

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 山下 耕平

論 文 題 目 強い斥力ポテンシャルが作用する多粒子系の  
気体—固体相転移に対する量子効果の研究

### 論文審査担当者

主 査	名古屋大学大学院理学研究科教授	理学博士	上羽牧夫
委 員	国際基督教大学教養学部教授	理学博士	平島 大
委 員	名古屋大学大学院理学研究科教授	工学博士	和田信雄
委 員	名古屋大学大学院理学研究科教授	博士(理学)	宮崎州正
委 員	名古屋大学基礎理論研究センター准教授	博士(理学)	野中千穂

## 論文審査の結果の要旨

## 別紙 1 - 2

多粒子系の相図に対する量子効果はきわめて重要である。ヘリウムは相互作用が弱い上に原子質量が軽く零点運動が大きいために、原子の局在が妨げられ常圧下では絶対零度まで液体相にとどまる。つまり、量子効果によって固化が抑制されている。一方、古典および量子剛体球に対する数値計算では、量子性が強いほど固化しやすいという結果が得られている。申請者は、この一見矛盾する結果をはじめとして、多粒子系の気体 - 固体相転移に対する量子効果の包括的理解を目指し数値計算を行った。

申請者は、原子間距離の減少とともに冪的に発散する斥力相互作用をする区別できる粒子およびボソンを考察した。この相互作用に引力成分は存在しないので液体相への凝縮の可能性を考える必要はなく、広いパラメータ範囲で気体 - 固体相転移を研究することができる。さらに、この相互作用は極限として剛体球系も含んでいる。この系に対して、拡散モンテカルロ法および経路積分モンテカルロ法を適用し、基底状態および有限温度における相図を計算した。その際、粒子の質量を変化させることによって零点運動の大きさを変化させ、これが相図に与える影響を明らかにした。

はじめに、この系におけるスケーリング則を理論的に調べ、自由エネルギーが有効密度と有効温度の二つの変数で記述され、零点運動には相反する二つの効果があることが明らかとなった。ひとつめは、温度および密度を一定にして質量を軽くすると、有効密度が小さくなる効果であり、これは固化を妨げる働きがある。もうひとつは、質量が軽くなると有効温度が減少する効果であり、これは固化を促進する。剛体球系においては後者のみが存在するが、一般には両者の競合により固化に対する零点エネルギーの効果が決まると予想される。

数値計算の結果、絶対零度では零点運動による有効密度減少の効果のみが見られ、質量が軽い物質ほど高密度で固化し、量子効果によって固化は抑制されることが確かめられた。一方、熱エネルギーが零点エネルギーより大きい有限温度領域で零点エネルギーを大きくすると、有効温度減少の効果が勝り、固化が促進されることが明らかとなった。つまり、熱エネルギーが支配的な古典領域から零点エネルギーが支配的な量子領域へクロスオーバーする中間の領域で、零点運動による固化の促進がみられることが示された。

さらに申請者は、圧力 - 温度相図において、融解圧力曲線に極小が現れることを見出した。これは固体相が気相に比べて高エントロピーの状態にあることを示す。この現象を理解するために、固体相におけるズリ弾性を計算し、相境界近傍でこれが著しく小さくなることを見出した。この結果、固体相で横波フォノンの速度が減少し、エントロピーの相対的な増加をもたらしたと考えられる。

以上のように申請者は、スケーリング則による議論と数値計算によって、有効密度の減少が支配的な領域では量子効果によって固化が抑制され、有効温度の減少が勝る領域では量子効果によって固化が促進される事を示し、量子多粒子系の固体 - 気体相図の統一的理解に大きく寄与した。また、参考論文は、1次元、2次元的に制限された幾何学的条件下でのヘリウムの超流動密度や束縛状態形成を調べたもので、量子多体系についての価値ある研究である。以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。