

「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ん

トピックス - ニホニウム(113番元素)、重力波

「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ん

トピックス - ニホニウム(113番元素)、
重力波(中性子合体)

「元素誕生のからくり」

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

雑談

さて

大学は....

授業には「欠席」の概念が

最近、大学が高校化していると言われるものの
行動は、自分の判断にまかされている

先生(教員)の「裁量権」が広い

单位制度

大半の人にとって
人生で一番自由な時

渡辺前々校長のメッセージ(2011) より

<http://niiza.rikkyo.ac.jp/news/2011/03/8549/>

大学に行くとは、「海を見る自由」を得るためなのではないか。
言葉を変えるならば、「立ち止まる自由」を得るためではないかと思う。現実を直視する自由だと言い換えてもいい。

中学・高校時代。君らに時間を制御する自由はなかった。遅刻・欠席は学校という名の下で管理された。又、それは保護者の下で管理されていた。諸君は管理されていたのだ。

大学を出て、就職したとしても、その構図は変わらない。無断欠席など、会社で許されるはずがない。高校時代も、又会社に勤めても時間を管理するのは、自分ではなく他者なのだ。それは、家庭を持って変わらない。愛する人を持っても、それは変わらない。愛する人は、愛している人の時間を管理する。

大学という青春の時間は、時間を自分が管理できる煌めきの時なのだ。

池袋行きの電車に乗ったとしよう。諸君の脳裏に波の音が聞こえた時、君は途中下車して海に行けるのだ。高校時代、そんなことは許されていない。働いてもそんなことは出来ない。家庭を持ってそんなことは出来ない。

「今日ひとりで海を見てきたよ。」

そんなことを私は妻や子供の前で言えない。大学での友人ならば、黙って頷いてくれるに違いない。

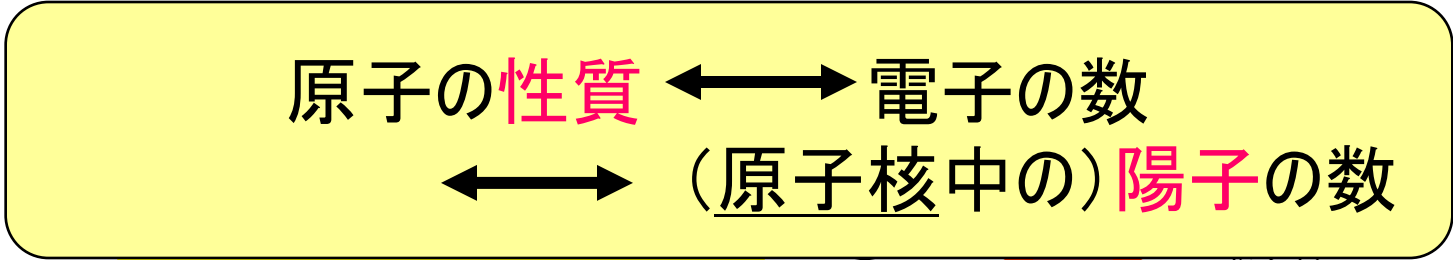
「元素誕生のからくり」

6つのポイント

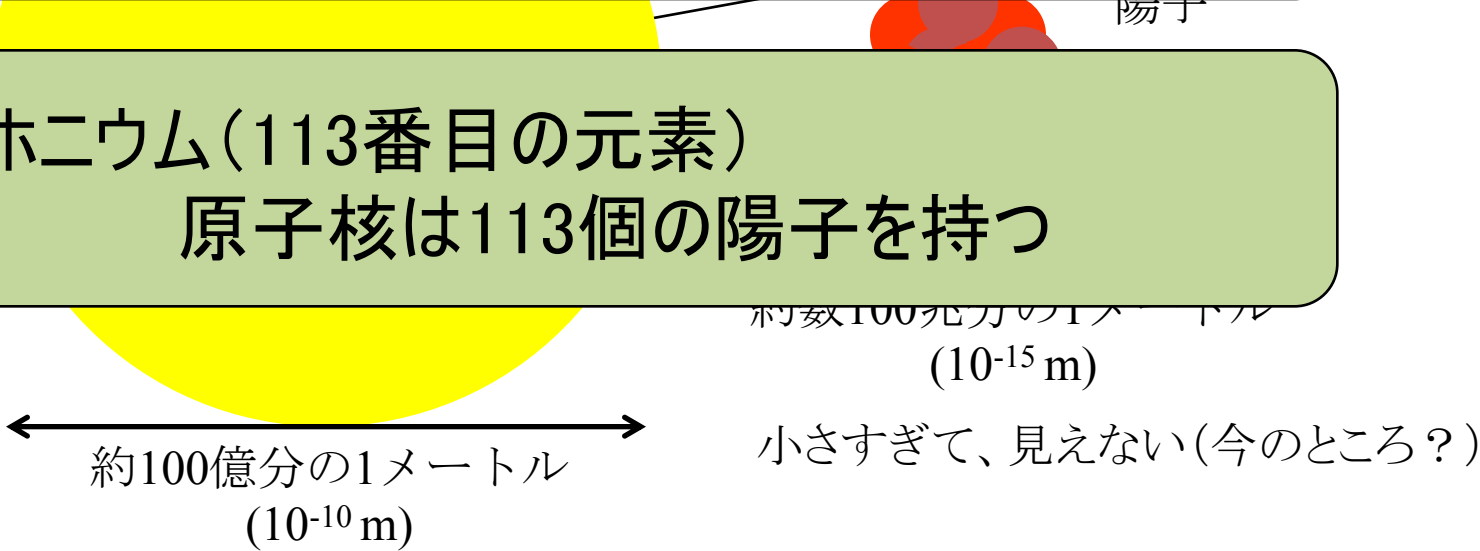
1. 元素と原子核 陽子の数が元素を決める
2. 宇宙の歴史 ビックバンから約140億年続く膨張
3. 星の進化 原子核が燃えて重いと超新星爆発
4. 原子核の反応 断面積とは
5. 気体と温度 粒子の平均エネルギーは kT
6. 宇宙での元素の合成 ビックバン直後と星の中心
超新星、中性子合体.....

1. 元素と原子核

陽子の数が元素を決める



ニホニウム(113番目の元素)
原子核は113個の陽子を持つ



陽子、中性子の重さ: 電子の重さの約 2000 倍!
原子の重さ ~ 原子核の重さ

物質の重さ ~ 原子核の重さ

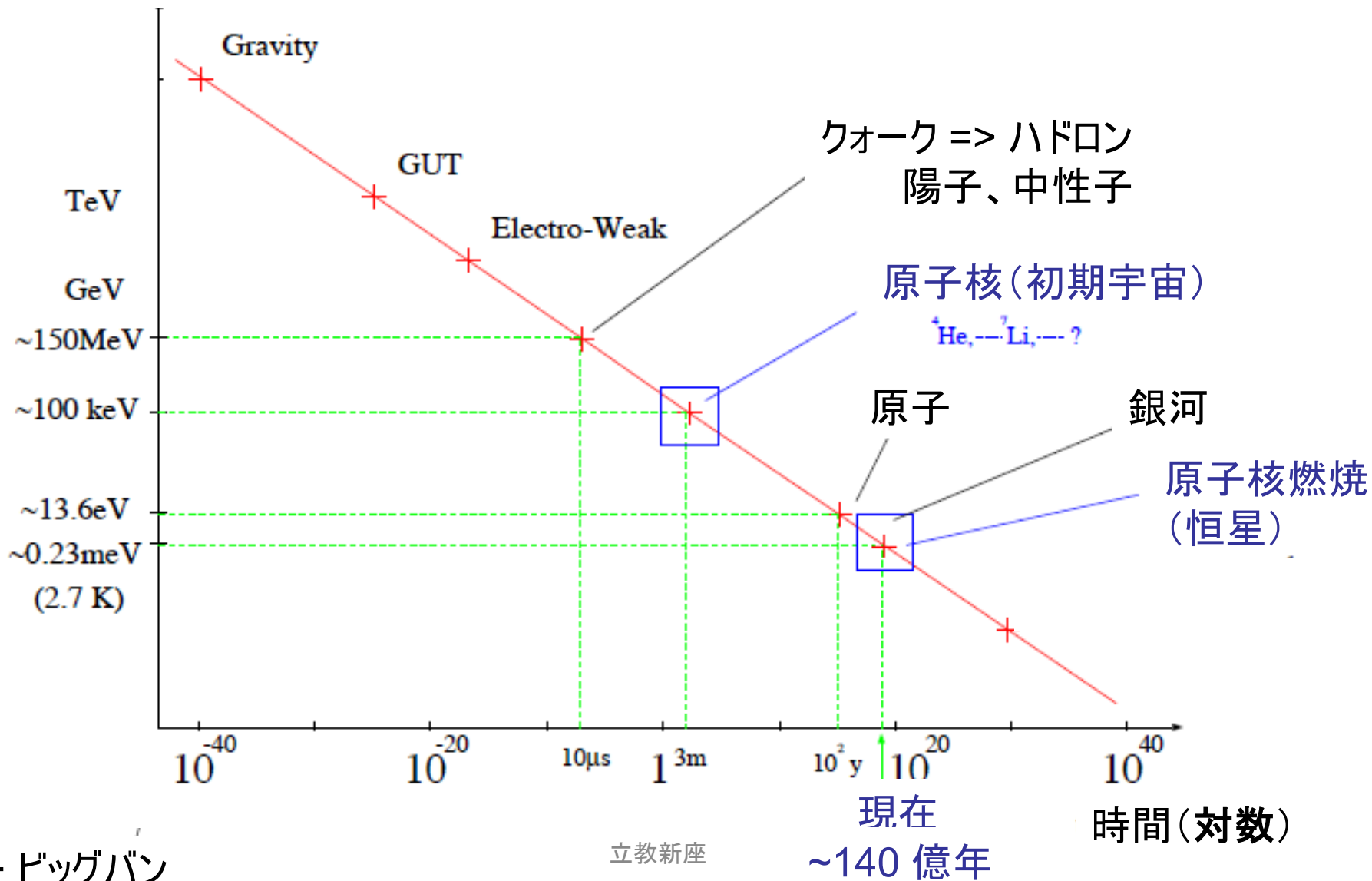
世界は原子核でできてい
ではないらしい
(暗黒物質)

2. 宇宙の歴史

ビッグバンから約140億年続く膨張

宇宙の膨張と平均温度

温度(対数)



3. 星の進化

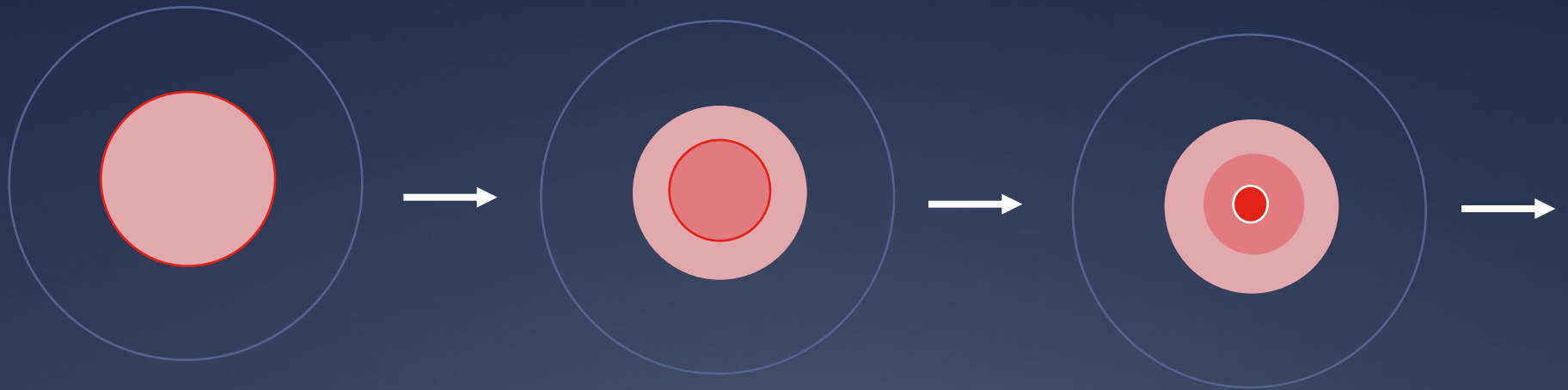
原子核が燃えて重いと超新星爆発

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

sun

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

(太陽はここまで)

光の放射と重力がつりあう

炭素が「燃え」る

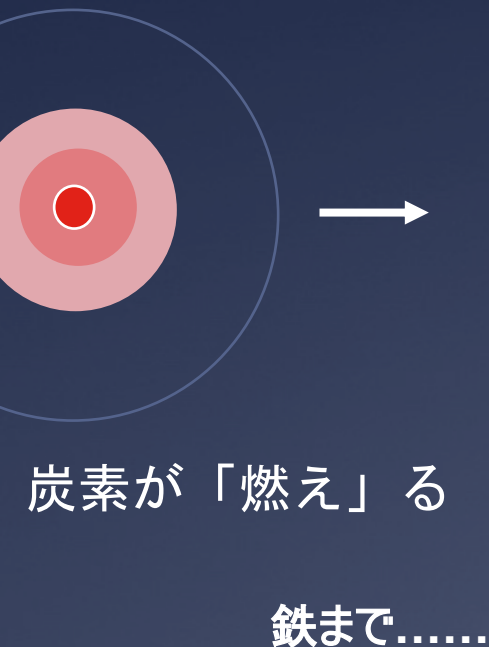
重い星は鉄まで.....

Stellar burning itself is nuclear process.

3. 星の進化

原子核が燃えて重いと超新星爆発

主系列星の進化

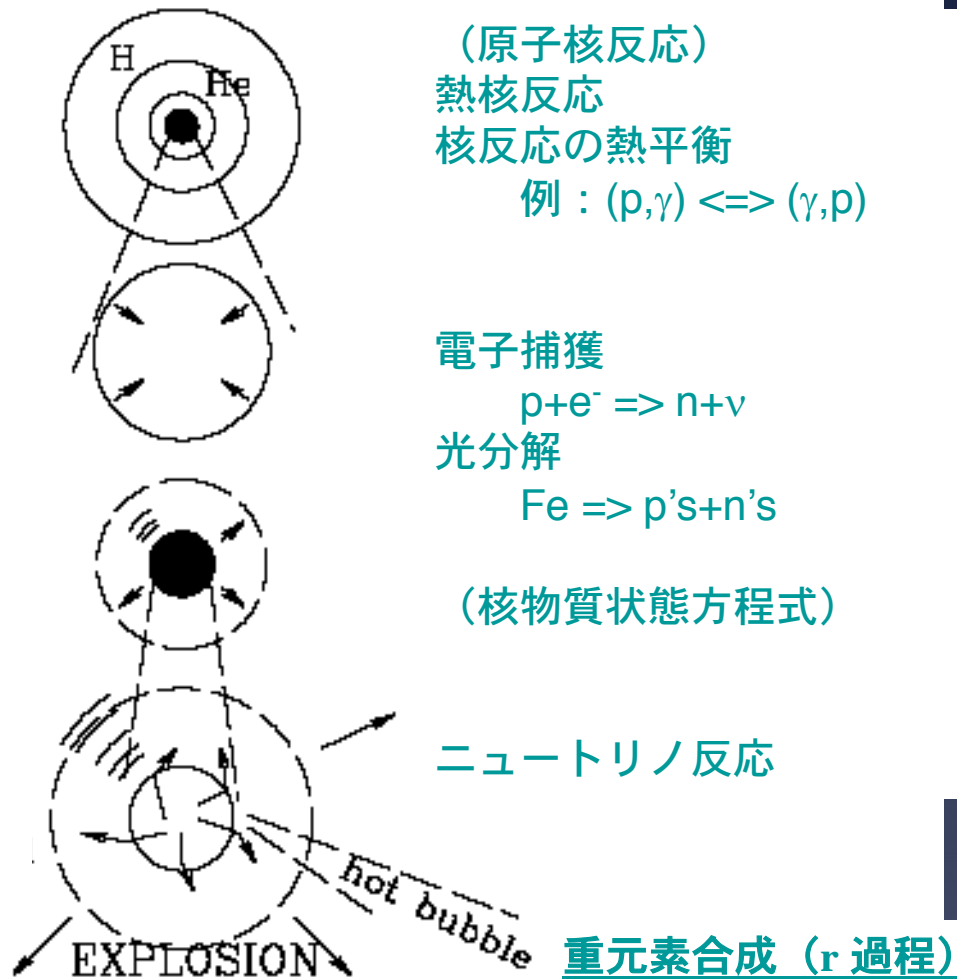


(星)
燃焼の最後に
鉄のコアが形成

↓
収縮
中性子化
重力崩壊

↓
原始中性子星
コア反発
衝撃波 (失速)

↓
ニュートリノ加熱
「熱い泡」
衝撃波復活



(原子核反応)
熱核反応
核反応の熱平衡
例: $(p,\gamma) \rightleftharpoons (\gamma,p)$

電子捕獲
 $p+e^- \Rightarrow n+\nu$
光分解
 $Fe \Rightarrow p's+n's$

(核物質状態方程式)

ニュートリノ反応

重元素合成 (r 過程)

4. 原子核の反応 断面積とは

1. いろいろな状況

星の中のようなガス（星ってガスなのである）

「ビーム」を「標的」にぶつける場合

例）ラザフォードの実験

ビーム衝突実験

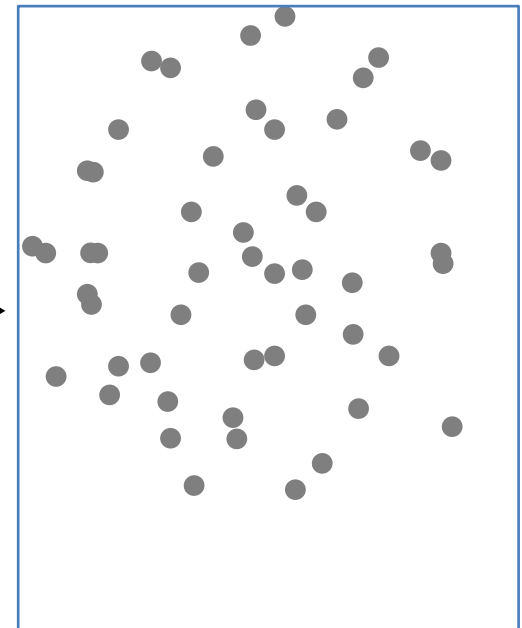
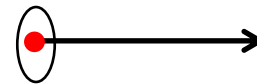
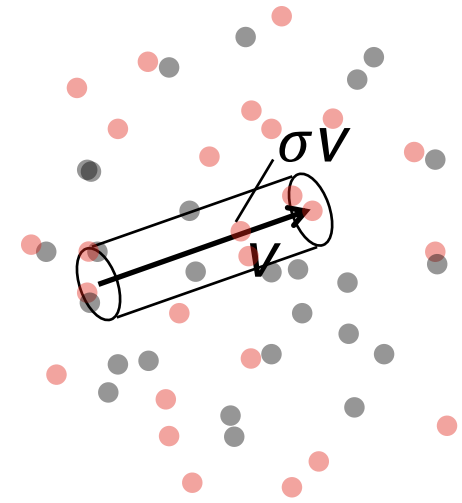
例）ヒッグス粒子の発見

2. 断面積は状況にはよらない

重心系と実験室系

3. 断面積はエネルギーとともに変化する（次ページに例）

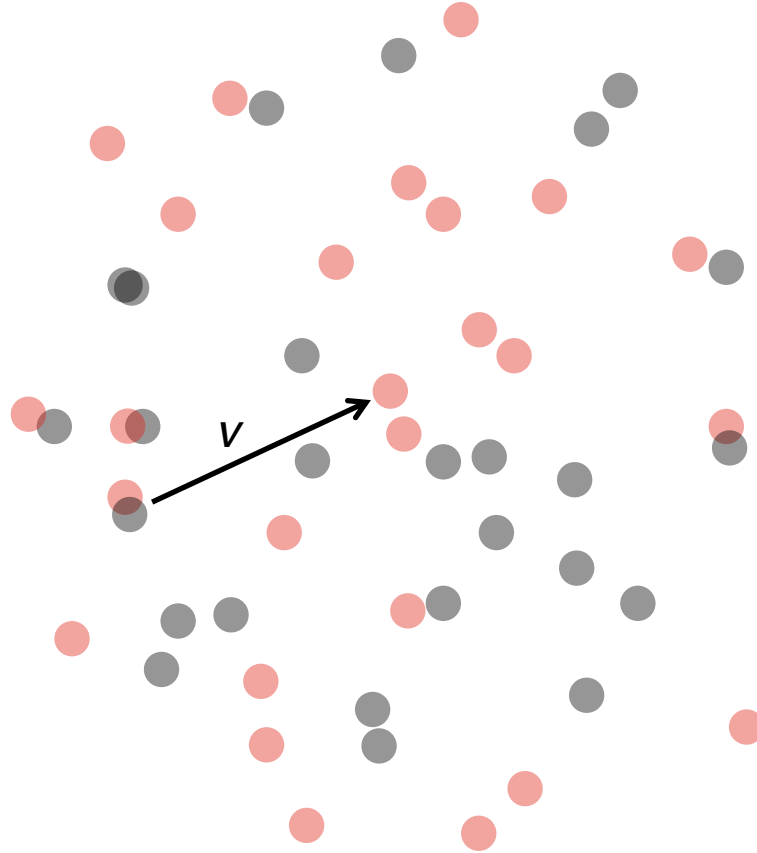
← クーロン反発力とトンネル効果



5. 気体と温度

粒子の平均エネルギーは kT

ガスは自由に飛び回る粒子の集団 (たまに他の粒子と衝突)



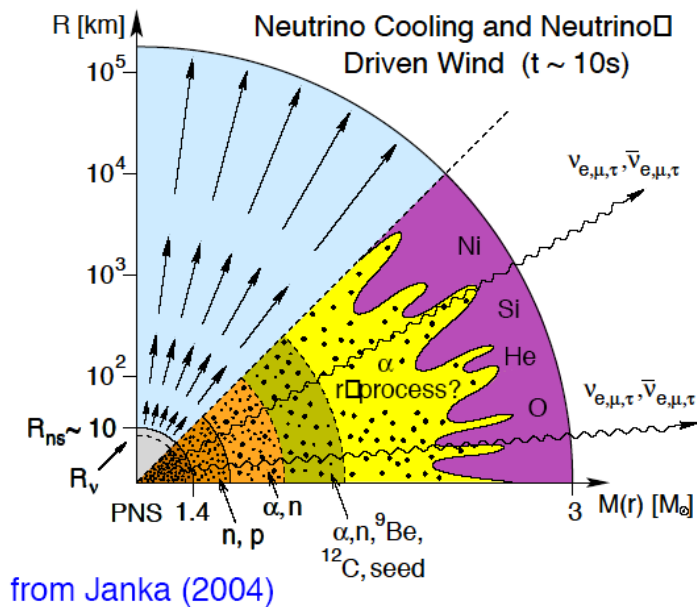
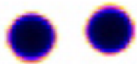
$$E = 1/2 mv^2$$

マクスウェル・ボルツマン分布
(Maxwell - Boltzmann)

$$P(E) = A(T) E \exp\left[-\frac{E}{kT}\right]$$

6. 宇宙での元素の合成 ビックバン直後と星の中心

赤色巨星、超新星、中性子合体.....



from Janka (2004)

6. 宇宙での元素の合成 ビックバン直後と星の中心

s process

赤色巨星、超新星、中性子合体.....

Pb (82)

赤色巨星

- Mass known
- Half-life known
- nothing known

p process

超新星

r process

新星、X線バースト

rp process

Sn (50)

Fe (26)

stellar burning

Supernovae

超新星*

* 中性子星合体?

主系列星

Cosmic Rays

宇宙線(星間物質)

protons

H(1)

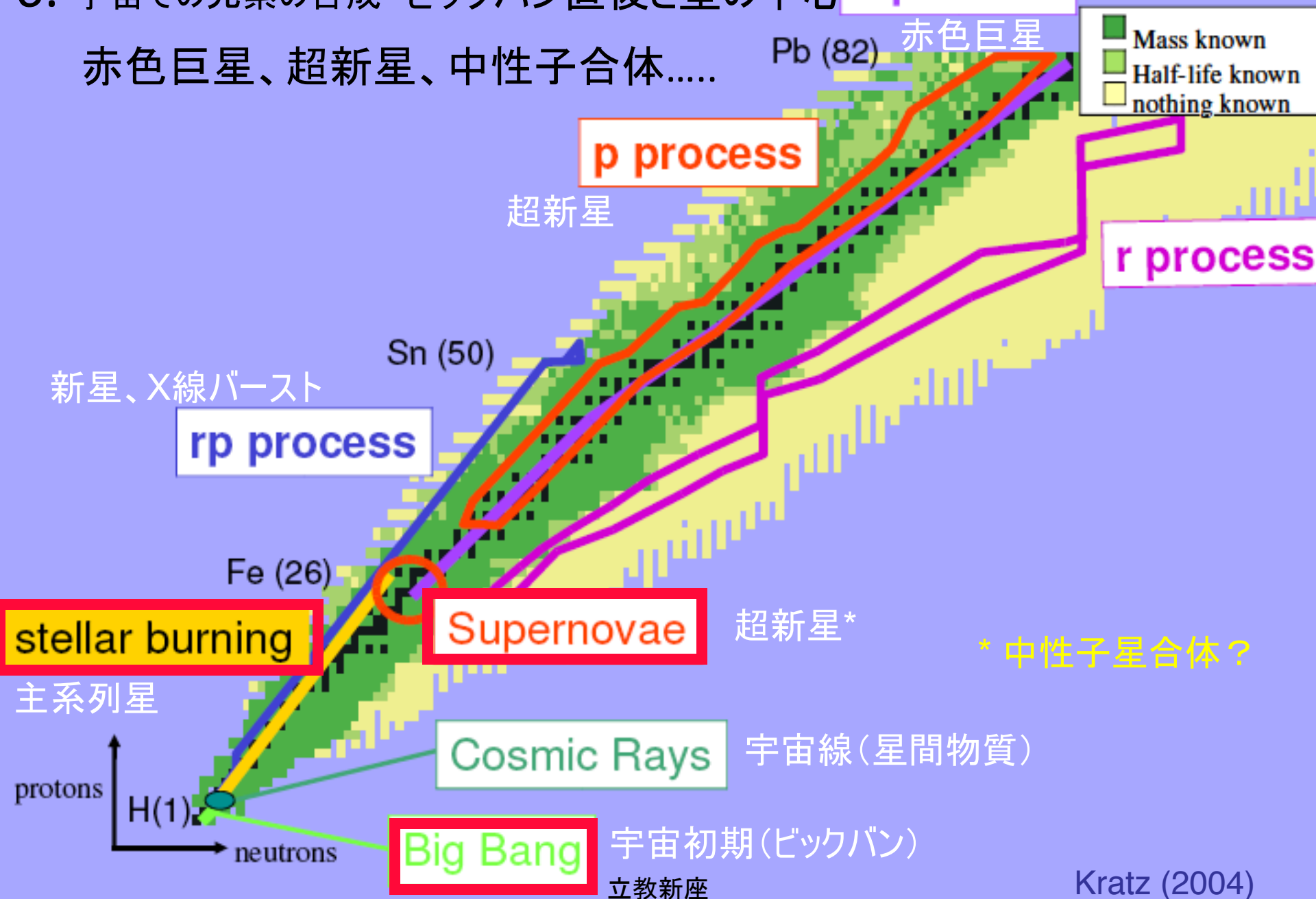
neutrons

Big Bang

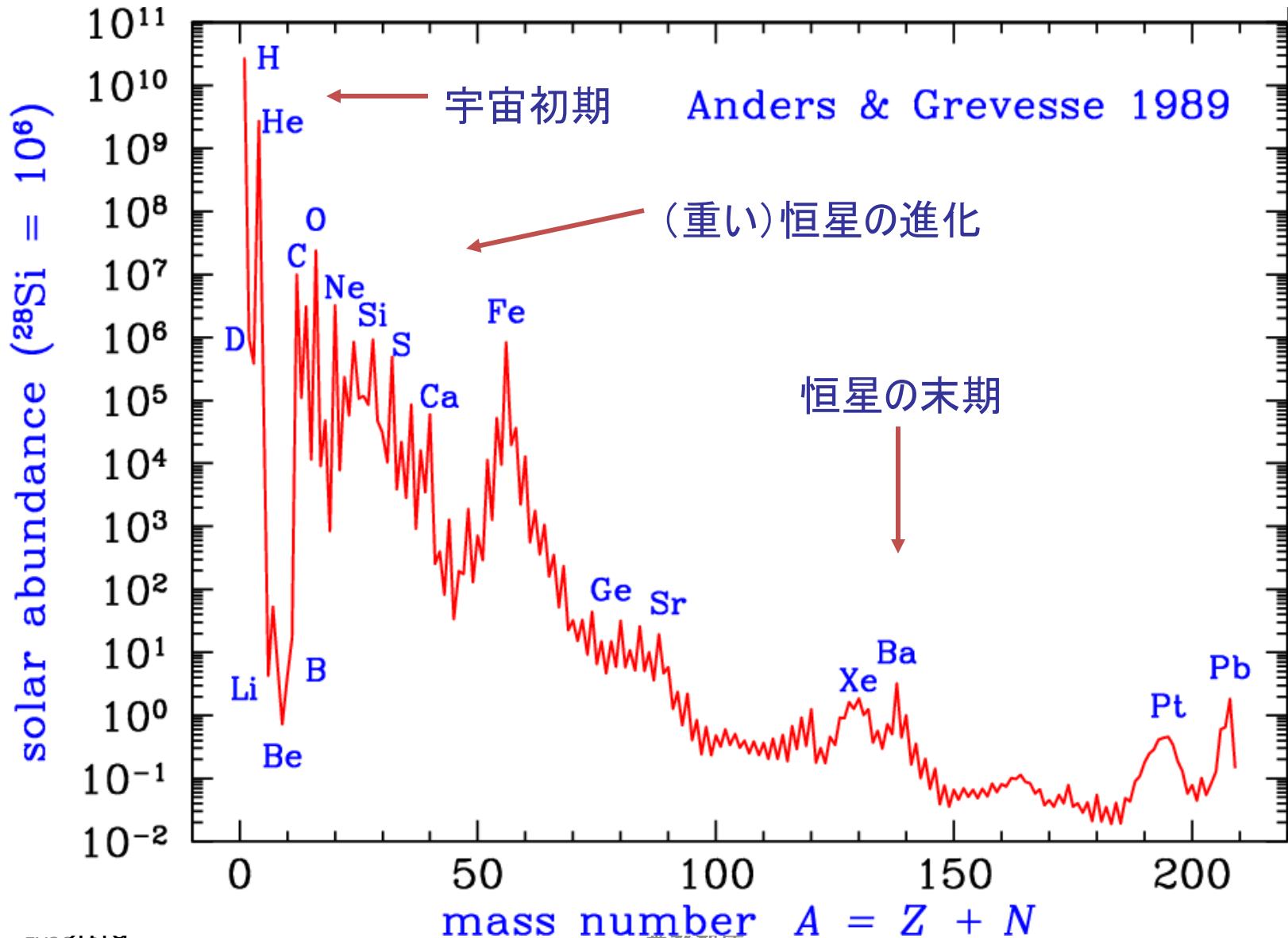
宇宙初期(ビックバン)

立教新座

Kratz (2004)



太陽系 (~宇宙) の元素組成 (存在比)



元素誕生 ----- 物質創成

創造 creation Creation

カタイ言い方

nucleosynthesis 核合成

element genesis 元素創成(創世)

creation / creator クリエーター

だから勉強しなさい、なんてことは言わない
でも、そう思うと勉強が変わるかもしれない

研究者はクリエイターか？

「発見」は creation ではない
新しい(発見のための)方法は creation