

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 須貝 駿貴

本論文は超伝導体における秩序変数の位相欠陥である量子渦に関する理論研究である。論文は6章からなっており、第1章は超伝導体と量子渦の研究についての概説、第2章は本論文と密接に関連する先行理論研究の概説である。第3章は理論計算の定式化の説明、第4章は本研究の数値計算の結果である。第5章では本論文で得られた成果の適用範囲の拡張可能性と本研究における理論的成果の実験的検証法が述べられている。第6章で結論と展望が述べられている。

輸送電流下で超伝導体の量子渦が受ける駆動力については1960年代から続く論争がある。多くの超伝導の教科書では量子渦は磁気的なローレンツ力を受けると記述されているが、このことは専門家の中では必ずしも合意は形成されていない。例えば、超伝導体を特徴づける長さの一つである磁場侵入長が無限大の極限では、駆動力は流体力学的なマグナス力であると指摘されていた。論争が未解決である一つの原因は微視的理論に基づいて導出された方程式を解いた上で、量子渦にかかる力の起源を議論した研究がなかったことにあり、もう一つの原因は実験的に決着をつける検証法が提案されていなかったため、この論争に対する関心が理論的なものに留まっていたことにある。この現状を踏まえ、須貝氏は、微視的理論に基づいて既に導出されている、時間に依存するギンツブルグ・ランダウ方程式において磁場侵入長が有限の場合の量子渦のフロー状態を表す数値解を求め、運動量流束テンソルとマクスウェル応力テンソルを用いて流体力とローレンツ力を計算した。その結果、流体力とローレンツ力の合力のみが、量子渦にかかる力としてみなせること、ローレンツ力は量子渦にかかる駆動力の半分以下の寄与しかないことを示した。さらに、磁気的なローレンツ力の測定と、輸送電流の測定の二つの測定から、ローレンツ力が量子渦にかかる力の半分以下であることを示す検証実験を提案した。

量子渦にかかる力の起源については先行研究でも指摘されたことであるが、本研究の成果の重要性と独自性は(1)外部電流について線形の範囲で方程式を解いた結果に基づき、より説得力のある形で結論を得たこと、(2)新規な検証法を提案したこと、(3)提案された検証法がここ数年のスクイド(SQUID)顕微鏡で検証可能であると期待されること、の3点に認められる。

本論文の成果は、須貝氏を第一著者とし、黒澤範行氏と加藤雄介氏を共著者とした原著論文として現在投稿中である。しかし本研究において須貝氏が主たる貢献としたものと認められるため、審査委員会は本論文を博士(学術)の学位請求論文として合格とした。