



## Gelos de Spin, Magnetos Quirais e Outros Conceitos

Antonio Mendes França Neto ; Afrânio Rodrigues Pereira

Departamento de Física - Universidade Federal de Viçosa

Palavras-chave: Matéria Condensada; Magnetismo; Topologia; Spins.

### Introdução

As propriedades magnéticas de sistemas de spins em diferentes topologias têm atraído muita atenção dos físicos por causa de diferentes comportamentos que são observados apenas em materiais com determinadas geometrias. O arranjo dos spins em um material, tais como suas interações, influenciam nas propriedades físicas observadas neste. Um bom exemplo são os spin ices (gelos de spin), materiais cujos spins estão dispostos respeitando a chamada "regra do gelo", devido às frustrações geométricas presentes em sua estrutura cristalina, de modo que uma violação desta regra conferiria ao material propriedades magnéticas semelhantes a de um monopólio magnético. Dentre as peculiaridades provenientes das interações de diferentes tipos de arranjos de spins, têm-se os fenômenos de fracionalização e fenômenos de excitações que culminam no surgimento de quasi-partículas como holons, spinons, magnons, skyrmions e entre outros. Estes fenômenos emergentes se mostram diretamente relacionados com a geometria do sistema, o que evidencia a importância de estudar as propriedades magnéticas das organizações de spins em diferentes topologias.

### Objetivos

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão teórica dos conceitos fundamentais para a descrição matemática da dinâmica dos spins nos magnetos quirais e nos gelos de spin, além de uma breve discussão sobre excitações topológicas.

### Metodologia

Ao longo do trabalho foram discutidos os princípios necessários de magnetismo além da dinâmica das interações de troca para obter a descrição do espaço anisotrópico de trocas (eq. 1) e, a partir deste, introduzir os diferentes termos de acoplamento considerando as anisotropias dos diferentes sistemas analisados.

$$H_{troca} = - \sum_{i,j} (J_{i,j}^x S_i^x S_j^x + J_{i,j}^y S_i^y S_j^y + J_{i,j}^z S_i^z S_j^z) \quad (1)$$

### Resultados e Discussão

Dada as condições de frustração geométrica da estrutura do tipo pirocloro do gelo de spin (Fig.1), devido a incapacidade de minimização simultânea da energia de todos seus componentes, obtivemos a hamiltoniana descrita pela equação 2, considerando as interações dipolares da rede de gelos de spin mais evidentes a medida que as interações de troca tornam-se mais fracas. As excitações nesses tipos de redes podem ser tratadas como se fossem monopolos magnéticos, devido a fracionalização que ocorre dentro do material.

$$H = \frac{J}{3} \sum_{i,j} S_i S_j + Da^3 \sum_{i,j} \left[ \frac{\hat{e}_i \cdot \hat{e}_j}{|\vec{r}_{i,j}|^3} - \frac{3(\hat{e}_i \cdot \vec{r}_{i,j})(\hat{e}_j \cdot \vec{r}_{i,j})}{|\vec{r}_{i,j}|^5} \right] S_i S_j \quad (2)$$

Para as estruturas magnetos quirais (Fig. 2) obtivemos a hamiltoniana descrita pela equação 3, considerando como principais características as interações magnéticas assimétricas entre seus spins e anisotropias em suas interações spin-órbita. A interação magnética assimétrica estudada para esse sistema foi a interação de Dzyaloshinskii-Moriya (DM), que descreve a quebra de simetria por inversão no espaço de spins.

$$H = -J \sum_n S_n S_{n+1} + \vec{D} \cdot \sum_n S_{n+1} - 2\mu_B H \sum_n S_n^z \quad (3)$$

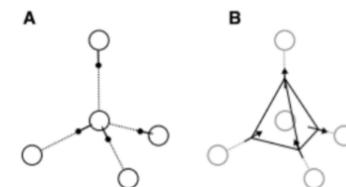


Fig.1 A figura A) é a representação da estrutura de um gelo de água, na qual um átomo de oxigênio se encontra cercado por quatro outros átomos de oxigênio, com um átomo de hidrogênio entre cada par. Já a figura B) é a representação da configuração de menor energia utilizando a regra do gelo. Imagem extraída de [2].

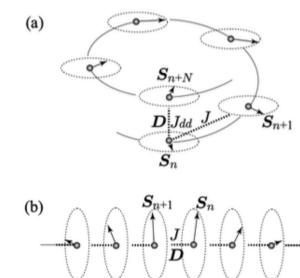


Fig.2. A figura a) é a representação da interação quiral de spins em uma espiral cristalográfica. Já a figura b) é a configuração quiral do ordenamento dos spins que ocorre ao longo do eixo da estrutura cristalina. Imagem extraída de [3].

### Conclusões e Perspectivas

Como resultado obtivemos uma descrição analítica para as hamiltonianas dos spin ices e magnetos quirais coerentes com a literatura. Temos como perspectivas futuras a investigação de excitações e quasi-partículas emergentes em materiais topológicos, em especial Skyrmions e excitações em redes de Skyrmions.

### Bibliografia

- [1] Pereira, Afrânio; Pires, Antonio. Teoria Quântica de Campos em Sistemas Magnéticos de Baixas Dimensões. Universidade Federal de Viçosa, Brasil-MG.
- [2] Bramwell, S. T. e Gingras, M. J. P.: Spin Ice State in Frustrated Magnetic Pyrochlore Materials. Science, 294(5546):1495-1501, 2001.
- [3] Jun-ichiro Kishine; Katsuya Inoue. Synthesis, Structure and Magnetic Properties of Chiral Molecule-Based Magnets, Progress of Theoretical Physics Supplement No. 159, 2005
- [4] WYSIN, Gary. Magnetic Excitations and Geometric Confinement: Theory and Simulations.