

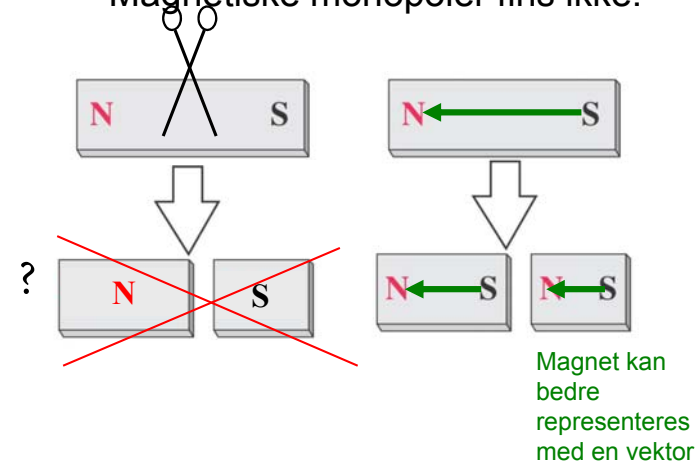
Kap. 27

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 Kir

800 f.Kr.: Magnetisk materiale
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*

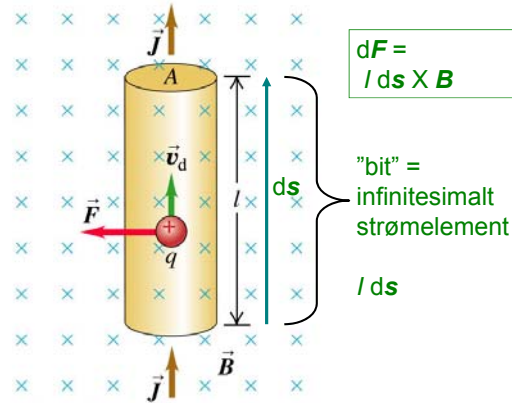
1864: Systematisering av teorien
v/*James Clerk Maxwell.*

Kap. 27

Magnetisme

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

Kraft på ledningsbit

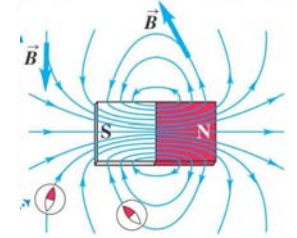


(Fig 27.25)

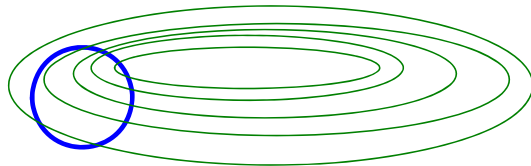
Kap. 27: Magnetisk felt og magnetiske krefter

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

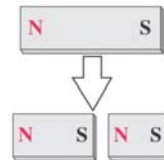


Gauss' lov for magnetfelt:
 Nettofluks lukka flate = $\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$

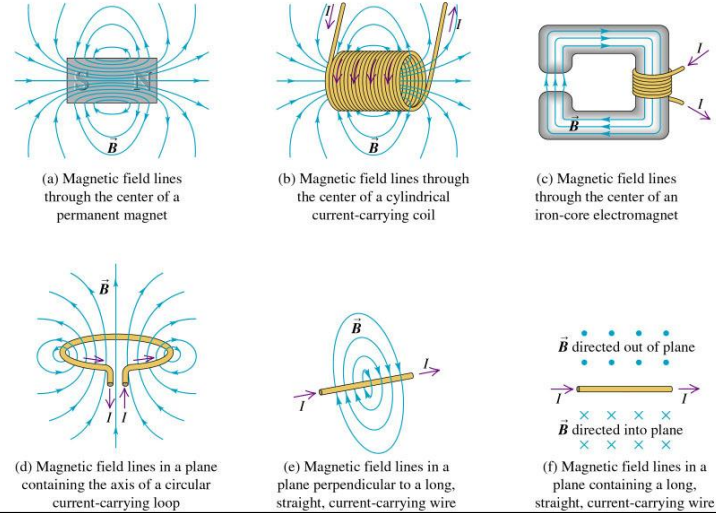


⇔ Feltlinjer er lukka kurver

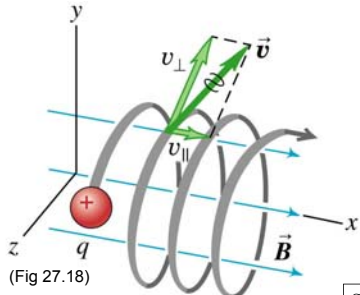
⇔ Magnetiske monopoler fins ikke:



Alle magnetiske feltlinjer er lukka kurver:

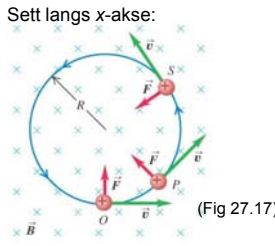


Heliksformet bane pga. Lorentzkrafta $F = (q E +) q v \times B$



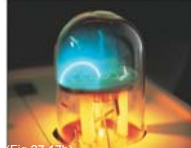
(Fig 27.18)

Sett langs x-akse:



(Fig 27.17)

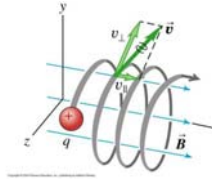
Syklotronradius: $R = mv_{0z}/qB$ (27.11)
 Syklotronfrekvens: $\omega = qB_x/m$ (27.12)
 Syklotronperiode: $T = 2\pi / \omega$

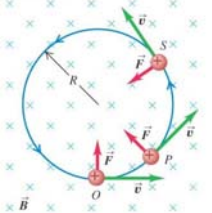


(Fig 27.17b)

Elektronstråle (blå) i magnetisk felt
Laboppgave 3

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 = $a = F/m = 9,6 \cdot 10^{12} \text{ m/s}^2$

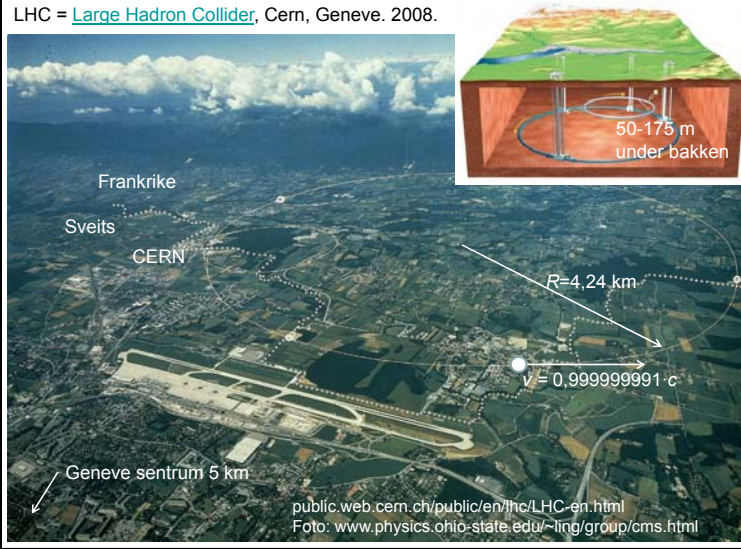
ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) Grenoble, Frankrike.



$R = 134 \text{ m}$

Storage Ring
Accelerators
Experimental Hall

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



Frankrike
Sveits
CERN

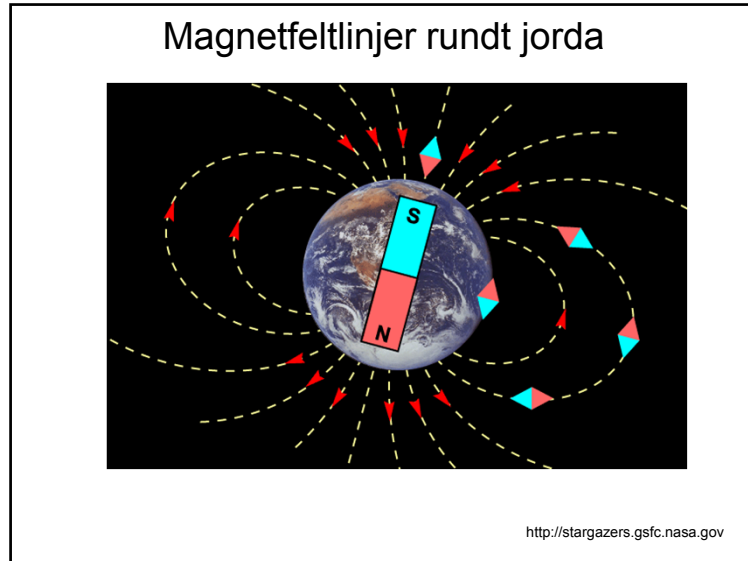
$R = 4,24 \text{ km}$

$v = 0,999999991 \cdot c$

Geneve sentrum 5 km

50-175 m under bakken

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



Nordlys i "van Allen strålingsbelter"

Tilsvarende
"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) + proton

Fig fra britannica.com

Thomsons e/m -eksperiment

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

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)

Akselerasjon ↓

Photographic plate

m_2 m_1 R_1 R_2 V V V \vec{B}'

(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 :
$$d\vec{F} = I ds \times \vec{B} \quad (27.20)$$
- Kraft på ledning i homogent felt:
$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B} \quad (27.19)$$

Kraft og kraftmoment på rektangulær ledersløyfe

(Fig 27.31)

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

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:
$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

der $\vec{\mu} = I \cdot \vec{A}$

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

(Fig 21.32)

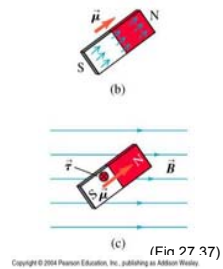
Kraft	$\vec{F} = q \vec{E}$	Kraft	$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$
Kraftmoment	$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$	Kraftmoment	$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$
Pot.energi	$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$	Pot.energi	$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$
\vec{p} søker seg paral. med \vec{E} (lavest energi)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

Ser dere at en magnetisk MONOPOL er utenkelig ?

Kap. 27: Magnetisk felt og magnetiske krefter

- 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: $\Phi_B = \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$
- Gauss lov for \mathbf{B} -feltet
- Bevegelser av ladninger i \mathbf{B} og \mathbf{E} -felt, ved eksempler/anvendelser:
 - Hastighetsfilter
 - Thomsons e/m -eksperiment
 - Massespektrometer
- Kraftmoment på strømsløyfe
- Magnetisk moment $\boldsymbol{\mu} = I \cdot \mathbf{A}$
 - 2 eksempler
- Kraft i inhomogene \mathbf{B} -felt
- DC-motorer
- Hall-effekt



I dag

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

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

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

$$ds = R d\theta$$

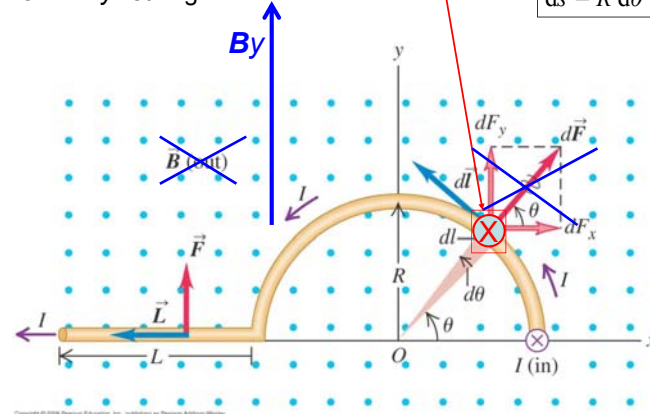


Figure 27.30

Eks. 2 Halvsirkel.
 Y&F Ex. 27.8: \mathbf{B} normalt papiirplan

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

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

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

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

$$ds = R d\theta$$

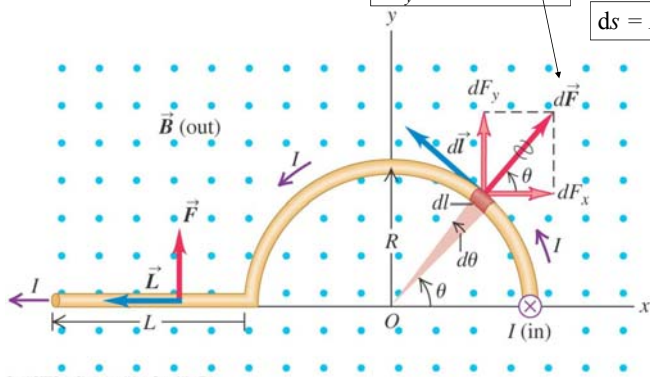
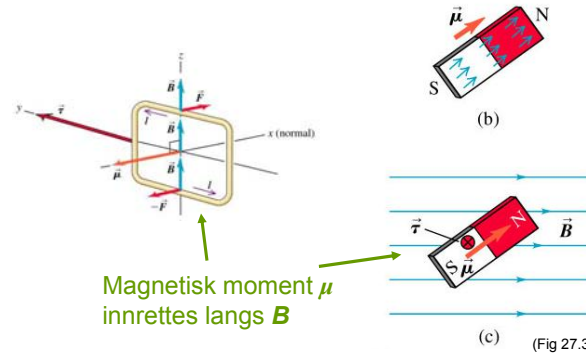


Figure 27.30

Strømsløyfe innrettes i et magnetisk felt,

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



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

(a) P.g.a. induisert μ parallellt med B

(b)

(Fig 27.38)

Opg. 26.49 i Young & Freedman. Kondensatorer initielt uladd.
Finn strøm I i amperemeter A

a) umiddelbart etter bryter slått på: $I(t=0^+)$,
b) etter svært lang tid: $I(\infty)$.

Figure 26.60

Fra kap. 26: RC-kretser

$V_C = Q/C$

$V_R = RI$

$V_C = Q/C$

$t = 0^+ : V_C = Q/C = 0$
ingen spenningsfall over kondensator, dvs. kondensator er som KORTSLUTNING

Opg. 26.49 i Young & Freedman. Kondensatorer initielt uladd.
 Finn strøm I i amperemeter A

a) umiddelbart etter bryter slått på: $I(t=0^+)$, kondensatorer som kortslutning

Figure 26.60

Fra kap. 26: RC-kretser

$V_C = Q/C$

$t = \infty: V_C = \varepsilon$
 Hele spenningsfall over kondensator, ingen strøm, dvs. kondensator er som ÅPEN KRETS

Opg. 26.49 i Young & Freedman. Kondensatorer initielt uladd.
 Finn strøm I i amperemeter A

b) etter svært lang tid: $I(\infty)$, kondensatorer som åpen krets

Figure 26.60

Øving 8, opg. 6.

Alltid er $V_a = \varepsilon$

$t=0^+$ (kond. som kortsluttet): $I = \varepsilon/R_1$ og $I_C = I$

$t \rightarrow \infty$ (kond. som åpen grein): $I = \varepsilon/(R_1 + R)$ og $I_C = 0$

alle t Enklest å løse likning for I_C , som ifølge ovenfor må ha form:
 $I_C(t) = I_C(0) \exp(-t/\tau)$

alle t Enklest å løse likning for I_C , som ifølge ovenfor må ha form:
 $I_C(t) = I_C(0) \exp(-t/\tau)$

$I_C = dQ_C/dt$, $Q_C = C V_C$, $V_C = V_R = I_R R$, $I = I_C + I_R$,
 $E = R_I I + V_C$, $V_C = Q_C/C$, $I_C = dQ_C/dt$

osv gir
 3 ukjente: I , I_C , I_R , V_C

Øving 9, flervalg:

a) En punktladning q er plassert i det ene hjørnet av en kube. Hva blir elektrisk fluks gjennom den skraverte (høyre) sideflata i figuren?

A) q D) $q/8$
 B) $q/3$ E) $q/24$
 C) $q/4$

Elek. fluks = fluks til D -feltet
 $\Phi = D \cdot A$

Young & Freedman, kap. 22.2:

If the area A is flat but not perpendicular to the field \vec{E} , then fewer field lines pass through it. In this case the area that counts is the silhouette area that we see when looking in the direction of \vec{E} . This is the area A_\perp in Fig. 22.6b and is equal to $A \cos \phi$ (compare to Fig. 22.5b). We generalize our definition of electric flux for a uniform electric field to

$\Phi_E = EA \cos \phi$ (electric flux for uniform \vec{E} , flat surface) (22.1)

Since $E \cos \phi$ is the component of \vec{E} perpendicular to the area, we can rewrite Eq. (22.1) as

$\Phi_E = E_\perp A$ (electric flux for uniform \vec{E} , flat surface) (22.2)

In terms of the vector area \vec{A} perpendicular to the area, we can write the electric flux as the scalar product of \vec{E} and \vec{A} :

$\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A}$ (electric flux for uniform \vec{E} , flat surface) (22.3)

Elek. fluks = fluks til E -feltet
 $\Phi_E = E \cdot A$

Eksamen juni 2007, oppg. 3 a)

Lang tid: Kondensatorer oppladd og kan "tas bort".

Finn I , samt Q_1, Q_2, Q_3, Q_4

$R = 1.0 \text{ M}\Omega$
 $C = 1.0 \text{ nF}$
 $V_0 = 1.25 \text{ kV}$

$E = D$

Eksamen juni 2007, oppg. 3 a)

Lang tid:

Finn I , samt Q_1, Q_2, Q_3, Q_4

$R = 1.0 \text{ M}\Omega$
 $C = 1.0 \text{ nF}$
 $V_0 = 1.25 \text{ kV}$

$E = D$

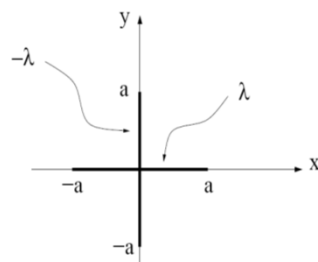
$Q_1 = C V_1 = C (V_A - V_D)$ etc.

Fra Eksamen juni 2009:
OPPGAVE 1 (Elektrostatikk. Vekt: a teller 10%, b teller 20%. Totalt 30%.)

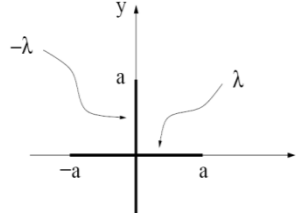
a. To punktladninger er plassert på x -aksen, Q i $x = a$ og $-Q$ i $x = 0$.

- Hva er systemets netto ladning?
- Hva er systemets elektriske dipolmoment?
- Bestem den elektriske feltstyrken $E(x)$ på x -aksen. (Anta at $x > a$.)

b. De to punktladningene erstattes nå av to linjeladninger, slik at en positiv ladning Q ligger jevnt fordelt på x -aksen mellom $x = -a$ og $x = a$, og en negativ ladning $-Q$ ligger jevnt fordelt på y -aksen mellom $y = -a$ og $y = a$:



Fra Eksamen juni 2009:



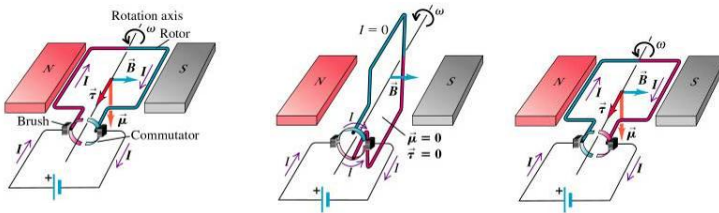
- Hva er ladningen pr lengdeenhet, henholdsvis λ mellom $-a$ og a på x -aksen og $-\lambda$ mellom $-a$ og a på y -aksen?
- Hva er dette systemets elektriske dipolmoment?
- Bestem den elektriske feltstyrken $E(x)$ på x -aksen. (Uttrykt bl.a. ved Q og a . Anta også her at $x > a$.)
- Langt ute på x -aksen kan $E(x)$ tilnærmet skrives på formen

$$E(x) \simeq \beta x^{-n}.$$

Vis dette og fastlegg derved β og n . (n er heltallig.)

[Med "tilnærmet" menes her til såkalt "ledende orden" i den lille dimensjonsløse størrelsen a/x , dvs første ledd i en polynomutvikling i a/x . Merk at punkt *iv*) i stor grad kan besvares med utgangspunkt i punkt *ii*), i tilfelle du ikke har fått til punkt *iii*).]

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 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.
- $\mu = I A$, N strømsløyfer med areal A : $\mu = N I A$
- 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.