

1ª LISTA DE EXERCÍCIOS

Disciplina: MAGNETISMO E SPINTRÔNICA

Professor: César Augusto Dartora¹

- 1 Obtenha as equações de Maxwell macroscópicas a partir das equações microscópicas:

$$\nabla \cdot \mathbf{e} = \frac{1}{\epsilon_0} \eta, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{b} = 0, \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{e} = -\frac{\partial \mathbf{b}}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{b} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{e}}{\partial t}, \quad (4)$$

$$(5)$$

fazendo as devidas considerações definindo as quantidades de momento de dipolo elétrico e polarização, momento de dipolo magnético e magnetização do meio.

- 2 Obtenha a equação de movimento para um dipolo magnético clássico \mathbf{m} na presença de um campo magnético $\mathbf{B} = B_0 \hat{\mathbf{z}}$ e encontre a solução para $\mathbf{m}(t)$ com a condição inicial $\mathbf{m}(0) = m \hat{\mathbf{x}}$.
- 3 Obtenha o potencial vetor \mathbf{A} e o campo magnético \mathbf{B} para um dipolo magnético \mathbf{m} colocado na origem do sistema de coordenadas e representado pela magnetização:

$$\mathbf{M} = \mathbf{m} \delta^3(\mathbf{x}),$$

sendo $\delta^3(\mathbf{x})$ a função delta de Dirac. Expresse suas respostas em coordenadas esféricas. Você deverá encontrar para \mathbf{B} o seguinte resultado:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3} (2 \cos \theta \hat{\mathbf{a}}_r + \sin \theta \hat{\mathbf{a}}_\theta).$$

- 4 Faça uma pesquisa e obtenha os valores do campo magnético terrestre e o valor para o momento de dipolo magnético m equivalente da Terra. Discuta brevemente: 1) a ação do campo magnético terrestre sobre partículas eletricamente carregadas que bombardeiam o planeta, vindas do espaço cósmico; 2) a influência do campo magnético terrestre em medidas de grandezas físicas em laboratório; 3) datação de rochas através de medidas em nanomagnetos; 4) biomagnetismo.

¹cadartora@eletrica.ufpr.br

- 5 Um nêutron é uma partícula eletricamente neutra mas que possui um momento de dipolo magnético anômalo. É possível que um nêutron em movimento sofra a ação de um campo elétrico? E um nêutron em movimento é capaz de gerar um campo elétrico? Se sim, estime expressões para determinação desses efeitos, considerando-se para o caso mais simples da relatividade galileana. Dica: considerar transformações de Lorentz para os campos eletromagnéticos e utilizar os limites de baixas velocidades.
- 6 Discuta as condições de contorno para as componentes perpendiculares e tangenciais do campo magnético na situação mais simples de interface plana entre dois meios com permeabilidades magnéticas μ_1 e μ_2 .
- 7 O que é susceptibilidade magnética? De forma simplificada, o que são meios diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos? Qual a faixa de valores típica para a susceptibilidade dos materiais dia, para e ferromagnéticos?
- 8 Considere um meio cujos elementos primitivos (átomos ou moléculas) possuam momento de dipolo magnético de módulo μ e determine a função de magnetização e susceptibilidade de Langevin.
- 9 Discuta o teorema de Bohr-van Leeuwen e suas consequências.
- 10 Formulação Lagrangiana: considerando-se a integral de ação,

$$A = \int L(q, \dot{q}) dt$$

onde q é uma coordenada e $\dot{q} \equiv dq/dt$, $L(q, \dot{q})$ é denominada função lagrangiana do sistema, obtenha a equação de Euler-Lagrange pela extremização da ação, ou seja, fazendo a variação $\delta A = 0$. Em um sistema de partículas clássicas $L = E - U$, sendo E a energia cinética e U a energia potencial da partícula. Mostre que para uma partícula não-relativística a equação de Euler-Lagrange corresponde à segunda lei de Newton.