

空間反転対称性が破れた強磁性体における非相反マグノン伝搬

Nonreciprocal magnon propagation in a noncentrosymmetric ferromagnet

東京大学 小野瀬 佳文

結晶中の物理現象は、結晶の対称性に大きく依存している。特に、空間反転対称性が破れた結晶では、圧電効果や自然旋光性などユニークな物理現象が発現する。磁性体中においても空間反転対称性が破れるとスピン軌道相互作用に由来するジャロシンスキー守谷相互作用と呼ばれる相互作用が発現する。この相互作用は、 $\mathbf{H}_{\text{DM}} = \mathbf{D} \cdot (\mathbf{S}_i \times \mathbf{S}_j)$ のようにスピン磁気モーメントの外積で書かれるものであり、通常の強磁性相互作用や反強磁性相互作用が $\mathbf{H}_{\text{DM}} = -J \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j$ のようにスピンモーメントの内積で書かれることと対照的である。このジャロシンスキー守谷相互作用は、スピンを傾かせ、弱い強磁性やらせん磁性などの非共線磁気構造を発生させることはよく知られているが、実はこの相互作用が存在すると静的な磁気構造のみならずスピンの動的な性質も質的に大きな影響を受けることが期待されている。特に、強磁性状態でスピンが完全にそろった状態では、結晶の空間反転対称性が破れているとジャロシンスキー守谷相互作用の働きによって、非対称なスピン波（マグノン）分散が運動量空間に現れる。空間反転対称性が破れた半導体では、スピン軌道相互作用が働いてラシュバ効果やドレッセルハウス効果などのスピン分裂したバンド構造が表れるが、上記の非対称マグノンバンドはこれらのマグノン版であるとの見方もできる。本研究では、空間反転対称性が破れた LiFe_5O_8 における非対称なマグノン分散に由来する（波数 $+k$ と $-k$ で伝搬が異なる）非相反なマグノン伝搬を、マイクロ波を用いて観測することに成功した[1]。

非対称なマグノン分散の影響を測定するために、コプラナーマイクロ波アンテナをフォトリソグラフィによって作成し、フラックス法で作成した LiFe_5O_8 単結晶を二つのマイクロ波アンテナ（以下アンテナA,Bと呼ぶことにする）を描画した基板上に乗せた。これによって、アンテナ間のマグノン伝搬を透過マイクロ波強度として測定することができる。非対称なマグノンバンドが存在すると、波数 $+k$ のマグノン状態と $-k$ のマグノン状態が縮退していないためアンテナAからアンテナBへの伝搬とアンテナBからアンテナAへの伝搬が異なる。その結果出力と入力を入れ替えると変化する非相反なマイクロ波応答が期待される。実際に、我々は有限の非相反マイクロ波応答を観測することに成功した。リファレンスのため、空間反転対称性がある $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ で同様なことをした場合には非相反な応答は観測できなかった。詳細な定量的考察により、これらの観測結果は、空間反転対称性が破れた LiFe_5O_8 における非対称なマグノン分散に由来するものとして理解できた。これらの結果は、スピン軌道相互作用に強く影響を受けたマグノンの相対論的動力学の解明に寄与することが期待できる。

最後に、共同研究者の井口雄介氏、上村宗一郎氏、上野和紀氏に感謝する。

[1] Y. Iguchi, S. Uemura, K. Ueno, and Y. Onose, Phys. Rev. B 92, 184419 (2015).