

Polytrope & White dwarfs

- Completely degenerate electron gas : n changes from 1.5 to 3.0 as the density increases

In general, for a polytropic star,

$$\text{Stellar radius: } R = \frac{z_n}{A} \propto A^{-1} \propto \rho_c^{\frac{1-n}{2n}}$$

$$\text{Mass: } M = 4\pi\rho_c R^3 \left(-\frac{w'}{z} \right)_{z=z_n} \propto \rho_c^{\frac{3-n}{2n}}$$

$$\rightarrow R \propto M^{\frac{1-n}{3-n}}$$

When $1 < n < 3$, R becomes smaller as M increases.

For the limit of $n \rightarrow 3$ (relativistic limit), $R \rightarrow 0$.

近接連星系の進化

- 連星系の星の距離が非常に近いと2つの星の間でガスの移動が起きる。質量移動の時期とスピードは、連星系の大きさと2つの星の質量比で変わる。
- それぞれの星の重力圏の境界は臨界ロッシュ・ローブと呼ばれ、それらは一点 L_1 でつながっている。

- 質量の大きい星ほど進化が速いので、先に大きい星が巨星になって臨界ロッシュ・ローブを超える。超えた部分のガスは L_1 点の近くを通り小さい質量の星に流れ込む。

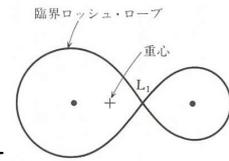


図1 質量比が1対0.4の連星系における臨界ロッシュ・ローブ

Polytrope & White dwarfs

For the limit of ultra - relativistic (or high density), EOS is

$$P_c \propto \rho_c^{4/3}. \text{ Using this and (1.22)}$$

we find mass approaches to

$$M = 1.46 \left(\frac{Y_e}{0.5} \right)^2 M_\odot \equiv M_{Ch},$$

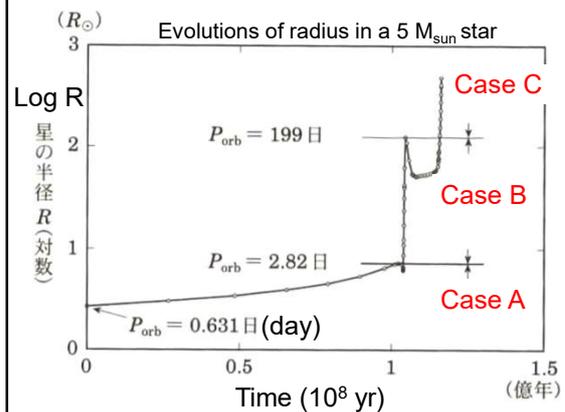
the Chandrasekhar mass.

Or when $M \rightarrow M_{Ch}$, it becomes $n \rightarrow 3$

$$R \propto \lim_{n \rightarrow 3} M^{\frac{1-n}{3-n}} = \lim_{n \rightarrow 3} M_{Ch}^{\frac{1-n}{3-n}} \rightarrow 0, \text{ and}$$

$$\rho \rightarrow \infty.$$

Cases of binary mass transfer



Case A: A primary star fills the Roche lobe during the main sequence.
 time scale: thermal (KH) time scale $\sim GM^2/(RL) = T_{th}$
 example: $M = 2M_{sun}, T_{th} = 10^7 \text{ yr}, dM/dt \sim 10^{-7} M_{sun}/\text{yr}$
 $M = 5M_{sun}, T_{th} = 10^6 \text{ yr}, dM/dt \sim 10^{-5} M_{sun}/\text{yr}$

2つの星がもう少し遠い場合の進化

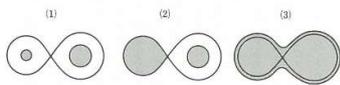
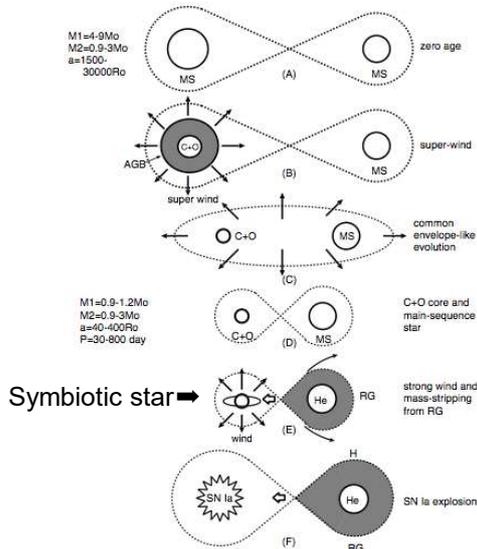


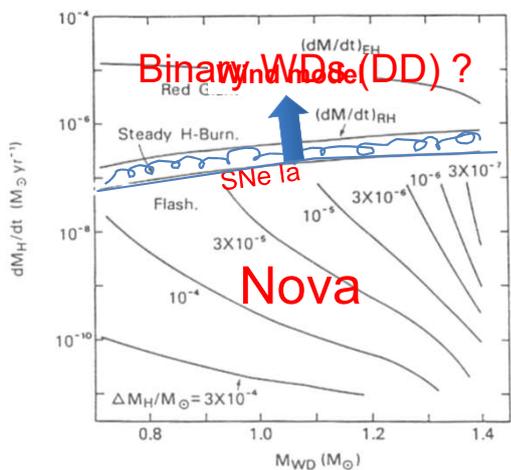
図 4 近接連星の3つの形態

- 片方が赤色巨星になるまで質量移動が起きない場合
- 質量移動が始まるとき、大きい方の星の外層は対流となっている。表面が対流の星は質量を表面から剝すと膨張する性質がある。
- 質量が移動して質量差が減ると距離が縮む効果もあり、非常に速い質量移動がおき、暴走する。共通外層となったあとも更に膨張し、ガスが連星系から逃げて、進化の進んだ星の外層がほぼ全て失われる。外層が失われると急激に半径が減少し、最後には(1)のような状態になる。
- 外層を失った星はヘリウム星(もしくはCO星)として中心部の進化が進む。中心部の進化は外層のあるなしに殆ど影響されない。

Another way: RG+WD system (Symbiotic Star Channel)



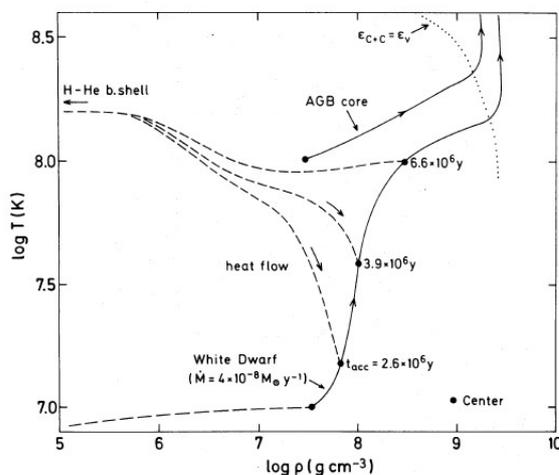
SD +Wind model



Previously it was shown that steady H-shell burning for the CO core growth is possible only for a narrow region.
 → too few SNe Ia from the SD model?

Type Ia SN

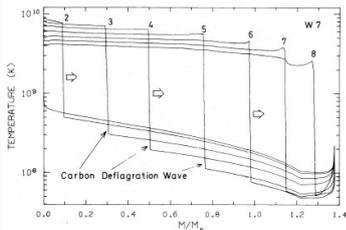
- C ignition at center
- Cooling by neutrino emission
- Degenerate electron : Runaway nuclear burning → explosion



Ia型超新星

- 野本のW7モデル(炭素爆燃波モデル)
c.f. 爆轟波(超音速)

密度が高い($> 10^9 \text{ g cm}^{-3}$)と核燃焼によるエネルギーがFermiエネルギーの20%程度にしかならず、強い衝撃波が発生しない。燃焼波面が対流によって伝播 (対流のMixing lengthが0.7 --- W7)



核燃焼による爆発エネルギーは約 10^{51} erg

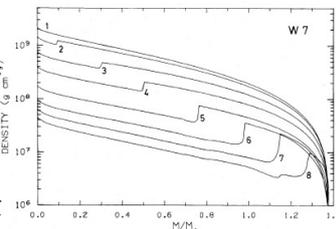
約 $0.6M_{\odot}$ の ^{56}Ni が生成される

Ia型超新星の光源

^{56}Ni の崩壊エネルギー



$0.6M_{\odot}$ の ^{56}Ni は観測される明るさと一致



Pakmor et al. 2013

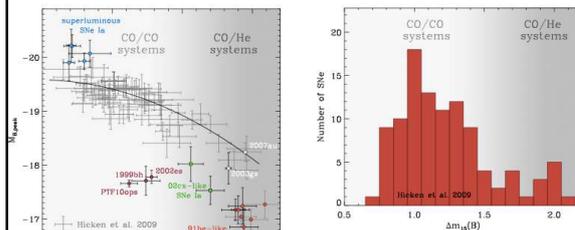


Figure 5. Histogram of the observed number of SNe Ia as a function of $\Delta m_{15}(B)$ (data from table 9 of Hicken et al. (2009)). The distribution shows some indication for bimodality which might be identified with the two different companion populations in our model (illustrated by the background-color evolution in Fig. 14).

Summary

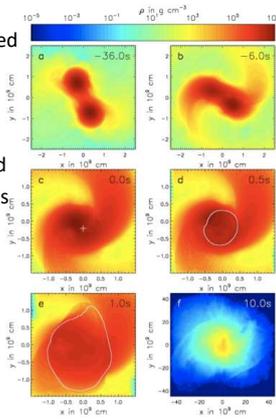
- Violent merger can explain all observed SNe Ia? -- not sure yet
- Can explain observed SN rate?
- So far, VM can't explain super-chandra type. (DD rotation model can?)
- Some are DD some are SD??
- Uncertainty in numerical resolutions and assumptions.

Violent merger model of DD

Pakmor et al. 2010, 2012, 2013

- 2010: Sub-luminous type Ia supernovae from the mergers of equal-mass white dwarfs with mass $0.9 M_{\text{sun}}$
 - Nearly equal mass WDs merge violently
 - Hot spots appear in a high density region, and carbon **detonation** ignites here.

Previously it was considered that detonation is not a burning mechanism for SNe Ia, because if it occurs at center, it burns entire star and inconsistent with observations, showing some unburned materials.



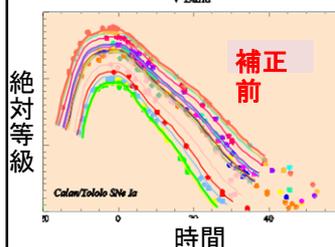
Ia型超新星

宇宙の**標準光源**: 光度曲線から絶対的な明るさ

↓
たいへん遠方まで明るさ(距離)が測れる

↓
宇宙膨張の**速さの変化**が測れる
= 宇宙に何が詰まっているのかわかる

暗黒エネルギーの発見



幅と絶対等級が対応(経験則)

Phillips relation という

この**補正**の起源の理論的裏付けが無い

