

課題名 (タイトル) :

変分モンテカルロ法を用いた超流動臨界速度の解析

利用者氏名 : 山本 大輔

所属 : 和光研究所 基幹研究所 古崎物性理論研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

光格子中の冷却ボース気体に対する実験技術の発達により、超流動・モット絶縁体量子相転移といった興味深い量子多体現象が実際に観測できるようになった。近年では、トラップを動かすことで二重極振動を引き起こしたり、光格子を動かしてボース気体に有限な流れを持たせることでボース気体の輸送特性を調べるという試みがなされている。ボース気体は超流動状態にあるとき、散逸のない超流動流を持ち得る。超流動流はその流速がある値に達すると急峻に不安定化し崩壊することが知られており、その値は超流動臨界速度と呼ばれる。超流動臨界速度は実験においても精度良く観測されており、超流動相を調べる上で実験との検証が可能な物理量の一つとして非常に重要である。

2. 具体的な利用内容、計算方法

光格子中のボース気体の臨界速度に対する理論解析は、グロス・ピタエフスキー近似やグッツウィラー近似の範囲で行われており、実際に三次元系においては観測データと定量的な一致を示すことが知られている。しかしながら低次元系においては、強い量子揺らぎのためにこれら一体近似の結果は実際の観測量と大きくずれるため、多体相関を考慮した新たな解析方法が必要となる。そこで我々は二体相関までを考えジャストロウ型の波動関数を用いた変分モンテカルロ法により二次元ボース・ハバード模型の超流動臨界速度の解析を行なった。これは超流動臨界速度に対して一体近似を超えた取り扱いを行うという新たな試みであり、非常に意義深い。さらに、この研究によって超流動流が存在する場合のボース気体に対する変分モンテカルロ法の有効性を示すことができれば、より興味深い、例えば超固

体相の臨界速度の解析などに応用することができるという点でも非常に重要である。

3. 結果

超流動臨界速度の相互作用依存性を得た。変分モンテカルロ法を用いることで多体効果を取り込まれ、一体近似で過剰評価されていた臨界速度の値を修正することに成功した。しかしながら、一般的なジャストロウ型の波動関数を用いた場合の欠点として、Mott 相近傍では状態を上手く記述出来ないということも分かった。本来なら臨界速度の値はMott 相内では0になるべきであるが、変分モンテカルロ法では有限に残ってしまう。これは明らかに仮設した試行関数の問題である。また我々はここで得た知見を応用し、関連するより複雑な系における超流動-絶縁体相転移の研究も行った。

4. まとめ

本研究では、ジャストロウ型の波動関数を用いた変分モンテカルロ法が超流動臨界速度のような応用問題に適用可能かを議論した。結果的に、超流動状態はうまく記述することが出来るものの、絶縁相の領域を正しく記述できないという欠点が明らかになった。

5. 今後の計画・展望

超流動臨界速度は超流動の性質を議論するうえでの最も基本的な物理量の一つであるにもかかわらず、その計算方法は非常に限られている。本研究から、通常のジャストロウ型の試行関数を用いた変分モンテカルロ法では不适当であることが分かった。従って試行関数の改善が今後の課題となる。

平成 24 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

Yamamoto D., Masaki A. and Danshita I.: “Quantum phases of hardcore bosons with long-range interactions on a square lattice”, Phys. Rev. B 86, 054516 (2012)

【国際会議などの予稿集、proceeding】

なし

【国際会議、学会などでの口頭発表】

八木庭涼平, 山本大輔, 段下一平: “ボース・ハバード模型における超流動臨界速度の変分モンテカルロ法による解析”, 日本物理学会第 67 回年次大会, 関西学院大学, 3 月(2012)

【その他】

なし