

## Kap. 25 Strøm og resistans

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

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

### Målsetning:

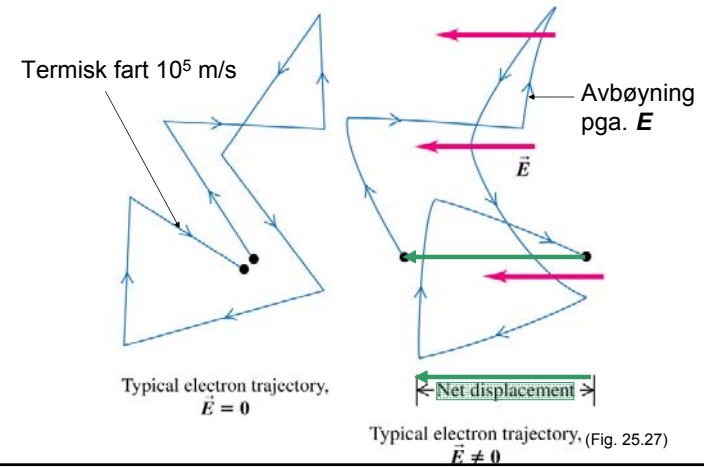
Grunnleggende forståelse for

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

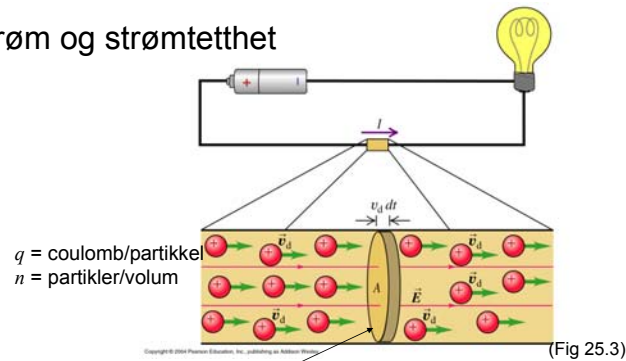
### Punktvis:

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

## Elektronbevegelse i ledere



## Strøm og strømtetthet



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

## Ohms lov

Strømtetthet  $\mathbf{J} = q \cdot n \cdot \mathbf{v}_d$  ( $A/m^2$ )

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

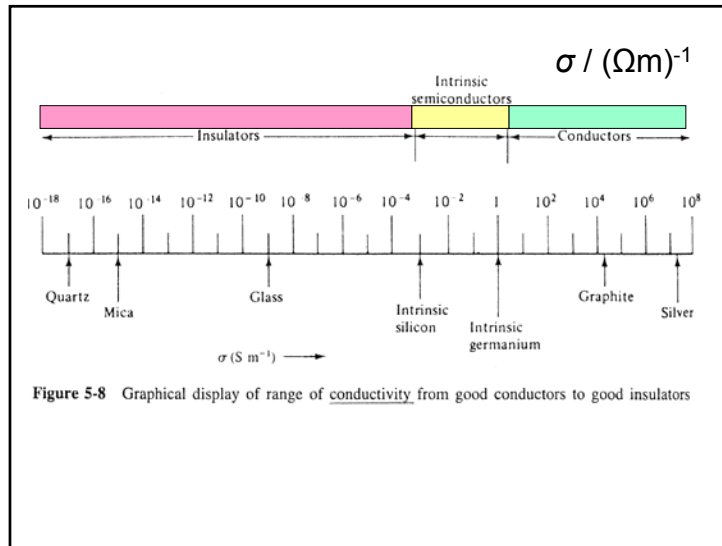
$q$  = coulomb per ladning (C/#)

$n$  = ant. ladm/volum ( $\#/m^3$ )

$v_d$  = driftsfart (m/s)

og  $v_d = \mu E$

gir Ohms lov:  $\mathbf{J} = (q n \mu) \mathbf{E} = \sigma \mathbf{E}$



**Tabell i Y & F:  
Resistivitet  $\rho / \Omega\text{m}$**

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

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

Substance	$\rho (\Omega \cdot \text{m})$	Substance	$\rho (\Omega \cdot \text{m})$
<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:  $\sigma \approx 1 (\Omega\text{m})^{-1}$   
 Metaller:  $\sigma \approx 10^7 (\Omega\text{m})^{-1}$   
 Superledere:  $\sigma > 10^{20} (\Omega\text{m})^{-1}$

- 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: Oppsummering Strøm og resistans

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

Oppklaring fortegn:

Driftsfart:  $v_d = \mu E$

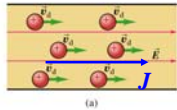
+ladn:  $\mu > 0$

- ladn:  $\mu < 0$

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

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

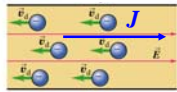
- ladn:  $q < 0, \mu < 0, \sigma = nq\mu > 0$



(a)

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

uansett positive eller negative ladningsbærere.

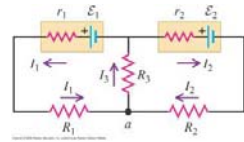


(b)

## 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