

# Physics

The image is a hand-drawn collage of physics concepts and formulas. At the top left, a piston is shown with force  $F_L$  and displacement  $x$ , with the formula  $w = 2\pi f$  and  $t = \frac{s}{v}$  nearby. To its right is a wave pulse with a particle labeled 'P' and 'N', and the equation  $v^2 = u^2 + 2as$ . Further right is a Bohr-style atom model. On the top right, a pendulum is shown with the formula  $PE = mgh$ . Below the atom is a light bulb with the formula  $PE = m \times g \times h$ . To the right of the light bulb is a circuit diagram with a voltmeter (V) and points A and B, with the formula  $I = \frac{U}{R}$ . Below the circuit is a Christmas tree decorated with lights and ornaments. At the bottom center, the equation  $s = ut + \frac{1}{2}at^2$  is written. Other formulas include  $P = \frac{W}{t}$  on the left,  $E = mgz$  at the bottom left, and  $S = V \times t$  and  $S = \left(\frac{u+v}{2}\right)t$  on the right. A diagram of a spring-mass system is at the bottom left, and a diagram of a right-angled triangle with a mass is at the bottom right.

# Reminder...

- Διαλέξεις
  - Προαιρετική παρουσία!
- Είστε εδώ γιατί **θέλετε** να ακούσετε/συμμετέχετε
- Δεν υπάρχουν απουσίες
- Υπάρχει σεβασμός στους συναδέλφους σας και στην εκπαιδευτική διαδικασία
- Προστατέψτε εσάς και τους συναδέλφους σας: απέχετε από το μάθημα αν δεν είστε/αισθάνεστε καλά



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

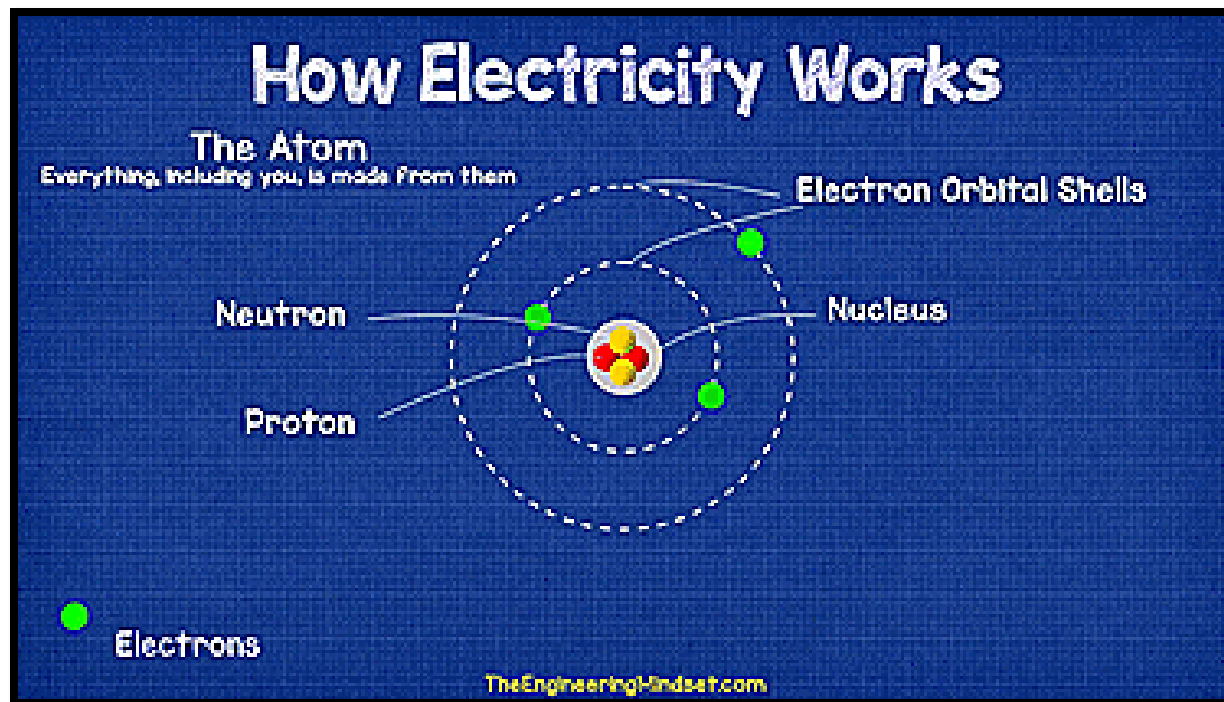
- Σε αυτή τη διάλεξη θα ασχοληθούμε με την **κίνηση** ηλεκτρικών φορτίων σε μια περιοχή του χώρου
  - Ως τώρα θεωρούσαμε ένα πλήθος φορτίων ως στάσιμο!
- Θα μάθουμε τον όρο **ηλεκτρικό ρεύμα** (ή απλώς *ρεύμα*) για την περιγραφή του ρυθμού της ροής του φορτίου
  - Ροές φορτίων υπάρχουν σε ατμοσφαιρικά 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 φορά) ρευμάτων των ελεύθερων ηλεκτρονίων** τα οποία κινούνται διαμέσου **μεταλλικών αγωγών (καλώδια)**





# Ρεύμα και Αντίσταση

## ○ Ηλεκτρικό Ρεύμα

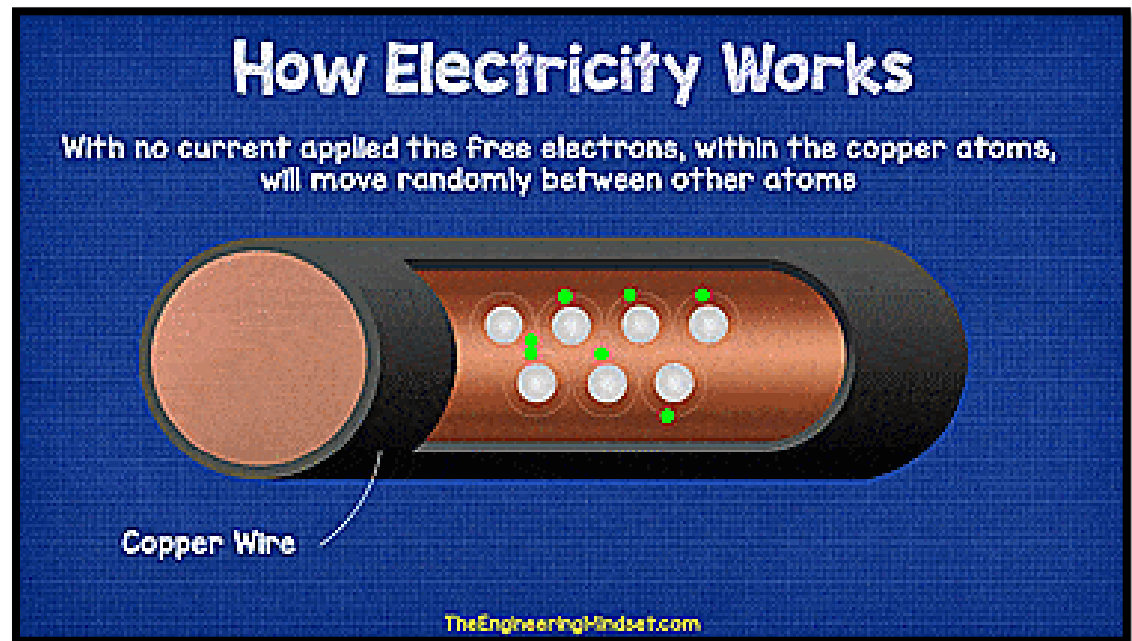
- Ας ξεκινήσουμε τη μελέτη της **ροής ηλεκτρικού φορτίου** σε ένα τμήμα υλικού
- Η ποσότητα της ροής εξαρτάται από
  - το είδος του υλικού
  - τη διαφορά δυναμικού κατά μήκος του υλικού
- Όταν έχουμε **προσανατολισμένη ροή** ηλεκτρικού φορτίου μέσα από μια περιοχή, τότε λέμε ότι υπάρχει **ηλεκτρικό ρεύμα**
- «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 τάση να κινηθούν προς μια κατεύθυνση...
- ...κι έτσι δεν υπάρχει ρεύμα στον αγωγό



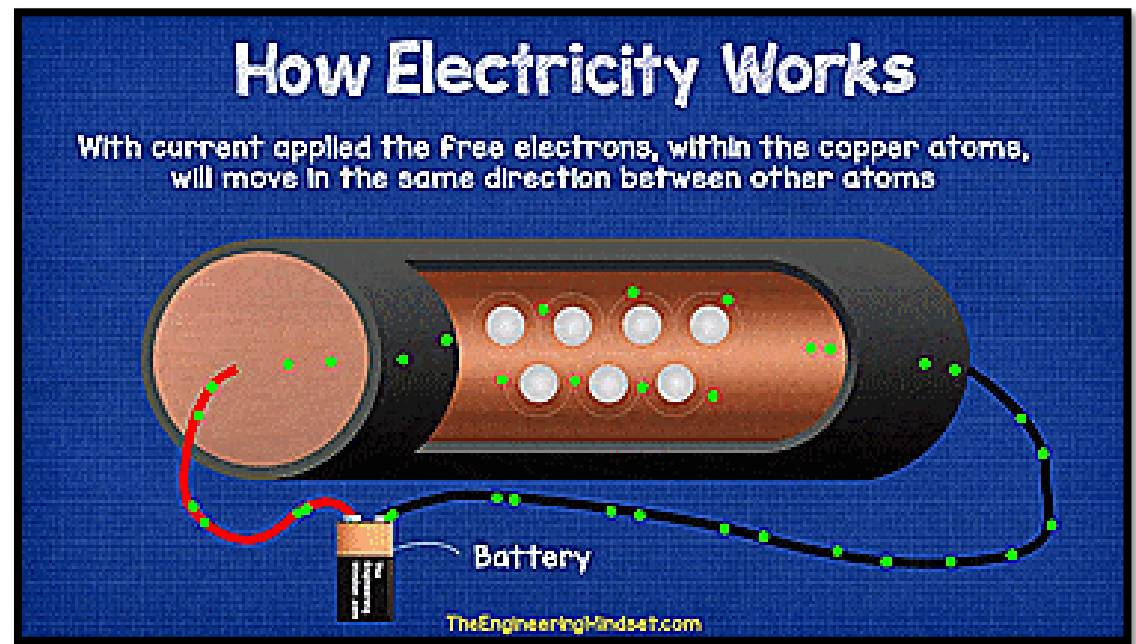




# Ρεύμα και Αντίσταση

## ○ 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

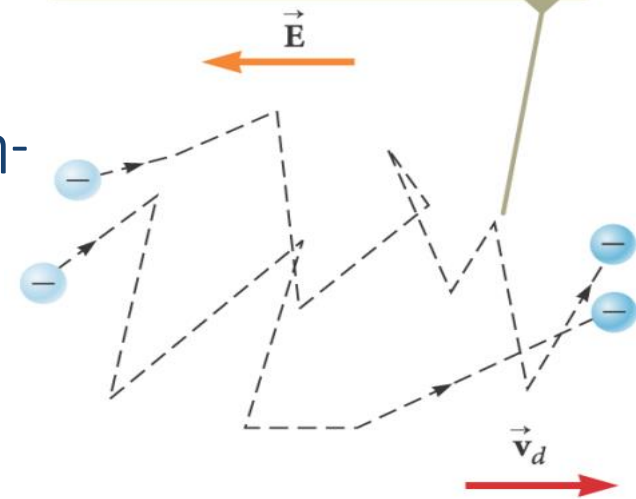


# Ρεύμα και Αντίσταση

## ○ 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 το ηλεκτρόνιο «πίσω» από το διακόπτη στη 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

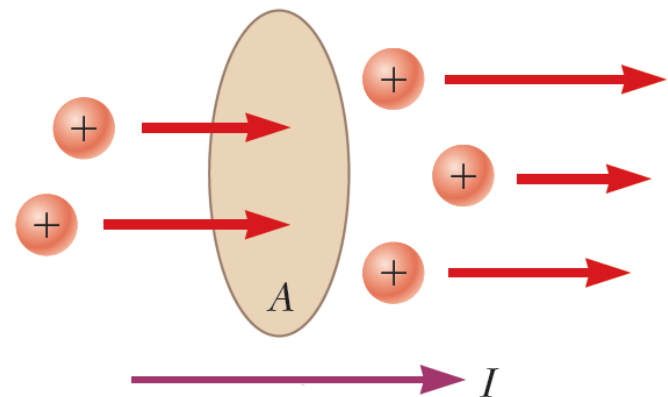
- Ας ορίσουμε το ρεύμα ποσοτικά:

- 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  $\Delta t$  είναι  $\Delta Q$ , τότε το **μέσο ρεύμα** ισούται με

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

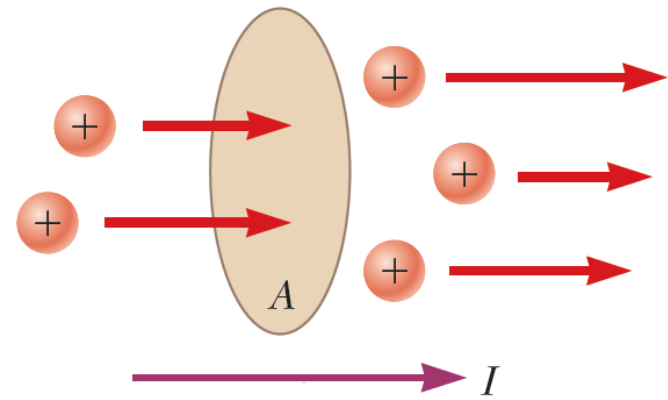




# Ρεύμα και Αντίσταση

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

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

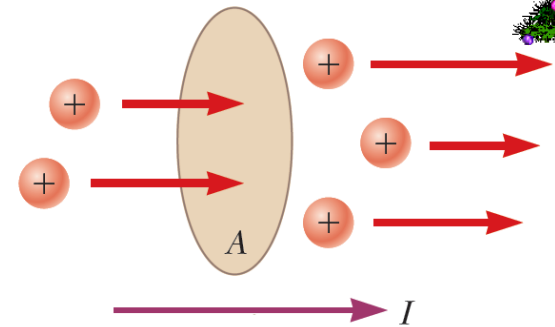


- Μονάδα μέτρησης του ρεύματος: 1 Ampere (A) = 1 C/s
- Τα φορτισμένα σωματίδια που διαπερνούν μια επιφάνεια μπορεί να είναι θετικά, αρνητικά, ή και τα δυο (στα μέταλλα είναι αρνητικά – ηλεκτρόνια)
- Έχει συμφωνηθεί (για ιστορικούς λόγους) να θεωρούμε ως κατεύθυνση του ρεύματος την κατεύθυνση των **θετικών** φορτίων
  - Δηλ. αντίθετη στην κίνηση των ηλεκτρονίων στους μεταλλικούς αγωγούς

# Ρεύμα και Αντίσταση

## ● Ηλεκτρικό Ρεύμα

- Αν τα άκρα ενός αγώγιμου καλωδίου ενωθούν σε ένα βρόχο, 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!**





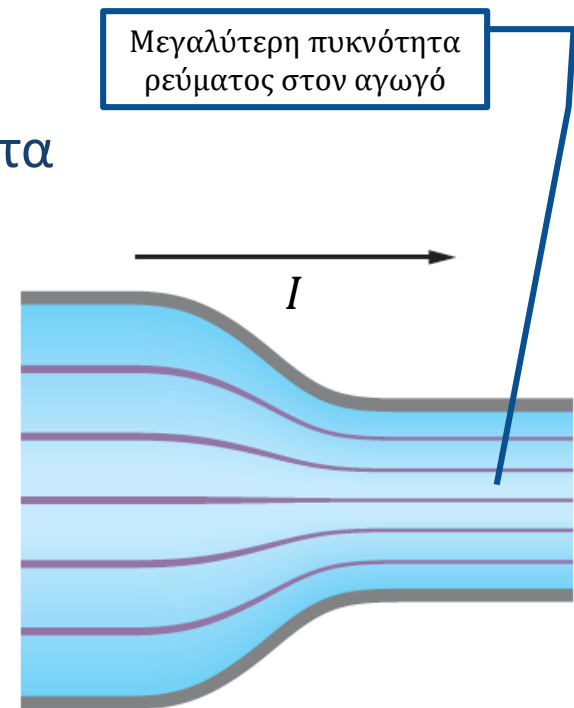
# Ρεύμα και Αντίσταση

## ● Ηλεκτρικό ρεύμα

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

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

- 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 μέτρο της πυκνότητας ρεύματος  $J$  με την ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων?

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

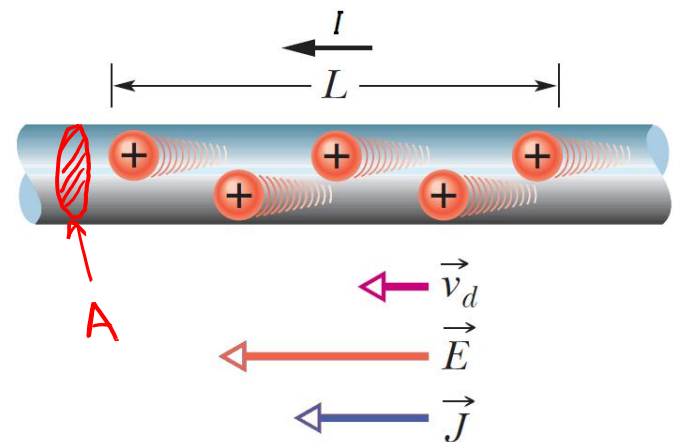
● Αν η πυκνότητα ρεύματος είναι ομοιόμορφη σε όλο τον αγωγό, και η ταχύτητα ολίσθησης είναι ίδια για όλα τα φορτία, τότε το πλήθος των φορτίων σε έναν αγωγό μήκους  $L$  και επιφάνειας διατομής  $A$  (δηλ. όγκου  $V = AL$ ) είναι

$$N = nV = nAL$$

● ...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

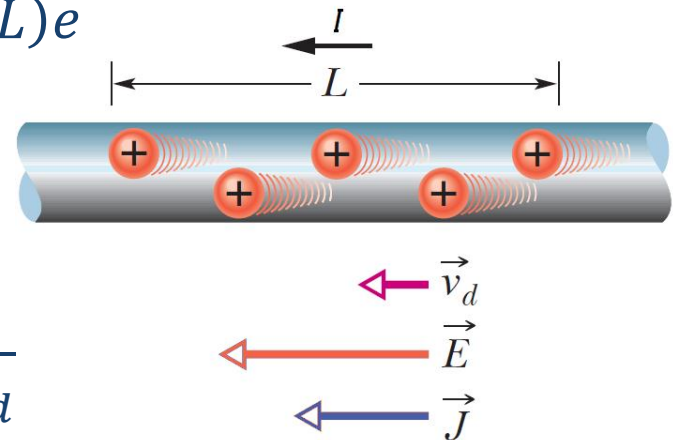
- Ηλεκτρικό ρεύμα

- 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

$$x_f = x_i + u t \quad \rightsquigarrow \quad t = \frac{\Delta x}{u} = \frac{L}{u_d}$$



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**
  - Ας ορίσουμε ως **ειδική αγωγιμότητα  $\sigma$**  ενός υλικού μια σταθερά που περιγράφει την πυκνότητα ρεύματος  $J$  δεδομένης μιας τιμής ηλεκτρικού πεδίου  $E$
  - Σε μερικά υλικά (αρκετά, συμπεριλαμβανομένων και πολλών μετάλλων), η πυκνότητα ρεύματος είναι ανάλογη του μέτρου του ηλεκτρικού πεδίου

$$J = \sigma E$$



# Ρεύμα και Αντίσταση

- 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  $\sigma$ , 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

$$J = \sigma E$$



## ○ Ηλεκτρικό ρεύμα σε υλικά

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

## ○ 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 ηλεκτρ. δυνάμεις στους φορείς φορτίου
- ✓ Η πυκνότητα ρεύματος εξαρτάται από την ειδική αγωγιμότητα του υλικού



# Ρεύμα και Αντίσταση

- Ηλεκτρικό ρεύμα σε υλικά
- Επιπλέον μπορούμε να ορίσουμε:
- Ειδική αντίσταση  $\rho$  ενός υλικού:

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

με  $\sigma, \rho$  να σχετίζονται ως

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

- Η ειδική αντίσταση μας πληροφορεί για το πόσο «διστακτικά» κινούνται τα ηλεκτρόνια σε απάντηση στο ηλεκτρικό πεδίο





# 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

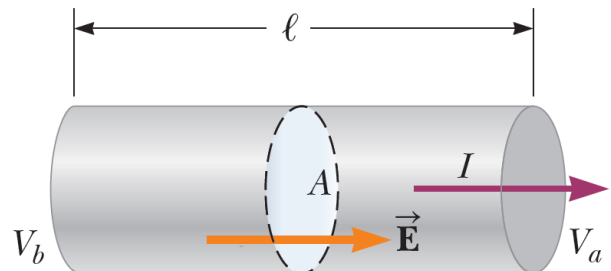
## ● Αντίσταση

- Ας θεωρήσουμε έναν συγκεκριμένο αγωγό με ομοιόμορφη επιφάνεια διατομής εμβαδού  $A$  και με μήκος  $l$
- Μια διαφορά δυναμικού  $\Delta V$  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

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

- 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

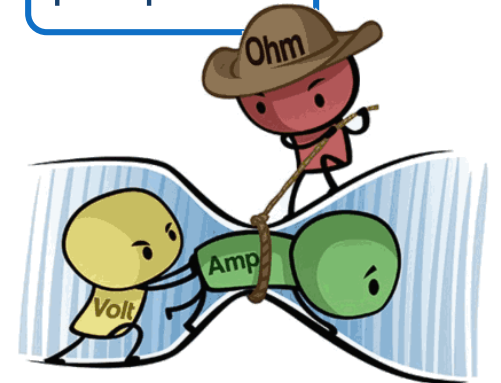
$$J = \sigma \frac{|\Delta V|}{l} \Rightarrow |\Delta V| = \frac{l}{\sigma} J = \frac{l}{\sigma A} I = RI \Rightarrow |\Delta V| = RI$$

- Η ποσότητα

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

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

- **Αντίσταση**

- Αντίσταση  $R$  και ειδική αντίσταση  $\rho$

- 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 (2<sup>η</sup> έκδοση)**

- Από τον ορισμό της αντίστασης έχουμε

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

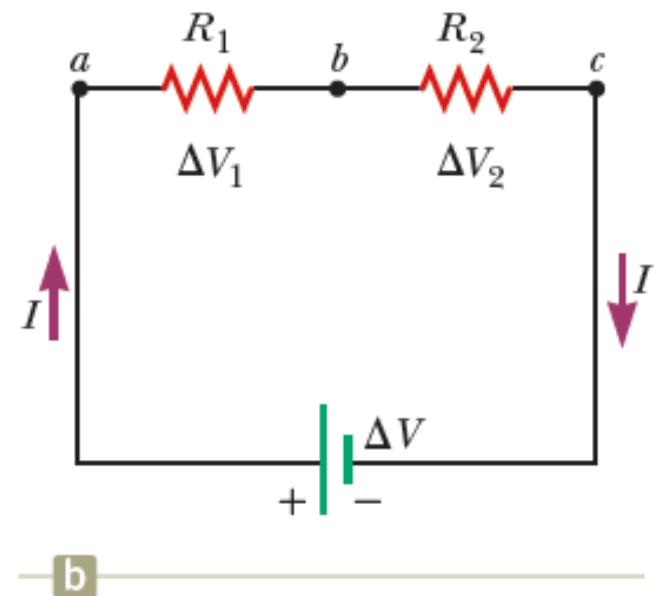
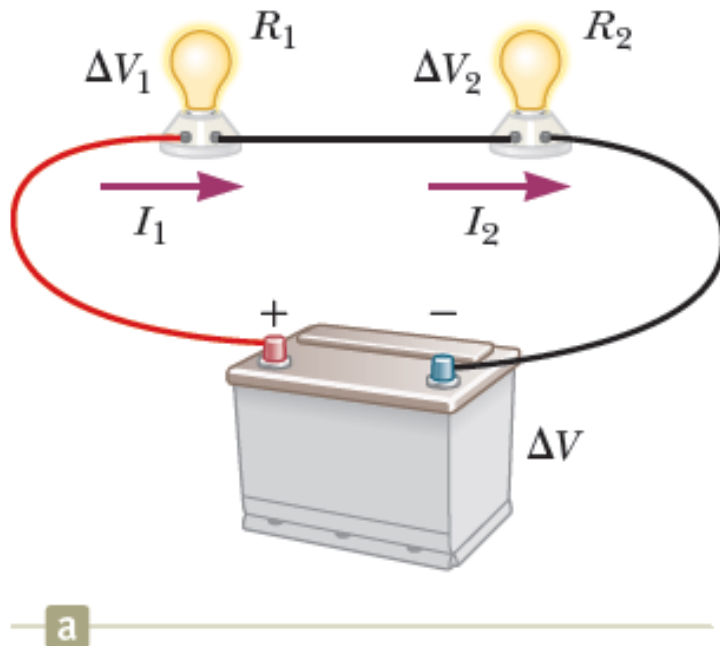
- Εγκαθιστώντας μια διαφορά δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού αντίστασης  $R$  δημιουργούμε ηλεκτρικό πεδίο...
- ...που με τη σειρά του δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα διαμέσου του αγωγού!
- Μικρότερη αντίσταση  $R \rightarrow$  μεγάλο ρεύμα  $I$
- Η παραπάνω σχέση ονομάζεται και **νόμος του Ohm** και είναι αυτός που χρησιμοποιείται συνήθως στην ηλεκτρονική
- **ΔΕΝ** είναι νόμος της Φύσης – απλά μια εμπειρική σχέση



# Ηλεκτρικά Κυκλώματα

## ○ Αντιστάτες σε σειρά & παράλληλα

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





# 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  $I = I_1 = I_2$ , αν  $I$  είναι το ρεύμα που άγει η μπαταρία

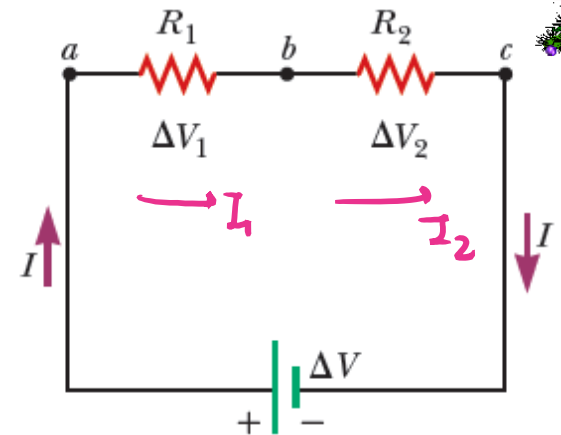
- Έτσι,  $I_1 R_1 + I_2 R_2 = I(R_1 + R_2)$

- 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  $\Delta V$  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

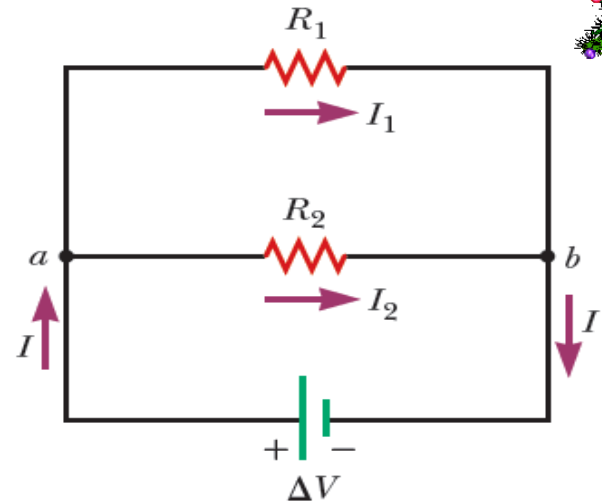
$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V_1}{R_1} + \frac{\Delta V_2}{R_2} = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

- Άρα ένας ισοδύναμος αντιστάτης θα πρέπει να έχει αντίσταση

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

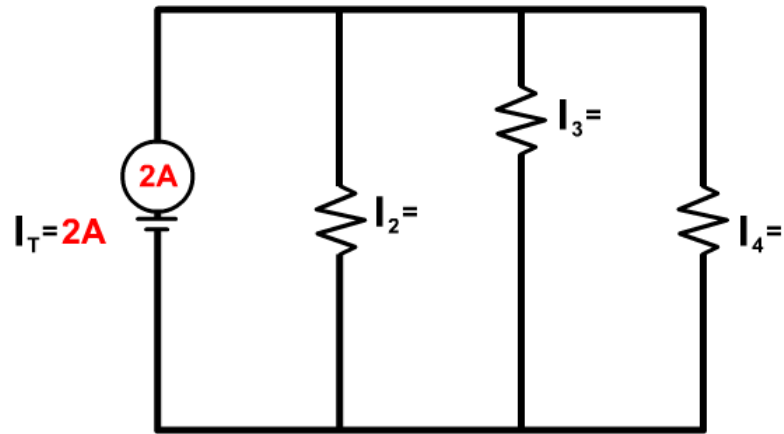
- Γενικότερα

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



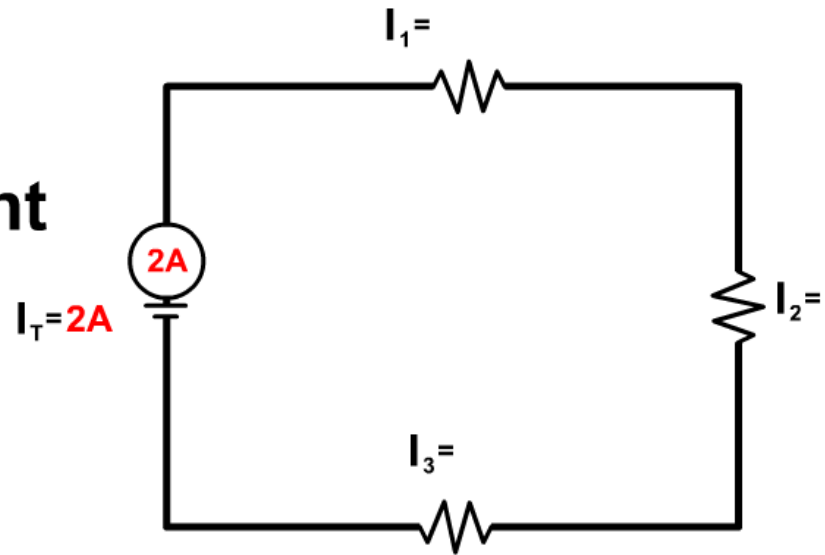


# Ηλεκτρικά Κυκλώματα



**Parallel Circuit Current**

Μη σας παραπλανά το απλοποιημένο σχήμα: τα ρεύματα δημιουργούνται ακαριαία, δεν «περιμένουμε» τα φορτία να φτάσουν στους αντιστάτες, καθώς τα καλώδια είναι ήδη γεμάτα ηλεκτρόνια!



**Series Circuit Current**



# 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:

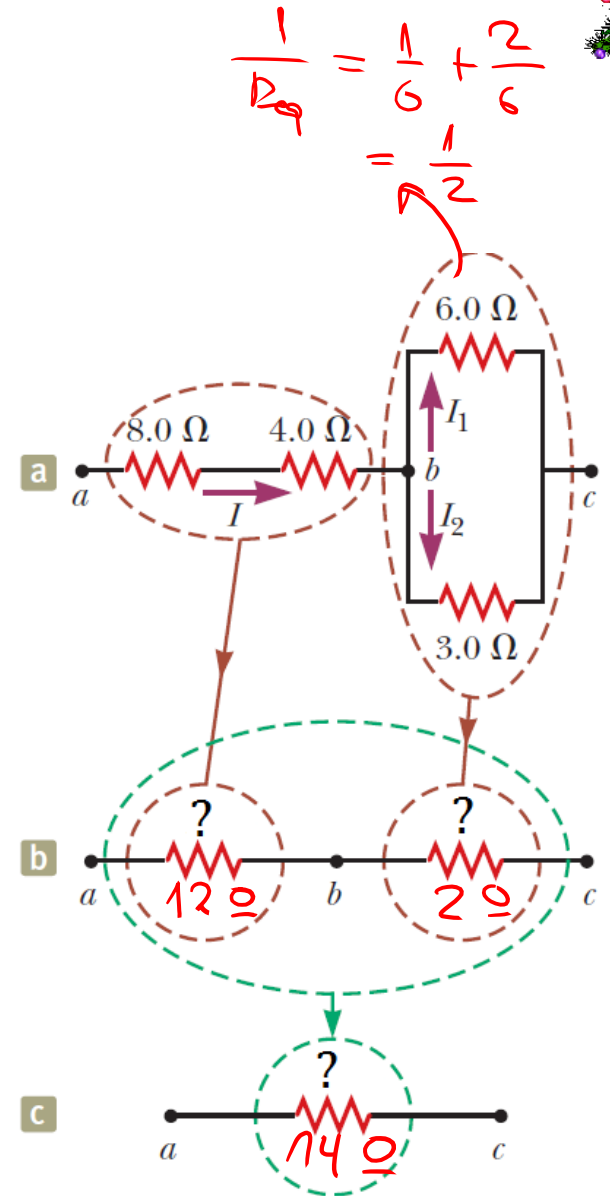
- A) Βρείτε την ισοδύναμη αντίσταση

- 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  $7\text{ V}$ , 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  $\Delta V_{ab} = I_{ab} R_{ab} = 6\text{ V}$ .

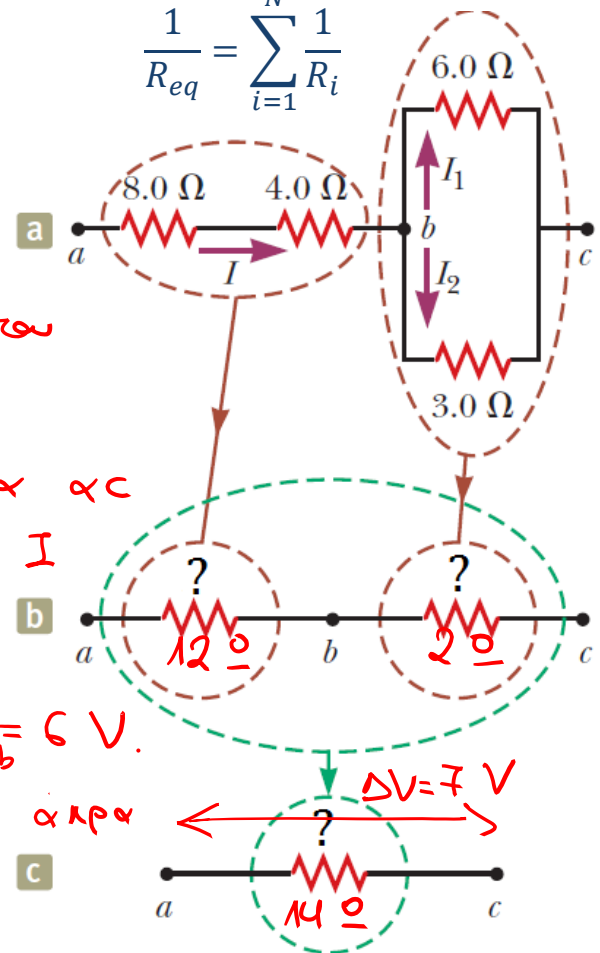
Η ίδια διαφορά δυναμικού  $\Delta V_{ab}$  εφαρμόζεται στα άκρα αb στο σχήμα (a). Λόγω σειριακής σύνδεσης

- 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  $7\text{ V}$ , πόση θα είναι η διαφορά δυναμικού στον πρώτο αντιστάτη, των  $8\ \Omega$ ?

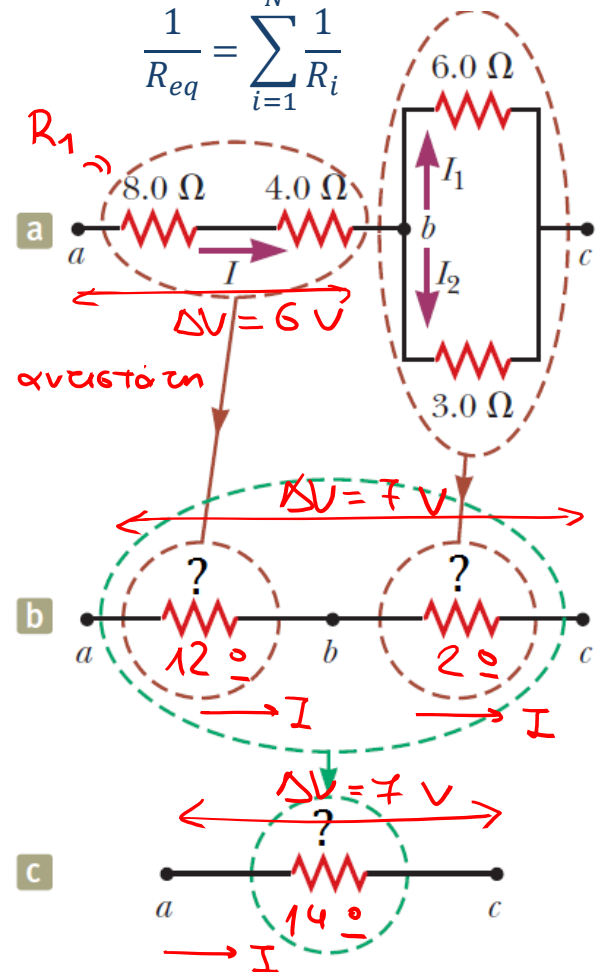
το ρεύμα  $I_{ab}$  θα ρέει στας αντιστάτες των  $8\ \Omega$  και  $4\ \Omega$  στον κλάδο  $ab$ . Άρα για τον αντιστάτη  $8\ \Omega$ , θα έχουμε  $\Delta V = I_{ab} \cdot R_1 = 0.5 \cdot 8 = 4\text{ V}$ .

- ◉ Σε σειρά:

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

- ◉ Σε παραλληλία:

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





Τέλος Διάλεξης