

ParthENoPE (O. Pisanti, et al.)

解説：日下部元彦（韓国航空大学）

ParthENoPE (Public Algorithm Evaluating the Nucleosynthesis of Primordial Elements) は、宇宙初期のビッグバン元素合成でできる軽元素の組成を計算するコードである。イタリア国立原子核物理研究所 (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare; INFN) 粒子天体物理グループ (Naples) を中心に作成されたもので、新たに評価した核反応率が組み込まれ、2008年2月に最新版が公開された^{*1}。長年の間標準的なビッグバン元素合成計算コードであった Wagoner-Kawano コード^{*2}と似た構造になっている。言語は Fortran 77, 商用の NAG ライブラリを利用する。コードの説明書^{*1}は、初学者にとって記述が不足している。Kawano コードの説明書^{*2}とその参考文献が役に立つだろう。

ビッグバン元素合成は標準宇宙論を支持する現象の一つである。宇宙の温度が 10^{10} K から 10^8 K に下がる間に重水素, ^3H , ^3H , ^4He と微量の ^7Li , ^7Be の合成が進む。標準ビッグバン元素合成モデルでは、宇宙のバリオンと光子の数の比が唯一のパラメータであり、この比には通常、宇宙背景放射揺らぎの観測で決定された値を用いる。元素合成の標準理論計算値は、低金属量の天体の観測をよく説明するため、宇宙の標準的理解を超える現象を含むモデルを、元素合成計算を用いて厳しく制限することができる。例えば、元素合成時期の光子以外の相対論的自由度に制限が与えられる (図1)^{*3}。

このコードでは、バリオン密度、有効ニュートリノ種数、ニュートリノの化学ポテンシャルなどの宇宙論パラメータの関数として、元素組成の

非平衡時間進化を計算できる。種々の2体反応や崩壊を考慮した組成変化率の連立常微分方程式を、宇宙論パラメータで指定される条件の下で計算する。 ^{16}O までの原子核種の組成を計算でき、(核種数, 反応数) の組み合わせは、(9, 40), (18, 73), (26, 100) の中から選択できる。初期情報の入力、スクリーン上での操作で、あるいは入力値ファイルを用いて行う。

利用目的:

- 電子陽電子, バリオン, 光子, ニュートリノの効果を考慮した物理量の計算
- 標準モデルを超えるモデルの制限

出力:

- 軽元素の時間進化 (温度進化)

旧コードに勝る利点:

- 出力のカスタマイズが容易
- 電子陽電子対消滅によるエントロピー輸送を考慮
- 新しい核反応の追加・反応率の更新
- 数値ルーティン改良による計算の効率化

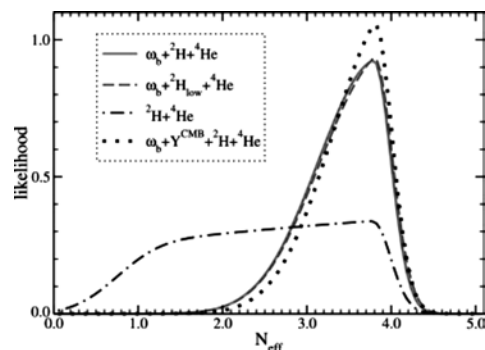


図1 有効ニュートリノ種数 N_{eff} に対する尤度^{*3}。 ω_b と Y^{CMB} は背景放射観測によるバリオン密度と ^4He 組成の制限、 $^2\text{H}_{\text{low}}$ と ^4He は、クエーサー吸収線系と銀河系外 HII 領域の観測による組成の制限を用いたことを示す。

^{*1} Pisanti O., et al., 2008, Comput. Phys. Commun. 178, 956; <http://parthenope.na.infn.it/>

^{*2} Kawano L., 1992, Let's go Early Universe Preprint Fermilab-Pub-92/04-A

^{*3} Mangano G., Serpico P. D., 2011, Phys. Lett. B 701, 296