

Propriedades magnéticas em sistemas de bicamadas de gelos de spin

Antonio Mendes França Neto ; Afrânio Rodrigues Pereira
Departamento de Física - Universidade Federal de Viçosa
Palavras-chave : Spin Ice; Magnetism; Spin Ice Lattice;

Introdução

As propriedades magnéticas de sistemas de spins em diferentes topologias têm atraído muita atenção dos físicos devido aos 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. Dentre as peculiaridades provenientes das interações de diferentes tipos de arranjos de spins, têm-se os fenômenos de fracionalização e de excitações que culminam no surgimento de quasi-partículas como holons, spinons, magnons, skyrmions, entre outros. Spin ices (gelos de spin) são exemplos de sistemas de spins que apresentam frustrações geométricas em sua estrutura devido a disposição dos spins, que respeitam a chamada "regra do gelo". Como consequência, tem-se o aparecimento de propriedades magnéticas semelhantes a de um monopolo magnético. Esses sistemas têm desempenhado um papel significativo em diversas áreas da física devido às promissoras aplicações destes objetos em novas tecnologias, tais como a spintrônica.

Objetivos e Métodos

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão teórica dos conceitos fundamentais para a descrição de sistemas de gelos de spin artificiais, além de analisar as interações e propriedades dinâmicas de um sistema constituído por uma bicamada de gelos de spin. Ao longo do trabalho foram discutidas as principais características desses sistemas geometricamente frustrados. Obtivemos a descrição analítica do sistema de bicamadas de gelos de spin artificial (BASI) considerando as hamiltonianas das interações dipolares entre os entes físicos que constituem o sistema.

Resultados e Discussões

As estruturas analisadas consistiam em nanoilhas de permalloy ($Ni_{80}Fe_{20}$), materiais magnéticos, dispostas de forma a imitar as arestas de uma rede quadrada. Isso foi feito para preservar uma espécie de regra do gelo, conhecida como "two-in, two-out", em cada vértice da configuração. Dito isso, utiliza-se a anisotropia de forma, produzindo nanoilhas com a direção de um eixo fácil, simplificando assim o modo como se estuda o sistema.

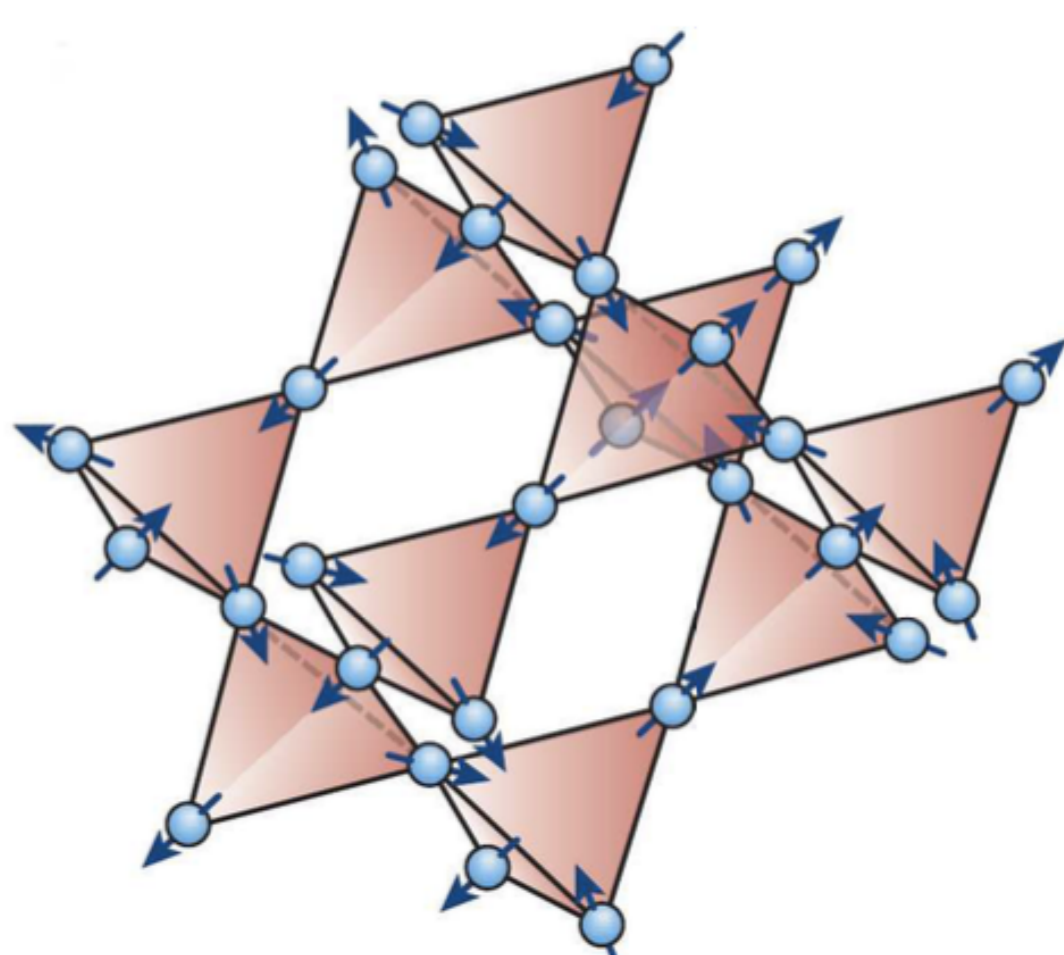


Figura 1: Representação de uma rede pirocloro de $Di_2Ti_2O_7$. As setas representam o momento magnético de cada átomo de Ti que seguem a regra "two-in, two-out", a chamada regra do gelo.

Como consequência tem-se um sistema de dipolos que apontam para uma única direção, o equivalente a considerar dipolos de Ising. Definiremos então a hamiltoniana do sistema como sendo:

$$H = \frac{\mu_0 \mu^2}{4\pi} \sum_{i>j} \left[\frac{\hat{e}_i \cdot \hat{e}_j}{r_{ij}^3} - 3 \frac{(\hat{e}_i \cdot \vec{r}_{ij})(\hat{e}_j \cdot \vec{r}_{ij})}{r_{ij}^5} \right] s_i s_j, \quad (\text{eq. 1})$$

Sendo μ o módulo do momento magnético do dipolo no monodomínio, \hat{r}_{ij} é a direção entre as nanoilhas i e j , s_i é a orientação do momento dipolar da nanoilha (com o valor +1 e -1 para indicar a direção negativa ou positiva nos eixos) e \hat{e}_i indica a direção do momento magnético da nanoilha i . Entretanto, quando se insere uma segunda camada é necessário incluir uma terceira componente no vetor \hat{r} que está relacionada às interações entre dipolos localizados em diferentes camadas. Podemos então reescrever a eq. 1 como sendo a eq.2. Sendo \hat{r}_i o vetor do i th dipolo e $\vec{d}^{+/-}$ a direção da carga que vai do centro do dipolo até sua extremidade. Para obter a energia da configuração do sistema é necessário fazer a soma da energia sob todos os pares de dipolos $E(\phi, h)$.

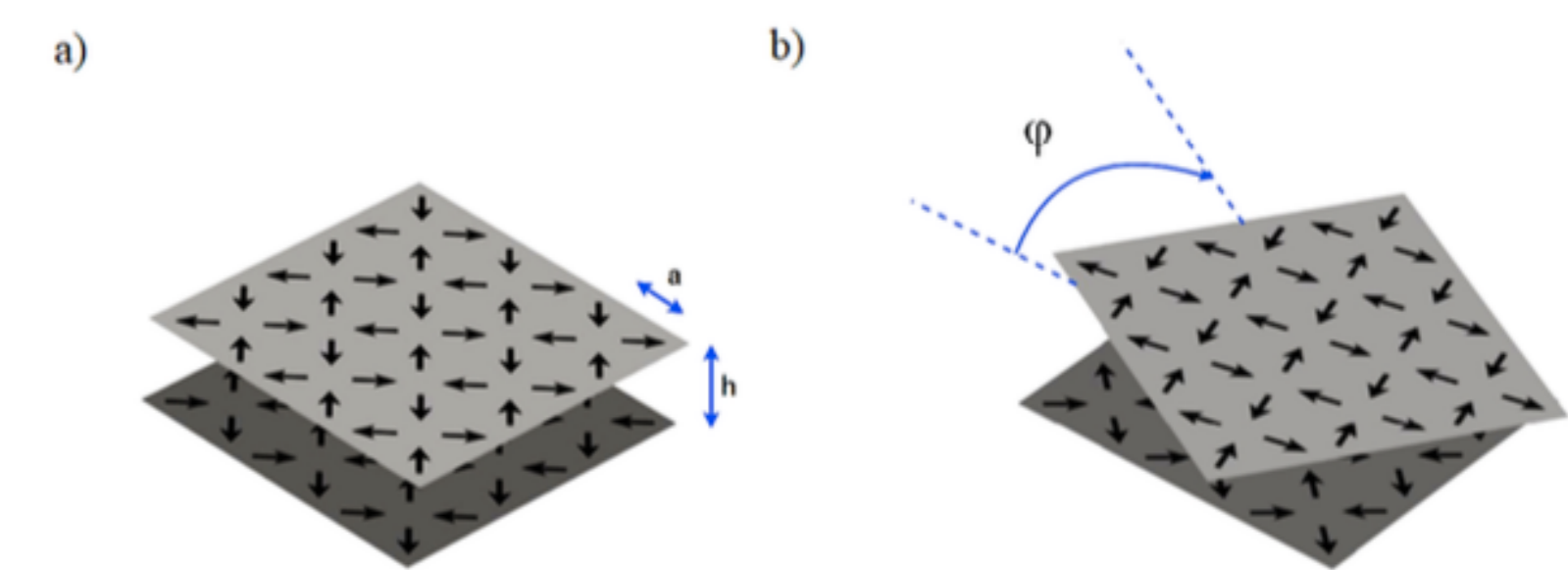


Figura 2: (a) Esboço de uma estrutura BASI quadrada com uma distância, h e espaçamento de rede a . (b) Um sistema BASI quadrado com sua camada superior girada em um ângulo ϕ em relação à camada inferior. [1]

Defini-se então, a energia potencial entre as placas como $V(\phi, h) = E(\phi, h) - E_{\text{isolado}}$.

$$E_{ij} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{q_i^+ q_j^+}{|(\vec{r}_i + \vec{d}_i^+) - (\vec{r}_j + \vec{d}_j^+)|} + \frac{q_i^+ q_j^-}{|(\vec{r}_i + \vec{d}_i^+) - (\vec{r}_j + \vec{d}_j^-)|} + \frac{q_i^- q_j^-}{|(\vec{r}_i + \vec{d}_i^-) - (\vec{r}_j + \vec{d}_j^-)|} + \frac{q_i^- q_j^+}{|(\vec{r}_i + \vec{d}_i^-) - (\vec{r}_j + \vec{d}_j^+)|} \right] \quad (\text{eq. 2})$$

Conclusões

Os gelos de spins artificiais apresentam estabilidade topológica sendo poucos suscetíveis à flutuações térmicas e deformações, o que os tornam sistemas com alta viabilidade para aplicações em equipamentos que demandam um alto processamento sem que ocorra perda de informação por conta de flutuações térmicas. Como resultado do trabalho obtivemos uma descrição das propriedades magnéticas associadas às interações entre as bicamadas quadradas de gelos de spin artificiais coerentes com a literatura. Como perspectivas futuras, tem-se o estudo das propriedades magnéticas em sistemas compostos por multicamadas de gelos de spin.

Bibliografia

[1] R. B. Popy, "Investigation of the dynamics of twisted bilayer artificial spin ice," Master's thesis, 2022.

[2] OLIVEIRA, Gabriel Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2022. Bilayered rectangular artificial spin ices: energetics and excitations. Adviser: Winder Moura-Melo.

Apoio financeiro

