

氏名	の 野 村 拓 司
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2581 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	Theory on the Spin-Triplet Superconductivity in $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ ( $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ におけるスピントリプレットの超伝導の理論)
論文調査委員	(主 査) 教 授 山 田 耕 作      教 授 大 見 哲 巨      教 授 藪 崎 努

### 論 文 内 容 の 要 旨

銅酸化物高温超伝導体と同じ結晶構造を持つ物質として作成された  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  が 1.5K で超伝導に転移することが前野悦輝達によって1994年に発見された。石田憲二達のナイト・シフトの実験からスピントリプレットの超伝導が実現していることが確認されている。本申請論文はそのスピントリプレットの超伝導の機構を理論的に研究し、それを明らかにしたものである。

本申請論文の内容は次のように要約される。

$\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  の電子構造は2次元的な  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  と呼ばれる3つのフェルミ面よりなる。その中でも  $x$ - $y$  面内に分散をもつ  $\gamma$  面がフェルミ面の状態密度が最も高く、57%を占める。その上、電子の有効質量が最も重く、電子間の相関が最も強い。従って、この面が超伝導の中心的な役割を果たすはずである。申請者は  $\gamma$  面の形状や電子数を再現するハバードモデルを用いて、クーロン相互作用  $U$  を摂動として3次の摂動計算を行い、その電子間相互作用を用いて、Dyson-Gor'kov 方程式を導出した。この方程式を転移温度  $T_c$  の近くで解き、 $T_c$  と超伝導ギャップの対称性を決定した。

その結果、スピントリプレットの  $p$ -波の超伝導が得られた。転移温度はクーロン斥力  $U$  が大きい程高くなるので、 $T_c=1.5\text{K}$  を与える合理的な  $U$  の値を選ぶことができることが示された。 $U$  の値は  $T_c$  が低いのでかなり小さくても良いことが明らかになった。

スピントリプレットを導く微視的な機構であるが、電子相関  $U$  の3次の項から由来する相互作用の運動量依存性が  $p$ -波を導くことがわかった。これは2次元電子ガスの理論で Feldman 達が  $p$ -波に導くグラフとして主張するものに一致する。

申請者はさらに  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  の3バンドを考慮して、その軌道間の相互作用を基にして Dyson-Gor'kov 方程式を導出し、それを解き、 $T_c$  を決定した。その結果、 $\gamma$  バンドが主たる役割を担っており、その超伝導ギャップの対称性が全体を支配していることが示された。この結果を転移温度以下に拡張し、比熱の温度変化が計算された。主役の  $\gamma$  面は全面にギャップの開いた超伝導状態であるが、 $\beta$  面上に引力が打ち消しあい、ギャップが消える部分があることがわかった。こうして、低温で温度  $T$  のべき的な振る舞いをする比熱の温度変化を説明することができた。

さらに申請者は電子間相互作用  $U$  の4次以上の高次項の計算を行い摂動計算の正しさを確認している。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本申請論文は  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  のスピントリプレットの超伝導の微視的な機構をはじめ説明した理論であり、その価値は高く評価できる。従来、ヘリウム3の超流動状態がスピントリプレットであり、その超流動の機構として強磁性的なスピントリプレット揺らぎであるパラマグノン交換する機構が正しいとされてきた。しかし、このような3次元系とは異なり、2次元電子ガスでは斥力の3次の項が重要で、その寄与で  $p$ -波の超伝導が導かれるとする理論が提出されている。

$\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  は準2次元系であり、 $\gamma$  面は2次元自由電子系に近い円形である。現実には  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  で実現している  $\gamma$  面は Van Hove 異常に近くフェルミ面の状態密度が高く、電子ガスに比べて  $T_c$  が高くなる条件を満足していることが示された。

こうして申請論文は  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  が実験的にスピン三重項の実現条件を満たす理想的な系であることを示している。この意味でも発見された超伝導機構は理想的なもので普遍的な価値を持つものである。他にも  $\text{UPt}_3$  などスピン三重項の超伝導体があるが微視的な超伝導機構は不明である。従って、本申請論文が初めてスピン三重項の微視的な機構の例を示したことになる。

さらに3バンドを含めて超伝導状態を計算して、多バンド系の超伝導機構を詳細に研究し、その機構を明らかにしたことも価値の高いことである。このように多バンド系の超伝導の様子は今まで明らかにすることが困難であった。はからずも  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  の超伝導機構の解明は準2次元系の構造を利用した多バンド系の超伝導機構の解明に他ならず、今後の多バンドを持つ系の超伝導研究の手本となるものである。また、主役となるフェルミ面で超伝導が決定されるという結果は複雑な系の理論研究の戦略を与えるという点で超伝導研究にとって重要な発見である。

さらに、電子相関に関する4次の相互作用が計算され、摂動展開の収束性が確かめられたことは微視的な理論の発展にとって重要な進歩である。

専門に関する学問的な知識についても試問したが、十分な知識と能力があることが確認された。以上の結果、申請論文は学位論文として十分な価値があり、合格とした。