

静電型イオンビームトラップを用いた

ベンゼンカチオンの再帰蛍光の測定

楠田淳之介, 山佐一樹, 福崎利仁,

間嶋拓也, 今井誠, 土田秀次*, 斉藤学*

京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻

*京都大学大学院工学研究科附属量子理工学教育研究センター

イオンビームトラップ内に蓄積したベンゼンカチオンからの蛍光を直接観測した。解離と再帰蛍光の速度定数や内部エネルギーから、再帰蛍光収量のモデル計算をして測定結果と比較することで観測した蛍光が再帰蛍光である可能性を考察した。

1. Introduction

宇宙空間のような孤立系では周囲との相互作用がないため、光吸収や電子衝撃などにより分子はまず励起状態の電子配置に遷移する。その後、電子配置が基底状態に戻る一方で、与えられた励起エネルギーは振動状態の励起エネルギーに分配される。この遷移を内部転換という。孤立系において、内部転換後の振動励起状態からエネルギーを失う過程が主に3つ考えられている。1つ目は、振動励起状態にある分子が赤外線を放出して1振動状態ずつ脱励起してエネルギーを失う赤外放射過程である。2つ目は、分子の解離や電子脱離である。これは、分子の励起エネルギーが解離や電子脱離の閾値より大きい場合にのみ起こる。3つ目は孤立励起分子の新たな冷却過程として1988年にLégerらによって提唱された再帰蛍光放出という過程である[1]。内部転換した分子が逆内部転換によって再び励起状態の電子配置に戻り、その後放出する蛍光を再帰蛍光という。これまでに多環芳香族炭化水素イオン[2]や炭素クラスターイオン[3]について再帰蛍光による冷却過程が報告されており、炭素クラスターイオンに関しては、再帰蛍光からの光が直接観測されている[4]。当研究室は、静電型イオンビームトラップに蓄積したナフタレンカチオン ($C_{10}H_8^+$) から放出された再帰蛍光を観測することに成功した[5]。本研究では同じ多環芳香族炭化水素イオンであるベンゼンカチオンからの再帰蛍光を観測することを目的とした。

2. Experimental

図1に実験装置の概要を示す。電子衝撃型イオン源で生成したベンゼンカチオンを1.2 kVで加速し、静電チョッパーでパルス化する。このパルスビームを45度電磁石で質量電荷比選別し、静電型イオンビームトラップ内に導入する。トラップ後方の電極には電圧が印加されており、ビームはこの電圧によって反射される。入り口側の電極にはビーム導入後に電圧が印加され、ビームは電極間を往復運動してトラップ内に蓄積され

る。ビームのパルス幅はビームがトラップ内を1往復する時間に設定されている。トラップ中央側面に取り付けた光電子増倍管 (PMT) とバンドパスフィルターを用いて測定を行う。ビームをチョップする信号をスタート信号として、マルチチャンネルスケーラー (MCS) で光子数の時間変化を記録する。トラップ中ビームの解離によって生成した中性粒子は電場の影響を受けないため、トラップ外に排出される。中性粒子の時間変化をトラップ後方に設置した MCP で検出し、光子と同時に MCS に記録する。再帰蛍光の波長は、ベンゼンカチオンの第2電子励起状態と電子基底状態のエネルギー差に相当する 450 nm 付近の値と考えられる。今回の測定ではガラスフィルターを用いて 360-580 nm の波長範囲で光子を測定した。

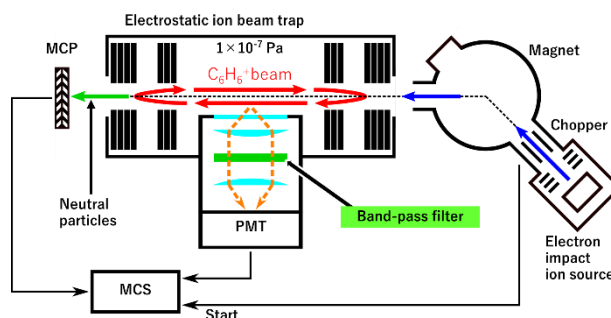


図 1. 実験装置概略図

3. Results

図 2 にガラスフィルターを用いた測定結果と、解離と再帰蛍光の速度定数を用いて計算したモデルの比較を示す。黒で示してあるのは測定結果であり、赤が計算したモデルである。図 2 を見ると減衰の時間依存性が測定結果とモデルでおおむね一致している。また内部転換を経ずに放出される自発放射の蛍光は 1 μ s 以下の速い時間スケールをもつ。これらのことから今回の測定された光子はベンゼンカチオンの再帰蛍光によるものであると考えられる。

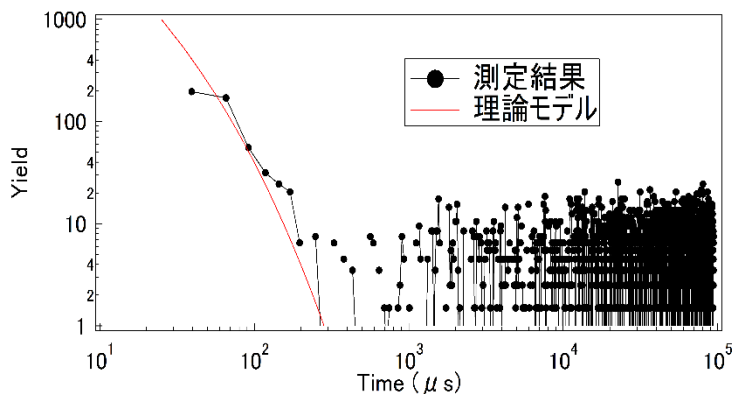


図 2. 光子測定結果

- [1] A. Léger et al., Phys. Rev. Lett. 60, 921 (1988).
- [2] S. Martin et al., Phys. Rev. Lett. 110, 063003 (2013).
- [3] G. Ito et al., Phys. Rev. Lett. 110, 183001 (2014).
- [4] Y. Ebara et al., Phys. Rev. Lett. 117, 133004 (2016).
- [5] 久保田啓嗣, 京都大学大学院工学研究科, 令和元年度修士論文