

多々良物性物理研究室

主任研究員 多々良 源 (D.Sci.)



(0) 研究分野

分科会: 物理、化学、生物、工学

キーワード: スピントロニクス、メタマテリアル

(1) 研究背景と研究目標

物性研究の目的は物質の最高性能を引き出すことです。当研究室ではその中でも特に電子のもつ微小磁石、スピン、に関わる新現象を理論的に開拓しています。現在の技術であるエレクトロニクスでは電子の電荷と電流のみを利用しているが、スピンの制御が可能となればスピンのもつ情報も加えたスピントロニクスが実現され、今よりもはるかに多量の情報を高速で、また低いエネルギー消費で処理することが可能となります。特に現在重要視されている効果としては物質中のスピンにはたらく強い量子相対論効果があり、これをうまく用いると非常に強い磁石や、スピンのもつ情報を電気信号に高効率で変換したりすることが実現されます。解析には主に場の理論という手法を用いています。

(2) 2019年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

2019年の主な成果: スピントロニクスの帯磁率理論

スピントロニクス現象はスピン流の概念を用いて発展してきた。が、スピン流は保存流ではないために物理量(測定可能量)ではなく、これに基づく現象論的解釈には原理的な不定性が存在する。この問題を回避すべく我々は物理量を線形応答理論で直接結びつけた定式化によりスピントロニクス現象を記述し、自然で明快かつ曖昧性のない理論枠組みを提示した。

スピンホール効果などスピン軌道相互作用によるスピン電荷変換現象は、従来はスピン流と電流の相関関数で理解されてきたが、この場合測定量であるスピン密度を求めるには拡散方程式などの古典的議論を経る必要があった。我々は、スピン密度と電流の相関関数を用いれば、1つの線形応答公式により現象を明快に記述できることを示した。

従来の記述でのスピン流伝導率に相当するものは、スピンゆらぎによる強磁性帯磁率である。つまりスピン流透過の観測は、波数分解(空間依存した)帯磁率を電氣的測定により検出しているといえることができる。この理解では強磁性体から反強磁性絶縁体にスピン流が「流れる」のは極自然である。

この考えに基づき反強磁性絶縁体中のスピン流透過率を強磁性帯磁率をマグノン表示に基づき微視的手法により計算した。透過率は反強磁性転移温度付近でなだらかなピークを持つ。スピン流伝搬はマグノンペアによって引き起こされる現象で、その拡散長(減衰長)はマグノンの拡散長より一般的には長い。これはペアの伝搬の長距離性によるものである。このように、我々の帯磁率理論では、スピン流の定義の不確定性という従来のスピン流理論のもつ原理的な問題を回避され、曖昧性のない予言が可能である。

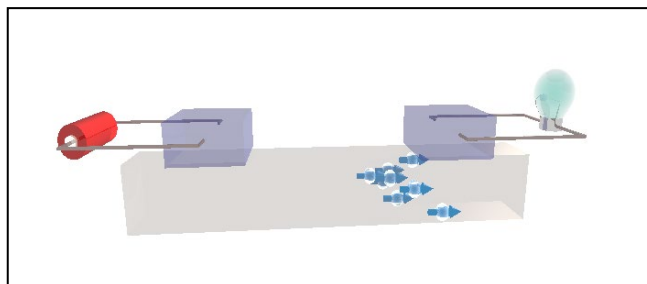


図1 従来のスピン流透過描像。スピンホール効果で生成されたスピン流が反強磁性体中を透過し、反対側の電極で逆スピンホール効果として測定されると考えるが、この記述には原理的不定性が伴う。

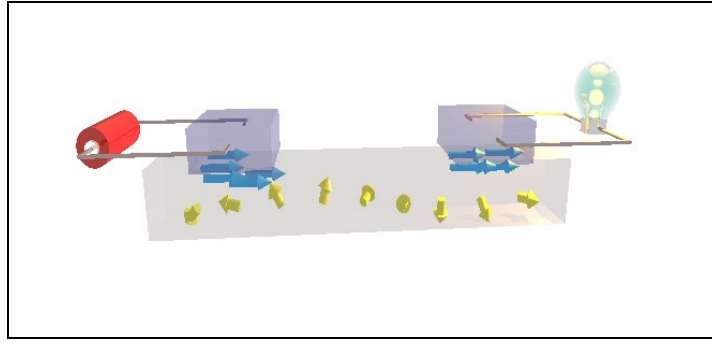


図2 帯磁率理論ではスピン密度の励起及び電氣的測定として記述される。この場合スピン流透過度は強磁性帯磁率で与えられ曖昧性のない記述が可能である。

中長期計画

スピントロニクスは応用への志向が強く現象の原理的な理解はこれまで進んでいなかったが、我々のここ数年の仕事により線形応答理論という信頼できる理論枠組みに基づき現象を記述することが可能となってきた。今後はこうした基盤に基づき、スピントロニクスの新現象を理論的に追求し提案する方向へ研究を発展させる。具体的には光やスピン波を用いた制御とその逆過程を想定している。

(3) 研究室メンバー

(2019年度)

(主任研究員)

多々良源

(アシスタント)

黒羽久丹子

(4) 発表論文等

1. “Theory of spin transport through an antiferromagnetic insulator”, Gen Tatara and Christian Ortiz Pauyac , Phys. Rev. B 99, 180405(R)(1-5) (2019).
2. “Effective gauge field theory of spintronics”, Gen Tatara , Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, 106, 208 - 238 (2019). .
3. “Tuning the Skyrmion Hall Effect via Engineering of Spin-Orbit Interaction“, Collins Ashu Akosa, Hang Li, Gen Tatara, and Oleg A. Tretiakov, Phys. Rev. Applied 12, 054032(1-8) (2019) .
4. “Nonlocal spin-charge conversion via Rashba spin-orbit interaction”, Junji Fujimoto and Gen Tatara, Phys. Rev. B 99, 054407(1-17) (2019).
5. “スピントロニクスの物理-場の理論の立場から-“多々良源(内田老鶴圃,2019年)

Laboratory Homepage

https://www.riken.jp/research/labs/chief/condens_matter_phys/index.html

<http://spinphys.riken.jp/sptrt/index.html>