

Kap. 27

Magnetisk felt og magnetiske krefter

Kortfatta målsetning:

- Forstå at magnetiske monopoler ikke fins, kun dipoler.
(mens elektriske monopoler fins, dvs. $+q$, $-q$)
- Lære at permanente magneter og elektromagneter har samme årsak:
-- ladninger i bevegelse.

Kap. 27

Kjapp historie

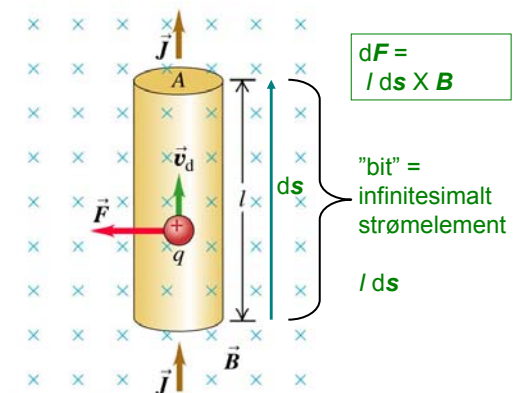
- 1000 f.Kr.: Kompass brukt i Kina og i Mexico
 800 f.Kr.: Magnetisk materiale i Magnesia i Hellas
 Magnetitt: Fe_3O_4
 1270: Nord- og sydpol
 1600: Jordmagnetisme beskrives
 1750: Magnetisk kraft prop. med $1/r^2$
 1819-25: Vitenskapelig arbeid:
 Hans Christian Ørsted, André Ampere, Jean Baptist Biot,
 Felix Savart, Michael Faraday, Joseph Henry
 1870: 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

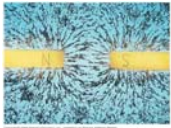


(Fig 27.25)

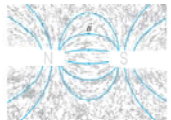
Kap. 27: Magnetisk felt og magnetiske krefter

- Forrige forelesning:**
- Lorentzkrafta = elektrisk kraft + magnetisk kraft:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$
 (magnetisk flukstetthet \mathbf{B} defineres fra denne kraftvirkningen)
- Kraft på lederbit med lengde ds : $d\mathbf{F} = I ds \times \mathbf{B}$
- Magnetiske feltlinjer
- Magnetisk fluks: $\Phi_B = \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$

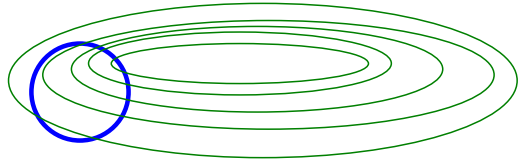


- Videre:**
- Gauss lov for \mathbf{B} -feltet
- Bevegelser av ladninger i \mathbf{B} og \mathbf{E} -felt, ved eksempler/anvendelser:
 - Hastighetsfilter
 - Thomsons e/m -eksperiment
 - Katodestrålerør
 - Massespektrometer
- Kraftmoment** på strømsløyfe
- Magnetisk moment $\boldsymbol{\mu} = I \cdot \mathbf{A}$



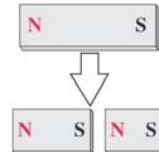
Gauss' lov for magnetfelt:

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

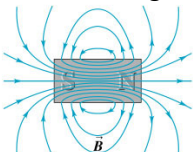


⇔ Feltlinjer er lukka kurver

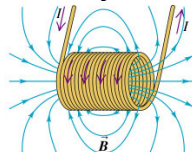
⇔ Magnetiske monopoler fins ikke:



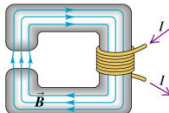
Alle magnetiske feltlinjer er lukka kurver:



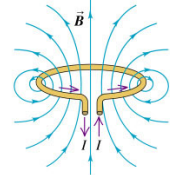
(a) Magnetic field lines through the center of a permanent magnet



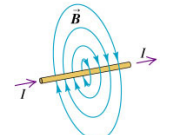
(b) Magnetic field lines through the center of a cylindrical current-carrying coil



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

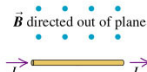


(d) Magnetic field lines in a plane containing the axis of a circular current-carrying loop

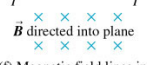


(e) Magnetic field lines in a plane perpendicular to a long, straight, current-carrying wire

\vec{B} directed out of plane

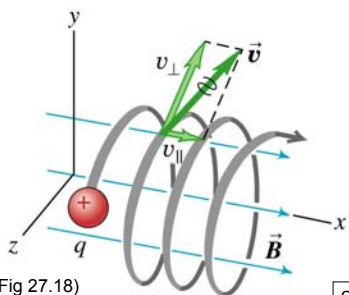


\vec{B} directed into plane



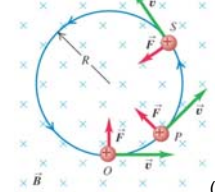
(f) Magnetic field lines in a plane perpendicular to a long, straight, current-carrying wire

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



(Fig 27.18)

Sett langs x-akse:




(Fig 27.17)

Syklotronradius: $R = mv_{0z}/qB$ (27.11)

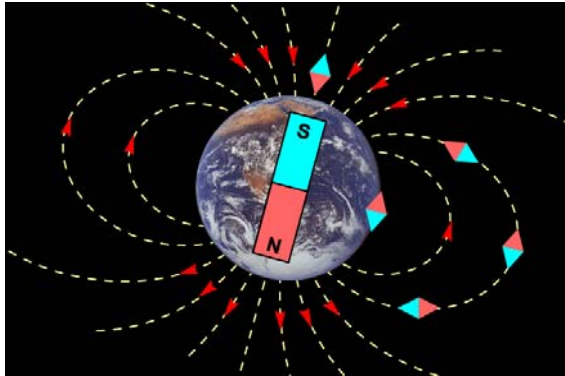
Syklotronfrekvens: $\omega = qB_x/m$ (27.12)

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"

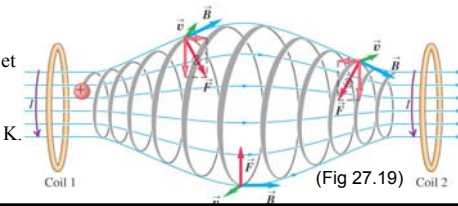


Tilsvaret

“Magnetisk flaske”:

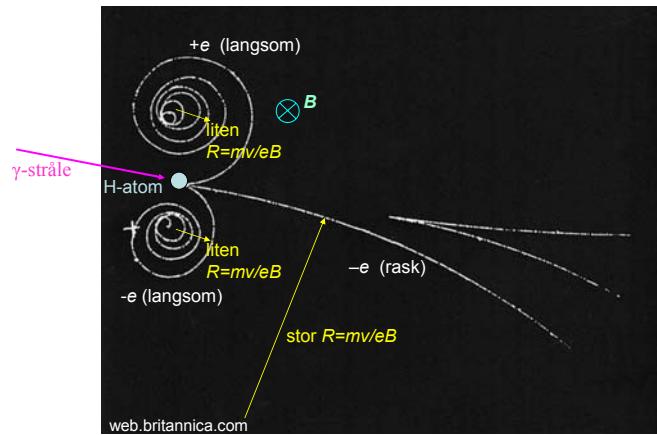
Ladde partikler kan fanges i et inhomogent magnetfelt.

Kan oppnå plasmagass med temperaturer opp i ~ million K.



(Fig 27.19)

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



web.britannica.com

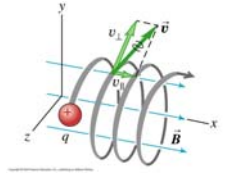
ESRF

(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)

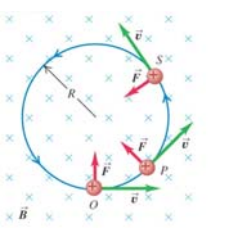


Oppgitte data:
 Proton: $B_x = 0,50 \text{ T}$
 $q = +e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $v_{0x} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ m/s}$
 $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $v_{0z} = 2,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

Finnt:
 a) Syklotronradius R
 b) Syklotronfrekvens ω
 c) Heliksens stigning (Δx per omdreining)

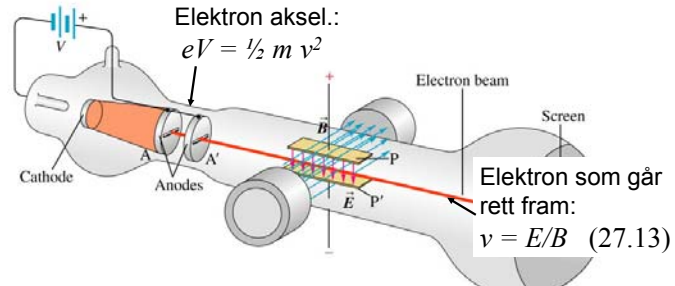
a) Syklotronradius (27.11): $R = mv_{0z}/qB_x = 4,2 \text{ mm}$
 b) Frekvens (27.12): $\omega = v_{0z}/R (= qB_x/m) = 4,8 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$,
 dvs. periode $T = 2\pi/\omega = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ s}$
 c) $\Delta x = v_{0x}T = 20 \text{ mm}$ per periode T

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



Thomsons e/m -eksperiment

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



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

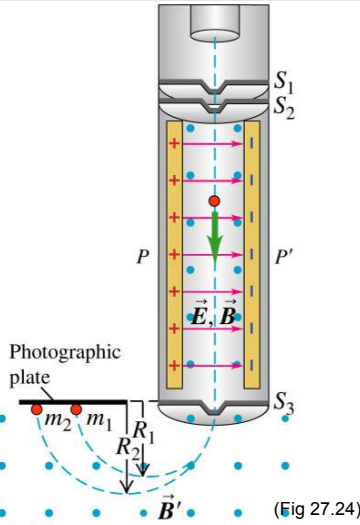
Elektron som går rett fram:
 $v = E/B \quad (27.13)$

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

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

Masse- spektrometer = hastighetsfilter + sirkelbaner for IONER

(Øving 9, opg. 3)



(Fig 27.24)

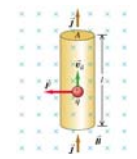
Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.

27.2 Kraft og moment på strømsløyfe

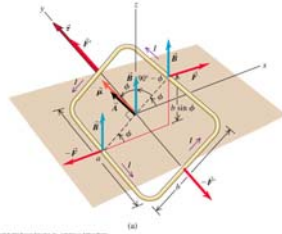
- Kraft på lederbit med lengde ds :

$$d\mathbf{F} = I ds \times \mathbf{B} \quad (27.20)$$
- Kraft på ledning i homogent felt:

$$\mathbf{F} = I \mathbf{l} \times \mathbf{B} \quad (27.19)$$



Kraft og kraftmoment på rektangulær ledersløyfe



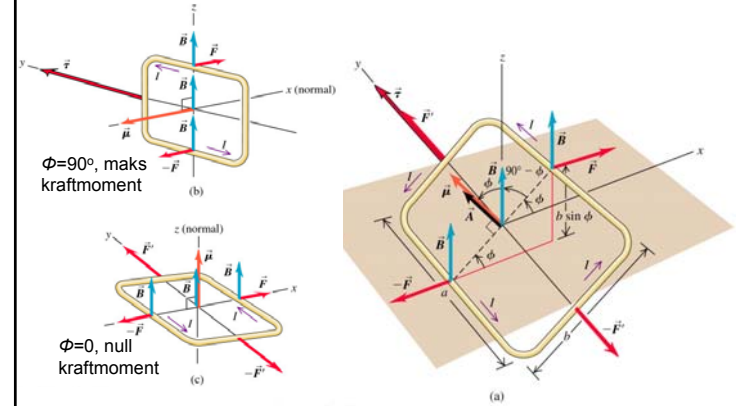
(Fig 27.31)

Nettokraft:
 $\Sigma F = 0$

Kraftmoment:
 $\tau = I a b B \sin \Phi$
 $= \mu B \sin \Phi$

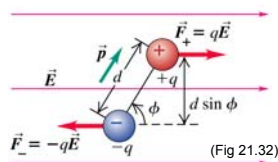
der magnetisk moment:
 $\mu = I \cdot (\text{areal}) = I \cdot ab$

Kraftmoment på ledersløyfe



(Fig 27.31)

Analogi mellom elektrisk dipol p og magnetisk dipol mu



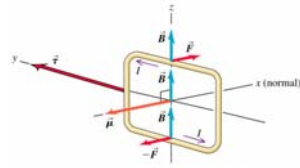
(Fig 21.32)

Kraft $F = qE$

Kraftmoment $\tau = p \times E$

Pot.energi $U = -p \cdot E$

p søker seg paral. med E (lavest energi)



Kraft $F = I l \times B$

Kraftmoment $\tau = \mu \times B$

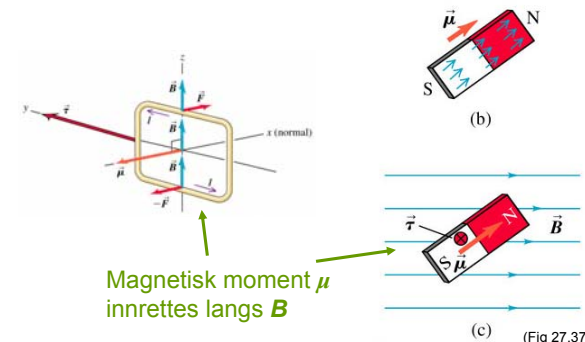
Pot.energi $U = -\mu \cdot B$

mu søker seg paral. med B (lavest energi)

Ser dere at en magnetisk MONOPOL er utenkelig ?

Strømsløyfe innrettes i et magnetisk felt,

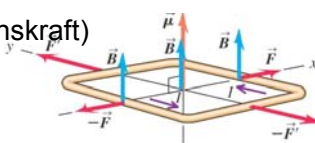
slik vil også magnet (f.eks. kompassnål) innrettes i et magnetisk felt



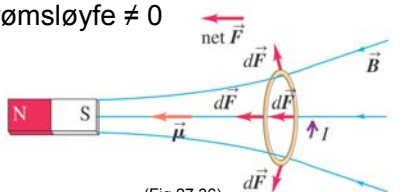
Magnetisk moment mu innrettes langs B

(Fig 27.37)

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

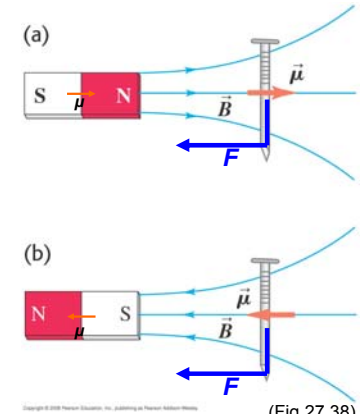


Inhomogent magnetfelt:
Nettokraft på strømsløyfe $\neq 0$



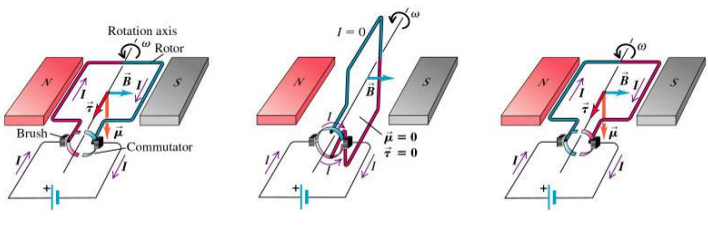
(Fig 27.36)

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



(Fig 27.38)

DC-motor



Maks. dreiemoment τ Null dreiemoment τ
(flyter på tregheten) 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:
$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

(magnetflukstetthet \vec{B} defineres fra denne)
- Kraft på lederbit med lengde ds : $d\vec{F} = I ds \times \vec{B}$
- Magnetisk fluks: $\Phi_B = \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$
- Magnetisk kilde ("magnet") angis ved alternativt:
 - N/S-pol** (monopol - dvs. 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.
- N strømsløyfer med areal A : $\mu = N I A$
- Kraftmoment på magnetisk moment i \vec{B} -felt, $\tau = \mu \times \vec{B}$, innretter momentet langs \vec{B} -feltet og momentet har potensiell energi: $U = -\mu \cdot \vec{B}$
- Jern tiltrekkes både S-pol og N-pol. \vec{B} -feltet må være inhomogent.
- Anvendelser:
Hastighetsfilter, Thomsons e/m-eksperiment, katodestrålerør, massespektrometer, syklotron, DC-motor, Hall-effekt.