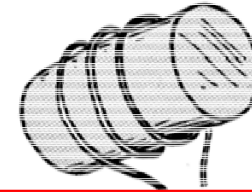


Magnetisme

- **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
- Kap 32: Elektromagnetiske bølger

FARADAY'S PARADOX

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

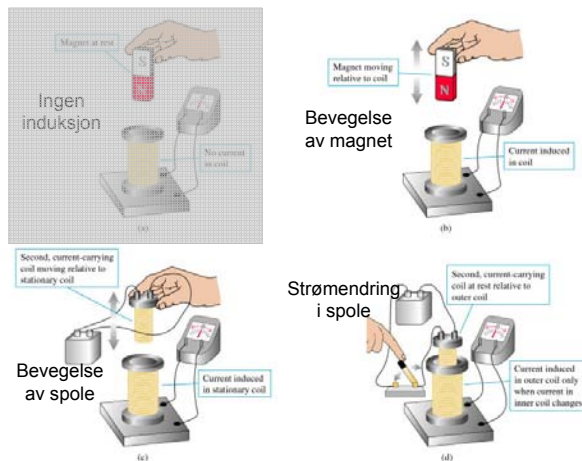


Hvilke er rett, a,b,c eller d?

- a) If current is made to flow in the wire, the iron becomes a magnet
- b) If the iron is a magnet, current is made to flow in the wire
- c) Both of the first two statements are true
- d) 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:



(Fig 29.1)

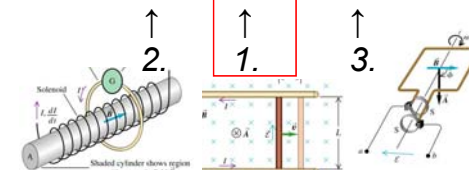
Faradays lov:

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

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

Homogen **B** og plan strømsløyfe:

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



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:
 2. Endring $B(t)$:
 Indusert e.m.s: $\mathcal{E} = -d\Phi_B/dt = -dB(t)/dt \cdot A \cdot \cos 0^\circ$
 bedre: induisert E -felt: $\int \vec{E} \cdot d\vec{s} = -d\Phi_B/dt$

(Fig 29.17)

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)

Kap. 29: Oppsummering:
Elektromagnetisk induksjon

- Faradays lov for homogent 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 $A(t)$:
$$\mathcal{E} = - d\Phi_B/dt = - B \cdot dA(t)/dt \cdot \cos\varphi$$
 - 2) Tidsvariasjon i $B(t)$:
$$\mathcal{E} = - d\Phi_B/dt = - dB(t)/dt \cdot A \cdot \cos\varphi$$
 - 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:
$$\mathcal{E} = - d\Phi_B/dt, \text{ der } \Phi_B = \int B \cdot dA.$$

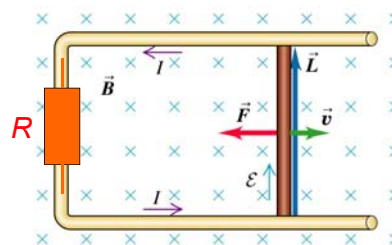
Dvs: endring i magnetisk fluks Φ_B induserer ems.
- Generelt, induksjon av E -felt i lukket kurve:
$$\int E \cdot ds = \mathcal{E} = - d\Phi_B/dt$$

 E -felt induseres også i tomrom (uten ledning)
- Lenz' lov: Indusert strøm motsetter seg fluksendringen.

Faradays lov:

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

Arbeid å flytte tverrstaven
 Mekanisk arbeid = elektrisk dissipert energi i R

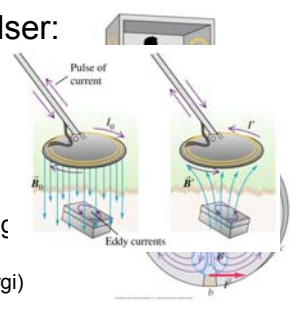


Fant i går:
 $I = B l v / R$
 $F = IlB = B^2 l^2 v / R$

Effekt:
 $P = Fv = B^2 l^2 v^2 / R$

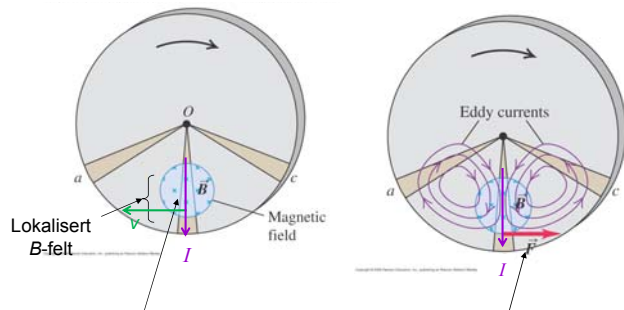
(Fig 29.12)

Virvelstrømmer.
Anvendelser:



- **Metalldetektor:**
 - Minesøking
 - Sikkerhetskontroll flyplasser
 - Søke etter vannrør
 - Deteksjon foran lyskryss
 - Søppelsortering (glass/metall)
- **Bremser i tog/trikk/buss/sirkelsaç**
 (virvelstrøm gir varme, evt. induksjonsbrems gir el.energi)
- **Wattmålere (husholdning)**
- **Fartsmålere bil** (tidl., nå: digitalt og GPS).
- **Induksjonskomfyrer**
 (høyfrekvent strøm og ferromagn.materiale => stor B , samt liten inntrengningsdybde og stor resistans)
- **Induksjonssveising.**

Virvelstrømmer (Y&F 29.6, ikke pensum).
 Eks: B -felt over en del av arealet i roterende metallskive.



Lokalisert B -felt Magnetic field

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

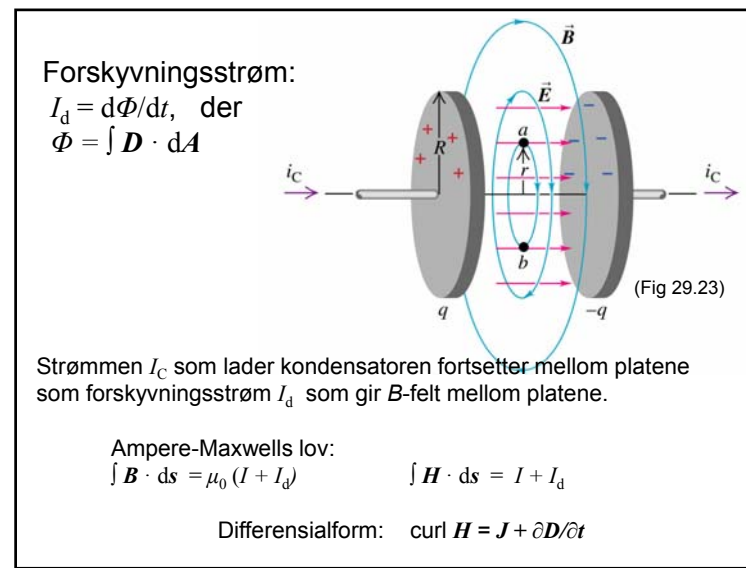
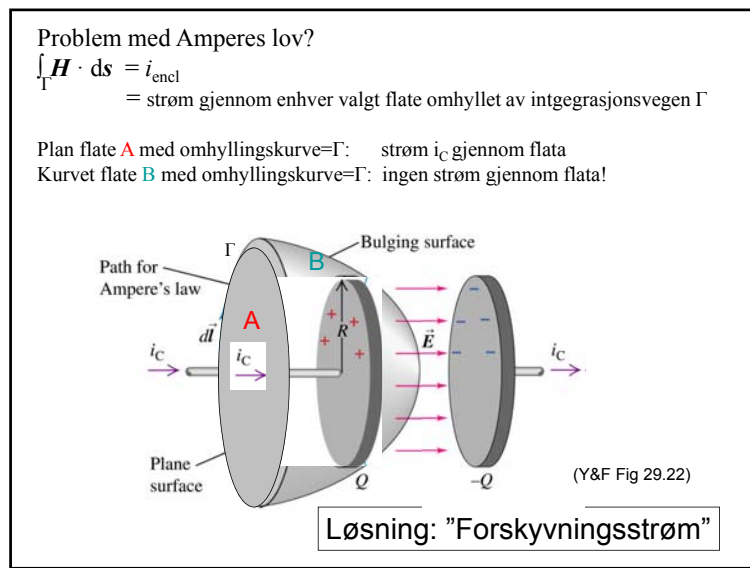
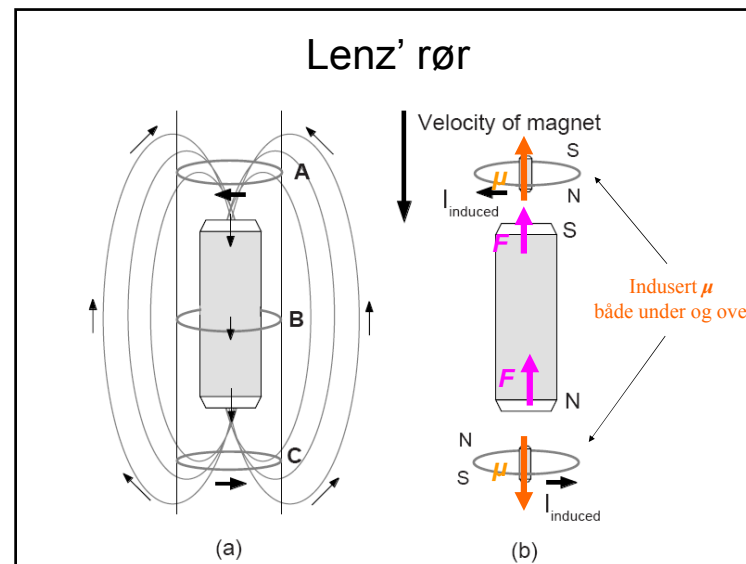
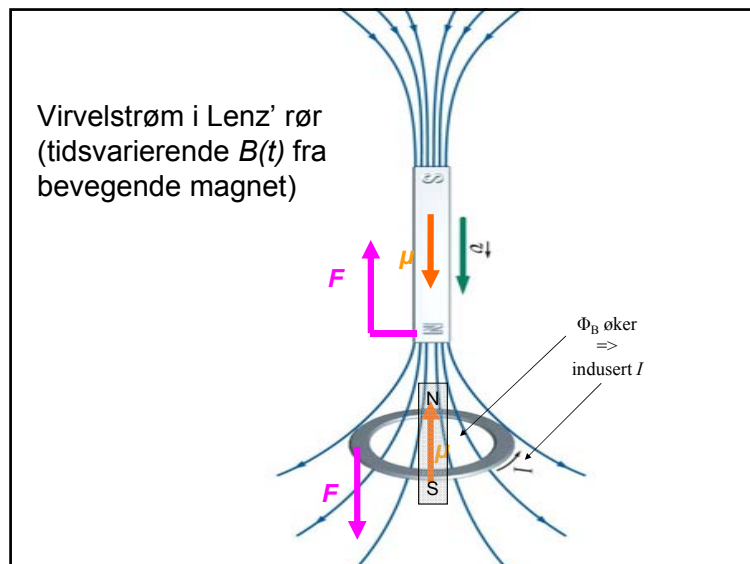
Eddy currents Bremsende kraft

(Fig 29.19)

"Eddy current pendulum"

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





Maxwells likninger i [Notat 4](#)

Integralform

Differensialform

$$\oint \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q$$

Gauss' lov **D**

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Gauss' lov **B**

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

Amperes lov

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$$

Faradays lov

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

statikk dynamikk

Superledere (Y&F 29.8, ikke pensum)

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

Resistivitet:

- Isolatorer: $\rho \approx 10^{14} \Omega\text{m}$
- 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)

Metaller T_c (K)

Al	1.18
In	3.41
Sn	3.72
Ta	4.47
V	5.40
Pb	7.20
Nb	9.25
Hg	4.12
Ga	1.07

Legeringer og sammensetninger

Pb-In	7
Pb-Bi	8.3
Nb-Ti	9.5
Nb-Zr	10.7
Nb-N	16.0
V ₃ Ge	15.3
V ₃ Si	16.3
Nb ₃ Sn	18.0
Nb ₃ Ge	23.2

Kritiske temperaturer for superledere

(Flytende N_2 har temp 77 K.)

Oksider

BaPb _{0.75} Ba _{0.25} O ₃	13
La _{1.85} Ba _{0.15} CuO ₄	36
Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O ₈	84
Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	125

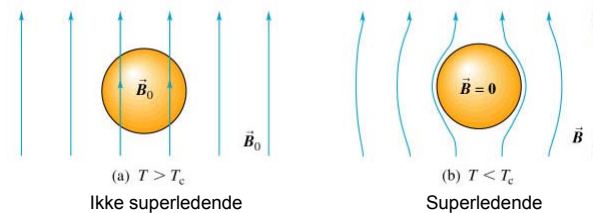
Fullerener

K ₃ C ₆₀	18
Rb ₃ C ₆₀	28
Cs ₂ RbC ₆₀	33

(Tab. 21.4 i Lillestøl, Hunderi, Lien)

Superledere

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

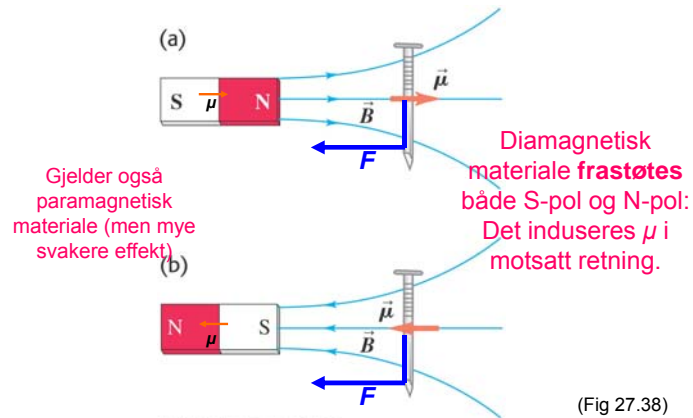


dvs. superledere er perfekt diamagnetisk: (Fig 29.25)

$$\chi_m = -1 \quad \mu_r = 0$$

ved rimelig svake magnetfelt.
(Meissnereffekt)

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

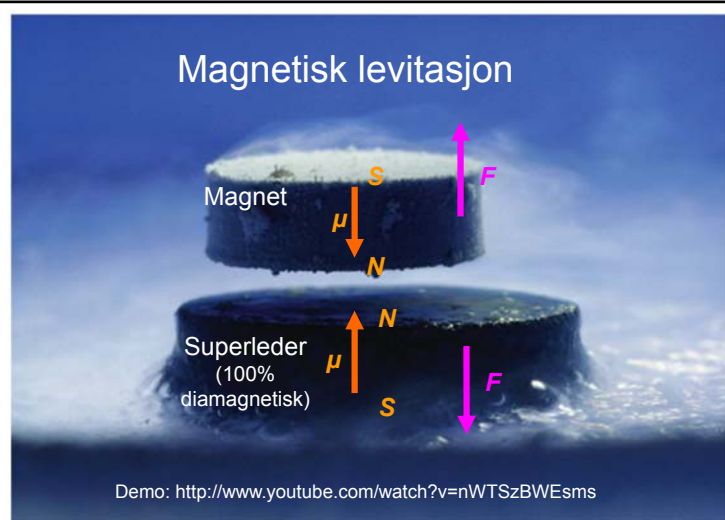


Materiale		Magnet
ferromagnetisk	$\mu_r \gg 1$	tiltrekkes sterkt
paramagnetisk	$\mu_r \approx 1^+$	tiltrekkes svakt
diamagnetisk	$\mu_r \approx 1^-$	frastøtes svakt
superleder	$\mu_r \approx 0$	frastøtes sterkt

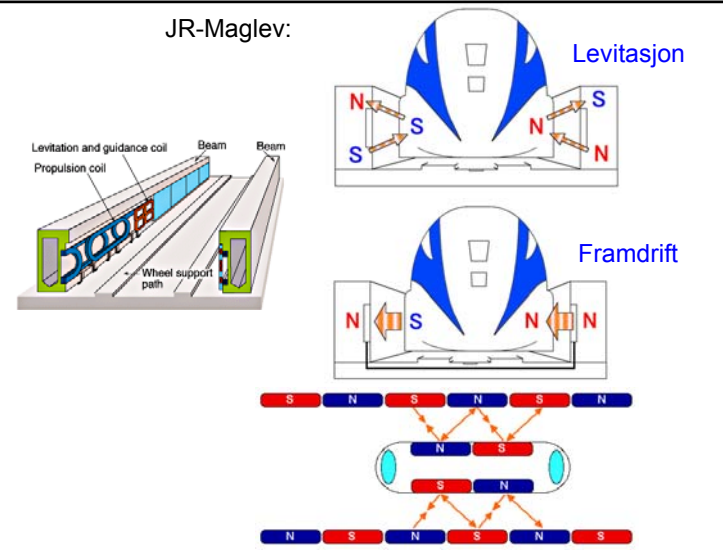
Demo av vann som diamagnetisk materiale:

<http://www.youtube.com/watch?v=iyqOTJOJSoU>

Magnetisk levitasjon



JR-Maglev:

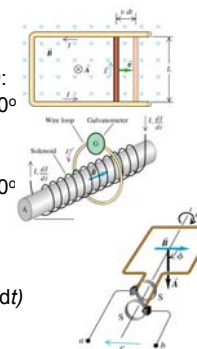


Nytte av superledere:

- Produksjon av sterke B-felt (> 1 T):
 - MR-instrument i medisin og NMR-instrument i vitenskapen
 - I noen Maglev-tog (magnet-svevetog): http://en.wikipedia.org/wiki/Maglev_train
- Elektrisk kraftoverføring? Forsøk på gang (korte strekninger).

Kap. 29: Oppsummering: Elektromagnetisk induksjon

- Faradays lov for homogent 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: $\mathcal{E} = - d\Phi_B/dt$, der $\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$.
Dvs: endring i magnetisk fluks Φ_B induserer ems. Generelt, induksjon av 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 $\Phi = \int \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A}$.
Ampere-Maxwells lov: $\int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 (I + I_d)$ $\int \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = I + I_d$
Differensialform: $\text{curl } \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$

Elmagsirkelen

