

## イオン・原子混合系における極低温衝突

土師 慎 祐 〈電気通信大学レーザー新世代研究センター haze@ils.uec.ac.jp〉

齋藤 了 一 〈電気通信大学レーザー新世代研究センター r\_saito@ils.uec.ac.jp〉

向山 敬 〈大阪大学大学院基礎工学研究科 muka@ee.es.osaka-u.ac.jp〉

“異なる二つの量子系を結合する”とどうなるか、というトピックが今注目を集めている。

実験物理分野における近年の大きな成果の一つは、物質の状態を量子レベルでコントロールできるようになったことではないだろうか。これまでに、イオンや原子などの単一粒子はもちろん、最近では超伝導素子、マクロなスケールの機械振動子といった巨視的な物質に至るまで、その状態を自在に操ることができる時代になった。さらに今日ではそういった個々の量子系を結合させた、いわゆる“ハイブリッド量子系”に関する研究に大きな関心が寄せられている。例えば、長いコヒーレンス時間を持つ固体中のスピンは優れた量子メモリとして利用できるし、フォトン理想的な量子情報の運び手として機能する。これら相補的な系を組み合わせることで、全体として様々な機能をあわせ持つ量子デバイスを構築しようというわけである。もちろんその先には、大規模な量子情報処理システムの実現が大きな目標としてある。

こういった流れの中、ハイブリッド系の新たな可能性として最近注目されているのが、冷却イオンと中性原子気体を用いた「極低温イオン・原子混合系」である。冷却イオンと原子気体はともに理想的な孤立量子系とみなせるが、その温度（エネルギー）領域、相互作用の強さなどが比較的近いスケールにあり、相性の良い組み合わせと言える。特に、イオン・原子混合系では原子気体に電荷という自由度を組み込むことができ、原子気体のみでは実現できな

かった凝縮体中の電荷不純物や固体系などの新奇な物質のシミュレーションへの応用が可能となる。さらに、イオン・原子間の相互作用には多様な反応性過程も含まれるため、このような系は極低温化学反応を調べるのに適した良いモデル系とも言える。

これまでの冷却イオンや冷却原子に関する研究では、真空装置中でのトラッピングやレーザー冷却などの基本となる実験技術を共有し、量子シミュレーション、精密測定といった同じ研究分野で応用されながらも直接的な結合が行われる機会がなかった。しかしながら最近になってトラップ・冷却技術の発展に伴い、両者の混合の実現が各所から報告されるようになってきた。

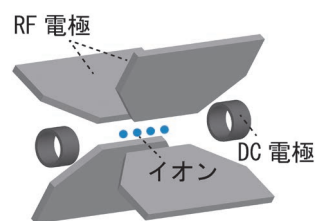
著者らのグループにおいても、このようなイオン・原子の混合系に着目し研究を行っており、mK 温度領域でのイオン・原子間衝突の観測に成功した。本研究ではイオンを捕獲するためのイオントラップと、原子を捕獲するための光双極子トラップを融合することでハイブリッドトラップを構築し、イオンと原子の混合気体を生成している。また最近、ハイブリッドトラップ中での電荷交換反応の検出に成功し、その反応断面積を詳しく調べることができた。

こういったイオンと原子のハイブリッドトラップ系に関する研究は近年ようやく本格化したということもあり、未解明な部分が多く残されているのが現状である。これからエキサイティングな研究成果が飛び出す可能性もあり、今後の発展が期待されるフィールドであるともいえる。

### —Keywords—

#### イオントラップ：

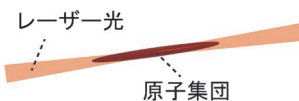
RF 周波数の振動電場と DC 電場により、荷電粒子をトラップする装置。例として、4つの RF 電極と2つの DC 電極から構成されるリニア型イオントラップが挙げられる。



リニア型イオントラップの模式図。

#### 光双極子トラップ：

原子に対してレーザー光を照射したときに誘起されるシュタルクシフトを利用し、中性原子気体をトラップする技法。原子の共鳴に対して赤方離調したレーザー光を用いた場合は光強度が最大となるビームスポットに原子が集まる。また、ビームスポット位置を変位させることで原子集団を空間的に移動させることができる。この手法は“光ピンセット”と呼ばれる。



光双極子トラップにより補足された原子集団。