

ESTUDO ANALITICO DA ENERGIA DE UM PONTO DE BLOCH

Emilio Drumond Pereira (emilio.drumond@ufv.br); Vagson Luiz de Carvalho Santos (vagson.santos@ufv.br)

Departamento de Física, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa - Minas Gerais

Ponto de Bloch. Micromagnetismo. Nanoesfera.

Introdução

Levando em consideração algumas das possíveis interações para um sistema ferromagnético e utilizando a abordagem do micromagnetismo, ou seja, considerando a magnetização do material como uma função contínua $\mathbf{M}(\mathbf{r}, t)$ e que está sujeita ao vínculo de que $|\mathbf{M}|^2 = M_s^2$. A energia total do sistema pode ser descrita pelo seguinte funcional:

$$E_T[\mathbf{m}, \mathbf{H}] = \int \left[\frac{A}{2} (\nabla \mathbf{m})^2 + f(\mathbf{m}) + \frac{\mu_0 M_s}{2} \mathbf{m} \cdot \nabla \Phi_m - \mu_0 M_s \mathbf{m} \cdot \mathbf{H} \right] d\mathbf{r} \quad (1)$$

onde A é a constante de troca, M_s é a magnetização de saturação do sistema, $\mathbf{m} = \frac{\mathbf{M}}{M_s}$ é o vetor unitário de magnetização, Φ_m é o potencial magnético referente ao campo magnetostático e \mathbf{H} é o campo externo.

Na equação (1) o primeiro termo dentro do colchete é referente à interação de troca, um acoplamento que decai com o aumento da distância e impõe aos spins vizinhos a ficarem alinhados paralelamente; o segundo termo representa a interação magnetocristalina que, ligada à anisotropia do material, retrata as direções preferenciais de magnetização proporcionadas por alguma simetria existente; o terceiro termo é referente à interação magnetostática, proveniente da interação entre um spin com o campo magnético criado pelos demais spins presentes no material; por fim, o quarto termo representa a interação Zeeman, proveniente da interação dos spins com um campo externo.[1]

Porém, na natureza podemos encontrar sistemas magnéticos que apresentam alguma descontinuidade no sentido micromagnético. Um deles é o ponto de Bloch, uma estrutura magnética que possui um ponto com magnetização nula em seu centro e, que pode ser melhor interpretado como um sistema que possui uma fonte no campo vetorial da magnetização, ou seja, possui o acúmulo de cargas magnetostáticas em seu centro. Na figura 1 temos a representação de alguns dos diferentes tipos de pontos de Bloch.

Para o estudo desses sistemas é bastante útil adotar o sistema de coordenadas definido na figura 2.

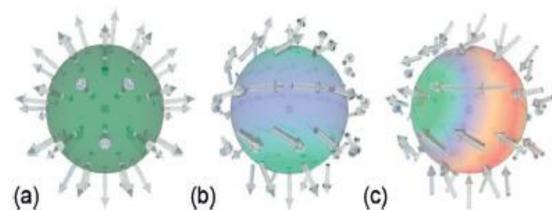


Figura 1: Diferentes configurações de pontos de Bloch. (a) ponto de Bloch radial (hedgehog). (b) ponto de Bloch com um vórtice azimutal em seu plano central. (c) ponto de Bloch com um anti-vórtice em seu plano central.

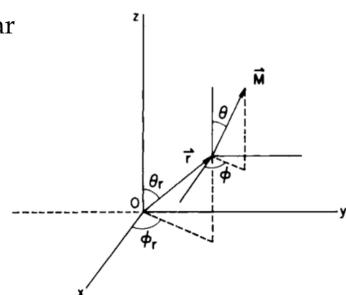


Figura 2: Eixo de coordenadas para um ponto de Bloch. $\{\theta_r, \phi_r\}$ e $\{\theta, \phi\}$ representam respectivamente, os ângulos para a magnetização do ponto de Bloch e os ângulos usuais de um sistema de coordenadas esférico. Geralmente os ângulos com subíndice r são funções de θ e ϕ .

Objetivo

Esse trabalho teve como objetivo o estudo teórico das características gerais de um ponto de Bloch. Em particular, através de uma análise energética, obter informações sobre a magnetização de um sistema composto por uma nanoesfera ferromagnética que contém um ponto de Bloch.

Resultados e Discussão

Considerando uma nanoesfera ferromagnética de raio R , podemos escrever seu vetor unitário de magnetização em função dos ângulos apresentados na figura 2.

$$\mathbf{m} = (\sin \theta_r \cos \phi_r, \sin \theta_r \sin \phi_r, \cos \theta_r) \quad (2)$$

Vamos propor que sua magnetização seja disposta pelas seguintes equações:

$$\theta_r(\theta) = p\theta + \frac{\pi(1-p)}{2} \quad (3)$$

$$\phi_r(\phi) = q\phi + \gamma \quad (4)$$

onde os parâmetros p, q e γ , indicam respectivamente, a polaridade, a vorticidade e o ângulo de rotação azimutal do ponto de Bloch.

Nas imediações do centro de um ponto de Bloch temos uma predominância da interação de troca sobre as demais. Então, considerando somente o termo da interação de troca presente na equação (1) e um ponto de Bloch do tipo hedgehog com $\theta = \theta_r$ e $\phi = \phi_r$. Ao realizar a integração no volume da nanoesfera obtemos o seguinte resultado:

$$E_{ex} = 4\pi AR \quad (5)$$

Ou seja, a interação de troca não seleciona nenhum ângulo preferencial para γ . O que justifica os diferentes tipos de ponto de Bloch.

O primeiro a computar um valor para γ foi Feldtkeller, ao assumir que o volume total de cargas magnéticas do sistema deveria ser igual a zero. Fazendo essa análise para um ponto de Bloch hedgehog com $p = q = 1$ o valor encontrado é de $\gamma = 120^\circ$.

Sabendo que o potencial magnetostático é dado por:

$$\Phi_m(\mathbf{r}) = -\frac{1}{4\pi} \int \frac{\nabla \cdot \mathbf{M}(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} d^3 r' + \frac{1}{4\pi} \oint \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{M}(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} da' \quad (6)$$

e, considerando apenas a energia magnetostática, outra abordagem para obter γ consiste na minimização dessa energia. Esse tipo de abordagem foi tomada por Doring em 1968 e recentemente por R.G. Elías e A. Verga. Ambos consideraram a energia magnetostática proporcional a $(\nabla \Phi_m)^2$ e, com isso, o resultado encontrado é de $\gamma \approx 112^\circ$ para o mesmo tipo de ponto de Bloch. [2]

No entanto, considerando o termo referente à interação magnetostática presente na equação (1), é encontrado que $\gamma \approx 105^\circ$ para o ponto de Bloch com $p = q = 1$.

Note que, para quaisquer das análises feitas para obter o ângulo γ a configuração onde $\gamma = 0$ também é um ponto de extremo da energia (um ponto de máximo). Porém, é um ponto que representa um estado metaestável do sistema.

Conclusão

Em comparação com simulações micromagnéticas presentes em [3], o ângulo que melhor descreve a configuração magnética de um ponto de Bloch em uma nanoesfera é o obtido pelo método de extremização da energia do sistema que utiliza o termo completo da energia magnetostática semelhante ao da equação (1).

Como perspectivas futuras podemos considerar outros tipos de arranjos magnéticos ou também considerar a interação anisotrópica, incluindo um sistema que apresenta um ou mais eixos preferenciais de magnetização.

Bibliografia

- [1] W.F. Brown, Micromagnetics. Interscience Publishers, New York, London. 1963.
- [2] ELÍAS, R. G.; VERGA, A.. Magnetization structure of a Bloch point singularity. Eur. Phys. J. B 82, 159. 2011.
- [3] PYLYPOVSKYI, Oleksandr V.; SHEKA, Denis D.; GAIDIDEI, Yuri. Bloch point structure in a magnetic nanosphere. Physical Review B 85, 224401. 2012.

Apoio Financeiro



Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico