F-888 – Lista 5
(Ibach & Lüth, Caps. 8 & 10)

38) Enuncie as definições e relações (SI) entre campo magnético **H**, indução magnética **B**, magnetização **M**, campo magnético $\mathbf{B_0}$, momento magnético μ, e susceptibilidade magnética χ.

39) Da mecânica clássica Hamiltoniano, sabemos que na presença de um campo eletromagnético, o momento canônico **p** e momento cinético $\boldsymbol{\pi}$ de uma partícula com carga q estão relacionados por $\boldsymbol{\pi} = \boldsymbol{p} - q\boldsymbol{A}$. A partir desta consideração e utilizando o calibre de Coulomb para o potencial vetor ($\nabla \cdot \boldsymbol{A} = 0$), escreva o Hamiltoniano cinético para um sistema de elétrons sujeitos à ação de um campo magnético $\mathbf{B}_0$ constante apontando na direção **z**, explicitando os termos em primeira e em segunda ordem em $\mathbf{B}_0$. Pelas regras de quantização, o Hamiltoniano quântico será análogo ao Hamiltoniano clássico. Qual alteração é necessária neste Hamiltoniano para incluir a presença do momento magnético de spin dos elétrons ?

40) Encontre a susceptibilidade diamagnética para um conjunto de átomos idênticos com densidade n, número de elétrons na camada de valência Z_{val} e raio atômico r_a.

41) Encontre a susceptibilidade paramagnética para um gás de elétrons de condução em uma banda não totalmente preenchida, em função da densidade de elétrons no nível de Fermi, ignorando efeitos devido ao movimento orbital dos elétrons (paramagnetismo de Pauli).

42) Considere um par de elétrons livres de mesmo spin confinados em um volume V. Encontre a probabilidade do segundo elétron estar a uma posição relativa **r** do primeiro elétron. Mostre que esta probabilidade é nula para $\mathbf{r} \rightarrow 0$. Generalize o resultado para N elétrons contidos em uma esfera de Fermi no espaço recíproco com magnitude máxima do vetor de onda k_F., encontrando a densidade de carga eletrônica sentida por cada elétron em função de r. Argumente qual será a origem física do ganho energético em um metal real se houver um emparelhamento dos spins dos elétrons na mesma direção (ferromagnetismo metálico).

43) No modelo de Stoner há um deslocamento relativo das bandas de condução para elétrons em níveis com autovalores diferentes do operator S_z (s_z=+1/2, também chamado "spin up", ou s_z=-1/2, também chamado "spin down") (Ibach&Lüth, eq. 8.36). Desenvolva o modelo para obter o critério de Stoner para o ferrromagnetismo metálico em função da densidade de estados eletrônicos no nível de Fermi.

44) Para metais paramagnéticos, encontre a susceptibilidade paramagnética considerando também a interação de troca de acordo com o modelo de Stoner, comparando criticamente com o resultado do problema 41 (paramagnetismo de Pauli amplificado).

45) No contexto do modelo de Stoner, considere um modelo simplificado para a densidade de estados em termos de duas delta de Dirac (uma para cada spin), e extraia a dependência com a temperatura da magnetização espontânea no regime ferromagnético (T<Tc) e a susceptibilidade magnética no regime paramagnético (T >Tc).

46) Considere o Hamiltoniano de Heisenberg para spins atômicos localizados, acrescido de um termo de interação dipolar com um campo magnético externo. Linearize o Hamiltoniano (aproximação de campo médio), e extraia a dependência com a temperatura da magnetização espontânea no regime ferromagnético (T<Tc) e a susceptibilidade magnética no regime paramagnético (T >Tc). Compare com

os resultados do problema 45.

47) Represente graficamente uma curva de histerese MxH típica em um material ferromagnético, considerando o campo paralelo ou perpendicular em relação ao eixo de fácil magnetização. Destaque na fitura as seguintes propriedades: magnetização de saturação, campo coercivo, e magnetização remanente. Qual a origem física da irreversibilidade (histerese) da curva ? Represente na figura a energia dissipada em cada ciclagem de campo. Quais as características desejáveis de um material a ser usado em (i) um transformador de voltagem, e (ii) em um dispositivo de memória não-volátil.

48) Descreva o efeito Meissner em supercondutores e explique a diferença deste efeito para o que se esperaria trivialmente para um condutor perfeito (σ=0).

49) Enuncie as equações de London para supercondutores e compare com as equações que se esperariam para um condutor perfeito. Mostre que essas equações prevêem que um campo magnético externo penetra no supercondutor apenas em uma fina camada. Encontre o comprimento de penetração característico em função da densidade de elétrons supercondutores e constantes fundamentais.