



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Microscopic Theory of the Flux-Flow Hall Effect in Type-II Superconductors [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	植木, 輝
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第12818号
Issue Date	2017-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/66501
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Hikaru_Ueki_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 植 木 輝

学 位 論 文 題 名

Microscopic Theory of the Flux-Flow Hall Effect in Type-II Superconductors

（第二種超伝導体における渦糸フローホール効果の微視的理論）

磁場中を運動する荷電粒子に働くローレンツ力の磁気成分は、フレミングの左手則で可視化される横成分を持ち、電荷の再配置を誘起することが知られている。この磁気ローレンツ力は、金属や半導体においてホール効果の原因となり、その効果について理論・実験両面で非常に活発な研究が行われてきた。二次元半導体における量子ホール効果は特に有名である。一方、超伝導体のホール効果に関しては、理論的研究がほとんど行われていない。その主な原因として、超伝導電流にかかる磁気ローレンツ力はアンペールの法則に従う超伝導電流による大きな反磁性効果の存在のせいで見落とされていたこと、磁場中の超伝導体を記述するのに標準的に用いられる「ギンツブルグ-ランダウ方程式」や「アイレンバーガー方程式」にローレンツ力が欠落していること、が挙げられる。ローレンツ力は超伝導の平均場理論であるゴルコフ方程式の準古典パラメータの展開の一次の寄与を取り込むことによって、準古典方程式に含めることができる。2001年にローレンツ力を含む拡張された準古典方程式がケルディシュ形式（実時間形式）で導出されている。

超伝導体のホール効果は二つのコテゴリーに分けることができる。ひとつは(1)散逸のない平衡超伝導電流に対するホール効果、もうひとつは(2)渦の運動を伴う抵抗状態でのホール効果である。(1)は例えば、超伝導電流の渦は磁場を伴っているので、渦電流にローレンツ力がかかると、ホール効果により、渦の中心が帯電すると考えられる。一方、(2)は第二種超伝導体の渦状態に輸送電流をかけると、超伝導渦は力を受けて運動し、その結果、散

逸が生じて縦抵抗やホール抵抗が現れる現象である。これらの超伝導体のホール効果を解析するには、量子渦が存在する非一様系を扱わなければならない。特に渦糸フローホール効果と呼ばれる、抵抗が生じている散逸状態のホール効果は、量子渦の運動まで考慮しなければならないことにより、解析するのが非常に困難である。そのため、渦糸フローホール効果の微視的計算が実行されているのは荒畑・加藤による研究ただひとつのみである。荒畑・加藤による研究はケルディシュ形式の拡張された準古典方程式によって、微視的に渦糸フロー状態の縦・ホール抵抗の存在を確かめているが、パラメータ空間の一点のみの計算で、縦・ホール抵抗の温度依存性は計算されていない。

本論文の目的は平衡状態と非平衡状態二つの超伝導体のホール効果に対して、輸送係数を微視的に計算する手法を開発すること、そして、その手法を用いて具体的な超伝導体に対して、数値計算を行うことである。

本論文では、松原形式（虚時間形式）のローレンツ力を含む準古典方程式を導出し、これを用いて超伝導孤立渦のもつ電荷の表式を求めた。また、具体的な系として、高温超伝導体を念頭においたモデルを用いて、超伝導孤立渦に捕捉された電荷の温度依存性を計算した。すると、現実的なフィリング $n = 0.9$ についても、電荷が温度の関数として符号反転するという結果を得た。この結果はマクスウェル方程式とギャップ方程式を連立させた自己無撞着計算においても確かめられている。また、ケルディシュ形式のローレンツ力を含む準古典方程式のエネルギー変数を虚軸の松原エネルギーに解析接続し、線形応答の範囲で渦糸フロー状態の解析を松原形式で行えるようにした。そして、s 波超伝導孤立渦の渦糸フロー状態について、輸送電流によって磁束が動いていること、縦・ホール抵抗が存在すること、を先行研究とは異なる手法により確かめた。また、温度が低いほうが超伝導渦のコア領域が小さく、散逸の起こる領域が少ないこと、線形応答量の空間分布がより複雑になること、を示した。松原エネルギーに解析接続することで、ローレンツ力を含む準古典方程式による線形応答の計算が、ケルディシュ形式での手法よりも簡単に実行できる。