

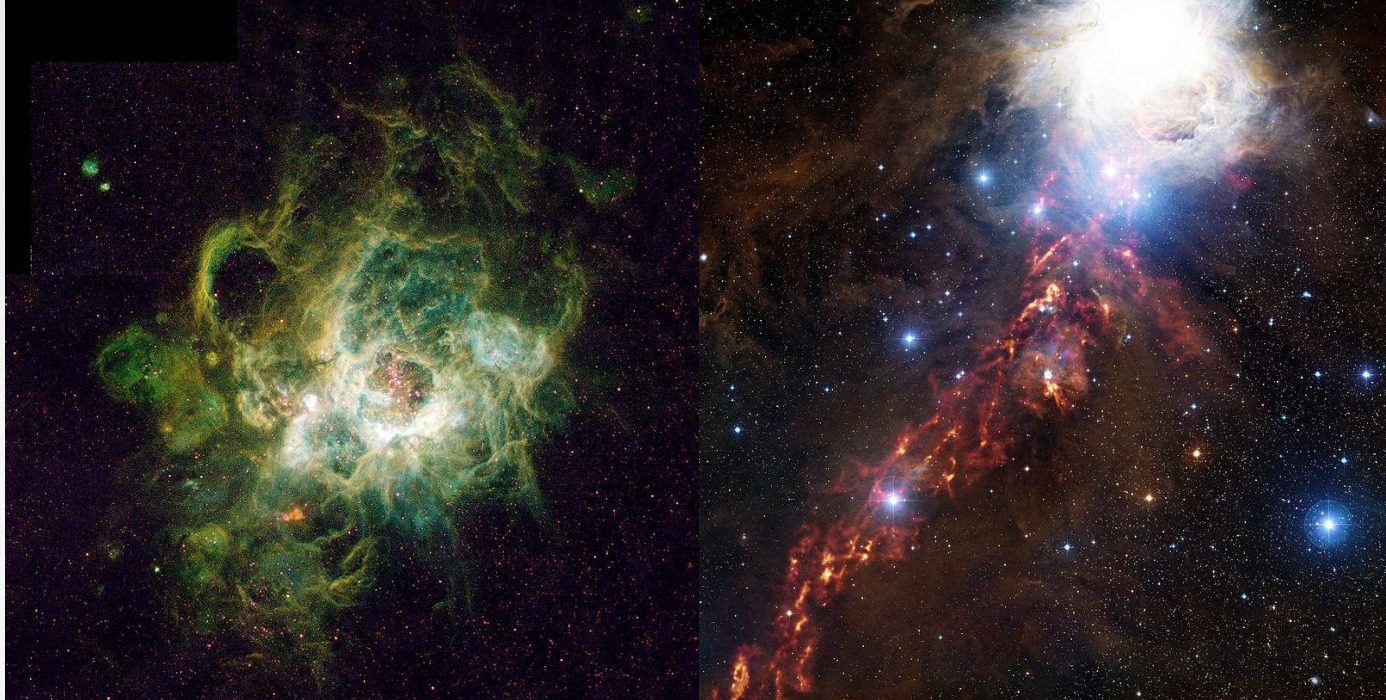


Эволюция и энергетика звёзд

и их путешествия по диаграмме Г-Р

«Звёздная колыбель»

- Молекулярное облако
- Плотность: 10^6 см^{-3}
- Масса: $10^5 - 10^7 \text{ Мс}$
- Размер: 50 – 300 св. лет
- Гравитационный коллапс
 - Столкновение облаков
 - Взрыв сверхновой



Механизм Джинса

- Однородное облако гравитационно неустойчиво
- Противодействуют гравитация и силы упругого давления
- Существует критический размер
- **Масса Джинса:**

$$M_j \sim \rho r_{crit}^3$$


- **Критическая плотность:**

$$\rho_{crit} = 3H^2 / 8\pi G \sim 2 \cdot 10^{-29} \text{ г/см}^3$$

Глобулы Бока

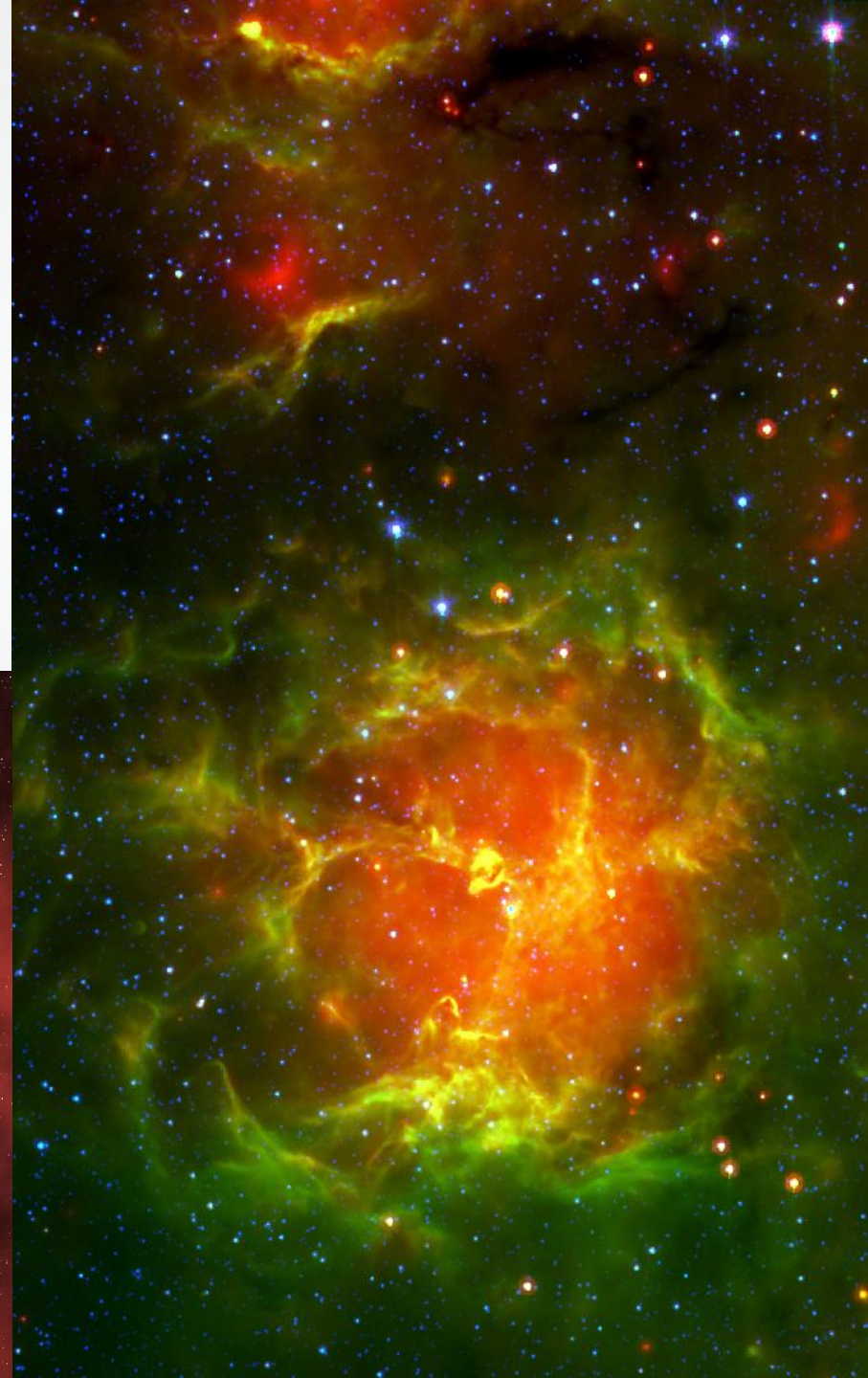
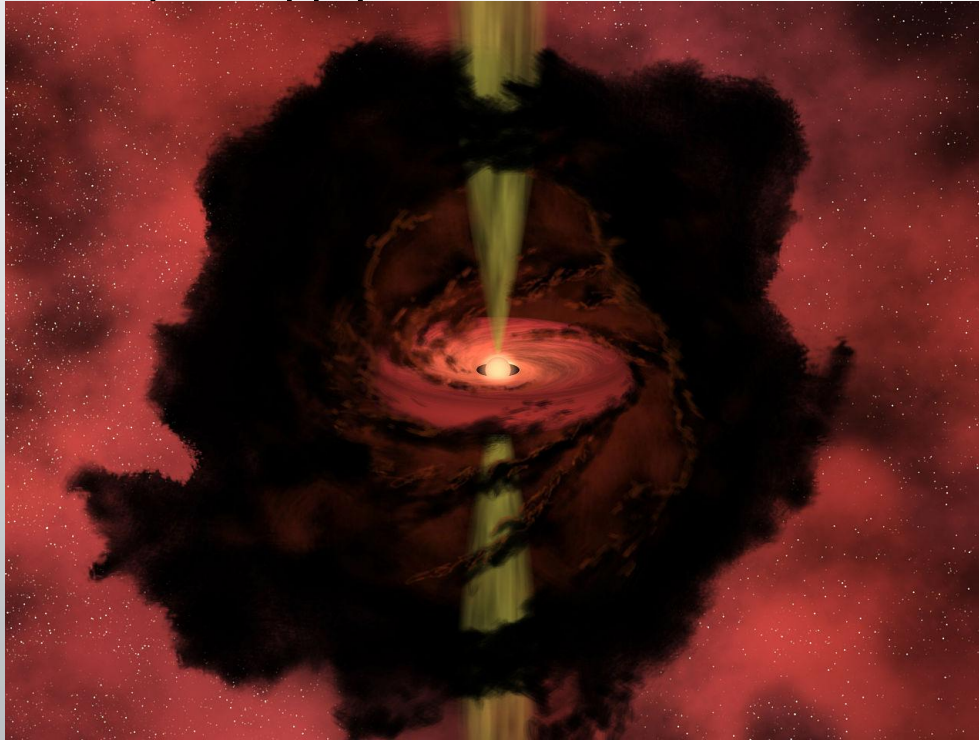


IC 2944, туманность λ Cen

Thackeray's Globules in Star-forming Region IC: 2944  HUBBLESITE.org

Протозвезда

- Формируются из сгустков до 100 Мс
- Около 500 тыс лет
- Разгорев без термоядерного синтеза



Сжатие Кельвина-Гельмгольца

- Чисто гравитационный процесс
- Разогрев при сжатии протозвезды
- Нет источников энергии термоядерного синтеза

$$t_{\text{KH}} = GM^2 / LR \sim 30 \text{ млн лет (для Солнца)}$$

Варианты судьбы протозвезды

- $M < 0.08 M_{\odot}$

- не хватает массы для старта термоядерного синтеза
- => коричневый карлик

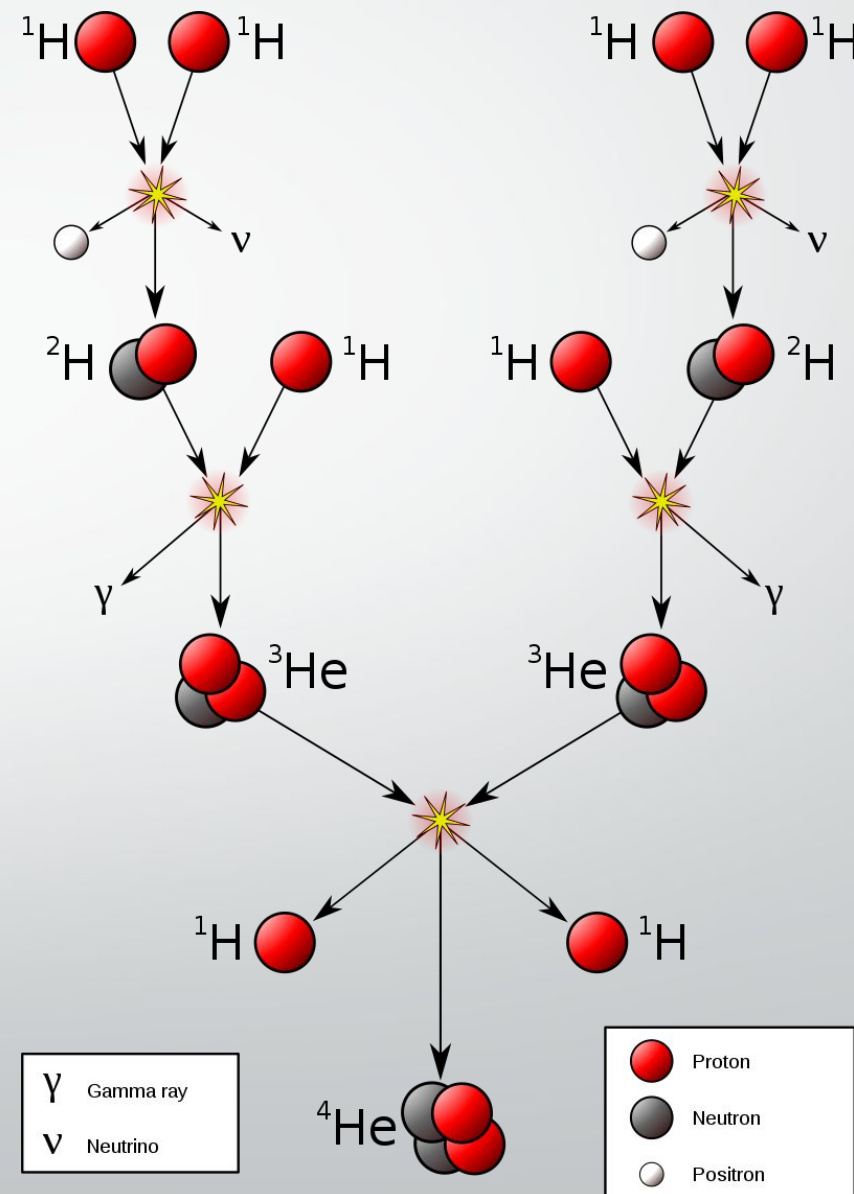
- $M > 0.08 M_{\odot}$

- Разогрев до 10 млн К, старт термоядерного синтеза
- => Звезда главной последовательности



Протон-протонный цикл

- Доминирует в звёздах малой массы
- $p + p \rightarrow {}^2_1\text{D} + e^+ + \nu_e$
- ${}^2_1\text{D} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \gamma + 5.49 \text{ MeV}$
- ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^1_1\text{H} + 12.86 \text{ MeV}$
- (процесс доминирует при T до 14 МК)



Звёздное «население»

- **Население I**

- заметное содержание элементов тяжелее гелия
- (большинство известных звёзд, в т.ч. Солнце)

- **Население II**

- содержание тяжёлых элементов на несколько порядков ниже. Это
- старые звёзды (старше 10 млрд лет)
- шаровые скопления в галактическом гало

- **Население III (гипотеза)**

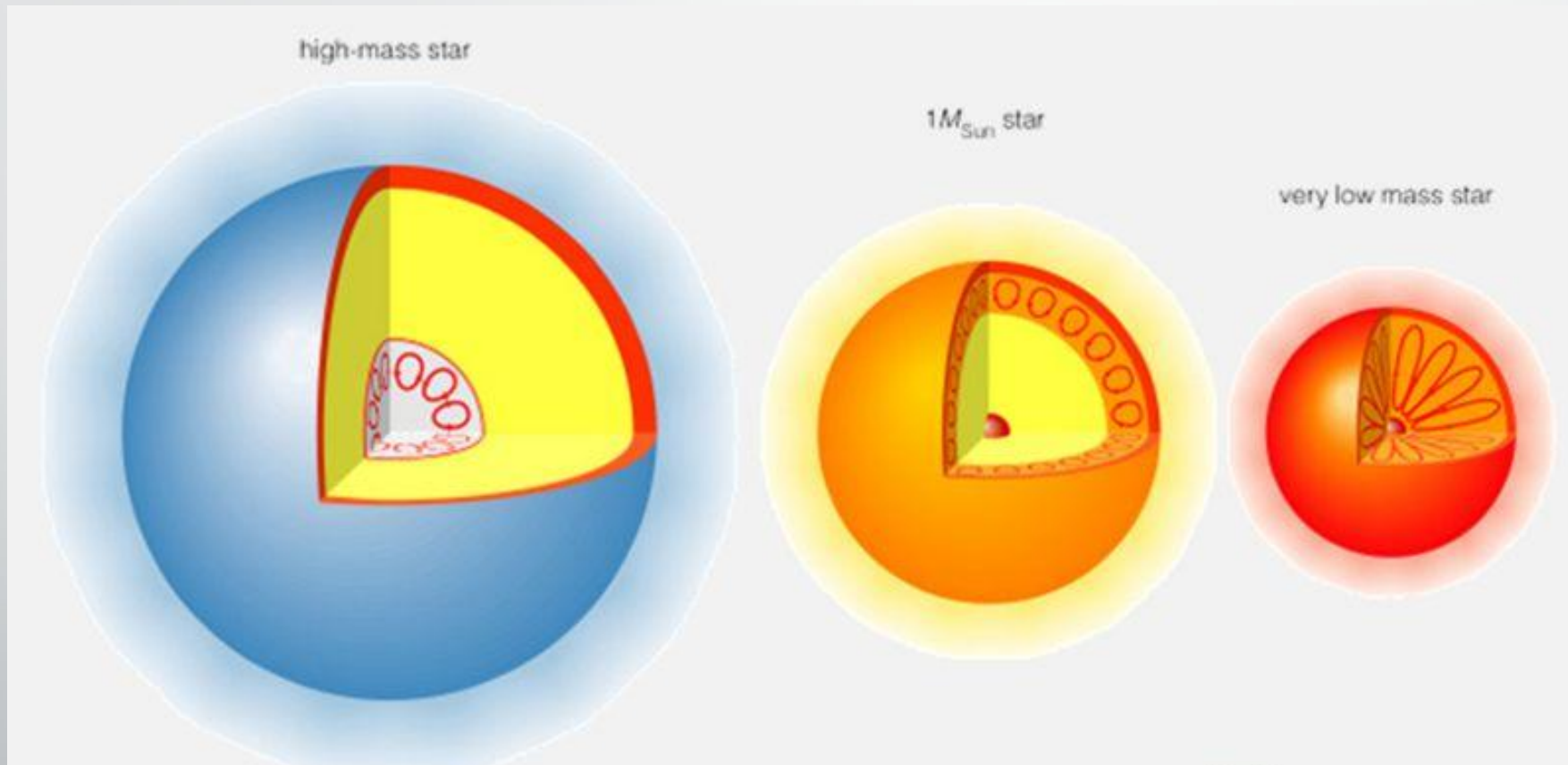
- первое поколение звёзд после Большого взрыва
- очень тяжёлые звёзды с малым временем жизни
- продолжительность жизни – около миллиона лет

Эддингтоновский предел

- Критическая (максимальная) светимость звезды массы M :

$$L_{\text{edd}} = 4\pi G M m_p c / \sigma_T = (10^{31} \text{ Вт}) \cdot M / M_C$$

Внутренняя структура звезды



На главной последовательности

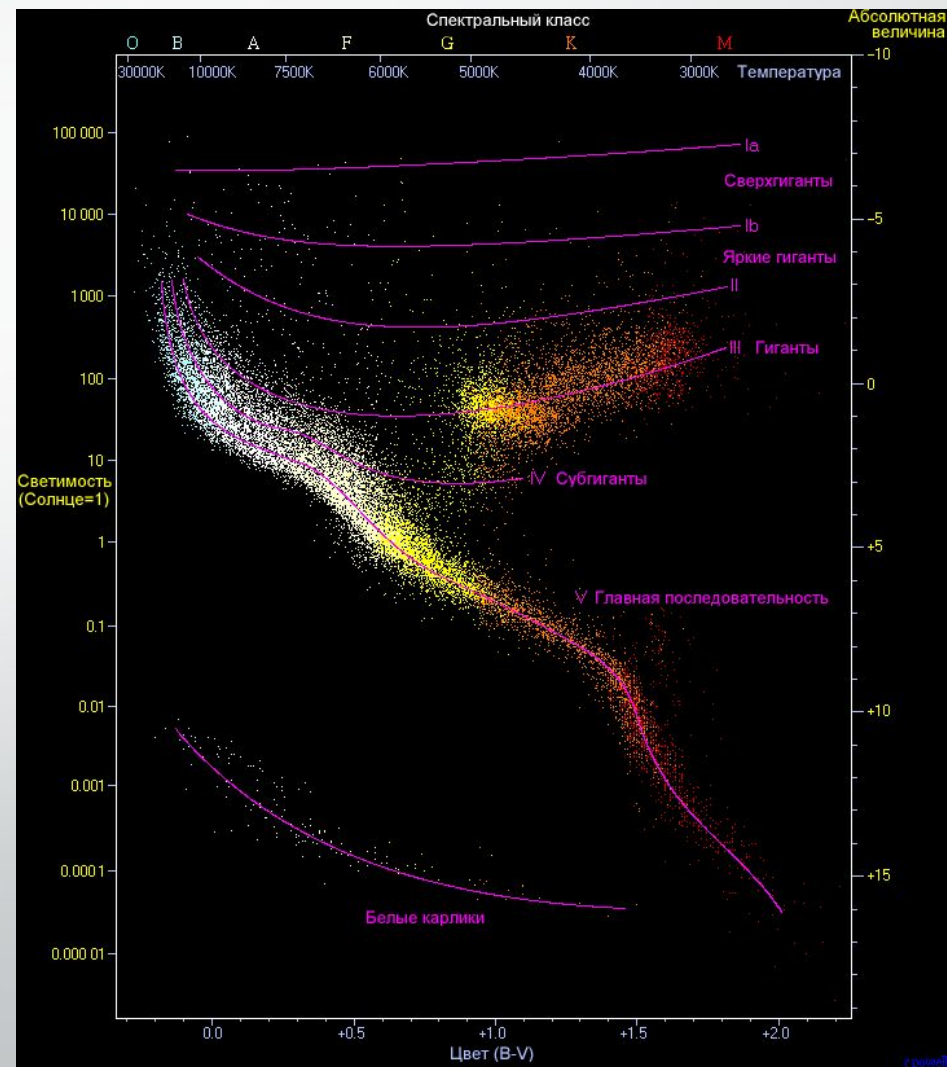
- Функция масс:

$$L = M^{3,9}$$

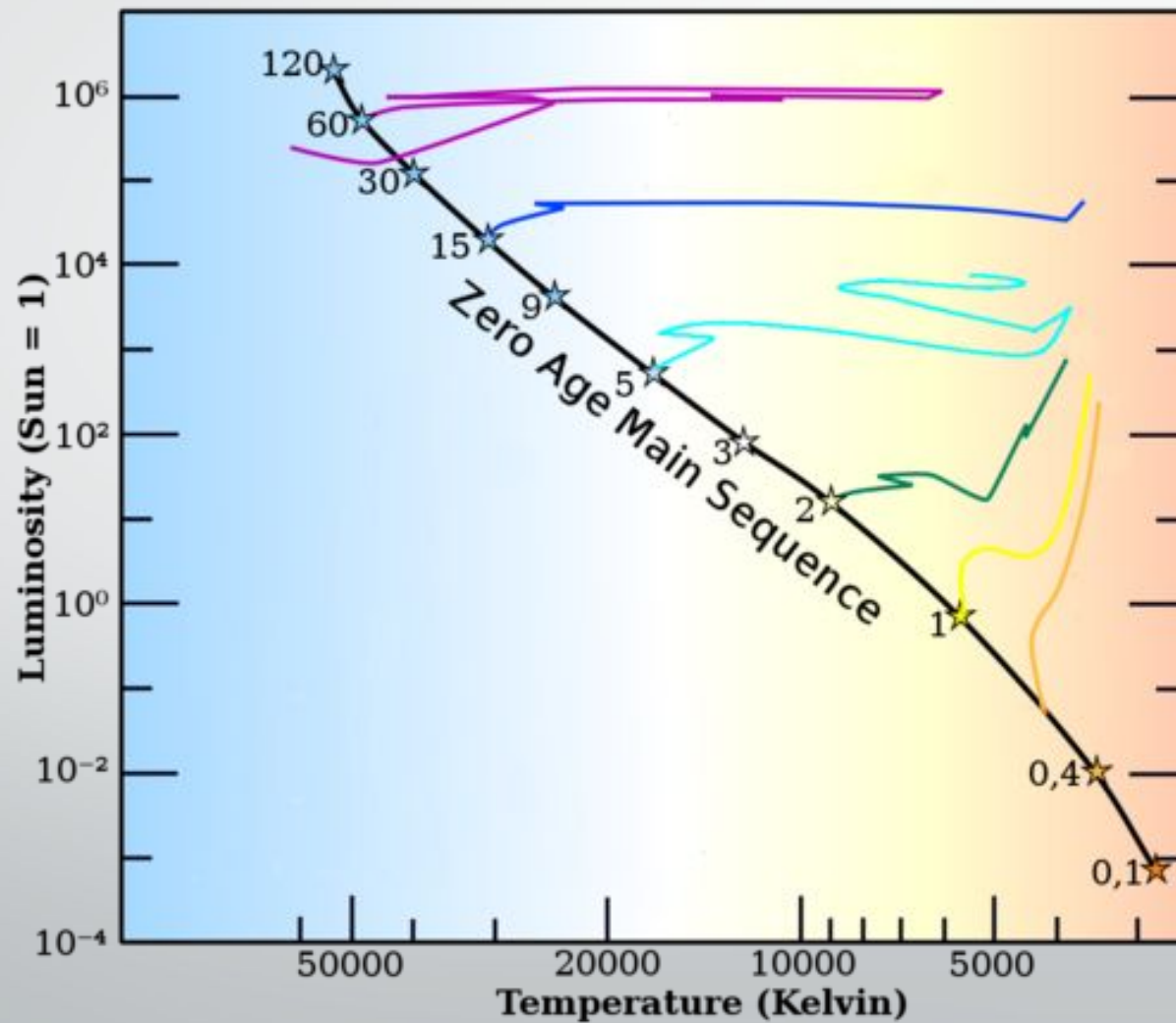
(в светимостях и массах Солнца)

- Функция времени жизни:

$$\tau = (10^{10} \text{ лет}) \cdot \left(\frac{M_c}{M}\right)^{2,5}$$



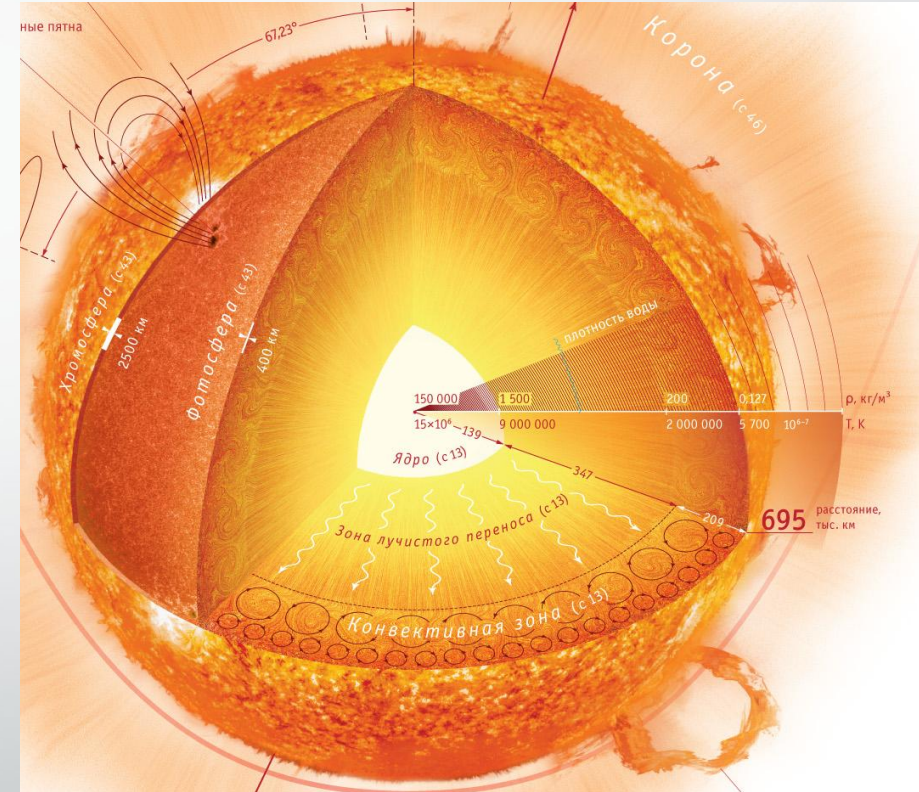
Эволюция звёзд главной последовательности



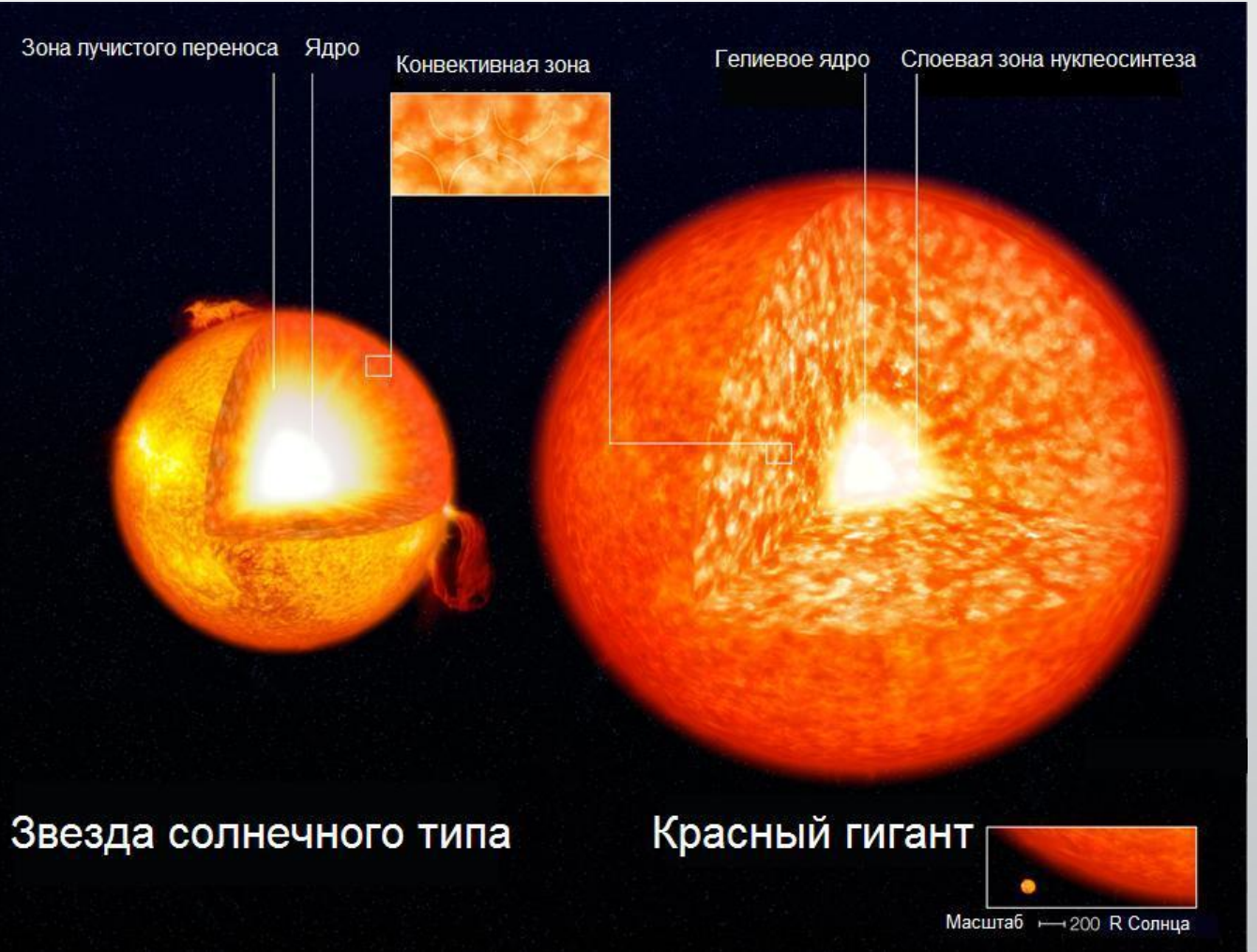
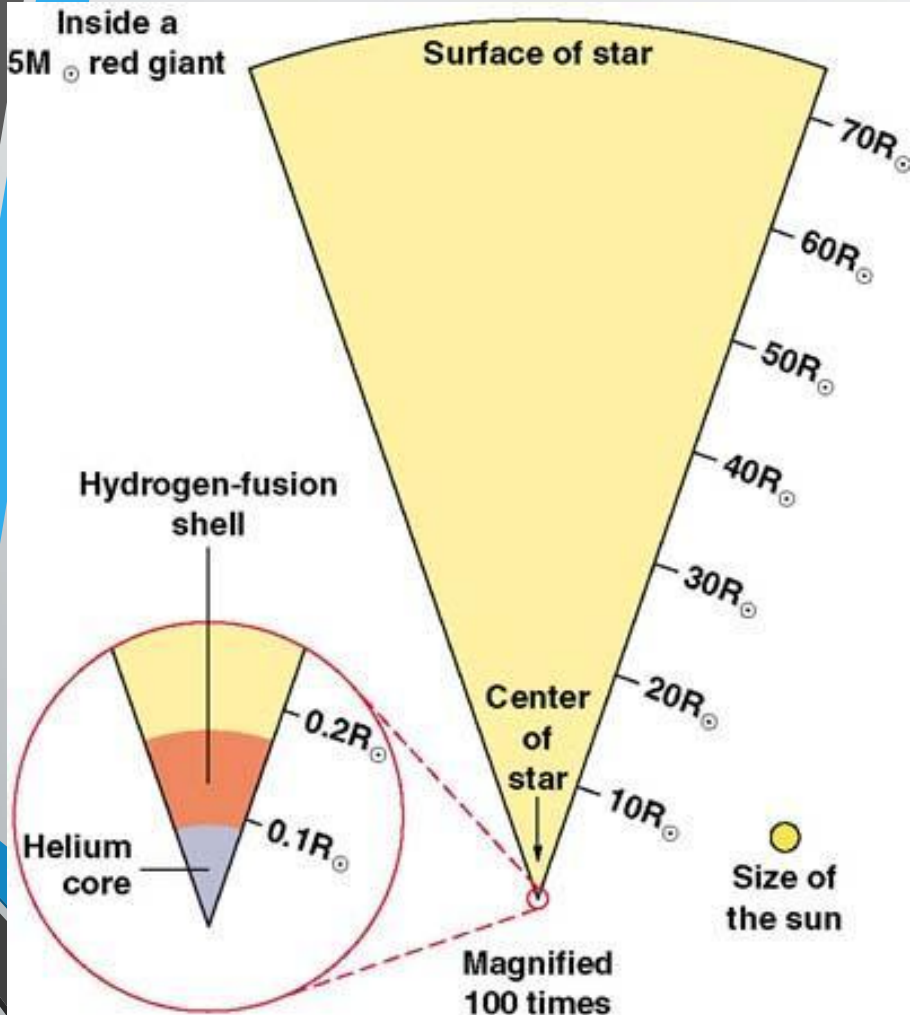
Что дальше?

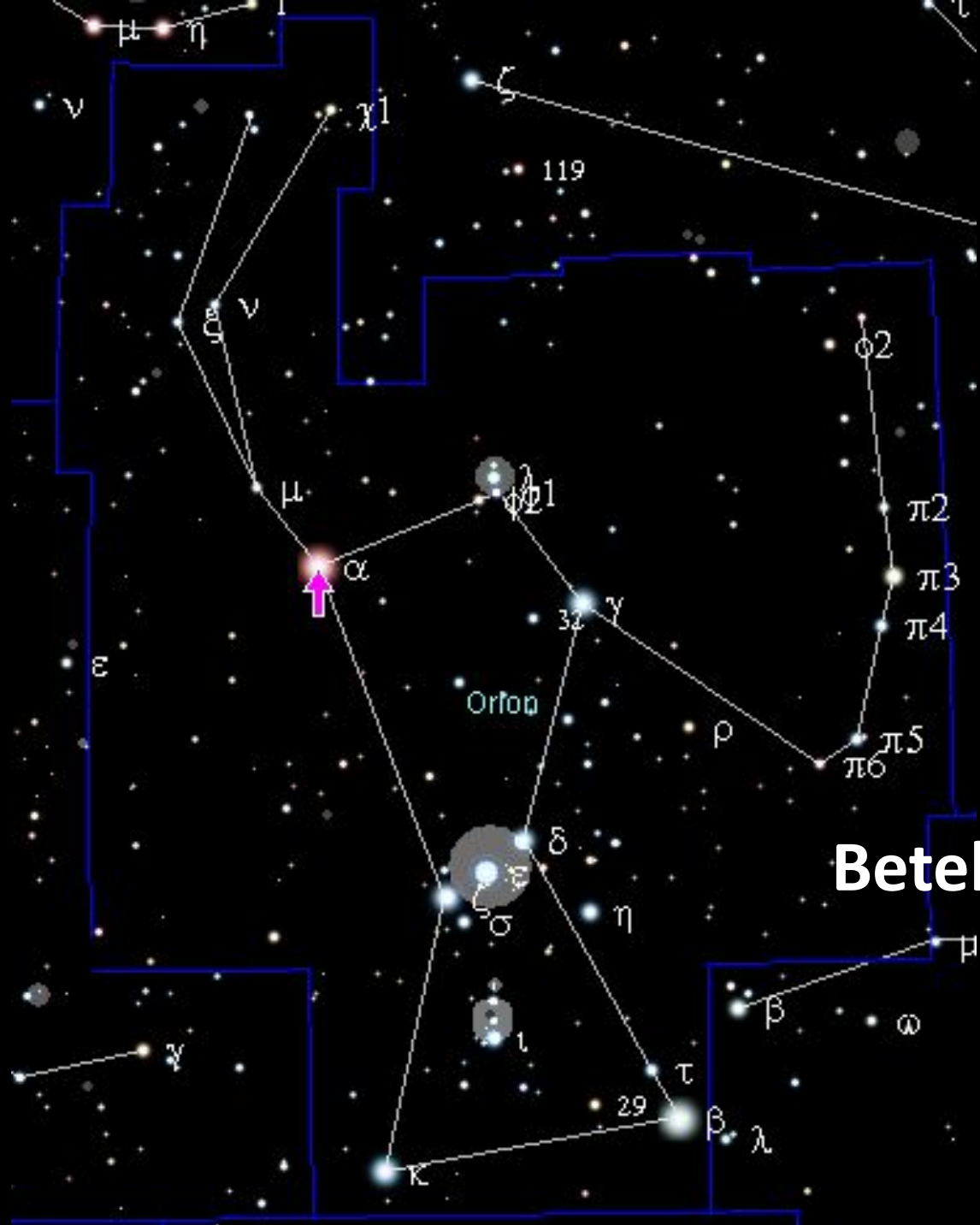
- **Стадия общего сжатия**
 - Водород – 1% от начального
 - Гравитационное сжатие
 - Светимость быстро возрастает
 - (Солнцу не грозит)
- **Слоевой источник энергии**
 - Термоядерный синтез в слое вокруг ядра
- **Расширение конвективной оболочки**

Охлаждение оболочки

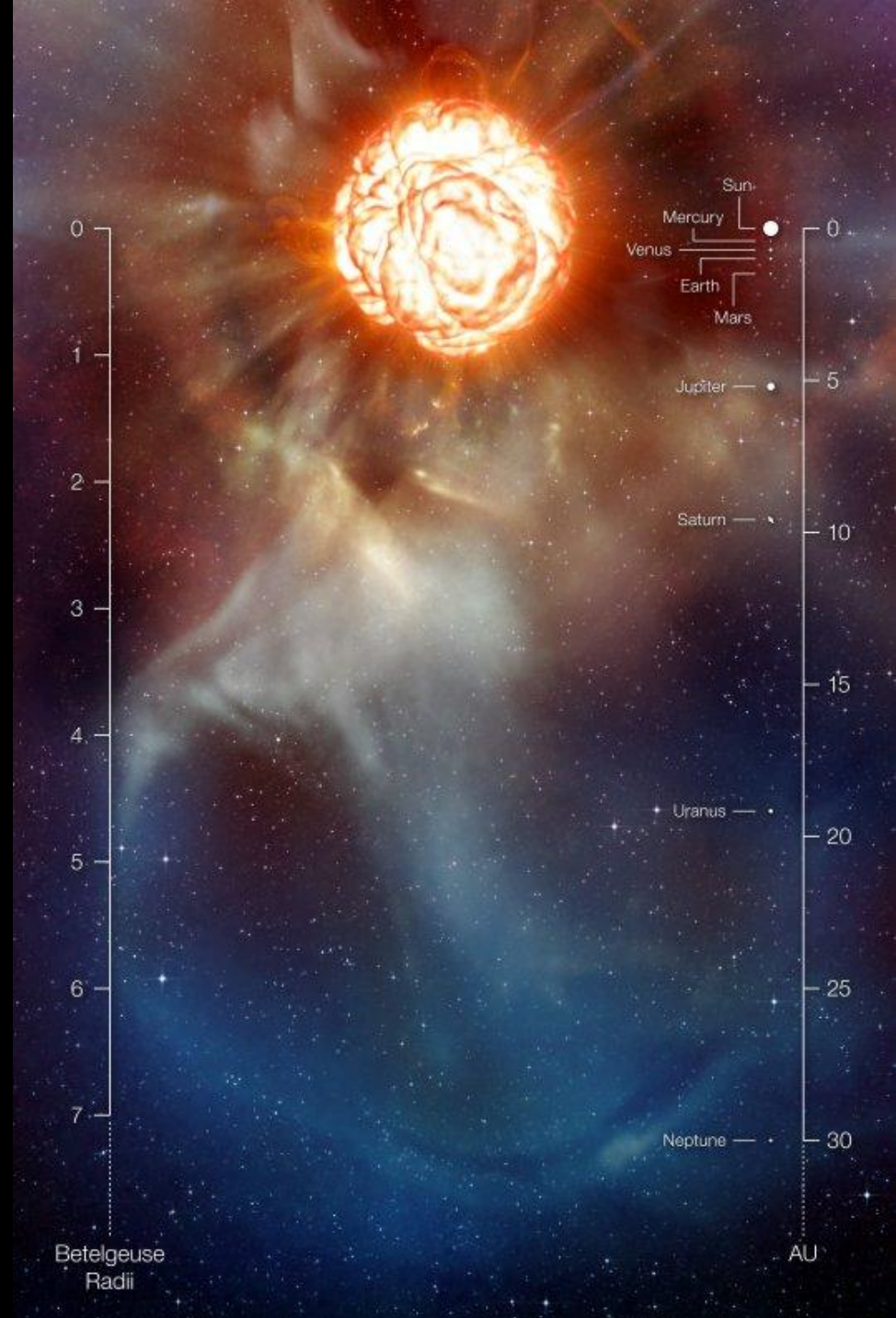


Стадия красного гиганта

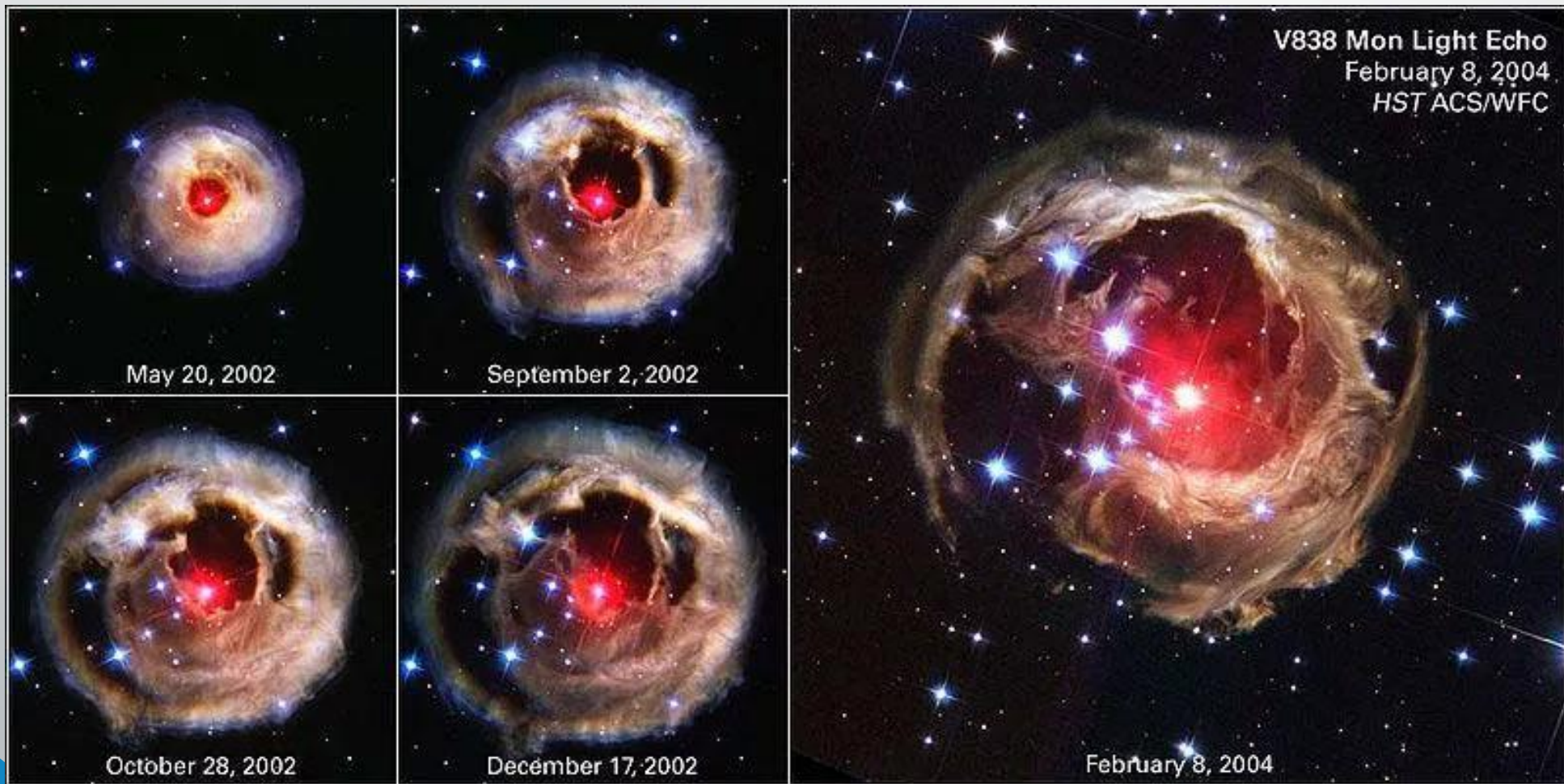




Betelgeuse



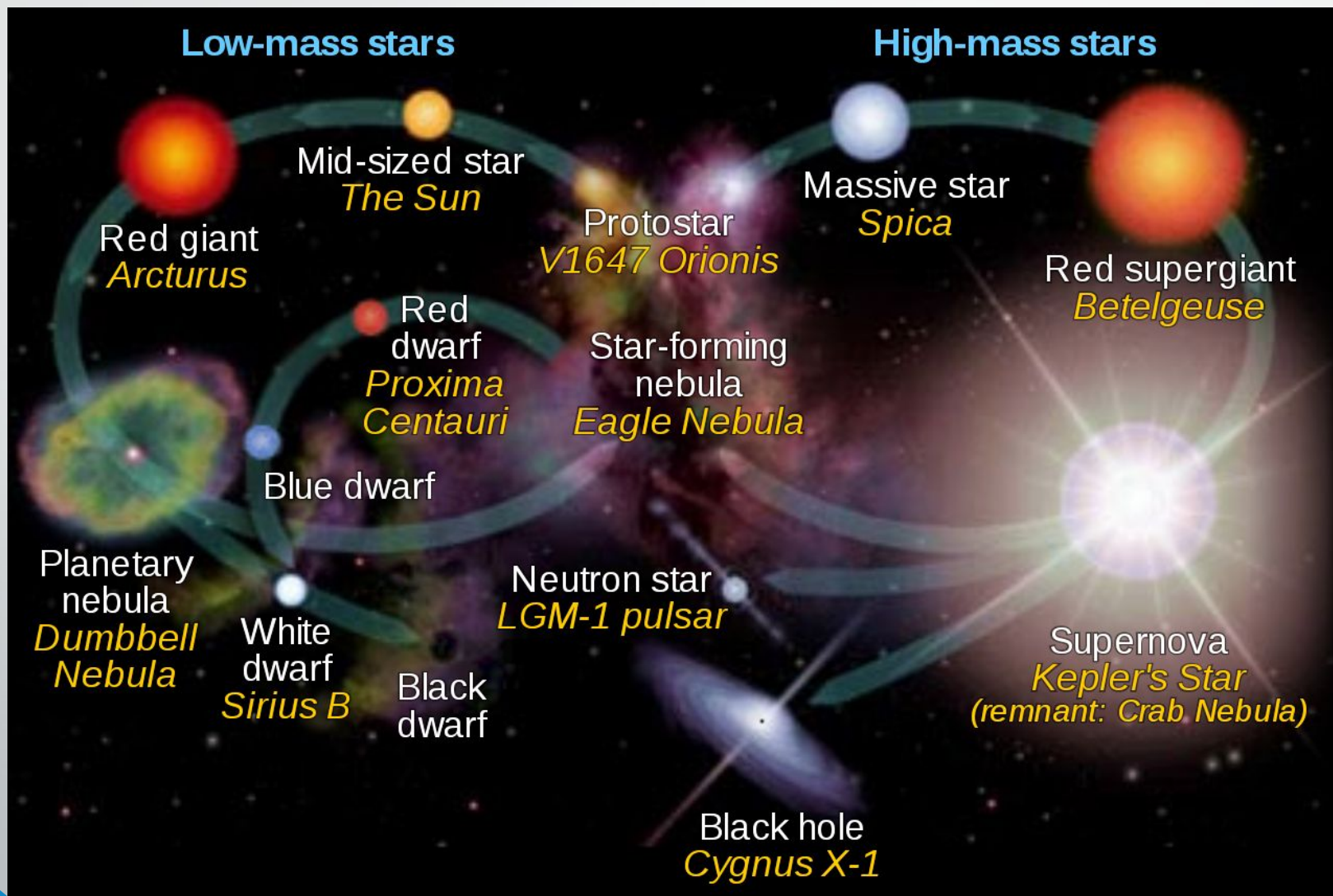
Вариант 1: сброс оболочки



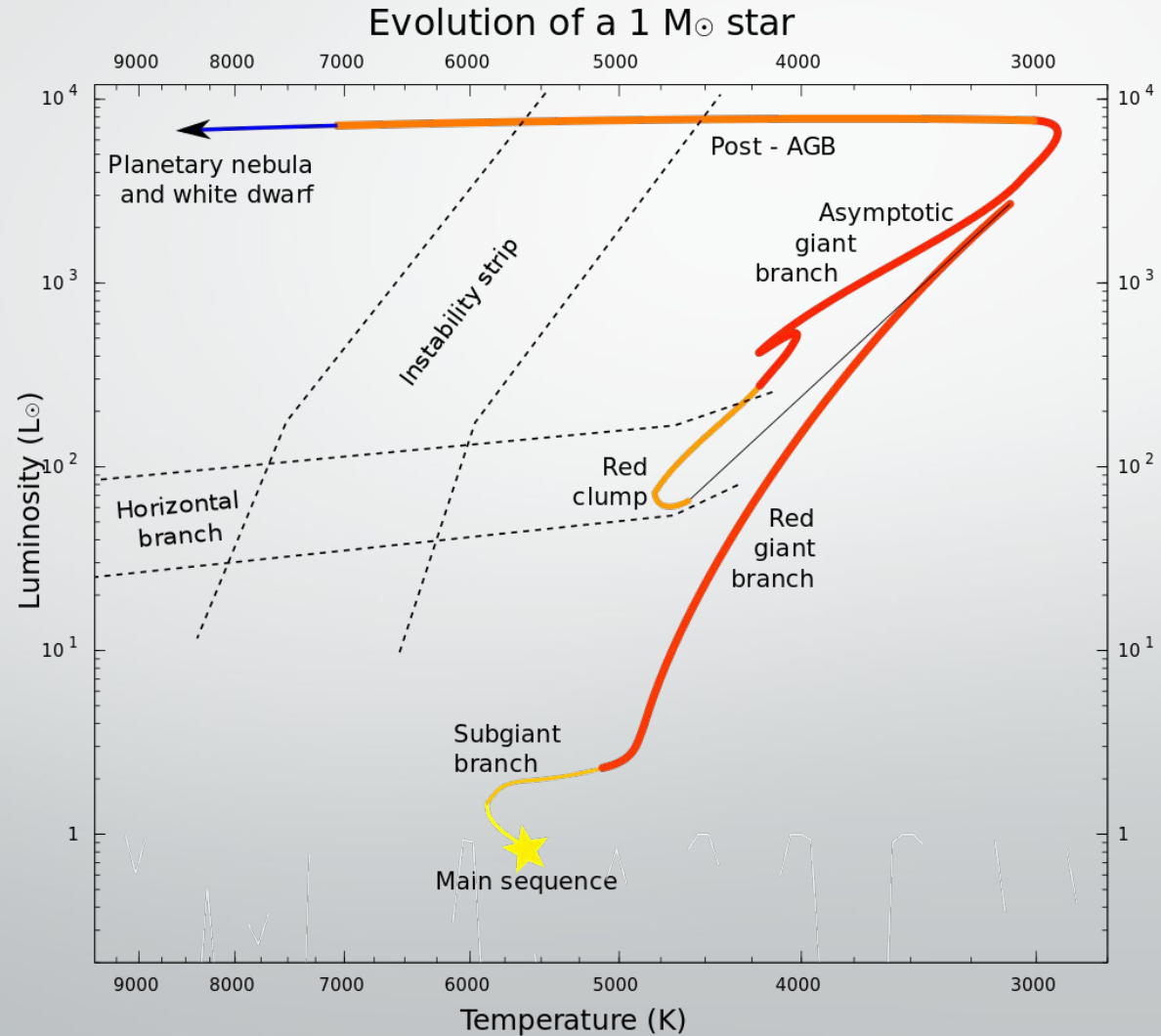
Вариант 2: взрыв сверхновой



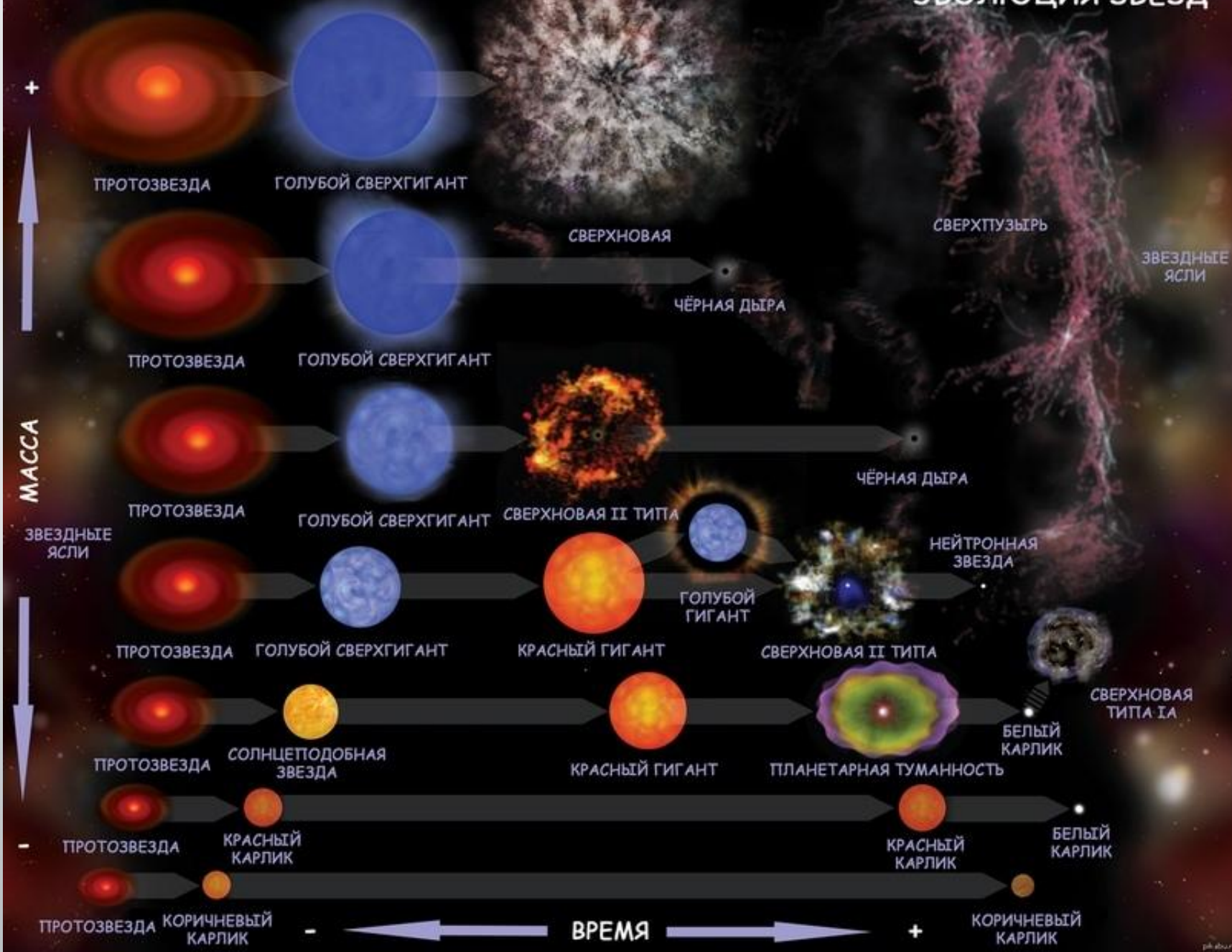
Эволюция звёзд главной последовательности



Что ждёт наше Солнце



ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД



Даже звёзды эволюционируют...

