

R008-17

C会場：11/27 AM2 (10:30-12:00)

10:45~11:00

電子-イオン-陽電子3成分プラズマにおける相対論的衝撃波による陽電子の選択的粒子加速

#荒井 翔吏¹⁾, 松本 洋介²⁾

(¹ 千葉大学, (² 千葉大高等研究基幹

A preferential positron acceleration in relativistic magnetized shocks in electron-positron three-component plasma

#Shori Arai¹⁾, Yosuke Matsumoto²⁾

(¹Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, (²Institute for Advanced Academic Research, Chiba University

Positron excess is one of the open questions about cosmic rays. Observational evidence from PAMERA, Fermi-LAT, and AMS-02 indicated that the ratio of positrons to electrons (positron fraction) over 10 GeV is higher than theoretical models based on a secondary origin. This reveals the existence of extra sources of primary cosmic-ray positrons. To solve the acceleration mechanisms of cosmic rays, relativistic perpendicular shocks in two-component (electron-positron or ion-electron) plasma have been studied with particle-in-cell (PIC) simulations. It has been confirmed that electrons are accelerated by the Weibel instability (WI) in electron-positron plasma and by the wakefield acceleration (WFA) in ion-electron plasma. Some simulations of relativistic electron-ion-positron shocks have also been conducted. In moderate magnetizations, both electrons and positrons are nonthermally accelerated by absorbing the high harmonic ion cyclotron waves emitted by the ions. Though they are equally accelerated during large positron fractions, positrons are more efficiently accelerated as the positron fraction decreases (Hoshino et al. 1992; Amato & Arons 2006; Stockem et al. 2012). Under low but finite magnetizations, electrons are accelerated via the first-order Fermi process only when the external magnetization is below a critical value, but in the limit of vanishing external magnetization, both ions and electrons are accelerated due to scattering off the intense magnetic cavities (Grošelj et al. 2022). However, there are parameter spaces in three-component plasmas that have not yet been fully studied, such as the case when the positron fraction is small and when the magnetization is large. In this study, we show the results of one-dimensional PIC simulations of relativistic electron-ion-positron shocks and compare results with the positron excess.

When σ , which is the ratio of the Poynting flux to the kinetic energy flux, become $\sigma \sim 0.1$, Electrons are accelerated by the wakefield produced by precursor waves, as reported in case of ion-electron shocks. However, positrons are accelerated by a cyclotron resonance with the emitted waves and also by the wakefield in the opposite polarity. When $\sigma \geq 1$, we found that electrostatic fields are generated by separations between a pair shock and an ion shock and cause particle accelerations like by the wakefield. Moreover, comparing the energy spectra of electrons and positrons, we found that those of positrons have peaks in higher energies than those of electrons. In this presentation, we report the relations between preferential positron accelerations in relativistic electron-ion-positron shocks and positron excess.

宇宙線に関する未解決問題として陽電子過剰がある。PAMELA や Fermi-LAT、AMS-02 といった観測では、10 GeV 以上の陽電子の割合が二次宇宙線の理論モデルよりも大きいことが分かり、一次宇宙線としての陽電子の発生源が存在していることが示唆された。宇宙線加速の研究手法の1つとしては、相対論的衝撃波の PIC シミュレーションがある。過去の研究では、電子-陽電子プラズマではワイベル不安定によって、イオン-電子プラズマでは航跡場加速によって電子が加速されていることが確認された。電子-イオン-陽電子3成分プラズマでは中程度の磁場強度の場合、電子、陽電子ともにイオンから放射される高次高調波イオンサイクロトロン波を吸収して加速される。陽電子の割合が大きい場合は電子も陽電子も等しく加速されるが、陽電子の割合が小さくなるにつれて陽電子の方がより効率的に加速される (Hoshino et al. 1992; Amato & Arons 2006; Stockem et al. 2012)。一方、弱磁場の場合はある閾値より磁場強度が小さいときに1次フェルミ過程を経て粒子加速が起こり、磁場がない場合は強い磁気空洞が形成され、それに散乱されることで粒子加速が起こることが分かっている (Grošelj et al. 2022)。しかし、陽電子の数が少ない場合や磁化が大きい場合など、3成分系プラズマ系における衝撃波粒子加速の研究はまだ限られている。本研究では、電子-イオン-陽電子の3成分プラズマにおける相対論的衝撃波による電子と陽電子の加速に関する1次元 PIC シミュレーション結果を陽電子過剰との比較を交えつつ議論する。

ポインティングフラックスと上流運動エネルギーの比 σ が $\sigma \sim 0.1$ のとき、電子はこれまで電子-イオンプラズマで報告されていた様に先駆波による航跡場で加速されるが、陽電子は衝撃波から放射される電磁波による共鳴加速と衝撃波の進行と逆向きの航跡場によって加速されることが分かった。また $\sigma \geq 1$ の強磁場環境では、電子-陽電子衝撃波とイオン衝撃波の分離によって静電場が発生し、航跡場と同様の粒子加速が存在することを新たに発見した。さらに、電子と陽電子のエネルギースペクトルを比較したところ、陽電子の方がより高エネルギー側にピークを持つことを発見した。本発表では、3成分系プラズマにおける陽電子の選択的な加速と陽電子過剰の関連性についての詳細を報告する。