

Mandag 24. april

### Magnetisme (fortsatt fra uke 16)

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

- Ferromagnetisme: Har *vekselvirkende* atomære magnetiske dipolmoment på naboatomer, slik at det blir energetisk foretrukket med en bestemt orientering av de ulike  $\mathbf{m}$ . Ferromagnet: Parallelle  $\mathbf{m}$  foretrekkes. Antiferromagnet: Antiparallelle  $\mathbf{m}$  foretrekkes.

Magnetiske domener: Inne i et ferromagnetisk materiale kan vi ha områder som er små i forhold til en typisk makroskopisk lengdeskala men store i forhold til atomær lengdeskala, og der alle atomer har magnetisk dipolmoment pekende i samme retning. Ett slik *domene* vil dermed være en liten magnet. Men hvis vårt makroskopiske stykke ferromagnetisk materiale består av mange slike domener, der ulike domener har de magnetiske dipolene pekende i ulike retninger, vil magnetfeltet omkring bli omtrent lik null, dvs materialet vårt er alt i alt *ikke* en magnet. En kniv av stål er et slik eksempel. I en stavmagnet, derimot, har vi (essensielt) ett magnetisk domene der alle dipoler peker i samme retning. Dermed får vi et betydelig magnetfelt i rommet omkring stavmagneten, dvs vi har en magnet!

### Magnetisering og overflatestrøm

[FGT 31.1; YF 28.8; TM 27.5; AF 26.5; LHL 26.1; DJG 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  $\Delta V$ .

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*. Sammenlign med polarisering i dielektriske medier, der nettoeffekten av elektrisk polarisering er en *overflateladning*.

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  $\mathbf{M}$ ).

Fredag 28. april

### ***H*-feltet**

[FGT 31.1; YF 28.8; TM 27.5; AF 26.6; LHL 26.1; DJG 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  $H$ -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.

### **Magnetisk susceptibilitet og permeabilitet**

[FGT 31.1; YF 28.8; TM 27.5; AF 26.7; LHL 26.1; DJG 6.4.1]

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

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

Her er  $\chi_m$  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  $\mu$  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.

### Elektromagnetisk induksjon

[FGT 30.1 - 30.6; YF 29.1 - 29.5; TM 28.2 - 28.3; AF 27.1 - 27.3; LHL 24.1; DJG 7.2]

En elektromotorisk spenning (ems)  $\mathcal{E}$  induseres i ei ledersløyfe dersom den magnetiske fluksen  $\phi_m$  som omsluttet av ledersløyfa varierer med tiden:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\phi_m}{dt}$$

Omsluttet magnetisk fluks er gitt ved flateintegralet av det magnetiske feltet  $\mathbf{B}$ , der integralet tas over flaten  $S$  som omsluttet av ledersløyfa:

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

Dermed ser vi at  $\phi_m$  kan variere med tiden på ulike måter, f.eks. med

- tidsavhengig omsluttet areal  $S$
- tidsavhengig orientering av ledersløyfa (bestemt ved retningen på  $d\mathbf{A}$ )
- tidsavhengig magnetfelt  $\mathbf{B}$  (retning og/eller absoluttverdi)

I alle tilfelle får vi en indusert ems i ledersløyfa.