

相対論的電磁波変性衝撃波の構造

天野 孝伸 [1]

[1] 東大

Structure of relativistic electromagnetically modified shock

Takanobu Amano[1]

[1] Univ. Tokyo

Poynting-flux dominated relativistic flows are often invoked to model high-energy astrophysical phenomena. On the other hand, observations suggest that the kinetic energy of particles is the dominant component over the electromagnetic energy beyond certain distances from the central object. This indicates that there would be an efficient energy conversion mechanism that causes the transition from initially Poynting-flux dominated flows to particle-energy-flux dominated ones. This problem has been treated in the dissipative magnetohydrodynamics (MHD) framework, in which magnetic reconnection can convert the magnetic energy to particle kinetic energy. It is, however, also possible to consider another dissipation channel through the conversion from MHD to electromagnetic waves, which could be much more efficient in astrophysical relativistic plasmas compared to ordinarily non-relativistic plasmas. Relativistically intense electromagnetic waves relevant to pulsar winds and other astrophysical phenomena are violently unstable against parametric instability and thus rapidly decay, and as a result, substantially heat the plasma.

In this study, we investigate the mode conversion and related dissipation processes triggered by the interaction between a pulsar wind and its termination shock by using a relativistic two-fluid simulation code. The upstream wave (modeled as a circularly polarized magnetic shear wave) is actually converted into large amplitude electromagnetic waves when the injected wave frequency is greater than the local proper plasma frequency. The shock structure is modified so that a well-pronounced precursor region develops ahead of a subshock. This structure is very similar to that of the cosmic-ray modified shock, and thus is called relativistic electromagnetically modified shock. We present the detailed analysis of the modified shock structure with particular emphasis on how and where the mode conversion and dissipation are taking place.

高エネルギー天体では中心にコンパクトな強磁場天体が存在し、その中心天体から相対論的流れが吹き出すような現象がしばしば見受けられる。この時、流れのエネルギー流束の大部分が電磁場のエネルギー流束で支配されるような場合が往々にして起こり得る。一方で中心天体からある程度以上の距離では、観測は粒子のエネルギー流束が優勢であることを示唆している。高速回転する中性子星（パルサー）から吹き出す相対論的なパルサー風もその例の一つであり、中心天体近傍で電磁場優勢であった状態から粒子優勢の状態への遷移過程はよく理解されていない。この問題はシグマ問題として古くから認識されており、これまでは磁気リコネクションを始めとする磁気流体的な過程によって磁気エネルギーを散逸する可能性がよく議論されてきた。一方で相対論的なプラズマにおいては非相対論的状况に比して高周波の電磁波モードへのエネルギー変換効率が飛躍的に高くなることが予想される。実際に初期のパルサー星雲の理論モデルでは斜め回転するパルサーからのエネルギー流束が電磁波によって運ばれる可能性が議論されており、従って超相対論的強度の電磁波が盛んに議論されていた。現在ではパルサー磁気圏内部で生成される電子・陽電子プラズマの密度が非常に高いため、パルサー近傍においては電磁波ではなく磁気流体波動によってエネルギー流束が運ばれると考えられているが、パルサー風の伝搬によって急速に減少する密度の影響で、遠方では電磁波モードへと変換される可能性がある。一度この変換が起こると超相対論的強度の電磁波はパラメトリック不安定性により急速に減衰し、結果として粒子を強く加熱し粒子エネルギー優勢の状態へと急速に遷移させることが可能となる。

本研究では以上のような超相対論的強度の電磁波モードを介した新しい散逸過程について議論する。ここでは特にモード変換および電磁場から粒子へのエネルギー変換がパルサー風と終端衝撃波の相互作用によって引き起こされる可能性を考える。現在はパルサー由来の波動を模擬するため、上流から円偏波した磁気シア（エントロピーモード）を注入し、相対論的衝撃波との相互作用を相対論的2流体シミュレーションコードを用いて調べている。上流の波動の周波数（パルサーの回転周波数）が上流の固有プラズマ周波数よりも高い場合には確かに衝撃波との相互作用によって電磁波モードが励起されていることがこれまでの研究によって分かっている。励起された電磁波モードは上流に伝搬することができるが、実際には伝搬の過程で不安定性によって減衰し、上流プラズマを加熱・減速する。この結果として衝撃波の上流に precursor と呼ばれるような領域を形成するが、十分時間が経過後にはこの構造は時間的に準定常状態に落ち着くことが分かった。この時、電磁波モードへの変換は上流プラズマが衝撃波と相互作用する前段階の precursor において既に起きているようである。このような衝撃波構造は宇宙線の効果によって変性を受けた「宇宙線変性衝撃波」と類似しており、ここでは相対論的電磁波変性衝撃波と呼ぶべきものであろう。講演ではこの変性を受けた衝撃波構造や電磁波モードへの変換、またパラメトリック不安定性について詳細に解析した結果を報告する。