

異なる立体構造を持つ2種類の超固体相の間の相転移

レーザーの定常波によって作られた周期ポテンシャルの中にアルカリ金属原子などの冷却原子気体を閉じ込めた光格子系は、格子形状やポテンシャルの深さ、粒子間の相互作用など、様々なパラメータを制御することができ、理論的な格子模型の低温物性を実験的に検証することのできる理想的な系である。実際、 ^{87}Rb などのボゾン系においては、粒子の遍歴性に起因する超流動性と局在性に起因する固体相の競合が観測されている。相互作用が強い時には、粒子は隣のサイトに移動することができず、それぞれ1つのサイトに局在する状態が実現する。この状態は、遷移金属酸化物中の d 軌道電子における同様の現象にちなんでモット絶縁体と呼ばれている。一方、相互作用が弱い極限では、ボーズ・アインシュタイン凝縮が起こり、超流動性を示す。これら2つの状態が競合することで起こる超流動-モット絶縁体転移は、格子ポテンシャルの深さによって実効的に粒子間の相互作用の大きさを制御することで、2002年に実現されている。

近年では、粒子の局在性と遍歴性が共存する”超固体相”の存在が注目を集めている。相関ボゾン系を記述するハードコア・ボーズ・ハバード模型において、相互作用が強い極限では粒子は局在化し固体(密度波)を形成する一方、相互作用が弱い極限ではBEC超流動状態が起こる。これらの中間領域において、粒子の超流動性と局在性が同時に発現する超固体相の存在が理論的に明らかにされた。最近接相互作用モデルにおいては二次元三角格子と面心立方格子でのみ示されており、格子の形状は超固体相の安定性と深く関連している。一方、冷却ボーズ原子を用いた実験においては純粋な2次元の三角格子を実現することは難しく、三次元的構造を考慮した積層三角格子系において超固体状態の実現可能性を明らかにすることが求められている。

最近、東京工業大学大学院理工学研究科の研究グループは、積層三角格子上のハードコアボゾン系においてクラスター平均場理論と密度行列繰り込み群法を組み合わせた方法により、絶対零度における超固体相の安定性の解析を行った。その結果、2種類の超固体相が安定化することを見出した。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の2014年6月号に掲載された。

これらの2種類の超固体相は、図1に示すように異なる三次元的固体構造を持つ。また、三角格子の面内、層間の相互作用を変化させることにより、これらの超固体相の間の量子相転移が起こる

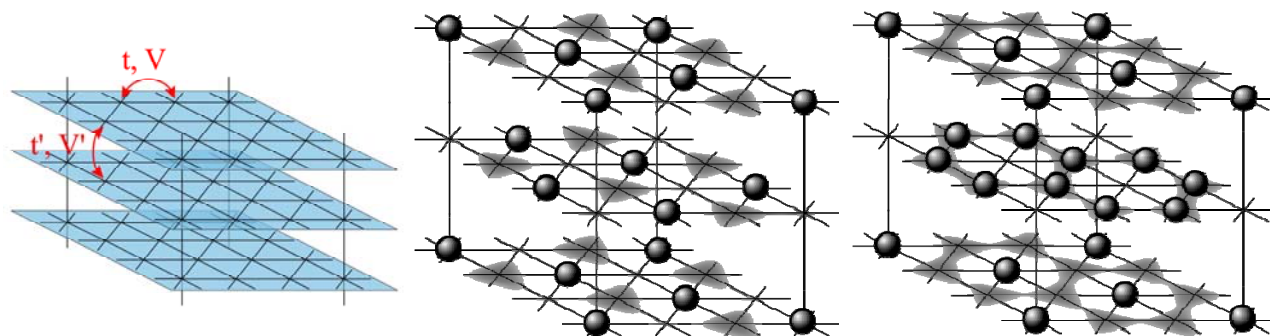


図1. 積層三角格子(左)と、2つの超固体相 SS- α (中央), SS-1/2(右)の3次元構造の模式図

ことを示した。これまでの2次元三角格子における解析によると、超固体相はハーフフィリングにおいて実現しなかったが、積層三角格子系においては、偶数番目の層の粒子の一部が奇数番目の層に移動するセルフドーピングよりハーフフィリングを保ち、超固体相が安定化することが明らかとなった。

本研究においては、三角格子を光格子系で実現する際に排除することができない層間の効果に注目し、超固体相が広いパラメタ領域において安定であることを明らかにした。さらに、異なる3次元構造をもつ超固体相の間の量子相転移という新しい現象の存在を示した。本研究では粒子間の相互作用が斥力の時のみを扱っているが、引力相互作用のモデルはグラファイト表面上の ^4He 系のモデルとなっており、今後の研究が期待される。

原論文

[Supersolid states in a hard-core Bose-Hubbard model on a layered triangular lattice](#)

[Ryota Suzuki and Akihisa Koga, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 064003 \(2014\).](#)

問合せ先：鈴木亮太（東京工業大学大学院理工学研究科）
古賀昌久（東京工業大学大学院理工学研究科）