

### Kap. 25 Strøm og resistans

**Til nå:** Elektrostatikk: Ladninger i ro.  
**Fra nå:** Elektrisk strøm: Ladninger i bevegelse.

**Målsetning:**  
 Grunnleggende forståelse for

- HVA elektrisk strøm er
- HVORFOR vi må ha elektrisk krets for å få strøm
- Ohms lov, makroskopisk og mikroskopisk

**Punktvis:**

- Strøm, driftsfart, strømtetthet
- Resistivitet og resistans
- Dissipativ energi i ledere.

### Elektronbevegelse i ledere

$E = 0$

Termisk fart  $10^5$  m/s

Netto forflytning = 0

Netto forflytning

Start

Slutt

Avbøyning pga.  $E$

(Fig. 25.27)

### Strøm og strømtetthet

$q = \text{coulomb/partikkel}$   
 $n = \text{partikler/volum}$

Ladning innenfor skive:  $dQ = q n \cdot (\text{volum}) = q n (v_d dt A)$   
 $\Rightarrow J = I/A = dQ/dt \cdot 1/A = q n v_d$   
 vektor:  $\mathbf{J} = q \cdot n \cdot \mathbf{v}_d$

(Fig 25.3)

### Folkevandringstelling

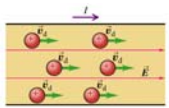
$d = v_d dt = 20 \text{ m}$

Antar alle har samme hastighet  $v_d = 2 \text{ m/s}$ .  
 Da er:  
 antall som passerer linja i  $dt = 10 \text{ s}$   
 = antall innenfor avstand  $d = v_d dt = 20 \text{ m}$  fra linja

## Strømtetthet og Ohms lov

**Strømtetthet**  $J = q \cdot n \cdot v_d$   
 enheter:  $A/m^2 = C/\# \cdot \#/m^3 \cdot m/s$   
 $q$  = coulomb per ladning (C/#)  
 $n$  = ant. ladn/volum ( $\#/m^3$ )  
 $v_d$  = driftsfart (m/s)

og  $v_d = \mu E$



gir Ohms lov:  $J = (q n \mu) E = \sigma E$  } mikroskopisk  
 $E = 1/\sigma J = \rho J$   
 $V = R I$  } makroskopisk

$\sigma = 1/\rho$

**TABLE 5-1 REPRESENTATIVE VALUES FOR CONDUCTIVITY OF SEVERAL MATERIALS AT ROOM TEMPERATURE, RANGING FROM GOOD CONDUCTORS TO GOOD INSULATORS**

Material	$\sigma$ ( $S m^{-1}$ )	Classification
Silver	$6.17 \times 10^7$	Conductors
Copper	$5.8 \times 10^7$	
Aluminum	$3.82 \times 10^7$	
Brass	$2.56 \times 10^7$	
Tungsten	$1.83 \times 10^7$	
Nickel	$1.45 \times 10^7$	
Iron	$1.03 \times 10^7$	
Nichrome	$0.1 \times 10^7$	
Mercury	$1.0 \times 10^6$	
Graphite	$\sim 3.0 \times 10^4$	
Sea water	$\sim 4.0$	Intrinsic semiconductor
Intrinsic germanium	$\sim 2.2$	
Ferrite	$\sim 1.0 \times 10^{-2}$	
Intrinsic silicon	$\sim 0.44 \times 10^{-3}$	Insulators
Distilled water	$\sim 1.0 \times 10^{-4}$	
Bakelite	$\sim 1.0 \times 10^{-9}$	
Glass	$\sim 1.0 \times 10^{-12}$	
Mica	$\sim 1.0 \times 10^{-15}$	
Fused quartz	$\sim 1.0 \times 10^{-17}$	

Enhet:  $\Omega^{-1}m^{-1} = Sm^{-1}$

## Tabell i Y & F: Resistivitet $\rho / \Omega m$

I metaller øker  $\rho$  med temp:  
 $\rho = \rho_0(1 + \alpha(T-T_0))$

**Table 25.1 Resistivities at Room Temperature (20 °C)**

Substance	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Substance	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )
<b>Conductors</b>			
<b>Metals</b>			
Silver	$1.47 \times 10^{-8}$	Pure carbon (graphite)	$3.5 \times 10^{-5}$
Copper	$1.72 \times 10^{-8}$	Pure germanium	0.60
Gold	$2.44 \times 10^{-8}$	Pure silicon	2300
Aluminum	$2.75 \times 10^{-8}$	<b>Insulators</b>	
Tungsten	$5.25 \times 10^{-8}$	Amber	$5 \times 10^{14}$
Steel	$20 \times 10^{-8}$	Glass	$10^{10}-10^{14}$
Lead	$22 \times 10^{-8}$	Lucite	$>10^{13}$
Mercury	$95 \times 10^{-8}$	Mica	$10^{11}-10^{15}$
<b>Alloys</b>			
Manganin (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%)	$44 \times 10^{-8}$	Quartz (fused)	$75 \times 10^{16}$
Constantan (Cu 60%, Ni 40%)	$49 \times 10^{-8}$	Sulfur	$10^{15}$
Nichrome	$100 \times 10^{-8}$	Teflon	$>10^{13}$
		Wood	$10^8-10^{11}$

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley

## Superledere

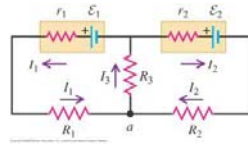
Resistans faller brått til  $\approx 0$  under gitt temp  $T_C$

**Konduktivitet:**  
 Halvledere:  $\sigma \approx 1 (\Omega m)^{-1}$   
 Metaller:  $\sigma \approx 10^7 (\Omega m)^{-1}$   
 Superledere:  $\sigma > 10^{20} (\Omega m)^{-1}$

- 1911: H Kammerlingh Onnes: Kvikksølv under 4,1 K
- 1957: BCS-teori (J Bardeen, LN Cooper, JR Schrieffer): Kvantemekanisk forklaring.
- 1986: J. Bednorz, KA Müller: Visse oksider: superledning opp til 100 K. (Flytende  $N_2$  har temp 77 K.)

Mer om superledere under magnetisme

### Kap.25 Kilder for ems (energikilder)



- Batteri: Kjemisk reaksjon (eks. bly/svovelsyre)
  - "Spenningsforsyning/strømforsyning"  
Energi fra 220 V - nettet via "boks med knapper"
  - 220 V - nettet får spenning/energi fra **energiverk**:
    - vannkraft
    - vind/bølger
    - varme: gass/kull/atom
    - solceller (max innstråling ca 1 kW/m<sup>2</sup>). Halvledermateriale
    - brenselceller (H<sub>2</sub> og O<sub>2</sub> gir vann og elektroner)
- Litt mer i Lillestøl, kap 22.1

### Kap. 25: Strøm og resistans Oppsummering

Strøm:  $I = dq/dt$  (enhet: C/s = A)  
 Strømtetthet  $\mathbf{J} = I/\text{areal} = nq\mathbf{v}_d$  (A/m<sup>2</sup>),  $\mathbf{v}_d$  = driftsfart  
 Ohms lov:  $\mathbf{E} = \rho \mathbf{J}$  eller  $V = RI$   
 resistans = motstand =  $R = \rho l/A$  (Ω)  
 resistivitet:  $\rho$  (Ω m)  
 konduktivitet:  $\sigma = 1/\rho$  (Ω<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>)  
 Effekt:  $P = IV = I^2 R = V^2/R$  (watt=W)

Kap 25.6 (Lill, kap 21.4):  
 Molekylær modell, les selv (orienterende stoff)

### Kap. 25: Strøm og resistans

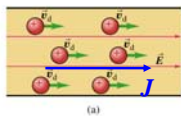
Fortegn:

Driftsfart:  $\mathbf{v}_d = \mu \mathbf{E}$

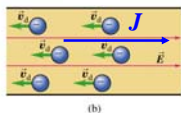
- +ladn:  $\mu > 0$
- ladn:  $\mu < 0$

Strømtetthet  $\mathbf{J} = nq\mathbf{v}_d = nq\mu \mathbf{E} = \sigma \mathbf{E}$

- +ladn:  $q > 0, \mu > 0, \sigma = nq\mu > 0$
- ladn:  $q < 0, \mu < 0, \sigma = nq\mu > 0$



dvs. positiv strøm  $\mathbf{J}$  går i samme retning som  $\mathbf{E}$ , uansett positive eller negative ladningsbærere.



Men (valens)elektroner beveger seg i motsatt retning av strøm  $I$ .

### Kap25 Driftsfart $\mathbf{v}_d$

- Beregning i seinere øvingsoppgave gir:
- Med normal strøm er elektronenes driftsfart i ledninger i størrelsesorden 0,1-1 m/time ~ 1-10 km / år, dvs. 100 år Trondheim-Oslo
- Vekselstrøm 50 Hz: typisk 5 μm utslag
- Men spenningen forplanter seg omtrent med lyshfarten!