

Eletromagnetismo

Magnetismo na matéria

- O campo elétrico **induz** ou **reorienta** dipolos em meios dielétricos.
 - O resultado é a **redução** do campo no meio.
- Em condutores, o campo elétrico **desloca** cargas.
 - O resultado é o **cancelamento** do campo.
- Campos magnéticos induzem ou reorientam dipolos,
 - mas temos algumas diferenças.
- Não há cargas a serem deslocadas.
 - É possível cancelar o campo magnético?

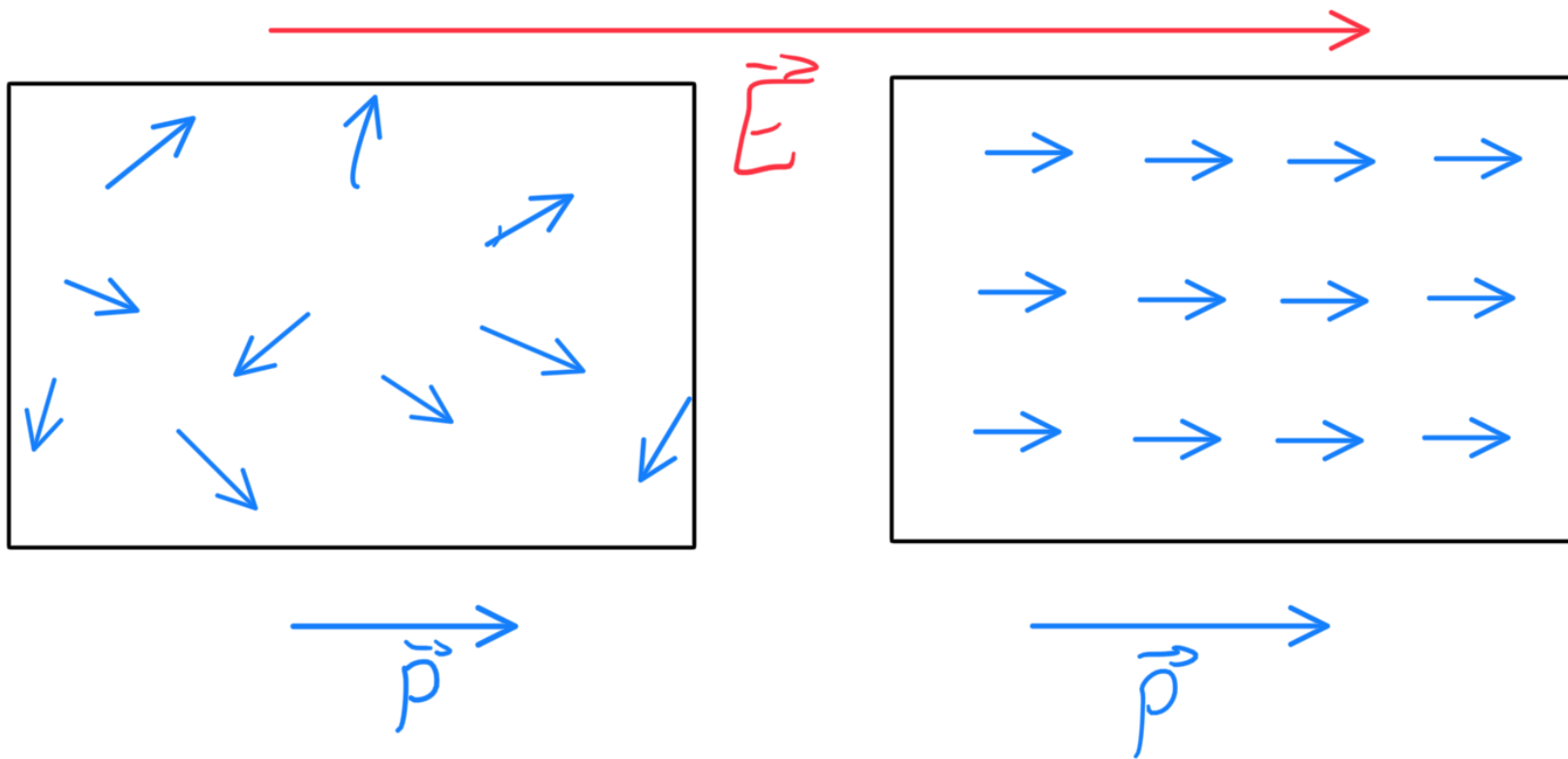
Como vimos em eletrostática:

Campo elétrico induz os reorienta dipolos.

Polarização: Densidade de dipolos

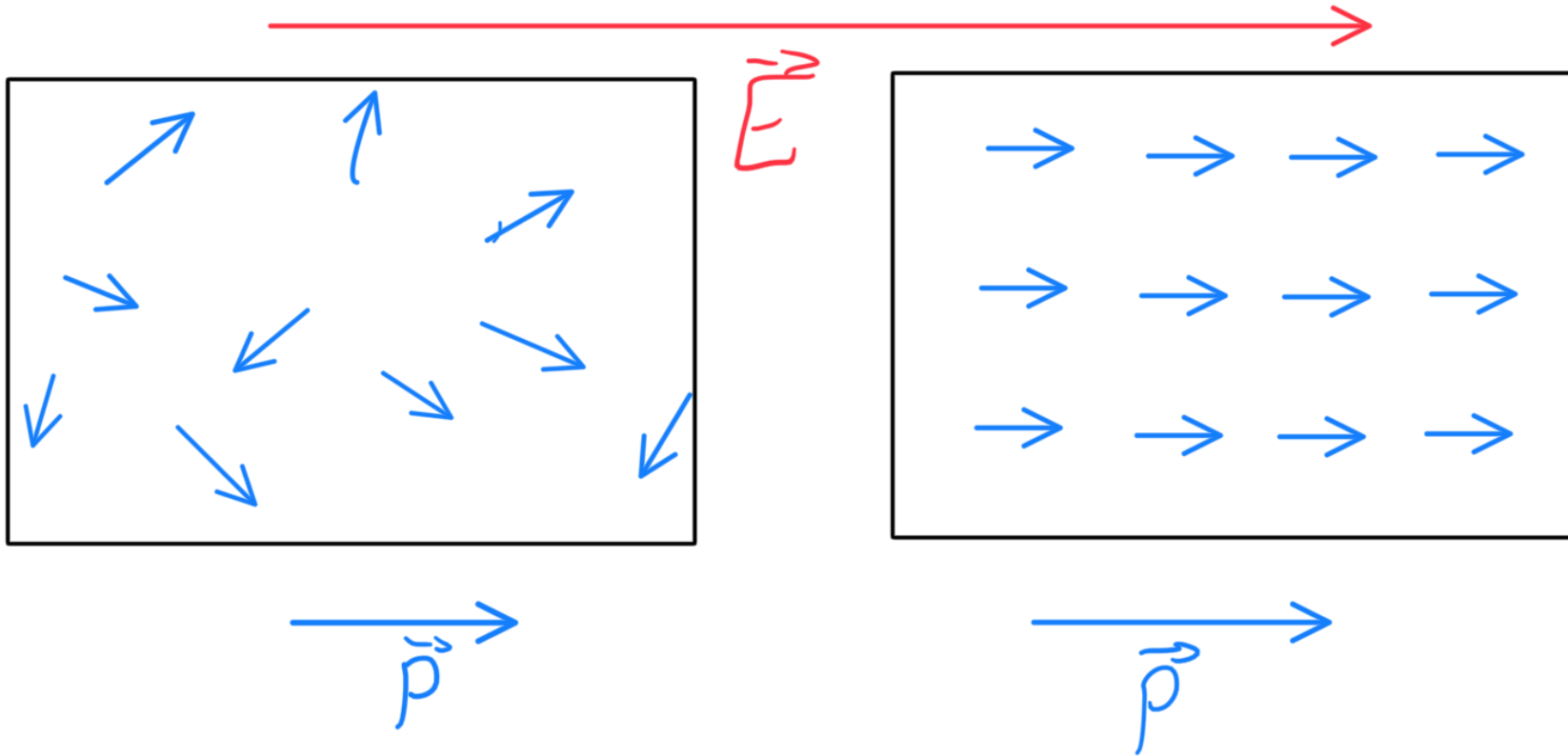
$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{V}$$

$$[P] = C/m^2$$



$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{V}$$

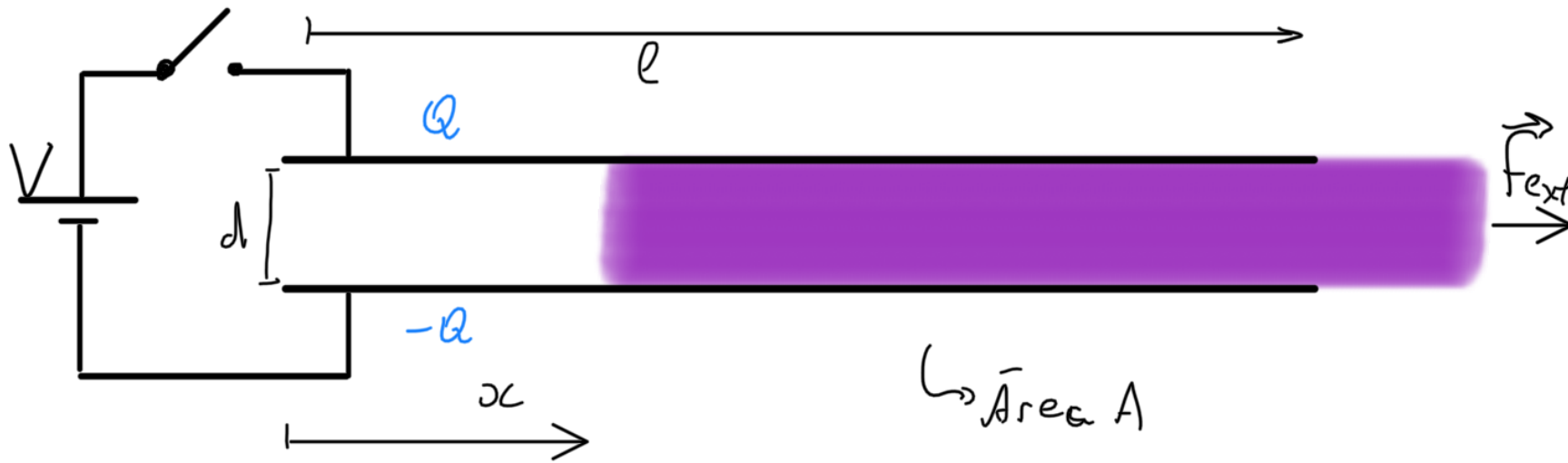
$$[P] = C/m^2$$



Isotropia $\vec{P} = \chi_e \vec{E}$; $\vec{D} = \epsilon \vec{E} + \epsilon_0 \vec{P} = \epsilon \vec{E}$

Anisotropia $\vec{P} = \overleftrightarrow{\chi}_e \vec{E}$; $\vec{D} = \overleftrightarrow{\epsilon} \vec{E}$

Energia: Capacitor



$$U = \frac{Q \cdot V}{2} \quad ; \quad C = \epsilon \frac{A}{d} = \frac{Q}{V}$$

$$\Rightarrow U = C \cdot \frac{V}{2} = \frac{Q^2}{2C}$$

$Q = \text{cte}$; $C \downarrow$, $U \uparrow \Rightarrow$ trabalho realizado

Campo magnético: Acoplamento aos dipolos na matéria

Elétrons ligados a átomos

→ visão "semiclássica": pequenas correntes em torno do núcleo

→ Dipolos induzidos pela lei de Faraday-Lenz

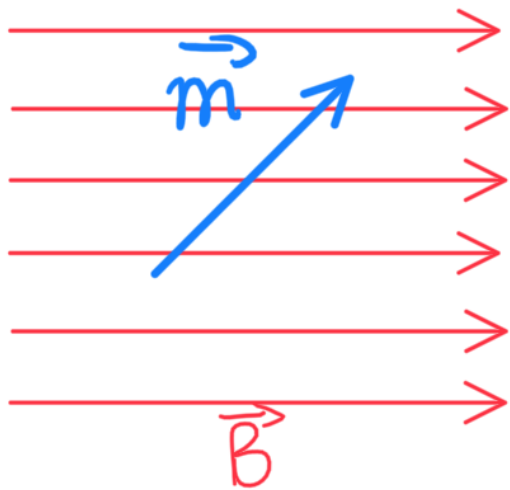
→ opostos ao campo!

Mas e a dissipação?

↓ ↓
dia magnetismo

Dipolo intrínseco: spin → puramente quântico

Energia interação dipolo-campo



$$U = -\vec{m} \cdot \vec{B}$$

Dissipação leva o potencial

ao seu mínimo

Orientação paralela ao campo

↓
para magnetismo

Diamagnetismo: Modelo inocente: órbitas circulares



$$A_{\text{area}} = \pi r^2$$

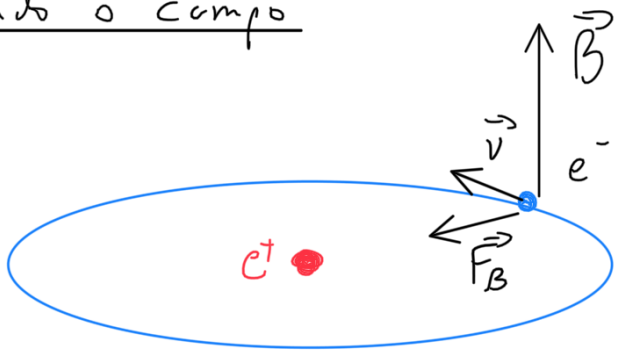
$$m = I \cdot A$$

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{e}{T} = \frac{e v}{2\pi r}$$

$$\Rightarrow m = \frac{e v r}{2}$$

Força centrípeta: $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m_e r}}$

Ligando o campo



$$\vec{B} = B \cdot \hat{k}$$

$$\vec{v} = v \cdot \hat{\theta}$$

$$\vec{r} = r \cdot \hat{r}$$

$$\vec{F}_B = -e(\vec{v} \times \vec{B}) = -e v B (\hat{\theta} \times \hat{k})$$

$$\vec{F}_B = -e v B \hat{r}$$

$$F_{cp} = F_e + F_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} + e v B = m_e \frac{v'^2}{r}$$

$$\downarrow$$
$$m_e \frac{v'^2}{r}$$

$$\Rightarrow e v' B = \frac{m_e}{r} (v'^2 - v^2) = \frac{m_e}{r} (v' + v) (v' - v)$$

$$\text{Se } |v' - v| \ll v \Rightarrow e v' B = \frac{m_e}{r} \cdot 2v' \cdot \Delta v$$

$$\Delta v = \frac{e r B}{2 m_e}$$

$$\Delta m = \frac{e r}{2} \Delta v = -\frac{e^2 r^2}{4 m_e} B$$

$$\Delta m = \frac{e\Gamma}{2} \Delta v = -\frac{e^2 r^2}{4m_e} B$$

Note porém que $\vec{m} = -m\vec{h} \Rightarrow \Delta \vec{m} = -\frac{e^2 r^2}{4m_e} \vec{B}$

→ Há um aumento do dipolo contrário a \vec{B}

→ Se invertemos \vec{B} , reduzimos v , reduzimos o módulo de m

Dissipação? No modelo não existe, mas ele não é

sustentado naturalmente → cargas aceleradas irradiam

⇒ modelo quântico

Níveis quânticos, átomo de hidrogênio: n, l, m

$l, m \rightarrow$ degenerados (em primeira aproximação)

$n=1 \rightarrow l=0 \rightarrow m=0 \rightarrow 1 \text{ nível} \rightarrow 1s$

$n=2 \rightarrow l=0 \rightarrow m=0 \rightarrow 1 \text{ nível} \rightarrow 2s$
 $l=1 \rightarrow m=-1, 0, 1 \rightarrow 3 \text{ níveis} \rightarrow 2p$

$n=3 \rightarrow l=0 \rightarrow m=0 \rightarrow 1 \text{ nível} \rightarrow 3s$
 $l=1 \rightarrow m=-1, 0, 1 \rightarrow 3 \text{ níveis} \rightarrow 3p$
 $l=2 \rightarrow m=-2, -1, 0, 1, 2 \rightarrow 5 \text{ níveis} \rightarrow 3d$

$$n=1 \rightarrow l=0 \rightarrow m=0 \quad \rightarrow 1 \text{ nível} \rightarrow 1s$$

$$n=2 \rightarrow l=0 \rightarrow m=0 \quad \rightarrow 1 \text{ nível} \rightarrow 2s$$

$$l=1 \rightarrow m=-1, 0, 1 \quad \rightarrow 3 \text{ níveis} \rightarrow 2p$$

$$n=3 \rightarrow l=0 \rightarrow m=0 \quad \rightarrow 1 \text{ nível} \rightarrow 3s$$

$$l=1 \rightarrow m=-1, 0, 1 \quad \rightarrow 3 \text{ níveis} \rightarrow 3p$$

$$l=2 \rightarrow m=-2, -1, 0, 1, 2 \quad \rightarrow 5 \text{ níveis} \rightarrow 3d$$

Campo magnético quebra a degenerescência em m e

redistribui a população entre os níveis

$$n=2, l=1, m \rightarrow \begin{array}{ccc} -1 & 0 & 1 \end{array} \quad \vec{B} \rightarrow \begin{array}{ccc} & 1 & \\ 0 & \Delta E & \\ -1 & & 1 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Efeito} \\ \text{Zeeman} \end{array}$$

$$\Delta E = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

\downarrow
 momento
 magnético
 atômico

$$\vec{\mu} \sim -\mu_B \frac{g}{\hbar} \vec{J} = -g \frac{e}{2m_e} \vec{J}$$

\downarrow
 $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$
 momento
 angular
 eletrônico

Paramagnetismo: Tratamento quântico relativístico

Dirac (1928) \rightarrow número atômico extra \rightarrow spin!

Elétron, próton, nêutron \rightarrow $s = \pm 1/2$ (Fermions)

Momento angular intrínseco: $S = s \cdot \hbar = \pm \frac{\hbar}{2}$

Consequência: momento magnético!

Esfera carregada: $\vec{\mu} = \frac{q}{2m} \vec{L}$ (clássico)

Elétron: $\vec{\mu}_e = g_s \frac{(-e)}{2m_e} \vec{S} = -g_s \mu_B \frac{\vec{S}}{\hbar}$

$$\text{Com } \mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 0,927 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{T}}$$

$$\text{Elétron: } \vec{\mu}_e = g_s \frac{(-e)}{2m_e} \vec{S} = -g_s \mu_B \cdot \frac{\vec{S}}{\hbar}$$

$$\text{Com } \mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 0,927 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{T}}$$

$g \rightarrow$ fator de correção (clássica \rightarrow quântica)

$$g_s = 2,00231930436182 (52) \quad \begin{array}{l} \text{Eletrodinâmica} \\ \text{Quântica} \end{array}$$

$$\text{Próton: } \vec{\mu}_p = g \frac{e}{2m_p} \vec{S} \Rightarrow \frac{\mu_p}{\mu_e} \sim \frac{m_e}{m_p} \sim \frac{0,511 \text{ MeV}/c^2}{0,94 \text{ GeV}/c^2} \sim \frac{1}{2000}$$

$$1,41 \dots 10^{-26} \text{ J/T}$$

$$\text{Neutron: } \vec{\mu}_n = -0,966 \cdot 10^{-26} \text{ J/T} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Justificável pela} \\ \text{estrutura interna} \\ \rightarrow \text{quarks \& Q.C.D.} \end{array} \right\}$$

\Rightarrow Contribuição nuclear e^- desprezável em campo contínuo
(mas importante em correções de frequência)

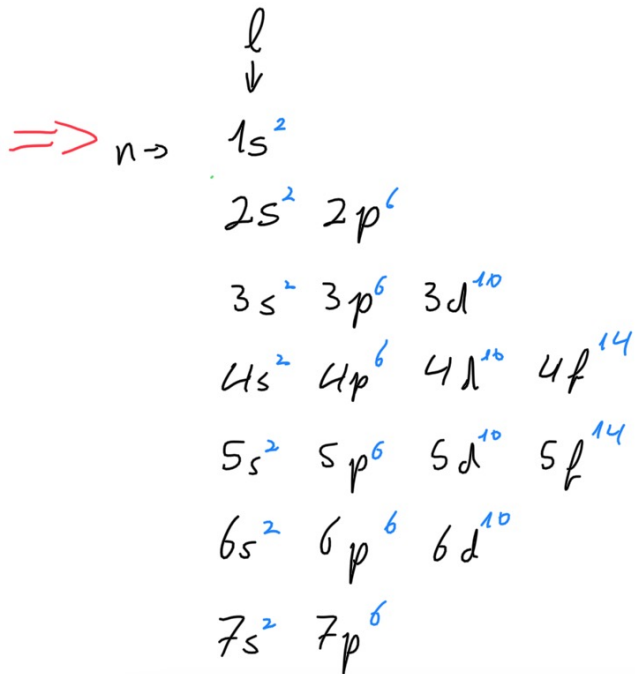
Níveis quânticos, átomo de hidrogênio: n, l, m, s

$l, m \rightarrow$ degenerados (em primeira aproximação)

$n=1 \rightarrow l=0 \rightarrow m=0 \rightarrow 1 \text{ nível} \rightarrow 1s \times 2 \rightarrow 2e$

$n=2 \rightarrow l=0 \rightarrow m=0 \rightarrow 1 \text{ nível} \rightarrow 2s \times 2 \rightarrow 2e$
 $l=1 \rightarrow m=-1, 0, 1 \rightarrow 3 \text{ níveis} \rightarrow 2p \times 2 \rightarrow 6e$

$n=3 \rightarrow l=0 \rightarrow m=0 \rightarrow 1 \text{ nível} \rightarrow 3s \times 2 \rightarrow 2e$
 $l=1 \rightarrow m=-1, 0, 1 \rightarrow 3 \text{ níveis} \rightarrow 3p \times 2 \rightarrow 6e$
 $l=2 \rightarrow m=-2, -1, 0, 1, 2 \rightarrow 5 \text{ níveis} \rightarrow 3d \times 2 \rightarrow 10e$



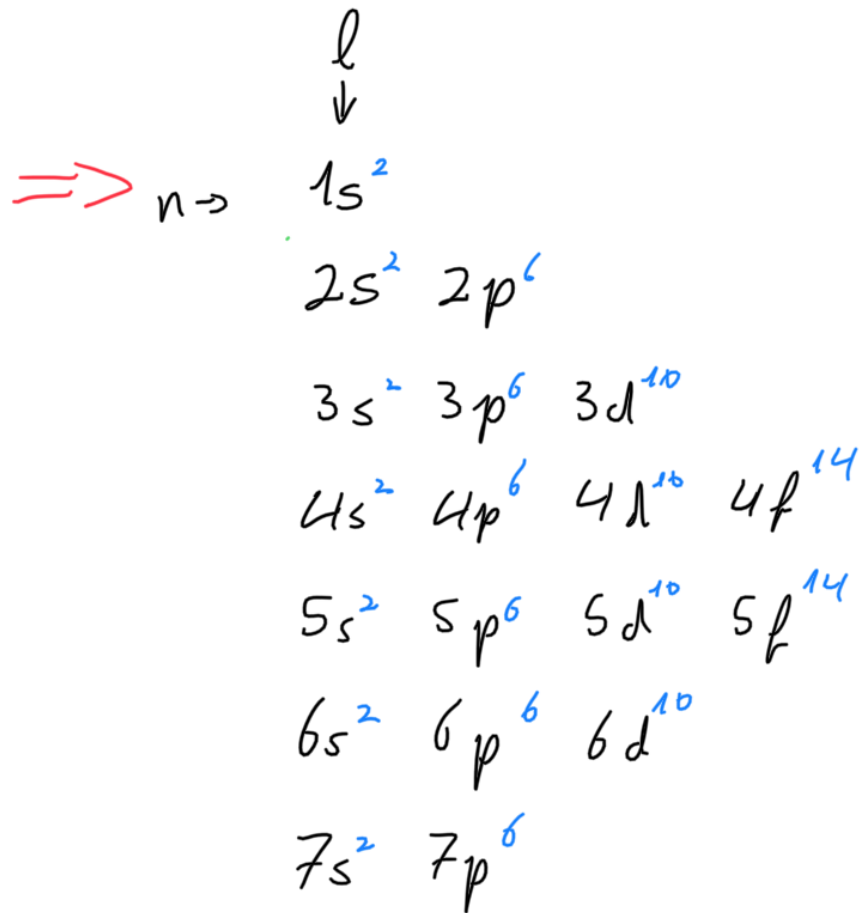
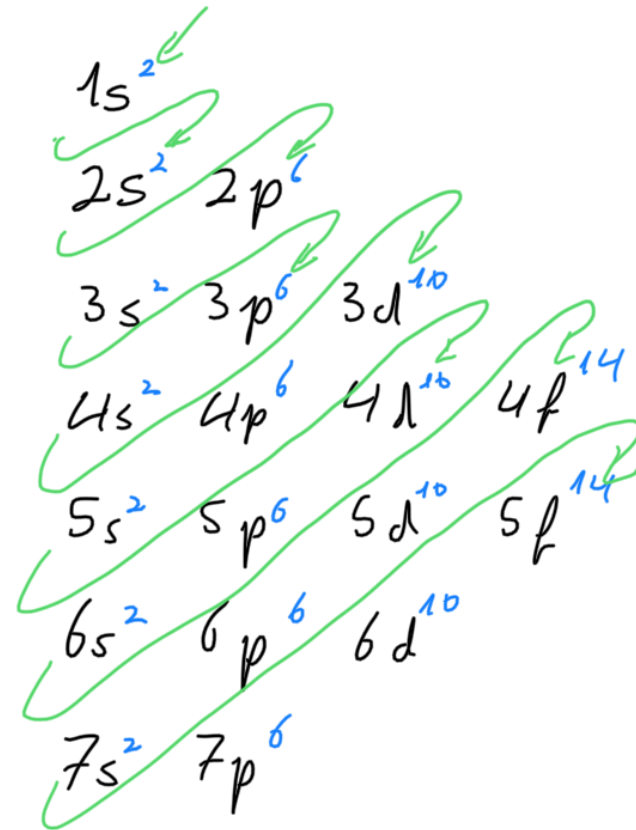


Tabela periódica



2 elétrons por nível atômico \rightarrow nível completo $\Rightarrow S=0$

$\uparrow + \downarrow \rightarrow$ spin up + spin down \rightarrow Princípio de exclusão Pauli

\rightarrow Paramagnetismo \rightarrow somente com elétrons despareados!

Magnetismo

Eletrostática

Paramagnetismo \leftrightarrow dielétrica
atração

Diamagnetismo \leftrightarrow sem correspondente!

Magnetização: $\vec{M} = \frac{\sum \vec{m}_i}{V}$

Dado \vec{M} , qual o campo gerado?

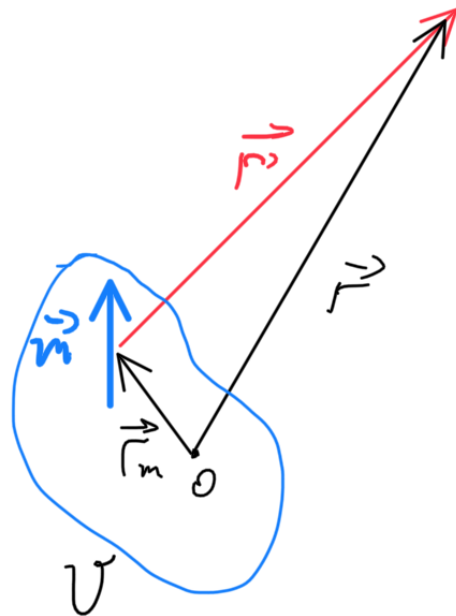
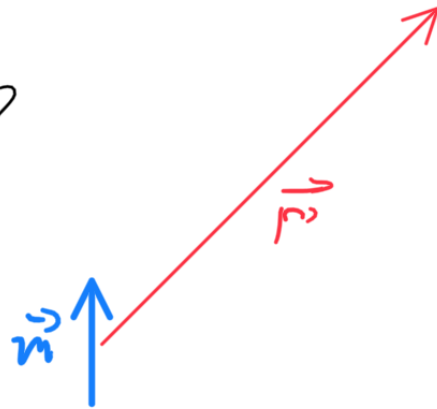
Um dipolo: $\vec{A}_i = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{m}_i \times \hat{r}'}{r'^2}$

Múltiplos dipolos $\vec{A} = \sum \vec{A}_i$

$$= \sum \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{m}_i \times \hat{r}'}{r'^2} ; \quad \vec{m}_i \rightarrow \vec{M} dV$$

$$\Rightarrow \vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{M} \times \hat{r}'}{r'^2} dV$$

com $\vec{r}' = \vec{r} - \vec{r}_m$



Usando $\nabla \frac{1}{r'} = \frac{\vec{r}'}{r'^2}$

(diferencial sobre as coordenadas da fonte $\rightarrow r_m$)

$$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int (\vec{M} \times \nabla \frac{1}{r'}) d\tau$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\int \frac{1}{r'} (\nabla \times \vec{M}) d\tau - \int \nabla \times \left(\frac{1}{r'} \vec{M} \right) d\tau \right]$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\int \frac{1}{r'} (\nabla \times \vec{M}) d\tau + \oint_S \frac{1}{r'} (\vec{M} \times \hat{n}) da \right]$$

↓
Corrente no volume

$$\vec{J}_b = \nabla \times \vec{M}$$

↓
Corrente de superfície

$$\vec{K}_b = \vec{M} \times \hat{n}$$

$$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\vec{J}_b}{r'} d\tau + \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{\vec{K}_b}{r'} da$$

Corrente no volume

$$\vec{J}_b = \nabla \times \vec{M}$$

Corrente de superfície

$$\vec{K}_b = \vec{M} \times \hat{n}$$

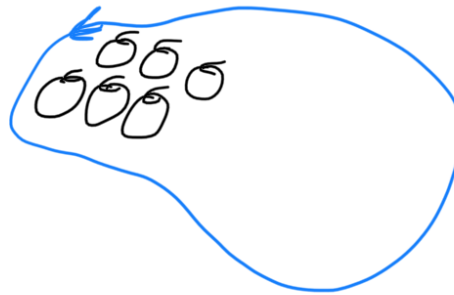
$$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\vec{J}_b}{r'} d\tau + \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{\vec{K}_b}{r'} da$$

Correspondência com densidade volumétrica de carga $\rho_b = -\nabla \cdot \vec{P}$
densidade superficial de carga $\sigma_b = \vec{P} \cdot \hat{n}$

$\vec{J}_b \rightarrow$ não uniformidade de \vec{M}

$\vec{K}_b \rightarrow$ corrente nas bordas

\hookrightarrow corrente resultante



Correntes contínuas $\rightarrow \nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$

$\Rightarrow \vec{J} = \nabla \times \vec{M}$ satisfaz a condição \uparrow

Aula 16: Campo auxiliar H

Magnetização $\vec{M} \equiv$ Correntes internas $\vec{J}_b = \nabla \times \vec{M}$
+ Correntes de superfície $\vec{K}_b = \vec{M} \times \hat{n}$

Campo \Rightarrow combinação de correntes livres \vec{J}_l

Fontes totais de campo:

$$\vec{J} = \vec{J}_l + \vec{J}_b \Rightarrow \text{Lei de Ampère}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} = \mu_0 \vec{J}_l + \mu_0 (\nabla \times \vec{M})$$

Fontes totais de campo:

$$\vec{J} = \vec{J}_l + \vec{J}_b \Rightarrow \text{Lei de Ampère}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} = \mu_0 \vec{J}_l + \mu_0 (\nabla \times \vec{M})$$

$$\Rightarrow \vec{J}_l = \nabla \times \left(\frac{1}{\mu_0} \vec{B} - \vec{M} \right) = \nabla \times \vec{H} \quad / \quad \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

Lei de Ampère \rightarrow correntes livres: $\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_f$

$$\Rightarrow \oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_f ; \text{ em um loop}$$

Susceptibilidade Magnética e Permeabilidade

\vec{M} é gerado pelo campo $\vec{B} \Rightarrow \vec{M} \propto \vec{B}$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \Rightarrow \vec{M} \propto \vec{H}$$

Convenção: $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$

\hookrightarrow susceptibilidade magnética

$\chi_m = \text{cte} \Rightarrow$ meio linear

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu \vec{H} \quad \mu \rightarrow \text{permeabilidade}$$

$\chi_m = \text{cte} \Rightarrow$ meio linear

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu \vec{H} \quad \mu \rightarrow \text{permeabilidade}$$

χ_m (Handbook of Chemistry and physics, CRC Press 1986)

Diamagnético

	n_e/n	$\chi_m \cdot 10^5$
Bi *	83/80	-16,5
Au *	79/78	-3,0
Ag *	47/46	-2,4
Cu *	29/28	-0,96
H ₂ O	10	-0,90
CO ₂	22	-0,22
H ₂	2	-0,22

Paramagnético

	n_e/n	$\chi_m \cdot 10^5$
O ₂	16	190
Na *	11/10	0,85
Al *	13/10	2,1
W *	74/1?	7,8
Gd *	64/1?	48.10 ⁻³

* metal

χ_m (Handbook of Chemistry and physics, CRC Press 1986)

Diamagnetic

	n_e/n	$\chi_m \cdot 10^5$
Bi*	83/80	-16,5
Au*	79/78	-3,0
Ag*	47/46	-2,4
Cu*	29/28	-0,96
H ₂ O	10	-0,90
CO ₂	22	-0,22
H ₂	2	-0,22

Paramagnetic

	n_e/n	$\chi_m \cdot 10^5$
O ₂	16	190
N ₂ *	11/10	0,85
Al*	13/10	2,1
W*	74/??	7,8
Gd*	64/??	48 · 10 ⁻³

* metal

Group:	1	2																																
1s:	1 H																																	
[He]	3 Li	4 Be																																
2s:	1	2																																
2p:	-	-																																
[Ne]	11 Na	12 Mg																																
3s:	1	2																																
3p:	-	-																																
[Ar]	19 K	20 Ca																																
4s:	1	2																																
3d:	-	-																																
4p:	-	-																																
[Kr]	37 Rb	38 Sr																																
5s:	1	2																																
4d:	-	-																																
5p:	-	-																																
[Xe]	55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
6s:	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4f:	-	-	-	1	3	4	5	6	7	7	9	10	11	12	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
5d:	-	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6	7	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
6p:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6		
[Rn]	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og		
7s:	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
5f:	-	-	-	-	2	3	4	6	7	7	9	10	11	12	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14		
6d:	-	-	1	2	1	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	10	10	10	10	10		
7p:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6		

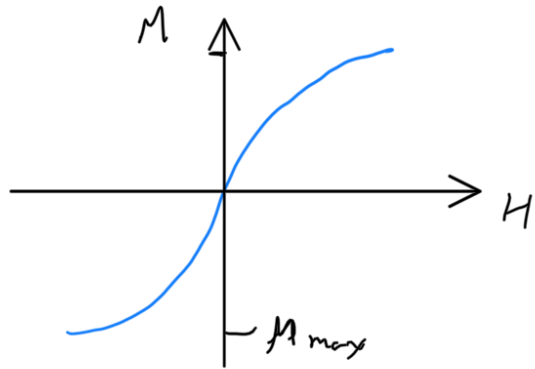
	13	14	15	16	17	18																									
						2 He																									
						2																									
5	6	7	8	9	10																										
B	C	N	O	F	Ne																										
2	2	2	2	2	2																										
1	2	3	4	5	6																										
13	14	15	16	17	18																										
Al	Si	P	S	Cl	Ar																										
2	2	2	2	2	2																										
1	2	3	4	5	6																										
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																
Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																
2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2																
1	2	3	5	5	6	7	8	10	10	10	10	10	10	10	10																
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6																
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																
2	2	1	1	2	1	1	-	1	2	2	2	2	2	2	2																
1	2	4	5	5	7	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10																
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6																
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2
-	-	-	1	3	4	5	6	7	7	9	10	11	12	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6	7	9	10	10	10	10	10	10	10	10
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6

s-block f-block d-block p-block

Ferro magnetismo: Efeito coletivo \rightarrow acoplamento de dipolos

gerando domínios magnéticos

Baixa histerese \rightarrow blindagem e confinamento do campo

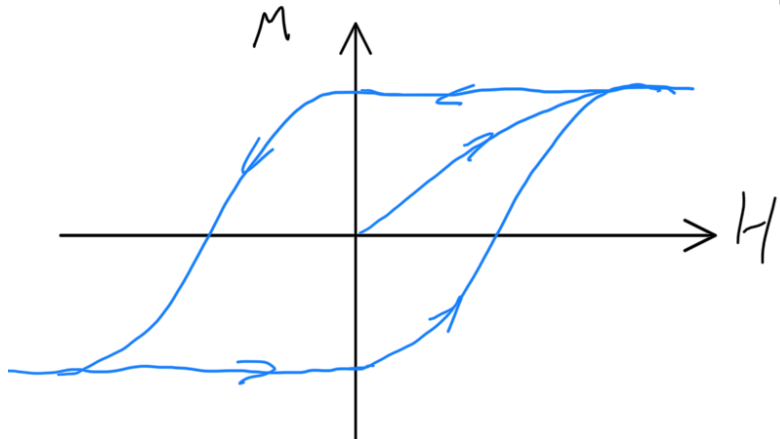


$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$$

\Rightarrow aumento do Fluxo

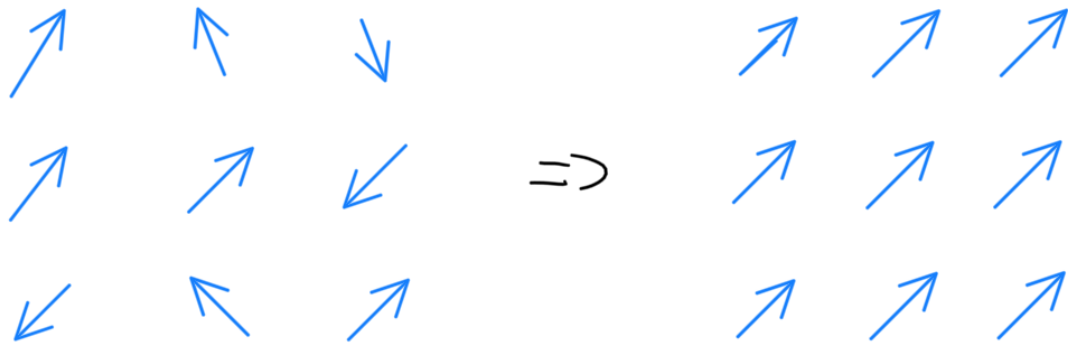
$$\phi = L \cdot I \rightarrow \text{aumento da indutância}$$

Alta histerese \rightarrow ímãs permanentes



Origem: Acoplamento spin-spin: $H = - \sum_{ij} J \langle \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j \rangle$

Leva ao alinhamento de spins



→ Surgimento de domínios magnéticos com fronteiras

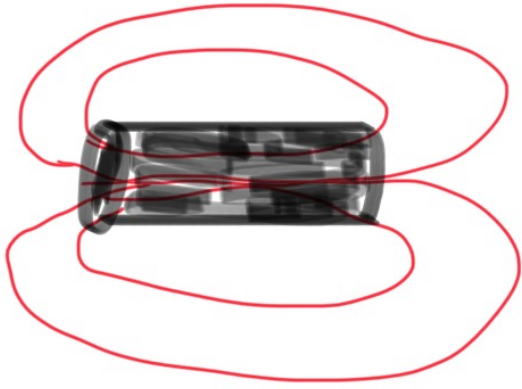
Magnet	preparation	B_r (T)	H_{ci} (kA/m)	$B \cdot H_{max}$ (kJ/m ³)	T_C (°C)
Nd ₂ Fe ₁₄ B	sintered	1.0–1.4	750–2000	200–440	310–400
Nd ₂ Fe ₁₄ B	bonded	0.6–0.7	600–1200	60–100	310–400
SmCo ₅	sintered	0.8–1.1	600–2000	120–200	720
Sm(Co,Fe,Cu,Zr) ₇	sintered	0.9–1.15	450–1300	150–240	800
Alnico	sintered	0.6–1.4	275	10–88	700–860
Sr-ferrite	sintered	0.2–0.4	100–300	10–40	450
Iron (Fe) bar magnet	annealed	?	800 ^[8]	?	770 ^[9]

Curie temperatures for some crystalline ferromagnetic materials^{[6][7]}

Material	Curie temp. (K)
Co	1388
Fe	1043
Fe ₂ O ₃ ^[a]	948
FeOFe ₂ O ₃ ^[a]	858
NiOFe ₂ O ₃ ^[a]	858
CuOFe ₂ O ₃ ^[a]	728
MgOFe ₂ O ₃ ^[a]	713
MnBi	630
Ni	627
Nd ₂ Fe ₁₄ B	593
MnSb	587
MnOFe ₂ O ₃ ^[a]	573
Y ₃ Fe ₅ O ₁₂ ^[a]	560
CrO ₂	386
MnAs	318
Gd	292
Tb	219
Dy	88
EuO	69

a. ^{a b c d e f g} Ferrimagnetic material

Correntes induzidas: (eddy currents)



Ao aproximar, as correntes induzidas se opõem ao campo e se dissipam pela resistência do meio

Se a resistência é nula a corrente permanece! ✓

=> Supercondutores bloqueiam o campo
 \vec{B} dentro de supercondutores é nulo! ✓