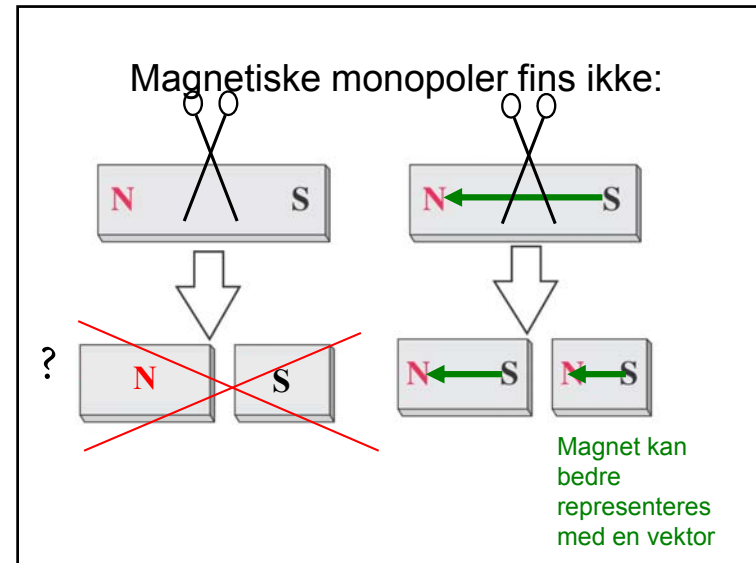


Kap. 27

Magnetisk felt og magnetiske krefter

Kortfatta målsetning:

- Lære at permanente magneter og elektromagneter har samme årsak:
 - ladninger i bevegelse / strømsløyfer
- Formelapparatet i magnetostatikk, analogt til det i elektrostatikk
- Forstå at magnetiske monopoler ikke fins, kun dipoler.
 - (mens elektriske monopoler fins, dvs. $+q$, $-q$)



Kap. 27

Kjapp historie

- 1000 f.Kr.: Kompass brukt i Kina og i Mexico
 800 f.Kr.: Magnetisk materiale i Magnesia i Hellas
 Magnetitt: Fe_3O_4
 1270: Nord- og sydpol
 1600: Jordmagnetisme beskrives
 1750: Magnetisk kraft prop. med $1/r^2$
 1819-25: Vitenskapelig arbeid:
Hans Christian Ørsted, André Ampere, Jean Baptist Biot, Felix Savart, Michael Faraday, Joseph Henry
 1864: Systematisering av teorien
 v/*James Clerk Maxwell.*

Kap. 27

Magnetisme

- **Magnetostatikk** (ingen tidsvariasjon):
 Kap 27. Magnetiske krefter
 Kap 28: Magnetiske kilder
- **Elektrodynamikk**:
 Kap 29-32:
 Tidsvariasjon: Induksjon mm.

Kap. 27: Magnetisk felt og magnetiske krefter

$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (27.2)$$

(magnetisk flukstetthet \vec{B} defineres fra denne kraftvirkningen)

Lorentzkrafta = elektrisk kraft + magnetisk kraft:

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_B = q \vec{E} + q \vec{v} \times \vec{B} \quad (27.4)$$

(i ro og i bevegelse) (i bevegelse)

\vec{E} kan øke farten (og energien).
 \vec{B} kan kun endre *retningen* for \vec{v} , ikke energien, fordi $\vec{F}_B \perp \vec{v}$

- Kraft på lederbit med lengde ds : $d\vec{F} = I ds \times \vec{B}$
- Magnetiske feltlinjer
- Magnetisk fluks: $\Phi_B = \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$
- Gauss lov for \vec{B} -feltet
- Bevegelser av ladninger i \vec{B} og \vec{E} -felt, ved eksempler/anvendelser:
 - Hastighetsfilter
 - Thomsons e/m -eksperiment
 - Massespektrometer
- Kraftmoment på strømsløyfe
- Magnetisk moment $\vec{\mu} = I \cdot \vec{A}$

} Idag

Kraft på ledningsbit

$d\vec{F} = I ds \times \vec{B}$

"bit" = infinitesimalt strømelement = $I ds$

(Fig 27.25)

Gauss' lov for magnetfelt:

Nettofluks ut av lukka flate = $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
 ALLTID

⇔ Feltlinjer er lukka kurver

⇔ Magnetiske monopoler fins ikke:

Alle magnetiske feltlinjer er lukka kurver:

(a) Magnetic field lines through the center of a permanent magnet

(b) Magnetic field lines through the center of a cylindrical current-carrying coil

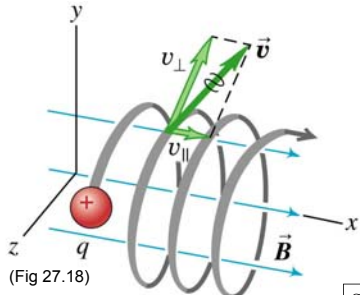
(c) Magnetic field lines through the center of an iron-core electromagnet

(d) Magnetic field lines in a plane containing the axis of a circular current-carrying loop

(e) Magnetic field lines in a plane perpendicular to a long, straight, current-carrying wire

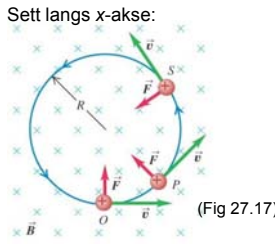
(f) Magnetic field lines in a plane containing a long, straight, current-carrying wire

Heliksformet bane pga. Lorentzkrafta $F = (q E +) q v \times B$



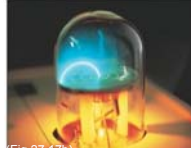
(Fig 27.18)

Sett langs x-akse:



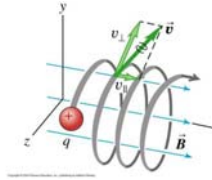
(Fig 27.17)

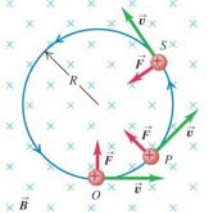
Syklotronradius: $R = mv_{0z}/qB$ (27.11)
 Syklotronfrekvens: $\omega = qB/m$ (27.12)
 Syklotronperiode: $T = 2\pi / \omega$



Elektronstråle i magnetisk felt
Laboppgave 3
(Fig 27.17b)

Heliksformet bane. Typiske tallstørrelser (Ex. 27.4)





Oppgitte data:
 Proton: $B_x = 0,50 \text{ T}$
 $q = +e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $v_{0x} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ m/s}$
 $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $v_{0z} = 2,0 \cdot 10^5 \text{ m/s}$


Finn:

- Syklotronradius R
- Syklotronfrekvens ω
- Heliksens stigning (Δx per omdreining)

a) Syklotronradius (27.11): $R = mv_{0z}/qB_x = 4,2 \text{ mm}$
 b) Frekvens (27.12): $\omega = v_{0z}/R (= qB_x/m) = 4,8 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$,
 dvs. periode $T = 2\pi/\omega = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ s}$
 c) $\Delta x = v_{0x}T = 20 \text{ mm}$ per periode T

Kraft og aks.:
 $F = |F| = qv_{0z}B_x = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ N}$
 Aksel = $a = F/m = 9,6 \cdot 10^{12} \text{ m/s}^2$

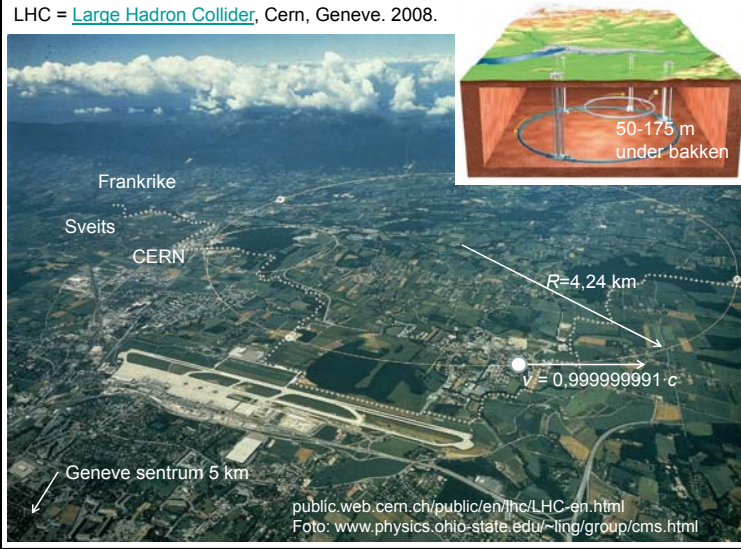
ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) Grenoble, Frankrike.



$R = 134 \text{ m}$

Storage Ring
Accelerators
Experimental Hall

LHC = Large Hadron Collider, Cern, Geneve. 2008.



$50-175 \text{ m}$
under bakken

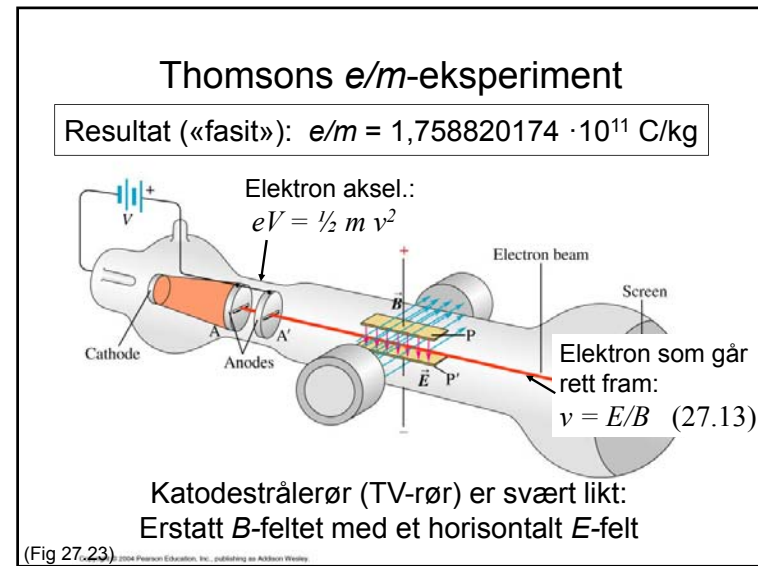
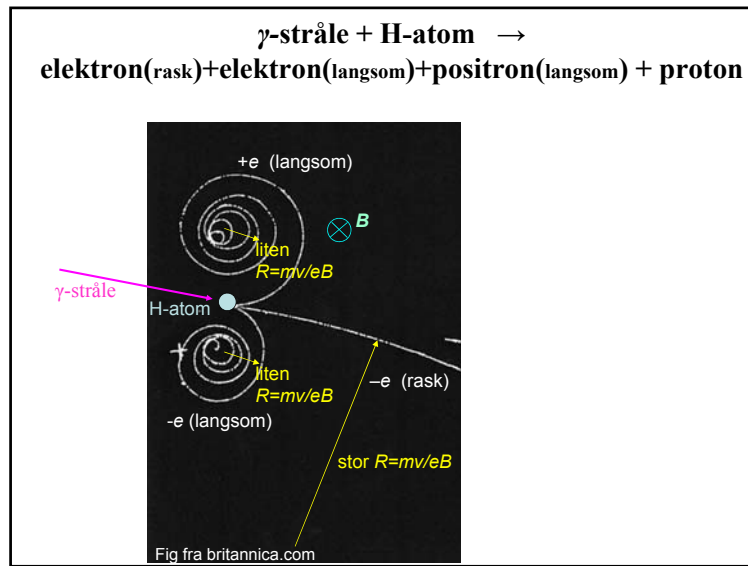
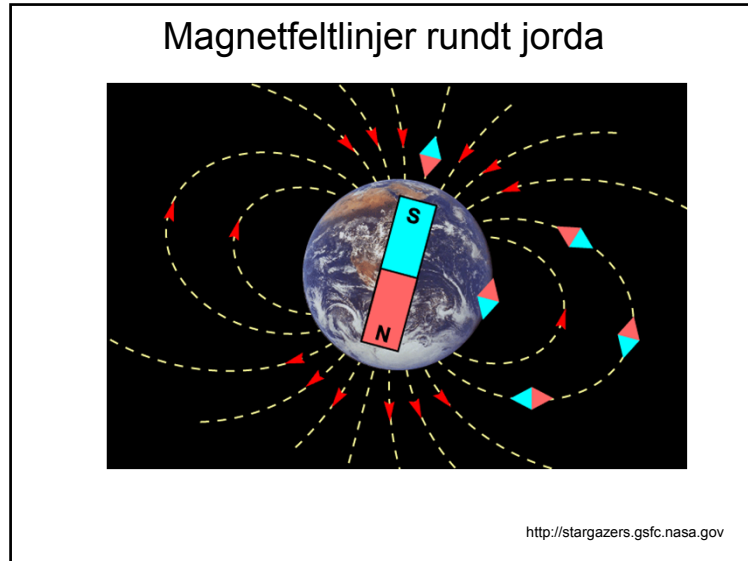
Frankrike
Sveits
CERN

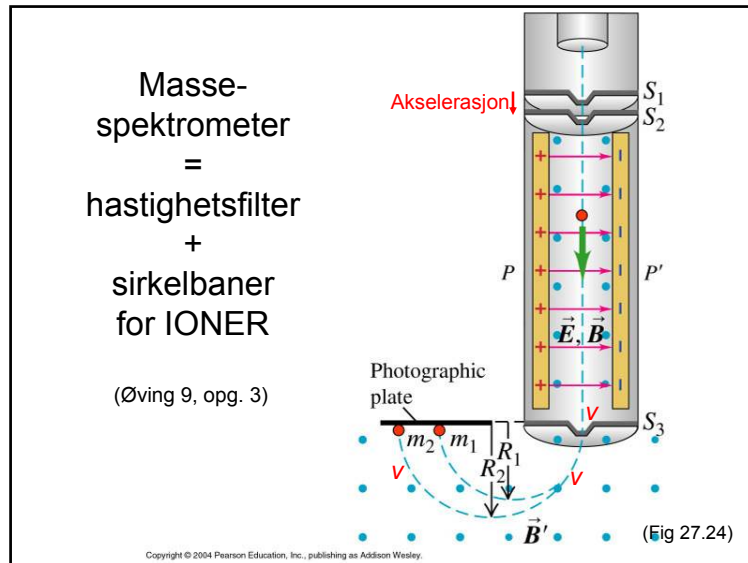
$R = 4,24 \text{ km}$

$v = 0,999999991 \cdot c$

Geneve sentrum 5 km

public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHC-en.html
 Foto: www.physics.ohio-state.edu/~ling/group/cms.html

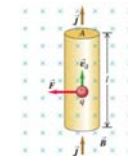




27.2 Kraft og moment på strømsløyfe

- Kraft på lederbit med lengde ds :
$$dF = I ds \times B \quad (27.20)$$

- Kraft på ledning i homogent felt:
$$F = I l \times B \quad (27.19)$$



Fra Angell og Lian:

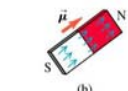
Koherente SI-enheter med egne symboler			
Symbol	Navn (uttale)	Definisjon	Enhet for
A	ampere (ampere)	s, II	elektrisk strøm
Bq	becquerel (bekkrel)	$Bq = s^{-1}$	radioaktivitet
C	coulomb (kuldm)	$C = As$	elektrisk ladning
cd	candela (kandela)	s, II	lystyrke
F	farad	$F = C/V = A^2s^2/(kg m^2)$	kapasitans
Gy	gray (grei)	$Gy = J/kg = m^2/s^2$	absorbert dose
H	henry	$H = Vs/A = Wb/(A = kg m^2/(s^2 A^2))$	induktans
Hz	hertz	$Hz = s^{-1}$	frekvens
J	joule (jul)	$J = Nm = Ws = kg m^2/s^2$	energi
K	kelvin (kelvinn)	s, II	termodynamisk temperatur
kg	kilogram	s, II	masse
lm	lumen	$lm = cd sr$	lysfluks
lx	lux	$lx = lm/m^2 = cd sr/m^2$	betygning
m	meter	s, II	lengde
mol	mol	s, II	stoffmengde
N	newton (njuton)	$N = kg m/s^2$	kraft
Pa	pascal (paskaff)	$Pa = N/m^2 = kg/(m s^2)$	trykk, spenning
rad	radian (radium)	$rad = m/m = 1$	vinkel
S	siemens (simens)	$S = A/V = \Omega^{-1} = s^2 A^2/(kg m^2)$	konduktans
Sv	sievert (sivert)	$Sv = J/kg = m^2/s^2$	doseekvivalent
s	sekund	s, II	tid
sr	steradian	$sr = m^2/m^2 = 1$	romvinkel
T	tesla (tessla)	$T = Wb/m^2 = kg/(s^2 A)$	magnetisk flukstetthet
V	volt	$V = W/A = J/C = kg m^2/(s^2 A)$	elektrisk potensial
W	watt (vatt)	$W = J/s = kg m^2/s^3$	effekt
Wb	weber (veber)	$Wb = Vs = kg m^2/(s^2 A)$	magnetisk fluks
Ω	ohm (om)	$\Omega = V/A = s^2/(kg m^2/(s^2 A^2))$	resistans
l	en	l	antall, forholdet mellom to

Siste = ved grunnenheter

Kap. 27: Magnetisk felt og magnetiske krefter

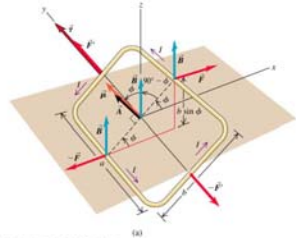
- Lorentzkrafta = elektrisk kraft + magnetisk kraft:
$$F = qE + qv \times B$$

(magnetisk flukstetthet B defineres fra denne kraftvirkningen)
 - Kraft på lederbit med lengde ds : $dF = I ds \times B$
 - Magnetiske feltlinjer
 - Magnetisk fluks: $\Phi_B = \iint B \cdot dA$
 - Gauss lov for B -feltet
 - Bevegelser av ladninger i B og E -felt, ved eksempler/anvendelser:
 - Hastighetsfilter
 - Thomsons e/m -eksperiment
 - Massepektrometer
 - Kraftmoment på strømsløyfe
 - Magnetisk moment $\mu = I \cdot A$
 - 2 eksempler
 - Kraft i inhomogene B -felt
 - DC-motorer
 - Hall-effekt
- I dag



(Fig 27.37)

Kraft og kraftmoment på rektangulær ledersløyfe



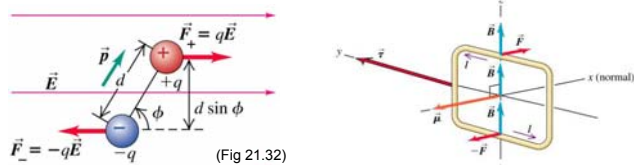
Nettokraft:
 $\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{0}$

Kraftmoment:
 $\tau = I a b B \sin \Phi = \mu B \sin \Phi$
 der magnetisk moment:
 $\mu = I \cdot (\text{areal}) = I \cdot ab$

Med vektorer:
 $\tau = \mu \times \mathbf{B}$
 der $\mu = I \cdot \mathbf{A}$

(Fig 27.31)

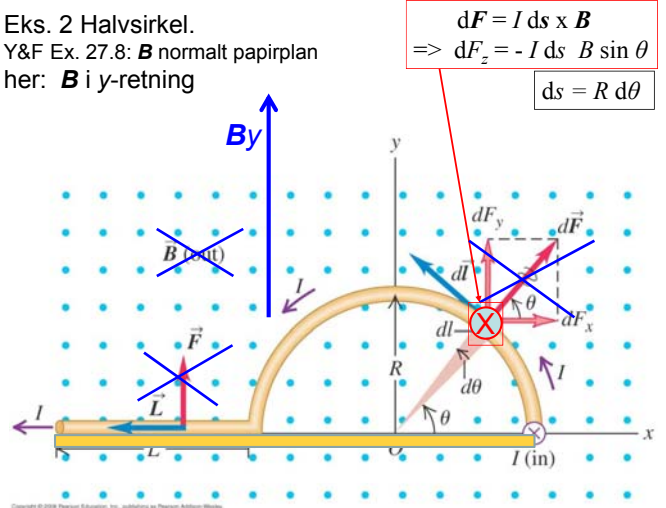
Analogi mellom elektrisk dipol \mathbf{p} og magnetisk dipol μ



<p>Kraft $\mathbf{F} = q \mathbf{E}$</p> <p>Kraftmoment $\tau = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$</p> <p>Pot.energi $U = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$</p> <p>$\mathbf{p}$ søker seg paral. med \mathbf{E} (lavest energi)</p>	<p>Kraft $\mathbf{F} = I \mathbf{l} \times \mathbf{B}$</p> <p>Kraftmoment $\tau = \mu \times \mathbf{B}$</p> <p>Pot.energi $U = -\mu \cdot \mathbf{B}$</p> <p>$\mu$ søker seg paral. med \mathbf{B} (lavest energi)</p>
---	--

Ser dere at en magnetisk MONOPOL er utenkelig ?

Eks. 2 Halvsirkel.
 Y&F Ex. 27.8: \mathbf{B} normalt papirplan
 her: \mathbf{B} i y-retning



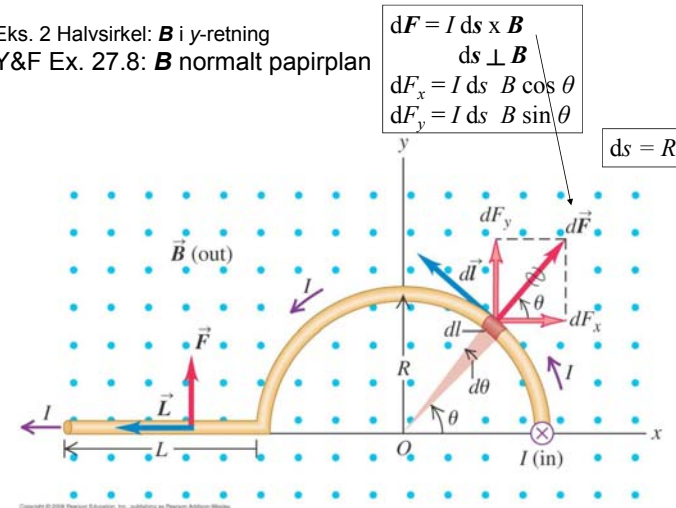
$$d\mathbf{F} = I ds \times \mathbf{B}$$

$$\Rightarrow dF_z = -I ds B \sin \theta$$

$ds = R d\theta$

Figure 27.30

Eks. 2 Halvsirkel: \mathbf{B} i y-retning
 Y&F Ex. 27.8: \mathbf{B} normalt papirplan



$$d\mathbf{F} = I ds \times \mathbf{B}$$

$$ds \perp \mathbf{B}$$

$$dF_x = I ds B \cos \theta$$

$$dF_y = I ds B \sin \theta$$

$ds = R d\theta$

Figure 27.30

Strømsløyfe innrettes i et magnetisk felt, slik vil også magnet (f.eks. kompassnål) innrettes i et magnetisk felt

Magnetisk moment μ innrettes langs B

(Fig 27.37)

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

Homogent magnetfelt: Dreiemoment τ , men ingen nettokraft (translasjonskraft)

Inhomogent magnetfelt: Nettokraft på strømsløyfe $\neq 0$:

(Fig 27.36)

Jern tiltrekkes både S-pol og N-pol. Feltet må være inhomogent.

P.g.a. induert μ parallellt med B

(Fig 27.38)

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

27.8. Likestrømsmotor (DC-motor)

μ dreies mot B
Maks. dreiemoment τ

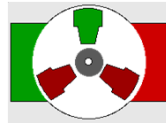
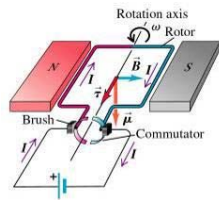
$\mu \parallel B$
Null dreiemoment τ
(flyter på tregheten).
Strømretn. endres med kommutatorer

Maks. dreiemoment τ

(Fig 27.39)

Simulering:
<http://www.walter-fendt.de/ph14e/electricmotor.htm>

DC-motor



Én strømsløyfe

Tre sett strømsløyfer: jammere gange

solarbotics.net/starting/200111_dcmotor/200111_dcmotor2.html

Kap. 27: Oppsummering: Magnetisk felt og magnetiske krefter

- Lorentzkrafta = elektrisk kraft + magnetisk kraft:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$
 (magnetflukstetthet \mathbf{B} defineres fra denne)
- Kraft på lederbit med lengde ds : $d\mathbf{F} = I ds \times \mathbf{B}$
- Magnetisk fluks: $\Phi_B = \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$
- Magnetisk kilde ("magnet") angis ved alternativt:
 - 1) **N/S-pol** Monopol (separat S eller N) fins ikke.
 - 2) **Feltlinjer**: Lukka kurver, fra N→S ytre og S→N indre.
 - 3) **Magnetisk moment** μ . Høyrehåndsregel, eller: i retning S→N.
- $\mu = I A$, N strømsløyfer med areal A : $\mu = N I A$
- Kraftmoment på magnetisk moment i B -felt, $\tau = \mu \times \mathbf{B}$, innretter momentet langs B -feltet og momentet har potensiell energi: $U = -\mu \cdot \mathbf{B}$
- Jern tiltrekkes både S-pol og N-pol. B -feltet må være inhomogent.
- Anvendelser:
 - Hastighetsfilter, Thomsons e/m-eksperiment, katodestrålerør, massespektrometer, syklotron, DC-motor, Hall-effekt.