

Φυσική III

Φυσική III

Ηλεκτρικό στοιχείο

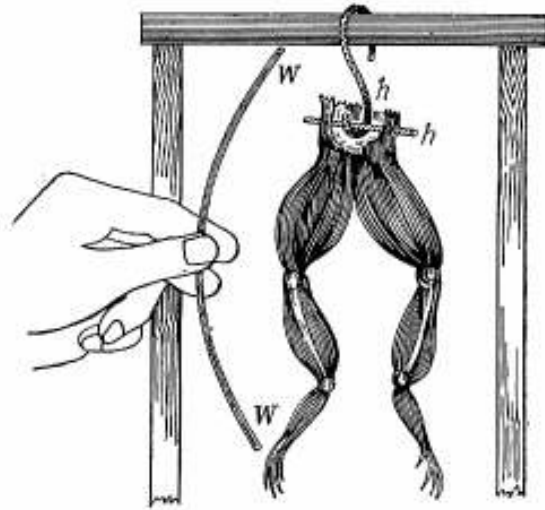
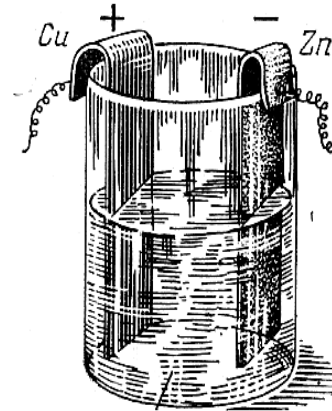
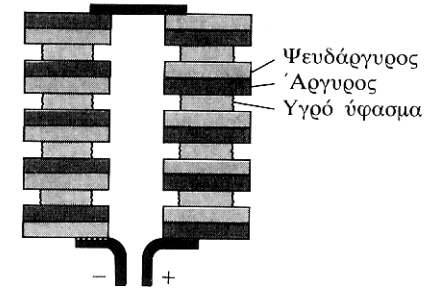


Fig. 118. One of Galvani's experiments. The nerves of a frog's loins are connected to copper hook *h* suspended from iron rail *r*. If the muscles of the frog's legs are connected to rail *r* by means of iron wire *w*, the muscles will sharply contract

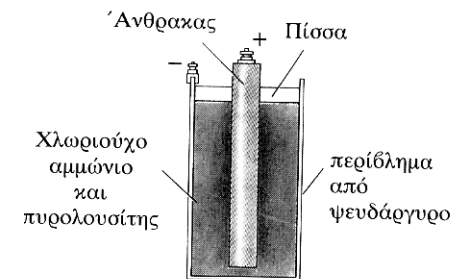


Solution of H₂SO₄

Fig. 121. Galvanic (voltaic) cell: a circuit in which two different metals (copper and zinc) are in contact with an electrolyte (a solution of sulphuric acid)

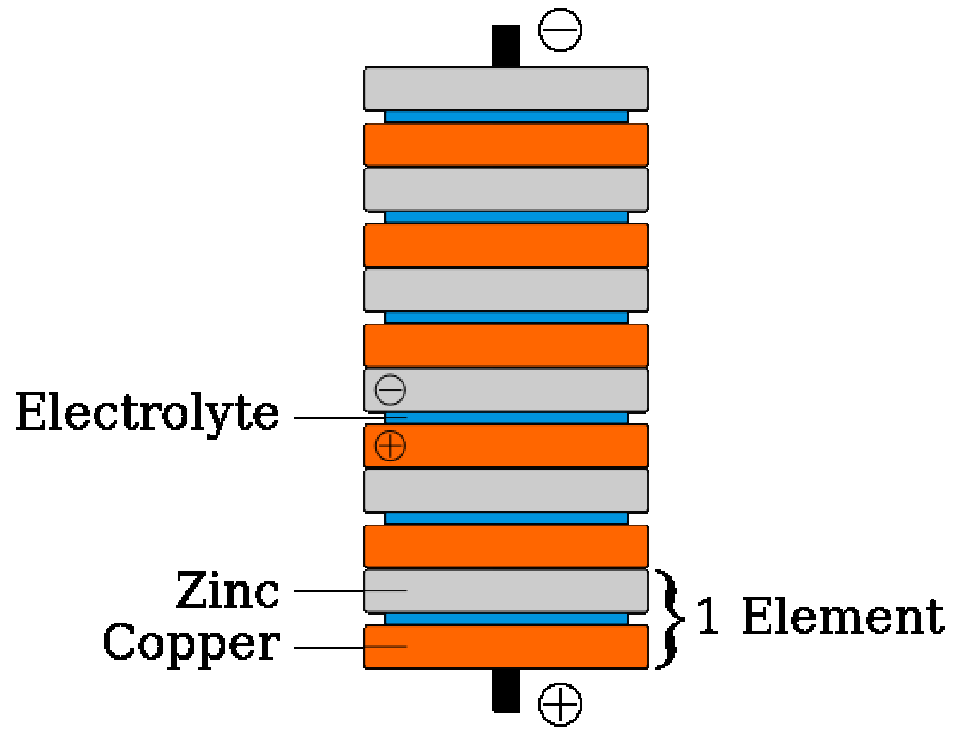


Σχήμα 27.1 Διάγραμμα της μπαταρίας που κατασκεύασε ο Volta. Το ύφασμα που βρίσκεται ανάμεσα στις πλάκες έχει εμποτιστεί με διάλυμα άλατος. Οι δύο τελικές πλάκες έχουν διαφορά δυναμικού.



Σχήμα 27.2 Τομή ξηρού στοιχείου.

Γαλβανική στήλη



Ηλεκτρικό Ρεύμα

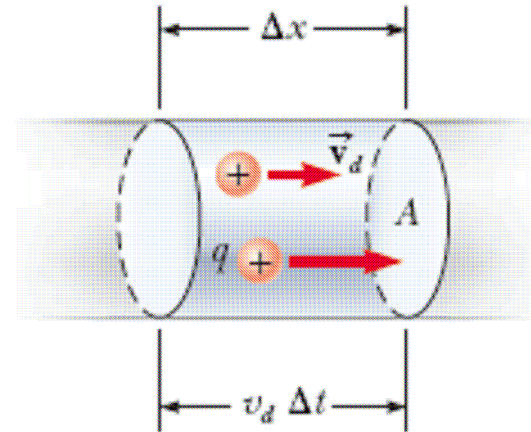
Μέσο ρεύμα $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$

Στιγμιαίο ρεύμα $I = \frac{dQ}{dt}$

Ταχύτητα ολίσθησης v_d

$$\Delta Q = (n A \Delta x) q$$

$$\Delta Q = (n A v_d \Delta t) q$$

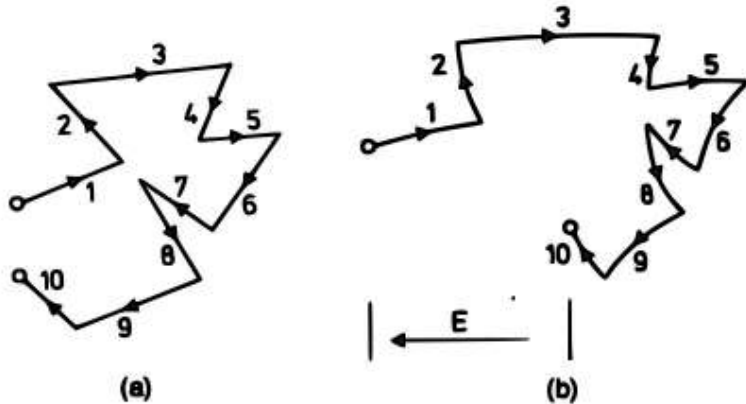


$$\bar{I} = nqAv_d$$

Φορά ρεύματος

- Συμβατική φορά ρεύματος, η φορά της κίνησης των θετικών φορτίων.
- Στους αγωγούς οι φορείς είναι τα ηλεκτρόνια που είναι αρνητικά.
- Η φορά των ηλεκτρονίων είναι αντίθετη με την συμβατική.
- Οι τύποι της συμβατικής φοράς διατηρούνται στο μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας.

Κίνηση ηλεκτρονίων



- Τα ηλ. συγκρούονται με τα άτομα του υλικού και αλλάζουν διεύθυνση.
- Μέση ελεύθερη διαδρομή, η απόσταση ανάμεσα σε δύο κρούσεις.

- Θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων. Η μέση μετατόπιση είναι μηδέν. Η ταχύτητα έχει μέτρο της τάξης 10^6 m/s
- Όταν εφαρμόζουμε ηλεκτρικό πεδίο \mathbf{E} , τα ηλεκτρόνια αποκτούν συνιστώσα της κίνησης κατά τη φορά του $-\mathbf{E}$.
- Το πεδίο επιταχύνει τα ηλεκτρόνια $a = F/m = eE/m$.
- Λόγω των πολλαπλών κρούσεων η ταχύτητα φθάνει σε οριακή τιμή που ονομάζεται ταχύτητα ολίσθησης. Στα μέταλλα της τάξης $10^{-4} - 10^{-3}$ m/s
- Η οριακή ταχύτητα εξαρτάται από την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

Κίνηση ηλεκτρονίων.

Η ταχύτητα μετατόπισης των ηλεκτρονίων κατά τη διεύθυνση του Ηλ. Πεδίου, ονομάζεται **ταχύτητα ολίσθησης**.

$$\vec{v}_d = \mu \vec{E}$$

\mathbf{v}_d Ταχύτητα ολίσθησης

μ Ευκινησία

\mathbf{j} Πυκνότητα ρεύματος

$$\mathbf{j} = \frac{I}{A} \quad I = neAv_d \rightarrow \mathbf{j} = nev_d$$

Για μια μικρή επιφάνεια dS :

$$\vec{j} = \frac{d\vec{I}}{dS} \quad I = \int \vec{j} d\vec{S}$$

ρ Πυκνότητα φορτίου

$$\rho = ne \rightarrow \vec{j} = \rho \vec{v}_d$$

Κίνηση ηλεκτρονίων

$$\vec{a} = \frac{e\vec{E}}{m_e}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_i + \frac{e\vec{E}}{m_e} t$$

Τα ηλεκτρόνια . επιταχύνονται από το ηλεκτρικό πεδίο.

Λόγω των διαδοχικών κρούσεων η ταχύτητα περιορίζεται. τ είναι ο μέσος χρόνος ανάμεσα σε κρούσεις

Η μέση τιμή της αρχικής ταχύτητας \vec{v}_i είναι μηδέν.

$$I = ne \left(\frac{eE}{m_e} \tau \right) A = \frac{ne^2 E}{m_e} A \tau$$

$$\vec{v}_{\text{μεσο}} = \frac{e\vec{E}}{m_e} \tau$$

$$J = \frac{ne^2 E}{m_e} \tau$$

Μέση ελεύθερη διαδρομή

Μέσος χρόνος μεταξύ κρούσεων

Σύμφωνα με τα προηγούμενα υπολογίστε το μέσο χρόνο ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κρούσεις των ηλεκτρονίων αγωγιμότητας του χαλκού για θερμοκρασία 200^o C.

$$J = \frac{ne^2 E}{m_e} \tau$$

$$J = \sigma E$$

$$\tau = \frac{m_e \sigma}{ne^2}$$

$$\tau = 2,4 \times 10^{-14} \text{ s}$$

$$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$s = 1,8 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$$

$$n = 8,48 \times 10^{28} \text{ electron/m}^3$$

Αν υποθέσουμε ότι η μέση θερμική ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι $1,6 \times 10^6 \text{ m/s}$, υπολογίστε τη μέση απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κρούσεις.

$$l = \bar{v} \tau \quad l = 4,0 \times 10^{-8} \text{ m}$$

Περίπου 200 ενδοατομικές αποστάσεις!

Αντίσταση, νόμος του Ohm

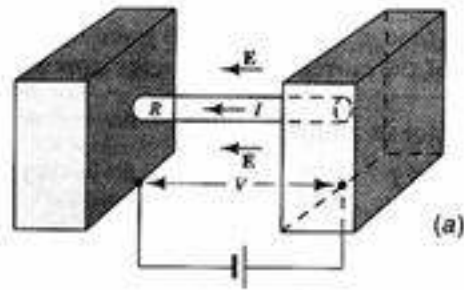
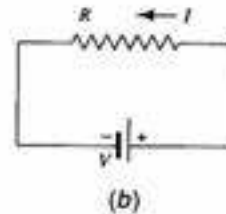
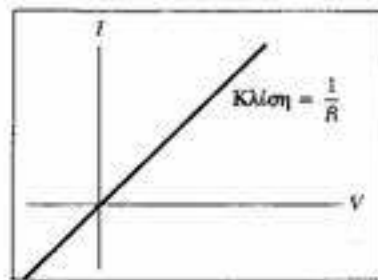
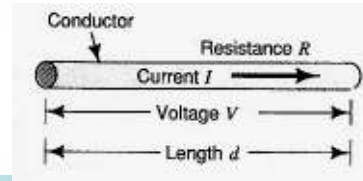


FIGURE 5-4



$$R = \frac{V}{I}, \quad V = RI$$

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



(a)

Ο νόμος του Ohm αρχικά αναφέρονταν σε υλικά, με αντίσταση ανεξάρτητη από το ρεύμα ή την τάση, όπως είναι τα μέταλλα.

Συνδέει την δυναμική ενέργεια της πηγής με την ενέργεια που καταναλώνεται λόγω τριβών.

Τα φαινόμενα που εξαρτώνται από την συμπεριφορά του υλικού περιγράφονται από την αντίσταση R .

Μονάδες ρεύματος, αντίστασης

- Μονάδα ρεύματος στο SI είναι το Ampere A
 - Ο ορισμός του γίνεται από τον νόμο Laplace που συνδέει τα Μηχανικά με τα Ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα.
 - 1 A, είναι το ρεύμα που : όταν διαρρέει δύο αγωγούς μήκους 1 m σε απόσταση 1 m, η δύναμη ανάμεσα στους δύο αγωγούς είναι ίση με $2 \cdot 10^{-7}$ N
-
- Μονάδα αντίστασης το 1 Ohm, αντιστοιχεί σε πτώση τάσης 1 V, όταν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα 1 A.

Ειδική αντίσταση

$$R = S \frac{l}{A} \quad S \text{ ειδική αντίσταση μονάδες } \Omega\text{m}$$

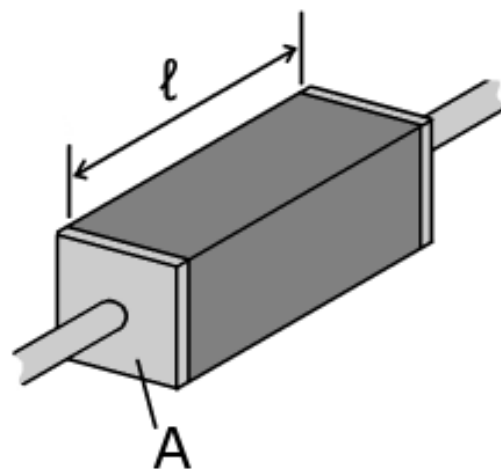
Εξάρτηση από τη θερμοκρασία

$$S = S_0 (1 + a(T - T_0))$$

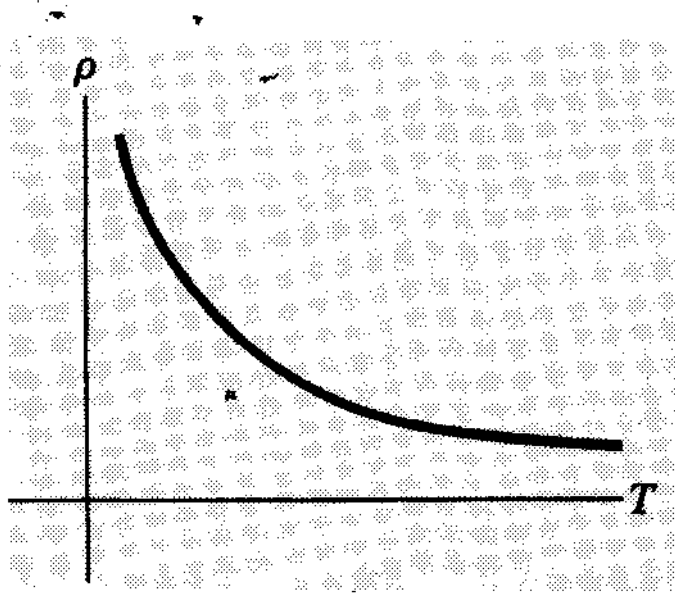
Παράδειγμα Cu

$$S_0 = 17,7 \text{ n}\Omega\text{m} \quad (20^\circ\text{C})$$

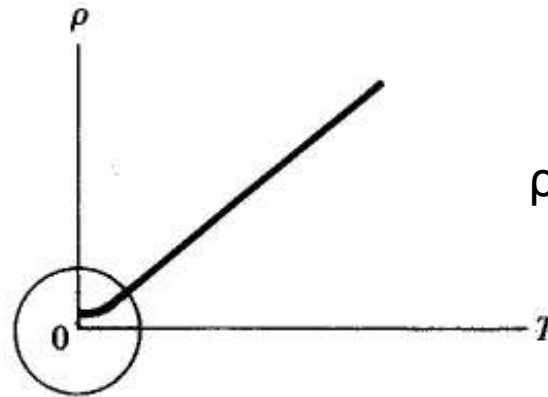
$$a = 0,0038 \text{ K}^{-1}$$



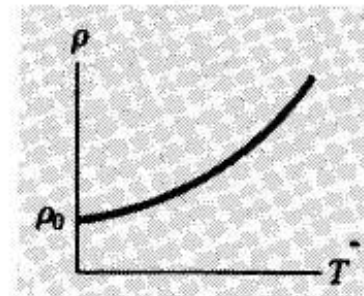
Εξάρτηση από Θερμοκρασία



Σχήμα 27.11 Η ειδική αντίσταση καθαρού ημιαγωγού, λ.χ. πυριτίου ή γερμανίου, συναρτήσεως της θερμοκρασίας



ρ ειδική αντίσταση



Σχήμα 27.10 Γραφική παράσταση της ειδικής αντίστασης συναρτήσεως της θερμοκρασίας για κοινό μέταλλο, λ.χ. χαλκό. Για ένα μεγάλο φάσμα τιμών θερμοκρασιών η καμπύλη είναι ευθεία γραμμή και η ειδική αντίσταση ρ αυξάνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία. Καθώς η θερμοκρασία πλησιάζει το απόλυτο μηδέν (βλ. μεγέθυνση), η ειδική αντίσταση τείνει προς την πεπερασμένη τιμή ρ_0 .

Αγωγιμότητα.

Αγωγιμότητα

$$G = \frac{1}{R}$$

Μονάδες Ω^{-1} ή Mho

Ειδική αγωγιμότητα:

$$\sigma = \frac{1}{S}$$

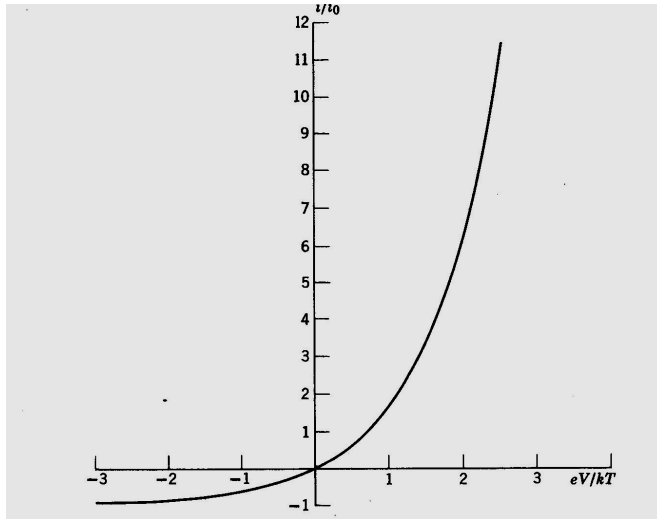
Μονάδες $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$

Τη χρησιμοποιούμε όταν χρειάζεται να προσθέσουμε παράλληλα υλικά. Παράδειγμα παράλληλες αντιστάσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 27.1 Ειδικές αγωγιμότητες και θερμοί συντελεστές ειδικής αντίστασης
 διαφόρων υλικών

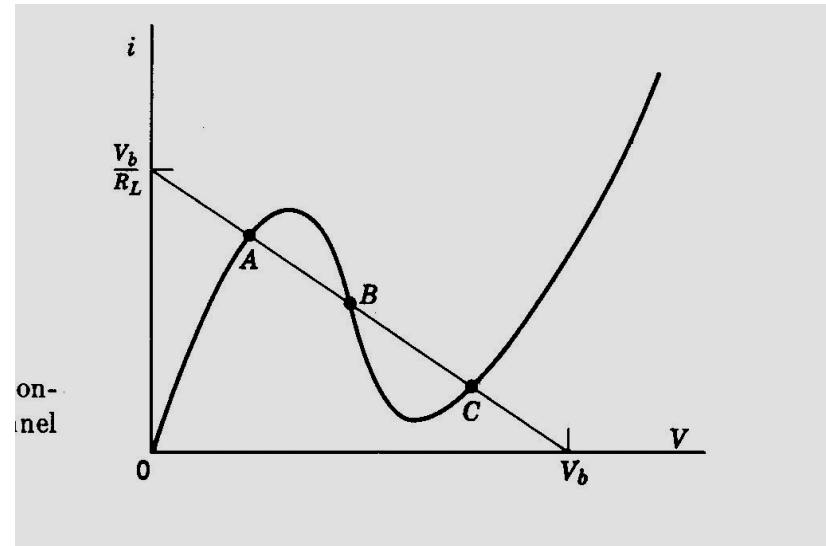
Υλικό	Ειδική αντίσταση ^a ($\Omega \cdot m$)	Θερμικός συντελεστής α [(C°) ⁻¹]
Άργυρος	1.59×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Χαλκός	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Χρυσός	2.44×10^{-8}	3.4×10^{-3}
Αλουμίνιο	2.82×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Βολφράμιο	5.6×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Σίδηρος	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Πλατίνα	11×10^{-8}	3.92×10^{-3}
Μόλυβδος	22×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Χρωμιονικελίνης ^b	150×10^{-8}	0.4×10^{-3}
Χαλκός	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
Γερμάνιο	0.46	-48×10^{-3}
Πυρίτιο	640	-75×10^{-3}
Ύαλος	$10^{10} - 10^{14}$	
Εβονίτης	$\approx 10^{13}$	
Θείο	10^{15}	
Χαλαζίας	75×10^{16}	

Καμπύλες I-V για Ημιαγωγούς



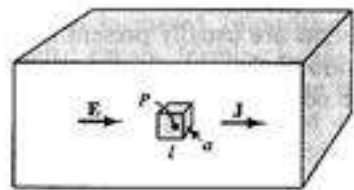
Καμπύλη I vs V για δίοδο.

Στους ημιαγωγούς η πυκνότητα των φορέων εξαρτάται από το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό τους.



Καμπύλη I vs V για δίοδο tunnel.

Μικροσκοπικός νόμος του Ohm (Νόμος του Ohm σε ένα σημείο)



$$\vec{J} = \frac{\vec{I}}{A}$$

$$\vec{J} = \rho \vec{v}_D$$

$$\vec{J} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta S}$$

$$I = \frac{EI}{R}, \quad I = JA \Rightarrow J = \frac{I}{AR} E$$

$$\sigma = \frac{1}{S} = \frac{I}{AR}$$

Νόμος του Ohm σε ένα σημείο

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

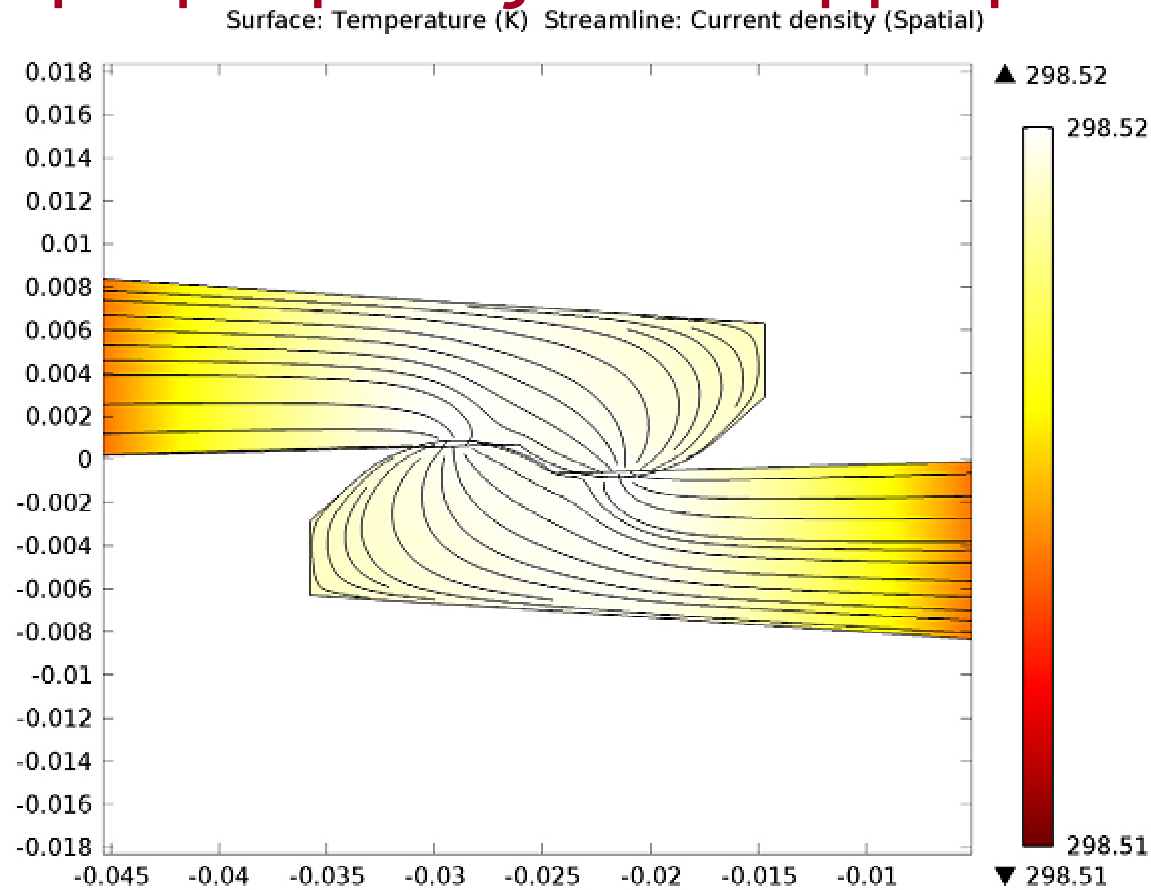


Μικροσκοπικός νόμος του Ohm Νόμος του Ohm σε ένα σημείο.

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{El}{R} \quad \vec{I} = l\vec{E}$$

$$\vec{I} = A\vec{J} \Rightarrow \vec{J} = \frac{\vec{I}}{A} = \frac{l}{AR}\vec{E}$$
$$\sigma = \frac{1}{S} = \frac{l}{AR}$$
$$\Longrightarrow \vec{J} = \sigma\vec{E}$$

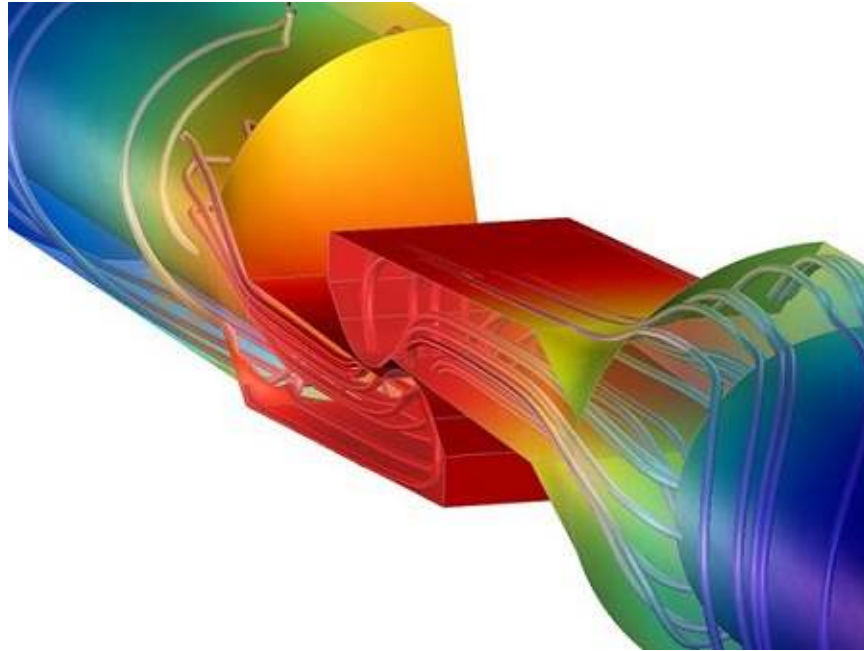
Πυκνότητα ρεύματος σε ασύμμετρο αγωγό



Η πυκνότητα των γραμμών ροής αντιστοιχεί στη πυκνότητα ρεύματος.

Στο σχήμα βλέπουμε ότι η πυκνότητα ρεύματος δεν είναι σταθερή.

Θερμοκρασία αγωγού



Θερμοκρασία που αναπτύσσεται στις δύο επαφές. Η θερμοκρασία είναι υψηλότερη στην περιοχή, όπου η πυκνότητα ρεύματος είναι μεγαλύτερη.

Περίληψη.

Ηλεκτρικό ρεύμα :

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

$$1A = 1C / s$$

$$I = nq v_d A$$

Πυκνότητα Ρεύματος :

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

$$J = nq v_d$$

$$J = \sigma E$$

Αντίσταση, Νόμος Ohm

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

$$R = \frac{l}{\sigma A} = S \frac{l}{A}$$

$$S = S_0 [1 + a(T - T_0)]$$

Ισχύς :

$$P = IV$$

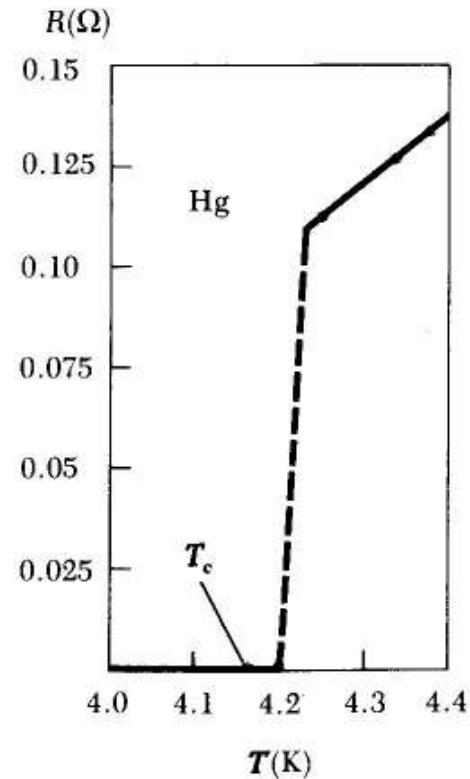
$$P = I^2 / R$$

Υπεραγωγιμότητα

• Παρατηρήθηκε από τον H. Kamerlingh-Onnes το 1911.

• Όταν η θερμοκρασία γίνει μικρότερη από την κρίσιμη, η αντίσταση μηδενίζεται.

• Για τον Hg, $T_c = 4,15 \text{ K}$ και $S = 4 \cdot 10^{-25} \Omega \text{ m}$.

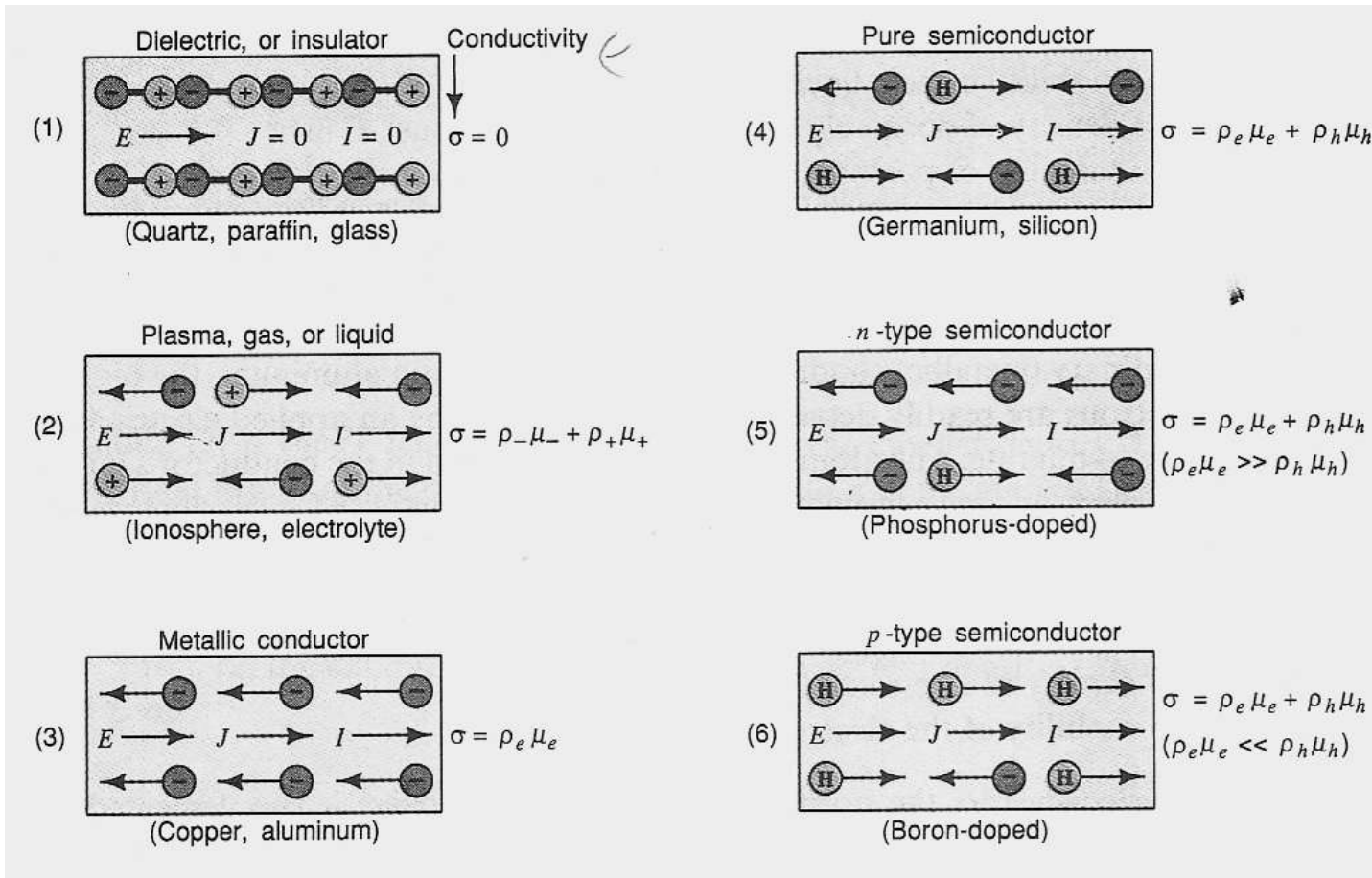


Σχήμα 27.12 Η αντίσταση του υδραργύρου συναρτήσει της θερμοκρασίας. Για θερμοκρασίες υψηλότερες από την T_c η καμπύλη μοιάζει με την καμπύλη ενός κοινού μετάλλου. Όταν όμως η θερμοκρασία γίνει ίση ή μικρότερη προς την κρίσιμη θερμοκρασία, T_c (4.15 K για τον υδράργυρο), η αντίσταση μηδενίζεται.

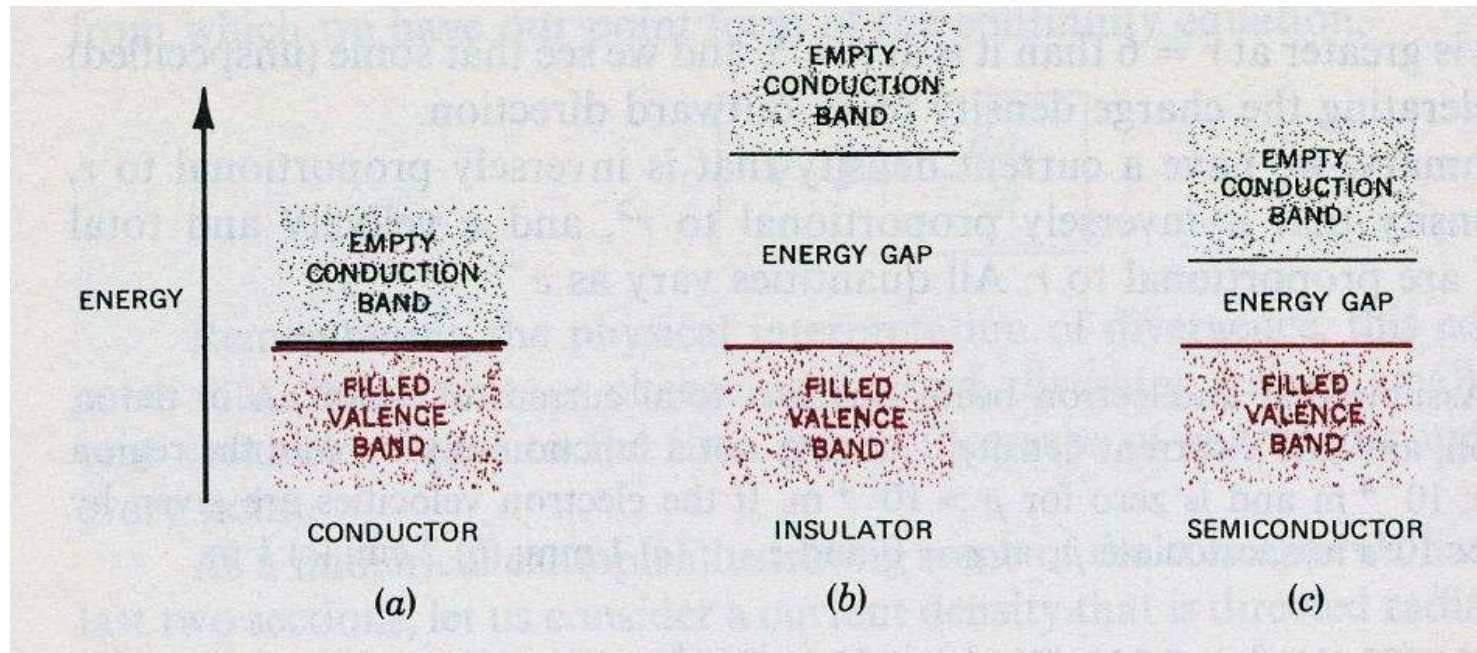
Ιδιότητες υλικών

Αγωγοί	Μέταλλα Ελεύθερα ηλεκτρόνια
	Ηλεκτρολύτες Θετικά, αρνητικά ιόντα.
	Πλάσμα Αέριο ιονισμένο
Μονωτές	Διηλεκτρικά Αέρια, πετρώματα, κεραμικά
Ημιαγωγοί	Ge, Si η αγωγιμότητα εξαρτάται από τις προσμίξεις.

Αγωγιμότητα υλικών



Ζώνες Αγωγιμότητας υλικών



Οι ατομικές στάθμες στα υλικά αλληλεπιδρούν και σχηματίζονται, οι *ζώνες σθένους* και οι *ζώνες αγωγιμότητας*. Στα *μέταλλα* οι δύο ζώνες επικοινωνούν και όλα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια περνούν στη ζώνη αγωγιμότητας. Στους *μονωτές*, η ενεργειακή διαφορά είναι μεγάλη και τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να ανέβουν στη ζώνη αγωγιμότητας. Στους *ημιαγωγούς* οι ζώνες έχουν μικρή διαφορά ενέργειας και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μπορούν να ανέβουν με μικρή αύξηση της κινητικής τους ενέργειας.