

論文審査の結果の要旨

氏名 チェン イピン

ボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) は、理想ボース気体、つまり原子間相互作用のないボース粒子系において実現する相転移として、アインシュタインにより予言された。しかし、ボース気体を BEC 転移温度まで冷却するには、一般に原子間相互作用を利用する蒸発冷却法に頼る必要があり、理想ボース気体の BEC 転移の実現は技術的に困難であった。一方、BEC 転移温度付近における理想ボース気体と原子間相互作用のあるボース気体が、それぞれ異なるスケールリング則に従っている（異なる普遍性クラスに属している）ことに理論的な関心が集まっていた。本論文は、フェルミ粒子であるリチウム 6 の原子気体を冷媒として、原子間相互作用を可能な限り抑圧したリチウム 7 のボース気体を冷却し、等温圧縮率が BEC 転移温度付近で従うスケールリング則を、原子間相互作用のあるボース気体と比較した実験的研究についてまとめたものである。

本論文は 9 章からなる。

第 1 章は、イントロダクションであり、これまでの気体原子 BEC の研究の概要、本研究の目的、および本論文の構成について述べられている。

第 2 章では、理想ボース気体、相互作用のあるボース気体、およびスケールリング則の一般論について述べられている。また、理想ボース気体と相互作用のあるボース気体の等温圧縮率が、BEC 転移温度付近でそれぞれ異なるスケールリング則（換算温度の -1 乗および -1.3 乗）に従うことが提示されている。

第 3 章は実験装置の説明であり、レーザー冷却法の原理、原子間相互作用を制御するためのフェッシュバッハ共鳴の概要、吸収イメージング法および光トラップ形状の詳細について述べられている。

第 4 章では、ボース粒子であるリチウム 7 の特定の磁気副準位 ($F=1, m=-1$) の S 波散乱長がフェッシュバッハ共鳴によってゼロとなる磁場を、吸収イメージング法によって測定する実験について述べられている。S 波散乱長がゼロとなる磁場は 850.5 G、このときの S 波散乱長は (0.08 ± 0.15) ボーア半径と測定された。

第 5 章では、相互作用のないリチウム 7 のボース気体の冷媒として働くリチウム 6 のフェルミ気体の存在が、リチウム 7 の光トラップポテンシャルに及ぼす影響について述べられている。リチウム 6 の存在により、リチウム 7 の光トラップ周波数に 1% 程度の変化が表れることが実験的に示されたが、この変化は第 4 章で測定された S 波散乱長の不確かさによる変化より小さく、リチウム 7 のボース気体としての性質に影響はないと結論付けられている。

第 6 章では、吸収イメージング法および飛行時間法を用いた気体の状態方程式および温度の測定手法について述べられている。

第7章では、熱力学的極限においては等価である3つの基本的な統計（マイクロカノニカル、カノニカル、グランドカノニカル）集団と、実際の BEC 実験系との対応関係が議論され、冷媒（リチウム6原子気体）が存在する場合と、冷媒を取り除いた場合において、リチウム7のボース気体の状態方程式に変化がない、つまり本研究の実験系（カノニカル集団）は、これまでの冷媒のない BEC 実験系（マイクロカノニカル集団）と等価であるという実験結果が提示されている。

第8章では、第4章で決定された S 波散乱長 (0.08 ± 0.15) ボーア半径を持つボース気体と、70 ボーア半径の S 波散乱長を持つボース気体の等温圧縮率の温度依存性をそれぞれ測定し、比較する実験について述べられている。双方とも相互作用するボース気体のスケーリング則に従うことが観測され、第2章で提示された異なるスケーリング則の間のクロスオーバーは実験的に確認することはできなかった。

第9章では、結論と今後の展望が述べられている。

理想ボース気体を実現し、理想ボース気体に特徴的なスケーリング則を観測するという当初の目的は達成されなかったが、これまで未知であったリチウム7の磁気副準位 $F=1$, $m=-1$ の S 波散乱長のゼロクロス磁場を初めて測定し、また冷媒であるリチウム6のボース気体に及ぼす影響を緻密な実験によって定量的に評価し、理想ボース気体の条件に可能な限り近い実験系を構築した点には新規性がある。また、今回得られた、理論的予想と相反する実験結果は、ボース気体に従うべきスケーリング則に関する今後の実験的および理論的研究を喚起するものと位置づけられる。

なお、本論文は五神真氏、吉岡孝高氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験および解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、本審査委員会は博士（理学）の学位を授与できると認める。