

静電型イオントラップを用いた 1S_0 準安定状態の Ar^{2+} イオンの放射寿命測定

(環境計測学)池辺圭太

1. はじめに

準安定状態イオンの放射寿命は、天体物理学やプラズマ物理学等における輝線スペクトルに関する研究に用いられ、また原子や分子の構造の解明についても価値のある情報である。本研究室ではこれまでに開発した静電型イオントラップを用いて、 Kr^{2+} イオンの 1S_0 準安定状態から 3P_1 基底状態への放射寿命の測定を行い、成功している¹⁾。そこで本研究では、同じ希ガス系列で同様の電子配置の 1S_0 準安定状態にある Ar^{2+} イオンの放射寿命測定を静電型イオントラップを用いて行った。

1S_0 準安定状態からの遷移は、図1のように光子放射波長 311 nm の磁気双極子遷移(M1)である 3P_1 への遷移と、光子放射波長 519 nm の電気四重極遷移(E2)である 1D_2 への遷移があるが、 3P_1 への遷移のほうが崩壊比が大きい。そこで、 3P_1 への遷移の際の放出光子数の時間変化を測定することで 1S_0 準安定状態の 3P_1 への放射寿命を求めた。

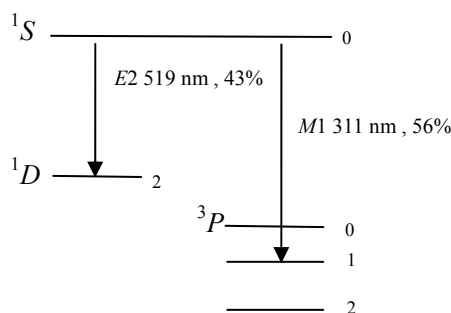


図1 遷移図

2. 実験装置

目的の波長(311 nm)を検出するために、バンドパスフィルター(透過波長: 312 ± 4 nm, 透過率: 69%, 朝日分光株式会社製)によって、分光する方法を用いた。以下に実験方法の概略を述べる。

電子衝撃型イオン源によって Ar^{2+} のイオンビームを生成する。静電デフレクターを用いてこのイオンビームをパルス化し、マグネットによって質量分離する。

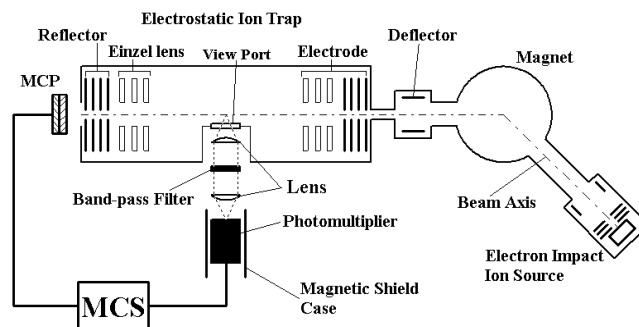


図2 装置概略図

このパルスビームを、静電型トラップに入射し、電場によって閉じ込めることでトラップ内にイオンを蓄積する。蓄積されたイオンの中には準安定状態(1S_0)のイオンが存在する。このイオンが基底状態(3P_1)に遷移する際に発生する光子を、図のように2枚のレンズによって集光する。この時、2枚のレンズ間に上述のバンドパスフィルターを設置することで、 Ar^{2+} の 1S_0 から 3P_1 への放射光子だけを、フォトマルで検出する。フォトマルからの信号を MCS (Multi Channel Scaler) で計数することで、光子数の時間変化を得ることができる。この測定を一定回数繰り返し、記録された光子数の時間変化から放射寿命を求める。

ただし、このようにして求められた値に対しては、トラップ内のイオンと残留ガスとの衝突による蓄積イオン数の減衰の補正をする必要がある。トラップ内の蓄積イオン数と残留ガスとの衝突によって生成した中性粒子数は比例する²⁾。そこで、トラップ後方に設置した MCP (Micro Channel Plate) でトラップから逃れてくる中性粒子数の時間変化を測定した。これから求められる蓄積イオンの寿命を τ_{beam} とすると、目的の放射寿命 τ_{photo} は、 $1/\tau_{\text{photo}} = 1/\tau_{\text{meas}} - 1/\tau_{\text{beam}}$ である。ここで、 τ_{meas} は光子測定で得られた寿命である。この関係式によって補正を行う。

3. 結果

実験条件(ビーム 2.4 keV Ar^{2+} , トラップ内真空度 1.35×10^{-7} Pa, 入射回数 158400 回)で約 132 時間測定を行った。図 3 にその結果を示す。ここで、横軸は蓄積開始からの経過時間である。図の実線は+10 ms ごとの検出光子数を表す。データのバラつきは大きい。0 から 200 ms 辺りまで、光子数の減衰が確認できた。図中の 200 ms 以降のほぼ一定値のカウントは、フォトマルのバックグラウンドである。

図の点線は、検出光子数の時間変化を、指数関数 $y = A \exp(-t/\tau_{\text{meas}}) + B$ でフィッティングした結果である。ここで、 t は蓄積開始からの経過時間、 B はバックグラウンド、 A は $t=0$ でのカウント数である。このフィッティングで得られた測定寿命は、 $\tau_{\text{meas}} = 57.8 \pm 36.7$ ms となった。

また、時間依存の中性粒子数の測定から得られた蓄積イオン数の減衰寿命は $\tau_{\text{beam}} = 1330 \pm 8$ ms である。これを用いて、上述の補正を行うと、最終的に Ar^{2+} の 1S_0 から 3P_1 への放射寿命は、 $\tau_{\text{photo}} = 60.4 \pm 39.0$ ms となった。ただし、誤差はすべてフィッティングの誤差である。

本研究室での、 Kr^{2+} イオンの放射寿命の測定では、誤差は約 6 %であった。これと比較すると、今回の実験の誤差(± 65 %)は非常に大きい。ただし、 Ar^{2+} の放射寿命は Kr^{2+} の放射寿命(約 15 ms)と比較して一桁ほど長い為、 Kr^{2+} と同程度の光子数を検出した場合であっても、 Ar^{2+} の検出光子数の減衰は、蓄積時間に対してゆるやかになりバックグラウンドとの区別が困難である。これが、今回のフィッティングの誤差の原因と考えられる。

今回得られたデータから SN 比を 8 倍向上させることで、誤差は Kr^{2+} の測定誤差と同程度になると見積もられる。

[参考文献]

- [1] S Itoi, H Kai, M Saito, Y Haruyama, Phys. Scr. T, to be published.
- [2] H Kai, K Goto, M Saito, Y Haruyama, Phys. Scr. T144, 014056 (2011).

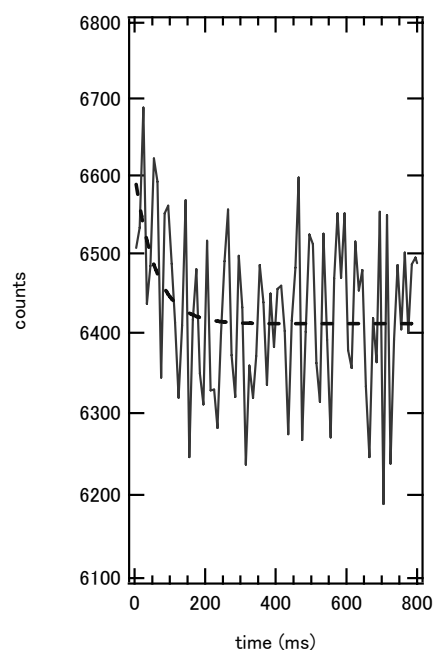


図 3 検出光子数の時間変化