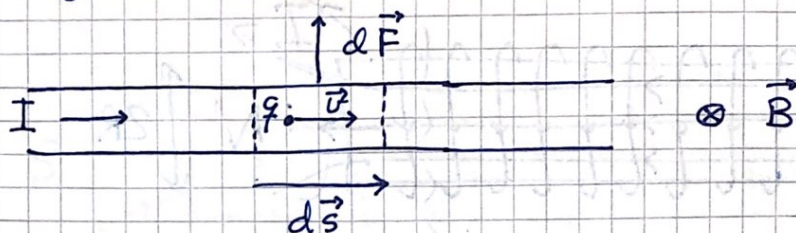


Magnetisk kraft på strøm, [052 11.4]

uke 9

58



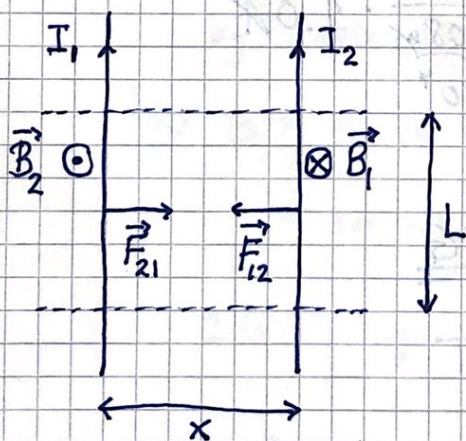
Strømmen I tilsvarer en fri ladning dQ som passerer et tverrsnitt av lederen på tida dt . Driftshastigheten til dQ er $\vec{v} = d\vec{s}/dt$. Da blir magnetisk kraft på lederbiten

$$d\vec{F} = dQ \cdot \vec{v} \times \vec{B} = dQ \cdot \frac{d\vec{s}}{dt} \times \vec{B} = I \cdot d\vec{s} \times \vec{B}$$

Total kraft på lederen:

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

Eks: Kraft mellom to parallelle strømmer [052 11.4]



$$B_j = \frac{\mu_0 I_j}{2\pi x} \quad (j = 1, 2)$$

= feltstyrke i avstand x fra leder nr j

Innbyrdes kraft på lengde L :

$$F_{12} = F_{21} = F \quad (\text{N})$$

$$F = I_2 L B_1 = I_1 L B_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi x}$$

Pr lengdeenhet: $F/L = \mu_0 I_1 I_2 / 2\pi x$

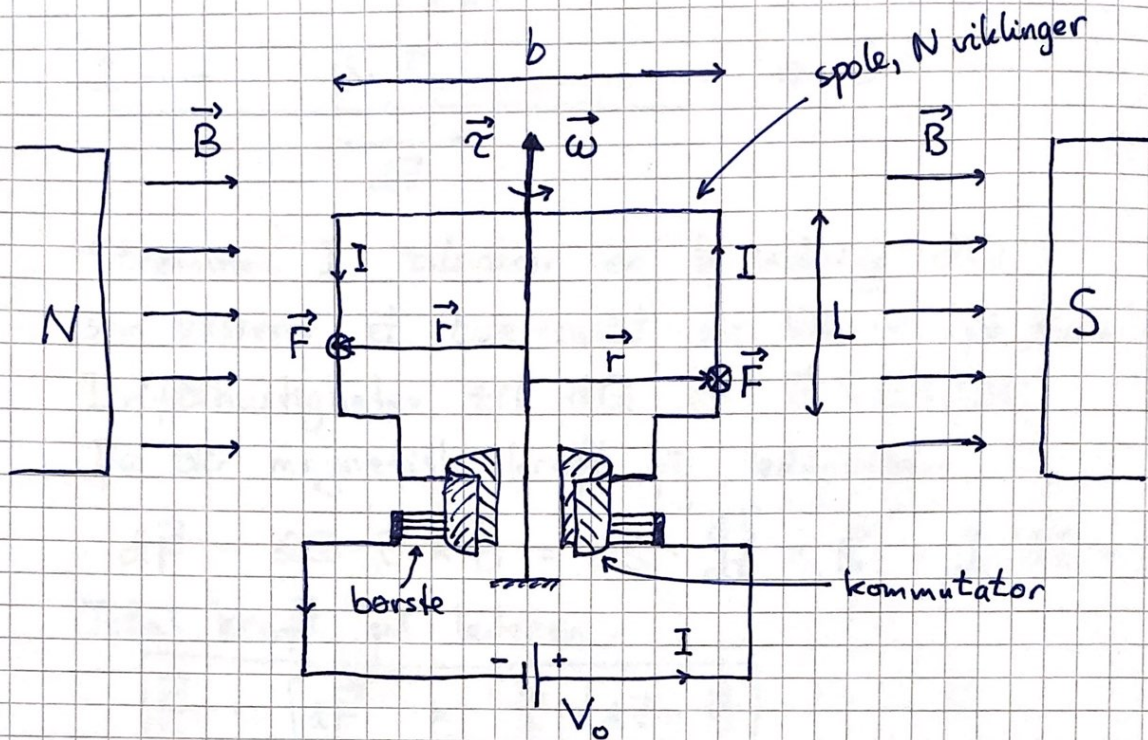
Tiltrekning med I_1 og I_2 i samme retning;

frastøtning hvis motsatt retning.

Likestrømmotor

[OS2 11.5]

(59)

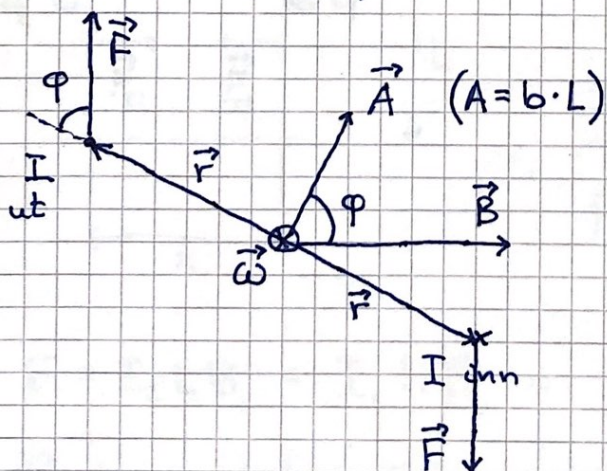


Dreiemoment $\vec{\tau} \Rightarrow$ spolen roterer.

Kommulator roterer med spolen og gir strømretning slik at $\vec{\tau}$ har fast retning. (mutare (latin) = endre)

Børster sørger for lukket strømkrets.

Med $\vec{\omega}$ inn i planet:



$$\left. \begin{aligned} \vec{F} &= I \vec{L} \times \vec{B} \\ \vec{\tau} &= \sum \vec{r} \times \vec{F} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

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

$$= N \cdot IA \cdot B \cdot \sin\phi$$

$$= |NI\vec{A} \times \vec{B}|$$

da

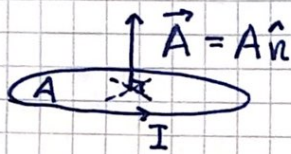
$$\vec{\tau} = NI\vec{A} \times \vec{B}$$

Magnetisk dipolmoment

[OS2 11.5]

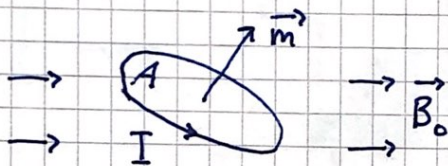
(60)

Strømsøyfe = magnetisk dipol



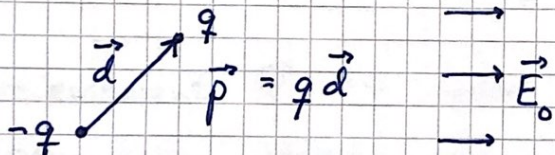
$\vec{m} = I \vec{A}$ = strømsøyfas magnetiske dipolmoment; $[m] = A \cdot m^2 = J/T$

I ytre felt $\vec{B}_0$:



$$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}_0$$
$$U = -\vec{m} \cdot \vec{B}_0$$

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



$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}_0$$
$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}_0$$

Eks 1.

(a) Bestem $|\vec{m}|$ for spole med $N=1600$, $A=4\text{ cm}^2$ og strøm $I=2.5\text{ A}$.

(b) Bestem max $|\vec{\tau}|$ på spolen i ytre felt $B_0=1.2\text{ T}$

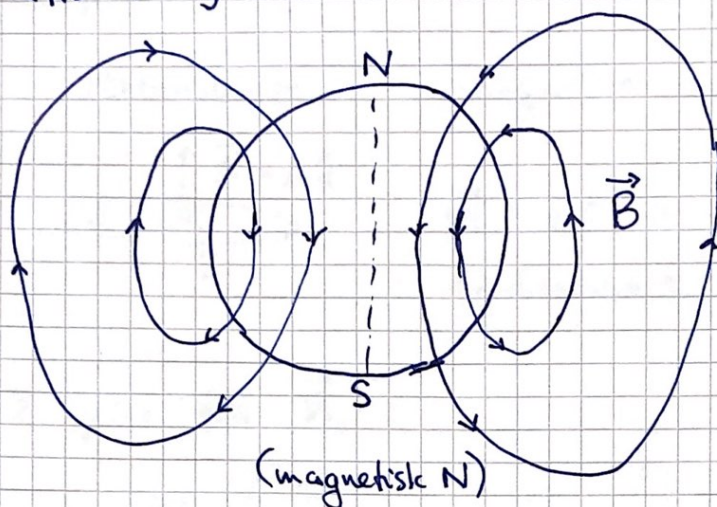
Løsning:

(a) $m = N \cdot I \cdot A = 1600 \cdot 2.5\text{ A} \cdot 4 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2 = \underline{1.6\text{ Am}^2}$

(b) $\tau_{\text{max}} = m \cdot B_0 = 1.6\text{ Am}^2 \cdot 1.2\text{ T} = \underline{1.92\text{ Nm}}$

Eks 2. Jorda

(61)



$$m \approx 8 \cdot 10^{22} \text{ A m}^2$$

Vinkel mellom $\vec{m}$ og $\vec{\omega}$: 9.4° (i dag)

Trondheim mars 2022:

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

$$dB/dt = 48 \text{ nT pr år}$$

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

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

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

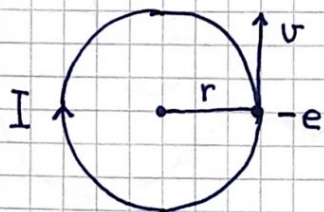
$$B_{\theta} = 1.03 \mu\text{T}$$

Magnetisme

[OS2 12.7]

(62)

Atomer er små strømsløyfer, pga elektronenes bevegelse rundt kjernen:



Midlere strøm: $I = \frac{e}{T}$

Omløpstid: $T = 2\pi r / v$

Omløpt areal: $A = \pi r^2$

$$\Rightarrow m = I \cdot A = \frac{e}{2\pi r / v} \cdot \pi r^2 = \frac{1}{2} e v r$$

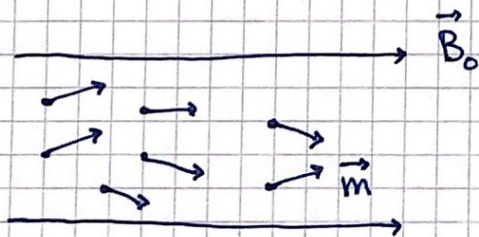
Omtrentlig abs.verdi: $10^{-19} \text{ C} \cdot 10^6 \text{ m/s} \cdot 10^{-10} \text{ m} = 10^{-23} \text{ A} \cdot \text{m}^2$

Ekspenimenter og krantermekanikk viser at elektronet har en indre dreieimpuls, et spinn $\vec{S}$, med abs. verdi $S = \hbar \cdot \sqrt{s(s+1)}$, med kvantetall $s = 1/2$, dvs $S = \sqrt{3/4} \hbar$. Her er $\hbar = h/2\pi \approx 1.05 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, og $h = \text{Plancks konstant} \approx 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Elektronets spinn tilsvare et magnetisk dipolmoment

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} \approx 9.274 \cdot 10^{-24} \text{ J/T} = 1 \text{ Bohr magneton}$$

Pga dreiemomentet $\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}_0$ vil atomære dipoler få en tendens til innretning av $\vec{m}$ langs det ytre feltet $\vec{B}_0$; materialet magnetiseres:

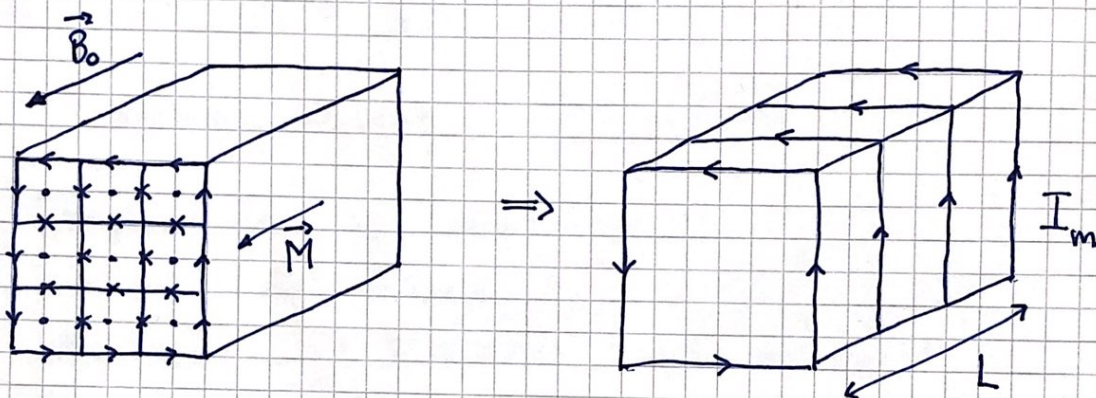


Dipolmoment pr volumenet i et stoff kalles hhv

magnetisering, $\vec{M} = \sum_i \vec{m}_i / V$, $[M] = A/m$

og polarisering, $\vec{P} = \sum_i \vec{p}_i / V$, $[P] = C/m^2$

Nettoeffekt av innretting av magn. dipoler er en overflatestrøm:



- Dette er en bundet strøm i hvert atom
- Indre strømmer kansellerer
- Overflatestrøm pr lengdeenhet: $i_m = I_m / L$
- Som en spole
- Feltet styrkes inne i materialet: $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_m$
- Lineær respons: B_m prop. med $B_0 \Rightarrow B$ prop. med B_0
- Materialets relative permeabilitet: μ_r

$$B = \mu_r \cdot B_0 \quad ; \quad [\mu_r] = 1$$

Jf. dielektrikum: $E = E_0 / \epsilon_r$ (svekket felt i materialet)