

# Κεφάλαιο 25

## Ηλεκτρικό Ρεύμα και Αντίσταση



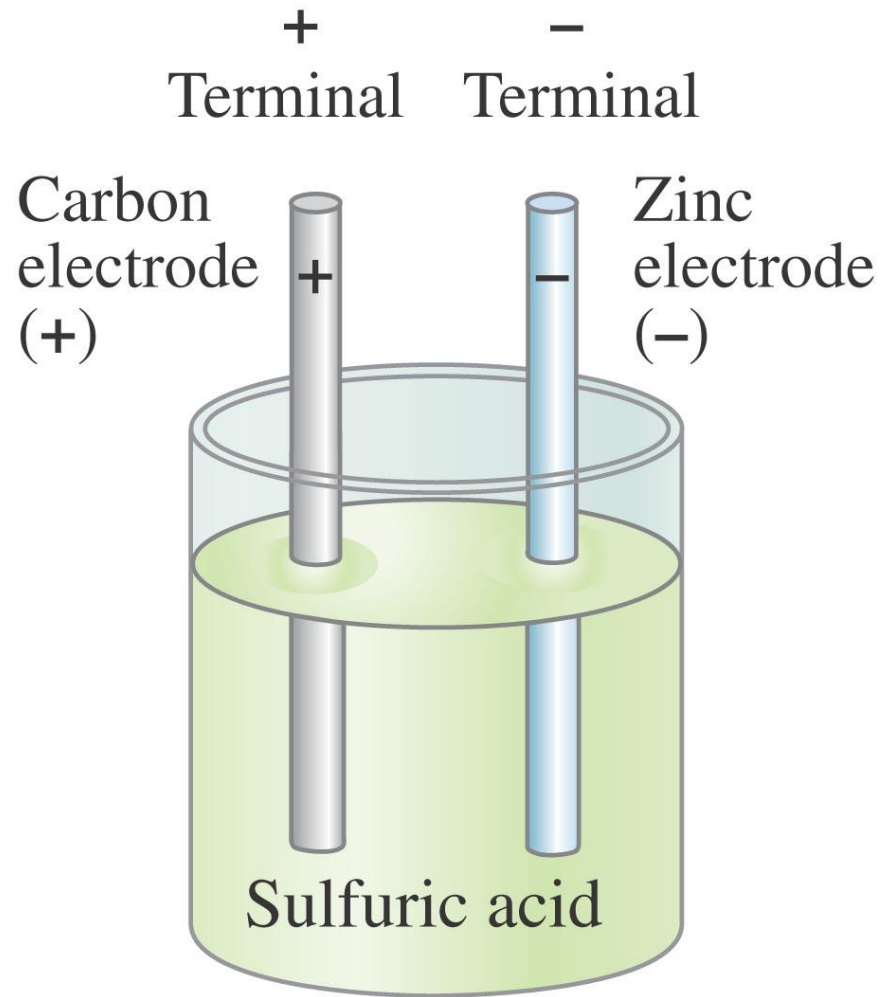
# Περιεχόμενα Κεφαλαίου 25

- Μπαταρία
- Ρεύμα
- Νόμος του Ohm's Law: Αντίσταση και Αντιστάσεις
- Ηλεκτρική Ισχύς
- Ισχύς Οικιακών Συσκευών/Κυκλωμάτων
- Εναλλασσόμενη Τάση
- Υπεραγωγιμότητα

# 25-1 Ηλεκτρική Μπαταρία

Ο Volta ανακάλυψε ότι δύο διαφορετικά μέταλλα μέσα σε αγώγιμο διάλυμα (ηλεκτρολύτης) εμφανίζουν διαφορά δυναμικού.

Η διάταξη αυτή αποτελεί ένα ηλεκτρικό στοιχείο.



# 25-1 Ηλεκτρικές Μπαταρίες

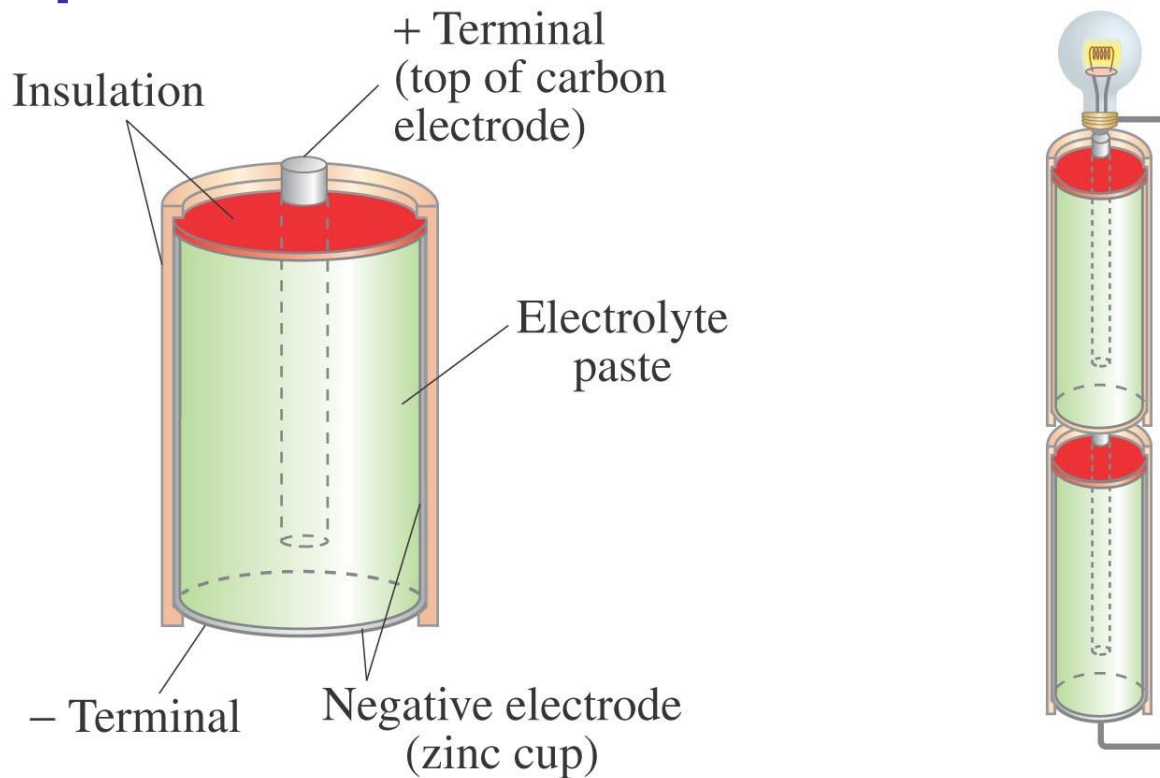
Το ηλεκτρικό στοιχείο μετατρέπει χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η χημικές αντιδράσεις μέσα σε ένα στοιχείο, δημιουργούν μια διαφορά δυναμικού στους πόλους μέσω της διαδικασίας «διάλυσής τους».

Το στοιχείο φτάνει στο τέλος της όταν ένας από του δύο πόλου διαλυθεί πλήρως.

# 25-1 Ηλεκτρικές Μπαταρίες

Μια συστοιχία ηλεκτρικών στοιχείων δημιουργούν μια μπαταρία, αν και πλέον ακόμα και ένα στοιχείο αποκαλείται μπαταρία.



## 25-2 Ηλεκτρικό Ρεύμα

Ο ρυθμός μεταφοράς ηλεκτρικού φορτίου σε έναν αγωγό ονομάζεται ηλεκτρικό ρεύμα:

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

Το στιγμιαίο ρεύμα είναι:

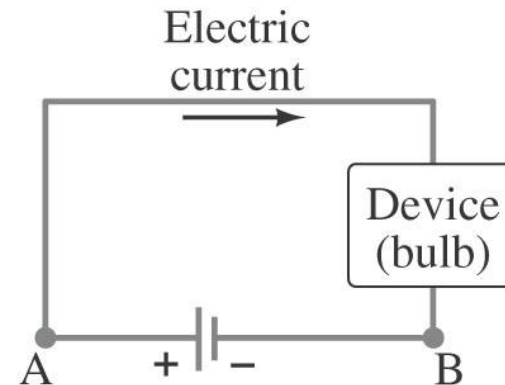
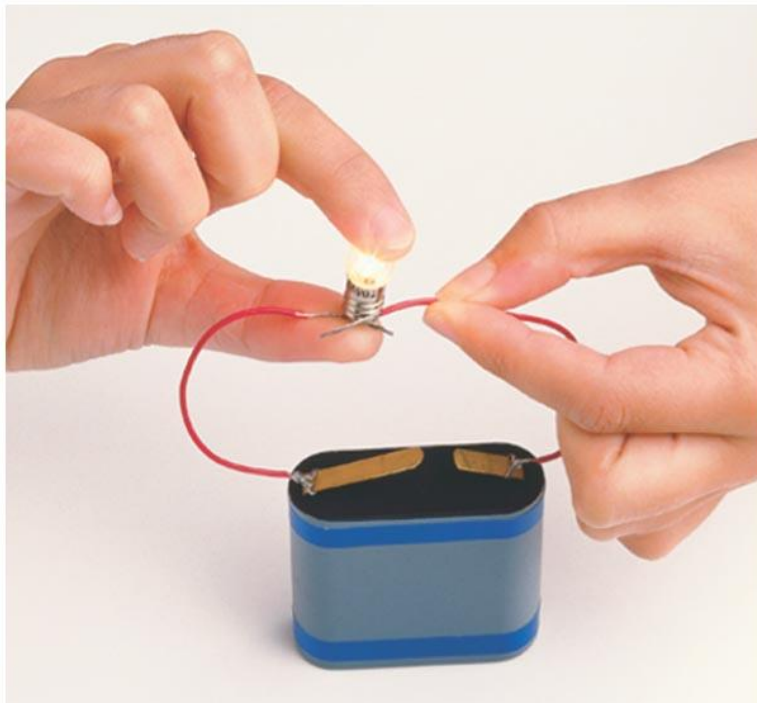
$$I = \frac{dQ}{dt}.$$

Μονάδα ρεύματος είναι το ampere, A:

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}.$$

# 25-2 Ηλεκτρικό ρεύμα

Ένα πλήρες «κλειστό» κύκλωμα επιτρέπει την διέλευση ρεύματος.



## 25-2 Ηλεκτρικό Ρεύμα

Ένα σταθερό ρεύμα 2.5 A περνάει μέσα από ένα καλώδιο για 4.0 min. (a) Πόσο φορτίο πέρασε μέσα από το καλώδιο στα 4.0 min; (b) Πόσα ηλεκτρόνια θα μπορούσαν να είναι;

**SOLUTION** (a) Since the current was 2.5 A, or 2.5 C/s, then in 4.0 min (= 240 s) the total charge that flowed past a given point in the wire was, from Eq. 25-1a,

$$\Delta Q = I \Delta t = (2.5 \text{ C/s})(240 \text{ s}) = 600 \text{ C}.$$

(b) The charge on one electron is  $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ , so 600 C would consist of

$$\frac{600 \text{ C}}{1.60 \times 10^{-19} \text{ C/electron}} = 3.8 \times 10^{21} \text{ electrons}.$$



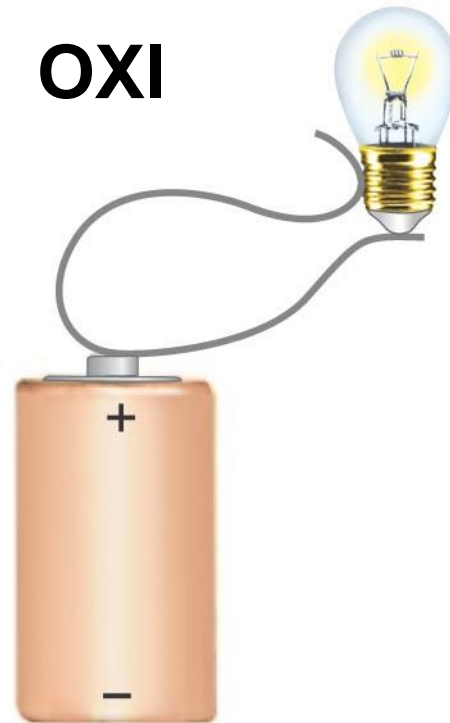
# 25-2 Ηλεκτρικό Ρεύμα

Με ένα καλώδιο πως πρέπει να συνδέσουμε το φωτάκι για να ανάβει;

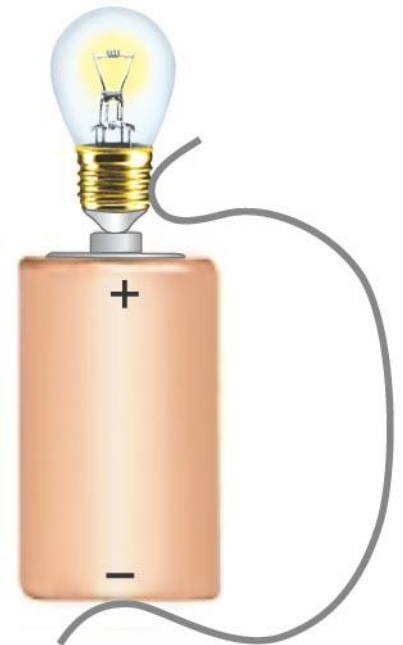
**ΟΧΙ**



**ΟΧΙ**

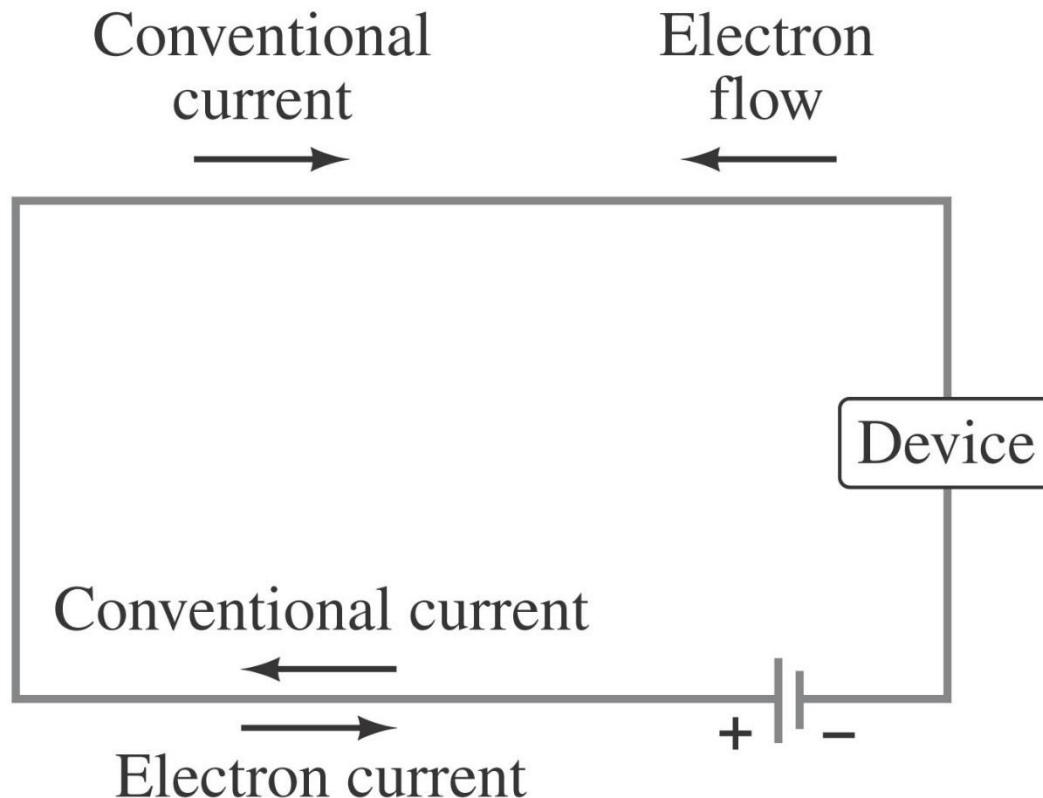


**ΝΑΙ**



## 25-2 Ηλεκτρικό Ρεύμα

Η σύμβαση είναι ότι το ρεύμα «ρέει» από το + στο -. Τα ηλεκτρόνια είναι προφανές ότι ακολουθούν αντίθετη φορά από την σύμβαση αλλά δεν είναι πάντα τα ηλεκτρόνια οι φορείς του ρεύματος.



# 25-3 Ο Νόμος του Ohm : Αντίσταση και Αντιστάσεις

Πειραματικά βρέθηκε ότι το ρεύμα  
ενός αγωγού είναι ανάλογο της  
τάσεως στα άκρα του:

$$I \propto V.$$

# 25-3 Ο Νόμος του Ohm's : Αντίσταση και Αντιστάσεις

Αντίσταση ορίζουμε το λόγο της τάσης ως προς το ρεύμα:

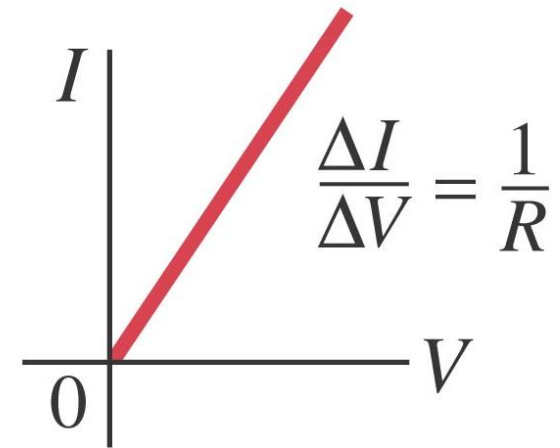
$$I = \frac{V}{R}$$

$$V = IR$$

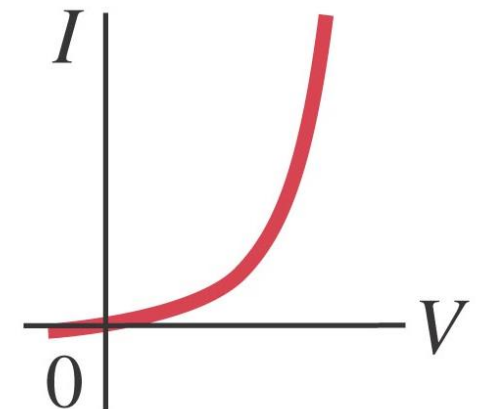
# 25-3 Ο Νόμος του Ohm: Αντίσταση και Αντιστάσεις

Μονάδα αντίστασης είναι το ohm,  $\Omega$ :  $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$ .

Στους περισσότερους αγωγούς η αντίσταση είναι ανεξάρτητη της τάσης (ωμικές αντιστάσεις)

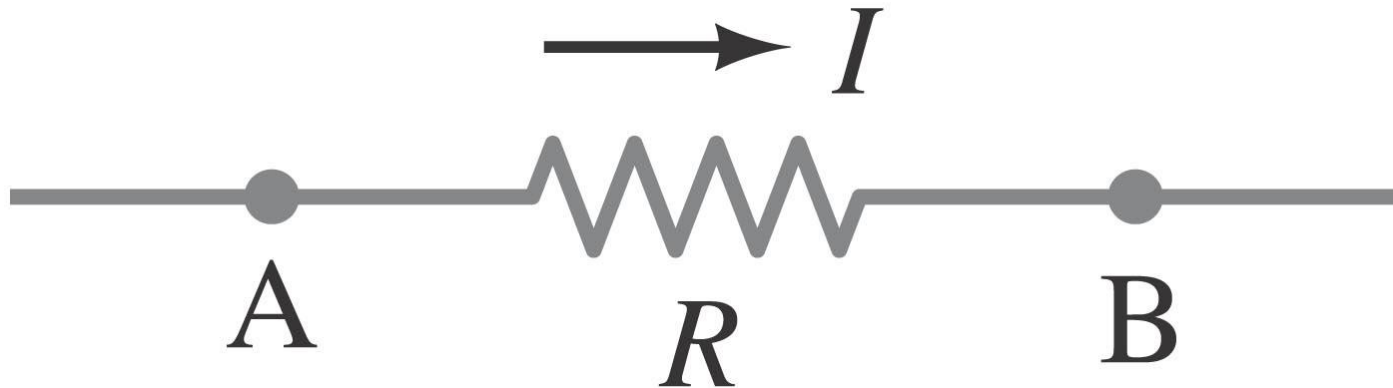


Υπάρχουν όμως και υλικά όπου δεν ισχύει ο νόμος του Ohm



## 25-3 Ο Νόμος του Ohm: Αντίσταση και Αντιστάσεις

Ρεύμα  $I$  εισέρχεται σε μια αντίσταση  $R$  όπως στο σχήμα. (a) Η τάση είναι υψηλότερη στο σημείο A ή στο σημείο B; (b) Το ρεύμα είναι μεγαλύτερο στο σημείο A ή στο σημείο B?



**Τα ρεύματα πάντα κυλάνε από υψηλότερα σε χαμηλότερα σημεία**

# 25-3 Ο Νόμος του Ohm : Αντίσταση και Αντιστάσεις

Τα λαμπάκι ενός φακού «τραβάει» 300 mA από μια μπαταρία 1.5-V. (a) Πόση είναι η αντίστασή του; (b) Πόσο θα μεταβληθεί του ρεύμα εάν η τάση της μπαταρίας «πέσει» στα 1,2 V;

**SOLUTION** (a) We change 300 mA to 0.30 A and use Eq. 25–2a or b:

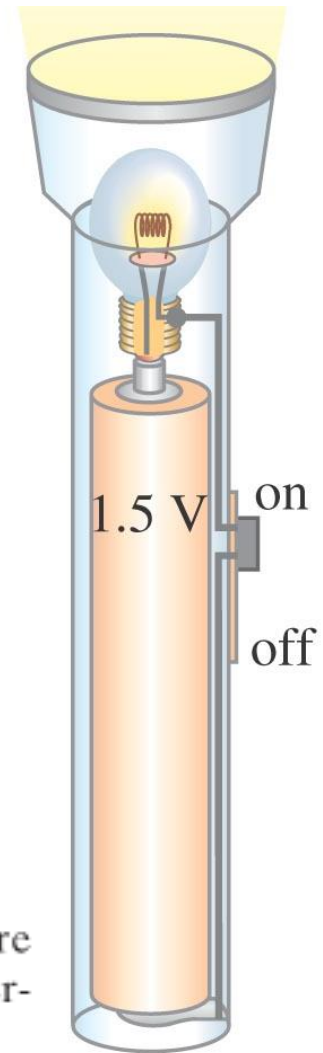
$$R = \frac{V}{I} = \frac{1.5 \text{ V}}{0.30 \text{ A}} = 5.0 \Omega.$$

(b) If the resistance stays the same, the current would be

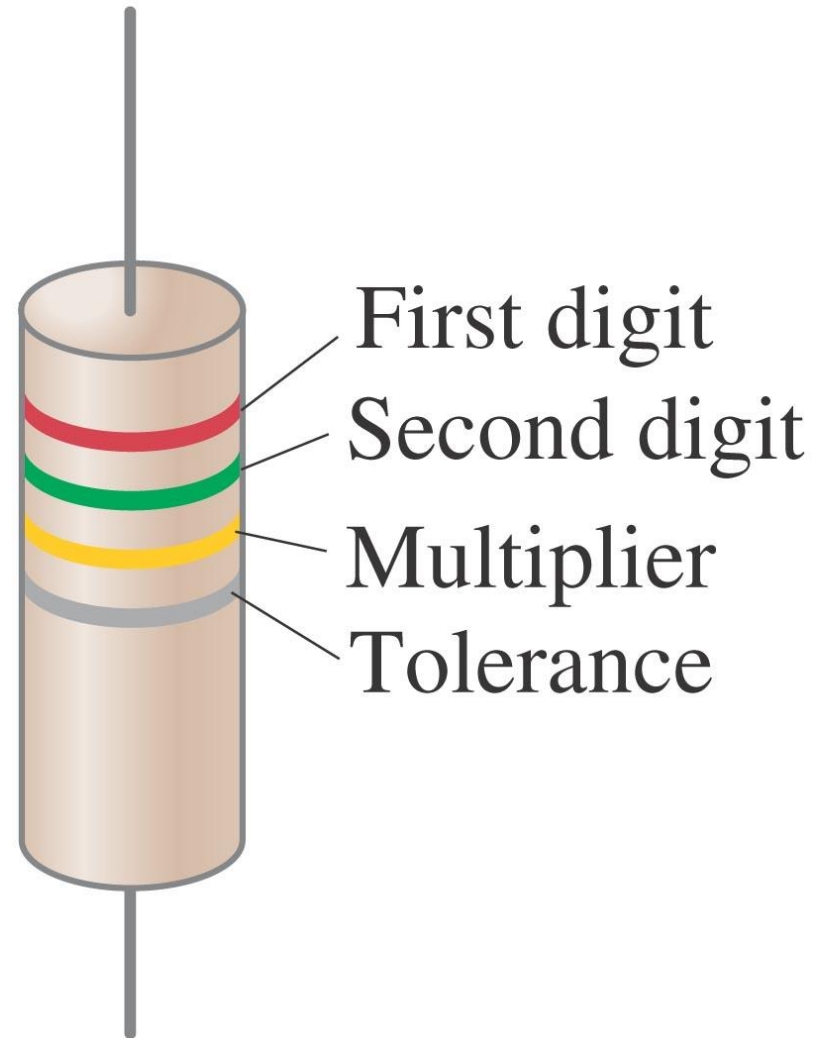
$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.2 \text{ V}}{5.0 \Omega} = 0.24 \text{ A} = 240 \text{ mA},$$

or a decrease of 60 mA.

**NOTE** With the smaller current in part (b), the bulb filament's temperature would be lower and the bulb less bright. Also, resistance does depend on temperature (Section 25–4), so our calculation is only a rough approximation.



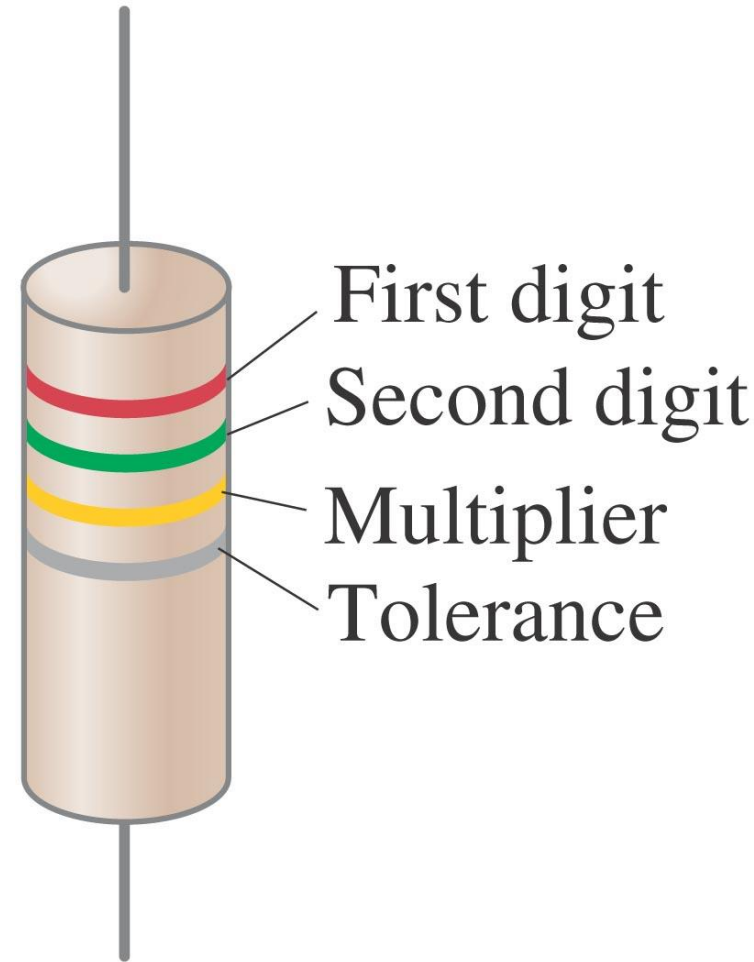
Τυποποιημένες  
αντιστάσεις είναι  
διαθέσιμες. Το χρώμα  
δηλώνει το μέγεθος  
και την «ποιότητα»  
(ακρίβεια τιμής).





# Κώδικας χρωμάτων για αντιστάσεις

Resistor Color Code			
Color	Number	Multiplier	Tolerance
Black	0	1	
Brown	1	$10^1$	1%
Red	2	$10^2$	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%
No color			20%



Κόκκινο, μπλε, μπλε  
2 6  $\times 10^6 = 26\text{M}\Omega$

## Ορισμένες Διευκρινήσεις:

- Η μπαταρία διατηρεί σταθερή τάση, το ρεύμα εξαρτάται από το κύκλωμα.
- Η αντίσταση είναι ιδιότητα του υλικού.
- Το ρεύμα δεν είναι διανυσματική ποσότητα έχει όμως κατεύθυνση ροής.
- Το ρεύμα και το φορτίο δεν καταναλώνονται: ότι μπαίνει στη μια άκρη του κυκλώματος θα βγει από την άλλη.

## 25-4 Αντίσταση

Η αντίσταση ενός καλωδίου είναι ανάλογη του μήκους του και αντιστρόφως ανάλογη της διατομής του:

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

Η σταθερά  $\rho$ , ειδική αντίσταση, είναι χαρακτηριστικό του υλικού κατασκευής.

# 25-4 Αντίσταση

Πίνακας ειδικών αντιστάσεων και συντελεστών θερμότητας για διάφορα υλικά.

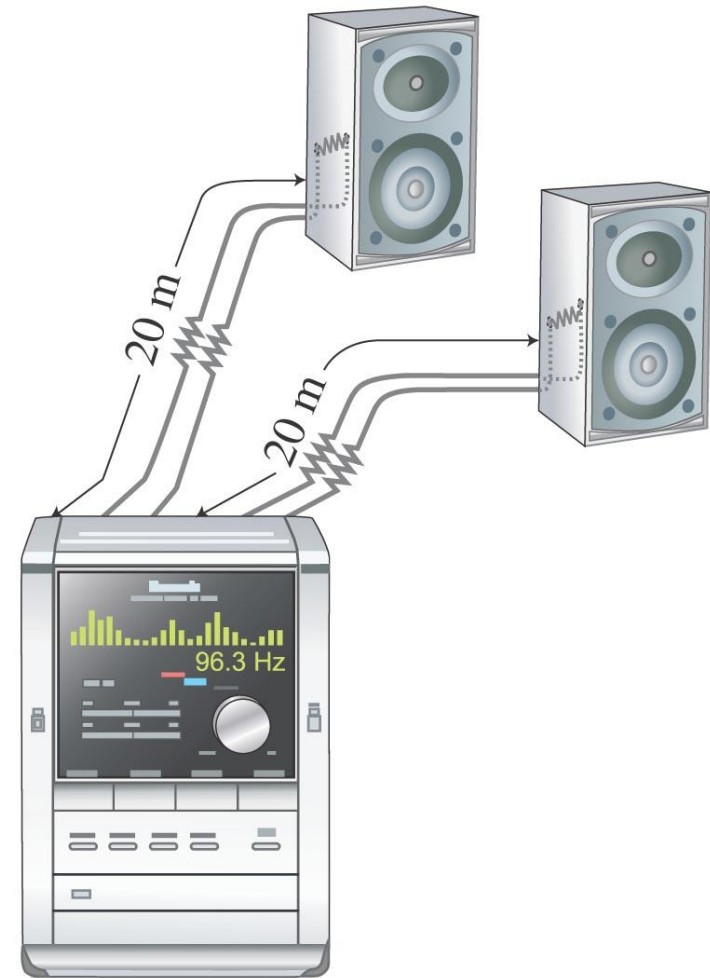
**TABLE 25–1 Resistivity and Temperature Coefficients (at 20°C)**

Material	Resistivity, $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	Temperature Coefficient, $\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>-1</sup>
<i>Conductors</i>		
Silver	$1.59 \times 10^{-8}$	0.0061
Copper	$1.68 \times 10^{-8}$	0.0068
Gold	$2.44 \times 10^{-8}$	0.0034
Aluminum	$2.65 \times 10^{-8}$	0.00429
Tungsten	$5.60 \times 10^{-8}$	0.0045
Iron	$9.71 \times 10^{-8}$	0.00651
Platinum	$10.60 \times 10^{-8}$	0.003927
Mercury	$98.00 \times 10^{-8}$	0.0009
Nichrome (Ni, Fe, Cr alloy)	$100.00 \times 10^{-8}$	0.0004
<i>Semiconductors</i> <sup>†</sup>		
Carbon (graphite)	$(3 - 60) \times 10^{-5}$	-0.0005
Germanium	$(1 - 500) \times 10^{-3}$	-0.05
Silicon	0.1 - 60	-0.07
<i>Insulators</i>		
Glass	$10^9 - 10^{12}$	
Hard rubber	$10^{13} - 10^{15}$	

<sup>†</sup> Values depend strongly on the presence of even slight amounts of impurities.

# 25-4 Αντίσταση

Υποθέστε ότι θέλετε να συνδέσετε το στερεοφωνικό σας σε εξωτερικά ηχεία. (a) Εάν το μήκος του κάθε καλωδίου είναι 20 m πόση πρέπει να είναι η διατομή του καλωδίου ώστε η αντίσταση ανά καλώδιο να περιοριστεί στα  $0.10 \Omega$  ; (b) Εάν το ρεύμα κάθε ηχείου είναι 4.0 A, πόση είναι η πτώση τάσεως σε κάθε καλώδιο;



**APPROACH** We solve Eq. 25–3 to get the area  $A$ , from which we can calculate the wire’s radius using  $A = \pi r^2$ . The diameter is  $2r$ . In (b) we can use Ohm’s law,  $V = IR$ .

**SOLUTION** (a) We solve Eq. 25–3 for the area  $A$  and find  $\rho$  for copper in Table 25–1:

$$A = \rho \frac{\ell}{R} = \frac{(1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m})(20 \text{ m})}{(0.10 \Omega)} = 3.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2.$$

The cross-sectional area  $A$  of a circular wire is  $A = \pi r^2$ . The radius must then be at least

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 1.04 \times 10^{-3} \text{ m} = 1.04 \text{ mm}.$$

The diameter is twice the radius and so must be at least  $2r = 2.1 \text{ mm}$ .

(b) From  $V = IR$  we find that the voltage drop across each wire is

$$V = IR = (4.0 \text{ A})(0.10 \Omega) = 0.40 \text{ V}.$$

**NOTE** The voltage drop across the wires reduces the voltage that reaches the speakers from the stereo amplifier, thus reducing the sound level a bit.

## 25-4 Αντίσταση

Τι θα συμβεί εάν μπορούσαμε να «τεντώσουμε» ένα καλώδιο με αντίσταση  $R$  ώστε να διπλασιαστεί το μήκος του;

**Απάντηση:** Υποθέτοντας ότι ο όγκος παραμένει σταθερός, διπλάσιο μήκος σημαίνει μισή διατομή, άρα τετραπλασιασμό της αντίστασης

## 25-4 Αντίσταση

Για ένα υλικό η αντίστασή του μεταβάλλεται με την θερμοκρασία:

$$\rho_T = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)].$$

Στην περίπτωση των ημιαγωγών είναι δυνατόν η αντίσταση να μειώνεται με την θερμοκρασία.



# 25-5 Ηλεκτρική Ισχύς

Όπως και στη μηχανική, η ισχύς είναι ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας:

$$P = \frac{dU}{dt} = \frac{dq}{dt}V$$

ή

$$P = IV.$$

# 25-5 Ηλεκτρική Ισχύς

Μονάδα ισχύος είναι το watt, W.

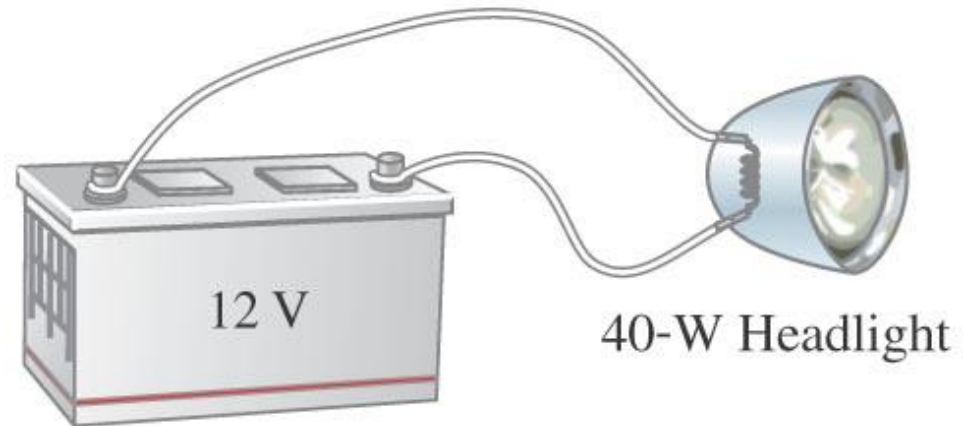
Για ωμικές αντιστάσεις:

$$P = IV = I(IR) = I^2R$$

$$P = IV = \left(\frac{V}{R}\right)V = \frac{V^2}{R}.$$

# 25-5 Ηλεκτρική Ισχύς

Πόση είναι η αντίσταση προβολέα 40-W που λειτουργεί με 12 V.



**SOLUTION** From Eq. 25-7b,

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(12 \text{ V})^2}{(40 \text{ W})} = 3.6 \, \Omega.$$

**NOTE** This is the resistance when the bulb is burning brightly at 40 W. When the bulb is cold, the resistance is much lower, as we saw in Eq. 25-5. Since the current is high when the resistance is low, lightbulbs burn out most often when first turned on.

# 25-5 Ηλεκτρική Ισχύς

Στο λογαριασμό της ΔΕΗ δεν πληρώνουμε ισχύ αλλά «βατώρες» (Watt x ώρα) επομένως πληρώνουμε ενέργεια.

Η ΔΕΗ μετράει την ενέργεια σε kilowatt-hours, kWh:

$$1 \text{ kWh} = (1000 \text{ W})(3600 \text{ s}) = 3.60 \times 10^6 \text{ J.}$$

# Κεραυνός

Κατά την διάρκεια του κεραυνού, έχουμε μεταφορά ενέργειας της τάξεως των  $10^9$  J σε μια διαφορά δυναμικού (μεταξύ των σύννεφων και της γης)  $5 \times 10^7$  V. Η χρονική διάρκεια του κεραυνού είναι περίπου 0.2 s. Βρείτε (a) Το συνολικό φορτίο που μεταφέρει ένας κεραυνός (b) το ρεύμα (c) την μέση ισχύ.

**APPROACH** We estimate the charge  $Q$ , recalling that potential energy change equals the potential difference  $\Delta V$  times the charge  $Q$ , Eq. 23–3. We equate  $\Delta U$  with the energy transferred,  $\Delta U \approx 10^9 \text{ J}$ . Next, the current  $I$  is  $Q/t$  (Eq. 25–1a) and the power  $P$  is energy/time.

**SOLUTION** (a) From Eq. 23–3, the energy transformed is  $\Delta U = Q \Delta V$ . We solve for  $Q$ :

$$Q = \frac{\Delta U}{\Delta V} \approx \frac{10^9 \text{ J}}{5 \times 10^7 \text{ V}} = 20 \text{ coulombs.}$$

(b) The current during the 0.2 s is about

$$I = \frac{Q}{t} \approx \frac{20 \text{ C}}{0.2 \text{ s}} = 100 \text{ A.}$$

(c) The average power delivered is

$$P = \frac{\text{energy}}{\text{time}} = \frac{10^9 \text{ J}}{0.2 \text{ s}} = 5 \times 10^9 \text{ W} = 5 \text{ GW.}$$

We can also use Eq. 25–6:

$$P = IV = (100 \text{ A})(5 \times 10^7 \text{ V}) = 5 \text{ GW.}$$

**NOTE** Since most lightning bolts consist of several stages, it is possible that individual parts could carry currents much higher than the 100 A calculated above.



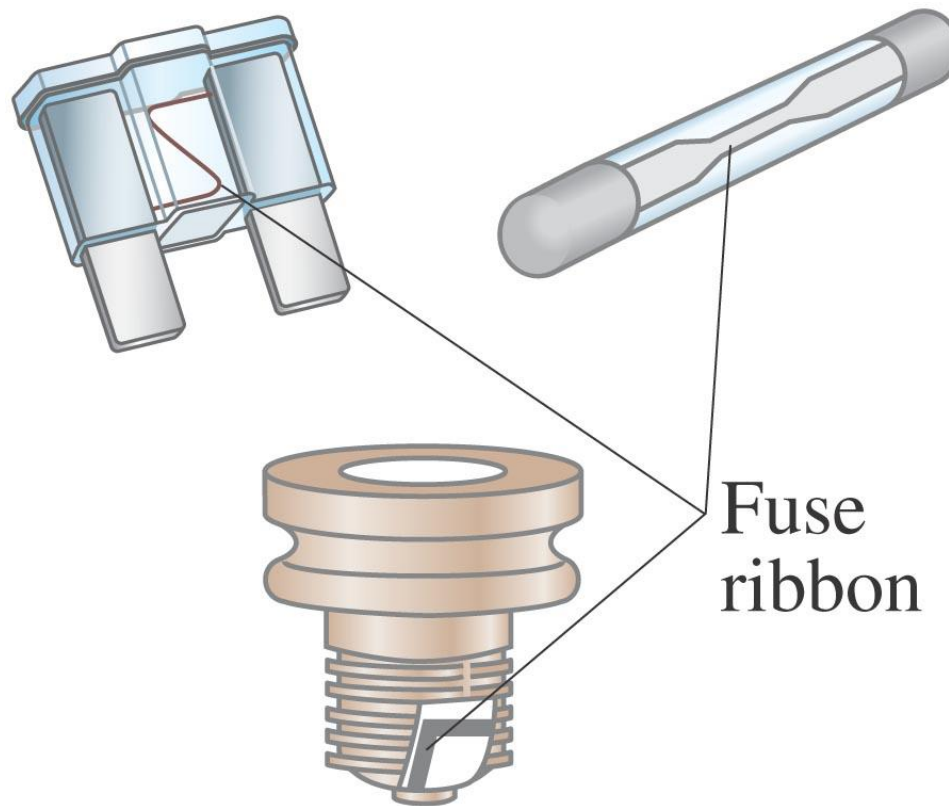
# 25-6 Ισχύς Οικιακών Κυκλωμάτων

Τα καλώδια στις εγκαταστάσεις ενός σπιτιού έχουν χαμηλές αντιστάσεις. Εάν όμως έχουμε μεγάλη διέλευση ρεύματος, τότε είναι δυνατόν λόγω της μεγάλης ισχύος να έχουμε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας και κίνδυνο πυρκαγιάς (να πάρουν φωτιά τα πλαστικά κομμάτια).

Αυτός είναι και ο λόγος που στις εγκαταστάσεις παρεμβάλλονται «ασφάλειες» που «πέφτουν» όταν το ρεύμα ξεπεράσει την τιμή ασφάλειας για την καλωδίωση.

# 25-6 Ισχύς Οικιακών Κυκλωμάτων

Υπάρχουν αντιστάσεις μιας χρήσεως

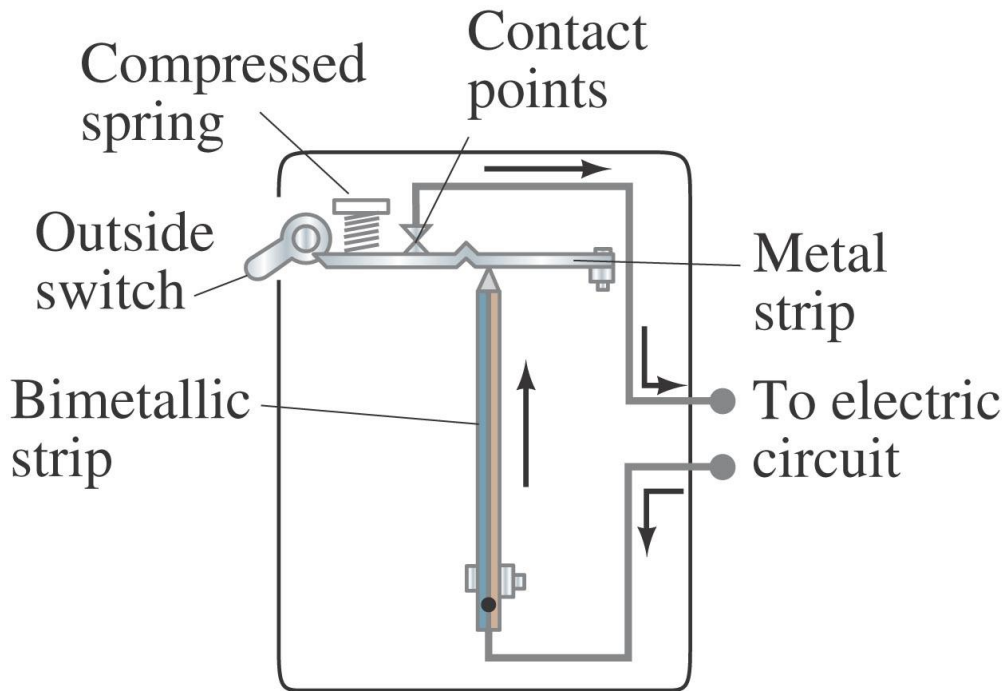


Types of fuses

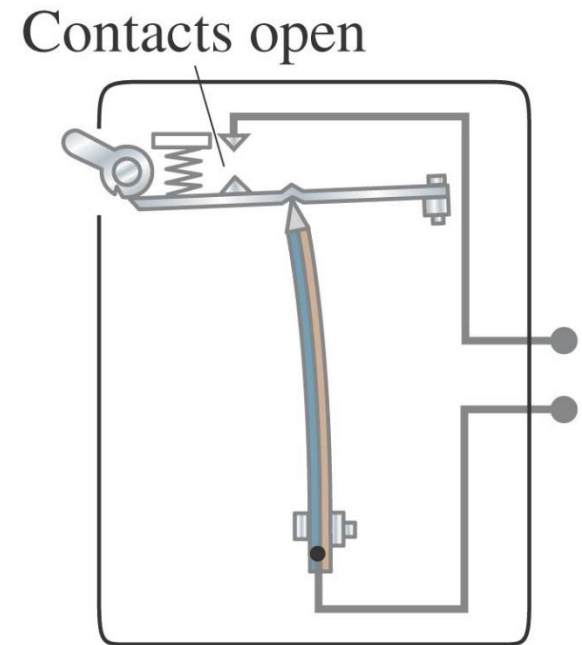


# 25-6 Ισχύς Οικιακών Κυκλωμάτων

Και ασφάλειες που μπορεί να επανεκκινηθούν (reset)

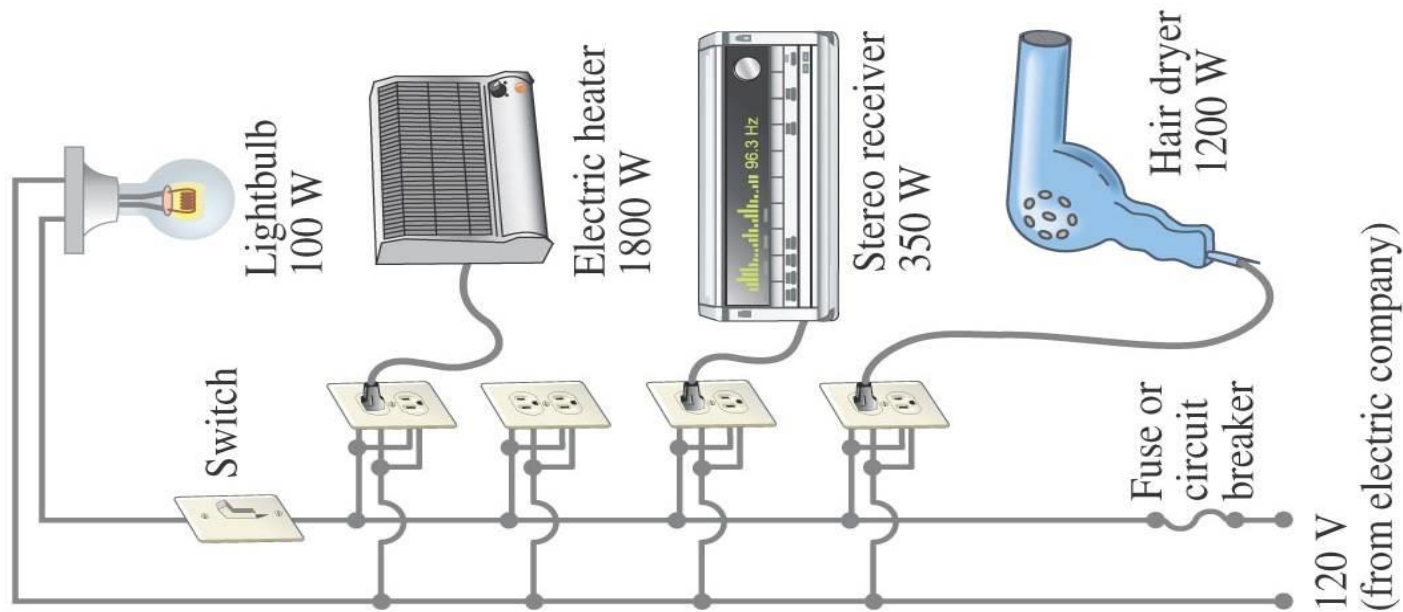


Circuit breaker  
(closed)



Circuit breaker  
(open)

Από το διάγραμμα βρείτε το συνολικό ρεύμα. Θα πέσει μια ασφάλεια 15A;



**APPROACH** Each device has the same 120-V voltage across it. The current each draws from the source is found from  $I = P/V$ , Eq. 25-6.

**SOLUTION** The circuit in Fig. 25-20 draws the following currents: the lightbulb draws  $I = P/V = 100 \text{ W}/120 \text{ V} = 0.8 \text{ A}$ ; the heater draws  $1800 \text{ W}/120 \text{ V} = 15.0 \text{ A}$ ; the stereo draws a maximum of  $350 \text{ W}/120 \text{ V} = 2.9 \text{ A}$ ; and the hair dryer draws  $1200 \text{ W}/120 \text{ V} = 10.0 \text{ A}$ . The total current drawn, if all devices are used at the same time, is

$$0.8 \text{ A} + 15.0 \text{ A} + 2.9 \text{ A} + 10.0 \text{ A} = 28.7 \text{ A}.$$

**NOTE** The heater draws as much current as 18 100-W lightbulbs. For safety, the heater should probably be on a circuit by itself.

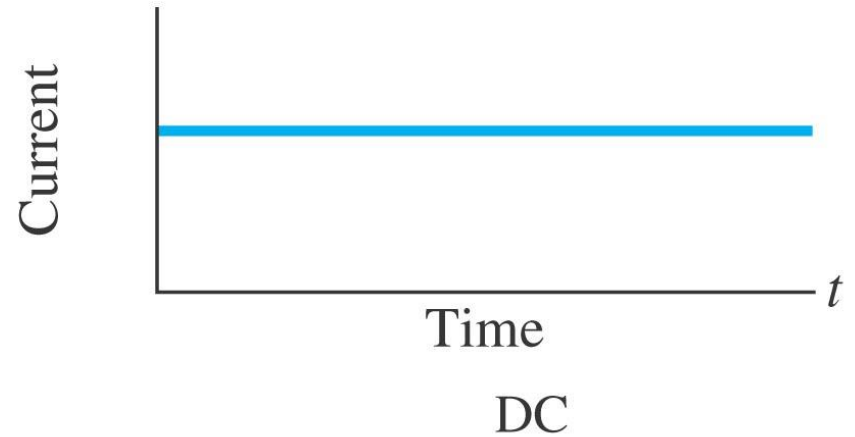
Μια θερμάστρα 1800-W έχει μικρό καλώδιο και δεν φτάνει στο γραφείο σας για να ζεσταθείτε. Χρησιμοποιείτε μια προέκταση (μπαλαντέζα) που έχει όριο 11 A. Διατρέχεται κίνδυνος και γιατί;

**RESPONSE** 1800 W at 120 V draws a 15-A current. The wires in the extension cord rated at 11 A could become hot enough to melt the insulation and cause a fire.

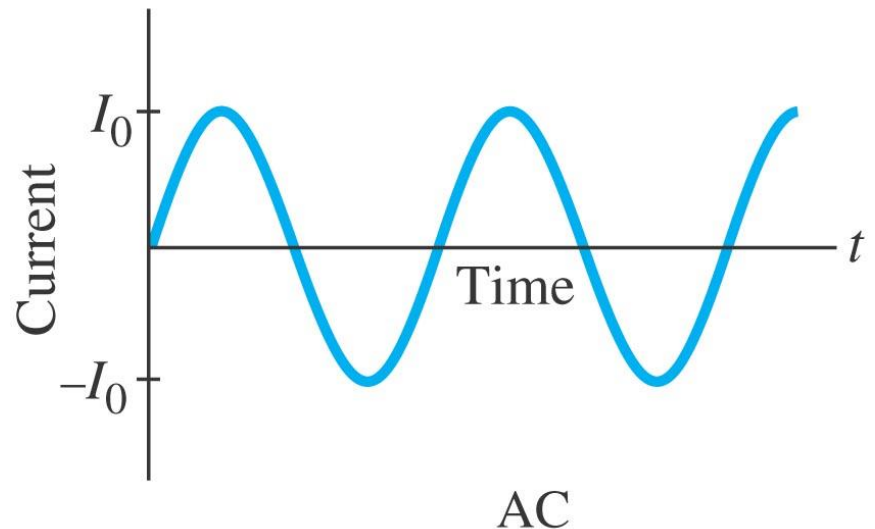
**ΝΑΙ ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ!!**

# 25-7 Εναλλασσόμενη Τάση

Το ρεύμα μιας μπαταρίας έχει σταθερή φορά (συνεχές, *direct current*, DC).



Το ρεύμα από την ΔΕΗ εναλλάσσει την φορά του (εναλλασσόμενο *alternating current*, AC).



# 25-7 Εναλλασσόμενη Τάση

Η τάση έχει ημιτονοειδή εξάρτηση από το χρόνο:

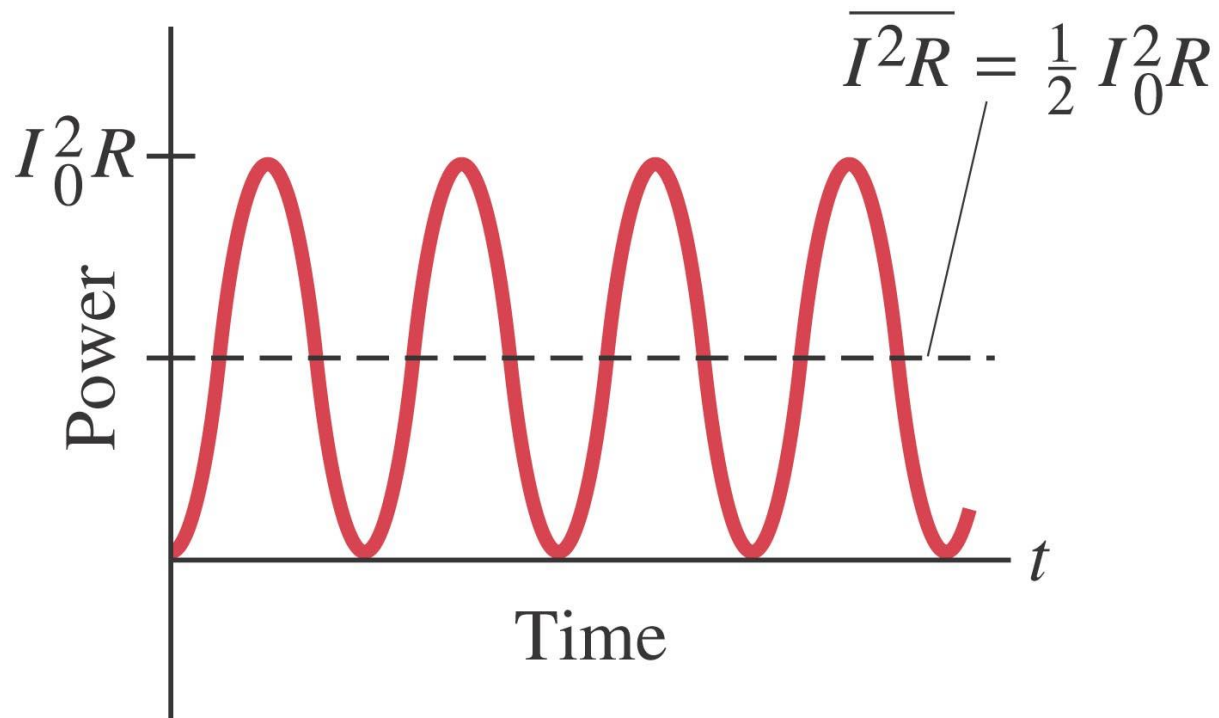
$$V = V_0 \sin 2\pi ft = V_0 \sin \omega t,$$

Καθώς και το ρεύμα:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t.$$

## Η ισχύς είναι:

$$P = I^2 R = I_0^2 R \sin^2 \omega t.$$



Η μέση ισχύς δίδεται από την σχέση

$$\bar{P} = \frac{1}{2} I_0^2 R$$

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \frac{V_0^2}{R}.$$

# 25-7 Εναλλασσόμενο Ρεύμα

Η μέση τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος και της τάσης είναι μηδέν. Έτσι ορίζουμε root-mean-square (rms) ως εξής:

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{I^2} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0.707 I_0,$$
$$V_{\text{rms}} = \sqrt{V^2} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} = 0.707 V_0.$$



(a) Βρείτε την αντίσταση και το μέγιστο ρεύμα για ένα αμερικάνικο πιστολάκι 1000-W που λειτουργεί στα 120-V. (b) Τι θα συμβεί εάν το συνδέσουμε στα 240-V της ΔΕΗ;

**APPROACH** We are given  $\bar{P}$  and  $V_{\text{rms}}$ , so  $I_{\text{rms}} = \bar{P}/V_{\text{rms}}$  (Eq. 25–10a or 25–6), and  $I_0 = \sqrt{2} I_{\text{rms}}$ . Then we find  $R$  from  $V = IR$ .

**SOLUTION** (a) We solve Eq. 25–10a for the rms current:

$$I_{\text{rms}} = \frac{\bar{P}}{V_{\text{rms}}} = \frac{1000 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 8.33 \text{ A}.$$

Then

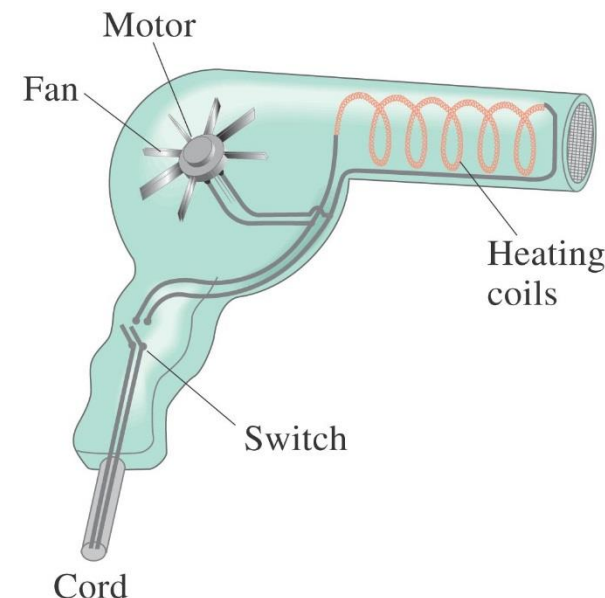
$$I_0 = \sqrt{2} I_{\text{rms}} = 11.8 \text{ A}.$$

The resistance is

$$R = \frac{V_{\text{rms}}}{I_{\text{rms}}} = \frac{120 \text{ V}}{8.33 \text{ A}} = 14.4 \Omega.$$

The resistance could equally well be calculated using peak values:

$$R = \frac{V_0}{I_0} = \frac{170 \text{ V}}{11.8 \text{ A}} = 14.4 \Omega.$$



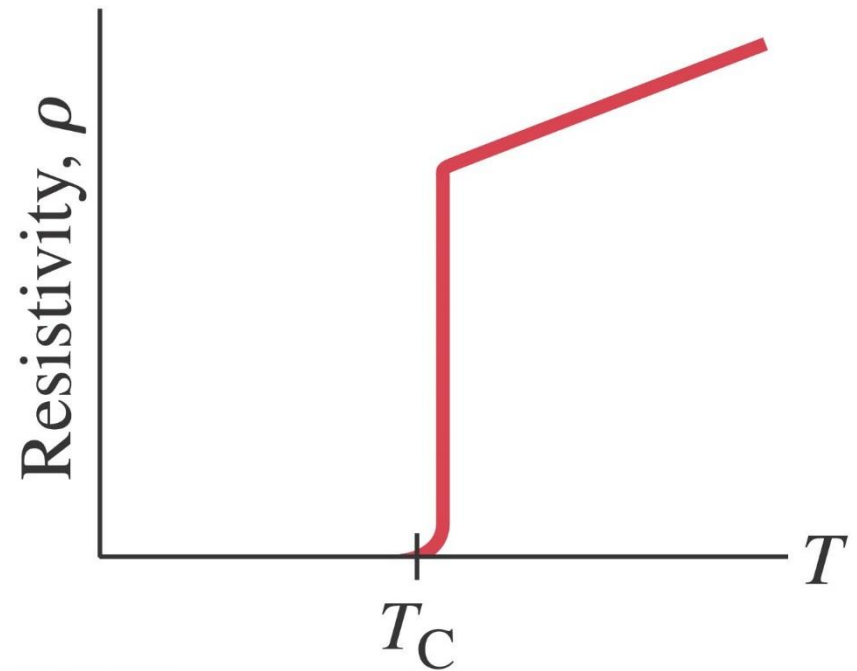
(b) When connected to a 240-V line, more current would flow and the resistance would change with the increased temperature (Section 25–4). But let us make an estimate of the power transformed based on the same 14.4- $\Omega$  resistance. The average power would be

$$\bar{P} = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{(240 \text{ V})^2}{(14.4 \Omega)} = 4000 \text{ W.}$$

This is four times the dryer's power rating and would undoubtedly melt the heating element or the wire coils of the motor.

# 25-9 Υπεραγωγιμότητα

Υπάρχουν ορισμένα υλικά, υπεραγώγιμα, που κάτω από μια κρίσιμη θερμοκρασία,  $T_C$ , η αντίστασή του μειώνεται δραματικά.



# 25-9 Υπεραγωγιμότητα

Στα υπεραγώγιμα υλικά, η μηδενική τους αντίσταση επιτρέπει την παρουσία ρεύματος για χρόνια ακόμα και χωρίς την παρουσία διαφοράς δυναμικού.

Για πολλά χρόνια οι κρίσιμες θερμοκρασίες ήταν γύρω στα 23 K (-250 °C).

Από το 1987, έχουν βρεθεί νέα υλικά, που ονομάζονται υπεραγωγοί «υψηλής» θερμοκρασίας που λειτουργούν κοντά στους 90K (-183 °C) και η έρευνα για υπεραγωγούς σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες συνεχίζεται.