

# Эволюция звезд

# Этапы жизни звезд:

1 **Рождение звезд**

1 **Молодые звезды**

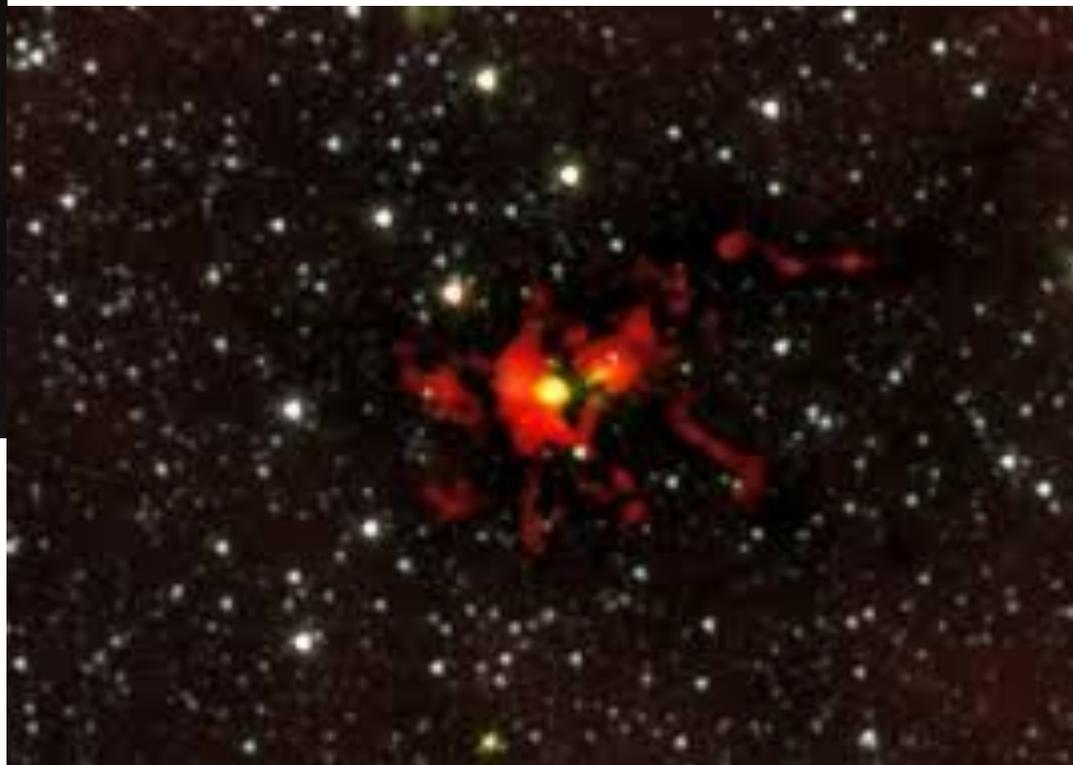
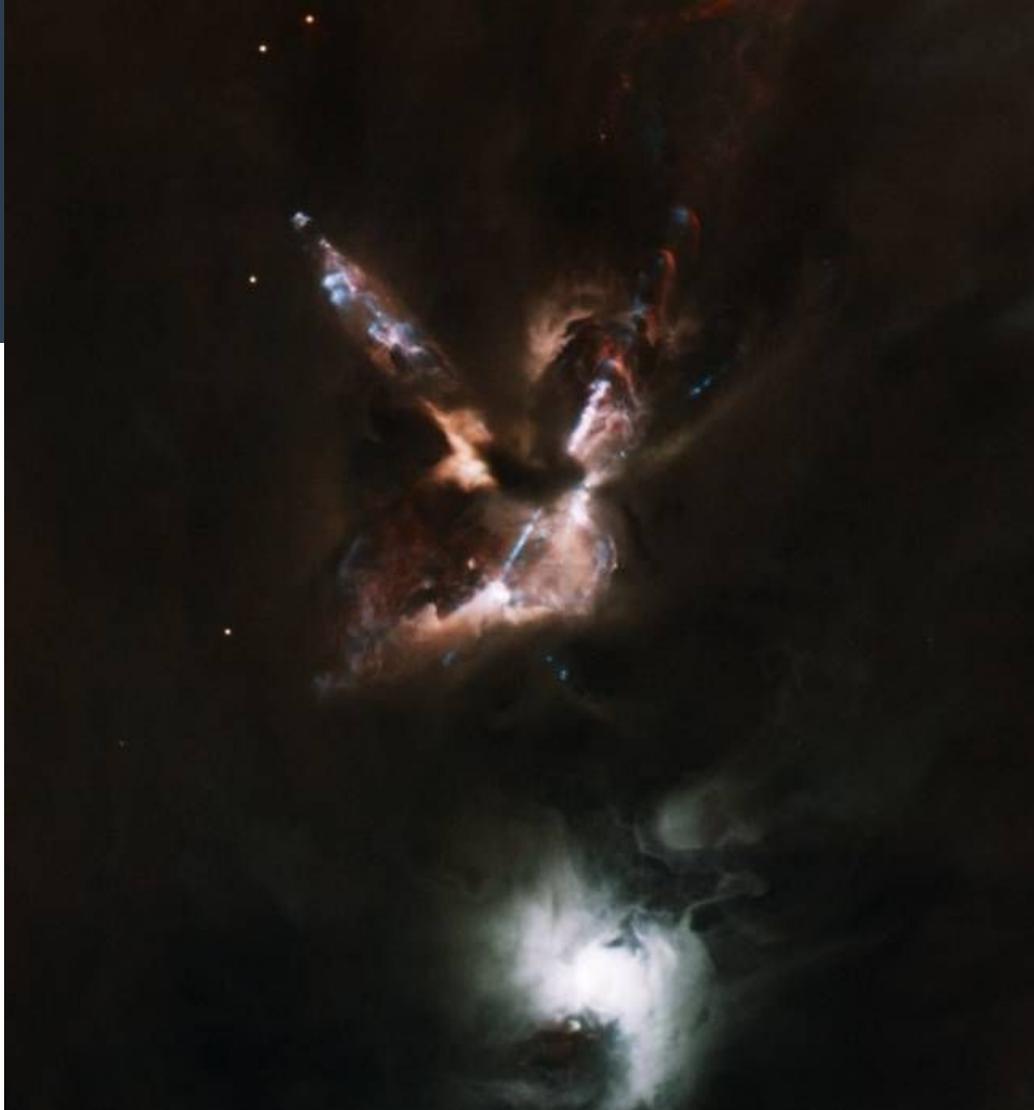
1 **Середина жизненного цикла звезды**

1 **Зрелость**

1 **Финальная стадия**

# Рождение звезды (протозвездная фаза)

- Эволюция звезды начинается в гигантском молекулярном облаке
- Гравитационное сжатие облака
- Градиент давления уравнивает гравитационную силу, образуется гидростатическое ядро
- Аккреция — процесс приращения массы небесного тела путём гравитационного притяжения материи на него из окружающего



# Молодые звёзды малой массы (до трёх масс Солнца)

- сжатие останавливается
- постепенное остывание
- Коричневые карлики



# Молодые звёзды промежуточной массы (от 2 до 8 масс Солнца)

- Нет конвективных зон
- Они эффективно нагревают и рассеивают остатки протозвёздного облака

# Молодые звёзды с массой больше 8 солнечных масс

- Звезды с такими массами уже обладают характеристиками нормальных звезд, поскольку прошли все промежуточные стадии для достижения гидростатического равновесия ядра.
- У этих звёзд истечение массы и светимость настолько велики, что разгоняют облако прочь. Скорее всего, этим и объясняется отсутствие в нашей галактике звёзд с массой больше, чем около 300 масс Солнца.

# Главная последовательность

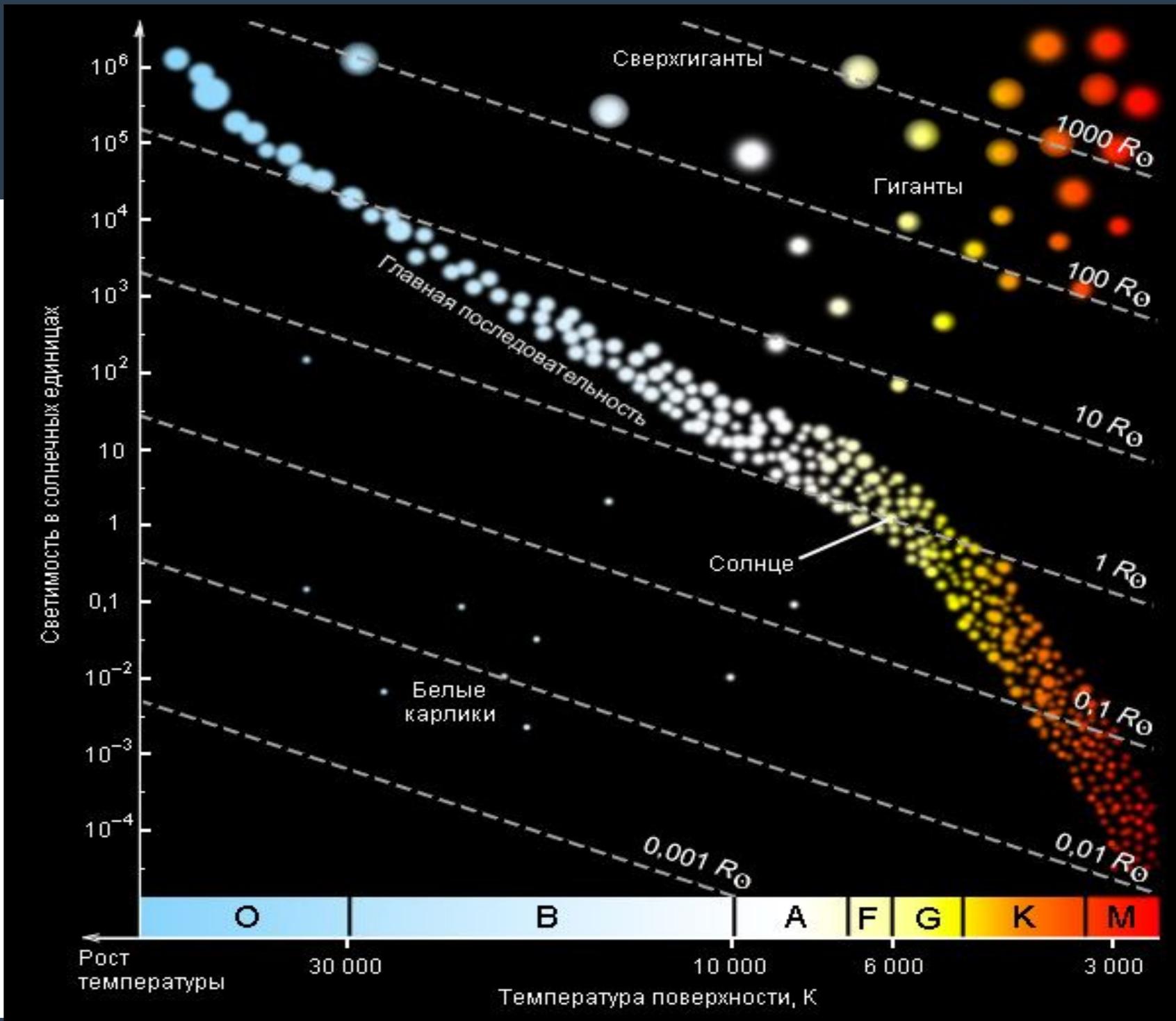
**Главная последовательность** — область на диаграмме *Герцшпрунга — Рессела*, содержащая звёзды, источником энергии которых является термоядерная реакция синтеза гелия из водорода. К звездам главной последовательности относится наше Солнце. Плотности звезд главной последовательности сравнимы с солнечной плотностью.

# Середина жизненного цикла

**.Маленькие и холодные красные карлики медленно сжигают запасы водорода и остаются на главной последовательности десятки миллиардов лет, в то время как массивные сверхгиганты сходят с главной последовательности уже через несколько десятков миллионов (а некоторые спустя всего несколько миллионов) лет после формирования.**

# Середина жизненного цикла

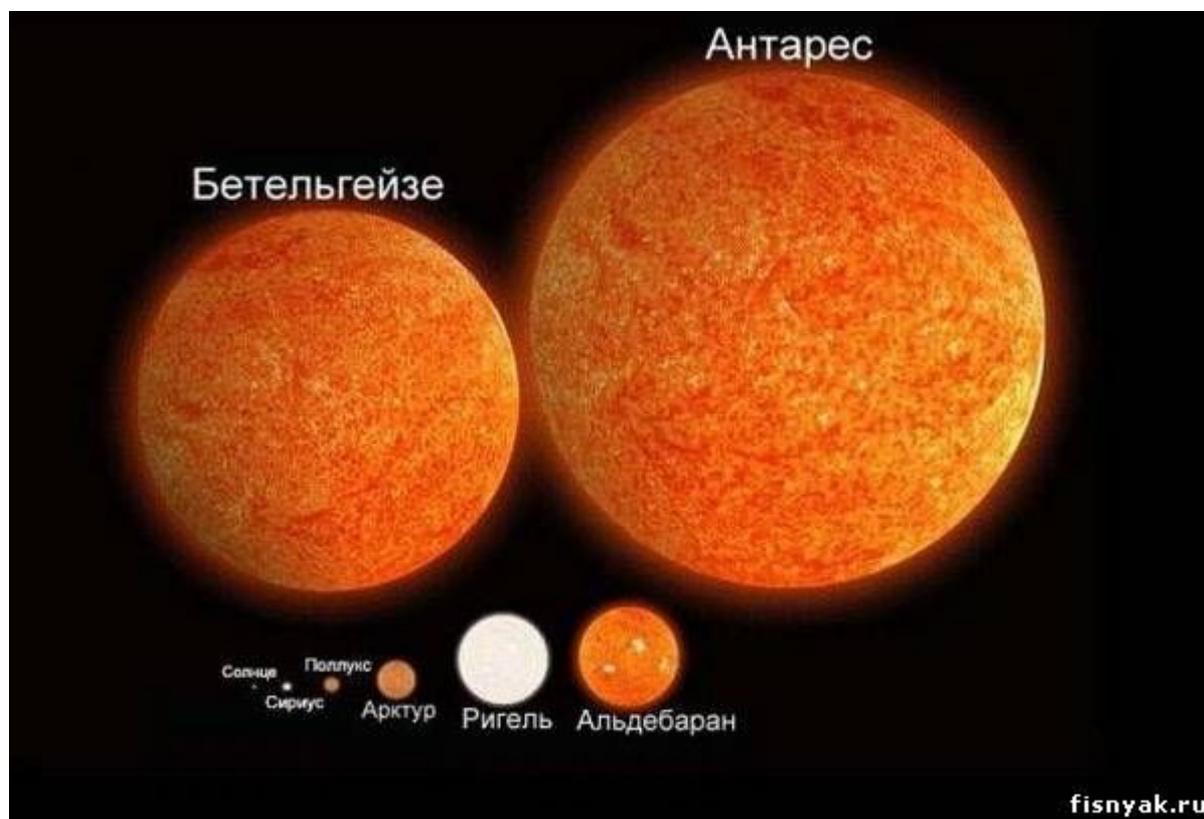
**.Звёзды среднего размера, такие как Солнце, остаются на главной последовательности в среднем 10 миллиардов лет. Считается, что Солнце все ещё на ней, так как оно находится в середине своего жизненного цикла. Как только звезда истощает запас водорода в ядре, она покидает главную последовательность.**



# Зрелость

- **Истощение запаса водорода приводит к остановке термоядерных реакций.**
- **звезда снова начинает сжиматься**
- **термоядерные реакции с участием гелия**
- **Звезда «распухает», становясь очень «рыхлой», и её размер увеличивается приблизительно в 100 раз**
- **Становятся красными гигантами**

# Красные гиганты



# Старые звёзды с малой массой

- **Красные карлики, такие как Проксима Центавра, срок пребывания которых на главной последовательности составляет от десятков миллиардов до десятков триллионов лет.**
- **После прекращения в их ядрах термоядерных реакций, они, постепенно остывая, будут продолжать слабо излучать в инфракрасном и микроволновом диапазонах электромагнитного спектра.**

# Звёзды среднего размера

- начинаются реакции синтеза углерода из гелия (миллиард лет)
- Изменения (размера, температуры поверхности и выпуск энергии)
  - 1) белый карлик
  - 2) нейтронная звезда (пульсар)
  - 3) чёрная дыра
- В двух последних ситуациях эволюция звёзды завершается катастрофическим событием

# Белые карлики

- **Белые карлики представляют собой компактные звёзды с массами, сравнимыми или большими, чем масса Солнца, но с радиусами в 100 раз меньшими**

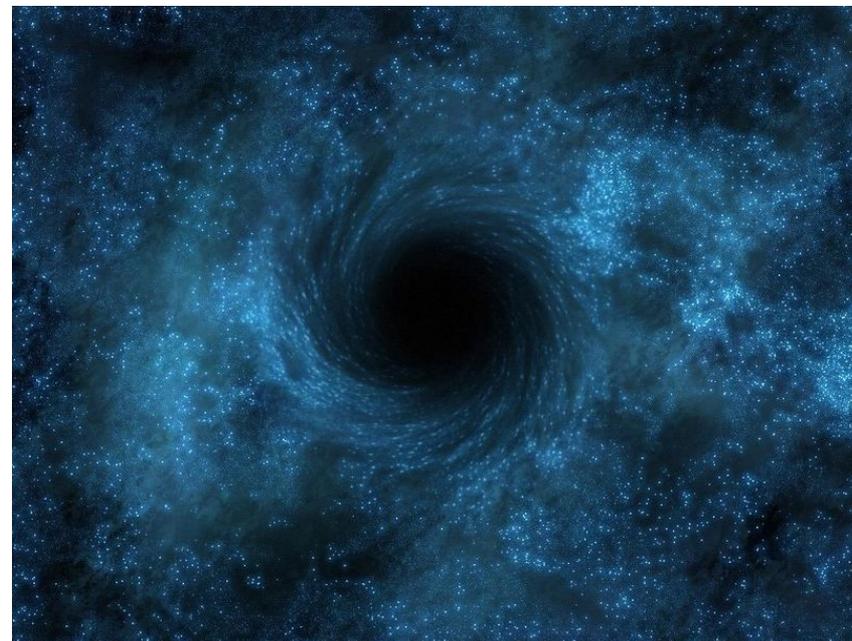


- **Нейтронная звезда — космическое тело, состоящее, в основном, из нейтронной сердцевины, покрытой сравнительно тонкой (~1 км) корой вещества в виде тяжёлых атомных ядер и электронов.**



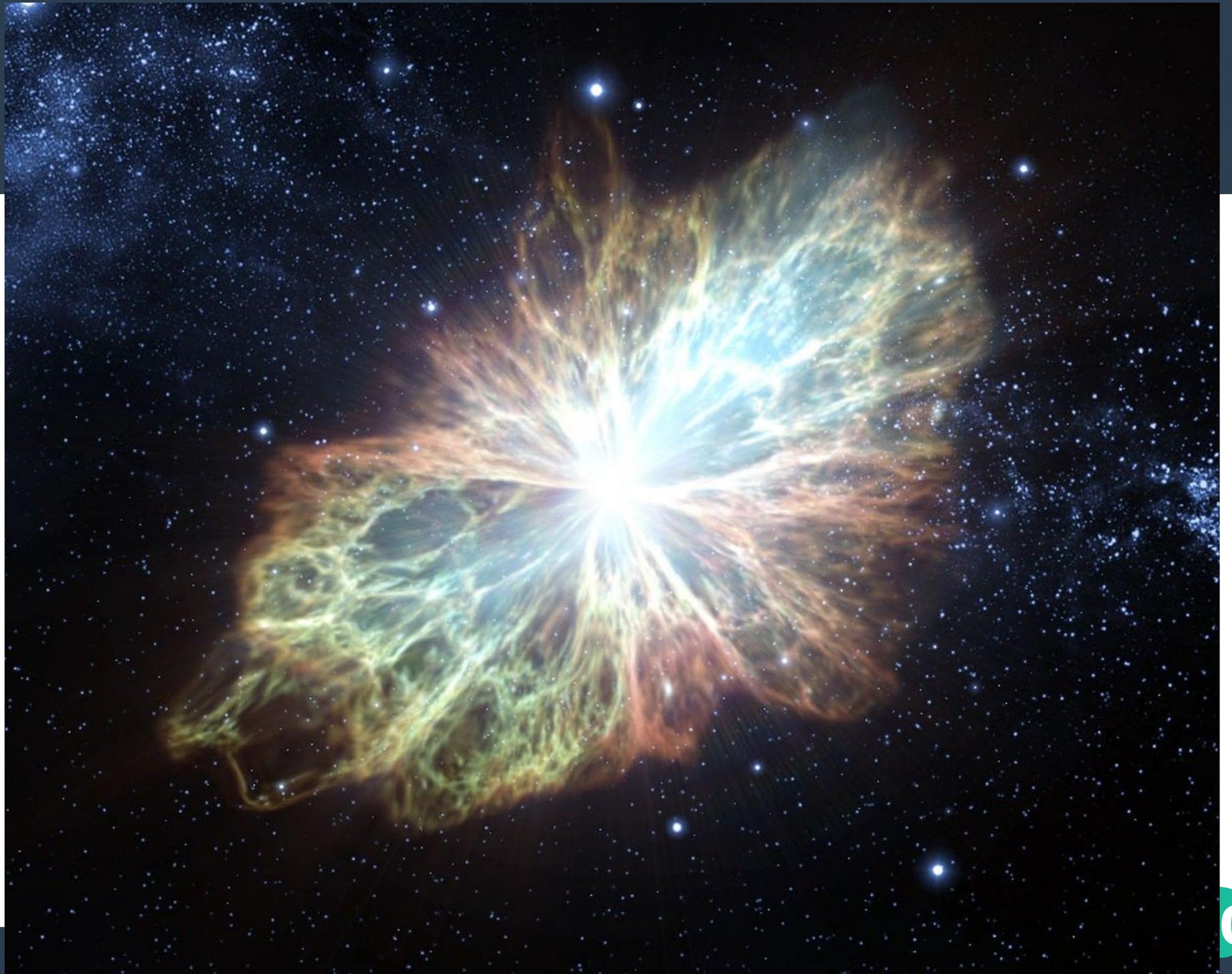
# Черная дыра

- Чёрная дыра́ — область пространства-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, в том



# Сверхмассивные звёзды

- Синтезируются всё более тяжёлые элементы: гелий, углерод, кислород, кремний и железо, что временно сдерживает коллапс ядра.
- Взрыв сверхновой звезды невероятной мощности

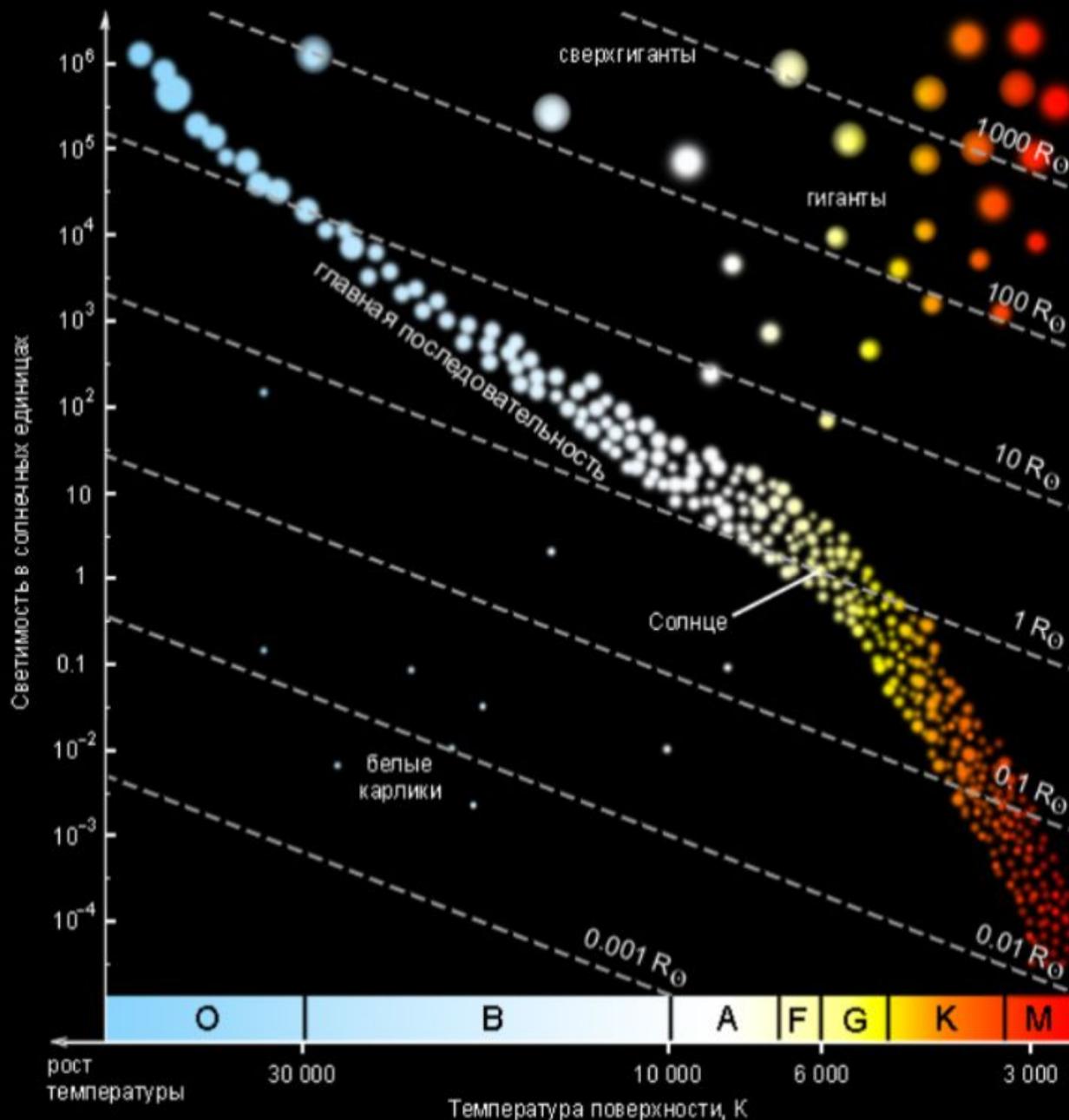


# Еще немного о диаграмме Герцшпрунга-Рассела

- Это не распределение звезд во Вселенной, это схема их эволюции.
- В течение жизни каждая звезда проходит свой путь (в зависимости от массы) по этой диаграмме.
- Каждая звезда начинает с главной последовательности, движется по ней вниз, а затем сходит с нее.
- Диаграмма отражает распределение звезд в соответствии с их светимостью (вспоминаем прошлую тему!) и температурой.



# Диаграмма «спектр-светимость»



## Главная последовательность:

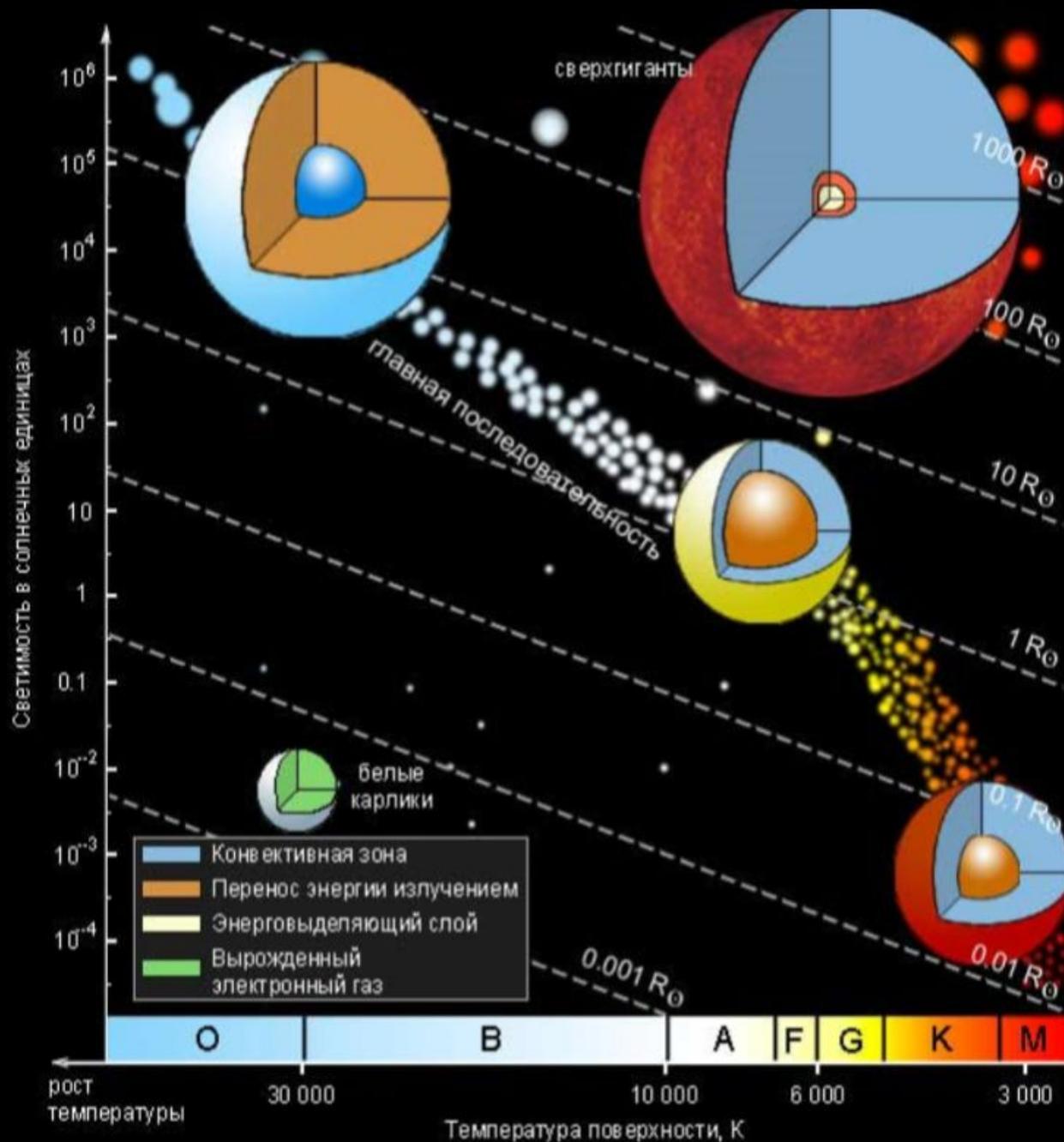
- это последовательность звезд разной массы. Самые большие (голубые гиганты) расположены в верхней части, а самые маленькие звезды – карлики – в нижней части главной последовательности

- это нормальные звезды похожие на Солнце в которых водород сгорает в термоядерной реакции.

Красные гиганты и сверхгиганты располагаются над главной последовательностью справа, белые карлики – под ней слева, поэтому начало левой части главной последовательности представлена голубыми звёздами с массами  $\approx 50$  солнечных, конец правой — красными карликами с массами  $\approx 0,08$  солнечных.

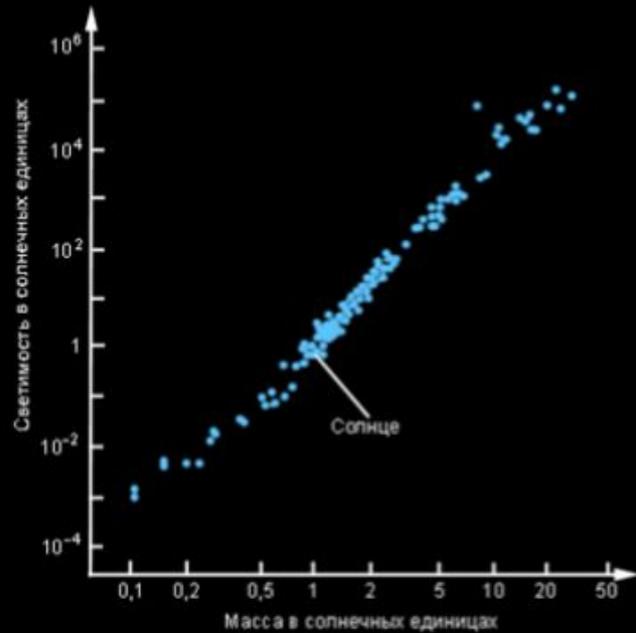
Существование главной последовательности связано с тем, что стадия горения водорода составляет  $\approx 90\%$  времени эволюции большинства звёзд.

# Диаграмма и внутреннее строение звезд



Около 90 % звёзд находятся на главной последовательности. Их светимость обусловлена ядерными реакциями превращения водорода в гелий. Выделяется также несколько ветвей проэволюционировавших звёзд — гигантов, в которых происходит горение гелия и более тяжёлых элементов. В левой нижней части диаграммы находятся полностью проэволюционировавшие белые карлики.

# Зависимость «масса-светимость» и эволюция



В 1911–24 гг. астрономы Холм, Рессел, Герцшпрунг и Эддингтон установили, что для звезд главной последовательности существует связь между светимостью  $L$  и массой  $M$ , и построили диаграмму масса – светимость. Приблизительно зависимость “масса – светимость” выражается отношением

$$L \approx m_{3,9}$$

**Скорость эволюции звезды определяется ее массой**

Пока звезда находится внутри на главной последовательности, в ее недрах происходят термоядерные реакции, что зависит от массы и ее химического состава. Время жизни на главной последовательности самое долгое в эволюции. Для звезд разной массы:

$$M = 0,8 M_{\odot} \quad \tau = 20 \text{ млрд. лет}$$

$$M = M_{\odot} \quad \tau = 10 \text{ млрд. лет}$$

$$M = 1,5 M_{\odot} \quad \tau = 1,5 \text{ млрд. лет}$$

$$M = 2,0 M_{\odot} \quad \tau = 0,8 \text{ млрд. лет}$$

$$M = 5,0 M_{\odot} \quad \tau = 78 \text{ млн. лет}$$

$$M = 15 M_{\odot} \quad \tau = 11 \text{ млн. лет}$$

$$M = 20 M_{\odot} \quad \tau = 10 \text{ млн. лет}$$

$< 0,05 M_{\odot}$  – водород не загорается и протозвезда даже не переходят на главную последовательность

$0,05 - 0,5 M_{\odot}$  – протозвезда – главная последовательность (10 – 18 млрд. лет) – **КОРИЧНЕВЫЙ КАРЛИК**

$0,5 - 1,5 M_{\odot}$  – протозвезда – главная последовательность (10 млрд. лет) – **КРАСНЫЙ ГИГАНТ – НОВАЯ – БЕЛЫЙ КАРЛИК**

$3,0 - 7,0 M_{\odot}$  – протозвезда – главная последовательность (0,5 млрд. лет) – **СВЕРХНОВАЯ – НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА**

$7,0 - 15,0 M_{\odot}$  – протозвезда – главная последовательность (40 млн. лет) – **СВЕРХНОВАЯ - ЧЁРНАЯ**

**ДЫРА**

$20 - 30 M_{\odot}$  – превращается в **ЧЁРНУЮ ДЫРУ**