

変成衝撃波による衝撃波統計加速のテスト粒子シミュレーション

安倍 元彦 [1]; 羽田 亨 [1]; 松清 修一 [2]
[1] 九大総理工; [2] 九大・総理工

Test particle simulation of diffusive shock acceleration process in a cosmic ray mediated shock

Motohiko Abe[1]; Tohru Hada[1]; Shuichi Matsukiyo[2]
[1] ESST, Kyushu Univ; [2] ESST Kyushu Univ.

The diffusive shock acceleration (DSA, also known as the Fermi acceleration) is one of the most important processes to generate cosmic rays (energetic particles). In this process the particles gain energy as they are scattered by turbulence upstream and downstream and travel across the shock repeatedly. When the cosmic ray energy density becomes comparable to that of the shock, the shock structure is modified: the incoming flow is decelerated over a wide region upstream due to the cosmic ray pressure before it reaches the shock front, i.e., the cosmic ray mediated shock is realized. This is in strong contrast to the conventional shocks where the flow speed is suddenly decreased to (shocked to) the downstream flow speed. Moreover, as it is well known, the Fermi acceleration in the cosmic ray mediated shock leads to a curved flux spectrum, because the particle energy is larger, more energy is gained by travelling long distances along the velocity gradient and may experience a large velocity difference.

According to Malkov and Diamond (ApJ, 2006), cosmic ray acceleration time scale is much reduced for the cosmic ray mediated shock compared with the shock without the cosmic ray pressure, since the probability that the particles encounter the shock (the region with velocity gradient) is much larger for the cosmic ray mediated shock due to the presence of the extended upstream precursor. On the other hand, since the velocity gradient within the shock precursor is much less than the velocity jump across the subshock, quantitative analysis is necessary. In this presentation we show test particle simulation results to discuss the acceleration time scale for the cosmic ray mediated shocks.

高エネルギー荷電粒子（以下、宇宙線）が生成されるメカニズムには多くの種類があるが、特に重要なものの一つは無衝突衝撃波による衝撃波統計加速（フェルミ加速）である。これは衝撃波の上流と下流に存在する磁気流体乱流により宇宙線が散乱され、衝撃波を複数回横切ることにより、統計的に粒子が加速されるプロセスである。宇宙線の加速が進み、そのエネルギー密度が衝撃波の圧力と比べて無視できなくなると、衝撃波は宇宙線により変成を受け、物理量が断熱的に遷移する上流域（precursor）と非断熱的なサブショックとから成る、いわゆる変成衝撃波があらわれる（宇宙線圧が大きい場合にはサブショックが伴わない場合もある）。このような衝撃波では、エネルギーの高い宇宙線ほど大きな速度差を利用したフェルミ加速ができるため、低エネルギー側ではソフト、高エネルギー側ではハードなスペクトルとなり、結果として下に凸な宇宙線フラックスのスペクトルが得られる。また、Malkov and Diamond (ApJ, 2006) は、宇宙線が上流域に滞在する確率は衝撃波を横切る確率よりも大きいため、変成の無い衝撃波の場合に比べて変成衝撃波によるフェルミ加速では加速時間スケールが短くなることを予想している。しかし、上流域でのエネルギー増分は小さいため、定量的議論が必要である。本講演では、相対論的テスト粒子計算により、変成衝撃波による宇宙線加速に対して、特に加速時間に焦点をあてた議論を行う。変成衝撃波の場合には必ずしも加速時間スケールが短くなるとは限らない。