

GAMMA10 中央ミラー部におけるイオンの新古典拡散に関する計算

The calculations about the Neoclassical diffusion of ions in GAMMA10 A-divertor

佐藤周平¹, 片沼伊佐夫¹, 奥山陽平¹, 加藤俊介¹, 窪田遼人¹, 市村真¹

Shuheï SATO¹, Isao KATANUMA¹, Yohei OKUYAMA¹, Shunsuke KATO¹, Ryoto KUBOTA¹,
Makoto ICHIMURA¹

筑波大学プラズマ研究センター¹

Plasma Research Center, Tsukuba University¹

プラズマ閉じ込めの改善にあたっては拡散を理解することが必要である。タンデムミラー装置における共鳴粒子の径方向拡散についてはすでに理論的な予測が為されている [1] が、GAMMA10 磁場配位における具体的なシミュレーションは行われていない。よって本研究ではモンテカルロコードを用いて GAMMA10 磁場配位における拡散係数を計算し、理論との比較を行った。

計算モデルとしては、粒子のジャイロ運動成分を平均化しドリフト方程式を用いた。

$$\mathbf{v} = v_{\parallel} \hat{e}_{\parallel} - \frac{c \nabla \phi \times \mathbf{B}}{B^2} - \frac{mc(v_{\perp}^2 + 2v_{\parallel})}{2qB^3} \nabla B \times \mathbf{B}$$

この方程式を (ψ, θ, z) 座標系に対して適用した。ここで z はミラー磁場の磁力線に沿った座標である。また $\mathbf{B} = \nabla \psi \times \nabla \theta$ を満たすように残りの座標を決定する。 $\psi = \int_0^r B_z r dr$ であり、これは円筒形中心からの半径位置 r につれて増加する量である。また θ は方位角方向に対応している。

Fig.1 はドリフト方程式を用いて単一粒子の粒子軌道を計算し、共鳴粒子の現れたエネルギー及び磁気モーメントの値に対応する位置を速度空間に記録したものである。なお、ここでは電位分布を

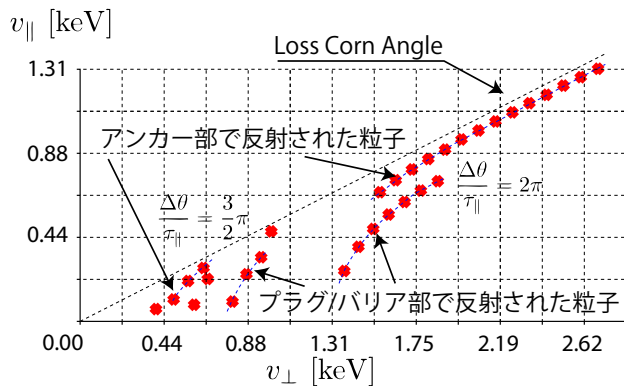


Fig. 1: 速度空間内の共鳴曲線

$\phi = 500 \left(1 - r^2 / (20 [\text{cm}])^2\right) [\text{V}]$ としている。以

上の計算により、GAMMA10 磁場配位において共鳴粒子が存在し、それらは新古典拡散を引き起こすであろうことが予想される。

次にクーロン二体衝突の効果を組み込んだモンテカルロコードにより拡散係数を計算した。衝突の計算では、速度分布関数に Fokker-Planck 方程式を用い、衝突による分布関数の広がりを経率的に導出し、モンテカルロ法を適用している。Fig.2 は実際にクーロン二体衝突の効果を組み込んで計算した拡散係数である。ここで、計算に用いた電位分布は

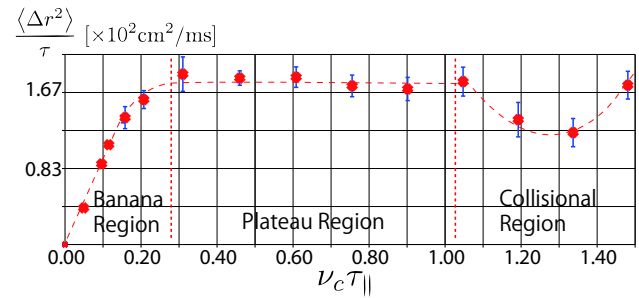


Fig. 2: 拡散係数

先と同様、背景の電子及びイオンの温度は 1keV、テスト粒子数は 10^6 個、テスト粒子の初期温度は 1keV とし、背景イオンの密度をパラメータとしている。拡散係数の衝突周波数依存性の理論的な形状 [1] とよく一致している。図の Banana Region と Plateau Region の境界は粒子密度 $3.3 \times 10^{14} [\text{cm}^{-3}]$ 程度、Plateau Region と Collisional Region の境界は粒子密度 $1.1 \times 10^{15} [\text{cm}^{-3}]$ 程度である。Plateau Region においては $D \sim (40 \text{ cm})^2 / 1 \text{ ms}$ ほどの拡散係数となっている。

References

- [1] D. D. Riutov and G. V. Stupakov "Neoclassical transport in ambipolar confinement systems." Fizika Plazmy 4 (1978): 501-520.