

論文審査の結果の要旨

氏名 村川 智

2次元フェルミ粒子系は、銅酸化物超伝導体の発見も契機として、近年実験的、理論的に精力的な研究の行なわれている対象である。特にグラファイト上に物理吸着した単原子および数原子層のヘリウム3の系は強く相互作用するフェルミ粒子系の大変ユニークな研究対象として、また理想的な2次元系として大きな注目を集めている。さらにこの系は強相関電子系と比較して、密度や温度を広範に変えられる点も特徴であり、実際に相関の強いフェルミ液体、強磁性、量子スピン液体、などに関する新奇な物性物理学上のテーマの格好の研究対象を提供してきた。修士(理学)村川智提出の学位請求論文では、このHe3の単原子層に生じる興味深い物性を、主として核磁気共鳴の手段を用いて研究したものである。この研究では第1層にHe4をプレコートした上で、その上に吸着させたHe3の単原子層を研究したものである。広範にヘリウム面密度を変えることにより、後に詳述するように、領域I、領域II、領域III、領域IVと分類したそれぞれの密度領域で、特徴的な磁性、磁気緩和を研究した。特にこの系の特徴は第2層の面密度が第一層の形作る三角格子のポテンシャルの極小をすべてHe3が埋めたときの濃度の4/7(以下4/7フィリングと呼ぶ)になったときに、周期ポテンシャルに対して整合密度になったことに伴う固化(電子系のモット絶縁相に対応するもの)を生じることであり、この固相の存在のために単原子層の物性は多彩になっている。

本論文は和文で結論にいたるまで5章からなる。第1章は問題を概観した序章であり、第2章にヘリウム3の単原子層の構造、これまでの実験事実、特に磁性に関してこれまで知られている実験的、理論的知見が述べられている。また理論的な背景としていくつかのモデルによる研究がレビューされ、本研究の動機と目的が提示されている。第3章は核断熱消磁冷凍機を含む実験装置のセットアップと、測定手法、特に温度測定の手法と核磁気共鳴の測定法について紙数が割かれている。第4章が全体の中心となる章であり、実験結果の提示と解析にあてられている。第5章は結論である。以下では第4章で述べられている実験結果の解析と得られた成果について述べる。

第4章は概要に続いて面密度ごとに上記の4つの領域ごとに、磁化、共鳴線幅、共鳴磁場の測定結果と考察が述べられているので、それぞれの領域での成果を概観する。最も面密度の低い領域IはプレコートされたHe4の上に吸着されたHe3原子の密度が低いために通常の2次元フェルミ液体としての性質と考えればほぼ説明できる。実際に帯磁率は10mK以下から温度によらないパウリ常磁性を示している。

領域IIは4/7モット相に近づいてくるために多体相関の効果が重要になる領域である。

この領域では面密度の増加とともに磁化が非線形に増大し、それに呼応して共鳴線幅も増大することがわかった。また局所磁場係数も面密度の増加とともに急激に増大する。この実験結果が正しいとすると、2相共存や一様な相関のないフェルミ液体といった単純な可能性で説明することが困難である。重要な問題提起が行なわれ、今後この領域を理解していくうえでの重要な情報を提供していると判断できる。もともとこの領域では面密度 4/7 の固相に近づくにしたがって、多体相関が次第に顕著になっていく領域にあたる。村川氏はこの領域でパウリ常磁性が見られなくなる温度を有効フェルミ縮退温度とみなしたときに、この縮退温度が面密度 4/7 に近づくにしたがって、異常な低下を示しゼロに近づくことを見出した。これは比熱測定から従前に指摘されていた質量の発散的増大の異常なスケール則が磁性でも検証できること、またこのスケール性が比熱測定が行なわれた温度領域よりもっと低い温度領域と面密度 4/7 により近づいた領域でも成り立っていることを示すもので、高く評価できる。

領域 III の過剰粒子層では第 2 層の固相完成後、第 3 層に He3 粒子が吸着し始めている領域にあたる。この領域で、村川氏は磁化（帯磁率）が低温で減少するという興味深い現象を見出した。この減少を引き起こすメカニズムが何であるかは今後の研究に待たねばならないが、一重項形成の傾向を示唆する発見そのものに価値があるものと認められる。またこの領域で第 3 層ヘリウム粒子が重い粒子となっているという解析も興味深いものである。一方領域 III の中でもより密度の高い側では、強磁性の発現が見られるがこの強磁性が第 3 層のヘリウムに局限されており、第 2 層のスピ液体的なふるまいと共存しているということが実験結果から示唆された。この機構の解明は興味深い課題である。領域 IV では第 2 層も巻き込んだ形での強磁性が生じているという結果が磁化測定から得られた。

本研究以前には核磁気共鳴を用いていくつかの研究があるが、このように $70\mu\text{K}$ から 500mK の広い温度範囲にわたって、かつ第 2 層から第 3 層にわたる広い面密度での系統的な測定と解析を行なった研究は初めてである。

以上のようにこの論文では、He3 の単原子層に生じる興味深い物性を、主として核磁気共鳴の手段を用いて研究したものである。グラフアイト上の第 1 層に He4 をプレコートした上で、その上に吸着させた He3 の単原子層に対して、広範にヘリウム面密度と温度を変えることにより、系統的に、領域 I、領域 II、領域 III、領域 IV と分類したそれぞれの密度領域で、特徴的な磁性、磁気緩和を明らかにした初めての研究である。実験精度の改善、機構解明など今後に残る課題はあるものの、この分野の進展に顕著な貢献をなしたものと認められる。また理論家に対してメカニズム考察への基礎データを提供した点も評価される。このように本論文は博士(理学)の学位論文としてふさわしい内容をもつものとして審査員全員が合格と判定した。

なお本論文の主たる業績は、指導教員である福山寛助教授、および辻大輔氏、松本洋介

氏、神原浩氏、秋里英寿氏、向賢一氏との共同研究であるが、学位申請者が、実際の核磁気共鳴実験装置の立ち上げ、実験の遂行や解析、解釈などにおいて、中心となって得られた成果であり、学位申請者の寄与が重要であると判断された。