

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	舟 木 博 志																
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当																		
<p>論 文 題 目</p> <p style="text-align: center;">Pairing Interactions Mediated by Ferromagnetic Magnons —Odd- and Even-Frequency Superconductivities— (強磁性マグノンが媒介する対形成相互作用—奇周波数及び偶周波数超伝導—)</p>																			
<p>論文審査担当者</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">主 査</td> <td style="width: 25%;">教 授</td> <td style="width: 40%;">嶋 原 浩</td> <td style="width: 20%;">印</td> </tr> <tr> <td>審査委員</td> <td>教 授</td> <td>世 良 正 文</td> <td>印</td> </tr> <tr> <td>審査委員</td> <td>教 授</td> <td>高 根 美 武</td> <td>印</td> </tr> <tr> <td>審査委員</td> <td>准 教 授</td> <td>樋 口 克 彦</td> <td>印</td> </tr> </table>				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
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																
<p>〔論文審査の要旨〕</p> <p>本論文の主旨は、強磁性超伝導体において強磁性スピン揺らぎを媒介とする電子間有効相互作用を導出し、その相互作用による超伝導相転移ならびに超伝導秩序変数の構造を明らかにし、モデルパラメーターや温度の空間における相図を求めるというものである。強磁性超伝導体は、強磁性状態と超伝導が共存する系であるが、近年、具体的な物質がいくつか発見されたことから、理論・実験ともに研究が進んでいる。また、スピン揺らぎが媒介する引力による異方的超伝導の機構は、近年の物性物理学の中心課題の一つであるといえることができる。</p> <p>本論文の主要な成果は、以下に詳述するように、強磁性スピン揺らぎを媒介とする引力による超伝導、その中でもとくに奇周波数超伝導と呼ばれる種類の超伝導が、幅広いパラメーター領域で実現し得ることを示したことである。奇周波数超伝導とは、超伝導秩序変数が通常は周波数の偶関数であるところ、奇関数になっているというもので、これについても近年、その可能性や性質が多くの研究者によって調べられている。</p> <p>この研究のために著者が用いた理論的モデルは、拡張近藤格子模型と呼ばれるもので、超伝導を担う伝導電子系と、強磁性長距離秩序を担う局在スピン系が、近藤交換相互作用により結合しているというモデルである。著者はこの模型の局在スピンの自由度にホルシュタイン・プリマコフ変換を適用し、強磁性スピン揺らぎをマグノンで記述した。これにより、拡張近藤格子模型は電子マグノン模型に帰着し、ファインマンダイアグラムを用いた摂動論を展開することが可能になった。この利点を生かし、著者は有効相互作用ならびに超伝導感受率と呼ばれる関数を導出した。</p> <p>超伝導感受率は、正常状態における超伝導揺らぎの様子を表す関数であり、この関数の発散点を求めることにより、超伝導相転移を調べることができる。一般にこの関数は、超伝導揺らぎの波数及び周波数依存性（以下、単に構造）を一つ与えると、一つに決まるが、関数を発散させる揺らぎの構造が一つでも存在すれば、正常状態は不安定になる。従って、</p>																			

真の超伝導転移点を求めるには、関数を最大化する最適な揺らぎの構造を求め、その揺らぎに対する発散点を求める必要がある。本論文で著者は準1次元の場合に、コンピュータを用いた数値計算によってこれを実行している。

最適な超伝導揺らぎの構造は、転移後の超伝導秩序変数の構造に一致していると考えられ、物理的に重要な情報を含んでいる。そのため、この構造については可能な限り制限を設けず、先入観の入り込む余地のない扱いをする必要がある。ところが、この計算を完全に一般的な条件のもと、単純化なく行うには、大規模な数値計算が必要であり、そのため通常この種の計算を、熱力学極限とみなすことができる十分に大きな系で実行することは、スーパーコンピュータを用いても困難とされている。著者は共同研究者と協力して数万倍のオーダーで高速かつコンパクトに実行できるアルゴリズムを開発してこの困難を克服し、その目的を手持ちのパーソナルコンピュータで達成した。

このように条件を制限せずに計算を行ったことの最も重要な成果は、奇周波数超伝導が幅広いパラメータ領域で実現することが発見されたことである。強磁性超伝導体の微視的模型に基づいた計算で、バルクで一様な奇周波数超伝導状態への相転移を、超伝導感受率の発散まで確認して明確に示したものは過去に例がなく、学術的にも、将来の物質探索にとっても、画期的な成果であるといえることができる。

本論文の研究は単なる数値計算に留まるものではなく、拡張近藤格子模型とファインマンダイアグラムを用いた手法により、奇周波数超伝導に寄与する微視的な物理過程も明らかにしている。この知見も、この分野における理論研究に今後の指針を与えるものであり、学術的に重要な成果と考えられる。

以上のように、本論文の著者は強磁性超伝導体に関する理論を発展させ、スピン揺らぎを媒介にした相互作用による超伝導、とくに奇周波数超伝導の発現の可能性を見出しており、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。