

浮揚ナノ粒子における量子スクイーミングの実現

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻
相川清隆

1. はじめに

集光されたレーザーを使って単一の微粒子を捕捉する技術は、光ピンセットと呼ばれ、1980年代から、生物・化学の幅広い分野において、液中・気中の微粒子の精密な制御に用いられてきた。しかし、この技術を真空中で利用しようとする、真空引きの際に粒子が消失することが妨げとなり、真空下において微粒子を捕捉することは、最近になるまで不可能であった。長年の研究により、この粒子の消失は、真空下におけるわずかなレーザーの吸収による溶融・蒸発と、光子の散乱に伴う反跳が高いエネルギーを与え続

けることによる重心運動の加熱が原因であることが突き止められた。この知見に基づき、光吸収の極めて少ない高純度ガラスからなる、直径100~300nm程度の粒子（以降、ナノ粒子）の3方向の運動を、常に観測し続け、フィードバック力を与えて3方向の全ての運動を冷却し続ける手法により、2010年頃から高真空下でナノ粒子を保持し続けることが可能となってきた^{1,2)}。

さらに、ごく最近になり、ナノ粒子の運動をレーザーによるポテンシャルの量子基底状態（実際には、占有数が1未満の状態）へと冷却することも可能となった(図1)³⁻⁷⁾。これにより、原子・分子よりはるかに大きな巨視的物体の運動における、量子的な振る舞いを観測・研究する可能性が拓かれ、世界的に急速に研究が進展しつつある。とはいえ、これまでは十分に重心運動の温度が低い古典的な運動状態を実現していたに留まっていた。本稿では、ナノ粒子の運動の揺らぎを量子基底状態の揺らぎより小さくする量子スクイーミングを初めて実現した研究⁸⁾について解説する。この成果は、浮揚させた巨視的物体において、初めて非古典的な運動状態を実現したものであり、浮揚ナノ粒子系を利用した量子的な振る舞いに関する研究の端緒となると期待される。

2. 浮揚ナノ粒子系の特長

真空中に浮揚させたナノ粒子は、新しい実験系ではあるものの、既存の様々な実験系と深い関わりをもつ。先述のように、光ピンセットによる微粒子の捕捉技術を真空中に移行したものとみることができ、オプトメカニクスと呼ばれる分野で扱われてきた、より大きな機械的振動子、たとえば重力波検出器で利用される懸架鏡や、数10 μm 程度のカンチレバーなどに類似した振動子の一種とも考えることができる。また、粒子をレーザー光で捕捉するという観点からは、レーザー冷却された中性原子・分子に対して発達してきた様々な技術や知見が利用できるはずである。他のオプトメカニクスと比べたときのナノ粒子のユニークな特長は、基板等の物体への接触がなく、真空中に完全に隔離されていることから、壊れやすい量子状態を生成しやすいこと、また量子状態を使った様々な研究をしやすきことが上げられる。これは、冷却原子気体において、種々の量子的な振る舞いが明瞭に観測さ

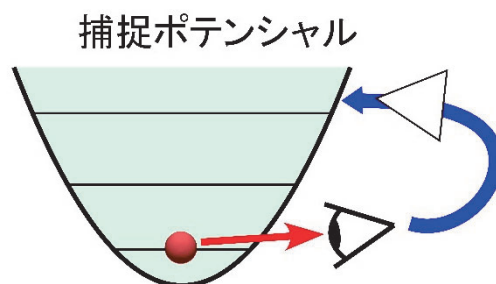


図1 連続フィードバック制御により量子基底状態へ冷却されたナノ粒子