

学位論文 博士（理学）

超流動 Fermi 原子気体の  
BCS-BEC クロスオーバーにおける  
強結合効果と擬ギャップ現象

2012年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

渡邊 亮太

# 主 論 文 要 旨

報告番号	① 乙 第	号	氏 名	渡邊 亮太
主 論 文 題 目： 超流動 Fermi 原子気体の BCS-BEC クロスオーバーにおける強結合効果と擬ギャップ現象				
(内容の要旨) 本論文では、冷却 Fermi 原子気体の BCS-BEC クロスオーバー領域における強結合効果を理論的に研究、強い超流動揺らぎによって引き起こされる擬ギャップ現象の性質について議論した。 まず、一様系の BCS-BEC クロスオーバーにおける 1 粒子状態を、この系で顕著となる揺らぎの効果を取り込んだ $T$ -行列近似を用いて解析し、Fermi 原子の状態密度とスペクトル強度に擬ギャップが生じることを示した。さらに、BCS-BEC クロスオーバーの広い領域において状態密度の解析を行うことによって、擬ギャップ現象は、BCS-BEC クロスオーバーの超流動転移温度近傍で顕著になることを示した。また、この結果を用いて、擬ギャップ現象を考慮した Fermi 原子気体の相図を完成させた。 次に、冷却原子気体が真空中にトラップされているという状況を考慮し、 $T$ -行列近似を、局所密度近似(Thomas-Fermi 近似)を用いてトラップ系へと拡張した理論を用い、Fermi 原子気体の 1 粒子状態を解析した。その結果、トラップされた気体においては、擬ギャップ現象は空間的に非一様に生じることを明らかにした。特に、超流動相のある温度域においては、気体中心を超流動ギャップが顕著な領域、気体の端付近に自由 Fermi 気体的な領域、そして、これら 2 領域に挟まれるように擬ギャップが顕著な領域が存在するという、殻構造を持つことを示した。この事実を考慮し、一様系と同様の解析によって、トラップされた Fermi 原子気体の相互作用、温度、位置に関する相図を理論的に提案した。 この相図を用い、photoemission スペクトルを解析、高温では自由 Fermi 気体的なシャープな構造がみられる一方、超流動転移温度付近では、これと擬ギャップ的なブロードな寄与が生じること、また、十分低温では超流動領域に由来するシャープな構造が現れることを示した。さらに、測定された photoemission スペクトルや局所的な圧力を解析し、これらを定量的に説明することに成功した。さらに、この理論を 2 次元 Fermi 原子気体に拡張し、3 次元系と比較して擬ギャップ現象が顕著であることを示した。この結果を擬 2 次元冷却 Fermi 原子気体において測定された photoemission スペクトルと比較し、実験結果を定量的なレベルで理論的に説明することに成功した。				

## SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Fundamental Science and Technology	Student Identification Number 81045274	SURNAME, First name WATANABE Ryota
<p>Title</p> <p>Strong-coupling effects and pseudogap phenomena in the BCS-BEC crossover regime of a superfluid Fermi gas</p>		
<p>Abstract</p> <p>In this thesis, I theoretically investigate pairing fluctuations and pseudogap phenomena in the BCS-BEC crossover regime of a superfluid Fermi gas.</p> <p>Including effects of pairing fluctuations within a <math>T</math>-matrix approximation, I calculate single-particle excitations of a uniform superfluid Fermi gas in the entire BCS-BEC crossover region. Near the superfluid phase transition temperature <math>T_c</math>, I show that the pseudogap structure can be clearly seen in the Fermi density of states, as well as the single-particle spectral weight. Using these results, I identify the pseudogap regime in the phase diagram of a uniform Fermi gas with respect to the strength of a pairing interaction, as well as temperature.</p> <p>I also extend our strong-coupling superfluid theory to include effects of a harmonic trap. Using a combined <math>T</math>-matrix approximation with the local density approximation, I show that the pseudogap appears in a spatially inhomogeneous manner, leading to a shell structure. That is, at a certain temperature below <math>T_c</math>, while the ordinary BCS-type density of states can be seen around the trap center, this region is surrounded by the one where the pseudogap associated with the strong pairing fluctuations dominates the superfluid density of states. Around the edge of the gas cloud, the free particle density of states appears. I also clarify how such a shell structure affects the photoemission spectrum, as well as the local pressure of a Fermi gas, comparing our results with experimental data. The recently observed photoemission spectra in a quasi-two-dimensional Fermi gas are found to agree well with our results including the two-dimensional pseudogap effect.</p>		