

イオン衝突を含む水素原子衝突輻射モデルの開発

Development of collisional-radiative model including ion collision for hydrogen atom

岡本敦

Atsushi OKAMOTO

名大院工

Nagoya University

原子の励起状態占有密度を衝突励起・脱励起と輻射のバランスで決める衝突輻射モデルはダイバータプラズマ診断の有用なツールである。通常、低温プラズマでは電子衝突と輻射のバランスを考慮する。一方、ダイバータプラズマでは 100 eV のオーダーのバルクイオンも存在し、イオン衝突が衝突輻射バランスに少なからず影響を与えている可能性がある。本研究では、構造が単純である水素原子を対象に、イオン衝突が衝突輻射バランスに与える影響を評価し、さらに原子の線スペクトル発光強度からイオン温度の情報抽出を試みる。そのためイオン衝突を含む水素原子衝突輻射モデルを開発した。このモデルでは、主量子数 $p \leq 20$ までの状態をレート方程式で扱い、イオン衝突の効果は電子衝突と同様に状態間の励起・脱励起を考慮し、さらに、イオン衝突電離および水素原子と陽子の荷電交換を考慮した [1]。

図 1(a) に占有密度分布のイオン衝突の有無による比較を示す。高励起状態の占有密度にイオン衝突の有無による相違が明瞭に表れている。イオン衝突を考慮することで占有密度が低下しているのは、高励起状態間のエネルギー差と質量比で換算したイオン温度 $T_{\text{eff}} = (m_e/m_i)T_i$ がほぼ等しく、イオン衝突の断面積が電子衝突に比べて相対的に大きくなるためと考えられる。これは電子衝突のみを考慮した従来の衝突輻射モデルでは占有密度を過大評価する場合が起こり得ることを示している。

電子衝突のみを考慮した場合の占有密度の過大評価について、イオン温度 T_i と電子温度 T_e を様々に変えて調査した。占有密度の過大評価が 10% となる主量子数を、 $T_e - T_i$ 空間の等高線として図 1(b) に示す。4 本のうち最も高 T_i 側にある等高線が主量子数 $p = 4$ の占有密度について、最も低 T_i 側にある等高線が主量子数 $p = 7$ の占有密度について、過大評価となる境界を表している。等高線よりも高 T_i 側の領域では、電子衝突のみのモデルでは過大評価でありイオン衝突を考

慮することが必要である。例えば $T_e = T_i = 30$ eV のプラズマは主量子数 $p = 4$ と $p = 5$ の等高線に挟まれた領域にあり、主量子数 $p = 4$ についてはイオン衝突の効果は無視できるが、主量子数 $p \geq 5$ についてイオン衝突を考慮することが必要である。

典型的な実験室プラズマ ($T_e \simeq 10$ eV, $T_i \simeq 1$ eV) において観測される H_α 程度までのバルマー線発光強度解析では、電子衝突のみを考慮した従来の衝突輻射モデルが有効である。一方で、比較的イオン温度が高いダイバータプラズマ ($T_e \simeq T_i \geq 10$ eV) では、衝突輻射モデルにイオン衝突の効果を考慮する必要があることが示された。

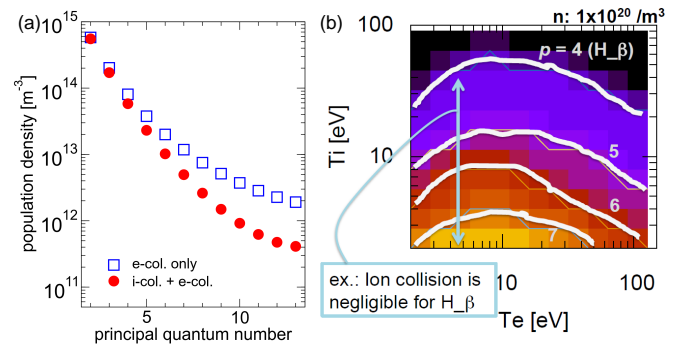


Fig. 1: (a) 電子衝突のみ (), およびイオン衝突も考慮した () 衝突輻射モデルによる占有密度分布 ($T_e = T_i = 100$ eV, $n_e = n_i = 1 \times 10^{20}$ m⁻³). (b) 電子衝突のみを考慮した従来の衝突輻射モデルで 10% 以上の過大評価となる主量子数の電子温度・イオン温度依存性 ($n_e = n_i = 1 \times 10^{20}$ m⁻³).

本研究は JSPS 科研費 (JP19H01869) ならびに NIFS 一般共同研究 (NIFS18KLPP052)、双方向型共同研究 (NIFS19KUGM139) の支援を受け実施されました。

[1] A. Okamoto, AIP Conf. Proc. "Ion collision effect in collisional radiative processes in magnetized plasma" (in press).