

格子振動の角運動量に起因するスピン間相互作用

[1] 要旨

原子の回転運動はカイラルフォノンと呼ばれている。カイラルフォノンに媒介されたスピン間相互作用の存在が理論的に研究され、この相互作用は2つのスピン間の距離に対して冪的に減衰することが明らかにされた。この相互作用は、磁性絶縁体におけるスピン間相互作用の支配的なメカニズムになりうる。

[2] 本文

物質中では原子が規則的に配列しているが、原子はその平衡位置のまわりで振動することが可能でその振動モードはフォノンと呼ばれる。特に、原子が回転する振動モードはカイラルフォノンと呼ばれる。原子の電荷による円電流が形成されるので、カイラルフォノンは磁場を伴う。実際、最近の実験ではカイラルフォノンに起因すると考えられる1テスラ程度の磁場の観測が報告されている。このカイラルフォノンによる磁場とスピンの結合は近年注目を集めており、実験、理論ともに進展があった。

最近、実験的に絶縁体を磁性体で挟んだ系において磁化間の相互作用が調べられ、この相互作用が従来のメカニズムでは説明できないこととカイラルフォノンが存在することから、間接的にカイラルフォノンに媒介された相互作用であると結論付けられた。そのため、この現象のミクロなメカニズムを解明することが求められていた。

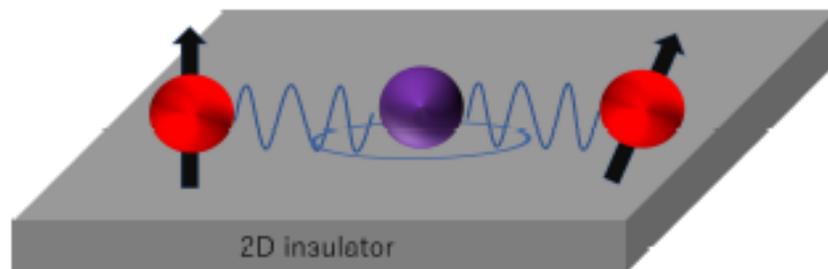


図1. カイラルフォノンに媒介されたスピン間相互作用の模式図。

このような背景の下、東京科学大学の研究グループは、カイラルフォノンに媒介されたスピン間相互作用のメカニズムを理論的に明らかにした（図1）。2次元絶縁体上に2つの磁性不純物を置いたモデルを用いて、カイラルフォノンの角運動量に起因したスピン間相互作用が表れることを示し、解析的な表式を得ることに成功した。この相互作用は2つの磁性不純物間の距離に対して冪的に減衰することも分かった。この成果はJPSJの2024年12月号に掲載された。

従来、スピン間相互作用のメカニズムは電子に起因するものが主に考えられてきた。電子の寄与に関しては、金属中ではRKKY（Ruderman, Kittel, Kasuya, Yosida）相互作用が示すように、スピン間相互作用は距離に対して冪減衰する一方、絶縁体中では電子が自由に動けないため指数関数的に急激に減少する。ここでは、フォノンが絶縁体中で自由に伝播できることに対応してカイラルフ

フォノン誘起のスピン間相互作用が冪減衰することを示している。従って、この相互作用は磁性絶縁体におけるスピン（磁化）間相互作用の支配的なメカニズムになりうる。

原子の回転という非常に小さな運動が無視できない1テスラ程の磁場を誘起できるのは注目値する。この意味でカイラルフォノンは微小な磁石と見なすこともできる。カイラルフォノンによる磁化反転等のカイラルフォノンとスピン（磁化）との相互作用の研究は近年活発化しており、スピントロニクス分野の研究と交わることにより、新たなデバイス原理への応用も期待される。

原論文（2024年11月26日公開済）

Spin-Spin Interaction Mediated by Chiral Phonons

T. Yokoyama, J. Phys. Soc. Jpn. **93**, 123705 (2024).

<情報提供：横山毅人（東京科学大学）>