

ヘリウム液滴とサイズ選別された コバルトクラスターイオンとの低エネルギー衝突

(株)コンポン研¹、豊田工大²) 尾高 英穂¹、市橋 正彦²

Low-energy collision between helium droplets and size-selected cobalt cluster ions

(Genesis Res. Inst., Inc.¹, Toyota Tech. Inst.²) Hideho Odaka¹, Masahiko Ichihashi²

[序]

低エネルギーでのクラスター-クラスター衝突は多成分クラスターを生成する手法の一つである。多成分クラスターはサイズや混合様式に応じて興味深い物理的、化学的性質を示し、触媒などへの応用が期待されている。また、このクラスター複合体生成の手法を用いて、脱離エネルギーが小さい希ガスクラスターと複合させることで内部エネルギーを低下させ、高い分解能での分光測定が可能となることも期待される。一方、衝突、複合化、原子配列の組み替え、および原子の蒸発といった複雑な過程を経るクラスター複合体の生成メカニズムは理論的、実験的に研究されてきたものの、その詳細は明らかにはなっていない。我々はこのようなクラスター複合体の生成メカニズムを明らかにするとともに、高分解能分光測定を目指して、中性のクラスターと質量選別されたクラスターイオンとを低エネルギーで合流衝突させることが可能な装置を開発した。今回は極低温に冷却したパルスバルブからヘリウム液滴を生成し、コバルトクラスターイオンとの衝突によってヘリウム液滴に取り込まれたクラスター複合体の生成に成功したので、その結果を報告する。

[実験]

実験装置の概要を図 1 に示す。コバルトクラスターイオンはレーザー蒸発法により生成し、ヘリウム気体を満たした気体室を通して並進エネルギーの分布を狭めた後に、四重極質量選別器で特定の質量のクラスターイオンを選別した。質量選別した金属クラスターイオンのビームを、四重極イオンバンダーを用いて合流衝突を行うための八極子イオンガイド（衝突領域）へと導いた。一方、ヘリウム液滴は 22 K に冷却されたパルスバルブからヘリウム気体（純度 > 99.99995 %）を押し圧 18 bar、パルス幅 140 μ s で噴出させることで生成した。ヘリウム液滴のビームはスキマーによって切り出された後に衝突領域へ導入され

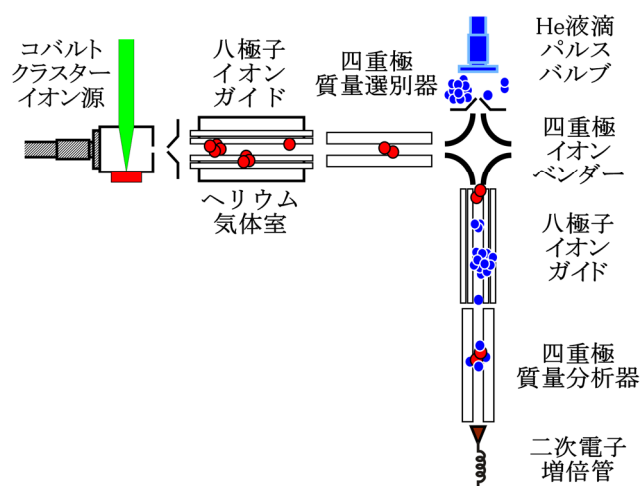


図 1 実験装置の概要図。

た。ヘリウム液滴のビームはスキマーによって切り出された後に衝突領域へ導入され

た。2つのビームの相対速度は衝突領域に印加された直流電圧によって制御した。合流衝突により生成したクラスター複合体をもう一つの四重極質量分析器で質量分析し、二次電子増倍管で検出した。

[結果と考察]

Co_5^+ とヘリウム液滴を 0.87 km/s の相対速度 (v_{rel}) で衝突させて得られたクラスター複合体 Co_5^+He_n の質量スペクトルを図 2 に示す。ここでは Co_5^+He_n の強度は n の増加とともに減少するが、30 個程度までのヘリウム原子の付着が確認された。ノズル噴出の条件から、ヘリウム液滴の平均サイズは ~ 1580 と見積もられるが、衝突によって生じた内部エネルギーを緩和するために大部分のヘリウム原子が蒸発したと考えられる。

Co_m^+ ($m = 2 - 5$) とヘリウム液滴を衝突させ、得られたクラスター複合体の収率と相対速度との関係を図 3 に示す。いずれの場合も相対速度の増加とともにクラスター複合体の強度は単調に減少した。相対速度に対する収率の変化の様子から、複合体生成に至る過程は次のように考えられる。 $v_{\text{rel}} \leq 0.1 \text{ km/s}$ ではクラスターイオンとヘリウム液滴との電荷-誘起双極子相互作用が支配的であり、相対速度の増加とともに収率が急速に減少する。一方、 $v_{\text{rel}} \geq 0.1 \text{ km/s}$ は剛体球モデルが成り立つ領域であると考えられる。また、 $v_{\text{rel}} \geq 1.0 \text{ km/s}$ の領域では、衝突径数が多い場合にコバルトクラスターイオンがヘリウム液滴に衝突しても、その内部で停止しないため、液滴に取り込まれる確率が相対速度とともに低下していくと推測される。一方、コバルトクラスターイオンのサイズによる相対速度依存性の違いは、その幾何構造、あるいは、電子構造の違いによるものと推測される。

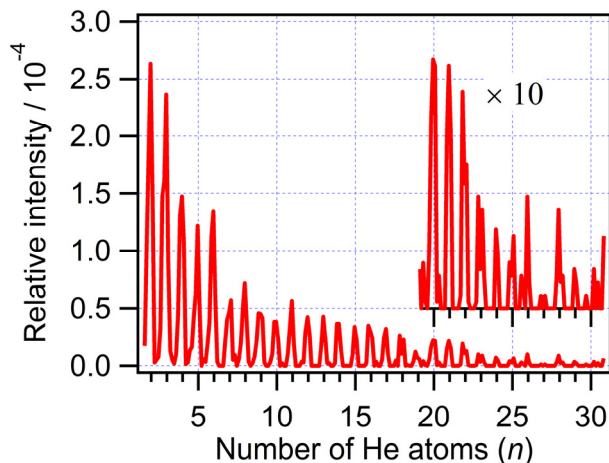


図 2 Co_5^+ とヘリウム液滴の衝突により生成したクラスター複合体 Co_5^+He_n の質量スペクトル。縦軸は未反応の Co_5^+ に対する強度を表す。衝突時の相対速度は 0.87 km/s 。

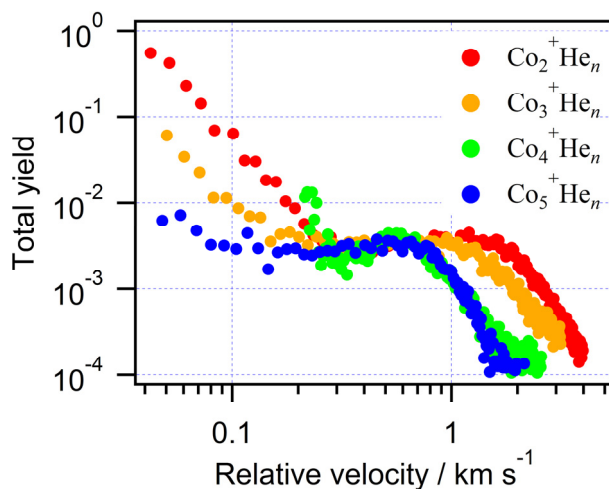


図 3 Co_m^+ ($m = 2 - 5$) とヘリウム液滴の衝突により得られたクラスター複合体 Co_m^+He_n ($n \geq 1$) の収率と、相対速度の関係。