

トポロジカル絶縁体とワイル半金属における ディラックコーン

村上 修一

東京工業大学大学院理工学研究科物性物理学専攻
東京工業大学元素戦略研究センター

3次元トポロジカル絶縁体はバルクでは非磁性絶縁体であるが、表面にはギャップレスの状態があり、純スピン流を運んでいる。なぜトポロジカルと呼ばれるかというと、 Z_2 トポロジカルナンバーと呼ばれる整数値の組でその相が指定されるためであり、それらについてはさまざまな興味深い性質が分かっている。典型的にはこの表面状態はディラックコーンと呼ばれる円錐状の分散を持っており、 $\text{Bi}_2\text{Se}_3, \text{Bi}_2\text{Te}_3$ など様々なトポロジカル絶縁体物質で観測されている。

また一方で、バルクのバンド分散がディラックコーンを持つワイル半金属やディラック半金属と呼ばれる系も提案されている。例えばグラフェンもそうした（2次元）ワイル半金属の一つとみなすことができるが、2次元ディラックコーンと3次元ディラックコーンとはトポロジーに関して大きな違いがある。3次元ディラックコーンはベリー曲率に関するモノポールとみなせて、モノポール電荷というトポロジカルナンバーがあるため、電場やゼーマン磁場などの外的な摂動を加えても波数空間でディラックコーンが移動するだけで、それ自身で生まれたり消えたりすることはない。モノポールと反モノポールとの対消滅や対生成によってのみ消えたり生まれたりすることになり、これは摂動に対するバンド構造の変化に質的な影響をもたらす。なお、こうしたディラックコーンには、ブリルアンゾーンの高対称点に現れ空間群の高次元既約表現に由来するものと、そうでない一般の点に現れるものと2通りに分類されるが、トポロジカルな性質としては共通である。

このチュートリアル講演では、トポロジカル絶縁体表面やワイル半金属に現れるディラックコーンについて、その性質やトポロジカルな特徴を述べた後に、そうした性質がどのように物性現象に現れるかを議論する。例えば、あるパラメータを変化させることによりトポロジカル絶縁体と通常の絶縁体との間に相転移が起こる場合に、どこでギャップが閉じて Z_2 トポロジカルナンバーがどう変化するかについて、物質の例を交えて紹介する[1-4]。さらにその相転移点直上でワイル半金属相が実現することなども紹介し、時間があれば超格子の例も紹介する。

[1] S. Murakami, S. Kuga, Phys. Rev. B 78, 165313 (2008).

[2] S. Murakami, New J. Phys. 9, 356 (2007) [Corrigendum: ibid. 10, 029802 (2008)].

[3] S. Murakami, Phys. Rev. Lett. 97, 236805 (2006).

[4] S. Murakami, Physica E 43, 748 (2011).