

スピンと角運動量の新しい使い方

The new horizon of spin and angular momentum

○齊藤英治¹ (1. 東北大 WPI-AIMR、東北大金研、ERATO-SQR)

○Eiji Saitoh¹ (1.WPI-AIMR & IMR, Tohoku Univ., ERATO-SQR)

エネルギーを仕事に変えることは、人類の生産性の向上に大きな貢献を果たしてきた。ワットの蒸気機関は熱エネルギーを歯車の運動に変えることで産業革命を実現し、電気エネルギーの利用は、電流と電圧の制御によって現代のエレクトロニクスへと発展した。熱エネルギーの利用、電子の電気エネルギーの利用に続き、電子のスピンを利用する原理が開きつつある。この挑戦の背景にある物理は、角運動量の保存則と、その流れであるスピン流の基礎法則である。

その代表的現象であるスピンゼーベック効果は、磁性絶縁体/金属接合試料に生じた温度勾配から、スピン流を介して電圧が生じる現象である[1]。スピンゼーベック効果は、熱的に励起されたスピンプンピングとして理解することができる。磁化の運動は非相反的であり、熱揺らぎによっても、磁化は時間平均をとれば反時計回りのみに運動しているといえる。熱平衡では、熱揺らぎによるスピンの歳差運動のパワーは、絶縁体中でも金属中でも等しくなっているため、この歳差運動が界面を通じてスピンプンピングを行うことはない。しかしながら、温度勾配が付与された状態では、絶縁体中のスピンと金属中のスピンとの間に温度差が生じ、結果として高温側にある絶縁体側のスピンの歳差運動が優位になる。この結果、金属中にスピン流が生成されることになり、これがスピンゼーベック効果の現象論的な理解と考えられている。

この様に考えると、スピン流を生成する機構は熱に限られたものではないことに気付く。スピン系と電子系に、様々な非平衡を誘導することによって、同様の機構によってスピン流を介して電圧を取り出すことができると予想される。我々は、光による共鳴プラズモンを利用したり、音波を利用したりすることでスピン流を励起し、電圧を得ることに成功している。これらの角運動量は、最終的に格子へと受け渡される。この角運動量の受け渡しを利用して、スピンによって機械運動を制御したり、流体運動を駆動したりする原理を開拓している。これにより、スピン流によって駆動されるモーターや発電機を実現することができる。物体の回転を凝縮系物理に組み込むことは、物質の電子論に新たに一般座標共変性(一般相対論)を導入することで実現される [2]。

[1] K. Uchida, J. Xiao, H. Adachi, et al., Nature Materials 9 (2010) 894.

[2] M. Matsuo, J. Ieda, E. Saitoh and S. Maekawa, Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 076601.