



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

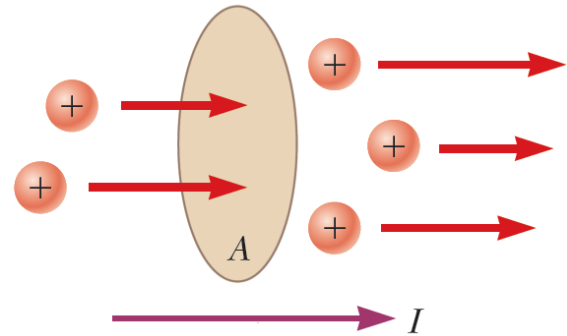
- Εδώ θα ασχοληθούμε με την *κίνηση* ηλεκτρικών φορτίων σε μια περιοχή του χώρου
 - Ως τώρα θεωρούσαμε τα φορτία στάσιμα!
- Θα μάθουμε τον όρο *ηλεκτρικό ρεύμα* (ή απλώς *ρεύμα*) για την περιγραφή του ρυθμού της ροής του φορτίου
- Επίσης, θα μιλήσουμε για την *ηλεκτρική αντίσταση*
- Θα εισάγουμε ένα νέο στοιχείο, τον *αντιστάτη*

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 ροή ηλεκτρικού φορτίου μέσα από μια περιοχή, τότε λέμε ότι υπάρχει **ηλεκτρικό ρεύμα**
 - ◉ Σκεφτείτε αναλογίες με:
 - ◉ Ροή νερού, ροή ποταμού κλπ.

Ρεύμα και Αντίσταση

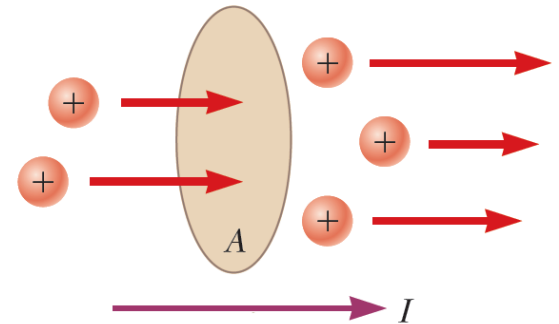


● Ηλεκτρικό Ρεύμα

- 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



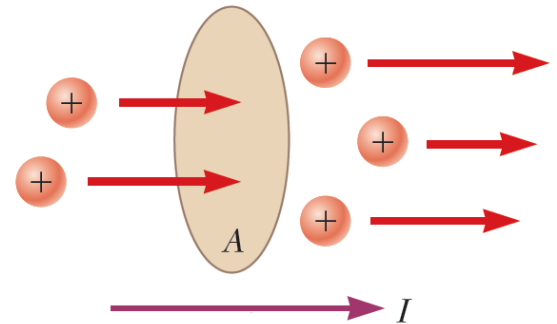
● Ηλεκτρικό Ρεύμα

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

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

- Μονάδα μέτρηση τους ρεύματος: 1 Ampere (A)
 - Ισούται με 1 C/s
- Τα φορτισμένα σωματίδια που διαπερνούν μια επιφάνεια μπορεί να είναι θετικά, αρνητικά, ή και τα δυο
 - Έχει συμφωνηθεί να θεωρούμε ως κατεύθυνση του ρεύματος την κατεύθυνση των θετικών φορτίων
 - Δηλ. αντίθετη στην κίνηση των ηλεκτρονίων

Ρεύμα και Αντίσταση



◉ Ηλεκτρικό Ρεύμα

- ◉ Αν τα άκρα ενός αγωγίου καλωδίου ενωθούν σε ένα βρόχο, όλα τα σημεία του βρόχου έχουν το ίδιο ηλεκτρικό δυναμικό
 - ◉ Άρα 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 ηλεκτρόνια του καλωδίου, προκαλώντας την 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 πυκνότητα ρεύματος περιγράφει πως το φορτίο ρέει μέσα από κάθε κομμάτι ενός συγκεκριμένου είδους μετάλλου ως απάντηση στο ηλεκτρικό πεδίο
 - ◉ Ισχύει μόνο για ομοιόμορφη πυκνότητα και για επιφάνεια A κάθετη στη διεύθυνση του ρεύματος
- ◉ Ας ορίσουμε ως **ειδική αγωγιμότητα σ** ενός υλικού ως μια σταθερά που περιγράφει την πυκνότητα ρεύματος δεδομένης μιας τιμής ηλεκτρ. πεδίου

Ρεύμα και Αντίσταση

◉ Ηλεκτρικό ρεύμα

- ◉ Σε μερικά υλικά, η πυκνότητα ρεύματος είναι ανάλογη του ηλεκτρικού πεδίου

$$J = \sigma E$$

- ◉ Υλικά που ικανοποιούν την παραπάνω σχέση λέμε ότι ακολουθούν το **νόμο του Ohm**:
 - ◉ **Ο λόγος της πυκνότητας ρεύματος προς το ηλεκτρικό πεδίο είναι σταθερός και ίσος με σ , και ανεξάρτητος από το ηλεκτρικό πεδίο που παράγει το ρεύμα**
- ◉ 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.
- Μας λέει τρία πράγματα:
 1. Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο που ασκεί δυνάμεις στους φορείς φορτίου
 2. Η πυκνότητα ρεύματος, και ως εκ τούτου το ρεύμα, εξαρτάται με γραμμικό τρόπο από το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου
 3. Η πυκνότητα ρεύματος εξαρτάται και από την αγωγιμότητα του υλικού

Ρεύμα και Αντίσταση

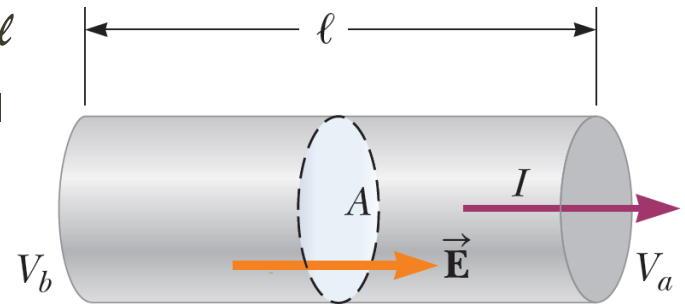
• Αντίσταση

- Ας θεωρήσουμε ένα καλώδιο με ομοιόμορφη επιφάνεια εμβαδού A κατά μήκος του, ℓ
- Μια διαφορά δυναμικού ΔV δημιουργείται κατά μήκος του καλωδίου
 - Δημιουργώντας έτσι εντός του καλωδίου ένα ηλεκτρικό πεδίο και ένα ρεύμα
- Αν υποθέσουμε ότι το πεδίο είναι ομογενές, το μέτρο της διαφοράς δυναμικού κατά μήκος του καλωδίου είναι

$$\Delta V = V_b - V_a = E\ell$$

- Έτσι, η πυκνότητα ρεύματος είναι

$$J = \sigma \frac{\Delta V}{\ell}$$



Ρεύμα και Αντίσταση

• Αντίσταση

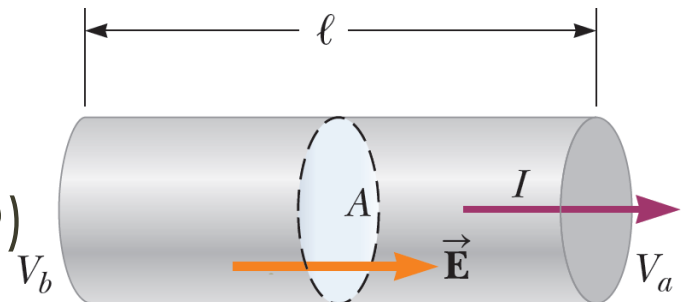
- Επειδή όμως $J = I/A$, η διαφορά δυναμικού είναι

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

- Η ποσότητα $R = \ell / \sigma A$ ονομάζεται **αντίσταση** του αγωγού
- Ορίζουμε λοιπόν την **αντίσταση** ως το λόγο της διαφοράς δυναμικού προς το ρεύμα που διαρρέει έναν αγωγό

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

- Μονάδα μέτρησης: 1 Ohm (Ω)



Ρεύμα και Αντίσταση

○ Αντίσταση

- Το αντίστροφο της αγωγιμότητας ονομάζεται **ειδική αντίσταση ρ** :

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

- με μονάδες μέτρησης $\Omega \cdot \text{m}$

- Επειδή

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

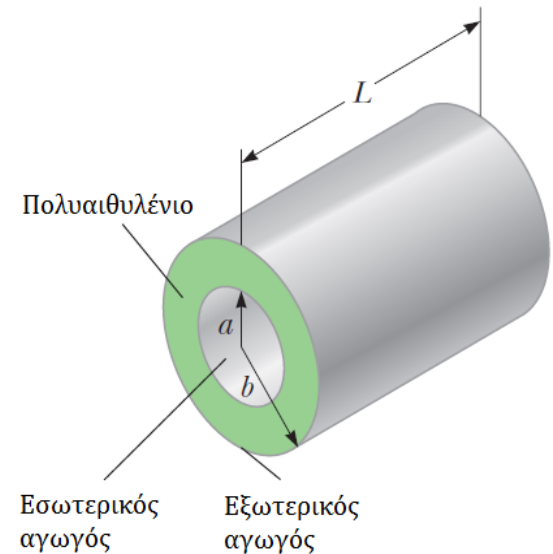
μπορούμε να εκφράσουμε την αντίσταση ενός ομογενούς τμήματος υλικού μήκους ℓ ως

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

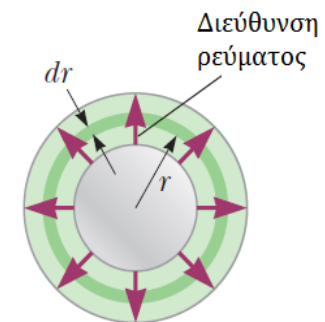
Ρεύμα και Αντίσταση

ο Παράδειγμα:

- ο Τα ομοαξονικά καλώδια χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην καλωδιακή τηλεόραση και σε άλλες ηλεκτρικές συσκευές. Ένα ομοαξονικό καλώδιο περιλαμβάνει δυο ομόκεντρους κυλινδρικούς αγωγούς. Η περιοχή ανάμεσά τους είναι γεμάτη με πολυαιθυλένιο (πλαστικό). Η διαρροή ρεύματος μέσα από το πλαστικό, σε ακτινική διεύθυνση, είναι άκρως ανεπιθύμητη. Η ακτίνα του εσωτερικού αγωγού είναι a , του εξωτερικού αγωγού είναι b , και το μήκος του είναι L . Η ειδική αντίσταση του πλαστικού είναι ρ . Βρείτε την αντίσταση του πλαστικού ανάμεσα στους δυο αγωγούς.



a



Κάτοψη

b

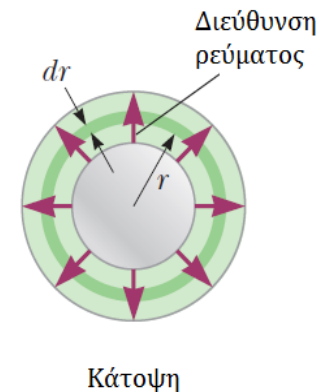
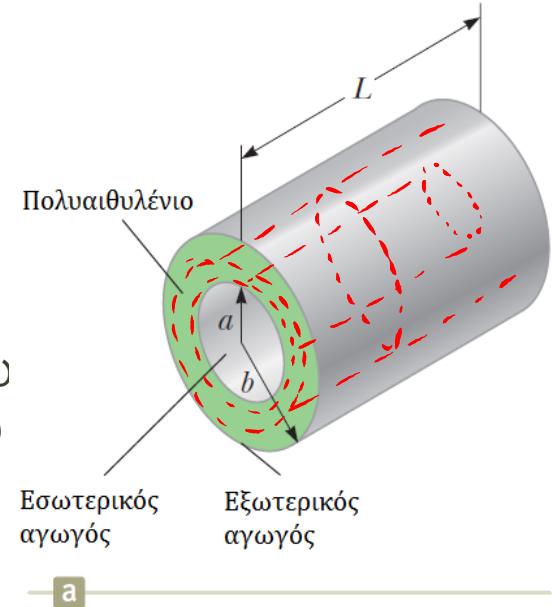
Ρεύμα και Αντίσταση

• Παράδειγμα - Λύση:

Η ακτίνα του εσωτερικού αγωγού είναι a , του εξωτερικού αγωγού είναι b , και το μήκος του είναι L . Η ειδική αντίσταση του πλαστικού είναι ρ . Βρείτε την αντίσταση του πλαστικού ανάμεσα στους δυο αγωγούς.

Η ακτινική διαρροή που φαίνεται στο Σχήμα (b) είναι αυειδύμητη. Ζητείται η αντίσταση R του "ηράεινου" ηλαστικού. Γνωρίζουμε ότι $R = \rho \frac{l}{A}$, με A την επιφάνεια που διαρρέει το ρεύμα. Στο Σχήμα (b) βλέπουμε ότι το ρεύμα διαπερνά ακτινικά έναν "δακτύλιο" πάχους dr που αντιστοιχεί σε ένα "κυλινδρικό τσόφλι" μήκους L . Το πλαστικό αποτελείται από "πολλά" τέτοια "τσόφλια".

Αν βρούμε την αντίσταση dR ενός "τσόφλιού" ακτίνας r και "πάχους" dr



Εμβαδόν κυλινδρικής επιφάνειας
ακτίνας r , μήκους L : $A = 2\pi r L$

Ρεύμα και Αντίσταση

• Παράδειγμα - Λύση:

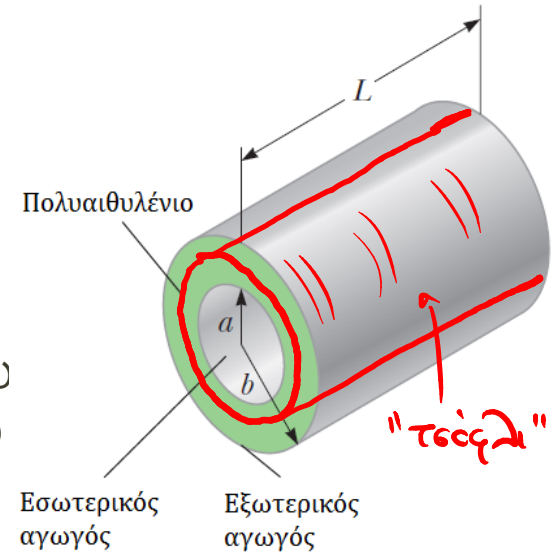
Η ακτίνα του εσωτερικού αγωγού είναι a , του εξωτερικού αγωγού είναι b , και το μήκος του είναι L . Η ειδική αντίσταση του πλαστικού είναι ρ . Βρείτε την αντίσταση του πλαστικού ανάμεσα στους δυο αγωγούς.

τότε μπορούμε να αδράξουμε τις αντιστάσεις dR όλων των "τσόφλιων" για να βρούμε τη συνολική αντίσταση του πλαστικού. Για το ένα λειόν "κυλινδρικό τσόφλι" :

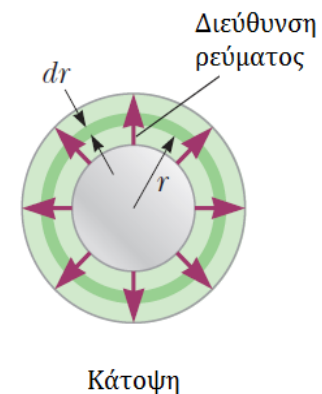
$$dR = \rho \frac{dr}{A} = \rho \frac{dr}{2\pi r L} = \frac{\rho}{2\pi L} \frac{dr}{r}$$

Άρα η συνολική αντίσταση :

$$R = \int dR = \int_a^b \frac{\rho}{2\pi L} \frac{dr}{r} = \frac{\rho}{2\pi L} \int_a^b \frac{1}{r} dr = \frac{\rho}{2\pi L} \ln r \Big|_a^b = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$



a



b

Ρεύμα και Αντίσταση

ο Αντίσταση

- ο Ίσως γνωρίζετε ότι η ειδική αντίσταση ρ σχετίζεται γραμμικά με τη θερμοκρασία
- ο Αυτό ισχύει μόνο για ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών
- ο Η έκφραση είναι

$$\rho = \rho_0[1 + a(T - T_0)]$$

- ο με ρ_0 την **ειδική αντίσταση θερμοκρασίας αναφοράς** T_0
- ο με T_0 την **θερμοκρασία αναφοράς** (συνήθως 20 C)
- ο με a το **θερμοκρασιακό συντελεστή ειδικής αντίστασης**, ο οποίος μπορεί να εκφραστεί ως

$$a = \frac{\Delta\rho}{\rho_0\Delta T}$$

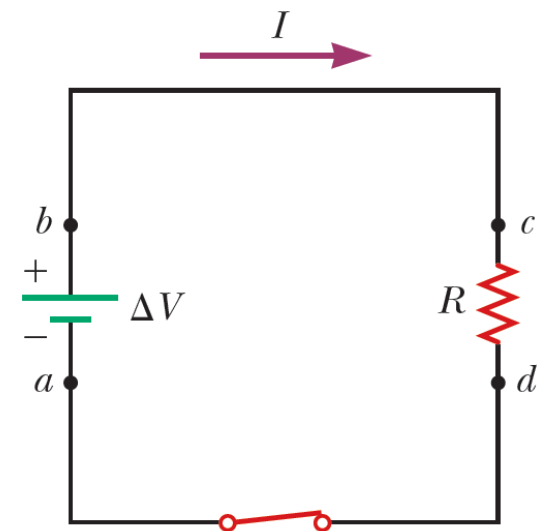
- ο Άρα η αντίσταση R μπορεί να γραφεί ως

$$R = R_0[1 + a(T - T_0)]$$

Ρεύμα και Αντίσταση

◉ Ηλεκτρική Ισχύς

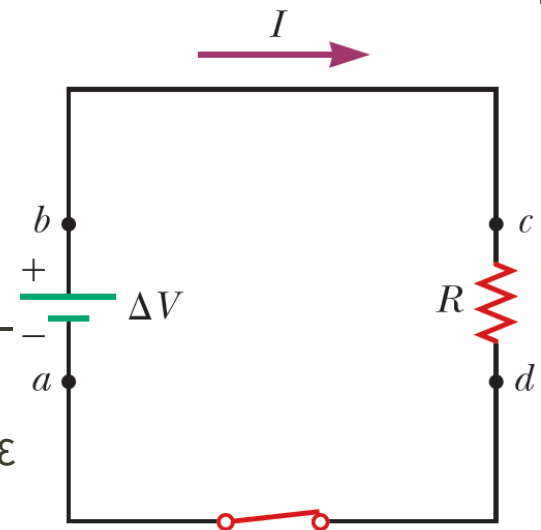
- ◉ Σε τυπικά ηλ. κυκλώματα, η ενέργεια μεταφέρεται από μια πηγή όπως η μπαταρία, σε μια λάμπα ή μια συσκευή
- ◉ Ας βρούμε μια έκφραση που θα μας δίνει το ρυθμό μεταφοράς αυτής της ενέργειας!
- ◉ Ας θεωρήσουμε το παρακάτω κύκλωμα όπου ενέργεια μεταφέρεται σε έναν αντιστάτη
 - ◉ Στην πραγματικότητα, κάποια ενέργεια μεταφέρεται και στα καλώδια, την οποία θεωρούμε αμελητέα



Ρεύμα και Αντίσταση

Ηλεκτρική Ισχύς

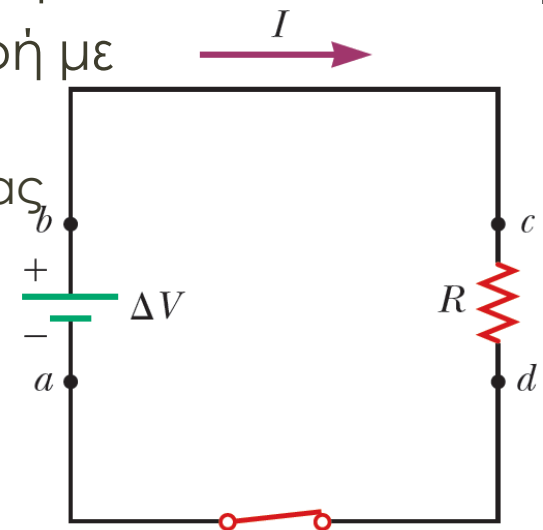
- Ας θεωρήσουμε ότι ακολουθούμε ένα φορτίο Q που κινείται στο κύκλωμα κατά τη φορά του ρολογιού, ξεκινώντας και καταλήγοντας στο σημείο a
 - Από το a στο b , η ηλεκτρ. δυναμική ενέργεια του συστήματος αυξάνεται κατά $Q\Delta V$
 - ...ενώ η χημική δυναμική ενέργεια της μπαταρίας μειώνεται εξίσου
- Όσο 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 ηλ. δυναμικής ενέργειας σε εσωτερική ενέργεια



Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρική Ισχύς

- Όταν το φορτίο επιστρέφει στο α, το συνολικό αποτέλεσμα είναι ότι ένα τμήμα της χημικής δυναμικής ενέργειας της μπαταρίας μεταφέρθηκε στον αντιστάτη και έμεινε εκεί ως εσωτερική 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

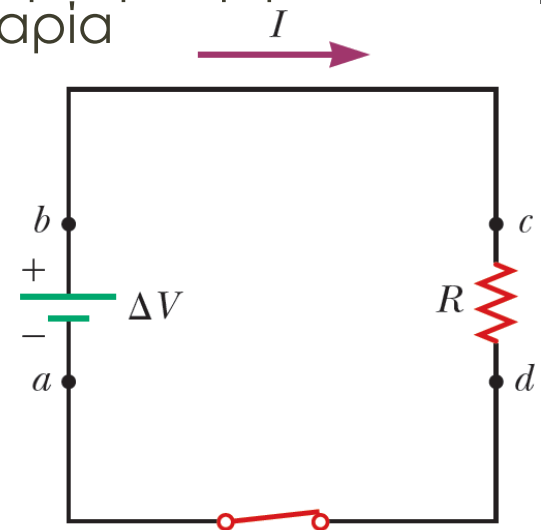
Ηλεκτρική Ισχύς

- 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 εσωτερική ενέργεια στον αντιστάτη
- Ισχύς P που παραδίδεται!

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



Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρική Ισχύς

- Το ηλεκτρικό ρεύμα συνήθως χρειάζεται να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις
- Η μεταφορά αυτή γίνεται με πυλώνες υψηλής τάσης και καλώδια
- Όταν η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται μέσα από καλώδια (τα οποία έχουν υψηλό R), στην πράξη ένα μέρος της μετατρέπεται σε θερμότητα, όπως είδαμε
- Όσο περισσότερη θερμότητα δημιουργείται κατά τη μεταφορά, τόσο λιγότερη ωφέλιμη ενέργεια φτάνει στον τελικό χρήστη
- Για να μειωθούν οι απώλειες και το κόστος, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στα καλώδια σε **υψηλή τάση**
 - $P = I^2 R = \frac{\Delta V^2}{R} \rightarrow$ υψηλή ένταση, υψηλή ενέργεια στα καλώδια
 - $P = I^2 R = \frac{\Delta V^2}{R} \rightarrow$ υψηλή τάση, χαμηλή ενέργεια στα καλώδια

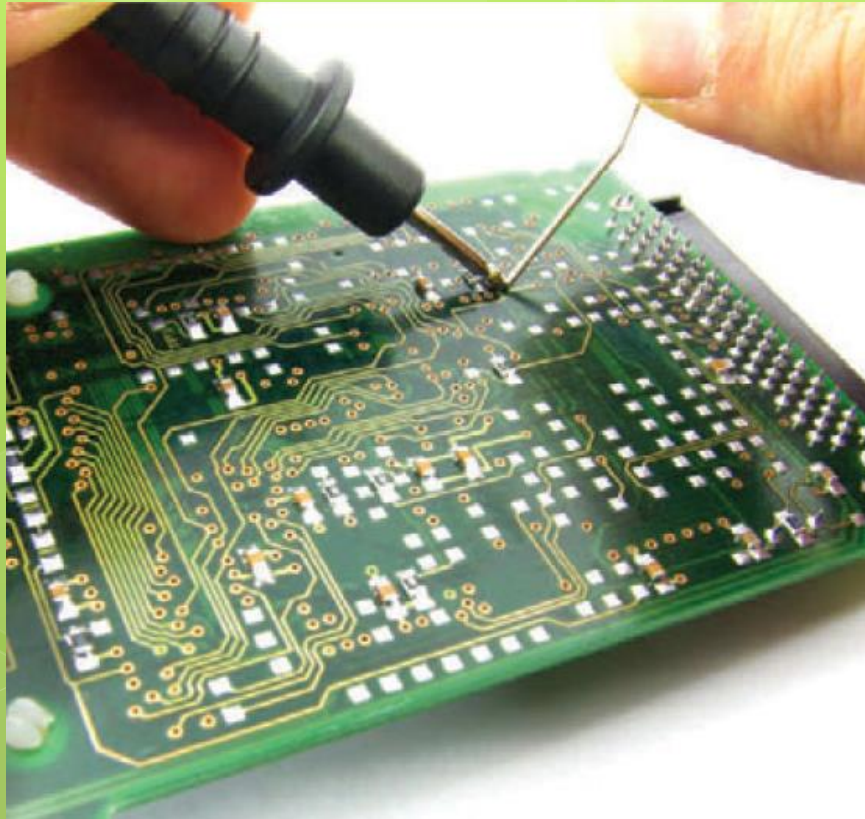


Ρεύμα και Αντίσταση

◉ Ηλεκτρική Ισχύς

- ◉ Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα φτάσει στα σπίτια μας, πρέπει να μετατραπεί σε χαμηλή τάση 240 Volt. Πώς γίνεται αυτό;
- ◉ Αν παρατηρήσετε τις κολώνες της ΔΕΗ, ίσως προσέξετε ότι κάποιες από αυτές έχουν επάνω κάποιους κλωβούς που παράγουν συνήθως και κάποιο θόρυβο
- ◉ Αυτοί είναι οι λεγόμενοι μετασχηματιστές, που μετατρέπουν το ηλεκτρικό ρεύμα υψηλής τάσης που έρχεται από το εργοστάσιο παραγωγής σε ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλότερης τάσης (~4 kV)
- ◉ Επιπλέον μετασχηματιστές μετατρέπουν αυτήν την τάση σε κατάλληλη για οικιακή χρήση (240 V)

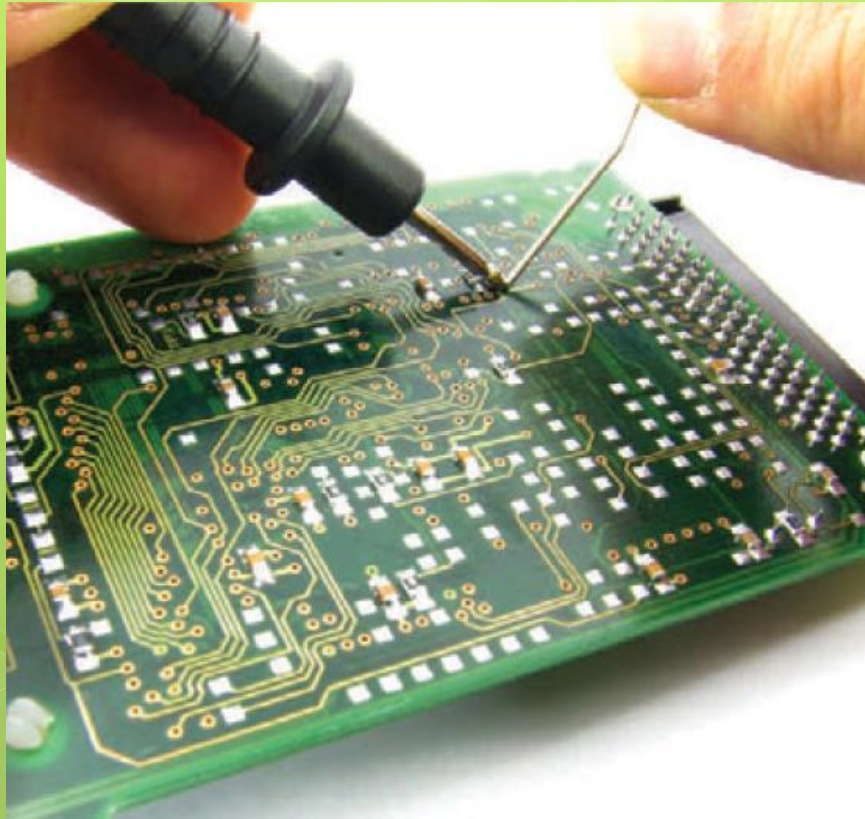




Εικόνα: Επισκευή μιας πλακέτας κυκλωμάτων ενός υπολογιστή. Χρησιμοποιούμε καθημερινά αντικείμενα που περιέχουν ηλεκτρικά κυκλώματα, συμπεριλαμβανομένων και κάποιων με πολύ μικρότερες πλακέτες από την εικονιζόμενη. Μεταξύ αυτών, έχουμε τα φορητά βιντεοπαιχνίδια, τα κινητά τηλέφωνα, και τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Σε αυτό το κεφάλαιο, μελετάμε απλά ηλεκτρικά κυκλώματα και μαθαίνουμε πώς να τα αναλύουμε.

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρικά Κυκλώματα Συνεχούς Ρεύματος



Εικόνα: Επισκευή μιας πλακέτας κυκλωμάτων ενός υπολογιστή. Χρησιμοποιούμε καθημερινά αντικείμενα που περιέχουν ηλεκτρικά κυκλώματα, συμπεριλαμβανομένων και κάποιων με πολύ μικρότερες πλακέτες από την εικονιζόμενη. Μεταξύ αυτών, έχουμε τα φορητά βιντεοπαιχνίδια, τα κινητά τηλέφωνα, και τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Σε αυτό το κεφάλαιο, μελετάμε απλά ηλεκτρικά κυκλώματα και μαθαίνουμε πώς να τα αναλύουμε.

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρικά Κυκλώματα Συνεχούς Ρεύματος

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

◉ Εισαγωγή

- ◉ Τα κυκλώματα που θα δούμε περιέχουν τους δομικούς λίθους που συζητήσαμε ως τώρα
 - ◉ Αντιστάσεις, πυκνωτές, και πηγές διαφοράς δυναμικού (μπαταρίες)
- ◉ Στην προσπάθεια ανάλυσής τους θα μάθουμε για τους **Κανόνες του Kirchhoff**
 - ◉ Προέρχονται από την **αρχή διατήρησης της ενέργειας** και την **αρχή διατήρησης του φορτίου**
- ◉ Το ρεύμα που θα διαρρέει τα κυκλώματά μας θα είναι σταθερό σε μέτρο και κατεύθυνση

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

◉ Ηλεκτρεγερτική Δύναμη

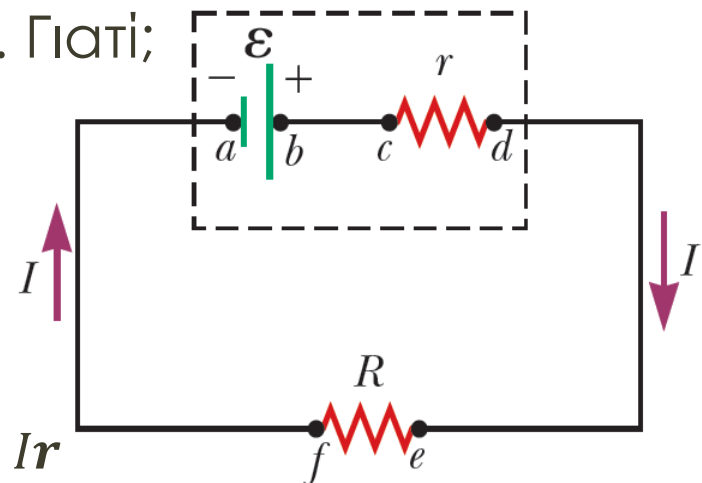
- ◉ Η διαφορά δυναμικού στους πόλους μιας μπαταρίας είναι σταθερή για ένα δεδομένο κύκλωμα, το ρεύμα στο κύκλωμα είναι επίσης σταθερό σε μέτρο και κατεύθυνση, και λέγεται **συνεχές ρεύμα**
- ◉ Η μπαταρία καλείται είτε **πηγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης** είτε **πηγή ΗΕΔ**
- ◉ Η **ΗΕΔ** ε μιας μπαταρίας είναι η **μέγιστη δυνατή τάση** ανάμεσα στους πόλους της
- ◉ Σε όλη μας τη συζήτηση θα υποθέσουμε ότι τα καλώδια δεν έχουν αντίσταση
- ◉ Ο θετικός πόλος της μπαταρίας είναι υψηλότερου δυναμικού από τον αρνητικό

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

• Ηλεκτρεγερτική Δύναμη

- Η μπαταρία έχει κι αυτή τη δική της αντίσταση
 - Την ονομάζουμε **εσωτερική αντίσταση r**
- Ιδανικά, η διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας ισούται με την ΗΕΔ
- Στην πράξη όμως, δεν ισχύει. Γιατί;
 - Το σχήμα δείχνει ένα μοντέλο μπαταρίας (κουτί διακεκομμένων)
 - Ιδανική ΗΕΔ και αντίσταση r σε σειρά:

$$V_d - V_a = \Delta V = \varepsilon - Ir$$



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

● Ηλεκτρεγερτική Δύναμη

- Το σχήμα δείχνει ότι η διαφορά δυναμικού στα άκρα της αντίστασης R είναι

$$\Delta V = IR$$

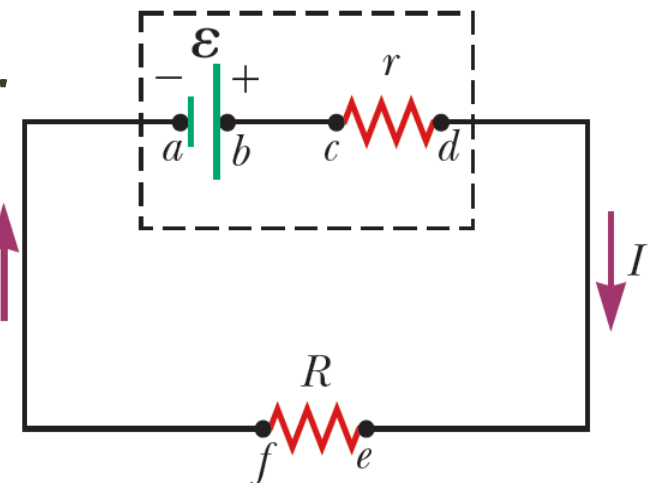
- Σύμφωνα με τη σχέση που υπολογίσαμε πριν, θα έχουμε

$$\Delta V = IR = \varepsilon - Ir$$

ΟΠΟΤΕ

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

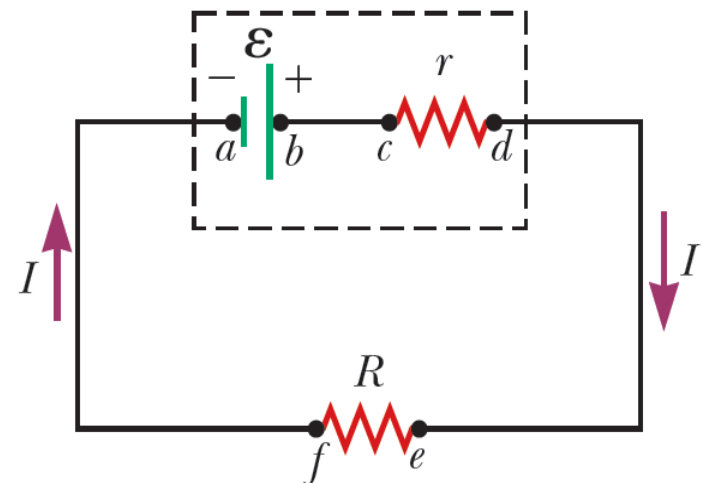
- Άρα το ρεύμα εξαρτάται τόσο από την R όσο κι από την r



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

• Ηλεκτρεγερτική Δύναμη

- Πολλαπλασιάζοντας με I , έχουμε $I\varepsilon = I^2R + I^2r$
- Αυτό σημαίνει ότι η συνολική ισχύς κατανέμεται τόσο στην εξωτερική αντίσταση R όσο και στην εσωτερική αντίσταση r
- Στην πράξη, η R είναι αρκετά μεγαλύτερη από την r
 - Όσο «γερνάει» η μπαταρία τόσο μεγαλώνει η τιμή του r της
- Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μπαταρία είναι μια πηγή σταθερής ΗΕΔ
 - Όχι σταθερού ρεύματος
 - Όχι σταθερής διαφοράς δυναμικού



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

ο Παράδειγμα

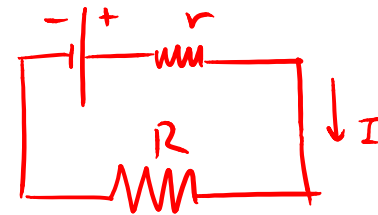
- ο Μια μπαταρία έχει ΗΕΔ $\mathcal{E}$ 12 V και εσωτερική αντίσταση $r = 0.05 \Omega$. Οι πόλοι της συνδέονται σε μια εξωτερική αντίσταση με $R=3 \Omega$.
- ο Α) Βρείτε το ρεύμα και τη διαφορά δυναμικού της μπαταρίας
- ο Β) Υπολογίστε την ισχύ που λαμβάνει ο αντιστάτης, η εσωτερική αντίσταση και την ισχύ που δίνει η μπαταρία

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

◉ Παράδειγμα – Λύση: $\mathcal{E}$

- ◉ Μια μπαταρία έχει ΗΕΔ 12 V και εσωτερική αντίσταση $r = 0.05\ \Omega$. Οι πόλοι της συνδέονται σε μια εξωτερική αντίσταση με $R=3\ \Omega$.
- ◉ Α) Βρείτε το ρεύμα και τη διαφορά δυναμικού της μπαταρίας

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{12}{3.05} \approx 3.9\text{ A}$$



$$\Delta V = \mathcal{E} - Ir = 12 - 3.9 \cdot 0.05 \approx 11.8\text{ V}$$

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

◉ Παράδειγμα – Λύση:

- ◉ Μια μπαταρία έχει ΗΕΔ 12 V και εσωτερική αντίσταση $r = 0.05 \Omega$. Οι πόλοι της συνδέονται σε μια εξωτερική αντίσταση με $R=3 \Omega$.
- ◉ Β) Υπολογίστε την ισχύ που λαμβάνει ο αντιστάτης, η εσωτερική αντίσταση και την ισχύ που δίνει η μπαταρία

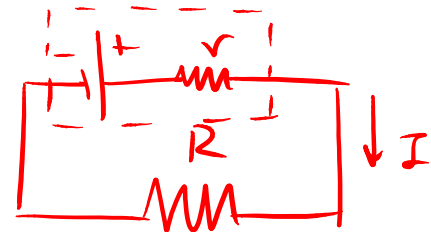
$$P_R = I^2 R = 3.9^2 \cdot 3 = 46.3 \text{ W}$$

$$P_r = I^2 r = 3.9^2 \cdot 0.05 = 0.77 \text{ W} \quad r' = 2 \Omega$$

$$P = P_R + P_r \approx 47.1 \text{ W} \quad I = \frac{\mathcal{E}}{R + r'} = 2.4 \text{ A}$$

$$\Delta V = \mathcal{E} - I r' = 7.2 \text{ V}$$

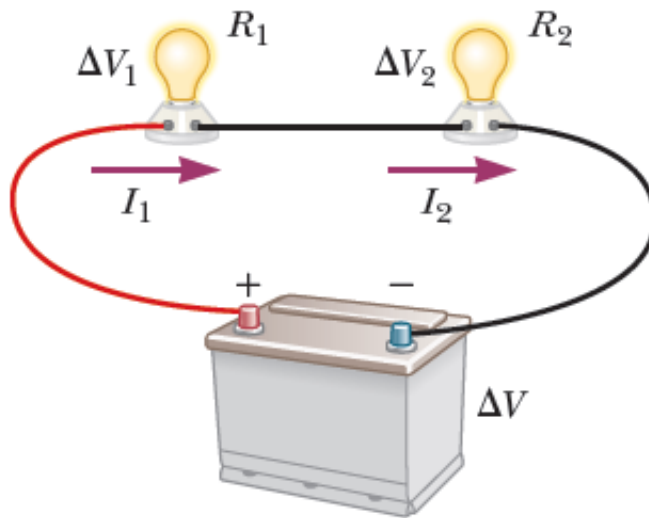
$$P_R = I^2 R = 17.3 \text{ W}, \quad P_{r'} = I^2 r' = 11.5 \text{ W}$$



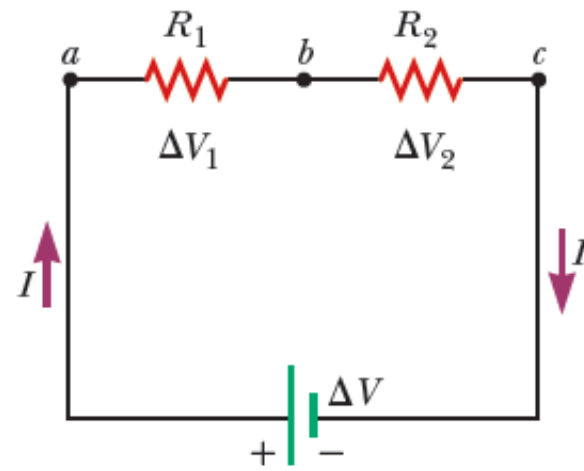
Ηλεκτρικά Κυκλώματα

- **Αντιστάτες σε σειρά & παράλληλα**

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



a

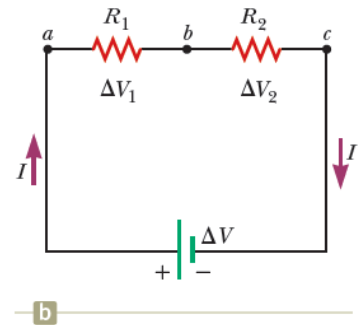
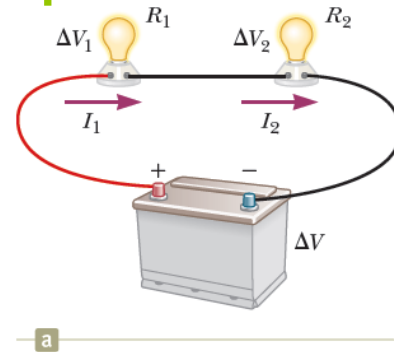


b

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

● Αντιστάτες σε σειρά

- Προφανώς, η ποσότητα φορτίου Q που εξέρχεται του αντιστάτη R_1 θα πρέπει να είναι ίδια με αυτή που εισέρχεται στον R_2



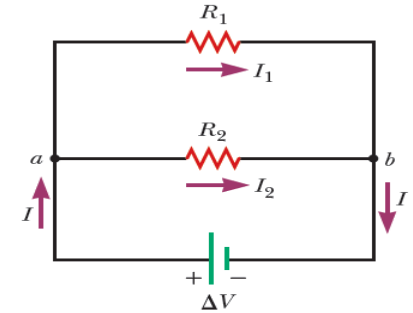
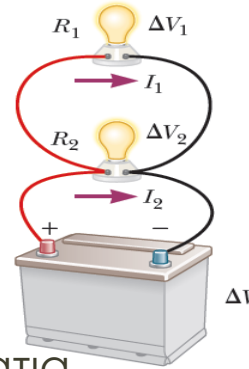
- Άρα $I = I_1 = I_2$, αν I είναι το ρεύμα που άγει η μπαταρία
- Η διαφορά δυναμικού δίνεται ως
$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2 = I(R_1 + R_2)$$
- Άρα ένας ισοδύναμος αντιστάτης θα πρέπει να έχει αντίσταση $R_{eq} = R_1 + R_2$
- Γενικότερα

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

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 μονοπάτια
- 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

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



Τέλος Διάλεξης