

氏名	いち おか まさ のり 市 岡 優 典
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 1675 号
学位授与の日付	平 成 8 年 1 月 23 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 第 一 専 攻
学位論文題目	層 状 超 伝 導 体 の 平 行 磁 場 で の 渦 糸 構 造

論文調査委員 (主 査) 教 授 山 田 耕 作 教 授 石 黒 武 彦 教 授 水 崎 隆 雄

論 文 内 容 の 要 旨

第2種超伝導体において、上部臨界磁場と下部臨界磁場の間で超伝導体の内部に磁束が侵入する。侵入した磁束は渦糸構造をとり、その渦糸は三角格子を組んでいる。Caroli, de Gennes, Matricon はこのような渦糸における中心付近に束縛された励起状態のエネルギーを解析的に計算して超伝導のに比べて大変小さくなることを示した。

このような連続体近似が適用できる通常の超伝導体に対して、高温超伝導体のようなコヒーレンス長が層間距離よりも短いような物質では層に平行に磁場をかけた場合、超伝導層の層と層の真中に渦糸の中心が位置するため、渦糸格子は層間距離に整合する格子になる。また、超伝導のエネルギーギャップはゼロになることはないため、励起状態のエネルギーはエネルギーギャップと同じ order になることが期待される。申請者は以上のような点に注目して、層に平行な渦の格子構造およびその中心付近に束縛された励起状態について理論的研究を行った。

層状超伝導体については隣合った層間がジョセフソン結合しているという Lawrence-Doniach 模型がある。申請者は $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ を想定した物質パラメーターを適用した Lawrence-Doniach 模型を用いて、数値緩和法による計算を行い、層間距離に整合する渦糸格子を具体的に求めた。またその自由エネルギーを求め、磁場が変化すると違った整合格子の自由エネルギーの間でその大きさの入れ換わりがおこり、したがって一次転移が起こることが推測されることを示した。さらに磁場による磁化の変化も計算した。

また、渦糸の中心付近に束縛された励起状態は Lawrence-Doniach 模型での Bogoliubov-de Gennes 方程式を解くことにより求めることができる。渦糸格子での Bogoliubov-de Gennes 方程式を解くのは困難であるが、低エネルギーの励起であれば孤立した渦糸と励起状態がそれほど違わないであろうという推測から、申請者は孤立した渦糸で近似して数値緩和法による計算を行った。その結果、低エネルギーの励起エネルギーがエネルギーギャップと同じ order であることを具体的に示すことができた。

以上のように、層状超伝導体の層に平行な渦格子および渦に束縛された励起状態についてはじめて正確

な理論研究を行った申請論文は審査に値するものと考えられる。

論文審査の結果の要旨

層状超伝導体において層に平行に磁場をかけたときには超伝導層の層と層の間の領域を渦糸の中心が通過する。申請者はこのように層状超伝導体の特徴が端的に現われる、平行に磁場をかけた場合の渦糸がつくる格子の構造およびその渦糸の中心付近にできる低エネルギーの準粒子励起の状態を数値計算を用いて調べた。

層状超伝導体で、特に垂直方向のコヒーレンス長が層間隔より短いような系では連続体近似は適用できず、隣合った層間にジョセフソン結合があるとする Lawrence-Doniach の模型を用いなければならない。そのため表式が複雑になり解析的計算は困難になる。

Lawrence-Doniach の模型を用いた渦糸格子のこれまでの計算はギャップパラメーターの振幅が一定という London 近似を用いたものであったが、高温超伝導体のような具体的例を考えた場合その近似は成立しない。申請者は $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ を想定した物質パラメーターを用いて、数値緩和法による計算を行い、渦糸格子はその単位格子の層に垂直方向の長さが層間隔の整数 n 倍でなければならないこと、磁場が変化すると n の異なる渦糸格子の間で自由エネルギーの大きさの入れ換わりが起こるので、一次相転移が起こると期待されることを示した。また磁場が変化したときの磁化の大きさの変化を計算し実験とよく合う結果を出しているのは注目される。

渦糸の中心付近に束縛された準粒子励起は、渦糸が存在する場合における Bogoliubov-Gennes 方程式の固有状態として求められる。この問題は連続体近似が適用できる通常の超伝導体において孤立した渦糸の場合に Caroli, de Gennes, Matricon により解析的に解が得られており、低エネルギーの励起は Δ^2/E_F (Δ は磁場のない時の超伝導のエネルギーギャップの大きさ、 E_F はフェルミエネルギー) の order であることが知られていた。層状超伝導体において Bogoliubov-de Gennes 方程式を渦糸格子の場合に解くのは数値緩和法を用いても困難があるが、低エネルギーの励起であれば孤立した渦の場合で近似できると考えられる。申請者はこのような近似を用いて、最低エネルギーから10番目までの固有状態を求め、渦糸に束縛された励起状態が存在すること、その励起エネルギーは連続体近似ができる通常の超伝導体の場合と違ってギャップエネルギー Δ の order であることを示した。これは層状超伝導体の特徴を捕えた重要な結論である。

以上のように層状超伝導体の層に平行な渦格子および渦に束縛された励起状態をはじめて正確に求め、この分野の研究に刺激を与えた申請論文は理学博士の学位にふさわしいものと認められる。