

Kap. 25

Strøm og resistans

Til nå: Elektrostatikk: Ladninger i ro.

Fra nå: Elektrisk strøm: Ladninger i bevegelse.

Målsetning:

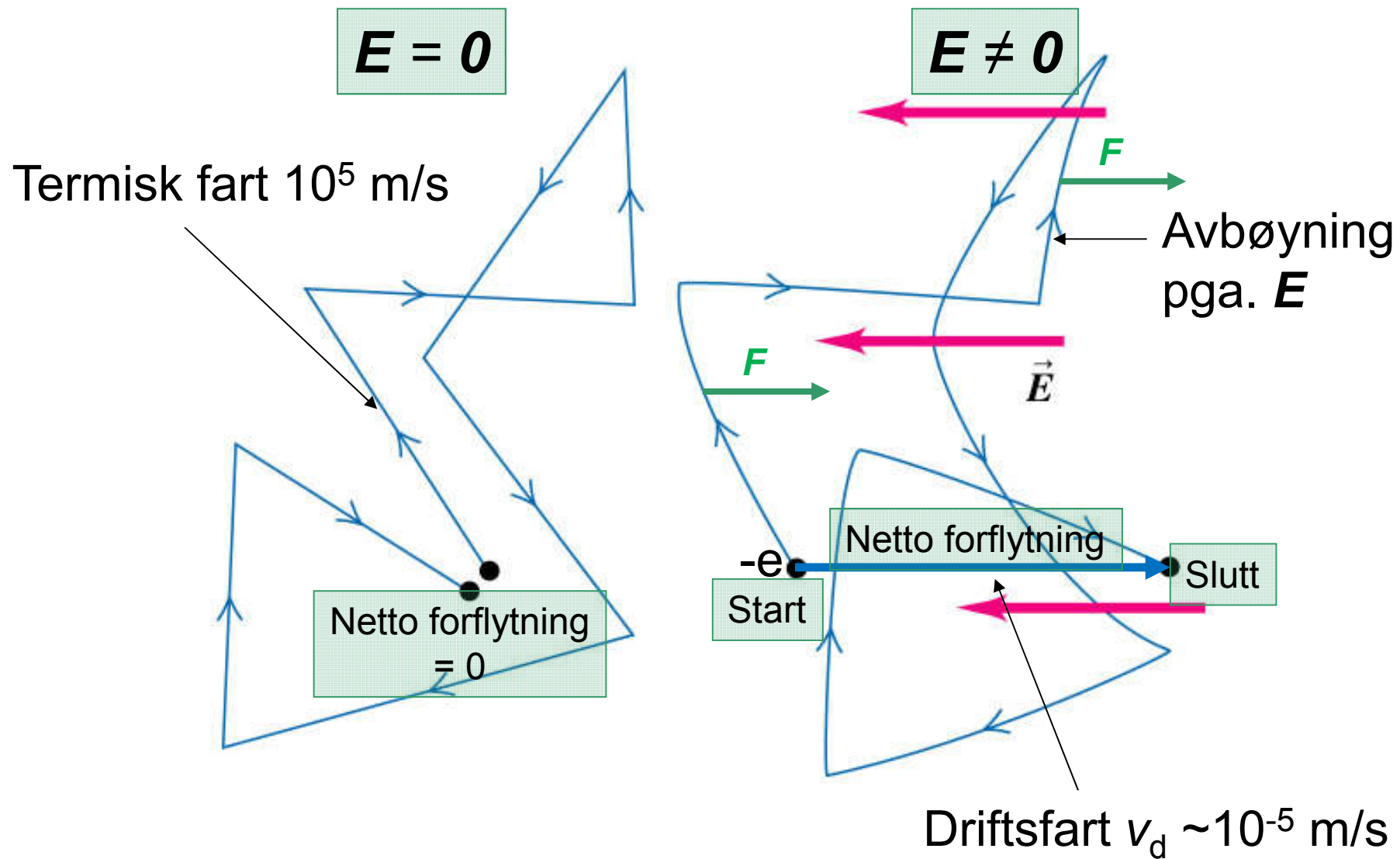
Grunnleggende forståelse for

- HVA elektrisk strøm er
- Hvorfor vi må ha ELEKTRISK KRETS for å få strøm
- Ohms lov, makroskopisk og mikroskopisk

Punktvis:

- Strøm, driftsfart, strømtetthet
- Resistans og resistivitet
- Dissipativ energi i ledere, effekt.

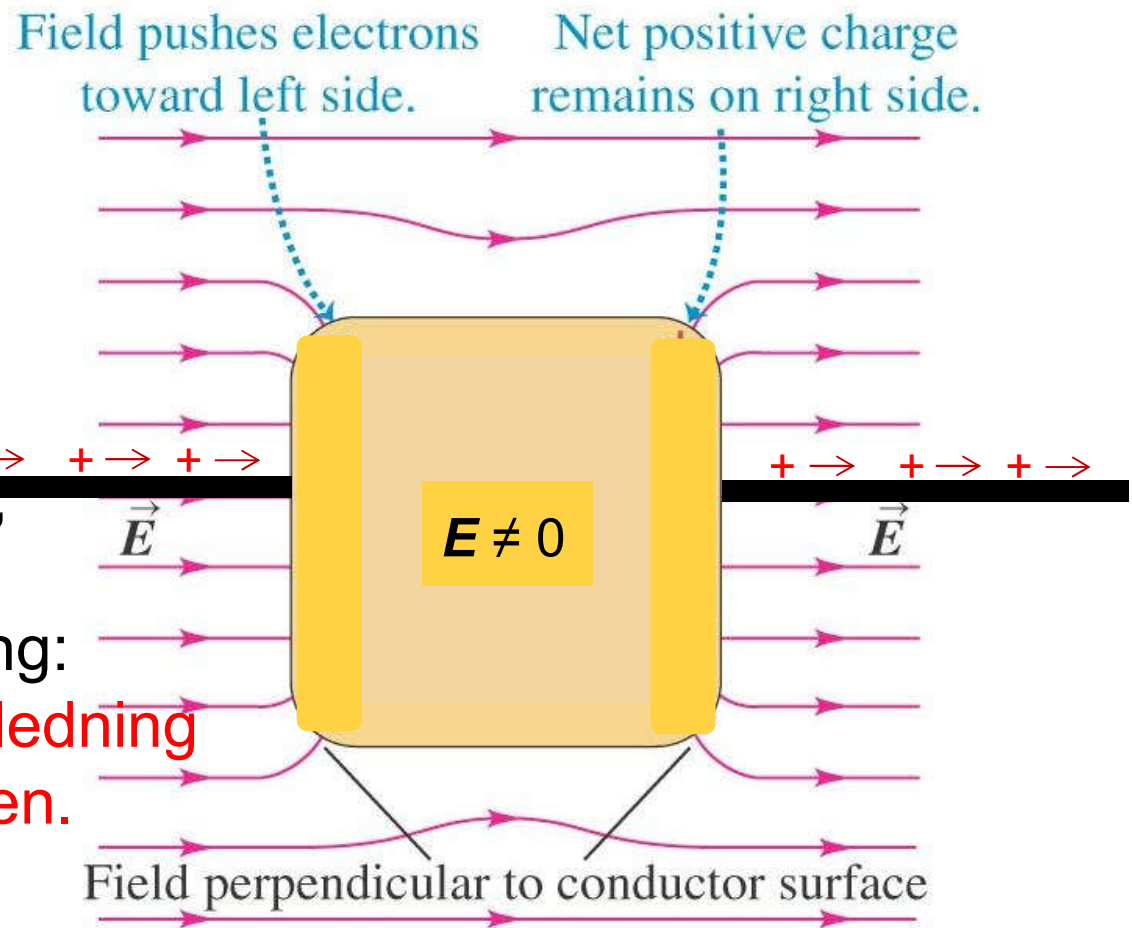
Elektronbevegelse i ledere



(Fig. 25.27)

Ledere i ytre E -felt

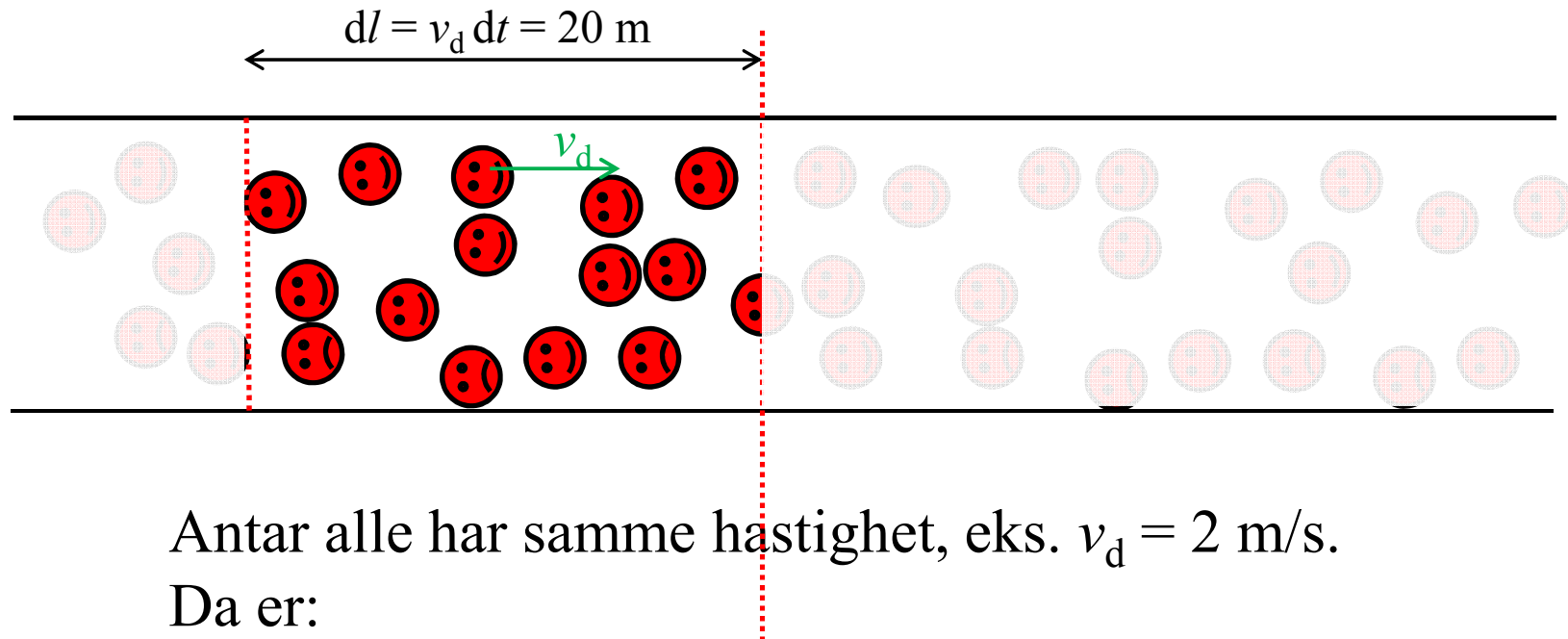
Ladninger forskyves,
inntil $\mathbf{E} = 0$
Lukket krets med spenning:
Ladninger forsvinner ut i ledning
og fylles på fra andre siden.



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

(fig 22.28a)

Folkevandringstelling



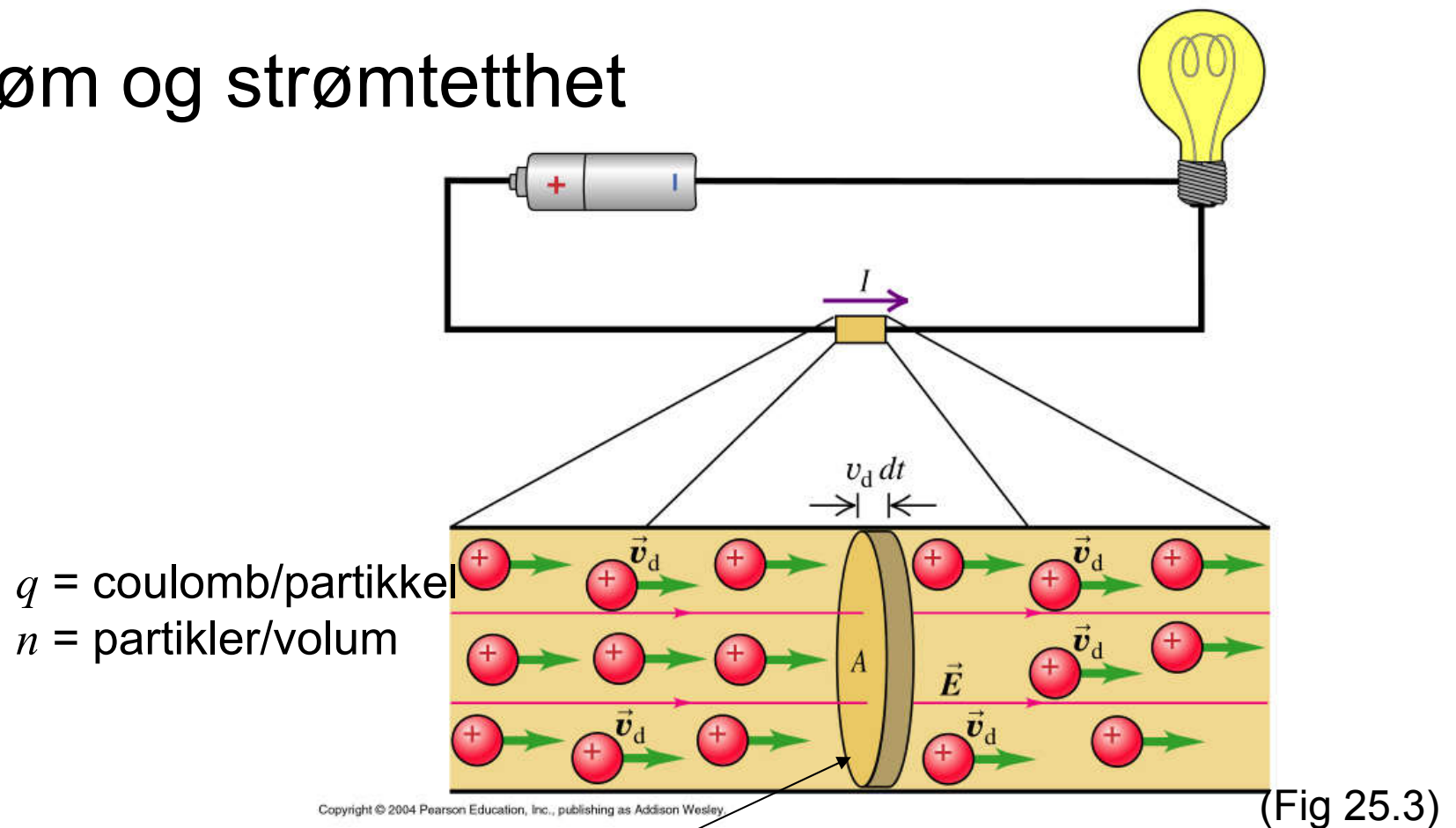
Antar alle har samme hastighet, eks. $v_d = 2 \text{ m/s}$.

Da er:

antall som passerer grensa i $dt = 10 \text{ s}$

= antall innenfor avstand $d/l = v_d dt = 20 \text{ m}$ fra linja

Strøm og strømtetthet



Ladning innenfor skive:

=>

$$dQ = q n \cdot (\text{volum}) = q n (v_d dt A)$$

$$J = I/A = dQ/dt \cdot 1/A = q n v_d$$

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

Strømtetthet og Ohms lov

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

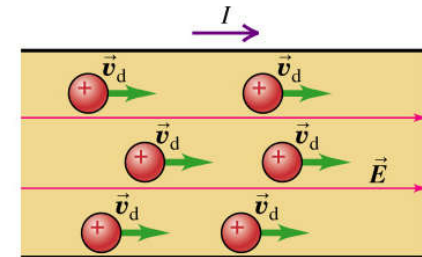
enheter: $\text{A/m}^2 = \text{C/\#} \text{ \#}/\text{m}^3 \text{ m/s}$

q = coulomb per ladning (C/#)

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

$\mathbf{v}_d$ = driftsfart (m/s)

$$\text{og } \mathbf{v}_d = \mu \mathbf{E}$$



$$\begin{aligned} \text{gir Ohms lov: } \mathbf{J} &= (q n \mu) \mathbf{E} = \sigma \mathbf{E} \\ \mathbf{E} &= 1/\sigma \mathbf{J} = \rho \mathbf{J} \\ V &= R I \end{aligned} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{mikroskopisk} \\ \\ \text{makroskopisk} \end{array}$$

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

$$\sigma = 1/\rho$$

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

Material	σ (S m^{-1})	Classification
Silver	6.17×10^7	Conductors
Copper	5.8×10^7	
Aluminum	3.82×10^7	
Brass	2.56×10^7	
Tungsten (wolfram)	1.83×10^7	
Nickel	1.45×10^7	
Iron	1.03×10^7	
Nichrome (Ni+Cr)	0.1×10^7	
Mercury (kvikksølv)	1.0×10^6	
Graphite	$\sim 3.0 \times 10^4$	
Sea water	~ 4.0	Intrinsic semiconductors
Intrinsic germanium	~ 2.2	
Ferrite	$\sim 1.0 \times 10^{-2}$	
Intrinsic silicon	$\sim 0.44 \times 10^{-3}$	
Distilled water	$\sim 1.0 \times 10^{-4}$	Insulators
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 $\rho / \Omega\text{m}$

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

Superledere

Resistans faller brått til ≈ 0 under gitt temp T_c

Konduktivitet:

Isolatorer:	$\sigma \sim 10^{-12} \text{ } (\Omega\text{m})^{-1}$
Halvledere:	$\sigma \sim 10^{-2} \text{ } (\Omega\text{m})^{-1}$
Metaller:	$\sigma \sim 10^7 \text{ } (\Omega\text{m})^{-1}$
Superledere:	$\sigma > 10^{20} \text{ } (\Omega\text{m})^{-1}$

- 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: Strøm og resistans

Oppsummering

Strøm: $I = dq/dt$ (enhet: C/s = A)

Strømtetthet $\mathbf{J} = I/\text{areal} = nq\mathbf{v}_d$ (A/m²), $\mathbf{v}_d$ = driftsfart

Ohms lov: $\mathbf{E} = \rho \mathbf{J}$ eller $V = RI$

resistans = motstand = $R = \rho l / A$ (Ω)

resistivitet: ρ ($\Omega \text{ m}$)

konduktivitet: $\sigma = 1/\rho$ ($\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$)

Kap 25.6 (Lill, kap 21.4):

Molekylær modell, les selv (orienterende stoff)

Kap. 25: Strøm og resistans

Fortegn:

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

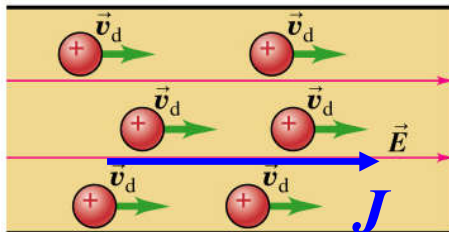
+ladn: $\mu > 0$

- ladn: $\mu < 0$

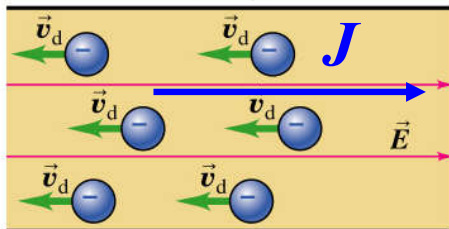
Strømtetthet $\mathbf{J} = nq\mathbf{v}_d = nq\mu \mathbf{E} = \sigma \mathbf{E}$

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

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



(a)



(b)

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

(Valens)elektroner beveger seg i motsatt retning av I og $\mathbf{J}$.

Kap. 25: Driftsfart v_d

- Beregning i seinere øvingsoppgave gir:
- Med normal strøm er elektronenes driftsfart i ledninger i størrelsesorden
ca 10^{-5} m/s $\sim$ 0,1-1 m/time $\sim$ 1-10 km / år,
dvs. 100 år Trondheim-Oslo
- Vekselstrøm 50 Hz: typisk 5 μ m utslag
- Men spenningen forplanter seg omtrent med lysfarten!