

電子-イオン-リユードベリ原子共存系における 輸送増幅過程の検討

田中宏彦¹、大野哲靖¹

¹名大

<http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/plaene/j-index.html>

磁場閉じ込め核融合発電では、1億度を超える超高温プラズマを磁場のカゴにより閉じ込めるが、その一部が周辺に漏れ出て、磁力線に沿って耐熱性の材料（ダイバータ板）まで運ばれる。発電炉では、既存の実験装置をはるかに上回る高熱流プラズマがダイバータ領域へと流入することから、熱粒子束を制御・低減する手法を確立することが最重要研究課題の一つとなっている。現在、熱粒子束低減法として最も期待されているのが、プラズマ-中性ガス相互作用によりプラズマを空間中で消失させる『非接触プラズマ』である。

非接触プラズマ中では、イオンと電子が空間中で再結合して中性粒子となることで、磁力線の束縛を逃れ、熱流が分散して局所熱負荷が低減する。さらに近年、複数の環状・直線装置で実施された非接触プラズマ実験において、磁場を横切る方向へとプラズマ分布が広がる様子が確認され、対流輸送現象を含む大きなプラズマ輸送の存在が指摘されている[1]。

ここで、非接触再結合プラズマは多量の高励起中性粒子（リユードベリ原子）を含む特異場であり、電子-イオン-リユードベリ原子の共存系となる。リユードベリ原子は容易に再電離するほか、幾何学的断面積（主量子数の4乗に比例）は基底原子と比べ著しく大きくなる。このように巨大化した断面積に起因して、リユードベリ原子を含む非接触プラズマは極めて大きな拡散係数をもつことが予想される。本研究では、電子-イオン-リユードベリ原子共存系において増大する拡散係数について数値計算から検討を行うことを目的とする。

検討する非接触プラズマ中の輸送モデルは以下となる：まず、①磁場中でイオンはラーマー運動し、その旋回途中で②再結合してリユードベリ原子へと変化する。③断面積の著しい増大により背景イオン・中性原子と容易に衝突し、軌道を曲げる。その後④再電離することで、⑤案内中心が大きく移動する。

衝突輻射コードにより出力される各種係数を利用して、ヘリウム粒子の軌道追跡計算を行った。背景プラズマおよび中性原子には、過去に直線装置NAGDIS-IIの非接触プラズマ計測実験における代表値[2]（電子温度0.4 eV、電子密度 $1.3 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ 、原子密度 $4.3 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ ）を空間一様で与え、磁場直交面内の粒子軌道を解いている。ラーマー運動中に再結合と電離を高頻度で繰り返し、リユードベリ原子状態時に衝突を多数経験することで、古典的な輸送の20倍程度の輸送係数で磁場を横切り輸送される様子が確認された。

[1] 田中宏彦, プラズマ・核融合学会誌 **97** (2021) 463-470.

[2] H. Tanaka et al., Plasma Physics and Controlled Fusion **62** (2020) 075011.