

「元素誕生のからくり」

<http://ribf.riken.jp/~motobaya/lectures/Niiza/index.html>

宇宙で

原子核が組み変わって(反応して)様々な元素が..

科目コード	D0437
講座名	元素誕生のからくり
定員数	24名
担当者	本林 透(もとばやし とおる)

講義の目的および概要

我々のまわりにある様々な元素は、いつ、どこで生まれたのだろうか。今も作られているのだろうか。実は、原子の中心にある極く小さな原子核が、大きな宇宙のスケールの中で元素誕生の鍵を握っている。太陽などの恒星が輝く仕組み、星の一生、宇宙の進化にも関係する元素の合成と原子核について理解を深める。原子核のような微小な世界で働く一見不思議な仕組みについても紹介してゆく。キーワードは、宇宙の歴史、原子核、星の進化、気体と温度、核反応、トンネル効果、超新星、爆発的要素合成、中性子星。

※理化学研究所(和光市)の見学会や、適当なものがあれば講演会聴講を予定している。このような企画にも興味を持ち、積極的に参加する諸君の履修を前提としている。

元素	--- 概念(種類 - 水素、鉄、ウラン...)
原子	--- 実体(個、"ウラン <u>の</u> 原子")
原子核	

論文(とは何だろう)の話もするかな。

物理学の基本にも触れます。

量子とは? 不確定性... パウリ原理
パリティってワカラ

トピックス - ニホニウム(113番元素)、重力波

理研見学会を行います(日程未定 - 秋か)

RI ビームファクトリー

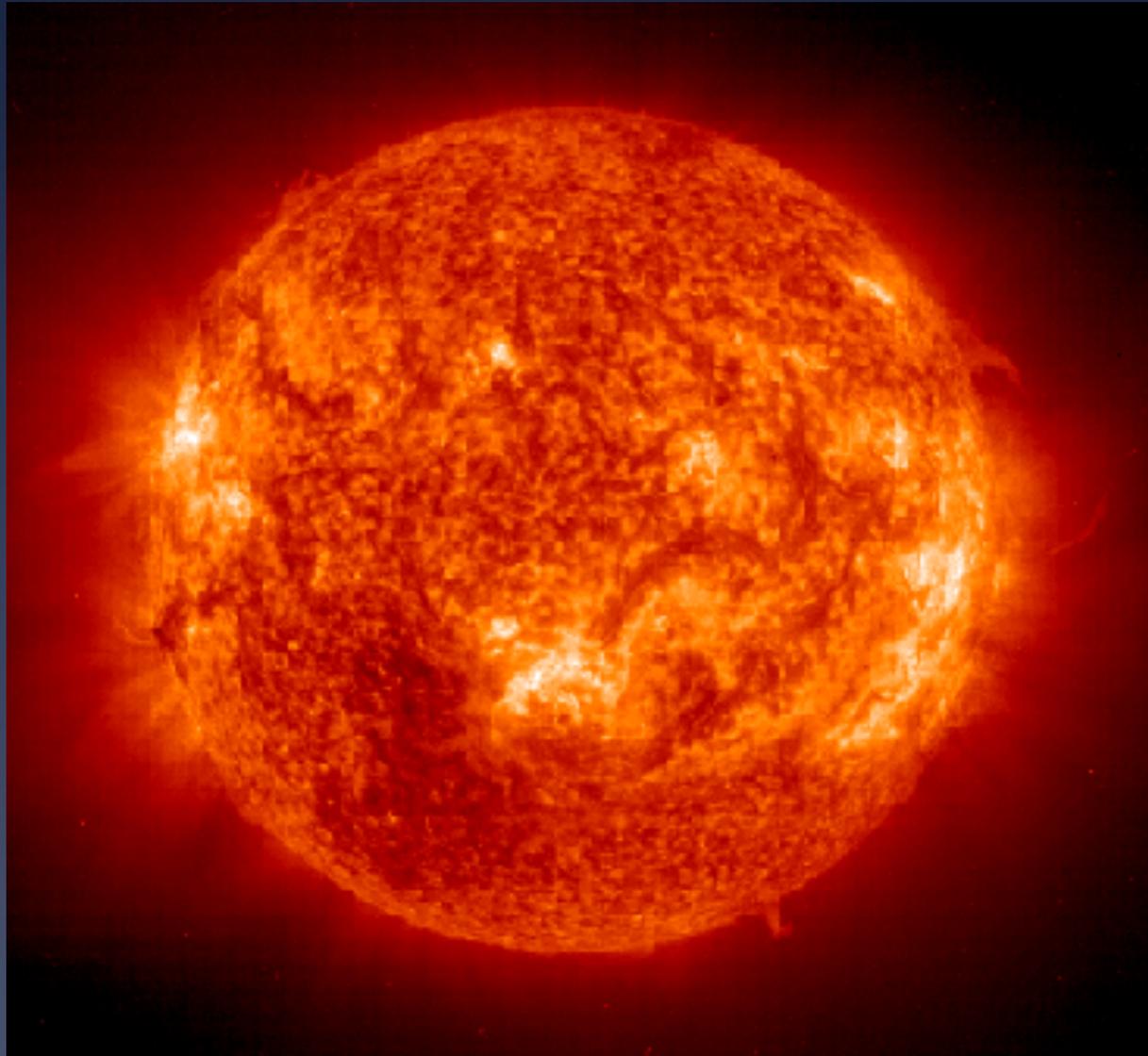
理研によらず他にも見学の希望があれば

6つのポイント

1. 元素と原子核 陽子の数が元素を決める
2. 宇宙の歴史 ビックバンから約140億年続く膨張
3. 星の進化 原子核が燃えて重いと超新星爆発
4. 原子核の反応 断面積とは
5. 気体と温度 粒子の平均エネルギーは kT
6. 宇宙での元素の合成 ビックバン直後と星の中心
超新星、中性子合体.....

* 順不同

太陽



自習課題 -- 再来週授業時提出 - 形式任意

太陽について

1. 知っていること
2. 知りたいこと(疑問)

太陽はどこ？

別の銀河、
そして遠くには
もっとたくさんの銀河

アンドロメダ銀河

230万光年

たくさんの星の集まり
銀河系

約10万光年

たくさんの星雲の連なり
オリオン大星雲もそのひとつ

太陽系のあるところ

太陽は

ニュートリノ*を発生する

太陽ニュートリノは「振動」する？

その一生

生まれたのは...

数十億年後には...

* ノーベル賞の常連？

太陽ニュートリノ Davis 2002

超新星ニュートリノ - 小柴 2002

大気ニュートリノ - 梶田 2015

2019年ノーベル賞は
宇宙論と系外惑星でした

太陽

ニュートリノ*を発生する

太陽ニュートリノは「振動」する？

その一生

数十億年後には...

* ノーベル賞の常連？

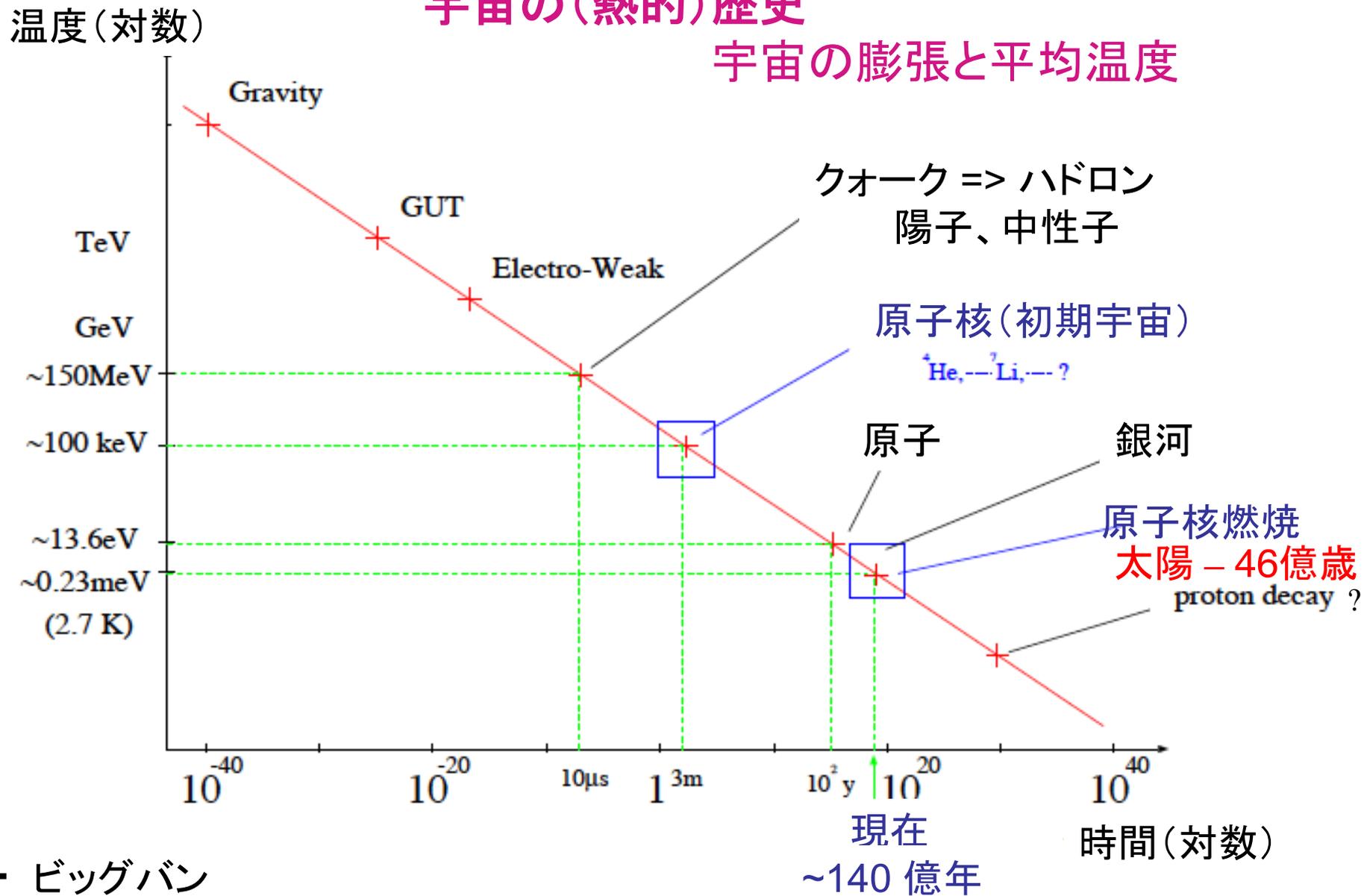
太陽ニュートリノ　Davis

超新星ニュートリノ－小柴

大気ニュートリノ－梶田

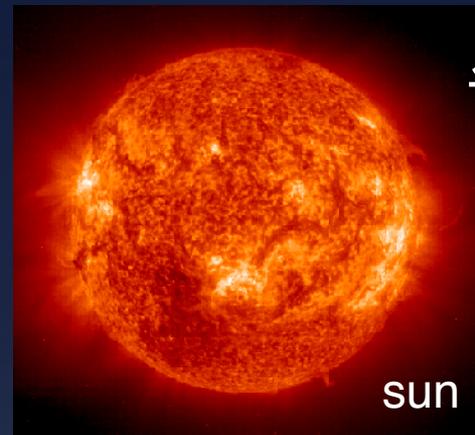
宇宙の(熱的)歴史

宇宙の膨張と平均温度

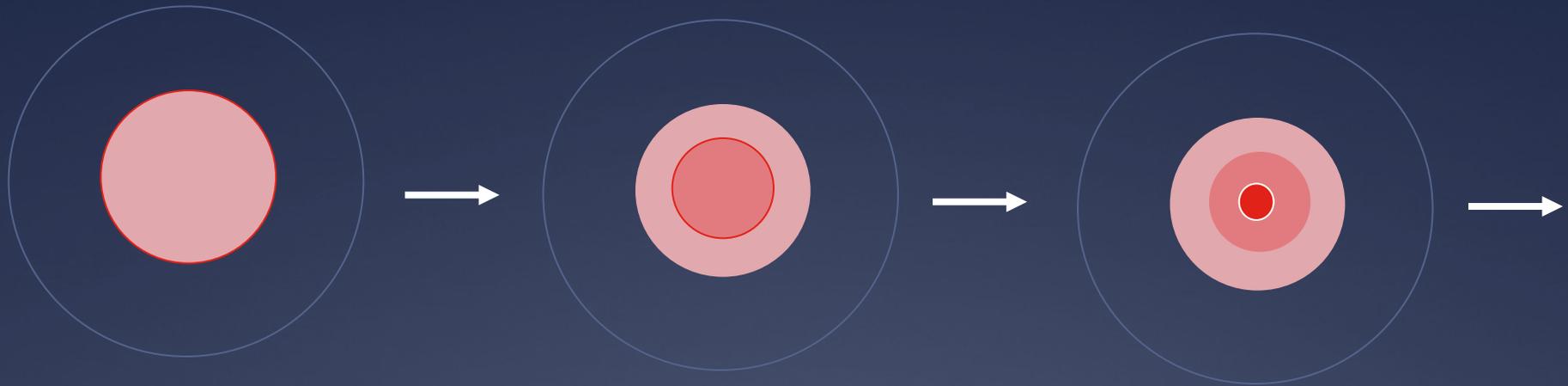


星は荷電粒子(原子核)の発熱反応によって光る.

重力による断熱圧縮により高温ガス中の核反応が点火



主系列星の進化



水素が「燃え」る

太陽

$kT \sim 1 \text{ keV}$

ヘリウムが「燃え」る

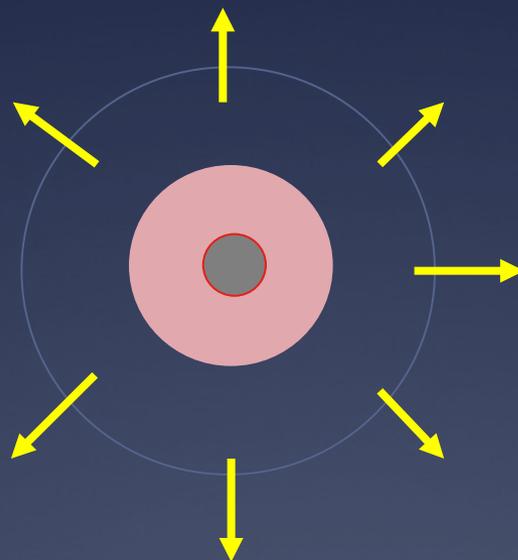
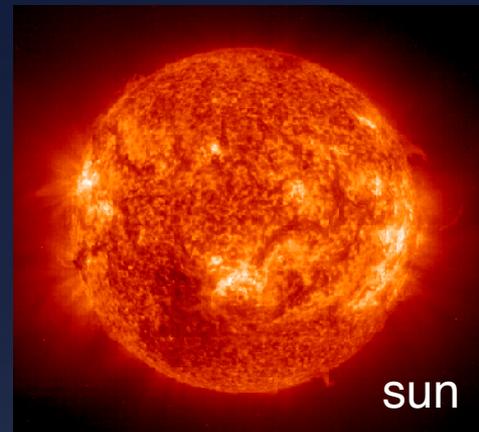
(ここまで)

光の放射と重力がつりあう

炭素が「燃え」る

鉄まで.....

Stellar burning itself is nuclear process.



水素が「燃え」る

太陽

$kT \sim 1 \text{ keV}$

46億歳、あと~50億年

光の放射と重力がつりあう

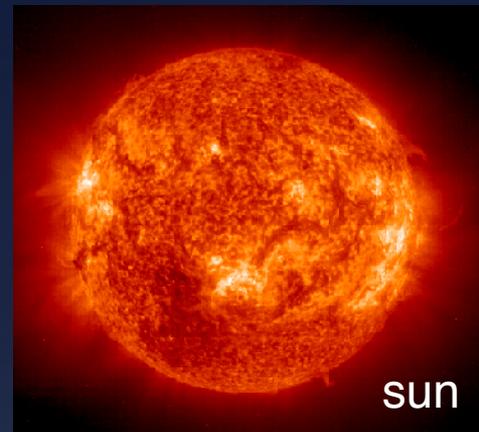
ヘリウムの灰が収縮

赤色巨星

太陽の~150倍

~10億年

Stellar burning itself is nuclear process.



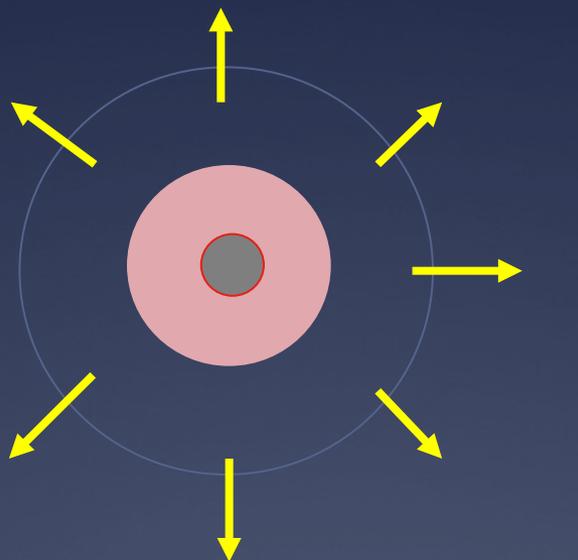
水素が「燃え」る

太陽

1500万度

46億歳、あと~50億年

光の放射と重力がつりあう



ヘリウムの灰が収縮

赤色巨星

太陽の~150倍
(周りの水素が燃える)
~10億年



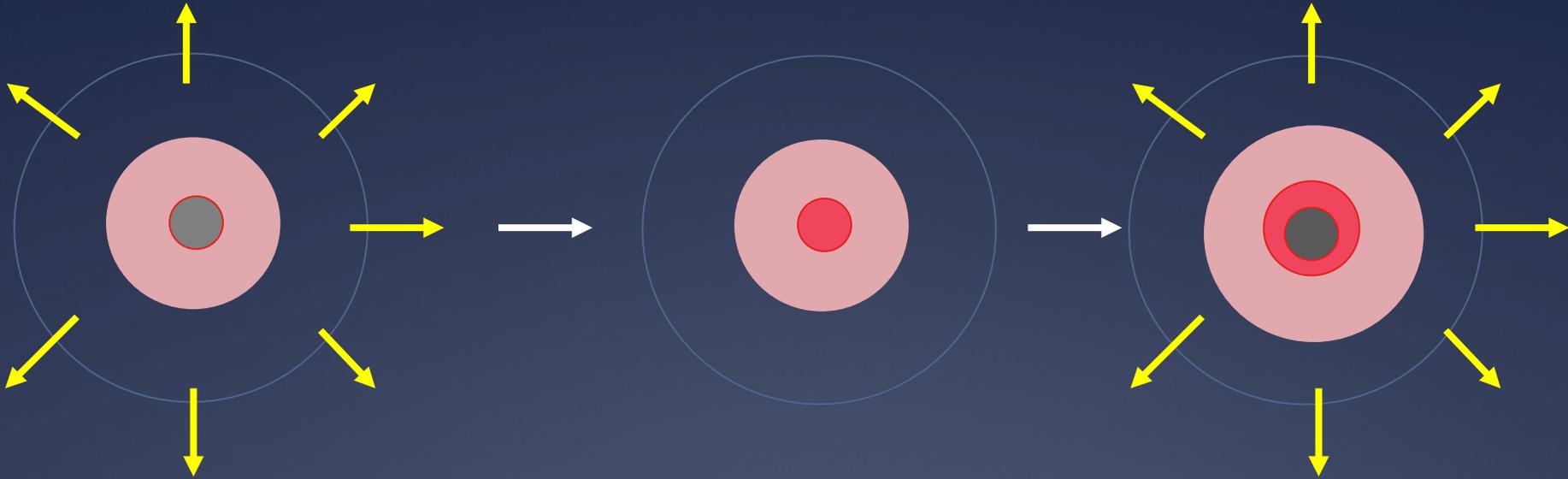
ヘリウム

(ヘリウム燃焼)

太陽の~10倍
3億度
~1億年

光の放射と重力がつりあう

s-過程元素合成



ヘリウムの灰が収縮

赤色巨星

太陽の~150倍
(周りの水素が燃える)
~10億年

ヘリウムに点火

(ヘリウム燃焼)

太陽の~10倍
3億度
~1億年

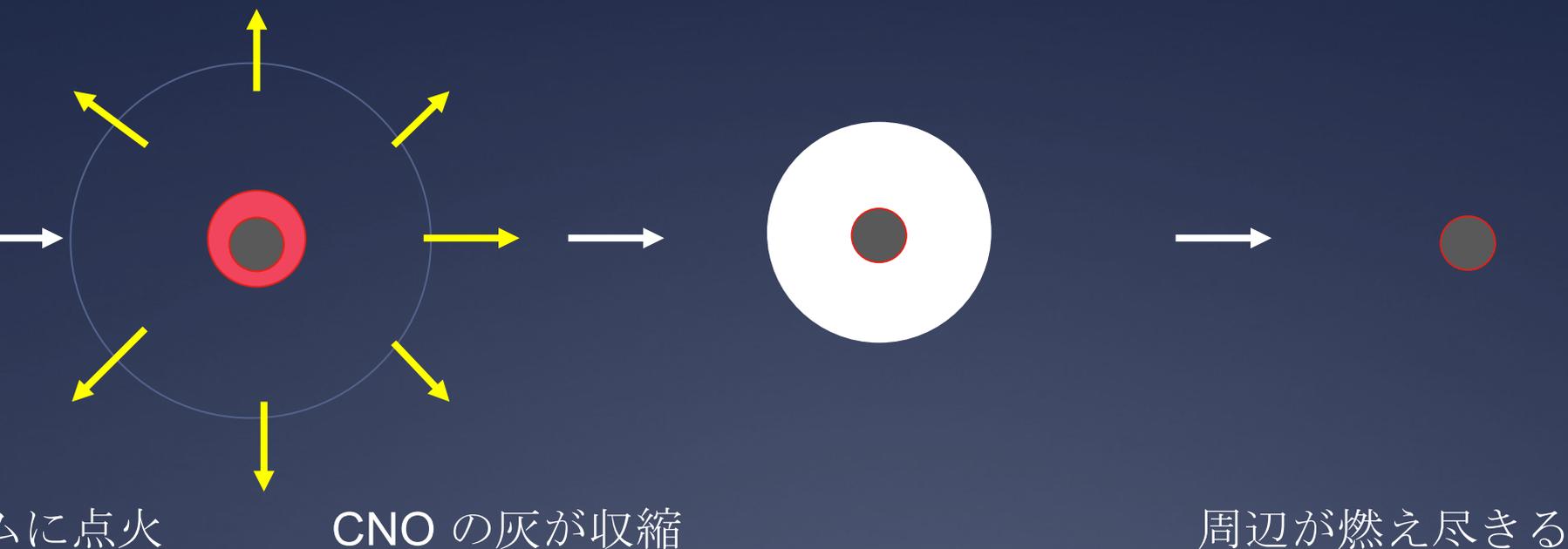
CNO

AGB 星 (漸近赤色巨星)

太陽の200~300倍
(周りの水素、Heが燃える)
不安定、=100万年?

光の放射と重力がつりあう

s-過程元素合成



みに点火

CNO の灰が収縮

周辺が燃え尽きる

AGB 星 (漸近赤色巨星)

太陽の200~300倍(地球軌道)

(周りの水素、Heが燃える)

不安定、=100万年?

白色矮星

地球程度(収縮 → 高温)

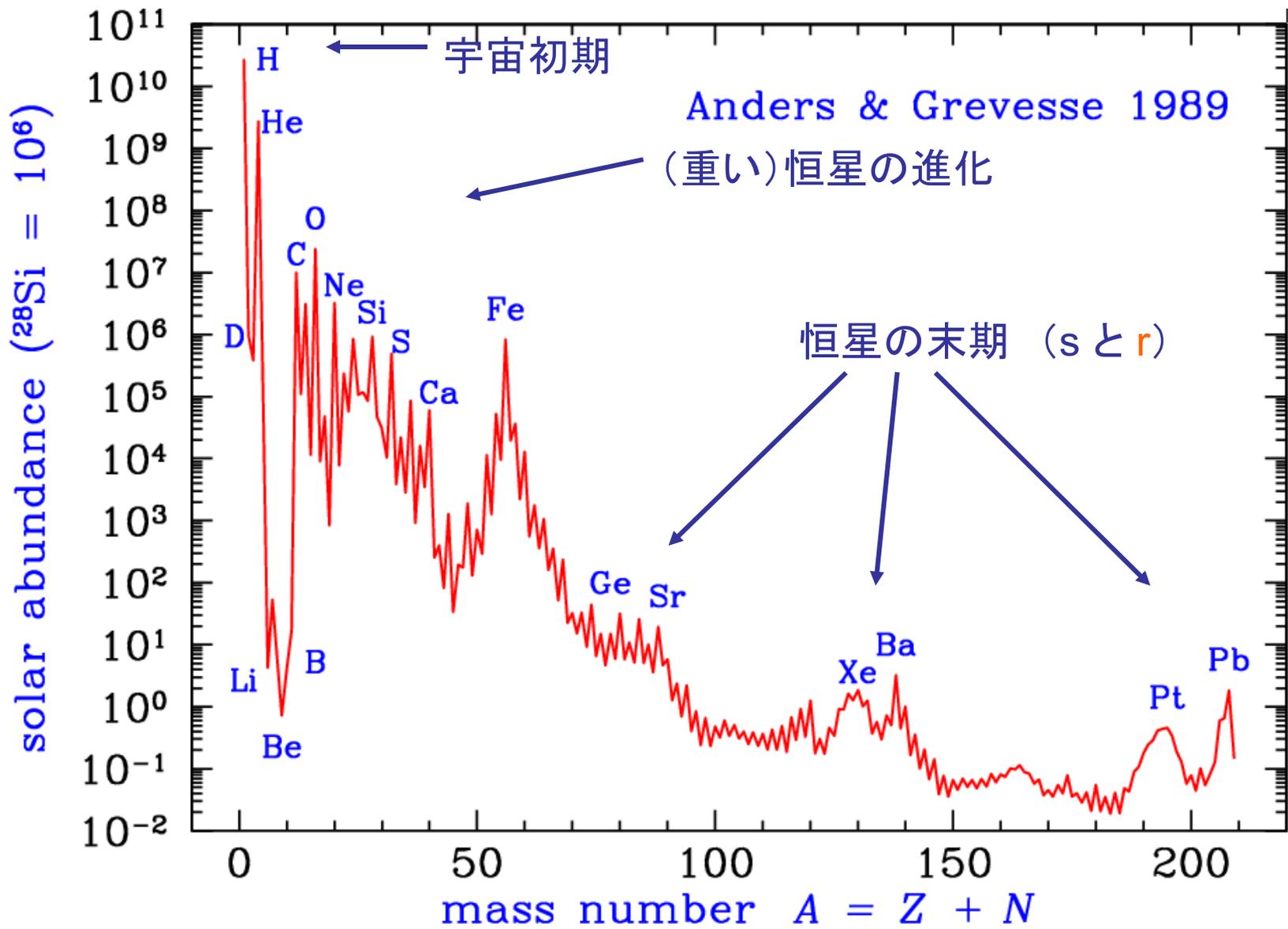
(周りは光る「惑星状星雲」)

光るのは 1000~数万年

黒色矮星

(光らない)

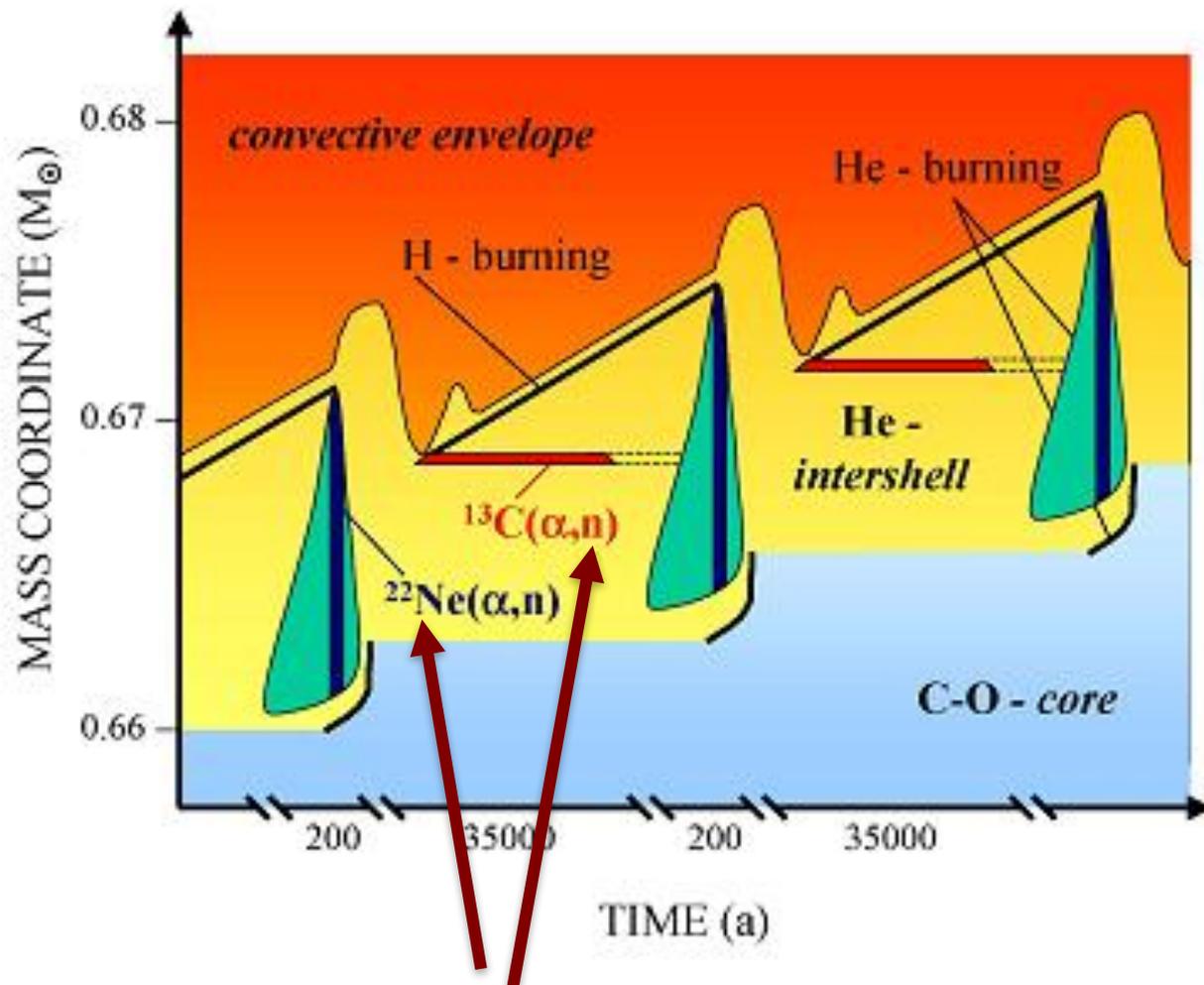
数十億年



s 過程は赤色巨星* (「漸近巨星分枝星」) の外層部で

超新星に至らない質量の星の末期

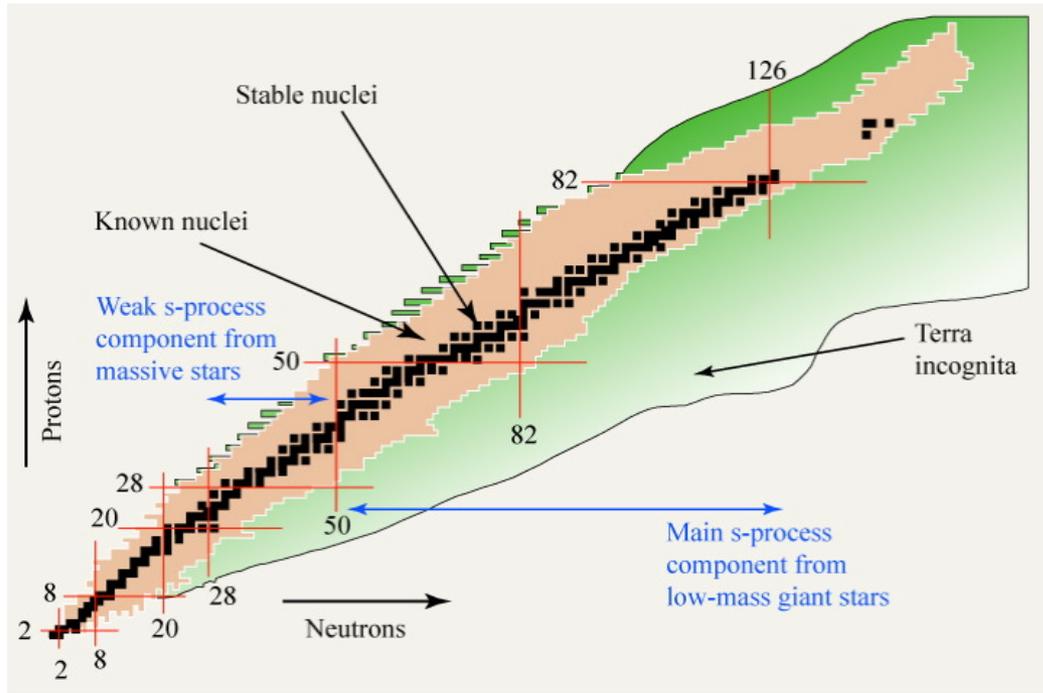
* 大質量星での「弱い s 過程」



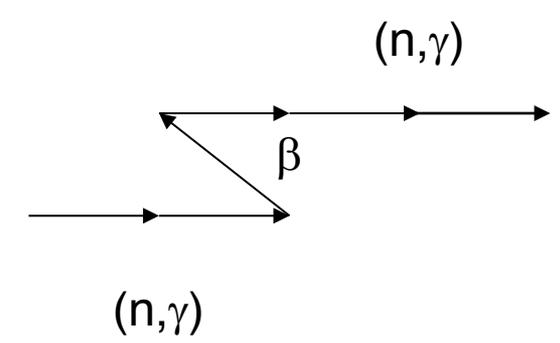
中性子発生

LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY

s 過程では、安定核が中性子を吸って、ゆっくり重い元素が出来てゆく



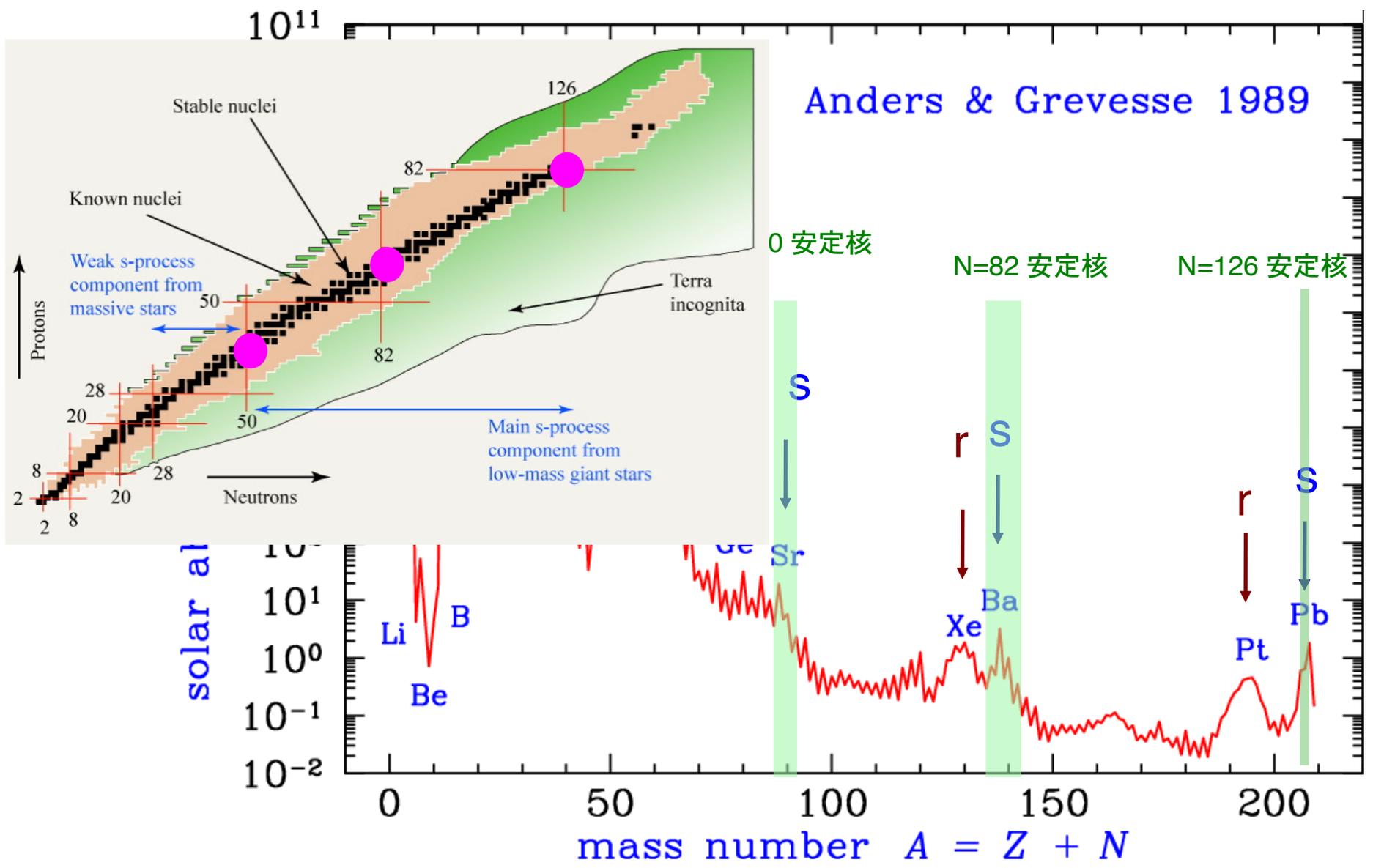
LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY



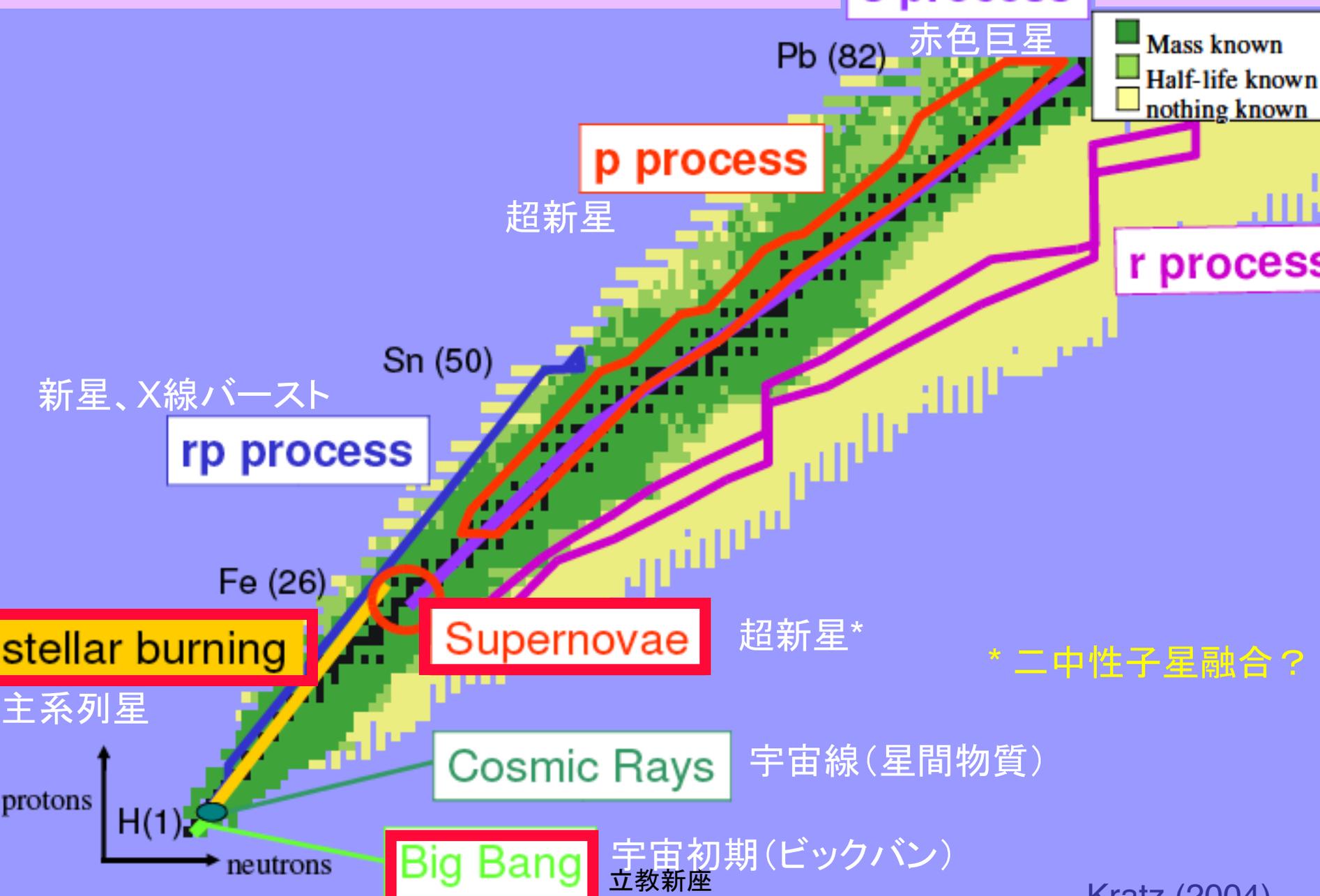
中性子魔法数付近では
中性子捕獲断面積が小さい

中性子魔法数付近に元素が「溜まる」

s 過程では、安定核が中性子を吸って、ゆっくり重い元素が出来てゆく



宇宙での原子核反応 - どのような原子核が...



* 二中性子星融合?

宇宙初期(ビッグバン)
立教新座

