

Q26a 乱流衝撃波における粒子加速の直接シミュレーション

村主 崇行

宇宙線加速にはよく知られた、衝撃波面での1次 Fermi 加速モデルがあり、12桁ものエネルギースケールにわたって観測されている宇宙線の冪スペクトルを説明している。我々は、宇宙線加速天体からの輻射・散乱光の観測を通じて無衝突プラズマ理論の手がかりを得るため、電子の軌道を解析的に追跡でき、これら輻射過程の貢献を正確に見積もりうるシミュレーション手法を追求してきた。

宇宙線加速は、たとえば knee までの加速をとってみても、加速天体の熱温度から脱出スケールまでの、サイズにして8桁、体積にして24桁にもわたる現象であり、エネルギースケールで1桁以下の幅の冪スペクトルを再現できるとどまる従来の計算手法では、有効なモデル間の比較を行うこと等は不可能であった。

そこで私は、乱流スペクトルを波数の対数の空間で解析的研究から与えることで、長さスケールにして8桁にわたる4次元磁場構造を表現可能にするモデルを作って研究を進めてきた。私の手法では、大局的な衝撃波構造を解析解から、局所的な構造は乱流理論から対数波数スペクトルを与えることで、加速をひきおこす背景電磁場の物理的特徴をごく小さい計算量で表現する。このような電磁場構造の中で、テスト粒子の軌道を決定論的に計算する。

その結果、乱流スペクトルの波長範囲や、一様磁場ベクトルと衝撃波面のなす角度に対する、宇宙線粒子のスペクトルの依存性があきらかになった。加えて、加速を引き起こす乱流モデルの違いが、実際にスペクトルの冪に反映されることをつきとめた。(Muranushi & Inutsuka (2008, ApJL, arXiv:0811.4528)) これは、広範囲のエネルギースペクトルが計算できるようになってはじめて得られた成果である。

講演ではさらに、このモデル内での加速現象の解析的裏付けや、計算に使用している汎用グラフィックボード計算機についても紹介したい。