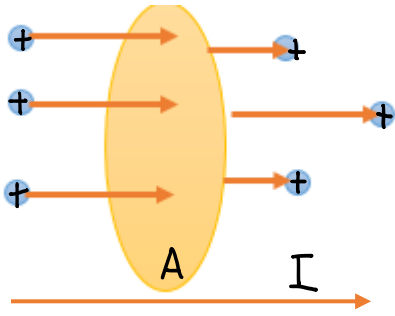


BÖLÜM 27 AKIM ve DİRENÇ

27.1 Elektrik Akımı



Akımın yönü pozitif yüklerin akış yönüdür.

Belirli bir bölgede net bir yük akışı varsa, orada elektrik akımı vardır.

Akım, bir yüzeyden geçen yüklerin akış hızıdır.

Bir Δt zaman aralığında bu A alanından geçen yük miktarı ΔQ ise, ortalama akım, I_{ort}

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

Yükün akış hızı zamanla değişirse, akım da zamanla değişir. $\Delta t \rightarrow 0$, I_{ani} akım

$$I_{ani} = \frac{dQ(t)}{dt}$$

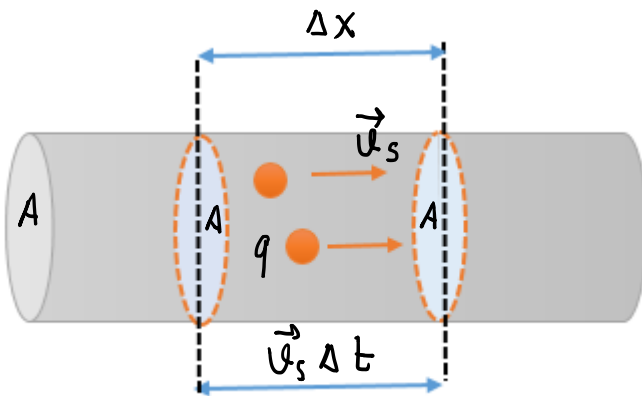
olarak tanımlanır. Akım SI birim sisteminde Ampere (A)'dir.

$1 A = \frac{1 C}{1 s}$, Bir yüzeyden 1s'de 1C'luk yük geçen akım 1A'dir. denir.

$e = 1,6 \times 10^{-19} C$ idi. $\sim 10^{19}$ elektron 1s'de geçerse 1 Ampere olur.

Bir yüzeyden geçen yükler pozitif, negatif veya her ikisi olabilir. Pozitif yükün akış yönünü, akım yönü olarak seçmek adettir.

Akımın Mikroskopik Modeli



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

Δx uzunluğundaki iletkenin hacmi $A \Delta x$ olur.

Birim hacimde n tane taşıyıcı (serbest yükler) $A \Delta x$ hacminde

$n A \Delta x$ taşıyıcı vardır.

$$n: \text{tane/m}^3$$

$$\Delta x = v_s \Delta t \quad \text{yerine}$$

Yazılınca

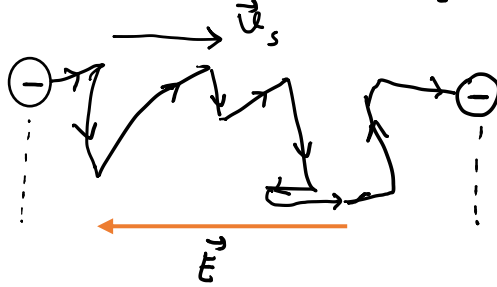
Δx uzunluğunda $n A v_s \Delta t$ kadar yük vardır. Her bir yükün, yükü q olsun

$$\Delta Q = (n A v_s \Delta t) q \dots C$$

Buna göre ortalama akım

$$I_{\text{ort}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{n A v_s q \cancel{\Delta t}}{\cancel{\Delta t}} = n A v_s q$$

şeklinde dir. Yük taşıyıcılarının v_s , sürüklenme hızı, gerçekte bir ortalama hızdır.



v_s : Çok küçüktür.

Örnek 27.1 Bir Bakır Teldeki Sürüklenme Hızı

Binalarda kullanılan tipik bir 12 ayar bakır tel $3,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ kesit alanına sahiptir. Fiyet bakır tel 10,0 A'lık akım taşırsa sürüklenme hızı ne olur? Her bir bakır atomunun altına bir serbest elektron ile katkıda bulunduğunu kabul ediniz. Bakırın yoğunluğu $8,95 \text{ g/cm}^3$ 'dir.

Çözüm: Periyodik tablodan bakırın molar kütlesini $63,5 \text{ g/mol}$ olduğunu görebiliriz. Herhangi bir maddenin 1 molü N Avogadro sayısı kadar atom ihtifa eder.

$$N = 6,02 \times 10^{23}$$

Bakırın yoğunluğu bilindiğine göre hacmini hesaplayabiliriz

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{63,5 \text{ g}}{8,95 \text{ g/cm}^3} = 7,09 \text{ cm}^3$$

Herbir bakır atomu altına bir serbest elektron ile katkıda bulunduğu için

$$n = \frac{(6,02 \times 10^{23} \text{ elektron})}{7,09 \text{ cm}^3} \times \left(10^6 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} \right)$$

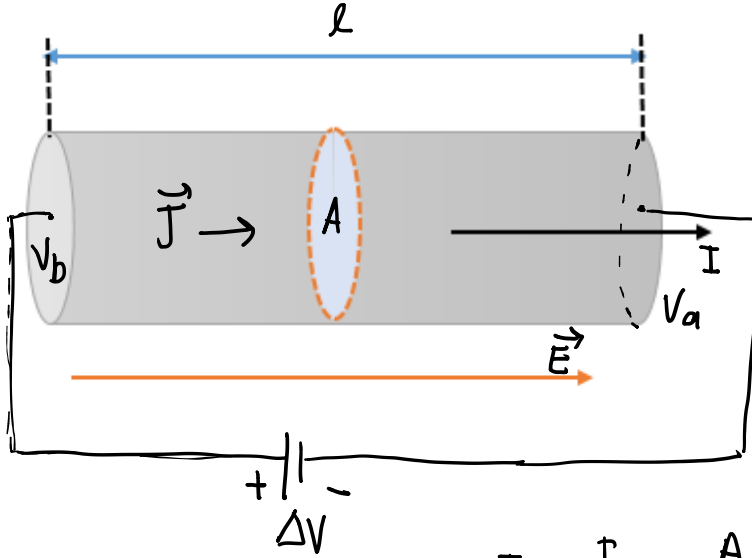
$$= 8,49 \times 10^{28} \text{ elektron/m}^3$$

$$I_{ort} = n A q v_s \quad \text{ıdır}$$

$$v_s = \frac{I_{ort}}{n A q} = \frac{10,0 \text{ C/s}}{(8,49 \times 10^{28} \text{ m}^{-3})(3,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2)(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})}$$

$$= 2,22 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad (\equiv 0,222 \text{ mm/s})$$

27.2 DİRENÇ ve OHM KANUNU



A kesit alanına sahip ve I akımı taşıyan bir iletkeni ele alalım. iletken içindeki akım yoğunluğu birim alan başına akım olarak tanımlanır. Akım yoğunluğu J ile gösterilir.

$$J = \frac{I}{A}, \quad \frac{\text{A}}{\text{m}^2}, \quad I = n A v_s q \quad \text{ıdır}$$

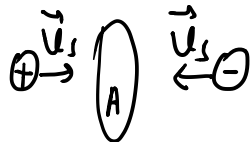
$$J = \frac{I}{A} = n q v_s \quad \text{olur.}$$

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

v_s vektör olduğu için akım yoğunluğu vektördür.

$$\vec{J} = n q \vec{v}_s$$

olur. Akım yoğunluğu, akım gibi pozitif yüklerin hareketi yönündedir. Negatif yük taşıyıcıları söz konusu olduğunda, yük hareketi aksi (zıt) yönü akım yoğunluğu yönü olarak alınır.



Toplam akım = Tüm yüklerin toplamıyla ilişkilidir.

Bir iletkenin uçları arasında bir potansiyel fark uygulanırsa, iletken içinde 'bir $\vec{J}$ akım yoğunluğu ve bir $\vec{E}$ elektrik alanı meydana gelir.

Eğer potansiyel fark sabitse, iletken içindeki akım da sabit olur. Bazı maddelerde akım yoğunluğu $\vec{E}$ ağırlıklı doğru orantılıdır. Bu maddelere iletken (metal) denir.

$$\vec{J} \propto \vec{E}$$

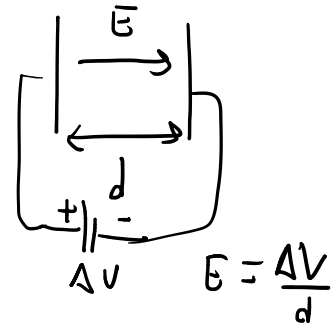
$$\vec{J} = \sigma \vec{E}, \quad \sigma : \text{iletkenlik adını alır.}$$

$\vec{J} = \sigma \vec{E}$ eşitliğine uygun maddelere omik (Georg Simon Ohm) madde denir. Genellikle metaller omiktir.

$$\Delta U = E l \quad \dots (1)$$

$$J = \sigma E \quad \dots (2)$$

$$J = \frac{I}{A} \quad \dots (3)$$



$$(1) \rightarrow E = \frac{\Delta U}{l} \rightarrow (2)$$

$$J = \sigma \frac{\Delta U}{l} \quad (4), \quad (3) \text{ ile } (4)'ü \text{ birleştirerek}$$

$$\downarrow$$

$$\frac{I}{A} = \sigma \frac{\Delta U}{l} \Rightarrow \Delta U = \underbrace{\left(\frac{1}{\sigma} \frac{l}{A} \right)}_R I$$

$$\frac{\Delta U}{I} = \text{sabit} = R \quad \text{"direnç"}$$

$$R \equiv \frac{l}{\sigma A} = \frac{\Delta U}{I} \quad \dots \quad \frac{\text{Volt}}{\text{Ampere}} = \text{Ohm } (\Omega)$$

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

Bir telin uçlarına 1 Volt'luk potansiyel fark uygulandığında telin 1A'lık akım geçiyorsa o telin direnci 1Ω'dur.

Bir maddenin iletkenliğinin tersine öz direnç denir ve ρ ile gösterilir.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \rightarrow R = \left(\frac{1}{\sigma} \right) \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{A} \quad \dots (*)$$

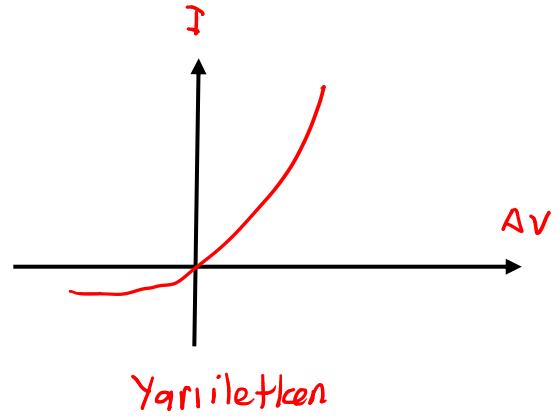
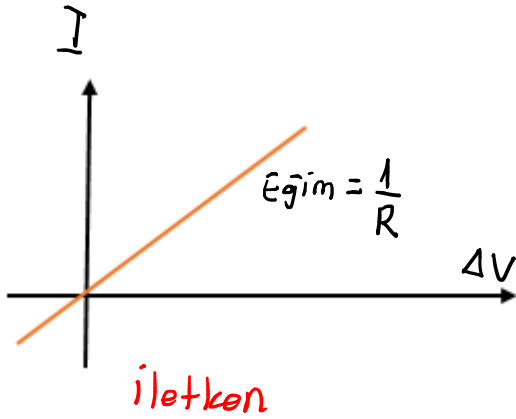
Bir telin direnci ρ (özdirenci), telin uzunluğu ve kesit alanına bağlıdır.

$$R = \rho \frac{L}{A} \text{ --- } \Omega$$

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

$$: \Omega \frac{m^2}{m} = (\Omega \cdot m)$$

Malzeme	Özdirenci (ρ : $\Omega \cdot m$)
Metal (iletken)	Gümüş $1,59 \times 10^{-8}$
	Bakır $1,7 \times 10^{-8}$
	Altın $2,14 \times 10^{-8}$
	Alüminyum $2,82 \times 10^{-8}$
Yalıtkan	Carbon $3,5 \times 10^5$
	Cam $10^{10} - 10^{14}$
	Kükürt 10^{15}
	Kuartz (Erimiş halde) 75×10^{16}



Örnek 27.2 Bir İletkenin Direnci

- a) Boyu 10 cm ve dik kesit alanı $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ olan silindirik bir alüminyum parçasının direncini bulunuz.

$$\rho_{\text{alüminyum}} = 2,82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

- b) işlemleri $\rho_{\text{cam}} = 3 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ için tekrarlayınız.

$$a) R = \rho \frac{L}{A} = (2,82 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) \frac{(0,10 \text{ m})}{(2 \times 10^{-4} \text{ m}^2)} = 1,41 \times 10^{-5} \Omega$$

$$b) R = \rho_{\text{cam}} \frac{L}{A} = (3 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}) \frac{(0,1 \text{ m})}{(2 \times 10^{-4} \text{ m}^2)} = 1,5 \times 10^{13} \Omega$$

Örnek 27.3 Nikrom Telin Direnci

- a) Yarıçapı 0,321 mm olan 22 ayar bir nikrom telin birim uzunluk başına direncini bulunuz.

- b) Bu nikrom telin 1 m'lik kısmına 10 V'luk bir potansiyel fark uygulanırsa telde geçen akım nedir?

Çözüm a) $R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow \frac{R}{L} = \frac{\rho}{A}$, $A = ?$
 $\rho_{\text{nikrom}} = ?$

$$A = \pi r^2 = \pi (0,321 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \approx 3,24 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \checkmark$$

$$\rho_{\text{nikrom}} = 1,5 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

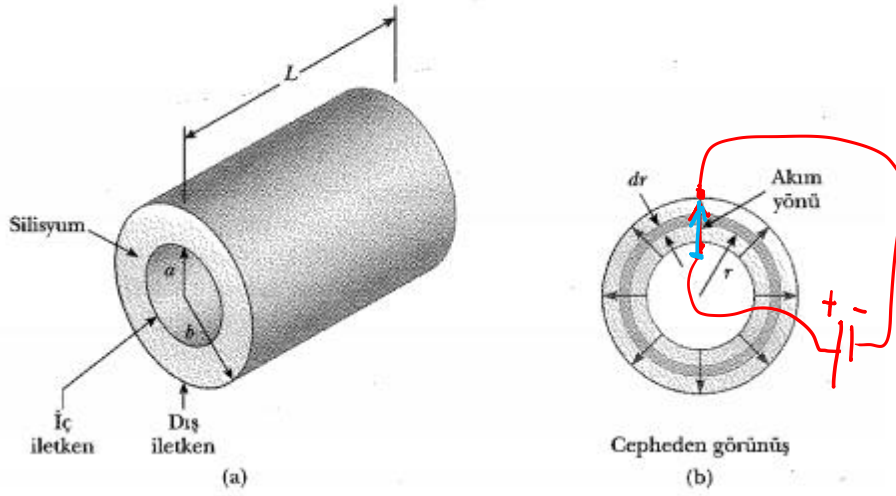
$$\frac{R}{L} = \frac{\rho}{A} = \frac{1,5 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}}{3,24 \times 10^{-7} \text{ m}^2} = 4,6 \frac{\Omega}{\text{m}}$$

- b) $L = 1 \text{ m}$, $\Delta V = 10 \text{ V}$.

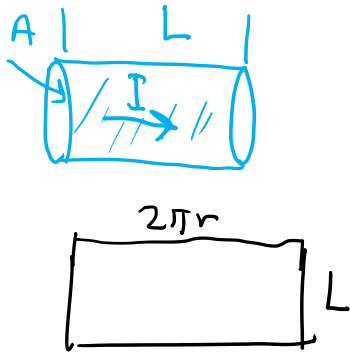
$$I = \frac{\Delta V}{R}, \quad \frac{R}{L} = 4,6 \frac{\Omega}{\text{m}}, \quad L \text{ ile çarparsak}$$

$$= \frac{10 \text{ V}}{4,6 \Omega} \approx 2,2 \text{ A}. \quad R = 4,6 \frac{\Omega}{\text{m}} \cdot 1 \text{ m} = 4,6 \Omega$$

Örnek 27.4 Koaksiyel Kablonun Radyal Direnci



Şekil 27.8 Bir koaksiyel kablo. (a) Silisyum iki iletken arasındaki boşluğu doldurur. (b) cepheden bakış, akım kaçığını göstermektedir.



İç yarıçapı $a = 0,5 \text{ cm}$
 dış yarıçapı $b = 1,75 \text{ cm}$
 ve boyu $L = 15,0 \text{ cm}$
 olan koaksiyel kablunun
 iki iletkeni arasında ölçüm
 yapıldığında silisyumun direnci
 ne olur.

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

$$\downarrow$$

$$dR = \frac{\rho}{A} dr$$

$$A = 2\pi r L$$

$$\int dR = \int \frac{\rho}{2\pi r L} dr \Rightarrow R = \frac{\rho}{2\pi L} \int_a^b \frac{dr}{r}$$

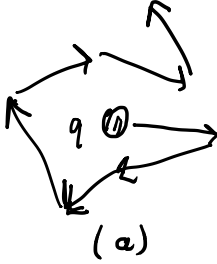
$$\rho_{\text{silisyum}} = 640 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$$

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

$$R = \frac{(640 \, \Omega \text{m})}{2\pi (0,15 \text{m})} \ln \left(\frac{1,75}{0,15} \right) = 851 \, \Omega.$$

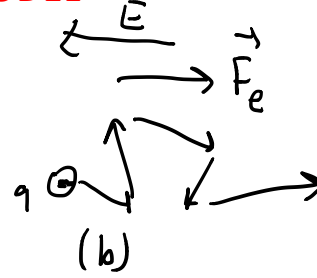
$\uparrow 3,14$
 $\underbrace{\ln(8,5) = 1,25}$

27.3 ELEKTRİKSEL İLETKENLİK İÇİN BİR MODEL



Elektrik alan yokken

$$v_{\text{garpı}} = 10^6 \text{ m/s}$$



Elektrik alan varken

$$(v_s \approx 10^4 \text{ m/s})$$

Yükü $q (= -e)$, kütlesi m_e olan bir elektron $\vec{E}$ alanına girerse $\vec{F} = q \vec{E}$ kuvvetine

Maruz kalır. $\Sigma \vec{F} = m_e \vec{a}$ Newton'un II. yasası

$$q \vec{E} = m_e \vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q \vec{E}}{m_e} \dots (1)$$

Bu ivme sadece çarpışmalar arasındaki çok kısa zaman için söz konusu olup, elektrona küçük sürüklenme hızı kazandırır. Eğer t , son çarpışmalardan sonraki zaman ise, elektronun ilk hızı $\vec{u}_i$ ise

$$\vec{v} = \vec{u}_i + \vec{a} t = \vec{u}_i + \frac{q \vec{E}}{m_e} t \dots (2)$$

Mümkün bütün zamanlar için, bütün mümkün $\vec{u}_i$ değerleri üzerinden $\vec{v}_{\text{ort}}$ değerini hesaplayalım. İlk hızların uzayda rastgele dağıldıklarını kabul ederek, $\vec{u}_i$ 'nin ortalaması 0'dır. $\frac{q \vec{E}}{m_e} t$ ise ilave kazandırılan

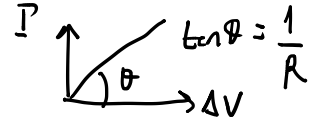
$$\text{hızıdır. } \vec{v} = \vec{v}_s = \frac{q \vec{E}}{m_e} \tau, \quad \tau: \text{çarpışmalar arasındaki ortalama zaman}$$

$$J = nqU_s = \frac{nq^2E}{m_e} \tau \quad \dots (3)$$

$$\text{iletkenler} \quad J = \sigma E \quad \dots (4)$$

$$(3) \rightarrow J = \left(\frac{nq^2\tau}{m_e} \right) E \Rightarrow \sigma = \frac{nq^2\tau}{m_e} \dots (5) \text{ bulunur.}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m_e}{nq^2\tau} \quad \dots (6)$$



$$\tau = \frac{l}{\bar{v}}, \quad l: \text{ortalama serbest yol.}$$

Örnek 27.5 Bir Telde Elektron Çarpışmaları

a) Örnek 27.1'in sonuçları ile klasik elektron iletim modelini kullanarak, 20°C 'deki bakırda elektronların çarpışmaları arasında geçen ortalama zamanı bulunuz. $\tau = ?$

b) Bakırda serbest elektronların ortalama termal süratini $1.6 \times 10^6 \text{ m/s}$ kabul ederek ve (a)'daki sonuçları kullanarak ortalama serbest yol? ($l = ?$)

$$(a) \quad (6) \rightarrow \tau = \frac{m_e}{nq^2\rho}, \quad \rho_{\text{Cu}} = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m.}$$

$$n = 8.49 \times 10^{28} \text{ elektron/m}^3 \quad (\text{Örnek 27.1})$$

$$q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})}{(8.49 \times 10^{28} \text{ m}^{-3})(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m})} = 2.5 \times 10^{-14} \text{ s.}$$

"iki çarpışma arasındaki zaman"

$$b) \quad l = \bar{v} \tau = (1.6 \times 10^6 \text{ m/s})(2.5 \times 10^{-14} \text{ s}) = 4.0 \times 10^{-8} \text{ m.}$$

27.4 DİRENÇ ve SICAKLIK

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

T : $^\circ\text{C}$ cinsinden sıcaklık

T_0 : referans sıcaklığı.

(Genellikle 20°C alınabilir)

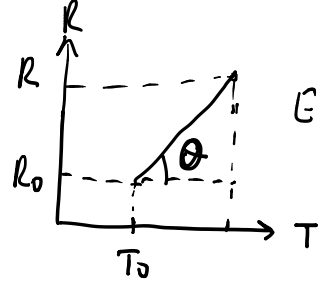
ρ_0 : T_0 sıcaklığındaki

" "

Öz direnci

α : 02 direncin sıcaklık katsayısı

$$\alpha = \frac{1}{^\circ\text{C}}$$



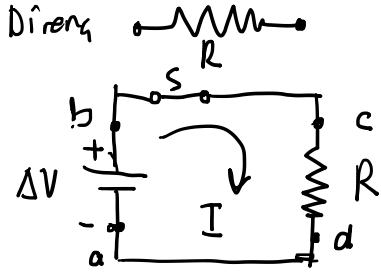
$$\text{Eğim} = \frac{R - R_0}{T - T_0} = R \alpha$$

$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)] , T > T_0$$

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

$$\Rightarrow \frac{R - R_0}{T - T_0} = R \alpha$$

27.6 ELEKTRİK ENERJİSİ ve GÜÇ



Yük a'dan b'ye batarya üzerinden hareket ederken bataryadaki kimyasal enerji $\Delta V \Delta Q$ kadar azalırken, yükün elektriksel potansiyel enerjisi aynı miktarda artar.

Yük c'den d'ye giderken $\Delta U = q \Delta V$ olur.

Direnkte atomlarla

Yapılan çarpışmalar sonucu

elektriksel potansiyel enerjisi kaybeder. Dolayısıyla ısı enerjisi ışıya çıkar.

Direnç üzerinden giderken, ΔQ yükünün potansiyel enerjisi kaybetme hızı

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q \Delta V}{\Delta t} = I \Delta V = P \dots \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{Watt} = \text{W}$$

$$P = I \Delta V , \Delta V = I R \text{ yazılırsa}$$

$$P = I^2 R \text{ ifadesi elde edilir.}$$

Örnek 27.7 Elektrik Isıtıcısındaki Güç

Bir elektrik ısıtıcısı, toplam direnci 8Ω olan bir nikrom tele 120 V potansiyel farkı uygulanarak yapılmıştır. (a) Tel vasıtasıyla taşıyan ısıtıcının harcadığı gücü bulunuz.

Çözüm a) $\Delta V = I R \rightarrow I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{120 \text{ Volt}}{8 \Omega} = 15,0 \text{ A.}$

$$b) P = I^2 R$$

$$= (15,0)^2 \cdot 8 = 225,0 \times 8 = 1800 \text{ Watt.}$$

$$P = 1,8 \text{ kW}$$

Veya

$$P = I \Delta V = (15,0 \text{ A}) (120 \text{ Volt}) = 1800 \text{ Watt.}$$

Üreticinin ürettiği güç = Direncin tükettiği güç,

$$P_{\text{güç kaynağı}} = 1,8 \text{ kW}$$