



天体核网络方程

陈永寿

创新群体项目启动汇报会

原子能院, 2010.9.16.

为什么要核天体物理？

核科学家有独特的工具用于宇宙的研究：

在实验室里，我们用加速器来产生并测量那些为恒星提供能源和生成构成生命和世界的各种元素的核反应。



核测量

核理论

天体模型

天体观测

热核反应率

网络方程

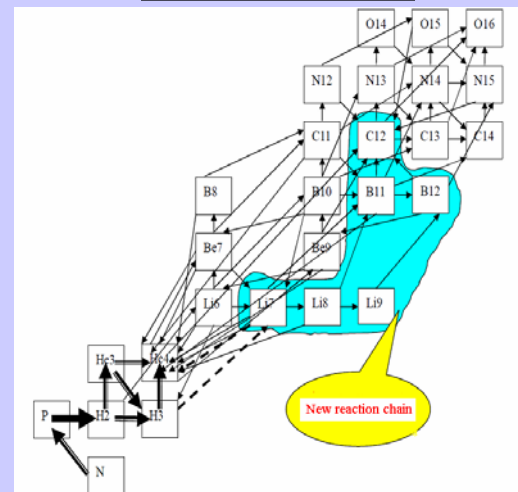
天体物理
计算机模拟

观测

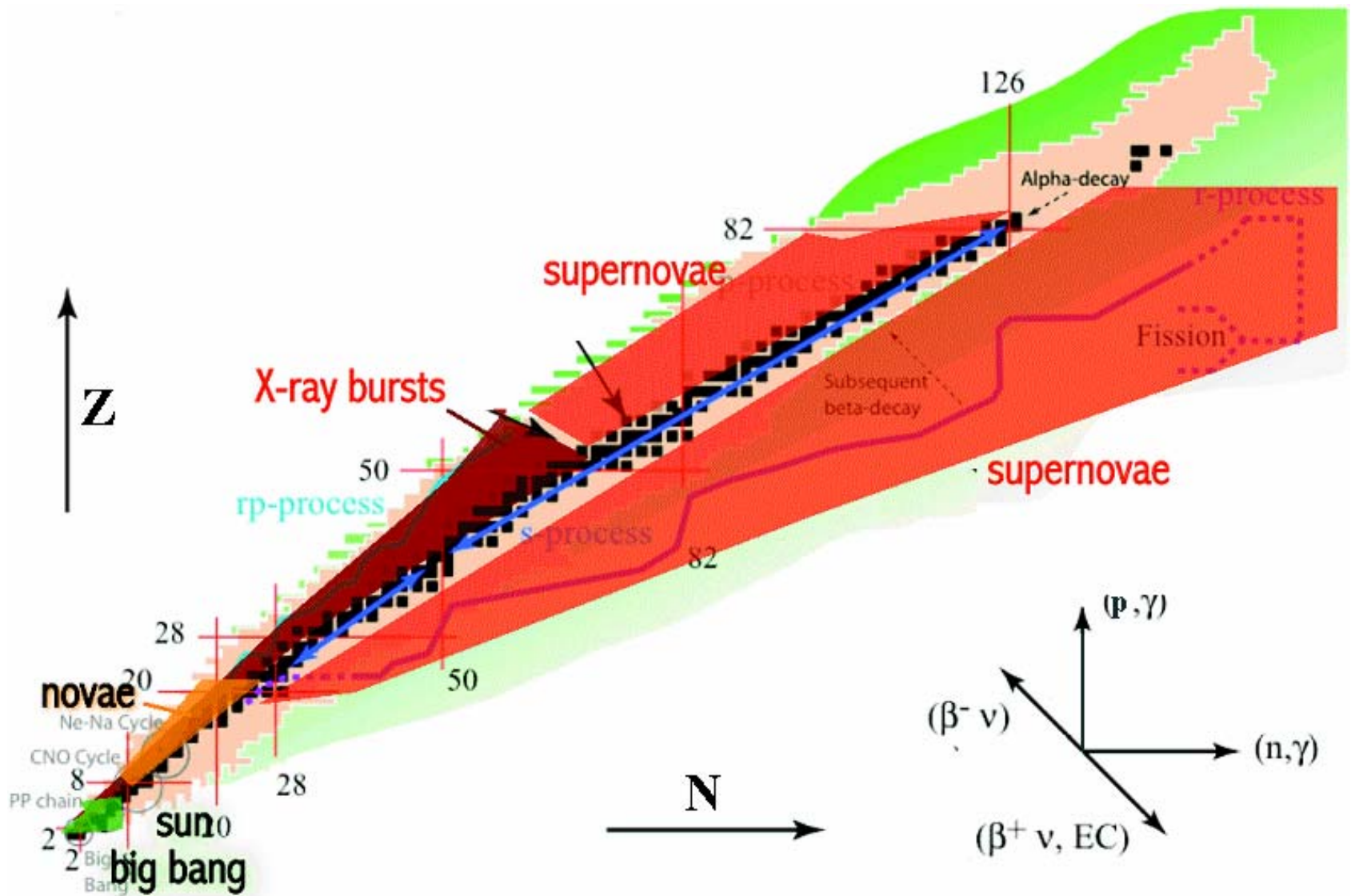
重复
改进

比较

预言



天体核过程的路径



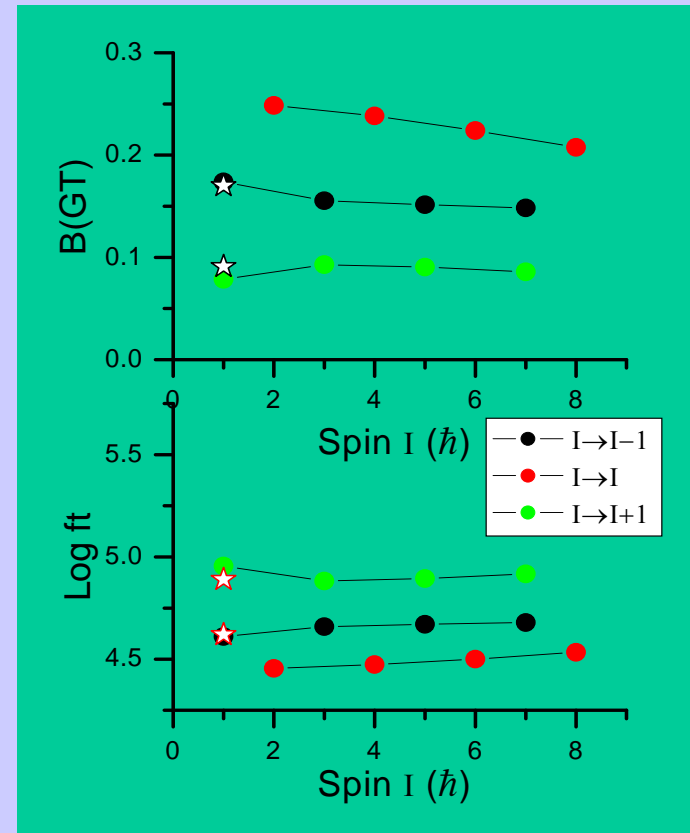
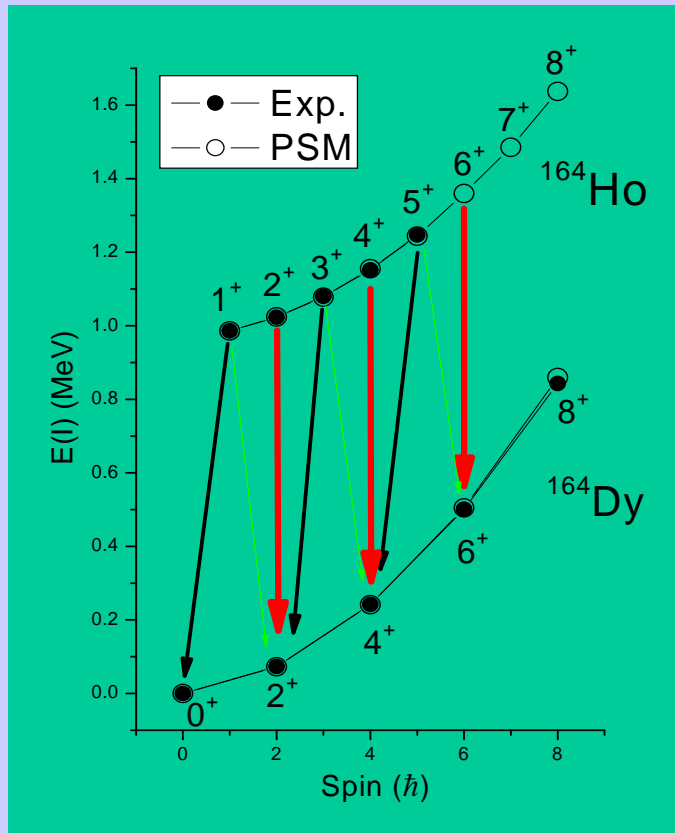
辐射俘获反应理论

渐进归一化系数方法 (ANC)

谱因子方法

β -衰变理论

激发态间的Gamow-Teller 跃迁



Z.C. Gao et al., Phys. Rev. C74, 054303 (2006)

网络方程 和核数据库

The reaction network

-- set of nonlinear differential equations

$$\frac{dY_i}{dt} = \sum_j N_j^i \lambda_j Y_j + \sum_{j,k} N_{j,k}^i \rho N_A \langle \sigma V \rangle_{jk,i} Y_j Y_k + \sum_{j,k,l} N_{j,k,l}^i \rho^2 N_A^2 \langle \sigma V \rangle_{jkl,i} Y_j Y_k Y_l$$

$$Y_i = n_i / \rho N_A \quad \text{The nuclear abundance}$$

$$N_A \quad \text{Avagadro constant number}$$

$$\rho \quad \text{The density}$$

$$n_i \quad \text{The number density of species 'i'}$$

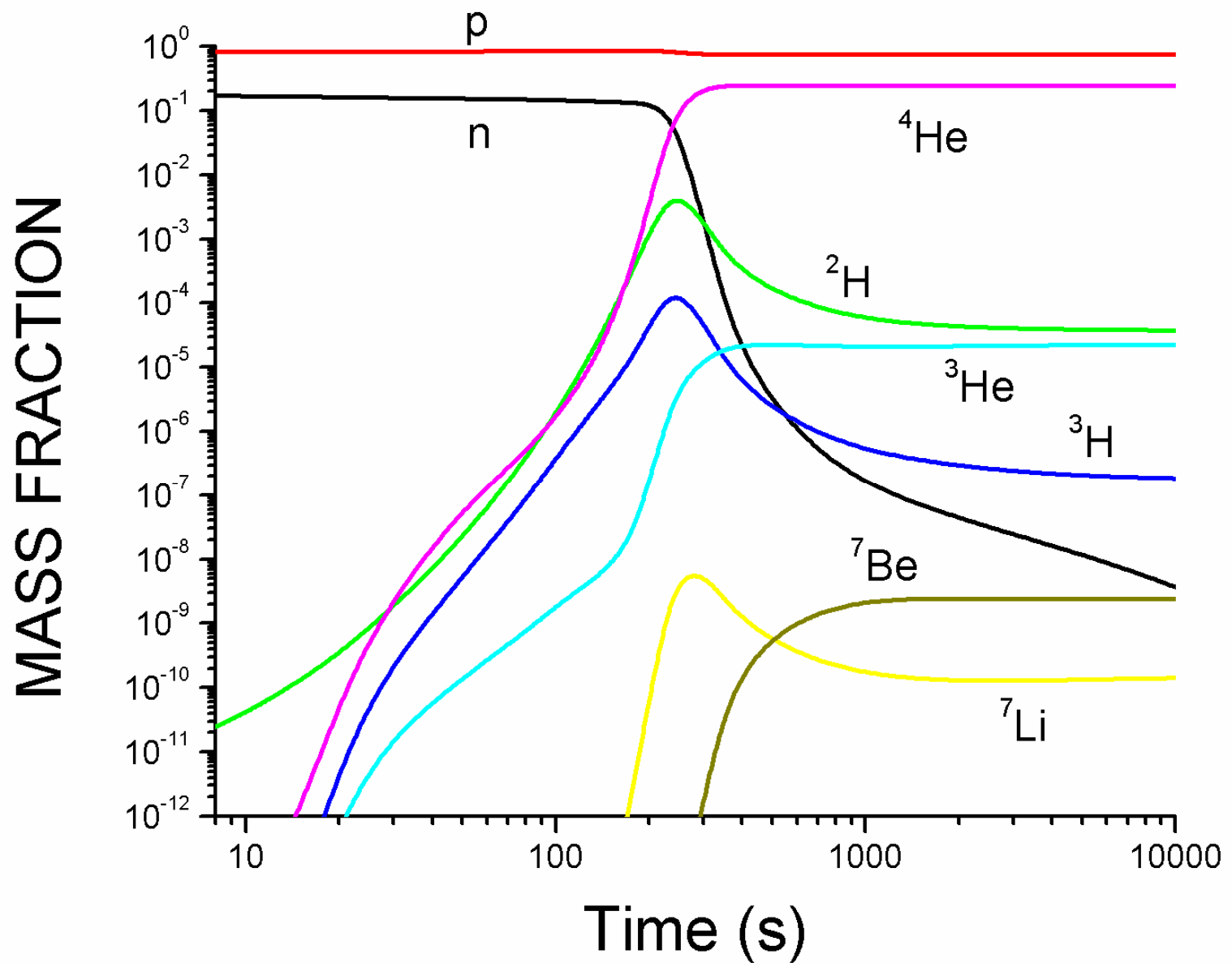
$$N_i \quad \text{Positive or negative numbers to specify how many particles of species i are created or destroyed in the reaction}$$

刚性方程

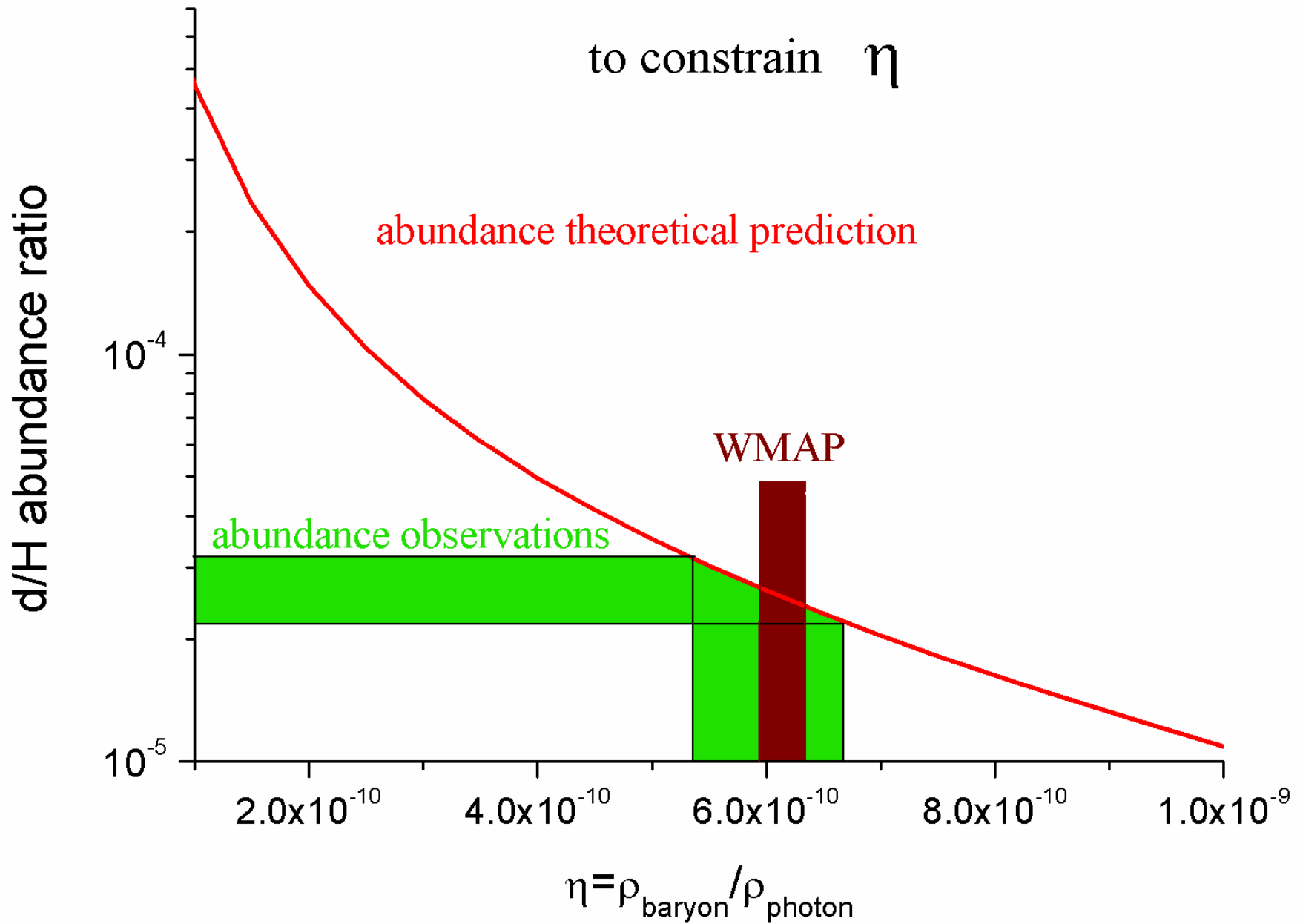
计算方法
隐式龙格库塔

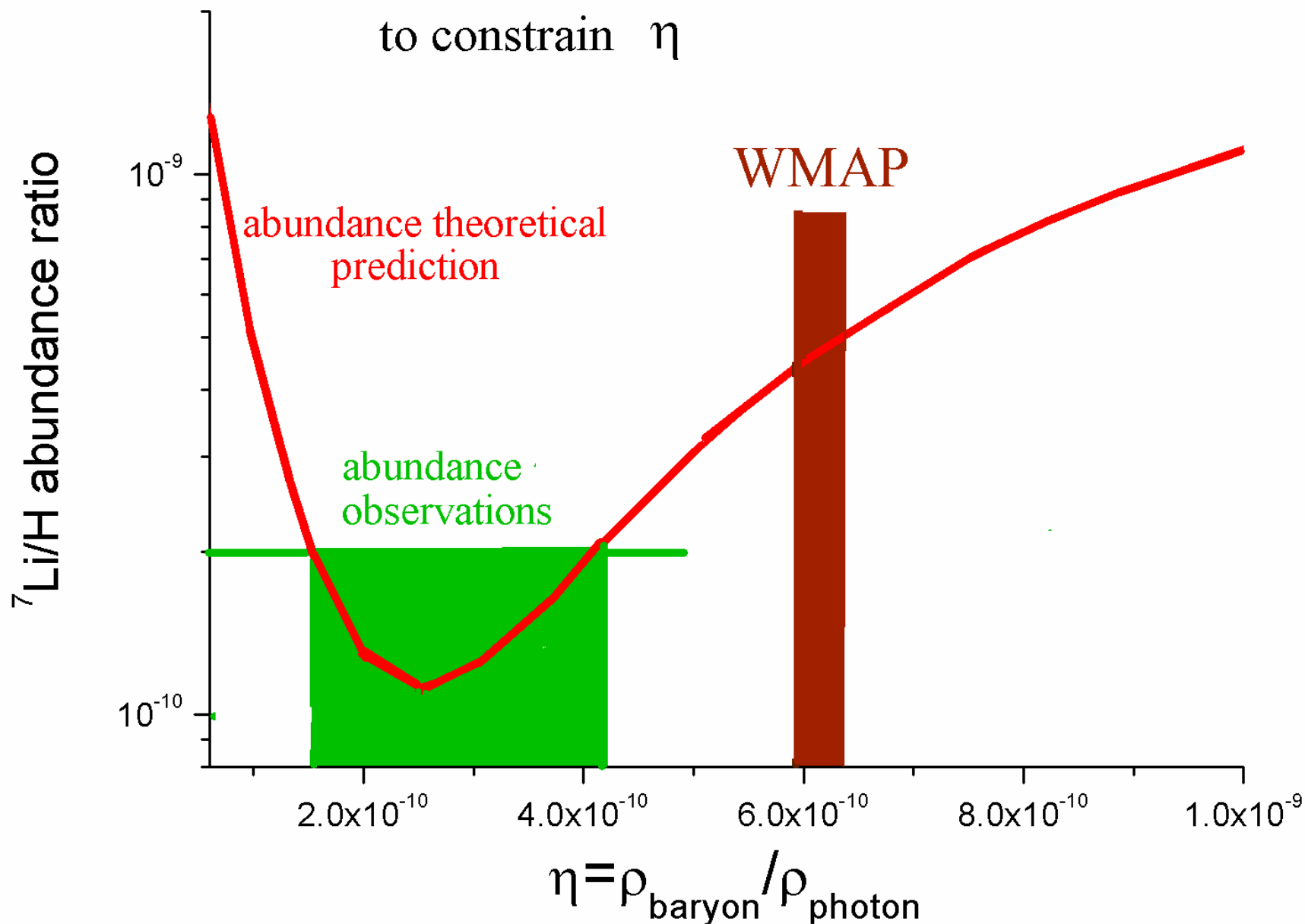
BBN calculation

(侯素青)

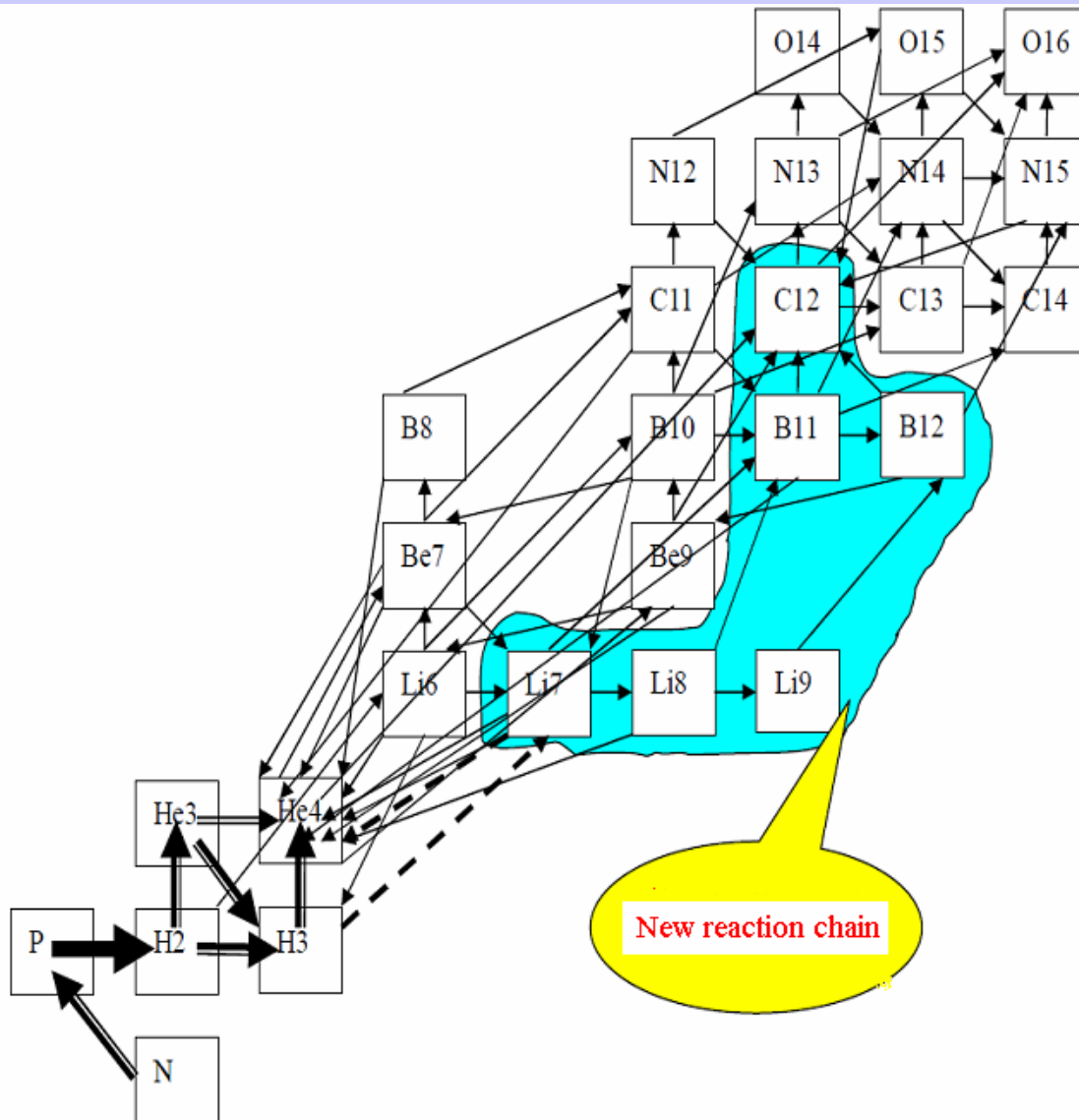


to constrain η










Reaction chain ${}^8\text{Li}(n,\gamma){}^9\text{Li}(\alpha,n){}^{12}\text{B}(\beta){}^{12}\text{C}$



Reaction flux

| Flux (mole/g) | Time: 1E+05(sec) |
|--|--|
| $\sim 10^{-1}$:  | $\sim 10^{-8}$:  |
| $\sim 10^{-2}$:  | $< 10^{-8}$:  |
| $\sim 10^{-4}$:  | |

理论的任务

理论同实验密切结合。着重为本项目的实验数据提升科学意义，为进一步实验提供建议。

理论在同核物理实验和天文观测的结合中发展。重视核口与天体口的合作。

核天体物理理论和计算方法的新发展。重视自己的理论体系发展。

网络方程和数据库的建立和适时更新（强调自主建立）

BBN

rp-process

r-process

Explosive events:

Big Bang (light nuclei)

x-ray burst (rp-nuclei, proton rich)

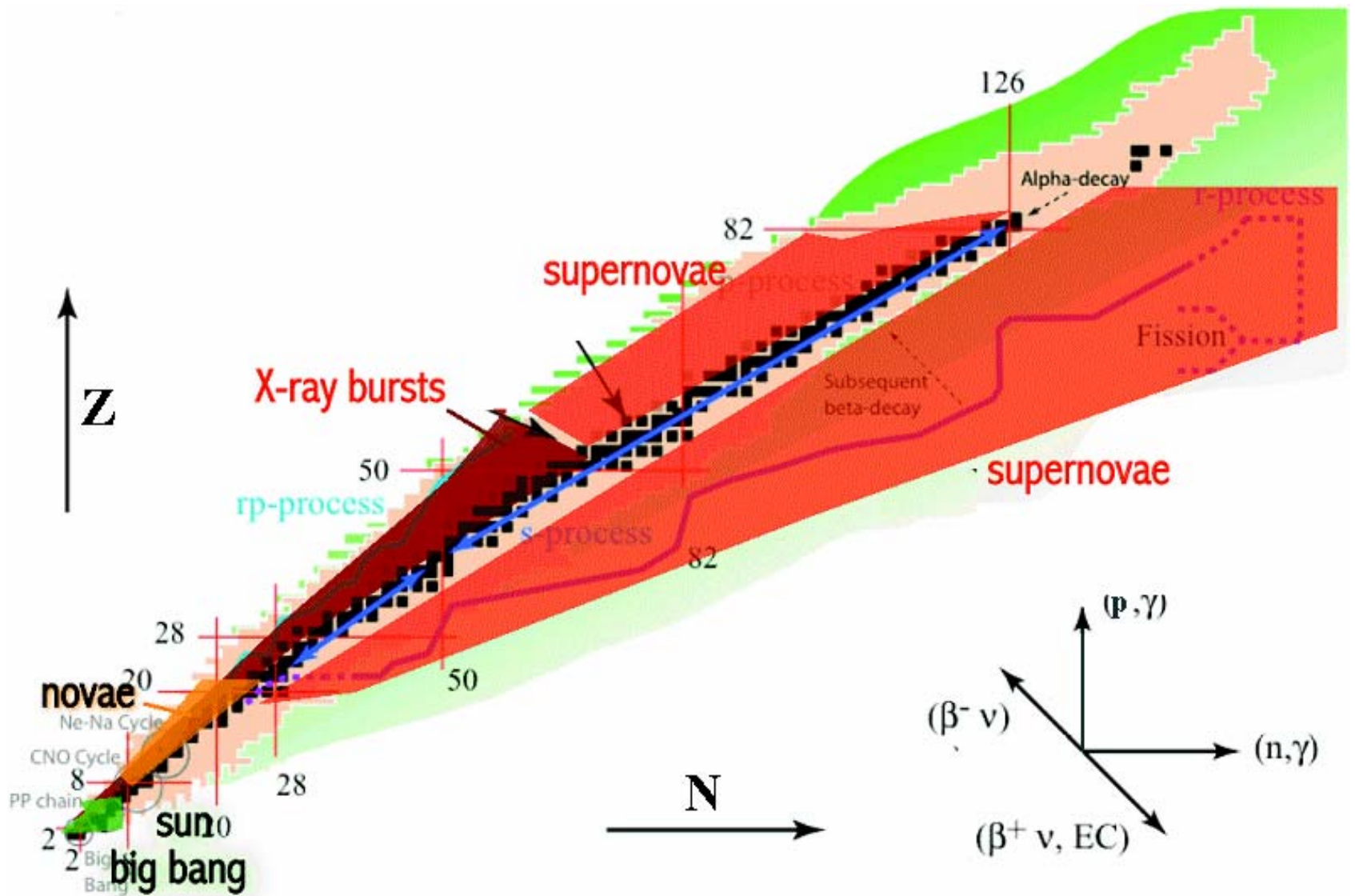
Supernova (r-nuclei, neutron rich)

发展核理论（反射不对称壳模型理论体系）

Spectroscopic Factor

β -decay

天体核过程的路径



谢谢

The set of differential equations ruling BBN

$$\frac{\dot{R}}{R} = H = \sqrt{\frac{8\pi G_N \rho}{3}}$$

$$\frac{\dot{n}_B}{n_B} = -3H$$

$$\dot{\rho} = -3H(\rho + p)$$

$$\rho = \rho_B + \rho_\gamma + \rho_e + \rho_\nu$$

$$\begin{aligned} \frac{dY_i}{dt} = & \sum_j N_j^i \lambda_j Y_j + \sum_{j,k} N_{j,k}^i \rho_B N_A <\sigma V>_{jk,i} Y_j Y_k \\ & + \sum_{j,k,l} N_{j,k,l}^i \rho_B^2 N_A^2 <\sigma V>_{jkl,i} Y_j Y_k Y_l \end{aligned}$$

$$n_B \sum_i Z_i X_i = n_{e^-} - n_{e^+} \equiv L(\frac{m_e}{T}, \phi_e)$$

$$(\frac{\partial}{\partial t} - H|p|\frac{\partial}{\partial |p|})f_{\nu_\alpha}(|p|,t) = I_{\nu_\alpha}[f_{\nu_e},f_{\bar{\nu_e}},f_{\nu_x},f_{\bar{\nu_x}},f_{e^-},f_{e^+}]$$

本项目特点

以国内大型科学工程的实验设备为基础，利用国际先进实验设备。

理论同实验密切结合。着重为本项目的实验数据提升科学意义，为进一步实验提供建议。

理论在同核物理实验和天文观测的结合中发展。重视核口与天体口的合作。

核天体物理理论和计算方法的新发展。重视自己的理论体系发展。