

Section 8.

星の安定性

8.1 力学的安定性

8.2 熱的安定性

さまざまな疑問を**物理**を使って理解しよう

- 星の中はどうなっているの？
- なぜ重い星の方が大きいの？
- なぜ星は明るく輝くの？
- なぜ重い星の方が明るい？
- なぜ星は「進化」するの？
- なぜ質量で星の運命が変わるの？
- **なぜ星は星でいられるの？**
- **なぜ一部の星は爆発するの？**
- ...

Section 8.

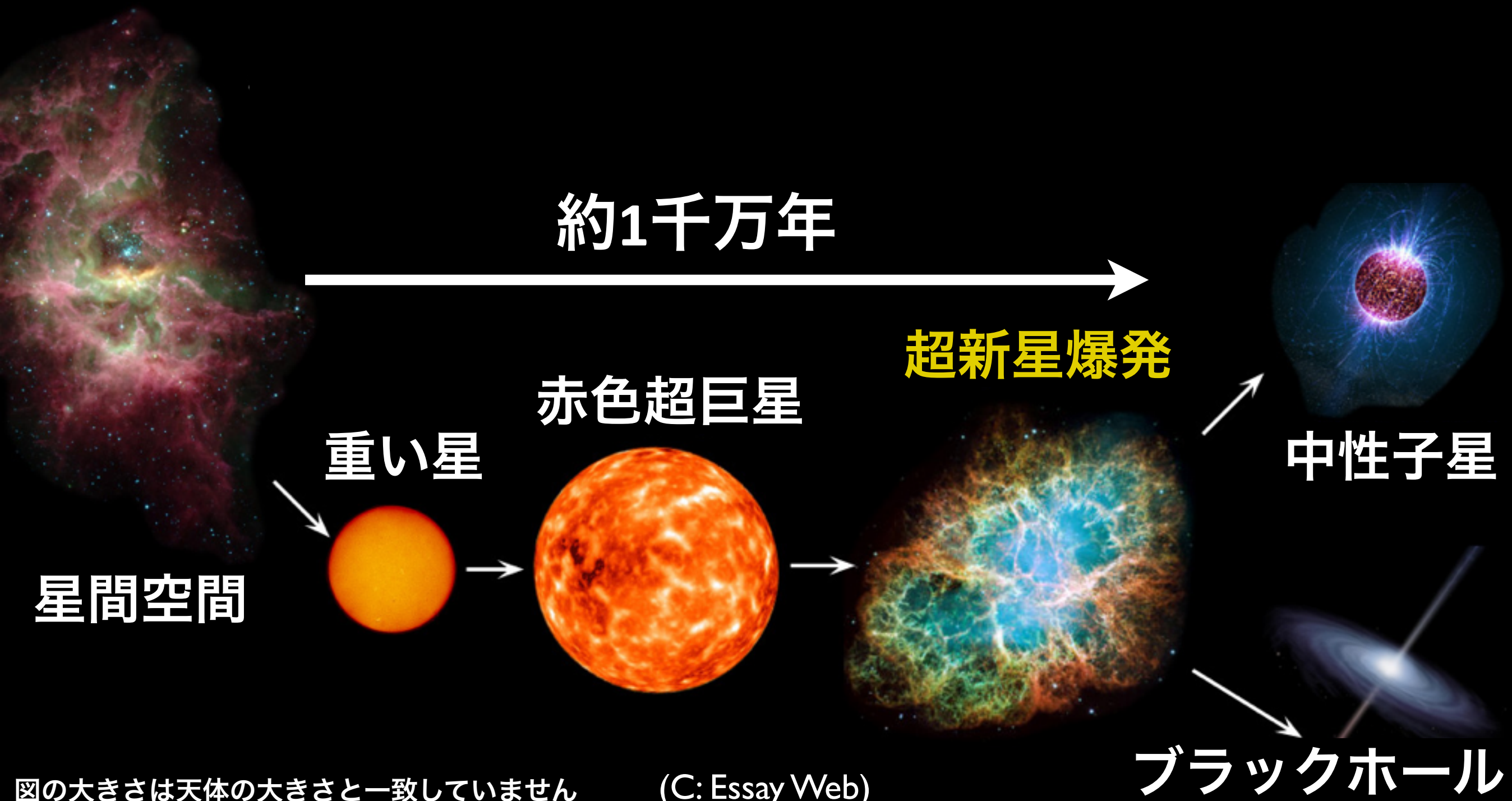
恒星の安定性

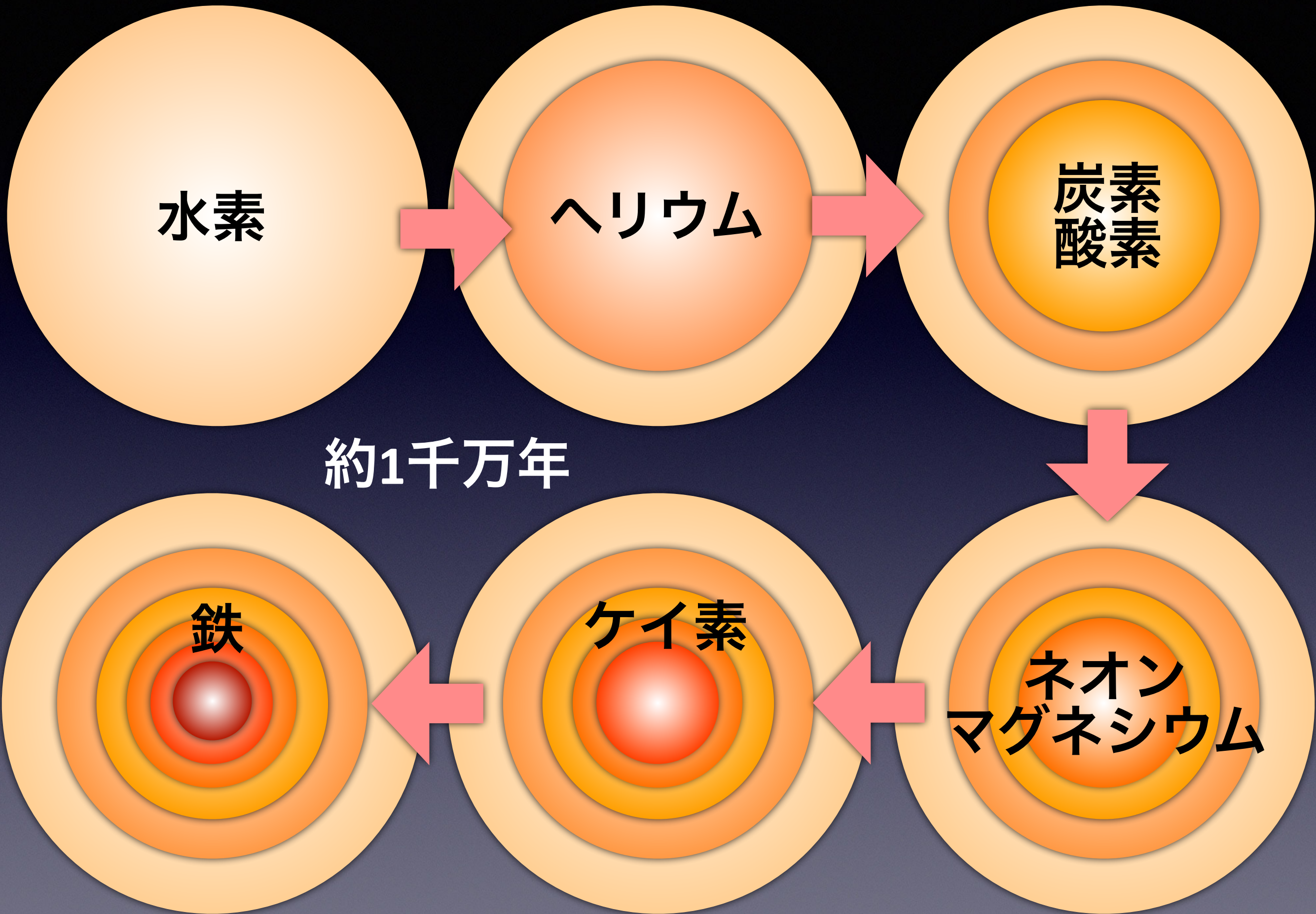
8.1 力学的安定性

8.2 熱的安定性

1. 重い星の場合

* 太陽の10倍以上





約1千万年

水素

ヘリウム

炭素
酸素

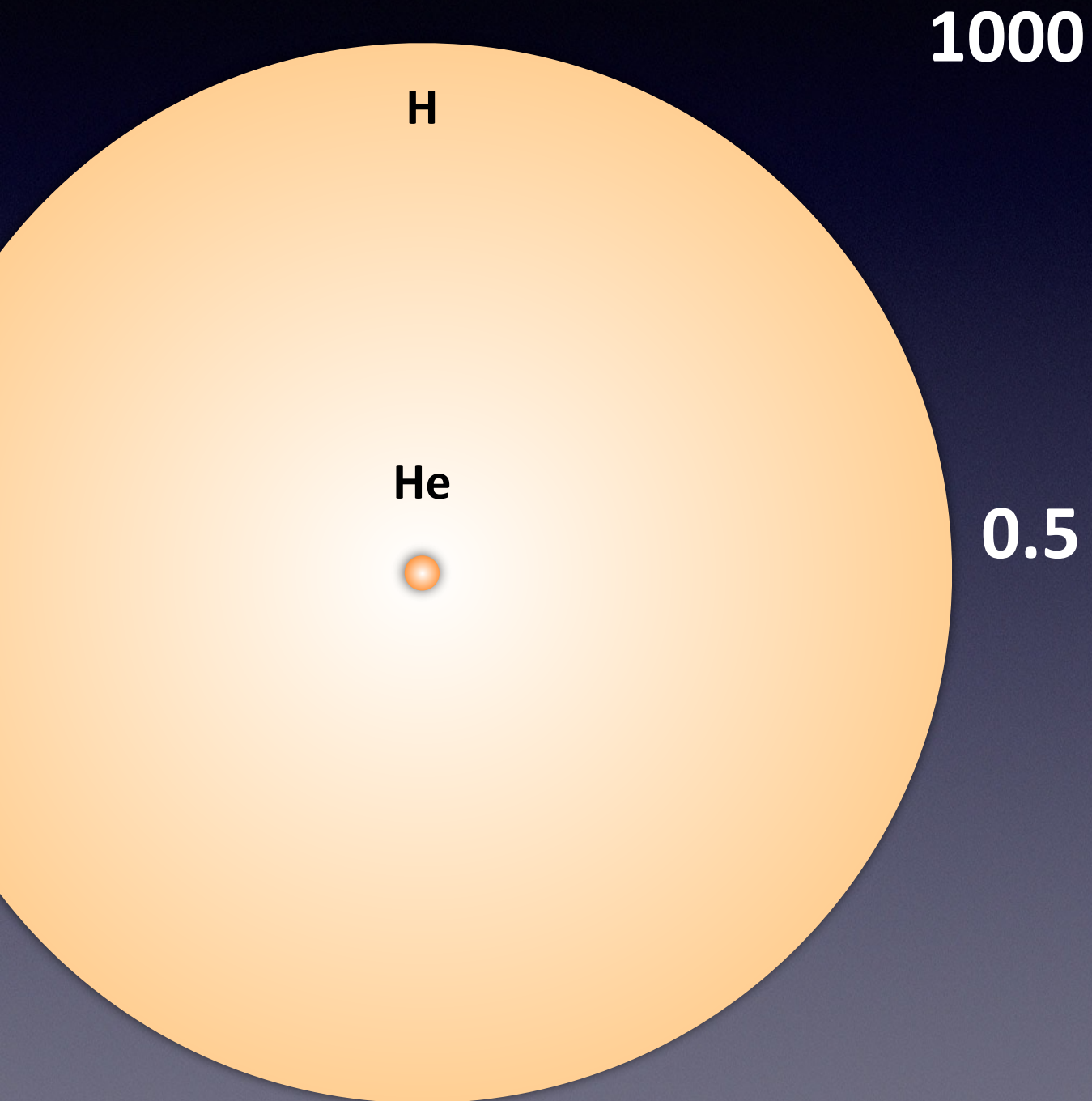
鉄

ケイ素

ネオン
マグネシウム

コアの収縮

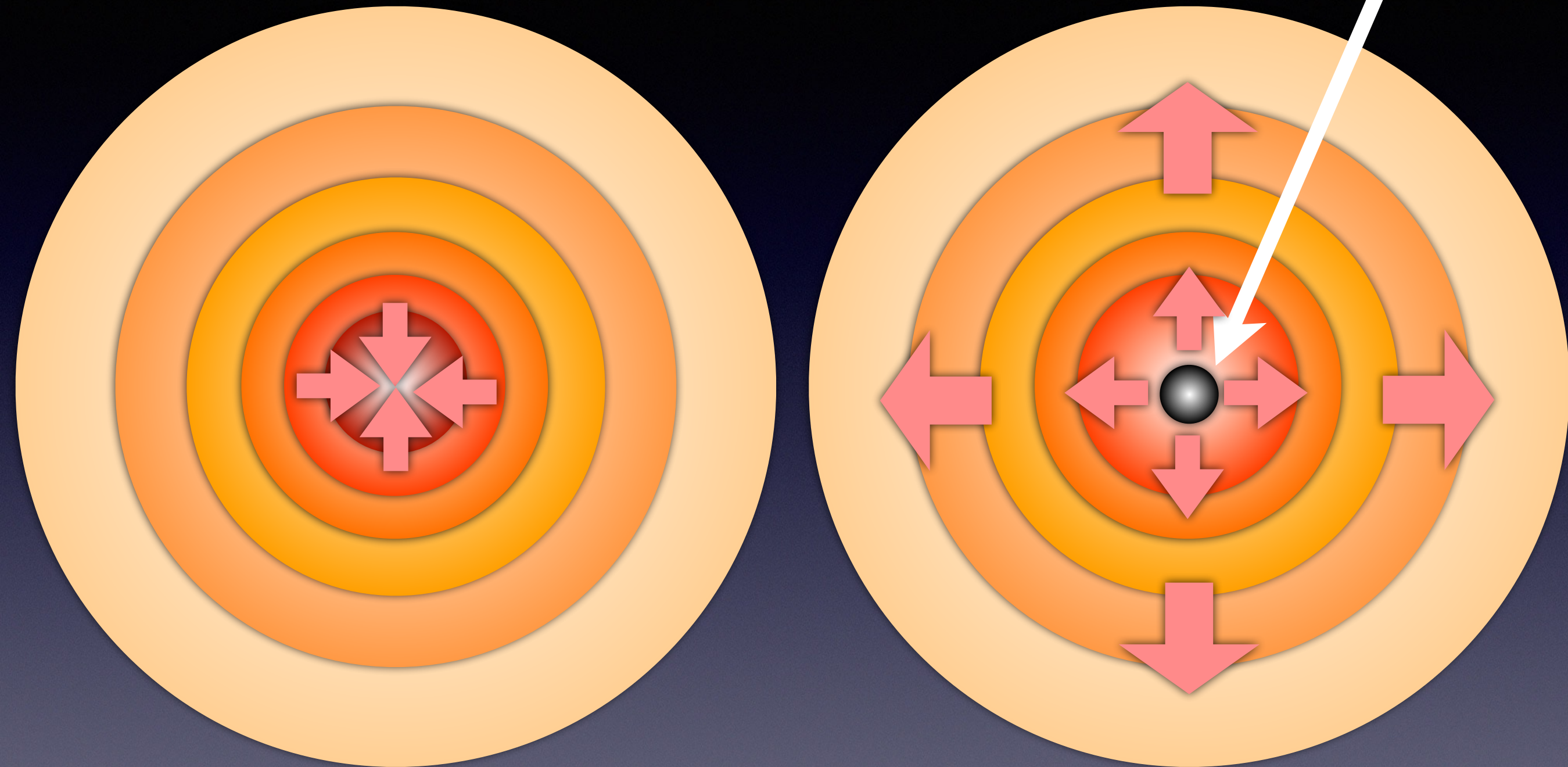
(本当はもっと極端)



力学的な崩壊 (t_{dyn})ではなく
準静的な収縮 (t_{KH})

「重力崩壊」

中性子星



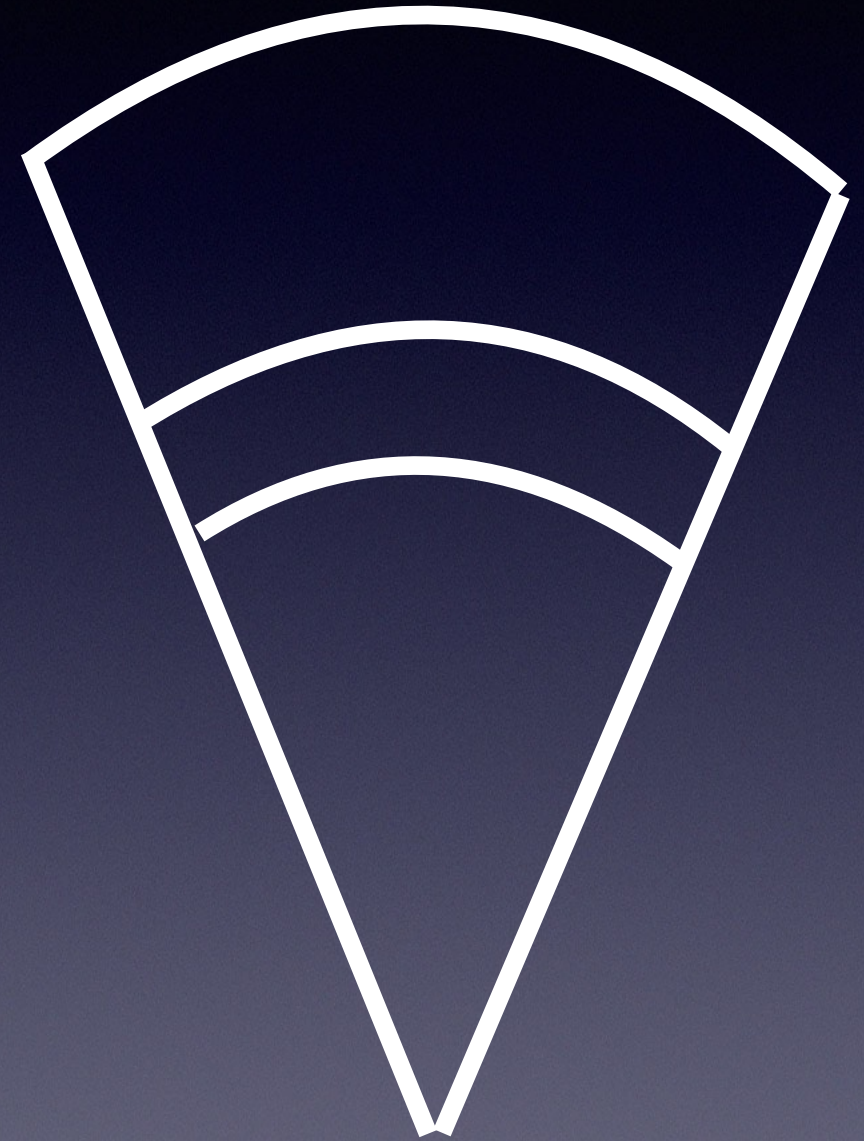
準静的な収縮 (t_{KH})ではなく、
力学的な崩壊・落下 (t_{dyn})

星の中の静水圧平衡

圧力勾配



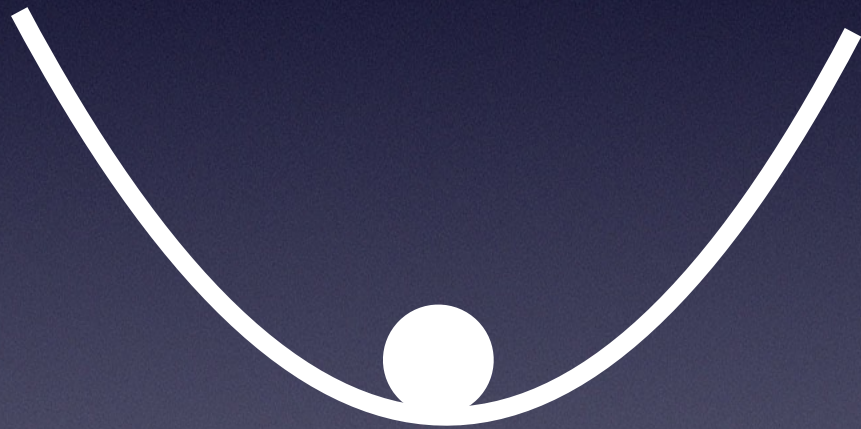
重力



力は釣り合っている
だけどそれは「安定」？

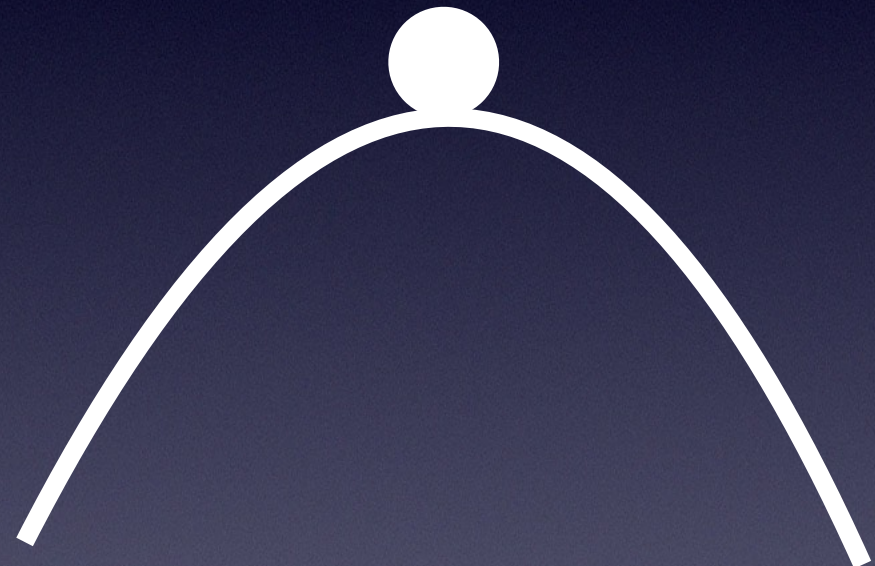
力学的安定性

安定



擾乱を与えても
元の位置に戻る

不安定



擾乱を与えると
成長する



星のコアの収縮：準静的な進化

鉄コアの崩壊：動的な落下

何が違うの？

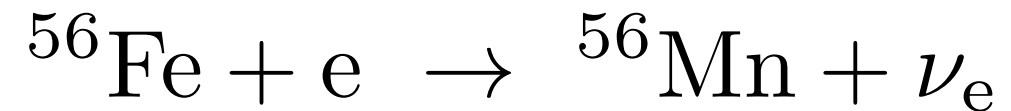
そもそも星は安定？

力学的に不安定な状況

$$\gamma_{\text{eff}} < 4/3$$

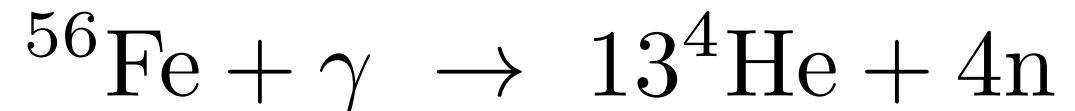
鉄コア

高密度 => 電子捕獲



潰すほど圧力源の電子が減る

高温 => 光分解

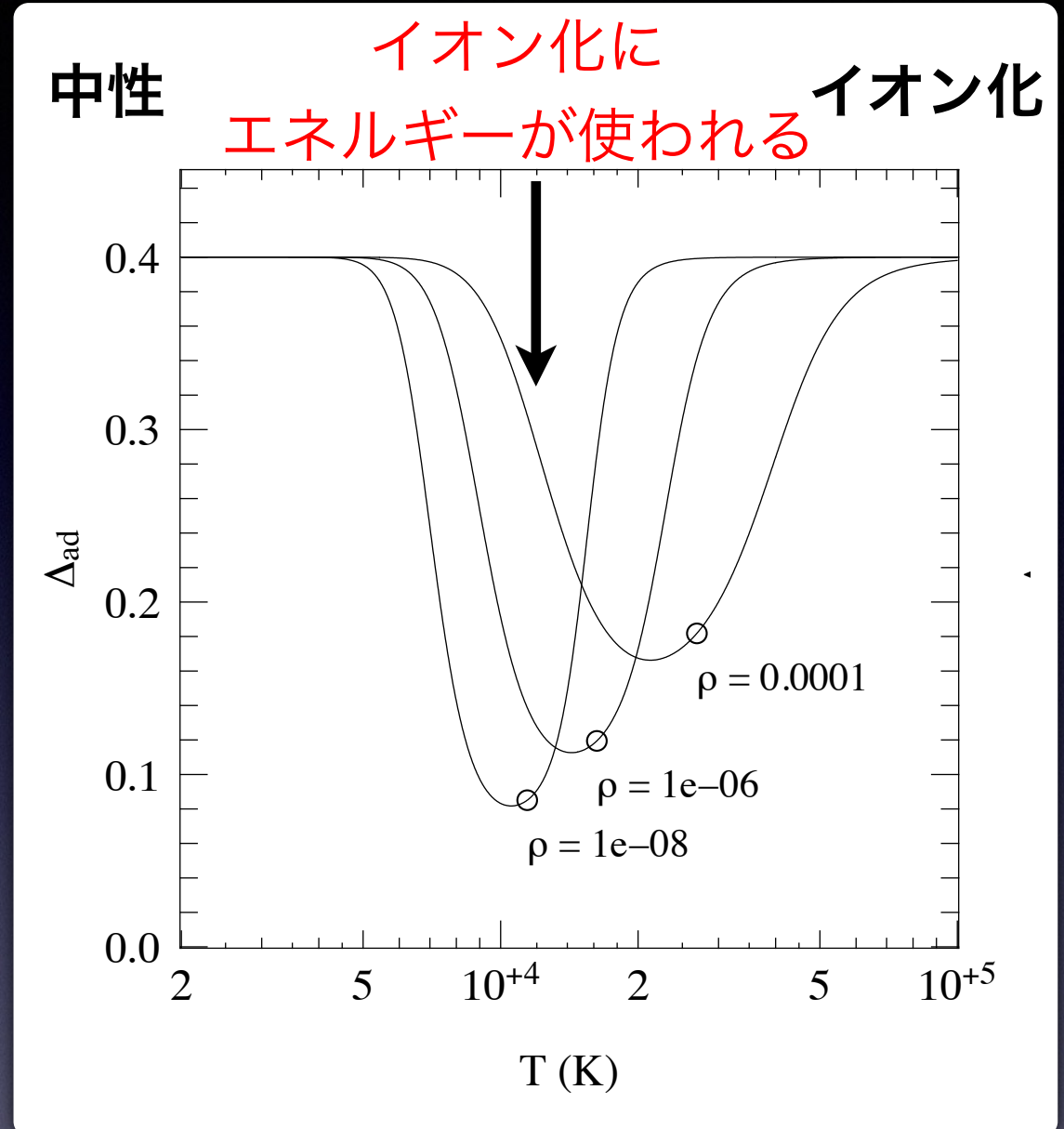


潰すほどエネルギーが使われる

イオン化 (部分電離状態)

Sahaの式

$$\frac{n_+}{n_0} n_e = \frac{(2\pi m_e kT)^{3/2}}{h^3} e^{-\chi_H/kT}$$

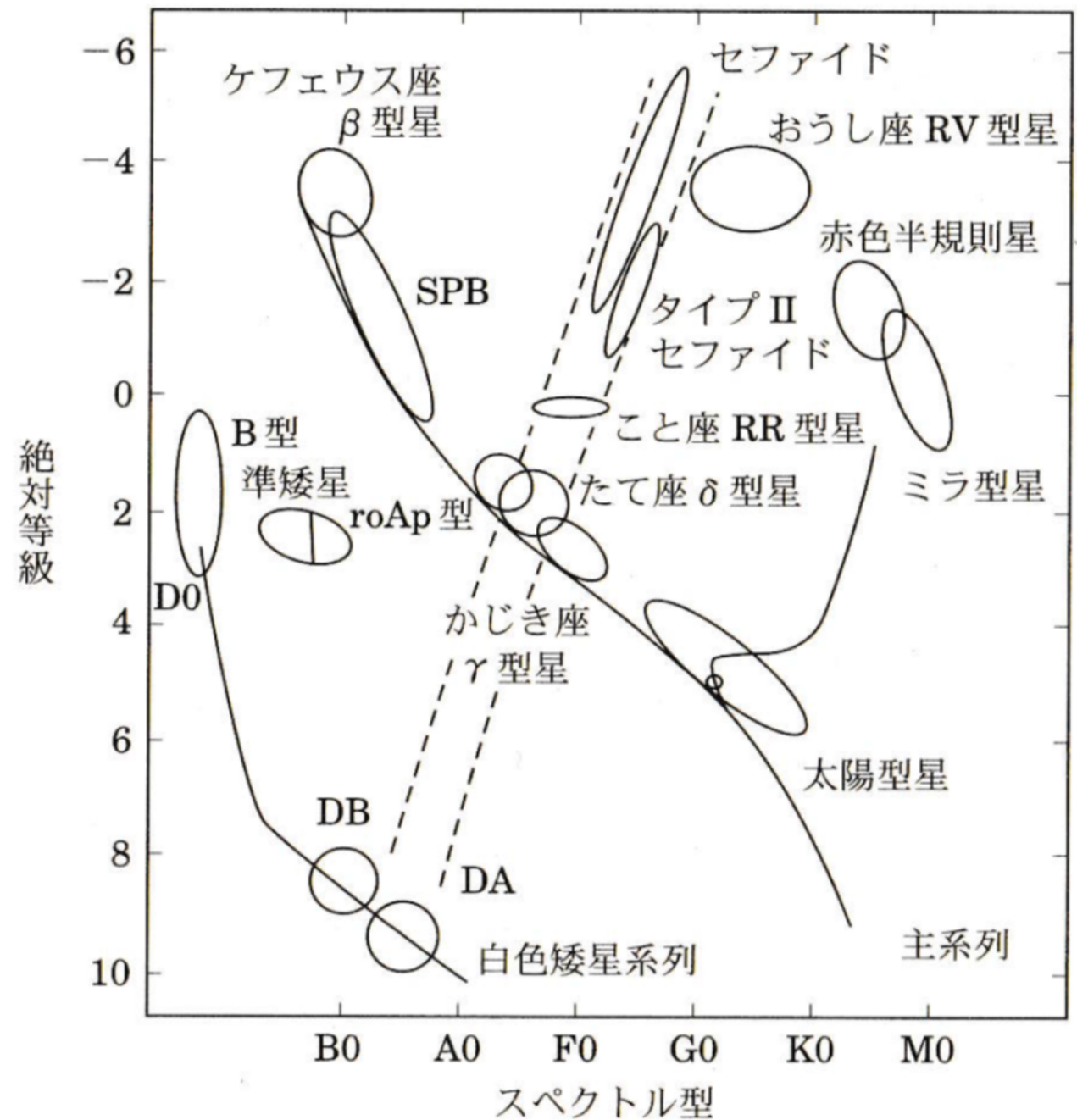


Lecture note by Pols

一部の温度帯だけなので、
星全体が不安定にはならない
(変光星では重要)

セファイド変光星

不安定帯



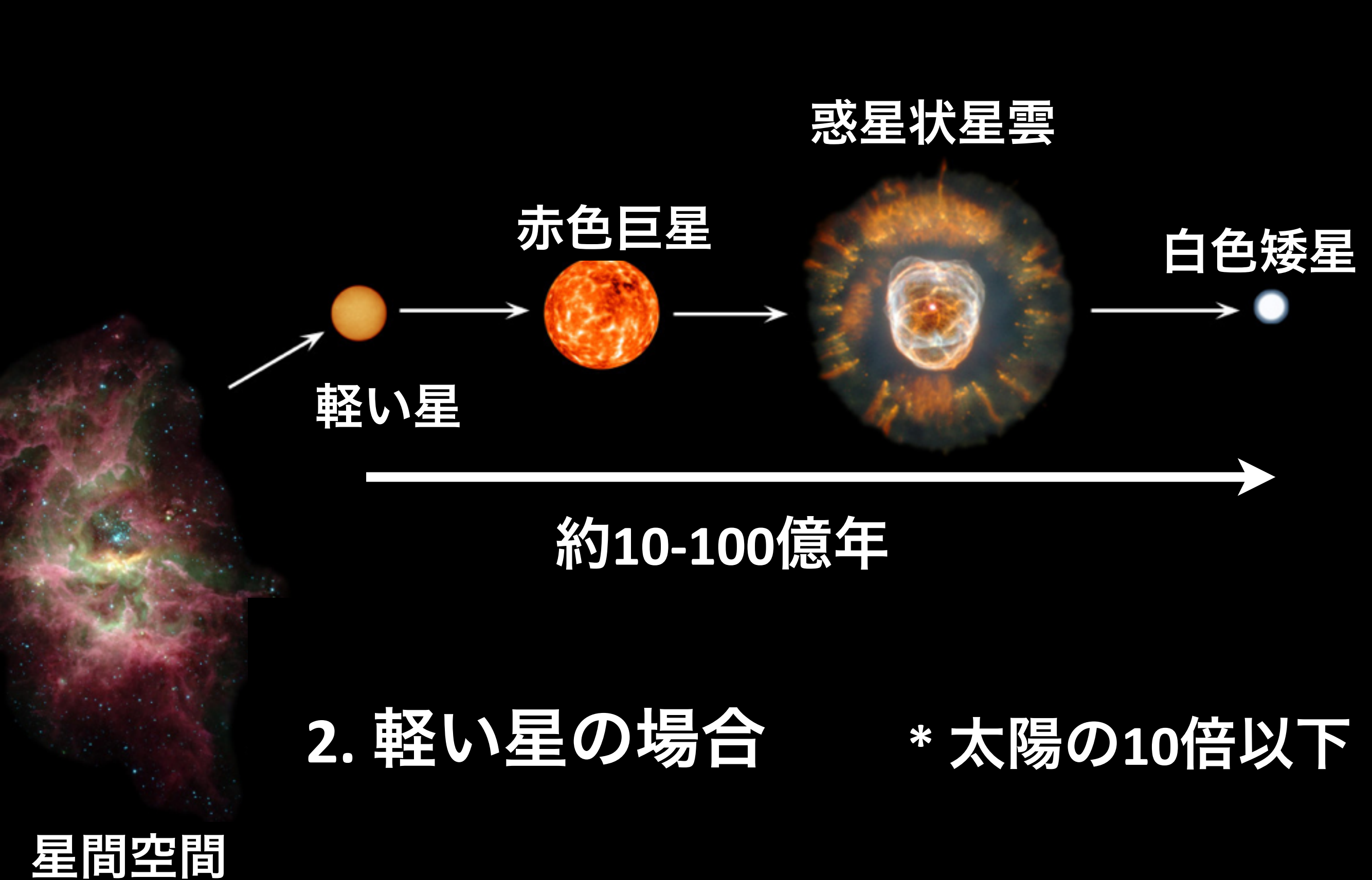
<https://astro-dic.jp/cepheid/>
シリーズ現代の天文学「恒星」

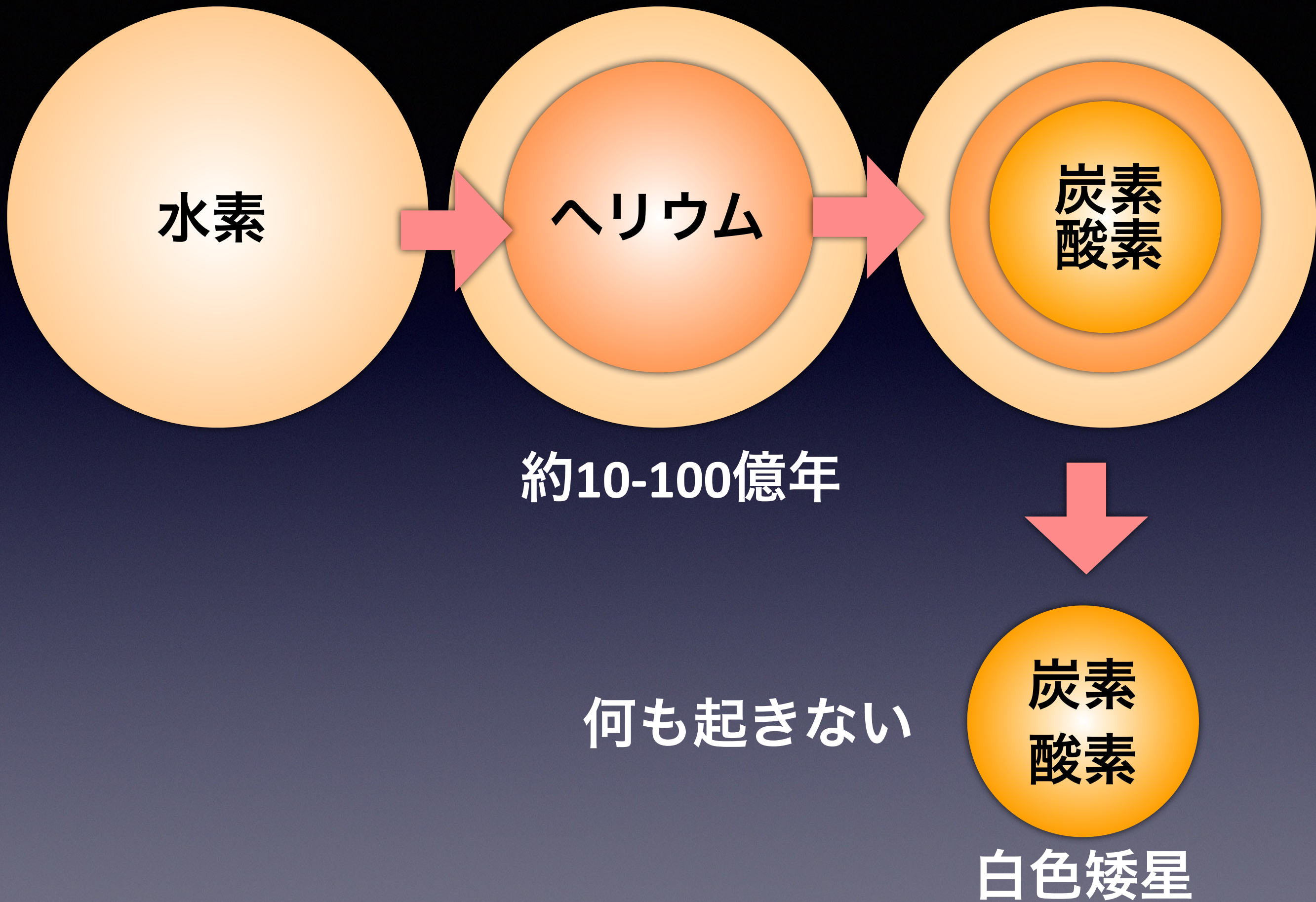
Section 8.

恒星の安定性

8.1 力学的安定性

8.2 熱的安定性





対になって
存在する星

白色矮星

Hardy

David A. Hardy

「核爆発」

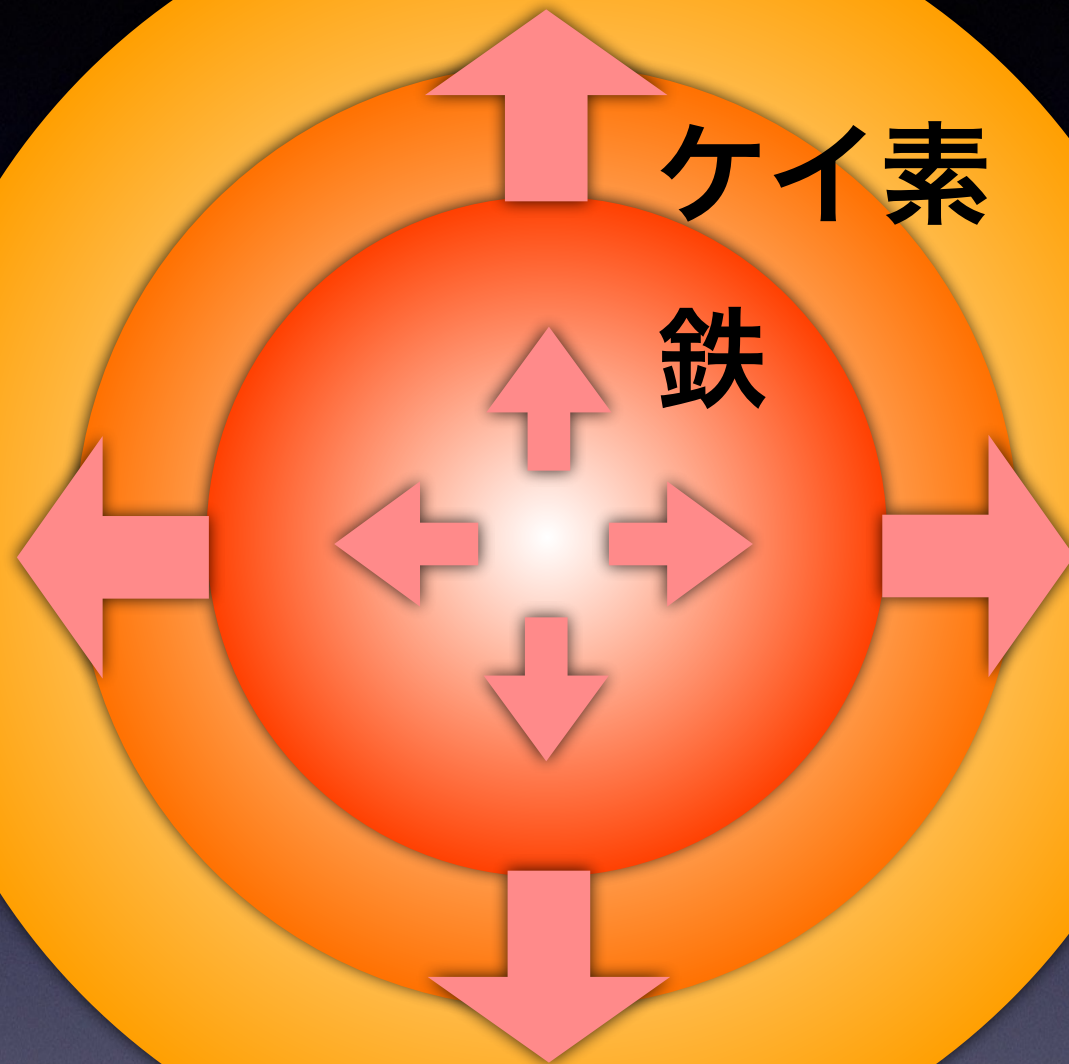
炭素

酸素



ケイ素

鉄



超新星爆発！



普通の星の場合は核融合が起きることでバランスしている

白色矮星はなぜ核融合で爆発するのか？

縮退した状態での核融合に関わる現象

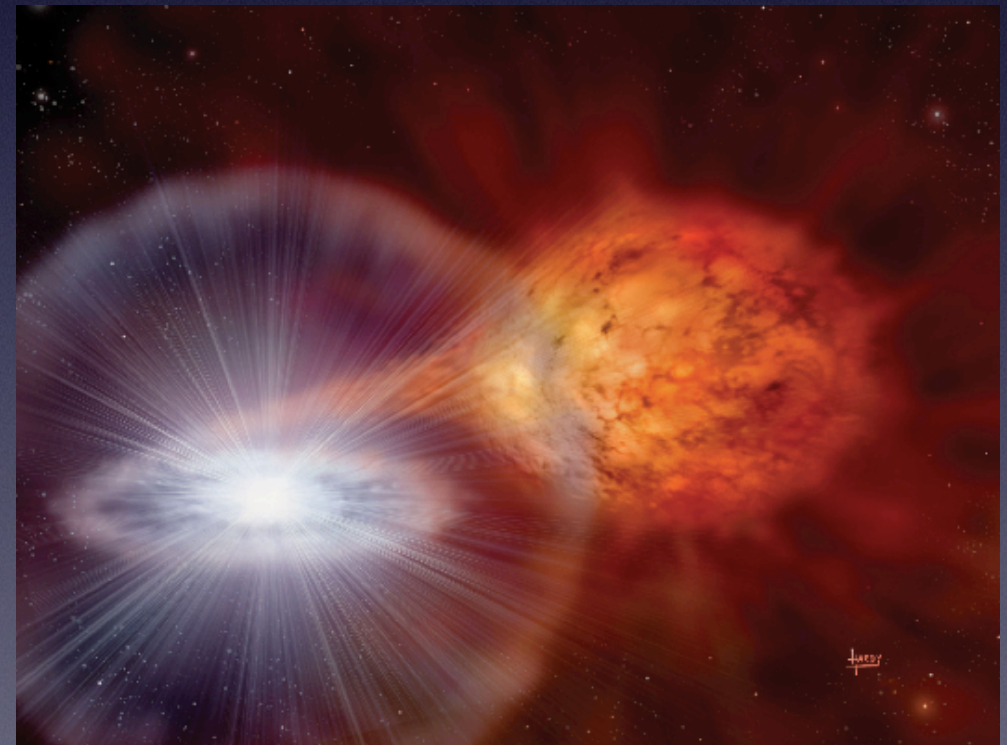
恒星進化

ヘリウムフラッシュ：低質量のコアHe燃焼

白色矮星

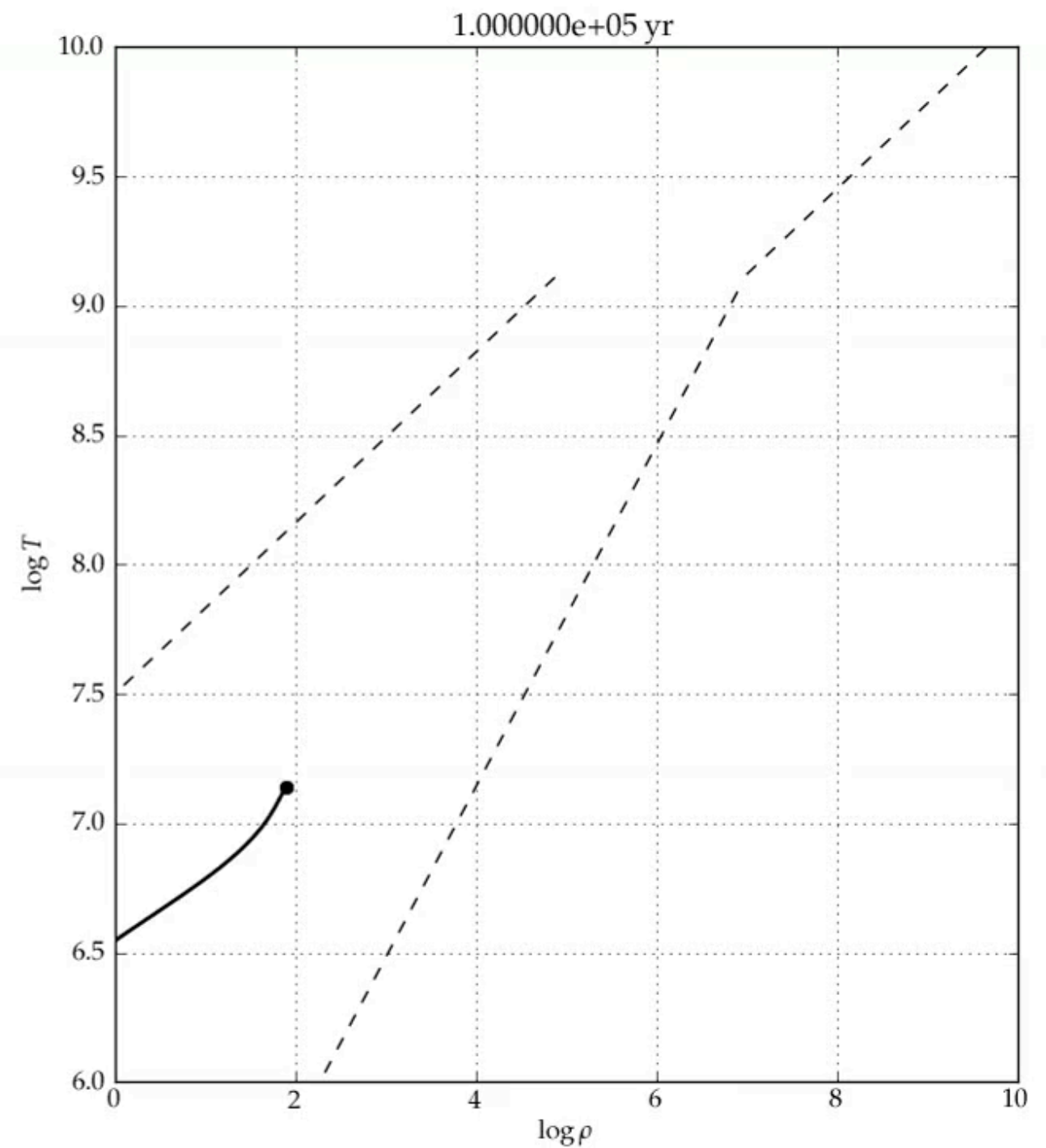
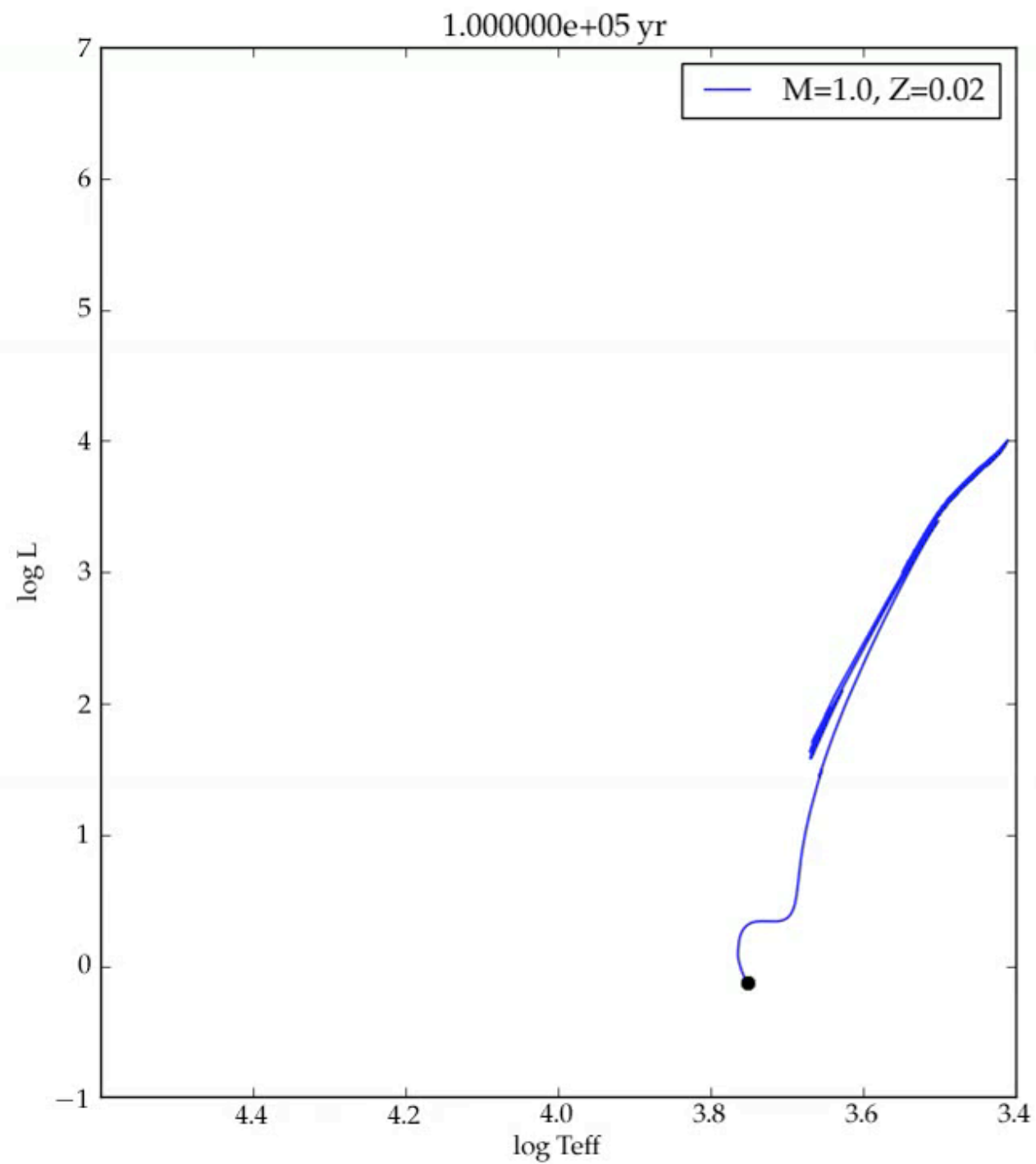
Ia型超新星：星全体の爆発

古典新星：星表面の爆発



David A. Hardy

1 Msunの星の進化



まとめ

- 力学的安定性

- 力学的に安定な条件 adiabatic index $\gamma > 4/3$
(密度上昇に対して、圧力が十分に上がる)
- 通常の星は安定：理想気体 $\gamma = 5/3$
- 中立安定 ($\gamma = 4/3$)：輻射、超相対論な縮退電子
- 不安定 ($\gamma < 4/3$)：吸熱反応など (大質量星の鉄コア)

- 熱的安定性

- 状態方程式の温度依存性が小さい時に不安定
- 縮退下の核融合は不安定
 - 縮退した星のコア、白色矮星