

# Видимый размер звёзд.

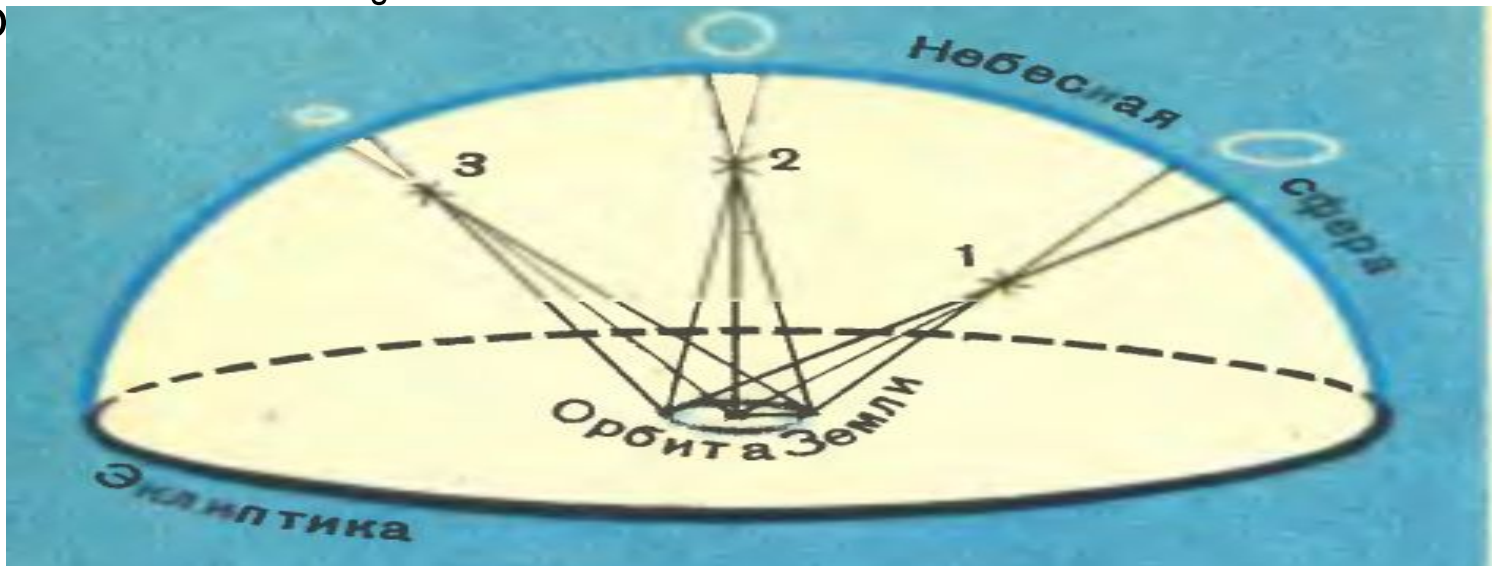
Еще древний астроном Гиппарх предложил различать яркость звезд. Звезды были разделены на шесть групп: к первой относятся самые яркие – это звезды первой величины (сокращенно - 1m, от латинского *magnitudo*- величина), звезды послабей - ко второй звездной величине (2m) и так далее до шестой группы – едва различимые невооруженным глазом звезды. Звездная величина характеризует блеск звезды, то есть освещенность, которую звезда создает на земле. Блеск звезды 1m больше блеска звезды 6m в 100 раз. Изначально яркость звезд определялась неточно, на глазок; позже, с появлением новых оптических приборов, светимость стали определять точнее и стали известны менее яркие звезды со звездной величиной больше 6.

С увеличением точности измерений, появлением фотоэлектрических фотометров, возросла точность измерения яркости. Звездные величины стали обозначать дробными числами. Наиболее яркие звезды, а также планеты имеют нулевую или даже отрицательную величину. Например, Луна в полнолуние имеет звездную величину -12.5, а Солнце -26.7.

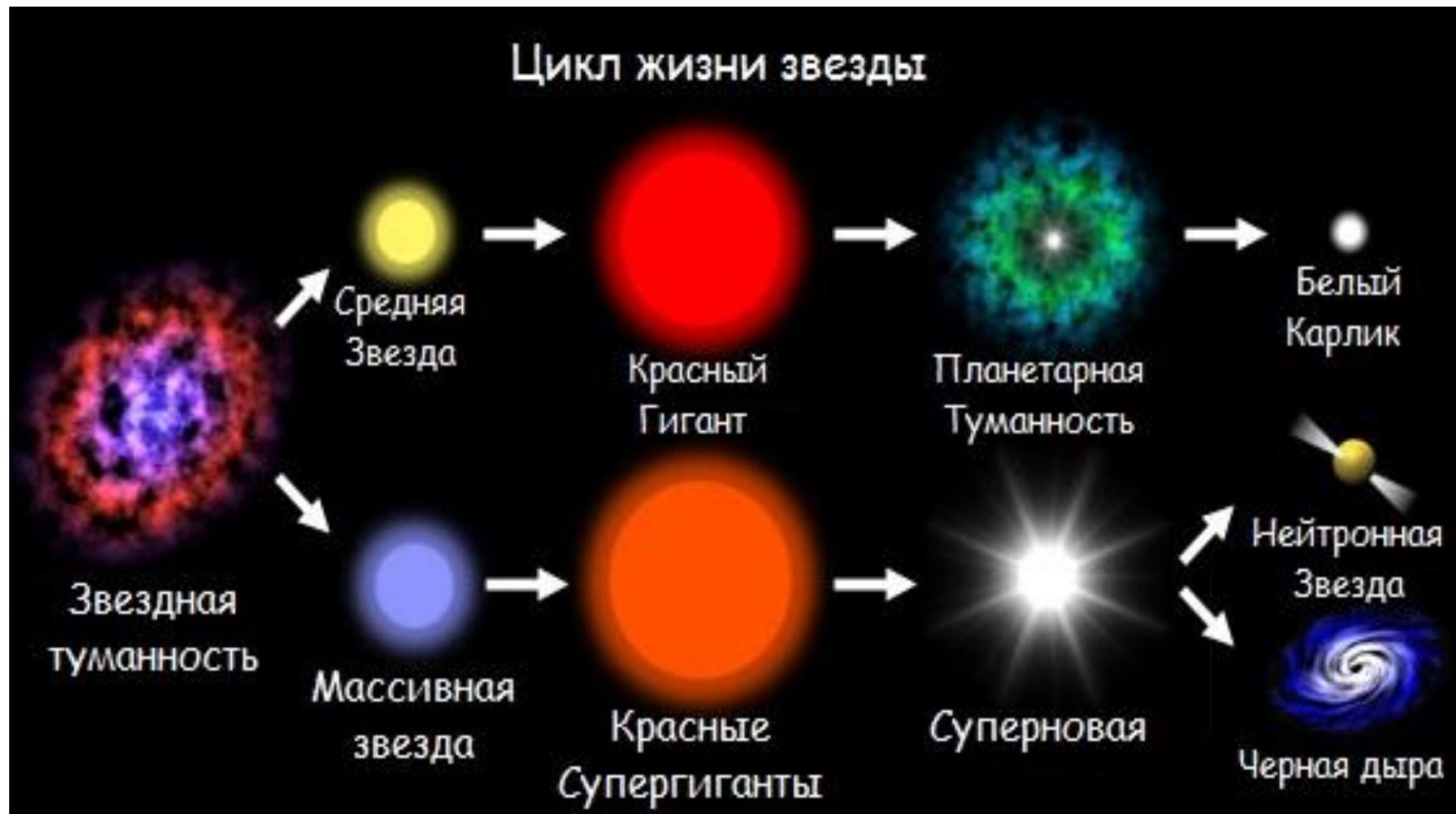
Расстояние до предмета можно определить, не добираясь до него физически. Нужно измерить направление на этот предмет с двух концов известного отрезка (базиса), а затем рассчитать размеры треугольника, образованного концами отрезка и удаленным предметом. Этот метод называется триангуляцией.

# Триангуляция звёзд.

- Чем больше базис, тем точнее результат измерений. Расстояния до звёзд столь велики, что длина базиса должна превосходить размеры земного шара, иначе ошибка измерения будет велика. К счастью, наблюдатель вместе с планетой путешествует в течение года вокруг Солнца, и если он произведёт два наблюдения одной и той же звезды с интервалом в несколько месяцев, то окажется, что он рассматривает её с разных точек земной орбиты, - а это уже порядочный базис. Направление на звезду изменится: она немного сместится на фоне более далёких звёзд. Это смещение называется параллактическим, а угол, на который сместилась звезда на небесной сфере, - параллаксом. Годичным параллаксом звезды называется угол, под которым с неё был виден средний радиус земной орбиты, пер



# Жизнь звёзд.



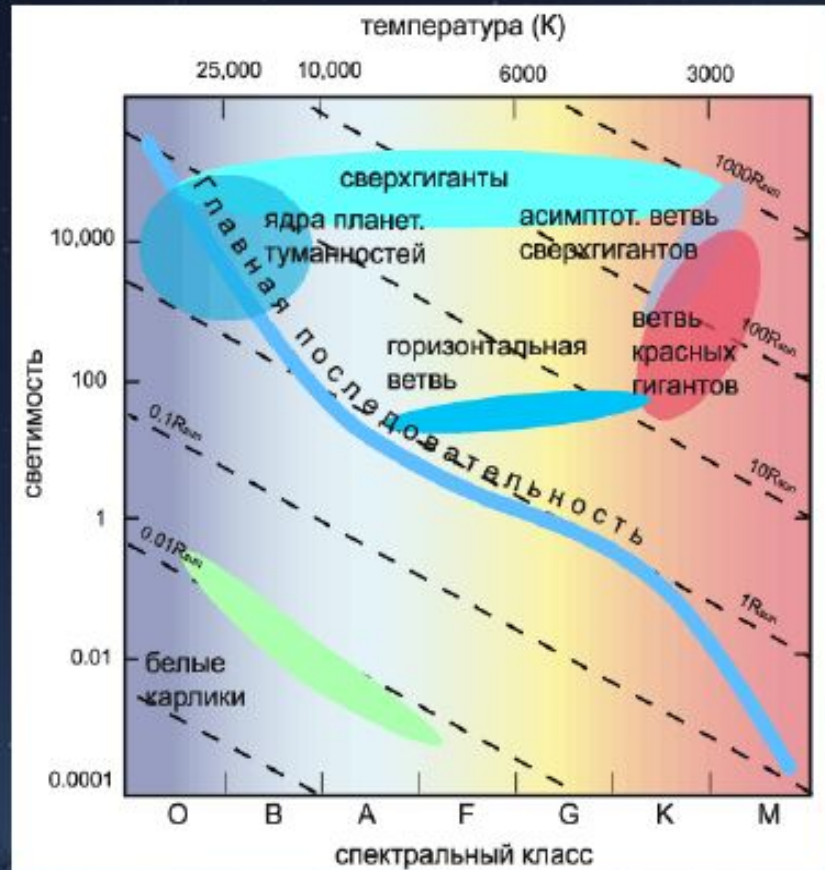
# Диаграмма Г-Р

## Последовательности

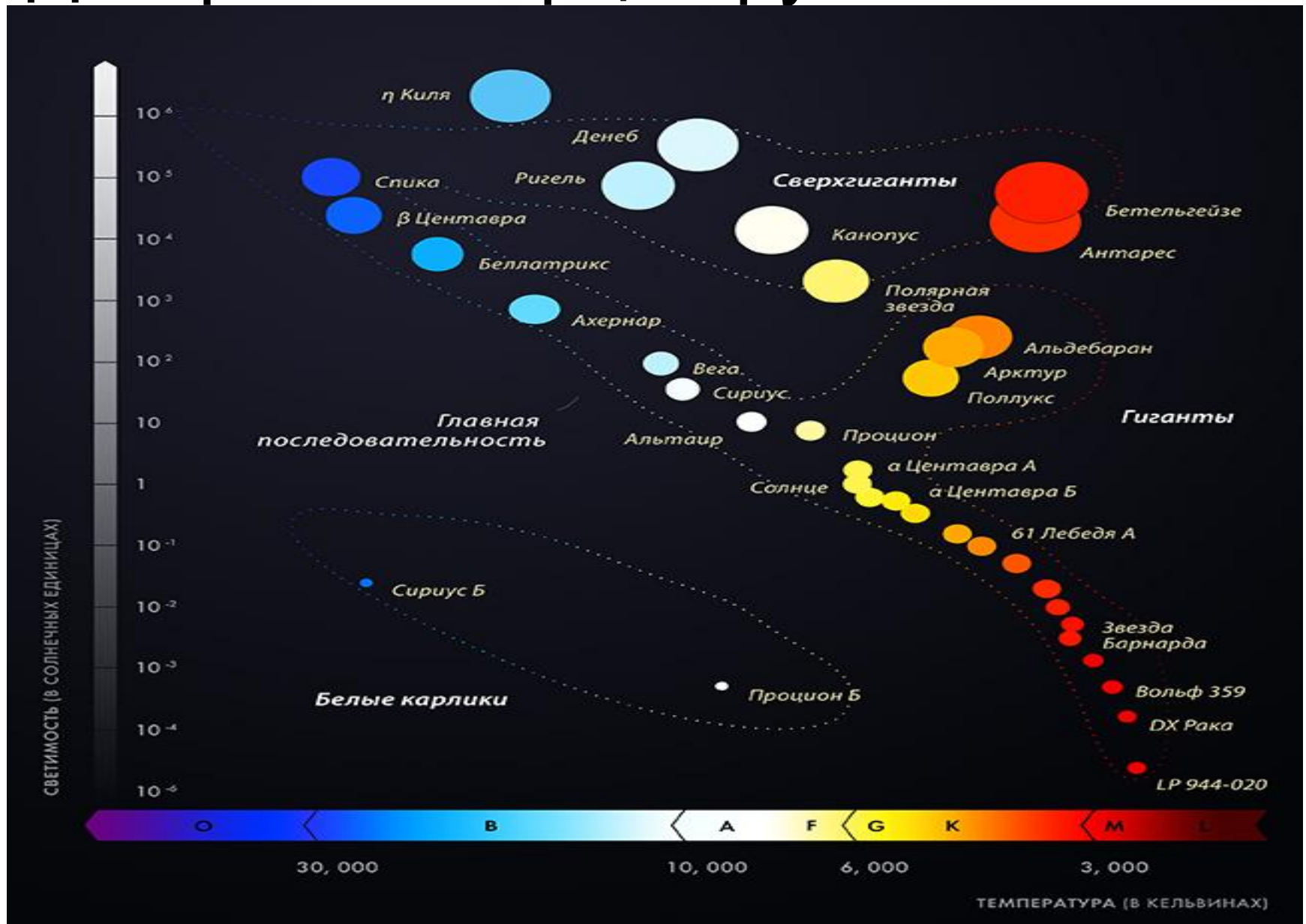
• Большинство звезд находится в пределах узкой полосы, идущей от левого верхнего угла диаграммы к правому нижнему. Это так называемая «главная последовательность» звезд.

• В верхнем правом углу группируются звезды в виде довольно беспорядочной кучи. Их спектральные классы - G, K и M, а абсолютные величины находятся в пределах (+2)-(-6). Они называются «красными гигантами».

• В нижней левой части диаграммы находится небольшое количество звезд, чьи абсолютные величины слабее +10, а спектральные классы В - F. Это очень горячие звезды с низкой светимостью. Но низкая светимость при высокой поверхностной температуре может быть только тогда, когда радиусы звезд достаточно малы. Таким образом, там находятся звезды - т.н. «белые карлики».



# Диаграмма Герцшпрунга-Рассела.





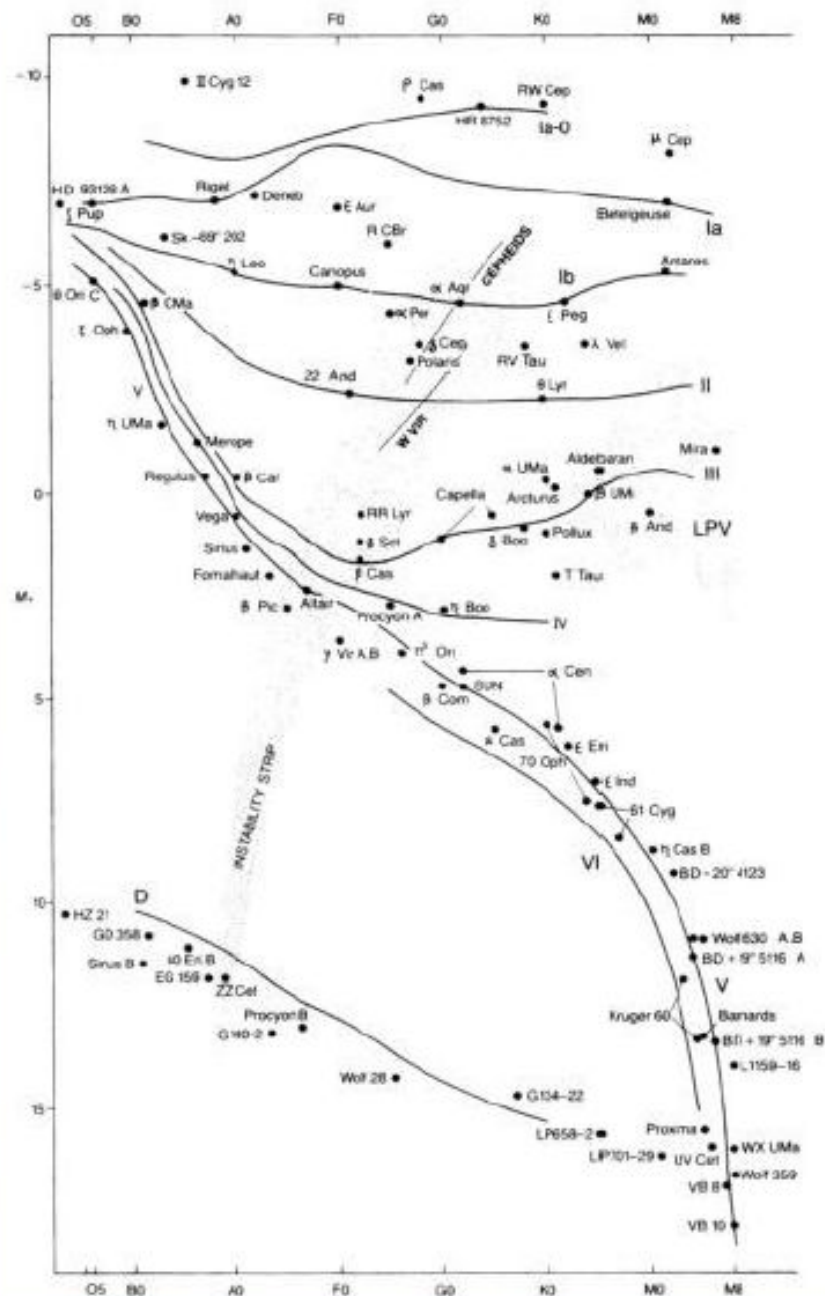
# Спектральные классы звезд

- Для спектров звезд класса **O** характерно присутствие линий ионизованного Гелия He II и многократно ионизованных атомов азота, углерода, кислорода и кремния.
- В спектрах голубовато-белых звезд класса **B** интенсивны линии нейтрального гелия, и слабоионизованных азота, углерода, кислорода и кремния. Интенсивность линий водородов усиливается. Пример – Спика Девы.
- В спектрах белых звезд класса **A** линии водорода достигают наибольшей интенсивности, тогда как у гелия ослабевают. Хорошо видны линии нейтрального кальция, нейтрального железа. Пример – Вега и Сириус.
- Для спектров желто-белых звезд класса **F** интенсивны водородные линии и многочисленные линии металлов. Пример – Процион ( $\alpha$  Малого Пса)
- Желтые звезды класса **G** (к которым относится Солнце), отличаются интенсивными линиями ионизованного кальция, многочисленными линиями металлов – железа, натрия, марганца, титана. Пример – Капелла ( $\alpha$  Возничего).
- В спектрах оранжевых звезд класса **K** много линий металлов, выделяются линии ионизованного кальция и двойная полоса железа и титана. Пример – Арктур ( $\alpha$  Возничего) и Альдебаран ( $\alpha$  Тельца)
- Красноватые звезды класса **M** выделяются линиями поглощения молекул TiO. Пример – Бетельгейзе ( $\alpha$  Ориона) и Антарес ( $\alpha$  Скорпиона).

# Диаграмма Г-Р

## Классы светимости

- Оказывается, звезды одинакового спектрального класса могут иметь разные светимости.
- В 1943 году В.В.Морганом и П.К.Кинаном были введены следующие классы светимости:
- сверхгиганты – I класс светимости;
- яркие гиганты – II класс светимости;
- гиганты – III класс светимости;
- субгиганты – IV класс светимости;
- звезды главной последовательности – V класс светимости;
- субкарлики – VI класс светимости;
- белые карлики – VII класс светимости.
- Класс светимости Моргана-Киннана (МК) принято указывать после спектрального класса звезды (G2V).

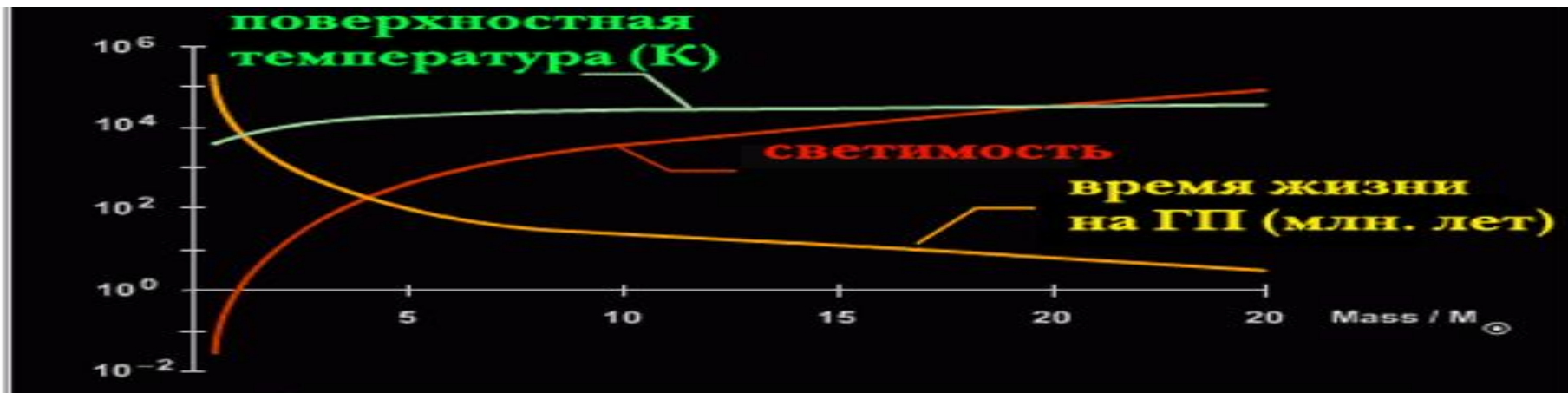




# Строение звёзд.

- Строение звёзд зависит от массы. Если звезда в несколько раз массивнее Солнца, то глубоко в её недрах происходит интенсивное перемешивание вещества (конвекция), подобно кипящей воде. Такую область называют конвективным ядром звезды. Чем больше звезда, тем большую её часть составляет конвективное ядро, в котором находится источник энергии. По мере превращения водорода в гелий молекулярная масса вещества ядра возрастает, а его объём уменьшается. Внешние же области звезды при этом расширяются, она увеличивается в размерах, а температура её поверхности падает. Горячая звезда – голубой гигант – постепенно превращается в красный гигант.
- Срок жизни звезды напрямую зависит от её массы. Звёзды с массой в сто раз больше солнечной живут всего несколько миллионов лет. Если масса составляет 2-3 солнечных срок увеличивается до миллиарда лет. В звёздах-карликах, масса которых меньше массы Солнца, конвективное ядро отсутствует. Водород в них горит, превращаясь в гелий, в центральной области. Когда он сгорает полностью, звёзды медленно сжимаются и за счёт энергии сжатия могут существовать ещё очень длительное время.
- Солнце и подобные ему звёзды представляют собой промежуточный случай. У Солнца имеется маленькое конвективное ядро, но не очень чётко отделённое от остальной части. Ядерные реакции горения водорода протекают как в ядре, так и в его окрестностях. Возраст Солнца примерно 4.5-5 млрд. лет, и за это время оно почти не изменило своего размера и яркости. После исчерпания водорода Солнце может постепенно вырасти в красный гигант, сбросить чрезмерно расширившуюся оболочку и закончить свою жизнь, превратившись в белый карлик. Но это случится не раньше, чем через 5 млрд. лет.
- У звезд нижней части главной последовательности (красные карлики) термоядерные реакции протекают в центральной части ядра. Перенос энергии к поверхности звезды осуществляется конвекцией.

Фаза эволюции, соответствующая главной последовательности, связана с выделением энергии в процессе превращения водорода в гелий, и поэтому положение звезды на диаграмме ГР определяется её массой.



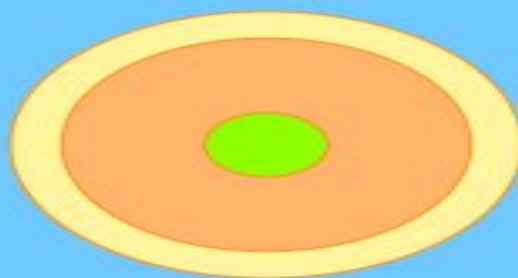
Внутренняя структура звезд главной последовательности



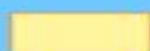
звезда класса O  
(60 солн. масс)



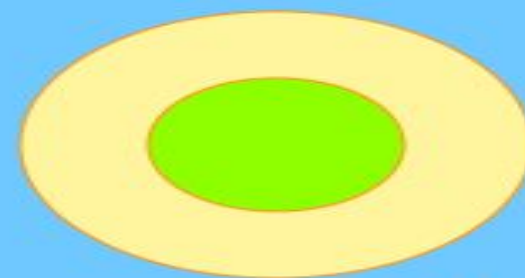
лучистая зона



звезда класса G  
(1 солн. масса)



конвект. зона



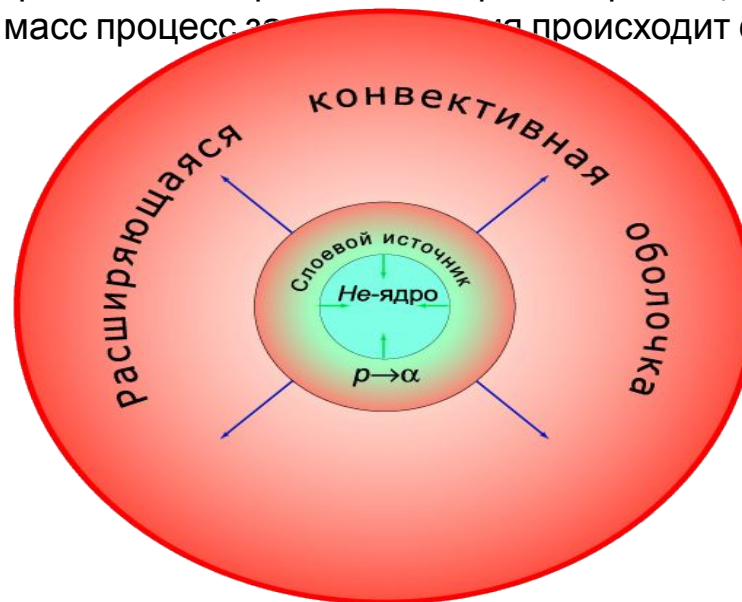
звезда класса M  
(0.1 солн. масса)



ядерное горение

# Красные гиганты.

- Красные гиганты - это звезды, в ядре которых уже закончилось горение водорода. Их ядро состоит из гелия, но так как температура ядерного горения гелия больше, чем температура горения водорода, то гелий не может загореться. Поскольку больше нет выделения энергии в ядре, оно перестает находиться в состоянии гидростатического равновесия и начинает быстро сжиматься и нагреваться под действием сил гравитации. Так как во время сжатия температура ядра поднимается, то оно поджигает водород в окружающем ядро тонком слое (начало горения слоевого источника)
- Звезды с  $0.5M_{sun} < M_* < 8M_{sun}$  доживут до стадии красных гигантов, в то время как звезды с массами меньшими чем  $0.5M_{sun}$  никогда не дойдут до стадии горения гелия в ядре, так как у них никогда не будет достаточной для этого центральной температуры и плотности. Для звезд с массами меньше  $3M_{sun}$  загорание гелия происходит взрывообразно (так называемая гелиевая вспышка). Для больших масс процесс загорания гелия происходит спокойно.



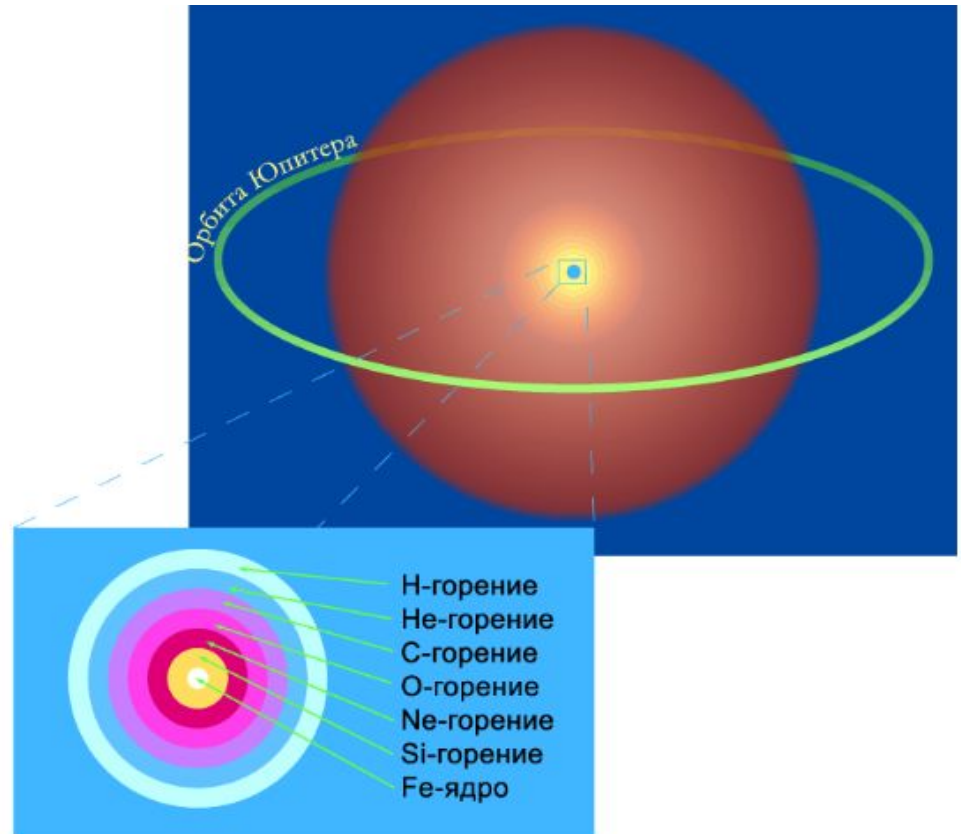
# Красные и жёлтые сверхгиганты.

- Когда в ядре звезды выгорает весь гелий, звезда переходит в стадию сверхгигантов и становится красным или желтым сверхгигантом. Произойдёт горение элементов в слоевых источниках вокруг ядра. В сложном, далеко проэволюционировавшем сверхгиганте будет инертное железное ядро и последовательные горящие оболочки из кремния, неона, кислорода, углерода, гелия и водорода

## Скорость сжигания

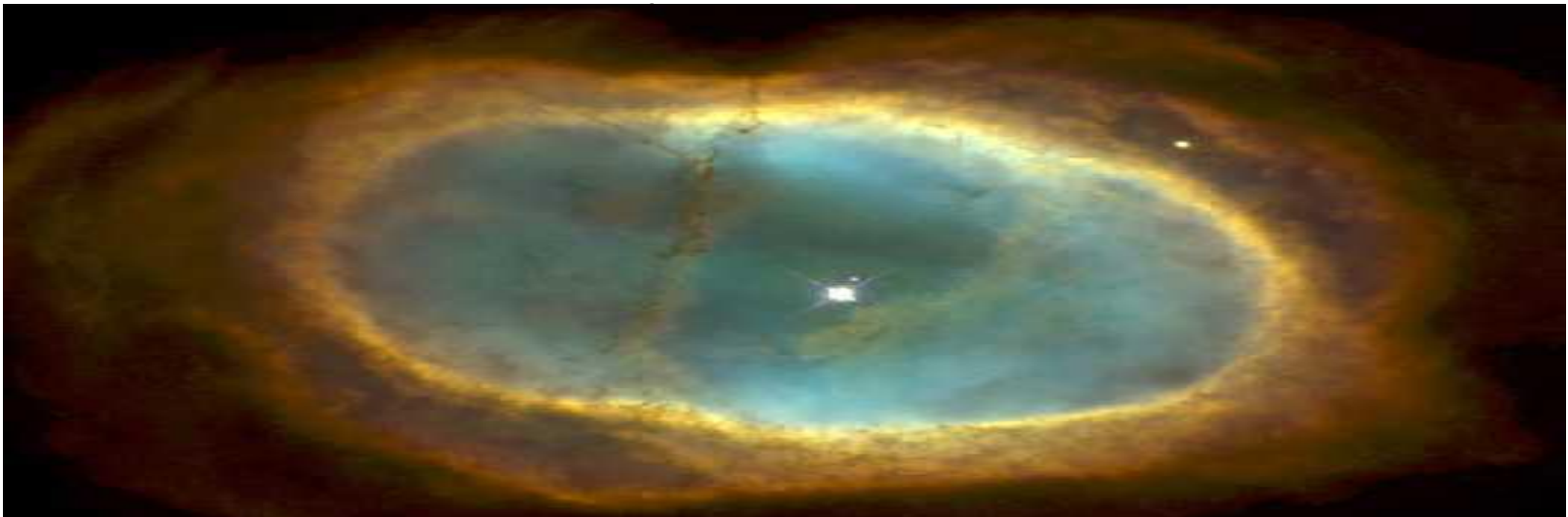
### элементов звездой в $15 M_{\text{sun}}$

горение водорода	10 млн. лет
горение гелия	1 млн. лет
горение углерода	300 лет
горение кислорода	200 дней
горение кремния	2 дня

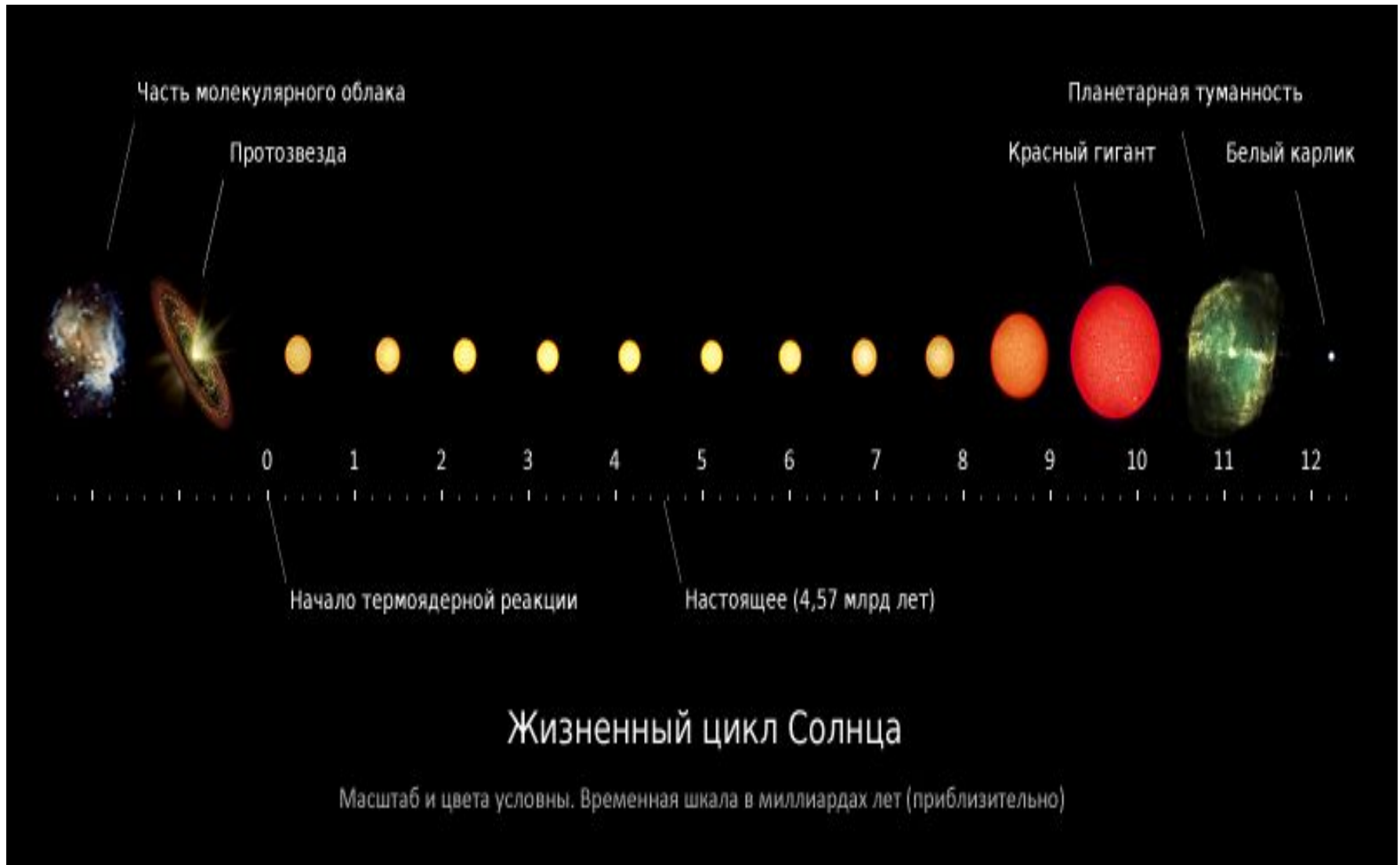


# Белые карлики.

- Белые карлики являются наиболее известными и важнейшими представителями "семейства карликов", называемых часто так только из-за своего размера. Однако с точки зрения эволюции к ним следует относить звезды на конечной стадии эволюции, то есть в условиях, когда ядерные реакции уже не могут происходить и не могут вести (даже в самом отдаленном будущем) к качественным изменениям звездной структуры.
- Сброшенная оболочка красного гиганта, который превратился в белый карлик, образует планетарную туманность. Подобная судьба ожидает и Солнце.
- В пределе, после десятков миллиардов лет остывания любой белый карлик должен превратиться в так называемый чёрный карлик (не излучающий видимый свет). Хотя пока таких объектов во Вселенной не наблюдается (по некоторым подсчетам минимум  $10^{15}$  лет требуется для остывания белого карлика до температуры 5 K), так как время, прошедшее со времени образования первых звёзд во Вселенной, составляет (по современным представлениям) около 13



# Судьба Солнца.



# Нейтронные звёзды.

- **Нейтронная звезда** — космическое тело, являющееся одним из возможных результатов эволюции звёзд, состоящее, в основном, из нейтронной сердцевины, покрытой сравнительно тонкой (~1 км) корой вещества в виде тяжёлых атомных ядер и электронов. Массы нейтронных звёзд сравнимы с массой Солнца, но типичный радиус нейтронной звезды составляет лишь 10—20 километров. Поэтому средняя плотность вещества такого объекта в несколько раз превышает плотность атомного ядра (которая для тяжёлых ядер составляет в среднем  $2,8 \cdot 10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>). Дальнейшему гравитационному сжатию нейтронной звезды препятствует давление ядерной материи, возникающее за счёт взаимодействия



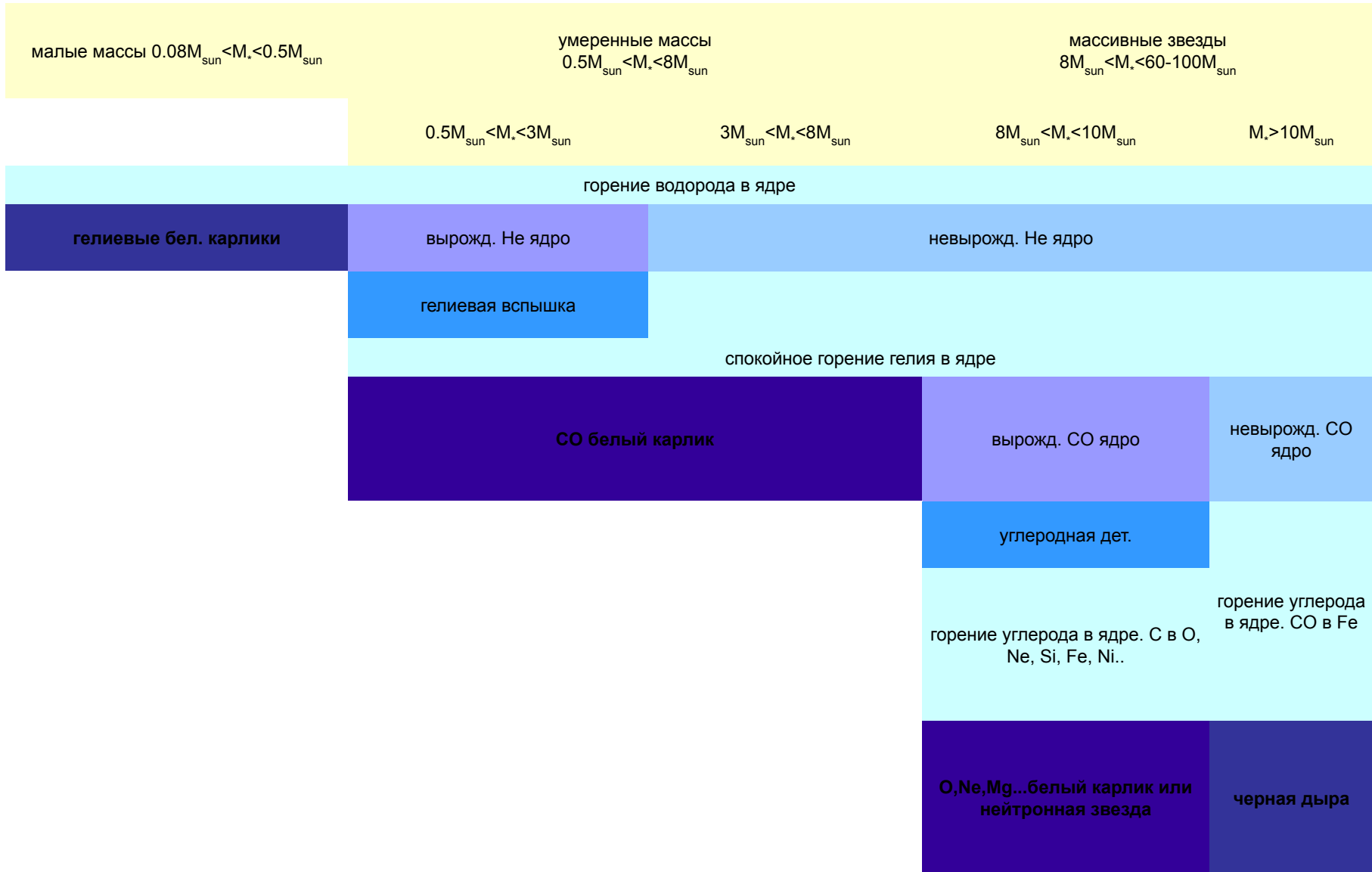
**Чёрная дыра** (рисунок художника).

**Черные дыры** – настолько массивные тела, что даже свет не может вырваться из под их гравитационного поля (эту границу называют **горизонтом событий**).





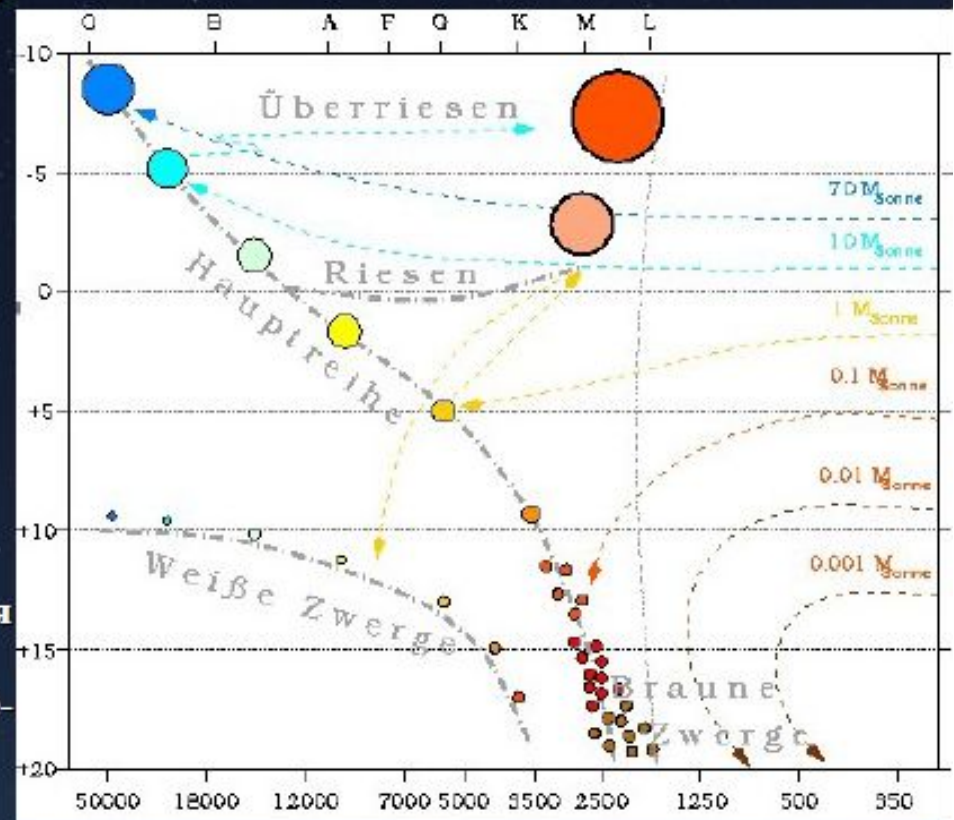
# Схема эволюции звёзд (таблица).



# Диаграмма Г-Р

## Эволюция звезд

- Вообще, по диаграмме Герцшпрунга—Рассела можно проследить весь жизненный путь звезды.
- Сначала звезда главной последовательности (подобная Солнцу) конденсируется из газо-пылевого облака (см. Гипотеза газопылевого облака) и уплотняется до создания давлений и температур, необходимых для разжигания первичной реакции термоядерного синтеза, и, соответственно появляется где-то в основной последовательности диаграммы ГР.



- Пока звезда горит (запасы водорода не исчерпаны), она так и остается (как сейчас Солнце) на своем месте в основной последовательности, практически не смещаясь.
- После того, как запасы водорода исчерпаны, звезда сначала перегревается и раздувается до размеров красного гиганта или сверхгиганта, отправляясь в правый верхний угол диаграммы, а затем остывает и сжимается до размеров белого карлика, оказываясь слева внизу.