

ウランが創発する超伝導の新しい物理

物性物理学およびその関連分野

研究者所属・職名 : 原子力科学研究部門
原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究主席

ふりがな とくなが よう

氏名 : 徳永 陽

主な採択課題 :

- [国際共同研究加速基金\(国際共同研究強化\(B\)\)「ウランが創発するスピン三重項超伝導の新しい物理」\(2020-2025\)](#)
- [基盤研究\(B\)「重い電子系の複合自由度を用いた新奇トポロジカル量子相の探索と電子構造の解明」\(2023-2026\)](#)
- [基盤研究\(C\)「一軸歪みを利用した強磁性超伝導体の発現機構の微視的解明」\(2019-2021\)](#)

分野 : 超伝導、強相関電子系

キーワード : スピン三重項超伝導、トポロジカル超伝導、アクチノイド化合物、核磁気共鳴

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

1911年の水銀での超伝導の発見以来、物性物理の分野では様々な新しいタイプの超伝導体が発見されてきた。その中で明らかになって来たことは、超伝導の性質やその発現機構は、当初に考えられていたよりも遥かに多様性に富むということである。特に21世紀に入り、放射性元素であるウランを含む化合物において、磁性と強く結合した新しい超伝導の発見が相次いでいる。そこでは磁場誘起超伝導や多重超伝導相など、スピン三重項超伝導を起源とする新奇な物理現象が数多く見つかっている。さらにその超伝導状態はバルクとしてトポロジカル超伝導を実現する可能性が高く、注目を集めている。

●研究するにあたっての苦勞や工夫(研究の手法)

超伝導の基礎研究においては、NMRや光電子分光、中性子散乱などの微視的プローブと、強磁場、極低温、超高压などの複合極限環境場を組み合わせた実験が重要となる。そのために必要な実験設備を持つ世界各国の国際研究機関と共同研究を積極的に行なっている。加えて、スピン三重項超伝導の研究においては、超伝導そのものが結晶の周期性の乱れや欠陥に弱いため、その本質を理解するには純良単結晶試料での実験が不可欠となる。

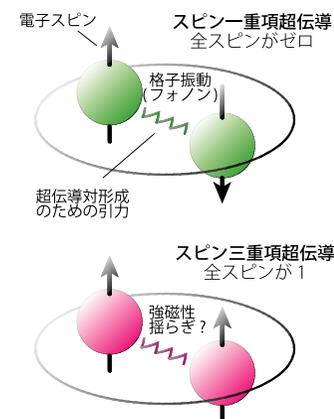


図1 2種類の超伝導対

ウランが創発する超伝導の新しい物理

物性物理学およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

ウラン系超伝導体 UTe_2 は、2018年末に米国の研究グループによって発見された新しい超伝導体である。スピン三重項トポジカル超伝導体の有力候補として、発見直後から大きな注目が集め、国際的にも激しい研究競争が繰り広げられている。

UTe_2 の研究において、我々はまずそれまで一般的に利用されていた結晶の育成手法では必ず結晶内にU元素の欠損が生じることを見出した。さらにその解決策として全く新しい育成手法を開発した(図1)。その結果、欠損のない超純良な単結晶を安定して育成することが可能となり、それが世界初の量子振動の観測や磁場誘起超伝導多重相の確認(図2)、強磁場中での特異な磁束状態の発見など、新たな研究発展に繋がった。(プレスリリース : <https://www.jaea.go.jp/02/press2022/p22072902/>、<https://www.jaea.go.jp/02/press2023/p23051301/>)

我々はさらに微視的プローブである核磁気共鳴(NMR)法を用いた研究を進めており、これまでに UTe_2 がその内部に異方的な磁気ゆらぎを持つこと、同時に低温で非常にゆっくりとした遅い揺らぎが出現することなど、超伝導の発現機構の解明に繋がる発見をしてきた。また通常は磁場に弱い超伝導が、 UTe_2 では15テスラ以上の強い磁場下でむしろ安定化するという不思議な現象が発見されていたが、最近、我々は36テスラまでの強磁場下でNMR実験を行い、そのメカニズムの解明に成功している。

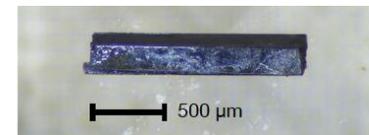


図1 原子力機構で育成された UTe_2 の超純良単結晶試料

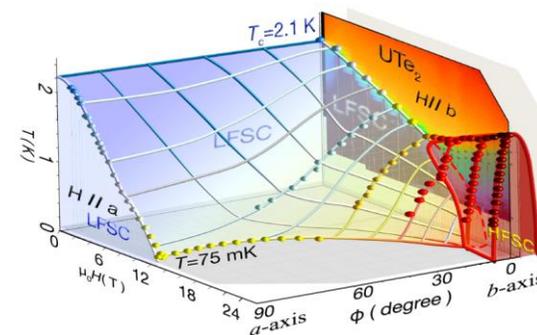


図2 UTe_2 の磁場誘起超伝導多重相

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

「トポジカル超伝導」の量子情報は、環境ノイズに強い耐性を持ち、次世代の量子コンピュータ開発の鍵を握ると考えられている。放射能を持つウラン化合物は、汎用性のあるデバイス開発には向かないが、ウラン化合物を使ってその基本原理を解明できれば、ウラン以外の元素を用いたスピン三重項トポジカル超伝導体の開発にも大きく道が拓かれる。現時点では、スピン三重項超伝導体の有力な候補のほとんどがウラン化合物である。その総合的な研究ができる場所は、我々の原子力機構を含め世界的にも限られている。我々は自ら開発した超純良単結晶を武器に、今後もウランが創発する新しい超伝導現象の解明を進めていく。