

宇宙プラズマ中における3次元磁気リコネクションの粒子加速

星野 真弘 [1]
[1] 東大・理

Particle acceleration of 3d magnetic reconnection in astropasmas

Masahiro Hoshino[1]
[1] University of Tokyo

So far many observational evidence of high energy particle production by magnetic reconnection have been accumulated in a wide variety of astropasma settings such as in the earth's magnetotail, in the solar corona and so on. In addition, many simulation studies by using PIC simulation have been performed towards the understandings of the mechanism of particle acceleration. The particle acceleration by reconnection is now believed to happen not only in heliosphere but also in astrophysical phenomena such as pulsar magnetosphere and AGN jets. Nowadays, the particle acceleration by reconnection is recognized to be a ubiquitous process in the universe. Thanks to modern satellite and ground based observations and simulation studies, several key processes of particle acceleration have been discussed, but our reconnection picture is still limited. Furthermore, most of PIC simulation studies are carried out in two-dimensional (2d) topology, and it is required to extend our understanding into 3d evolution of reconnection. During the nonlinear time evolution of 3d reconnection, not only the reconnection but also current driven instabilities are known to play a significant role on particle acceleration. For the case of relativistic reconnection expected in the astrophysical settings such as pulsar magnetosphere and astrophysical jets, both reconnection and drift-kink modes are excited in the plasma sheet, and those nonlinear couplings leads to much dynamical evolution of plasma sheet compared with that in 2d evolution. In this presentation, we will discuss nonthermal particle acceleration in 3d PIC simulation result, and specifically we focus on the process of particle injection into the X-type region as well as the particle acceleration efficiency in the well developed nonlinear plasma sheet.

近年磁気リコネクションに伴い高エネルギー粒子が生成されることは、地球磁気圏尾部、太陽コロナなどの観測で明らかになり、また更に数値シミュレーションによる研究でもその加速メカニズムの解明が進んできた。そして磁気リコネクションの粒子加速過程は、一般性を持って、太陽圏でのプラズマ現象だけでなく中性子星磁気圏や宇宙ジェットなどの宇宙プラズマ領域においても、同様に重要な役割を果たしていると考えられるようになってきた。観測及び粒子シミュレーションを用いた研究により、リコネクションの加速過程理解が進んできているが、これまでの粒子計算の研究では、殆どの研究が2次元性を仮定した限定的なものであり3次元性を考慮した研究は今後の課題となっていた。

プラズマシートで3次元性が重要なのは、磁気リコネクションモードに加えて電流駆動型の不安定性があるためであるが、その両者の非線形競合過程の理解がプラズマシートのダイナミクスを支配する。特に、高エネルギー天体での強磁場中のリコネクションを考えるとときには、リコネクションモードとドリフト・キンクモードの競合が系の非線形発展を支配し、3次元構造が粒子加速の効率をも大きく変える可能性がある。リコネクションの初期の非線形発展では、X点近傍での加速が高エネルギー粒子形成に支配的であるが、2次元リコネクションと3次元リコネクションでは、そのX点にどの程度の粒子が注入されるのかという注入効率と、X点近傍の加速域にどの程度の時間滞在できるかという加速時間が異なることが推測されるため、系全体での加速効率が異なることが予想される。またプラズマモイドが発達した乱流的状态では、散乱効率が大きく異なることが期待される。本講演では、3次元相対論的シミュレーション結果をもとに、3次元リコネクションでは、粒子注入効率が上がること、加速効率はやや下がること、そしてそれらの競合の結果として系全体の加速効率がどのように影響を受けるのかを議論する。