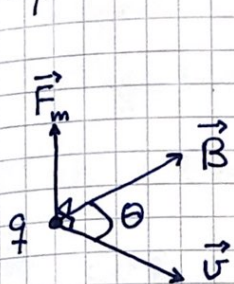


Magnetostatikk [OS2 11,12 ; YF 27,28 ; LHL 23] (98)

Magnetisk kraft [OS2 11.2 ; YF 27.2 ; LHL 23.4]

En strøm I omgir seg med et magnetfelt \vec{B} .

En ladning q med fart \vec{v} i et magnetfelt \vec{B} påvirkes av magnetisk kraft



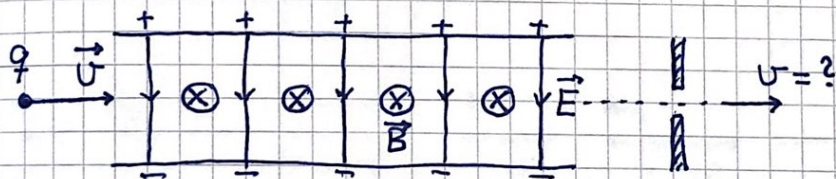
$$\vec{F}_m = q \vec{v} \times \vec{B}$$

dvs $F_m = qvB \sin \theta$

$$\vec{F}_m \perp \vec{B}, \quad \vec{F}_m \perp \vec{v}$$

Enhet: $[B] = \frac{N}{C \cdot m/s} = \frac{N}{A \cdot m} = T$ (tesla)

Eks: Krysset \vec{E} - og \vec{B} -felt



Notasjon:

\otimes inn i planet

\odot ut av --

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = \text{Lorentzkraften}$$

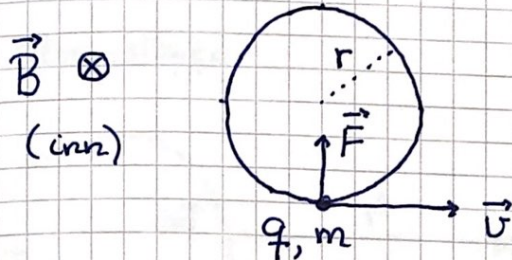
$$\vec{F}_e \text{ ned, } \vec{F}_m \text{ opp (når } q > 0)$$

\Rightarrow ingen avbøyning når $\underline{v = E/B}$.

Ladning i uniformt \vec{B} -felt

(99)

[OS2 11.3; YF 27.4; LHL 23.1, 23.4]



Antar $\vec{v} \perp \vec{B}$

[Bare v_{\perp} påvirkes av \vec{B}]

$$\Rightarrow F = qvB$$

Tilført effekt: $P = \vec{F} \cdot \vec{v} = 0$

\Rightarrow Magnetisk kraft kan aldri gjøre noe arbeid.

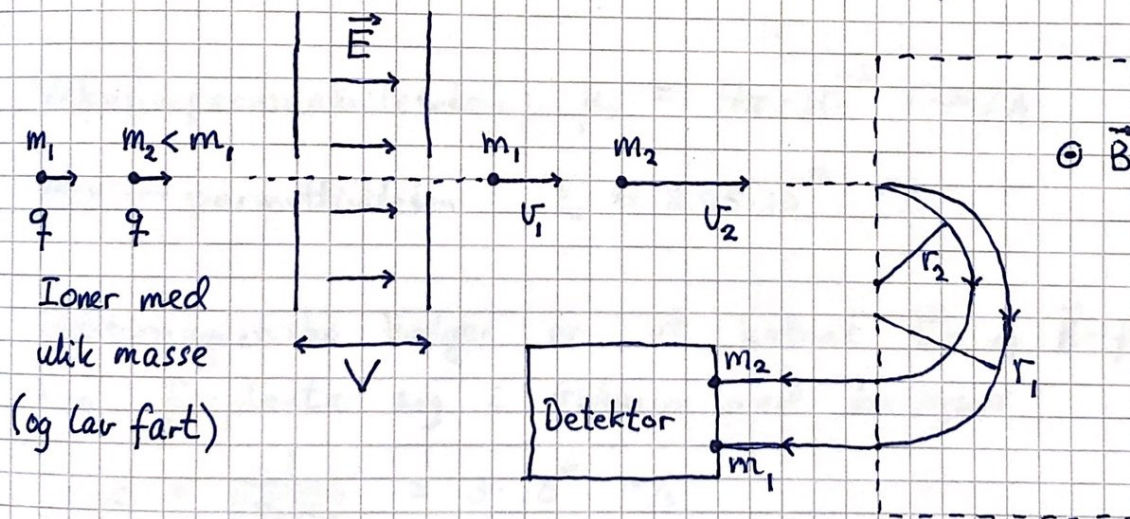
$\Rightarrow K = \frac{1}{2}mv^2 = \text{konstant} \Rightarrow$ uniform sirkelbevegelse

$$\stackrel{N2}{\Rightarrow} qvB = mv^2/r \Rightarrow r = mv/qB$$

Syklotronfrekvensen: $\omega_c = v/r = qB/m$

Massespektrometer

[OS2 11.7; YF 27.5; Øv.12]



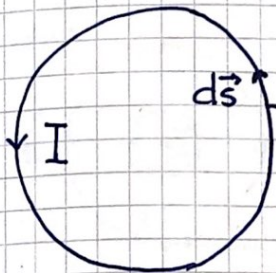
$$\frac{1}{2}mv^2 = qV \Rightarrow r \sim \sqrt{m}$$

Kan f.eks separere isotoper, eller verifisere fragmenter av større molekyler som har blitt delt opp og ionisert ved å bombardere dem med elektroner.

Biot-Savarts lov [OS2 12.1; YF 28.2; LHL 23.5]

(100)

Strømsløyfe



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} =$$

magnetfelt i avstand \vec{r} fra lederbit $d\vec{s}$ med strøm I

Totalt magnetfelt fra strømsløyfa:

$$\boxed{\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}} \quad \text{Biot-Savarts lov (1820)}$$

jf. Coulombs lov: $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq \hat{r}}{r^2}$

Vakuumpermeabiliteten: $\mu_0 \approx 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$

— " — permittiviteten: $\epsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$

Elektromagnetiske bølger er et koblet \vec{E} - og \vec{B} -felt som forplanter seg i vakuum med hastighet

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

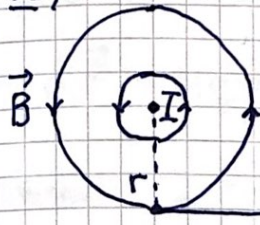
Tre konkrete eksempler (se notat for utledninger)

(10)

[OS2 12.2, 12.4, 12.6; YF 28.3, 28.5, 28.7; LHL 23.5, 23.6]

1. Lang rett strømførende leder: \vec{B} tangent til sirkel

(I ut)



$$\vec{B}(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \hat{\phi}$$

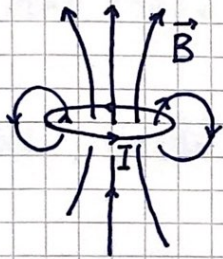
\Rightarrow sirkulære feltlinjer

Alltid lukkede feltlinjer for \vec{B} .

HHR: Tommel langs I , og

4 fingre krummer langs \vec{B} .

2. Sirkulær strømsløyfe

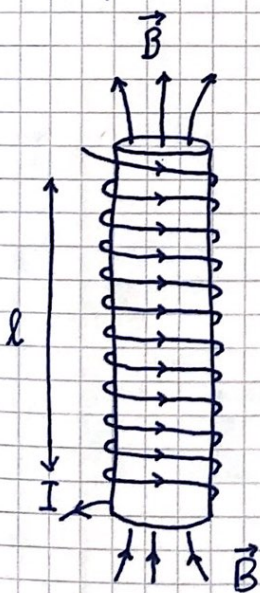


HHR: 4 fingre langs I og tommel langs \vec{B}

på sløyfas akse. På sløyfas akse (x-aksen):

$$B(x) = \mu_0 I R^2 / 2(x^2 + R^2)^{3/2}; \quad R = \text{sløyfas radius}$$

3. Spole



Antar lang og tett viklet spole, N viklinger på lengden l , spolestrøm I .

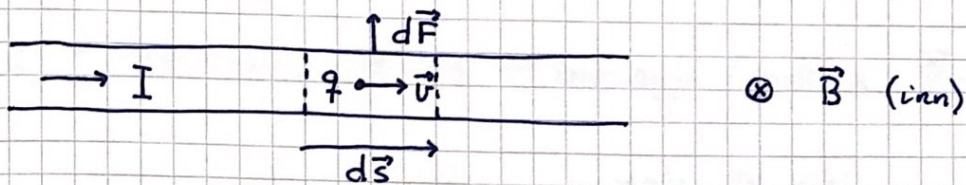
Inni spolen: Uniformt felt, $B = \mu_0 n I$

$n = N/l =$ viklinger pr lengdeenhet

Utenfor spolen: $B \approx 0$ (unntatt ved endene)

Dette er en elektromagnet.

Magnetisk kraft på strøm [OS2 11.4; YF 27.6; LHL 23.2] (102)



Anta N frie ladninger q med driftshastighet \vec{v} på ds
 $\Rightarrow d\vec{F} = Nq\vec{v} \times \vec{B} = \text{kraft på } ds$

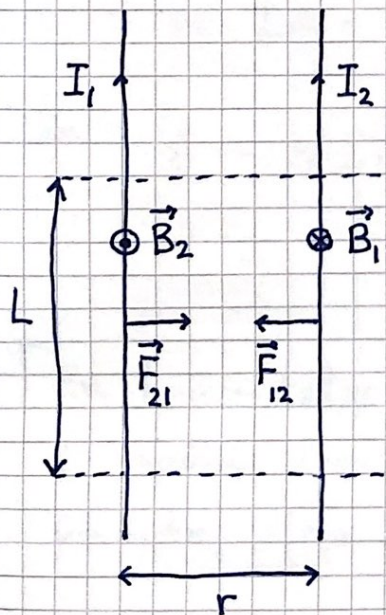
Strøm: $I = \frac{dQ}{dt} = \frac{Nq}{ds/v} \Rightarrow Nq\vec{v} = I d\vec{s}$

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

\Rightarrow Total kraft på hele lederen: $\vec{F} = I \int_{\text{leder}} d\vec{s} \times \vec{B}$

Rettleder, lengde L , uniform B : $F = BIL$

Eks 1: Kraft mellom parallelle strømmer
 [OS2 11.4; YF 28.4; LHL 23.5]



$B_{1,2} = \frac{\mu_0 I_{1,2}}{2\pi r} = \text{feltstyrke i avstand } r \text{ fra leder } 1, 2$

Innbyrdes kraft på lengde L :

$F_{12} = F_{21} = F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi r}$

Pr lengdeenhet: $f = \frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$

(Frastøtning hvis motsatt retning på I_1 og I_2)

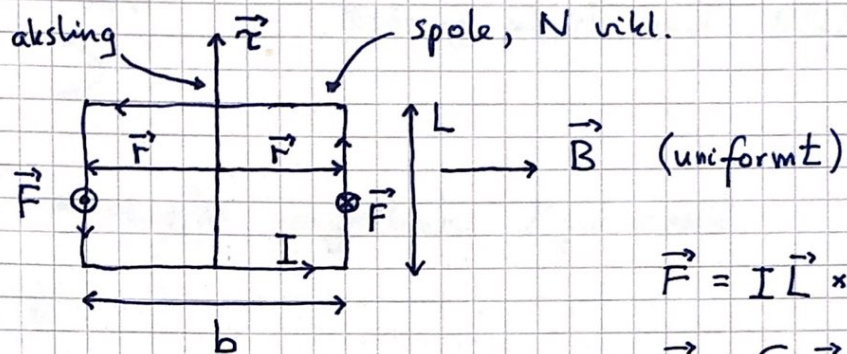
Hvis f.eks. $I_1 = I_2 = 1 \text{ A}$, $r = 1 \text{ m}$:

$f = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N/m}$

Eks 2: DC-motor [OS2 11.5; YF 27.8; LHL 26.3]

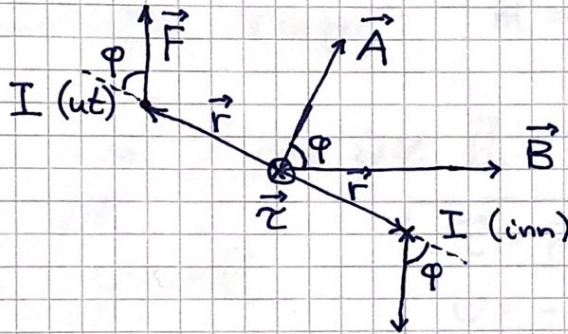
(103)

Prinsipp: Dreiemoment på strømsløyfe/spole i \vec{B} -felt.



$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

$$\vec{\tau} = \sum \vec{r} \times \vec{F}$$



$$F = ILB$$

$$r = b/2$$

$$A = b \cdot L$$

$$\tau = N \cdot 2 \cdot \frac{b}{2} \cdot ILB \cdot \sin \varphi$$

$$= N \cdot IA \cdot B \cdot \sin \varphi = |NIA \vec{A} \times \vec{B}|$$

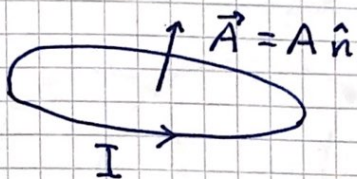
ders: $\vec{\tau} = NIA \vec{A} \times \vec{B}$ = dreiemomentet på spole med N viklinger

[En kommutator sørger for strømretning som gir $\vec{\tau}$ i samme retning hele tiden. Se f.eks. Jared Owen, youtube, how does an electric motor work?]

Magnetisk dipolmoment [OS2 11.5; YF 27.7; LHL 23.3, 26.2]

104

Strømsløyfe = magnetisk dipol:



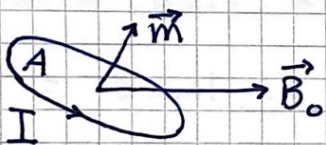
Retning på \vec{A} med HHR.

$\vec{m} = I \vec{A} =$ sløyfas magnetiske dipolmoment

$$[m] = A \cdot m^2$$

Spole med N viklinger: $\vec{m} = N I \vec{A}$

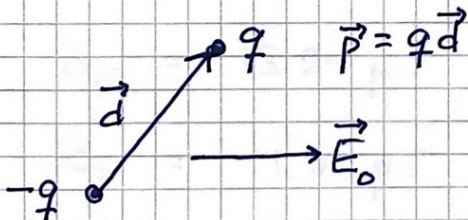
Magnetisk dipol i ytre felt \vec{B}_0 :



$$\begin{aligned} \vec{\tau} &= \vec{m} \times \vec{B}_0 \\ U &= -\vec{m} \cdot \vec{B}_0 \end{aligned}$$

(Øving 13)

Jf. elektrisk dipol i ytre felt \vec{E}_0 :



$$\begin{aligned} \vec{\tau} &= \vec{p} \times \vec{E}_0 \\ U &= -\vec{p} \cdot \vec{E}_0 \end{aligned}$$

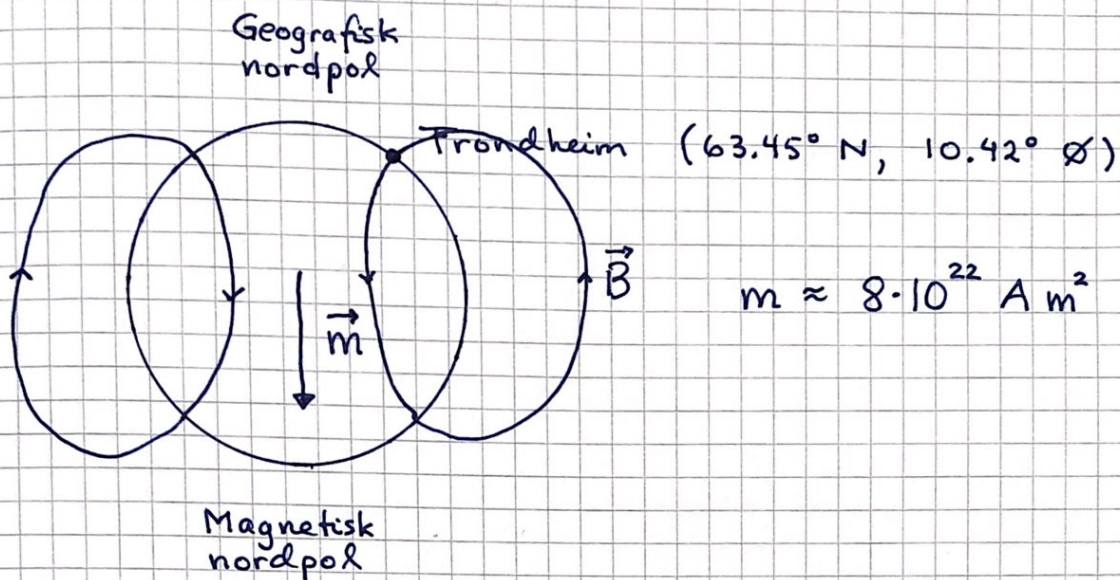
Eks 1: Bestem m for spole med 3200 viklinger, tverrsnitt 4 cm^2 og spolestrom 2.5 A . Bestem τ_{\max} på spolen i ytre felt 1.5 T .

$$\text{Løsning: } m = N I A = 3200 \cdot 2.5 \text{ A} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = \underline{3.2 \text{ A} \cdot \text{m}^2}$$

$$\tau_{\max} = m \cdot B_0 = 3.2 \cdot 1.5 \text{ Nm} = \underline{4.8 \text{ Nm}}$$

Ek 2: \vec{B} i Trondheim ("World Magnetic Model")

(105)



Trondheim mars 2022:

$$|\vec{B}| = 52.11 \mu\text{T}$$

$$\frac{dB}{dt} = 48 \text{ nT pr år}$$

$$B_{\perp} = 50.31 \mu\text{T}$$

$$B_{\parallel} = 13.57 \mu\text{T}$$

$$B_N = 13.54 \mu\text{T}$$

$$B_{\varnothing} = 1.03 \mu\text{T}$$

