

Equações de Maxwell & Magnetismo Material

Equações de Maxwell

- As 4 equações envolvem a eletricidade e o magnetismo, mas...
 - James Clerk Maxwell (1831-1879) foi o primeiro a unificar a eletricidade e o magnetismo...



1831

1879) foi
o primeiro a
unificar a
eletricidade
e o magnetismo...

Lei de Gauss para a Eletricidade

- $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{env}}{\epsilon_0}$

- Relaciona o fluxo elétrico à carga envolvida pela superfície Gaussiana.

Lei de Gauss para o Magnetismo

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

- Relaciona o fluxo magnético às cargas magnéticas envolvidas.
 - Ou seja, não há polo magnético isolado.

Lei de Faraday da Indução

- Como vimos a variação de fluxo magnético induz um campo elétrico, conforme a equação:

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

Sendo s um caminho fechado

- Espera-se então a produção de ao termos alteração de fluxo elétrico

Lei de Maxwell da Indução

- Que seria dada por:

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

Sendo s um caminho fechado

- Ops, mas vimos outro equação semelhante:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{env}$$

A lei de Ampère

Lei de Ampère- Maxwell da Indução

- É a combinação das duas

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_{env}$$

- dffa

Equações de Maxwell

- Lei de Gauss Eletricidade

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

- Lei de Gauss Magnetismo

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

- Lei de Faraday

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

- Lei de Ampère-Maxwell

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_{env}$$

Equações de Maxwell

- Onde podemos ver variação de fluxo elétrico?
- Isso, entre as placas de um capacitor no processo de carga ou descarga.

O Magnetismo e os Elétrons

- Os materiais magnéticos assim o são devido a seus elétrons.
- Já vimos que um elétron em movimento no espaço gera campo magnético
 - Corrente elétrica gera campo magnético
- Há outros dois mecanismos mas que necessita de compreensão de Física Quântica, que iremos evitar

O Magnetismo e os Elétrons

Mecanismos de produção de Magnetismo por elétrons

- Momento Dipolar Magnético de Spin
 - O elétron possui um momento angular intrínseco conhecido como Momento angular de spin, ou simplesmente **Spin (S)**.
 - Associado ao Spin, surge um momento dipolar magnético $\vec{\mu}_s$:

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m}\vec{S}.$$

Sendo e , a carga do elétron ($1,60 \times 10^{-19} \text{C}$) e m sua massa ($9,11 \times 10^{-31} \text{kg}$).

Momento Dipolar Magnético de Spin:

- O momento angular \vec{S} , apresenta dois aspectos bem diferentes do momento angular clássico
 - Não pode ser medido diretamente, mas sim sua componente;
 - Suas componentes são quantizadas, só pode assumir certos valores, como nossa moeda que é sempre múltiplos de um centavo.
 - Já o Spin do elétron só pode assumir dois valores, alterando somente o sinal \pm

Momento Dipolar Magnético de Spin:

- Supondo a medida do Spin sendo realizada na direção z, só será obtido um dos dois valores:

$$S_z = m_s \frac{h}{2\pi}, \text{ para } m_s = \mp \frac{1}{2}.$$

Sendo h a constante de Planck ($6,63 \times 10^{-34}$ Js) e m_s o número quântico de Spin

Momento Dipolar Magnético de Spin:

- Visto

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m} \vec{S}$$

- e

$$S_z = m_s \frac{h}{2\pi}$$

- A componente μ_{sz} será

$$\mu_{sz} = \mp \frac{eh}{4\pi m}$$

Magnéton de Bohr

- O valor absoluto de μ_{sz} é chamado de magnéton de Bohr

$$|\mu_{sz}| = \mu_B = \frac{eh}{4\pi m} = 9,27 \times 10^{-24} \text{ J/T}$$

Energia Potencial Magnética de um elétron num campo Magnético

- Ao submeter um elétron a um campo magnético,
- ele estará sujeito a uma energia potencial magnética U :

$$U_B = -\vec{\mu}_s \cdot \vec{B}_{ext} = -\mu_{sz} B_{ext}$$

- O que significa que ao migrar de um estado para o outro ou é liberada ou fornecida energia

Spin do Próton e Nêutron

- O Próton e Nêutron também apresentam Spin e momento de dipolo magnético, entretanto por contribuírem cerca de mil vezes menos que os elétrons ao campo magnético não serão considerados.

O Magnetismo e os Elétron

Mecanismos de produção de Magnetismo por elétrons

- Momento Dipolar Magnético Orbital:
 - Ao estar num átomo, o elétron possui um momento angular orbital \vec{L}_{orb} e um momento dipolar magnético orbital $\vec{\mu}_{orb}$:

$$\vec{\mu}_{orb} = -\frac{e}{2m} \vec{L}_{orb},$$

- Novamente só a componente de \vec{L}_{orb} pode ser medida, e novamente seu valor é quantizado:

$$\vec{L}_{orb} = m_\lambda \frac{h}{2\pi}, \text{ para } m_\lambda = \bar{+}0, \bar{+}1, \bar{+}2 \dots \bar{+} (\text{limite})$$

m_λ é o número quântico magnético orbital

Momento Dipolar Magnético Orbital:

- Da mesma forma teremos a componente do momento dipolar magnético orbital do elétron:

$$\mu_{orb,z} = -m_\lambda \frac{eh}{4\pi m}, \text{ ou } \mu_{orb,z} = -m_\lambda \mu_B,$$

- Também terá associada uma energia pontencial magnética na presença de um campo magnético

$$U_B = -\mu_{orb,z} B_{ext}$$

- Até amanhã.

Propriedades Magnéticas dos Materiais

- Cada elétron atômico apresenta um momento dipolar magnético de Spin e um Orbital, que se combinam vetorialmente,
- Esse momento dipolar magnético se combina com os momentos dos demais elétrons,
- As propriedades magnéticas dos materiais são o resultado dessas combinações

Propriedades Magnéticas dos Materiais

- As propriedades podem ser classificadas em três tipos básicos:
 - Diamagnetismo;
 - Paramagnetismo;
 - Ferromagnetismo.

Diamagnetismo

- Ocorre em todos os materiais e pode ser compreendido de forma simplificada associando ao efeito de da Lei de Indução de Faraday-Lenz:

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

- Ao perceber a variação de campo magnético o é induzido no material correntes elétricas, a serem “geradas” pela alteração da velocidade orbital de seus elétrons, conseqüentemente gerando um campo magnético oposto ao sentido.
- Os materiais diamagnéticos, são em geral, elementos com contêm as camadas eletrônicas completas.

Paramagnetismo

- Elementos que apresentam elétrons desemparelhados,
- E, embora presente, quando não exposto à campo magnético momento de dipolo magnético resultante nulo, seus constituintes apresentam momento de dipolo magnético não nulo,

Paramagnetismo

- Ao serem submetidos a um campo magnético externo
- Aumentam o campo magnético externo,
- O campo magnético do material zera ao deixar de ser submetido ao campo externo

Ferromagnetismo

- Alguns materiais apresentam um campo magnético forte ao serem submetidos a campos externos,
- Em geral quando contêm em sua constituição materiais como : ferro, níquel, cobalto, gadolínio e disprósio e ligas desses elementos.
- Estes materiais apresentam magnetização remanente após cessar o campo externo.

Ferromagnetismo

- Esses materiais apresentam núcleos de momento de dipolo magnético que interagem entre si, através de um efeito quântico chamado de acoplamento de câmbio,
- Os Spins dos elétrons de um átomo interagem com o Spin dos elétrons dos átomos vizinhos,
- Com a aplicação do campo externo, o alinhamento é mais intenso,
- Intensificando também o acoplamento de câmbio,
- Reduzindo com o tempo sem o campo externo e com o aumento da temperatura.

Ferromagnetismo

- Um material ferromagnético, é magnetizado sobre o efeito de um campo magnético externo e mantém a magnetização após.
- Esses materiais são muito utilizados em várias aplicações tecnológicas.

Propriedades Magnéticas dos Materiais

- O Paramagnetismo e o Ferromagnetismo pode ser reduzido e completamente anulada com o aquecimento do material,
- Cada material apresenta uma temperatura à partir da qual os momentos de dipólos magnéticos intrínsecos estarão orientados aleatoriamente,
- À partir desta temperatura o único efeito perceptível seria o diamagnetismo material.

