

Evaluation of pinch velocity and diffusion coefficient of tungsten ions by Monte-Carlo orbit calculation code

小林京平, 藤田隆明, 岡本敦

Kobayashi Kyohei, Takaaki Fujita, Atsushi Okamoto,

名古屋大学大学院工学研究科
Nagoya Univ.

トロイダル回転プラズマにおける高価数不純物イオンの輸送について提唱された、軌道上での価数変化にともなう PHZ ピンチ、径電場により変形した軌道上でのクーロン衝突に伴う \mathbf{E}_r ピンチ[1]を粒子軌道計算により評価するコードの開発を進めている。

先行研究において無衝突の旋回中心軌道の計算により、参考文献[1]に与えられている評価式を用いて、PHZ ピンチ、 \mathbf{E}_r ピンチが評価されたが、 \mathbf{E}_r ピンチの評価式が捕捉粒子に対しても使用できるかどうかは確認されていない。そこで本研究では軌道計算コードにクーロン衝突の効果を導入し、モンテカルロシミュレーションを行うことにより、数値的に \mathbf{E}_r ピンチを評価する。さらに計算の結果に基づくピンチ速度を TOTAL コードに組み込み、タングステン輸送の解析を行うことを目的としている。

テスト粒子の背景粒子とのクーロン衝突による速度変化はモンテカルロ計算で模擬する。クーロン衝突後のテスト粒子の速度の大きさ v 及び、磁力線方向速度 v_{\parallel} は以下の式(1)(2)で与えられる(衝突後の速度に「'」をつける)。

$$v' = \sqrt{(v + \Delta v_L)^2 + \Delta v_T^2} \quad (1)$$

$$v'_{\parallel} = v_{\parallel} + \Delta v_L \frac{v_{\parallel}}{v} + \Delta v_T \frac{v_{\perp}}{v} \sin \Omega \quad (2)$$

Δv_L は衝突前の速度方向の変化、 Δv_T は衝突前の速度に垂直な方向の変化である。解析においては Δv_L 、 Δv_T を、 $\langle \Delta v_L \rangle = -v_s v \Delta t$ 、 $\langle \Delta v_T \rangle = 0$ 、 $\langle \Delta v_L^2 \rangle = v_{L2} v^2 \Delta t$ 、 $\langle \Delta v_T^2 \rangle = v_D v^2 \Delta t$ の平均値と分散をもつ正規分布乱数として与える。時間ステップ Δt は衝突周波数の逆数 $1/\nu_D$ より十分小さい値を設定する。

クーロン衝突を含めた軌道計算を行う前に、導入したクーロン衝突の効果が理論的に妥当かを確認した。図1は、電子温度=イオン温度=1.5 keV、電子密度=イオン密度= $2.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ の重水素プラズマにおける、速度 $v_{\parallel 0} = 3.914 \times 10^6 \text{ m/s}$ 、 $v_{\perp 0} = 0 \text{ m/s}$ の重水素イオンの減速過程のモンテカルロ計算(テスト粒子数2000個)とフォッカプランクコードとの比較であり、一致した結果が得られている。図2は図1と同じプラズマにおける、バルクイオンの熱速度と同じ速度を持つ $v_{\parallel 0} = 3.789 \times 10^5 \text{ m/s}$ 、 $v_{\perp 0} = 0 \text{ m/s}$ の重水素イオンの散乱過程(テスト粒子数2000個)で、 $t=0$ 近傍の近似直線の傾きより、等方化時間は $\tau_D = v^2 / \left(\frac{\partial v_{\parallel}^2}{\partial t} \right) = 2.207 \times 10^{-3} \text{ s}$ で理論値

$2.088 \times 10^{-3} \text{ s}$ を十分再現できている。これらよりクーロン衝突の効果は正しく導入できたと判断し、クーロン衝突を含めたモンテカルロ軌道計算を行う。

モンテカルロ軌道計算は、旋回中心の軌道計算の時間ステップ毎にクーロン衝突による速度ベクトルの変化を与えることで行う。多数の粒子の軌道計算の結果を統計的に処理することで拡散係数やピンチ速度を求める。

講演では拡散係数の新古典輸送との比較および電場・遠心力・コリオリ力などを考慮した計算について詳しく報告を行う予定である。

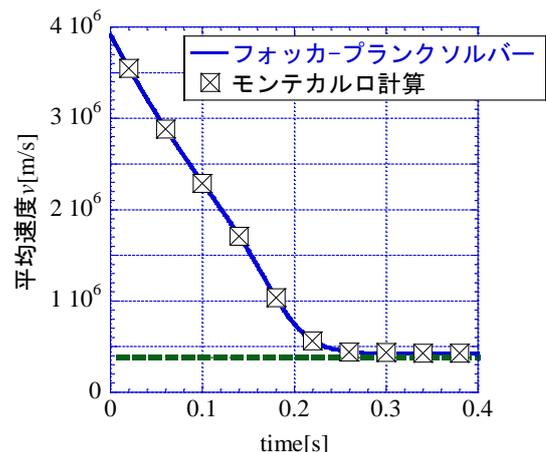


図1 モンテカルロ計算とフォッカプランクソルバーとの比較およびバルクイオンの熱速度(破線)

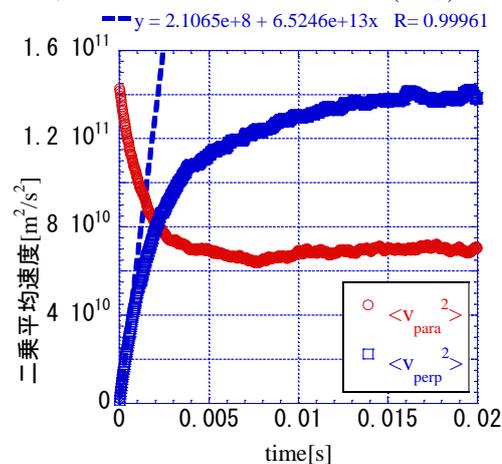


図2 二乗平均速度(v_{\perp}^2) (青)および(v_{\parallel}^2) (赤)の時間変化

[1] K.Hoshino, Nucl. Fusion 51,083027 (2011).