



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Paramagnetic Meissner effect of small topological superconductors [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	鈴木, 修
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12754号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65269
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Shu_Suzuki_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 鈴木 修

審査担当者 主 査 准教授 浅野 泰寛
副 査 教 授 丹田 聡
副 査 教 授 森田 隆二
副 査 教 授 矢久保 考介
副 査 准教授 市村 晃一

学位論文題名

Paramagnetic Meissner effect of small topological superconductors

(微小なトポロジカル超伝導体における常磁性マイスナー効果)

金属や化合物を冷却した際に起きる超伝導は、電気抵抗の消失やエネルギー散逸のない電流の生成、といった異常な電磁気学的現象を指している。特に、マイスナー効果と呼ばれる超伝導体の完全反磁性は、超伝導現象の最も基本的な要素であり、ほとんどの標準的な教科書がマイスナー効果の説明に多くの頁を割いている。本論文では、トポロジカルに非自明な超伝導体と呼ばれる一群の特殊な超伝導体を、微小な大きさに加工し極低温に冷却した際、超伝導体が常磁性を示す可能性があることを、理論的に予言した。

超伝導現象を担うのは、2つの電子からなるクーパー対と呼ばれる準粒子である。多数のクーパー対が位相を揃えて凝縮する事によって、超伝導が発現し超伝導体はマイスナー効果を示す事が知られている。このような通常のクーパー対の他に、空間的に非一様な超伝導体では「奇周波数クーパー対」と呼ばれる奇妙な電子対の存在が、超伝導の標準理論から演繹される事が、最近明らかになった。本論文では、まず、奇周波数クーパー対がトポロジカルに非自明な超伝導体の表面に顕著に表れ、それが常磁性を持つ事を概説している。その後、実際に円盤状の微小な超伝導体が極低温に於いて常磁性を示す事を、クーパー対の存在を記述する準古典グリーン関数が従うアイレンベルガー方程式と電磁場が従うマクスウェル方程式を連立させて解き、局所帯磁率の空間分布や帯磁率の温度依存性から結論している。さらに円盤を十分に大きくした際に、常磁性相は消失し、超伝導体は教科書の記述どおり反磁性を示す事も示した。教科書では、超伝導状態が反磁性である限り、常伝導状態よりも低い自由エネルギーを維持できるために安定であることも記されている。著者は、常磁性を示す超伝導円盤の自由エネルギーが、状態の空間的不均一さのために常伝導状態よりも低くなること、即ち常磁性を示す超伝導状態が安定に存在する事も示した。実験に於いて微小な超伝導体を作成し低温常磁性状態を検証する際に、超伝導試料表面近傍で不可避免的に存在するポテンシャルの乱れの効果が問題となる。著者は、スピン1重項超伝導体の場合には低温常磁性相が消失する事を示した。その一方で、スピン3重項超伝導体と呼ばれる特別な超伝導体では、表面ラフネスの有無にかかわらず低温常磁性相が存在する事を予言した。スピン3重項超伝導体は大変希少な物質群であるが、量子計算の基盤物質として近年特に注目されている。本論文はその基本物性を理論的に明らかにし、スピン3重項超伝導を確認する実験法を提案したという点に於いて、高く評価されている。

トポロジカルに非自明な超伝導体の中には、カイラル超伝導体と呼ばれ、超伝導でありながら同時に自発磁化を持つ特殊な物質群が存在する。著者はこれまでの知見を用い、カイラル超伝導体の表面を流れる超伝導電流の諸性質を、クーパー対の対称性の観点から簡潔に整理した。特に、奇周波数クーパー対と自発電流の関係、表面ラフネスが自発電流に及ぼす効果に関して詳細な数値計算に基づいて調べた。その結果、奇周波数クーパー対が自発電流を運ぶ事、また、スピン3重項カイラル超伝導体は、表面ラフネスの影響を受けず、現在の技術で十分に観測可能な大きさの自発電流を運んでいることを理論的に明らかにした。著者は、実験研究との詳細な比較検討を可能にする知見を提供した。

これを要するに、著者は、トポロジカルに非自明な超伝導体の常磁性効果について新知見を得たものであり、物性物理学の進展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。