4Pp16

再結合過程を含んだタングステンイオンの衝突輻射モデルの開発
Development of Collisional-Radiative Model for Tungsten Ions Including Recombination Processes

村上泉[1,2]、佐々木明[3]、加藤太治[1,4]
MURAKAMI Izumi[1,2], SASAKI Akira[3], KATO Daiji[1, 4]

[1]核融合研、[2]総研大、[3]量研機構、[4]九大
[1]NIFS, [2]SOKENDAI, [3]QST, [4]Kyusyu Univ.

国際熱核融合実験装置(ITER)のダイバータ表面に用いられるタングステン材料は、プラズマからの高い熱粒子束によりスパッタされ、プラズマへタングステンが混入することが予想される。タングステンはプラズマ中心へ輸送されると、その高い放射パワーによりプラズマの温度を下げ、核融合効率を下げてしまうと考えられる[1,2]。タングステンがどのようにプラズマ中心へ輸送され、実際にどのくらいプラズマへ影響を及ぼすかは、分光的手法により調べる必要がある。分光解析のためのより精度の高い原子モデル、分光モデルの構築が重要である。

タングステンイオンからの極端紫外(EUV)スペクトルを調べると、ITERの周辺プラズマに相当する1keV程度のプラズマの場合、4.5-7nm領域にUTAと呼ばれるたくさんの発光線が重なった強い発光構造がみられる[3]。これが放射パワーの多くを担うと考えられるが、これまでに開発された分光モデルでは、この発光構造が再現できていない[4-6]。これに対し、特にUTAの6nm付近の第2のピークに関しては二電子性再結合過程が大きいのではという指摘がなされたが、これまでのタングステンイオンの分光モデルには再結合過程が含まれていなかった。

そこで我々は、分光モデルである衝突輻射モデルに再結合過程を取り入れ、タングステンの発光構造にどのような影響を与えるかを調べた。まずは、1keV付近のプラズマで見られる27価のタングステンイオンについて、自動電離状態までおよそ20,000の微細構造レベルを考えたモデルを構築した。二電子性再結合過程は、自動電離状態への二電子性捕獲とそれに続く放射遷移であるため、それぞれの過程をモデルに取り入れることにより、その効果を取り入れた。放射性再結合、三体再結合過程、自動電離を考慮し、必要な原子データはHULLAC原子コード[7]で計算して衝突輻射モデルを構築した。スペクトルを電子進行プラズマ及び再結合プラズマ成分について計算したところ、5nm付近では、再結合プラズマでは発光しないラインがあるなどの違いがあったが、6nm付近ではどちらの成分も弱かった[7]。

他の価数についても調べるため、次に、自動電離を含む高い励起状態については、相対論的電子配位平均(CA)によるレベルの簡単化を行い、低い励起状態は微細構造レベル(FS)を扱うというハイブリッドモデルを構築した。CAレベルとFSレベルとの間のレベルマッピング、速度係数の再配分を考慮した衝突輻射モデルを構築した。必要な原子データは同じくHULLAC原子コードで計算した。今回は27価から34価イオンについて計算した。

得られた電離進行プラズマと再結合プラズマ成分のスペクトルは、いずれも5nm付近に強いピークと6nm付近に弱い構造を示した。5nmのピークは価数が高くなると長波長側にシフトし、適当なイオン価数分布を仮定して重ね合わせた合成スペクトルは、5nmに幅のあるUTA構造が得られるものの、6nmは依然として弱い構造であり、計測されているような2つのピークのあるようなUTA構造は得られなかった。今後は価数が低い場合についても計算を拡張して調べていく予定である。

[1] D. E. Post et al.: Atomic Data Nucl. Data Tables 20 (1977) 397.
[2] T. Pütterich et al.: Nucl. Fusion 50 (2010) 025012.
[3] K. Asmussen et al.: Nucl. Fusion 38 (1998) 967.
[4] T. Pütterich et al.: Plasma Phys. Control. Fusion 40 (2008) 085016.
[5] T. Pütterich et al.: AIP Conf. Proc. 1545 (2013) 132.
[6] I. Murakami et al.: Nucl. Fusion 55 (2015) 093016.
[7] A. Bar-Sharom et al.: J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer 71 (2001) 169.
[8] I. Murakami et al.: Eur. Phys. J. D 71 (2017) 246.