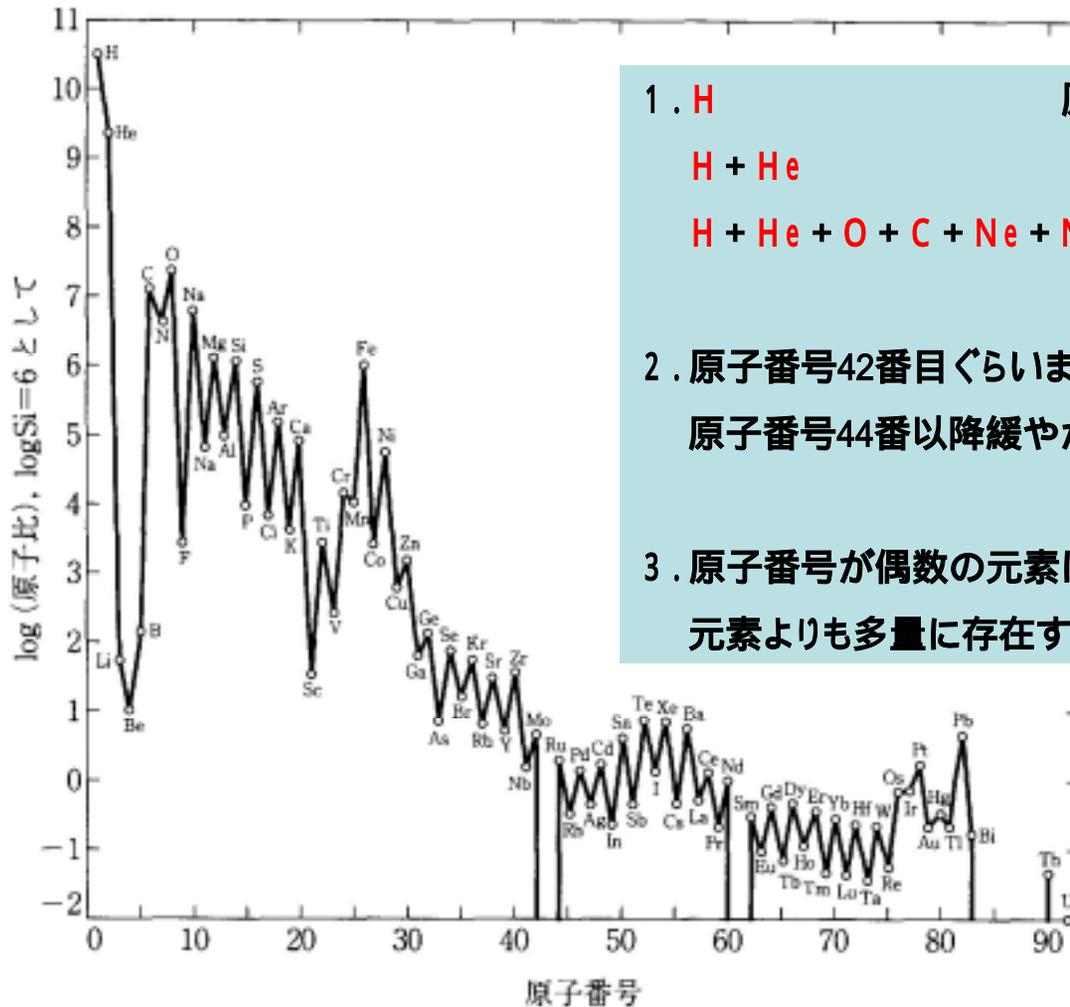


# 宇宙の元素組成 データ



1. **H** 原子数比で存在量の 93.41 %  
**H + He** 99.87 %  
**H + He + O + C + Ne + N + Mg + Si + Fe + S** 99.999 %

2. 原子番号42番目ぐらいまで指数関数的に減少 (例外Li, Be, B)  
 原子番号44番以降緩やかに減少

3. 原子番号が偶数の元素は, その前後の奇数番号の  
 元素よりも多量に存在する (Oddo-Harkinsの法則)

図 1・1 宇宙における元素の相対存在度<sup>47)</sup>

# 宇宙の元素組成 核合成

元素の存在比は原子核の安定度と関連する

不安定な原子核

崩壊

原子番号の小さな原子核生成

原子核同士の反応

合成

原子番号の大きな原子核生成

生成する原子核の中で、安定度の高い原子核が多く生成する

# 宇宙の元素組成 測定1

1. 恒星の光のスペクトル分析 (波長:元素名 / スペクトル線強度:存在比)

2. 隕石組成 (C1炭素質コンドライト)

隕石	鉄隕石	金属 Fe(90%) + ケイ酸塩	
		石質隕石	コンドライト
	エ・コンドライト	金属 Fe と コンドリュール なし	

C1炭素質コンドライト 有機質(H<sub>2</sub>O20%, C6%, O4%)

# 宇宙の元素組成 測定2

太陽大気中の元素の相対濃度

太陽系の原材料に近いC1炭素質  
コンドライト中の元素の相対濃度

スペクトル分析と隕石の組成分析  
との間には相関がある

いずれの方法でも測定可能

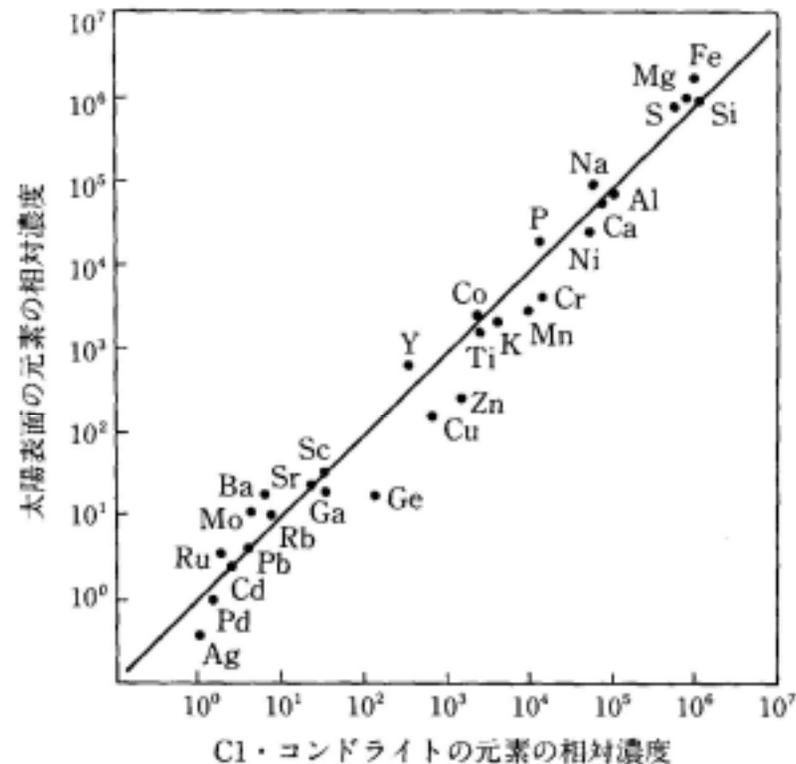


図1・2 太陽大気とC1・コンドライトの元素存在度の類似性<sup>46)</sup>

# 元素の核合成

ビッグバン(100～200億年前)

位置(重力)エネルギー

温度上昇 (密度上昇)

物質間の万有引力

運動エネルギー

凝集

${}^1_1\text{H}$  基本物質  $10^7 \sim 10^8 \text{ K}$  以下で水素原子核間の核融合 = 水素燃焼

水素燃焼 : 重力と圧力のバランス 数十億年安定

# 核反応

核力 : 核間距離 10 fm ( $10^{-14}$  m) 以下で有効

クーロン力  $q_1 q_2 / r^2$

活性化障壁 : 原子核中の陽子数が多い程, 大きな電荷反発のため障壁が高い

高い活性化障壁を越えて反応するためには, 大きな運動エネルギーが必要

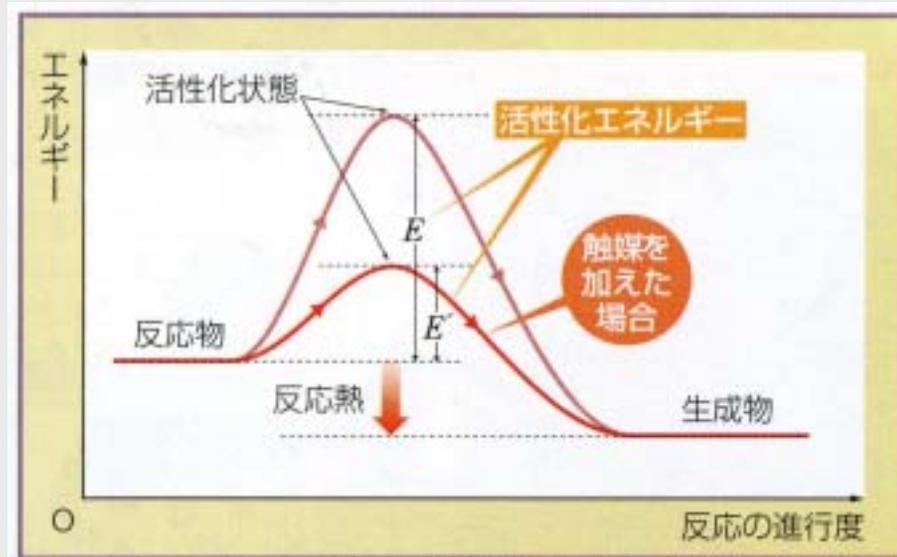
人工元素 : 人工的に作られた放射性

同位体のみから成り,

安定同位体が存在しない元素

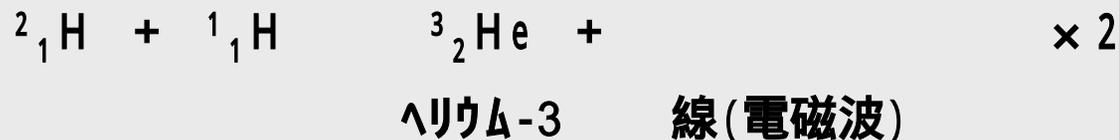
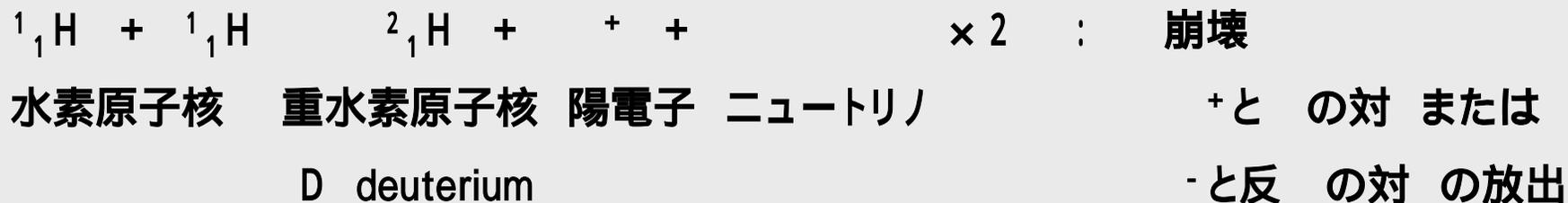
例:  ${}_{43}\text{Tc}$ ,  ${}_{61}\text{Pm}$ ,

超ウラン元素 ( $> {}_{92}\text{U}$ )



数研出版編集部編著『視覚でとらえるフォトサイエンス 化学図録』1998, 数研出版, p.65.

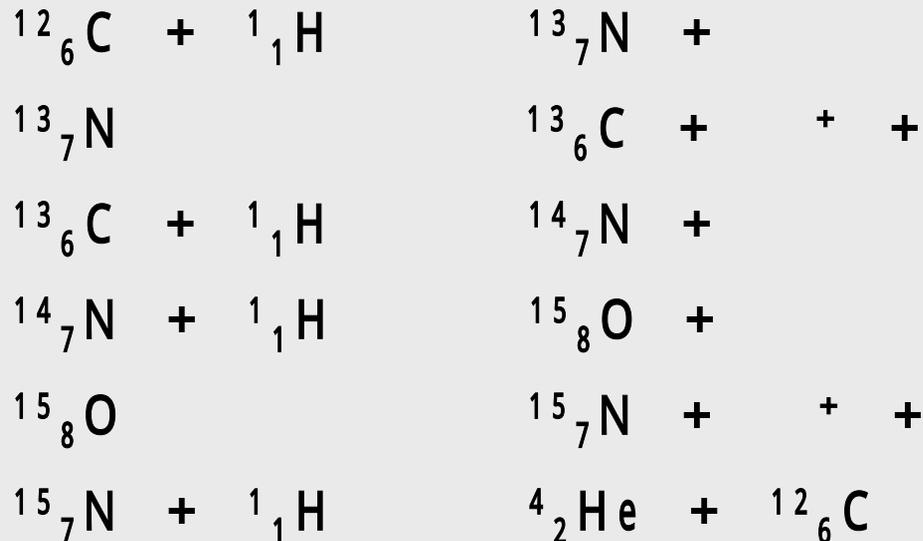
# 水素燃焼



# 炭素 - 窒素サイクル

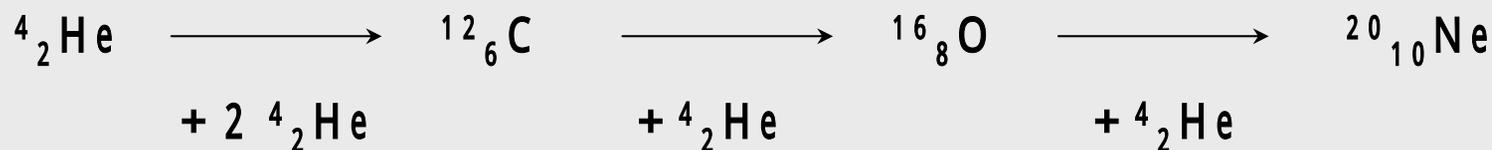
恒星が十分に大きく、 $^{12}_6\text{C}$  を少量含むときの**水素燃焼** (Betheサイクル)

触媒的核反応 :  $^{12}_6\text{C}$  を触媒として、 $^1_1\text{H}$  から  $^4_2\text{He}$  が生成する



# ヘリウム燃焼

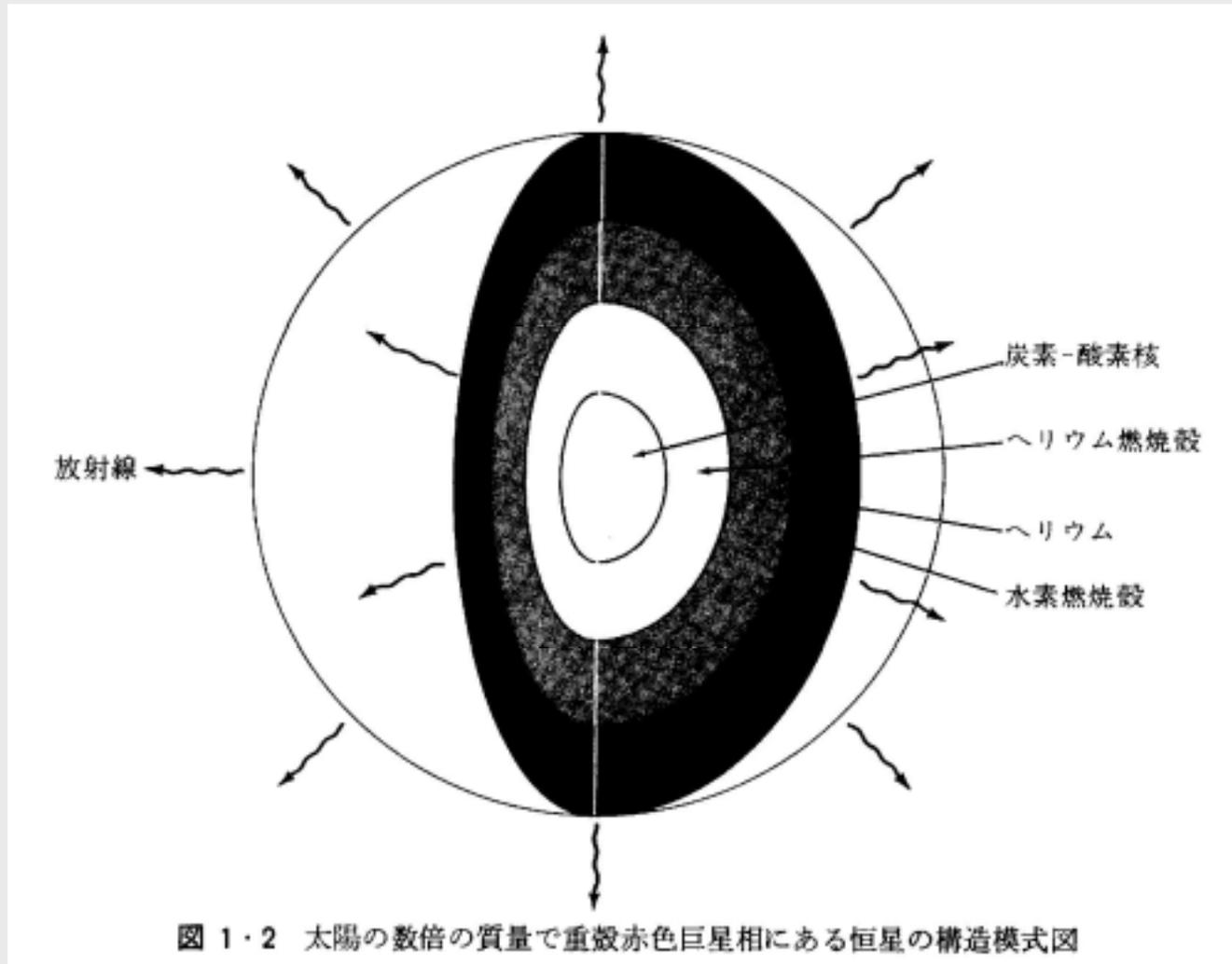
${}^4_2\text{He}$  恒星の内核を形成 高温高圧の条件下でヘリウムの燃焼 : ヘリウム燃焼  
 $T > 10^8 \text{ K}, \quad > 10^5 \text{ g/cm}^3$



Li以上の原子核(HとHeより重い元素) : 恒星中の核反応によって合成される

	H	>	He	>	O
存在比 (原子量比)	10		1		1/100

# ヘリウム燃焼 恒星



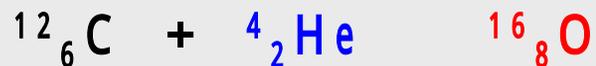
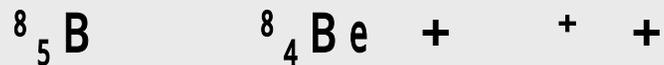
# ヘリウム燃焼 反応式



${}^9_4\text{Be}$  : 安定同位体 (同位体比100%)



${}^{11}_4\text{B}$ ,  ${}^{10}_4\text{B}$  : 安定同位体 (80.1, 19.9%)



# 超高温高圧下の核反応

恒星の質量が大きい(太陽の質量の3.5倍以上)とき

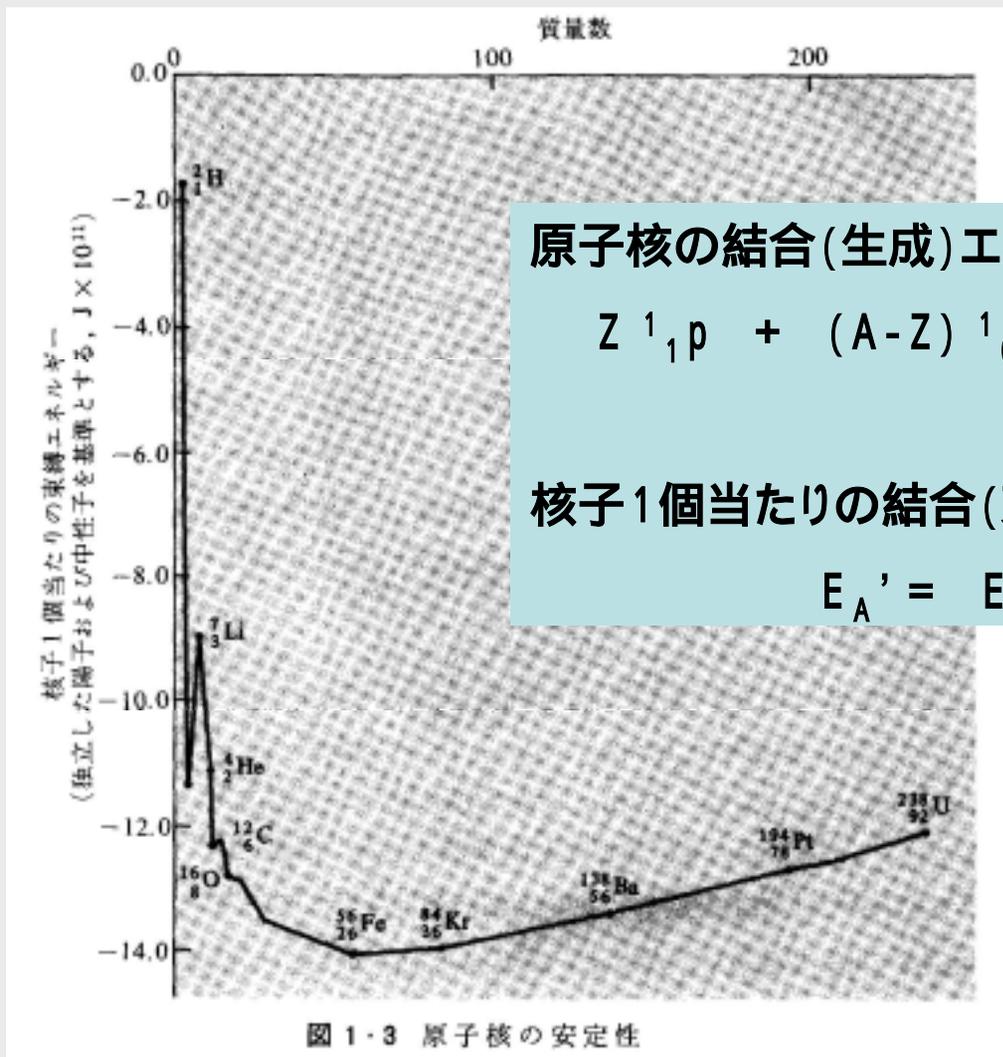
重力エネルギー      運動エネルギー      温度上昇      重い原子核の生成

$$T > 3 \times 10^9 \text{ K}$$

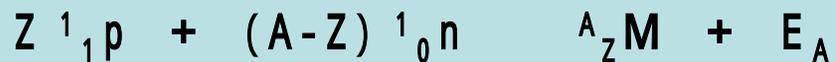
原子核の運動エネルギー > 全ての核反応の活性化障壁のエネルギー

平衡過程 : 原子核の安定性に応じて存在比が決まる

# 原子核の安定性



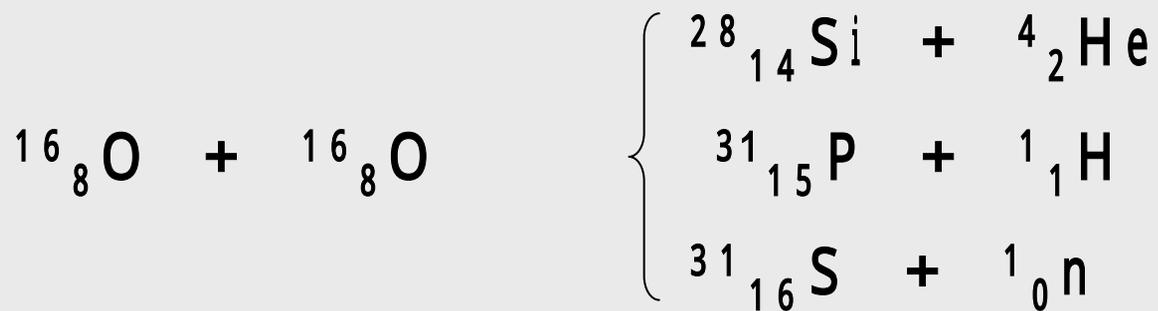
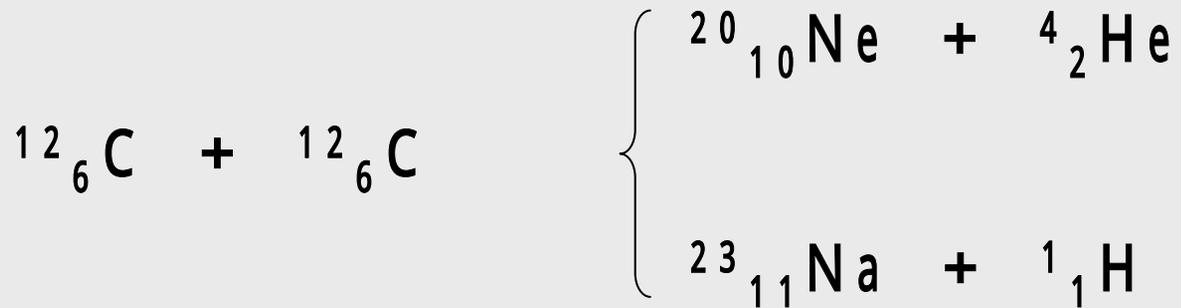
原子核の結合(生成)エネルギー  $E_A$



核子1個当たりの結合(束縛)エネルギー  $E_A'$

$$E_A' = E_A / A$$

# $^{12}_6\text{C}$ と $^{16}_8\text{O}$ を原料とする核反応



# 質量数66より大きい核種の生成

中性子捕獲反応



粒子(電子)放出過程



# 超新星爆発

恒星の中心部にFeが集まる

中心部で平衡

核燃料がなくなる

重力と圧力のバランスが崩れる

重力崩壊

H, Heが内部に引き込まれる

高温高圧下で核融合

大量のエネルギー発生

超新星爆発

恒星内で核合成された元素が宇宙空間に撒き散らされる(星間物質)

星間物質が重力場により第2世代の恒星として凝縮される

# 超新星爆発 恒星

