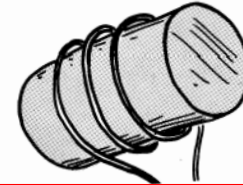


Magnetisme

- **Magnetostatikk** (ingen tidsvariasjon): $\partial \mathbf{B} / \partial t = 0$
- Kap 27. Magnetiske krefter
- Kap 28: Magnetiske kilder
- **Elektrodynamikk:** $\partial \mathbf{B} / \partial t \neq 0$
- Kap 29: Elektromagnetisk induksjon
- Kap 30: Induktans
- Kap 31: Vekselstrømskretser

FARADAY'S PARADOX

This is a coil of wire with a hunk of iron locked in it.

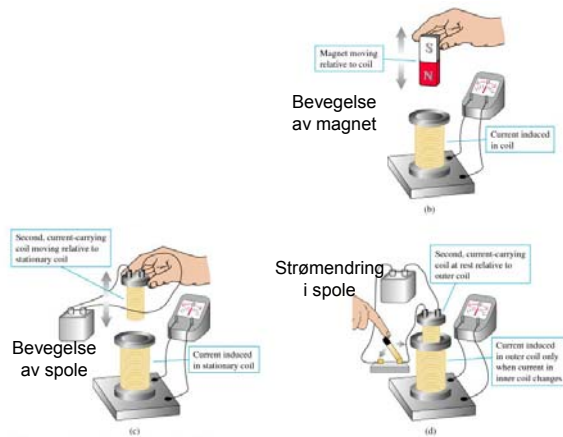


Hvilke er rett, a,b,c eller d?

- If current is made to flow in the wire, the iron becomes a magnet
- If the iron is a magnet, current is made to flow in the wire
- Both of the first two statements are true
- Both of the first two statements are false

Michael **Faraday** (eng. 1791-1867) og Joseph **Henry** (amer. 1797-1878):
1832: Strøm produseres ved **induksjon**:

Flere muligheter for induksjon:



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.

(Fig 29.1)

Faradays lov:

$$\mathcal{E} = - d\Phi_B / dt, \text{ der } \Phi_B = \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

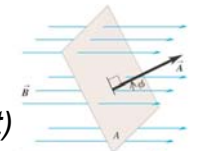
eller induert \mathbf{E} -felt: $\int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - d\Phi_B / dt$

Homogen \mathbf{B} og plan strømsløyfe:

$$\Phi_B = B A \cos \varphi = B(t) \cdot A(t) \cdot \cos \varphi(t)$$

Skal se på:

$$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ 2. & 1. & 3. \end{matrix}$$



(Fig 29.4)

Bevis av Faradays lov:
 1. Endring $A(t)$:
 $\mathcal{E} = -d\Phi_B/dt = -B \cdot dA(t)/dt \cdot \cos 0^\circ$

(Fig 29.11)

Induksjon: Lenz' lov

(Fig 29.14)

Le Chateliers prinsipp:

Et system i likevekt som påtvinges en endring: Systemet reagerer med å motvirke endringen.

(naturen er konservativ)

Faradays lov:
 3. Endring $\varphi(t)$:
 $\mathcal{E} = -d\Phi_B/dt = -B \cdot A \cdot d(\cos \varphi) / dt$

(Fig 29.8)

Faradays lov:
3. Endring $\varphi(t)$:
 $\mathcal{E} = - d\Phi_B/dt = - B \cdot A \cdot d(\cos \varphi) / dt$

Med kommutator (likeretter)

(Fig 29.10)

Virvelstrømmer.
 B -felt over en del av arealet i roterende metallskive.

Ems induseres i "staven" som sveiper over B -feltet

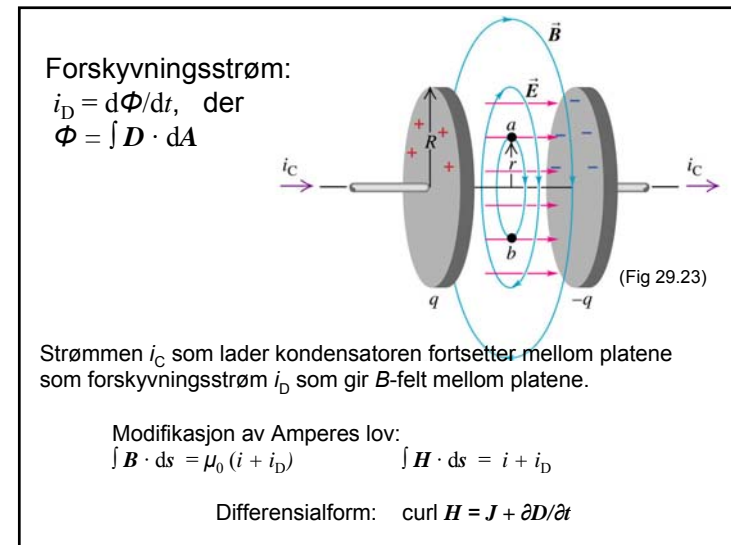
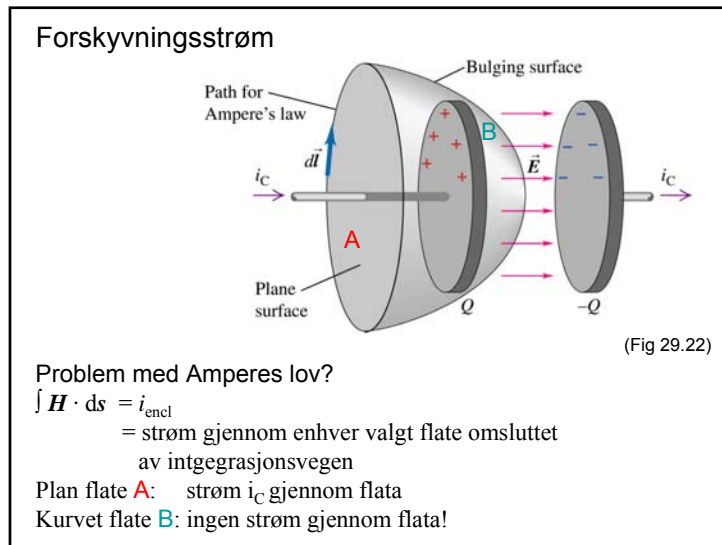
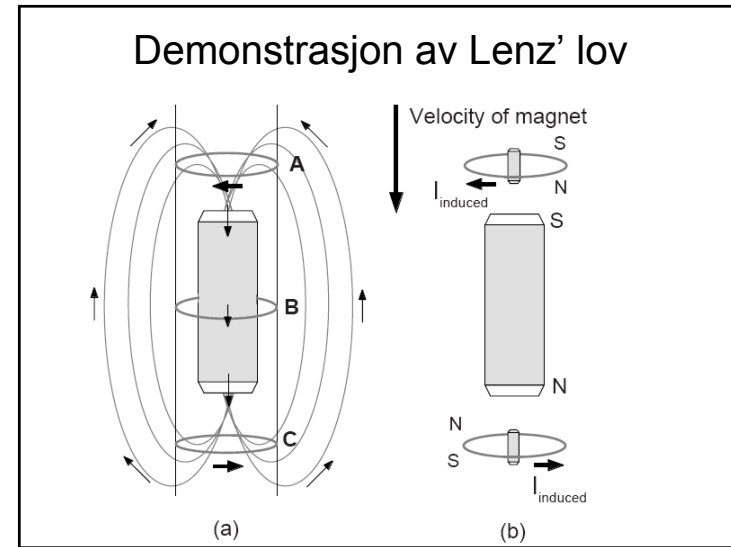
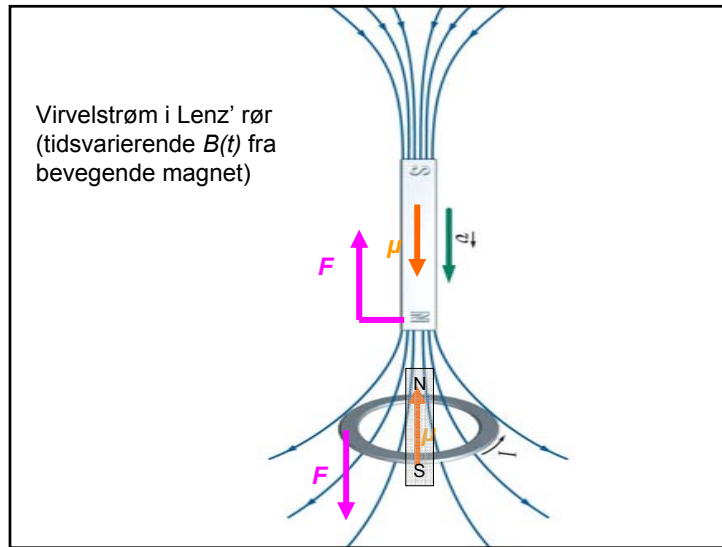
(Fig 29.19)

"Eddy current pendulum"

Video på nettside <http://demoroom.physics.ncsu.edu/html/demos/163.html>

Virvelstrømmer.
Anvendelser:

- Metalldetektor:
 - Minesøking
 - Sikkerhetskontroll flyplasser
 - Vannrør
 - Lyskryss
- Bremsere i tog/trikk/buss
 (virvelstrøm gir varme, evt. induksjonsbrems gir el.energi)
- Skille metall fra glass i søppelsortering
- Wattmålere
- Speedometre
- Induksjonskomfyrer
 (ferromagn.materiale i gryter for å gi høy B . Litt hysteresebidrag)
- Induksjonssveising.



Superledere

1. Resistans faller brått til ≈ 0 under gitt temp T_C

Resistivitet:

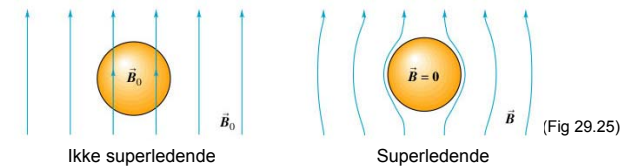
- Halvledere: $\rho \approx 1 \Omega\text{m}$
- Metaller: $\rho \approx 10^{-7} \Omega\text{m}$
- Superledere: $\rho < 10^{-20} \Omega\text{m}$

- 1911: H Kammerlingh Onnes: Kvikksølv under $T_C = 4,1 \text{ K}$ (Nobelpris fysikk 1913)
- 1957: BCS-teori (J Bardeen, LN Cooper, JR Schrieffer): Kvantemekanisk forklaring. (Nobelpris fysikk 1972)
- 1986: J. Bednorz, KA Müller: Visse oksider: superledning opp til $T_C \approx 100 \text{ K}$. (Flytende N_2 har temp 77 K.) (Nobelpris fysikk 1987)

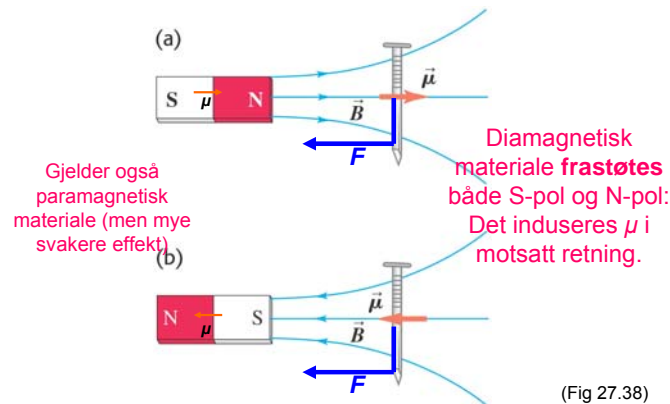
Superledere

2. Perfekt diamagnetisk: $\chi_m = -1$; $\mu_r = 0$ ved rimelig svake magnetfelt. (Meissnereffekt)

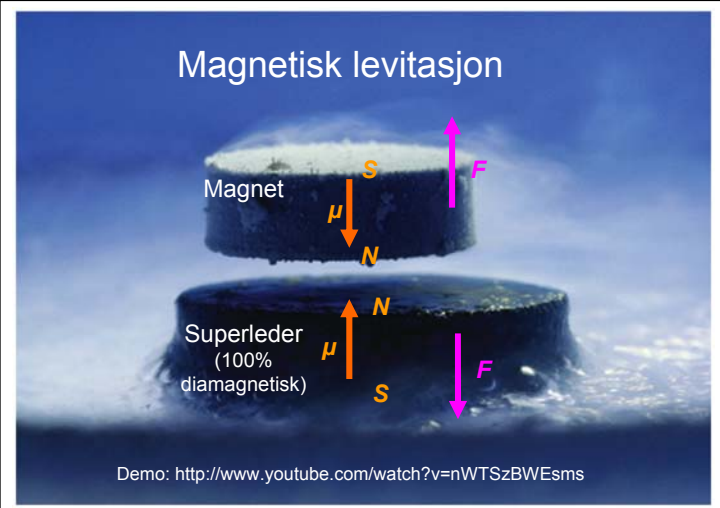
=>Magnetfelt trekker ikke inn i superledere, $B = \mu_r \mu_0 H = 0$ inni.

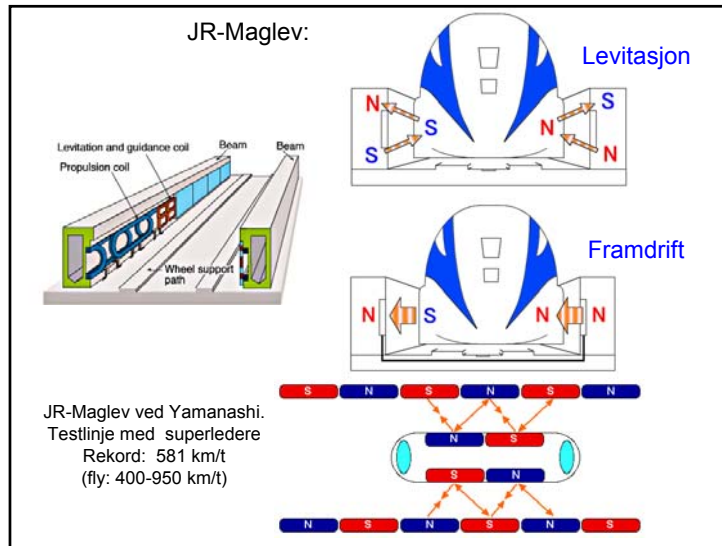


Jern tiltrekkes både S-pol og N-pol (i inhomogent felt).



Magnetisk levitasjon





Nytte av superledere:

- Produksjon av sterke B-felt ($> 1 \text{ T}$).
For eksempel MR-instrument i medisin og NMR-instrument i vitenskapen
- Magnetisk levitasjon.
For eksempel Maglev-tog (magnet-svevetog):
http://en.wikipedia.org/wiki/Maglev_train
- Ikke økonomisk til bruk i elektrisk kraftoverføring.

Kap. 29: Oppsummering: Elektromagnetisk induksjon

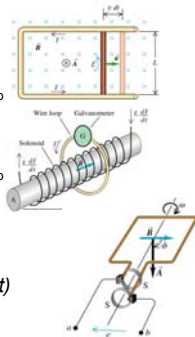
- Faradays lov for homogent \mathbf{B} -felt og plan strømsløyfe:
$$\mathcal{E} = -d\Phi_B/dt = -d/dt \{B(t) \cdot A(t) \cdot \cos\varphi(t)\}$$

- Tre ulike tilfeller:

1) Bevegelsesindusert, endring i $A(t)$:
$$\mathcal{E} = -d\Phi_B/dt = -B \cdot dA(t)/dt \cdot \cos 0^\circ$$

2) Tidsvariasjon i $B(t)$:
$$\mathcal{E} = -d\Phi_B/dt = -dB(t)/dt \cdot A \cdot \cos 0^\circ$$

3) Rotasjon, endring i $\varphi(t)$:
$$\mathcal{E} = -d\Phi_B/dt = -B \cdot A \cdot d(\cos \varphi) / dt$$



Kap. 29: Oppsummering: Elektromagnetisk induksjon

- Faradays lov:
$$\mathcal{E} = -d\Phi_B/dt, \quad \text{der } \Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}.$$

Dvs: endring i magnetisk fluks Φ_B induserer ems.
Generelt, induksjon av \mathbf{E} -felt i lukket kurve:
$$\int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \mathcal{E} = -d\Phi_B/dt$$
- Lenz' lov: Indusert strøm motsetter seg fluksendringen.
- Virvelstrømmer.
- Forskyvningsstrøm: $I_D = d\Phi/dt$, der $\Phi = \int \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A}$.
Modifikasjon av Amperes lov:
$$\int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 (I + I_D) \quad \int \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = I + I_D$$

Differensialform: $\text{curl } \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$

Kap. 29: Oppsummering: Superledere

1. Resistans faller brått til ≈ 0 under gitt temp T_c

	Resistivitet:
Halvledere:	$\rho \approx 1 \text{ } \Omega\text{m}$
Metaller:	$\rho \approx 10^{-7} \text{ } \Omega\text{m}$
Superledere:	$\rho < 10^{-20} \text{ } \Omega\text{m}$

2. Perfekt diamagnetisk: $\chi_{\text{m}} = -1$; $\mu_r = 0$ ved rimelig svake magnetfelt.
 $B=0$ inni superledere (Meissnereffekt).
 Sterk frastøtning av magneter.

Maxwells fire likninger

Integralform

Differensialform

$$\oint \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q \quad \boxed{\text{Gauss' lov } \mathbf{D}} \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad \boxed{\text{Gauss' lov } \mathbf{B}} \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = I + \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad \boxed{\text{Amperes lov}} \quad \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t} \quad \boxed{\text{Faradays lov}} \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$