

ACH4015 - Eletricidade e Magnetismo

Aula 9: Equações de Maxwell; Magnetismo da Matéria

2017

Profa. Dra. Patricia Targon Campana
Grupo de Biomateriais e Espectroscopia

tumblr.

<http://sciencenebula.tumblr.com/>



<https://pt-br.facebook.com/Campana.PT>



@profaPCampana

Conteúdo - Halliday 8^a ed. Cap.32

- Equações de Maxwell
- Magnetismo da Matéria

Maxwell

Escreveu.....

...baseado em:

1. Lei de Gauss para a eletricidade

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Da Lei de Coulomb:

$$E = \frac{kQ_{source}}{r^2} \quad \text{ numa superfície esférica fechada:}$$

Deriva-se a Lei de Gauss: $\epsilon_0 \phi = q_{env}$

2. Lei de Gauss para o magnetismo

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Como não existem monopólos magnéticos, o fluxo de B para fora é sempre igual ao de B para dentro da superfície gaussiana

3. Lei de Faraday para a indução

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Lei de Faraday: a variação temporal de um campo magnético no espaço gera campo elétrico caso

$$\frac{\Delta \vec{B}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{E}$$

4. Lei de Ampère-Maxwell

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i + \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

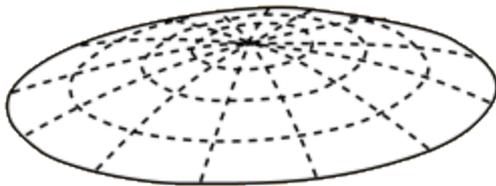
B induzidos e Lei de Ampère,

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i \cdot$$

As equações de Maxwell contém a função de onda para as ondas eletromagnéticas:

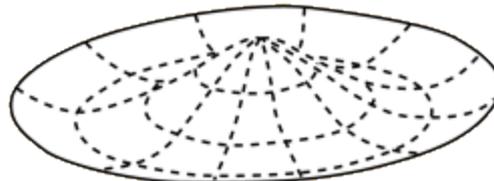
$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2}$$

Mode 01



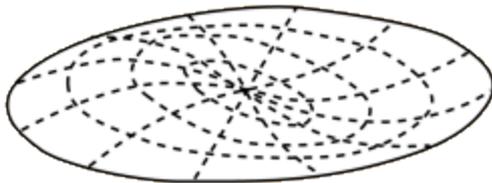
This is the lowest frequency mode f_1

02



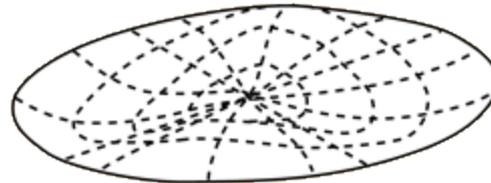
$2.30 f_1$

Mode 11



$1.59 f_1$

21



$2.14 f_1$

Todas as ondas eletromagnéticas, incluindo a luz visível, se propagam no vácuo com a mesma velocidade (c)

Além disso:

$$c = \frac{E}{B}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

Carregam energia na forma:

vetor de Poynting (\vec{S})

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$$

$$S = \left(\frac{\text{energia/tempo}}{\text{área}} \right)_{inst}$$
$$= \left(\frac{\text{potência}}{\text{área}} \right)_{inst}$$

$$S = W/s^2$$

$$S = \frac{1}{\mu_0} EB$$



$$S = \frac{1}{\mu_0} E \left(\frac{E}{c} \right)$$

$$S = \frac{1}{c\mu_0} E^2$$

A energia média transportada é a intensidade (I) da onda

$$I = S_{\text{média}} = \left(\frac{\text{energia/tempo}}{\text{área}} \right)_{\text{média}} = \left(\frac{\text{potência}}{\text{área}} \right)_{\text{média}}$$

$$I = \frac{1}{c\mu_0} (E^2)_{\text{média}} = \frac{1}{c\mu_0} [E^2 \text{sen}^2(kx - \omega t)]_{\text{média}}$$

Por definição:

$$\text{sen}^2 \theta = \frac{1}{2} \quad E_{\text{rms}} = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

Logo

$$I = \frac{1}{c\mu_0} E_{\text{rms}}^2 \quad I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \text{Variação com a distância}$$

Pressão de radiação

$$\Delta p = \frac{\Delta U}{c} \quad \text{Absorção total}$$

$$\Delta p = \frac{2 \Delta U}{c} \quad \text{Incidência perpendicular e reflexão total}$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}.$$

$$I = \frac{\text{potência}}{\text{área}} = \frac{\text{energia/tempo}}{\text{área}}.$$

$$\Delta U = IA \Delta t.$$

$$F = \frac{IA}{c} \quad (\text{absorção total}).$$

$$F = \frac{2IA}{c} \quad (\text{incidência perpendicular e reflexão total}).$$

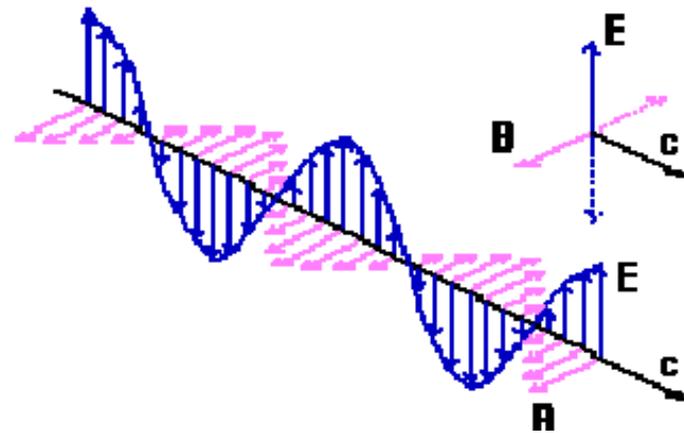
$$p_r = \frac{I}{c} \quad (\text{absorção total})$$

$$p_r = \frac{2I}{c} \quad (\text{incidência perpendicular e reflexão total})$$

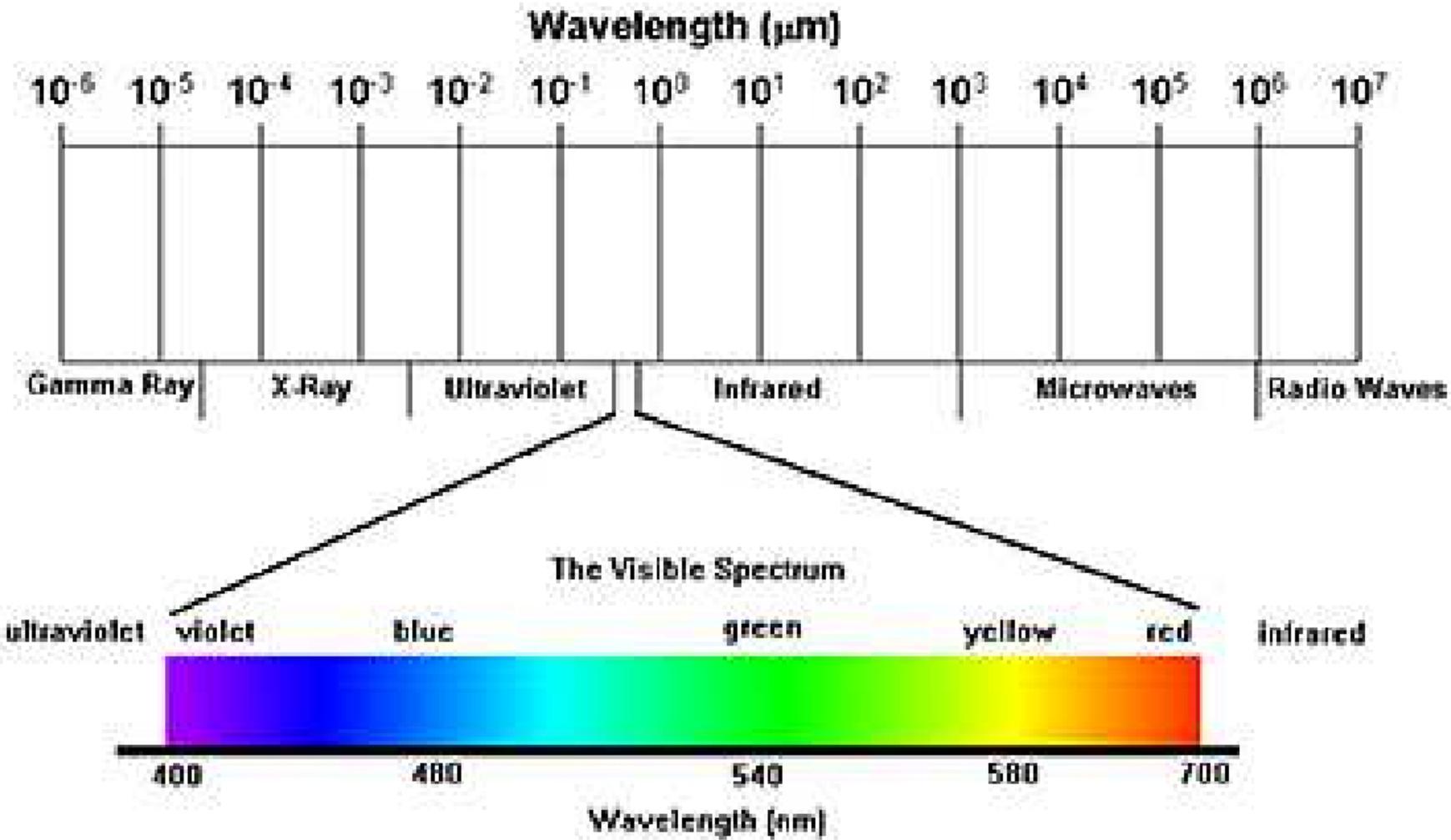
Ondas eletromagnéticas

$$E = E_m \text{ sen } (kx - \omega t), \text{ onde } k = 2\pi/\lambda \quad \text{e} \quad \omega = 2\pi f$$

$$B = B_m \text{ sen } (kx - \omega t)$$



A arco-íris de Maxwell



Magnetismo da Matéria

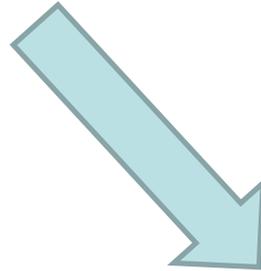
Átomos:

elétron



Momento de dipolo magnético de spin

Momento de dipolo magnético orbital



Propriedades magnéticas: resultam da combinação vetorial de todos esses momentos de todos os átomos de todas as moléculas que forma um material

Diamagnetismo

Paramagnetismo

Ferromagnetismo

Diamagnetismo:

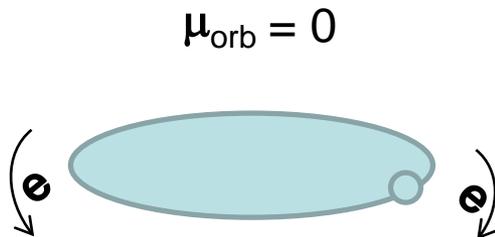
Existe em todos os materiais

Muito fraco

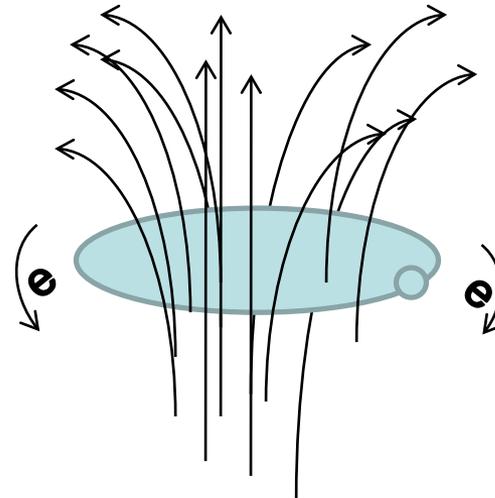
Pode ser observado se: um **B** externo for aplicado

possuir uma das duas outras propriedades

(paramagnetismo ou ferromagnetismo)



B externo = 0

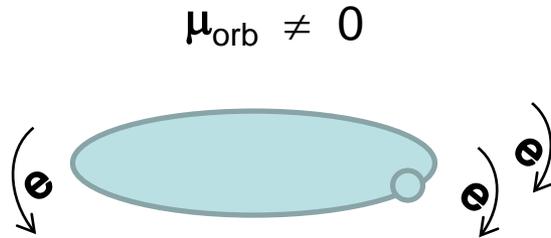


B externo $\neq 0$ e não uniforme resulta em:
E induzido, em corrente e aceleração dos elétrons
repulsão do material para o lado inverso do **B** externo

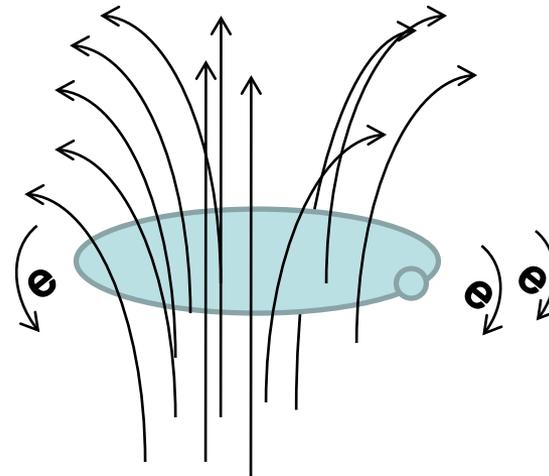
Paramagnetismo:

Observado em materiais que contém terras raras, metais de transição e actinídeos
Os átomos possuem momento de dipolo magnético diferente de zero, MAS, sua orientação no material resulta em zero.

Pode ser observado se: um **B** externo for aplicado



B externo = 0



B externo $\neq 0$ e não uniforme resulta em:
alinhamento parcial ao B externo

Agitações térmicas reduzem o momento total

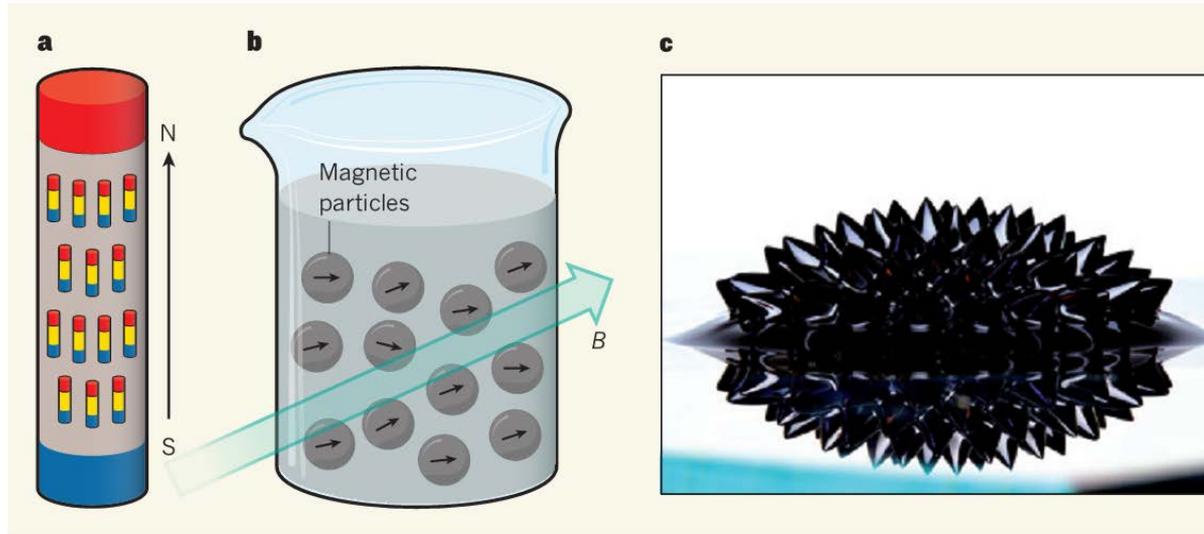
$$M = \frac{\text{momento magnético medido}}{\text{Volume}} = \frac{N\mu}{\text{Volume}} = C \frac{B_{\text{ext}}}{T}$$

Ferromagnetismo:

Observado apenas no ferro, níquel, gadolínio, cobalto e alguns outros (além de suas ligas)

Os momentos de dipolo magnético de átomos vizinhos se alinham em algumas regiões (*acoplamento de câmbio*: spins dos elétrons de um átomo interagindo com os spins dos elétrons do átomo vizinho) Se um **B** externo for aplicado, as regiões se alinham e não desalinham com a retirada do campo.

ferrofluidos



C: GREGORY F. MAXWELL/WIKIMEDIA

