



Emergência de monopolos magnéticos e cordas de Dirac em simulações micromagnéticas de gelo de spin artificial

Breno M. Cecchi*, Murilo F. Velo, Gabriel H. M. de Aguiar, Kleber R. Pirola

Resumo

Gelo de spin artificial (GSA) é um sistema 2D frustrado formado por nanomagnetos (ilhas) interagentes, no qual emergem monopolos magnéticos enquanto quasipartículas e cordas de Dirac devido à frustração. O objetivo deste trabalho foi realizar simulações micromagnéticas (SMM) de GSA a fim de relacionar sua curva de magnetização com a emergência desses fenômenos. Já existem simulações bem sucedidas nesse sentido, mas que utilizaram o método de Monte Carlo (MC). Apesar de pouco utilizadas no contexto de GSA, mostramos que SMM não só são capazes de reproduzir os resultados experimentais como oferecem uma descrição mais completa do sistema. Em particular, propomos que rugosidades na superfície das ilhas podem ser a origem física da desordem colocada fenomenologicamente nas simulações de MC.

Palavras-chave:

Gelo de spin artificial, simulação micromagnética, monopolos magnéticos.

Introdução

Gelo de spin artificial (GSA) é um sistema frustrado composto por nanoestruturas magnéticas monodomínios alongadas, chamadas de ilhas, dispostas em uma rede 2D e acopladas via interação dipolar [1]. Nele emergem monopolos magnéticos como quasipartículas e cordas de Dirac a partir da frustração presente no sistema [2].

O objetivo deste trabalho foi realizar simulações micromagnéticas (SMM) da curva de magnetização de um sistema de GSA e relacioná-la com a distribuição dos monopolos e cordas de Dirac emergentes.

Resultados e Discussão

As simulações micromagnéticas foram implementadas usando o software MuMax3 [3], que se baseia na solução numérica da equação de Landau-Lifshitz-Gilbert, cuja solução corresponde à evolução temporal da magnetização do sistema.

Consideramos o GSA do tipo kagome, no qual as ilhas estão dispostas sobre os sítios da rede kagome com os eixos ao longo das arestas do padrão favo de mel. Simulamos a curva de magnetização do sistema (Figura 1(a)), identificamos a distribuição dos monopolos emergentes e cordas de Dirac ao longo da curva (Figura 2) e realizamos uma estatística do número de monopolos móveis em função do campo aplicado (Figura 1).

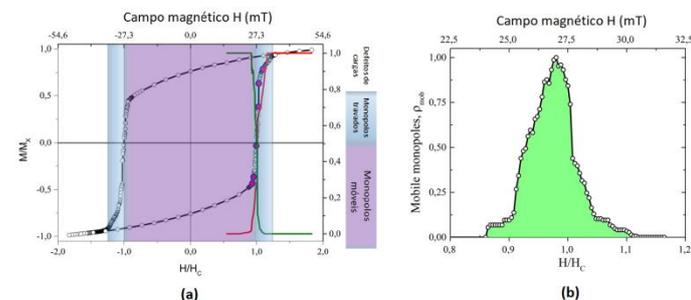


Figura 1. SMM da curva de histerese (a) e estatística do número de monopolos (a, b).

Esses resultados são compatíveis com o observado experimentalmente [3]. O sucesso da SMM esteve condicionado à inclusão de rugosidades na superfície das ilhas, modeladas a partir de imagens de microscopia de uma amostra experimental real [3]. Tais resultados

também já foram reproduzidos por simulações de Monte Carlo (MC), nas quais foi necessária a introdução de uma desordem através de uma distribuição gaussiana dos campos de inversão de cada ilha [3]. Avaliamos outras maneiras de introduzir desordem na nossa simulação, como aplicando uma distribuição das constantes de anisotropia e variando as dimensões de cada ilha. Porém, apenas ao considerar as imperfeições nas paredes das ilhas que os resultados experimentais foram recuperados.

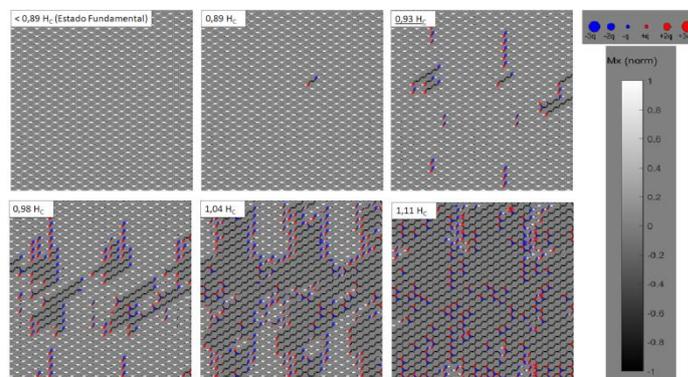


Figura 2. Distribuição de monopolos e cordas de Dirac da SMM para diferentes campos.

Conclusões

Mostramos neste trabalho que SMM são capazes, assim como o método de MC, de reproduzir os fenômenos emergentes em GSA, mas oferece uma descrição mais realista do sistema, uma vez que considera cada ilha como um corpo extenso e retorna a distribuição espacial da magnetização ao longo da amostra. Nossas SMM sugerem, por exemplo, que as imperfeições nas paredes das ilhas podem ser identificadas como a origem física da desordem necessária, mas colocada “à mão”, das simulações de MC.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao CNPq pelo financiamento.

1. Wang RF, Nisoli C, Freitas RS, et al. *Nature*. 2006, 439, 303.
2. Mengotti E, Heyderman LJ, Rodríguez AF, et al. *Nat Phys*. 2011, 7(1), 68.
3. Vansteenkiste A, Leliaert J, Dvornik M, et al. *AIP Adv*. 2014, 4, 153.