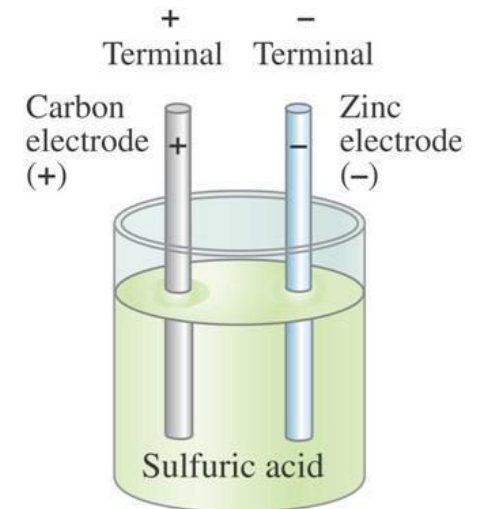
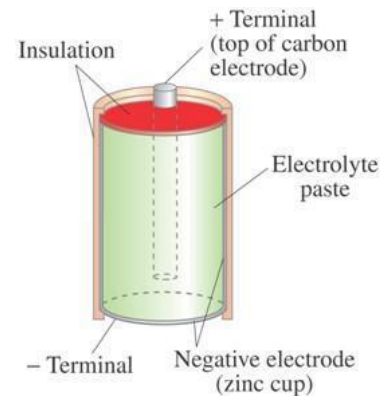
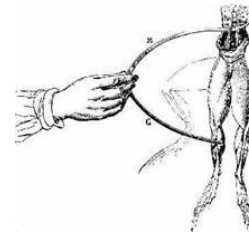


# Ηλεκτρικό Ρεύμα Αντίσταση

# εισαγωγή

- Μελέτη φορτίων σε κίνηση -> ηλεκτρικό ρεύμα
- Ηλεκτροστατική:  $E=0$  εσωτερικά του αγωγού
- Κινούμενα φορτία μέσα σε αγωγό:  $E \neq 0$  εσωτερικά του αγωγού
- Έλεγχος ροής φορτίων με ηλεκτρικό πεδίο και ηλεκτρικό δυναμικό
- Ηλεκτρικές συστοιχίες ή Μπαταρίες



# Ηλεκτρικό ρεύμα

- ρυθμός μεταφοράς ηλεκτρικού φορτίου σε αγωγό

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

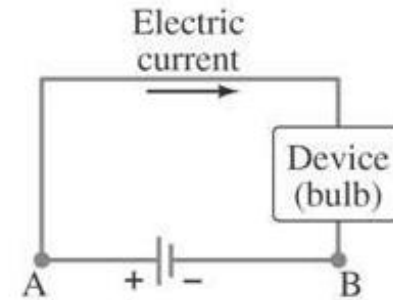
- στιγμιαίο ρεύμα

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

- μονάδα μέτρησης ρεύματος

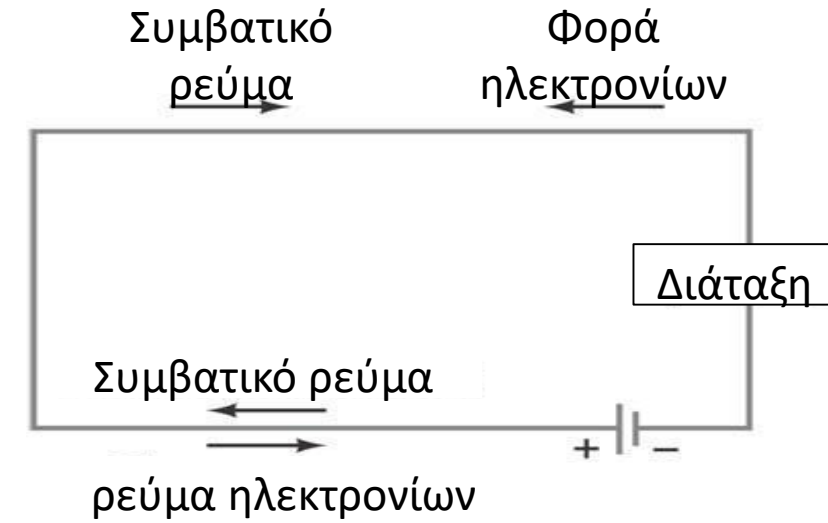
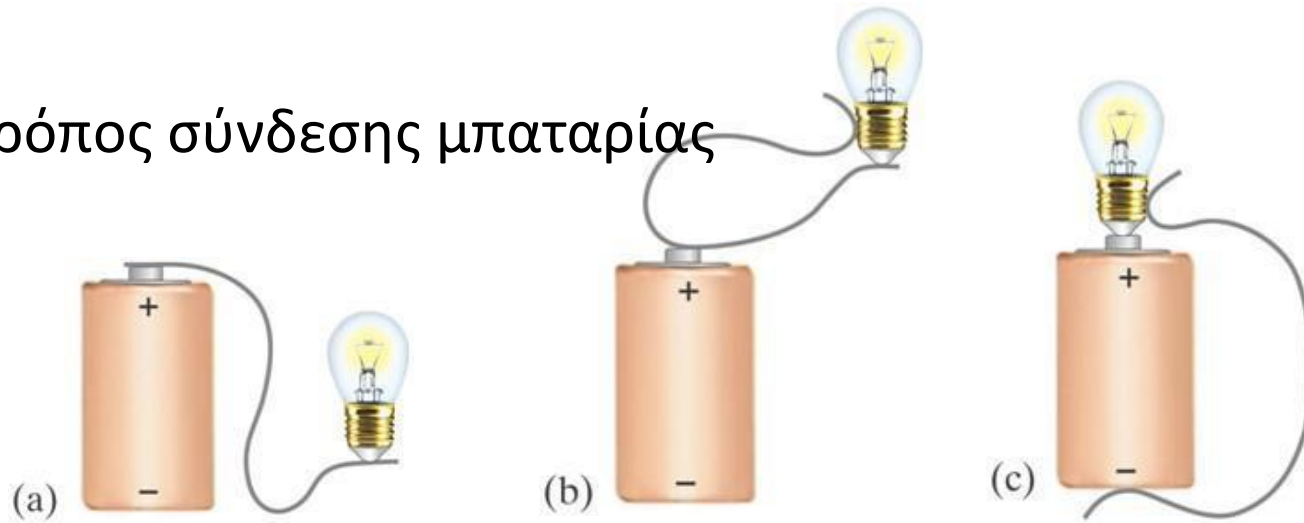
$$1A = 1 C/s$$

- αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου: το φορτίο είναι άφθαρτο

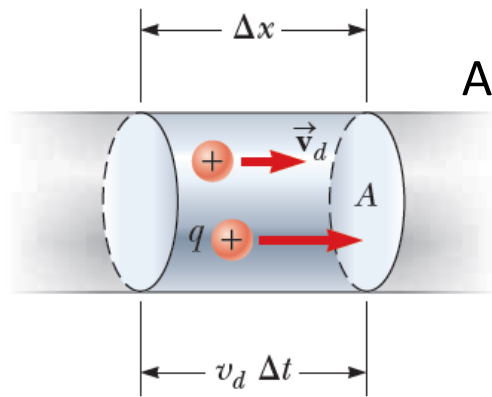


**Παράδειγμα:** συνεχές ρεύμα 2,5 A διαρρέει ένα καλώδιο για 240 s. Πόσο είναι το συνολικό φορτίο (σε ηλεκτρόνια) που διέρχεται από ένα συγκεκριμένο σημείο?

- τρόπος σύνδεσης μπαταρίας



- Το Ρεύμα μικροσκοπικά



$$\Delta Q = (nA\Delta x)q$$

Αν το φορτίο ρέει με ταχύτητα  $\vec{v}_d$  παράλληλη στον άξονα του κυλίνδρου

$$\Delta x = v_d \Delta t$$

$$\Delta Q = (nAv_d \Delta t)q$$

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = (nAv_d)q$$

# Αντίσταση - Νόμος του Ohm

- Πυκνότητα ρεύματος: ρεύμα ανά μονάδα επιφανείας ( $1\text{A}/\text{m}^2$ )

$$J = \frac{I}{A} = n v_d q$$

Όταν μια διαφορά τάσης εφαρμόζεται και διατηρείται σε έναν αγωγό, εμφανίζονται πυκνότητα ρεύματος και ηλεκτρικό πεδίο. Σε κάποια υλικά η πυκνότητα ρεύματος είναι ανάλογη με το ηλεκτρικό πεδίο.

$$J = \sigma E$$

Αγωγιμότητα  
υλικού

# Αντίσταση - Νόμος του Ohm

Εφαρμογή: κομμάτι ευθύγραμμου αγωγού με ομοιόμορφη διατομή επιφάνειας  $A$  και μήκους  $l$

$$\Delta V = V_b - V_a$$

Όταν το πεδίο είναι ομοιόμορφο

$$\Delta V = El$$

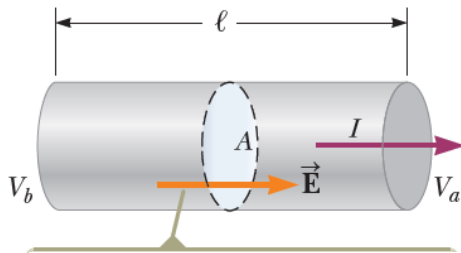
Η πυκνότητα ρεύματος εκφράζεται

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

αντιστάση αγωγού ( $R$  σταθερό και ανεξάρτητο του  $V$ )

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

Μονάδα αντίστασης  
Ohm ( $\Omega$ )

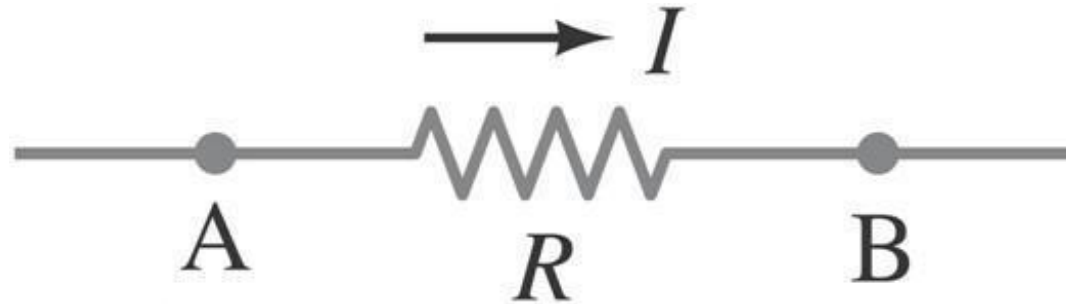


Διαφορά δυναμικού  
 $\Delta V = V_b - V_a$  στα άκρα του  
αγωγού δημιουργεί  $E$  και  
αυτό με τη σειρά του  $I$   
ανάλογο του  $\Delta V$

**Νόμος του Ohm:** το ρεύμα  
σε έναν μεταλλικό αγωγό  
είναι ανάλογο της διαφοράς  
δυναμικού που  
εφαρμόζεται στα άκρα του

## Παράδειγμα

- Σε ποιο σημείο είναι μεγαλύτερο το δυναμικό?
- Σε ποιο σημείο είναι μεγαλύτερο το ρεύμα?

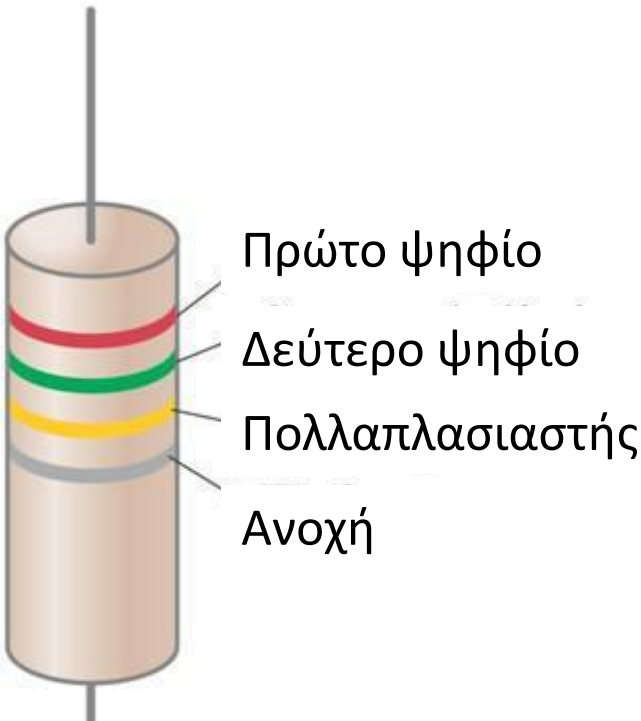
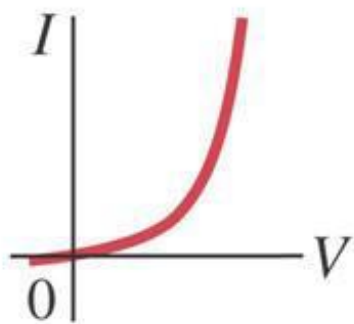
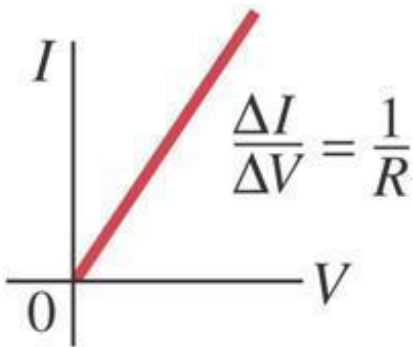


Αγωγιμότητα  $\sigma = J/E$

Αντίσταση  $R = \frac{l}{\sigma A}$

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

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

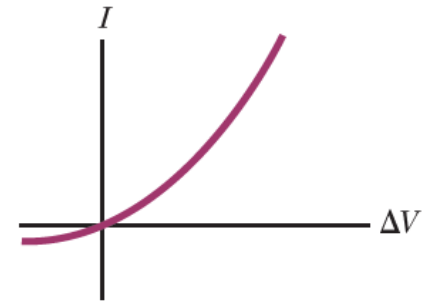


Color Coding for Resistors			
Color	Number	Multiplier	Tolerance
Black	0	1	
Brown	1	$10^1$	
Red	2	$10^2$	
Orange	3	$10^3$	
Yellow	4	$10^4$	
Green	5	$10^5$	
Blue	6	$10^6$	
Violet	7	$10^7$	
Gray	8	$10^8$	
White	9	$10^9$	
Gold		$10^{-1}$	5%
Silver		$10^{-2}$	10%
Colorless			20%



## Παράδειγμα

- Ένας κυλινδρικός αγωγός με ακτίνα  $r$  και μήκος  $l$  διπλασιάζεται και σε ακτίνα και σε μήκος. Η αντίσταση του αγωγού αυξάνεται, μειώνεται ή παραμένει ίδια?
- Στο σχήμα που απεικονίζει την συμπεριφορά μιας διόδου, τι θα συμβεί στην αντίσταση όσο αυξάνεται η εφαρμοζόμενη τάση?



# Παράδειγμα

Ένα ηχοσύστημα πρέπει να συνδεθεί με ηχεία που βρίσκονται σε απόσταση 20 m.

- Τι διάμετρο χάλκινου καλωδίου θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ώστε η τιμή της αντίστασης να μην ξεπερνά τα  $0.1\Omega$  ανά καλώδιο?
- Αν το ρεύμα του κάθε ηχείου είναι 4A ποια θα είναι η πτώση τάσης κατά μήκος κάθε καλωδίου?

## Παράδειγμα

### ΛΥΣΗ:

$$\begin{aligned} \text{A.} \quad R &= \rho \frac{l}{A} \Rightarrow A = \rho \frac{l}{R} = \frac{(1.68 \times 10^{-8} \Omega m)(20m)}{0.10 \Omega} \\ &= 3.4 \times 10^{-6} m^2 \end{aligned}$$

$$A = \pi r^2 \Rightarrow 1.04 mm$$

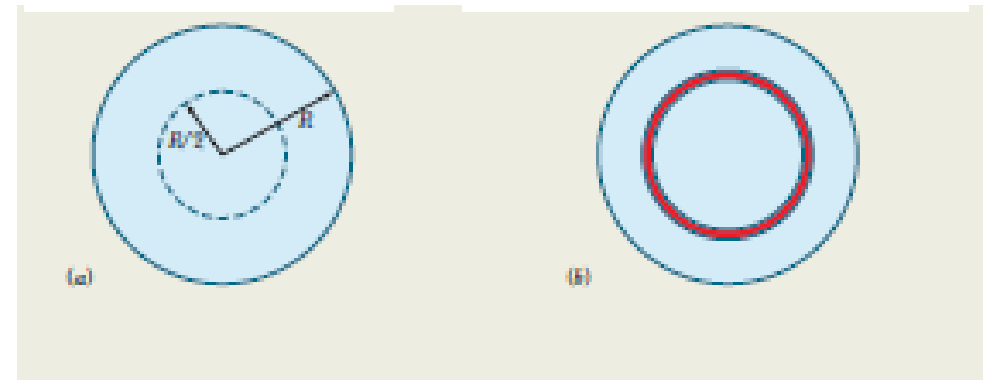
Η διάμετρος θα πρέπει να είναι  
τουλάχιστον 2.1 mm

$$\text{B.} \quad V = IR = (4A)(0.1\Omega) = 0.4V$$

## Άσκηση 1α. Κυλινδρικό σύρμα

Η πυκνότητα ρεύματος σε ένα κυλινδρικό σύρμα ακτίνας  $R=2.0\text{mm}$  ομοιόμορφη κατά μήκος μιας διατομής του σύρματος και έχει μέτρο  $J=2.0 \times 10^5 \text{ A/m}^2$ .

Να υπολογιστεί ρεύμα που διαρρέει το εξωτερικό τμήμα του σύρματος που ορίζεται από τις ακτίνες  $R/2$  και  $R$ .



## Άσκηση 1α. Κυλινδρικό σύρμα

Η πυκνότητα ρεύματος σε ένα κυλινδρικό σύρμα ακτίνας  $R=2.0\text{mm}$  ομοιόμορφη κατά μήκος μιας διατομής του σύρματος και έχει μέτρο  $J=2.0 \times 10^5 \text{ A/m}^2$ .

Να υπολογιστεί ρεύμα που διαρρέει το εξωτερικό τμήμα του σύρματος που ορίζεται από τις ακτίνες  $R/2$  και  $R$ .

Λύση: Το ρεύμα που διαρρέει ένα μέρος της διατομής θα είναι  $I=JA'$  όπου

$$A' = \pi R^2 - \pi \left( \frac{R}{2} \right)^2 = \pi \left( \frac{3R^2}{4} \right) = 9.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$I = JA' = (2.0 \times 10^5 \text{ A/m}^2)(9.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2) = 1.9 \text{ A}$$

## Άσκηση 1β. Κυλινδρικό σύρμα

Η πυκνότητα ρεύματος σε ένα κυλινδρικό σύρμα ακτίνας  $R=2.0\text{mm}$  δεν είναι ομοιόμορφη στη διατομή και μεταβάλλεται με την ακτίνα σύμφωνα με τη σχέση  $J=\alpha r^2$  όπου  $\alpha=3.0 \times 10^{11} \text{ A/m}^4$ .

Να υπολογιστεί εκ νέου το ρεύμα που διαρρέει το εξωτερικό τμήμα του σύρματος που ορίζεται από τις ακτίνες  $R/2$  και  $R$ .

## Άσκηση 1β. Κυλινδρικό σύρμα

Η πυκνότητα ρεύματος σε ένα κυλινδρικό σύρμα ακτίνας  $R=2.0\text{mm}$  δεν είναι ομοιόμορφη στη διατομή και μεταβάλλεται με την ακτίνα σύμφωνα με τη σχέση  $J=\alpha r^2$  όπου  $\alpha=3.0 \times 10^{11} \text{ A/m}^4$ .

Να υπολογιστεί εκ νέου το ρεύμα που διαρρέει το εξωτερικό τμήμα του σύρματος που ορίζεται από τις ακτίνες  $R/2$  και  $R$ .

Λύση: Το ρεύμα που διαρρέει ένα μέρος της διατομής θα είναι  $I=JA'$  όπου

$$\vec{J} \cdot d\vec{A} = JdA \cos \theta = JdA$$

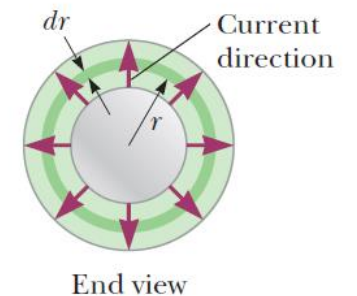
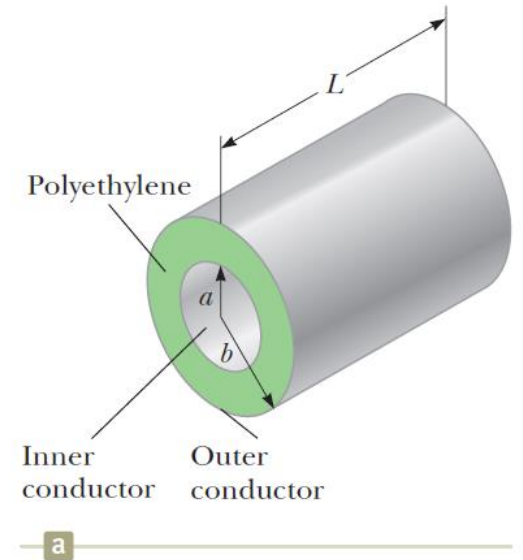
$$I = \int JdA = \int_{R/2}^R \alpha r^2 2\pi r dr = 2\pi\alpha \int_{R/2}^R r^3 dr = 2\pi\alpha \left[ \frac{r^4}{4} \right]_{R/2}^R = \frac{\pi\alpha}{2} \left[ R^4 - \frac{R^4}{16} \right] =$$

$$\frac{15}{32} \pi\alpha R^4 = 7.1\text{A}$$

## Άσκηση 2. Ομοαξονικό καλώδιο

Ένα ομοαξονικό καλώδιο αποτελείται από δύο ομοκεντρικούς κυλινδρικούς αγωγούς. Η περιοχή ενδιάμεσα είναι γεμισμένη με πολυαιθυλένιο. Η ακτίνα του εσωτερικού αγωγού είναι  $a = 0.500$  cm, και του εξωτερικού αγωγού είναι  $b = 1.75$  cm. Το μήκος του αγωγού είναι  $L = 15.0$  cm. Δίνεται η ειδική αντίσταση του πλαστικού  $1.0 \times 10^{13} \Omega\text{m}$ .

Να υπολογιστεί η αντίσταση του πλαστικού ενδιάμεσα των δύο αγωγών.





### Άσκηση 3. Συνδυαστική

Ένας άνθρωπος απέχει 60 m ακτινική απόσταση από το σημείο που ένας κεραυνός ρεύματος 100kA χτυπά το έδαφος. Το ρεύμα διαχέεται ομοιόμορφα διαμέσου του εδάφους σε ένα ημισφαίριο με κέντρο το σημείο του χτυπήματος. Τα πέλματα του ανθρώπου απέχουν το ένα από το άλλο κατά 0.50 m. Η αντίσταση ανάμεσα στα δυο πέλματα του ανθρώπου είναι 4.00 Ω. Δίνεται η ειδική αντίσταση του εδάφους 100 Ωm. Να υπολογιστεί το ρεύμα που διαπερνά τον άνθρωπο.

# Άσκηση 3. Συνδυαστική

Ένας άνθρωπος απέχει 60 m ακτινική απόσταση από το σημείο που ένας κεραυνός ρεύματος 100kA χτυπά το έδαφος. Το ρεύμα διαχέεται ομοιόμορφα διαμέσου του εδάφους σε ένα ημισφαίριο με κέντρο το σημείο του χτυπήματος. Τα πέλματα του ανθρώπου απέχουν το ένα από το άλλο κατά 0.50 m. Η αντίσταση ανάμεσα στα δυο πέλματα του ανθρώπου είναι 4.00 Ω. Δίνεται η ειδική αντίσταση του εδάφους 100 Ωm.

Να υπολογιστεί το ρεύμα που διαπερνά τον άνθρωπο.

$$A = 2\pi r^2$$

$$\Delta V = - \int \vec{E} d\vec{s}$$

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

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

$$A = 2\pi r^2$$

Αρχίζω να υπολογίζω από κάτω προς τα πάνω

$$J = \frac{I}{2\pi r^2}$$

$$\rho = \frac{E}{J} \Rightarrow E = \rho_{gr} J = \rho_{gr} \frac{I}{2\pi r^2}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= - \int \vec{E} d\vec{s} = - \int_R^{R+\Delta r} \rho_{gr} \frac{I}{2\pi r^2} dr = -\rho_{gr} \frac{I}{2\pi} \left[ -\frac{1}{r} \right]_R^{R+\Delta r} \\ &= -\rho_{gr} \frac{I}{2\pi} \left( -\frac{1}{R+\Delta r} + \frac{1}{R} \right) = -\rho_{gr} \frac{I}{2\pi} \frac{\Delta r}{R(R+\Delta r)} \end{aligned}$$

Γνωρίζω το  $\Delta V$  και το  $R$  οπότε μπορώ να υπολογίσω το  $i$ .

Άσκηση για το σπίτι

Υπολογίζω ξανά το ρεύμα για άνθρωπο που τα πέλματα του έχουν μικρότερη απόσταση το ένα από το άλλο και για ζώο που τα μπροστινά του πόδια από τα πίσω απέχουν 1.5m. Σχολιάζω τις διαφορές.

# Ισχύς

Θεωρούμε κύκλωμα με πηγή που διατηρεί σταθερό δυναμικό

$$dq = idt$$

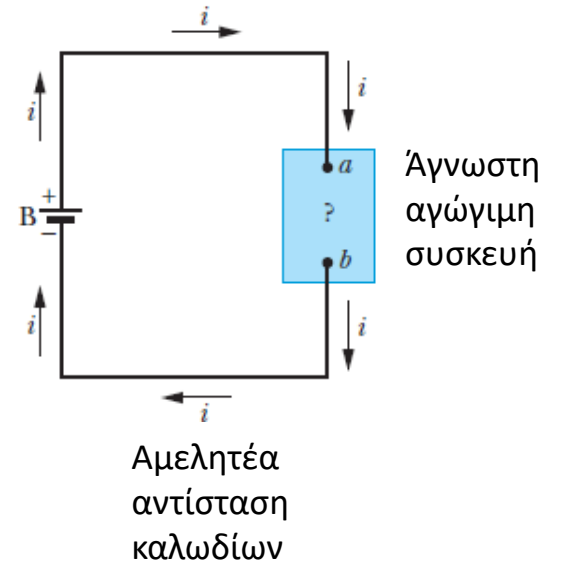
$$dU = dqV = idtV$$

Αρχή διατήρησης της ενέργειας: η μείωση της ηλεκτρικής δυναμικής ενέργειας από το a στο b θα συνοδεύεται από μια μετατροπή ενέργειας σε κάποια άλλη μορφή

$$P = iV$$

Ρυθμός μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας και ρυθμός μεταφοράς από την μπαταρία στην άγνωστη συσκευή

$$1V \cdot A = 1 \frac{J}{C} \cdot 1 \frac{C}{s} = 1 \frac{J}{s} = 1W \quad \text{Μονάδα ισχύος}$$



# Ισχύς

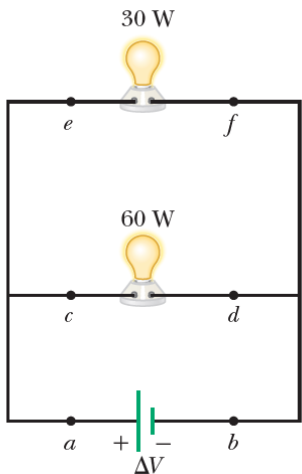
Για έναν αντιστάτη ή για συσκευή με αντίσταση

$$P = i^2 R$$

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

Απώλεια λόγω αντίστασης

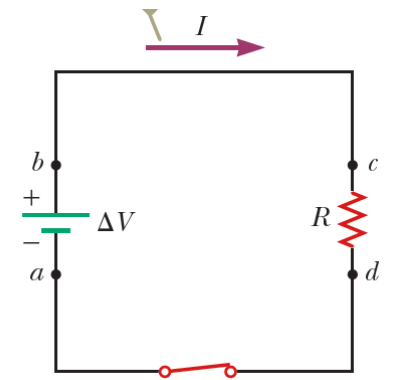
## Προβλήματα



Κατατάξτε τα  
ρεύματα στα  
σημεία a-f

Μια διαφορά δυναμικού  $V$  συνδέεται στα άκρα αντίστασης  $R$ , δημιουργώντας ρεύμα  $i$  διαμέσου της συσκευής. Τι θα συμβεί στο ρυθμό μεταβολής της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική εξαιτίας της  $R$  αν:

1. Η  $V$  διπλασιαστεί ενώ η  $R$  μένει ίδια
2. Το  $i$  διπλασιαστεί ενώ η  $R$  μένει ίδια
3. Η  $R$  διπλασιαστεί ενώ η  $V$  μένει ίδια
4. Η  $R$  διπλασιαστεί ενώ το  $i$  μένει ίδιο



Αμελητέα  
αντίσταση  
καλωδίων