

Capítulo 8

Magnetização da Matéria

8.1 Diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo

Consideremos dois solenóides com o mesmo enrolamento, um vazio e outro em que uma barra de uma substância (ferro, cobre, etc) foi introduzida. Fornecemos aos solenóides a mesma corrente variável $I(t)$, e vamos medir a f.e.m. induzida.

Verifica-se que $(\varepsilon_{ind})_{II} \neq (\varepsilon_{ind})_I$

O que $\implies (\Phi_B)_{II} \neq (\Phi_B)_I \implies B_{na\ substância} \neq B_{no\ vazio}$.

Em muitos materiais, $B_{na\ substância} \sim B_{no\ vazio}$. Podemos introduzir o coeficiente de proporcionalidade:

$$B_{na\ substância} = \mu_r B_{no\ vazio} \tag{8.1}$$

Chama-se μ_r de permeabilidade magnética relativa da substância. Sentido físico:

$$\mu_r = \frac{B_{na\ substância}}{B_{no\ vazio}},$$

i.e., μ_r representa o reforço do campo magnético na matéria. Valores experimentais representativos:

Substância		μ_r		Substância		μ_r	
Água	H ₂ O	0,9999991	d	Magnésio	Mg	1,00000693	p
Alumínio	Al	1,000021	p	Manganês	Mn	1,000125	p
Aço		100	f	Mercúrio	Hg	0,999968	d
Ar		1,00000036	p	Níquel	Ni	600	f
Chumbo	Pb	0,999983	d	Ouro	Au	0,999998	d
Cobalto	Co	250	f	Oxigénio	O ₂	1,0000019	p
Cobre	Cu	0,999991	d	Paládio	Pd	1,0008	p
Ferro	Fe	6000	f	Platina	Pt	1,00029	p
Ferrite		5000	f	Prata	Ag	0,999974	d
Grafite		0,999956	d	Tungsténio	W	1,000068	p

Tabela: permeabilidade magnética relativa de materiais diferentes.

Seja $\chi_m = \mu_r - 1$ a chamada susceptibilidade magnética da substância. Vêm-se claramente três situações diferentes ():

- $|\mu_r - 1| \ll 1, \mu_r < 1 \iff \chi_m < 0, |\chi_m| \ll 1$. Chamam-se estes materiais de diamagnéticos.
- $|\mu_r - 1| \ll 1, \mu_r > 1 \iff \chi_m > 0, \chi_m \ll 1$. Estes chamam-se paramagnéticos.
- $\mu_r \gg 1 \iff \chi_m \gg 1$. Estes chamam-se ferromagnéticos.

Os três fenómenos (diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo) têm origens físicas diferentes. As razões são as seguintes. A matéria é constituída por átomos. Estes compõem-se por um núcleo central positivo em torno do qual “rodam” os electrões. Além deste movimento orbital,

os electrões “rodam em torno do eixo próprio” (*spin*). Ambas as “rotações” originam correntes circulares e o campo magnético do tipo dipolo. O núcleo tem também um momento magnético¹, mas muito pequeno.

substância	dipolos	campo induzido
diamagnética	induzidos	↑↓ ao externo
paramagnética	permanentes	↑↑ ao externo, fraco
ferromagnética	permanentes, alinhados dentro dos domínios	↑↑ ao externo, forte

Para a maioria dos átomos e iões, os efeitos magnéticos dos electrões, inclusive os devidos ao spin e ao movimento orbital, cancelam-se. **Exemplos:** gases raros como o néon; iões Cu^+ , dos quais é constituído o cobre comum. Estes átomos e iões não possuem nenhum momento magnético na ausência do campo externo. Mas quando o campo está presente, passam a ter um momento magnético induzido. Este momento induzido é associado ao movimento orbital de electrões e é **oposto** ao campo externo. Assim, o campo dentro do material em questão é menor do que o no vazio. Esta é a explicação do **diamagnetismo**.

O diamagnetismo está presente em todas as substâncias. Mas em substâncias cujos átomos possuem um momento permanente como é o caso das substâncias paramagnéticas e ferromagnéticas, este efeito não se manifesta por ser fraco em relação aos efeitos relacionados com o momento permanente.

Uma visão microscópica do **paramagnetismo**: os momentos permanentes dos átomos tendem a se alinhar na **mesma** direcção (e sentido) do campo externo, embora este alinhamento não seja perfeito por ser perturbado pela agitação térmica.

Dentro de uma substância **ferromagnética**, existem chamados “domínios”, ou seja, regiões pequenas onde existe um alinhamento local dos dipolos praticamente perfeito. Este alinhamento não é associado a algum campo magnético exterior! Quando aplicamos um campo exterior, são os domínios cada um como um todo, que tenderão a alinhar-se com o campo e não os átomos separados. A energia necessária para orientar os domínios é muito menor do que a requerida para orientar os átomos. Por isso a intensificação do campo externo dentro de substâncias ferromagnéticas é muito maior do que dentro das paramagnéticas. É por isso que $B_{\text{em substâncias ferromagnéticas}} \gg B_{\text{no vazio}}$. Por causa disso, o emprego

¹O momento magnético ou momento de dipolo magnético é um vetor associado a um íman, loop de corrente, partícula ou algo semelhante, cujo produto vetorial com a indução magnética (ou alternativamente a intensidade do campo magnético) de um campo magnético é igual ao torque exercido no sistema pelo campo.

do ferro em transformadores, electroímans *etc* aumenta enormemente a intensidade do campo magnético que pode ser gerado por uma dada corrente num dado enrolamento.