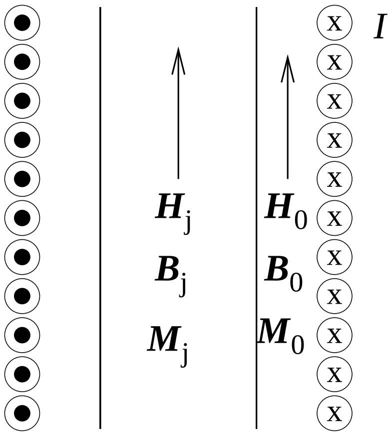
Institutt for fysikk, NTNU
TFY4155/FY1003: Elektromagnetisme
Vår 2009

Øving 14

Veiledning: Fredag 24. og mandag 27. april
Innleveringsfrist: Fredag 1. mai

Oppgave 1



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:

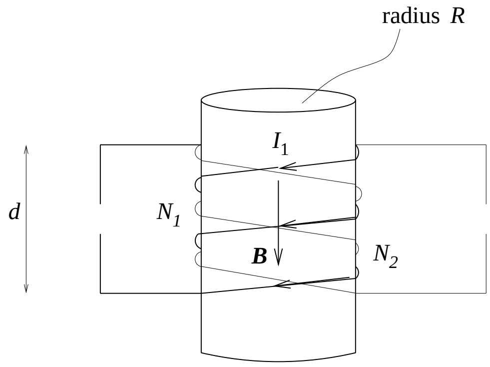
$$\boldsymbol{B} = \mu_0 (\boldsymbol{H} + \boldsymbol{M}) = \mu_r \mu_0 \boldsymbol{H} = \mu \boldsymbol{H}$$

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

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

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

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 ikke kvantitativt 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 *hele* spoletråden i spole 1 (dvs alle de N_1 viklingene)? Hva blir total magnetisk fluks ϕ_2 som omsluttes av *hele* 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, 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, *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 $R = 1$ cm, $d = 60$ cm, $N_1 = 1200$ og $N_2 = 600$.
(Svar: $L = 9.5 \cdot 10^{-4}$, $M = 4.7 \cdot 10^{-4}$)

Oppgave 3

Fra tidligere øvinger (7 og 13) har vi disse grenseflatebetingelsene:

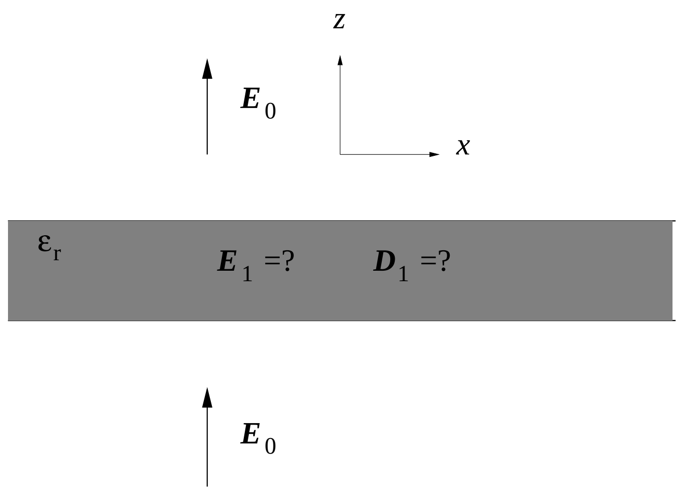
$$\Delta \boldsymbol{E}^{\parallel} = 0$$

$$\Delta D^{\perp} = \sigma_f$$

$$\Delta B^{\perp} = 0$$

$$\Delta \boldsymbol{H}^{\parallel} = \boldsymbol{i}_f \times \hat{n}$$

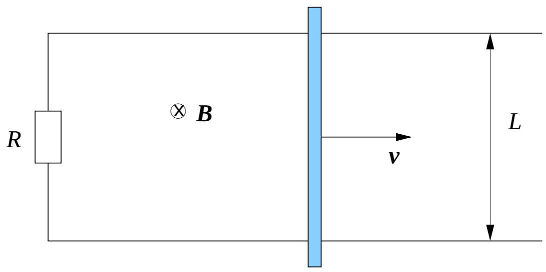
Anta at vi har et uniformt elektrisk felt $\boldsymbol{E}_0 = E_0\,\hat{z}$. I dette feltet plasserer vi ei (alt i alt elektrisk nøytral) dielektrisk skive med tilnærmet uendelig stor utstrekning i x- og y-retning og tykkelse h i z-retning. Med andre ord, skiva er plassert på tvers i det ytre feltet. Materialet i skiva har relativ permittivitet ε_r.



Hva blir elektrisk forskyvning $\boldsymbol{D}_1$ og elektrisk felt $\boldsymbol{E}_1$ inne i den dielektriske skiva? Gjenta med skiva på *langs* i det ytre feltet! (Dvs: Med uendelig utstrekning i y- og z-retning og tykkelse h i x-retning.)
Gjør deretter tilsvarende for ei uendelig stor *magnetiserbar* skive med tykkelse h og relativ permeabilitet μ_r, henholdsvis på tvers og på langs i et uniformt ytre magnetfelt $\boldsymbol{B}_0 = B_0\,\hat{z}$. Dvs: Bestem $\boldsymbol{H}_1$ og $\boldsymbol{B}_1$ inne i skiva.
Synes du resultatet ble uventet i noen av tilfellene? Hvordan vil du forklare at du får ulik elektrisk feltstyrke inne i den dielektriske skiva med skiva på tvers og på langs i det ytre feltet? Og tilsvarende: Hvordan vil du forklare at du får ulik magnetisk feltstyrke inne i den magnetiserbare skiva i de to tilfellene?

Oppgave 4

Ei metallstang med masse m glir uten friksjon på to parallelle ledere i innbyrdes avstand L som vist i figuren. De to parallelle lederne er koblet sammen via en motstand R slik at vi får en lukket krets. Hele systemet befinner seg i et uniformt magnetfelt $\boldsymbol{B}$ som peker inn i planet.



a) Hvor stor blir strømmen I i kretsen dersom stanga har hastighet v mot høyre? I hvilken retning går strømmen?

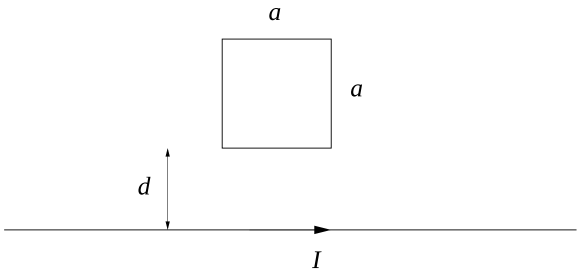
b) Hva er den magnetiske krafta F på stanga? (Størrelse og retning.)

c) Hvis stanga starter med hastighet v_0 ved tidspunktet $t = 0$, og deretter overlates til seg selv, hva er da hastigheten v ved et senere tidspunkt t?

d) Vis at stangas kinetiske energi $mv_0^2/2$ er presis lik den energien som tapes i motstanden R.

Oppgave 5

Ei kvadratisk strømsløyfe med sidekanter a ligger i avstand d fra en lang rett leder som fører en strøm I:



a) Hvor mye magnetisk fluks omsluttes av strømsløyfa?

b) Strømsløyfa trekkes nå med hastighet v bort fra den rette lederen. Hvor stor elektromotorisk spenning induseres i sløyfa, og i hvilken retning vil den resulterende strømmen gå? (Med eller mot klokka?)

c) Hvis strømsløyfa trekkes mot høyre, dvs parallelt med den rette lederen, hva blir da den induserte emsen i sløyfa?