

氏 名	間 嶋 拓 也
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2384 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 原 子 核 工 学 専 攻
学位論文題目	有限多体系 (C_{60} 分子) における MeV イオン衝突励起とその緩和過程に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 伊 藤 秋 男 教 授 今 西 信 嗣 教 授 福 山 淳

論 文 内 容 の 要 旨

高速イオンと凝縮系の相互作用に関する微視的・一次的な情報を得るという観点から、有限多体系である C_{60} 分子を新たな標的として導入し、MeV イオン衝突励起によるエネルギー付与・緩和過程およびそれに伴う C_{60} 分解過程についての実験的研究を行っている。本論文はその成果をまとめたものであり、7 章からなる。

第 1 章は序論である。まず、高速イオン衝突研究の一般的な重要性とその物理的な興味について述べている。次に、イオン衝突法を用いることで微視的・一時的な情報が得られること、より正確な理論的評価が可能であること等、有限多体系を高速イオン衝突の標的として用いる本質的な利点について論じている。最後に本論文の目的と概要について述べている。

第 2 章では、本論文で共通に用いられている実験装置や測定方法を中心に説明を行っている。特に、本研究における中心的な測定法である飛行時間 (TOF) 測定法について詳述し、イオン衝突で生成する C_{60} 分解イオン片の質量電荷比の分布を高分解能測定することが可能であることを示している。最後に、様々な衝突条件で得られた TOF スペクトルについて紹介し、その基本的な傾向を論じている。

第 3 章では、 2.0MeV Li^{q+} , Si^{q+} ($q = 0 - 4$) の電荷変換衝突における C_{60} 分解プロファイルについて系統的な測定を行っている。同じ入射イオンであっても衝突径数に依って現象の描像が大きく変化する様態を詳細に検証している。また、 C_{60} 分子標的の気体密度を見積もることにより、各電荷変換衝突における一連の分解イオン片の生成断面積を導出している。更に、 C_{60} フラーレン構造の内部透過においては「準平衡電荷分布」が達成される一方、遠隔衝突での電荷変換断面積は N_2 気体標的と同様の分布を持つことを明らかにし、固体的特徴と気体的特徴の二面性を持つことを指摘している。

第 4 章では、TOF 測定と電荷変換衝突の情報に加え、放出電子個数との三重同時測定技術を確立している。この方法により、衝突初期における一時的な高電離・高励起状態の親イオン C_{60}^{+***} についての定量的な情報を世界に先駆けて得ることに成功している。これらは有限多体系粒子の分解描像を決定付ける重要なパラメータであり、本研究のような高速・低価数イオン衝突による C_{60} 分解は、内部励起エネルギーの大小が主要な因子であることを実証している。また、本方法で得られる二次電子個数分布は C_{60} 分子の多重電離確率に対応するものであり、本研究により初めて得られた極めて重要な成果のひとつである。特に、多重電離確率の分布は巨大分子特有の構造を持つことを見出している。また、局所電子密度法によるエネルギー付与計算を行い、実験値との比較を行うことによってこの確率分的に一般的な特徴であることを見出している。最後に、電子的エネルギー付与の様々は自由度への分配を考慮したモデル計算や統計的エネルギー付与モデルによる理論的な検証も行っており、実験で得られた分布を精度良く再現することに成功している。

第 5 章では、 $0.2 - 6.0\text{MeV Li}^{q+}$, Au^{q+} ($q = 0 - 3$) を入射粒子として用いることにより、核的阻止能 (直接振動励起) の寄与について議論を行っている。分解プロファイルの入射エネルギー依存性から、多重分解において核的阻止能が重要な寄与をすることを明らかにしている。特に、非常に低い電離状態においても多重分解が容易に引き起こされることを見出しており、高速領域における新しい分解機構として直接振動励起分解機構の描像を提唱している。

第6章では、0.2-6.0MeVのLi, O, Siイオン入射におけるC₆₀分解イオン片の運動エネルギー分布を得ている。実験的な改良を加えることにより分解能を大幅に向上させることに成功しており、従来法では観測不能であった多くの新規な知見を得ている。特にC₁⁺の運動エネルギー分布が特徴的な二重構造を持つことを初めて見出している。また、全てのイオン種・入射速度に対して平均運動エネルギーが電子的阻止能と良い相関を持つことを示し、これがクーロン斥力によるクーロン爆発の描像で説明できることを示している。更に、クーロン爆発モデルに基づいて定量的計算を行い、多重分解の描像として、衝突直後のC₆₀分子はクーロン斥力により膨張が進行し、約1.2倍の半径まで膨張した時点で最終的にクーロン爆発するという新たな分解機構を提唱している。

第7章は総括であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高速イオンと有限多体系との衝突相互作用に関する微視的かつ直接的な知見を得ることを目的に孤立C₆₀分子の多重電離・励起・電荷変換などの様々な衝突過程と、それに伴う多重分解などのエネルギー緩和過程に関する包括的な実験的研究の成果をまとめたものであり、得られた成果は以下のとおりである。

- 1) MeV領域の高速イオン衝突により生成される二次イオンC_n⁺ (n=1~60)、二次電子及び散乱イオンに対する3粒子同時測定法の技術を確立し、これら粒子の発生機構の相関関係について詳細かつ定量的な一連の知見を得ることに成功している。
- 2) 放出二次電子の個数分布測定によって過渡的な高電離・高励起状態にあるC₆₀イオンの価数を正確に決定し、数十電子数にわたる多重電離確率を得ることに世界に先駆けて成功している。更に、多重電離確率分布は2成分から構成されることを見出し、それぞれ原子の性質と凝縮系特有の性質に起因することについて考察している。局所電子密度法による計算により、衝突径数に依存したエネルギー付与量が支配的決定要因であることを理論的に明らかにしている。
- 3) 種々の入射イオン(H⁺, He⁺, Si⁽¹⁻⁴⁾⁺, Au²⁺)を用いて、電子系へのエネルギー付与のみならず核的エネルギー付与の重要性を詳細に検討し、特に金イオン衝突において顕著な核的衝突効果(直接振動励起)の存在を見出し、数子の電子放出過程でもC₆₀分子の多重分解が誘発されることを実験的に明らかにしている。
- 4) 分解イオンの運動エネルギーを多数のクラスターサイズにわたって高精度に測定し、電子的阻止能との著しい相関関係を見出している。特に、C₁⁺イオンは二重構造のエネルギー分布を持つことを本研究によって初めて見出し、多重分解機構の詳細を明らかにしている。
- 5) 荷電変換衝突後のイオン価数および散乱角度に対する同時測定により、特定の衝突計数で起こるイベントを選択的に取り出すことによって、入射イオンによる電子保護及び損失過程の如何に依らずC₆₀分子が受ける内部励起エネルギーが同等であることを実証すると共に、衝突直後の高励起C₆₀分子の膨張と膨張過程におけるクーロン爆発による分解という、有限多体系特有と見られる分解機構を新規に提唱している。

以上、本論文は、有限多体系であるC₆₀分子を用い、高速イオン衝突による凝縮系物質への核的並びに電子的エネルギー付与過程とその緩和過程に関する詳細を実験的に明らかにしたもので、得られた成果は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年2月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行なった結果、合格と認めた。