

O-04 藤山 茂樹

理化学研究所 岩崎中間子科学研究室

fujiyama@riken.jp



分子性ディラック電子系における電磁双対性

ディラック電子系とは、固体物質のバンド分散にフェルミ準位近傍で x 文字状に交差する点(ディラック点)が存在するものである。二次元物質としてグラフェンや、三次元物質としてはビスマスなどが知られるほか、トポロジカル絶縁体の表面電子構造もこれに該当する。ディラック電子分散は特殊相対性理論における光錐をフーリエ変換したものと一致しており、電子状態を相対論的量子力学であるディラック方程式で記述できる。

ディラック電子系の顕著な物性として、巨大な反磁性が挙げられる。18世紀にすでに観測されていたビスマスの巨大反磁性は福山-久保により定式化され、ディラック電子系に普遍的な性質と考えられてきた(1)。しかし、グラフェンやトポロジカル絶縁体表面などの単層二次元物質では電子数が少なすぎ SQUID 磁束計による磁化率測定ができなかった。

近年、高圧力下 α -(BEDT-TTF)₂I₃ をはじめいくつかの分子性導体が二次元ディラック電子系となることがわかってきた。ここでは、無機化合物の場合と異なり、ディラック点が安定的にフェルミ準位に位置し、かつ近年の計算は単分子分子性物質でのディラック電子実現のための物質設計指針を示している(2)。また、グラフェンや物質表面と異なりバルク体として存在するため、磁化率測定が可能である。

最近、 α -(BEDT-TTF)₂I₃ の分子の S 元素が Se になっている α -(BETS)₂I₃ が常圧でディラック電子系となることを NMR および電気抵抗から明らかにした(3)。測定に圧力セルが不要なため物理量の異方性を容易に得ることができ、二次元層に垂直な磁場を印加したときのみ現れる巨大反磁性を定量化することに成功した。これはディラック電子系以外で見られる反磁性と異なり、温度に逆比例する特異な温度依存性を示し、理論とも定量的に一致する。

特殊相対性理論の重要な知見は時間と空間の統一であるが、これはディラック電子系においては電場応答と磁場応答の統一(電磁双対)に対応する。実験で得られた巨大反磁性は、単層あたり $R=hl/e^2$ の値を示す電気抵抗とよくスケールし、理論(QED)により得られたスケールリングファクターともよい一致を示す。二次元ディラック電子系での電磁双対は、三次元系における電荷繰り込みに由来する双対性ではなく、特殊相対性理論における時間と空間の対称性と直接対応するものであり、物理的意義は大きく異なる。

参考文献

- (1) H. Fukuyama and R. Kubo, J. Phys. Soc. Jpn. **28**, 570 (1970).
- (2) R. Kato and Y. Suzumura, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 044713 (2020).
- (3) S. Fujiyama, H. Maebashi, *et al.* arXiv:2104.13547.