

超伝導ウィグラー高エネルギー放射光の 天体核物理研究への応用

宇都宮弘章 (甲南大学)

SPring-8 セミナー 7月25日 (金)

<話の概要>

⌘ p-process核とは

⌘ γ -processの研究

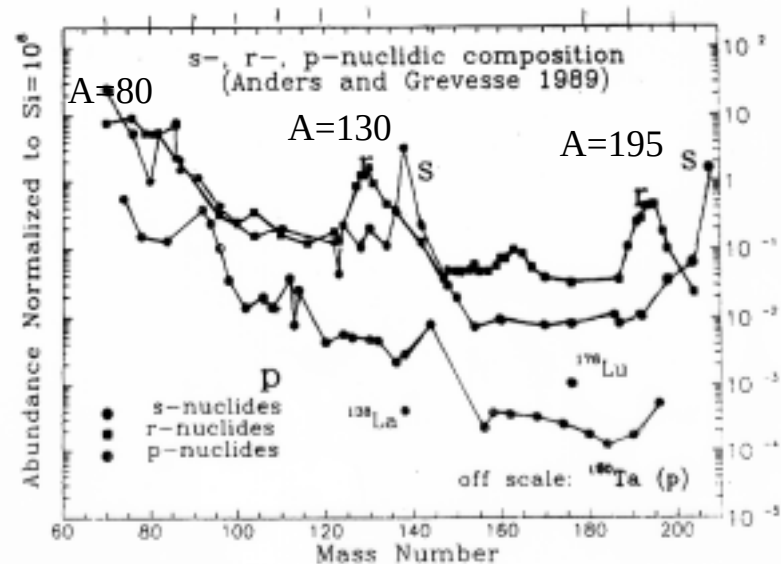
⌘ SCW放射光の特徴 — Bremsstrahlungとの対比

⌘ ^{180}Ta の起源について

⌘ 初実験を目指して

重元素合成

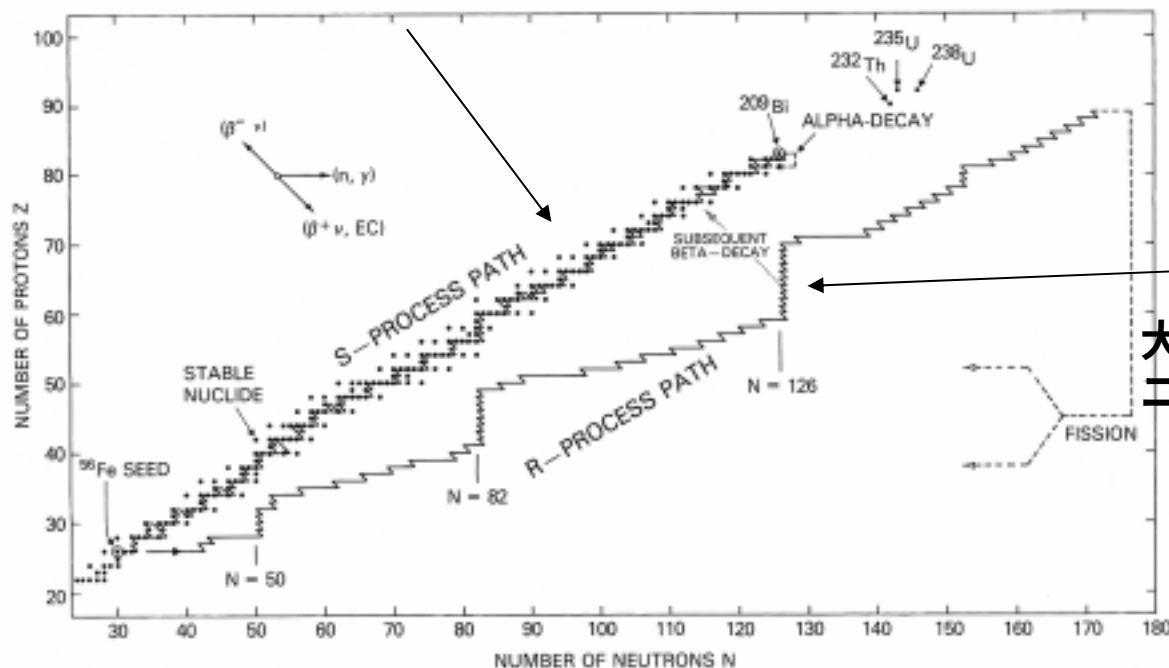
s-, r-, p-プロセス



s-process

$A < 90$ 大質量星のヘリウムコア燃焼 $^{14}\text{N}(\alpha, \gamma)^{18}\text{F}(e^+, \nu)^{18}\text{O}(\alpha, \gamma)^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$

$90 < A < 204$ 小質量AGB星 (巨大漸近分枝星) $^{12}\text{C}(p, \gamma)^{13}\text{N}(e^+, \nu)^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$

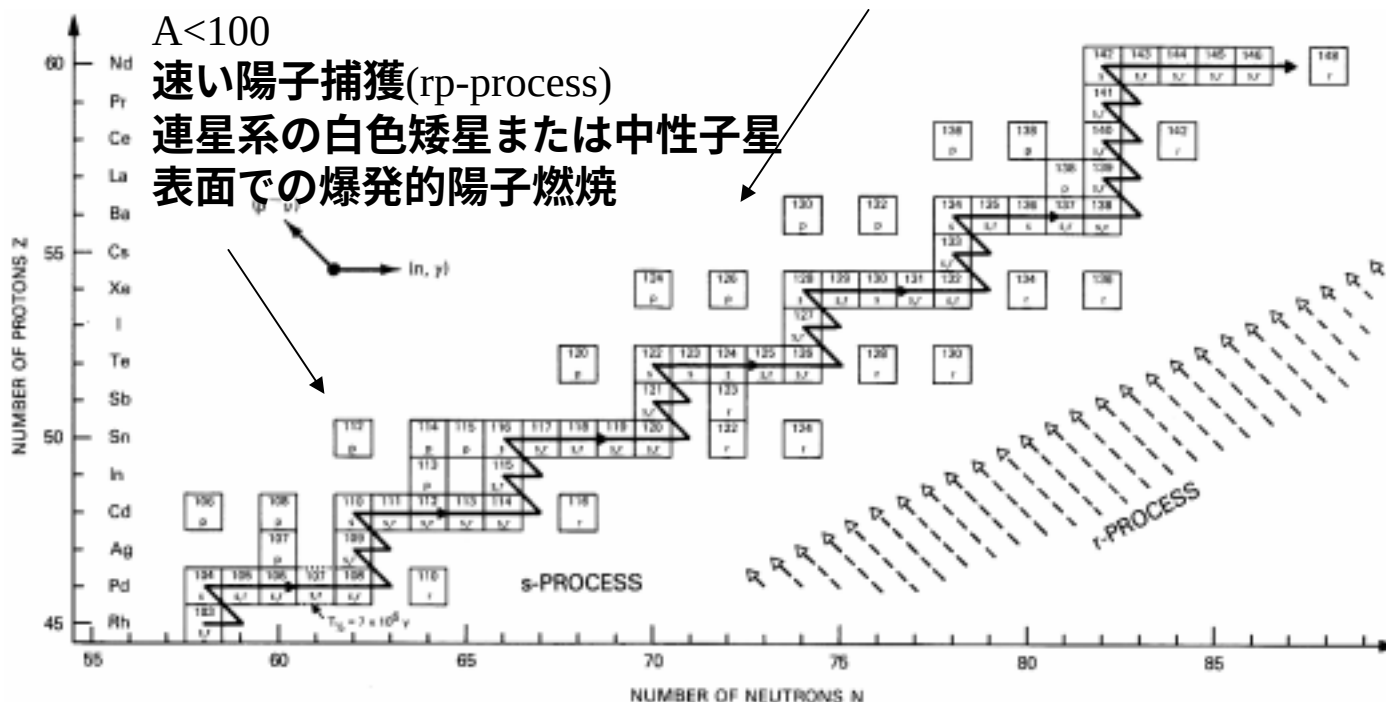


r-process

大質量星の重力崩壊型超新星爆発
ニュートリノ駆動風

では作られない35個の陽子豊富な安定核

A>100
O/Ne層 大質量星の超新星爆発直前または
超新星爆発での主として**光核反応** (γ -process)

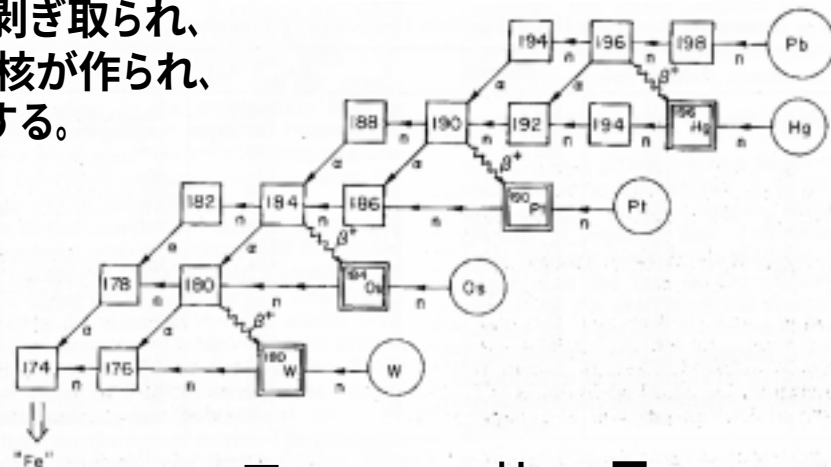


p-processにおける光核反応の流れ

Woosley & Howard (1978)

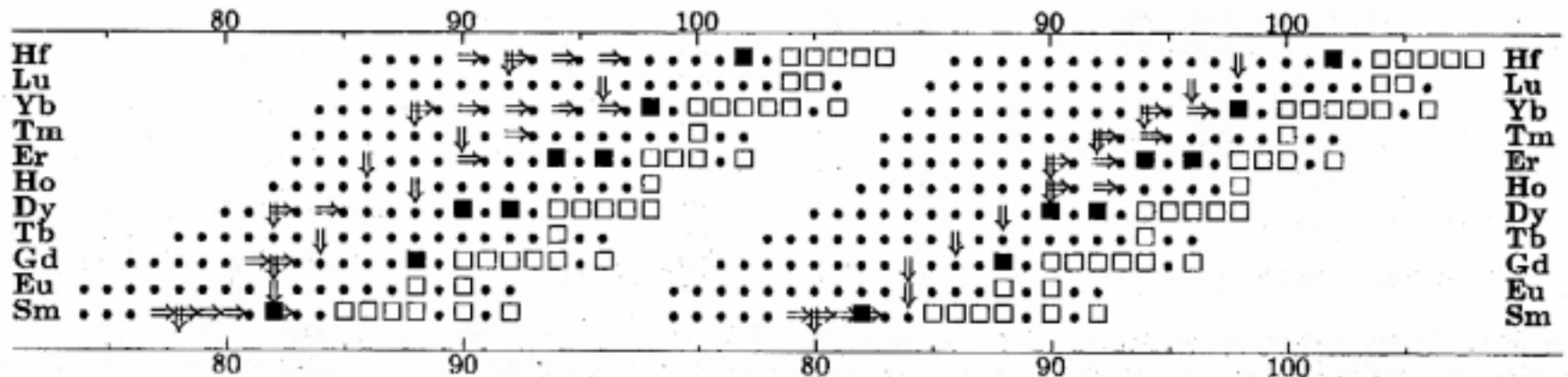
(γ, n) 反応によって安定重核から中性子が剥ぎ取られ、
この反応が進行するにつれて陽子過剰な核が作られ、
 $(n, \gamma)(\gamma, p)(\gamma, \alpha)$ 反応および β^+ 崩壊が競合する。

γ -process: 主に (γ, n) 反応
ガンマ線源が重要！



Rayet, Prantzos, Arnould (1990)

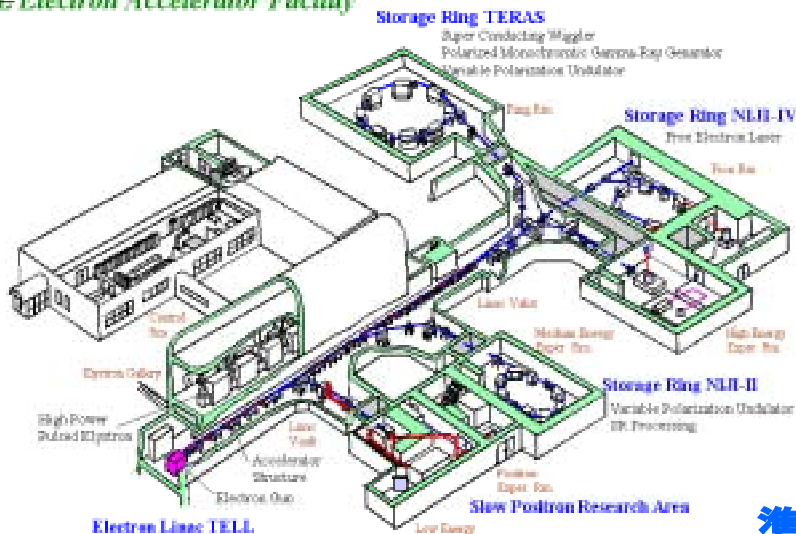
□ s-,r-process核 ■ p-process核



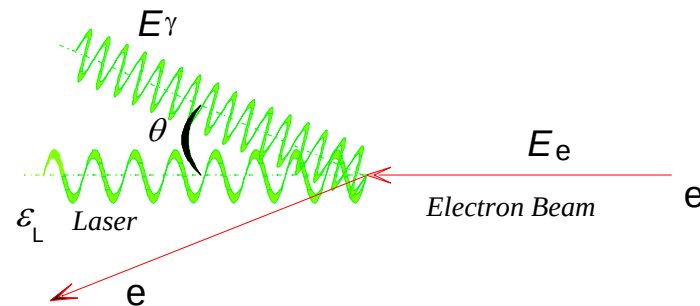
LCS(Laser Compton scattering) ガンマ線(産総研 AIST)

AIST

ETL Electron Accelerator Facility

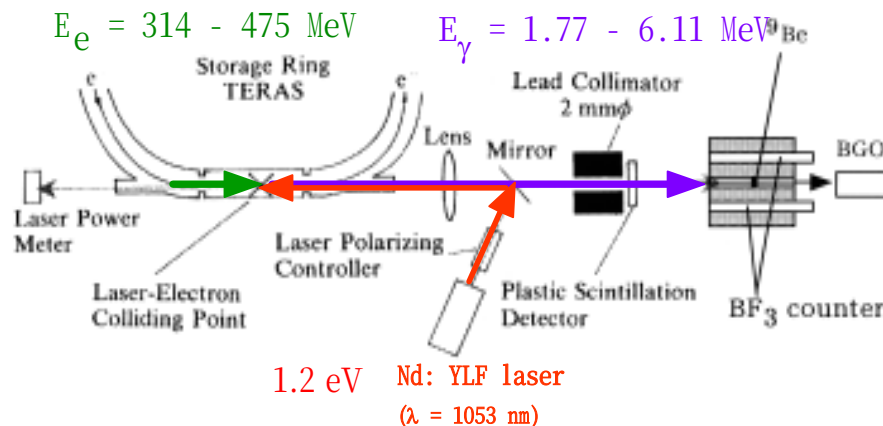
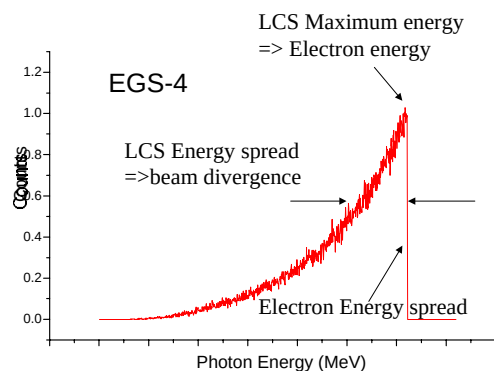


•Energy



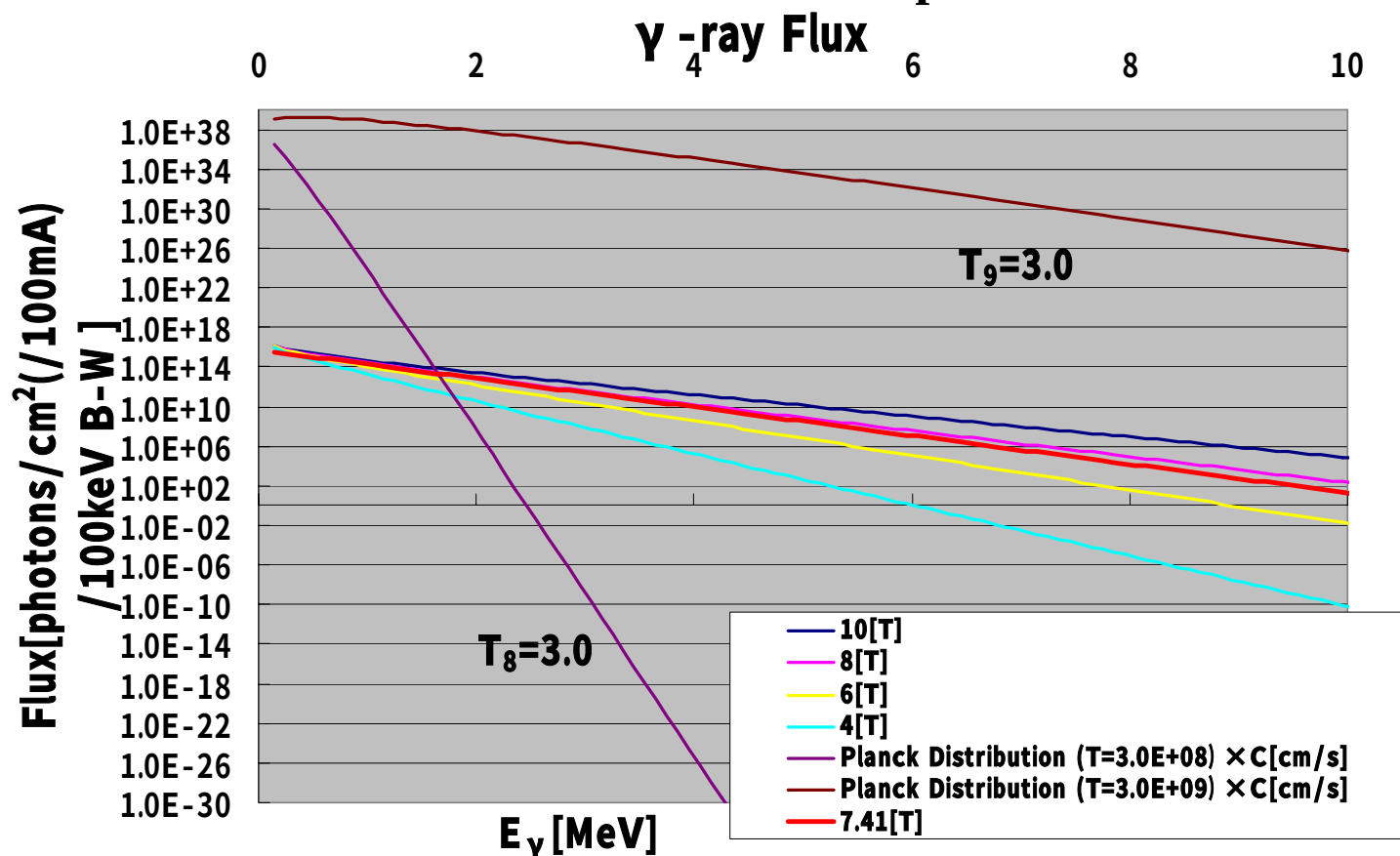
$$E_\gamma = \frac{\epsilon_L}{1 - \beta \cos \theta + \epsilon_L (1 - \cos(\theta_L - \theta)) / E_e}$$

準単色 10^5 photons/sec



SCW(Superconducting Wiggler) 放射光

- ・超新星爆発時の高温の熱浴 ($T_9 = 1.7 - 3.3$) で得られるガンマ線のエネルギー分布を良く再現する。 γ -processの研究に最適
- ・中性子しきい値エネルギーでも大強度 $10^8 - 10^9$ photons/sec/MeV



Astrophysical Energy Window

Photonuclear Reaction rate

単位体積単位時間に一對の粒子が
核反応を起こす確率

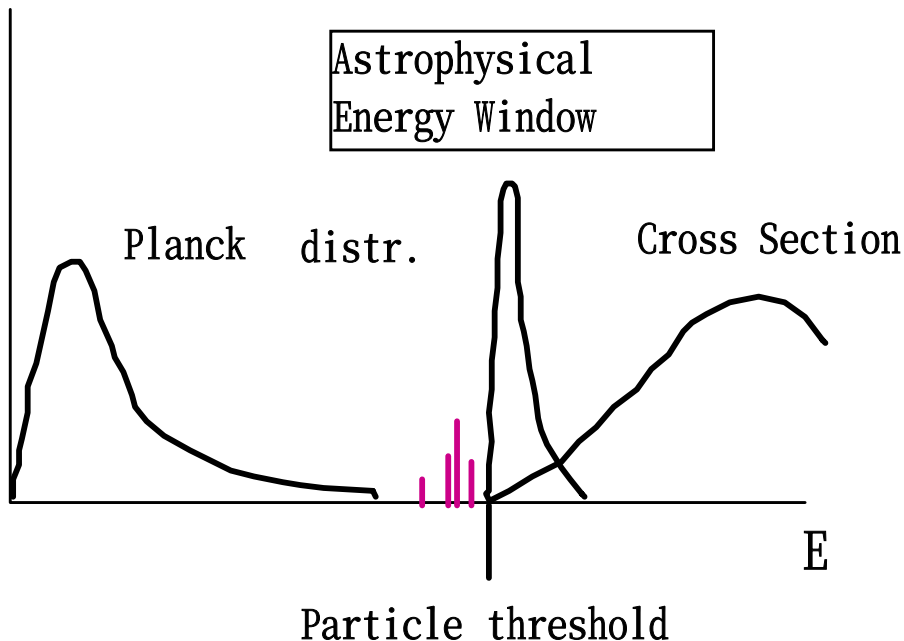
$$\lambda(T) = \int_0^{\infty} c n_{\gamma}(E, T) \sigma_{\gamma}(E) dE$$

Photonuclear Cross section

$$\sigma_{\gamma}(E)$$

Planck distribution

$$n_{\gamma}(E, T) = \left(\frac{1}{\pi}\right)^2 \left(\frac{1}{\hbar c}\right)^3 \frac{E^2}{\exp(E / kT) - 1}$$



Stellar condition

$$\lambda^*(T) = \frac{\sum_{\mu} (2 J^{\mu} + 1) \lambda^{\mu}(T) \exp(-\varepsilon^{\mu} / kT)}{\sum_{\mu} (2 J^{\mu} + 1) \exp(-\varepsilon^{\mu} / kT)}$$

(γ, n) 核反応率の直接決定

測定量 (γ, n) 事象の数 $Y(B) = N_T \int n_{SCW}(E, B) \sigma_\gamma(E) dE$

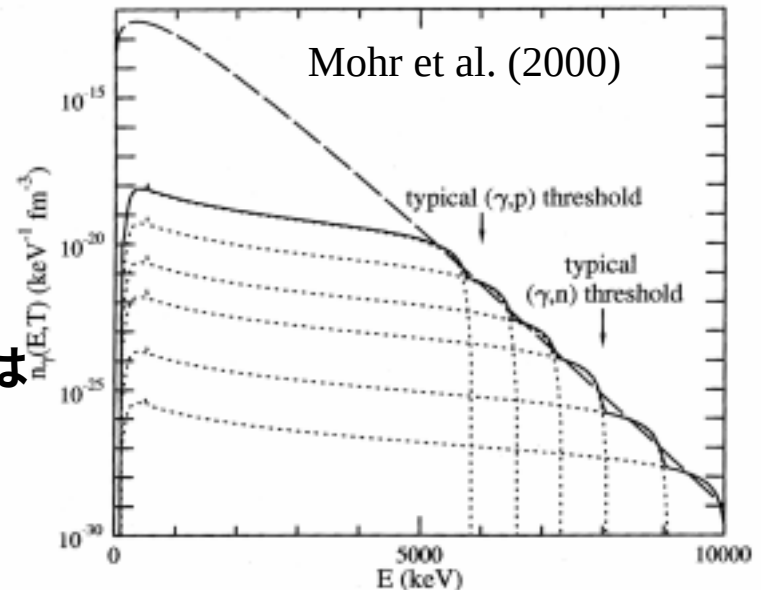
Photonuclear Reaction rate $\lambda(T) = \int_0^\infty c n_\gamma(E, T) \sigma_\gamma(E) dE$

SCW放射光は高温の熱浴 γ 線と
同じスペクトルである。(絶対値は小さい) $n_{SCW}(E, B) = f n_\gamma(E, T)$

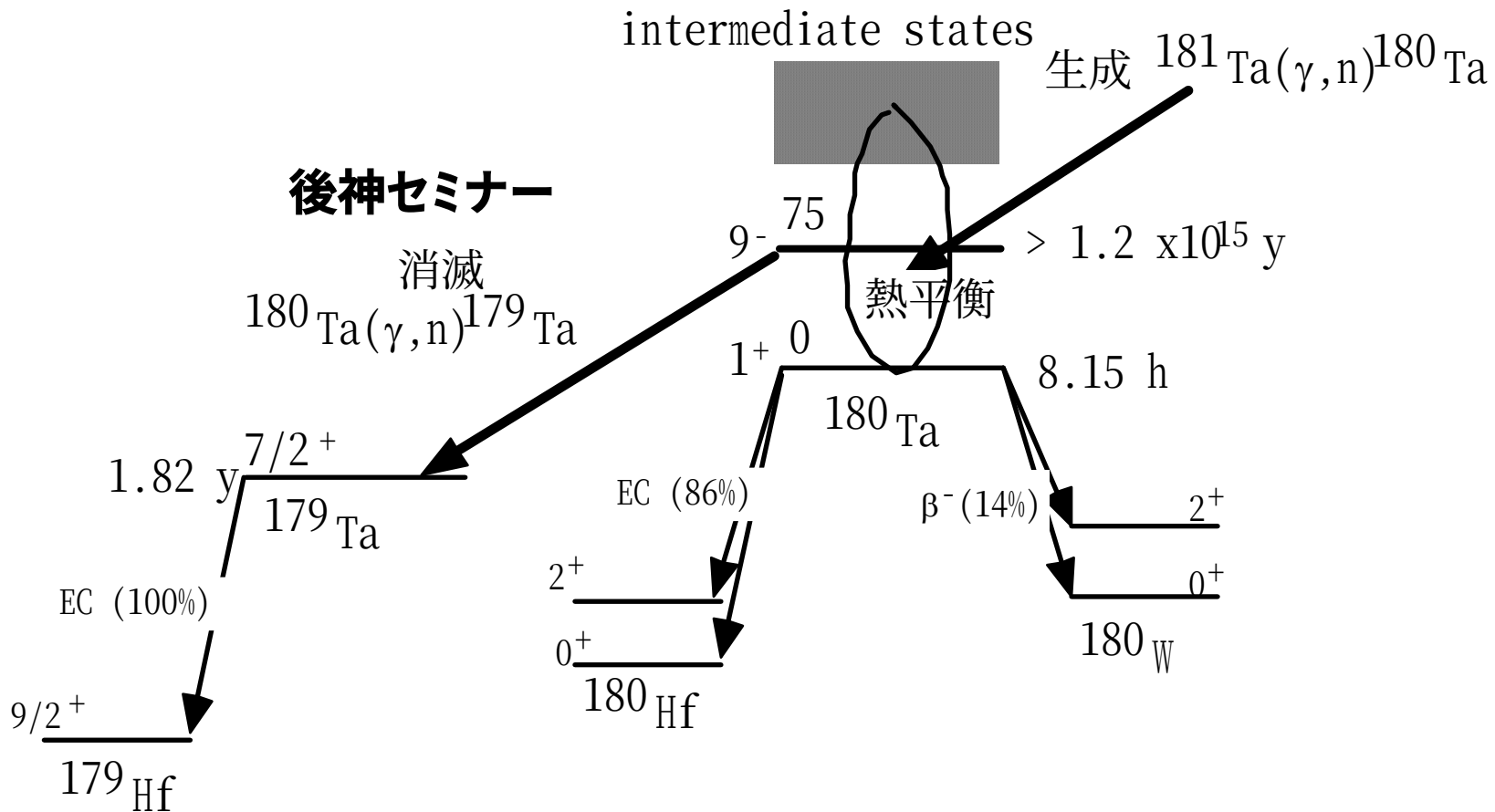
核反応率は実験的に直接決定される。

$$\lambda(T) = \frac{c}{N_T f} Y(B)$$

Bremsstrahlungで高温の熱浴 γ 線を再現するには
いくつかのスペクトルの重ね合わせが必要。



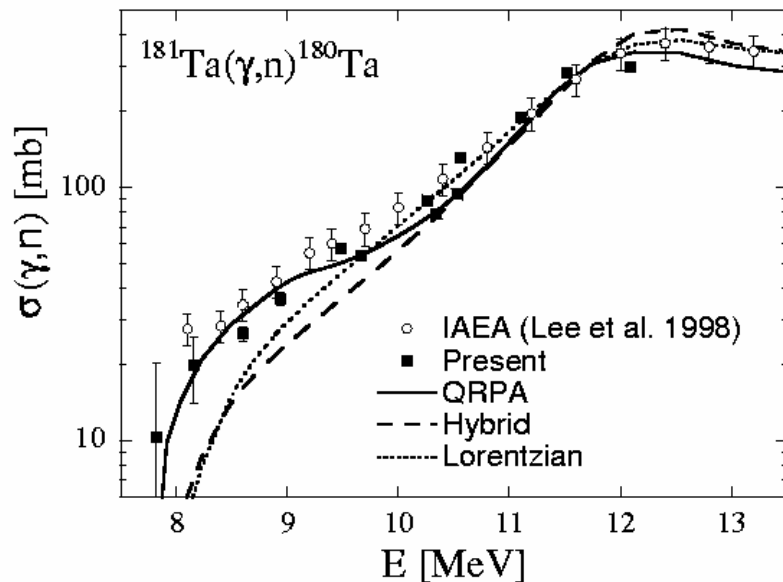
^{180}Ta (最稀少元素で天然に存在する唯一の核異性体) の γ -process起源



^{180}Ta 生成 (γ -process)

⌘ ^{180}Ta の基底状態と核異性体との熱的均衡の成立

$T_9 = 1.7 - 3.3$ O/Ne layers of Massive Stars during Presupernovae or Supernovae



$$\frac{N_m}{N_0} = \frac{g_m \exp(-E_m / kT)}{G}$$

$$G = \sum_i g_i \exp(-E_i / kT), \quad g_i = 2J_i + 1$$

H. Utsunomiya et al., Phys. Rev. C67, 015807 (2003)

産総研LCS γ 線を使った実験

⌘ 熱的均衡からの逸脱 $T_8 < 4$

$$^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180}\text{Ta}^m = ^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180}\text{Ta} - ^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180}\text{Ta}^0$$

^{180}Ta 消滅 (γ -process)



**ターゲット物質の存在比が小さいので (0.012%) 測定困難
これまでだれも測定に成功していない。**

**SCW大強度放射光を利用した放射化実験が可能
後神セミナー**

関連する研究課題 静間セミナー

1) ^{180}Ta のs-process生成と脱励起消滅

AGB星でのs-process



2) s-process温度計

^{176}Lu 核異性体(123keV 1-準位 3.7 h)励起

測定実現に向けて 2004年度科研費申請？

SPring-8で新しい γ 線源であるSCW放射光を開発し、
初の天体核物理実験 (γ 線照射放射化実験) をやりましょう。

K.Y. Hara et al. PRD (in print) 産総研LCS γ 線による測定

⌘ ビームモニターの開発

- ・D(g,n)p反応を利用する
- ・ $e^+ - e^-$ ペアスペクトロメター
- ・電離箱

1

⌘ ビームライン？

⌘ 照射ステージ

ビームスポットの大きさ

