

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20740194

研究課題名(和文)

非一様ポテンシャル中のフェルミ粒子系における強相関効果

研究課題名(英文) Strong correlation effect in the fermionic particle systems with the non-uniform potential

研究代表者

古賀昌久(KOGA AKIHISA)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：90335373

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：冷却原子系・超流動・量子モンテカルロ法

1. 研究計画の概要

非一様ポテンシャルを持つ粒子系における強相関効果が、物性物理の分野において注目されている。典型例として、遷移金属酸化物におけるヘテロ接合系や閉じ込めポテンシャル中の光格子系が挙げられる。これらの系においては、金属-モット絶縁体や超伝導-モット絶縁体などの複数の量子相からなる共存相やBCS-BECクロスオーバーなど興味深い現象が観測されており、その低温物性が実験的にも理論的にも精力的に調べられている。しかしながら、有限温度の振る舞いや励起状態、さらにはポテンシャルの変化により共存相がどのように時間発展するのかについては、非一様系における強相関効果の理論的な取り扱いが難しく、これまであまり議論されていない。ここでは、動的平均場近似や動的クラスター近似、時間発展密度行列繰り込み群法などの数値的解析を行うことによってこの問題に取り組み、非一様ポテンシャル中の相関粒子系における物性を明らかにすることが本研究の目的である。この目的のため、具体的なテーマを通して強相関粒子系の低温物性について系統的に議論する。

2. 研究の進捗状況

(1)本研究では、局所相関効果を正確に取り入れることのできる動的平均場近似を用いて基底状態、有限温度のふるまいについて解析を行った。特に、引力相互作用を持つ光格子フェルミ粒子系に注目し、これまでに議論されていない超固体状態の可能性について調べた。この超固体状態は、よく知られているS波の超流動状態と、粒子密度波状態が共存している状態のことである。この系における

基底状態について詳細に調べた結果、引力相互作用がある程度大きい時、この超固体状態が安定化されることを明らかにした。また、温度やシステムサイズ、粒子数を変化させた時、どのように超固体状態が安定化されるのかについても調べ、非一様ポテンシャルの重要性について指摘した。

(2)フェルミ原子系における超流動状態の観測の以後、フェルミオン数の異なる粒子数インバランスの系においても超流動状態が観測され、現在フェルミ粒子冷却原子系における超流動状態が精力的に研究されている。本研究では、フェルミ粒子光格子系を取り上げ、超流動状態が粒子数インバランスによってどのように変化するのか詳細に調べ、相図を決定した。また、変分モンテカルロ法を用いて多角的に取り扱い、超固体状態の可能性についても議論した。その結果、弱いサイト間相互作用が超固体状態を安定化させることが分かった。

(3)光格子冷却フェルミ粒子系の物性は、ハバード模型により記述されることが良く知られているが、多成分のハバード模型や局在スピンを持つ近藤格子模型で記述される冷却フェルミ粒子系の実現が期待されており、理想的な格子模型における低温物性が注目されている。本研究では、引力相互作用を持つ周期アンダーソン模型を取り上げ、超流動状態の安定性について調べた。ここでは、連続時間量子モンテカルロ法を用いて有効不純物模型を数値的に解き、超流動状態がどのように近藤状態と競合しているのかについて定量的に議論し、相図を決定した。さらに、調和振動子型閉じ込めポテンシャルの効果についても議論した。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由) 研究計画時には予想していなかった超固体状態の可能性について詳細に議論できたため。さらに計算手法として最近注目されている連続時間量子モンテカルロ法を駆使し、これまでに扱うことのできなかった極低温における超流動相を直接扱うことができるようになったため。

4. 今後の研究の推進方策

これまでに得た知見、数値計算手法を踏まえ、非一様ポテンシャル中におけるフェルミ粒子系の研究を推進する。中でも、光格子フェルミ粒子系において注目されているインバランスした系における FFL0 相の安定性、特に、非一様ポテンシャルによって誘起される角度依存 FFL0 相がどのように出現するか、早急に明らかにする必要がある。この点について集中的に研究を推進する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 19 件)

- ① A. Koga and P. Werner, Superfluid state in the periodic Anderson model with attractive interactions, J. Phys. Soc. Jpn. 79, 114401 1-7 (2010), 査読有
- ② Y. Fujihara, A. Koga and N. Kawakami, Superfluid properties of ultracold fermionic atoms in two-dimensional optical lattices, Phys. Rev. A 81, 063627 1-7 (2010), 査読有
- ③ A. Koga and P. Werner, Polarized Superfluidity in the Imbalanced Attractive Hubbard Model, J. Phys. Soc. Jpn. 79, 064401 1-6 (2010), 査読有
- ④ K. Noda, A. Koga, N. Kawakami, and Th. Pruschke, Ferromagnetism of cold fermions loaded into a decorated square lattice, Phys. Rev. A 80, 063622 1-7 (2009), 査読有
- ⑤ T. Yoshioka, A. Koga, and N. Kawakami, Quantum Phase Transitions in the Hubbard Model on a Triangular Lattice, Phys. Rev. Lett. 103, 036401 1-4 (2009), 査読有

[学会発表] (計 17 件)

- ① 古賀昌久, P. Werner, 光格子フェルミ粒子系における超流動状態の安定性, 2010 年秋季大会 (24aRP-1), 2010/9/24, 大阪府大
- ② 古賀昌久, P. Werne, 光格子フェルミ粒子系における粒子数インバランスの効果,

第 65 回年次大会 (20aTB-13), 2010/3/20, 岡山大

- ③ 藤原祐介, 古賀昌久, 川上則雄, フェルミ原子光格子系におけるトラップ中での超流動状態のノイズ相関, 第 65 回年次大会 (21pPSB-22), 2010/3/21, 岡山大
- ④ 藤原祐介, 古賀昌久, 川上則雄, 二次元フェルミ粒子光格子系における超固体状態の解析, 2009 年秋季大会 (25pZE-3), 2009/9/25, 熊本大
- ⑤ 小山洋太, 古賀昌久, 川上則雄, Philipp Werner, 軌道自由度を有する Hubbard 模型における磁気・軌道秩序に対する軌道間混成の影響, 日本物理学会 第 64 回年次大会 (27aVL-10), 2009/3/27, 立教大