

44価及び45価タングステンイオンの電離・再結合断面積の 実験的な評価

仲野友英¹、大橋隼人²、中村信行³

¹量研機構、²富山大、³電通大

<http://www-jt60.naka.qst.go.jp>

高電離タングステンイオンの電離・再結合断面積は主に理論計算によって整備され、実験による精度の検証を経たデータは例外的である。本研究では、FAC (Flexibel Atomic Code) [1]で計算した W^{44+} の電離断面積および W^{45+} の再結合断面積の比を、電気通信大学の EBIT 装置で測定した W^{44+} および W^{45+} スペクトル線強度比と比較し、電離・再結合断面積の計算精度を検証する。

W^{44+} ($4s^2-4s4p$: 6.1 nm) と W^{45+} ($4s-4p$: 6.2 nm) スペクトル線は両者とも $4s-4p$ 遷移であり、かつ励起エネルギーが近い (~200 eV)、コロナモデルによるスペクトル線強度比の計算値は電子衝突エネルギーに依存せず一定値をとる。そのためこの強度比から直ちに W^{44+} と W^{45+} の密度比を導出することができる。この性質を利用し、EBIT 装置 (単色電子エネルギー) での実験により電子衝突エネルギー 2.5 keV から 3.4 keV の範囲で W^{44+} と W^{45+} の密度比を導出した。

他方、計算で W^{44+} と W^{45+} の密度比を導出するには、 W^{44+} の電離および W^{45+} の再結合断面積が必要である。 W^{45+} の主要な再結合過程は二電子性再結合であるが、複雑な素過程であるため計算が煩雑であり、未だに確立されたデータベースが存在せず、現在でも重要な計算対象である。まず、プラズマ中の自由電子は W^{45+} に捕獲され W^{44+} の二重励起準位、たとえば、内殻の $3d$ 電子の励起を伴った $3d^9 4s n l n' l'$ が形成される。その後、自動電離によって元の自由電子と W^{45+} のペアに戻るか、光放射により脱励起して W^{44+} の基底準位に達して再結合を完了する。再結合を完了するまでに別の二重励起準位を経由する場合には、その準位でも自動電離と光放射脱励起が競合する。よって、この競合の割合、すなわち分岐比を全ての二重励起準位について計算する必要がある。ここでは、 $n=4$ から $n=9$ まで、 $n'=4$ から $n'=15$ までを計算で考慮した。また、莫大な数の分岐比の計算時間を短縮するため、主要な自動電離および光放射遷移を調べた：自動電離ではたとえば $W^{44+}: 3d^9 4s 4l n' l' \Rightarrow W^{45+}: 3d^9 4s 4l''$ の遷移係数が、特に n' が大きい場合に支配的であった。光放射遷移では $W^{44+}: 3d^9 4s 4l n' l' \Rightarrow W^{44+}: 3d^{10} 4s n' l'$ のように $4l$ 電子が内殻の $3d$ 軌道を埋める遷移が支配的であった。途中で二重励起準位を経由する光放射遷移では $W^{44+}: 3d^9 4s 4l n' l' \Rightarrow W^{44+}: 3d^9 4s 4l n' l''$ と最外殻電子の l' のみが増える遷移が支配的であり、このことから、さらに同様の光放射遷移を繰り返すことが示唆される。

上述の実験および計算によって得られた W^{44+} と W^{45+} の密度比を比較すると、定量的には2倍の範囲で一致し、定性的には電子衝突エネルギーに対する傾向に一致が見られた。ただし、二電子性再結合の共鳴構造に由来する W^{44+} と W^{45+} の密度比の急激な変化は一部電子エネルギーで一致が得られていない。これは今後の課題である。

[1] Gu. M. F 2008 *Can. J. Phys.* **86** 675.