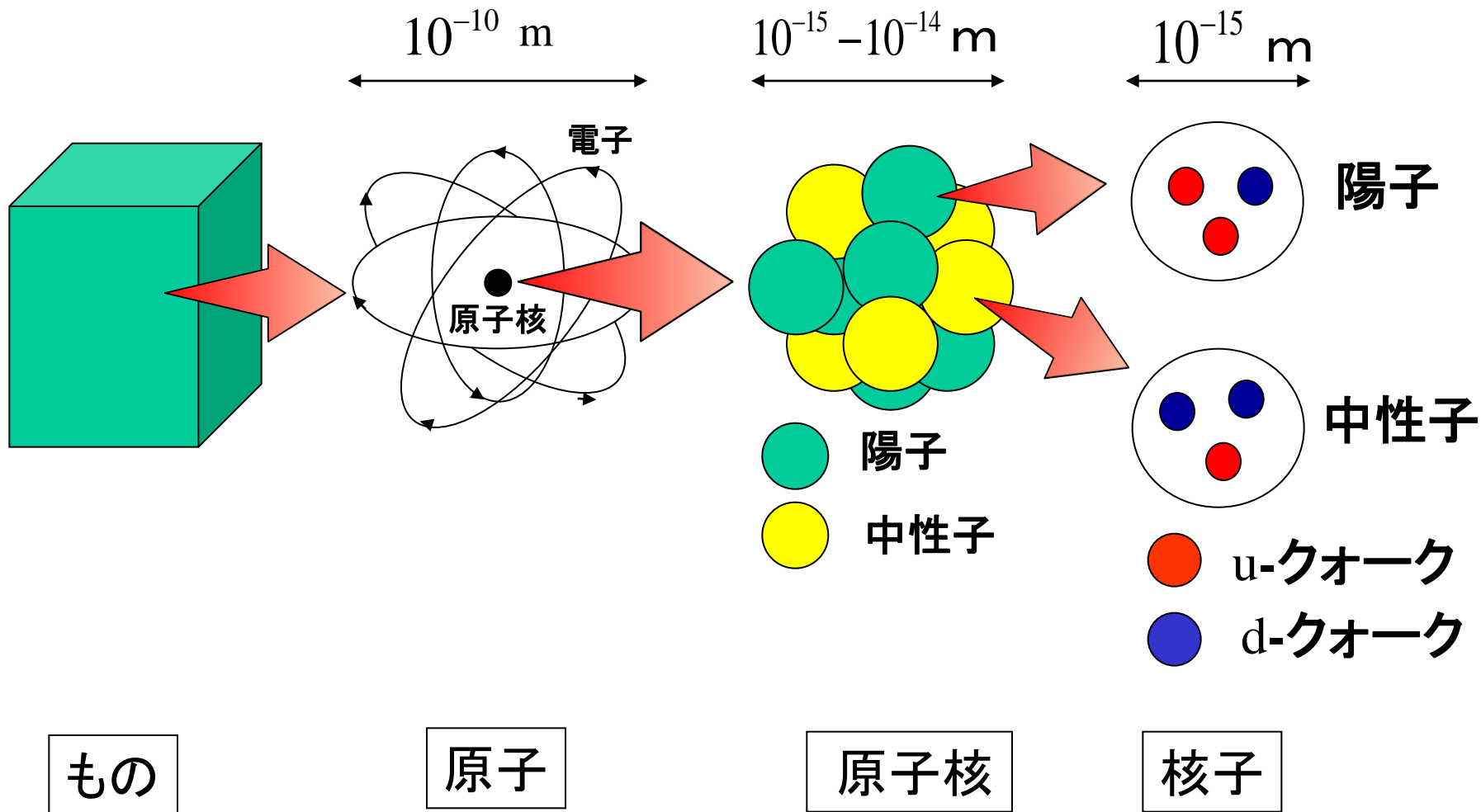


物質のミクロな成り立ち



「**元素**」: ある原子番号(=原子核中の陽子の数) Z をもつもの。

自然の元素の数: 約 90 (最も重い元素: $Z=112$)

周期	18																	
1	2																2	
2	10										10						10	
3	10										10						10	
4	10										10						10	
5	10										10						10	
6	10										10						10	
7	10										10						10	
1	1 水素 H																	2 ヘリウム He
2	3 リチウム Li	4 ベリリウム Be											5 ホウ素 B	6 炭素 C	7 窒素 N	8 酸素 O	9 フッ素 F	10 ネオン Ne
3	11 ナトリウム Na	12 マグネシウム Mg											13 アルミニウム Al	14 けい素 Si	15 リン P	16 硫黄 S	17 塩素 Cl	18 アルゴン Ar
4	19 カリウム K	20 カルシウム Ca	21 スカンジウム Sc	22 チタン Ti	23 バナジウム V	24 クロム Cr	25 マンガン Mn	26 鉄 Fe	27 コバルト Co	28 ニッケル Ni	29 銅 Cu	30 亜鉛 Zn	31 ガリウム Ga	32 ゲルマニウム Ge	33 砒素 As	34 セレン Se	35 臭素 Br	36 クリプトン Kr
5	37 ルビ듐 Rb	38 ストロンチウム Sr	39 イットリウム Y	40 ジルコニウム Zr	41 ニオブ Nb	42 モリブデン Mo	43 テクネチウム Tc	44 ルルチウム Ru	45 ロジウム Rh	46 パラジウム Pd	47 銀 Ag	48 カドミウム Cd	49 インジウム In	50 スズ Sn	51 アンチモン Sb	52 テルル Te	53 ヨウ素 I	54 キセノン Xe
6	55 セシウム Cs	56 バリウム Ba	57~71 ランタノイド La	72 ハフニウム Hf	73 タンタル Ta	74 タングステン W	75 レニウム Re	76 オスミウム Os	77 イリジウム Ir	78 白金 Pt	79 金 Au	80 水銀 Hg	81 タリウム Tl	82 鉛 Pb	83 ビスマス Bi	84 ポロニウム Po	85 アスタチン At	86 ヨド Rn
7	87 フランシウム Fr	88 ラジウム Ra	89~103 アクチノイド Ac	104 ローレンシウム Rf	105 ドブニウム Db	106 シーボーグ ウム Sg	107 ボーヘリウム Bh	108 ハッシウム Hs	109 メタハッシウム Mt	110 (GSI)	111 (GSI)	112 (GSI)	113	114 (JINR)	115	116	117	118

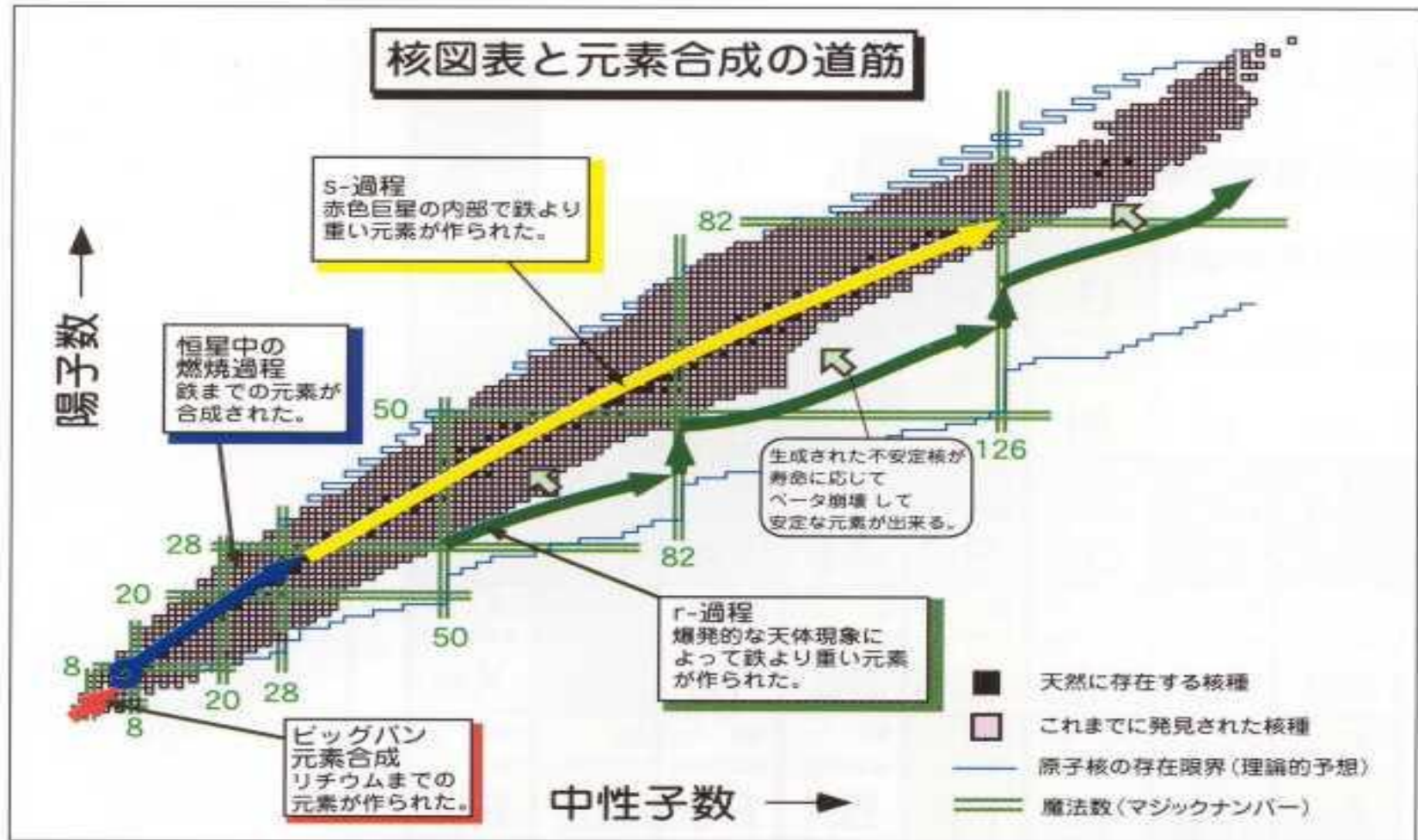
■ : ヒトに必要な常量の元素
 ■ : ヒトに必要な微量の元素
 ■ : ヒトにたぶん必須である元素

57~71 ランタノイド	57 ランタン La	58 セリウム Ce	59 プラセオジム Pr	60 ネオジム Nd	61 プロメチウム Pm	62 サマリウム Sm	63 ユーロピウム Eu	64 ガドリニウム Gd	65 テルビウム Tb	66 ジスプロシウム Dy	67 ホルミウム Ho	68 エルビウム Er	69 ツリウム Tm	70 イットリウム Yb	71 ルテチウム Lu
89~103 アクチノイド	89 アクチンウム Ac	90 トリウム Th	91 プロトアクチニウム Pa	92 ウラン U	93 ネプツリウム Np	94 プルトニウム Pu	95 アメリシウム Am	96 キュリウム Cm	97 バークリウム Bk	98 カリフォルニア ウム Cf	99 アインシュタイン ウム Es	100 フェルミウム Fm	101 メンデルベリウム Md	102 ノーベリウム No	103 ローレンシウム Lr

「核種」 ${}^A_Z X_N \dots$ 質量数 $A=Z+N$, Z =陽子の数、 N =中性子の数。

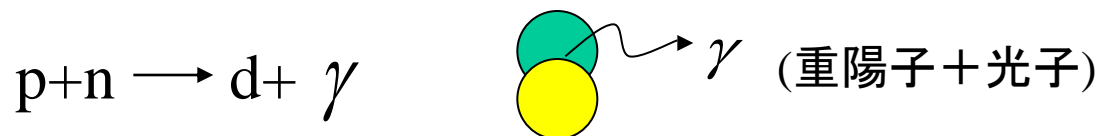
「同位体」: 同じ Z をもつ核種。例えば、 ${}^{56}_{26}\text{Fe}_{30}$, ${}^{57}_{26}\text{Fe}_{31}$, ${}^{58}_{26}\text{Fe}_{32}$

核種の数: 自然 287 (その内安定: 256)、実験で確認: 約 2000、
理論的に予想: 約 7000。



元素合成の基本原則： 融合反応、捕獲反応で質量を下げる。

例えば、単独の陽子  と単独の中性子  よりも、「重陽子」  の方が軽いので、ある確率で「捕獲過程」が起こる：



実は、この過程はビッグバンの数分後に起こった。

また、太陽の中で中性子は少ない(崩壊してしまった!)ので、次の過程が起こる：

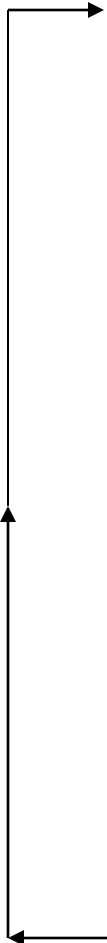


陽子 + 陽子

重陽子 + 陽電子 + ニュートリノ

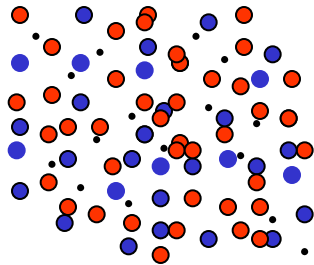
陽子の間の斥力を乗り越えるために、温度運動と量子力学的な「トンネル効果」は大切である。

元素の合成の過程について:

- 1) ビッグバンの数分後: 軽い元素(リチウムまで)の合成。
 - 2) 重力による収縮の効果で、星が誕生。
 - 3) 星の中で、核融合(「焼却」)で鉄までの合成。
更に、中性子を次々と吸収、もっと重い元素(ビスマスまで)の合成。(“*Slow process: S-process*”.)
 - 4) 重い星の燃料が消耗されたときに、重力による収縮の効果で、超新星爆発が起こる。そのときに、鉄の原子核は中性子を次々と吸収、更に重い元素(ウラニウムなど)の合成も可能。(“*Rapid process: R-process*”.)
 - 5) 爆発で放出された物質(雲)は、宇宙にさまよう。
 - 6)
- 

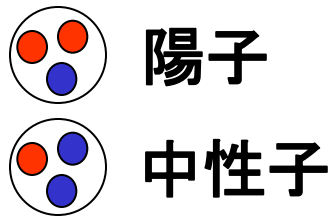
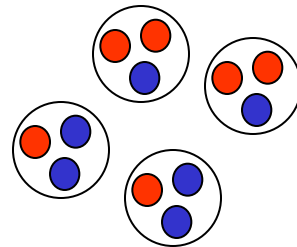
1) ビッグバン:

直後



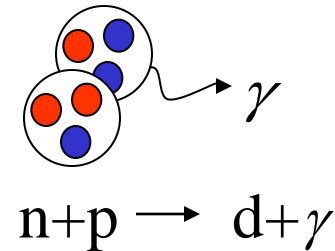
- u-クォーク
- d-クォーク
- 電子

10^{-5} s 後



(クォークの閉じ込め)

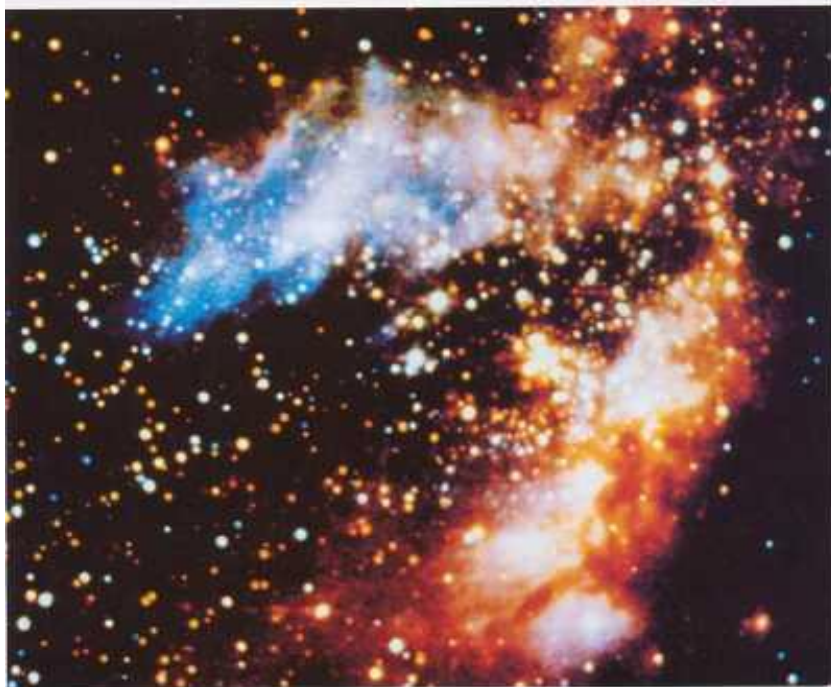
数分後



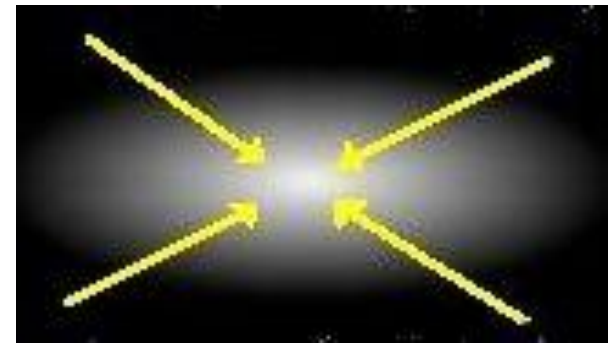
などで、 ${}^7\text{Li}$ まで。
特に、 ${}^4\text{He}$ は大量
で合成された。

ビッグバンの数十分後、宇宙の温度は 10^8 °K まで下がって、核融合の反応の確率は小さくなった。そのため、もっと重い元素は合成されなかった。

2) 星の誕生 (重力による収縮)



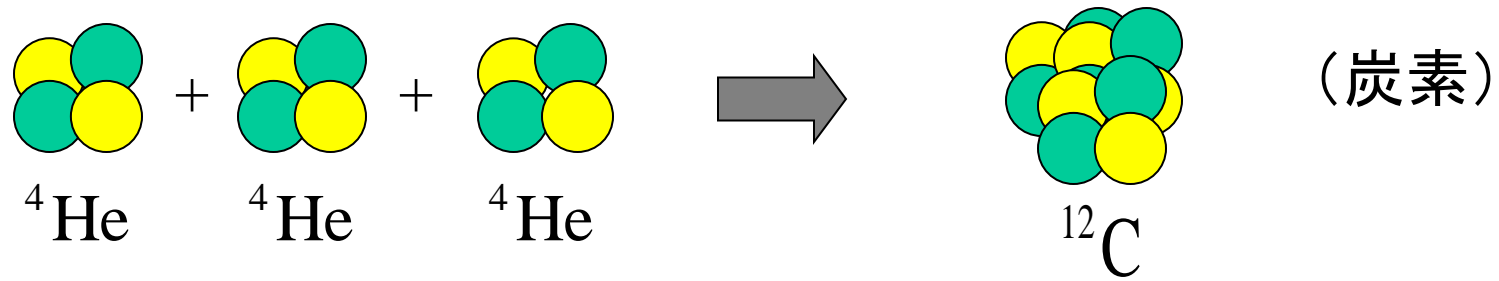
Sagittarius (射手)の「オメガ雲」での
星の誕生。(下:赤外の撮影)



我々の太陽系の誕生
(コンピューターシミュレーション)

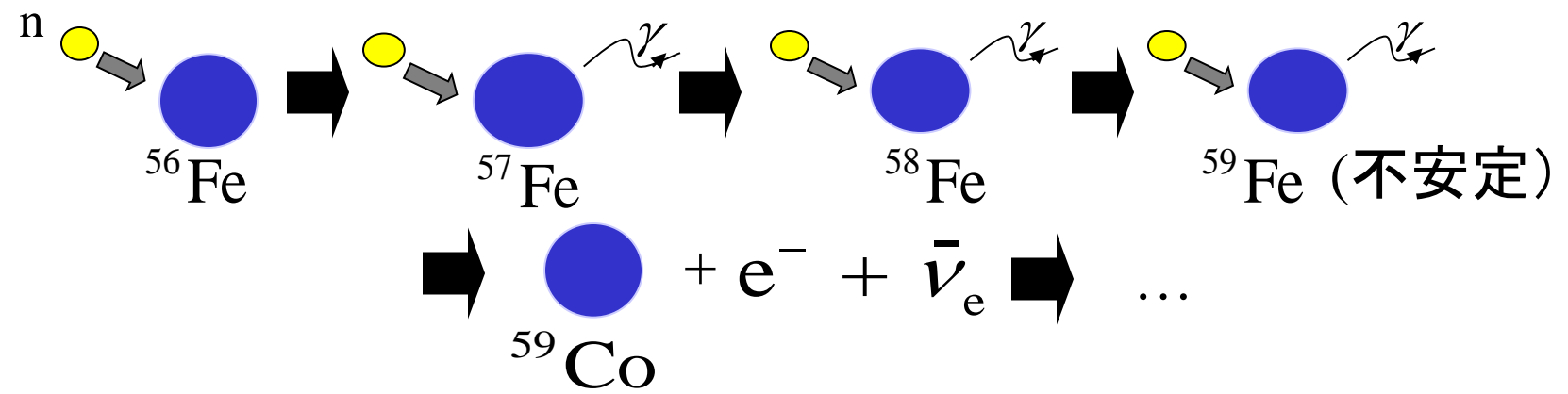
3) 星の内部での元素合成:

核融合の反応で、更に ${}^4\text{He}$ を大量で合成。重い星の場合、もっと重い元素も合成される。例えば、



この「焼却過程」は鉄 (${}^{56}\text{Fe}$) まで進む。

更に、中性子の多い環境 (赤色巨星の内部) で、中性子を次々と捕獲、過剰の中性子は陽子に変わる (「電子ベータ崩壊」)。例えば、



核図で、

Ni 58 68.077	Ni 59 7.6e+04y	Ni 60 26.223	Ni 61 1.14
Co 57 271.8d	Co 58 70.82d	Co 59 100	Co 60 5.271y
Fe 56 91.754	Fe 57 2.119	Fe 58 0.282	Fe 59 44.5d

次の中性子捕獲が起こる前に、原子核はベータ崩壊する: Slow process (S-process)

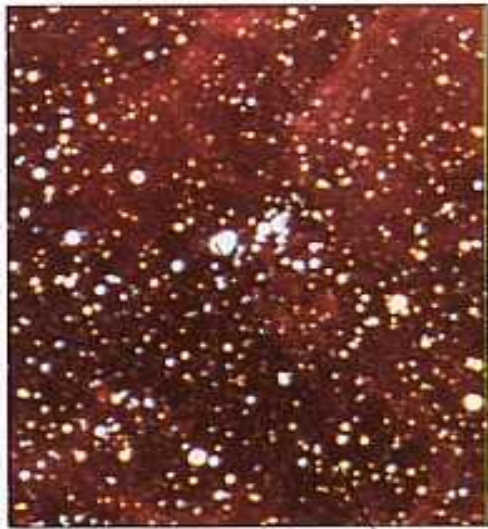
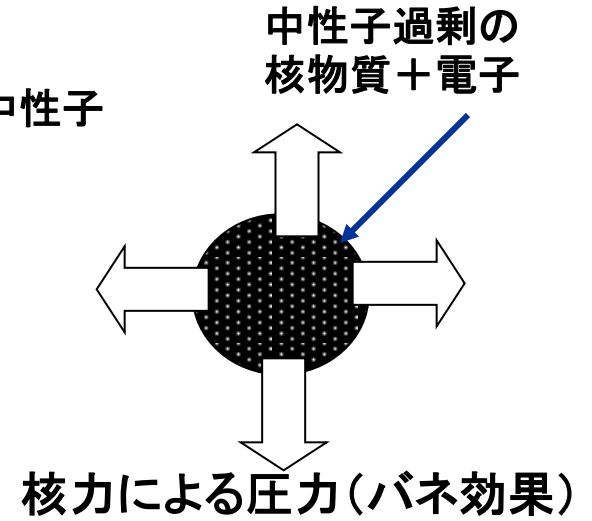
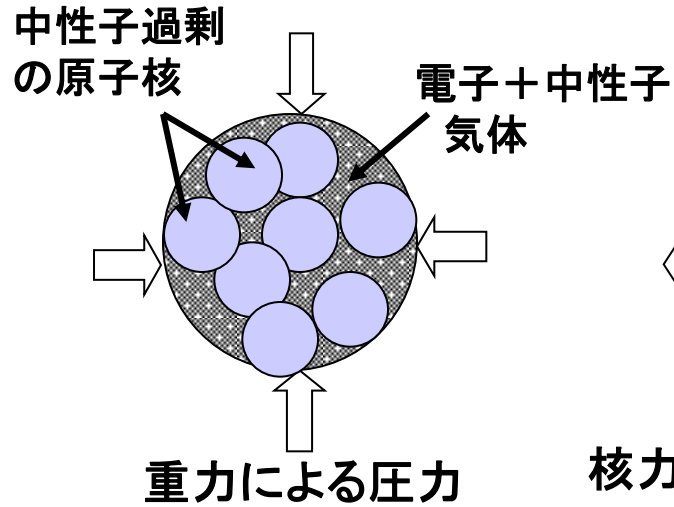
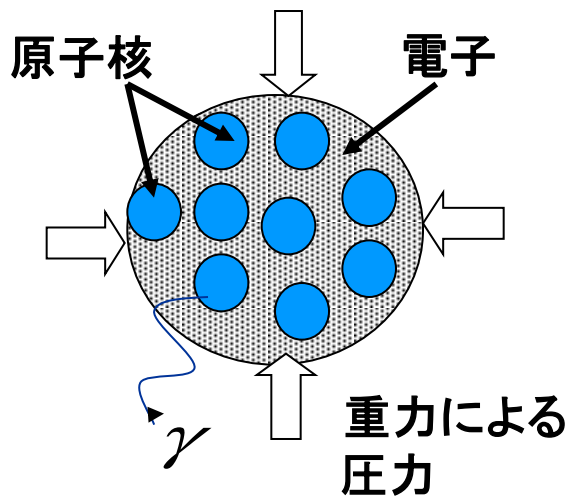
この過程は、最も重い安定な原子核(ビスマス ^{209}Bi)まで進む。

それより重い元素は、中性子捕獲が起こる前に α 崩壊で分裂してしまう。

4) 超新星爆発での元素合成:

超新星爆発のときに、中性子は沢山飛び回っている。そのときに、不安定な原子核が分裂する前に中性子捕獲が起こるので、ウランウム ^{238}U などの元素も爆発的に合成される。

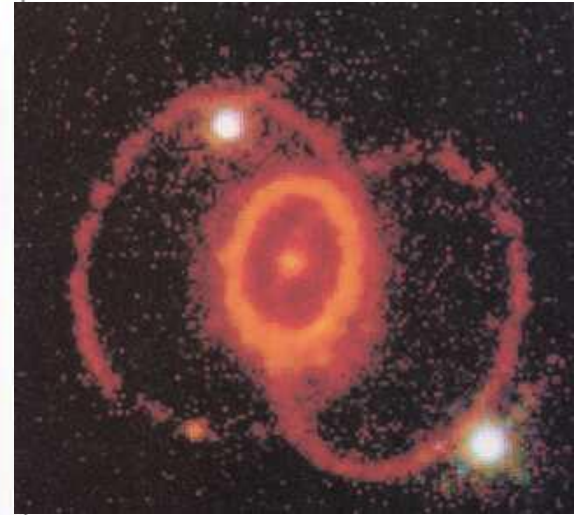
星の内部で温度による圧力が減少すると...



SN1987A ... 前



SN1987A ... 直後
(small Magellan cloud)



SN1987A ... 7 年後