



Εικόνα: Οι γραμμές ρεύματος μεταφέρουν ενέργεια από την ηλεκτρική εταιρία στα σπίτια και τις επιχειρήσεις μας. Η ενέργεια μεταφέρεται σε πολύ υψηλές τάσεις, πιθανότατα εκατοντάδων χιλιάδων volt. Αν και αυτό καθιστά της ηλεκτροφόρες γραμμές επικίνδυνες, η υψηλή τάση συνεισφέρει στη λιγότερη απώλεια ενέργειας λόγω αντιστάσεων των καλωδίων (Telegraph Colour Library/FPG)

Φυσική για Μηχανικούς

Ρεύμα και Αντίσταση



Εικόνα: Οι γραμμές ρεύματος μεταφέρουν ενέργεια από την ηλεκτρική εταιρία στα σπίτια και τις επιχειρήσεις μας. Η ενέργεια μεταφέρεται σε πολύ υψηλές τάσεις, πιθανότατα εκατοντάδων χιλιάδων volt. Αν και αυτό καθιστά της ηλεκτροφόρες γραμμές επικίνδυνες, η υψηλή τάση συνεισφέρει στη λιγότερη απώλεια ενέργειας λόγω αντιστάσεων των καλωδίων (Telegraph Colour Library/FPG)

Φυσική για Μηχανικούς

Ρεύμα και Αντίσταση



Ρεύμα και Αντίσταση

◉ Εισαγωγή

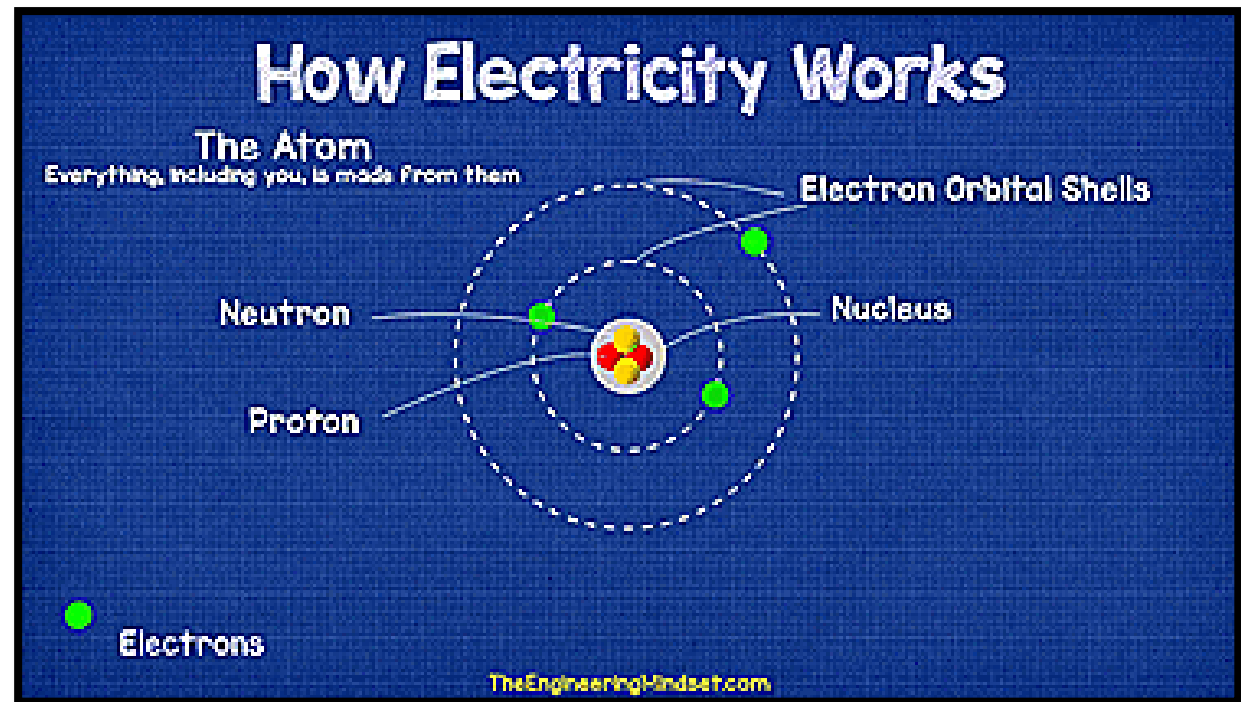
- ◉ Σε αυτή τη διάλεξη θα ασχοληθούμε με την **κίνηση** ηλεκτρικών φορτίων σε μια περιοχή του χώρου
 - ◉ Ως τώρα θεωρούσαμε – συνήθως – ένα πλήθος φορτίων ως στάσιμο!
- ◉ Θα μάθουμε τον όρο **ηλεκτρικό ρεύμα** (ή απλώς *ρεύμα*) για την περιγραφή του **ρυθμού της ροής του φορτίου**
 - ◉ Ροές φορτίων υπάρχουν σε ατμοσφαιρικά φαινόμενα, στο ανθρώπινο σώμα, σε ηλεκτρικά συστήματα, στο ηλιακό μας σύστημα...
- ◉ Επίσης, θα μιλήσουμε για την **ηλεκτρική αντίσταση**
- ◉ Θα εισάγουμε ένα νέο στοιχείο, τον **αντιστάτη**



Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρικό Ρεύμα

- Στα πλαίσια του μαθήματος, μας ενδιαφέρει η ροή **σταθερών (σε μέτρο & φορά)** ρευμάτων (δηλ. η σταθερή ροή ελεύθερων ηλεκτρονίων τα οποία κινούνται διαμέσου **μεταλλικών αγωγών** (καλώδια))





Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρικό Ρεύμα

- Ας ξεκινήσουμε τη μελέτη της **ροής ηλεκτρικού φορτίου** σε ένα τμήμα υλικού
- Η ποσότητα της ροής εξαρτάται από
 - το είδος του υλικού
 - τη διαφορά δυναμικού κατά μήκος του υλικού
- Λέμε ότι υπάρχει **ηλεκτρικό ρεύμα** όταν έχουμε **προσανατολισμένη ροή** ηλεκτρικού φορτίου μέσα από μια περιοχή
- «Προσανατολισμένη ροή»???

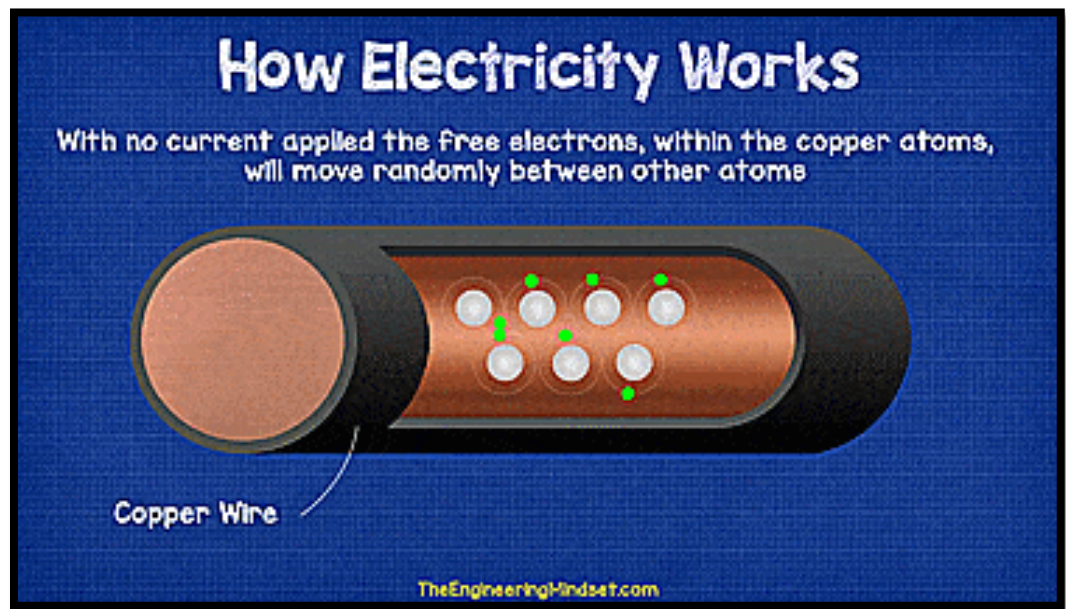




Ρεύμα και Αντίσταση

• Ηλεκτρικό Ρεύμα

- Τι σημαίνει «προσανατολισμένη ροή»?
- Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια σε έναν αγωγό κινούνται **τυχαία** με ταχύτητες της τάξης του 10^6 m/s...
 - ...αλλά **δεν έχουν συνολικά κάποια προτίμηση** να κινηθούν προς μια κατεύθυνση...
- ...κι έτσι δεν υπάρχει ρεύμα στον αγωγό

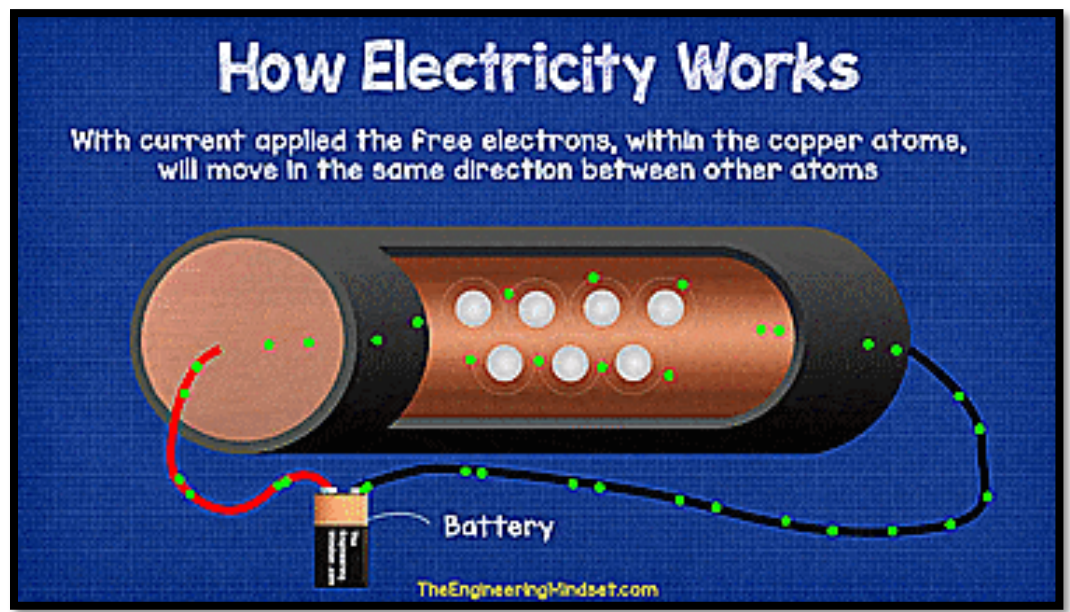




Ρεύμα και Αντίσταση

• Ηλεκτρικό Ρεύμα

- Μια διαφορά δυναμικού στα άκρα του αγωγού θα προκαλέσει μια «προδιάθεση» για κίνηση (προσανατολισμένη κίνηση) των ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση, και αυτό θα αποτελέσει το **ρεύμα**

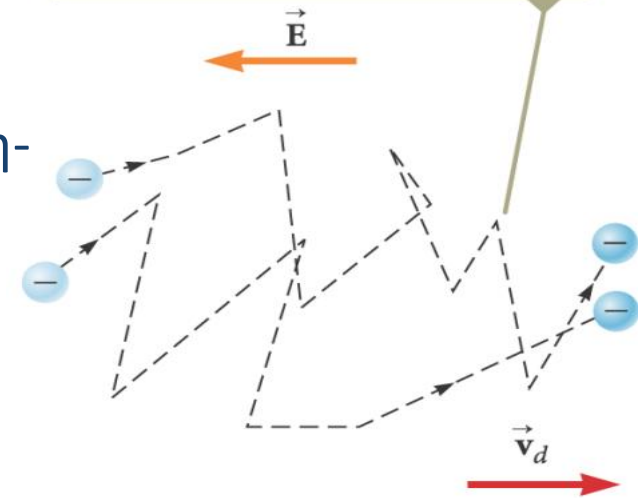


Ρεύμα και Αντίσταση

◉ Ηλεκτρικό Ρεύμα

- ◉ Αυτή η προσανατολισμένη κίνηση γίνεται με ταχύτητες **πολύ μικρές**
- ◉ Η ταχύτητα προσανατολισμένης κίνησης των ηλεκτρονίων αντίθετα της φοράς του ηλ. πεδίου ονομάζεται **ταχύτητα ολίσθησης $\vec{u}_d$**
- ◉ Η ταχύτητα ολίσθησης είναι αρκετά μικρή, της τάξης του 10^{-4} m/s
- ◉ Πώς τότε πατάμε ένα κουμπί και φωτίζεται αμέσως μια λάμπα?
 - ◉ Μα τα καλώδια είναι γεμάτα ηλεκτρόνια!
 - ◉ Με την εγκατάσταση του πεδίου, υπάρχει σχεδόν άμεση κίνηση όλων των ηλεκτρονίων στο καλώδιο
 - ◉ Δε χρειάζεται να περιμένουμε να προχωρήσει το ηλεκτρόνιο που βρίσκεται «πίσω» από το διακόπτη μέχρι τη λάμπα!

Το πεδίο αλλάζει την τυχαία κίνηση των φορέων φορτίου, οπότε η ταχύτητα ολίσθησής τους είναι αντίθετη της κατεύθυνσης του ηλεκτρικού πεδίου.





Ρεύμα και Αντίσταση

• Ηλεκτρικό Ρεύμα

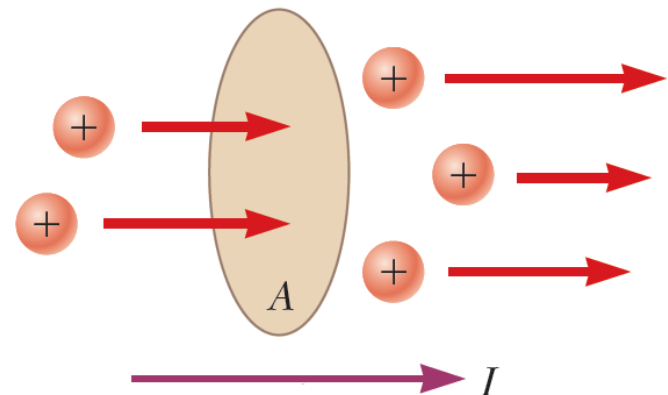
• Ας ορίσουμε το ρεύμα ποσοτικά:

- Έστω μια ποσότητα φορτίου που κινείται κάθετα σε μια επιφάνεια εμβαδού A
- Το **ρεύμα** ορίζεται ως ο ρυθμός με τον οποίο το φορτίο ρέει μέσα από την επιφάνεια
- Αν η ποσότητα του φορτίου που περνάει από την επιφάνεια σε χρόνο Δt είναι ΔQ , τότε το **μέσο ρεύμα** ισούται με

Μονάδα
μέτρησης:

1 Ampere (A) =
1 C/s

$$I_{avg} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$



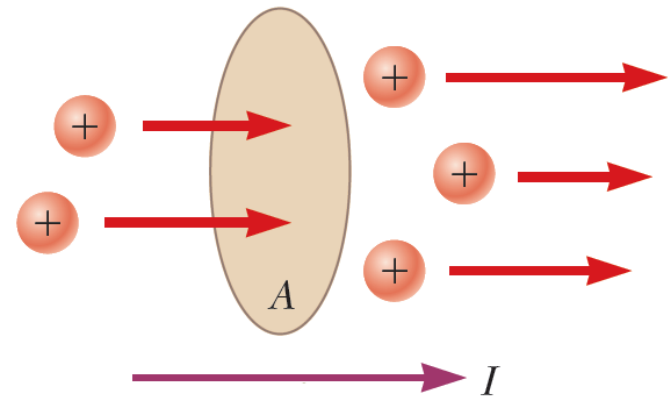
Ρεύμα και Αντίσταση

- Ηλεκτρικό Ρεύμα

- Το **στιγμιαίο ρεύμα** ορίζεται ως το όριο του μέσου ηλεκτρικού ρεύματος όταν $\Delta t \rightarrow 0$

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

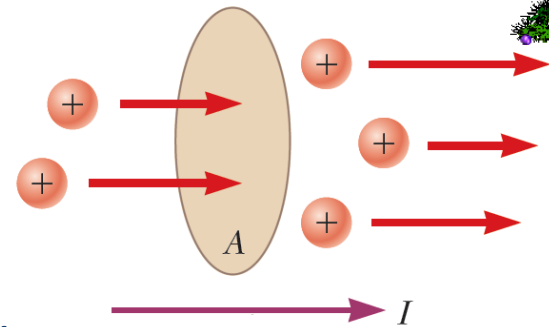
- Τα φορτισμένα σωματίδια που διαπερνούν μια επιφάνεια μπορεί να είναι θετικά, αρνητικά, ή και τα δυο (**στα μέταλλα είναι αρνητικά – ηλεκτρόνια**)
- Έχει συμφωνηθεί (για ιστορικούς λόγους) να θεωρούμε ως κατεύθυνση του ρεύματος την κατεύθυνση των **θετικών** φορτίων
 - Δηλ. αντίθετη στην κίνηση των ηλεκτρονίων στους μεταλλικούς αγωγούς



Ρεύμα και Αντίσταση

• Ηλεκτρικό Ρεύμα

- Αν τα άκρα ενός αγωγίμου καλωδίου ενωθούν σε ένα βρόχο (κλειστό μονοπάτι), όλα τα σημεία του βρόχου έχουν το ίδιο ηλεκτρικό δυναμικό
 - Το ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$ είναι μηδέν
 - Άρα δεν υπάρχει ρεύμα
- Αν όμως τα άκρα του συνδεθούν σε μια μπαταρία (πηγή **διαφοράς δυναμικού**), δεν έχουν όλα τα σημεία του βρόχου το ίδιο δυναμικό!
 - Η μπαταρία εγκαθιστά διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων του βρόχου
 - Δημιουργώντας ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο καλώδιο
 - Το πεδίο προκαλεί ηλεκτρική δύναμη στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του καλωδίου, προκαλώντας την προσανατολισμένη κίνησή τους
 - Δημιουργώντας έτσι το **ηλεκτρικό ρεύμα**!





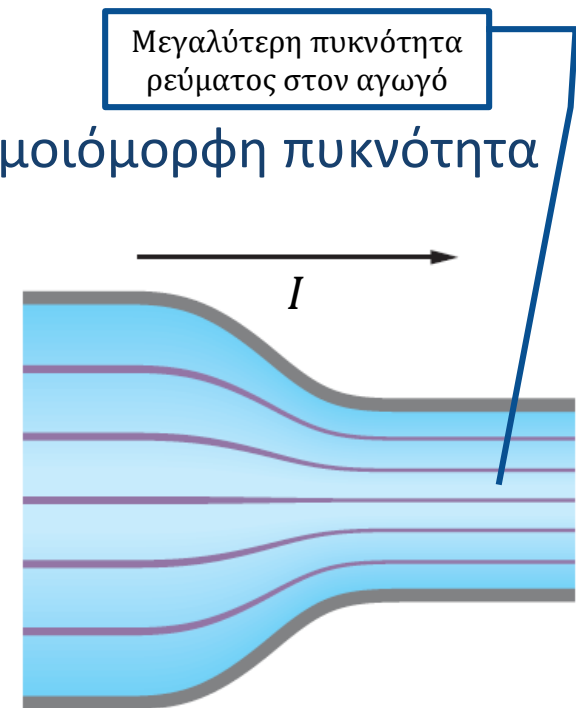
Ρεύμα και Αντίσταση

• Ηλεκτρικό ρεύμα

- Ας ορίσουμε ως **πυκνότητα ρεύματος** J σε ένα καλώδιο ως το ρεύμα ανά μονάδα επιφάνειας

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

- Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο για ομοιόμορφη πυκνότητα και για επιφάνεια A κάθετη στη διεύθυνση του ρεύματος
- Όπως περιγράψαμε ηλεκτρικά πεδία με ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές, έτσι μπορούμε να περιγράψουμε την πυκνότητα ρεύματος με αντίστοιχες **ρευματικές γραμμές**





Ρεύμα και Αντίσταση

- **Ηλεκτρικό ρεύμα**

- Μπορούμε να σχετίσουμε το ρεύμα I με την ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων u_d ? Ας το δούμε...

- Τα (υποτιθ.) θετικά φορτία του κυλινδρικού αγωγού κινούνται προς τη φορά του ηλεκτρικού πεδίου

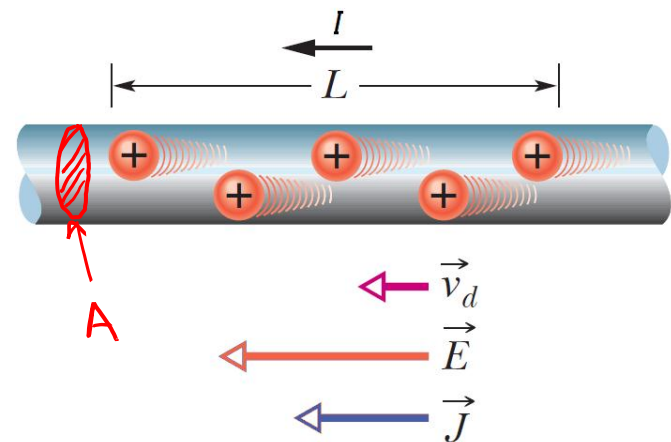
- Αν η πυκνότητα ρεύματος είναι ομοιόμορφη σε όλο τον αγωγό, και η ταχύτητα ολίσθησης είναι ίδια για όλα τα φορτία, τότε το πλήθος των φορτίων σε έναν αγωγό μήκους L και επιφάνειας διατομής A (δηλ. όγκου $V = AL$) είναι

$$N = nV = nAL$$

- ...όπου n το πλήθος των φορέων φορτίου ανά μονάδα όγκου

- Το συνολικό φορτίο θα είναι (αν e είναι το φορτίο κάθε φορέα)

$$q = Ne = (nAL)e$$





Ρεύμα και Αντίσταση

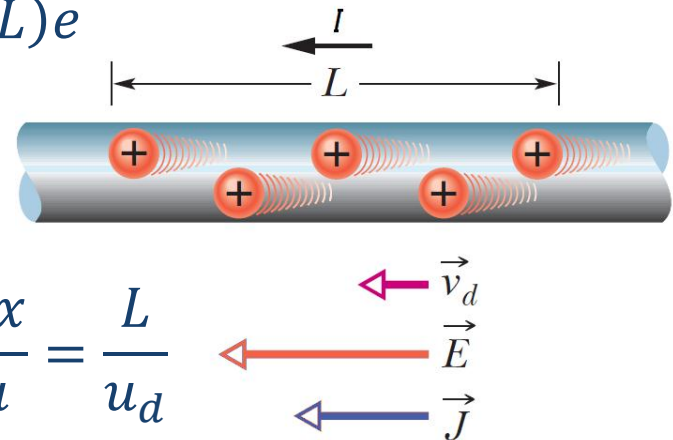
- Ηλεκτρικό ρεύμα

- Το συνολικό φορτίο θα είναι (αν e είναι το φορτίο κάθε φορέα)

$$q = Ne = (nAL)e$$

- Αφού η ταχύτητα ολίσθησης είναι κοινή (και **σταθερή**) για όλα τα φορτία, τότε σε χρόνο

$$\Delta x = ut \Leftrightarrow t = \frac{\Delta x}{u} = \frac{L}{u_d}$$



θα έχει περάσει το παραπάνω $q = (nAL)e$ φορτίο από τον αγωγό

- Άρα

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{nALe}{\frac{L}{u_d}} = nAeu_d \Rightarrow J = \frac{I}{A} = neu_d$$



Ρεύμα και Αντίσταση

- Ηλεκτρικό ρεύμα σε υλικά

- Ας ξεκινήσουμε τη μελέτη του ρεύματος σε **υλικά**
 - **Ισοτροπικά υλικά:** οι ηλεκτρικές τους ιδιότητες παραμένουν ίδιες σε όλες τις κατευθύνσεις
- Ας ορίσουμε ως **ειδική αγωγιμότητα σ** ενός υλικού μια σταθερά που περιγράφει την πυκνότητα ρεύματος J δεδομένης μιας τιμής ηλεκτρικού πεδίου E στο υλικό
 - Περιγράφει πόσο «καλά» ένα υλικό άγει το ηλεκτρικό ρεύμα
- Σε μερικά υλικά (αρκετά, συμπεριλαμβανομένων και πολλών μετάλλων), η πυκνότητα ρεύματος είναι ανάλογη του μέτρου του ηλεκτρικού πεδίου

$$J = \sigma E$$

Ρεύμα και Αντίσταση

Προαιρετικό
υλικό



- Ηλεκτρικό ρεύμα σε υλικά
- **Υλικά** που ικανοποιούν την προηγούμενη σχέση λέμε ότι ακολουθούν το **νόμο του Ohm**:
- Ο λόγος της πυκνότητας ρεύματος J προς το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου E είναι σταθερός και ίσος με σ , και ανεξάρτητος από το ηλεκτρικό πεδίο που παράγει το ρεύμα

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

- Ο νόμος του Ohm δεν είναι «νόμος» της Φύσης, αλλά μια εμπειρική σχέση που ισχύει μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις

Ρεύμα και Αντίσταση

Προαιρετικό
υλικό



• Ηλεκτρικό ρεύμα σε υλικά

- Ο νόμος του Ohm είναι μια σχέση με πολύ μεγάλη σημασία. Γιατί;

$$J = \sigma E$$

- Μας λέει **τρία** πράγματα:

- ✓ Η πυκνότητα ρεύματος, και ως εκ τούτου το ρεύμα, εξαρτάται **με γραμμικό τρόπο** από το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου:

$$J = \sigma E \Rightarrow \frac{I}{A} = \sigma E \Rightarrow I = (\sigma A)E$$

- ✓ Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο που ασκεί ηλεκτρικές δυνάμεις στους φορείς φορτίου
- ✓ Η πυκνότητα ρεύματος εξαρτάται από την ειδική αγωγιμότητα του υλικού: το υλικό καθορίζει πόσο ρεύμα παίρνει κανείς για δοθείσα τιμή του ηλεκτρικού πεδίου

Ρεύμα και Αντίσταση

Προαιρετικό
υλικό



• Ηλεκτρικό ρεύμα σε υλικά

- ✓ Η πυκνότητα ρεύματος, και ως εκ τούτου το ρεύμα, εξαρτάται **με γραμμικό τρόπο** από το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου:

$$J = \sigma E$$

$$J = \sigma E \Rightarrow I = (\sigma A)E$$

σημαίνει ότι:

- Γραμμικότητα $\rightarrow$ ισχύει η **αρχή της επαλληλίας** για το ρεύμα
- Οι εξισώσεις που περιγράφουν δυναμικά γίνονται γραμμικές
- Μπορούμε να κάνουμε **ολόκληρη την ανάλυση κυκλωμάτων** με γραμμικές εξισώσεις

Ρεύμα και Αντίσταση

Προαιρετικό
υλικό



• Ηλεκτρικό ρεύμα σε υλικά

- ✓ Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο που ασκεί ηλεκτρ. δυνάμεις στους φορείς φορτίου

$$J = \sigma E$$

σημαίνει ότι:

- Το ηλεκτρικό ρεύμα δεν είναι κάτι μαγικό στα καλώδια: είναι απλώς φορτία που «σπρώχνονται» από το πεδίο
- Συνδέει **μικροσκοπικό** (φορτία) με **μακροσκοπικό** (J, σ) κόσμο
- Δηλώνει ρητά το μηχανισμό: δύναμη $\rightarrow qE \rightarrow$ ταχύτητα ολίσθησης $\rightarrow$ πυκνότητα ρεύματος
 - ...κι όχι απλά «βάζουμε μια μπαταρία και όλα δουλεύουν ως δια μαγείας»

Ρεύμα και Αντίσταση

Προαιρετικό
υλικό



• Ηλεκτρικό ρεύμα σε υλικά

- ✓ Η πυκνότητα ρεύματος εξαρτάται από την ειδική αγωγιμότητα του υλικού: το υλικό καθορίζει πόσο ρεύμα παίρνει κανείς για δοθέν πεδίο

$$J = \sigma E$$

σημαίνει ότι:

- Η σ «κουβαλάει» μέσα της ολόκληρη τη **στερεά κατάσταση** του υλικού: τύπος δεσμών, δομή πλέγματος, ατέλειες, θερμοκρασία, προσμίξεις...
- Με ένα μοναδικό αριθμό γνωρίζουμε: αν το υλικό είναι μέταλλο, ημιαγωγός, μονωτής, πόσο ρεύμα “ανέχεται”, πώς θα αντιδράσει σε μεταβολή θερμοκρασίας κλπ.



Ρεύμα και Αντίσταση

- Ηλεκτρικό ρεύμα σε υλικά
- Επιπλέον μπορούμε να ορίσουμε:
- Ειδική αντίσταση ρ ενός υλικού:

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

με σ, ρ να σχετίζονται ως

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \Rightarrow \rho = \frac{1}{\sigma}$$

- Η ειδική αντίσταση μας πληροφορεί για το πόσο «διστακτικά» κινούνται τα ηλεκτρόνια σε απάντηση στο ηλεκτρικό πεδίο
 - Δηλ. η ειδική αντίσταση μετρά το βαθμό με τον οποίο ένα υλικό «αντιστέκεται» στη ροή φορτίων: για δεδομένη πυκνότητα ρεύματος J , όσο μεγαλύτερη είναι η ρ , τόσο ισχυρότερο ηλεκτρικό πεδίο E απαιτείται ($E = \rho J$)



Ρεύμα και Αντίσταση

- Ηλεκτρικό ρεύμα σε υλικά
- Πιο πρακτικά, μας ενδιαφέρουν συγκεκριμένα σχήματα και γεωμετρίες υλικών
- Εφαρμόζοντας μια διαφορά δυναμικού στα άκρα δυο **ίδιων (ως προς τις διαστάσεις τους)** ράβδων χαλκού και γυαλιού, παρατηρούμε τελείως διαφορετικά ρεύματα
- Κάθε ράβδος έχει διαφορετική **αντίσταση** και η ράβδος χαλκού ή γυαλιού ονομάζεται **αντιστάτης**



Ρεύμα και Αντίσταση

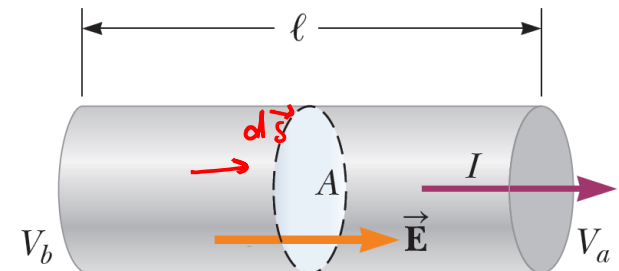
• Αντίσταση

- Ας θεωρήσουμε έναν συγκεκριμένο αγωγό με ομοιόμορφη επιφάνεια διατομής εμβαδού A και με μήκος l
- Μια διαφορά δυναμικού ΔV δημιουργείται κατά μήκος του αν τον συνδέσουμε με μια μπαταρία (π.χ.)
 - Δημιουργώντας έτσι εντός του αγωγού ένα ηλεκτρικό πεδίο και ένα ρεύμα
- Αν υποθέσουμε ότι το πεδίο είναι ομογενές, το μέτρο της διαφοράς δυναμικού **κατά μήκος** του αγωγού είναι

$$|\Delta V| = |V_b - V_a| = \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = El$$

- Έτσι, η πυκνότητα ρεύματος είναι

$$J = \sigma E = \sigma \frac{|\Delta V|}{l}$$





Ρεύμα και Αντίσταση

- **Αντίσταση**

- Επειδή όμως $J = \frac{I}{A}$, η διαφορά δυναμικού τελικά είναι

$$J = \sigma \frac{|\Delta V|}{l} \Rightarrow |\Delta V| = \frac{l}{\sigma} J = \rho \frac{l}{A} I = RI \Rightarrow |\Delta V| = RI$$

- Η ποσότητα

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

ονομάζεται **αντίσταση** του αγωγού

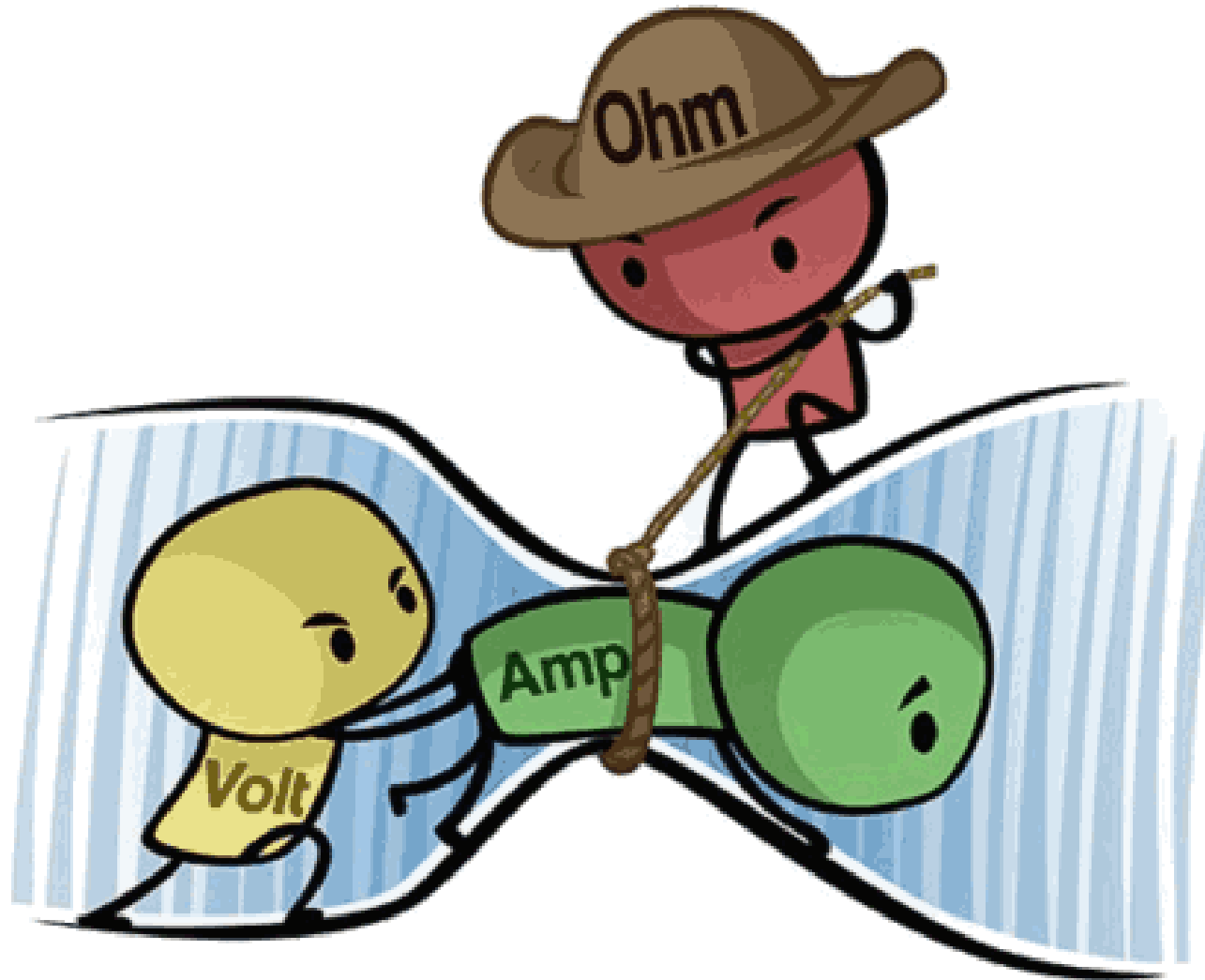
- Ορίζουμε λοιπόν την **αντίσταση** ενός αγωγού ως το **λόγο** της **διαφοράς δυναμικού** προς το **ρεύμα** που τον διαρρέει

$$R \equiv \frac{|\Delta V|}{I}$$

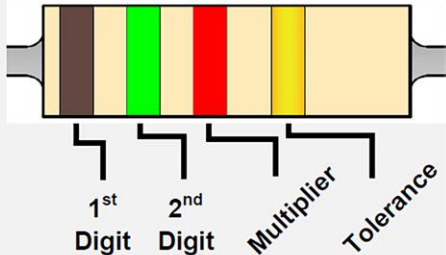
• • •

$$\frac{V}{A} = 1 \text{ Ohm } (\Omega)$$

Ρεύμα και Αντίσταση



Ρεύμα και Αντίσταση



	1 st Digit	2 nd Digit	Multiplier	Tolerance
Black	0	0	x 1	
Brown	1	1	x10	±1%
Red	2	2	x10 ²	±2%
Orange	3	3	x10 ³	±3%
Yellow	4	4	x10 ⁴	±4%
Green	5	5	x10 ⁵	±0.5%
Blue	6	6	x10 ⁶	±0.25%
Violet	7	7	x10 ⁷	±0.1%
Grey	8	8	x10 ⁸	±0.05%
White	9	9	x10 ⁹	
Gold			x10 ⁻¹	±5%
Silver			x10 ⁻²	±10%



Ρεύμα και Αντίσταση

- Αντίσταση

- Αντίσταση R και ειδική αντίσταση ρ

- Είναι το ίδιο πράγμα?

- Όχι!

- Η ειδική αντίσταση περιγράφει το **υλικό**, όχι κάποιο τμήμα του με συγκεκριμένη γεωμετρία

- Η αντίσταση χαρακτηρίζει ένα **συγκεκριμένο κομμάτι** αγωγού με συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά

- Μήκος, επιφάνεια διατομής, υλικό

- Κάπως αντίστοιχο με τις έννοιες της **μάζας** και της **πυκνότητας μάζας**



Ρεύμα και Αντίσταση

- **Αντίσταση**

- **Νόμος του Ohm**

- Από τον ορισμό της αντίστασης έχουμε

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

- Εγκαθιστώντας μια διαφορά δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού αντίστασης R δημιουργούμε ηλεκτρικό πεδίο...
 - ...που με τη σειρά του δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα διαμέσου του αγωγού!
 - Μικρότερη αντίσταση $R \rightarrow$ μεγάλο ρεύμα I για την ίδια διαφορά δυναμικού ΔV



Ρεύμα και Αντίσταση

- Αντίσταση
- Νόμος του Ohm

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

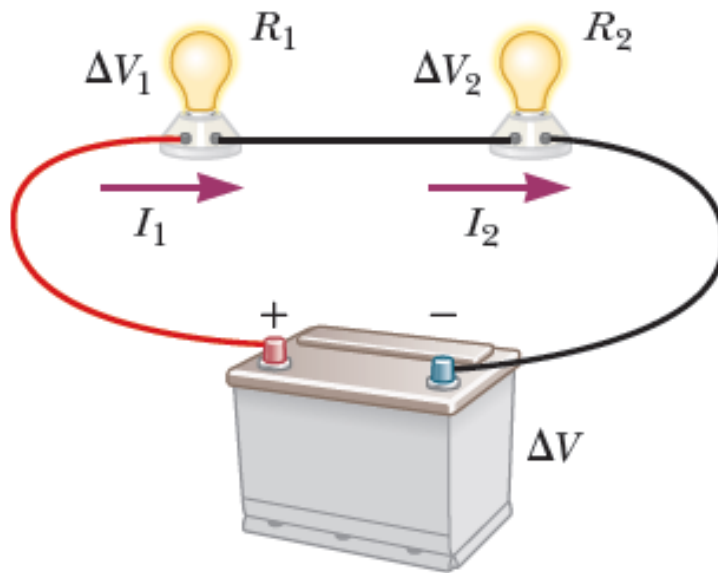
- Αν η σχέση $I = \Delta V / R$ παραμένει γραμμική (σταθερό R), λέμε ότι το στοιχείο του αντιστάτη υπακούει στον **νόμο του Ohm**
- Αυτή είναι η μορφή που χρησιμοποιείται συνήθως στην ηλεκτρονική
- Ο νόμος του Ohm είναι εμπειρική γραμμική σχέση, όχι θεμελιώδης νόμος της Φύσης, και ισχύει προσεγγιστικά για πολλά υλικά σε συγκεκριμένες συνθήκες
 - Δεν ισχύει π.χ. για διόδους, ημιαγωγούς κλπ.



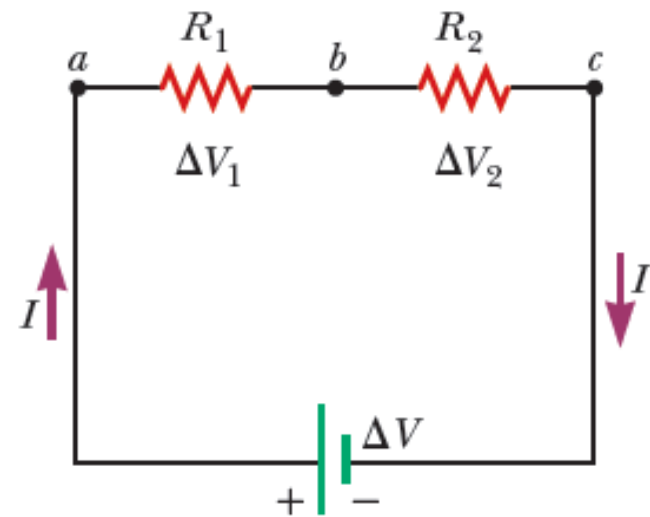
Ηλεκτρικά Κυκλώματα

• Αντιστάτες σε σειρά & παράλληλα

- Ας δούμε αν μπορούμε να εφαρμόσουμε το ίδιο «σχέδιο» απλοποίησης στους αντιστάτες, όπως κάναμε με τους πυκνωτές
- Ας ξεκινήσουμε με μια διάταξη **σε σειρά**



a



b

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

- Αντιστάτες σε σειρά

- Η διαφορά δυναμικού δίνεται ως

$$\begin{aligned}\Delta V &= \Delta V_1 + \Delta V_2 \\ &= I_1 R_1 + I_2 R_2\end{aligned}$$

- Η ποσότητα φορτίου Q που εξέρχεται του αντιστάτη R_1 θα πρέπει να είναι ίδια με αυτή που εισέρχεται στον R_2 , αφού το φορτίο στο κύκλωμα δεν αλλάζει!

- Άρα $I = I_1 = I_2$

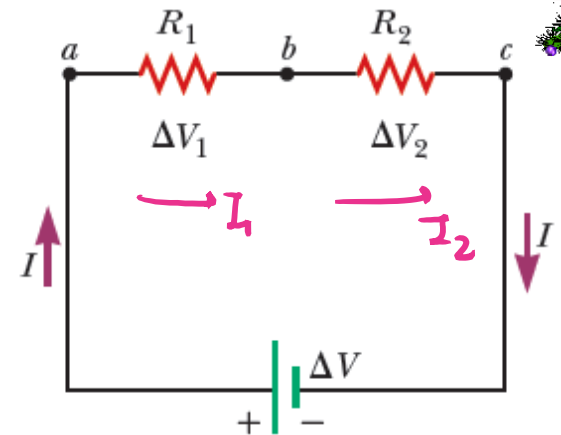
- Έτσι, $I_1 R_1 + I_2 R_2 = I(R_1 + R_2)$

- Οπότε ένας **ισοδύναμος** αντιστάτης θα πρέπει να έχει αντίσταση

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

- Γενικότερα

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^N R_i$$



Ηλεκτρικά Κυκλώματα



• Αντιστάτες σε παραλληλία

- Προφανώς, η διαφορά δυναμικού στα άκρα τους είναι η ίδια
- Άρα $\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$, αν ΔV είναι η διαφορά δυναμικού που εγκαθιστά η μπαταρία
- Το ρεύμα I «**χωρίζεται**» σε δυο, αφού οι αντιστάσεις είναι διαφορετικές
- Επειδή όμως το συνολικό φορτίο διατηρείται

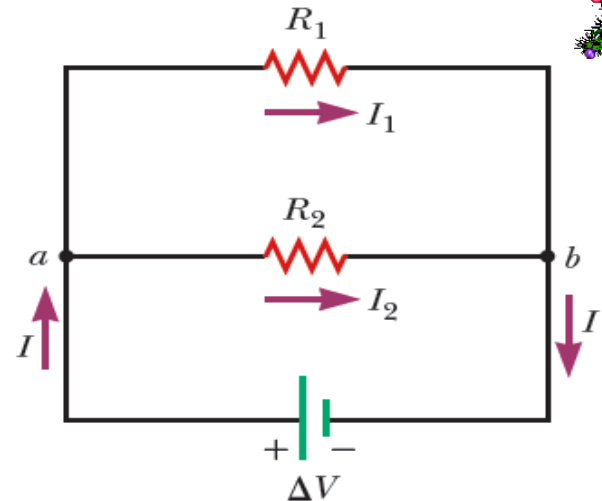
$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V_1}{R_1} + \frac{\Delta V_2}{R_2} = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

- Άρα ένας **ισοδύναμος** αντιστάτης θα πρέπει να έχει αντίσταση

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

- Γενικότερα

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$



Στην πραγματικότητα, το ρεύμα **ΔΕ χωρίζεται**: επιλέγει και τα δυο μονοπάτια, αλλά με διαφορετική ένταση, λόγω του ότι η διαφορά δυναμικού είναι ίδια ενώ η αντίσταση διαφορετική στους δυο αντιστάτες



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

- Συνοψίζοντας:

- Παράλληλη σύνδεση:

- Ισοδύναμος αντιστάτης με **ρεύμα ίσο με το άθροισμα των επιμέρους ρευμάτων** και **ίδια διαφορά δυναμικού με τους επιμέρους αντιστάτες**
- Αντίσταση ίση με το αντίστροφο άθροισμα των επιμέρους αντίστροφων αντιστάσεων

- Σειριακή σύνδεση:

- Ισοδύναμος αντιστάτης με **ρεύμα ίσο με τα επιμέρους ρεύματα** και **διαφορά δυναμικού ίση με το άθροισμα των διαφορών δυναμικού των επιμέρους αντιστατών**
- Αντίσταση ίση με το άθροισμα των επιμέρους αντιστάσεων

$$R_{eq} = \left(\sum \frac{1}{R_i} \right)^{-1}$$

$$I_{eq} = \sum I_i$$

$$\Delta V_{eq} = \Delta V_i$$

$$R_{eq} = \sum R_i$$

$$I_{eq} = I_i$$

$$\Delta V_{eq} = \sum \Delta V_i$$



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

Πυκνωτές

- Σε σειρά:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$$

- Σε παραλληλία:

$$C_{eq} = \sum_{i=1}^N C_i$$

Αντιστάτες

- Σε σειρά:

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^N R_i$$

- Σε παραλληλία:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

Ηλεκτρικά Κυκλώματα



• Παράδειγμα:

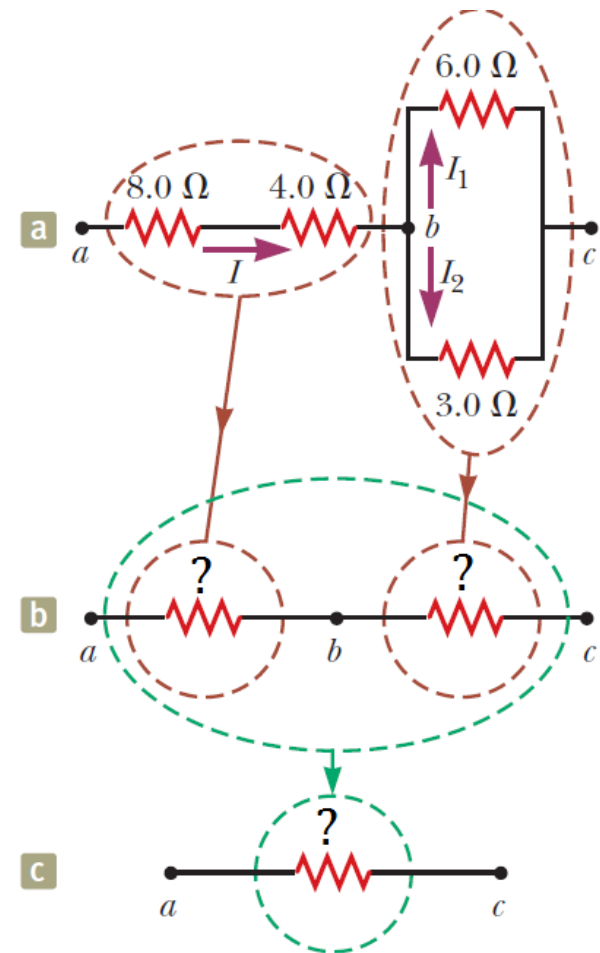
- Α) Βρείτε την ισοδύναμη αντίσταση

- Σε σειρά:

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^N R_i$$

- Σε παραλληλία:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$



Ηλεκτρικά Κυκλώματα



• Παράδειγμα:

- Β) Αν η διάταξη συνδεθεί σε μια διαφορά δυναμικού 7 V , πόση θα είναι η διαφορά δυναμικού στον πρώτο αντιστάτη, των $8\ \Omega$?

- Σε σειρά:

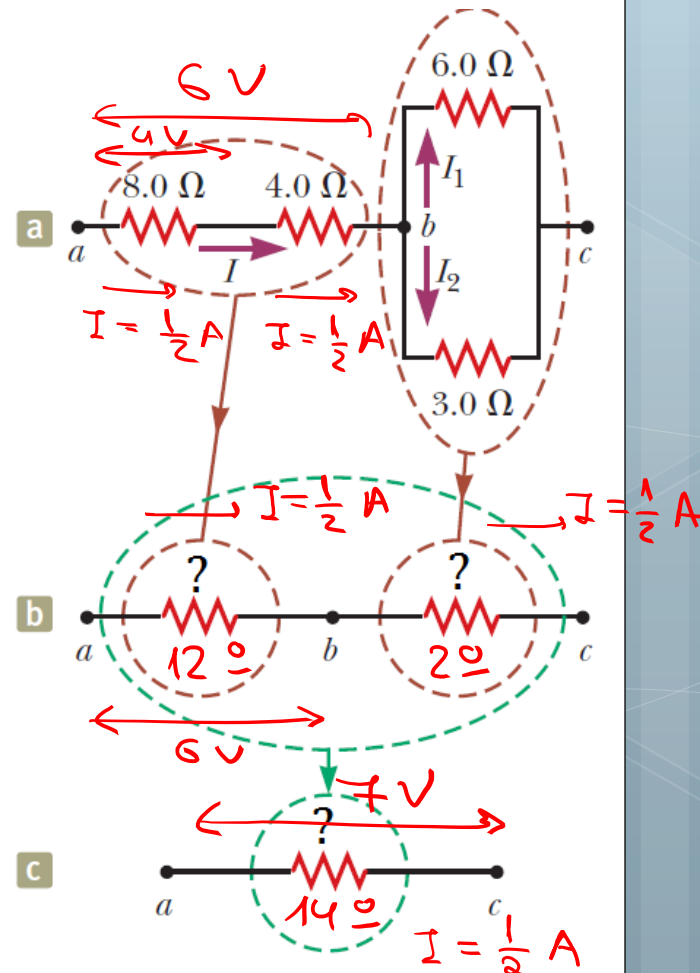
$$R_{eq} = \sum_{i=1}^N R_i \quad \Delta V_{eq} = \sum \Delta V_i \quad I_{eq} = I_i$$

- Σε παραλληλία:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i} \quad \Delta V_{eq} = \Delta V_i \quad I_{eq} = \sum I_i$$

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

$$\Delta V = IR$$





Ηλεκτρικά Κυκλώματα

◉ Παράδειγμα:

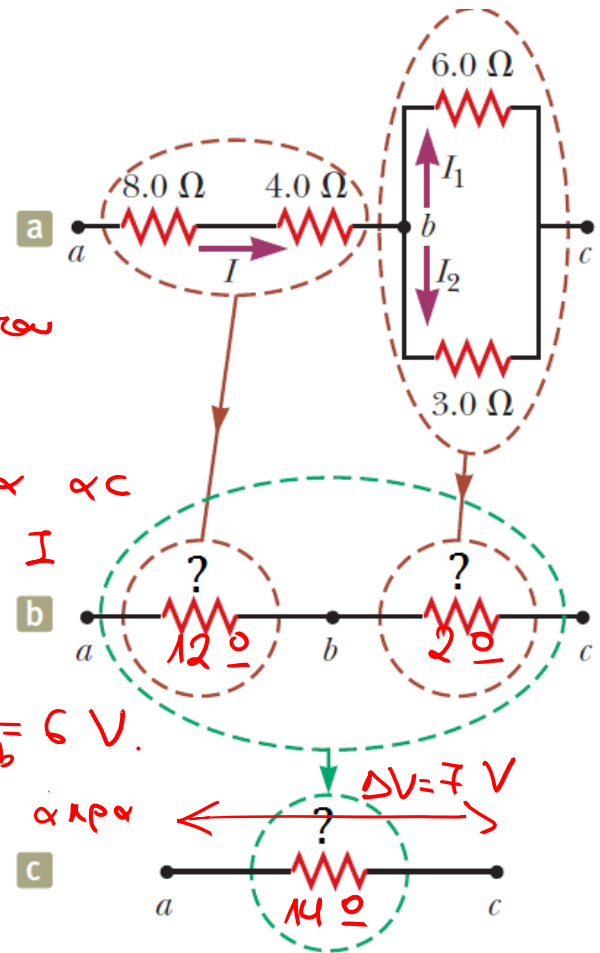
- ◉ Β) Αν η διάταξη συνδεθεί σε μια διαφορά δυναμικού 7 V , πόση θα είναι η διαφορά δυναμικού στον πρώτο αντιστάτη, των $8\ \Omega$?

Στο (c), αφού $\Delta V = 7\text{ V}$, τότε από το νόμο του Ohm, $I = \Delta V / R = 7 / 14\text{ A} = 0.5\text{ A}$.

Η ίδια διαφορά δυναμικού εφαρμόζεται στα άκρα αc του (b). Λόγω σειριακής σύνδεσης, το ρεύμα I ρέει σε κάθε αντιστάτη στη διάταξη (b).

Άρα $I_{ab} = I = 0.5\text{ A}$ και άρα $\Delta V_{ab} = I_{ab} R_{ab} = 6\text{ V}$.

Η ίδια διαφορά δυναμικού ΔV_{ab} εφαρμόζεται στα άκρα α'β στο σχήμα (a). Λόγω σειριακής σύνδεσης



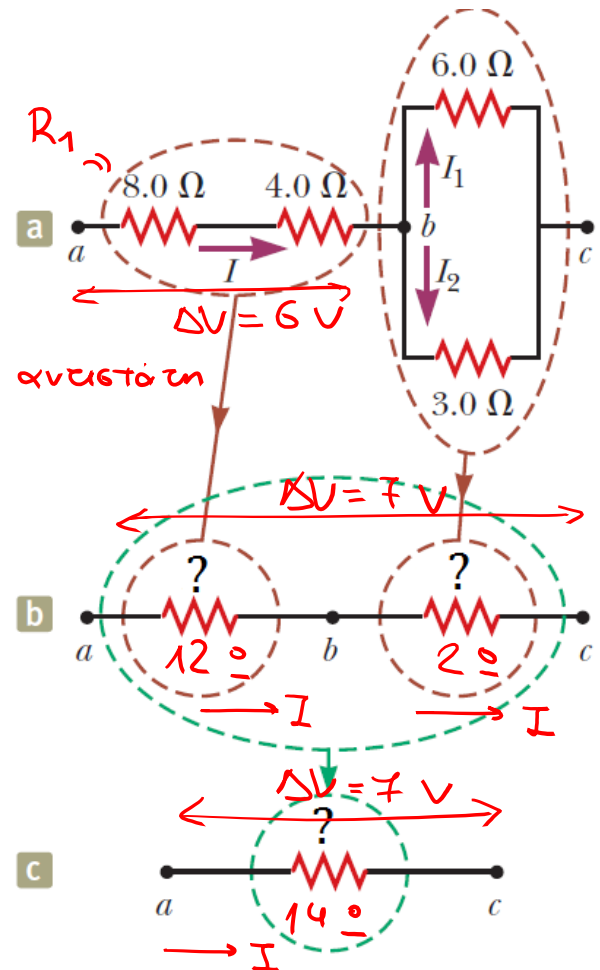
Ηλεκτρικά Κυκλώματα



• Παράδειγμα:

- Β) Αν η διάταξη συνδεθεί σε μια διαφορά δυναμικού 7 V , πόση θα είναι η διαφορά δυναμικού στον πρώτο αντιστάτη, των $8\ \Omega$?

το ρεύμα I_{ab} θα ρέει στα αντιστάτες των $8\ \Omega$ και $4\ \Omega$ στον κλάδο αβ. Άρα για τον αντιστάτη αντίστασης $8\ \Omega$, θα έχουμε $\Delta V = I_{ab} \cdot R_1 = 0.5 \cdot 8 = 4\text{ V}$.





Τέλος Διάλεξης
