

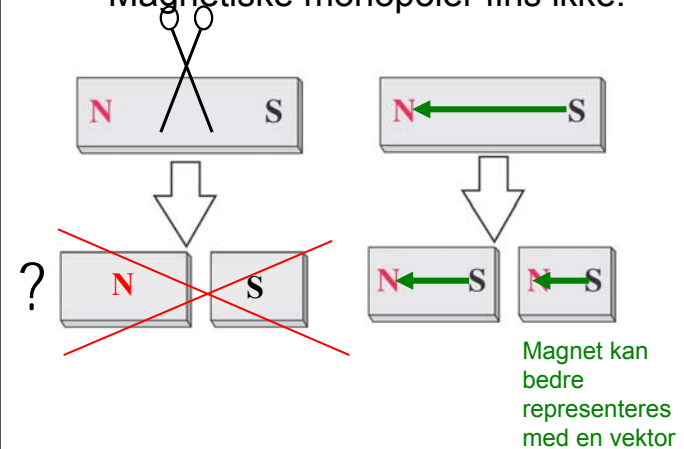
Kap. 27

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

Kjøpp 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

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

"bit" = infinitesimalt strømmelement

$I ds$

(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 \vec{B} -feltet
- Bevegelser av ladninger i \vec{B} og \vec{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 \vec{B} -felt
- DC-motorer
- Hall-effekt

(b) $\vec{\mu}$ N S

(c) $\vec{\mu}$ \vec{B}

Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley (Fig 27.37)

I dag

Gauss' lov for magnetfelt:

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

⇔ 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

\vec{B} directed out of plane

\vec{B} directed into plane

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

Heliksformet bane pga. Lorentzkrafta $F = qE + qv \times B$

(Fig 27.18)

Sett langs x-akse:

(Fig 27.17)

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

(Fig 27.17b)

Elektronstråle (blå) i magnetisk felt

Magnetfeltlinjer rundt jorda

http://stargazers.gsfc.nasa.gov

Nordlys i “van Allen strålingsbelter”

wikipedia

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

(Fig 27.19)

ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) Grenoble, Frankrike.

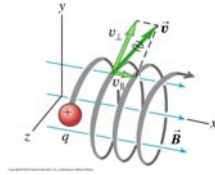
Større skala: **Large Hadron Collider (LHC)**
 CERN, Geneve: $R=4,3$ km Protoner

$R = 134$ m

Storage Ring
Accelerators
Experimental Hall

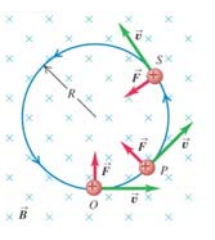
Heliksformet bane.

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:
 $F = |F| = qv_{0z}B_x = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ N}$
 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

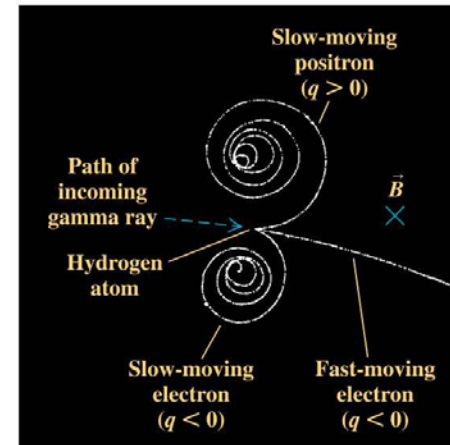
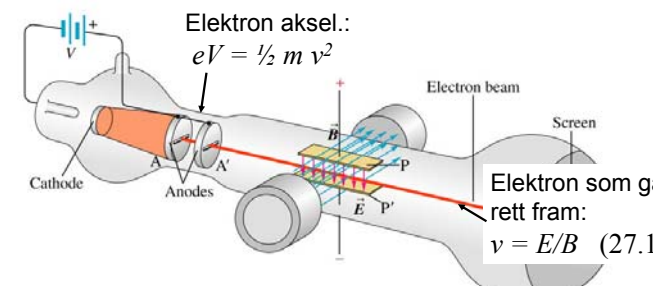


Foto fra Young & Freedman,
Fig 27.21.

Thomsons e/m -eksperiment

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



Elektron aksel.:
 $eV = \frac{1}{2} m v^2$

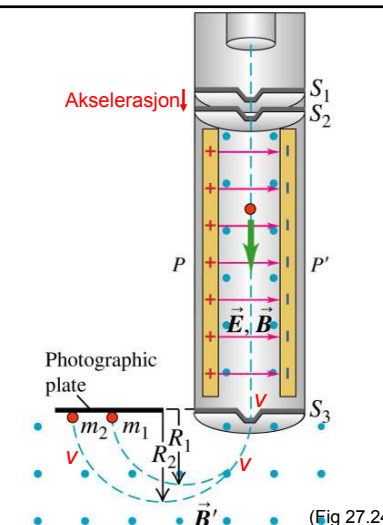
Elektron som går rett fram:
 $v = E/B$ (27.13)

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

(Fig 27.23)

Masse-spektrometer = hastighetsfilter + sirkelbaner for IONER

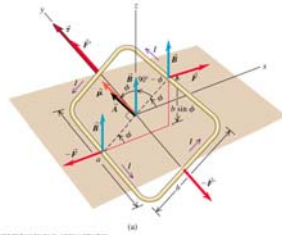
(Øving 9, opg. 3)



(Fig 27.24)

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

Kraft og kraftmoment på rektangulær ledersløyfe



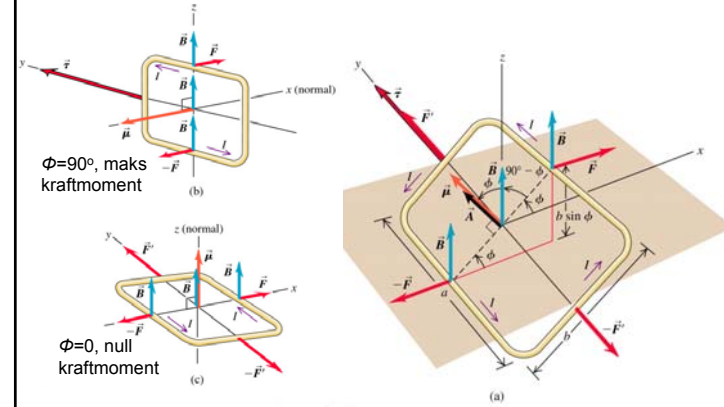
(Fig 27.31)

Nettokraft:
 $\Sigma F = 0$

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

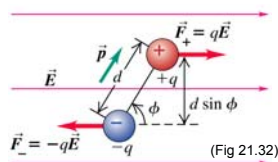
Med vektorer:
 $\tau = \mu \times B$
der $\mu = I \cdot A$

Kraftmoment på ledersløyfe



(Fig 27.31)

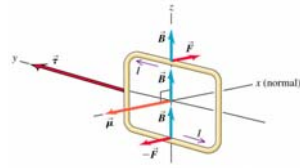
Analogi mellom elektrisk dipol p og magnetisk dipol mu



(Fig 21.32)

Kraft $F = qE$
Kraftmoment $\tau = p \times E$
Pot.energi $U = -p \cdot E$
 p søker seg paral. med E
(lavest energi)

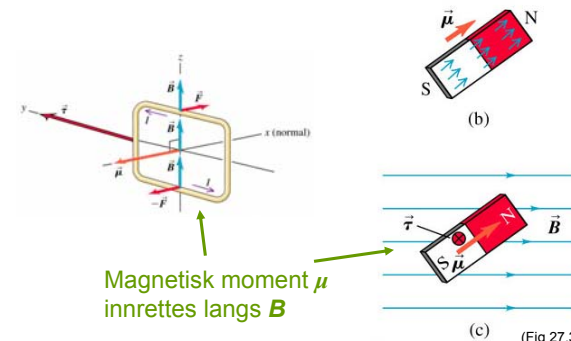
Ser dere at en magnetisk MONOPOL er utenkelig ?



Kraft $F = I l \times B$
Kraftmoment $\tau = \mu \times B$
Pot.energi $U = -\mu \cdot B$
 μ søker seg paral. med B
(lavest energi)

Strømsløyfe innrettes i et magnetisk felt,

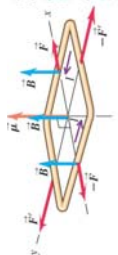
slik vil også magnet (f.eks. kompassnål) innrettes i et magnetisk felt



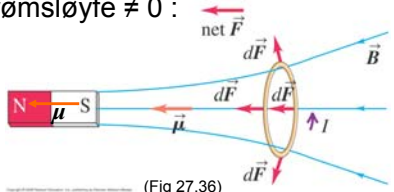
Magnetisk moment μ innrettes langs B

(Fig 27.37)

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

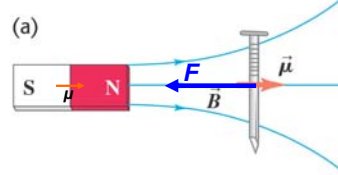


Inhomogent magnetfelt:
Nettokraft på strømsløyfe $\neq 0$:

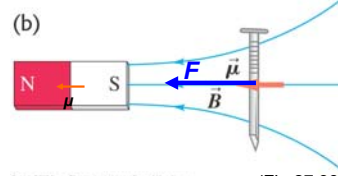


(Fig 27.36)

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

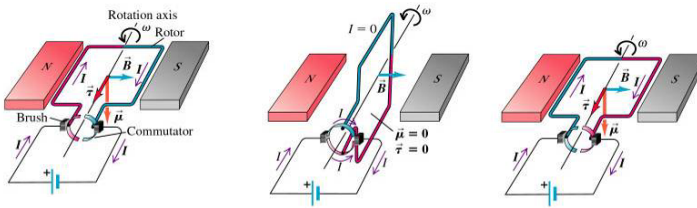


P.g.a. induert μ parallellt med B



(Fig 27.38)

DC-motor



Maks. dreiemoment τ

Null dreiemoment τ (flyter på tregheten). Strømrtn. 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 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:
 - N/S-pol** Monopol (separat S eller N) fins ikke.
 - Feltlinjer**: Lukka kurver, fra N \rightarrow S ytre og S \rightarrow N indre.
 - Magnetisk moment μ** . Høyrehåndsregel, eller: i retning S \rightarrow N.
- $\mu = I\mathbf{A}$, N strømsløyfer med areal A : $\mu = N I \mathbf{A}$
- 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:
 - Hasighetsfilter, Thomsons e/m-eksperiment, katodestrålerør, massespektrometer, syklotron, DC-motor, Hall-effekt.