

# *As Propriedades Magnéticas dos Sólidos*

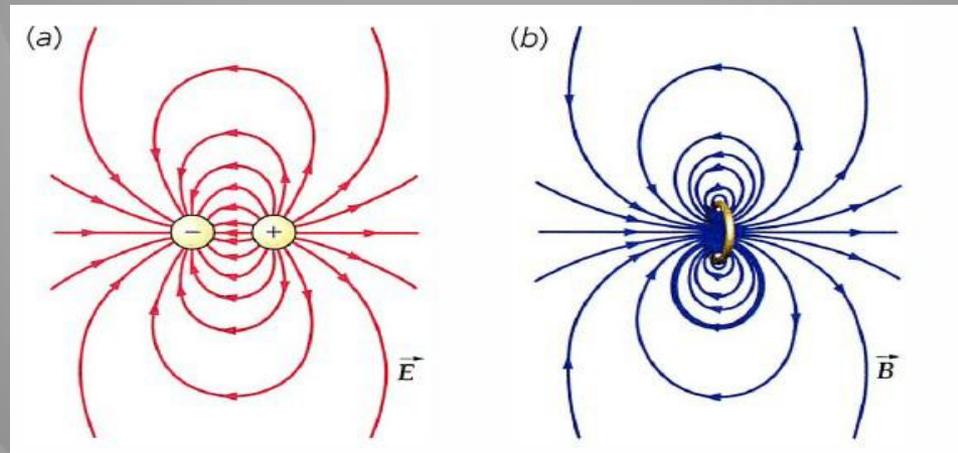
Anderson Kanaharada  
Arthur Scabora  
Leonardo Werneck

Física Moderna II  
Professor Marcelo  
Munhoz

# *Dipolos Magnéticos*

Os dipolos magnéticos podem surgir através de duas coisas:

- Movimento de partículas carregadas
- Momento intrínscico das partículas (spin)



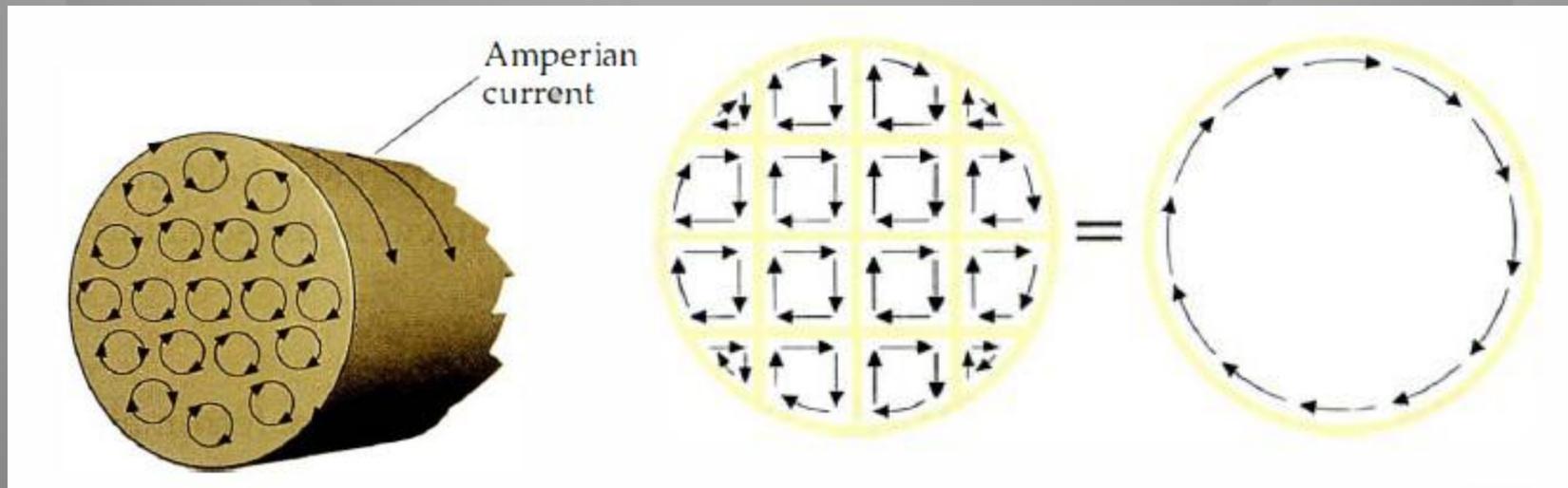
## *Magnetização de um Material*

- Ocorre quando um material é sujeito a um campo magnético muito intenso (ex: o de um solenóide)
- Isso tende a alinhar os momentos de dipolo magnético (permanentes ou induzidos) no interior do material

$$\vec{M} = \frac{d\vec{\mu}}{dV}$$

## O Modelo de Ampère

- Os dipolos atômicos são paralelos ao eixo do cilindro
- A corrente resultante em qualquer ponto no interior do cilindro é zero
- Na superfície, a corrente se assemelha à de um solenoide
- A corrente de superfície recebe o nome de *amperiana*



## *Magnetização no Modelo de Ampère*

$$M = \frac{d\mu}{dV} = \frac{AdI}{Adl} \rightarrow \boxed{M = \frac{dI}{dl}}$$

→ Consideramos um fio com magnetização  $M$  como a variação uma corrente em sua superfície em relação ao seu comprimento

# *Suscetibilidade Magnética*

→ É a constante de proporcionalização que relaciona a magnetização  $M$  do material com o campo  $B_{app}$  aplicado sobre ele

$$\vec{M} = \chi_m \cdot \frac{\vec{B}_{app}}{\mu_0}$$

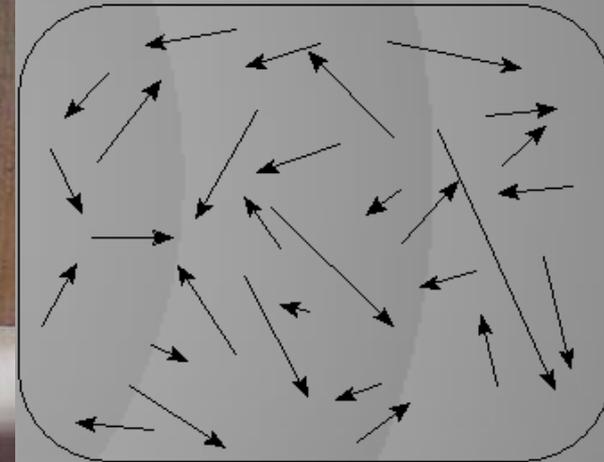
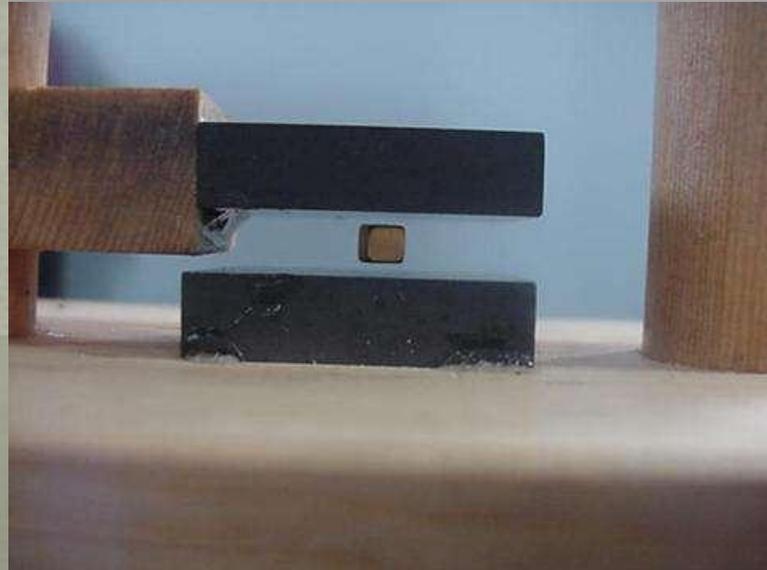
→ Onde  $\chi_m$  é a suscetibilidade magnética

→ Ela permite a classificação dos materiais em termos de suas propriedades magnéticas

# *Diamagnetismo*

- Nos materiais diamagnéticos,  $\chi < 0$ , mas pequeno
- Nesses materiais, o campo de magnetização se opõe ao campo aplicado
- O campo de magnetização desaparece quando o campo aplicado é “desligado”/removido
- É observado, geralmente, em materiais que apresentam as camadas eletrônicas totalmente preenchidas

# *Diamagnetismo*

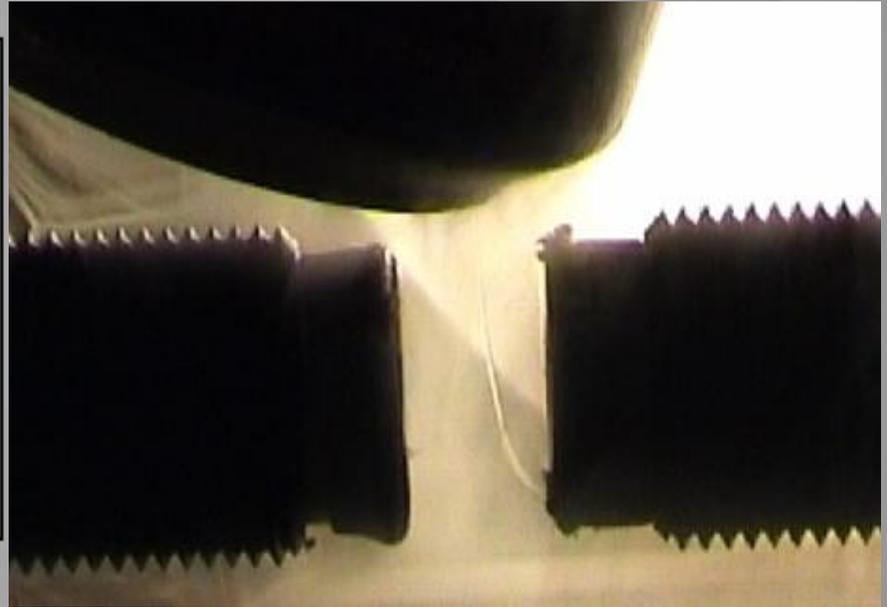
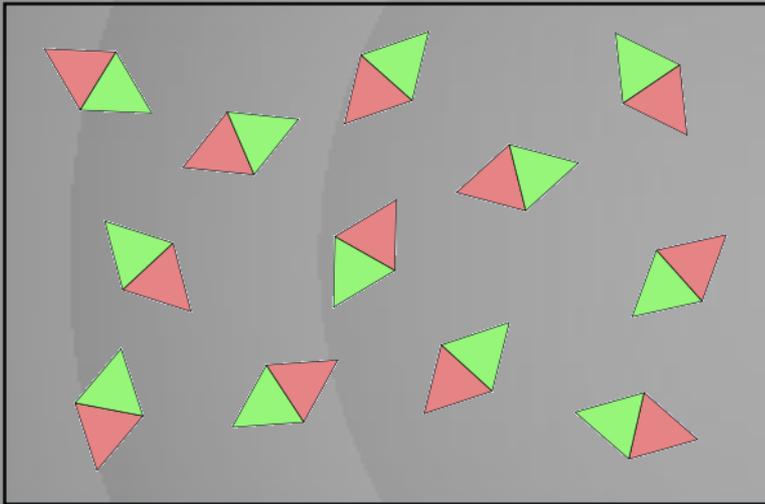


→ Cobre, Água, Prata, Carbono, etc

# *Paramagnetismo*

- Nos materiais paramagnéticos,  $\chi > 0$ , mas pequeno
- Nesses materiais, os spins dos elétrons, os momentos atômicos ou o campo produzido se alinham parcialmente na direção do campo aplicado
- O campo de magnetização desaparece quando o campo aplicado é “desligado”/removido
- É observado, geralmente, em materiais que apresentam elétrons desemparelhados na última camada eletrônica

# *Paramagnetismo*



→ Oxigênio líquido, Magnésio, Lítio, etc

# *Ferromagnetismo*

- Nos materiais ferromagnéticos,  $\chi \gg 1$
- Nesses materiais os dipolos magnéticos estão relativamente bem alinhados, de forma que qualquer campo externo gera um campo total muito intenso
- O campo de magnetização pode permanecer mesmo após a remoção do campo externo (ímãs)
- Se a temperatura de Curie ( $T_c$ ) desses materiais é excedida, eles passam a se comportar como paramagnéticos

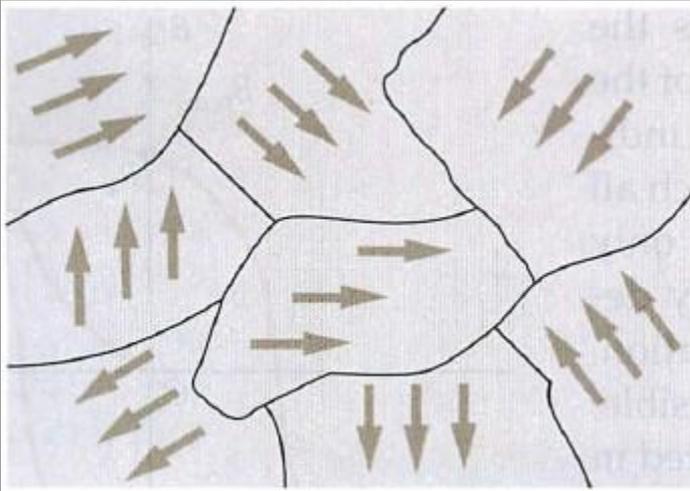
# *Ferromagnetismo*



→ Ferro, Cobalto, Níquel, Terras-Raras, etc

[http://en.wikipedia.org/wiki/Rare\\_earth\\_element](http://en.wikipedia.org/wiki/Rare_earth_element)

## Domínios Magnéticos



→ Pequenos alinhamentos em determinadas regiões do material

→ Direções aleatórias tornam o momento magnético resultante nulo no estado normal

→ As chamadas *Paredes de Bloch* separam esses domínios

→ Temperaturas maiores que  $T_c$  são capazes de quebrar essas paredes, justificando o fato dos ferromagnéticos se tornarem paramagnéticos

# *Antiferromagnetismo*

- Nos materiais antiferromagnéticos,  $\chi = 0$
- Nesses materiais o campo de magnetização se alinha “antiparalelamente” ao campo aplicado
- A interação de troca força átomos vizinhos a assumirem orientações de spins antiparalelos



# *Ferrimagnetismo*

- Nos materiais ferrimagnéticos,  $\chi \neq 0$
- Nesses materiais o campo de magnetização se alinha “antiparalelamente” ao campo aplicado, mas os momentos em sentidos opostos não são iguais, fazendo com que uma magnetização espontânea permaneça, mesmo sem o campo externo
- Como os ferromagnéticos, para  $T > T_c$  eles se comportam como paramagnéticos

