

25pA16P

シース電位で変形された電子速度分布のイオン化反応係数への影響

Rate Coefficient of Electron Impact Ionization of Cold Atoms
for Electron Truncated Maxwellian Distribution富田幸博、Roman Smirnov ¹⁾、滝塚知典 ²⁾、畑山明聖 ³⁾、松浦寛人 ⁴⁾、大野哲靖 ⁵⁾核融合研、総研大 ¹⁾、原研那珂研 ²⁾、慶應大理工 ³⁾、阪府大工 ⁴⁾、名大理工科学総合研究センター ⁵⁾TOMITA Yukihiko, SMIRNOV Roman ¹⁾, TAKIZUKA Tomonori ²⁾,HATAYAMA Akiyoshi ³⁾, MATSUURA Hiroto ⁴⁾, OHNO Noriyasu ⁵⁾NIFS, The Graduate Univ. for Advanced Studies ¹⁾, JAERI, Naka ²⁾, Keio Univ. ³⁾, Osaka Pref. Univ. ⁴⁾, Nagoya Univ. ⁵⁾

プラズマ中の壁の浮遊電位 V_f はイオンと電子粒子束が等しい条件より、イオン温度が零の場合 $eV_f / T_e = 0.5 \ln(2\pi m_e / Z_i m_i)$ と決まる。軽い電子のために通常は壁の電位は負になる。この負電位に打ち勝つ電子の高エネルギー成分は壁に吸収されるため、壁近傍では壁から離れる方向の高エネルギー電子は存在しない。このようなマックスウエル分布の高エネルギー成分が存在しない電子分布関数での電子衝突によるイオン化反応係数を求めた。ここでは、イオン化反応断面積として Lotz による経験的表式を用いた ¹⁾。

その結果、電子温度が高いほど、その影響は小さいことがわかった。10 eV の電子温度では、水素、ヘリウム、アルゴンプラズマでは、反応係数のマックスウエル分布との比は、それぞれ 0.97, 0.93, 0.99 と変化は小さい。ここで、 Z_i はこの電子温度での最大確率荷電である 1, 2, 3 とした。電子温度が 1 eV で $Z_i = 1$ の場合にはそれらの比は 0.72, 0.68, 0.76 と、高エネルギー成分が切られた効果は大きくなる。

2 温度成分を持つ電子分布関数による電子衝突によるイオン化反応係数も検討した。この場合のボーム条件は

$$u_0 \geq \sqrt{\frac{Z_i T_{el}}{m_i} \left(1 - \frac{n_{eh}}{n_e} + \frac{n_{eh}}{n_e} \frac{T_{el}}{T_{eh}} \right)}$$

量を示す。この条件下で壁の浮遊電位 V_f は

$$eV_f / T_{el} = \frac{\chi_{e1}}{2} \ln(2\pi m_e / Z_i m_i \chi_{e1} \chi_{e2}^2), \text{ here } \chi_{e1} \equiv 1 - \frac{n_{eh}}{n_e} + \frac{n_{eh}}{n_e} \frac{T_{eh}}{T_{el}} \text{ and } \chi_{e2} \equiv 1 - \frac{n_{eh}}{n_e} + \frac{n_{eh}}{n_e} \sqrt{\frac{T_{eh}}{T_{el}}}$$

を持つ電子分布関数の高エネルギー成分が存在しない場合の電子衝突によるイオン化反応係数の詳細は講演で報告する。

[1] W. Lotz, Z. Physik **216** (1968) 241.

25pA17P

一般化ジャイロ粒子シミュレーションのシース生成による検証

Verification of generalized gyrokinetic particle simulations by sheath potential properties

河村学思、福山淳

京大工

Gakushi Kawamura, Atsushi Fukuyama

Department of Nuclear Engineering, Kyoto University

1. 背景と目的

磁場閉じ込め核融合炉においては、種々の微視的不安定性が存在し、エネルギー閉じ込め時間を左右する輸送現象を支配している。その非線形特性の解析には数値シミュレーションが広く用いられている。不安定性が成長する特性時間は、イオンサイクロトロン運動周期よりも長い。このパラメータ領域ではサイクロトロン運動を平均化したジャイロ運動論 [1-5] が広く用いられている。

微視的不安定性の解析では、プラズマと壁の相互作用を直接は考えない。これは、主にコアプラズマを対象としているからである。しかし、周辺プラズマでは磁力線に沿って粒子が壁に衝突する。ジャイロ運動論にこの相互作用を直接含めることは数学的には困難であるが、数値的には可能である。また、温度勾配が大きい状況は、コアプラズマで使われている近似条件に反する。本発表では粒子と壁の相互作用を数値的に組み込む方法を提案し、一般化したジャイロ運動論の方程式の有効性を通常の粒子シミュレーションとの比較で示す。

2. 方法論

ジャイロ運動論では、速度空間を $(v_{\parallel}, \mu)$ で表し (μ は磁気モーメント)、旋回角 θ を平均することで、計算コストを減らしている。そのため、ジャイロ粒子位置から本来の粒子位置が一意に決まらない。そこで、壁との衝突・吸収を考える場合には、前回、旋回角を評価してからどれだけ進んだかと、ジャイロ粒子と境界との距離、磁気モーメントから衝突したと扱うべきかどうか、またその頻度を評価するという方法を取る。

ジャイロ運動論の一般化は、ハミルトニアン力学系のリー摂動展開と呼ばれる一般的導出法を用いる。自己無撞着方程式系を構成するために必要な統計量 (密度など) を、粒子という離散的情報から決定する際、従来の温度一定という近似を用いず、温度分布を考慮した局所マックスウエル分布を用いて計算を行う。発表では得られた自己無撞着方程式系を示す。

3. 検証と結論

これら手法の妥当性を、通常の粒子モデルと、二種類の境界条件について比較を行う。一つは、粒子が壁で弾性反射する場合である。これは壁近傍での数値的処理の妥当性と、エネルギー保存則によるジャイロ運動論の妥当性を検証することが目的である。計算の結果、エネルギーの保存と、壁での衝突による粒子の移動量が通常の粒子モデルと一致する事が確認でき、発表ではその計算結果を示す。

もう一つの境界条件として、壁に電荷が留まり、シースが生じる場合を解析した。イオンラーマ半径 ρ を変化させ、それに伴うシース特性を調べた。デバイ長 λ_{De} を基準に、種々の ρ に対して計算を行った。温度一定という近似条件を用いた従来の方程式系では、 $\rho < \lambda_{De}$ の場合には良い精度で一致したが、一方、 $\rho > \lambda_{De}$ の場合には、ラーマ半径が大きい程、違いが生じる結果となった。下図は、 $\rho = \lambda_{De}$ の規格化シースポテンシャルの時間発展である。発表では、一般化した方程式系を用いた計算結果を示し、その有効性を検証する。また、詳細な粒子-壁相互作用や原子過程の取り込みについても報告を行いたい。

