

Урок 25

Тема: Связь между физическими характеристиками звезд

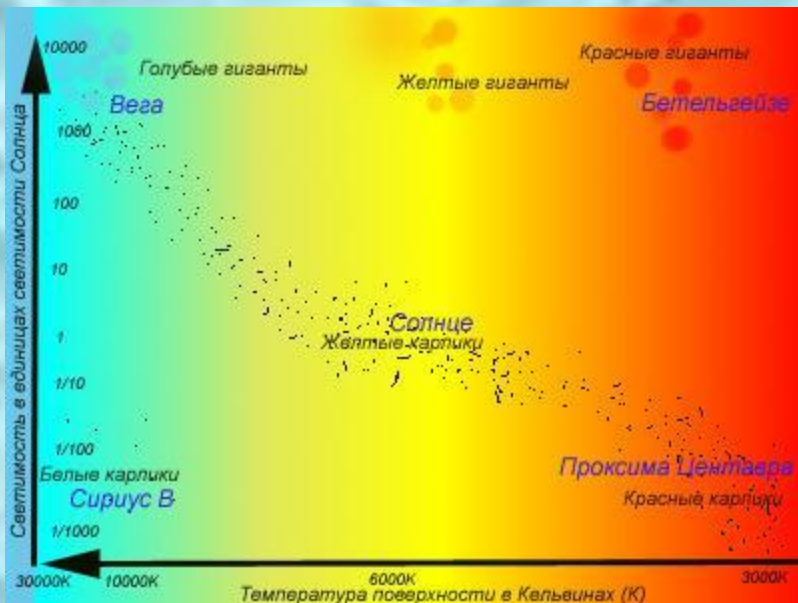
На фотографии видны звездные облака из диска нашей Галактики Млечный Путь. Фото сделано с длинной экспозицией. Слева видны городские огни Феникса в Аризоне (США), похожие на закат.

Диаграмма Герцшпрунга - Расселла



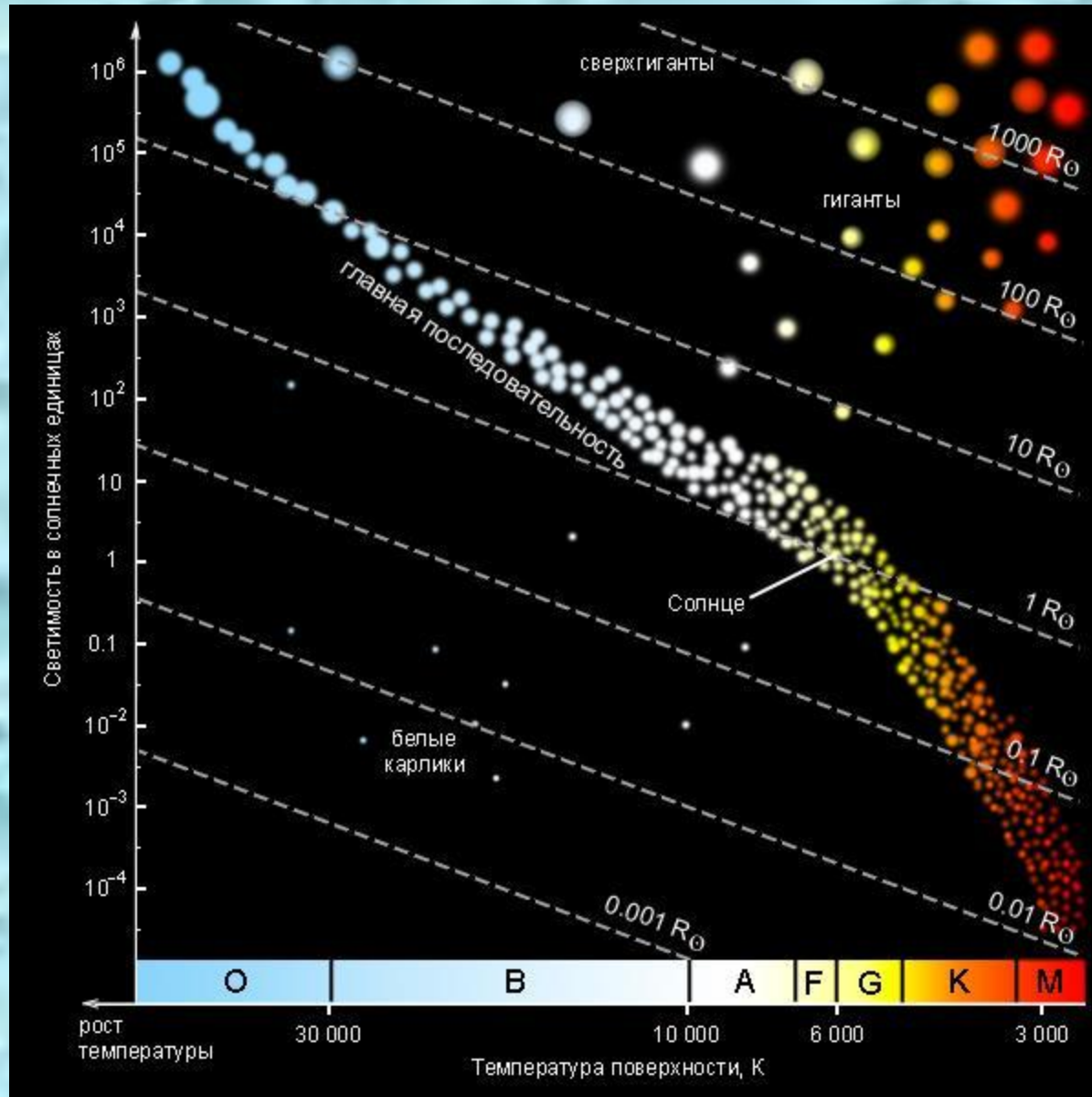
В 1911г Эйнар Герцшпрунг (1873-1967, Голландия) установил зависимость светимости звезд с их спектральными классами, сопоставляя данные наблюдений.

В 1913г Генри Норрис Рассел (1877-1957, США) также установил данную зависимость и представил ее графически.



Зависимость «спектр-светимость» носит название диаграммы Герцшпрунга-Рассела.

Диаграмма «спектр-светимость»



Главная последовательность:

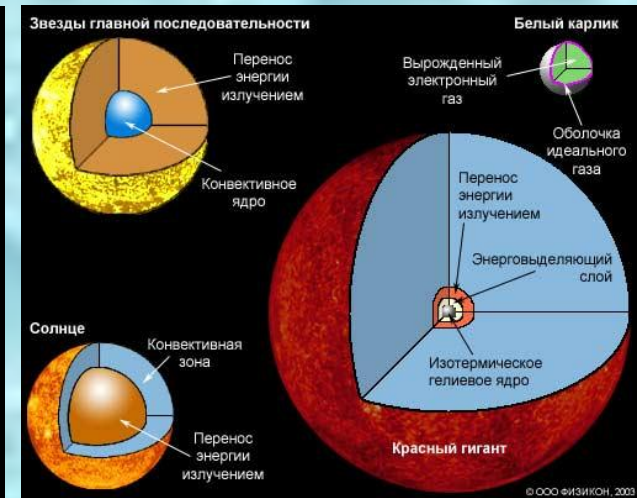
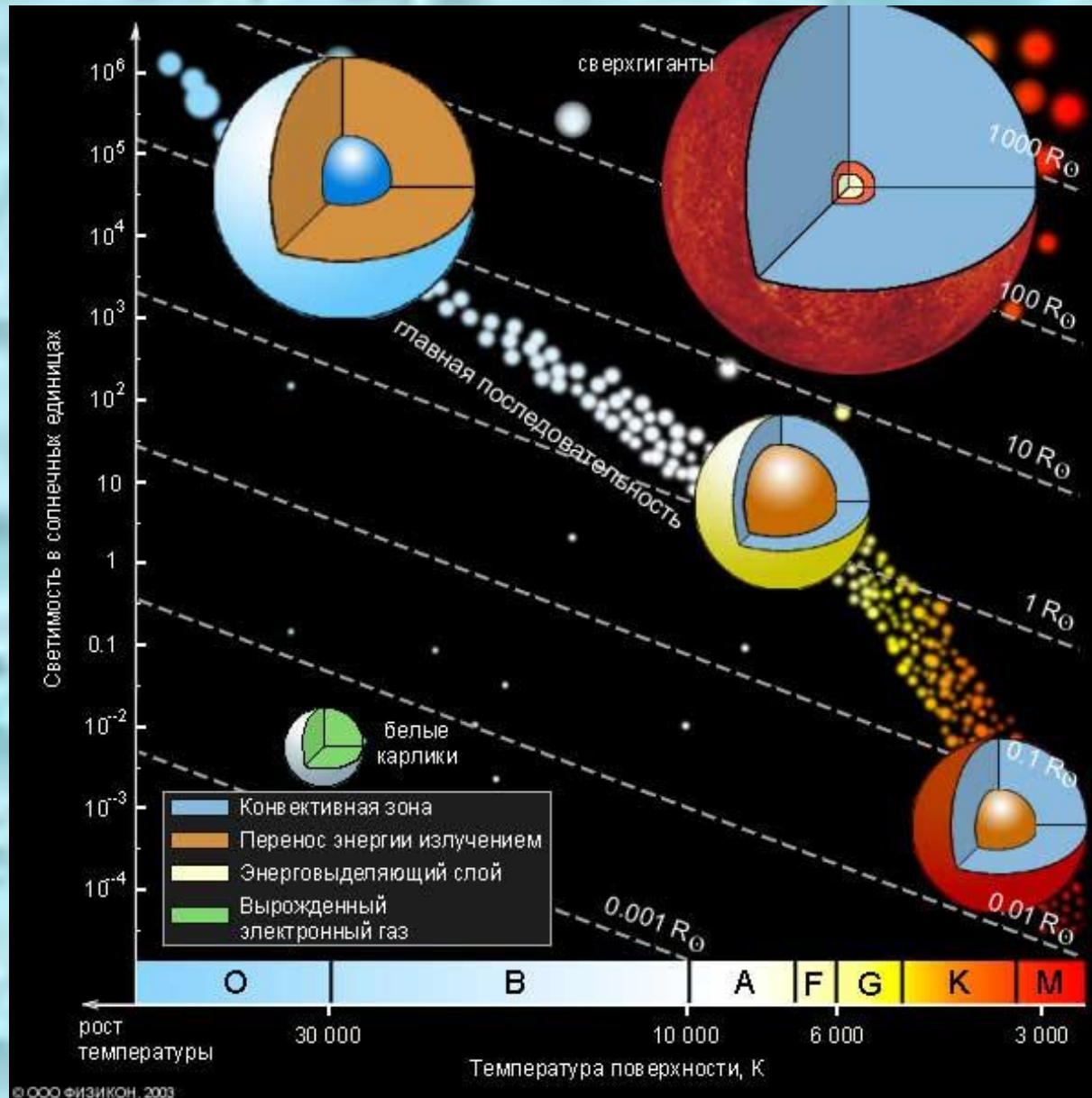
- это последовательность звезд разной массы. Самые большие (голубые гиганты) расположены в верхней части, а самые маленькие звезды – карлики – в нижней части главной последовательности
- это нормальные звезды похожие на Солнце в которых водород сгорает в термоядерной реакции.

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 ~ 50 солнечных, конец правой — красными карликами с массами ~ 0.08 солнечных.

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

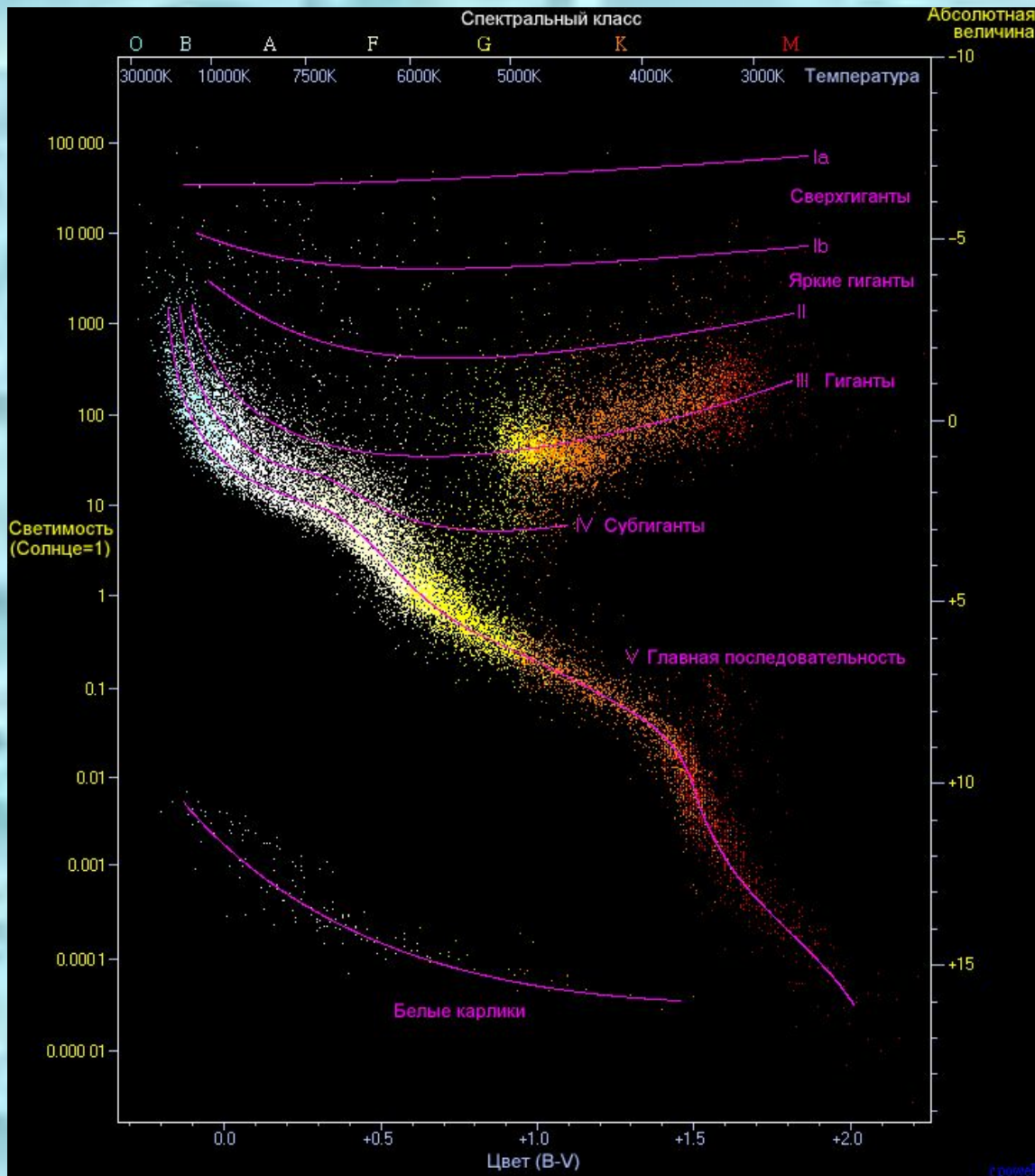
Диаграмма показывает зависимость между абсолютной звёздной величиной, светимостью, спектральным классом и температурой поверхности звезды.

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.

Светимость и размер звезд



По распределению звезд в соответствии с их светимостью и температурой на диаграмме Герцшпрунга–Рассела выделены следующие классы светимости:

сверхгиганты – I класс;

яркие гиганты – II класс;

гиганты – III класс;

субгиганты – IV класс;

главной последовательности – V класс;

субкарлики – VI класс;

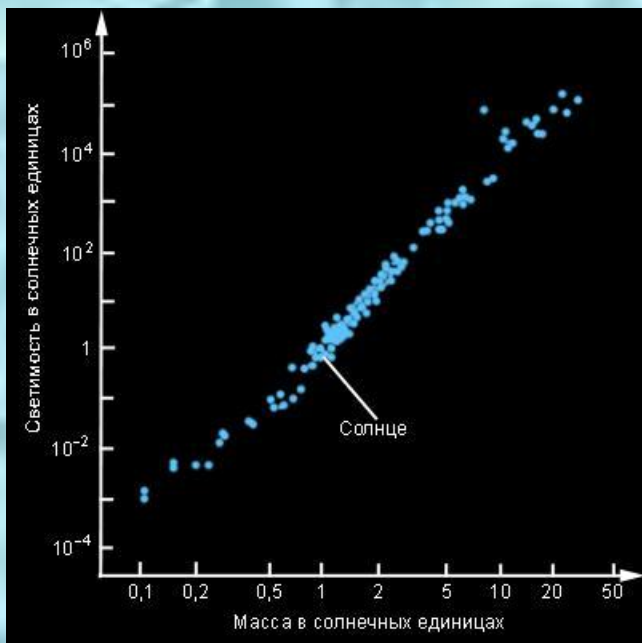
белые карлики – VII класс.

Солнце – звезда G2V.

Расстояние до звезды r , абсолютная звездная величина M и видимая звездная величина m связаны простой формулой:

$$M = m + 5 - 5 \lg r$$

Зависимость «масса-светимость» и эволюция



В 1911–24 гг астрономы Г. Рассел, Э. Герцшпрунг и А. 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

$< 0,05 M_{\odot}$ - 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.

Звезда на главной последовательности находится пока внутри происходит термоядерная реакция, что зависит от массы и химического состава. Время жизни на главной последовательности самое долгое в эволюции. Для звезд разной массы:

$M=0,8M_{\odot}$ $\tau=20$ млрд.лет

$M=M_{\odot}$ $\tau=10$ млрд.лет

$M=1,5M_{\odot}$ $\tau=1,5$ млрд.лет

$M=2,0M_{\odot}$ $\tau=0,8$ млрд.лет

$M=5,0M_{\odot}$ $\tau=78$ млн.лет

$M=15M_{\odot}$ $\tau=11$ млн.лет

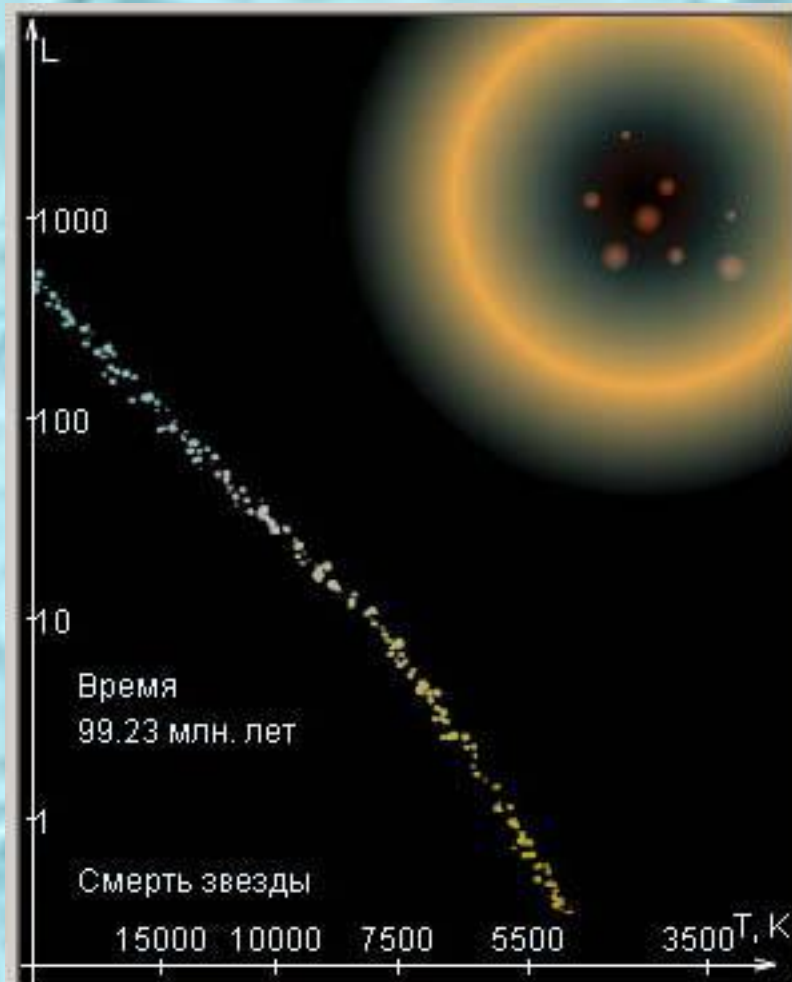
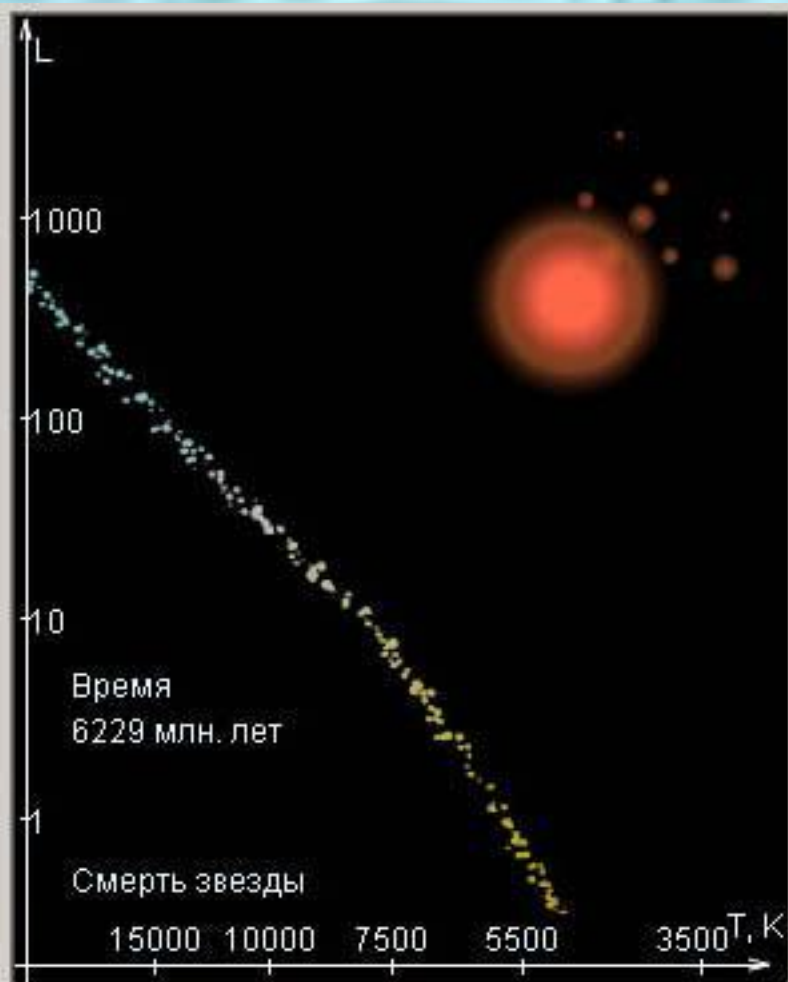
$M=20M_{\odot}$ $\tau=10$ млн.лет

Эволюция звезд типа Солнца

Стадии эволюции звезды после ухода с главной последовательности тоже короткие.

Типичные звезды, как Солнце, становятся красными гигантами,
очень массивные – красными сверхгигантами.

Звезда быстро увеличивается в размере и ее светимость возрастает, что и отражено на диаграмме.



ТЕМПЕРАТУРА

50,000 °C 10,000 °C 5,000 °C 3,500 °C 2,000 °C

БОЛЕЕ
ЯРКНЕ
ЗВЁЗДЫ

Красный гигант с
возрастом
10 млрд. лет

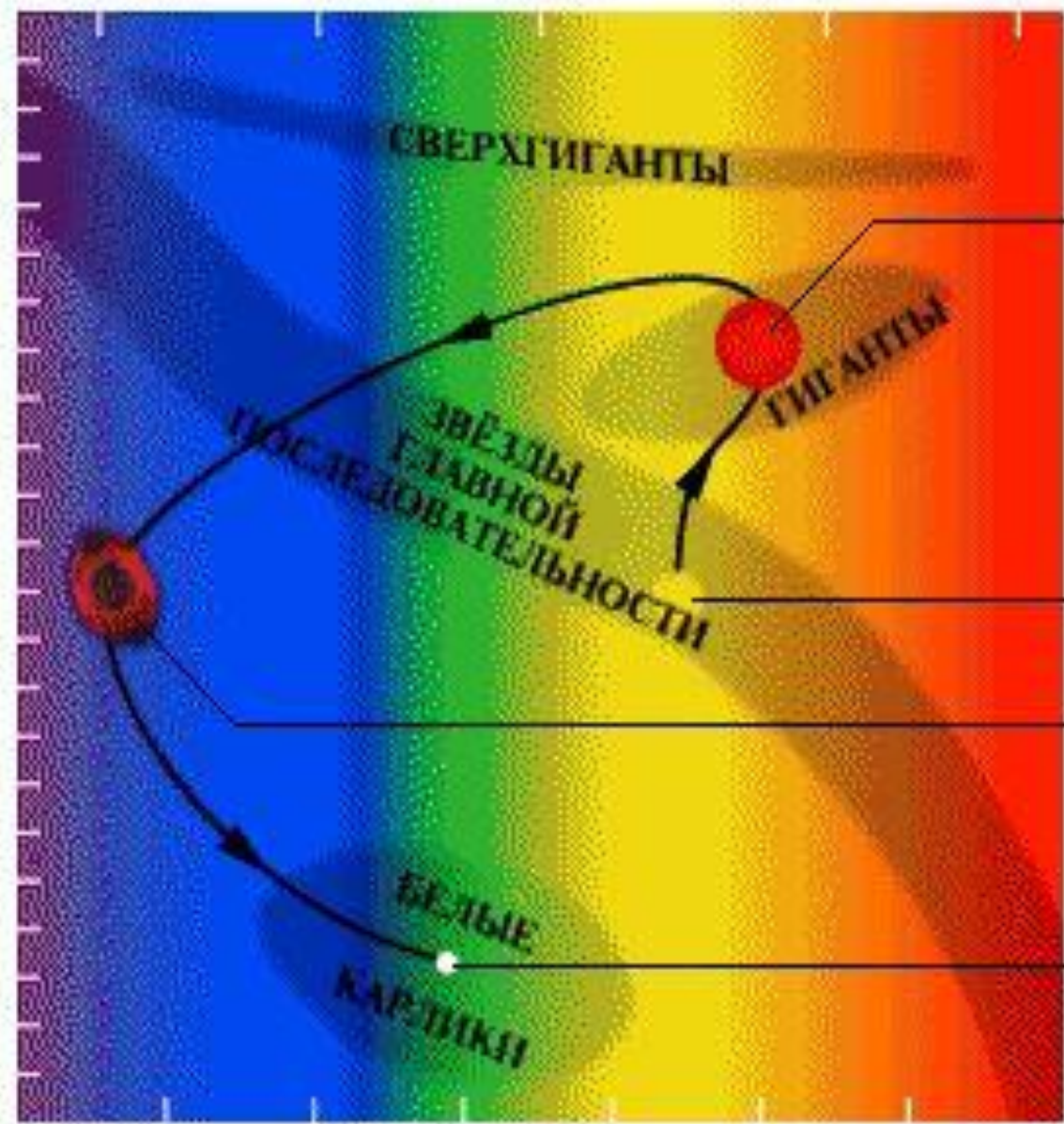
АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА

-5
0
+5
+10
+15

Солнце сейчас,
звезда главной
последовательности с возра-
стом 5 млрд. лет

Планетарная
туманность

Умиравший
белый карлик



СВЕРХГИГАНТЫ

ГИГАНТЫ

ЗВЁЗДЫ
ГЛАВНОЙ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

БЕЛЫЕ
КАРЛИКИ

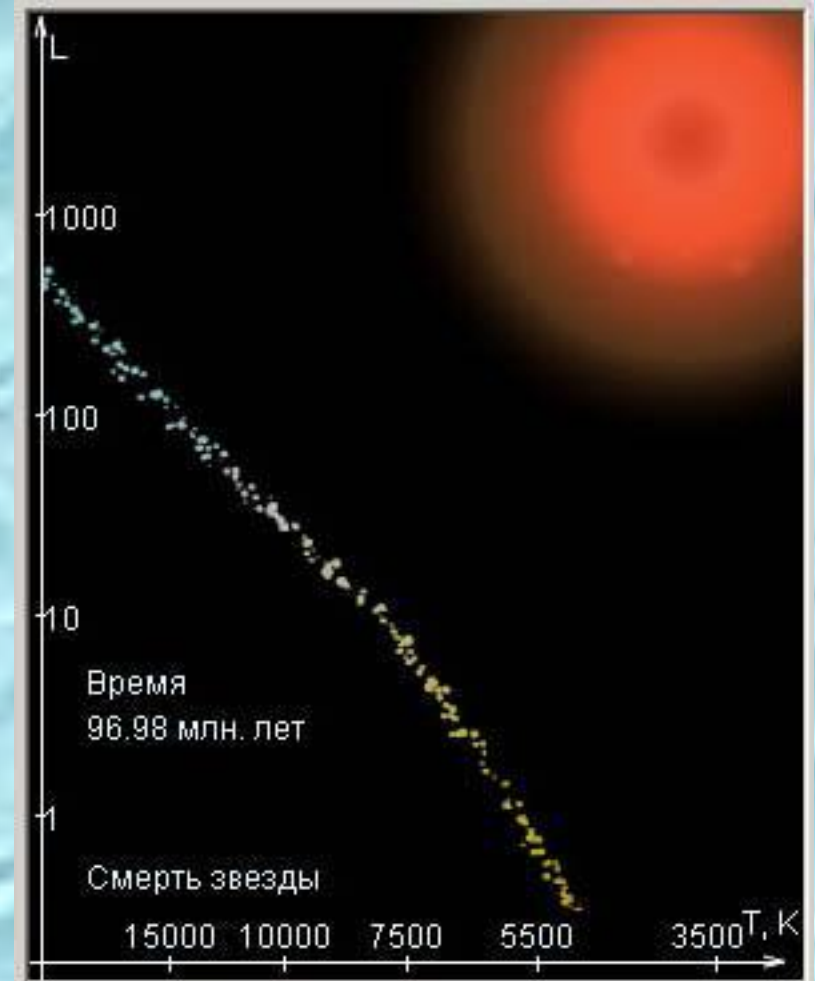
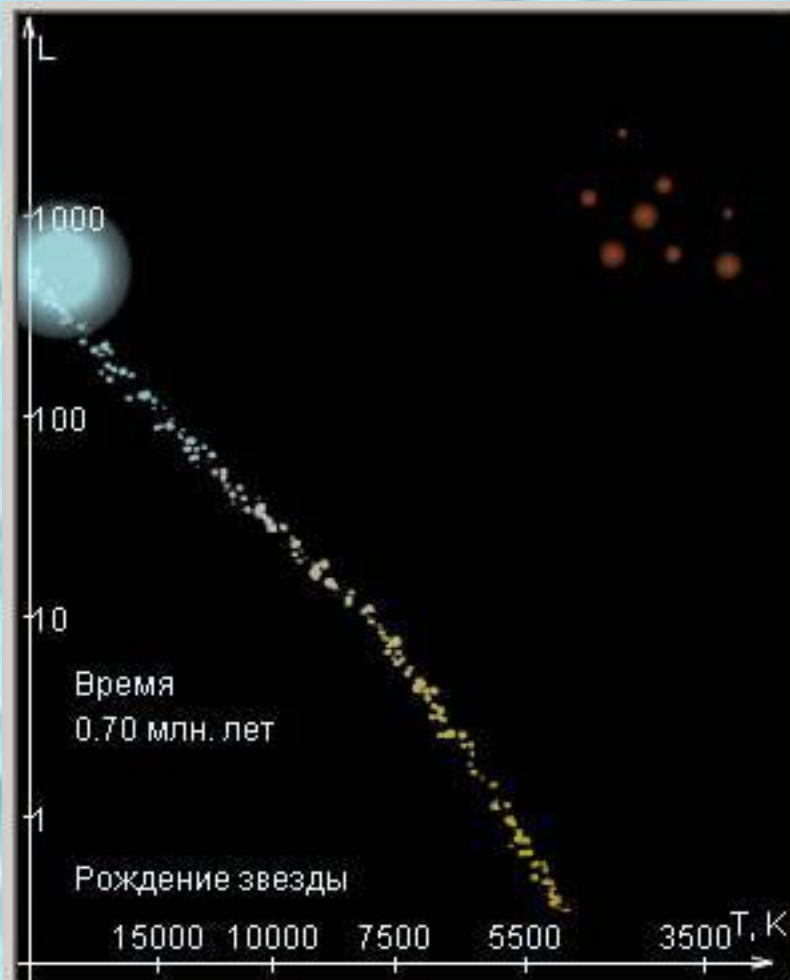
O0 B0 A0 F0 G0 K0 M0

БОЛЕЕ
ТУСКЛЫЕ
ЗВЁЗДЫ

СПЕКТРАЛЬНЫЙ ТИП (ЦВЕТ)

Эволюция звезд большой массы

Положение звезды на диаграмме Герцшпрунга-Рассела изменяется в зависимости от возраста звезды. Звезды большой массы (сверхгиганты) быстро расходуют свою энергию, эволюционируя за сотни миллионов лет. Поэтому голубые сверхгиганты являются молодыми звездами.



Эволюция красных карликов

Красные карлики имеют малую массу, их эволюция продолжается до сотни миллиардов лет, поэтому они практически не успели сойти с главной последовательности.

