

## 部分電離プラズマ中の無衝突プラズマ現象

大平 豊 (青山学院大学)

利用カテゴリ XT4B

超新星残骸では、観測により約 1keV の熱的プラズマ、エネルギーが 1TeV にもなる非熱的粒子の存在が分かっている。それらは、衝撃波で加熱、加速されたと思われているが、その衝撃波が無衝突衝撃波なので、その加熱、加速機構の物理は分かっていない。また、いくつかの観測や理論は、衝撃波近傍での磁場の増幅を示唆しているが、その増幅の値などは理論からは予言できない。上記のことに関するこれまでの研究は、完全電離プラズマ中でのみ考えられていた。しかし H の観測により超新星残骸の周りには、約半分の割合で中性の水素ガスが存在することが分かっている (電離度  $\sim 0.5$ )。またいくつかの超新星残骸は分子雲と衝突している。つまり、超新星残骸衝撃波の上流は完全電離プラズマではない。

しかし、部分電離プラズマ中の無衝突衝撃波の構造は全く分かっていない。部分電離プラズマ中の無衝突衝撃波の構造とそこで起きるプラズマ不安定性と粒子加熱・加速を明らかにすることが本研究の目的である。完全電離プラズマ中の無衝突衝撃波の研究は、Particle In Cell (PIC) と呼ばれる計算手法を用いてきた。これは、荷電粒子の運動とその粒子が作る電流を計算し、それを用いて Maxwell 方程式を解き、それから得られる電磁場を元に荷電粒子の運動を解く、といった自己矛盾のない方法である。超新星残骸では、電離過程として電荷交換反応が支配的である。これは、中性の水素原子とイオンとの間で電子の受け渡しが生じ、中性の水素原子が荷電粒子の陽子になる過程である。超新星残骸の状況では、電荷交換に伴う運動量交換は無視できる。PIC シミュレーションに、電荷交換反応で新たに荷電粒子が生じることを取り入れた計算コードを開発する。

いままでの結果として、まず PIC シミュレーションの前に、電子の運動方程式を解かない Hybrid シミュレーションコードに、電荷交換反応を取り入れた。Hybrid code は電子スケールの電磁場や、電子の運動量空間の分布を解かない代わりに、PIC より広い空間、より長い時間スケールの現象を追うことが可能である。シミュレーション空間に徐々に電荷交換反応によってイオン化されたイオンを注入した。この新しい計算コードを用いて、下流から電荷交換反応によって上流に染み出した中性粒子が、衝撃波上流でイオン化する状況を、二次元の周期境界条件で調べた。系は、上流静止系にとった。単位時間当たりのイオン化効率を変えることで、どのような不安定性が現れるかを調べた。アルフヴェンマッハ数 100、上流プラズマ密度の 50 % の中性水素が衝撃波下流から上流に染み出す場合は、染み出した水素が電離された時のジャイロ半径程度の波長のアルフヴェン波が励起されることが分かった。下流から染み出す中性水素の割合を増やしていくと、より波長の短い磁場の波が励起されることが分かった。どちらの場合も下流から染み出した中性水素は電離した後、自ら励起した磁場の波に散乱され等方的になるが、上流プラズマと 1 つの Maxwell 分布にはならないことが分かった。