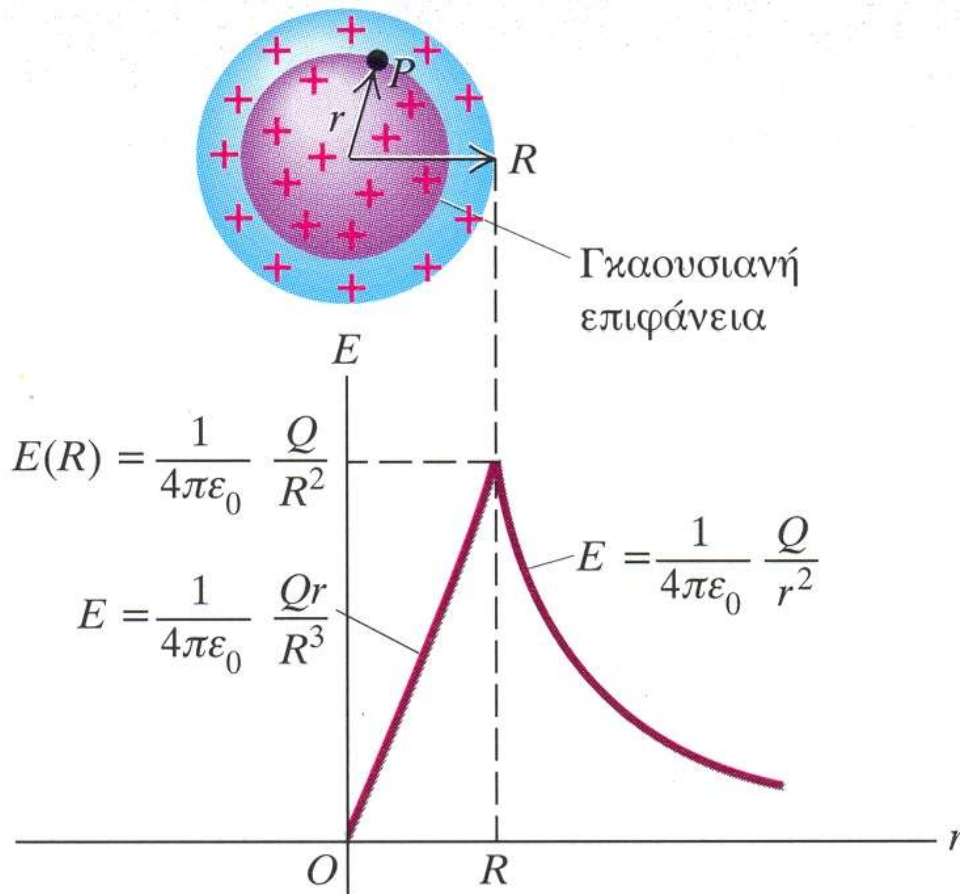
✓ $\Phi = Q/\epsilon_0$ (v. Gauss)

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

$Q_{\epsilon\xi} = Q$

✓ $E_{\epsilon\sigma} = (1/4\pi\epsilon_0)(Qr/R^3)$

✓ $E_{\epsilon\xi} = (1/4\pi\epsilon_0)(Q/r^2)$



📖 Αγωγοί σε ηλεκτρικό πεδίο - κίνηση ελευθέρων φορέων

➤ **Ηλεκτρική αγωγιμότητα:**
κίνηση ηλεκτρικών φορτίων

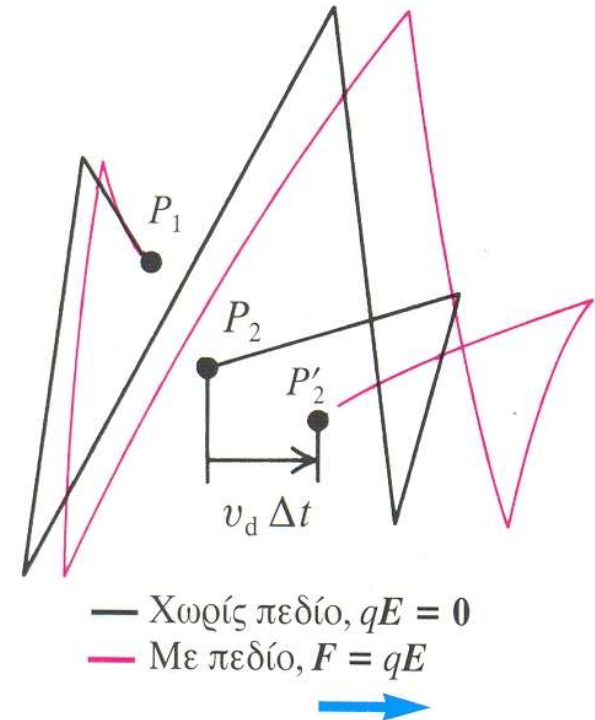
➤ **Ηλεκτρικό ρεύμα:**
ροή φορτίων λόγω παρουσίας
ηλεκτρικού πεδίου
(τυχαία κίνηση + ολίσθηση ή
μετάθεση, u_d)

➤ **Συνεχές ρεύμα (dc):**

Σταθερό πεδίο → σταθερή φορά και ροή του ρεύματος

➤ **Εναλλασσόμενο ρεύμα (ac)**

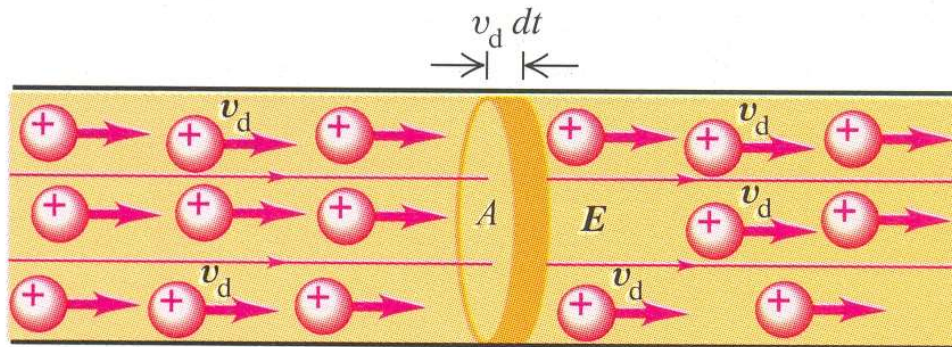
Περιοδικά μεταβαλλόμενο πεδίο



ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Ένταση του ρεύματος (μακροσκοπικό, βαθμωτό μέγεθος):

Ο ρυθμός μεταφοράς φορτίου μέσω της διατομής A

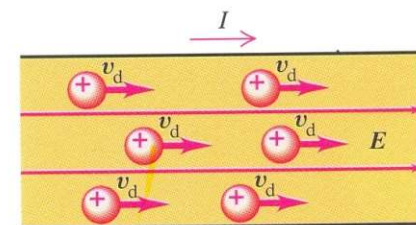


$$I = \frac{dQ}{dt}$$

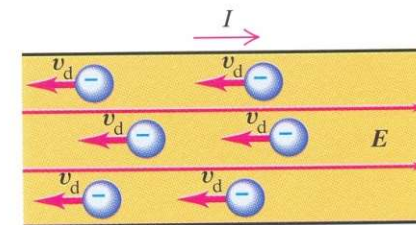
1 A = 1 C/s
(mA, μ A, nA, pA)

✓ Φορά του ρεύματος:

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



(a)



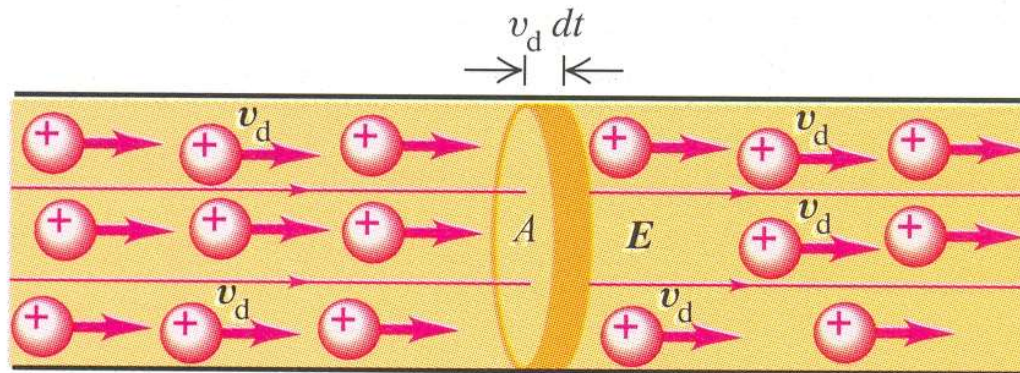
(b)

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

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

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:

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

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

$$J = nq u_d \Rightarrow u_d = J/(nq)$$
$$q = e^- = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$
$$u_d = 1.5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

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): $j \sim E \rightarrow j = \sigma E$ (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	Αργυρος	Καθαρός Άνθρακας	$3,5 \times 10^{-5}$
	Χαλκός	Καθαρό Γερμάνιο	0,60
	Χρυσός	Καθαρό Πυρίτιο	2300
	Αργίλιο	Μονοτές	
	Βολφράμιο	Ήλεκτρο	5×10^{14}
	Χάλυβας	Γυαλί	$10^{10} - 10^{14}$
	Μόλυβδος	Λουσίτης	$> 10^{13}$
	Υδράργυρος	Μίκα	$10^{11} - 10^{15}$
Κράματα	Μαγγανίνη (Cu 84, Mn 12, Ni 4)	Χαλαζίας (τετηγμένος)	75×10^{16}
	Κονσταντάνη (Cu 60, Ni 40)	Θείο	10^{15}
	Χρωμονικελίνη	Τεφλόν	$> 10^{13}$
		Ξύλο	$10^8 - 10^{11}$

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 $I = 1 \text{ A}$, $E = ?$

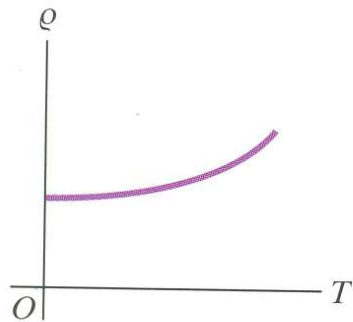
$$\rho = \frac{E}{j}$$

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

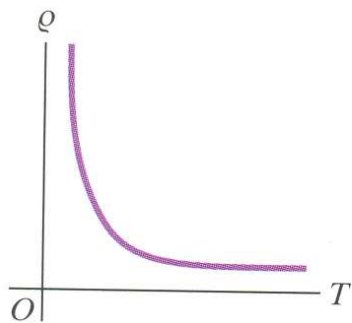
$$\begin{aligned} \rho &= 1.7 \times 10^{-6} \Omega \text{cm} = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{m} \\ A &= 2.09 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 = 2.09 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \\ (I &= 1 \text{ A}) \end{aligned}$$

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

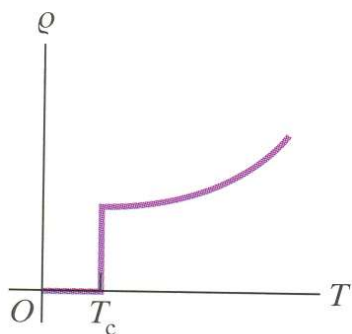
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ



(a) Μέταλλο



(b) Ημιαγωγός



(c) Υπεραγωγός

✓ Μεταλλικοί αγωγοί:

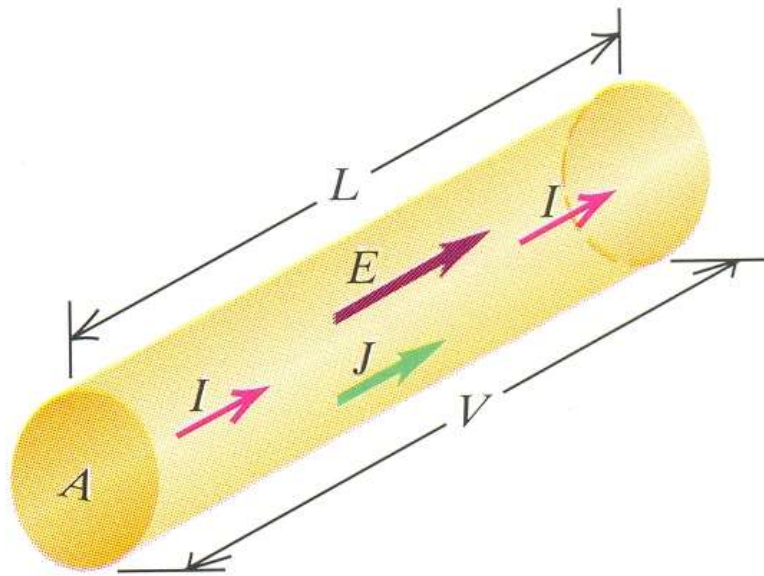
$$\rho_T = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)],$$

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:

$$j = \sigma E, \sigma = 1/\rho \quad \rho = \frac{E}{J}.$$

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

($E = V/L$)

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

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. $R(\text{R.T.}) = ? ; \{A = 8.2 \times 10^{-7} \text{ m}^2\}$

i. $R(0 \text{ } ^\circ\text{C}) = ? ; \quad R(100 \text{ } ^\circ\text{C}) = ? ; \quad \{R(20 \text{ } ^\circ\text{C}) = 1.05 \Omega\}$

i.

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

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

ii.

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

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

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

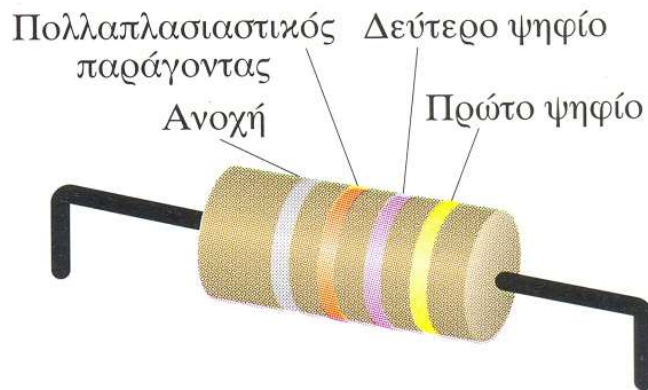
$$R(100 \text{ } ^\circ\text{C}) = R(20 \text{ } ^\circ\text{C}) [1 + \alpha(100 - 20)]$$

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

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.

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

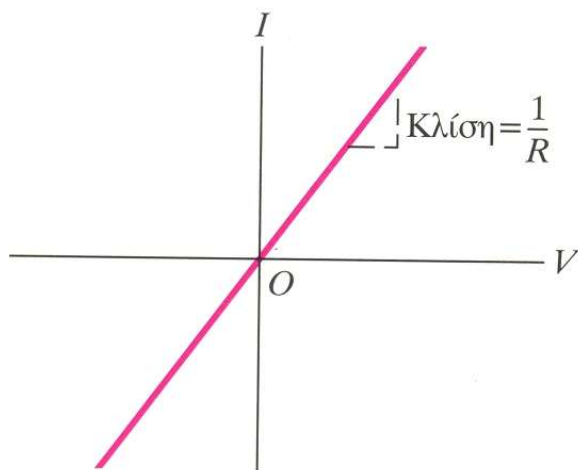
Η πυκνότητα ρεύματος είναι ανάλογη προς το ηλεκτρικό πεδίο (ο λόγος E/j είναι σταθερός και ανεξάρτητος της E)

B.

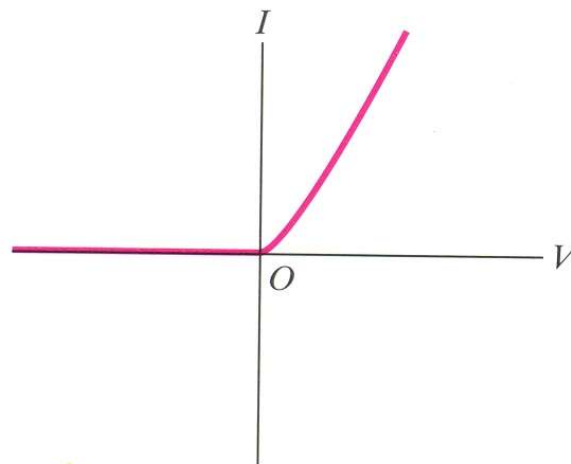
$$R = \frac{V}{I}$$

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)

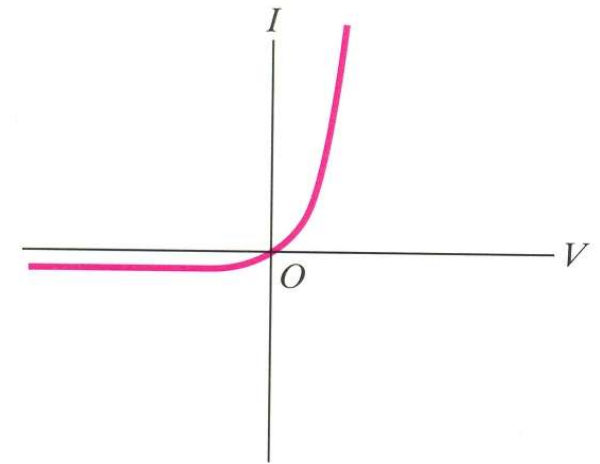
Ωμικά και μη ωμικά υλικά



αντιστάτης



δίοδος λυχνία



ημιαγωγός

ΗΛΕΚΤΡΕΓΕΡΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (ΗΕΔ)

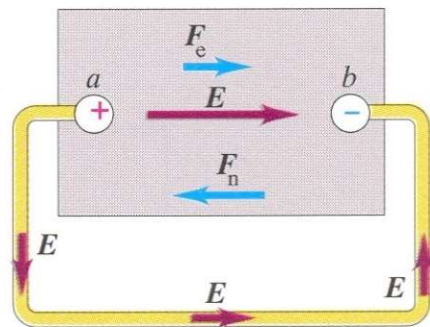
✓ Για να διαρρέεται ένας αγωγός από σταθερό ρεύμα θα πρέπει να αποτελεί τμήμα κλειστού βρόχου (πλήρες κύκλωμα)

✓ 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 ($r+R' \gg R$)}:

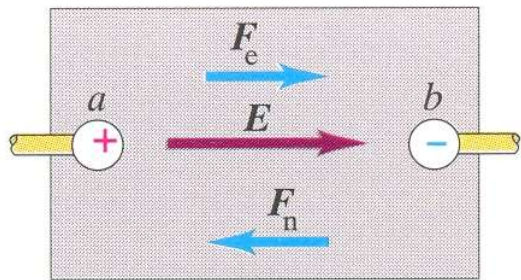
i. Ηλεκτρεγερτική δύναμη, \mathcal{E} ($1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$)

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)

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

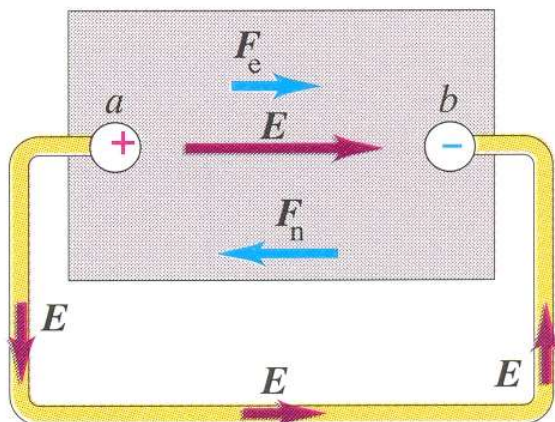


Δύναμη ηλεκτρικού πεδίου: $F_e = qE$

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



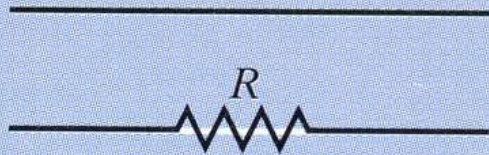
$$\mathcal{E} = V_{ab} = IR \quad (\text{ιδανική πηγή ΗΕΔ}).$$

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

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

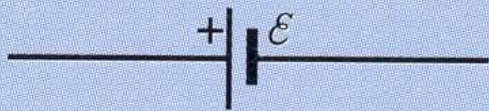
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

❖ Σύμβολα για διαγράμματα κυκλωμάτων:

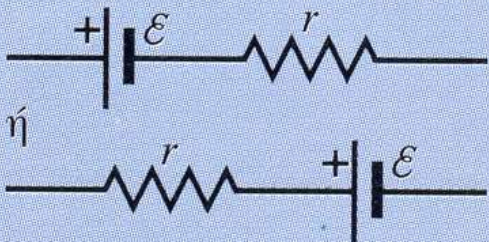


Αγωγός με αμελητέα ωμική αντίσταση

Αντιστάτης



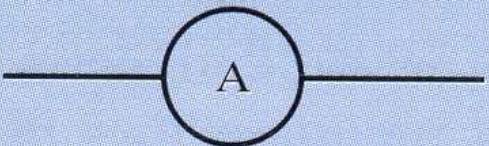
Πηγή ΗΕΔ (η μακρύτερη γραμμή είναι πάντοτε ο θετικός πόλος)



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



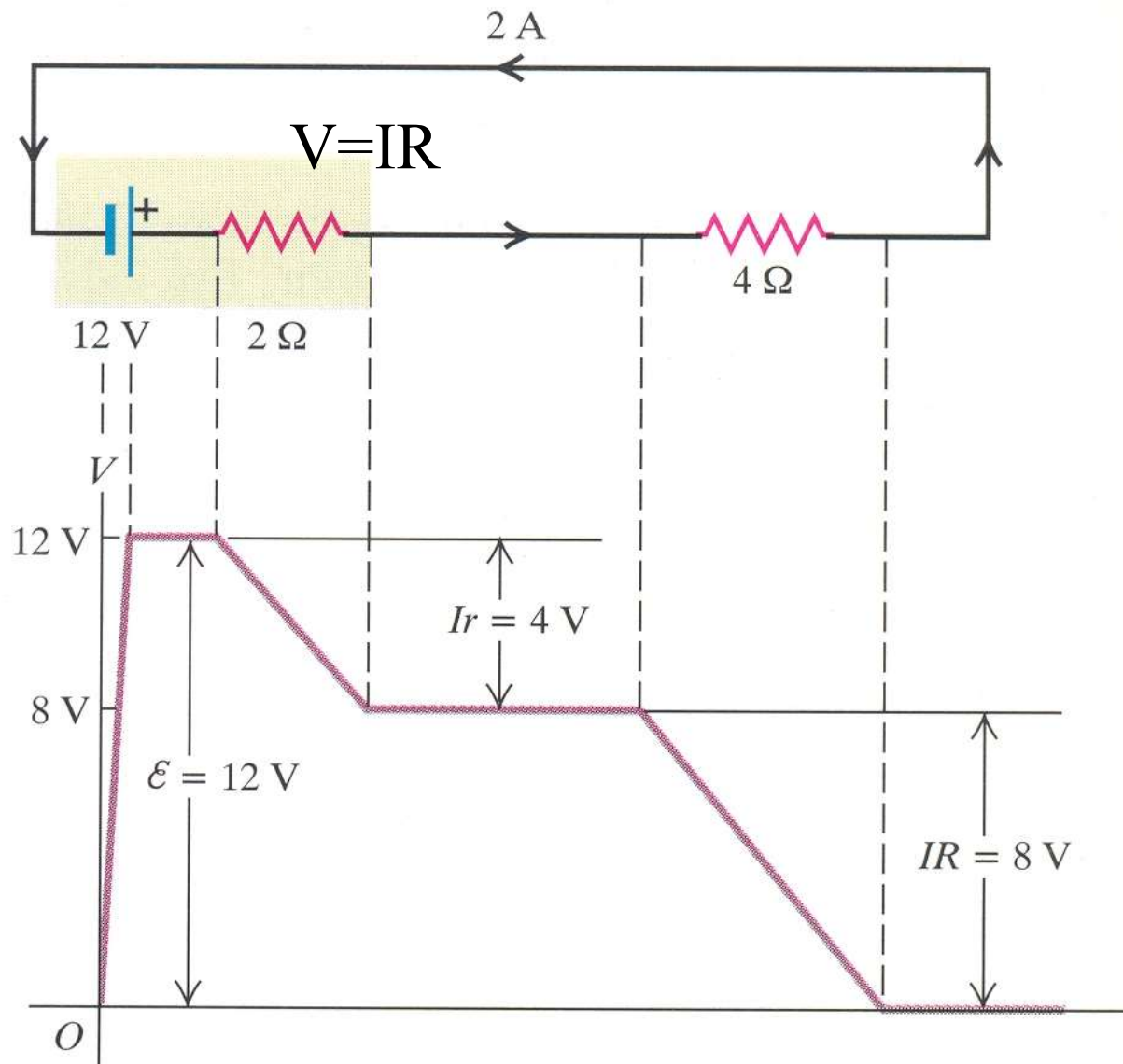
Βολτόμετρο (μετρά διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών του)



Αμπερόμετρο (μετρά ρεύμα που διέρχεται από αυτό)

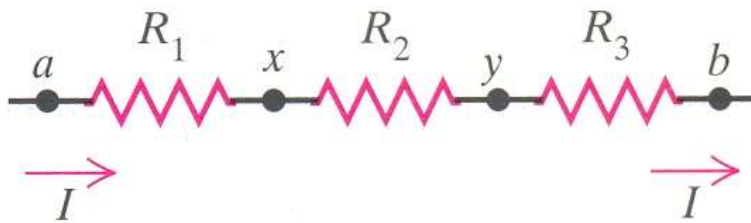
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑ

❖ Το δυναμικό σ' ένα κλειστό κύκλωμα αυξάνεται και μειώνεται



ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Σύνδεση σε σειρά



(a)

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

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

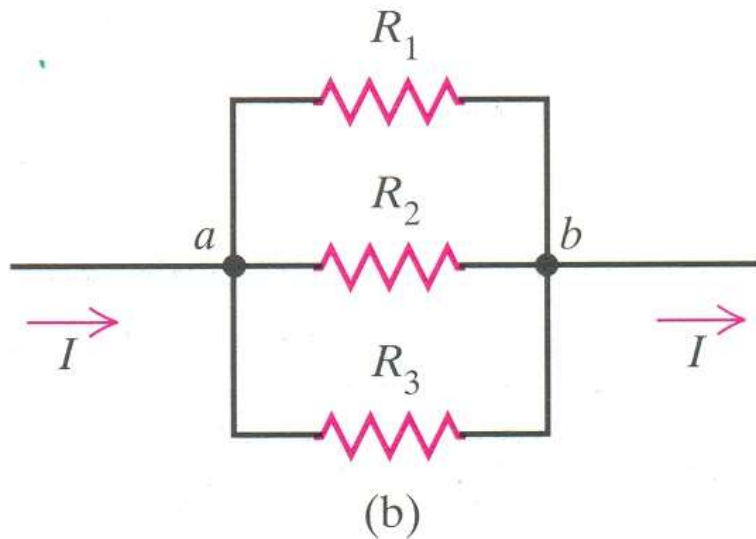
$$R_{ολ} = \frac{IR_1 + IR_2 + IR_3}{I} = R_1 + R_2 + R_3$$

✓ 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:

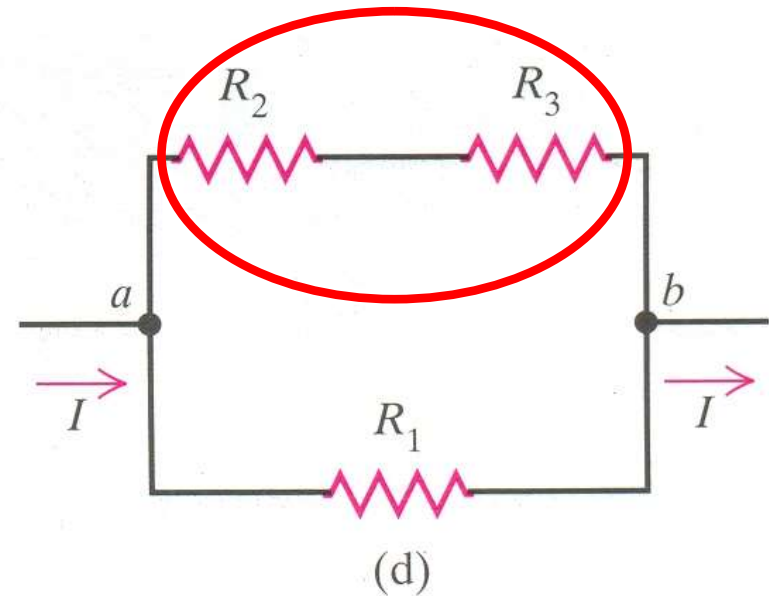
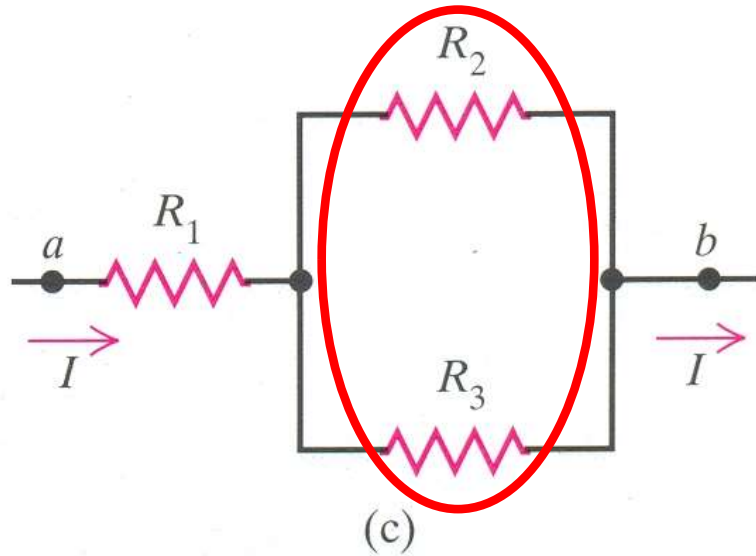
$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V_{ab}}{R_1} + \frac{V_{ab}}{R_2} + \frac{V_{ab}}{R_3} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow I = V_{ab} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

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

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

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Μεικτή σύνδεση



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

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

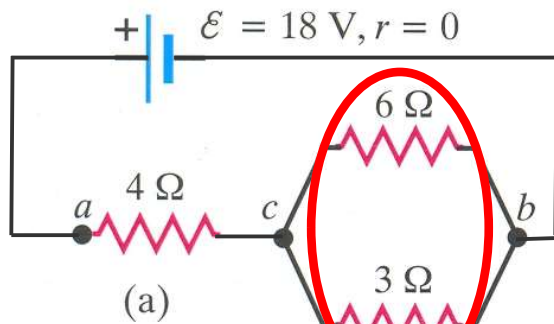
$$R_{23} = R_2 + R_3$$

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

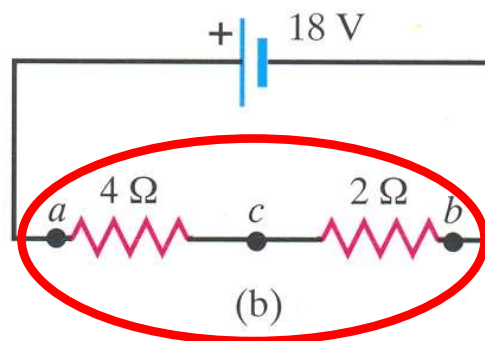
ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)



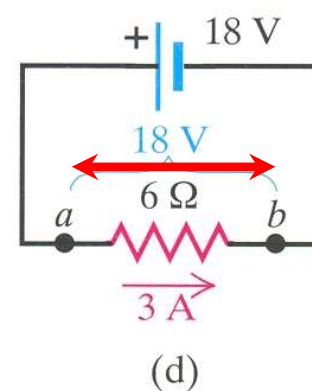
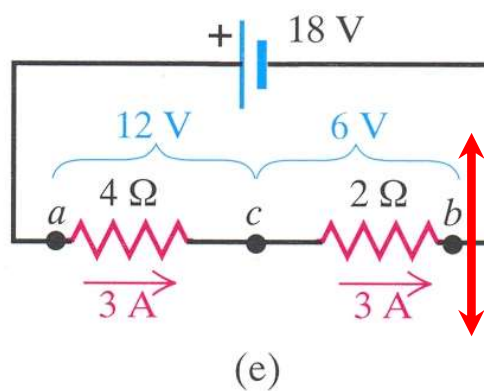
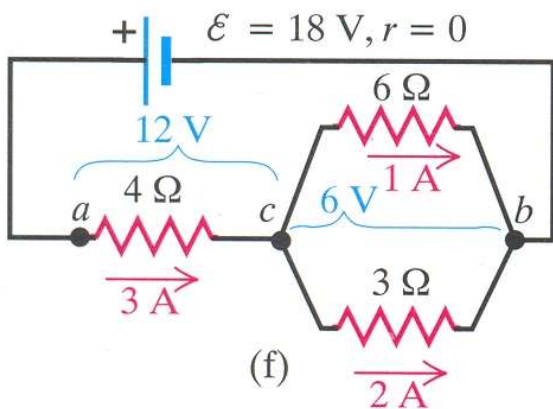
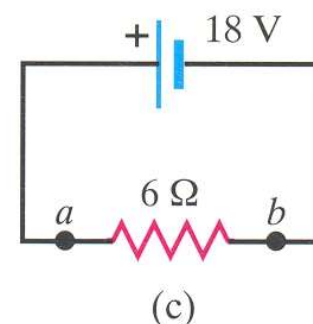
Υπολογισμός $R_{ολ}$ και I που διαρρέει κάθε αντίσταση



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



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



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

$$I = 3\text{ A}$$

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

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

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

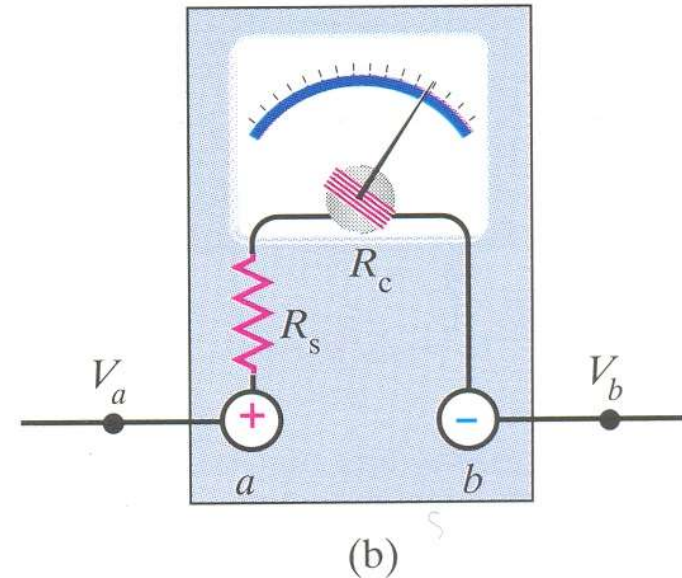
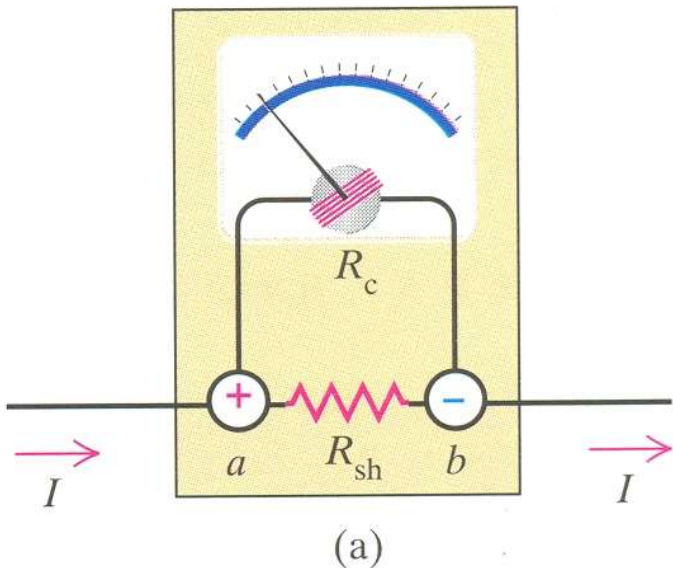
ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (1)



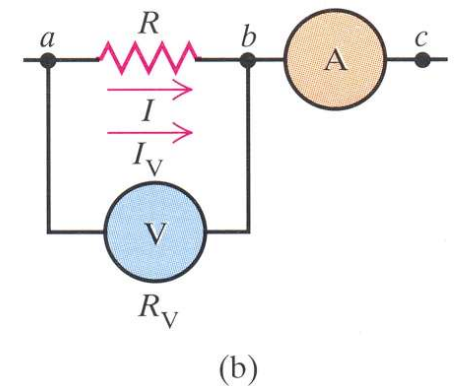
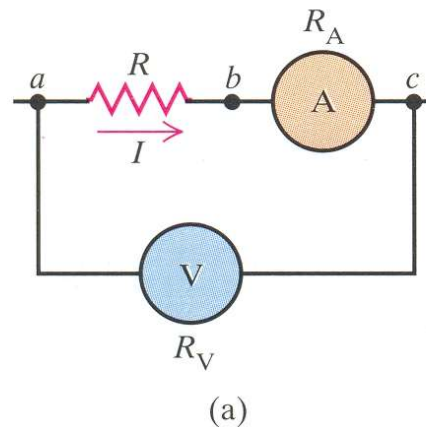
Αμπερόμετρο ($R_c \ll$)



Βολτόμετρο ($R_c \gg$)

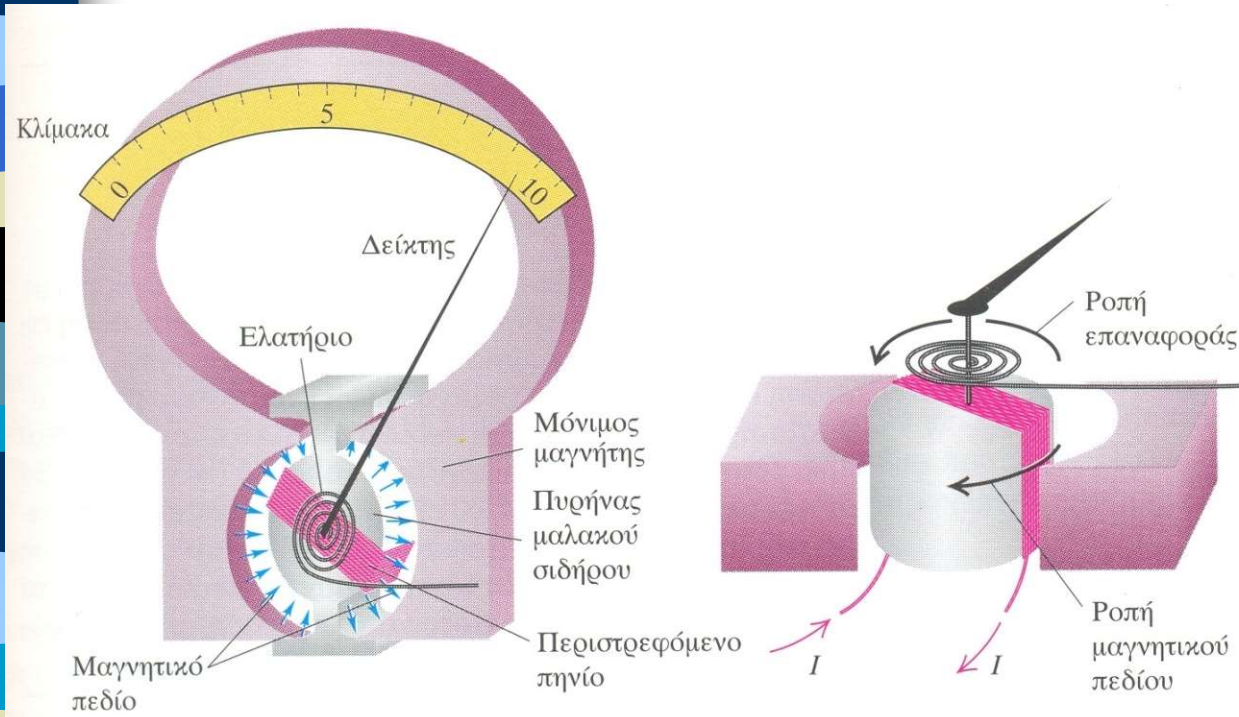


✓ Μέθοδος αμπερομέτρου - βολτομέτρου για τη μέτρηση αντίστασης

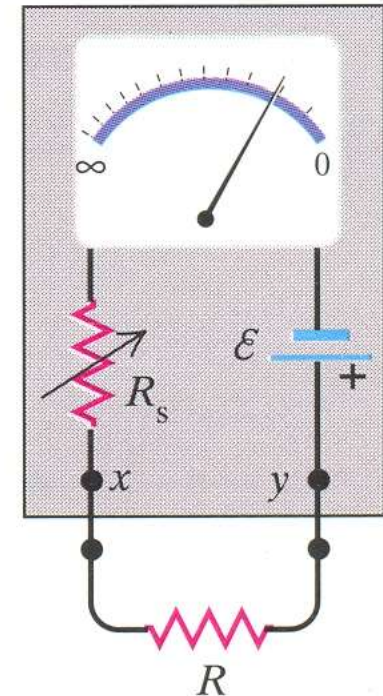


ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (2)

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



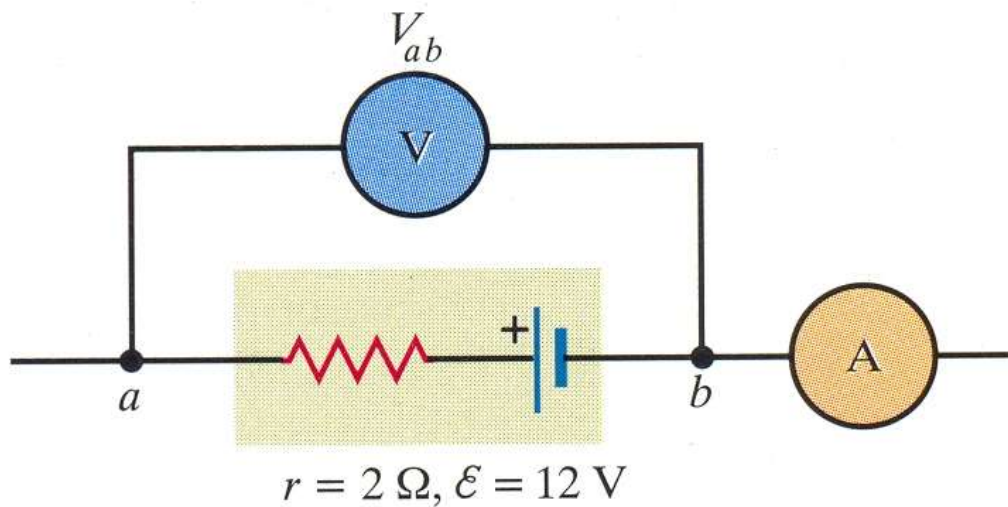
Ωμόμετρο



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

📄 Προσδιορισμός ενδείξεων των οργάνων V και A

1. Πηγή σε ανοικτό κύκλωμα



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

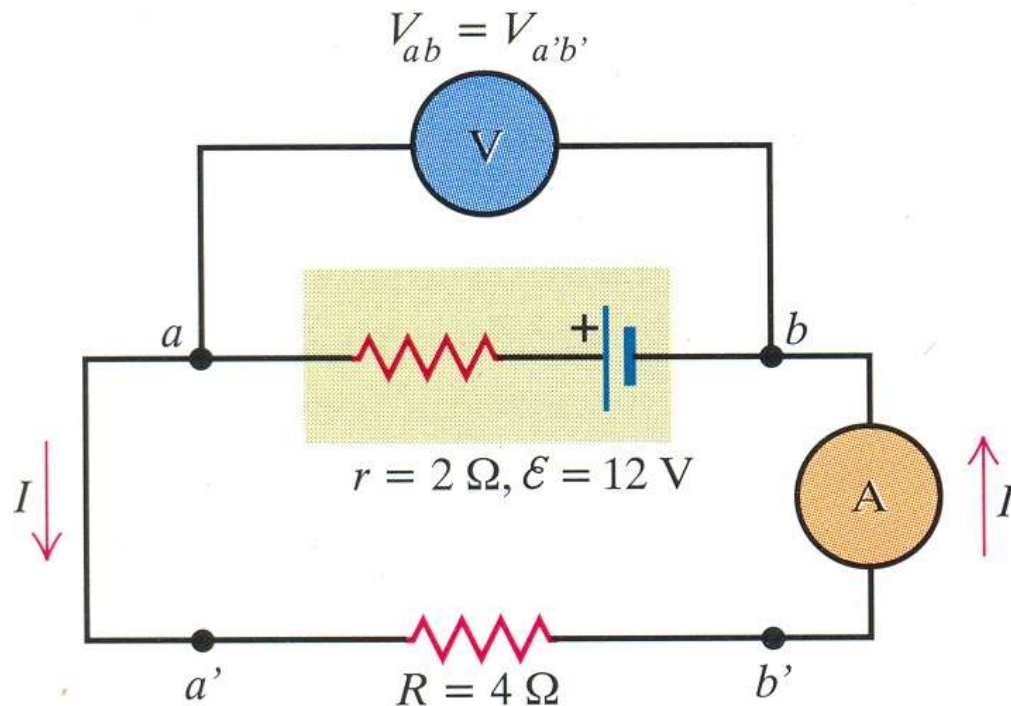
$$I = 0 \text{ A}$$

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

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

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

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

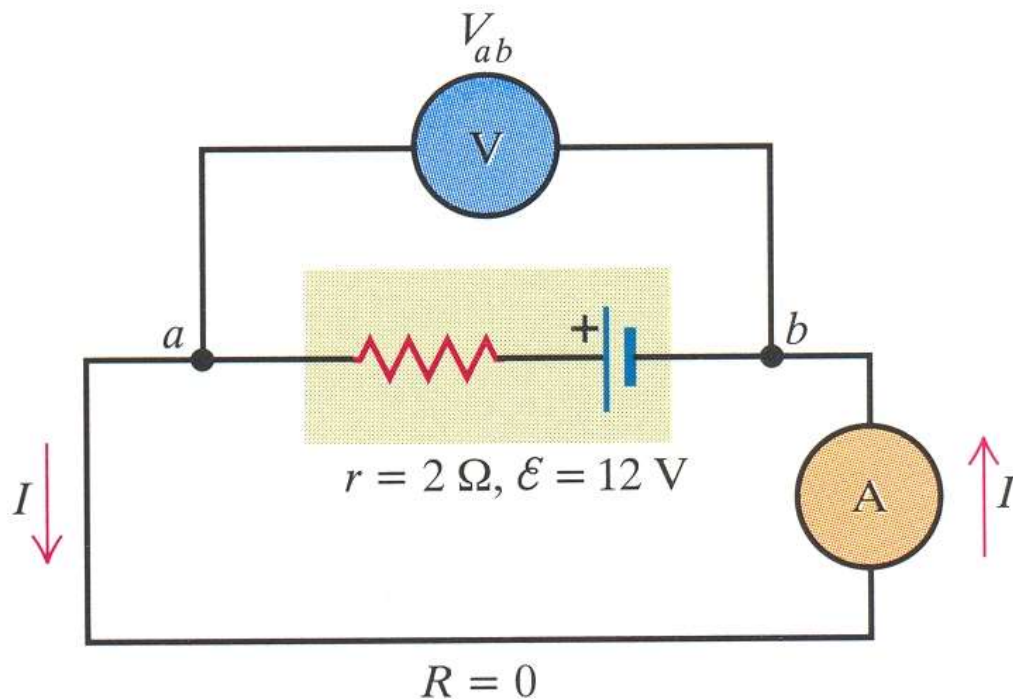
$$V_{a'b'} = IR = (2\text{ A})(4\ \Omega) = 8\text{ V}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Προσδιορισμός ενδείξεων των οργάνων V και A

3. Βραχυκυκλωμένη πηγή



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

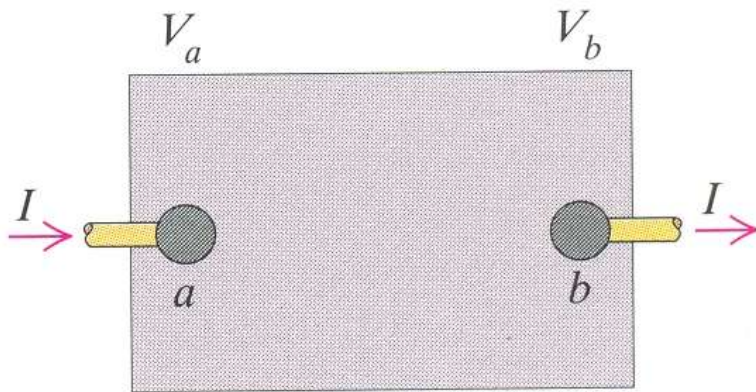
$$V = V_{ab} = 0 \text{ V} \quad (R = 0)$$

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

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

$$V = IR.$$

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

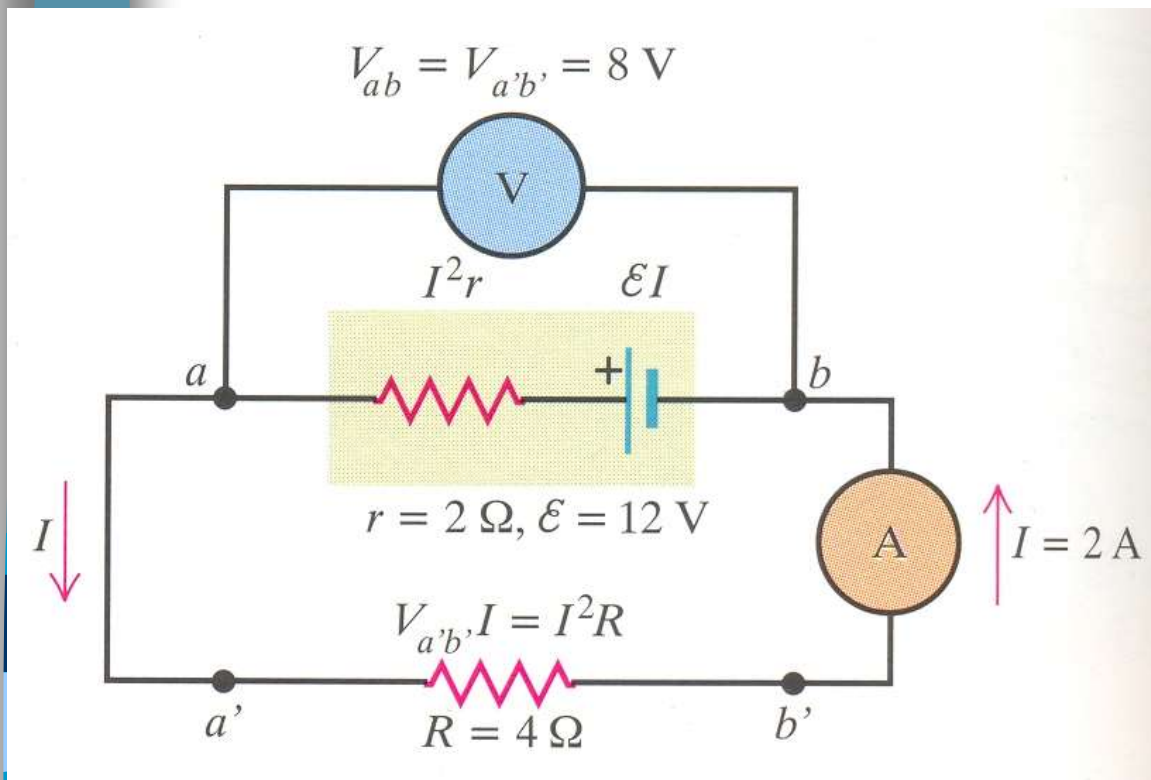
 Θερμότητα που εκλύεται (ταλαντώσεις ιόντων): $Q = I^2 R t$ (νόμος του Joule)

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):

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

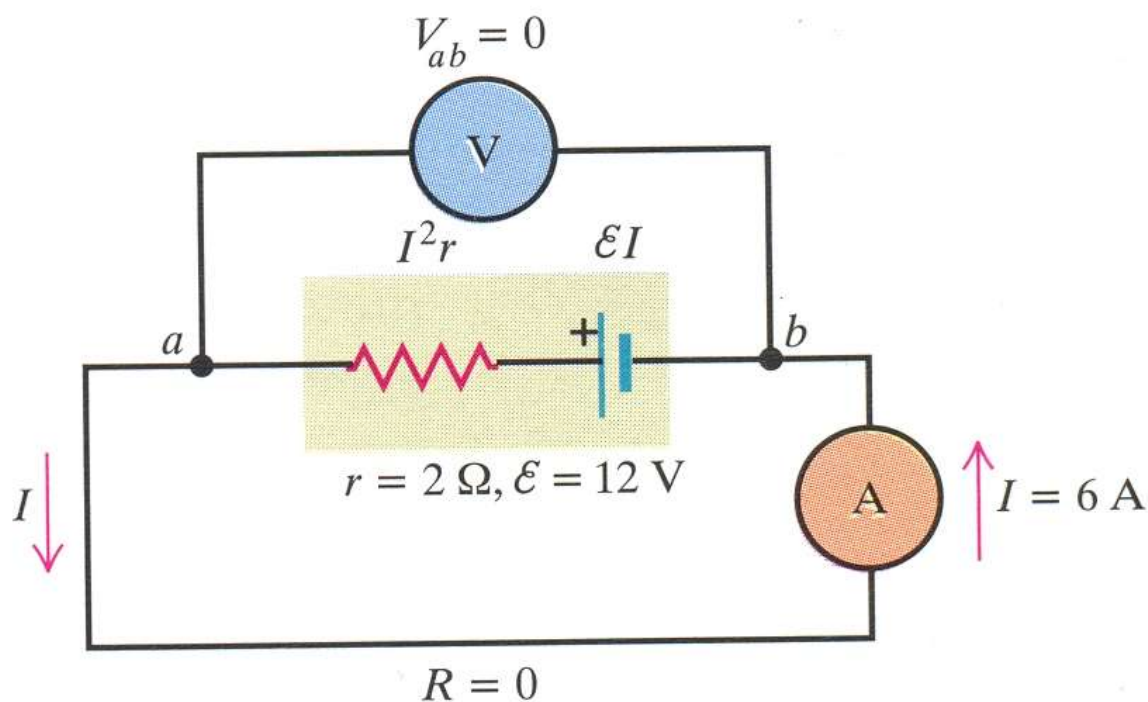
$$P_{\mathcal{E}} = P_r + P_R$$

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}):

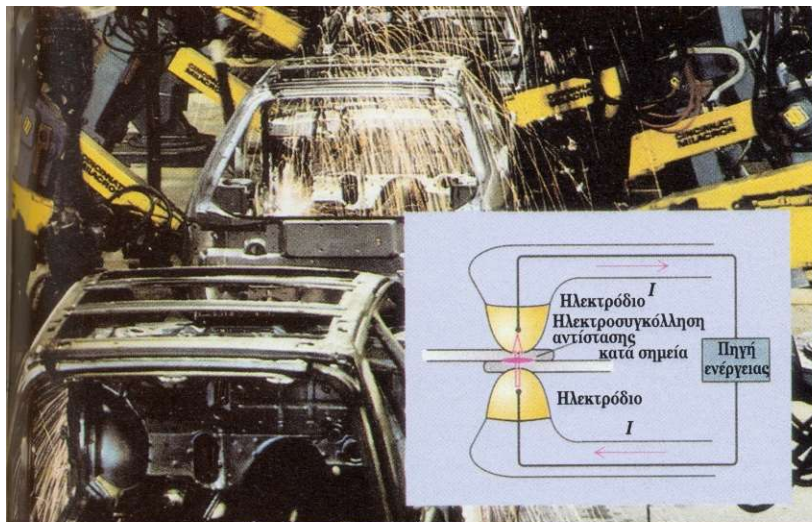
$$P_r = I^2 r = (6 \text{ A})^2 (2 \Omega) = 72 \text{ W}$$

Κατανάλωση ισχύος (R):

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

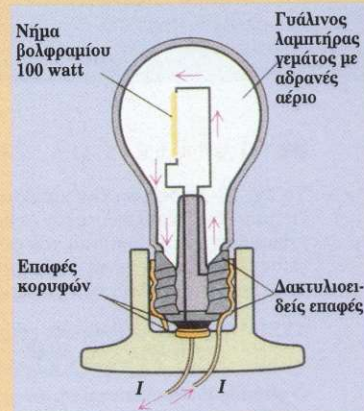
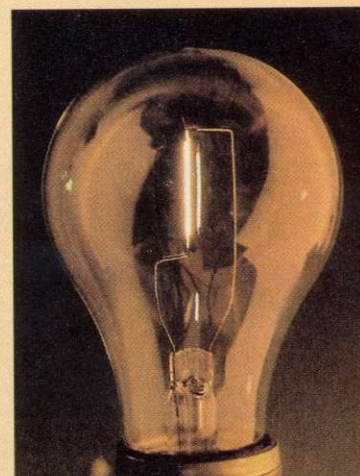
❖ Ολόκληρη η χημική ενέργεια της πηγής καταναλίσκεται στο εσωτερικό της (καταστροφή ή ακόμη και έκρηξη μπαταριών)

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.

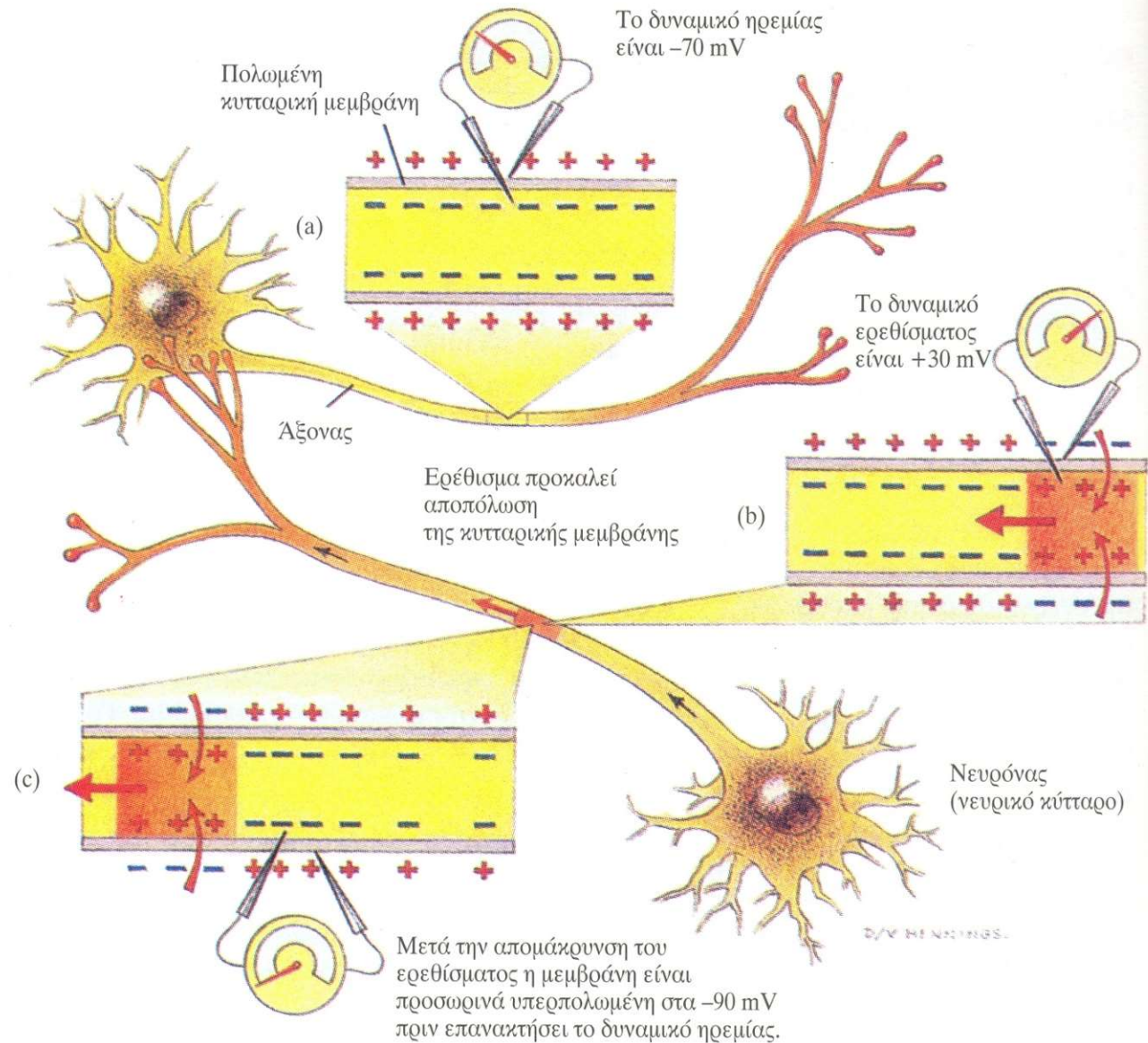
Αντιστάτες χρησιμοποιούνται συχνά σαν πηγές θερμότητας. Το θερμαντικό στοιχείο σε μία ηλεκτρική εστία μπορεί να έχει μία αντίσταση 29 Ω για μία οικιακή τάση 240 V και να φθάσει μία θερμοκρασία 420 °C.



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.

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.



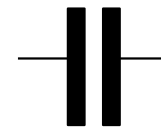
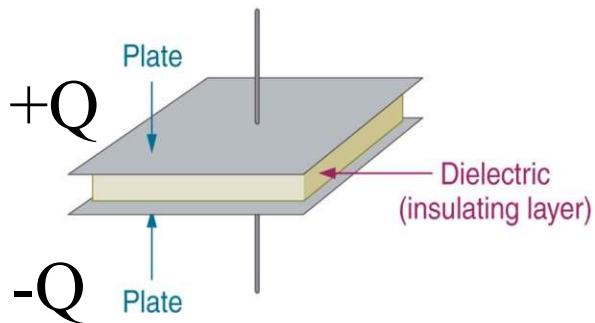
- i. Εγκαύματα από θέρμανση (I^2R)
- ii. 0.1 A: Παρέμβαση στις νευρικές δράσεις (καρδιακή λειτουργία)
- iii. 0.01 A: Ισχυρές μυϊκές συσπάσεις (πόνος)
- iv. 0.02 A: Ηλεκτροπληξία

ΠΥΚΝΩΤΕΣ – αποθήκες ενέργειας

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

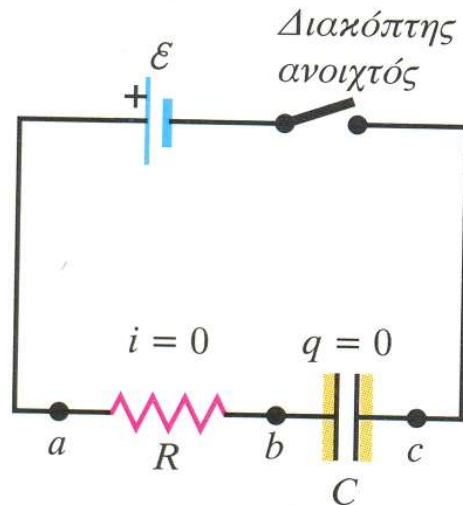
C ανάλογη το φορτίου και αντιστρόφως ανάλογη της διαφοράς δυναμικού

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

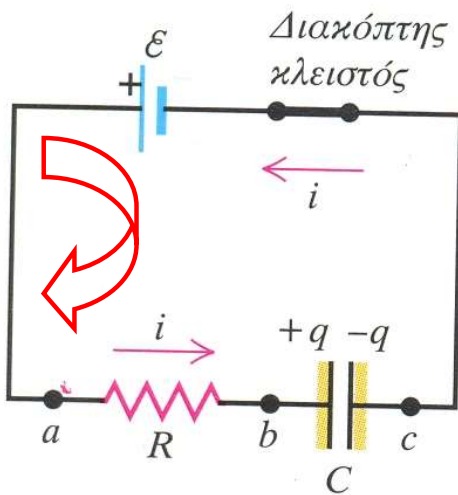


συμβολισμός

ΚΥΚΛΩΜΑ RC, ΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ



(a)



(b)

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

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

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

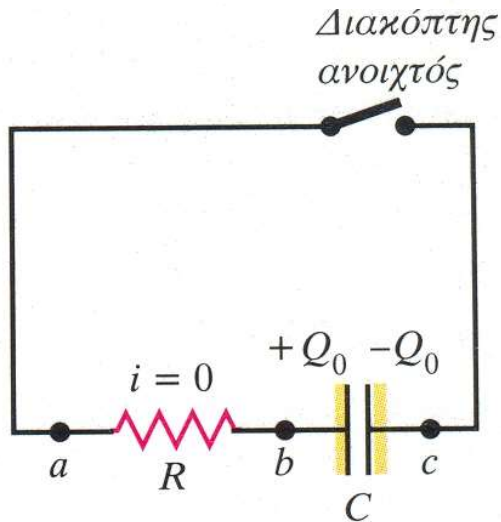
$$V_c = \frac{Q}{C} = \mathcal{E}(1 - e^{-t/RC})$$

Σταθερά χρόνου του κυκλώματος

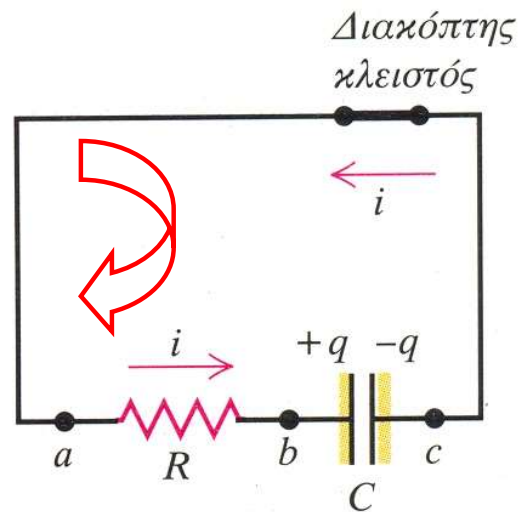
$$\tau = RC.$$

$$V_c = 63.2\% \mathcal{E}$$

ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ



(a)



(b)

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

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

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

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

$$\tau = RC.$$

$$V_C = 36.8\% \epsilon$$

Ηλεκτρική ενέργεια

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

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

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

ΦΟΡΤΙΣΗ - ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ)

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

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

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

$$\tau = RC.$$

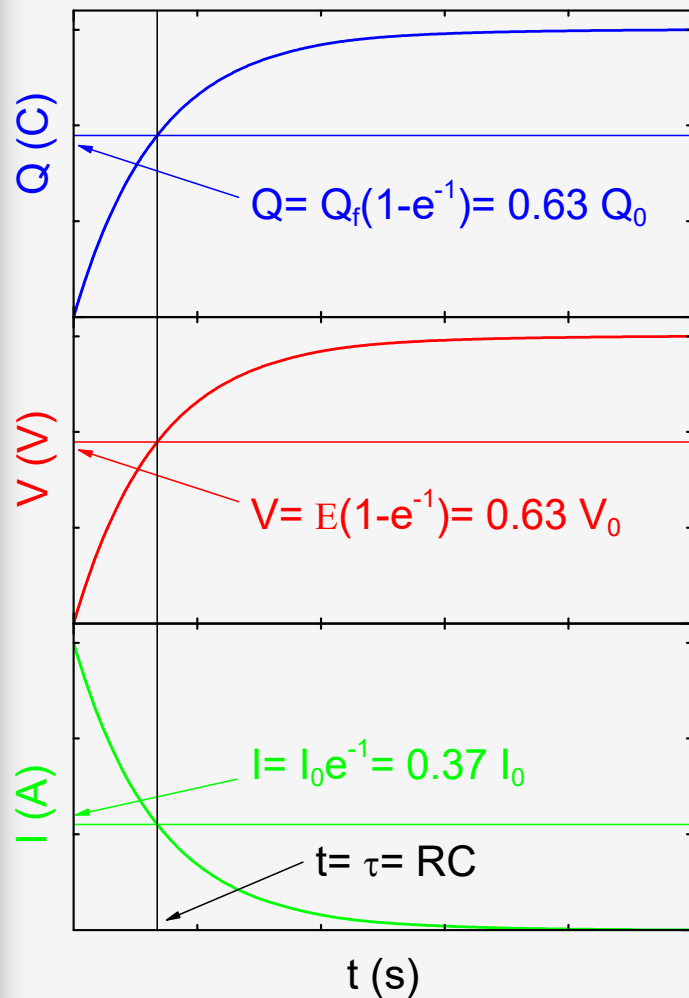
$$Q = Q_0 e^{-t/RC}$$

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

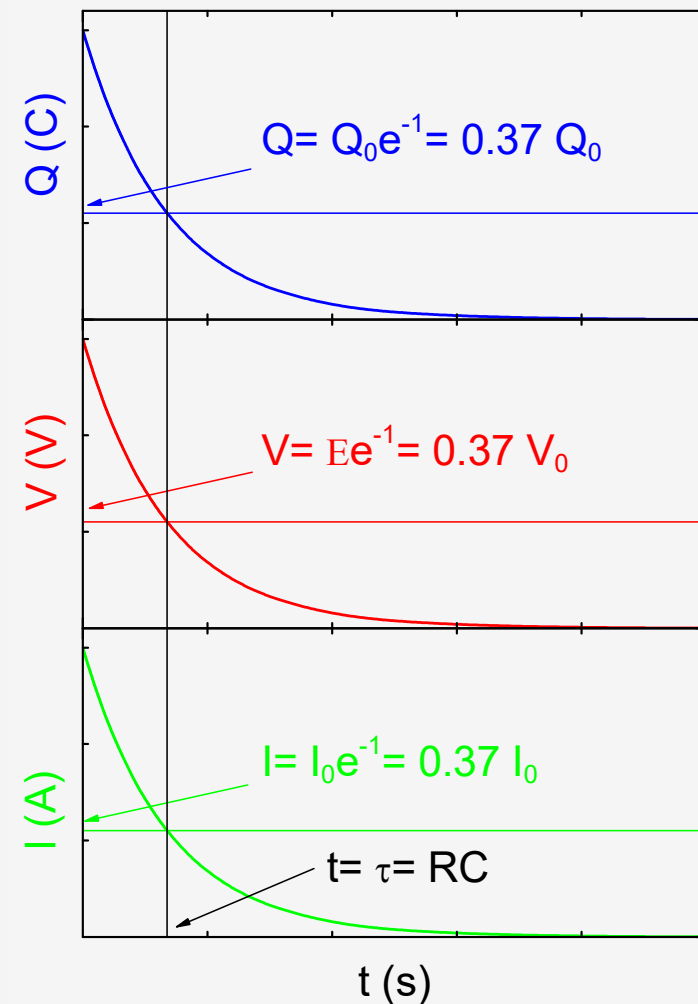
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC}$$



Φόρτιση πυκνωτή



Εκφόρτιση πυκνωτή



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 ($90\%Q_f = 0.9Q_f$)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Μαγνητικό πεδίο

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

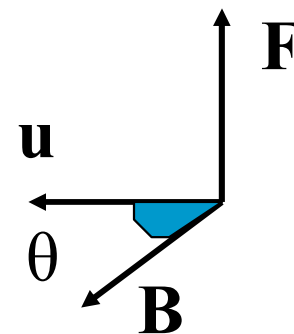
Στο χώρο ενός μαγνητικού πεδίου ασκείται δύναμη σε οποιοδήποτε φορτίο κινείται μέσα σε αυτόν. Το μαγνητικό πεδίο περιγράφεται από την αντίστοιχη ένταση μαγνητικού πεδίου που ονομάζεται μαγνητική επαγωγή **B**.

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

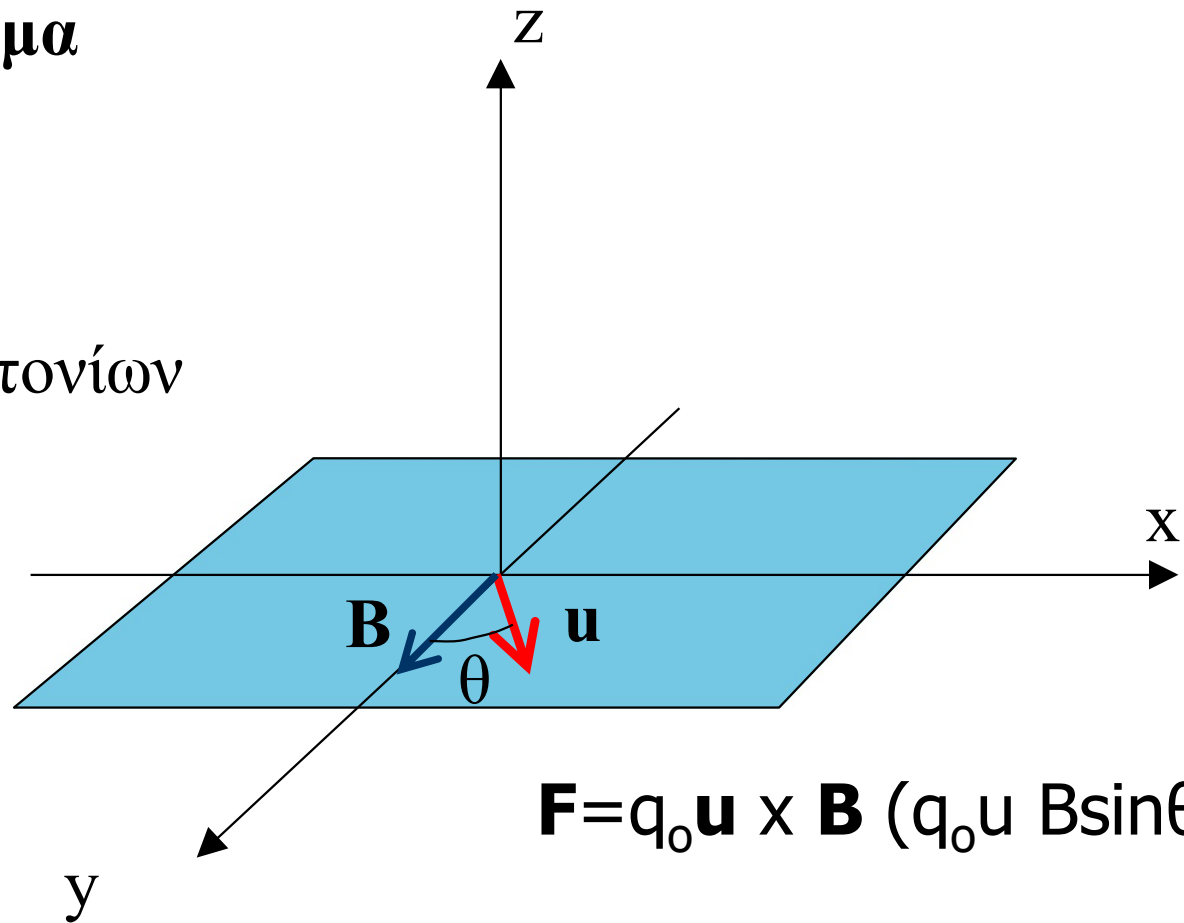
$$B=2\text{T}$$

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

$$\theta=30^\circ$$

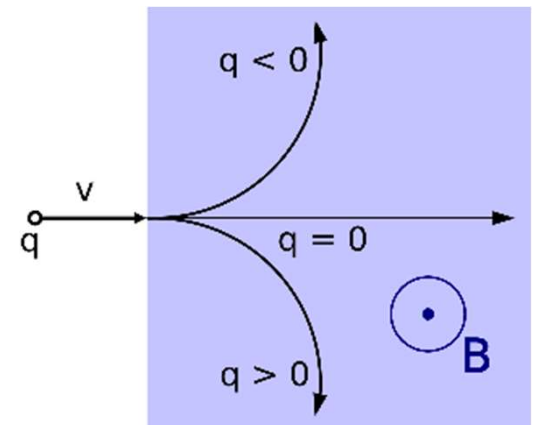
Δέσμη πρωτονίων

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



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

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



Μαγνητική δύναμη σε ρευματοφόρο αγωγό

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

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

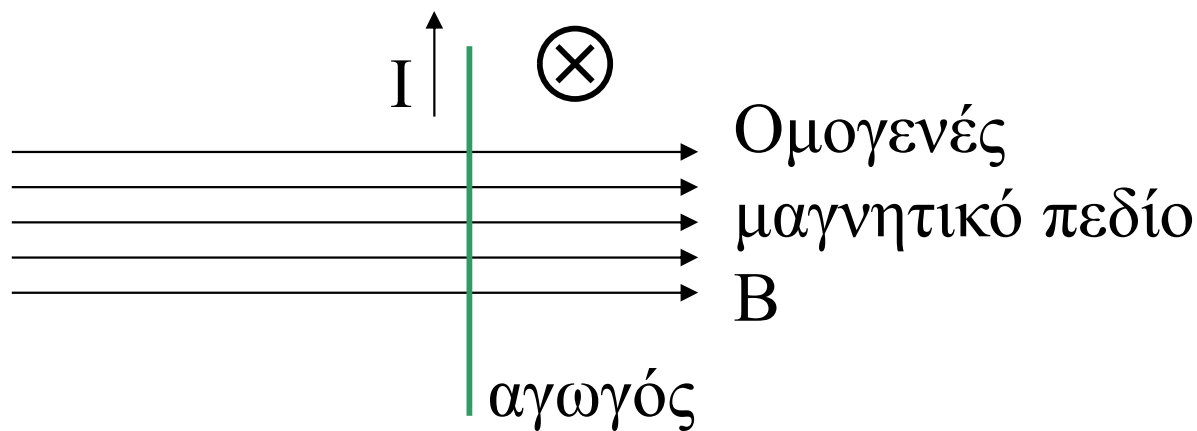
I το μήκος του αγωγού

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} .

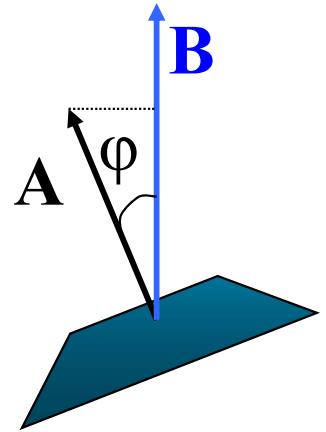
$$\Phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} = BA \cos \varphi$$

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

*** βαθμωτό μέγεθος, ενδέχεται να έχει αρνητικές τιμές

Μονάδες

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

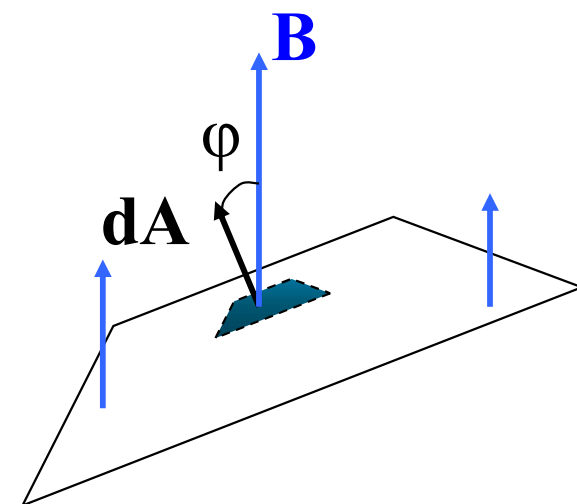


Σε περίπτωση που το πεδίο B δεν είναι ομογενές, χωρίζουμε την επιφάνεια σε στοιχειώδη τμήματα $d\mathbf{A}$ σε καθένα από τα οποία θεωρούμε πως το \mathbf{B} είναι ομογενές. Η στοιχειώδης ροή γράφεται:

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

Και η συνολική ροή από την επιφάνεια ορίζεται ως ολοκλήρωμα:

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



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

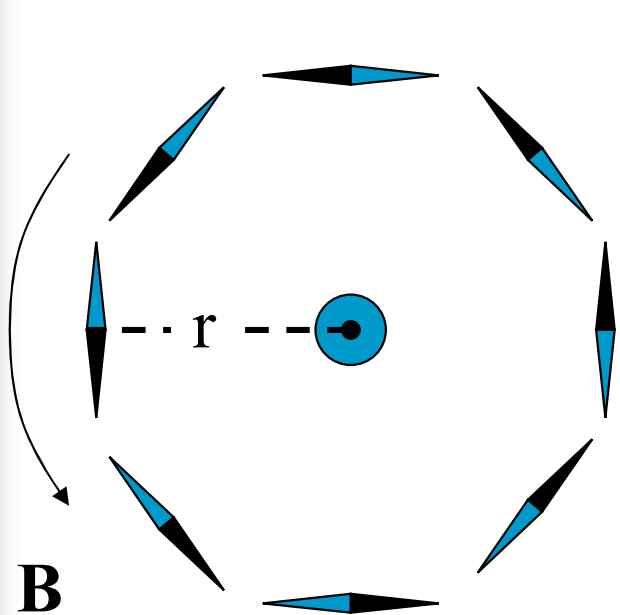
$$\Phi_B = 0$$

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;

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

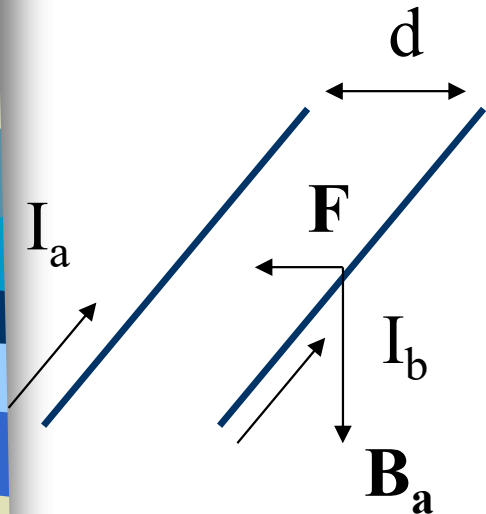
Ευθύγραμμος
ρευματοφόρος
αγωγός

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

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

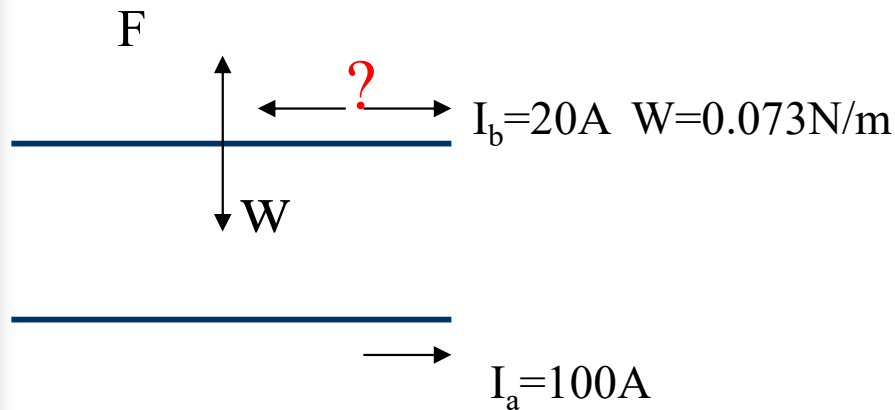
Δύναμη μεταξύ δύο αγωγών



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

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

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;



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

Απ. 5.5mm

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

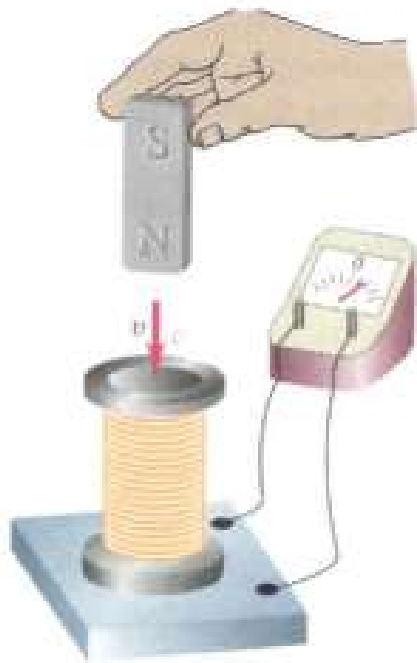
ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

Επαγωγικό ρεύμα και επαγόμενη ΗΕΔ

(α)

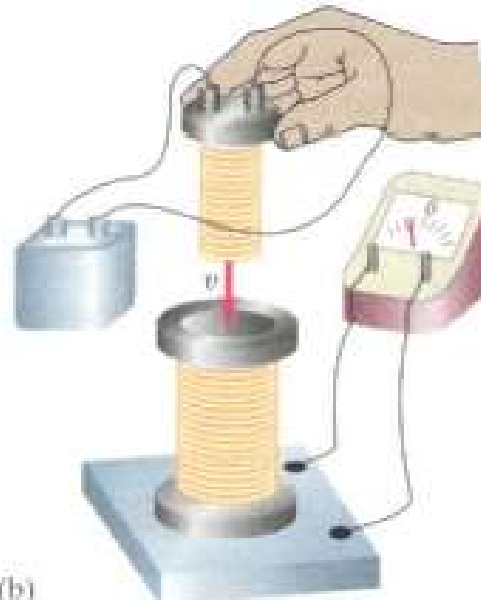
Κίνηση μαγνήτη



(a)

(β)

Κίνηση πηνίου που
διαρρέεται από ρεύμα



(b)

(γ)

Μεταβολή ρεύματος
στο πηνίο

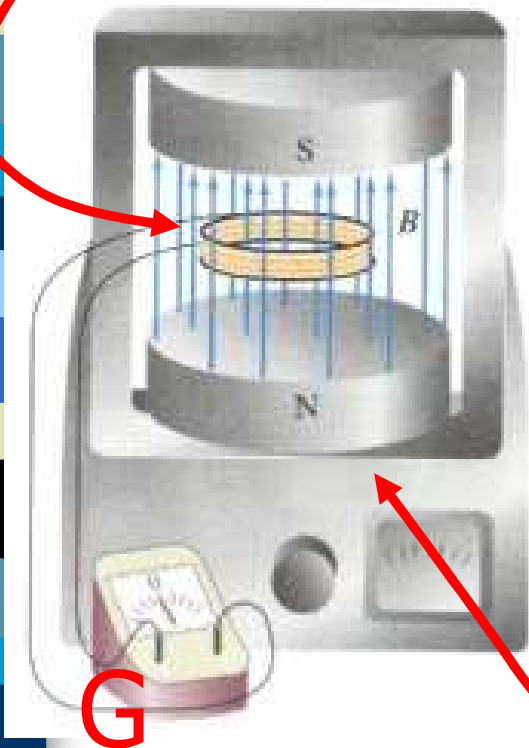


(c)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

πηνίο



ΗΜΓ

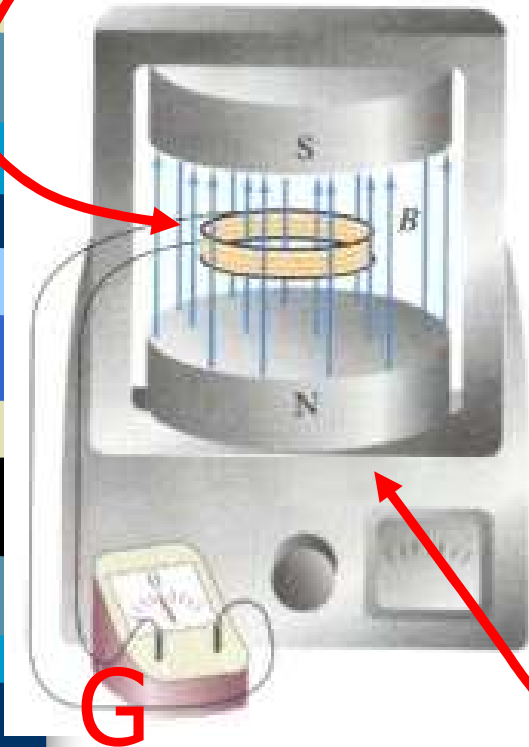
Πηνίο τοποθετείται σε μαγνητικό πεδίο ηλεκτρομαγνήτη

- 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 $B=$ σταθ $\rightarrow I_G=0$
- Όταν $B=$ σταθ καθώς παραμορφώνουμε το πηνίο (μικραίνοντας την επιφάνειά του) $\rightarrow I_G=-I_0 \neq 0$. Καθώς επαναφέρουμε στο αρχικό σχήμα $\rightarrow I_G=+I_0 \neq 0$
- Όταν $B=$ σταθ καθώς στρέφουμε το πηνίο $\rightarrow I_G=-I_0 \neq 0$. Καθώς το επαναφέρουμε στην οριζόντιο $\rightarrow I_G=+I_0 \neq 0$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Faraday & Henry ~1830

πηνίο



ΗΜΓ

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

NOMOS 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
 $F = q u \times B$

$$\Phi_{B1} = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \theta$$

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

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

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

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

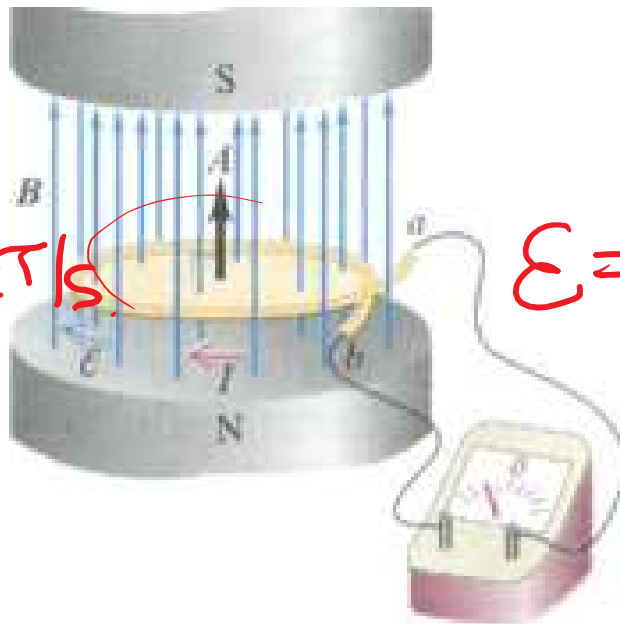
ΦΟΡΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ???

$$[I=0.048\text{mA}]$$

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

$$B \uparrow$$

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



30-3 Ακίνητος αγωγίμος βρόχος σε αυξανόμενο μαγνητικό πεδίο.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

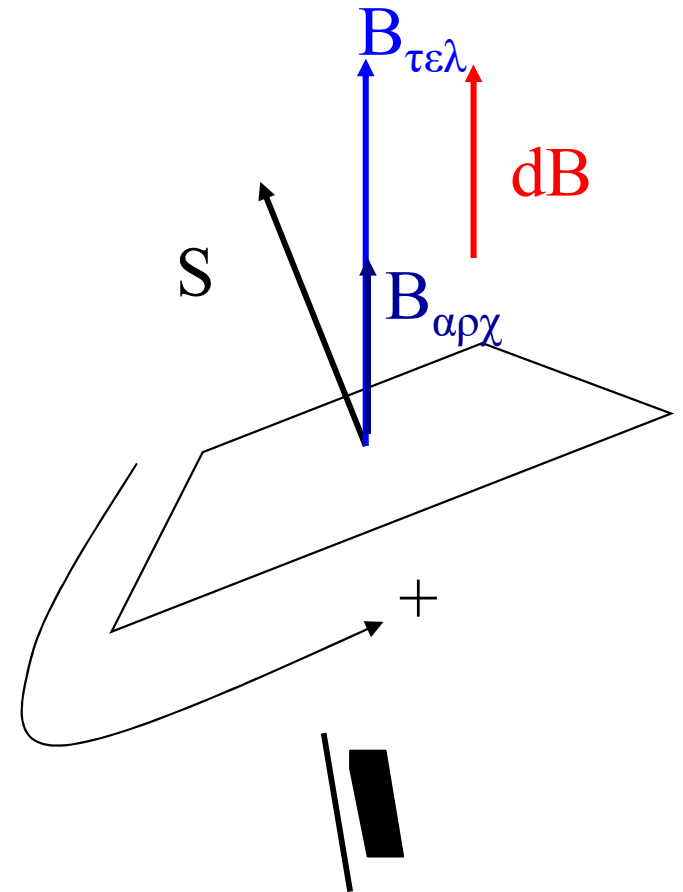
Faraday & Henry ~1830

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

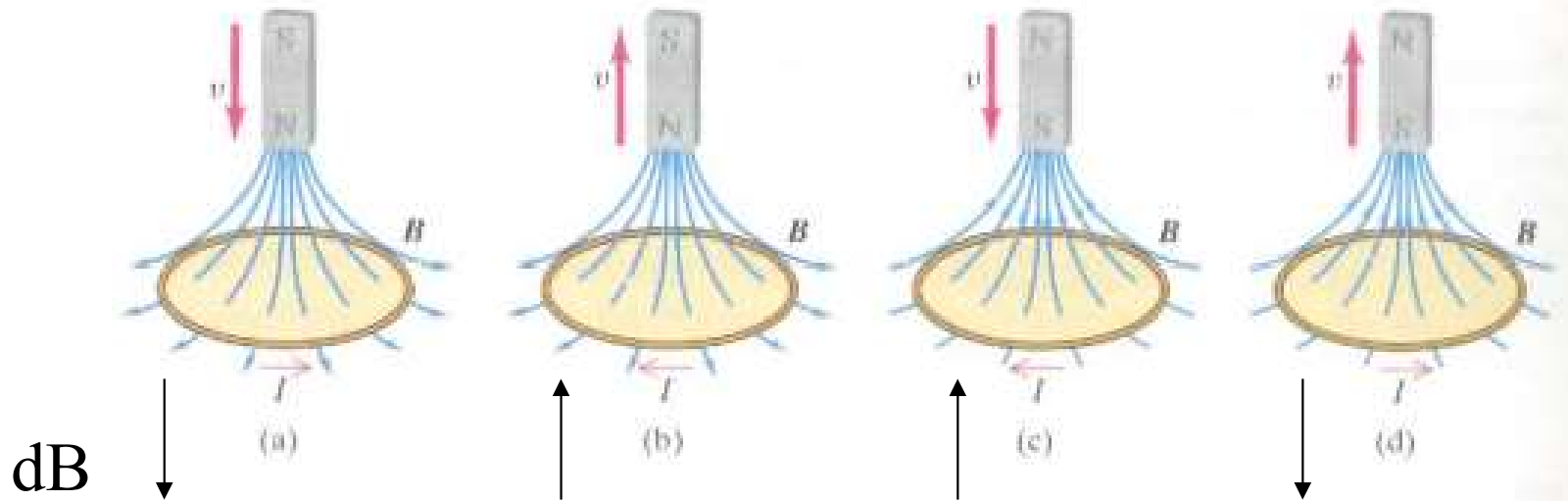
Νόμος του Lenz

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

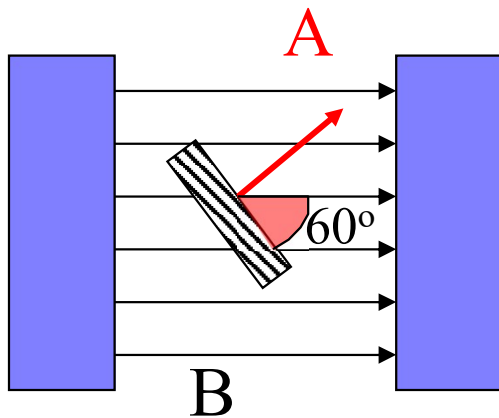
ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

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.

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



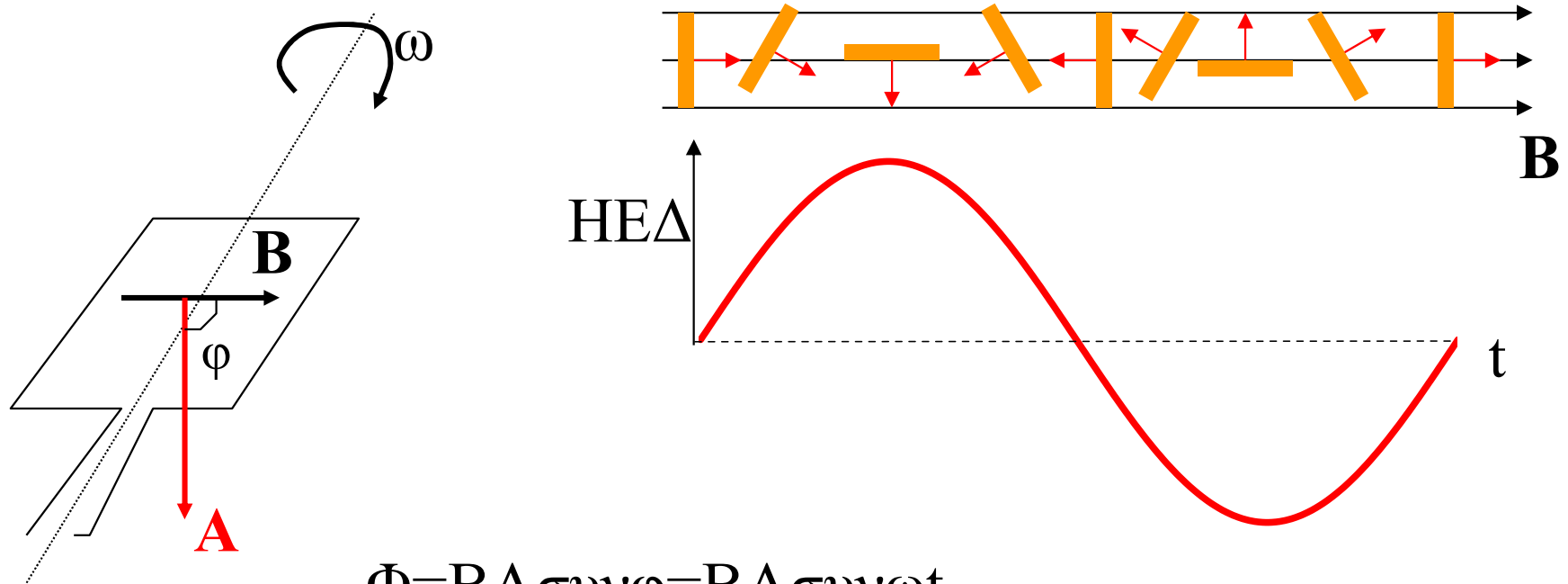
$$\text{ΗΕΔ} = 0.435\text{V}$$

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.



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

$$\text{ΗΕΔ} = \omega BA \sin \omega t \rightarrow \text{ανεξάρτητη του σχήματος του βρόχου}$$



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

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