

論文審査の結果の要旨

氏名 佐藤 大輔

グラファイト表面に吸着されたヘリウム3原子は、強い吸着ポテンシャルによって運動が2次元面内に制限される。吸着量（面密度）を制御することにより、グラファイト上のヘリウム3は理想的な2次元フェルミ液体または2次元量子スピン系として振る舞う。本論文では、比熱およびNMRを実験手段として、グラファイト上ヘリウム3の2次元量子相に関する研究を行っている。

本論文は7章から構成されている。

第1章は序章であり、グラファイトの吸着ポテンシャルや、本研究で重要となるグラファイト上ヘリウム3の相図についての理解の現状が述べられている。

第2章は2次元ヘリウム3の基本的性質に関して述べられている。特に本論文の研究目的である2次元ヘリウム3流体の自己凝縮の可能性および固体相の核磁性に関する先行研究と問題点について説明がなされている。

第3章では実験方法について述べられている。本研究では核断熱消磁冷凍機を用い、100 μK から 80 mK にわたり広範囲に温度変化を行っているのが特徴である。また吸着材のグラファイトとしては吸着表面積が極めて大きいグラフォイルを用いており、その表面積は 556 m^2 である。本研究では1層目にヘリウム4を、2層目以降にヘリウム3を吸着させた試料を主に用いている。比熱測定は超伝導ヒートスイッチを用いた断熱法で行っている。またNMR測定の装置と原理についても述べられている。

第4章ではグラファイト上第2層ヘリウム3固体相の核磁性の全体像を明らかにするために、ヘリウム3の面密度を詳細に変化させて比熱測定を行った結果について説明している。ここで4/7相と呼ばれる整合相（反強磁性的スピン液体）がある面密度範囲で安定に存在すること、4/7相から不整合相（強磁性的）への転移が1次の構造相転移として起こることを見出している。また、不整合相の比熱が高密度極限で2次元ハイゼンベルグ強磁性の理論的予測によく合うことを示した。さらに不整合相の比熱の系統的な密度変化を高温展開の理論を

用いて解析し、この相における多体交換相互作用の面密度依存性を先行研究よりも高い精度で得ることに成功している。

第5章では、2次元ヘリウム3の自己凝縮に関する実験結果を説明している。2次元面に束縛された希ガス原子の集団が有限温度で気相液相転移を起こすかどうかは統計力学的に興味深い問題である。ヘリウム3よりも量子性の弱い希ガス原子については、有限温度に気相液相転移の臨界点を持つことが既にわかっている。2次元ヘリウム3はちょうどクリティカルな条件にあり、有限温度に臨界点を持つかどうかについてこれまで理論実験共に論争が続いていた。本研究では、1層目～4層目ヘリウム3の低密度領域のフェルミ液体比熱の密度依存性を詳しく調べ、いずれも面密度が $0.6\text{-}0.9\text{ nm}^{-2}$ 付近で自己凝縮、すなわち気相と液相に分離したと考えられる証拠を得ることに初めて成功した。

第6章では第2層ヘリウム3の固体相についてNMRによるスピンスピン緩和時間および磁化率の測定を行い、比熱測定で得られた相図を微視的に支持する結果を得ている。

第7章は全体のまとめに充てられている。

以上のように本研究はグラファイト上ヘリウム3の低温比熱の極めて詳細な面密度依存性のデータを提供するとともに、2次元ヘリウム3液体相および固体相の核磁性についての新たな知見を与えるものである。またこれらの成果は2次元ヘリウム3の理論に対する新たな発展を促すものとして評価できる。

なお本論文の4章と5章の一部 (J. Low Temp. Phys. 158 (2010) 201, 544) および6章の一部 (J. Phys.: Conference Series 掲載予定) は既に論文として公表済みまたは公表予定である。本論文はこれらの論文の共著者との共同研究による部分があるが、いずれも論文提出者が主体となって研究を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分大きいと判断する。

以上をもって審査員一同は、本論文が博士(理学)の学位を授与するにふさわしいものであると認定した。