

磁気圏型プラズマの平衡状態における 温度非等方性と電場の効果

学生証番号 47166088 氏名 白幡 亘佑
(指導教員 吉田 善章 教授)

Key Words : Magnetospheric plasmas, equilibrium, temperature anisotropy, electric field

磁気圏型プラズマにおいて粒子は内向きに拡散して自己組織化する。その生成機構の解明を目的として磁気圏型プラズマ閉じ込め装置RT-1が開発された。RT-1を用いた実験によってイオンについては $T_{\perp} > T_{\parallel}$ となる温度非等方性をもつことがわかっている。また、実験によって求められた電子密度の線積分値や局所値から全体の密度分布を求めるためにモデル関数を仮定しているが、より正確な分布を得るためには物理的な平衡モデルが必要となる。特に磁力線方向の分布には温度非等方性によるミラー効果の影響を考慮する必要がある。既にGrad-Shafranov方程式を解くことによってMHD平衡を求めた平衡モデルが存在するが、このモデルでは温度非等方性を取り扱うことができない。

このような背景の中で磁気圏型プラズマの平衡状態において温度非等方性と電場がもつ効果に関する研究を行った。磁気圏における荷電粒子の運動の階層性を利用して最もミクロなジャイロ運動を平均化したハミルトニアンを用いて、温度非等方性と電場の効果を考慮することのできる平衡モデルを構築した。この平衡モデルでは、密度計算と電位計算を交互に行うことによって、電位を考慮した平衡状態を求めることができる。ハミルトニアンの分布に三角形状に広がりを持たせたときの密度は

$$\int f(H)dv_{\parallel} = \frac{4}{3\sqrt{2m}} \frac{(H_0 + \Delta H - V)^{1.5} + (H_0 - \Delta H - V)^{1.5} - 2(H_0 - V)^{1.5}}{(\Delta H)^2}$$

と与えられ、粒子軌道による密度計算と比較して計算が安定することを確認した。またPoisson方程式をSOR法によって解くことによる電位計算が正しく行われていることを理論解と比較して確認した。

また、ニュートン形式の軌道との比較から、この平衡モデルが適用できる電子・イオンのエネルギー一範囲を評価した。

この平衡モデルを用いて温度非等方性を変化させたときの密度について考察した。 $z=0$ において非等方な温度をもつマクスウェル分布を与えたとき、温度非等方性が $T_{\perp} > T_{\parallel}$ となる方向に強くなるほど、磁場の弱い $z=0(m), r>0.4(m)$ 付近に密度が集中することが確認された。また、 $z=0$ で等方的なマクスウェル分布を与えた場合の磁力線上の速度分布関数は $z=0$ から離れるほど v_{\perp} 方向に歪むことが確認された。

電子とイオンが異なる温度非等方性を持つとき、図1のように電子とイオンは異なる密度分布をもつ。この非平衡性は電場を介して補償される。電子とイオンの温度が大きく異なる場合、温度の低い粒子が電場の影響によって密度分布を変えることによって図2のような平衡状態へ至ることが示された。また温度差が小さくなると電子密度分布・イオン密度分布が共に変化するようになることが確認された。

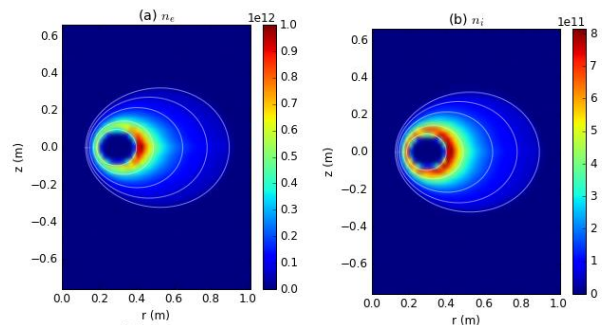


図1. (a)電子と(b)イオンの初期密度分布

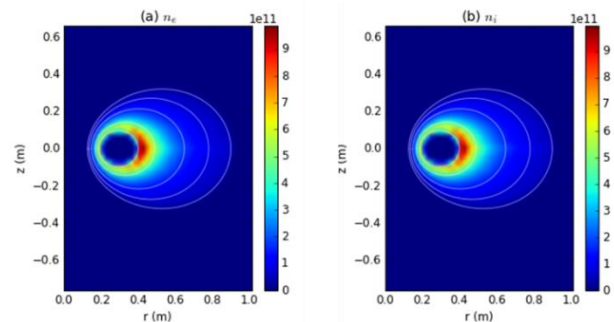


図2. (a)電子と(b)イオンの平衡分布