

博士論文要旨

横井滉平氏の博士論文の概要

論文タイトル

Topological magneto-transport phenomena and superconductivity in nodal line semimetal PbTaSe₂

(ノーダルライン半金属 PbTaSe₂ におけるトポロジカル磁気輸送現象と超伝導)

トポロジーの概念によって従来のバンド構造とは区別される、線形分散が交差したバンド構造を有する物質はトポロジカル半金属と呼ばれ、その物質中の伝導電子はディラック、ワイル粒子の性質を示す。これらの物質群は、カイラル磁気現象などの特異な物性を示すことから注目を集めており、新たな物質の探索が精力的に進められている。その一つとして、近年発見されたのが線ノード半金属である。従来のトポロジカル半金属では、線形バンドがゼロ次元の“点”で縮退したのに対し、この物質ではバンド縮退が一次元である“線、またはリング”上で生じる。この電子構造については、理論的な研究がすすめられている一方で、現実の物質中でこの構造が実現しにくいことから、実験的な研究が進んでいなかった。

近年、この線ノード構造が実現する物質として、PbTaSe₂が発見された。私は、線ノード構造に由来する電子物性を解明するべく、PbTaSe₂の単結晶を合成し、ホール効果やネルンスト効果などの磁気輸送現象を中心として測定を行った。本物質では圧力印加により結晶構造が変化し、ノーダルライン構造の数が減少することが理論的に予想されていることから、圧力下での輸送現象の測定も行い、圧力印加前後の物性を比較することで、ノーダルライン構造由来の現象の抽出を試みた。実験の結果、本物質は非磁性でありながらも、他のトポロジカル物質で報告されている、異常ホール効果、異常ネルンスト効果とよく似た磁場依存性を観測した。また、それが、構造相転移を機に大きく減少することを明らかにした。これらの現象は、ノーダルライン構造が生むベリー曲率を反映した現象であると考えられる。

電子状態のトポロジーに加えて、超伝導状態も PbTaSe₂ の興味深い特性の一つである。本物質では、複数種類存在するフェルミ面ごとに超伝導ギャップサイズが異なる、マルチギャップ超伝導の可能性が議論されている。この超伝導状態の詳細も明らかにすべく、¹⁸¹Ta核における核四重極共鳴測定を行った。その結果、超伝導ギャップのサイズが先行研究の実験結果と比べて優位に小さいことを明らかにした。これは、理論計算により小さい超伝導ギャップを持つとされる Ta 軌道で構成されたフェルミ面を優先的に観測していることを示唆していると考えられる。

本研究の結果、線ノード構造においても、従来のディラック/ワイル半金属と同様にベリー曲率誘起の異常ネルンスト効果やホール効果が現れことが明らかとなった。また、これらの効果はトポロジカルなバンド構造の変化に非常に敏感であることが示された。

博士論文要旨

^{181}Ta -NQR の結果は、本物質はマルチギャップ超伝導状態であることを示唆し、さらに測定核種によって、特定のフェルミ面の情報を選択的に得られる可能性を示した。電子構造が複雑な PbTaSe_2 において、特定のバンドの電子状態を色濃く反映した現象の観測を通して、その本質を明らかにした。