

MHD 乱流中での宇宙線の異常輸送

羽田 亨 [1]; 黒江 健斗 [2]; 大塚 史子 [1]
[1] 九大総理工; [2] 九大・総理・大海

Anomalous transport of cosmic rays in MHD turbulence

Tohru Hada[1]; Kento Kuroe[2]; Fumiko Otsuka[1]
[1] ESST, Kyushu Univ; [2] Earth System, Kyushu Univ.

The motion of cosmic rays (energetic particles) in the MHD turbulence is complex. Even in the simplest setting of the fossil slab model, in which the turbulence electromagnetic field is given as a superposition of static finite amplitude MHD waves, the cosmic rays can at times be trapped by a large amplitude wave packet and stay there for a long time, or can they make almost ballistic motion without much influenced by the turbulence field. At some large time and spatial scales, their motion may deviate from the classical Brownian motion. If this is the case, the transport of the cosmic rays should be treated using the concept of sub- and super-diffusion for this particular time and the spatial scales.

In our earlier presentations at this conference, we have introduced a natural formalism to model the anomalous transport using the fractional diffusion equation, in which the spatial diffusion term involves a fractional differentiation operator. An essential external parameter in this model is the order of the differentiation, and this has to be determined via inspection of the cosmic ray scattering by a given MHD turbulence field.

In this presentation, we discuss how the properties of the given turbulence are mapped to the statistical properties of motion of the cosmic rays. We will pay particular attention to the influence of the turbulence energy density, turbulence spectrum, and intermittency. By analytic theory and test particle simulations, we will then determine the order of the differentiation of the spatial diffusion term for some realistic turbulence models associated with astrophysical shocks.

磁気流体 (MHD) 乱流中で宇宙線 (高エネルギー荷電粒子) は複雑な運動をする。電磁場がMHD波動の重ね合わせで与えられる簡単な時間定常スラブ乱流の場合でも、宇宙線は波動パケットに捕捉されて長時間を過ごしたり、乱流場の影響をほとんど受けずにバリスティックに運動したりする。ある長い時間・空間スケールで古典的ブラウン運動からのズレが生じる場合、これら宇宙線の集団の輸送を扱う際には準・超拡散の概念を取り入れる必要がある。

これまで本学会にて、このような非ガウスの統計性質を持つ粒子集団の異常輸送を表現する自然な数理モデルとして、フラクショナル移流拡散方程式を提案した。このモデルの本質的なパラメータとして、空間拡散のフラクショナル微分の階数があるが、これは与えられたMHD乱流のもとでの宇宙線の散乱によって決める必要がある。

この観点から本講演では、乱流の統計がどのように宇宙線拡散の統計に反映されるかを議論する。特に注目するのは、乱流の総エネルギー密度、スペクトル、間欠性である。解析およびテスト粒子計算により、天体衝撃波近傍に存在し得る典型的なMHD乱流モデルに対して、宇宙線空間拡散の微分階数の値を決める。