

Fredag 21. april

Magnetfelt fra uendelig lang spole med tette viklinger:

Inne i spolen:

$$B = \mu_0 n I$$

med  $I$  = strømmen i spoletråden og  $n$  = antall viklinger av spoletråden pr lengdeenhet. Dvs: Uniformt magnetfelt.

Utenfor spolen er  $B = 0$ .

Kommentar til eksemplet med uendelig lang spole: Etter forelesningene på fredag fikk jeg et høyst relevant spørsmål, nemlig hvorfor jeg kunne være så sikker på at  $B = 0$  når jeg fjerner meg uendelig langt vekk fra spolen. (Dette var en nødvendig antagelse for å bevise at  $B = 0$  overalt utenfor spolen.) Årsaken til bekymringen var blant annet at det elektriske feltet fra et uendelig stort uniformt ladet plan *ikke* går mot null selv om vi går uendelig langt unna. Så derfor: Med *uendelig* lang spole kan det vel tenkes at også  $B$  ikke går mot null uendelig langt borte?

Svaret er ja, det kan tenkes, men nei, det er ikke tilfelle! Hvorfor? Vel, her kan det argumenteres på flere måter. For det første kan vi ta utgangspunkt i Biot-Savarts lov og rett og slett regne ut magnetfeltet på utsiden av en uendelig lang spole. Dette er litt kronglete, men det lar seg gjøre, og du vil finne at  $B = 0$  uansett avstand til spolen.

Et litt mer "løsaktig" argument er som følger: Hver vikling på spolen er en magnetisk *dipol*, slik at bidraget (i absoluttverdi) fra hver vikling faller av som  $1/r^3$  for store avstander  $r$  mellom viklingen og "observasjonspunktet". Sammenligner vi med det uendelig store ladete planet, har vi i det tilfellet bidrag til det elektriske feltet fra elektriske *monopoler* (dvs ladningsbiter  $dq$ ) som "bare" faller av som  $1/r^2$ , der  $r$  er avstanden fra ladningselementet  $dq$  til observasjonspunktet. I tillegg kommer det med retningen på de ulike bidragene inn: Det elektriske feltet fra et uendelig stort ladet plan er sammensatt av små bidrag som alle har normalkomponent enten bort fra eller inn mot planet (avhengig av om planet er positivt eller negativt ladet). Men slik er det ikke med magnetfeltbidragene fra de ulike viklingene på spolen: Viklingen "rett under" observasjonspunktet bidrar med magnetfelt rettet fullstendig i spolens lengderetning. Viklinger i nærheten av rett under observasjonspunktet bidrar med samme fortegn på "langsmedkomponenten", mens viklinger langt unna rett under observasjonspunktet bidrar med motsatt fortegn. (Se øving 14 oppgave 2!) Alt i alt: All grunn til å kunne anta at  $B = 0$  langt borte fra spolen. Og sammenhold gjerne med oppgave 1 i øving 14, det uendelig store strømførende planet: Her går *ikke* magnetfeltet mot null selv om vi går uendelig langt unna! Men her går da også alle strømbidrag i samme retning, slik at bidragene til det totale magnetfeltet legger seg sammen til noe som er *endelig*, og ikke null.

## Magnetisk fluks og Gauss' lov for $\mathbf{B}$

[FGT 29.2; YF 27.3; TM 28.1, 27.3; AF 26.3; LHL 23.7; DJG 5.3]

Magnetisk fluks  $\phi_B$  gjennom flate  $S$ :

$$\phi_B = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

Magnetfeltstyrken  $B$  er proporsjonal med antall magnetiske feltlinjer pr flateenhet. Dermed blir den magnetiske fluksen  $\phi_B$  proporsjonal med antall feltlinjer gjennom flaten. (Sammenlign med elektrisk fluks!)

Siden magnetiske feltlinjer alltid er *lukkede*, får vi Gauss' lov for magnetfeltet:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

for lukket flate. Uttrykker at det ikke finnes magnetiske monopoler.

## Oppsummering, elektrostatikk og magnetostatikk: Maxwells ligninger

Gauss' lov for elektrostatisk felt:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = q_{\text{in}}/\epsilon_0$$

Elektrostatisk felt er konservativt:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

Gauss' lov for magnetfelt:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

Amperes lov:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I_{\text{in}}$$

Med gitte "kilder", dvs statiske ladninger og stasjonære strømmer, gir dette oppskriften på beregning av  $\mathbf{E}$  og  $\mathbf{B}$ .

Lorentzkraften,

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

bestemmer deretter hvordan en ladning  $q$  med hastighet  $\mathbf{v}$  vil bevege seg i feltene  $\mathbf{E}$  og  $\mathbf{B}$

## Magnetisme

[FGT 31.1 - 31.4; YF 28.8; TM 27.5; AF 26.3; LHL 26.1 - 26.5; DJG 6.4]

- Paramagnetisme: I materiale med atomære magnetiske dipolmoment  $\mathbf{m} \neq 0$  rettes  $\mathbf{m}$  inn langs det påtrykte magnetfeltet  $\mathbf{B}$ , analogt en elektrisk dipol som rettes inn langs et påtrykt elektrisk felt  $\mathbf{E}$ .
- Diamagnetisme: Det påtrykte feltet  $\mathbf{B}$  påvirker elektronets banebevegelse slik at vi får induisert en endring  $\Delta\mathbf{m}$  i magnetisk dipolmoment med motsatt retning av  $\mathbf{B}$ . Har en slik diamagnetisk respons i alle atomer, men da den er svak, observeres den typisk bare i materialer med null permanent atomært magnetisk dipolmoment.