

ピッチ角異方性を取り入れた統計的衝撃波ドリフト加速モデルによる非相対論的電子加速の理論解析

加藤 拓馬 [1]; 天野 孝伸 [1]
[1] 東大・理

A theory of a non-relativistic electron acceleration by the stochastic shock drift acceleration with a pitch-angle anisotropy

Takuma Kato[1]; Takanobu Amano[1]
[1] University of Tokyo

The acceleration of the cosmic ray is one of the important subjects in astrophysics. Galactic cosmic rays are believed to be accelerated by the 1st order Fermi acceleration (e.g. Drury 1983) at a supernova remnant (SNR) shock. However, this acceleration process is not efficient for non-relativistic electrons (with energies $< 1\text{MeV}$). Then an alternative acceleration process of such electrons is needed to explain observed electron fluxes at SNRs. This is called the electron injection problem. It has still been discussed.

We proposed the stochastic shock drift acceleration as a plausible acceleration model of non-relativistic electrons (Katou and Amano 2019). This model takes into account both an adiabatic acceleration in the shock transition region and a stochastic pitch-angle scattering by whistler waves. Our previous study showed that this model reproduces a power-law energy spectrum and cutoff energy consistent with in-situ observations at the Earth's bow shock. However, we cannot discuss an electron distribution around the cutoff energy since the assumption of an isotropic pitch-angle distribution, which is considered in previous model, is not satisfied. In this study, we extend our model to include the dependence of an electron distribution on the pitch-angle. The new model considers the dependence of the distribution function on energy, space, and pitch-angle. We use the numerical code to solve the model equation. In this presentation, we discuss the spatial and pitch-angle dependence of distribution function near the cutoff energy and the dependence on macroscopic parameters (e.g. shock velocity and shock normal angle) of shocks.

宇宙線の加速は、宇宙物理学における重要なテーマの一つである。宇宙線のうち、銀河宇宙線と呼ばれるものは、超新星残骸における Fermi 加速 (e.g. Drury 1983) によって生成されていると広く信じられている。しかし超新星残骸では、Fermi 加速は非相対論的電子 ($< 1\text{MeV}$) に関しては非効率であり、観測された電子フラックス量を説明するためには、これらの電子について別の加速過程が必要である。この問題は電子注入問題と呼ばれていて、現在においても未解決である。

我々はこの電子加速過程として、衝撃波遷移層における断熱的な電子加速過程にホイッスラー波によるピッチ角散乱の効果を取り入れた統計的衝撃波ドリフト加速モデルを提案した (Katou and Amano 2019)。これまでの研究で、この加速モデルがエネルギースペクトルの形 (ベキ型) やカットオフ・エネルギーが、地球バウ・ショックにおける衛星観測と整合的であり、非相対論的電子の加速機構として有用である可能性が高いことが判明した。しかしカットオフエネルギー付近のエネルギー帯では、これまでの研究で仮定していた粒子分布のピッチ角等方性が崩れてしまうため、既存のモデルを適用できなかった。そこで本研究では、これまで構築した統計的ドリフト加速の理論を電子のピッチ角異方性を考慮できるように拡張し、カットオフ付近における電子加速について議論する。新しいモデルでは、既存のモデルで考えていたエネルギー依存性に加えて、空間・ピッチ角依存性について考慮する。ピッチ角異方性を含めた粒子の分布関数の理論計算は解析的に行うことが難しいため、計算は数値的に行う。本発表では、拡張したモデルを元に求めたカットオフ付近における空間分布やピッチ角分布の、衝撃波のマクロ・パラメーター (衝撃波速度・衝撃波角など) に関する依存性について議論する。