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

Øving 14

Veiledning: Mandag 26. april
Innleveringsfrist: Torsdag 29. april

Oppgave 1

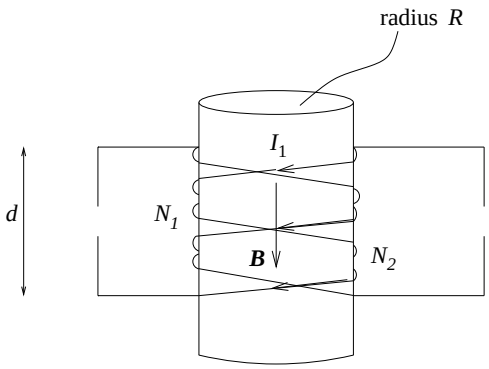
a) En stavmagnet har magnetiseringsvektoren $\boldsymbol{M}$ rettet fra sørpol (S) mot nordpol (N). Tegn opp en stavmagnet og skisser feltlinjer for $\boldsymbol{B}$ inne i og omkring stavmagneten. Tegn også på overflatestrømmen I_m (med retning) assosiert med magnetiseringen $\boldsymbol{M}$.

b) Forklar, med utgangspunkt i *a*), hvorfor to stavmagneter plassert etter hverandre med S mot N tiltrekker hverandre og hvorfor de frastøter hverandre når de er plassert med S mot S (evt N mot N). (Tips: Bruk f.eks. det du vet om magnetisk kraft på elektrisk strøm i argumentasjonen.)

c) Forklar videre hvorfor ei kule (eller nål eller forsåvidt hva som helst) av umagnetisk jern tiltrekkes både av stavmagnetens S-pol og N-pol.

Tips: Disse tingene er helt sikkert diskutert i den boka du har, enten det er Fishbane eller Young.

Oppgave 2



Figuren viser to spoler 1 og 2 som begge er viklet opp på en sylinder med radius R. Vi antar at sylinderen har magnetiske egenskaper som vakuum, dvs vi ser bort fra en eventuell magnetisering i sylinderen. Spole 1 har N_1 viklinger, spole 2 har N_2 viklinger. Begge spolene er viklet opp på en lengde d som er (tilnærmet uendelig) lang i forhold til sylinderens radius. (Figuren er sånn sett bare kvalitativt riktig...!) Du kan anta at begge spoler er tett viklet, og at hver vikling i begge spoler omslutter samme magnetiske fluks. (Spoletrådene er belagt med et isolerende materiale, f.eks. et lag plast, slik at en eventuell elektrisk strøm er nødt til å følge spoletråden. Denne antagelsen er forøvrig underforstått i alle slike oppgaver med spoler.)

a) Anta at det går en strøm I_1 i spole 1. Hva blir da styrken på magnetfeltet B inne i spolen? Hva blir videre *total* magnetisk fluks ϕ_1 som omsluttes av spoletråden i spole 1 (dvs alle de N_1 viklingene)? Hva blir total magnetisk fluks ϕ_2 som omsluttes av spoletråden i spole 2 (igjen: alle de N_2 viklingene)? (Merk: Det går altså ingen strøm i spole 2. Strømmen i spole 1 kan vi lage f.eks. ved å koble den til et batteri og en motstand.)

b) Forholdet mellom total omsluttet magnetisk fluks ϕ_1 og strømstyrken I_1 i strømsløyfa "selv" er, pr definisjon, en størrelse som kalles for strømsløyfas *selvinduktans* L:

$$L = \frac{\phi_1}{I_1}$$

Hva blir dermed selvinduktansen L til en slik lang sylinderformet spole med radius R, lengde d og N_1 viklinger?

c) Forholdet mellom total magnetisk fluks ϕ_2 som omsluttes av spole 2 og strømstyrken I_1 i spole 1 er, pr definisjon, en størrelse som kalles for *gjensidig induktans* M mellom de to strømsløyfene:

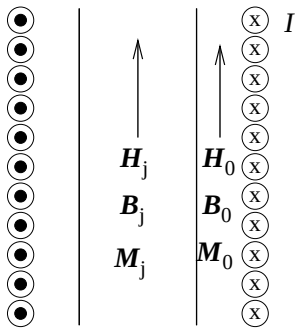
$$M = \frac{\phi_2}{I_1}$$

Hva blir dermed den gjensidige induktansen M mellom to slike lange sylinderformede spoler, begge viklet opp på en sylinder med radius R over en lengde d, og med henholdsvis N_1 og N_2 viklinger?

d) Bestem tallverdier for L og M (i SI-enheter) dersom $R = 2$ cm, $d = 30$ cm og $N_1 = N_2 = 300$. (Svar: $L = 4.7 \cdot 10^{-4}$)

Kommentar: Vi skal komme tilbake til gjensidig induktans og selvinduktans i de siste forelesningene og se hvorfor dette er "nyttige" størrelser i mange sammenhenger.

Oppgave 3



En sylinderformet jernstav med relativ permeabilitet $\mu_r = 2000$ er plassert koaksialt inne i en spole, men fyller bare delvis volumet inne i spolen. Spolen har en viklingstetthet $n = 2000$ m^{-1} og strømmen i spoletråden er $I = 3$ A. Vi antar at både spolen og jernstaven er så lange at vi kan se bort fra randeffekter.

Anta i første omgang at vi har lineær respons i jernstaven, dvs $\boldsymbol{M} = \chi_m \boldsymbol{H}$, og bestem $\boldsymbol{H}$, $\boldsymbol{B}$ og $\boldsymbol{M}$ inne i spolen, både inne i (indeks j) og utenfor (indeks 0) jernstaven. (Husk at H-feltet bestemmes av "fri" strøm, mens B bestemmes av total strøm.)
Diskuter den beregnede verdien på M_j inne i jernstaven i lys av *metningsmagnetiseringen* i jern, dvs den maksimalt oppnåelige magnetiseringen, som du regnet ut i oppgave 1d i øving 13. Beregn deretter korrigert (maksimal) verdi for B_j.

Oppgitt:

$$\boldsymbol{B} = \mu_0 \left(\boldsymbol{H} + \boldsymbol{M} \right) = \mu_r \mu_0 \boldsymbol{H} = \mu \boldsymbol{H}$$

$$\boldsymbol{M} = \chi_m \boldsymbol{H} = (\mu_r - 1) \boldsymbol{H}$$

(Siste linje er bare gyldig når vi har lineær respons.)

Et par tallsvar: $B_j = 15$ T ("ukorrigert"), $B_j = 2$ T ("korrigert").