

BMM 205

Malzeme Biliminin Temelleri

Malzemelerin Elektriksel Özellikleri



Biyoteknoloji

Nanoteknoloji

Tasarım

**BİYONANOTASARIM
LABORATUVARI**

Dr. Ersin Emre Ören

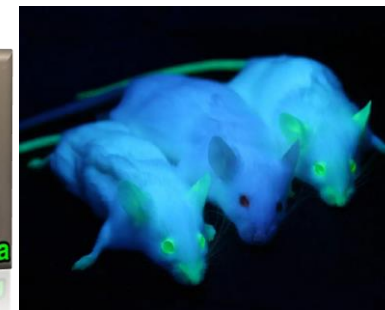
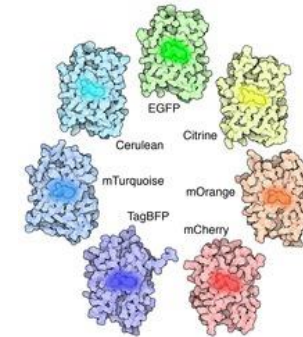
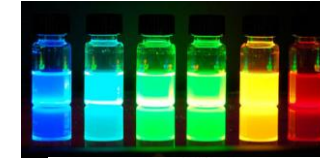
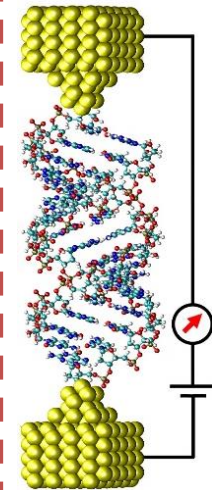
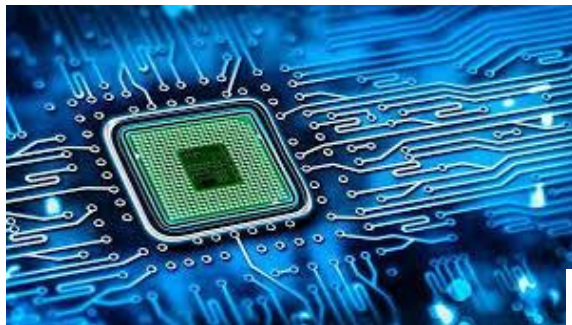
**Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü**

**TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Ankara - TÜRKİYE**

eeoren@etu.edu.tr

<http://eeoren.etu.edu.tr>

MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ



Elektrik – Tarihçe ve Temel Kavramlar



İlk yazılı kayıt: MÖ 2750, Antik Mısır

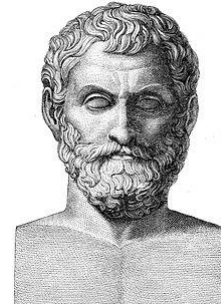
Thunderer of the Nile



Elektrikli yılan balığı

Statik Elektrik: Miletoslu Thales amberin sürtünme sonucu tüy gibi hafif maddeleri çekebildiğini keşfetti...

Electricus ilk olarak William Gilbert tarafından 1600 yılında *De Magnete* adlı makalede kullanılmıştır.



Thales
MÖ 624 – 546



Kehribar (Amber)

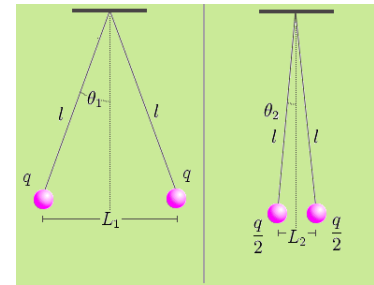


William Gilbert
1544 – 1603

Elektrik yük (charge) Elektron, proton ve iyon

Elektrik yük elektromanyetik kuvveti doğurur...

like-charged objects repel and opposite-charged objects attract...



$$F = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Coulomb sabiti:

$$k_e = 8.987551 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$



Charles-Augustin de Coulomb
1736-1806

Tarihçe:

Kalp Pili (Pacemakers):

elektrotlar tarafından iletilen elektrik uyarıları sonucunda kalp kaslarını kasarak kalp atışını düzenleyen tıbbi cihazlardır.



1788 Charles Kite "*An essay upon the recovery of the apparently dead*," adlı bir makale yazarak durmuş kalbin elektrik deşarjları ile yeniden çalıştırılabileceğini gösterdi.

1820-80 elektrisel şokların kalp atışını etkileyebileceği biliniyordu,

1930–31 İlk taşınabilir kalp pilinin icadı,



1949 John Hopps, (hypothermia), soğutulurak durdurulan bir kalbin elektrik akımı ile yeniden çalıştırılabileceğini gösterdi ve bu bulgular Hoop'un ilk kalp pilini icad etmesini sağladı.

1959 İlk impland kalp pili mühendis Wilson Greatbatch ve kardiyolog W. M. Chardack tarafından icad edildi.



FRANKENSTEIN;
OR,
THE MODERN PROMETHEUS.
IN THREE VOLUMES.
Did I request thee, Maker, from my clay
To mould me man? Did I solicit thee
From darkness to promote me?—
PARADISE LOST.
VOL. I.

Mary Shelley, 1818



MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

- Elektrik akımı dokuda:
 - Sinir ve kas hücrelerinin uyarılmasına
 - Resistans ısınmasına,
 - Elektrokimyasal yanmaya,
 - Ölüme

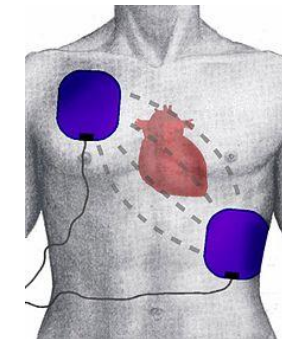
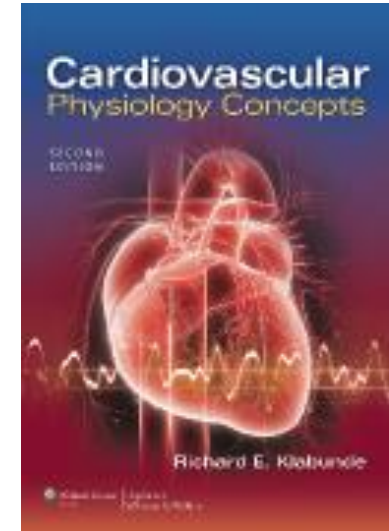
neden olabilir...

Yetişkinlerde Elektrik Akımının Etkileri (1-3 saniye maruz kalma):

- Algılama sınırı:
 - Erkek: 1.0 mA DC, 0.4 mA AC
 - Kadın: 0.6 mA DC, 0.3 mA AC
- Let-go current: kas kontrolü kaybı
 - Erkek : 9-25 mA AC
 - Kadın: 6-20 mA AC

6 mA tasarım güvenliği açısından en yüksek değer kabul edilir. (IEEE Standard 1048-1990,1991)

- 18-22 mA: solunum felci, ağrı, yorgunluk
- 75-400 mA: kalp ritim bozukluğu (ventricular fibrillation) (V-Fib), ölüm
- 1-6 A: kalıcı kalp kasılması, ölüm
- 10 A: yanık, fiziksel yaralanma ve ölüm.



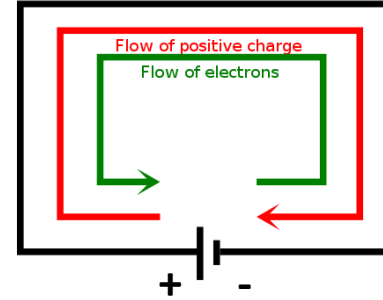
MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

Elektrik akımı (current); I : Elektrik yükün hareketidir.

Elektriksel iletim (conduction): Elektrik akımının bir malzemedan geçmesi olayıdır.

Amper: Elektrik akımının şiddetini belirtir.
Birim zamanda geçen elektrik yüküdür.

$$I = \frac{Q}{t} \rightarrow A = C / s$$



Elektrik akımının fiziksel etkileri

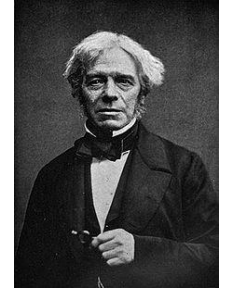
Elektrik akımı sıvı içinde çözülmüş kimyasal bileşikleri ayrıştırılabilir (**Elektroliz**)

Elektrik akımı malzemelerde ısı üretir (**Joule Heating**).

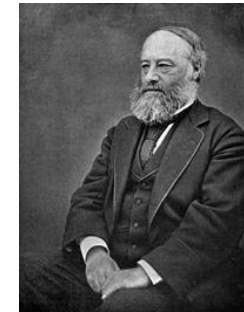
Elektrik akımı pusulaları etkiler (**Elektromanyetizma**).



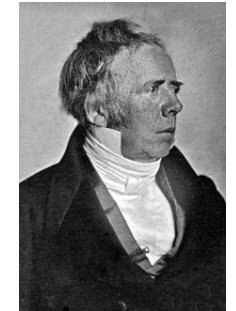
André-Marie Ampère
1775-1836



Michael Faraday
1791-1867



James Prescott Joule
1818-1889



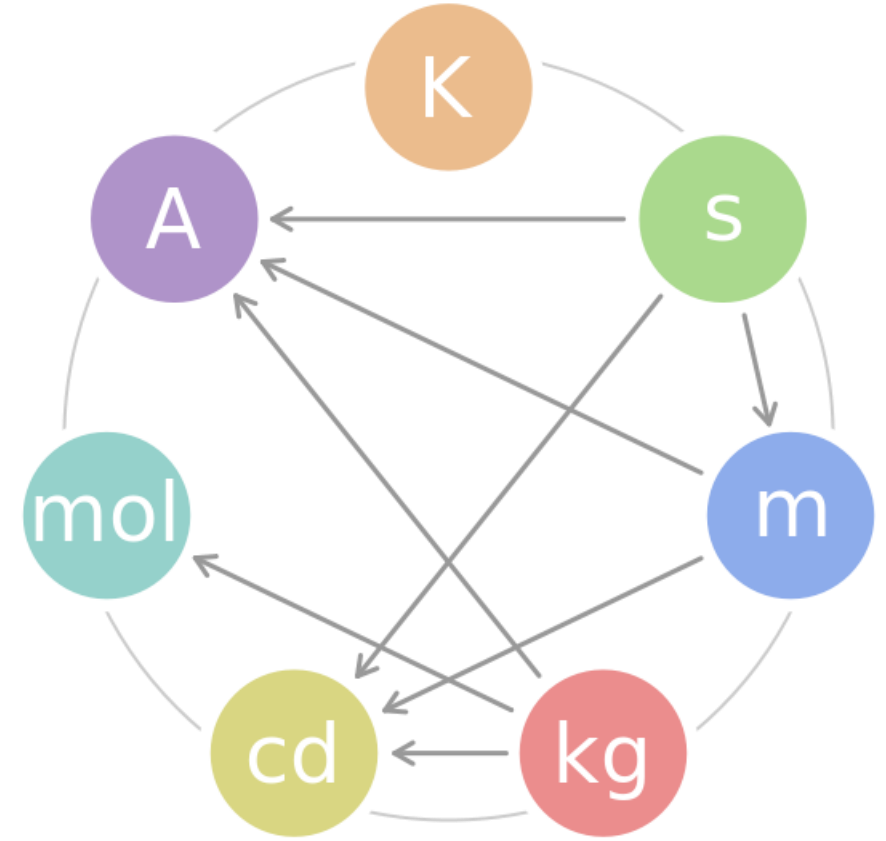
Hans Christian Ørsted
1777-1851

MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

Uluslararası Birim Sistemi (International System of Units (SI)):

Tüm birimler aşağıdaki 7 ana birim den türetilir

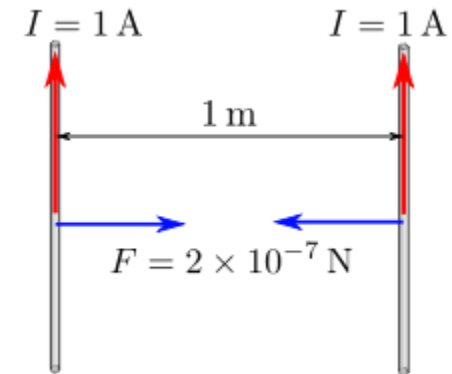
Uzunluk:	metre (m)
Kütle:	kilogram (kg)
Zaman:	saniye (s)
Elektrik akımı:	amper (A)
Sıcaklık:	kelvin (K)
Isık şiddeti:	candela (cd)
Miktar:	mol (mol)



Amper (A)

Gümüş Nitrat çözeltisinden 1 saniyede 0.001118000 gram gümüş çöktürmek için gereken akım miktarı.

Vakum altında, aralarında 1 m mesafe olan paralel 2 telin birbirlerine 2×10^{-7} N çekme kuvveti uygulaması için gereken akım miktarıdır.

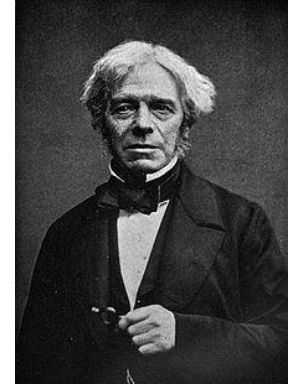
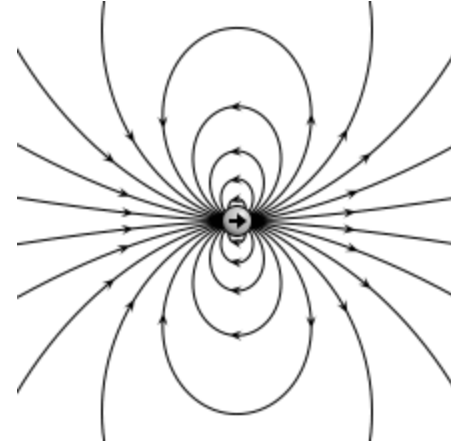


Elektrik alanı (field); E veya ξ :

Elektrik yüklü partiküller veya zamanla değişen manyetik alan ile oluşur.

Alan içerisindeki yüke kuvvet uygular:

$$F = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad F = qE \quad E = \frac{N}{C} = \frac{V}{m}$$



Michael Faraday
1791-1867

Elektrik potansiyeli (potential); V:

Elektrik potansiyeli bir elektriksel alan içerisindeki herhangi bir noktada birim Elektriksel yük (+1 C) başına düşen Elektriksel potansiyel enerji'dir.

$$V = \frac{J}{C}$$

Herhangi bir noktadaki elektriksel potansiyel olarak da tanımlanır.

$$V = k_e \frac{q}{r} \quad V: \text{volt}$$



Alessandro Volta
1745-1827

MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bir malzemenin en önemli elektriksel özelliklerinin başında malzemenin elektrik akımını ne kadar kolay ilettiği gelir.

Ohm Kanunu: Akım (birim zamanda geçen yük) ile uygulanan potansiyel arasındaki ilişkiyi kurar:

$$V = IR$$



Direnç (resistance)

(malzemenin akıma karşı göstermiş olduğu direnç)

$$\text{ohm } (\Omega) = \frac{V}{A}$$



Georg Simon Ohm
1789-1854

Direnç malzemelerin içsel (intrinsic) bir özelliği değildir çünkü malzemelerin boyut ve şekline bağlıdır.

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \rightarrow \begin{array}{l} \text{Voltaj farkı arasındaki mesafe} \\ \text{Kesit alanı} \end{array}$$

Özdirenç (resistivity):

$$\rho = R \frac{A}{\ell} \quad \text{ohm} \cdot m \text{ veya } (\Omega \cdot m)$$

İletkenlik (conductivity):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{\ell}{RA} \quad \text{mho} / m \text{ veya } (\Omega \cdot m)^{-1}$$

$$V = I \left(\frac{\ell}{\sigma A} \right)$$

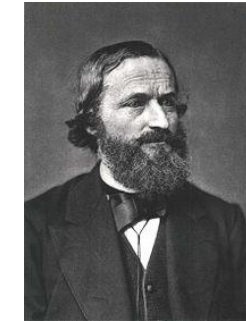


$$\frac{I}{A} = \sigma \frac{V}{\ell}$$



$$J = \sigma E$$

Akım yoğunluğu **Elektrik Alanı**
(A/m²) **(V/m)**



Gustav Robert Kirchhoff
1824 – 1887

General Conference on Weights and Measures

Meter:

Basis of definition	Date	Absolute uncertainty
1/10,000,000 part of the quarter of a meridian, astronomical measure by Bessel (443.44 lines)	1792	0.5–0.1 mm
1/10,000,000 part of the quarter of a meridian, measurement by Delambre and Mechain (443.296 lines)	1795	0.5–0.1 mm
First prototype <i>Metre des Archives</i> platinum bar standard	1799	0.05–0.01 mm
Platinum-iridium bar at melting point of ice (1st CGPM)	1889	0.2–0.1 μm
Platinum-iridium bar at melting point of ice, atmospheric pressure, supported by two rollers (7th CGPM)	1927	n.a.
Hyperfine atomic transition; 1,650,763.73 wavelengths of light from a specified transition in krypton -86 (11th CGPM)	1960	4 nm
Length of the path travelled by light in a vacuum in 1/299,792,458 of a second (17th CGPM)	1983	0.1 nm

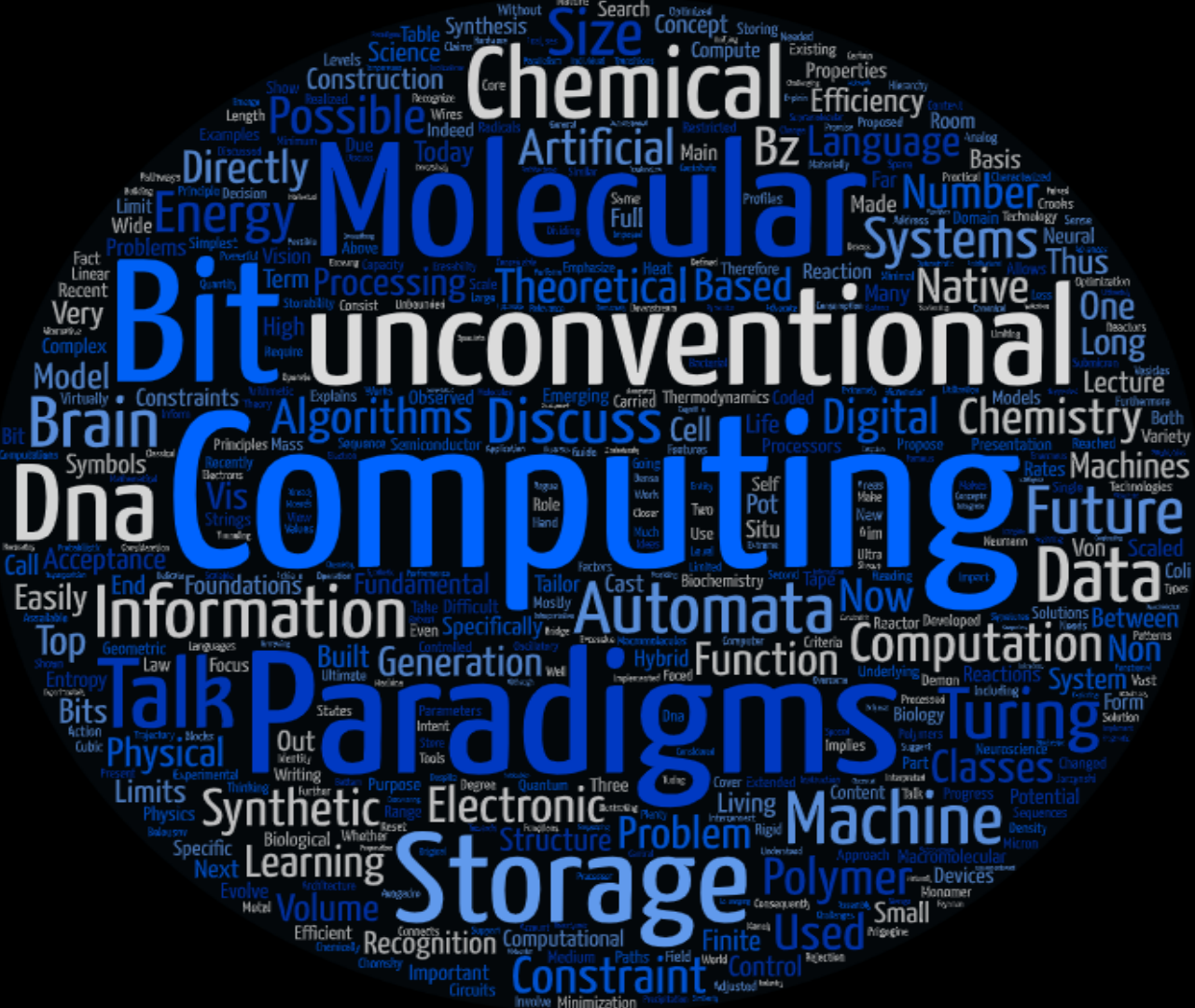
Second: the duration of 9,192,631,770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caesium-133 atom

At the mean sea level at a temperature of 0 K.

http://www.bipm.org/utils/common/pdf/si_brochure_8_en.pdf

You are invited to the:

UNCONVENTIONAL COMPUTING PARADIGMS CONFERENCE



July 20th 11:00 – 6:00 EDT

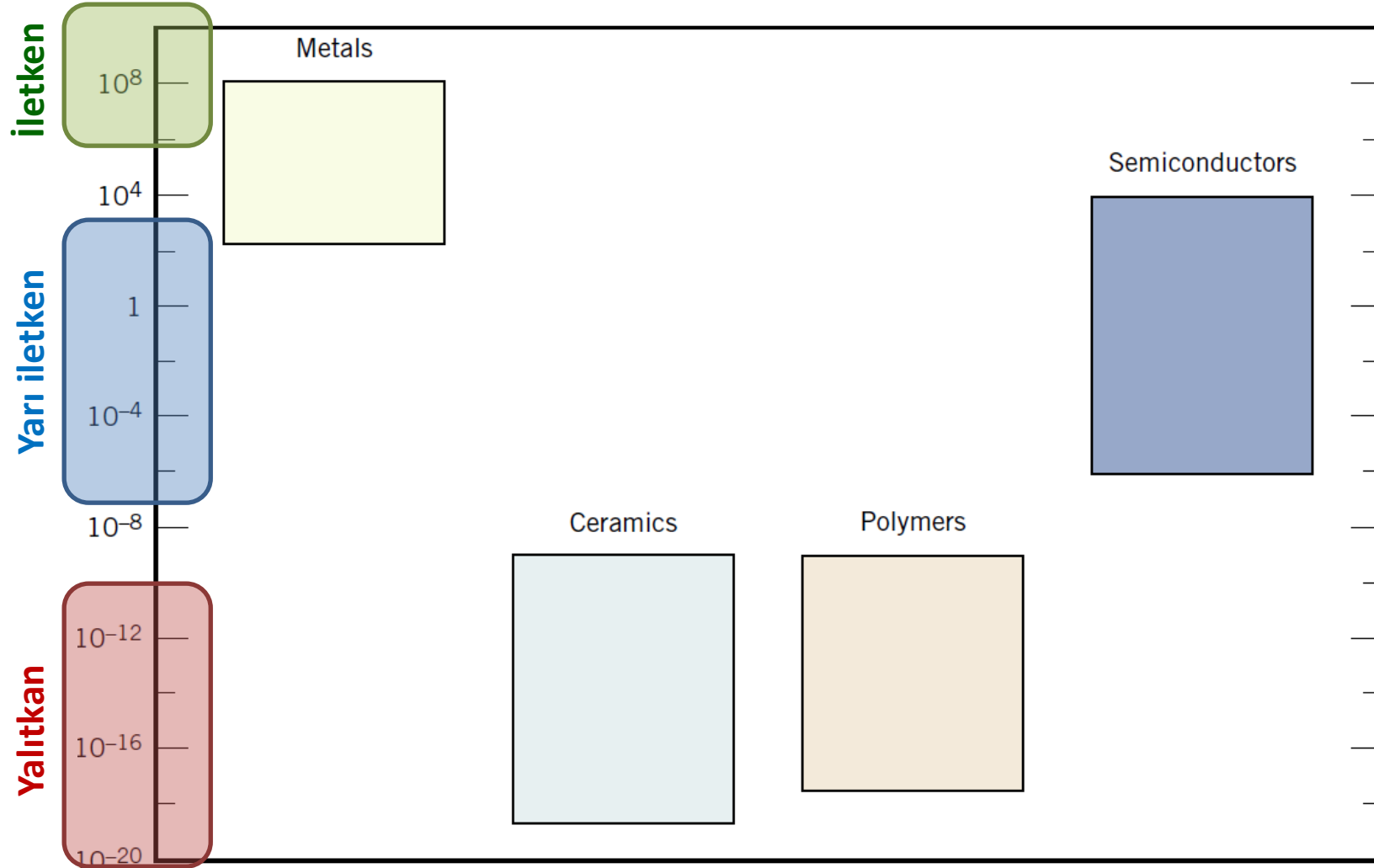


ibm.biz/Bdqg8L

Come to the workshop and see how the experts imagine the future computing paradigms. Will it be biological? chemical? physical?

Yalıtkanlar, Yarı iletkenler, İletkenler:

Malzemeler elektrik akımını ne kadar kolay ilettiğine göre üçe ayrılırlar



Güç Kaybı Elektrik akımı malzemelerde ısı üretir (**Joule Heating**).

$$P = VI = I^2R$$

$$\text{Watt(W)} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3} = V \cdot A$$

Soru

1.5 km uzunluğunda 50 A'lık akım taşıyacak bir güç kablosu tasarlayınız. Tasarım parametresi olarak kablodaki güç kaybının 5×10^5 W'tan fazla olmaması gerektiğini göz önüne alın.

Aşağıda verilen her üç malzemenin kullanılması durumunda kablo çapı ne olmalıdır?

Alüminyum: $\sigma_{Al} = 3.77 \times 10^5$ mho/cm

Bakır: $\sigma_{Cu} = 5.98 \times 10^5$ mho/cm

Gümüş: $\sigma_{Ag} = 6.80 \times 10^5$ mho/cm

$$P = VI = I^2R \quad \Rightarrow \quad R = \frac{P}{I^2} = \frac{5 \times 10^5 \text{ W}}{(50 \text{ A})^2} = 200 \text{ ohm}$$

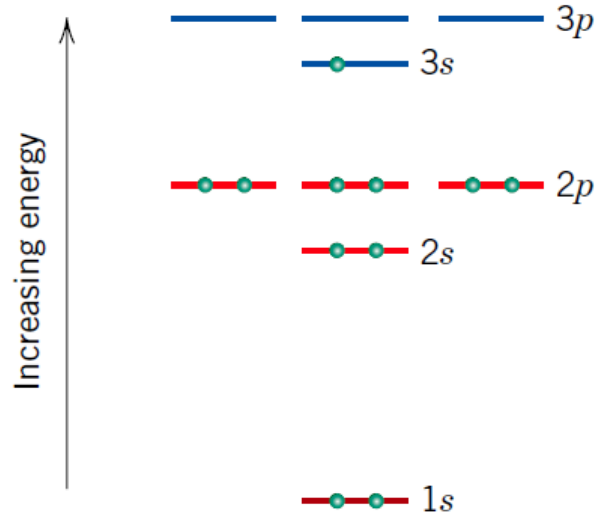
$$\sigma = \frac{\ell}{RA} \quad \Rightarrow \quad A = \frac{\ell}{R\sigma} \quad \Rightarrow \quad A_{Al} = \frac{1.5 \times 10^5 \text{ cm}}{200 \Omega \cdot 3.77 \times 10^5 \text{ mho/cm}} = 1.989 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \quad d_{Al} = 0.050 \text{ cm}$$

$$A_{Cu} = \frac{150000 \text{ cm}}{200 \Omega \cdot 5.98 \times 10^5 \text{ mho/cm}} = 1.254 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \quad d_{Cu} = 0.040 \text{ cm}$$

$$A_{Ag} = \frac{150000 \text{ cm}}{200 \Omega \cdot 6.80 \times 10^5 \text{ mho/cm}} = 1.103 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \quad d_{Ag} = 0.037 \text{ cm}$$

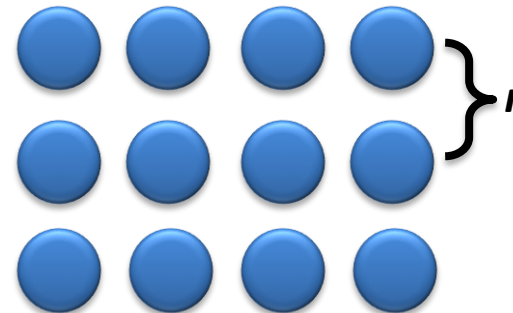
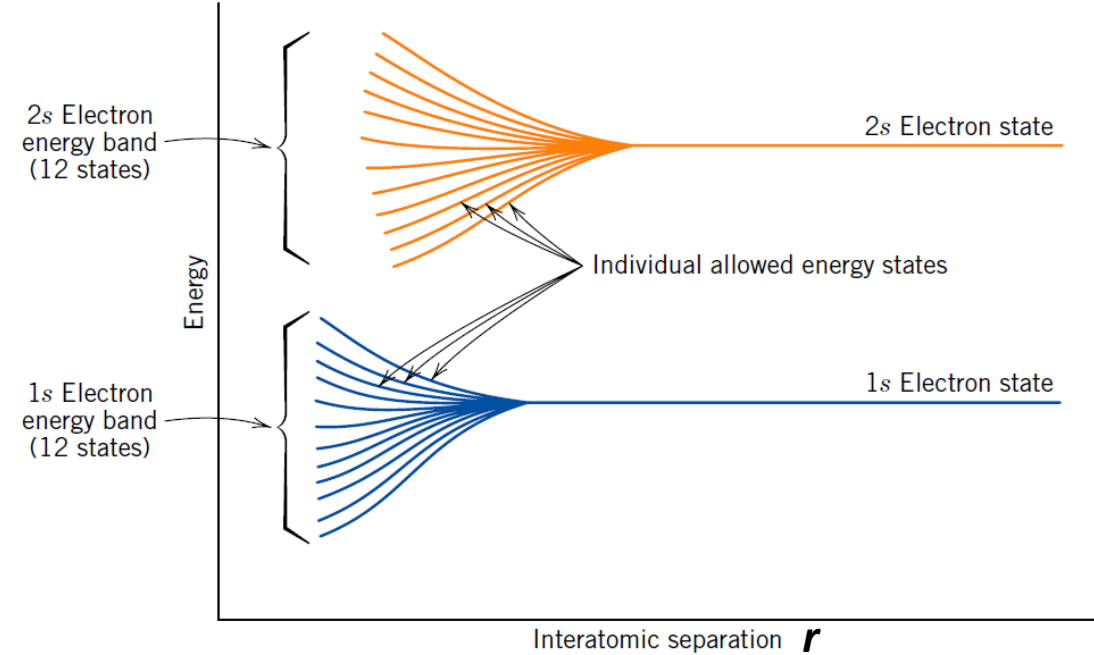
Katı Malzemelerde Bant Yapıları

Tek bir atom içerisindeki enerji düzeyleri

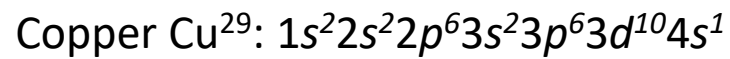
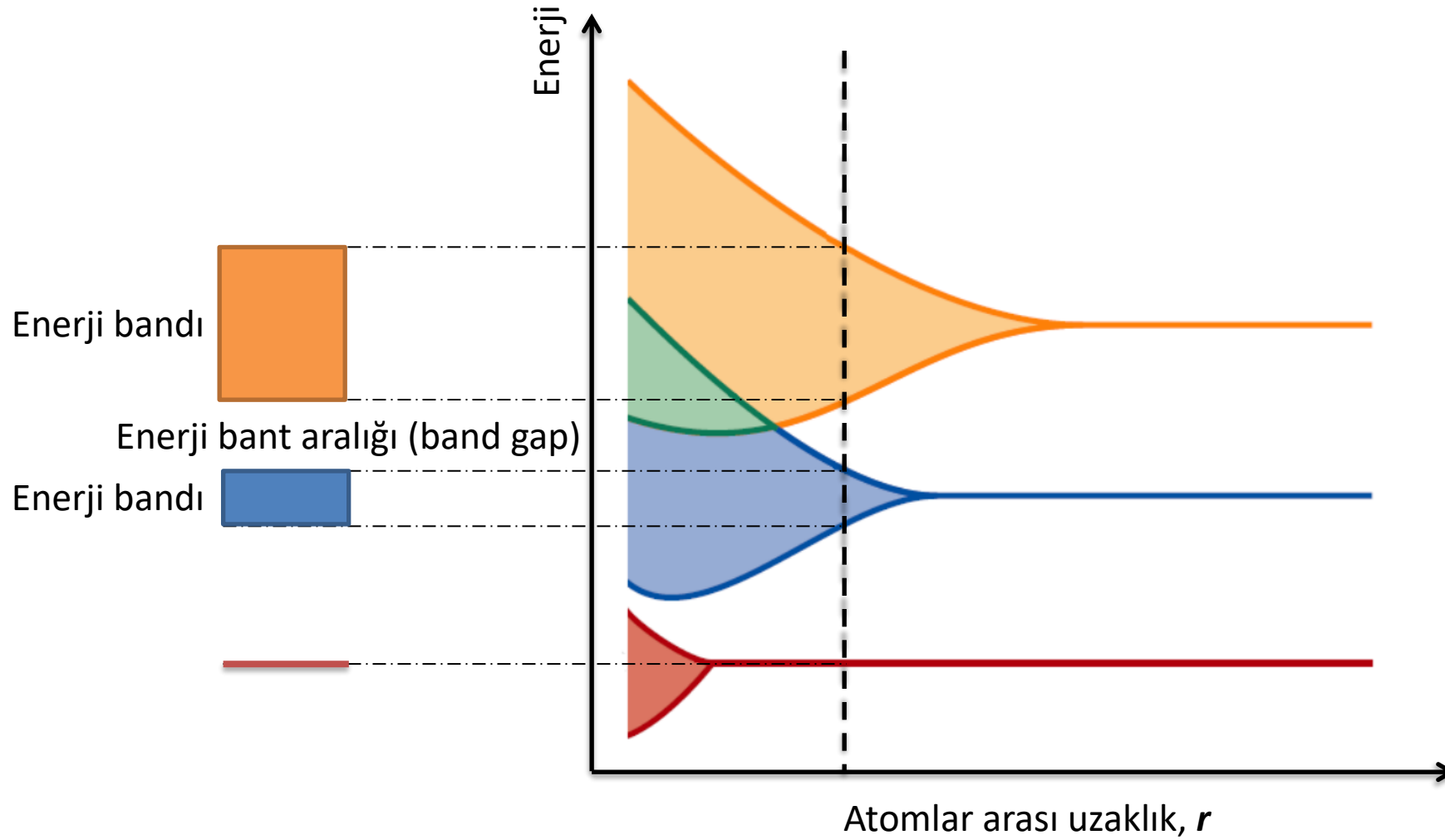


$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(r,t) = \left[\frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(r,t) \right] \Psi(r,t)$$

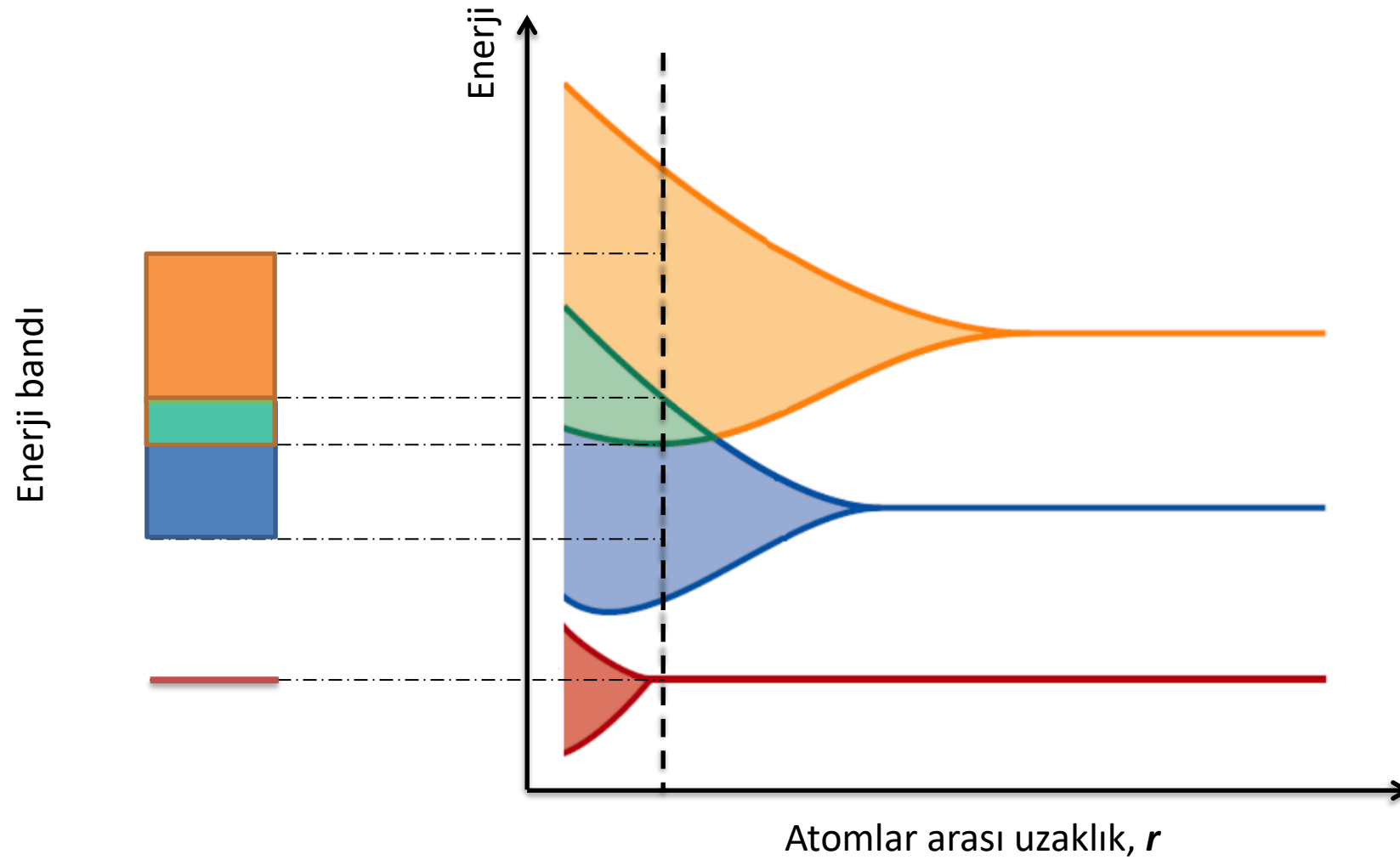
Atomlar bir araya gelerek katı yapıları oluşturduklarında elektronların enerji düzeyleri birbirlerinden etkilenmeye başlar:



Katı Malzemelerde Bant Yapıları



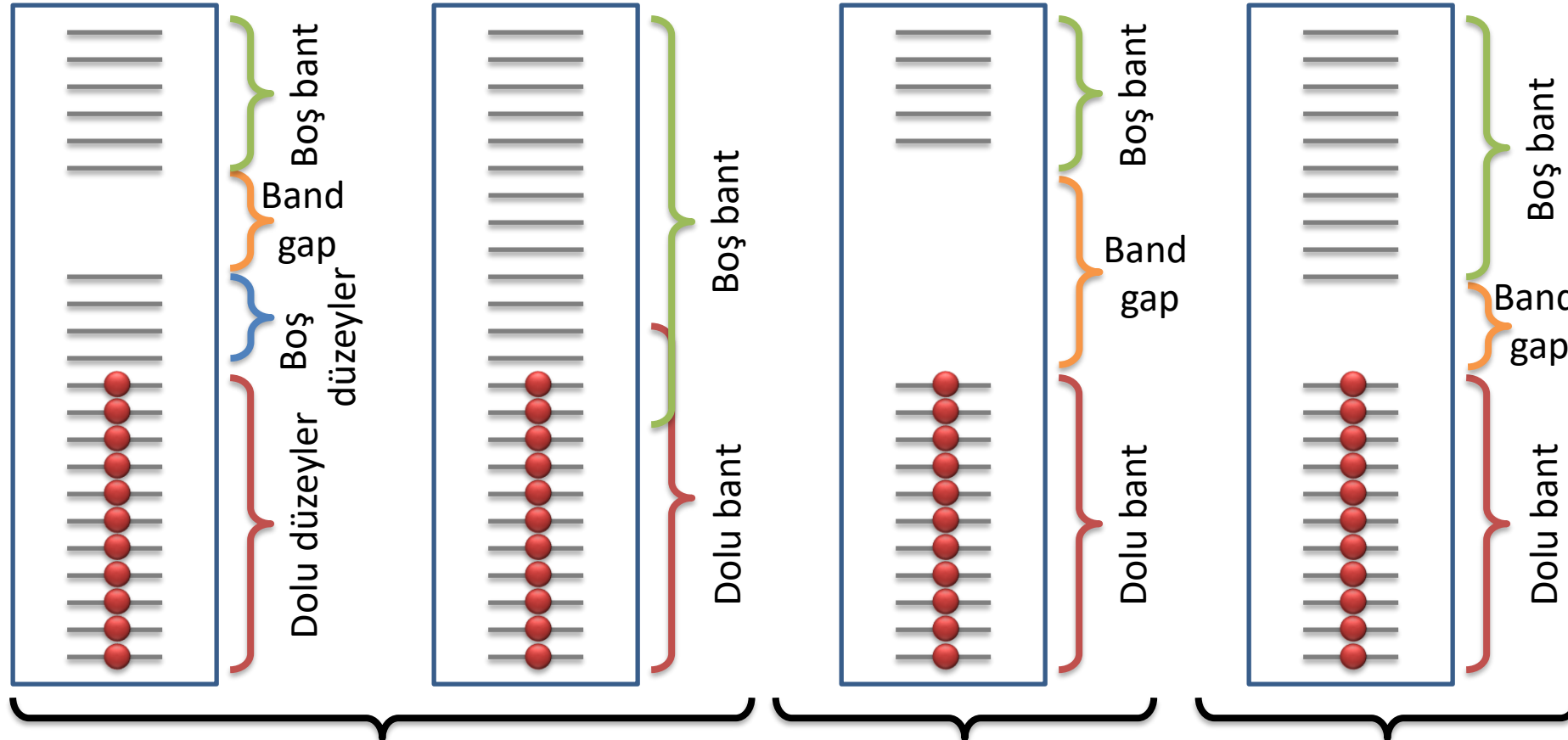
Katı Malzemelerde Bant Yapıları



Magnesium Mg^{12} : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

Fermi Enerjisi E_f : Bir malzemenin elektronlarının 0 °K'de sahip olduğu en yüksek enerji düzeyidir.



iletken

Copper Cu^{29} : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$

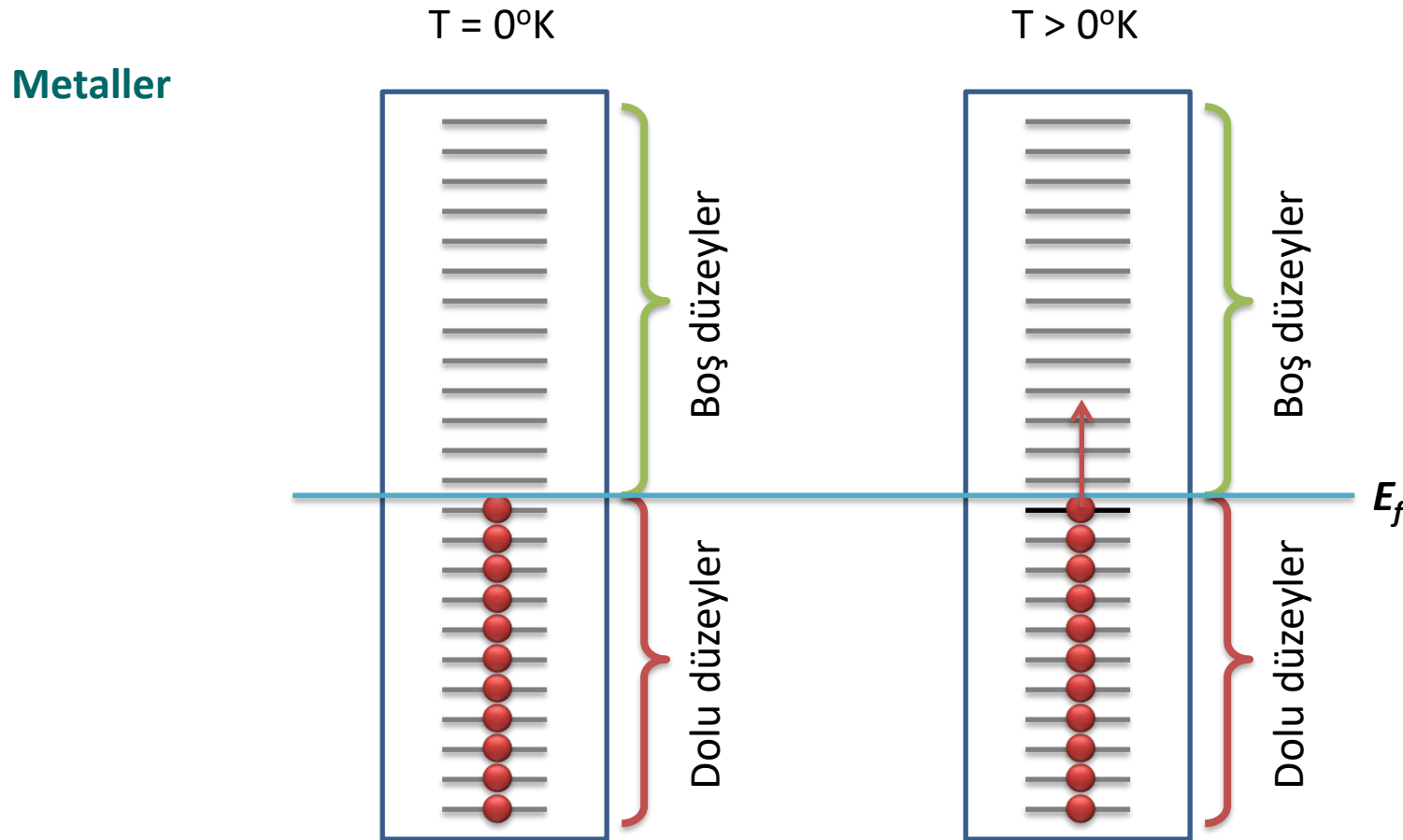
Magnesium Mg^{12} : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

Yalıtkan
 $bg > 2 \text{ eV}$

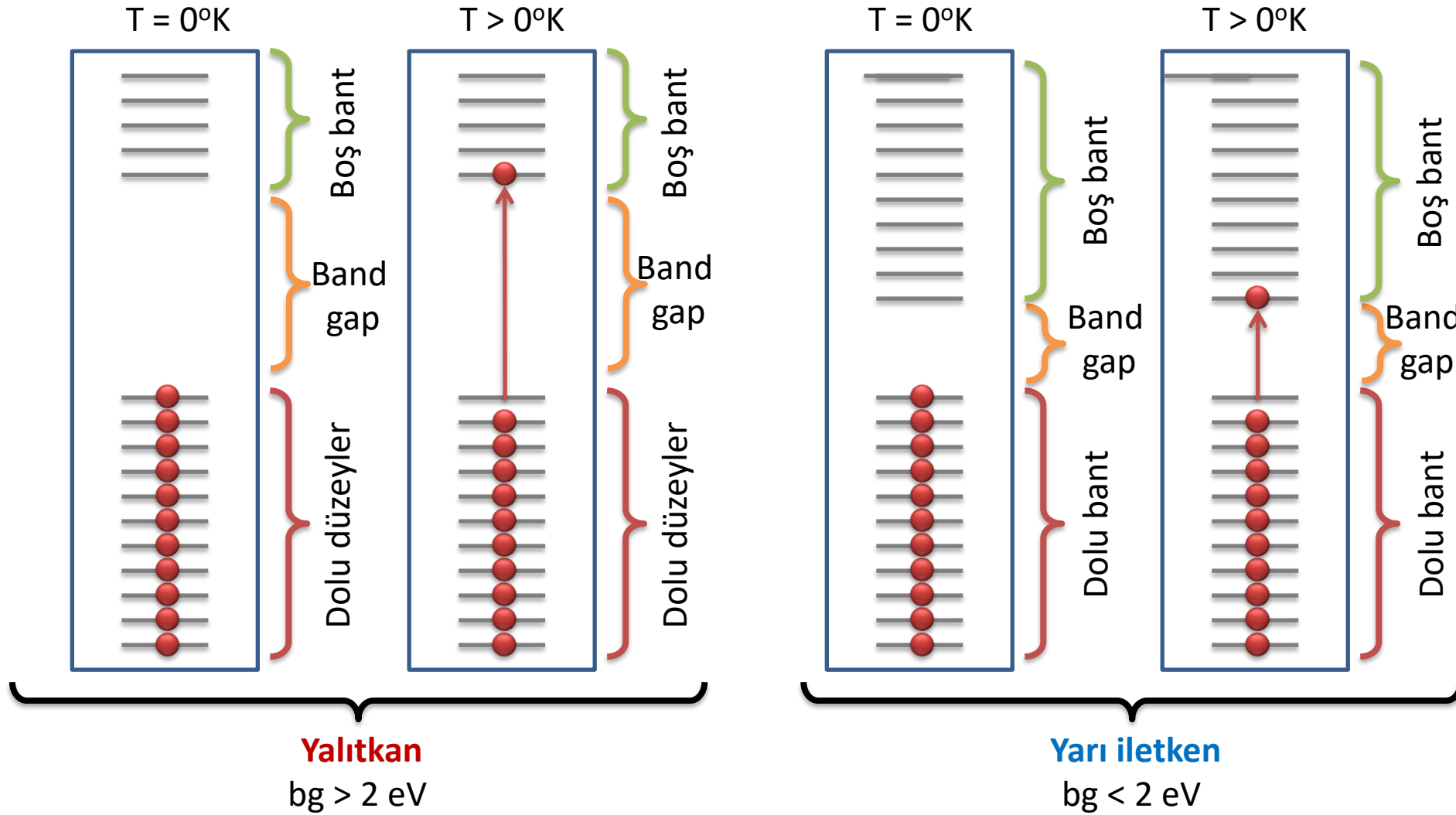
Yarı iletken
 $bg < 2 \text{ eV}$

Katı Malzemelerde Bant Yapıları ve Elektriksel İletkenlik

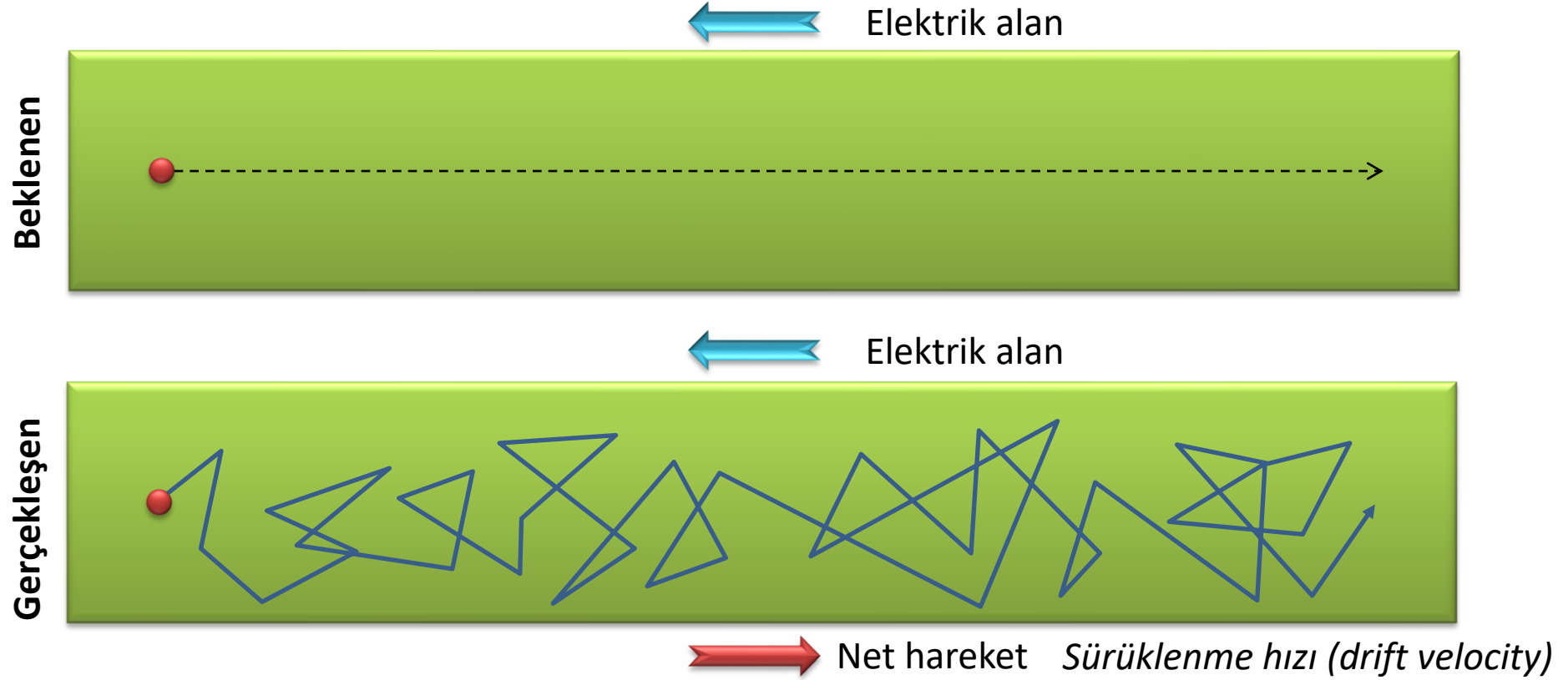
Serbest Elektronlar (free electrons): Malzemeler elektrik alana maruz kaldıklarında sadece Fermi enerjisinin üzerinde enerjilere sahip elektronlar ivmelenebilirler ve bu elektronlara serbest elektron denir.



Yalıtkanlar ve Yarıiletkenler



Elektron Hareketliliği (Electron Mobility)



Elektron saçılması (scattering): e^- 'lerin geçişine karşı bir dirençtir.

- Kristal kusurları (safsızlık atomları, boşluklar, arayer atomları, dislokasyonlar)
- Atomların titreşimleri

Elektron Hareketliliği (Electron Mobility)

Sürüklenme hızı (drift velocity): Ortalama elektron hızıdır.

$$\begin{array}{c} \text{Elektriksel alan} \\ \uparrow \\ v_d = \mu_e E \\ \downarrow \\ \text{Elektron hareketliliği (mobility)} \quad \text{m}^2/\text{V} \cdot \text{s} \end{array}$$

İletkenlik (conductivity):

$$\begin{array}{c} \sigma = n |e| \mu_e \\ \downarrow \\ \text{Birim hacimdeki serbest elektron sayısı} \end{array} \quad |e| = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

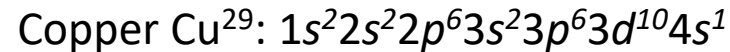
Soru

Aşağıdaki verileri kullanarak 100 cm uzunluğundaki bakır teldeki elektronların 10 V'luk voltaj farkı altındaki ortalama hızını bulunuz.

Not: Bakırdaki tüm valance elektronlarının akımda kullanıldığını varsayınız.

Bakır: YMK (FCC)

$$a_{Cu} = 3.6151 \text{ \AA}$$



$$\sigma_{Cu} = 5.98 \times 10^5 \text{ mho/cm}$$

$$\sigma = n|e|\mu_e \Rightarrow \mu_e = \frac{\sigma}{n|e|} \quad n = \frac{4 \text{ atoms/BH} \times 1 \text{ elektron/atom}}{(3.6151 \times 10^{-8} \text{ cm})^3} = 8.466 \times 10^{22} \text{ elektron/cm}^3$$

$$\Rightarrow \mu_e = \frac{5.98 \times 10^5 \text{ mho/cm}}{8.466 \times 10^{22} \text{ elektron/cm}^3 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C/elektron}} = 44.1 \frac{\text{cm}^2}{\Omega \cdot \text{C}} = 44.1 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$$

$$v_d = \mu_e \xi \Rightarrow \xi = \frac{V}{l} = \frac{10 \text{ V}}{100 \text{ cm}} = 0.1 \text{ V/cm} \quad \Rightarrow v_d = 44.1 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \times 0.1 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 4.41 \text{ cm/s}$$

Metallerde Özdirenç:

Table 18.1 Room-Temperature Electrical Conductivities for Nine Common Metals and Alloys

<i>Metal</i>	<i>Electrical Conductivity</i> [$(\Omega \cdot m)^{-1}$]
Silver	6.8×10^7
Copper	6.0×10^7
Gold	4.3×10^7
Aluminum	3.8×10^7
Brass (70Cu–30Zn)	1.6×10^7
Iron	1.0×10^7
Platinum	0.94×10^7
Plain carbon steel	0.6×10^7
Stainless steel	0.2×10^7

Sıcaklık etkisi:

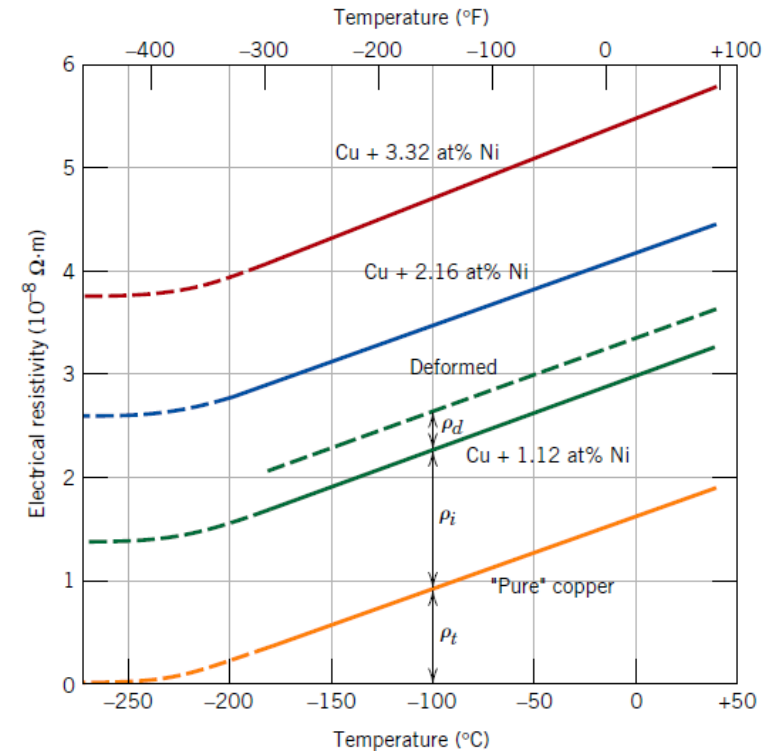
$$\rho_t = \rho_0 + aT$$

Safsızlık atomlarının etkisi: $\rho_i = A c_i (1 - c_i)$

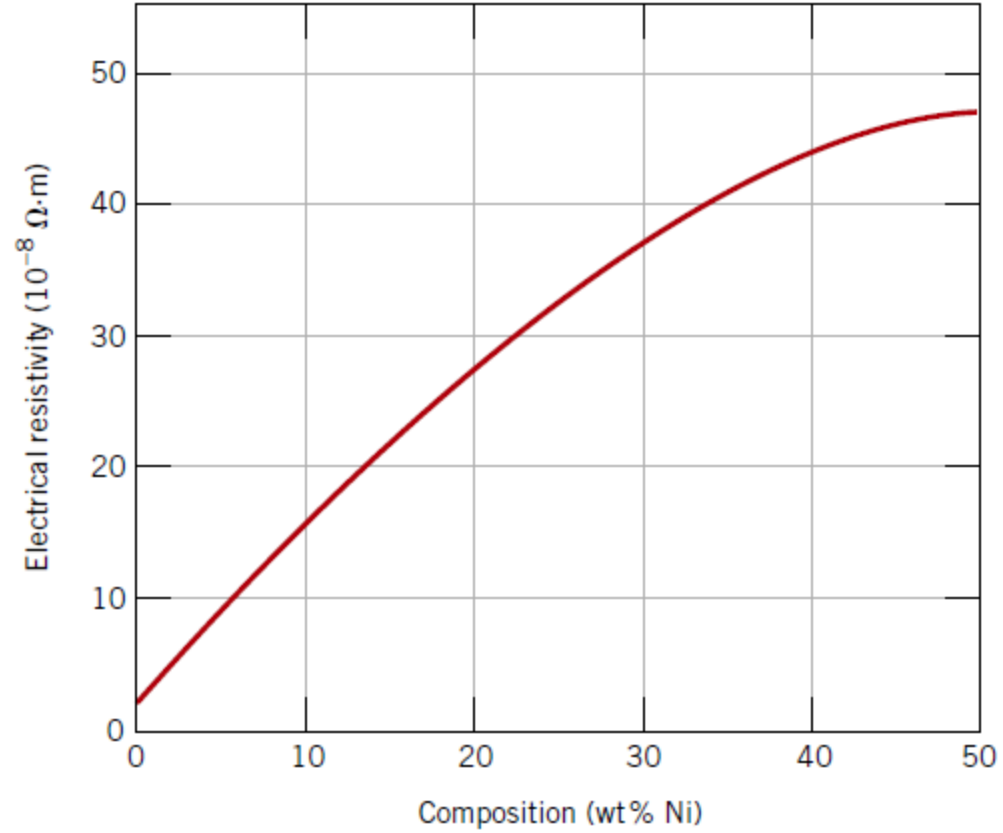
Metallerde Özdirenç için 3 ana katkı vardır:

- ısı (thermal),
- safsızlık (impurity) ve
- deformasyon (deformation)

Matthiessen's rule: $\rho_{total} = \rho_t + \rho_i + \rho_d$



Alaşımlarda Öz direnç:



Karışım Kuralı: $\rho = \rho_{\alpha}V_{\alpha} + \rho_{\beta}V_{\beta}$

Önümüzdeki Ders Saatinde

**ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER
ve
MALZEME TASARIMI**

adlı konuya devam edeceğiz!