

高エネルギーイオン衝突を考慮した水素原子衝突輻射モデル

Collisional radiative model of hydrogen atom including energetic ion collision

岡本敦, 高橋宏幸¹Atsushi OKAMOTO, Hiroyuki TAKAHASHI¹名大院工, 東北大院工¹Nagoya Univ., Tohoku Univ.¹

磁場閉じ込めプラズマのダイバータ領域では体積再結合による非接触プラズマ状態の維持がダイバータ板の熱負荷低減に重要である。一方、周辺局在化モードなどの MHD 現象に起因して、ダイバータ領域にはペデスタル温度程度の比較的高温のプラズマが間欠的に流入する。そこで数 100 eV - 10 keV 程度の高エネルギー粒子の流入が再結合プラズマに与える影響を解明することが重要となっている。

本研究では、高エネルギーイオン衝突由来の原子分子素過程を占有密度バランスの観点から理解するために、高エネルギーイオン衝突による荷電交換・電離・励起を考慮した衝突輻射モデルを水素原子について構築した。主量子数 $p > 1$ の準位について準定常近似を適用し、占有密度

$$n(p) = r_1(p)n_en(1) + r_2(p)n_e^2 + r_3(p)n_hn(1) \quad (1)$$

を求めた。ここで、基底状態原子密度 $n(1)$ 、電子密度 n_e 、高エネルギーイオン密度 n_h である。第 3 項は第 1 項の類推でイオン衝突電離進行成分と呼ぶこととする。電離進行プラズマ中の水素原子の占有密度分布に及ぼす高エネルギーイオンの影響を調査した。対象としたプラズマの代表的なパラメータは、電子密度 $n_e = 7 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ 、電子温度 $T_e = 80 \text{eV}$ 、原子密度 $n_n = 1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 、高エネルギーイオン密度 $n_h = 2 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 、高エネルギーイオン温度 $T_i = 800 \text{eV}$ 、である。高励起状態の占有密度は図 1 に示すように高エネルギーイオン衝突過程により減少することが明らかとなった。また速度係数を調べると高励起状態では荷電交換よりイオン衝突電離が支配的であった。

得られた励起状態占有密度を基に、基底状態のポピュレーションバランスを整理し、式 (2) 右辺の係数を得た。

$$\frac{d}{dt}n(1) = -S_{CR}n_en(1) + \alpha_{CR}n_e^2 - S'_{CR}n_hn(1) \quad (2)$$

ここで、 S_{CR} 、 α_{CR} は、見かけの実効電離速度係数、実効再結合速度係数で、高エネルギーイオン衝突を考慮してもわずかに変化するのみであった。しかしそのような状況においても、右辺第 3 項のイオン衝突電離進行成分 $S'_{CR}n_hn(1)$ が存在するため、実効的に電離項が増大することが明らかとなった。また、実効イオン衝突電離速度係数において支配的となっている過程は基底状態の荷電交換であることが明らかとなった。

本研究は科研費補助金 (26420848) により支援されている。

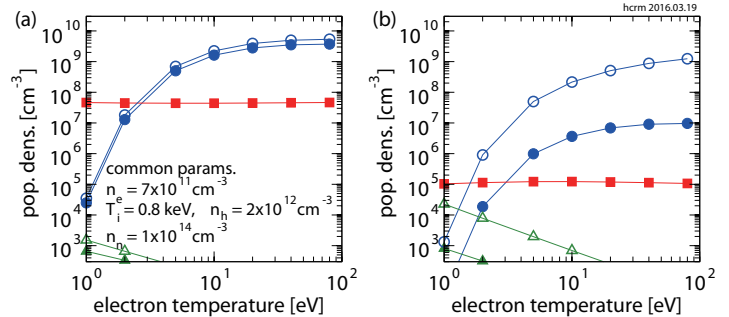


図 1: 主量子数 $p = 4$ (a) および $p = 16$ (b) 励起状態占有密度 $n(p)$ の電子温度依存性。式 (1) の右辺各項について、●: $r_1(p)n_en(1)$, ▲: $r_2(p)n_e^2$, ■: $r_3(p)n_hn(1)$ でプロットした。塗りつぶしは高エネルギーイオン衝突あり、白抜きは無しを表す。