

準平行伝播 Alfvén 波の自己変調不安定性のヴラソフシミュレーション

神代 天 [1]; 羽田 亨 [2]; 成行 泰裕 [3]; 梅田 隆行 [4]
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大総理工; [3] 高知高専・電気; [4] 名大 STE 研

Vlasov-Hall-MHD simulation of modulational instabilities of quasi-parallel Alfvén waves

Takashi Kumashiro[1]; Tohru Hada[2]; Yasuhiro Nariyuki[3]; Takayuki Umeda[4]
[1] ESST, Kyushu Univ.; [2] ESST, Kyushu Univ.; [3] KNCT; [4] STEL, Nagoya Univ.

<http://www.esst.kyushu-u.ac.jp/~space/>

Vlasov simulation is a method to solve time evolution of a plasma by directly time advancing the distribution function in the position-velocity phase space. Unlike conventional PIC (particle-in-cell) simulations using finite number of particles, the Vlasov simulation is free from thermal (numerical) noise, and thus is advantageous in analyzing fine details of nonlinear plasma phenomena. We have developed a new Vlasov simulation code (1-d in space, 3-d in the velocity space), which is particularly suited to study basic properties of nonlinear evolution of magnetohydrodynamic (MHD) waves in the solar wind.

We examine long time consequences of modulational instability of the solar wind Alfvén waves using the newly developed Vlasov-Hall-MHD simulation code. The modulational instability basically is the side-band wave instability, in which the parent and the daughter waves (generated along the same branch as the parent wave) exchange wave energy via their modulational quasi-wave. If the plasma is fluid-like, i.e., when the electron temperature \gg ion temperature, the process forms a positive feed-back when the plasma $\beta < 1$ and the parent Alfvén wave is left-hand polarized (LHP), or $\beta > 1$ and the parent wave is right-hand polarized (RHP). On the other hand, it has been shown analytically that introduction of ion kinetic effects substantially modifies the instability criteria. When the ion to electron temperature ratio is moderate to high, the LHP rather than the RHP Alfvén wave becomes subject to the instability even when the plasma $\beta > 1$. Using the Vlasov-Hall-MHD code, we made a series of simulation runs using different combinations of the ion and the electron β , and discuss the stability of the system with respect to the modulational instability. Long time consequences and ion acceleration will be reported as well.

ヴラソフシミュレーションは Maxwell 方程式とともに Vlasov 方程式の位相空間内での時間発展を直接解くことによりプラズマの振る舞いを求める、近年注目されている解析手法である。その数値ノイズの低さから従来の粒子シミュレーションよりも正確かつ詳細な情報を得ることができると考えられている。我々は宇宙プラズマ中磁気流体波動の非線形発展においてイオンの運動論的振る舞いが果たす役割を精度よく解析することを目的として、主軸方向にはイオンの Vlasov 方程式を、垂直方向には 2 流体方程式を解く、Vlasov-Hall-MHD コードを新たに開発した。

主な研究対象である太陽風中の大振幅準平行伝播 Alfvén 波は、エネルギーや運動量などのマクロ物理量を長距離伝搬する重要な担い手である。これらのマクロ量を最終的に太陽風プラズマに受け渡すためには波動が消滅することが必要であるが、イオンサイクロトロン減衰等の線形無衝突減衰過程は小さいため、減衰過程として最重要視されている過程の一つが、複数の波の共鳴による波動間エネルギー輸送（パラメトリック不安定性）である。

本研究では Vlasov-Hall-MHD コードを用い、パラメトリック不安定性の一つである変調不安定性について、解析を行った。Alfvén 波の変調不安定性は、親波と同モードの Alfvén 波（側帯波）が励起されることにより波動の振幅変調が生じ、これを媒介として波動間にエネルギーのやり取りが行われる不安定性である。崩壊不安定性の場合とは異なり、縦波の波数は親波の波数よりも小さく（長波長）またプラズマを流体として扱える場合（電子温度がイオン温度よりも十分大きい場合）には、波動間のエネルギー交換が正のフィードバックとなるための条件として、低プラズマでは親波が左偏波、高プラズマでは親波が右偏波でなければならない。一方、イオンの運動論効果が無視できない場合、不安定性の親波偏波依存性はなくなり、常に左偏波の親波が不安定となることが知られている。本講演では、イオンおよび電子のプラズマ値を基本パラメータとして与え、Vlasov-Hall-MHD コードを用いて様々なパラメータ領域における自己変調不安定性の高精度計算を行った結果を報告する。波動の長時間発展および粒子加熱・加速について言及する。