

Sammendrag, uke 46 (13. november)

Magnetisme [AF 26.3; LHL 26; G 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 indusert 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.
- Ferromagnetisme: Har *vekselvirkende* atomære magnetiske dipolmoment på naboatomer, slik at det blir energetisk foretrukket med en bestemt orientering av de ulike $\mathbf{m}$. Ferromagnet: Parallell $\mathbf{m}$ foretrekkes. Antiferromagnet: Antiparallell $\mathbf{m}$ foretrekkes.

Magnetisering og overflatestrøm [AF 26.5; LHL 26.1; G 6.3]

Magnetisering $\mathbf{M}$ er, pr definisjon, magnetisk dipolmoment pr volumenhet:

$$\mathbf{M} = \frac{\Delta\mathbf{m}}{\Delta V}$$

dersom vi har et netto magnetisk dipolmoment $\Delta\mathbf{m}$ i volumet ΔV .

Magnetisering tilsvarer atomære strømsløyfer med strømmen i samme retning. Alle indre strømmer vil dermed kansellere, slik at nettoeffekten av magnetisering i et objekt er en *overflatestrøm* på overflaten som går parallelt med $\mathbf{M}$. Sammenlign med polarisering i dielektriske medier, der nettoeffekten av elektrisk polarisering er en *overflateladning* på overflaten (som står normalt på $\mathbf{P}$).

I tallverdi er

$$M = i_m$$

der i_m er overflatestrømmen pr lengdeenhet (dvs: der "lengden" er i retning langs $\mathbf{M}$).

På vektorform kan dette skrives

$$\mathbf{i}_m = \mathbf{M} \times \hat{n}$$

der $\hat{n}$ er en enhetsvektor som står normalt på overflaten der i_m går (samt normalt på $\mathbf{M}$).

H -feltet [AF 26.6; LHL 26.1; G 6.3]

Definisjon:

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{B} - \mathbf{M}$$

Dvs:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mu_0 \mathbf{M}$$

For uendelig lang spole fylt med magnetiserbart materiale viste vi da at

$$H = nI_f$$

der n er viklingstettheten på spolen og I_f er “fri”, påtrykt strøm, dvs strømmen i spoletråden. Med andre ord: Slik $\mathbf{H}$ -feltet er definert, er det direkte gitt ved den påtrykte strømmen I_f . Det *totale* magnetfeltet $\mathbf{B}$, derimot, er bestemt av *total* strøm, dvs summen av fri strøm I_f og bundet magnetiseringsstrøm I_m (pr vikling, slik at magnetiseringsstrøm pr lengdeenhet blir nI_m).

På samme måte som vi hadde Gauss' lov for den elektriske forskyvningen $\mathbf{D}$, uttrykt ved *fri ladning*, har vi Amperes lov for $\mathbf{H}$ uttrykt ved *fri strøm*:

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I_{\text{fri}}^{\text{in}}$$

Altså: Kurveintegralet av $\mathbf{H}$ rundt en lukket kurve er lik netto *fri* strøm (dvs strøm som ikke er forårsaket av magnetisering) $I_{\text{fri}}^{\text{in}}$ som er omsluttet av den lukkede kurven.

Med Stokes' teorem kan vi (som vi gjorde med Amperes lov for $\mathbf{B}$) omforme denne ligningen til Amperes lov for $\mathbf{H}$ på differensialform:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j}_{\text{fri}}$$

Magnetisk susceptibilitet og permeabilitet [AF 26.7; LHL 26.1; G 6.4.1]

Dersom magnetiseringen er proporsjonal med det påtrykte feltet, kan vi skrive

$$\mathbf{M} = \chi_m \mathbf{H}$$

Her er χ_m magnetisk susceptibilitet. Dermed, ut fra sammenhengen mellom $\mathbf{B}$, $\mathbf{H}$ og $\mathbf{M}$:

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0(1 + \chi_m)\mathbf{H} = \mu_0\mu_r\mathbf{H} = \mu\mathbf{H}$$

Her er $\mu_r = 1 + \chi_m$ relativ permeabilitet mens μ er mediets permeabilitet. (Jfr lineær respons i dielektriske medier!)

Noen typiske tallverdier:

Diamagneter: $\chi_m \sim -10^{-5}$ til -10^{-4}

Paramagneter: $\chi_m \sim 10^{-4}$ til 10^{-3}

Ferromagneter: $\chi_m \sim 10^3$ til 10^4

Dette betyr at det bare er ferromagnetiske materialer (Fe, Co, Ni...) som “reagerer noe særlig” på et ytre magnetfelt.