

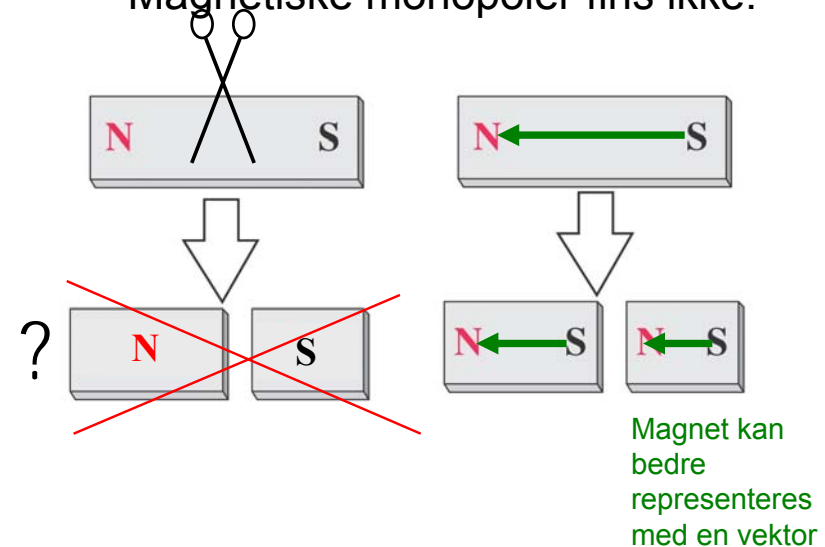
Kap. 27

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. $+q$, $-q$)

Magnetiske monopoler fins ikke:



Kap. 27 Kjapp historie

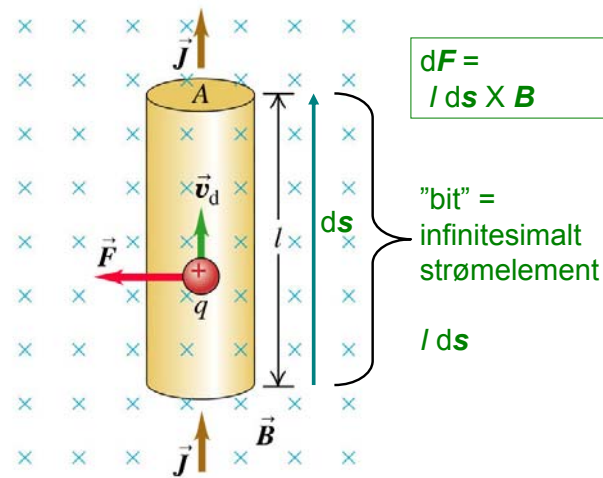


- 1000 f.Kr.: Kompass brukt i Kina og i Mexico
- 800 f.Kr: Magnetisk materiale i Magnesia i Hellas
Magnetitt: Fe_3O_4
- 1270: Nord- og sydpol
- 1600: Jordmagnetisme beskrives
- 1750: Magnetisk kraft prop. med $1/r^2$
- 1819-25: Vitenskapelig arbeid:
*Hans Christian Ørsted, André Ampere, Jean Baptist 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.

Kraft på ledningsbit



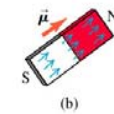
Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley

(Fig 27.25)

Kap. 27: Magnetisk felt og magnetiske krefter

- Lorentzkrafta = elektrisk kraft + magnetisk kraft:

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

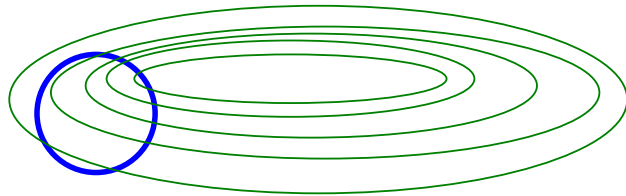


(Fig 27.37)

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

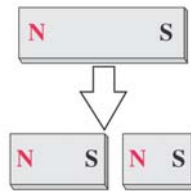
I dag

Gauss' lov for magnetfelt:
 Nettofluks lukka flate = $\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$

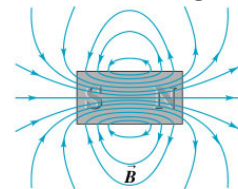


⇔ Feltlinjer er lukka kurver

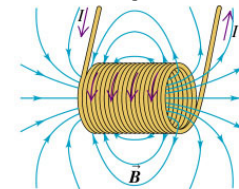
⇔ Magnetiske monopoler
 fins ikke:



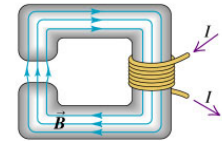
Alle magnetiske feltlinjer er lukka kurver:



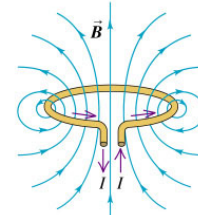
(a) Magnetic field lines through the center of a permanent magnet



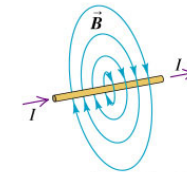
(b) Magnetic field lines through the center of a cylindrical current-carrying coil



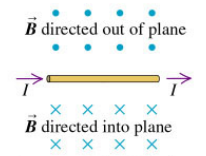
(c) Magnetic field lines through the center of an iron-core electromagnet



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

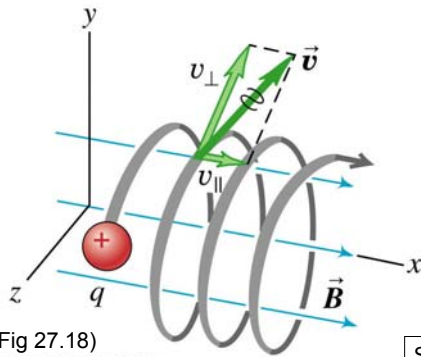


(e) Magnetic field lines in a plane perpendicular to a long, straight, current-carrying wire

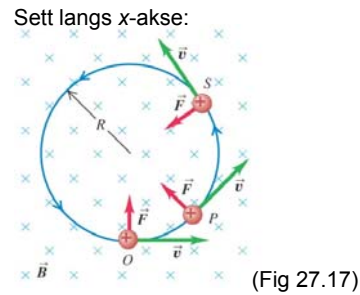


(f) Magnetic field lines in a plane containing a long, straight, current-carrying wire

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

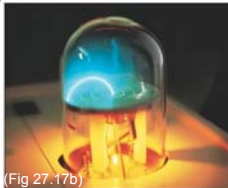


(Fig 27.18)



(Fig 27.17)

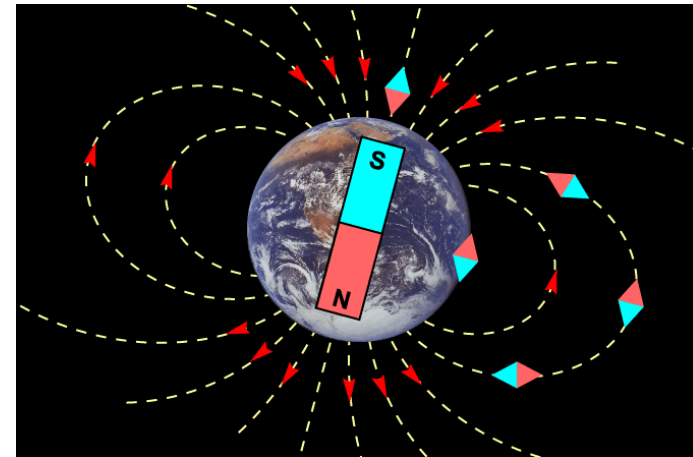
Syklotronradius: $R = mv_{0z}/qB$ (27.11)
 Syklotronfrekvens: $\omega = qB/m$ (27.12)
 Syklotronperiode: $T = 2\pi / \omega$



(Fig 27.17b)

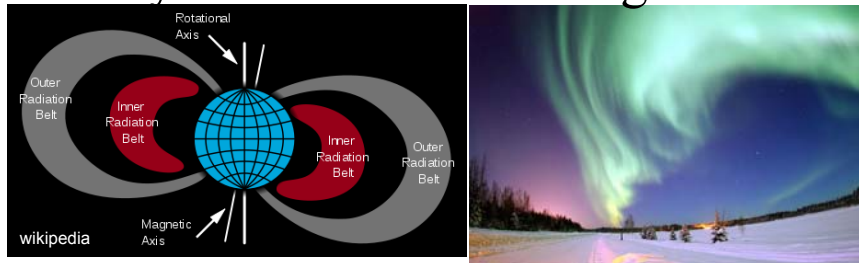
Elektronstråle (blå) i magnetisk felt

Magnetfeltlinjer rundt jorda

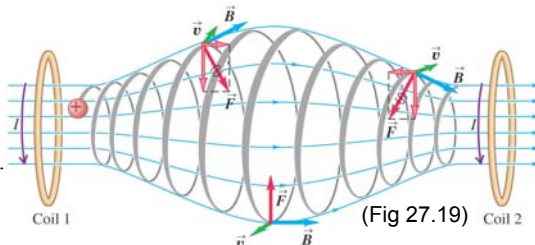


<http://stargazers.gsfc.nasa.gov>

Nordlys i “van Allen strålingsbelter”



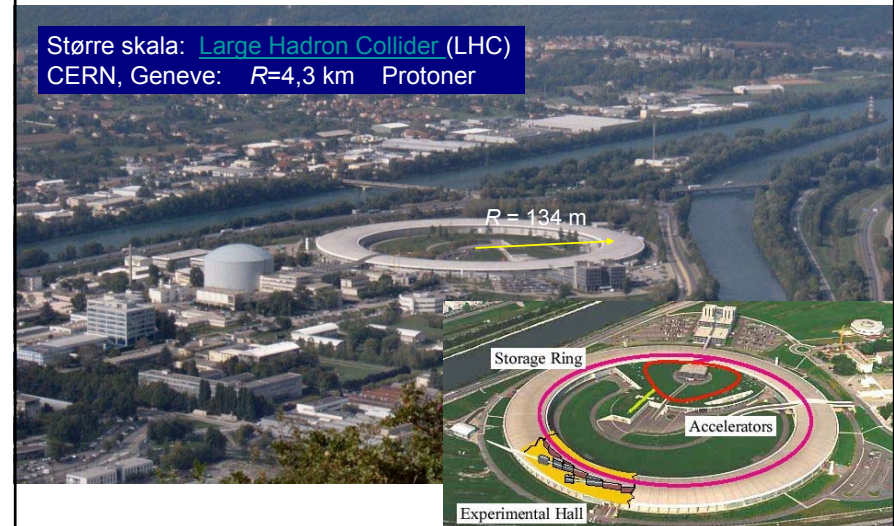
Tilsvare
 “**Magnetisk flaske**”:
 Ladde partikler kan fanges i et
 inhomogent magnetfelt.
 Kan oppnå plasmagass med
 temperaturer opp i ~ million K.



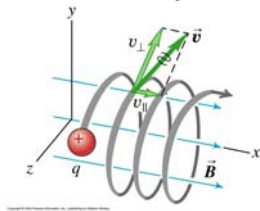
ESRF

(European Synchrotron Radiation Facility)
 Grenoble, Frankrike.

Større skala: [Large Hadron Collider \(LHC\)](#)
 CERN, Geneve: $R=4,3$ km Protoner



Heliksformet bane. Typiske tallstørrelser (Ex. 27.4)



Oppgitte data:

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

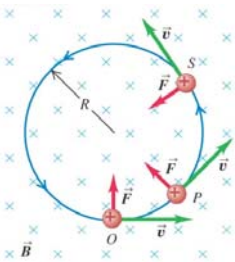
Finn:

- a) Syklotronradius R
- b) Syklotronfrekvens ω
- c) 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

Ellers:

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



γ -stråle + H-atom \rightarrow elektron(rask)+elektron(langsom)+positron(langsom) + proton

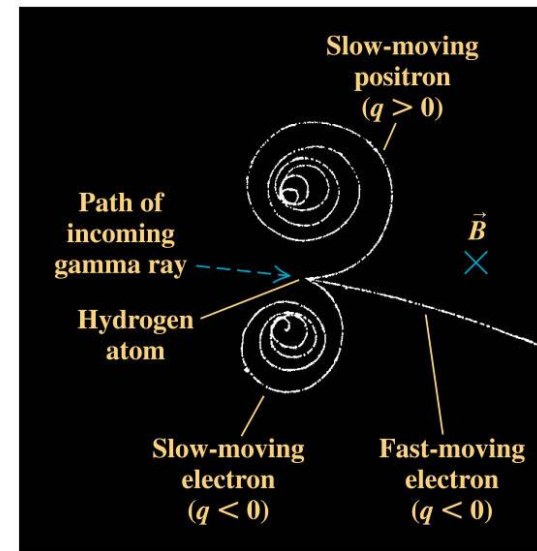
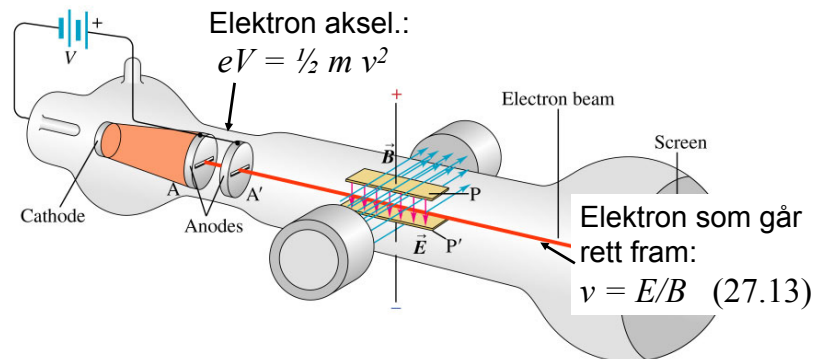


Foto fra
Young &
Freedman,
Fig 27.21.

Thomsons e/m -eksperiment

Resultat: $e/m = 1,758820174 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$

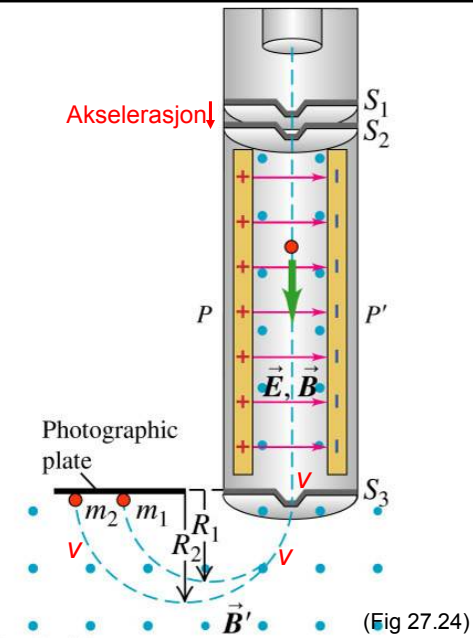


Katodestrålerør (TV-rør) er svært likt:
Erstatt B -feltet med et horisontalt E -felt

(Fig 27.23) Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.

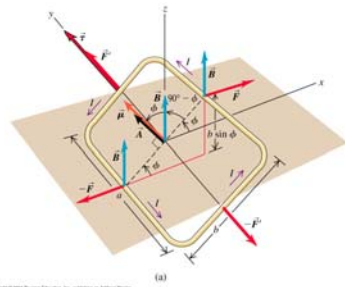
Masse-
spektrometer
=
hastighetsfilter
+
sirkelbaner
for IONER

(Øving 9, opg. 3)



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

Kraft og kraftmoment på rektangulær ledersløyfe



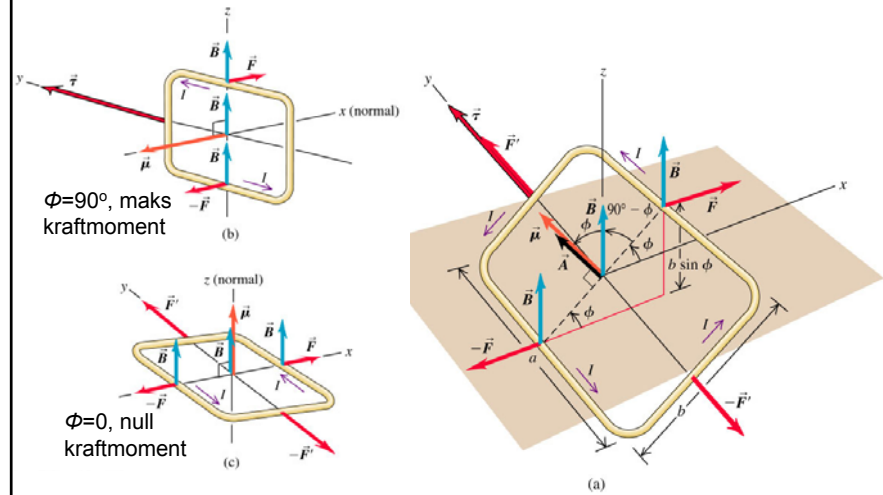
(Fig 27.31)

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

Kraftmoment på ledersløyfe

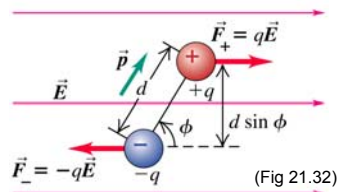


$\Phi = 90^\circ$, maks kraftmoment

$\Phi = 0$, null kraftmoment

(Fig 27.31)

Analogi mellom elektrisk dipol \mathbf{p} og magnetisk dipol $\boldsymbol{\mu}$

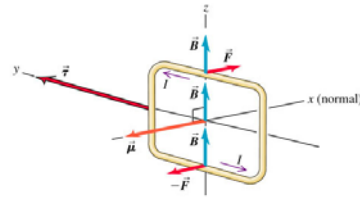


Kraft $F = qE$

Kraftmoment $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$

Pot.energi $U = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$

\mathbf{p} søker seg paral. med \mathbf{E}
(lavest energi)



Kraft $F = I \mathbf{l} \times \mathbf{B}$

Kraftmoment $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$

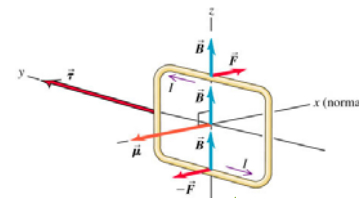
Pot.energi $U = -\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B}$

$\boldsymbol{\mu}$ søker seg paral. med \mathbf{B}
(lavest energi)

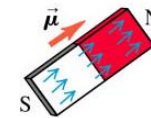
Ser dere at en magnetisk MONOPOL er utenkelig ?

Strømsløyfe innrettes i et magnetisk felt,

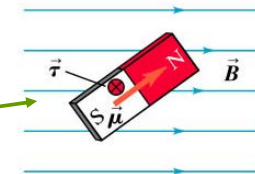
slik vil også magnet (f.eks. kompassnål) innrettes i et magnetisk felt



Magnetisk moment $\boldsymbol{\mu}$ innrettes langs \mathbf{B}



(b)

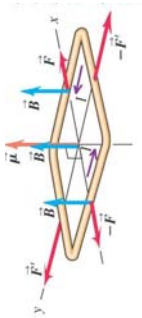


(c) (Fig 27.37)

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

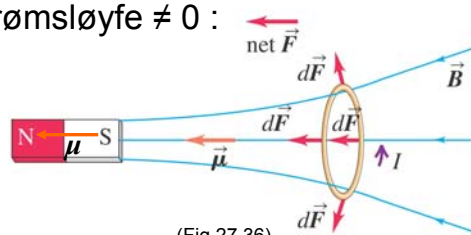
Homogent magnetfelt:

Dreiemoment τ , men
ingen nettokraft (translasjonskraft)



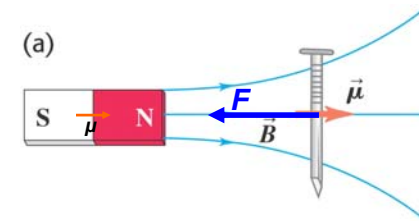
Inhomogent magnetfelt:

Nettokraft på strømsløyfe $\neq 0$:

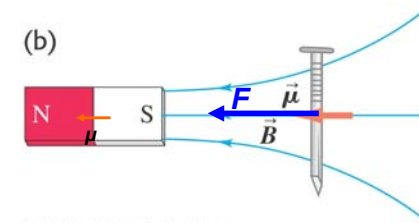


(Fig 27.36)

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

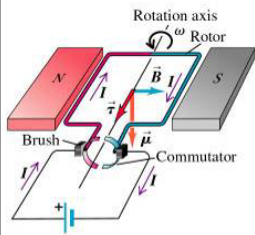


P.g.a. induert μ
parallellt med B

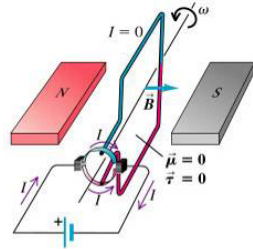


(Fig 27.38)

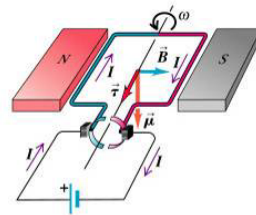
DC-motor



Maks. dreiemoment τ



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>

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 $d\mathbf{s}$: $d\mathbf{F} = I d\mathbf{s} \times \mathbf{B}$
- 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.
- $\mu = I\mathbf{A}$, N strømsløyfer med areal A : $\mu = N I \mathbf{A}$
- Kraftmoment på magnetisk moment i \mathbf{B} -felt, $\tau = \mu \times \mathbf{B}$, innretter momentet langs \mathbf{B} -feltet og momentet har potensiell energi: $U = -\mu \cdot \mathbf{B}$
- Jern tiltrekkes både S-pol og N-pol. \mathbf{B} -feltet må være inhomogent.
- Anvendelser:
 Hastighetsfilter, Thomsons e/m-eksperiment, katodestrålerør, massespektrometer, syklotron, DC-motor, Hall-effekt.