

LHD における高エネルギー粒子分布に対するビーム間衝突の影響

Influence of the Beam-beam Collisions on the Energetic Particle Distribution in Large Helical Device

田原康祐, 浅井迅馬, 村上定義

Kosuke TAHARA, Hayama ASAI, and Sadayoshi MURAKAMI

京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻

Department of Nuclear Engineering, Kyoto University

核融合プラズマにおいて D-T 反応による α 粒子やプラズマ加熱により発生した高エネルギー粒子は Coulomb 衝突によって背景プラズマにエネルギーを与える。プラズマ粒子間の衝突は位相空間分布の形状を変化させ、輸送や微視的不安定性などプラズマの運動論的な振る舞いに影響する。一般的な高エネルギービームの減衰シミュレーションでは、高エネルギー粒子と Maxwell 分布を仮定した背景粒子との衝突が支配的であると、多くの場合、非 Maxwell 分布を持つ高エネルギー粒子間の衝突は無視されている。一方、相対速度が小さな粒子間の衝突ではピッチ角散乱の影響が非常に大きくなり、また高エネルギー粒子の密度が大きくなるに伴ってそれらの間で起こる衝突の影響が無視できなくなる可能性があるため、高エネルギー粒子間の衝突効果を取り入れたシミュレーション解析を行うことは重要であると考えられる。

本研究では、5 次元位相空間ドリフト運動論方程式解析コード GNET [1] に高エネルギー粒子間の衝突を計算するための非線形衝突演算子 [2] を導入し、LHD プラズマにおける NBI 加熱によって生じたビーム粒子間の衝突の影響を評価した。シミュレーション条件としては、磁気軸位置 3.60 m、中心強度 $B_0 = 2.75$ T の LHD プラズマに対し NBI 装置 1 号機 (180keV) で重水素ビームを Counter 方向に接線入射した状況を想定している。背景プラズマとしては電子と重水素を考え、密度および温度は $n_e = 1.0 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$,

$T_i = T_e = 3 \text{ keV}$ で一様な分布を仮定している。この条件の下、NBI による高エネルギー粒子の速度空間分布の定常解を求めた。

図 1 は衝突による速度変化の期待値の速度空間における分布である。図 1-(a) は従来の線形項による結果、図 1-(b) は非線形項を導入した結果である。背景分布は速度空間上で等方である Maxwell 分布を仮定しているため、図 1-(a) ではピッチ角方向に一様な分布であるのに対し、図 1-(b) では、ビームによるピークに対応するピッチ角 $180^\circ (\lambda \sim -1)$ において、正のキックを受ける赤色の領域が広がっており、速度空間上における高エネルギー側への拡散の増大が見られた。

講演では、非線形項を導入したことによる高エネルギー粒子の位相空間分布への影響について、より詳細に議論する予定である。

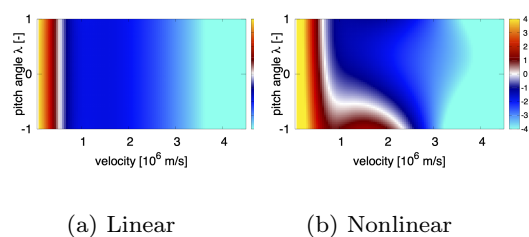


図 1: 速度空間 (v, λ) における、衝突による速度変化の期待値の分布。(a): 線形演算子による結果。(b): 非線形項を導入した結果。

References

- [1] S. Murakami *et al.*, Nucl Fusion **40**, (2000) 693.
- [2] Y. Masaoka *et al.*, Plasma and Fusion Res **8**, 2403106 (2013)