論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	㊙／乙第　　号	氏　名	田島　裕之

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	Ph.D.	伊藤　公平
		慶應義塾大学教授	理学博士	白濱　圭也
		慶應義塾大学准教授	博士（理学）	齊藤　圭司

(論文審査の要旨)

学士（理学）、修士（理学）田島裕之君の学位請求論文は、「極低温フェルミ原子気体の BCS-BEC クロスオーバー領域における熱力学的性質」と題し、全 5 章より構成されている。

^{40}K や ^{6}Li を用いたフェルミ原子気体では、フェッシュバッハ共鳴と呼ばれる現象を用いることで、原子間にはたらく引力相互作用の強さを自在に制御することができる。これにより、弱結合領域から強結合領域に至るフェルミ粒子系の量子多体現象を、統一的に研究することが可能となった。特に、BCS (Bardeen-Cooper-Schrieffer)-BEC (Bose-Einstein condensation)クロスオーバー領域と呼ばれる中間結合領域では、強い引力相互作用に起因する超流動揺らぎが顕著なため、物理的状況が類似している銅酸化物高温超伝導体の低ドープ領域に見られる擬ギャップ（常伝導状態密度に超伝導ギャップに似た窪み構造が現れる多体現象）の存在が期待されている。しかし、現在、フェルミ原子気体の状態密度を直接観測する手段はなく、この現象の有無の検証は間接的方法に頼らざるを得ない。このため、この系で擬ギャップが存在するか否かについては実験方法によって異なる結果が報告されており、未だ最終的結論には至っていない。これに対し、本研究は、フェルミ原子気体で近年観測可能となったスピン帯磁率の温度変化に現れるスピンギャップ現象の観測から擬ギャップの有無が判定できることを理論的に明らかにするという、重要な成果を挙げている。

第 1 章は序論である。冷却フェルミ原子気体の研究の現状と、擬ギャップ現象、および、スピンギャップ現象についての説明の後、本研究の目的が述べられている。

第 2 章では、常流動相におけるスピン帯磁率を研究している。様々な BCS-BEC クロスオーバー理論のうち、この物理量に対し拡張型 T 行列理論が有効である理由が説明された後、それを用い、スピン帯磁率の温度変化を BCS-BEC クロスオーバー全域で理論的に明らかにしている。その結果から、スピン帯磁率が超流動揺らぎにより抑制され始める特徴的温度（スピンギャップ温度）を決定、スピンギャップ現象が現れる領域を温度-相互作用相図上で特定している。更に、同じ理論の枠組みで 1 粒子状態密度を研究し、その温度変化から、擬ギャップ現象が起こり始める特徴的温度（擬ギャップ温度）を決定、BCS 領域から中間結合領域では、スピンギャップ温度と擬ギャップ温度とが良く一致することを明らかにしている。この結果は、スピン帯磁率の温度変化の観測から擬ギャップ現象の有無が判定できることを示すものであり、非常に重要である。

第 3 章では、前章の議論を超流動状態に拡張している。平均場 BCS 理論で良く知られた芳田関数と、拡張型 T 行列理論を用い計算されたスピン帯磁率を比較、両者の違いから、超流動揺らぎの影響が超流動相のスピン帯磁率に現れる領域を BCS-BEC クロスオーバー領域で特定している。また、実験結果との比較も行い、弱結合領域、および、ユニタリ極限で観測されたスピン帯磁率を定量的レベルで理論的に説明することに成功している。さらに、同じ理論の枠組みで、近年観測された圧縮率、音速、コンタクト、圧力などの物理量についても定量的レベルでの理論的説明に成功、拡張型 T 行列理論が、スピン帯磁率だけでなく、BCS-BEC クロスオーバー領域の様々な物理量に対し有効であることを明らかにしている。

第 4 章では、トラップポテンシャルの効果を研究している。現実のフェルミ原子気体は常にトラップポテンシャルに捕獲されていることから空間的に非一様であるが、その効果がスピン帯磁率の空間依存性にどう影響するかを理論的に明らかにしている。

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。

本研究は、「冷却フェルミ原子気体の BCS-BEC クロスオーバー領域において擬ギャップが存在するか」という、当該研究分野の重要課題に取り組んだものである。状態密度の直接観測ができない現状において、観測可能量であるスピン帯磁率に現れるスピンギャップ現象から擬ギャップの有無が判定できることを明らかにした本研究の成果は、この問題の解決に大いに貢献するものであり、高く評価できる。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。

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。

※　○○　○○には審査担当者氏名、△△△△には、「上記審査会委員」等と記載する。