



Title	Nontrivial Phase Shift of Quantum Oscillation in Weyl Semimetals with Anisotropic Fermi Surface
Author(s)	駒田, 盛是
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/76367
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (駒 田 盛 是)

論文題名

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)

論文内容の要旨

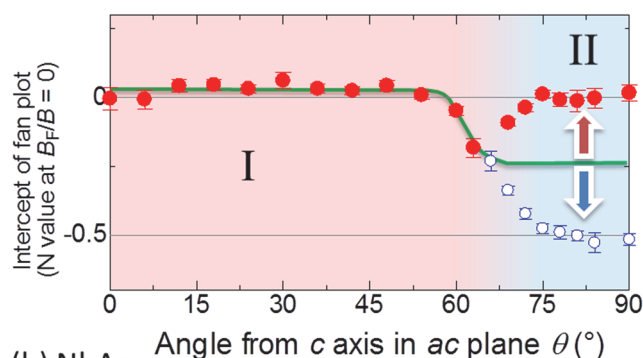
近年、ディラック・ワイル粒子を記述するエネルギー分散が実現する物質が発見され、電氣的、磁性的な物性を調べることでこれらの相対論的粒子の基本的な性質について研究できる系として注目されている。本研究対象物質のTaAsとNbAsは、空間反転対称性の破れたワイル半金属として知られている。これらの物質はワイル点を囲むフェルミ面が異方的であることから、磁場方位を変化させると、サイクロトロン極値軌道面とワイル点の位置関係をさまざまに変化させることができる。この状況で量子振動の位相を解析することにより、バンドギャップが生成してワイル型の線形エネルギー分散から連続的に変化していく過程でのランダウ量子化についての情報が得られる。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。そこで私は、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(図(a))。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。一方で、それだけでは説明できない $\pi/2$ シフトも発見された。このことは従来のモデルとは異なる新奇な量子化条件によるものと考えられる。

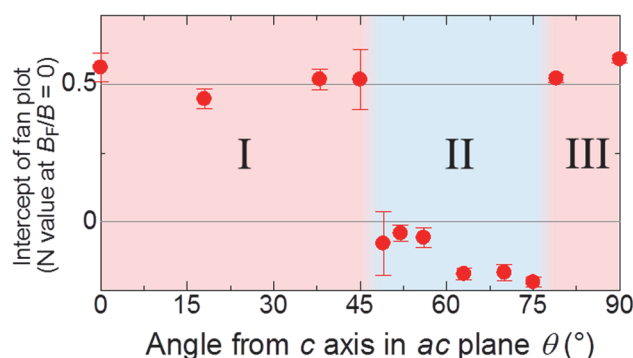
ワイル点を2つ囲むフェルミ面を持つNbAsにおいて、軌道周回で得られるベリー位相が0になる配置で磁場方位を変化させたと、量子振動の位相が0から π に不連続に変化することを発見した(図(b))。第一原理計算の結果、位相が π になる領域では、ワイル点から極値軌道が離れており、極値軌道面内のエネルギー分散においてバンド反転によるダブルミニマム構造が消失していることが明らかになった。極値軌道面内のエネルギー分散におけるギャップはサイクロトロンギャップと比べて大きいので、位相が π になることは一般的なランダウ量子化による状態密度を仮定すると説明できない結果であり、新奇な現象であると考えられる。

本研究により、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や、ワイル点型エネルギー分散の形状変化により、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。

(a) TaAs



(b) NbAs



図(a)TaAs, (b)NbAs における量子振動の位相の磁場方位依存性。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 （ 駒 田 盛 是 ）			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教 授	花 咲 徳 亮
	副 査	教 授	萩 原 政 幸
	副 査	准教授	宮 坂 茂 樹
	副 査	准教授	酒 井 英 明
	副 査	助教	村 川 寛
論文審査の結果の要旨 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、電氣的、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。そこで私は、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。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。 よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。			