

トポロジカルチャージの揺らぎが反強磁性体中のスカーミオンの速度に与える影響

An Influence of Fluctuation of Topological Charges on Velocities of Skyrmions in Antiferromagnets

北大電子研 ○(M1) 成瀬貴彦、(M2) 森島一輝、近藤憲治

Hokkaido Univ. Research Inst. for Electronic Science, ○Takahiko Naruse, Kazuki Morishima, Kenji Kondo

E-mail: kkondo@es.hokudai.ac.jp

本研究では、反強磁性体中の磁化の支配方程式をマイクロ・マグネティック・シミュレーションを用いて解き、その速度について調べた。本研究では、反強磁性体として Pt 上の KMnF_3 薄膜を想定し [1, 2]、スピン偏極率 $P = 0.4$ のスピン偏極流密度 j を x 軸負の方向に与えた [3]。支配方程式を数値計算することで、スカーミオンの速度の $1/\alpha$ 依存性と j 依存性を求めた。ここで α はギルバートダンピング定数である。図 1 は反強磁性体中のスカーミオンをスピントランスファートルクによって駆動したときの速度の (a) j 依存性と (b) $1/\alpha$ 依存性を示している。スカーミオンの速度の数値計算結果は図 1 中の赤色の点線で表される。これらの結果を見ると、スカーミオンの速度が上限をもっているかのように飽和するように見える。しかしながら、Thiele 方程式からは、上限などはなく、その原因を我々は、反強磁性体中のスカーミオン構造が、磁気構造の揺らぎによってトポロジカル電荷を有するようになるためであると仮定し、その電荷を求めることを考えた。反強磁性体中の Thiele 方程式をトポロジカル電荷 Q をゼロにしないで、陽に解くことを試みると、次の反強磁性体中のスカーミオンの速度の解析解が得られる。

$$v = \frac{\gamma \hbar P}{2eM_S (1 + \beta^2)} \frac{\sqrt{(Q^2 + (\beta - \alpha) \mathcal{D}_{xy} Q + \alpha \beta \det \mathcal{D})^2 + ((\beta - \alpha) Q \mathcal{D}_{xx})^2}}{Q^2 + \alpha^2 \det \mathcal{D}} j_x \quad (1)$$

この式で Q がゼロでない場合には、強磁性体中のように速度は飽和するので、この式で上述の結果をフィッティングすることでトポロジカル電荷 Q を見積もった。ここで γ は磁気回転比、飽和磁化 $M_S = 375 \text{ kA/m}$ 、非断熱定数 $\beta = 0.5$ 、 $Q = \frac{Q_A + Q_B}{2}$ 、 $Q_i \equiv \frac{1}{4\pi} \int \mathbf{m}_i \cdot \left(\frac{\partial \mathbf{m}_i}{\partial x} \times \frac{\partial \mathbf{m}_i}{\partial y} \right) dS$ は副格子 i 上のスカーミオンのトポロジカルチャージ、 $\mathbf{m}_i$ ($i = A, B$) は副格子 i 上の単位磁化ベクトル、 $\mathcal{D}$ は 2×2 dissipative force テンソルである。その結果図 1 の緑色の実線が得られた。図 1(a) からは $Q = 0.019673$ 、図 1(b) からは $Q = 0.01806$ と異なる依存性から非常に近い値が見積もられた。

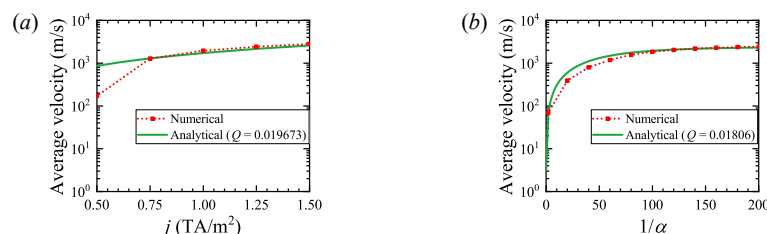


Fig. 1: (a) The spin polarized current density dependences of the average velocities of the skyrmions. We set the Gilbert damping constant $\alpha = 0.005$ ($1/\alpha = 200$). (b) The $1/\alpha$ dependences of the average velocities of the skyrmions under the spin polarized current density of $j_x = 1.25 \text{ TA/m}^2$.

参考文献

- [1] Namita Bindal *et al.*, *Nanotechnology*. **32**, 215204 (2021).
- [2] J. Barker *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 147203 (2016).
- [3] Xichao Zhang *et al.*, *Sci. Rep.* **6**, 24795 (2016).