

論文審査の結果の要旨

氏名 佐 藤 年 裕

本論文は4章からなる。第1章は、序論であり、本研究で展開される有限温度における調和ポテンシャル中での擬2次元希薄 Bose 気体の実験的研究に関するレビューを含め論文の背景と目的が説明されている。

第2章は、本研究で用いられた Projected Gross-Pitaevskii(PGP)方程式の導出と、物理量の計算の方法を説明している。特に、超流動成分を求めるために必要な角速度の表式などを新しく導出している。この PGP 方程式では、クラシカル領域と呼ばれる縮退したエネルギー領域で波動関数を古典場で記述する近似方法を用いるが、その妥当性について考察を加え、完全な量子的な取り扱いである量子モンテカルロ (QMC) 法との比較を行い、粒子の密度分布や波動関数の位相分布の温度変化が定性的に一致し、さらに量子相関を表す相関関数の温度依存性がほぼ定量的にも一致することを明らかにしている。このことからこの方法が超流動状態から常流動状態へ移り変わる温度涼気でも非常によい記述を与えることを明らかにした。PGP 方程式はQMC法では困難である実験系と比較可能な大きな系での有効な方法であるが、従来曖昧であったどのくらい定量的に予言性があるのかに関して、今回の成果は重要な知見を与えるものである。

第3章は、調和ポテンシャル中での擬2次元希薄 Bose 気体がどのように凝縮するかについて PGP 方程式を用いて明らかにしている。閉じこめポテンシャルは一様でないため、系の中心部と周辺では密度が異なり、温度を下げていった場合凝縮は中心部から起こる。このようなポテンシャルの非一様性の効果について詳しく議論している。特に、局所的な相関関数のべきを定義し、そのべきが、いわゆる2次元の超流動相転移を記述するコスタリッツ・サウレス (KT) 機構から予想される $1/4$ の点を境にして位相がそろった領域 (コヒーレント領域) と渦が発生している領域に分かれることを明らかにした。さらに、密度が一様と見なせる場合の超流動転移温度と粒子数密度の関係を用了局所密度近似によってコヒーレント領域の半径 R_c を導き、実際に得られた位相分布の空間的分布とよい一致をしていることを明らかにしている。そして、その半径の温度変化によって中心部分から凝縮の現れる様子を求めている。また、この中心部にコヒーレント領域が現れる温度と実験で用いられた一様系を仮定

した相関関数のべきの振る舞いから決定した転移温度には違いがあることも明らかにしている。

さらに、その凝縮部分のコヒーレンスを示す実験として行われた2つの凝縮擬2次元希薄 Bose 気体を示す干渉パターンのシミュレーションを行い、確かに渦の有無によって干渉パターンに違いが出ることも明らかにしている。

最後に、超流動性を表す量として用いられる微小回転に対する慣性モーメントの変化についても今回の方法で調べて、超流動性が転移点で連続的に出現することを見いだしている。この振る舞いと相関関数のべきの変化が不連続的であったとの違いについて不均一性との関連から議論している。

第4章は、全体のまとめに当てられている。

なお、第2章は川島直輝、第2章は川島直輝・鈴木隆史、加藤康之との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究推進したものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。