

ヘリウムプラズマ電離度の分光診断における 高エネルギー電子の影響

岡本敦¹, 佐藤剛貴¹, 杉本みなみ¹, 山田悠斗¹, 武田昂大¹, 藤田隆明¹, 高橋宏幸²

¹名古屋大, ²東北大

核融合炉境界層プラズマにおける不純物イオン挙動解明の観点からイオン価数分布の分光診断が重要である。我々はその第一歩としてヘリウムプラズマ電離度の分光診断を開始した。原子と一価イオンの線スペクトル強度比 $I_{\text{HeII}}(m, n)/I_{\text{HeI}}(p, q)$ からイオン-原子密度比 $n_{\text{He}^+}(1)/n_{\text{He}}(1^1\text{S})$ を以下のように算出する。

$$\frac{n_{\text{He}^+}(1)}{n_{\text{He}}(1^1\text{S})} = \frac{I_{\text{HeII}}(m, n)}{I_{\text{HeI}}(p, q)} \frac{A(p, q)}{A(m, n)} \frac{R_{\text{He},1}(p)}{R_{\text{He}^+,1}(m)}$$

ここでポピュレーション係数 $R_{\text{He},1}(p)$ は別途プローブ計測した電子温度・電子密度をもとに衝突輻射モデル[1, 2]で計算した。 $R_{\text{He}^+,1}(m)$ はOPEN-ADASを用いて衝突輻射モデルを構築し、同様に計算した。実験は直線型プラズマ実験装置NUMBER[3]で行った。電子サイクロトロン共鳴によりヘリウムプラズマを生成し、受動分光計測を行った。静電プローブ計測で得た電子密度と放電前の中性ガス圧力から求めた原子密度の比を参照値として比較した。

ガス圧力を変化させ前述の手法で得られた電離度と参照値を比較したところ、図1に示すように、ヘリウム原子線スペクトルとして $2^1\text{S}-3^1\text{P}$ (501 nm)を用いると両者が比較的よく一致した。一方、 $2^3\text{P}-4^3\text{S}$ (471 nm)を用いると電離度が参照値や501 nmを用いた場合に比べ過大評価された。QSS近似の妥当性、輻射捕獲の影響など検討した上で、過大評価の一つの原因としてbi-Maxwellian電子エネルギー分布の影響の可能性に着目した。実際、静電プローブの電流電圧特性に高エネルギー電子のテイル成分が観測されている。そこで電子温度を2成分入力できるヘリウム原子衝突輻射モデル[4]を用いて励起状態占有密度の高温成分依存性を調査した。

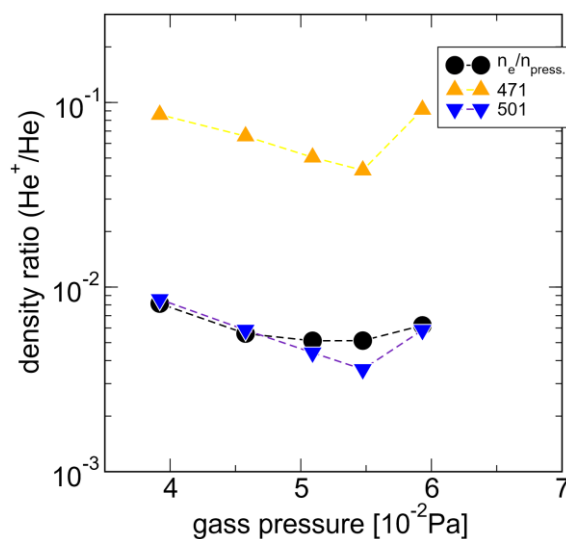


図 1 イオン-原子密度比のガス圧力依存性。▼: $2^1\text{S}-3^1\text{P}$ (501 nm), ▲: $2^3\text{P}-4^3\text{S}$ (471 nm) を原子輝線とした場合。●: 電子密度-原子密度比 (参照値)

- [1] M. Goto, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. **76**, 331 (2003).
 [2] T. Fujimoto, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. **21**, 439 (1979).
 [3] D. Hamada, *et al.*, Plasma Fusion Res. **13**, 3401044 (2018).
 [4] H. Takahashi, *et al.*, Contrib. Plasma Phys. **57**, 322 (2017).