

格子ゲージ理論に基づいた 3 次元トポロジカル絶縁体における電子相関効果の研究

関根聡彦¹, 中野高士², 荒木康史³, 野村健太郎¹

¹ 東北大学金属材料研究所

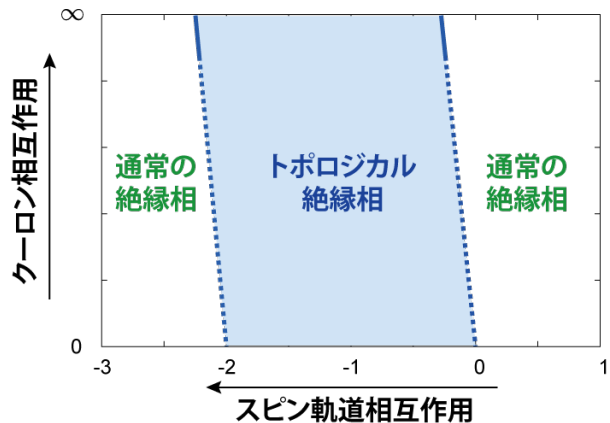
² 株式会社 構造計画研究所

³ テキサス大学オースティン校

近年注目を集めている 3 次元トポロジカル絶縁体は、系の強いスピン軌道相互作用によって生じる表面状態によって特徴付けられる。Bi₂Se₃などの 3 次元トポロジカル絶縁体のバルクの有効ハミルトニアンは、massive な 4 成分 Dirac フェルミオンによって、表面状態は massless な 2 成分 Dirac フェルミオンによって表されることが知られている[1]。このバルクの Dirac フェルミオンは、強いスピン軌道相互作用のために「負」の質量を持っていることが特徴である。

また近年、イリジウム酸化物などの（スピン軌道相互作用の強い）強相関電子系において、Weyl 半金属[2]や量子スピン Hall 相[3]などのトポロジカル相の存在が予言されている。これらの研究結果は、トポロジカル相が電子相関の強いパラメータ領域においても存在していることを示唆している。Bi₂Se₃などの 3 次元トポロジカル絶縁体においては電子相関は弱いと考えられるが、本研究では上記の結果を動機として、3 次元トポロジカル絶縁体における電子相関効果を調べた。

模型として、Wilson フェルミオン（格子上の Dirac フェルミオン）にバルク電子間の $1/r$ の Coulomb 相互作用を加えたものを採用した。これはまさに、U(1)格子ゲージ理論によって記述されるものである。格子ゲージ理論において用いられている強結合展開を適用し、Coulomb 相互作用が無限に強い極限から解析を行った。まず、強結合展開により有効作用を導出し、それを用いて拡張 Hubbard-Stratonovich 変換によって絶対零度における自由エネルギーを導出した。そして自由エネルギーの停留点を求めることにより、基底状態の相図を得た（右図）。その結果、この模型における Coulomb 相互作用の効果は、Wilson フェルミオンの質量の繰り込みであることが分かった。また、Z₂ 不変量を計算することにより、強結合極限においてもトポロジカル絶縁相が存在することが分かった[4]。



References

- [1] H. Zhang, C.-X. Liu, X.-L. Qi, X. Dai, Z. Fang & S.-C. Zhang, Nat. Phys. **5**, 438 (2009).
- [2] X. Wan, A. M. Turner, A. Vishwanath & S. Y. Savrasov, Phys. Rev. B **83**, 205101 (2011).
- [3] A. Shitade, H. Katsura, J. Kuneš, X.-L. Qi, S.-C. Zhang & N. Nagaosa, Phys. Rev. Lett. **102**, 256403 (2009).
- [4] A. Sekine, T. Z. Nakano, Y. Araki & K. Nomura, Phys. Rev. B **87**, 165142 (2013).