

Shastry-Sutherland 格子上のフェルミオンモデルにおけるディラック電子

Dirac Cone in the Fermionic Model on Shastry-Sutherland Lattice

筑波大物理 荻宿俊風

スピン系の Shastry-Sutherland モデルについてはこれまでに精力的な研究がなされているが [2], フェルミオンの Shastry-Sutherland モデルの研究はあまりなされていない. 今回は, フェルミオン Shastry-Sutherland モデルが, ディラックコーンの存在する相を含め多彩な電子相図を持つことを示す. 加えて, 主にディラックコーンを持つ相を対象に, エッジ状態の出現とバルクのベリー位相の関係についても議論する [1].

解析には移動積分を図 1(a) のように定義したタイトバインディングモデルを用いた. 単位胞には 4 つのサイトが含まれ, 今回は half-filled の場合を考える. まず対称性が高い場合 ($t_0^+ = t_0^- = t_0, t_x = t_y = t_1$), $t_1 < 0.5t_0$ では系は trivial な絶縁相にあるが, $t_1 > 0.5t_0$ では系は parabolic な電子バンドとホールバンドが一点で接する (quadratic bandcrossing point (QBCP[3]) を持つ) 半金属相となる. また, 両者が切り替わる点 ($t_1 = 0.5t_0$) では線形分散と 3 重縮退で特徴付けられる “スピン 1” のワイルフェルミオン [4] が生じる. 一方, QBCP を持つ相を出発点として対称性を破る摂動 ($t_0^+ \neq t_0^-, t_x \neq t_y$) を加えると, ちょうどフェルミエネルギーの位置にディラックコーンが生じる相になる. $t_0^+ \neq t_0^-$ か $t_x \neq t_y$ のいずれかだけの摂動を加えた場合には, ディラック点の位置はブリルアンゾーンの対称性の高い線上となるが, $t_0^+ \neq t_0^-$ と $t_x \neq t_y$ の両方の摂動を同時に加えた場合には, ディラック点をブリルアンゾーンの一般点へと動かすことができる. なお, フェルミオンの Shastry-Sutherland モデルが実現された際には, $t_0^+ \neq t_0^-, t_x \neq t_y$ といった摂動は, 異方的な圧力をかけることで誘起できると考えられ, ディラックコーンの制御という観点から興味深い.

エッジ状態とベリー位相の関係については, 1) ブリルアンゾーン内でエッジと垂直な経路上でベリー接続を積分した値とエッジ状態が密接に関係すること [5], 2) 単位胞の取り方の変更によりエッジ状態が影響を受ける場合とベリー位相のゲージ変換の関係, 3) ベリー位相の量子化条件, 4) 量子化しない場合のベリー位相とエッジ状態の関係, などについて述べる.

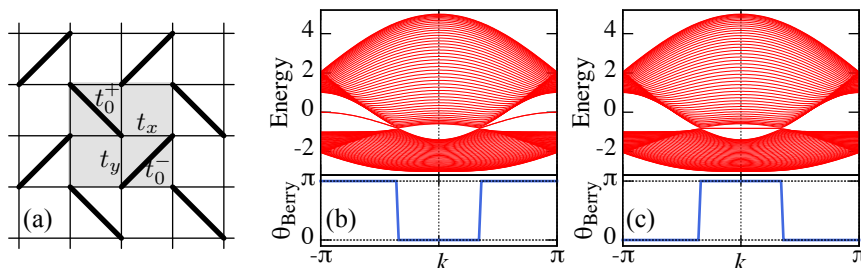


図 1 (a) Shastry-Sutherland モデル. 灰色部分が単位胞. (b,c) エッジスペクトルとバルクのベリー位相.

- [1] T. Kariyado and Y. Hatsugai, in preparation.
- [2] B. S. Shastry and B. Kumar, Prog. Theor. Phys. Supplement **145**, 1 (2002).
- [3] K. Sun, H. Yao, E. Fradkin, and S. A. Kivelson, Phys. Rev. Lett. **86**, 195129 (2012).
- [4] E. Dagotto, E. Fradkin, and A. Moreo, Phys. Lett. **172**, 383 (1986); Z. Lan, N. Goldman, and P. Öhberg, Phys. Rev. B **85**, 154451 (2012).
- [5] S. Ryu and Y. Hatsugai, Phys. Rev. Lett. **89**, 077002 (2002); Y. Hatsugai, Solid State Commun. **149**, 1061 (2009); P. Delplace, D. Ullmo, and G. Montambaux, Phys. Rev. B **84**, 195452 (2011).