ΦΥΣΙΚΗ: ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

Ε.Ε. 2023-2024

Διδάσκοντες: Σ. ΚΟΣΙΩΝΗΣ, Ε. ΠΑΣΠΑΛΑΚΗΣ, και Ι. ΘΑΝΟΠΟΥΛΟΣ

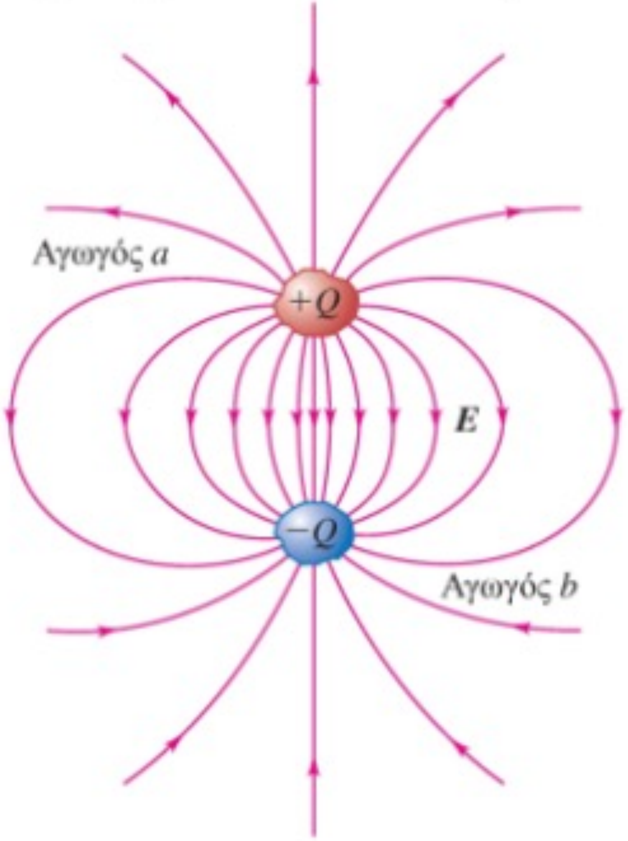

SEARS & ZEMANSKY
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ
ΦΥΣΙΚΗ με Σύγχρονη Φυσική
4η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ
ΜΕ QR CODE ΒΙΝΤΕΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΦΑΝΕΙΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ
Τόμος Β
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ
ΟΠΤΙΚΗ - ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ
YOUNG ΚΑΙ FREEDMAN
ΑΠΟΔΟΣΗ – ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ
Θ. Η. Αλεξόπουλος
Ι. Α. Αρβανιτίδης
Α. Α. Αργυρίου
Ε. Α. Δρης
Η. Σ. Ζουμπούλης
Η. Κ. Κατσούφης
Γ. Α. Κουρούκλης
Κ. Ε. Παρασκευαΐδης
Μ. Ν. Πιζάνιας
Ι. Π. Ρίζος
Θ. Ν. Τομαράς
Κ. Χριστοδουλίδης
ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 24

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΑ

Πυκνωτές και χωρητικότητα

24.1 Δύο αγωγοί *a* και *b*, μονωμένοι μεταξύ τους, αποτελούν πυκνωτή.



Χωρητικότητα του πυκνωτή

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} \qquad (24.1)$$

Μέτρο του φορτίου στον κάθε αγωγό

Διαφορά δυναμικού μεταξύ των οπλισμών (ο *a* έχει φορτίο $+Q$ και ο *b* $-Q$)

Η μονάδα χωρητικότητας στο σύστημα SI ονομάζεται **farad** (φαράντ) (1 F), προς τιμή του Michael Faraday (Μάικλ Φαραντέι, Άγγλος φυσικός και χημικός, 1791-1867). Από την Εξ. (24.1), ένα farad = ένα *coulomb ανά volt* (1 C/V):

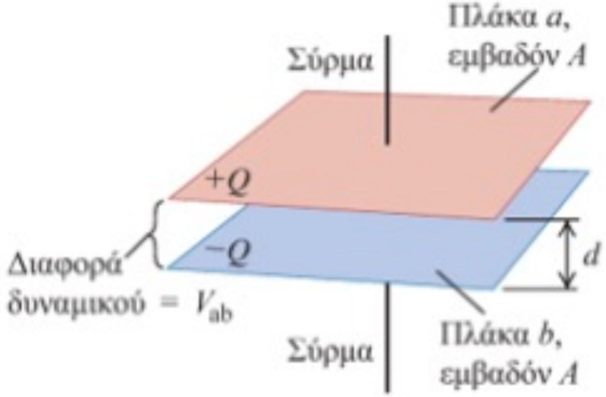
$$1\ \text{F} = 1\ \text{farad} = 1\ \text{C/V} = 1\ \text{coulomb ανά volt}$$

Όσο μεγαλύτερη η χωρητικότητα C ενός πυκνωτή, τόσο μεγαλύτερο το μέτρο Q του φορτίου του κάθε οπλισμού για δεδομένη διαφορά δυναμικού V_{ab} και επομένως τόσο μεγαλύτερη η αποθηκευμένη ενέργεια.

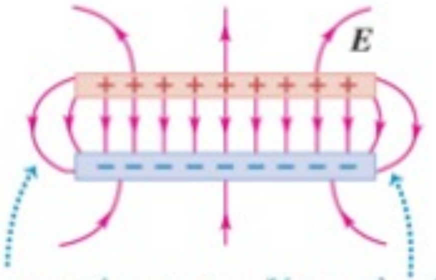
Πυκνωτής με παράλληλες πλάκες

24.2 Φορτισμένος επίπεδος πυκνωτής.

(a) Διάταξη των πλακών του πυκνωτή



(b) Πλευρική όψη του ηλεκτρικού πεδίου E



Όταν η απόσταση μεταξύ των πλακών είναι μικρή σε σχέση με τις διαστάσεις τους, το κροσσωτό πεδίο είναι μικρό.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

$$V_{ab} = Ed = \frac{1}{\epsilon_0}\frac{Qd}{A}$$

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \qquad (24.2)$$

Χωρητικότητα επίπεδου πυκνωτή στο κενό: C

Μέτρο του φορτίου στον κάθε οπλισμό: Q

Διαφορά δυναμικού μεταξύ των πλακών: V_{ab}

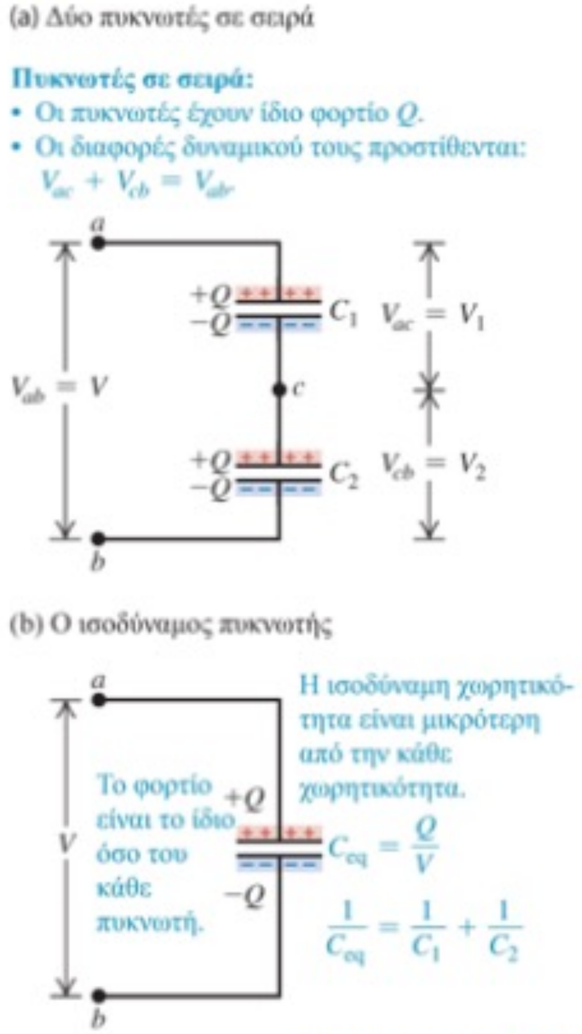
Εμβαδόν του κάθε οπλισμού: A

Απόσταση μεταξύ των πλακών: d

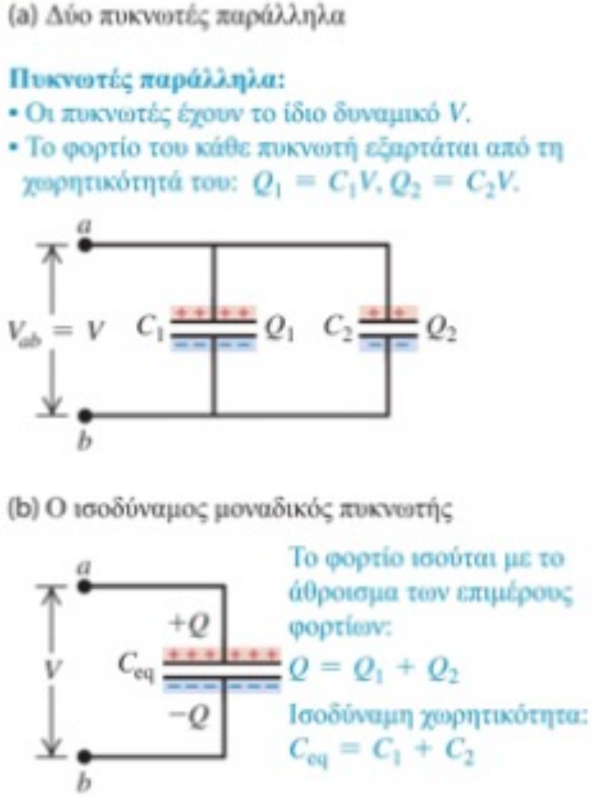
Ηλεκτρική σταθερά: ϵ_0

Πυκνωτές συνδεδεμένοι σε σειρά και παράλληλα

24.8 Σύνδεση σε σειρά δύο πυκνωτών.



24.9 Παράλληλη σύνδεση δύο πυκνωτών.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Βρείτε την ισοδύναμη χωρητικότητα του συνδυασμού που φαίνεται στο Σχ. 25–7a.

ΛΥΣΗ Πρώτα αντικαθιστούμε τον συνδυασμό σε σειρά των 12 μF και 6 μF με την ισοδύναμή του χωρητικότητα· την ονομάζουμε C'

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{12\ \mu\mathrm{F}} + \frac{1}{6\ \mu\mathrm{F}}, \qquad C' = 4\ \mu\mathrm{F}.$$

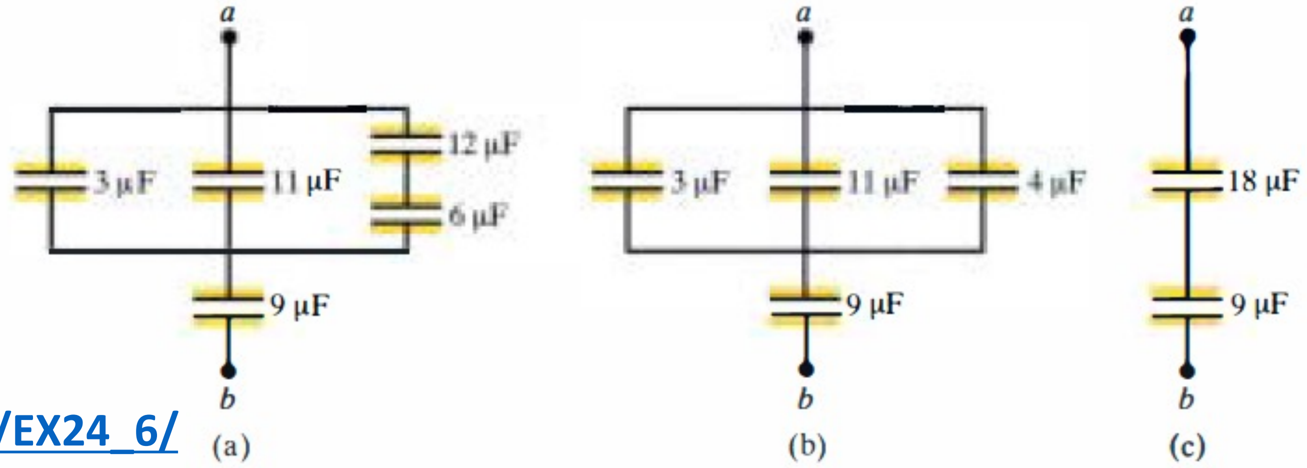
Αυτό μας δίνει τον ισοδύναμο συνδυασμό που φαίνεται στο Σχ. 25–7b, κατόπιν βρίσκουμε την ισοδύναμη χωρητικότητα των τριών πυκνωτών παράλληλα,

Ονομάζουμε την ισοδύναμη χωρητικότητα του συνδυασμού τους C'' και έχουμε

$$C'' = 3\ \mu\mathrm{F} + 11\ \mu\mathrm{F} + 4\ \mu\mathrm{F} = 18\ \mu\mathrm{F}.$$

Αυτό μας δίνει τον ισοδύναμο συνδυασμό που φαίνεται στο Σχ. 25–7c. Τέλος βρίσκουμε την ισοδύναμη χωρητικότητα C_{eq} αυτών των δύο χωρητικοτήτων σε σειρά:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{18\ \mu\mathrm{F}} + \frac{1}{9\ \mu\mathrm{F}}, \qquad C_{eq} = 6\ \mu\mathrm{F}.$$



https://videos.papazissi.gr/EX24_6/

25–7 (a) Εύρεση της ισοδύναμης χωρητικότητας μεταξύ των σημείων a και b: (b) Απεικονίζεται η χωρητικότητα δύο πυκνωτών συνδεδεμένων σε σειρά: (c) Απεικονίζεται η ισοδύναμη χωρητικότητα τριών πυκνωτών συνδεδεμένων παράλληλα.

Αποθήκευση ενέργειας σε πυκνωτές και ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου

$$dW = v\,dq = \frac{q\,dq}{C} \qquad W = \int_0^W dW = \frac{1}{C}\int_0^Q q\,dq = \frac{Q^2}{2C}$$

Μέτρο του φορτίου σε κάθε οπλισμό

Δυναμική ενέργεια αποθηκευμένη σε πυκνωτή

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \tfrac{1}{2}CV^2 = \tfrac{1}{2}QV \qquad (24.9)$$

Χωρητικότητα

Διαφορά δυναμικού μεταξύ οπλισμών

$$u = \text{Πυκνότητα ενέργειας} = \frac{\tfrac{1}{2}CV^2}{Ad} \qquad (24.10)$$

$$C = \epsilon_0 A/d.$$

$$V = Ed.$$

Πυκνότητα ηλεκτρικής ενέργειας στο κενό

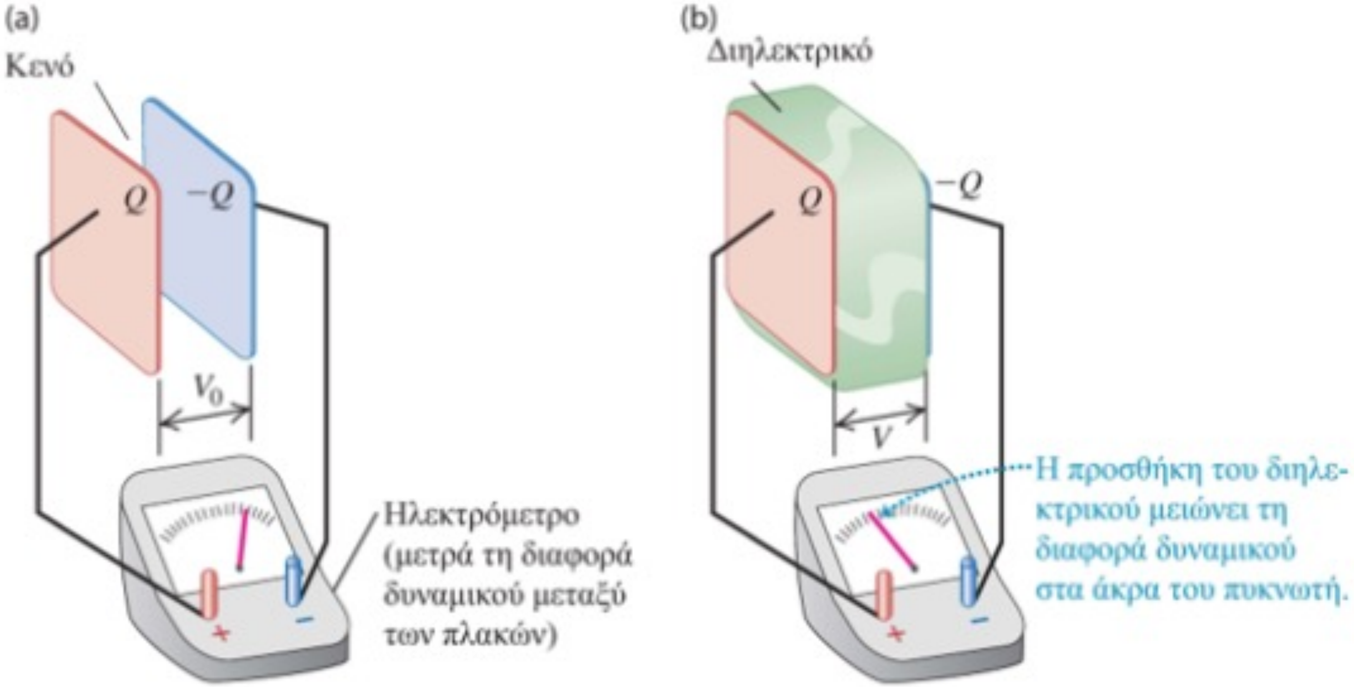
Μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου

$$u = \tfrac{1}{2}\epsilon_0 E^2 \qquad (24.11)$$

Ηλεκτρική σταθερά

Διηλεκτρικά

24.14 Επίδραση διηλεκτρικού μεταξύ των πλακών επίπεδου πυκνωτή. (a) Για δεδομένο φορτίο, η διαφορά δυναμικού είναι V_0. (b) Για το ίδιο φορτίο αλλά με διηλεκτρικό μεταξύ των πλακών, η διαφορά δυναμικού V είναι μικρότερη από V_0.

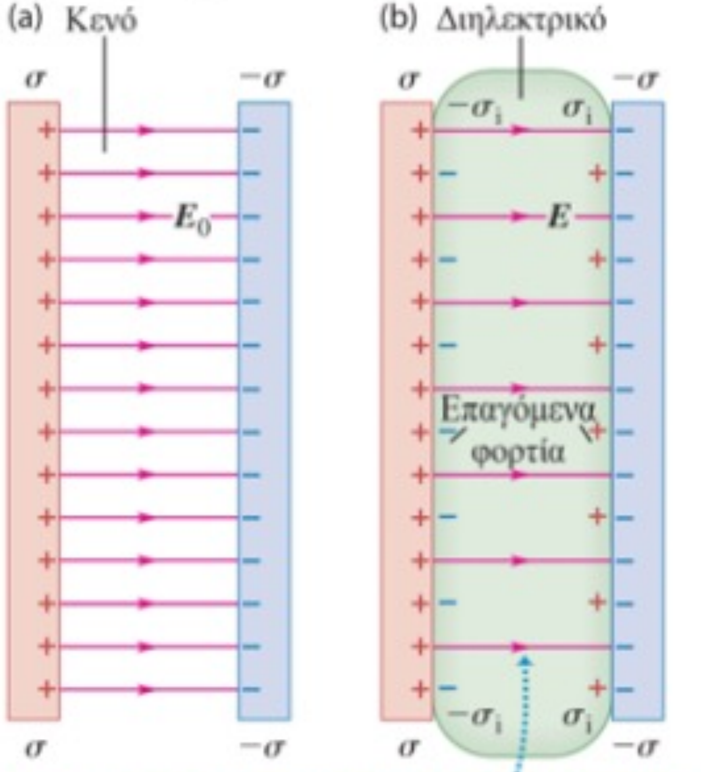


$$K = \frac{C}{C_0} \qquad \text{(ορισμός της διηλεκτρικής σταθεράς)} \qquad (24.12)$$

$$V = \frac{V_0}{K} \qquad \text{(όταν το } Q \text{ είναι σταθερό)} \qquad (24.13)$$

Επαγόμενο φορτίο και πόλωση

24.15 Γραμμές ηλεκτρικού πεδίου με (a) κενό μεταξύ των οπλισμών και (b) διηλεκτρικό μεταξύ των οπλισμών.



Για δεδομένη πυκνότητα φορτίου σ, τα επαγόμενα φορτία στις επιφάνειες του διηλεκτρικού μειώνουν το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των οπλισμών.

$$E = \frac{E_0}{K} \quad \text{(όταν το Q είναι σταθερό)} \qquad (24.14)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \qquad (24.18)$$

Χωρητικότητα ενός επίπεδου πυκνωτή, διηλεκτρικό μεταξύ των οπλισμών

Διηλεκτρική σταθερά · Επιφάνεια του κάθε οπλισμού · Επιτρεπτότητα $= K\epsilon_0$

$$C = KC_0 = K\epsilon_0\frac{A}{d} = \epsilon\frac{A}{d} \qquad (24.19)$$

Χωρητικότητα χωρίς διηλεκτρικό · Ηλεκτρική σταθερά · Απόσταση μεταξύ των οπλισμών

Πυκνότητα ηλεκτρικής ενέργειας στο διηλεκτρικό

Διηλεκτρική σταθερά · Επιτρεπτότητα $= K\epsilon_0$

$$u = \tfrac{1}{2}K\epsilon_0E^2 = \tfrac{1}{2}\epsilon E^2 \qquad (24.20)$$

Ηλεκτρική σταθερά · Μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \qquad E = \frac{\sigma - \sigma_i}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{E_0}{K}$$

$$\sigma_i = \sigma\left(1 - \frac{1}{K}\right)$$

Επαγώμενη επιφανειακή πυκνότητα φορτίου

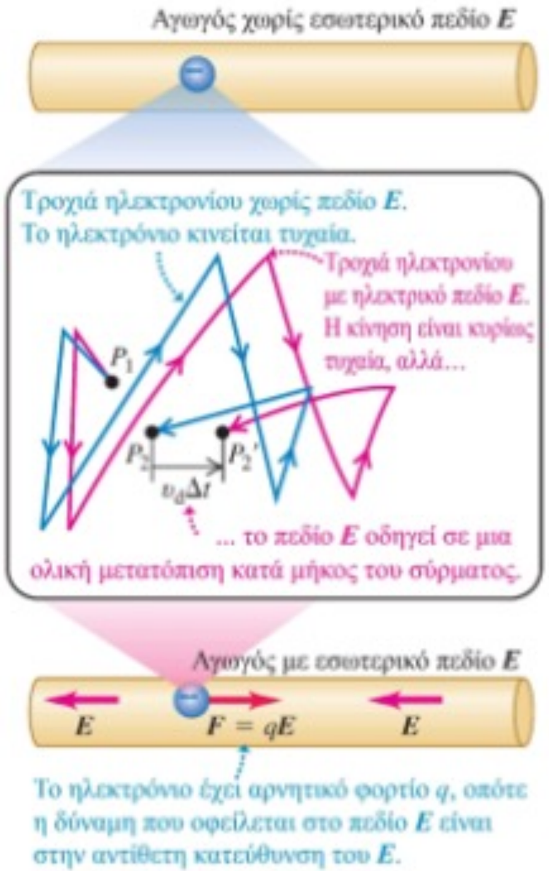
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 25

ΡΕΥΜΑ, ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΕΓΕΡΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

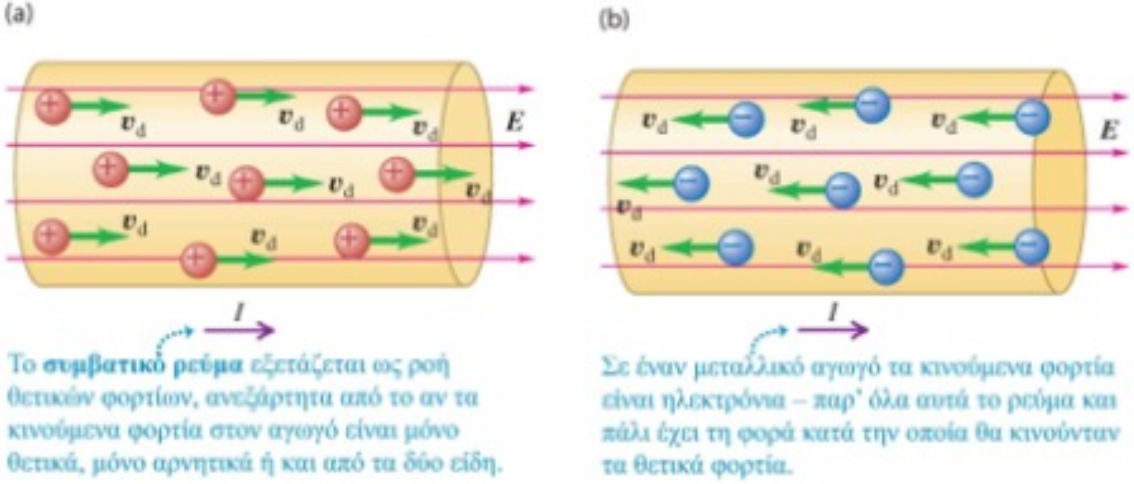
ΡΕΥΜΑ
Η κατεύθυνση ροής του ρεύματος

25.1 Αν δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο μέσα στον αγωγό, το ηλεκτρόνιο κινείται τυχαία από το σημείο P_1 στο σημείο P_2 σε χρόνο Δt. Αν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο $\boldsymbol{E}$, η ηλεκτρική δύναμη $\boldsymbol{F} = q\boldsymbol{E}$ επιβάλλει μια μικρή ολίσθηση (στο σχήμα φαίνεται υπερβολικά μεγάλη) που φέρνει το ηλεκτρόνιο στο σημείο P'_2 σε απόσταση $v_d \Delta t$ από το P_2 κατά την κατεύθυνση της δύναμης.

Η κίνηση αυτή περιγράφεται με την **ταχύτητα ολίσθησης** v_d των σωματιδίων. Το τελικό αποτέλεσμα είναι να υπάρχει μακροσκοπικό ρεύμα στον αγωγό.

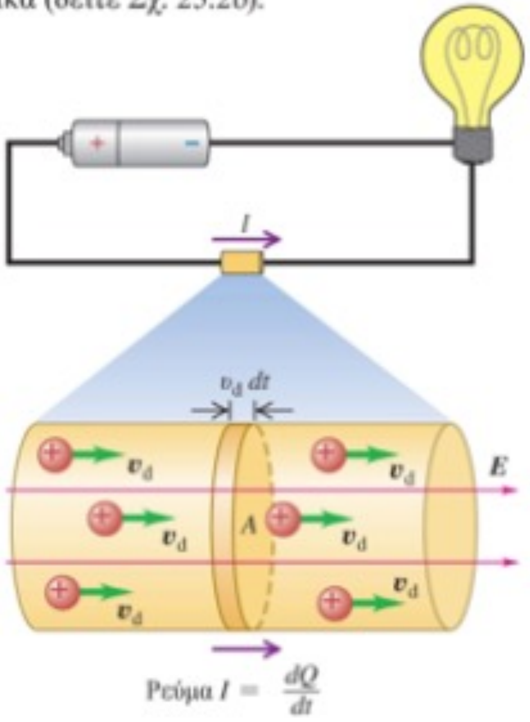


25.2 Το ίδιο ρεύμα παράγεται (a) από θετικά φορτία κινούμενα στην κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου $\boldsymbol{E}$, ή (b) από τον ίδιο αριθμό αρνητικών φορτίων, κινούμενων με την ίδια ταχύτητα σε αντίθετη κατεύθυνση από αυτήν του $\boldsymbol{E}$.



Ρεύμα, ταχύτητα ολίσθησης και πυκνότητα ρεύματος

25.3 Το ρεύμα I είναι ο ρυθμός μεταφοράς του φορτίου διαμέσου της επιφάνειας διατομής A. Η μέση τιμή της τυχαίας συνιστώσας κίνησης κάθε κινούμενου φορτισμένου σωματιδίου είναι μηδέν. Το ρεύμα έχει την ίδια φορά με το $\boldsymbol{E}$ ανεξάρτητα από το αν τα κινούμενα φορτία είναι θετικά (όπως φαίνεται εδώ) ή αρνητικά (δείτε Σχ. 25.2b).



$$I = \frac{dQ}{dt} \qquad \text{(ορισμός του ρεύματος)} \tag{25.1}$$

Ρυθμός με τον οποίο ρέει φορτίο μέσα από την επιφάνεια

Ρεύμα μέσα από κάποια επιφάνεια

$$I = \frac{dQ}{dt} = n|q|v_d A \tag{25.2}$$

Ταχύτητα ολίσθησης

Εμβαδόν διατομής

Φορτίο σωματιδίου

Συγκέντρωση κινούμενων φορτισμένων σωματιδίων

$$J = \frac{I}{A} = n|q|v_d \qquad \text{(πυκνότητα ρεύματος)} \tag{25.3}$$

Διανυσματική πυκνότητα ρεύματος

$$\boldsymbol{J} = nq\boldsymbol{v}_d \tag{25.4}$$

Ταχύτητα ολίσθησης

Φορτίο σωματιδίου

Συγκέντρωση κινούμενων φορτισμένων σωματιδίων

ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Ορίζουμε την **ειδική αντίσταση** ρ ενός υλικού ως

$$(\mathrm{V/m})/(\mathrm{A/m^2}) = \mathrm{V \cdot m/A}.$$

Ειδική αντίσταση ενός υλικού

$$\rho = \frac{E}{J} \qquad (25.5)$$

E: Μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου στο υλικό

J: Μέτρο της πυκνότητας ρεύματος που δημιουργεί το ηλεκτρικό πεδίο

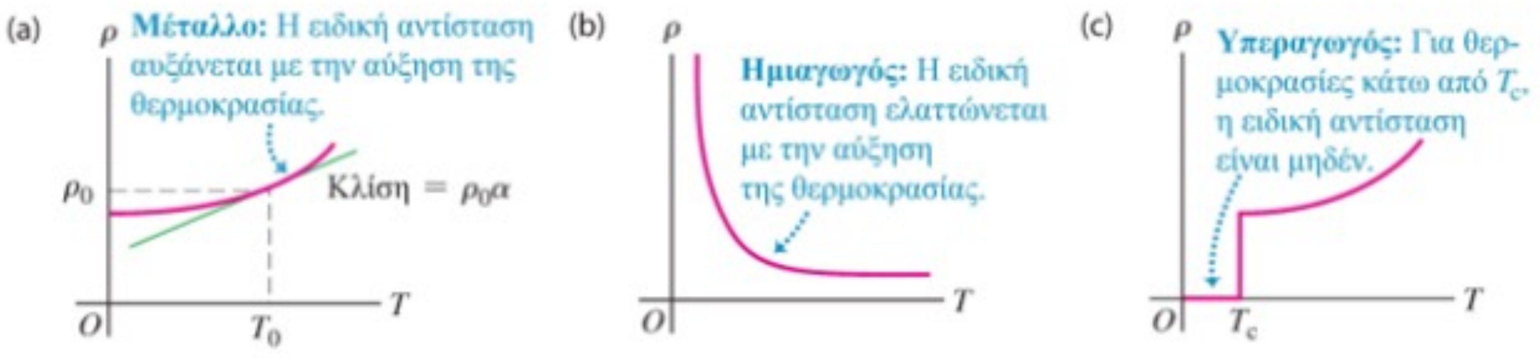
$1\ \mathrm{V/A}$ *ohm*

ΠΙΝΑΚΑΣ 25.1 Ειδικές Αντιστάσεις σε Θερμοκρασία Δωματίου (20 °C)

	Υλικό	$\rho\ (\Omega \cdot \mathrm{m})$		Υλικό	$\rho\ (\Omega \cdot \mathrm{m})$
Αγωγοί			**Ημιαγωγοί**		
Μέταλλα	Άργυρος	$1{,}47 \times 10^{-8}$		Καθαρός άνθρακας (γραφίτης)	$3{,}5 \times 10^{-5}$
	Χαλκός	$1{,}72 \times 10^{-8}$		Καθαρό γερμάνιο	0,60
	Χρυσός	$2{,}44 \times 10^{-8}$		Καθαρό πυρίτιο	2300
	Αλουμίνιο	$2{,}75 \times 10^{-8}$	**Μονωτές**		
	Βολφράμιο	$5{,}25 \times 10^{-8}$		Κεχριμπάρι (ήλεκτρον)	5×10^{14}
	Χάλυβας	20×10^{-8}		Γυαλί	10^{10}–10^{14}
	Μόλυβδος	22×10^{-8}		Λουσίτης	$>10^{13}$
	Υδράργυρος	95×10^{-8}		Μίκα	10^{11}–10^{15}
Κράματα	Μαγγανίνη (Cu 84 %, Mn 12 %, Ni 4 %)	44×10^{-8}		Χαλαζίας (λιωμένος)	75×10^{16}
	Κονσταντάνη (Cu 60 %, Ni 40 %)	49×10^{-8}		Θείον (θειάφι)	10^{15}
	Χρωμονικελίνη	100×10^{-8}		Τεφλόν	$>10^{13}$
				Ξύλο	10^{8}–10^{11}

Ειδική αντίσταση και θερμοκρασία

25.6 Μεταβολή της ειδικής αντίστασης ρ συναρτήσει της απόλυτης (θερμοδυναμικής) θερμοκρασίας T για (a) κανονικό μέταλλο, (b) ημιαγωγό, και (c) υπεραγωγό. Στο (a) η γραμμική προσέγγιση του ρ συναρτήσει της θερμοκρασίας T φαίνεται στο σχήμα με πράσινη γραμμή· η προσέγγιση βρίσκεται σε απόλυτη σύμπτωση για $T = T_0$, όπου $\rho = \rho_0$.



Σε μικρή περιοχή θερμοκρασιών (μέχρι 100 °C περίπου), η ειδική αντίσταση ενός μετάλλου μπορεί προσεγγιστικά να παρασταθεί από τη σχέση

Εξάρτηση της ειδικής αντίστασης από τη θερμοκρασία:

Ειδική αντίσταση σε θερμοκρασία T — Θερμικός συντελεστής ειδικής αντίστασης

$$\rho(T) = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (25.6)$$

Ειδική αντίσταση στη θερμοκρασία αναφοράς T_0