

静電型イオントラップを使った酸素負イオンの電子脱離断面積の測定

(環境計測) 臨 泰斗

1. はじめに

本研究では静電型イオントラップを用いて、酸素負イオンの電子脱離断面積の測定を行うことを目的としている。従来、本研究室では正イオンの電子捕獲実験を研究している。本研究が負イオン実験の初の試みである。静電型イオントラップを電子脱離断面積測定に用いる利点として、電子励起状態の異なった生成負イオンも、励起寿命が短いものは蓄積中に基底状態に戻るため、目的イオンを基底状態に揃えて実験することができる。またトラップ内のイオンの往復から実質的な標的ガス長が長くなるので、断面積の小さな反応でも測定可能な事が挙げられる。本研究はトラップ内の蓄積負イオンの減衰率から負イオンの寿命を測定し、電子脱離断面積を求める。蓄積された負イオンの減衰は、標的ガスとの衝突による電子脱離反応による中性化、あるいは弾性散乱によってトラップ軌道から外れることによって生じる。シミュレーションを用いて弾性散乱断面積の見積りを算出する事により、電子脱離断面積の値を決定した。本実験では、1.2 keVのO⁻イオンと標的ガス(H₂O)との寿命測定を行った。弾性散乱断面積値の比較のために、実験値から電子捕獲断面積の推定できる、1.2 keVのO⁺イオンの実験と結果も記述する。

2. 実験

電子衝撃型イオン源でガス状のH₂Oを電子で叩き、生成した様々なイオン種を静電的に加速させ、45°分析電磁石で質量分析し、目的の1.2 keVのO⁻イオンの蓄積実験を行った。トラップ内には標的ガス(H₂O)が精密バルブを用いて導入されており、トラップ内真空度は電離真空計で計測した。内部ビーム量の蓄積時間に対する変化はトラップ外においたマイクロチャンネルプレート(MCP)検出器を用いて測定する。MCP検出器ではトラップから逃れてきた中性粒子数をカウントする。中性粒子数は内部ビーム量に依存するので減衰を知ることができる。それらは(1)式に従う。

$$I(t) = I(0) \exp\{-n(\sigma_{el} + \sigma_{de})vt\} \quad (1)$$

O⁻ビームをトラップ内に入射した直後を $t=0$ とし、時刻 t における内部ビーム量を $I(t)$ とする。衝突電子脱離による中性化の確率を断面積 σ_{de} 、弾性散乱によって軌道から外れる確率を断面積 σ_{el} とする。トラップ内のガス密度を n 、O⁻ビームの速度を v とする。(1)式より内部ビーム量 $I(t)$ が $1/e$ になるまでの時間を寿命を τ とすると

$$\tau = \frac{1}{n(\sigma_{de} + \sigma_{el})} \quad (2)$$

となる。イオンの速度と真空度を決めれば、(2)式から全衝突反応断面積が算出できる。

弾性散乱断面積 σ_{el} の見積もりは酸素原子の半径を0.73 Å、水の分子の半径を2.34 Åとした

剛体球散乱の断面積を用いて、SIMION8.0上でのシミュレーション¹⁾によって算出した。この見積もりはイオントラップ内で運動するイオンの軌道を、残留ガスとの剛体球散乱の影響も含めてシミュレーションするものである。シミュレーションより算出した弾性散乱断面積 σ_{el} の値は、 $3.0 \times 10^{-15} \text{ cm}^2$ であった。算出された値の確からしさの検証に、上記と同様の条件で1.2 keVの O^+ ビームについても蓄積実験を行った。

3. 結果と考察

図は蓄積イオンの測定結果を示した。横軸は時間を、縦軸はMCPで検出された中性粒子のカウントを表している。図の十字(+)記号は $\text{O}^- + \text{H}_2\text{O}$ 、白丸(O)記号は $\text{O}^+ + \text{H}_2\text{O}$ の結果である。図1の実線は寿命の決定の為、各データの値を50 msから250msの範囲で指数関数を用いてフィッティングしたものである。0 msから49 msのデータにはトラップ装置に依存したイオンの減衰が存在する²⁾。

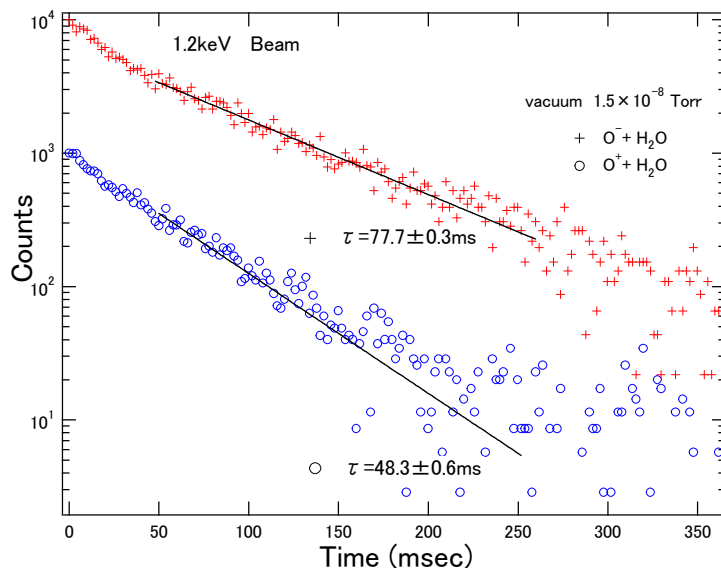


図 蓄積イオンの寿命

これらは各イオンの寿命より十分に短い時間で消えてしまう。よって上記の範囲でフィッティングしたものが、各イオンの寿命となる。トラップ内のバックグラウンドガスの量は導入したガス量に比べて無視できる程度としている。フィッティングの結果から $(\sigma_{el} + \sigma_{de})$ の値は、 O^- が $(4.4 \pm 0.2) \times 10^{-15} \text{ cm}^2$ 、 O^+ が $(7.1 \pm 0.1) \times 10^{-15} \text{ cm}^2$ であった。

正イオンの寿命測定結果とシミュレーションから得られた O^+ の電子捕獲断面積は $(4.1 \pm 0.1) \times 10^{-15} \text{ cm}^2$ である。これは0.85keVの実験値³⁾ $(3.1 \pm 1.1) \times 10^{-15} \text{ cm}^2$ と30%程度の違いで見積もられている。電子脱離断面積 σ_{de} の値はシミュレーションを用いて $(1.4 \pm 0.2) \times 10^{-15} \text{ cm}^2$ と得られた。

参考文献

- 1) 後藤佳津也 : 「静電トラップ内における弾性散乱衝突のシミュレーションと評価」 (京都府立大学 人間環境学部 環境情報学科 卒業論文 2009)
- 2) 横田敦 : 「静電型イオントラップ内のビーム軌道に関する研究」 (京都府立大学大学院 人間環境科学研究科 環境情報学専攻 修士論文 2006)
- 3) B G Lindsay, R Rejoub, D R Sieglaff and R F Stebbings. J. Phys. B 34(2001) 2159-2165