

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	反平行磁場中の引力相互作用するフェルミ気体の物理
Title(English)	Physics of an attractive Fermi gas in antiparallel magnetic fields
著者(和文)	安斎貴昭
Author(English)	Takaaki Anzai
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11363号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:西田 祐介,齋藤 晋,村上 修一,古賀 昌久,相川 清隆
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11363号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	安齋 貴昭		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	西田 祐介	准教授	審査員	相川 清隆	准教授
	審査員	齋藤 晋	教授			
		村上 修一	教授			
		古賀 昌久	准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Physics of an attractive Fermi gas in antiparallel magnetic fields」と題され、反平行磁場中の引力相互作用するフェルミ気体の物理の解明を目的としており、6章と付録から構成されている。

第1章「Introduction」では、引力相互作用するフェルミ粒子は物理において分野を問わず現れ、引力を強くするとBCS機構による超流動状態から分子のボース・アインシュタイン凝縮へと移り変わることを述べている。このBCS-BECクロスオーバーがフェッシュバハ共鳴を用いて冷却原子系において実現され、また、冷却原子系では人工磁場を印加することも可能であることを述べている。さらに、スピン毎に反対符号を持つ反平行磁場を印加することも可能であることを述べ、反平行磁場中の物理に関する先行研究についてまとめるとともに、反平行磁場中のフェルミ粒子系が磁場中のエキシトン凝縮系やカイラル凝縮系と類似点を持つことを指摘している。また、磁場が動的対称性の破れを促進する現象である磁気触媒効果(magnetic catalysis)についても記述し、最後に本論文の目的と構成について概観している。

第2章「Review of two-dimensional quantum systems」では、本論文の前提知識となる2次元量子系についてレビューしている。まず、2次元の散乱問題について記述し、絶対零度におけるBCS-BECクロスオーバーとスピンインバランスがある場合の相図について解説している。次に、2次元正方格子中のボース・ハバード模型とその絶対零度における相図について記述し、最後に、磁場中のディラック粒子を例にとり磁気触媒効果について解説している。

第3章「Ground-state properties of a two-dimensional spin-balanced Fermi gas」では、スピンインバランスがない場合の2次元フェルミ気体についての研究成果を報告している。まず、平均場近似を用いて熱力学ポテンシャルを導出し、そこから絶対零度における相図を決定することで、真空に加えて超流動相と量子スピンホール絶縁体相が現れること、それらの間は2次相転移であることを明らかにしている。特に、反平行磁場中では、磁気触媒効果によって超流動ギャップが著しく増大されることを示している。また、その他の様々な物理量の計算を行うとともに、超流動相と量子スピンホール絶縁体相との間の2次相転移の普遍クラスが、領域によってXY模型のクラスか希薄ボース気体のクラスになることを示し、ボース・ハバード模型の相図との類似点を指摘している。

第4章「Ground-state phase diagram of a two-dimensional spin-imbalanced Fermi gas」では、スピンインバランスがある場合の2次元フェルミ気体についての研究成果を報告している。まず、弱結合極限において、Fulde-Ferrell (FF)相とLarkin-Ovchinnikov (LO)相とのエネルギーを比較し、FF相の方が安定となることを示している。次に、弱結合極限での相図を平均場近似の範囲で解析的に決定し、化学ポテンシャルとゼーマン場を軸とする平面でFF相が出現すること、FF相と量子ホール絶縁体相との間は化学ポテンシャル方向に2次、ゼーマン場方向に1次相転移となることを示している。さらに、引力を強くすると相図がどのように変化するかを数値的に明らかにし、FF相がある程度の領域を占めることから、冷却原子を用いた実験的実現に向けての可能性を述べている。

第5章「Ground-state phase diagram of a three-dimensional spin-imbalanced Fermi gas」では、スピンインバランスがある場合の3次元フェルミ気体についての研究成果を報告している。まず、弱

結合極限においては平均場近似の範囲で1次元フェルミ気体の問題に帰着できることを示し、その相図には真空と常流動相に加えて超流動相とFF相が現れることを示している。また、集団励起の分散関係を計算し、音波が異方的だが3次元的な分散関係を持つことを示し、長距離秩序が安定に存在できることを結論付けている。

第6章「Summary and outlook」では、これまでの各章で得られた主要な研究成果についてまとめるとともに、有限温度への拡張など今後の研究の方向性について述べている。最後に、本論文の成果が、冷却原子系におけるFFLO状態の研究の発展を促進することへの期待を示すとともに、磁場中のエキシトン凝縮系やカイラル凝縮系といった類似の系へ重要な理解をもたらすことへの期待も述べている。また、付録では各章で用いた計算の詳細を解説している。

以上のように、本論文は、反平行磁場中の引力相互作用するフェルミ気体の物理について、スピニンバランスのない場合やある場合、2次系や3次系など、多面的・包括的に解明したものである。ここで明らかにされた物理的性質は、今後の冷却原子系における研究の発展に寄与するだけでなく、他分野における類似の系にも適用できる可能性もあり、その学術的価値は高く評価できる。従って、本論文は博士（理学）の学位論文として十分に価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。