

## Kap. 25 Strøm og resistans

**Til nå:** Elektrostatikk: Ladninger i ro.

**Fra nå:** Elektrisk strøm: Ladninger i bevegelse.

**Målsetning:**

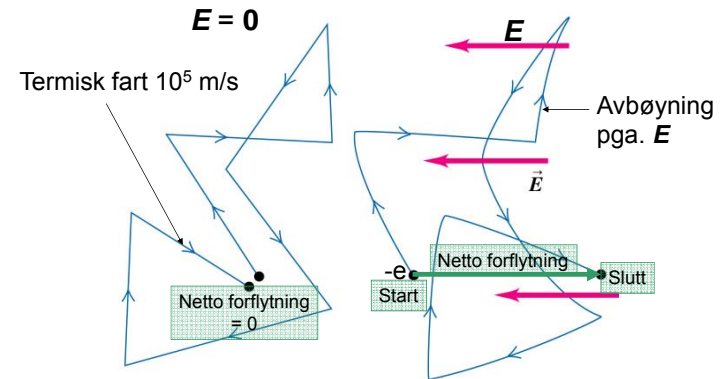
Grunnleggende forståelse for

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

**Punktvis:**

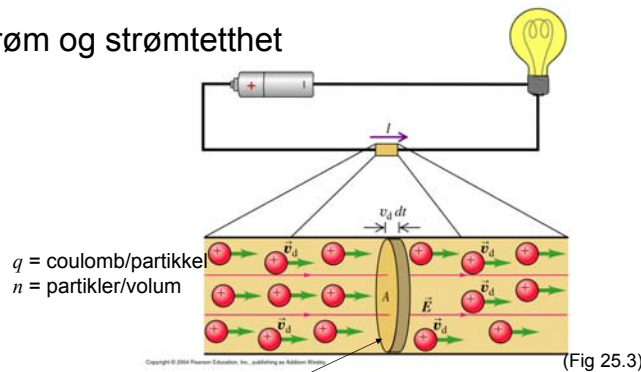
- Strøm, driftsfart, strømtetthet
- Resistivitet og resistans
- Dissipativ energi i ledere.

## Elektronbevegelse i ledere



(Fig. 25.27)

## Strøm og strømtetthet



(Fig 25.3)

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

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:  $\mathbf{J} = q \cdot n \cdot \mathbf{v}_d$

## Strømtetthet og Ohms lov

Strømtetthet  $\mathbf{J} = q \cdot n \cdot \mathbf{v}_d$

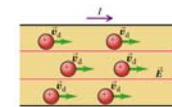
enheter:  $A/m^2 = C/\# \cdot \#/m^3 \cdot m/s$

$q = \text{coulomb per ladning (C/\#)}$

$n = \text{ant. ladn/volum (\#/m}^3\text{)}$

$v_d = \text{driftsfart (m/s)}$

og  $v_d = \mu E$



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

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

$\sigma = 1/\rho$

Material	$\sigma$ (S m <sup>-1</sup> )	Classification	Enhet: $\Omega^{-1}m^{-1} = Sm^{-1}$
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	$\sim 1.0 \times 10^{-17}$		

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

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<sub>2</sub> har temp 77 K.)

Mer om superledere under magnetisme

## Kap. 25: Strøm og resistans Oppsummering

Strøm:  $I = dq/dt$  (enhet: C/s = A)  
 Strømtetthet  $J = I/\text{areal} = nqv_d$  (A/m<sup>2</sup>),  $v_d$  = driftsfart  
 Ohms lov:  $E = \rho J$  eller  $V = RI$   
 resistans = motstand =  $R = \rho l / A$  ( $\Omega$ )  
 resistivitet:  $\rho$  ( $\Omega m$ )  
 konduktivitet:  $\sigma = 1/\rho$  ( $\Omega^{-1} m^{-1}$ )  
 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:  $v_d = \mu E$

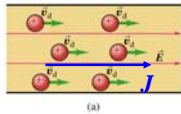
+ladn:  $\mu > 0$

- ladn:  $\mu < 0$

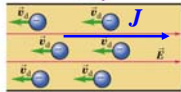
Strømtetthet  $J = nqv_d = nq\mu E = \sigma E$

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

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



(a)



(b)

dvs. positiv strøm  $J$  går i samme retning som  $E$ ,

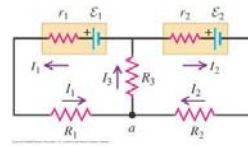
uansett positive eller negative ladningsbærere.

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

## Kap25 Driftsfart $v_d$

- Beregning i seinere øvingsoppgave gir:
- Elektronenes driftsfart i ledninger er i størrelsesorden 0,1-1 m/time  $\approx$  1-10 km / år, dvs. 100 år Trondheim-Oslo
- Vekselstrøm 50 Hz: typisk 5  $\mu$ m utslag
- Men spenningen forplanter seg omtrent med lysfarten!

## Kap.25 Kilder for ems (energikilder)



- Batteri: Kjemisk reaksjon (eks. bly/svovelsyre)
- "Spenningsforsyning/strømforsyning"  
Energi fra 220V-nettet via "boks med knapper"
- Generatorer (vann-/gass-/kull-/atomkraftverk).
- Brenselceller ( $H_2$  og  $O_2$  gir vann og elektroner)
- Solceller (max innstråling  $1\text{kW/m}^2$ )  
Halvledermateriale

Litt mer i Lillestøl, kap 22.1