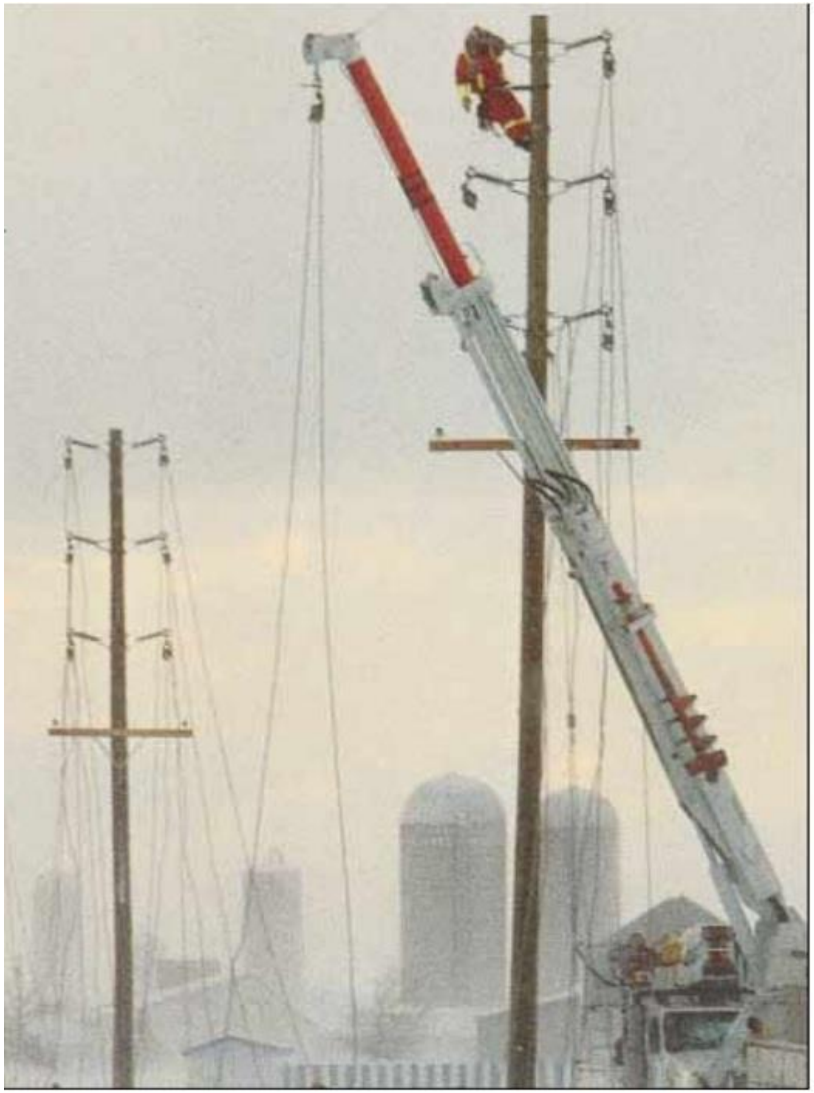
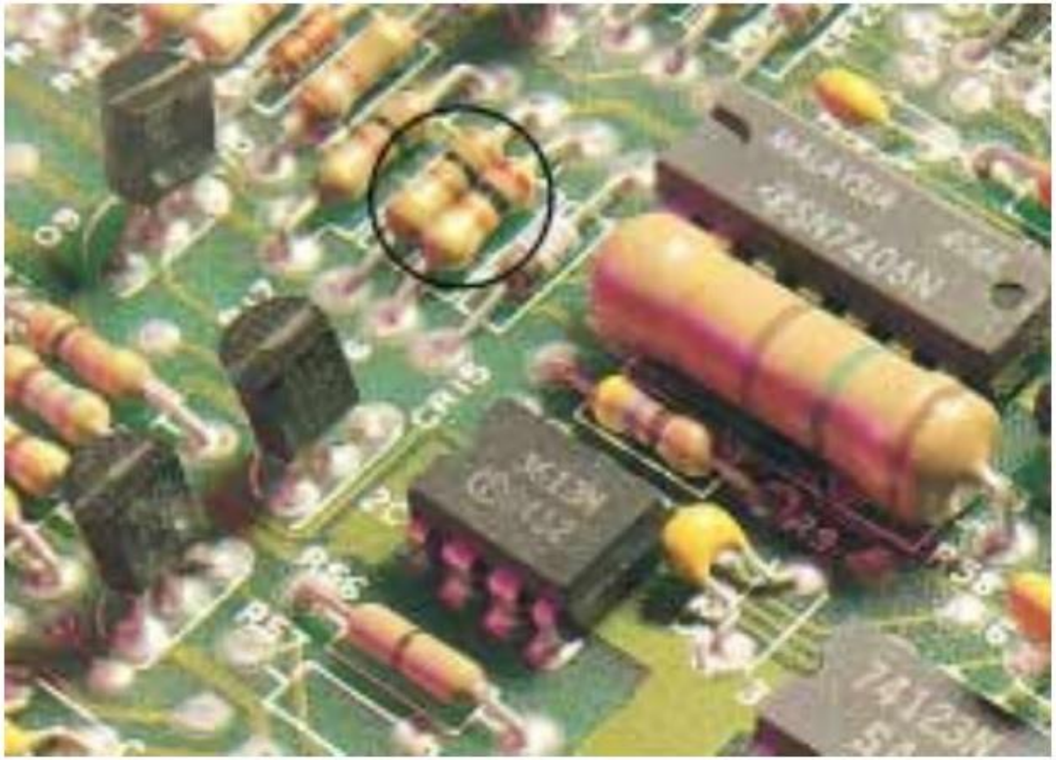




FİZİK-II

BÖLÜM 6 : AKIM DİRENÇ VE ELEKTROMOTOR KUVVETİ

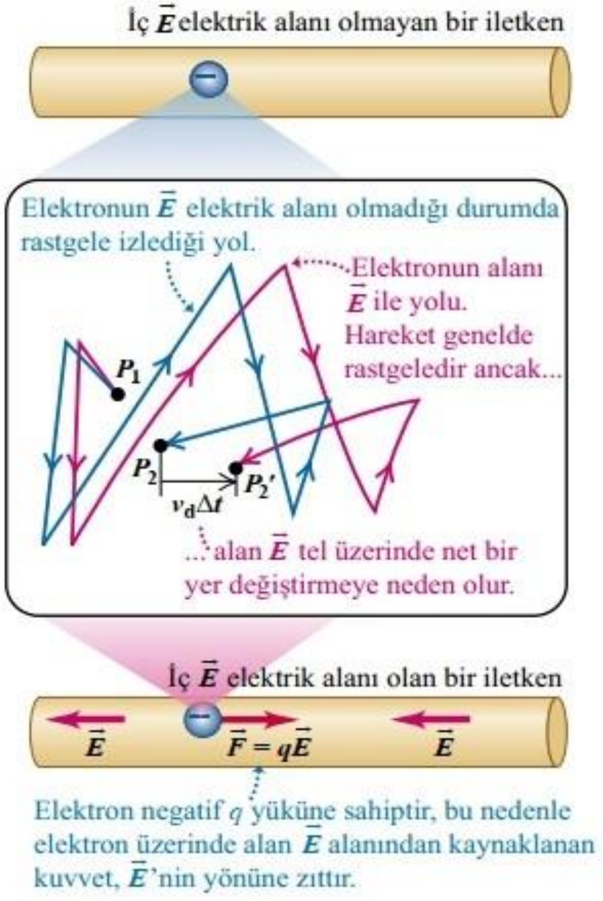
YOUNG ve FREEDMAN, 12 Baskı, Türkçesi

Öğrenim Konuları

- ✓ Akım ve yüklerin iletkende nasıl hareket ettiğini anlamak
- ✓ Direnç ve iletkenliği anlamak
- ✓ Bir iletkenin direncini hesaplamak
- ✓ Bir emk‘nın bir devrede nasıl akıma sebep olduğunu öğrenmek
- ✓ Devrelerdeki enerji ve gücü hesaplamak

Akım

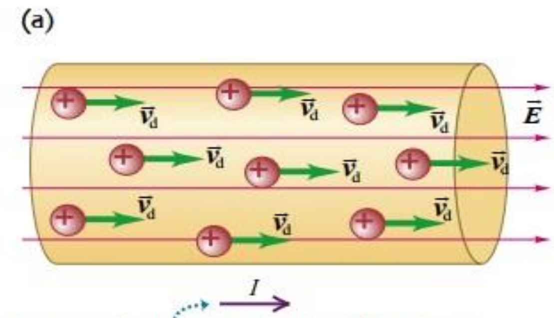
- Akım, yüklerin bir yerden başka bir yere net hareketidir.
- İletken içerisinde elektrik alan yoksa, elektronların rasgele hareketinden dolayı net bir akım oluşmaz.
- Net bir elektrik alanı uygulandığında ise yükler (elektronlar) elektriksel kuvvetin etkisi ile alana zıt yönde hareket ederek net bir akım oluştururlar.



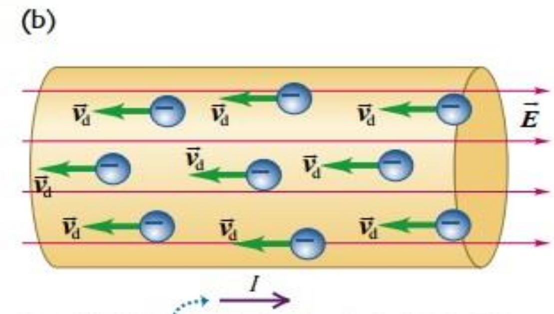
Akım

- **E** alanı içerisinde pozitif yükler alan doğrultusunda hareket ederken (a), negatif yükler (elektronlar) alan ters yönde hareket ederek aynı akımı oluştururlar (b). V_d ; yüklü parçacıkların iletken içindeki sürüklenme hızlarıdır.

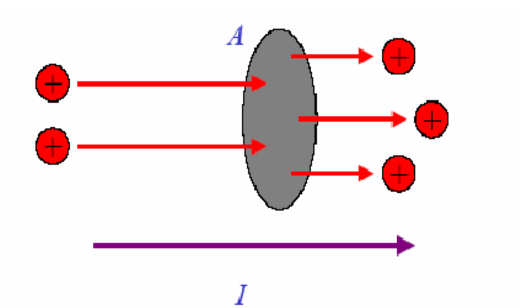
- Akım yönü pozitif yükün yönü seçilirse, iletkenin *A* kesit alanı için *akım;* birim zamanda yüzeyden geçen net yük olarak tanımlanır;



Konvansiyonel akım, iletkendeki serbest yüklerin pozitif, negatif veya herhangi biri olmasına bakılmaksızın, pozitif yüklerin akışı olarak kabul edilir



Metalik bir iletkende hareket halindeki yükler elektronlardır, fakat akımın yönü hâlâ pozitif yüklerin akacağı yön doğrultusundadır.



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

Birimler: 1 A = 1 Amper = 1 C/s

Uyarı: Akım vektör değildir!

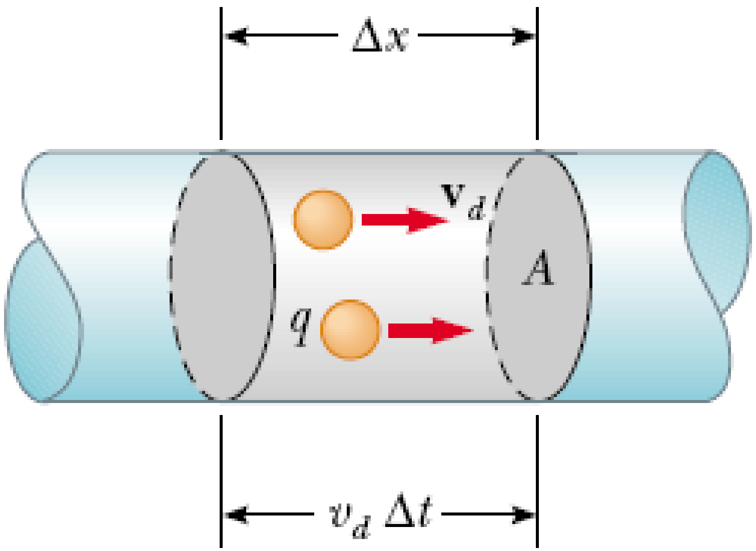
Akım

Metal içinde yük taşıyıcılarının hareketiyle akımın ilişkisini göstermek için kesit alanı A olan bir iletkeni ele alalım.

- Δx uzunluğundaki iletken elemanının hacmi $A\,\Delta x$ ($\Delta x = v_d \Delta t$) dir.
- Şayet n birim hacim başına düşen hareketli yük taşıyıcılarının sayısını gösterirse, bu hacim elemanındaki hareketli yük taşıyıcılarının sayısı $nA\Delta x$ ile verilir.
- Dolayısıyla, $A\Delta x$ hacmindeki toplam ΔQ yükü

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

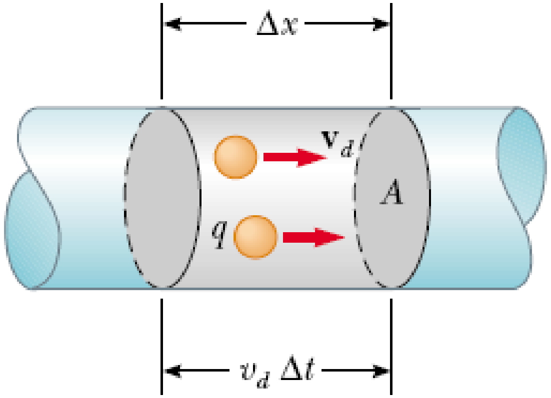
olarak verilir. Burada q, her bir parçacık üzerindeki yüktür.



Akım

- Δt zamanında elektronların hareket ettikleri mesafe $\Delta x = V_d \Delta t$

- q yükünü taşıyan birim hacimde n tane parçacık vardır.



- Δt zamanda A alanını geçen parçacık sayısı:

$$nA\Delta x = nAV_d \Delta t$$

- Δt zamanda A alanını geçen yük miktarı:

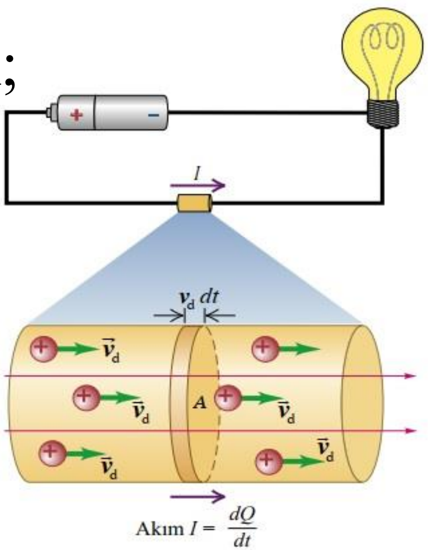
$$\Delta Q = q(nAV_d \Delta t)$$

- I akımı ifadesi:

$$I_{or} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqV_d A$$

Akım

- Ortalama akım ifadenin diferansiyel limiti: ani akım;



$$I \equiv \frac{dQ}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = n|q|V_d A$$

- J akım yoğunluğu: birim alana düşen akım miktarı;

$$J = \frac{I}{A} = n|q|V_d$$

Birim: A/m^2

$$\vec{J} = nq\vec{V}_d$$

Akım yoğunluğu vektörü

- I akımı veya J akım yoğunluğu, yükün pozitif veya negatif olmasına bağlı değildir.

Örnek 25.1 Teldeki akım yoğunluğu ve sürüklenme hızı

18-ölçekli bakır telin (genellikle ampul kabloları için kullanılan boyut) çapı 1.02 mm'dir. Bu tel 1.67 A'lik akımı 200-watt'lık bir ampule taşımaktadır. Serbest elektronların yoğunluğu, metre küp başına 8.5×10^{28} elektrondur. (a) Akım yoğunluğunun, (b) sürüklenme hızının büyüklüğü nedir?

ÇÖZÜM

BELİRLEME: Bu problem akım, akım yoğunluğu ve sürüklenme hızı arasındaki ilişkileri ele alıyor.

TASARLAMA: Bize akım ve telin boyutları verildiğine göre, akım yoğunluğu J'nin büyüklüğü için Denklem (25.3)'ü kullanacağız. Ardından, yine Denklem (25.3)'ü kullanarak J ve elektron yoğunluğundan sürüklenme hızı v_d'yi bulacağız.

İŞLEM: (a) Kesit alan aşağıdaki gibidir,

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(1.02\times10^{-3}\text{m})^2}{4} = 8.17\times10^{-7}\text{m}^2$$

Akım yoğunluğunun büyüklüğü

$$J = \frac{I}{A} = \frac{1.67\ \text{A}}{8.17\times10^{-7}\text{m}^2} = 2.04\times10^6\ \text{A/m}^2$$

(b) Denklem (25.3)'ü sürüklenme hızı büyüklüğü v_d için çözerek,

$$V_d = \frac{J}{n|q|} = \frac{2.04\times10^6\text{A/m}^2}{(8.5\times10^{28}\text{m}^{-3})\ |-1.60\times10^{-19}\text{C}|}$$
$$= 1.5\times10^{-4}\ \text{m/s} = 0.15\ \text{mm/s}$$

DEĞERLENDİRME: Bu hıza bakarsak, bir elektronun 1 m uzunluğunda tel içerisinde 6700 saniyede, yani 1 saat 50 dakikada dolaştığı sonucu çıkar. Rastgele hareket eden elektronların hızı 10^6 m/s saniyedir. Bu örnekte sürüklenme hızı rastgele hareketin hızından 10^{10} kat kadar daha yavaştır. Elektronları çok yavaş bir sürüklenme hızı ile sürüklenirlerken çok şiddetli olarak zıpladıklarının düşününün!

Özdirenç

• İletken içerisindeki J akım yoğunluğu, E elektrik alanına ve maddenin özelliklerine bağlıdır.

• Bu bağlılık genelde komplekstir fakat bazı maddeler için, özellikle metaller için, J , E ile orantılıdır, ki orantı sabiti maddenin *özdirenci* olarak tanımlanır.

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

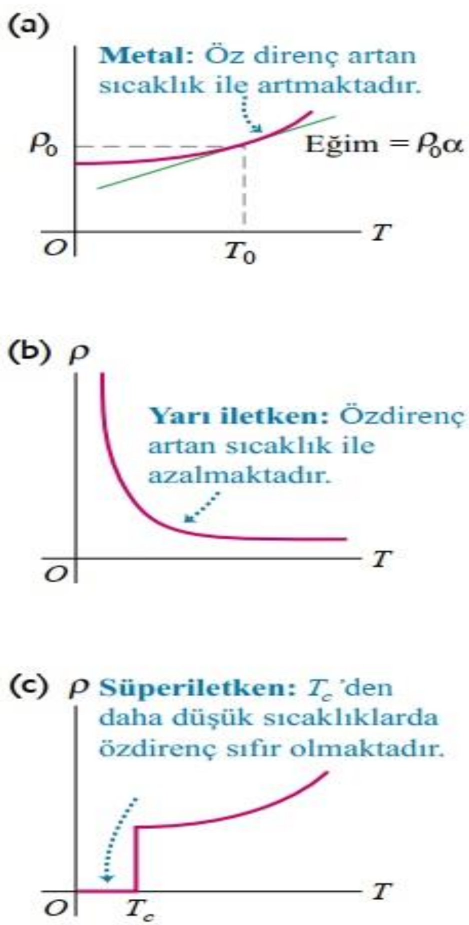
Birim: V.m/A

Table 25.1 Oda sıcaklığında (20 °C) Özdirençler

	Malzeme	$\rho(\Omega \cdot \mathbf{m})$	Malzeme	$\rho(\Omega \cdot \mathbf{m})$
İletkenler			**Yarı İletkenler**	
Metaller	Gümüş	1.47×10^{-8}	Saf karbon (grafit)	3.5×10^{-5}
	Bakır	1.72×10^{-8}	Saf germanyum	0.60
	Altın	2.44×10^{-8}	Saf silikon	2300
	Alüminyum	2.75×10^{-8}	**Yalıtkanlar**	
	Tungsten	5.25×10^{-8}	Kehribar	5×10^{14}
	Çelik	20×10^{-8}	Cam	$10^{10} - 10^{14}$
	Kurşun	22×10^{-8}	Lucite	$> 10^{13}$
	Cıva	95×10^{-8}	Mika	$10^{11} - 10^{15}$
Alaşımlar	Manganin (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%)	44×10^{-8}	Kuvars	75×10^{16}
	Konstantan (Cu 60%, Ni 40%)	49×10^{-8}	Sülfür	10^{15}
	Nikrom	100×10^{-8}	Teflon	$>10^{13}$
			Tahta	$10^{8} - 10^{11}$

Özdirenç

• Metal, yarı iletken ve süperiletken malzemelerin özdirençlerinin mutlak sıcaklık ile değişimleri şekildeki gibidir. Ve özdirencin sıcaklık ile genel değişimi;



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

Referans sıcaklık. (sıkça 0 ^{o}C)

Özdirencin sıcaklık katsayısı

Table 25.2 Özdirencin sıcaklık katsayısı (Oda sıcaklığında yaklaşık değerleri)

Malzeme	$\alpha\left[(^{\circ}\mathrm{C})^{-1}\right]$	Malzeme	$\alpha\left[(^{\circ}\mathrm{C})^{-1}\right]$
Alüminyum	0.0039	Kurşun	0.0043
Pirinç	0.0020	Manganin	0.00000
Karbon (grapfit)	−0.0005	Cıva	0.00088
Konstantan	0.00001	Nikron	0.0004
Bakır	0.00393	Gümüş	0.0038
Demir	0.0050	Tunsten	0.0045

Direnç

- ρ özdirencine sahip bir iletken için, bir noktadaki J akım yoğunluğu olan bir noktadaki elektrik alan E :

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

- Ohm kanununa uyulduğu zaman, ρ sabittir elektrik alan büyüklüğünden bağımsızdır.

- Özdirencin tersi; malzemenin iletkenliği olarak bilinir.

$$\dot{I}letkenlik: \sigma = \frac{1}{özdirenç} = 1/\rho$$

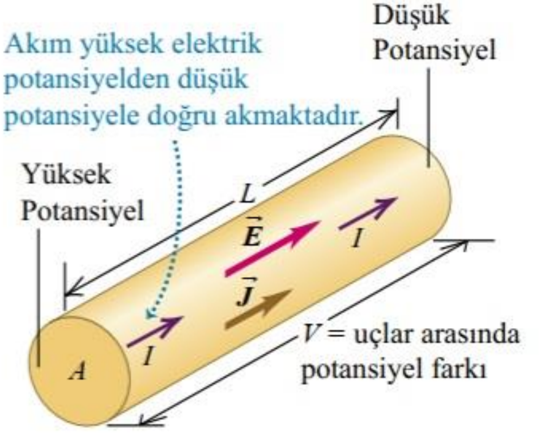
$$\vec{E} = \frac{1}{\sigma}\vec{J} \Rightarrow \vec{J} = \sigma\vec{E}$$

Ohm kanunu

Direnç

L uzunluklu *A* kesit alanlı tele düzgün bir *E* elektrik alanı uygulayalım. Alan düzgün olduğundan telin uçları arasında *V* potansiyel farkı meydana gelir. Potansiyel fark ile elektrik alan arasındaki ilişkiyi hatırlarsak;

25.7 Düzgün kesit alanına sahip bir iletken. Akım yoğunluğu her kesit alanda düzgündür ve elektrik alan iletken boyunca sabittir.



$$J = \frac{I}{A}, \quad V = EL \rightarrow E = \frac{V}{L}$$

$$J = \sigma E = \frac{1}{\rho} E = \frac{1}{\rho} . \frac{V}{L} = \frac{I}{A}$$

$$V = \frac{\rho L}{A} I \qquad R = \frac{V}{I} \qquad V = IR$$

Birimler:
Direnç; 1 V/A=1Ω

Potansiyel farktan dolayı akım akışı olduğu için, bir elektriksel potansiyel kaybedilir; bu enerji, çarpışma sırasında iletken maddenin iyonlarına transfer edilir.

Direnç

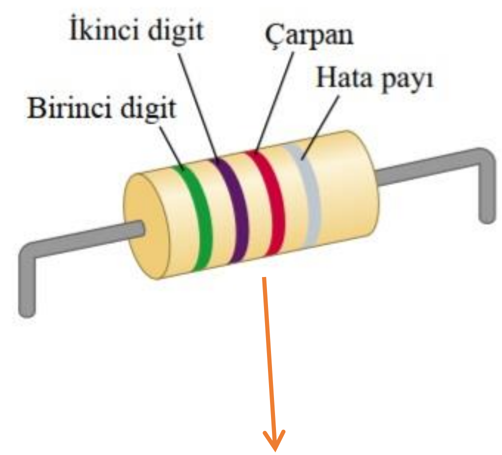
Bir maddenin özdirenci sıcaklıkla değiştiği için,bir spesifik iletkenin direncide sıcaklıkla değişir. Çok büyük olmayan sıcaklık aralıkları için, bu değişiklik yaklaşık olarak lineer ilişkiye dönüşür :

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

Table 25.3 Dirençlerin Renk Kodları

Renk	Dijital Değer	Çarpım Değeri
Siyah	0	1
Kahverengi	1	10
Kırmızı	2	10^2
Turuncu	3	10^3
Sarı	4	10^4
Yeşil	5	10^5
Mavi	6	10^6
Mor	7	10^7
Gri	8	10^8
Beyaz	9	10^9

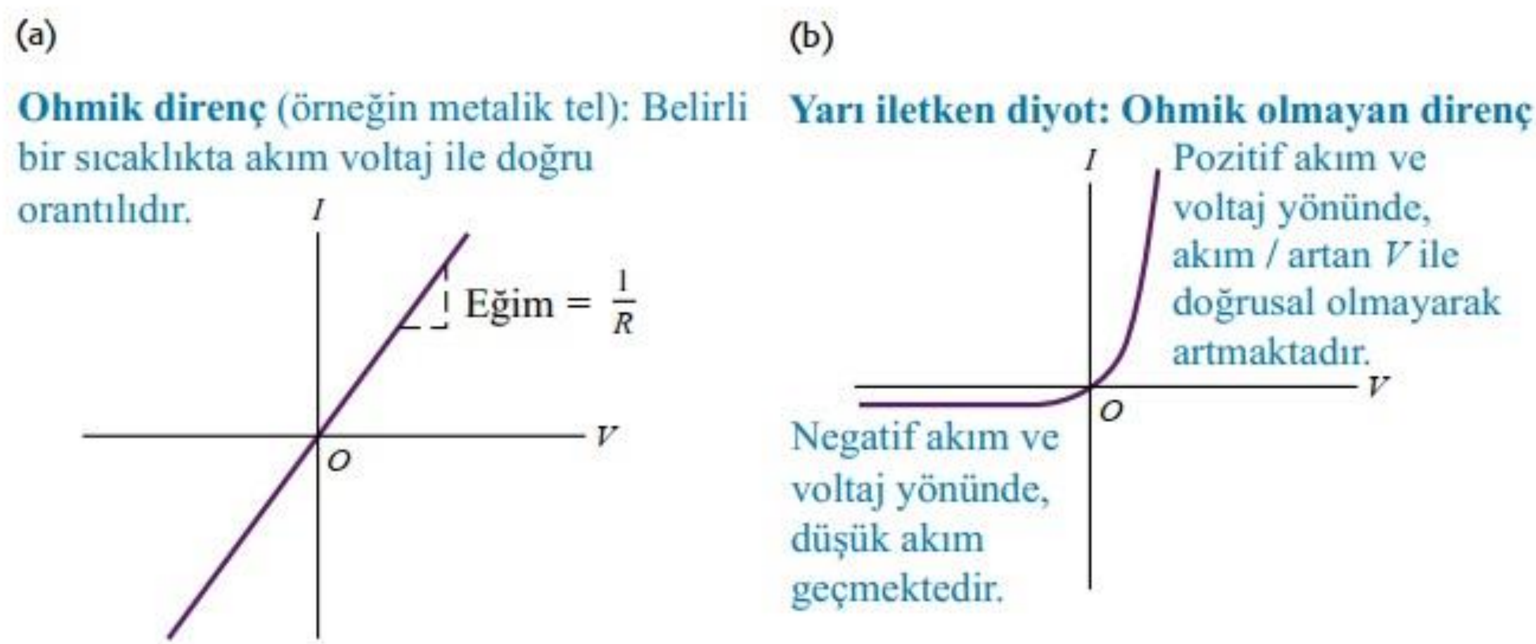
25.9 Bu direnç 5.7 kΩ dirence sahiptir; hata payı ±%10.



Şekildeki direnç yeşil-mor-kırmızı direnç; 57x1000= 5.7 kΩ

Direnç

Akım ile voltajın orantılı olduğu dirençler Ohmik tir (a).
Yarı iletken diyotlar pozitif yönde artanV ile akım üstel artarken, negatif yönde çok düşük bir akım geçtiği için bu malzemeler devrelerde tek yönlü akım geçiren devre elemanları olarak bilinirler (b).



Örnek 25.2 Teldeki elektrik alanı, potansiyel fark ve direnç

Örnek 25.1'deki (Kısım 25.1) 18-ölçekli bakır telin çapı 1.02 mm, kesit alanı 8.20 x 10^{-7} m^2, taşıdığı akım 1.67A'dir. (a) Teldeki elektrik alan büyüklüğünü; (b) telde 50.0 m aralıkta bulunan iki nokta arasındaki potansiyel farkı; (c) 50.0 m uzunluğunda bu telin direncini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

BELİRLEME: Bu örnekte bize kesit alan A ve akım I verilmiştir. Hedef değişkenlerimiz ise elektrik alan büyüklüğü E, potansiyel fark V ve direnç R'dir.

TASARLAMA: Akım yoğunluğu J'nin büyüklüğü $J = I/A$'dır. Özdirenç ρ Tablo 25.1'de verilmiştir. Denklem (25.5)'ten elektrik alanı büyüklüğünü, $E = \rho J$ bulabiliriz. E'yi bulduktan sonra potansiyel farkı, E'nin telin uzunluğu ile çarpımıdır. Direnci de Denklem (25.11)'i kullanarak bulabiliriz.

İŞLEM: (a) Tablo 25.1'den bakırın özdirenci $1.72 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot$ m'dir. Denklem (25.5)'i kullanarak,

$$E = \rho J = \frac{\rho I}{A} = \frac{(1.72 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m})(1.67\ \mathrm{A})}{8.20 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}^2}$$
$$= 0.0350\ \mathrm{V/m}$$

(b) Potansiyel farkı,

$$V = EL = (0.0350\ \mathrm{V/m})(50.0\ \mathrm{m}) = 1.75\ \mathrm{V}$$

(c) Denklem (25.11)'den bu telin 50.0 m'lik direnci,

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1.75\ \mathrm{V}}{1.67\ \mathrm{A}} = 1.05\ \Omega$$

DEĞERLENDİRME: (c)'deki cevabımızı kontrol etmek için, Denklem (25.10)'u kullanarak direnci hesaplayabiliriz:

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{(1.72 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m})(50.0\ \mathrm{m})}{8.20 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}^2} = 1.05\ \Omega$$

Telin direncinin voltajın akıma oranı olarak tanımlandığını vurgulayalım. Eğer tel ohmik olmayan maddeden yapılmışsa R, V'nin değişik değerleri için farklıdır ancak her zaman $R = V/I$ eşitliğiyle verilir. Direnç her zaman $R = \rho L/A$ ile hesaplanır; eğer madde ohmik değil ise ρ sabit değildir ve E'ye bağlıdır (ya da eşdeğer olarak, $V = EL$'ye bağlıdır).

Örnek 25.3 Direncin sıcaklığa bağlantısı

ÇÖZÜM

BELİRLEME: Örnek 25.2'deki telin direncinin 20^0 C'de 1.05 kΩ olduğunu varsayalım. 0^0 C'de ve 100^0 C'deki direnci hesaplayınız.

TASARLAMA: Hedef değişkenimiz telin $T = 0^0$ C ve $T = 100^0$ C'deki direncidir. Bu değerleri bulmak için Denklem (25.12)'yi kullanmalıyız. Direncin $T = 20^0$ C'de $R_0 = 1.05\ \Omega$ olduğunu ve Örnek 25.2'den telin bakır olduğunu göz önünde bulundurmalıyız.

İŞLEM: Tablo 25.2'den özdirencin sıcaklık katsayısı α = 0.00393 $(C°)^{-1}$'dir. Denklem (25.12)'yi kullanarak $T = 0^0$ C'deki direnç,

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

$$= (1.05\,\Omega)\{1 + [0.00393\,(C°)^{-1}][0°C - 20°]\}$$

$$= 0.97\,\Omega$$

$T = 100°C$ de,

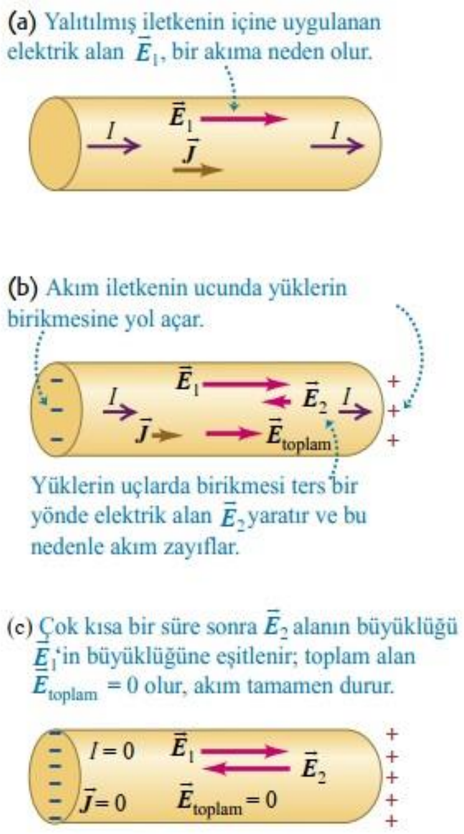
$$R = (1.05\,\Omega)\{1 + [0.00393\,(C°)^{-1}][100°C - 20°C]\}$$

$$= 1.38\,\Omega$$

DEĞERLENDİRME: 100^0 C'deki direnç 0^0 C'deki dirençten (1.38 Ω)/(0.97 Ω = 1.42 kat kadar daha yüksektir. Başka bir deyişle, sıradan bir bakır teli 0^0 C'den 100^0 C sıcaklığa çıkarırsak telin direnci %42 artar. Denklem (25.11), $V=IR$'den, aynı I akımı yaratmak için 100^0 C'de 0^0 C'dekinden % 42 daha fazla voltaj V gerektiğini anlıyoruz. Bu etki yüksek sıcaklıklarda kullanılacak elektrik devreleri tasarımında çok önemlidir.

Elektromotor kuvvet ve devreler

- Kapalı olmayan bir devreye bir **E** alanı uygulanması ile kısa bir süre akım oluşur.
- Zıt kutuplarda pozitif ve negatif yükler birikir.
- İkinci bir elektrik alan oluşur (b)
- Devredeki toplam elektrik alanı sıfır olur, ve akım tamamen durur.



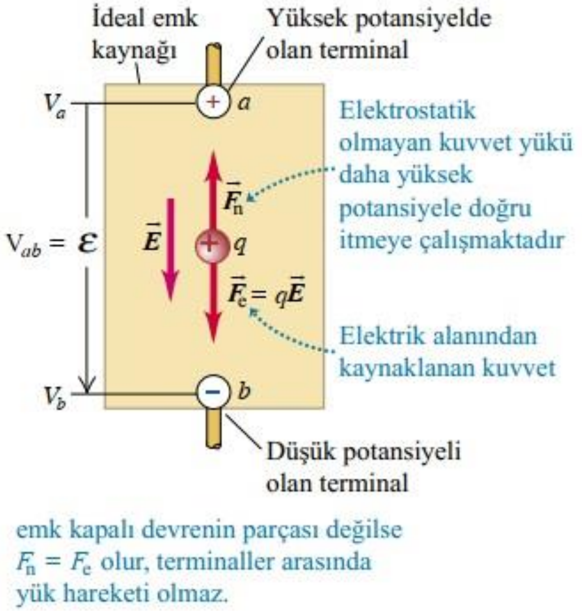
Sonuç olarak; bir iletkenin düzgün bir akıma sahip olabilmesi için kapalı bir halka veya kapalı bir devre olması gerekir.

Elektromotor kuvvet ve devreler

- Akımı düşük potansiyelden yüksek potansiyele akmasına yol açan etkiye *elektromotor kuvvet* kısaca **emk** denir. Ve bu terim bir potansiyel olup birimi V'dir. Normal kuvvet ile karıştırılmamalıdır.

- Şekilde ideal bir emk kaynağında, F_e elektrostatik kuvveti ile elektrostatik olmayan (kaynağın ürettiği) F_n kuvveti eşit ve zıt yöndedirler.

- İdeal emk kaynağında bir q yükü, F_e kuvvetine zıt yönde *kaynağın* ürettiği F_n kuvvetinin etkisi ile b'den a' ya hareket ettirilirse, bu iki kuvvetin yaptıkları işler eşit ama zıt işaretli olur;
- $W_n = q\varepsilon$ ve $W_e = qV_{ab}$ (F_e'ye zıt yönde bir yer değiştirme oluyor).



- Yapılan toplam iş sıfır olur ve; $\boxed{V_{ab} = \varepsilon}$ İdeal emk kaynağı

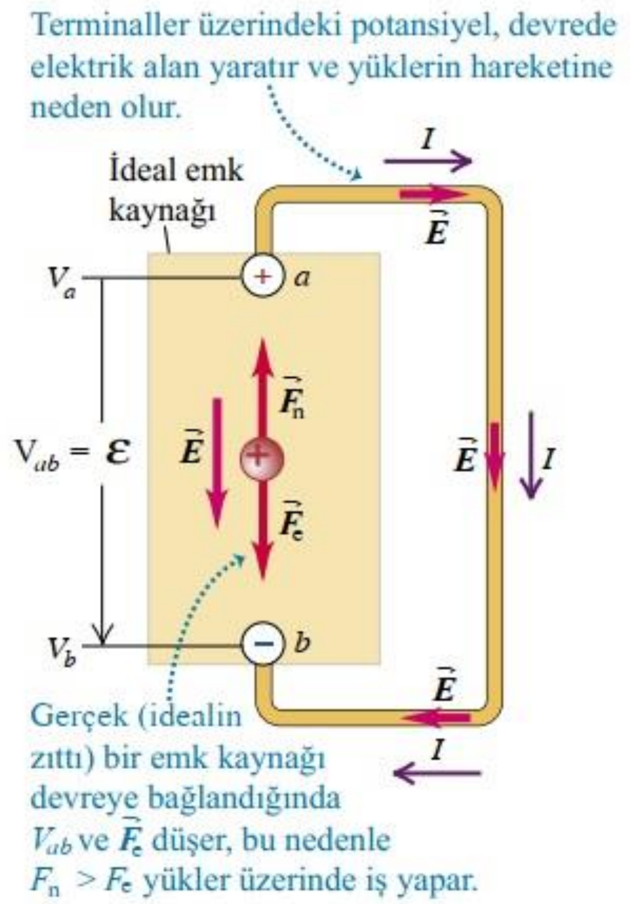
Elektromotor kuvvet ve devreler

- İdeal bir emk kaynağının kapalı devredeki gösterimi. Pozitif q yükü için akım dış devrede a'dan b'ye doğru ve kaynak içinde b'den a'ya doğrudur.

- Pozitif yük devrede akarken, ideal kaynaktan geçen potansiyel yükseliş (ε), devrenin geri kalan kısımlarındaki potansiyel düşmesine (V_{ab}) eşittir; yani,

$$\boxed{\varepsilon = V_{ab} = IR}$$

- Bu yol ile devreden geçen akım elde edilebilir.



Elektromotor kuvvet ve devreler

- Gerçek bir kaynakta hareket eden yük kaynak malzemesi tarafından bir dirence maruz kalır, bu dirence kaynağın *iç direnci* denir ve *r* ile gösterilir.

- Akım *r* direncinden geçerken *Ir*'lik bir potansiyel düşmesine uğrar. Dolayısı ile *a* ve *b* terminalleri arası potansiyel farkı;

$$V_{ab} = \varepsilon - Ir$$

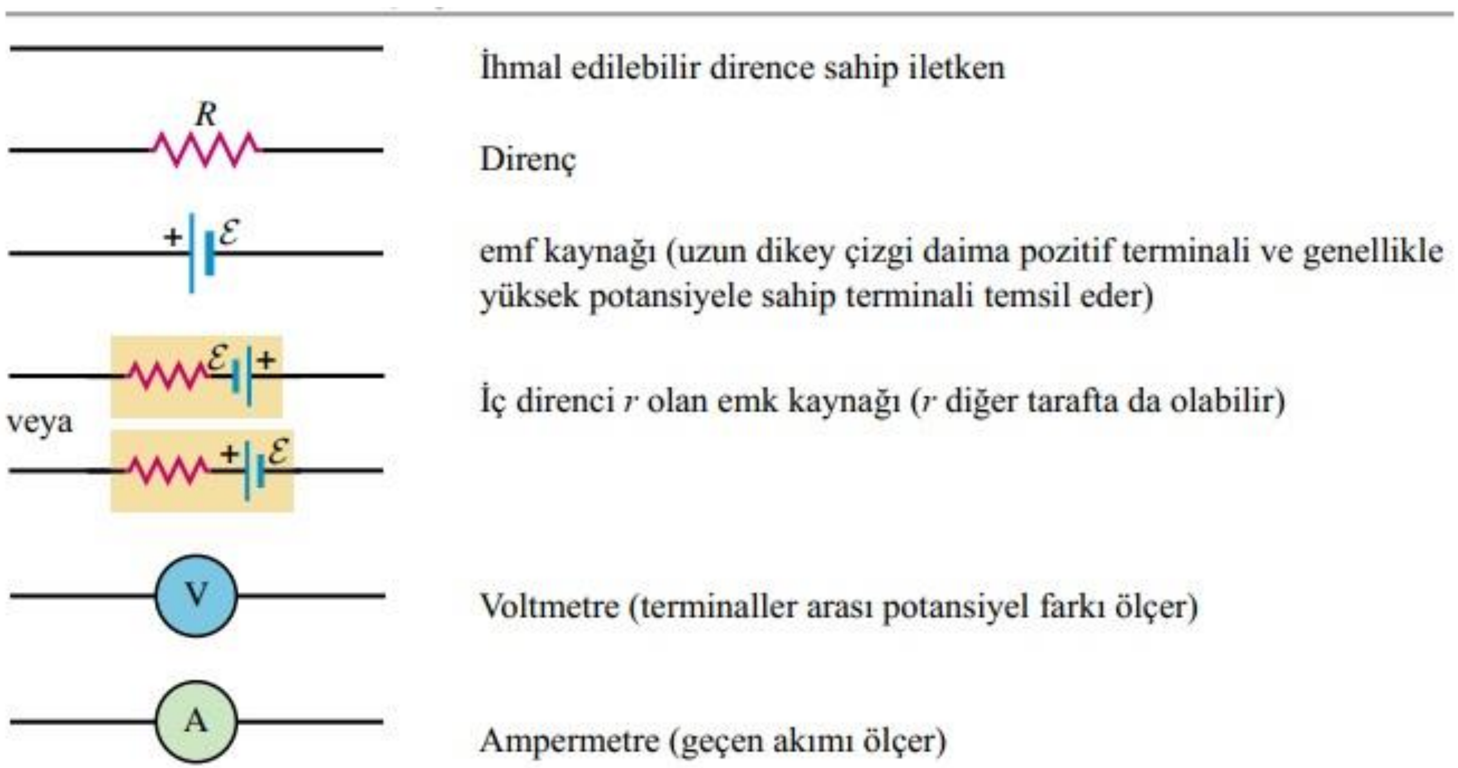
olur ve *terminal veya çıkış voltajı* olarak adlandırılır.

- Devreden geçen akım, yük direnci ve iç direnci dikkate alınarak elde edilebilir;

$$I = \frac{V_{terminal}}{R} = \frac{\varepsilon - Ir}{R} \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Elektromotor kuvvet ve devreler

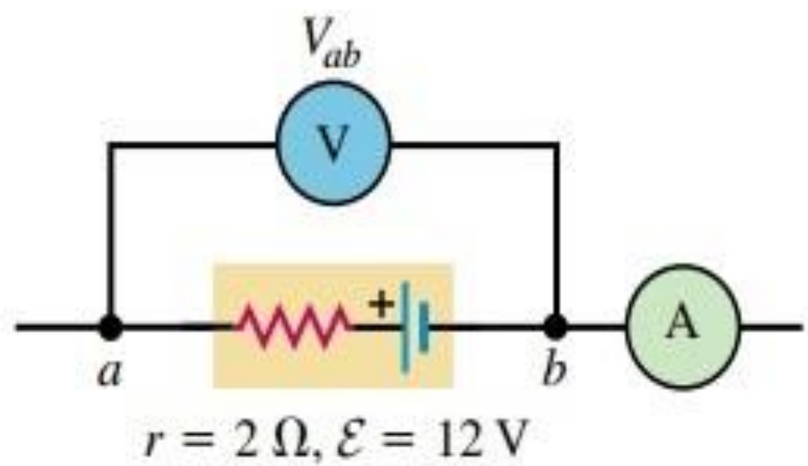
Elektrik devrelerini analiz etmenin en önemli yollarından biri, şematik bir *devre diyagramı* çizmektir. Ve devre diyagramlarında kullanılan temel semboller aşağıdaki gibidir.



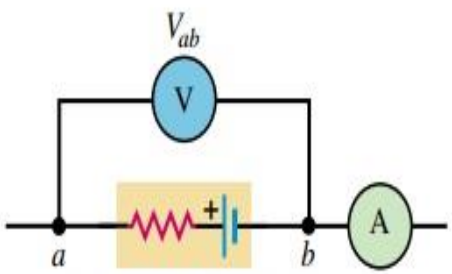
Kavramsal Örnek 25.5 Açık devrede bir kaynak

Şekil 25.17, emk $\mathcal{E}$ = 12 V ve iç direnç r = 2 Ω olan bir kaynağı (pili) gösteriyor. (Karşılaştırma için; 12-V'luk ticari kurşun pillerin iç direnci bir ohmun birkaç binde biri kadardır.) a terminalinin solunda ve A ampermetresinin sağındaki teller hiçbir yere bağlı değildir. İdeal voltmetre V ve ideal ampermetre A'nın okuduğu değerleri bulunuz.

25.17 Bir açık devrede emk kaynağı.



25.17 Bir açık devrede emk kaynağı.



$r = 2\ \Omega, \mathcal{E} = 12$ V

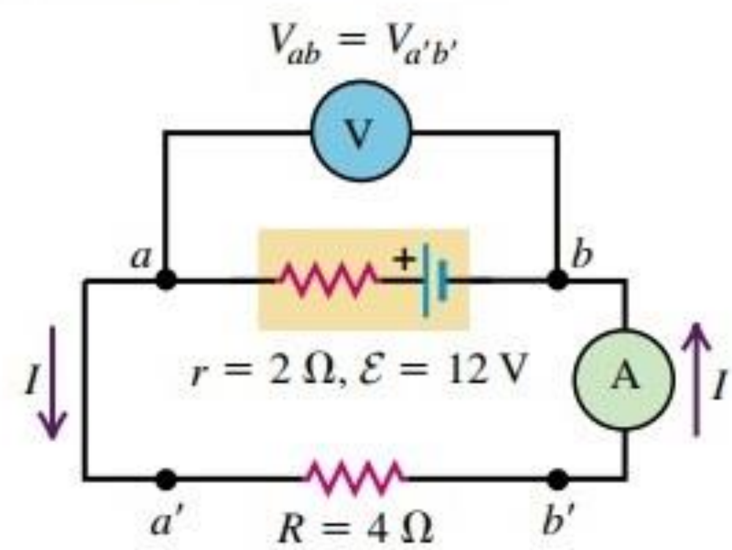
ÇÖZÜM

Tam bir devre olmadığı için akım yoktur. (Sonsuz dirençli ideal voltmetremizin içerisinden geçen akım yoktur.) Bu nedenle ampermetre A, $I = 0$ değerini okumaktadır. Pil içerisinde herhangi bir akım olmadığından, iç direncinde potansiyel fark yoktur. Denklem (25.15)'de $I = 0$ olduğunda pilin terminalleri arasındaki potansiyel fark V_{ab}, emk'e eşittir. Bu durumda voltmetre V, $V_{ab} = \mathcal{E} = 12$ V. değerini okur. İdeal olmayan gerçek bir kaynağın terminal voltajı, bu örnekteki gibi kaynağın içinden geçen bir akım olmadığı şartlarda emk'e eşittir.

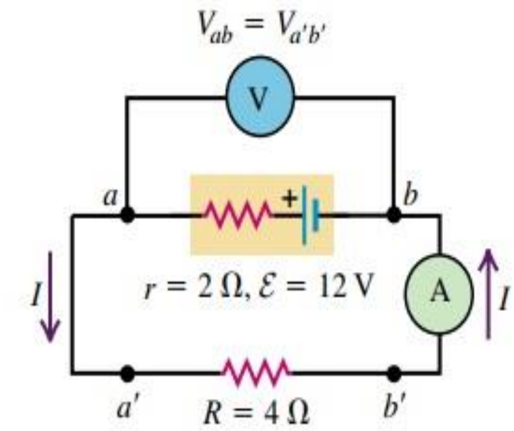
Örnek 25.6 Kapalı devredeki kaynak

Kavramsal Örnek 25.5'deki pili kullanarak, Şekil 25.18'deki tam kapalı devreyi oluşturmak için 4-Ω'luk bir direnci devreye yerleştirdik. Voltmetre ve ampermetrenin okuduğu değerler şimdi nedir?

25.18 Bir kapalı devrede emk kaynağı.



25.18 Bir kapalı devrede emk kaynağı.



ÇÖZÜM

BELİRLEME İlk hedef değişkenimiz *aa'b'b* devresinden geçen akım *I*'dır (ampermetrede okunacak değer eşit). İkinci hedef değişkenimiz de) potansiyel farkı V_{ab}'dir (voltmetrede okunacak değere eşit).

TASARLAMA: Akım *I*'yı Denklem (25.16)'yı kullanarak bulabiliriz. V_{ab}'yi kaynağın potansiyel farkı ya da dış direnç içerisinden geçen devrenin potansiyel farkı olarak algılayabiliriz.

İŞLEM: İdeal ampermetrenin direnci sıfırdır. Bu durumda kaynağın dışındaki direnç $R = 4\ \Omega$'dur. Denklem (25.16)'yı kullanarak *aa'b'b* devresinden geçen akım,

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{12\text{V}}{4\Omega + 2\Omega} = 2\,\text{A}$$

Yani ampermetrenin *A*'nın okuduğu değer $I = 2$ A'dır.

İdeal iletken tellerin ve ideal ampermetrenin direnci sıfırdır. Bu durumda *a* ve *a'* arasında veya *b* ve *b'* arasında potansiyel farkı yoktur, yani $V_{ab} = V_{a'b'}$'dir. *a* ve *b* direncin terminalleri ya da kaynağın terminalleri gibi ele alınarak V_{ab}'yi bulunabilir; direncin terminalleri olarak ele aldığımızda Ohm yasasını ($V = IR$) kullanırız;

$$V_{a'b'} = IR = (2\,\text{A})(4\,\Omega) = 8\,\text{V}$$

Kaynağın terminalleri olarak düşündüğümüzde ise

$$V_{ab} = \mathcal{E} - Ir = 12\,\text{V} - (2\,\text{A})(2\,\Omega) = 8\,\text{V}$$

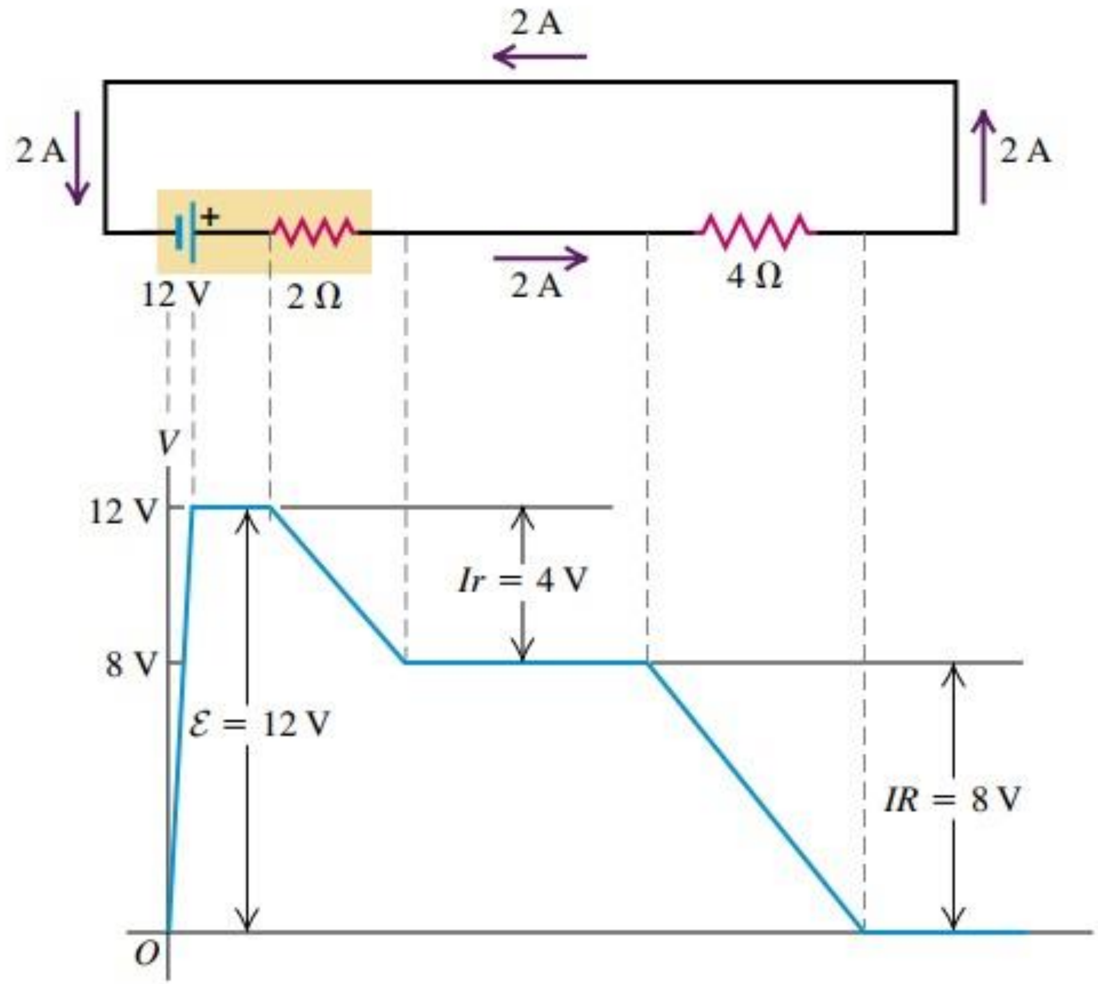
Her iki yoldan da voltmetrenin okuduğu değerin $V_{ab} = 8$ V olduğunu sonucuna varıyoruz.

DEĞERLENDİRME: Kaynağın içinden akım geçiyorsa terminal voltaj V_{ab} emk'den daha düşüktür. İç direnç *r* küçüldükçe V_{ab} ve $\mathcal{E}$ arasındaki fark da azalır.

Elektromotor kuvvet ve devreler

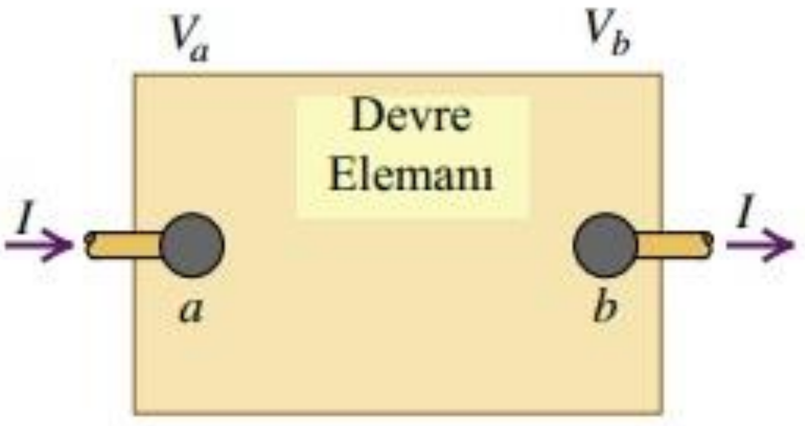
Kapalı bir devrede tam bir tur atan q yükü için potansiyel enerjideki net değişim sıfır olur, dolayısı ile potansiyeldeki net değişim de sıfır olur.

$$\varepsilon = IR + Ir = 0$$



Elektrik devrelerinde eneji ve güç

- Elektrik devrelerinde, bir devre elemanına verilen veya devre elemanından alınan enerjiyi tespit etmek önemlidir.



- Devreden geçen *I* akımı için *dt* sürede devreden geçen yük *dQ=Idt* ve bu kadarlık yük için potansiyel enerji değişimi;

$$\Delta U = V_{ab}.dQ = V_{ab}.Idt$$

- Birim zamandaki enerji aktarım miktarına *güç* denir ve *P* ile gösterilir;

$$P = \frac{\Delta U}{dt} = V_{ab}.I$$

Bir devre elemanına giren veya çıkan güç.

Birimler: Watt; 1 Watt=1 J/s

Elektrik devrelerinde eneji ve güç

- Eğer devre elemanı bir direnç ise güç;

$$P = V_{ab}.I = I^2 R = \frac{V_{ab}^{\;2}}{R}$$

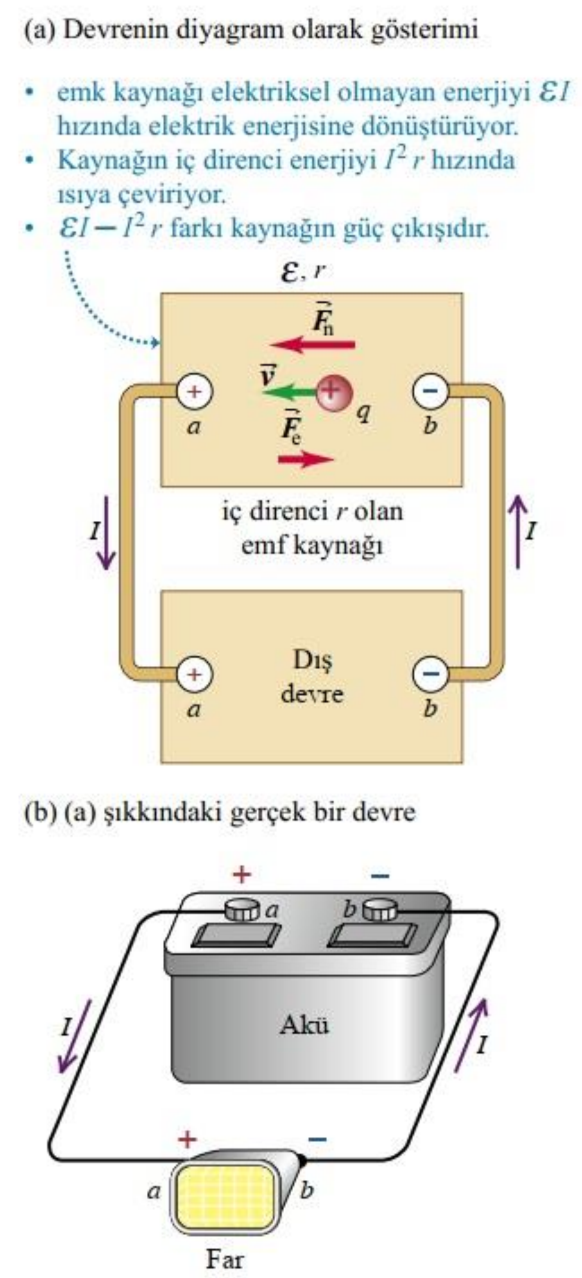
Elektrik devrelerinde eneji ve güç

- Basit bir dış devreye bağlı bir emk kaynağı (mesela bir araba aküsü ve far).
- Yüklerin devreden geçerken elektrostatik olmayan kuvvetin yükler üzerine birim zamanda yaptığı iş; εI.

- Kaynağın iç direncinden dolayı $I^2 r$ hızında enerji ısıya dönüşür.

- Dolayısı ile kaynaktan net elektrik güç çıkışı veya dış devreye aktarılan güç;

$$P = V_{ab}.I = \varepsilon I - I^2 r$$

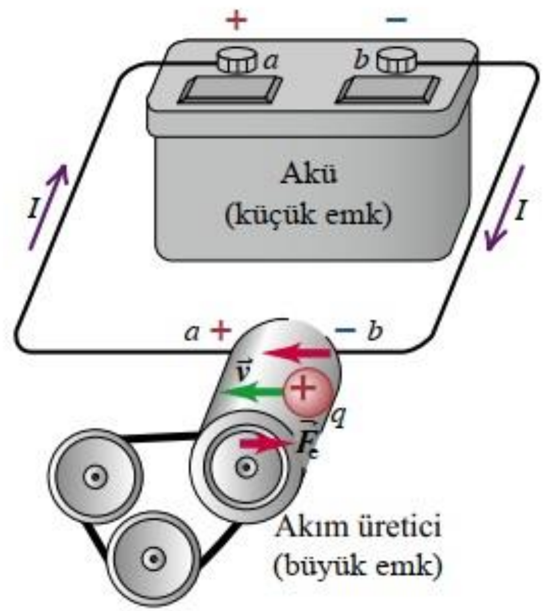


Elektrik devrelerinde eneji ve güç

- Şekildeki gibi iki kaynak aynı kapalı devreye monte edilsin.

$$V_{ab} = \varepsilon - Ir$$

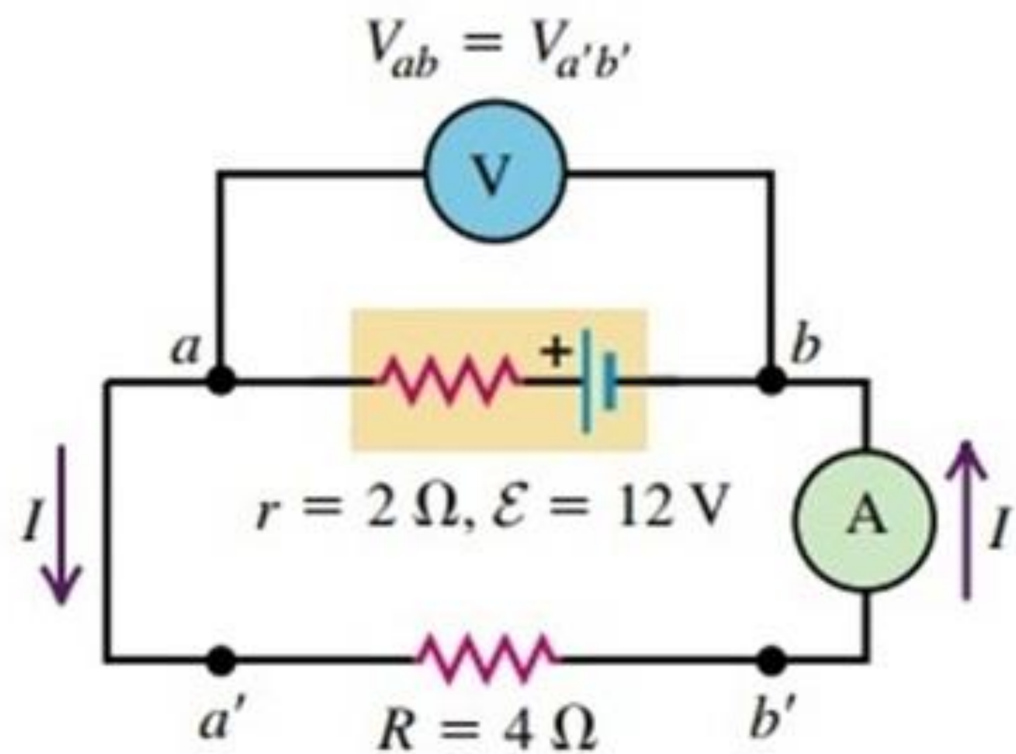
$$P = V_{ab}.I = \varepsilon I - I^2 r$$



- Yüksek emk kaynağından diğerine enerji aktarılır.

Örnek 25.9 Kapalı devrede güç giriş-çıkışı

Örnek 25.6'da incelediğimiz durum için, kimyasal enerjiden elektrik enerjisine dönüşüm hızını, enerjinin pil içinde ısıya çevrilme (kaybolan enerji) hızını ve pilin net güç çıkışını bulunuz.



Örnek 25.9 Kapalı devrede güç giriş-çıkışı

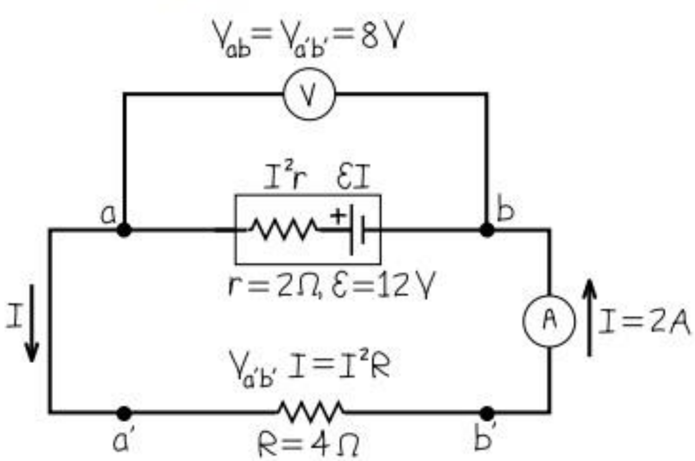
Örnek 25.6'da incelediğimiz durum için, kimyasal enerjiden elektrik enerjisine dönüşüm hızını, enerjinin pil içinde ısıya çevrilme (kaybolan enerji) hızını ve pilin net güç çıkışını bulunuz.

ÇÖZÜM

BELİRLEME: Hedef değişkenlerimiz emk kaynağının güç çıkışı, iç dirence güç girişi ve kaynağın net güç çıkışıdır.

TASARLAMA: Şekil 25.25 devrenin şemasını gösteriyor. Denklem (25.17)'yi kullanarak devre elemanının güç giriş veya çıkışını ve Denklem (25.19)'u kullanarak kaynağın net güç çıkışını hesaplarız.

25.25 Bu problem için çizimimiz.



İŞLEM: Örnek 25.6'dan devredeki akımın $I = 2$ A olduğunu biliyoruz. Pildeki enerji dönüşümü hızı,

$$\mathcal{E}I = (12\ \text{V})(2\ \text{A}) = 24\ \text{W}$$

Pilde kaybolan enerji (üretilen ısı) hızı,

$$I^2r = (2\ \text{A})^2(2\ \Omega) = 8\ \text{W}$$

Kaynağın elektrik güç çıkışı bunların arasındaki farktır: $\mathcal{E}I = I^2r =$ 16 W

DEĞERLENDİRME: Güç çıkışı aynı zamanda terminal voltaj $V_{ab} = 8$ V'tun (Örnek 25.6'da hesaplanmıştı) akım ile çarpımıdır:

$$V_{ab}I = (8\ \text{V})(2\ \text{A}) = 16\ \text{W}$$

Dirençteki elektrik gücü girişi:

$$V_{a'b'}I = (8\ \text{V})\ (2\ \text{A}) = 16\ \text{W}$$

Bu da dirençte kaybolan enerjiye (üretilen ısı) eşittir,

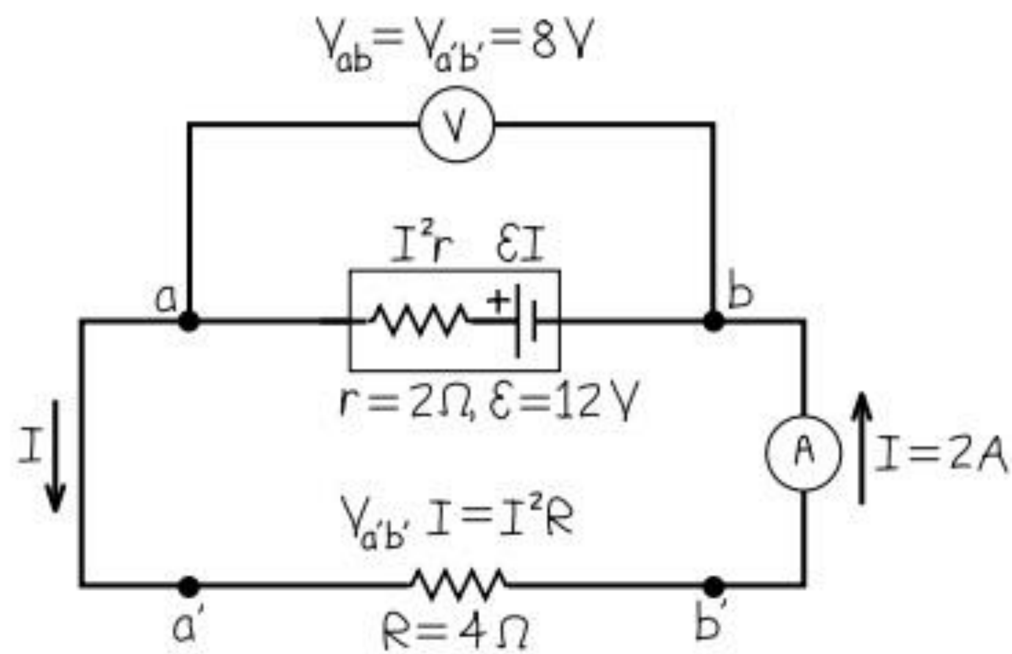
$$I^2R = (2\ \text{A})^2(4\ \Omega) = 16\ \text{W}$$

Sonuçların Denklem (25.19) $V_{ab} = I = \varepsilon I - I^2$r ile uyumlu olduğuna dikkatinizi çekeriz; denklemin sol tarafı 16 W ve sağ tarafı ise 24 W – 8 W = 16 W'tır. Bu da çeşitli güç miktarlarının tutarlılığını doğrular.

Örnek 25.10 Direnci Yükseltmek

Şekil 25.25'deki 4 Ω'luk direnci 8 Ω'luk dirençle değiştirdiğimiz zaman, direnç içinde kaybolan (ısıya çevrilen) elektrik gücü nasıl etkilenir?

25.25 Bu problem için çizimimiz.



Örnek 25.10 Direnci Yükseltmek

Şekil 25.25'deki 4 Ω'luk direnci 8 Ω'luk dirençle değiştirdiğimiz zaman, direnç içinde kaybolan (ısıya çevrilen) elektrik gücü nasıl etkilenir?

ÇÖZÜM

BELİRLEME: Hedef değişkenimiz emk kaynağının bağlı olduğu direnç içinde kaybolan (ısıya çevrilen) güçtür.

TASARLAMA: Bu örnekteki durum Örnek 25.9 ile aynıdır, sadece dış direnç R'nin değeri farklıdır .

İŞLEM: Denklem (25.18)'e göre, dirençte ısıya çevrilen güç $P = I^2 R$ ile belirlenir. Eğer acele ederseniz, R iki katına çıktığı için gücün de otomatik olarak Örnek 25.9'dakinin iki katı, 2(16 W) = 32 W olacağı sonucuna varabilirsiniz. Ya da $P = V^2_{ab} / R$ 'yi kullanarak bir önceki örnekteki gücün yarısı yani 16 W/2 = 8 W olacağını düşünebilirsiniz. Peki, bunlardan hangisi doğrudur?

Gerçekte bu sonuçların *ikisi* de *yanlıştır*. İlki yanlıştır çünkü R'yi değiştirmek devredeki akım I'yı da değiştirir (hatırlayalım, emk kaynağı her durumda aynı akımı sağlamaz). İkinci sonuç da yanlıştır çünkü akım değiştikçe dirence uygulanan potansiyel fark V_{ab} 'de değişir. Doğru cevabı bulabilmek için önce Örnek 25.6'da akımı bulmak için uyguladığımız tekniği deneyeceğiz;

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{12\,\text{V}}{8\,\Omega + 2\,\Omega} = 1.2\,\text{A}$$

Daha yüksek direnç akımı azaltır. Dirençteki potansiyel fark şöyledir;

$$V_{ab} = IR = (1.2\,\text{A})(8\,\Omega) = 19.6\,\text{V}$$

Bu potansiyel fark 4 Ω'luk dirençten daha büyüktür. Şimdi de dirençte ısıya çevrilen (kaybolan) gücü iki yöntemle bulabiliriz:

$$P = I^2 R = (1.2\,\text{A})^2 (8\,\Omega) = 12\,\text{W} \quad \text{veya}$$

$$P = \frac{V_{ab}^2}{R} = \frac{(9.6\,\text{V})^2}{8\,\Omega} = 12\,\text{W}$$

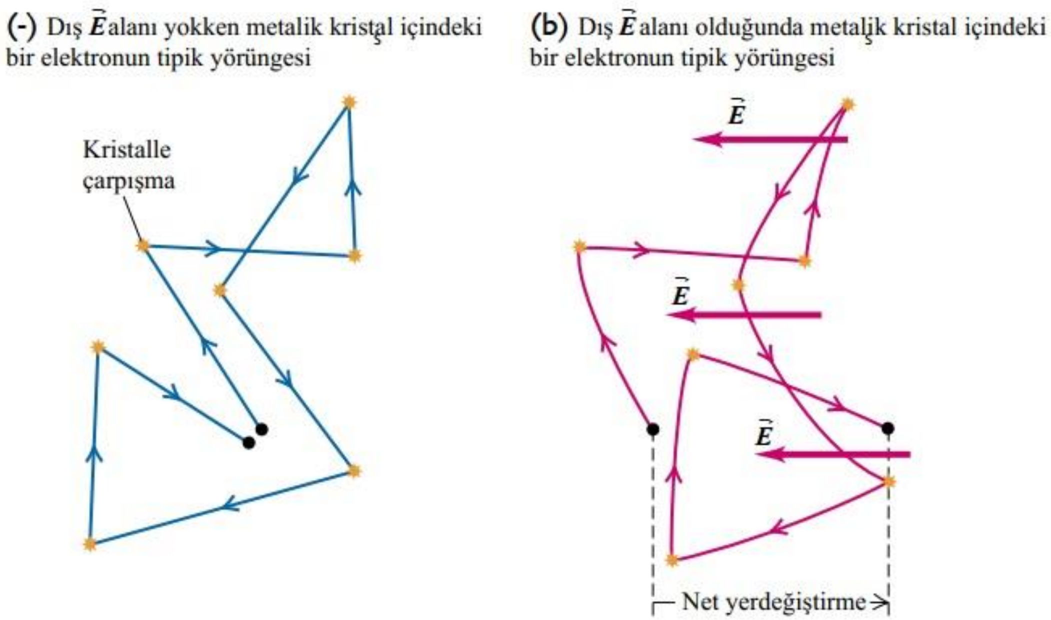
DEĞERLENDİRME: Direnç R'yi artırmak dirence giren gücü *düşürür*.$P = I^2 R$ ifadesinde, akımdaki düşüş dirençteki artıştan daha önemlidir; $P = V^2_{ab} / R$ ifadesinde ise dirençteki artış V_{ab}'deki artıştan daha önemlidir. Aynı durum sıradan ampuller için de geçerlidir; 50 W'lık ampulün direnci 100 W'lık ampulün direncinden daha yüksektir.

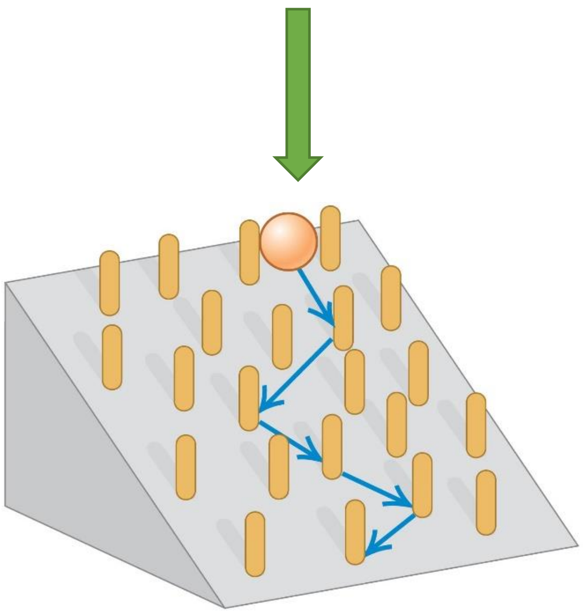
4 Ω'luk direnci 8 Ω'luk dirençle değiştirdiğimiz zaman hem pilin içindeki enerji dönüşümünü (kimyasaldan elektriğe) hem de pilin içinde enerjinin kaybolma (ısıya dönüşme) hızını düşürdüğümüzü gösterebilir misiniz?

Metalik iletkenlik teorisi

- İletken içerisindeki elektronlar daima hareketlidir ve bir elektrik alan yoksa rasgele hareket ederler.

- Sürüklenmeye yol açan bir elektrik alan ile elektronlar net bir yer değiştirmeye uğrarlar.





- Eğik düzlemden aşağı doğru yuvarlanırken çivilere çarparak rasgele sağa sola sapan bilyenin hareketi, bir elektrik alan tarafından metalik iletken içinde, sürüklenen bir elektronun yaptığı hareketin bir benzeridir.

Metalik iletkenlik teorisi

- Akım yoğunluğu ifadesini hatırlayalım;

$$\vec{J} = nq\vec{V}_d = \frac{\vec{E}}{\rho}$$

$q = -e$

- $t = 0$ anında elektrik alanı yoktur, ve elektronların ortalama hızları yani ilk hızları sıfır olacaktır.
- ***E*** alanının uygulanması ile yük üzerinde;

$$F = q\vec{E} = m\vec{a}$$

kuvveti ile ivmelenir ve elektronlar

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

ivmesine sahip olurlar.

Metalik iletkenlik teorisi

- $t = \tau$, yani çarpışmalar arası ortalama zaman alınırsa, ve elektron ilk hızını da sıfır olduğunu kabul edersek;

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{a}\,\tau = \frac{q\tau}{m}\vec{E}$$

- Bu hız zamanla dengeye ulaşarak, sürüklenme hızına eşit olur, yani;

$$\vec{V}_d = \frac{q\tau}{m}\vec{E}$$

ve akım yoğunluğu

$$\vec{J} = nq\left(\frac{q\tau}{m}\vec{E}\right) = \frac{nq^2\tau}{m}\vec{E} = \frac{\vec{E}}{\rho}$$

Metalik iletkenlik teorisi

$q = -e$ ve $\vec{J} = \vec{E}/\rho$ olduğundan özdirenç;

$$\boxed{\rho = \frac{m}{ne^2\tau}}$$

Özdirenç elektrik alandan bağımsızdır, ayrıca özdirenç ile iletkenlik arasındaki ilişkide unutulmamalıdır:

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

Örnek 25.12 Bakırda ortalama serbest zaman

Oda sıcaklığında, bakır içinde çarpışmalar arası ortalama serbest zamanını hesaplayınız.

Örnek 25.12 Bakırda ortalama serbest zaman

Oda sıcaklığında, bakır içinde çarpışmalar arası ortalama serbest zamanını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

BELİRLEME: Bu problem bu kısımda öğrendiğimiz kavramları içeriyor.

TASARLAMA: Denklem (25.24)'ü yeniden düzenleyerek ortalama serbest zaman τ'yi n, ρ, e ve m cinsinden yazabiliriz. Örnek 25.1'den ve Tablo 25.1'den bakır için $n = 8.5 \times 10^{28}\ \mathrm{m}^{-3}$ ve $\rho = 1.72 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m}$ olduğunu ve elektronlar için $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C ve $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg olduğunu biliyoruz.

İŞLEM: Denklem (25.24)'ü yeniden düzenleyerek aşağıdaki eşitliği elde ederiz;

$$\tau = \frac{m}{ne^2\rho}$$

$$= \frac{9.11 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg}}{(8.5 \times 10^{28}\ \mathrm{m}^{-3})(1.60 \times 10^{-19}\ \mathrm{C})^2(1.72 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m})}$$

$$= 2.4 \times 10^{-14}\ \mathrm{s}$$

DEĞERLENDİRME: Bu zamanın tersini aldığımızda görüyoruz ki her elektron saniyede ortalama 4×10^{13} çarpışma yapar.