

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	仲嶺 元輝
論文題目	Superconducting Spin Susceptibility of UTe_2 (UTe_2 の超伝導スピン磁化率)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本博士論文は、UTe_2の超伝導状態を調べるために行われた、^{125}Te核のナイトシフト測定による超伝導状態のスピン磁化率の様子を調べたものである。UTe_2は 2018 年に発見された新しいウラン化合物超伝導体で、超伝導転移温度は 1.6K と低いものの、磁場を b 軸に印加した場合、転移温度は 15T を最小にしてそれより高磁場で超伝導転移温度の上昇が見られ 35T まで超伝導は生き残る。同様な超伝導の振る舞いが報告されているウラン化合物強磁性超伝導体との関連に興味が集まっている。仲嶺氏は Te 核を核磁気共鳴(NMR)可能な ^{125}Te 核に置き換えた試料を用い、NMR 測定による発熱の効果に配慮し ^{125}Te-NMR 測定を行った。スピン磁化率に関するナイトシフトを b、c 軸の超伝導状態で測定し、低磁場でスピン磁化率の減少と共鳴線の異常な広がりを見出した。ただしナイトシフトの減少量は、スピン一重項超伝導状態から期待されるものに比べ 1 桁程度小さく、この結果はスピン三重項超伝導のスピン磁化率の減少として理解可能であることが理論研究から指摘された。また高磁場までの測定を行い、b 軸では 12.5T、c 軸では 5.5T 以上で超伝導状態においてスピン磁化率の減少が見られなくなることを示し、超伝導状態でスピン自由度が存在するスピン三重項超伝導体であることを指摘した。さらに、高磁場までのスピン磁化率と共鳴線の広がりの実験結果を考慮し、スピン三重項超伝導のモデルから考えられる超伝導状態を議論した。</p> <p>本論文の第一章では、現在までに報告のあったウラン化合物強磁性超伝導の review 及び今回の UTe_2 の review を行っている。第二章では主な実験手法である NMR・NQR の概説がなされ、第三章では、実験の詳細、今回の実験で使用した試料の説明、超伝導転移温度を決めるのに用いた交流磁化率の測定方法、測定に用いた NMR 装置の説明を行っている。特に、試料の磁場中での配向度について詳細に述べられている。第 4 章から 7 章で UTe_2 の NMR 実験結果が述べられており。第 4 章は共同実験者の行った常伝導状態の NMR 結果の概説、5 章では天然の Te 核により作成された UTe_2 における超伝導状態のナイトシフト、核スピン-格子緩和率の測定結果が説明されている。第 6 章、7 章は本博士論文の主要な結果で、Te 核を ^{125}Te 核に置き換えた試料での NMR の実験結果が詳細に述べられ、第 6 章では横磁場超伝導磁石とローターを用いて磁場を正確に b、c 軸に印加し測定されたナイトシフトの結果が示され、超伝導状態のスピン磁化率の温度依存性・磁場依存性がスピン三重項超伝導としたモデルで理解できること、超伝導状態で共鳴線の異常な広がりが見られることが述べられている。第 7 章では、縦磁場超伝導磁石を用いた 14.5T までのナイトシフト、共鳴線の広がり磁場依存性が示され、共鳴線の広がり超伝導に關係すること、NMR の実験結果に基づき超伝導相図が作成され、考えられる超伝導状態について議論されている。</p> <p>このように仲嶺氏の博士論文は、最近発見された UTe_2 がスピン三重項超伝導体であることを NMR 実験から示した重要な結果を報告したものである。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

1. 研究目的の評価

研究対象物質のウラン化合物 UTe_2 は2018年に発見された新しい超伝導体で、超伝導転移温度は1.6Kと低いものの、磁場を**b**軸に印加した場合、超伝導は15Tを最小にその後増強され35Tまで超伝導は生き残る。同様な超伝導の磁場下での増強が報告されているウラン化合物強磁性超伝導体との関連にも興味が集まっている。また各軸の上部臨界磁場は、パウリ臨界磁場を大きく超えていることよりスピン三重項超伝導の可能性が指摘されていたが、スピン三重項超伝導の実験的検証となる超伝導状態のスピン磁化率の測定はなされていなかった。仲嶺氏の博士論文は、この UTe_2 の超伝導状態のスピン磁化率の振舞いを調べたもので、研究意義は認められる。

2. 研究手段に関する評価

スピン磁化率の測定に用いられた核磁気共鳴(NMR)は、物質の電子、磁気状態を原子核を通して知ることが出来る微視的な実験手法であり、スピン磁化率の変化を共鳴線のシフト(ナイトシフト)から測定することが出来る。このナイトシフト測定は超伝導状態のスピン磁化率を測定できる数少ない実験であり、内部磁場の発生等の磁気状態の変化も感度よく知ることが出来る。さらに今回の実験では実験精度を高めるため、測定試料のTeをNMR可能な ^{125}Te に99.9%置換した試料を用いて測定を行っている。こうすることで、NMR測定による高周波パルスによる発熱の効果を十分抑制した測定を可能にしている。また希釈冷凍機と横磁場超伝導磁石を用い、低温で磁場を試料に正確に印加するように角度依存性も測定されている。今回のNMR測定は、正確な実験結果が得られるように色々配慮を行った上でなされている。

3. 結果、考察の評価

仲嶺氏は、超伝導状態のナイトシフト測定を**b**、**c**軸で行い、低磁場でスピン磁化率の減少と共鳴線の異常な広がりを見出した。ただしスピン磁化率の減少量は、スピン一重項超伝導状態から期待されるものに比べ1桁程度小さいことを示した。この減少量は、後ほどスピン三重項超伝導のスピン磁化率の振舞いとコンシステントな結果であることが理論から示された。またナイトシフトの減少と共鳴線の広がり磁場依存性を調べ、**b**軸では12.5T、**c**軸では5.5T以上で超伝導状態においてスピン磁化率の減少が見られなくなることを示した。これは超伝導状態でスピン自由度が存在するスピン三重項超伝導体であることを示す結果である。さらにスピン磁化率と共鳴線の広がりの実験結果を考察し超伝導相図を作成し、各相に対しスピン三重項超伝導のモデルから考えられる超伝導状態を議論した。現在までに、 UTe_2 の常圧において超伝導多重相の実験結果は報告されていないが、今回の実験結果から今後多く測定がなされることが期待される。このように仲嶺氏の実験結果は、最近発見された UTe_2 がスピン三重項超伝導体であることの実験的検証を与えるものであり、内部自由度を持つ超伝導から期待される超伝導多重相を示した重要な結果である。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和3年1月14日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降