Institutt for fysikk, NTNU
TFY4155/FY1303: Elektrisitet og magnetisme
Vår 2004

Sammendrag, uke 13 (24. og 26. mars)

Magnetisk vekselvirkning [FGT 29, 30; YF 28, 29; AF 22, 24B; LHL 23; G 5]

Magnetisme som relativistisk fenomen (orienteringsstoff) [G 12.3.1]

Se eget notat. ("Notater.")

Ladet partikkel i uniformt magnetfelt [FGT 29.3; YF 28.5; AF 22.3; LHL 23.1, 23.4; G 5.1.2]

Kraft på ladning q med hastighet $\boldsymbol{v}$ i magnetfelt $\boldsymbol{B}$:

$$\boldsymbol{F} = q\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}$$

Med vinkel θ mellom $\boldsymbol{v}$ og $\boldsymbol{B}$:

$$F = qvB \sin\theta$$

Dersom $\boldsymbol{v} \perp \boldsymbol{B}$:

$$F = qvB$$

Har alltid $\boldsymbol{F} \perp \boldsymbol{v}$ og $\boldsymbol{F} \perp \boldsymbol{B}$. Når $\boldsymbol{F} \perp \boldsymbol{v}$ blir partikkelens bane en *sirkel* med konstant $v = |\boldsymbol{v}|$:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{F} \perp \boldsymbol{v} \quad &\Rightarrow \quad \boldsymbol{F} \perp \frac{d\boldsymbol{l}}{dt} \\ \Rightarrow \quad dW &= \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{l} = 0 \end{aligned}$$

dvs: $\boldsymbol{F}$ utfører null arbeid

$$\Rightarrow v = \text{ konstant } \text{ og } T = \frac{1}{2}mv^2 = \text{ konstant}$$

Sentripetalakselerasjon:

$$\begin{aligned} a &= \frac{v^2}{r} \\ \Rightarrow F &= ma = m\frac{v^2}{r} = qvB \\ \Rightarrow r &= \frac{mv}{qB} \end{aligned}$$

der r er sirkelbanens radius.

Sirkelbevegelsens *vinkelfrekvens*:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m} \equiv \omega_c \quad \text{(syklotronfrekvensen)}$$

Vinkelfrekvens = "omløpt" vinkel pr tidsenhet

Frekvensen = antall omløp pr tidsenhet:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

Perioden = omløpstida:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

Med både elektrisk felt $\boldsymbol{E}$ og magnetfelt $\boldsymbol{B}$ tilstede påvirkes ladningen av *Lorentzkraften*:

$$\boldsymbol{F} = q\boldsymbol{E} + q\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}$$

Vi ser at enheten for magnetfelt må være

$$[B] = \frac{[F]}{[qv]} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{Cm/s}}$$

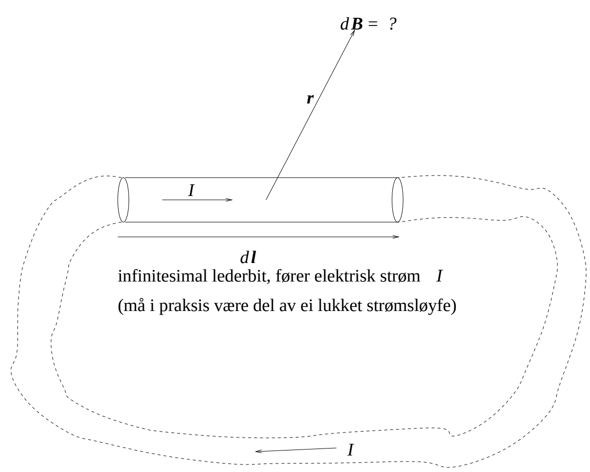
I SI-systemet har dette fått en egen betegnelse:

$$[B] = \mathrm{T}$$

eller *tesla*. En alternativ enhet for magnetfeltet er *gauss* (G). 1 tesla er det samme som 10000 gauss. Jordmagnetfeltet er ca 0.5 G, så et magnetfelt på 1 T er ganske mye.

Magnetfelt fra elektrisk strøm [FGT 30.4; YF 29.3; AF 24.11; LHL 23.5; G 5.2]

Biot–Savarts lov (empirisk, dvs eksperimentelt funnet):



Bidraget $d\boldsymbol{B}$ til magnetfeltet i punktet som ligger i en avstand fra lederbiten $d\boldsymbol{l}$ gitt ved vektoren $\boldsymbol{r}$, når lederen fører en stasjonær (dvs tidsuavhengig) elektrisk strøm I er

$$d\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\, d\boldsymbol{l} \times \hat{r}}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\, d\boldsymbol{l} \times \boldsymbol{r}}{r^3}$$

Superposisjonsprinsippet gjelder for magnetfeltet, så magnetfeltet fra hele den lukkede strømsløyfa blir

$$\boldsymbol{B} = \oint d\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\oint \frac{d\boldsymbol{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Ettersom ladning ikke oppstår eller forsvinner av seg selv, må det ei *lukket* sløyfe til for å opprettholde en konstant elektrisk strøm I.

I *prinsipp* kan Biot–Savarts lov brukes til å bestemme magnetfeltet i en vilkårlig posisjon i forhold til ei vilkårlig utformet strømsløyfe.
I *praksis* klarer vi bare å løse integralet i Biot–Savarts lov *analytisk* for enkelte spesialtilfeller, f.eks. rett leder, på symmetriaksen til sirkulær eller kvadratisk strømsløyfe osv.
(Problemer som ikke kan løses analytisk kan løses med numeriske metoder.)

Magnetiske feltlinjer [FGT 30.2; YF 28.4; LHL 23.1]

Innføres for å visualisere magnetfeltet i et område. Defineres på tilsvarende vis som vi gjorde med elektriske feltlinjer:

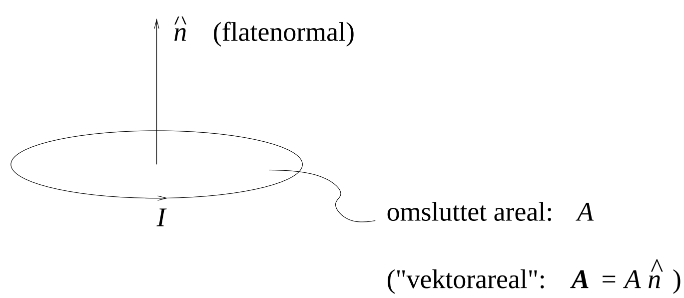
- Retningen: $\boldsymbol{B}$ parallell med feltlinjene overalt.
- Styrken: $|\boldsymbol{B}|$ proporsjonal med tettheten av feltlinjer (dvs antall feltlinjer pr flateenhet)

MERK at vi alltid har *lukkede feltlinjer* for $\boldsymbol{B}$. Det er fordi det ikke eksisterer magnetiske *monopoler* i naturen. (Mens *elektriske* monopoler, dvs positive og negative ladninger, finnes!)

Derimot består naturen av.....

Magnetiske dipoler [FGT 29.5; YF 28.8; AF 22.7; LHL 23.3, 26.2; G 5.4.3]

Elektrisk strømsløyfe = Magnetisk dipol:



Magnetisk dipolmoment (for *plan* strømsløyfe):

$$\boldsymbol{m} = I\boldsymbol{A} = IA\hat{n}$$

Enhet: $[m] = [IA] = \mathrm{Am}^2$

Tidligere i kurset har vi studert *elektriske dipoler* med elektrisk dipolmoment $\boldsymbol{p}$ og sett hvordan disse utsettes for et dreiemoment $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{p} \times \boldsymbol{E}$ og *rettes inn* når de plasseres i et elektrisk felt $\boldsymbol{E}$. Vi har sett at dette er relevant for å kunne forstå hvordan dielektriske materialer oppfører seg i et elektrisk felt, fordi et dielektrikum nettopp består av atomære eller molekylære elektriske dipoler, dvs atomer eller molekyler med elektrisk dipolmoment $\boldsymbol{p}$.

Det vi etterhvert skal gjøre er å se på hvordan *magnetiske dipoler* med magnetisk dipolmoment $\boldsymbol{m}$ på samme vis utsettes for et dreiemoment $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{m} \times \boldsymbol{B}$ og rettes inn når de plasseres i et magnetfelt $\boldsymbol{B}$. Dette er relevant for å kunne forstå hvordan ulike materialer oppfører seg i et magnetfelt, fordi materie nettopp består av atomære magnetiske dipoler, dvs atomer med magnetisk dipolmoment $\boldsymbol{m}$.

Magnetisering og "magnetisme" er magnetostatikkens svar på *polarisering* i elektrostatikken!

NESTE UKE (uke 14): Vi starter med å vise at atomer, med sine elektroner i bane rundt kjernen, nettopp er små strømsløyfer, dvs magnetiske dipoler. Deretter ser vi på hva slags krefter som virker på en elektrisk strøm når den plasseres i et magnetfelt. Det er klart at *det* må være utgangspunktet for å forstå hvordan en magnetisk dipol (dvs ei elektrisk strømsløyfe) påvirkes av et magnetfelt, på samme måte som at elektriske krefter på punktladninger var utgangspunktet for å forstå hvordan en elektrisk dipol påvirkes av et elektrisk felt.
Forhåpentlig får vi også tid til å snakke om Amperes lov, som i endel tilfeller med "passende symmetri" gjør det meget enkelt å bestemme magnetfeltet fra en gitt "konfigurasjon av elektrisk(e) strøm(mer)".
Deretter blir det påskeferie i uke 15.