Alexey Ustinov, Hannes Rotzinger Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

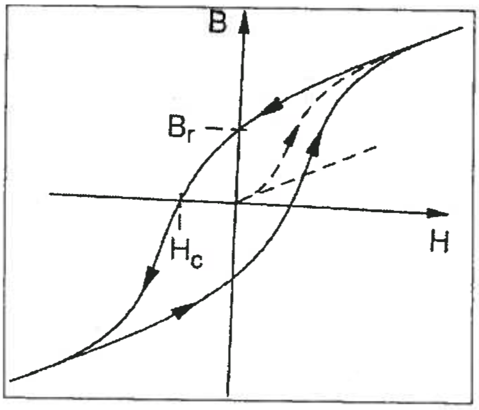
Übungen/Lösungen zur Klassischen Experimentalphysik II SS 2017

Übungsblatt 7 · Besprechung am 14. Juni 2017

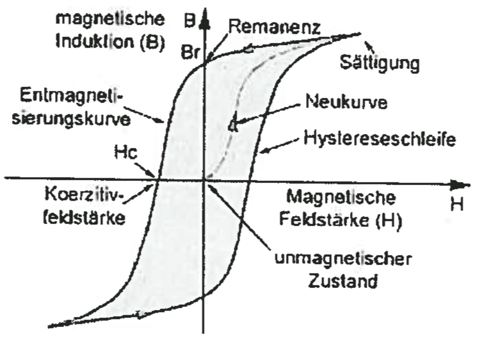
Aufgabe 22:Magnetismus

©? Trägt man für ein ferromagnetisches Material die magnetische Flussdichte gegen das äußere Magnetfeld auf, so erhält man eine Kurve, die von der zeitlichen Änderung der Felder abhängt. Beginnt man mit einem nicht magnetisierten Material so findet man ein näherungsweise lineares Verhalten. Bei größeren Feldern treten Sättigungseffekte auf. Diese können auf die vollständige Ausrichtung der Weiß'schen Bezirke zurückgeführt werden.

Wird das Feld wieder verringert so bleibt die Orientierung zunächst erhalten. Auch ohne äußeres Feld findet man eine Magnetisierung, die so genannte Remanenz B_r. Dies ist die charakteristische Eigenschaft eines Permanentmagneten. Erst wenn ein Gegenfeld (das Koerzitivfeld H_c) angelegt wird kann diese Magnetisierung auf Null reduziert werden. Für ein stärker negatives Feld tritt eine negative Magnetisierung auf, welche schließlich ebenfalls sättigt. Gute Permanentmagnete haben hohe Koerzitvfeldstärken und hohe Remanenzen. Die Remanenzfelder liegen in der Größenordnung von 1 T, während die Koerzitivfelder von einigen 1000 bis zu einigen 100000 A/m gehen können. Die höchsten Werte erzielt man mit seltenen Erden, da diese eine Große Zahl ungepaarter Elektronen enthalten.

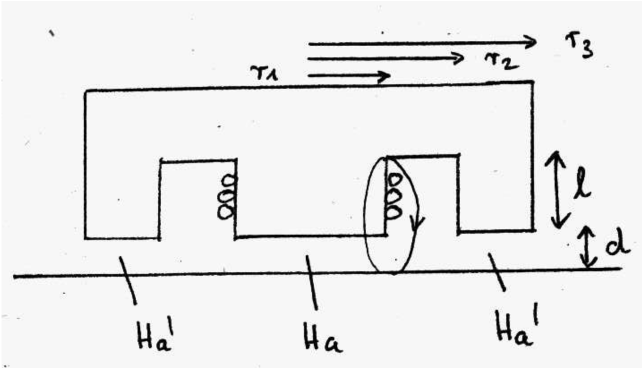


Hysteresiskurve



Hysteresis (grich. = das Zurückbleiben) Der Zusammenhang zwischen der magnetischen Flußdichte B und der magnetischen Feldstärke H beim Ummagnetisieren von magnetischen Stoffen ist durch die Hysteresekurve charakterisiert.
Fläche: Maß für Verluste beim Ummagnetisieren.

Aufgabe 23: Topfmagnet



$$\oint Hds = NI$$

$$H_i l + H_a d = NI$$

$$B_a = B_i \rightarrow H_a = \mu_r H_i$$

$$NI = H_a(\frac{l}{\mu_r} + d)$$

$$B_a = \frac{\mu_0 NI}{\frac{l}{\mu_r} + d}$$

$$H_a' : \int Bda = 0 = B_a \cdot A + B_a' A'$$

mit $A = \pi r_1^2$, $A' = \pi(r_3^2 - r_2^2)$

$$B_a' = -B_a \frac{A}{A'}$$

Für die Feldenergie:

$$W_m = HBV = \frac{1}{2}\frac{VB^2}{\mu_0}$$

$$W_m = \frac{1}{2\mu_0}(B_a^2 Ad + B_a'^2 A'd) = \frac{1}{2\mu_0} B_a^2 dA(1 + \frac{A}{A'})$$

$$W_m = \frac{1}{2}\frac{(NI)^2 dA\mu_0^2}{\mu_0(\frac{l}{\mu_r} + d)^2}(1 + \frac{A}{A'})$$

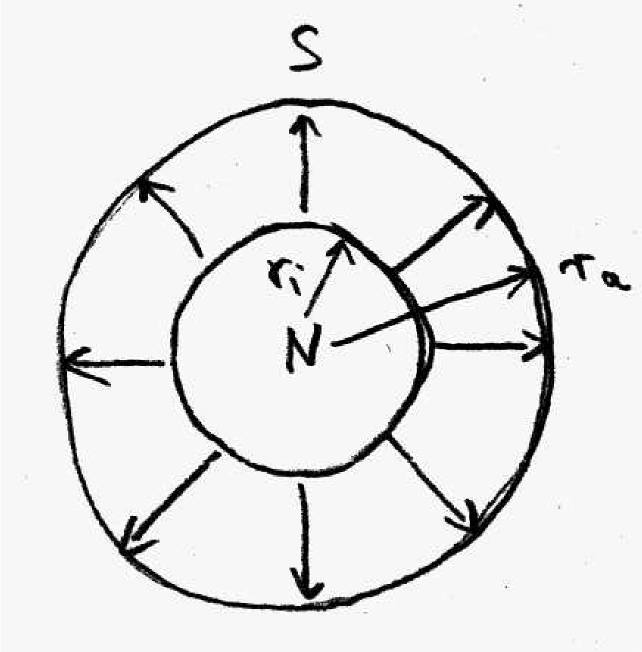
$l/\mu_r \gg d \rightarrow$ Kraft:

$$\frac{dW_m}{d(d)} = F = \frac{1}{2}\frac{(NI)^2 A}{l^2}\mu_r^2\mu_0\left(1 + \frac{A}{A'}\right) \iff$$

$$I = \sqrt{\frac{2mg}{N^2}\frac{l^2}{A\mu_r^2\mu_0}\frac{A'}{A + A'}}$$

$A = \pi r_1^2$, $A' = \pi(r_3^2 - r_2^2) \rightarrow I = 3.1\,\mathrm{A}$

Aufgabe 24: magnetisierte Hohlkugel



(a) Im innern und außerhalb der Kugel $\vec{H} = 0$. Im Rand ist $\oint H dA = \frac{Q_m}{\mu_0} \rightarrow |\vec{H}| 4\pi r^2 = \frac{Q_m}{\mu_0}$
$r_i \leq r \leq r_a : |\vec{H}| = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{Q_m}{r^2}$ (radial symetrisch)
(Sieht aus wie das 'Coulomb-Gesetz': $H = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{Q_m}{r^2}\frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$)

(b) div$\vec{B} = 0$ (alle mag. Feldlinien sind geschlossen) $\rightarrow \vec{B} = 0$ und damit $\vec{B}(r) = 0$

$$B = \mu_0(H + M) = 0 \iff M = -\vec{H} = -\frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{Q_m}{r^2}$$

$$\rightarrow M = -\frac{Q_m}{4\pi\mu_0 r^2}$$

(c) Wird aus der Wertung genommen, da nicht eindeutig!
Die Energiedichte

$$\rho_E = \frac{1}{2}\vec{H}\vec{B}$$

ist 0 falls $\vec{B} = 0$ gilt. Dies ist der Fall der sich aus (b) ergibt. Für alle μ_r, kann man folgendes ableiten:

Energiedichte im Magnetfeld $\rho_E = \frac{\mu_r\mu_0}{2}H^2$ (H aus (a))

$$\rightarrow W = \int_V \rho_E dV = \int_V \frac{\mu_r\mu_0}{2}\frac{Q_m^2}{16\pi^2\mu_0^2 r^4} dV$$

$$W = \int_{r_i}^{r_a} \frac{\mu_r Q_m^2 4\pi r^2}{32\pi\mu_0 r^4} dr = \frac{\mu_r Q_m^2}{8\pi\mu_0}\left| -\frac{1}{r} \right|_{r_i}^{r_a}$$

Magnetische Energie der Hohlkugel:

$$W = \frac{\mu_r Q_m^2}{8\pi\mu_0}\left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_a}\right)$$

Aufgabe 25: Drehmoment

(a)

$$\vec{F_i} = I\vec{l_i} \times \vec{B}, \quad i = 1,2,3,4$$

und $\vec{B} = B(1,0,0)$,

$$\vec{l_1} = l(\cos\alpha, 0, \sin\alpha) = -\vec{l_3}$$

$$\vec{l_2} = l(0,-1,0) = -\vec{l_4}$$

$$\vec{F_1} = IBl(\cos\alpha, 0, \sin\alpha) \times (1,0,0) = -IBl\sin\alpha(0,1,0) = -\vec{F_3}$$

$$\vec{F_2} = -IBl(0,1,0) \times (1,0,0) = IBl(0,0,1) = -\vec{F_4}$$

Für $\alpha = 0^o \rightarrow \vec{l}||\vec{B} \rightarrow F_1 = F_3 = 0$
Für $\alpha = 90^o \rightarrow \vec{l} \perp \vec{B} \rightarrow F_1, F_3 = max.$

(b) Drehmoment

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$r_1 = \frac{l}{2}(0,1,0) = -r_3$
$r_2 = -\frac{l}{2}(\cos\alpha, 0, \sin\alpha) = -r_4$

$$\vec{F}|| - \vec{r_1} \quad \text{und} \quad F_3|| - \vec{r_3} \rightarrow \vec{M_1} = \vec{M_3} = 0$$

$$\vec{M_2} = \vec{r_2} \times \vec{F_2} = -IBl\frac{l}{2}(\cos\alpha, 0, \sin\alpha) \times (0,0,1)$$
$$= -\frac{1}{2}IBl^2\cos\alpha(0,1,0)$$

$$\vec{M_4} = \vec{r_4} \times \vec{F_4} = -IBl\frac{l}{2}(\cos\alpha, 0, \sin\alpha) \times (0,0,1)$$
$$= -\frac{1}{2}IBl^2\cos\alpha(0,1,0) = \vec{M_2}$$

$$\vec{M}_{ges} = \vec{M_2} + \vec{M_4} = -IBl^2\cos\alpha(0,1,0)$$

Das Drehmoment erhöht sich $\times N$ falls eine Spule mit $N-$Windungen vorliegt.

(c)

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \rightarrow \vec{M} = I\vec{r} \times \vec{l} \times \vec{B}$$

$$\vec{M}_{ges} = \sum_i \vec{M_i} = 2\vec{M_2} = 2\vec{M_4}$$

$$\vec{r_4} \times \vec{l_4} = \frac{l^2}{2}(\cos\alpha, 0, \sin\alpha) \times (0,1,0) = \frac{l^2}{2}(-\sin\alpha, 0, \cos\alpha) = \frac{1}{2}\vec{A},$$

wobei $\vec{A}$ der Flächennormalenvektor ist. Für $\vec{M}_{ges} = I\vec{A} \times \vec{B}$ ergibt sich mit dem magnetischen Moment $\vec{m} = I\vec{A}$

$$\vec{M}_{ges} = \vec{m} \times \vec{B}$$