

MAGNETIZAÇÃO EM UM GÁS DE PARTÍCULAS CARREGADAS NA ESTATÍSTICA DE HALDANE. Victor Alves Amorim, Marcelo Batista Hott - Física - Departamento de Física e Química - Faculdade de Engenharia - Campus de Guaratinguetá

Classicamente pode-se descrever correntes atômicas (elétrons orbitando um núcleo num átomo) em termos de um momento de dipolo magnético embora se saiba que a descrição correta do átomo não seja clássica e sim quântica. Devido à mecânica quântica, se sabe ainda que o elétron possui uma propriedade intrínseca denominada spin e a ele também se tem associado um momento magnético de spin. Estas duas grandezas, o momento magnético orbital e o momento magnético de spin se combinam vetorialmente caracterizando o tipo de magnetismo presente em cada material.

Em um sistema de elétrons livres, um campo magnético externo se acopla tanto com os spins quanto com o movimento orbital dos elétrons, porém, pode-se considerar separadamente estas duas interações e estudá-las individualmente.

Trabalhamos com um gás de férmions na presença de um campo magnético homogêneo para explicar o fenômeno do diamagnetismo por meio da interação do campo magnético com a corrente. A hamiltoniana que descreve a dinâmica deste sistema e que nos permite explorar suas propriedades magnéticas é a hamiltoniana de Schrödinger, ou seja

$$H = \frac{1}{2m} \left(\vec{p} - (q/c) \vec{A} \right)^2,$$

no qual \vec{p} é o momento do elétron, m sua massa, q sua carga, c a velocidade da luz e \vec{A} o potencial vetor associado ao campo. A fim de explorarmos como se dá a magnetização deste sistema e consequentemente a sua susceptibilidade magnética utilizamos o formalismo grande canônico da física estatística do qual obtemos, no limite de altas temperaturas, o seguinte comportamento para a susceptibilidade magnética

$$\chi = -\frac{1}{3} \frac{N \mu_0}{k_B T},$$

onde N é o número total de partículas, k_B a constante de Boltzmann e T a temperatura absoluta do sistema medida em Kelvins.

Interessados em estudar a influência do spin do elétron na magnetização, consideramos um sistema descrito pela hamiltoniana de Pauli, pois esta contém a interação do campo com a corrente assim como a interação do campo com o momento magnético intrínseco, ou seja

$$H = \frac{1}{2m} \left[\vec{\sigma} \cdot \left(\vec{p} - (q/c) \vec{A} \right) \right]^2$$

onde $\vec{\sigma}$ representa as matrizes de spin de Pauli, σ_1 , σ_2 e σ_3 .

Esta hamiltoniana nos permite verificar como se dá a competição entre estes dois fenômenos.

Podemos dizer que os graus de liberdade associados às coordenadas espaciais são responsáveis pelo diamagnetismo e os graus de liberdade do espaço interno, de spin, responsáveis pelo paramagnetismo. Utilizando o formalismo grande canônico obtemos, através desta hamiltonina o seguinte comportamento para a susceptibilidade magnética do sistema

$$\chi = \frac{2}{3} \frac{N \mu_0}{k_B T}$$

Deste resultado fica claro que, a interação do campo com o spin das partículas, contribui para a susceptibilidade magnética de forma a mascarar o efeito do diamagnetismo, visto que esta agora resulta positiva.

Obtemos também a equação de estado para um gás de bósons e comparamos o resultado da magnetização com aquele obtido para o gás de férmions.

Utilizando a mesma equação de Schrödinger, sem levar em conta os efeitos de spin (momento magnético intrínseco), tratamos também com um gás de partículas que obedecem à estatística de Haldane. Obtemos o comportamento da magnetização, e consequentemente da susceptibilidade magnética deste sistema descrito por partículas que obedecem a esta estatística intermediária. Apresentamos as expressões da magnetização e da susceptibilidade magnética como função da temperatura e do parâmetro interpolante α da estatística, no qual para os valores particulares em que $\alpha = 0$ e $\alpha = 1$ recupera-se os resultados para os gases ideais de bósons e de férmions respectivamente. Comparamos a equação de estado (magnetização em função da temperatura e do campo aplicado) da estatística de Haldane com aquelas obtidas para o gás de bósons e de férmions.

Referências Bibliográficas

Wu, Yong-Shi. *Statistical distribution for generalized ideal gas of fractional statistics particles*. Physical Review Letters, v.73, n.7, p.922, 1994.

Pathria, R.K., *Statistical Mechanics*. Butterworth Heine Mann, Oxford, 1996.

Huang, K., *Statistical Mechanics*. John Wiley & Sons. New York. 1976.

Salinas, Sílvio R.A. *Introdução à Física Estatística*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo