

博士論文要旨

題目：スピン軌道相互作用を介した力学的スピン流生成の微視的理論

船戸 匠

名古屋大学理学研究科 物性理論研究室 量子輸送理論グループ (St 研)

電子の電荷だけでなくスピンの活用を目指すスピントロニクスにおいて、電子スピンの流れであるスピン流は磁化反転などの物理現象を通じて工学的な応用が期待されている。いかにしてスピン流を生み出すかという課題は、当該分野の基礎および応用研究における最重要問題の 1 つである。

近年、回転や渦運動などの力学運動に伴う角運動量から電子のスピン角運動量へ変換することによってスピン流を生み出す試みが行われている。その背後にある物理的なメカニズムとして、回転している電子系に乗った非慣性系に現れる有効磁場とスピンの結合であるスピン・回転結合 (SRC) が提案されている。このメカニズムの注目すべき点は、非磁性体におけるスピン流生成に不可欠と考えられてきたスピン軌道相互作用 (SOI) を必要としないため、幅広い物質を舞台にスピン流生成を可能とすることにある。一方、より効率的なスピン流生成という観点からは、SOI の強い物質が有利であるように考えられる。しかし SOI に着目した研究はあまり行われてこなかった。

申請者は、力学的なスピン流生成に対する SOI の効果について微視的な解析を行なった。具体的には、不純物の持つ外因性 SOI もしくは反転対称性の破れた系に現れるラシュバ型 SOI の存在する自由電子系を考え、動的格子歪みに対するスピンおよびスピン流密度の応答を線形応答理論に基づいて計算した。外因性 SOI を介した機構として、格子との速度差に対応する電流または拡散電流がスピホール効果によってスピン流へ変換される機構およびスピン密度の拡散による機構があることを示した。ラシュバ型 SOI を介した機構としては、従来のスピホール効果やエーデルシュタイン効果に起因する機構の他、格子変位から直接スピン流が生成される機構の存在を示した。いずれの場合も SRC を介した機構と同程度の、実験的に観測可能な大きさのスピン流が生じ得ることを示した。

また電子の渦運動からスピンへの角運動量移行の別例として、自然酸化した金属などの不均質な系に伴う電子の剪断流におけるスピン流生成について解析した。不均質な分布をもつ通常およびスピン軌道不純物の散乱を受ける自由電子系において、電場に対するスピン密度およびスピン流密度の応答を電子間の長距離クーロン相互作用の効果も考慮し線形応答理論に基づいて計算した。その結果、SOI に起因する有効的なスピン・渦度結合によりスピン密度が誘起されることがわかった。また得られた結果に基づいて不均質系において成り立つスピン拡散方程式を導出し、それを用いて現象論的な解析を行うことで、系の不均質性によりスピン密度が増大する場合もあることを示した。