

博士論文公聴会の公示（物理学専攻）

学位申請者：駒田 盛是

論文題目：Nontrivial Phase Shift of Quantum Oscillation in Weyl Semimetals with Anisotropic Fermi Surface

（異方的フェルミ面を持つワイル半金属における量子振動の非自明な位相シフト）

日時：2020年2月5日 13:00～14:30

場所：理学研究科H棟 7階セミナー室（H701号室）

主査：花咲 徳亮

副査：萩原 政幸、酒井 英明、宮坂 茂樹、村川 寛

論文要旨：

近年、ディラック・ワイル粒子を記述するエネルギー分散が実現する物質が発見され、電気的、磁性的な物性を調べることによりこれらの相対論的粒子の基本的な性質について研究できる系として注目されている。本研究対象物質の TaAs と NbAs は、空間反転対称性の破れたワイル半金属として知られている。これらの物質はワイル点を囲むフェルミ面が異方的であることから、磁場方位を変化させると、サイクロトロン極値軌道面とワイル点の位置関係をさまざまに変化させることができる。この状況で量子振動の位相を解析することにより、バンドギャップが生成してワイル型の線形エネルギー分散から連続的に変化していく過程でのランダウ量子化についての情報が得られる。また、TaAs はワイル点を 1 つ、NbAs はワイル点を 2 つ含むフェルミ面を有しており、トポロジーの異なる電子状態間での比較も可能となる。ランダウ量子化はエネルギー分散の形状やそれに付随するベリー位相と密接に関連しているため、真空中では実現しない「ワイル的」な粒子についての理解にもつながると考えられる。そこで、TaAs と NbAs の良質で大型の単結晶を合成し、磁場方位を変えながら量子振動を測定し、これらの位相の変化について詳細な研究を行った。

ワイル点を 2 つ囲むフェルミ面を持つ NbAs において、軌道周回で得られるベリー位相が 0 になる配置で磁場方位を変化させたところ、量子振動の位相が 0 から π に不連続に変化することを発見した。第一原理計算の結果、位相が π になる領域では、ワイル点から極値軌道が離れており、極値軌道面内のエネルギー分散においてバンド反転によるダブルミニマム構造が消失していることが明らかになった。極値軌道面内のエネルギー分散におけるギャップはサイクロトロンギャップと比べて大きいため、位相が π になることは一般的なランダウ量子化による状態密度を仮定すると説明できない結果であり、新奇な現象であると考えられる。

ワイル点を 1 つ囲むフェルミ面を持つ TaAs において、磁場方位を[001]から[100]方向に傾けていくと、量子振動の位相が 2 つに分裂していくことを発見した。この分裂はカイラリティの異なる対のフェルミ面極値軌道間のベリー位相の差によるものであると考えられ、ワイル点がサイクロトロン極値軌道面から離れることで初めて検出できるものである。本研究により、ワイル点型エネルギー分散の形状変化や、ワイル点の持つカイラリティに依存したサイクロトロン軌道上のスピンベリー位相の差により、ランダウ準位が複雑に変化することが明らかになった。今回得られた結果は、ワイル粒子の基本的な性質を反映した物性物理についての理解を深めるために重要な成果である。