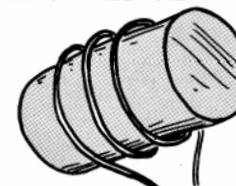


Magnetisme

- **Magnetostatikk** (ingen tidsvariasjon): $\partial B/\partial t = 0$
- Kap 27. Magnetiske krefter
- Kap 28: Magnetiske kilder
- **Elektrodynamikk:** $\partial B/\partial t \neq 0$
- 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.

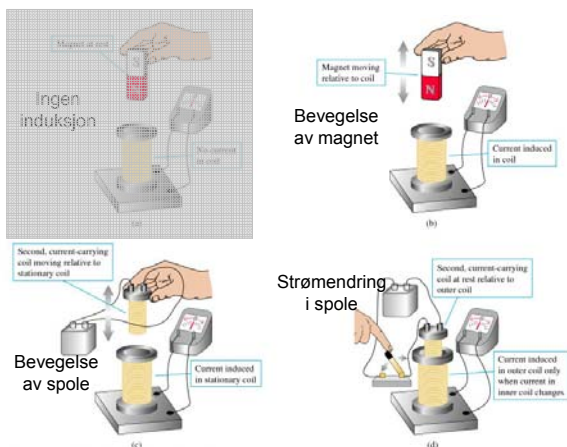


Hvilke er rett, a,b,c eller d?

- 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)

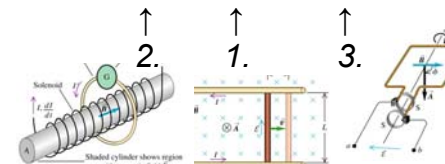
Faradays lov:

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

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

Homogen \mathbf{B} og plan strømsløyfe:

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



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: industert 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)

Eksempel AC-motor:
 (eller se Y&F: Ex. 29.5)
 $B = 0,20 \text{ T}$
 $N = 500$
 $A = (0,10 \text{ m})^2 = 0,010 \text{ m}^2$
 Hva er tilbakeindusert ems ved 1680 RPM?

$f = 1680 \text{ RPM} = 1680 (\text{min})^{-1}$
 tilsvarer radianer per sekund:
 $\omega = 1680/60 \text{ s}^{-1} \cdot 2\pi = 176 \text{ s}^{-1}$

Gir ems'en:
 $\mathcal{E} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin \omega t$
 $= 500 \cdot 0,20 \text{ T} \cdot 0,010 \text{ m}^2 \cdot 176 \text{ s}^{-1} \cdot \sin \omega t$
 $= 176 \text{ V} \cdot \sin \omega t$

Hvis $V_{\text{inn}} = 200 \text{ V} \cdot \sin \omega t$
 er
 $I(t) = (V_{\text{inn}} - \mathcal{E})/R = 24 \text{ V} \cdot \sin \omega t / R$

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

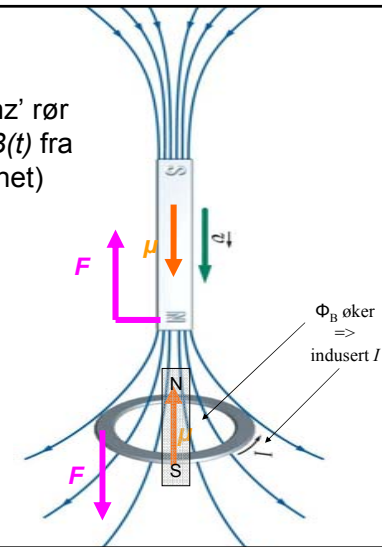
(Fig 29.19)

”Eddy current pendulum”

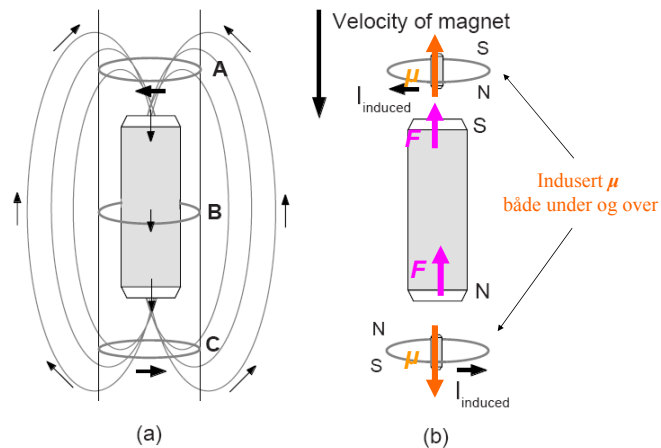
Video på nettside <http://demoroom.physics.ncsu.edu/html/demos/163.html>



Virvelstrøm i Lenz' rør
(tidsvarierende $B(t)$ fra bevegende magnet)

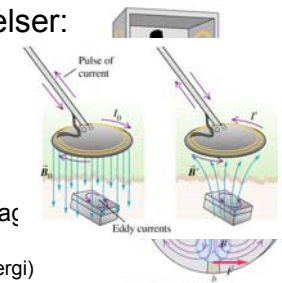


Lenz' rør



Virvelstrømmer.
Anvendelser:

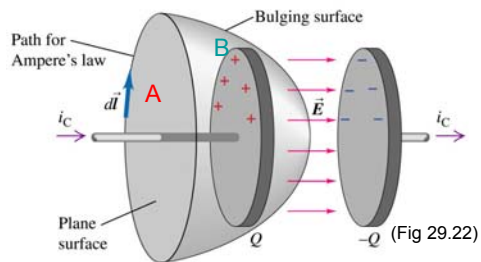
- Metalldetektor:
 - Minesøking
 - Sikkerhetskontroll flyplasser
 - Søke etter vannrør
 - Deteksjon foran lyskryss
 - Søpelsortering (glass/metall)
- Bremsere i tog/trikk/buss/sirkelsaç
(virvelstrøm gir varme, evt. induksjonsbrems gir el.energi)
- Wattmålere (husholdning)
- Fartsmålere bil (før digitalt og GPS).
- Induksjonskomfyrer
(ferromagn.materiale i gryter for å gi høy B . Litt hysteresebidrag)
- Induksjonssveising.



Problem med Amperes lov?

$\int \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = i_{\text{encl}}$
 = strøm gjennom enhver valgt flate omsluttet av integrasjonsvegen

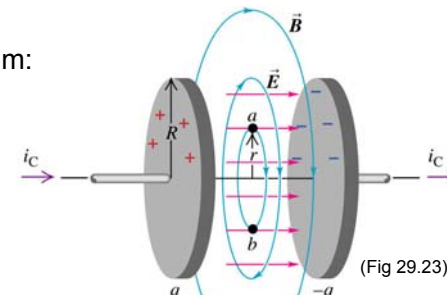
Plan flate **A**: strøm i_C gjennom flata
 Kurvet flate **B**: ingen strøm gjennom flata!



Løsning: "Forskyvningsstrøm"

Forskyvningsstrøm:

$I_d = d\Phi/dt$, der
 $\Phi = \int \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A}$



Strømmen I_C som lader kondensatoren fortsetter mellom platene som forskyvningsstrøm I_d som gir \mathbf{B} -felt mellom platene.

Modifikasjon av Amperes lov:

$\int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 (I + I_d)$ $\int \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = I + I_d$

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

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} B _{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

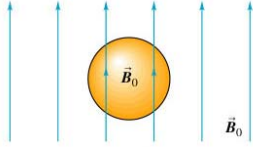
Fullerener

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

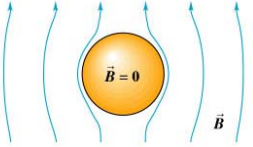
(Tab. 21.4 i Lillestøl, Hunderi, Lien)

Superledere

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



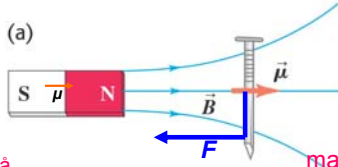
(a) $T > T_c$
Ikke superledende



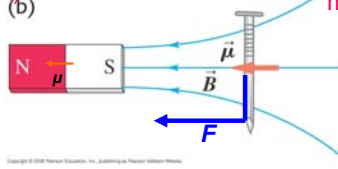
(b) $T < T_c$
Superledende

dvs. superledere er perfekt diamagnetisk: (Fig 29.25)
 $\chi_m = -1; \mu_r = 0$
 ved rimelig svake magnetfelt.
 (Meissnereffekt)

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



(a)



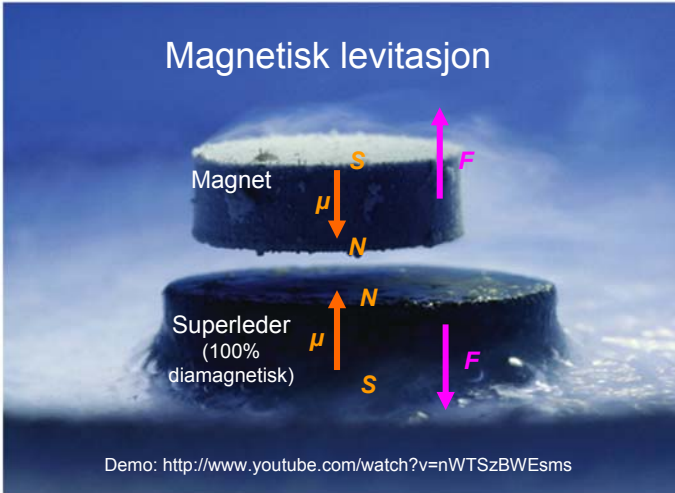
(b)

Diamagnetisk materiale **frastøtes** både S-pol og N-pol: Det indueres μ i motsatt retning.

Gjelder også paramagnetisk materiale (men mye svakere effekt)

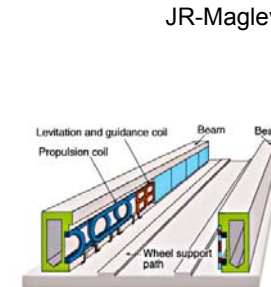
(Fig 27.38)

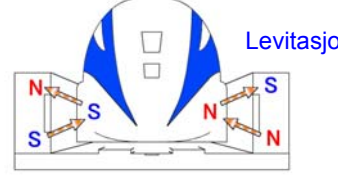
Magnetisk levitasjon



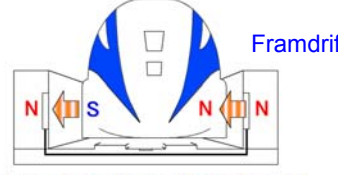
Demo: <http://www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms>

JR-Maglev:

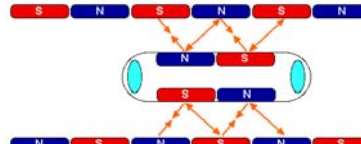




Levitasjon



Framdrift



Nytte av superledere:

- Gir store strømmer / uten varmetap, dermed:
- Produksjon av sterke B-felt (> 1 T):
 - MR-instrument i medisin og NMR-instrument i vitenskapen
 - 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 $A(t)$:

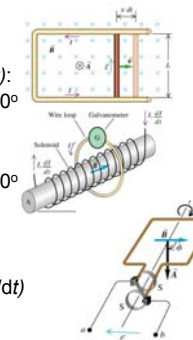
$$\mathcal{E} = - d\Phi_B/dt = - B \cdot dA(t)/dt \cdot \cos 0^\circ$$

- 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:

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

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 $\Phi = \int \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A}.$
 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: $\text{curl } \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$

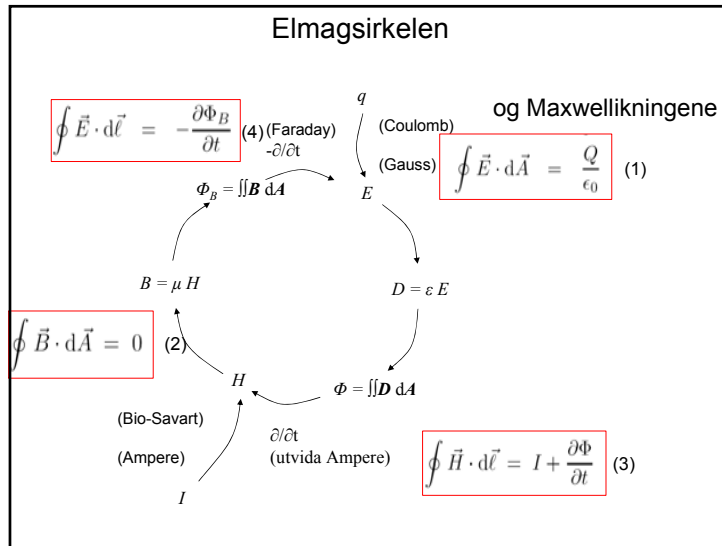
Maxwells likninger i Notat 4

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



RING AROUND WHAT?

A magnetic field line circles around and joins its own tail, thus forming a ring. What would you expect to find passing through some place in the region enclosed by the ring?

- a) an electric field line
- b) an electric current
- c) a changing electric field line
- d) an electric current and/or a changing electric field line

ANSWER: RING AROUND WHAT?

The answer is: d. In the days of Napoleon it was known that a magnetic field circled around a wire that carries an electric current.

But about the time of the American Civil War it was realized (in England) that a magnetic field could be made in another way. This is the essence of our last question, ELECTROMAGNETISM'S HEART—a *changing* electric field also makes a magnetic field. If the electric field is getting stronger the magnetic field circles it one way. If the electric field is getting weaker the magnetic field circles it the opposite way. If the electric field is not changing—is static—it makes no magnetic field at all.