

Cristais de skyrmions antiferromagnéticos bidimensionais em um campo magnético staggered

Antonio Mendes França Neto ; Afrânio Rodrigues Pereira

Departamento de Física - Universidade Federal de Viçosa

Palavras-Chave : Spin dynamics; Antiferromagnetism; Skyrmion lattice

Introdução

As propriedades magnéticas de sistemas de spins em diferentes arranjos geométricos têm atraído muita atenção dos físicos por causa dos diversos comportamentos que eles podem causar nas excitações, incluindo as excitações topológicas. Dentre as peculiaridades provenientes das geometrias e interações de diferentes tipos de arranjos de spins, têm-se os fenômenos de fracionalização e fenômenos de excitações que culminam no surgimento quase-partículas como holons, spinons, magnons, skyrmions, entre outros.

Os skyrmions, descritos pela primeira vez por Tony Skyrme em suas publicações nos anos de 1958-1962, são soluções estáticas com energia finita do tipo solitons, ondas solitárias que se propagam indefinidamente em meios dispersivos e não-lineares sem perder sua forma e energia, do modelo sigma não-linear em duas dimensões.

Estas soluções são de grande importância para descrever as propriedades estáticas e dinâmicas dos ferromagnetos e antiferromagnetos bidimensionais.

Objetivos e Métodos

Este trabalho tem como objetivo mostrar como um cristal de skyrmion antiferromagnético bidimensional pode ser induzido em uma rede quadrada de spins a partir da incorporação de um campo magnético staggered (escalonado). Ao longo do nosso trabalho foram discutidas as principais características destes cristais de skyrmions antiferromagnéticos, tais como distribuições de skyrmions ordenadas (em sistemas puros) e desordenadas (em sistemas com defeitos na rede). Obtivemos a descrição analítica do sistema a partir do modelo de Heisenberg estendido para a realização de simulações computacionais.

Resultados e Discussão

Seguindo o modelo de Heisenberg estendido, temos

$$H = H_{Exc} + H_{DMI} + H_{Ani_1} + H_{Ani_2} + H_{staggered} + H_{Ani_z} \quad (1)$$

onde

$$H_{Exc} = -J \sum_{\langle ij \rangle} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j \quad (2)$$

$$H_{DMI} = - \sum_{\langle ij \rangle} \vec{D}_{ij} \cdot (\vec{S}_i \times \vec{S}_j) \quad (3)$$

$$H_{Ani_1} = +A_1 \sum_i \left[(\vec{S}_i^x)^4 + (\vec{S}_i^y)^4 + (\vec{S}_i^z)^4 \right] \quad (4)$$

$$H_{Ani_2} = +A_2 \sum_i \left(S_i^x S_{i+\alpha\hat{x}}^x + S_i^y S_{i+\alpha\hat{y}}^y \right) \quad (5)$$

$$H_{staggered} = - \sum_i \vec{h}_i \cdot \vec{S}_i \quad (6)$$

$$H_{Ani_z} = - \sum_i k_z^2 (\vec{S}_i^z)^2 \quad (7)$$

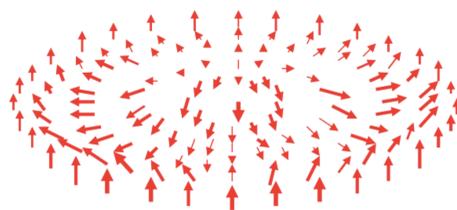


Fig.1 Representação estereográfica de um skyrmion de carga topológica unitária [2].

Neste caso estamos avaliando a situação em que a constante de troca $J < 0$, ou seja, o material possui um antiparalelismo na interação de troca entre seus elétrons, sendo ele um antiferromagneto. Fixando para todo sistema L^2 , em que $L = 100a$, os valores de $J = -1.0$, $D = -0.5J$, $A_1 = 10^{-3}J$ e $k_z^i = 0$, começamos variando A_2 no intervalo de $0.0 \leq A_2 \leq 0.001J$, além de considerar o campo magnético externo no intervalo de $0.0 \leq h_z \leq 0.4J$. O número de skyrmions anti-ferromagnéticos $\langle N \rangle_{Sky}$ foi medido para cada simulação feita, de modo que construímos um diagrama do número de skyrmions AFM em função de A_2 e h_z , fig.3. É possível observar na fig.3 um aumento na concentração do número de skyrmions $\langle N \rangle_{Sky}$ no range de $[0.005J, 0.30J]$ de h_z .

Podemos perceber também que $\langle N \rangle_{Sky}$ tem baixa dependência com A_2 . Na parte inferior da fig.3 vemos três configurações típicas:

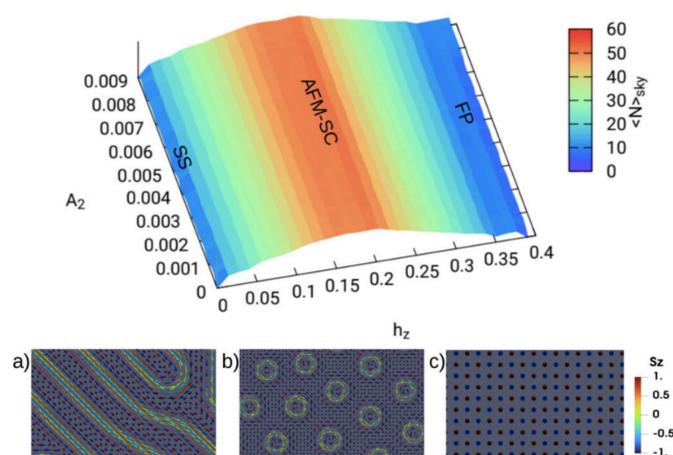


Fig.3 Acima: Número de skyrmions AFM em função dos parâmetros h_z e A_2 . Abaixo: Três diferentes fases : a) estado espiral, b) cristal de skyrmions AFM, c) estado de campo polarizado [1].

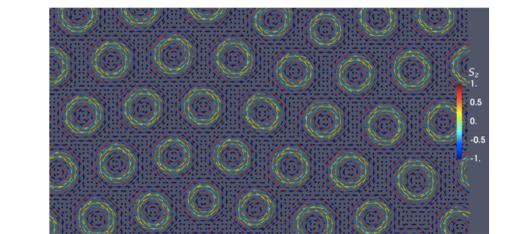


Fig.2 Cristal de skyrmion AFM criado a partir da aplicação de um campo magnético escalonado, usando como parâmetros $J = -1$, $D = 0.5J$, $A_1 = 0.001J$, $h_z = 0.2J$ [1].

a) O estado de menor energia no sistema para $h_z < 0.01J$;

b) Para $0.05J \leq h_z \leq 0.35J$, percebe-se o aparecimento da configuração de um estado de skyrmions AFM no sistema (fig.2 e fig.3.b);

c) Para valores acima de $h_z > 0.35J$ temos um alinhamento dos momentos magnéticos em um regime AFM.

Conclusões

Como resultado do trabalho, obtivemos uma relação entre a nucleação dos skyrmions em um material anti-ferromagnético e a aplicação de um campo magnético externo escalonado, concluindo que um campo magnético staggered pode gerar um cristal de skyrmion AFM. O trabalho foi publicado no Physics Letters A [1].

Bibliografia

- [1] R.L. Silva, R.C. Silva, A.M. França-Neto, A.R. Pereira, Investigations on antiferromagnetic skyrmion crystal generated by a staggered magnetic field, Physics Letters A, Volume 448, 2022, 128328, ISSN 0375-9601, <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2022.128328>.
[2] Pereira, Afrânio; Pires, Antonio. Teoria Quântica de Campos em Sistemas Magnéticos de Baixas Dimensões. Universidade Federal de Viçosa, Brasil-MG.