

ポンデロモーティブ加速/イオンサイクロトロン共鳴における推力モデリング

大塚 史子 [1]; 羽田 亨 [1]; 篠原 俊二郎 [2]; 谷川 隆夫 [3]; 松岡 健之 [4]
[1] 九大総理工; [2] 東京農工大・工; [3] 東海大・総科研; [4] JAXA/ISAS

Thrust Modeling of Ponderomotive Acceleration/Ion Cyclotron Resonance

Fumiko Otsuka[1]; Tohru Hada[1]; Shunjiro Shinohara[2]; Takao Tanikawa[3]; Takeshi Matsuoka[4]
[1] ESST, Kyushu Univ; [2] Inst. Eng, TUAT; [3] RIST, Tokai Univ.; [4] JAXA/ISAS

We have been developing an electrodeless electric thruster that utilizes ponderomotive acceleration and ion cyclotron resonance (PA/ICR) for plasma acceleration, as a part of the HEAT (Helicon Electrodeless Advanced Thrusters) project, by performing test particle simulations. The PA gives rise to the pure parallel acceleration of ions, while the ICR causes the perpendicular ion heating followed by the energy conversion from the perpendicular to the parallel directions due to inhomogeneous background magnetic field.

A well-known application of the ICR to the plasma thruster is the Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket (VASIMR). Here, we note that the PA and the ICR are inseparable, yet the former is preferred since it is less likely to be influenced by the ion-wall interactions (due to the smaller gyro radius). In this presentation, we focus on the ponderomotive effect on the ion acceleration.

The energy gains by the PA and the ICR are classified in terms of the adiabatic parameter, $a=L_B W/v_b$, where L_B is the axial scale length of the background magnetic field, W is the ion gyro-frequency, and v_b is the initial parallel ion velocity to the axial magnetic field. We find a maximal 60 % increase in the energy gain for the PA/ICR scheme compared with the energy gain in the ICR case only. Furthermore, we estimate the exhaust velocity and the thrust as a function of the rf field intensity, including ion-neutral collisions and ion wall-loss. Based on the numerical results, we develop the scaling laws of the exhaust velocity and the thrust. The results of our scaling laws will be compared with the experimental results of the VASIMR.

我々は、HEAT プロジェクト (Helicon Electrodeless Advanced Thrusters) の一環として、ポンデロモーティブ加速 (Ponderomotive Acceleration: PA) とイオンサイクロトロン共鳴 (Ion Cyclotron Resonance: ICR) を利用した電気推進の開発を行っている。PA は、共鳴点においてポテンシャル場の符号が反転することを利用した純粋な軸方向加速である。一方、ICR は垂直加速であり、磁気ミラーによって垂直方向から軸方向への運動エネルギー変換により推力を得る。

ICR を利用したプラズマ推進機は、VASIMR 型推進機として知られ、東北大学や NASA で実験研究が行われている。ICR では、垂直加熱したプラズマの壁損失が推力に影響を及ぼすため、我々は壁損失を回避できる PA に着目している。しかし、PA と ICR は分離できないため、如何に ICR を抑制し、PA の割合を増やすかが課題である。

本講演では、テスト粒子計算を行い、PA および ICR より得られるエネルギー増分を断熱パラメータ, $a=L_B W/v_b$, の関数として整理する。ここで、 L_B は背景磁場の軸方向スケール, W はイオンのジャイロ周波数, v_b は初期のイオンの軸方向速度である。また、PA の効果により、ICR のみと比較し、エネルギー増分が最大 60% 上昇することを示す。さらに、イオンの壁損失とイオン-中性粒子間衝突を考慮し、外部電場強度の関数として排気速度・推力の評価を行う。これらの計算結果から、排気速度・推力のスケールリング式を求め、VASIMR 型推進機の実験結果と比較・検討する。また、排気速度・推力のガス種依存性を議論する。