Estados Topológicos de Magnetização em Nanopartículas Magnéticas com Geometrias Complexas

Marcus Vinícius Machado Corrêa – DPF – marcus.correa@ufv.br

Vagson Luiz de Carvalho Santos – DPF – vagson.santos@ufv.br

Sólitons, Magnetização, Curvatura

Introdução

Nos últimos anos tem sido observado um grande interesse no estudo das propriedades estáticas e dinâmicas de modos coletivos da magnetização devido ao seu potencial de aplicação em novas tecnologias, em especial em dispositivos de memória.

Nesse contexto, muitos trabalhos têm sido feitos com o intuito de entender a dinâmica desses modos coletivos em diversas geometrias. Em trabalhos desenvolvidos anteriormente [1,2,3] foi demonstrado que quando o modelo de Heisenberg para materiais ferromagnéticos é aplicado sobre uma geometria curva, estados com estabilidade topológica podem aparecer como estados excitados do modelo. No entanto, cálculos preliminares realizados por nosso grupo de pesquisa revelaram que o modelo de Heisenberg apresenta complicações adicionais se for aplicado sobre geometrias com superfícies não orientáveis, tal como a fita de Möbius.

Tal fato deve estar associado a não orientabilidade da estrutura, o que faz com que haja posições dentro do corpo magnético onde a magnetização deve apresentar mudanças abruptas. Isso nos faz questionar sobre o que ocorre se parametrizarmos a magnetização em uma base curvilínea, de tal forma que uma configuração do vetor magnetização tangencial a superfície seja descrita como um valor constante.

Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo geral analisar as mudanças que ocorrem nas propriedades estáticas da magnetização quando a interação de troca é descrita pelo modelo de Heisenberg. Também, dentro disso, queremos compreender as soluções do modelo de Heisenberg sobre a superfície não orientável da Fita de Moebius e discutir a possibilidade do aparecimento de estados de magnetização possuindo estabilidade topológica.

Material e Métodos

A metodologia consistiu basicamente em duas etapas distintas: levantamento bibliográfico e os cálculos propriamente ditos.

- Inicialmente, tivemos que calcular diversas quantidades relacionadas a geometria sobre a qual o problema foi analisado (Fita de Moebius), como sua métrica, seu vetor gradiente e os vetores da base a ser utilizada;
- Após isso definimos a expressão da densidade de energia de troca para podermos, posteriormente realizar o calculo das equações de movimento e resolve-las. Nesse momento, percebemos que essas equações possuíam um grau de complexidade muito alto e seria muito difícil resolve-las analiticamente;
- fez se necessário uma modificação na forma do calculo dessas equações, como é mostrado na seção dos resultados.

Resultados e Discussão

Abaixo, estão apresentadas as equações de movimento devidamente calculadas. Podemos perceber que, além da modificação citada na seção anterior, estas estão calculadas em situações específicas para θ e Φ.

1 $\theta = \theta(v)$ e $\phi = \phi(u)$

$$\frac{\partial \mathcal{E}_{ex}}{\partial \phi} - \frac{d}{du}\left(\frac{\partial \mathcal{E}_{ex}}{\partial (h_u^{-1}\partial_u \phi)}\right) = 0 \text{ e } \frac{\partial \mathcal{E}_{ex}}{\partial \theta} - \frac{d}{dv}\left(\frac{\partial \mathcal{E}_{ex}}{\partial (h_v^{-1}\partial_v \theta)}\right) = 0$$

$$-h_{uu}^2 sen2\phi sen^2(\theta) + 2h_{uu}h_{uv}cos2\phi sen^2(\theta) + 2\partial_v\theta h_{vu}sen\phi - h_u^{-1}sen2\theta(\partial_u\phi - \omega_u)(-h_{uv}sen\phi - h_{uu}cos\phi) - 2sen^2(\theta)\frac{d}{du}(h_u^{-1}\partial_u\phi - \omega_u h_u^{-1}) + sen2\theta\frac{d}{du}(h_{uv}cos\phi - h_{uu}sen\phi) = 0$$

$$h_u^{-2}(\partial_u\phi - \omega_u)^2 sen2\theta - 2h_u^{-1}(\partial_u\phi - \omega_u)(h_{uv}cos\phi - h_{uu}sen\phi)cos2\theta - h_{vu}^2 sen2\theta + h_{uv}h_{uu}sen2\phi sen2\theta - h_{uu}^2 sen^2(\phi)sen2\theta - 2\frac{\partial^2\theta}{\partial v^2} - 2cos\phi\frac{d}{dv}h_{vu} = 0$$

2 $\theta = \theta(u)$ e $\phi = \phi(v)$

$$\frac{\partial \mathcal{E}_{ex}}{\partial \phi} - \frac{d}{dv}\left(\frac{\partial \mathcal{E}_{ex}}{\partial (h_v^{-1}\partial_v \phi)}\right) = 0 \text{ e } \frac{\partial \mathcal{E}_{ex}}{\partial \theta} - \frac{d}{du}\left(\frac{\partial \mathcal{E}_{ex}}{\partial (h_u^{-1}\partial_u \theta)}\right) = 0$$

$$-h_{uu}^2 sen2\phi sen^2\theta + 2h_u^{-1}h_{uu}\partial_u\theta sen\phi - 2h_u^{-1}h_{uv}\partial_u\theta cos\phi + 2h_{uu}h_{uv}cos2\phi sen^2\theta + h_u^{-1}\omega_u sen2\theta(-h_{uv}sen\phi - h_{uu}cos\phi) - 2sen^2\theta\frac{\partial^2\phi}{\partial v^2} - sen2\theta\frac{d}{dv}(h_{uu}h_{uv}) = 0$$

$$h_{uu}h_{uv}sen2\phi sen2\theta + h_u^{-2}\omega_u^2 sen2\theta + 2h_u^{-1}\omega_u(h_{uv}cos\phi - h_{uu}sen\phi)cos2\theta - h_{uv}^2 sen2\theta - h_{uu}^2 sen^2\phi sen2\theta + \partial_v\phi^2 sen2\theta + 2\partial_v\phi h_{vu}sen\phi cos2\theta - 2\frac{d}{du}(h_u^{-1}\partial_u\theta) - 2cos\phi\frac{d}{du}(h_{uu}) - 2sen\phi\frac{d}{du}(h_{uv}) = 0$$

3 $\theta = \frac{\pi}{2}$ e $\phi = \phi(u)$

$$\frac{\partial \mathcal{E}_{ex}}{\partial \phi} - \frac{d}{du}\left(\frac{\partial \mathcal{E}_{ex}}{\partial (h_u^{-1}\partial_u \phi)}\right) = 0$$

$$-h_{uu}^2 sen2\phi + 2h_{uu}h_{uv}cos2\phi - \frac{d}{du}\left(h_u^{-1}(1 - 2\omega_u)\right) = 0$$

Conclusões

Após a realização dos últimos cálculos e o estabelecimento das equações de movimento modificadas, percebe-se que elas ainda possuem um alto grau de complexidade e não-linearidade, portanto, fica muito difícil resolvê-las de maneira analítica. É esperado que, posteriormente, em um próximo trabalho, essas equações sejam resolvidas de maneira numérica utilizando os métodos corretos e necessários.

Bibliografia

[1]V.L. Carvalho-Santos, R.G. Elias, J.M. Fonseca, and D. Altbir, J. Appl. Phys. 117,17E518 (2015).
[2]V.L. Carvalho-Santos, R.G. Elias, D. Altbir, and J.M. Fonseca, J. Magn. Mag. Mat.391, 179 (2015).
[3]P.S.C. Vilas-Boas, R.G. Elias, D. Altbir, J.M. Fonseca, V.L. Carvalho-Santos, Phys.Lett. A 379, 47 (2015)
[4] RAJARAMAN, R. Classical Solitons and Solitary Waves. In: Solitons and Ins-tantons: An Introductions to Solitons and Instantons in Quantum Field Theory. NorthHolland: Elsevier science publishers, 1982. p. 1-16

Apoio Financeiro

CNPq

Agradecimentos

Agradeço especialmente à minha família por todo apoio dado ao longo desse período conturbado e também ao meu orientador Vagson Luiz pelo oportunidade de trabalhar nesse projeto junto à ele e por todo suporte dado. Por fim um agradecimento especial ao meu amigo Yuri, que acompanhou toda a minha trajetória até a conclusão do projeto.