

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 （ 理 学 ）	氏名	宮 脇 信 実
学位授与の要件	学位規則第4条第1・2項該当		
論 文 題 目			
<p style="text-align: center;">Fermi-surface effect on the Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov state in quasi-one-dimensional superconductors (準一次元超伝導体における F F L O 状態に対するフェルミ面効果)</p>			
論文審査担当者			
主 査	教 授	嶋 原 浩	印
審査委員	教 授	世 良 正文	印
審査委員	教 授	高 根 美 武	印
審査委員	准教授	樋 口 克 彦	印
〔論文審査の要旨〕			
<p>強磁場中の第二種超伝導体は基礎研究・応用研究の両面において重要な研究対象と見られている。本論文の中心課題である Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov 状態 (F F L O 状態) は、強磁場中の第二種超伝導体において理論的に予言されている空間変調した秩序変数をもつ超伝導状態であり、現実の物質で実現するか否かが、長年の問題とされてきたが、近年、その実現が有望視される物質がいくつか発見され、その性質や安定化機構の解明が、現代の固体物理学の重要な研究課題の一つと考えられている。</p> <p>F F L O 状態では、強磁場中で分離した \uparrow スピンと \downarrow スピンのフェルミ面上の 2 電子が、重心運動量 \mathbf{q} が 0 でないクーパー対を形成するため、スピン分極エネルギーの損失が少なく、従来の B C S 的な超伝導状態 ($\mathbf{q}=0$) よりも高い上部臨界磁場を持つ可能性がある。また、重心運動量が 0 でないクーパー対による超伝導状態では、秩序変数が空間的に変調することが明らかにされており、空間変調の方向は \mathbf{q} の方向、波長は h/ \mathbf{q} となることが知られている (h はプランク定数)。このクーパー対の重心運動量 \mathbf{q} のため、F F L O 状態の安定性や性質は、フェルミ面の構造に強く依存することが、過去の研究で指摘されている。例えば、1 次元系ではフェルミ面は平らになるが、その場合、上部臨界磁場は 3 重臨界温度以下で急激に上昇し絶対零度で発散する。また、2 次元系では上部臨界磁場は低温で下に凸な温度依存性を示すが絶対零度では有限の値に収束する。</p> <p>一方、最近の実験的研究では、$(\text{TMTSF})_2\text{C}_1\text{O}_4$ と呼ばれる有機超伝導体において、超伝導オンセット温度の磁場角度依存性に、低温高磁場で結晶軸と異なる方向の主軸が出現することが発見されており、このことから、この物質において F F L O 状態が発現している可能性が指摘されている。この物質中の電子系のフェルミ面は非常に異方性が強く、準 1 次元的なものであることが知られているが、これまでの理論研究では、このよう</p>			

なフェルミ面の構造を十分に正確に考慮し、上部臨界磁場の温度依存性を詳細に調べたものがなかった。本論文では以上の研究の背景を念頭におき、準1次元系の場合におけるFFLO状態に対するフェルミ面効果を詳細かつ精密に調べている。

この効果を、有限温度、有限磁場で調べるには、温度とゼーマンエネルギーに加えて、準一次元系の異なる方向へのホッピングエネルギーなど、複数の全く異なるエネルギースケールを単純化せずに扱う必要があるため、数値計算においても数学的な技法を駆使した工夫が必要になる。本論文の著者は解析的計算に加えて、数値計算のためのプログラミングも行っており、数値計算上の困難を解決して、精密な結果を得ることに成功している。

その結果、本研究では、従来の理論では見落とされていた新しい種類の次元クロスオーバーと呼ぶべき現象が理論的に発見され、その発現の条件が明らかにされた。この現象は、超伝導の上部臨界磁場の温度依存性が、温度を下げるに従って、1次元系でのFFLO状態に特有の温度依存性から、緩やかなショルダーを経て、2次元系における温度依存性に連続的に移り変わっていくというものであり、フェルミ面の歪みの少ない準一次元系におけるFFLO状態に特有の現象であるといえることができる。

本論文では、この理論的予想に基づいて(TMTSF)₂C₁₀O₄系における上部臨界磁場の温度依存性の測定データを見直しており、大きな誤差棒はあるものの、それらしいショルダーが存在している可能性があることを指摘している。また磁場角度依存性については、実験結果と理論的予想に矛盾が生じないためには、この物質の軌道磁性対破壊効果が極めて弱いことが必要であり、フェルミ面効果が主要因となってFFLO状態の波数ベクトル q を決めていることが予想されている。これらの結果は、この物質の低温高磁場における超伝導相を特定するために重要な知見を与えていると考えられる。

さらに、本論文では特定の物質に限らず、準1次元系の幅広いパラメーター領域において、s波、d波両方の超伝導状態に対して網羅的に調べており、基礎研究としても十分な内容を有していると考えられる。

以上のように、本論文の著者は強磁場中の超伝導状態の理論を発展させ、準一次元超伝導体におけるFFLO状態に関する従来にない全く新しい知見を得ることに成功しており、その学術的意義は高い。故に本論文の著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な能力と実績を有するものと認める。