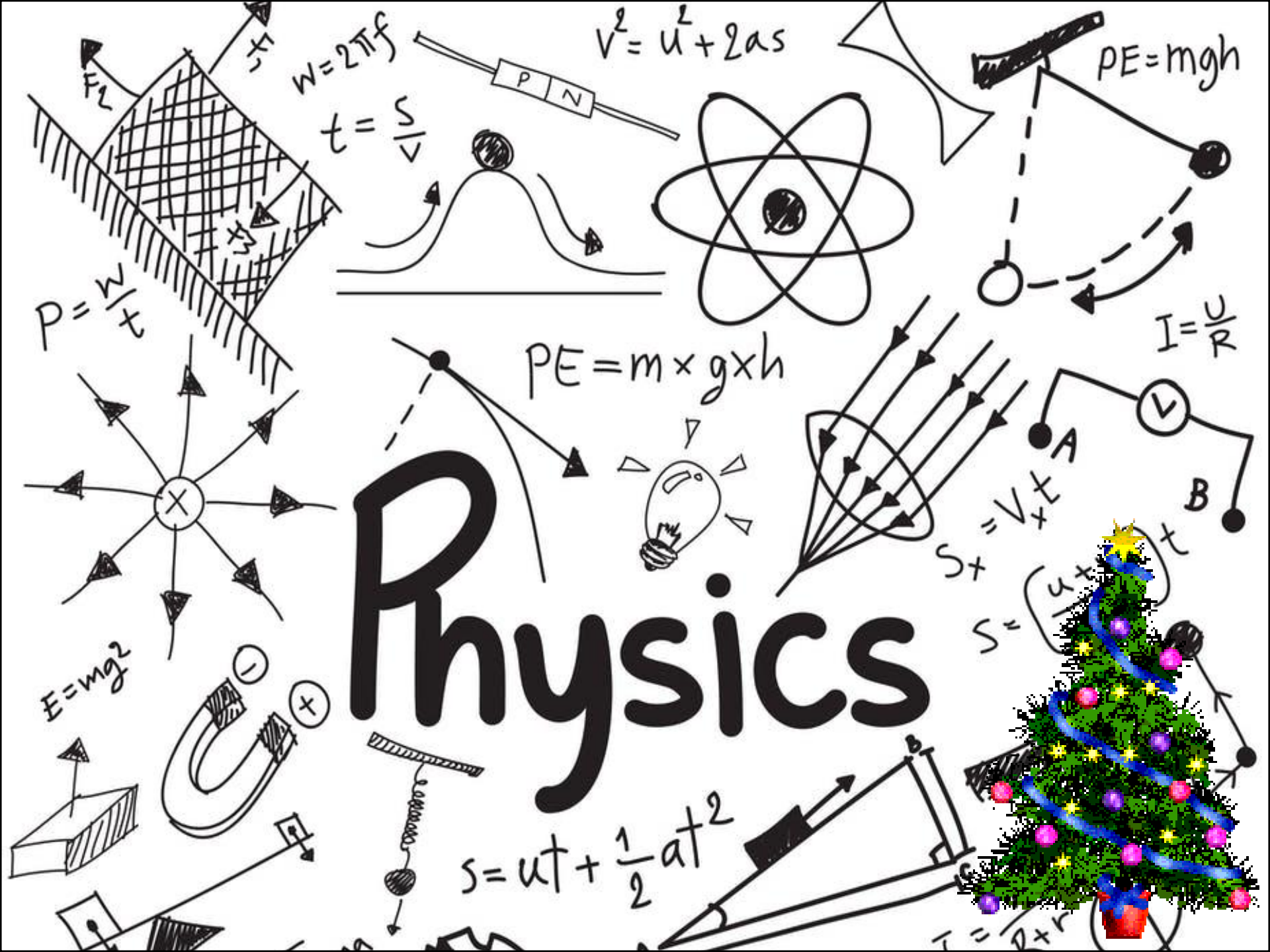


Physics



Reminder...

- Διαλέξεις
 - Προαιρετική παρουσία!
- Είστε εδώ γιατί **θέλετε** να ακούσετε/συμμετέχετε
- Δεν υπάρχουν απουσίες
- Υπάρχει σεβασμός στους συναδέλφους σας και στην εκπαιδευτική διαδικασία
- COVID attention: προσέρχεστε με τα απαραίτητα δικαιολογητικά
- 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 τα φορτία στάσιμα!
- ◉ 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

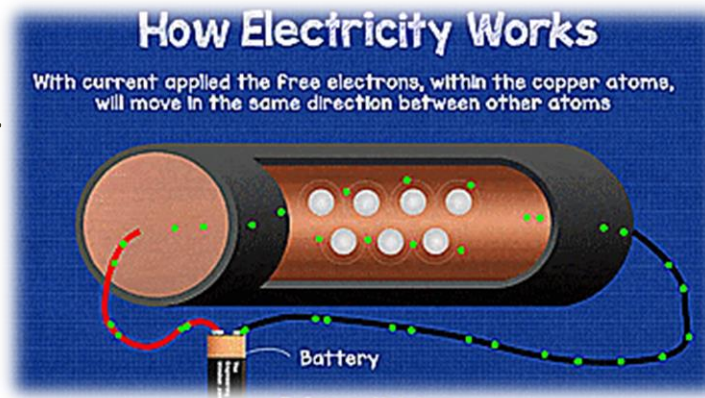
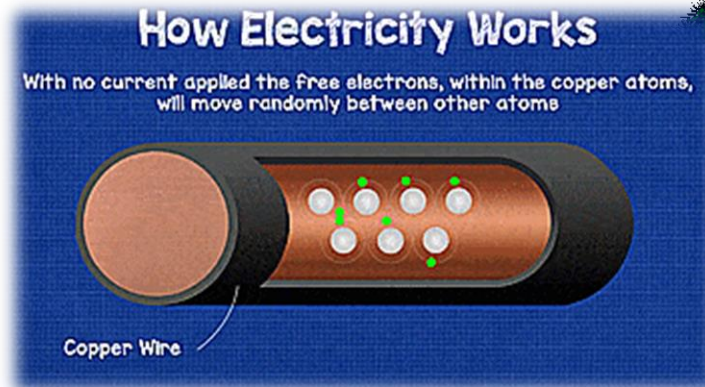
● Ηλεκτρικό Ρεύμα

- Στα πλαίσια του μαθήματος, μας ενδιαφέρει η ροή **σταθερών** ρευμάτων των **ηλεκτρονίων** αγωγιμότητας τα οποία κινούνται διαμέσου **μεταλλικών αγωγών** (καλώδια)
- 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**

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
- ◉ 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

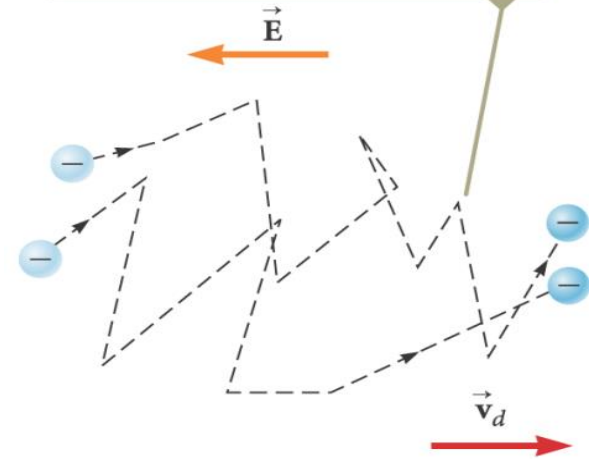


Ρεύμα και Αντίσταση

◉ Ηλεκτρικό Ρεύμα

- ◉ Αυτή η προσανατολισμένη κίνηση γίνεται με ταχύτητες πολύ μικρές
- ◉ Η ταχύτητα 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 φτάσει ένα συγκεκριμένο ηλεκτρόνιο 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

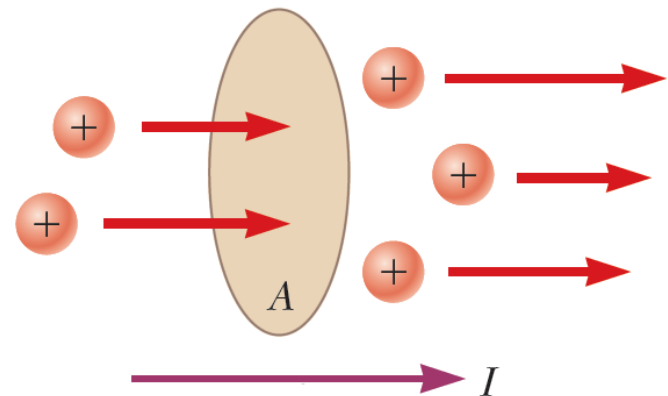


- Ηλεκτρικό Ρεύμα

- 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 Δt είναι ΔQ , τότε το **μέσο ρεύμα** ισούται με

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

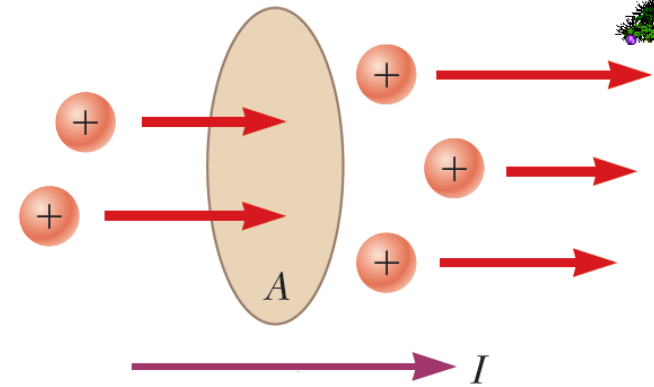


Ρεύμα και Αντίσταση

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

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

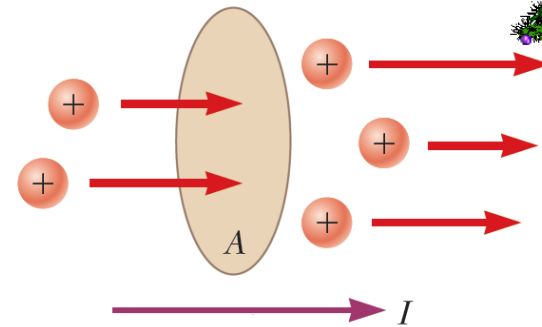
- Μονάδα μέτρησης του ρεύματος: $1 \text{ Ampere (A)} = 1 \text{ C/s}$
- Τα φορτισμένα σωματίδια που διαπερνούν μια επιφάνεια μπορεί να είναι θετικά, αρνητικά, ή και τα δυο (στα μέταλλα είναι αρνητικά – ηλεκτρόνια)
- Έχει συμφωνηθεί (για ιστορικούς λόγους) να θεωρούμε ως κατεύθυνση του ρεύματος την κατεύθυνση 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

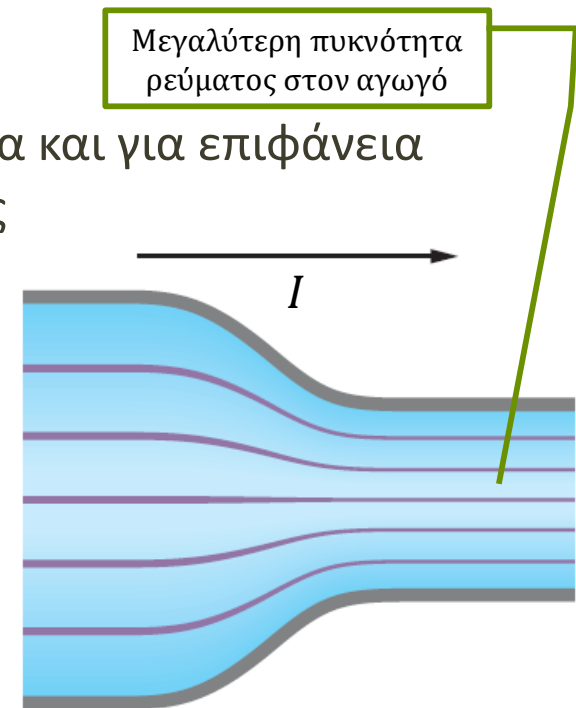


● Ηλεκτρικό ρεύμα

- 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**



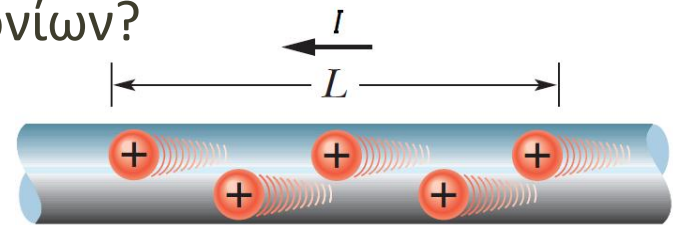


Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρικό ρεύμα

- Μπορούμε να σχετίσουμε το μέτρο της πυκνότητας ρεύματος με την ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων?

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

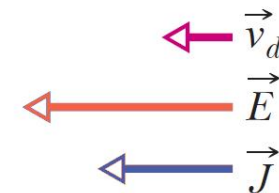


- Αν η πυκνότητα ρεύματος είναι ομοιόμορφη σε όλο τον αγωγό, και η ταχύτητα ολίσθησης είναι ίδια για όλα τα φορτία, τότε το πλήθος των φορτίων σε έναν αγωγό μήκους L είναι

$$N = nAL$$

- ...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)

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

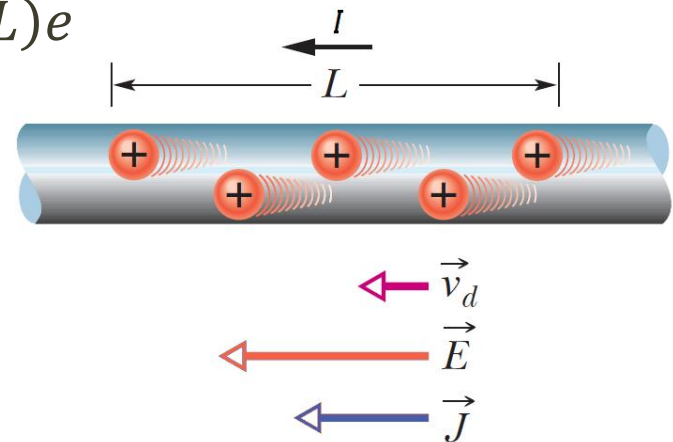
- Αφού η ταχύτητα ολίσθησης είναι κοινή για όλα τα φορτία, τότε σε χρόνο

$$t = \frac{L}{u_d}$$

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

- Άρα, εφόσον

$$I = \frac{q}{t} = \frac{nALe}{\frac{L}{u_d}} = nAeu_d \Rightarrow u_d = \frac{I}{nAe} = \frac{J}{ne}$$





Ρεύμα και Αντίσταση

- Ηλεκτρικό ρεύμα

- Ας ορίσουμε ως **ειδική αγωγιμότητα** σ 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

- Υλικά που ικανοποιούν την παραπάνω 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

○ Ηλεκτρικό ρεύμα

- Ο νόμος του Ohm είναι μια σχέση με πολύ μεγάλη σημασία. Γιατί;
- Μας λέει **τρία** πράγματα:
 - ✓ Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο που ασκεί ηλεκτρ. δυνάμεις στους φορείς φορτίου
 - ✓ Η πυκνότητα ρεύματος, και ως εκ τούτου το ρεύμα, εξαρτάται με γραμμικό τρόπο από το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου: $J = \sigma E$
 - ✓ Η πυκνότητα ρεύματος εξαρτάται και από την ειδική αγωγιμότητα του υλικού



Ρεύμα και Αντίσταση

- **Ηλεκτρικό ρεύμα και αντίσταση**
- Αν εφαρμόσουμε μια διαφορά δυναμικού στα άκρα δυο ίδιων ράβδων χαλκού και γυαλιού, παρατηρούμε τελείως διαφορετικά ρεύματα
- Κάθε ράβδος έχει διαφορετική **αντίσταση** και η ράβδος χαλκού ή γυαλιού ονομάζεται **αντιστάτης**
- Μας ενδιαφέρουν υλικά και όχι συγκεκριμένα σχήματα και διαστάσεις κάποιου αντιστάτη
- **Ειδική αντίσταση** ρ ενός υλικού:

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

με σ την ειδική αγωγιμότητα που είδαμε πριν, δηλ.

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

Ιδιότητα
του υλικού!



Ρεύμα και Αντίσταση

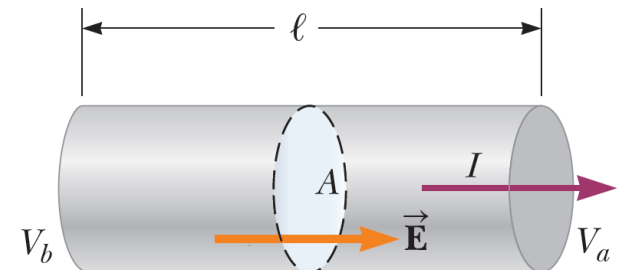
● Αντίσταση

- 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

$$|\Delta V| = |V_b - V_a| = El$$

- Έτσι, η πυκνότητα ρεύματος είναι

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





Ρεύμα και Αντίσταση

- **Αντίσταση**

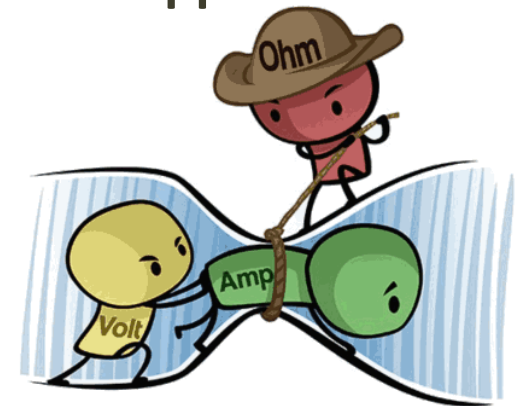
- Επειδή όμως $J = \frac{I}{A}$, η διαφορά δυναμικού είναι

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

- 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**

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

- Μονάδα μέτρησης: $V/A = 1 \text{ Ohm } (\Omega)$





Ρεύμα και Αντίσταση

● Μπαταρία

- Η βασική πηγή διαφοράς δυναμικού θα είναι η μπαταρία
- Πόλοι μπαταρίας:
 - Θετικός (+): υψηλού δυναμικού
 - Αρνητικός (-): χαμηλότερου δυναμικού
- Όταν συνδέεται σε κύκλωμα, οι ηλεκτροχημικές διεργασίες που συμβαίνουν μέσα της επιτρέπουν να παράγει έργο επάνω σε θετικά φορτία...
 - ...δημιουργώντας ροή θετικών φορτίων από τον αρνητικό πόλο στο θετικό πόλο
 - Στην πραγματικότητα, ηλεκτρόνια «φεύγουν» από τον αρνητικό πόλο προς το θετικό πόλο
- Αυτή η ροή είναι τμήμα του ρεύματος που εγκαθίσταται στο κύκλωμα

Ρεύμα και Αντίσταση



● Μπαταρία

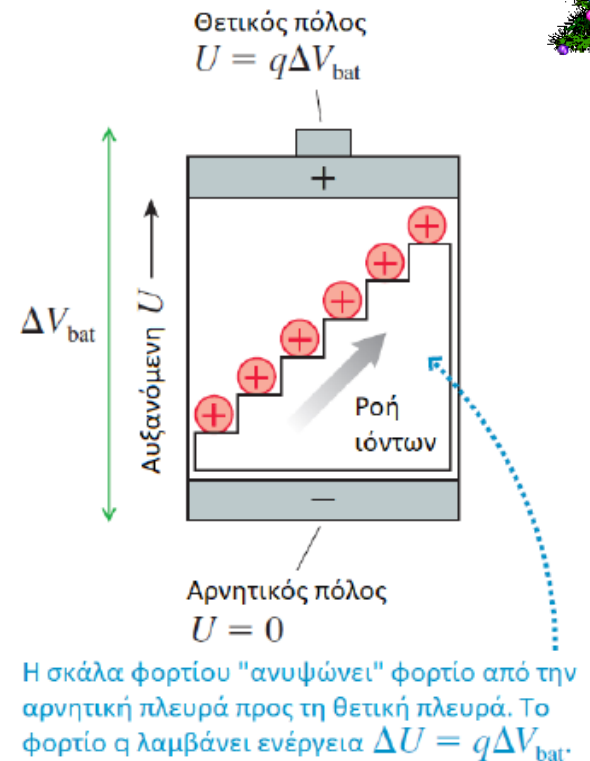
- Μπορούμε να θεωρήσουμε ένα **ιδεατό** μοντέλο μιας μπαταρίας ως μια κυλιόμενη σκάλα φορτίου

- Η σκάλα ανυψώνει θετικά φορτία από τον αρνητικό στο θετικό πόλο

- ...και μόλις αυτά φτάσουν εκεί, κινούνται στο υπόλοιπο κύκλωμα ως ρεύμα

- Μπορούμε να πούμε ότι:

- Η μπαταρία παρέχει διαφορά δυναμικού ΔV μεταξύ των ακρών ενός καλωδίου
- Η διαφορά δυναμικού προκαλεί ηλεκτρικό πεδίο $E = \frac{\Delta V}{L}$ στο καλώδιο
- Το πεδίο εγκαθιστά ρεύμα $I = JA = \sigma AE$ στο καλώδιο
- Το μέτρο του ρεύματος καθορίζεται από τα στοιχεία του κυκλώματος

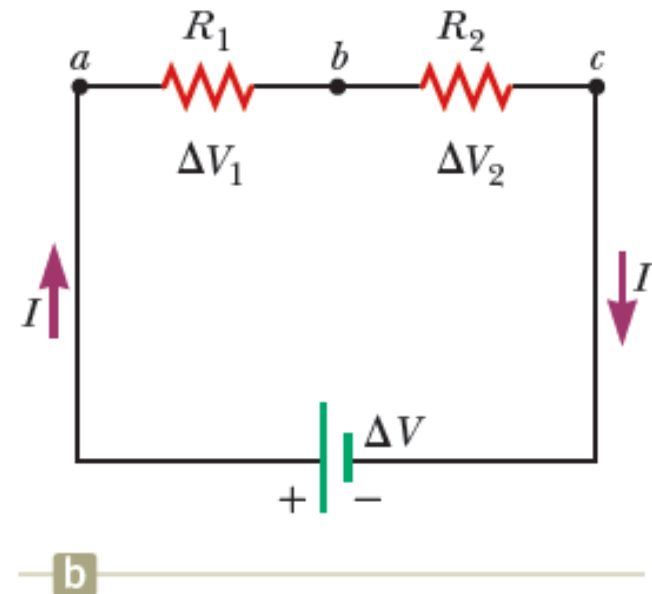
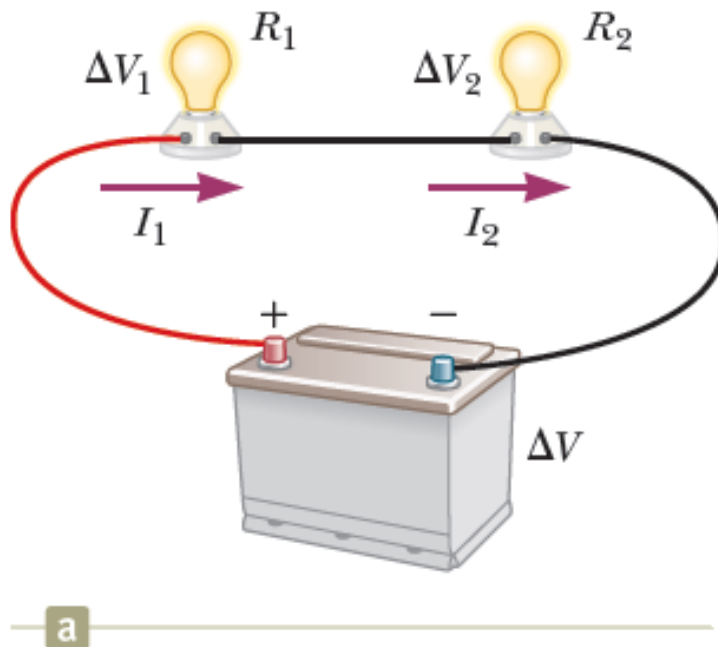


Ηλεκτρικά Κυκλώματα



● 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

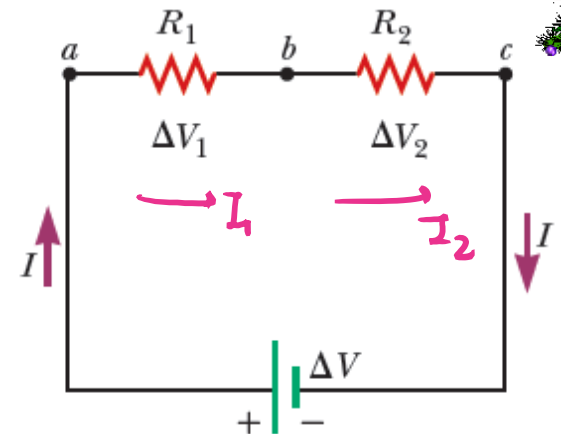
- Έτσι, $I_1 R_1 + I_2 R_2 = I(R_1 + R_2)$

- 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 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

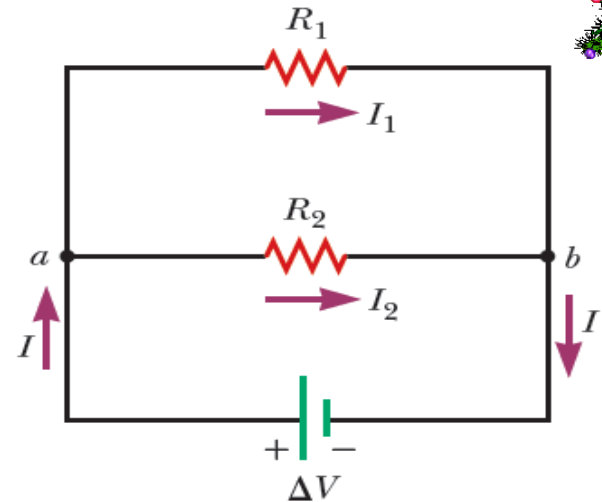
$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V_1}{R_1} + \frac{\Delta V_2}{R_2} = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

- Άρα ένας ισοδύναμος αντιστάτης θα πρέπει να έχει αντίσταση

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

- Γενικότερα

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





Χωρητικότητα

- Συνοψίζοντας:

- Παράλληλη σύνδεση:

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

- 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:

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

- 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



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

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις για
τις αντιστάσεις καταλήγαμε ότι

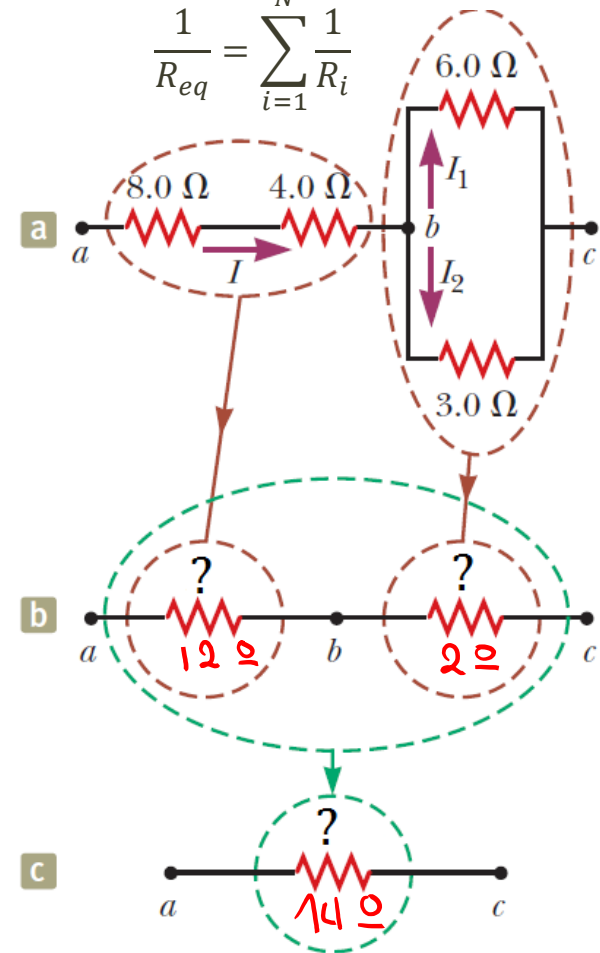
$$R_{eq} = 14 \Omega$$

- 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:

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

$$\text{Στο σχήμα (c), } I_{ac} = \frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{7}{14} = \frac{1}{2}\text{ A.}$$

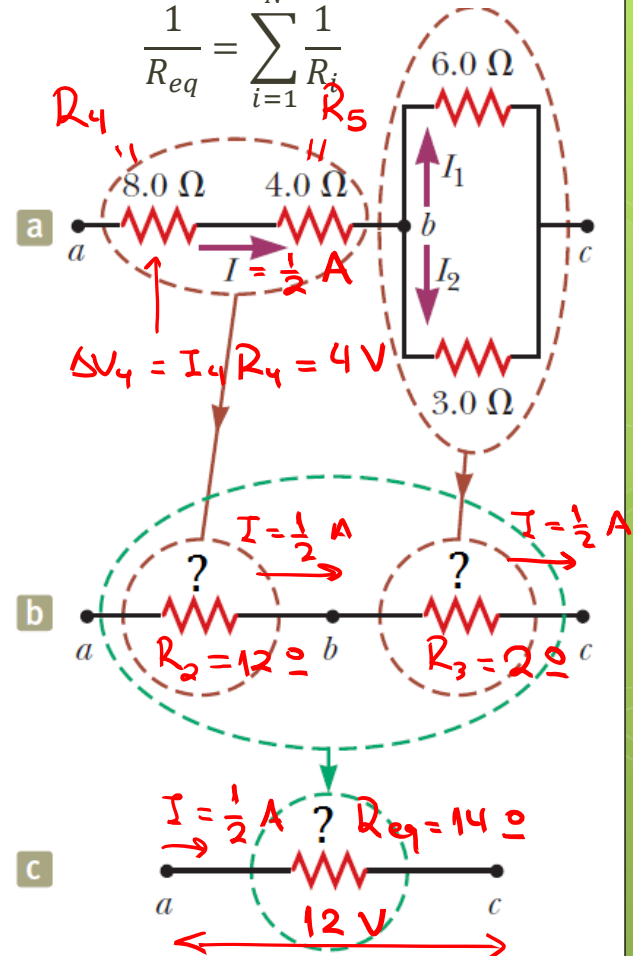
Το ίδιο ρεύμα διαρρέει τους αντιστάτες R_2, R_3 στο σχήμα (b), αφού αυτοί είναι σε σειρά. Άρα $I_2 = 0.5\text{ A}$. Οι αντιστάτες R_4, R_5 (που αντικαθιστά ο R_2) έχουν κι αυτοί το ίδιο ρεύμα ως σε σειρά συνδέονται. Άρα $I_4 = 0.5\text{ A}$ και επίσης $\Delta V_4 = I_4 R_4 = \frac{1}{2} \cdot 8 = 4\text{ Volt}$

- Σε σειρά:

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

- Σε παραλληλία:

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



Δε λύθηκε στο μάθημα

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

Παράδειγμα:

- B) Αν η διάταξη συνδεθεί σε μια διαφορά δυναμικού 7 V , πόση θα είναι η διαφορά δυναμικού και το ρεύμα στον αντιστάτη των $6\ \Omega$?

Ξανά, $I_{ac} = \frac{1}{2}\text{ A}$ στο σχήμα (c). Το ίδιο ρεύμα διαρρέει τον αντιστάτη R_3 στο σχήμα (b).

Άρα $\Delta V_{bc} = I_3 R_3 = \frac{1}{2} \cdot 2 = 1\text{ V}$. Αυτή η διαφορά δυναμικού εφορτίζεται και στα άκρα της διαδρομής

bc στο σχήμα (a). Άρα $\Delta V_4 = I_4 R_4 = 1\text{ V}$

και άρα $I_4 = \frac{\Delta V_4}{R_4} = \frac{1}{6}\text{ A}$

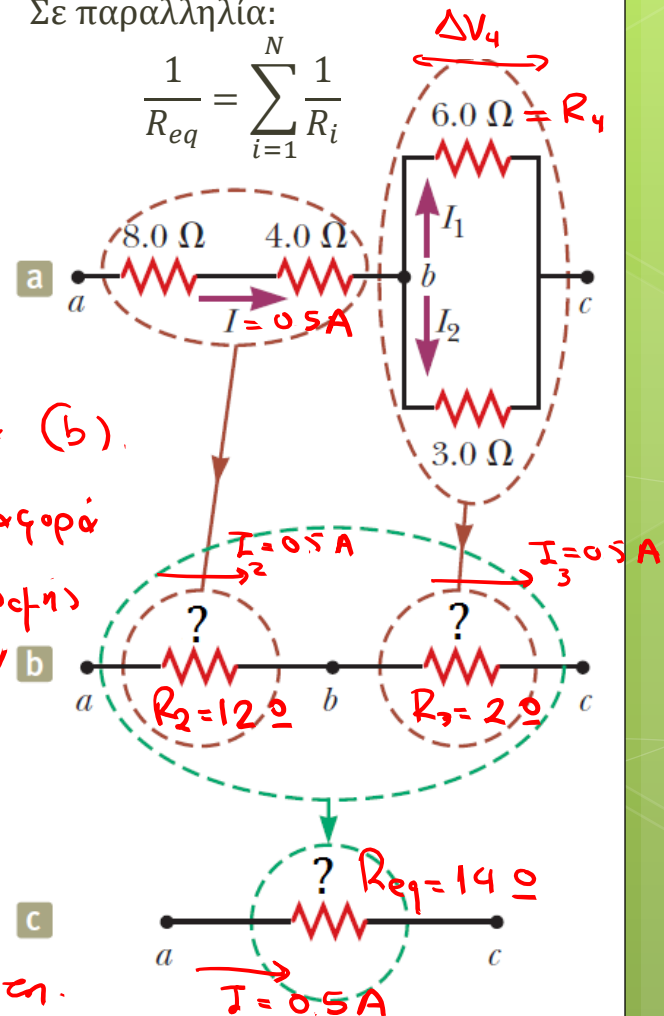
Εξάσκηση: Βρείτε όλα τα ρεύματα και τις διαφορές δυναμικού για κάθε αντιστάτη.

- Σε σειρά:

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

- Σε παραλληλία:

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

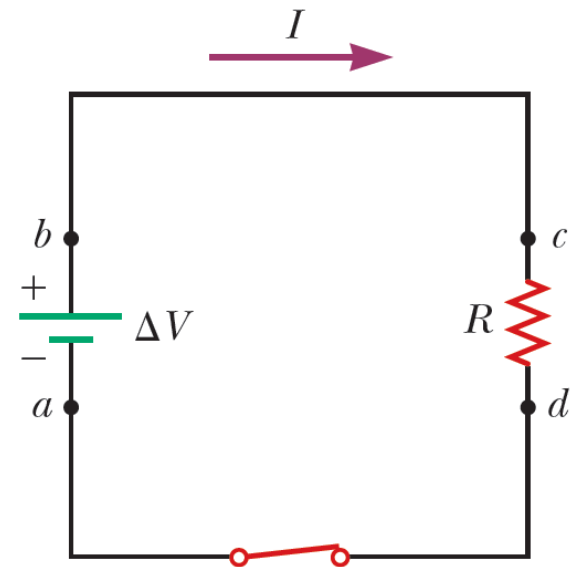




Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρική Ισχύς

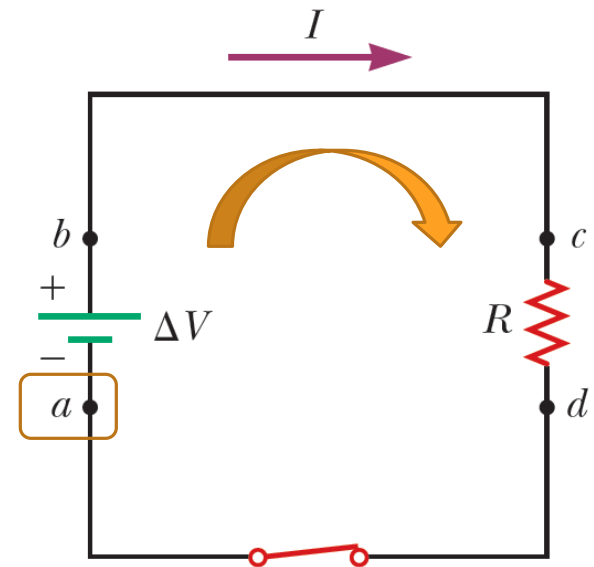
- Σε τυπικά ηλεκτρικά κυκλώματα, η ενέργεια μεταφέρεται από μια πηγή όπως η μπαταρία, σε μια λάμπα ή μια συσκευή
- Ας βρούμε μια έκφραση που θα μας δίνει το ρυθμό μεταφοράς αυτής της ενέργειας!
- Ας θεωρήσουμε το παρακάτω κύκλωμα όπου ενέργεια μεταφέρεται σε έναν αντιστάτη
 - Στην πραγματικότητα, κάποια ενέργεια μεταφέρεται και στα καλώδια, την οποία θεωρούμε αμελητέα
- Ο **θετικός** πόλος της μπαταρίας είναι **υψηλότερου δυναμικού** από τον **αρνητικό**





Ρεύμα και Αντίσταση

- Ηλεκτρική Ισχύς
- Ας θεωρήσουμε ότι ακολουθούμε ένα φορτίο Q που κινείται στο κύκλωμα κατά τη φορά του ρολογιού, ξεκινώντας και καταλήγοντας στο σημείο a
 - Από το a στο b , η ηλεκτρ. δυναμική ενέργεια του συστήματος αυξάνεται κατά $Q\Delta V$
 - ...ενώ η χημική δυναμική ενέργεια της μπαταρίας μειώνεται εξίσου
 - Όσο το φορτίο κινείται από το c στο d , η ηλεκτρ. δυναμική ενέργεια του συστήματος μειώνεται λόγω της σύγκρουσης ηλεκτρονίων με τα άτομα του αντιστάτη
 - Μετατροπή ηλεκτρικής δυναμικής ενέργειας σε θερμική ενέργεια

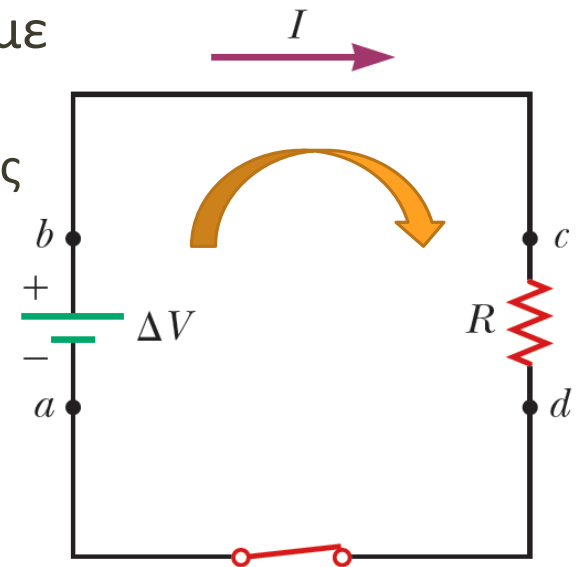




Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρική Ισχύς

- Όταν το φορτίο επιστρέφει στο a , το συνολικό αποτέλεσμα είναι ότι ένα τμήμα της χημικής δυναμικής ενέργειας της μπαταρίας μεταφέρθηκε στον αντιστάτη και έμεινε εκεί ως θερμική ενέργεια που σχετίζεται με την κίνηση των ατόμων του αντιστάτη
- Συνήθως ο αντιστάτης είναι σε επαφή με τον αέρα
 - Μεταφέρεται ενέργεια μέσω θερμότητας
 - Εκπέμπεται επίσης ακτινοβολία
- Μετά από λίγο, ο αντιστάτης επανέρχεται σε φυσιολογική θερμοκρασία





Ρεύμα και Αντίσταση

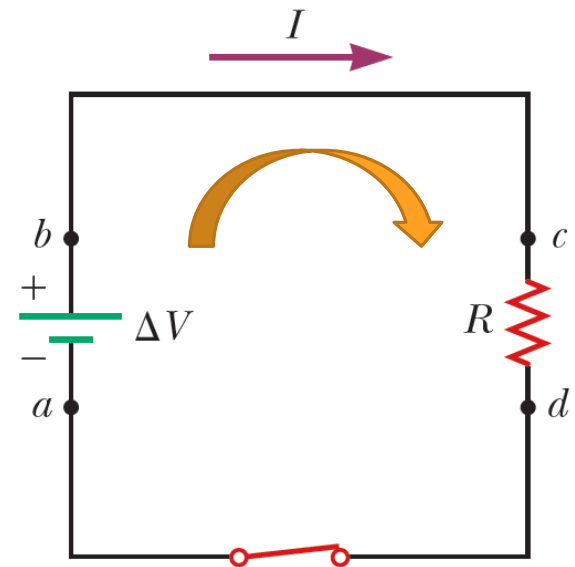
Ηλεκτρική Ισχύς

- Ας μετρήσουμε τώρα το ρυθμό με τον οποίο η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του συστήματος φθίνει όσο το φορτίο Q περνά από τον αντιστάτη:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}(Q\Delta V) = \frac{dQ}{dt}\Delta V = I\Delta V$$

- Το σύστημα αποκτά ξανά αυτή τη δυναμική ενέργεια όταν το φορτίο περάσει ξανά από την μπαταρία
 - Φυσικά, με το κόστος απώλειας χημικής ενέργειας από την μπαταρία
- Ο ρυθμός αυτός είναι ίσος με το ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται η θερμική ενέργεια στον αντιστάτη
- Ισχύς P** που παραδίδεται:

$$P = I\Delta V = I^2 R = \frac{\Delta V^2}{R}$$





Τέλος Διάλεξης