

原子核科学研究センター ～宇宙核物理グループ～ 山口研究室

リーダー(講師): 山口英斉

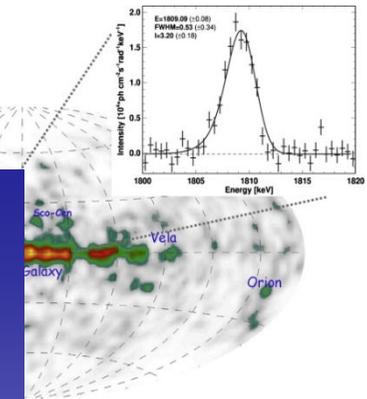
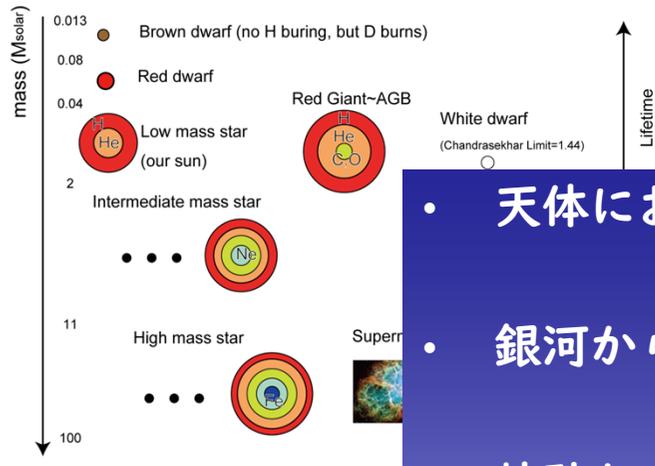
特任助教: 早川勢也

特任研究員: Ma Nanru (馬南茹)

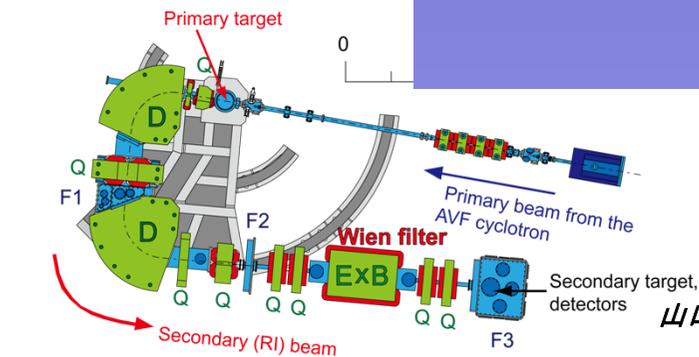
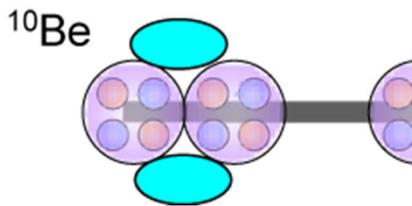
学生: 清水英樹[D3]



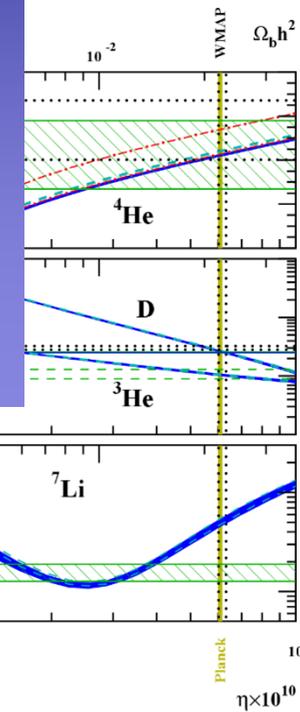
山口研究室の取り組んでいるテーマ



- 天体における元素合成・エネルギー生成
- 銀河からやってくるガンマ線の起源
- 特殊なクラスター配位をもつ原子核の探索
- ビッグバン元素合成における過剰 ${}^7\text{Li}$ 問題
- トロイの木馬法などを使った宇宙核反応測定



山口研究室



元素合成[Nucleosynthesis]

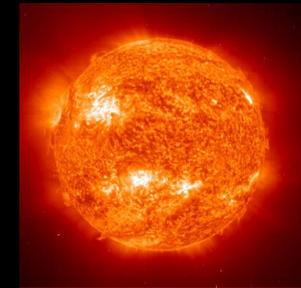
身の回りには様々な元素（水素、ヘリウム…炭素、酸素…鉄…金…ウラン）はいったいどうやってできたのか？

全てが宇宙の最初からあった訳では無い。核反応で合成されたはず。

元素合成の主な過程：

- ビッグバン(主に水素、ヘリウム)
- 星の内部での燃焼(鉄までの元素)
- 新星、超新星などの爆発現象(さらに重い元素)

太陽



新星

Nova Cygni
1992



超新星

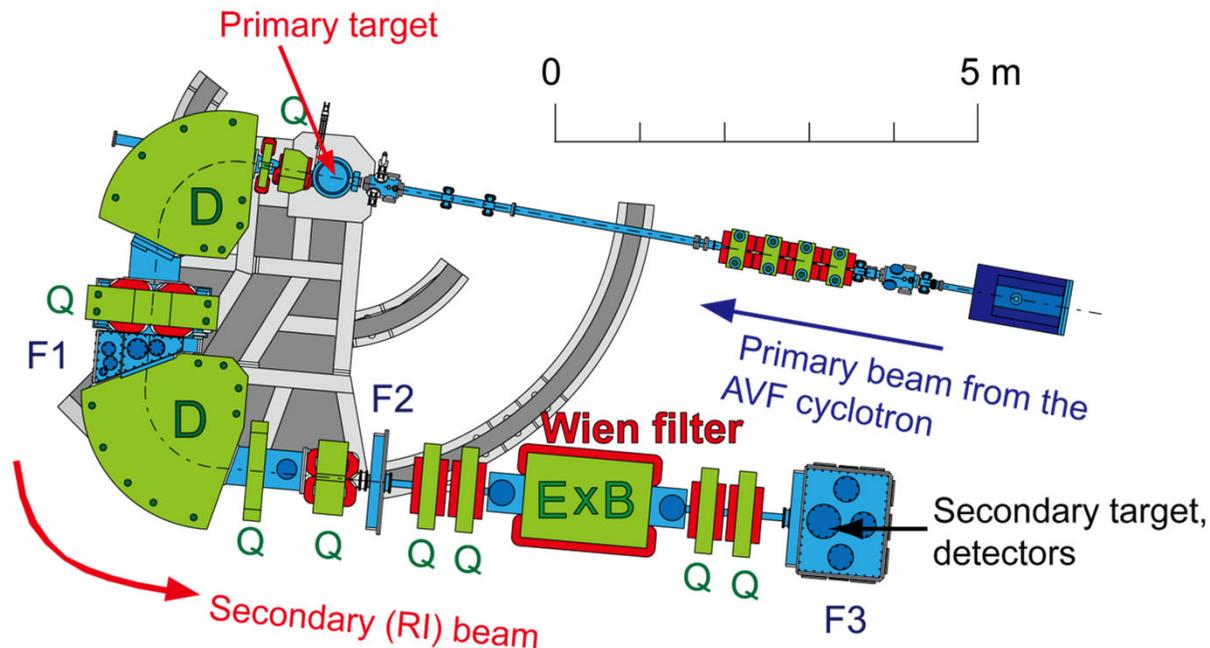
Supernova
1987A



“CRIB” CNS RI Beam separator

...CNSの不安定核ビーム分離装置

- **CNS Radio-Isotope Beam separator** , CNSによって運用されている。理研の加速器施設 **RIビームファクトリー (RIBF)**内にある。
 - ◆ 低エネルギー ($<10\text{MeV}/u$) の不安定核(RI)ビームを生成。
 - ◆ 電磁石とウィーンフィルター(電場と磁場の組み合わせによる分離装置)によって、高純度のビームが得られる。



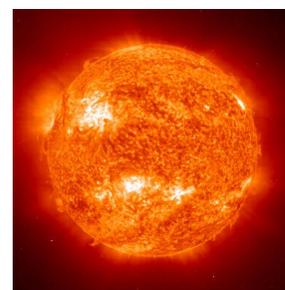
低エネルギー不安定核ビームの利点

- 天体における原子核反応:

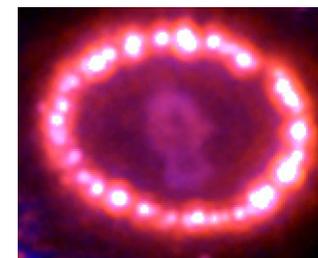
◆ $T \sim 10^6 - 10^9$ K (通常 $\text{keV} \sim \text{数 MeV}$).

◆ CRIBの不安定核ビームのエネルギー… 核子あたり $1 \sim 10$ MeV程度。

⇒ 低いエネルギーは悪いエネルギーを意味するわけではない。宇宙研究に最適。



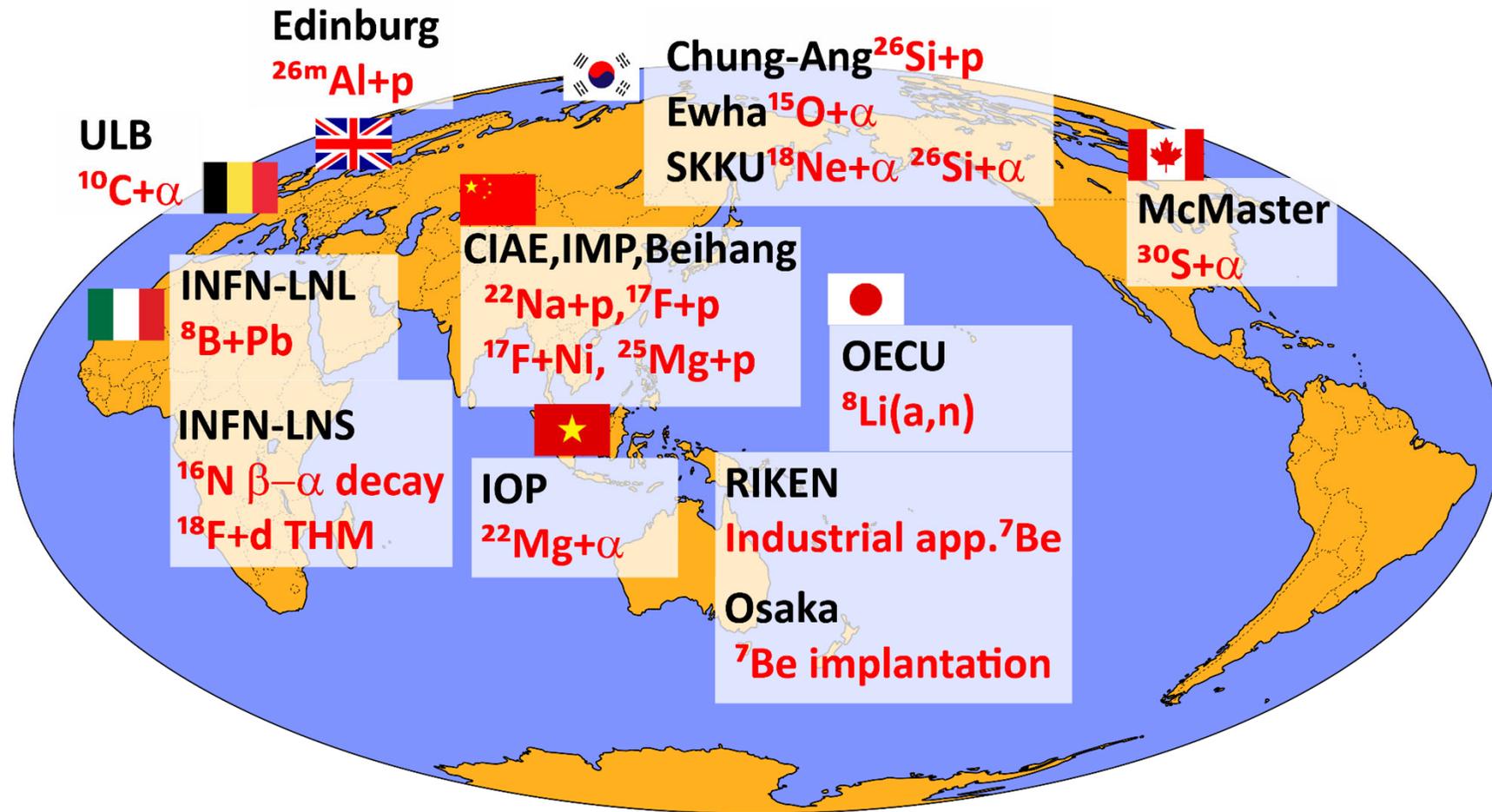
The Sun



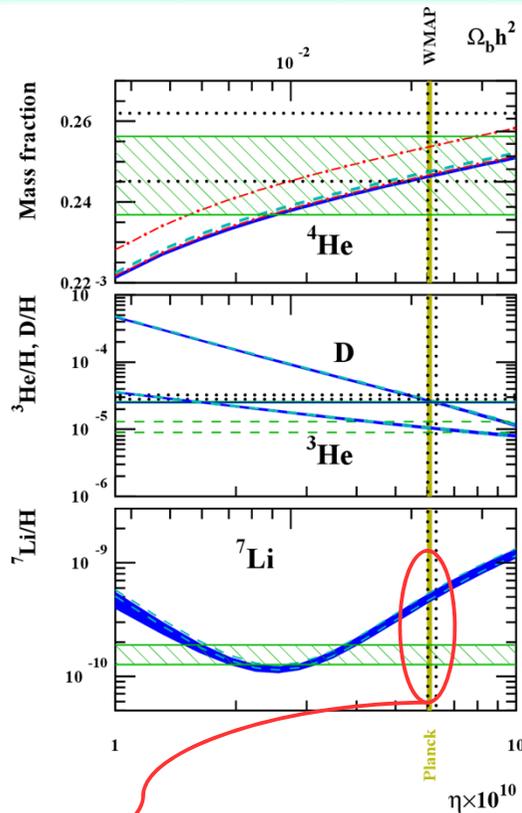
SN1987A

- 元素合成反応は、不安定核を経由して起こる。不安定核の研究が必須。

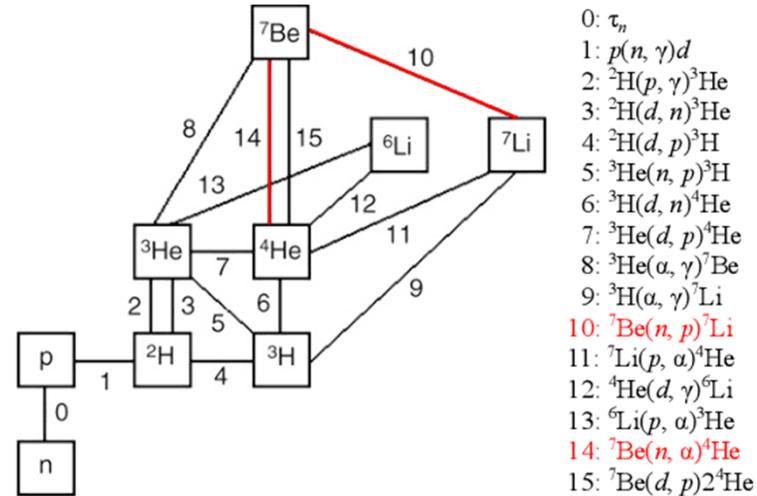
山口研の最近の国際共同研究



宇宙論における ${}^7\text{Li}$ 問題 [Cosmological ${}^7\text{Li}$ problem]



•A. Coc et al. J. Cos. Astropart. Phys. 2014



•Iocco et al. Phys. Rep. 2009

- ${}^7\text{Li}$ 問題... ビッグバンのモデルにより推定される ${}^7\text{Li}$ の量と現実に存在している量が 3~4倍違う。
- 何が間違っている？ビッグバンモデル、宇宙観測、あるいは核反応率？

- ${}^7\text{Be}(n,p){}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}(n,\alpha){}^4\text{He}$, ${}^7\text{Be}(d,p)2\alpha$, などは正しい？

⇒早川実験(トロイの木馬法)・阪大Grの実験(${}^7\text{Be}$ インプランテーション標的)により検証。

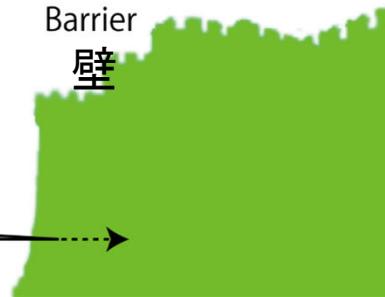
トロイの木馬法

兵士(低温の陽子)

p (low-E)

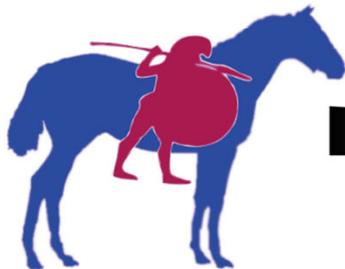


Barrier
壁

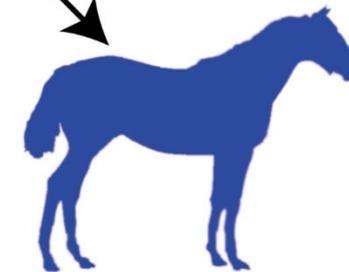
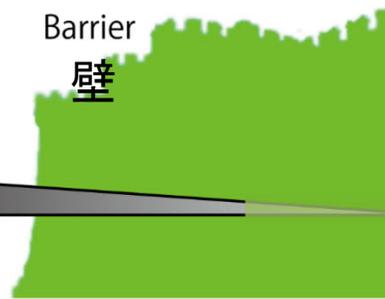


木馬(高温の重陽子)に兵士を潜ませる

p (low-E) in d (high-E)



Barrier
壁



兵士は木馬のおかげで壁
の中に侵入でき、活動(反
応)できる！

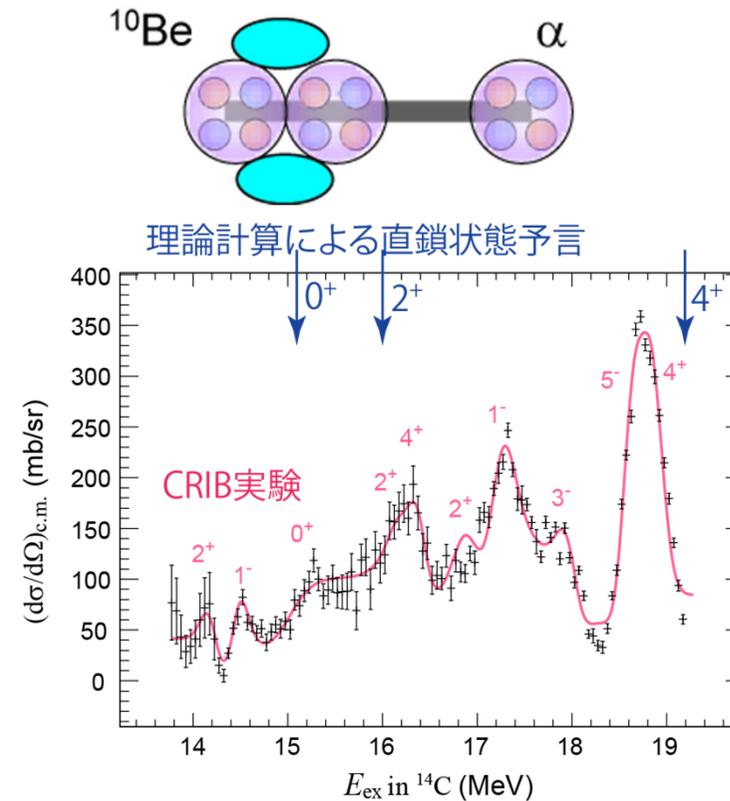
山口研究室; ガイダンス2020



直鎖状態[Linear chain state]の強い証拠を発見

(H. Yamaguchi et al., Phys. Lett. B 2017)

- 原子核の**直鎖構造**…古くから存在が预言されるが、明確な実験的証拠は見つかっていなかった。
- CRIBにて $^{10}\text{Be} + \alpha$ の共鳴散乱実験を行った結果、多数の**共鳴**を観測。
- 理論計算で预言されていた3つの状態とよく一致するエネルギーに共鳴状態が見つかった。



(宇宙) 核物理の面白さ

- 自然界の4つの基本的な力が全て関わる珍しい分野：

星の燃焼・爆発・元素合成反応：**核力**・**電磁気力**

ベータ崩壊、ニュートリノの生成と反応：**弱い相互作用**

重い星の超新星爆発、ブラックホール：**重力**

- 星などの天体の中には人間が用意できないほど**多数**の原子が**高密度**で存在。人間の寿命とは比べものにならない**長時間**の燃焼も可能。そのような天体の中で何が起こるか、人間の手で再現し、理解するのは容易ではない。莫大な宇宙に対する人類の挑戦。**知恵と技術**が求められる。