

論文審査の要旨および学識確認結果

| 報告番号 | ㊶／乙第 号 | 氏 名 | 鏡原 大地 |
|---|--|-------------|-------|
| 論文審査担当者： | | | |
| 主査 | 慶應義塾大学教授 | 博士（理学） | 大橋 洋士 |
| 副査 | 慶應義塾大学教授 | 博士（理学）・医学博士 | 藤谷 洋平 |
| | 慶應義塾大学教授 | 博士（理学） | 渡邊 紳一 |
| | 慶應義塾大学教授 | 博士（工学） | 神原 陽一 |
| <p>(論文審査の要旨)</p> <p>学士（理学）、修士（理学）鏡原大地君の学位請求論文は、「極低温 Fermi 原子気体におけるずり粘性率の理論研究」と題し、全5章より構成されている。</p> <p>2005年に、Kovtun、Son、Starinets (KSS)らにより、「ずり粘性率 η とエントロピー密度 s の比 η/s にはゼロより大きいある下限値が存在し、しかも、その下限値は強相関領域で実現する」という理論的予想 (KSS 予想) が提案されて以来、η に対する相互作用効果が、液体 ^4He や、極低温 Fermi 原子気体、クォーク・グルーオン・プラズマなど、様々な量子多体系で注目を集めている。特に、本研究が対象とする極低温 Fermi 原子気体は、原子間にはたらく引力相互作用強度をはじめ、様々な物質パラメータを実験的に制御できることから、KSS 予想の検証とその背景にある量子多体効果の解明に役立つと期待されている。しかし、現状、この系での KSS 予想は、ユニタリ極限と呼ばれる特殊な場合でのみ検証実験が行われており、この系の相互作用-温度相図上での η/s の下限値や、その実現条件、および、下限値を与える物理的機構については、未だ明らかとなっていない。</p> <p>本研究は、この状況を打開すべく、正常相にある2成分 Fermi 原子気体を理論的に研究、自己無撞着 T 行列近似 (SCTMA) と呼ばれる強結合理論を駆使し、η と s を弱結合領域から強結合領域まで数値的に求めている。そして、この系では、η/s の最小値が KSS 予想の下限値の約 4.5 倍となり、それがユニタリ極限よりも強結合側で実現することを明らかにする、という非常に重要な成果を挙げている。更に、相互作用する2種類の Fermi 原子の質量が異なる場合 (質量インバランス Fermi 原子気体) でも、同様の結果が得られることを見出している。</p> <p>第1章は序論である。極低温 Fermi 原子気体の基本的性質を概観した後、本研究が扱う η、および、KSS 予想が説明されている。最後に、本研究の目的が述べられている。</p> <p>第2章では、SCTMA に基づく定式化が詳説されている。原子間にはたらく強い引力相互作用に起因する対形成揺らぎの効果がこの強結合理論でどのように考慮されているのか、が説明された後、この理論の枠組みで、正常相における η と s を計算する方法がまとめられている。</p> <p>第3章では、第2章で説明された理論に基づき計算された、様々な相互作用強度における η の正常相での温度依存性が示されている。弱結合側では、高温領域から温度を下げると η ははじめ減少するが、Fermi 温度以下になると、Fermi 面形成に伴う Pauli ブロッキングに因り準粒子散乱が抑制されるため η は増加、しかし、超流動転移温度 T_c 近傍では、対形成揺らぎの影響で再び減少することを明らかにしている。また、η の低温での増大は強結合領域でも見られるが、その原因は弱結合側の場合とは異なり、強い引力相互作用に因る分子ボソンの形成であることを指摘している。</p> <p>第4章では、η/s の振る舞いを、相互作用強度-温度相図上で明らかにしている。この結果から、相互作用強度としてはユニタリ極限より少し強結合側、温度としては T_c より少し高温側で η/s が最小となること、および、その値は KSS 予想の下限値の約 4.5 倍であることを見出している。また、質量インバランス系の場合についても同様の研究を行い、温度-相互作用相図上のほとんどの領域で、η/s の値は質量インバランスの度合いに依存するものの、最小値やそれが得られる相互作用強度には影響しないことを明らかにしている。更に、η や s の相互作用依存性や温度依存性の分析から、弱結合領域での Fermi 面形成と強結合領域での分子ボソン形成という2つの量子効果が、η/s の最小値を得る際に重要な役割を果たしていることを指摘している。</p> <p>第5章では、結論として本研究の成果がまとめられている。</p> <p>本研究により、極低温 Fermi 原子気体の正常相における η の振る舞いが幅広い相互作用領域で理論的に明らかとなったことは、この系の物性を理解するうえで非常に重要である。また、本研究で得られた η/s の最小値や実現条件は、この系における KSS 予想の検証実験の指針となるだけでなく、この問題が議論されている他の研究分野の発展にも大きく貢献するものである。よって、本論文の著者は、博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p> | | | |
| 学識確認結果 | 学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また、語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した。 | | |