

超新星におけるニュートリノ軽元素合成

Neutrino nucleosynthesis of light elements in supernovae

吉田 敬 [1]; 鈴木 俊夫 [2]; 千葉 敏 [3]; 梶野 敏貴 [4]; 横枕 英和 [5]; 木村 恵一 [6]; 高村 明 [7]; Hartmann Dieter H.[8]
Takashi Yoshida[1]; Toshio Suzuki[2]; Satoshi Chiba[3]; Toshitaka Kajino[4]; Hidekazu Yokomakura[5]; Keiichi Kimura[6]; Akira Takamura[7]; Dieter H. Hartmann[8]

[1] 国立天文台; [2] 日大・文理・物理; [3] 原子力機構; [4] 天文台; [5] 名大・理・物; [6] 名大・理・物理; [7] 豊田高専; [8] クレムソン大・物理天文

[1] NAOJ; [2] Physics, Coll. of Human. and Sci., Nihon Univ.; [3] JAEA; [4] NAO; [5] Science, Nagoya Univ.; [6] Phys. Naogya Univ.; [7] TNCT; [8] Dept. of Phys. & Astron., Clemson Univ.

超新星爆発時には原始中性子星から莫大な量 ($N \sim 10^{58}$) のニュートリノが照射される。これらニュートリノは爆発中の星内部の原子核とニュートリノ 原子核反応の断面積が非常に小さいにもかかわらず反応し、いくつかの原子核を新しく生成する。この元素合成過程をニュートリノプロセス (ν-process) と言う。超新星におけるニュートリノプロセスは Li, Be, B という軽元素の主な合成過程のひとつである。本研究では超新星におけるニュートリノプロセスによる元素合成について調べる。

我々は ${}^4\text{He}$ と ${}^{12}\text{C}$ のニュートリノ 原子核反応断面積を新しい shell model Hamiltonian を用いて計算した。さまざまな核種への branching ratio も計算されている。超新星爆発モデルとしては SN 1987A に対応する超新星モデルの時間進化を数値的に求めた。ニュートリノプロセスを含めた爆発的要素合成については 291 核種を含んだ核反応ネットワークを用いて計算した。原始中性子星表面から出るニュートリノのエネルギースペクトルは化学ポテンシャルが 0 の Fermi-Dirac 分布に従うと仮定した。この研究の標準モデルとして電子ニュートリノ, 電子反ニュートリノ, その他のニュートリノの温度をそれぞれ 4 MeV, 4 MeV, 6 MeV とし, ニュートリノが運び去る全エネルギー (原始中性子星の重力束縛エネルギーに相当) を 3×10^{53} erg とした。

本研究ではおおよそ 10^{-7} 太陽質量程度の ${}^7\text{Li}$ と ${}^{11}\text{B}$ が超新星によって作られた。 ${}^{10}\text{B}$ の量はこれらの量よりも約 3 桁少ない量しか生成されない。 ${}^6\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, 放射性核種の ${}^{10}\text{Be}$ の量はおおよそ 10^{-11} 太陽質量生成された。これらの核種は主に He/C 層と O/C, O/Ne 層で生成された。そしてニュートリノプロセスの中でも neutral-current 反応の寄与が大きく, charge-exchange 反応の寄与は小さい。ニュートリノプロセスで生成される軽元素の生成量はニュートリノ温度とニュートリノによって運び去られるエネルギー量に依存する。そのため, 金属欠乏星の観測と銀河の化学進化モデルから得られる ${}^{11}\text{B}$ の超新星の寄与を元に, それを用いて超新星ニュートリノの温度を制限することができる。本研究では超新星から出るニュートリノの温度を 4.5 MeV ~ 6.4 MeV の範囲と制限することができた。原始中性子星から出たニュートリノは O/C 層や He/C 層でニュートリノ振動によって flavor を変える。その結果ニュートリノのエネルギースペクトルが He/C 層で変化する。特に電子ニュートリノと電子反ニュートリノの平均エネルギーが上がることはニュートリノプロセス中の charge-exchange 反応の寄与を大きくする。本研究では LMA 解のニュートリノ振動を考慮した超新星軽元素合成についても議論する。特にまだニュートリノ実験から十分制限されていないニュートリノ質量階層と混合角 θ_{13} をニュートリノ振動パラメータとし, ニュートリノ振動による ${}^7\text{Li}$ と ${}^{11}\text{B}$ の生成量の増加とそのニュートリノ振動パラメータに対する依存性を議論する。