

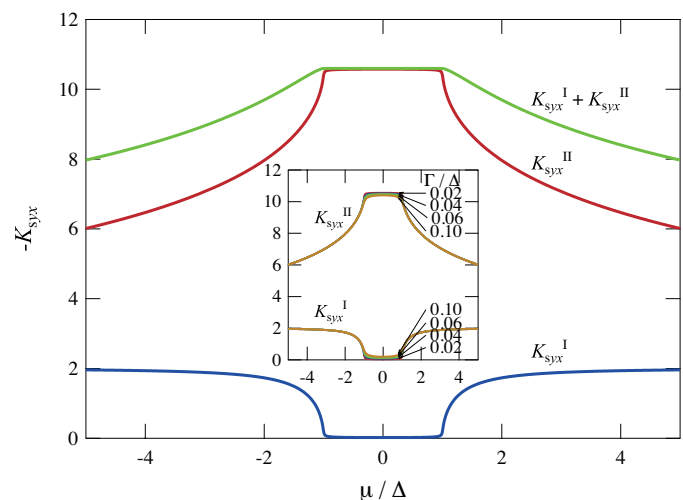
ビスマスにおける巨大スピンホール効果

伏屋雄紀（電通大・先進理工）

スピンホール効果（SHE）はスピン軌道相互作用に起因する現象であり、基礎科学的興味はもちろん、将来的なスピントロニクスへの応用も期待され、半導体や遷移金属など様々な系で熱心な研究が進められている。本研究では、スピン軌道相互作用が非放射性元素中最大（ ~ 1.5 eV）のビスマスやその合金を念頭に、完全に相対論的な（ 4×4 行列の）ディラック電子におけるSHEを久保公式に基づいて調べた[1,2]。その結果、ディラック電子は大きなSHEを生むことが明らかとなった。ディラック電子のSHEには2種の異なる寄与がある。一つはフェルミ準位近傍のみからくる項（下図 $K_{\text{syx}}^{\text{I}}$ ）で、もう一つはフェルミ準位以下の全ての占有状態からくる項（下図 $K_{\text{syx}}^{\text{II}}$ ）である。後者は通常無視できるほどの小さい寄与しか得られないが、ディラック電子の場合、むしろ前者を上回り、非常に大きなスピンホール伝導度を与えることが分かった。しかも絶縁体状態になっても残ることから、「スピンホール絶縁体」が実現することも分かった。スピンホール絶縁体を実現すれば、散逸を伴わない純スピン流のみを生成することができる。

更に驚くべきことに、 $K_{\text{syx}}^{\text{II}}$ 項の化学ポテンシャル依存性は、軌道磁化率（反磁性）と厳密に等しくなることが示された。この“双対性”は、「輸送係数と軌道磁化率は如何に係っているか」という長年の問題[3,4]を解決するための重要な糸口を与える。

本結果は完全に相対論的な枠組みにおけるSHEの理論を与え、絶縁体領域から金属領域まで、一つの理論手法で統一的に取り扱った最初の理論である。（従来研究では半導体や金属はそれぞれ別々に取り上げられていた）これによって、固体中のディラック電子系はSHEを研究するための非常に理想的な舞台となりうることが分かった。特にビスマスは、単純な模型で実験と定量的に非常によく一致する理論を提供できるため[5,6]、SHEを研究する恰好の物質といえる。



ディラック電子におけるスピンホール効果の化学ポテンシャル依存性。 $K_{\text{syx}}^{\text{II}}$ は軌道磁化率と厳密に一致する。

[1] Y. Fuseya, M. Ogata, and H. Fukuyama: J.

Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) 093704.

[2] Y. Fuseya, M. Ogata, and H. Fukuyama: J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) 013704.

[3] R. Kubo and H. Fukuyama: Proc. 10th Int. Conf. Physics of Semiconductors, 1970.

[4] Y. Fuseya, M. Ogata, and H. Fukuyama: Phys. Rev. Lett. **102** (2009) 066601.

[5] Z. Zhu, B. Fauque, Y. Fuseya, and K. Behnia: Phys. Rev. B **84** (2011) 115137.

[6] Z. Zhu, B. Fauque, L. Malone, A. B. Autunes, Y. Fuseya, and K. Behnia: Proc. Natl. Acad. Sci. USA **102** (2012) 14813.