

# Урок 25

**Тема: Связь между физическими характеристиками звезд**

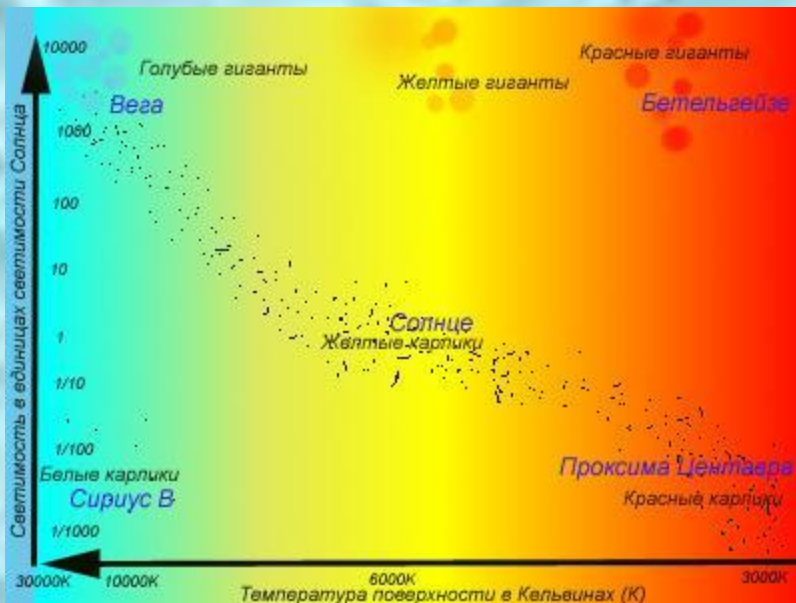
На фотографии видны звездные облака из диска нашей Галактики Млечный Путь. Фото сделано с длинной экспозицией. Слева видны городские огни Феникса в Аризоне (США), похожие на закат.

# Диаграмма Герцшпрунга - Расселла



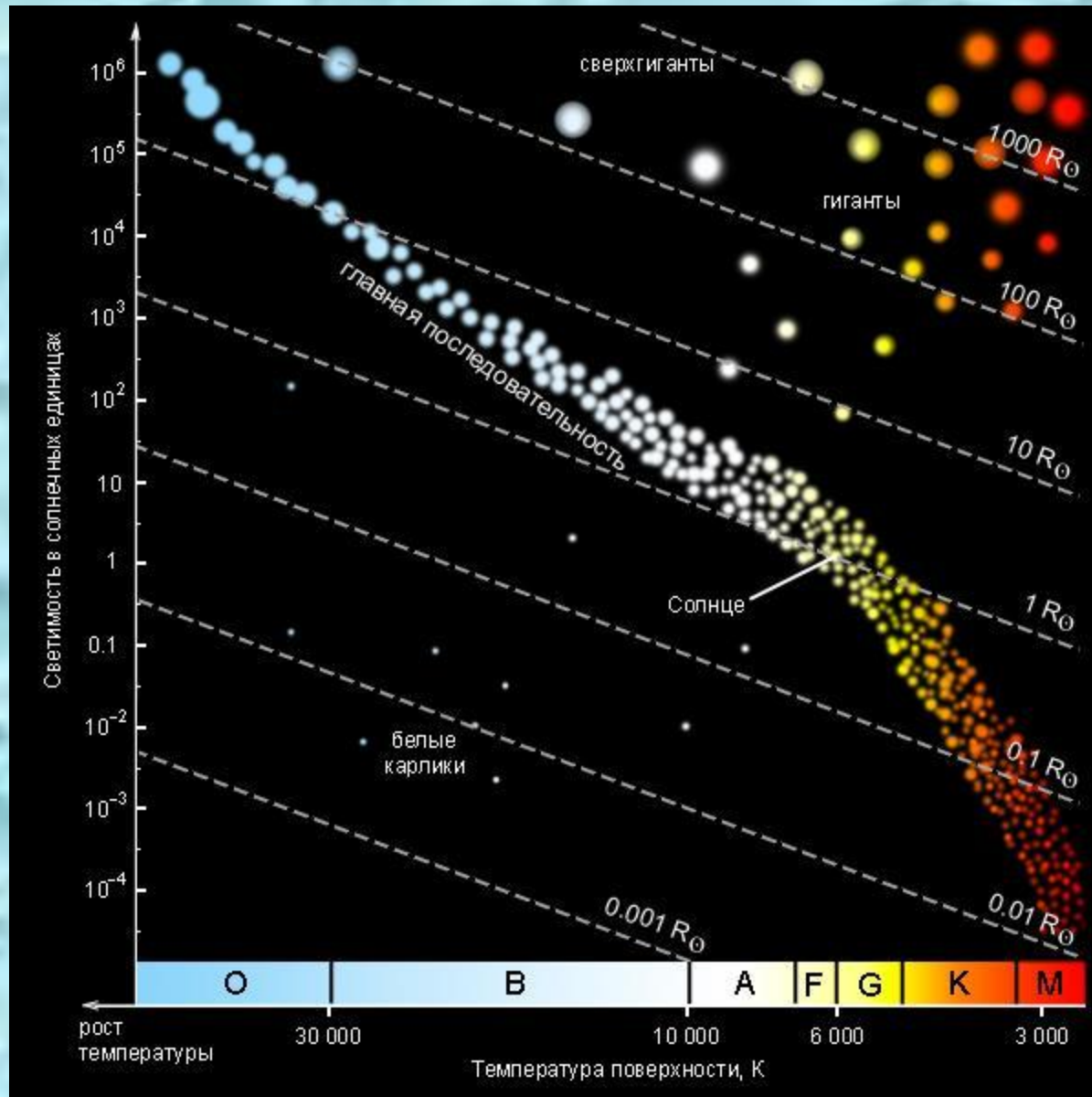
В 1911г Эйнар Герцшпрунг (1873-1967, Голландия) установил зависимость светимости звезд с их спектральными классами, сопоставляя данные наблюдений.

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:

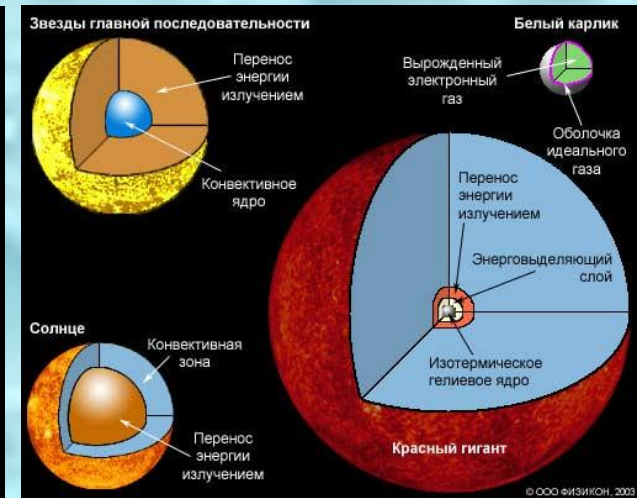
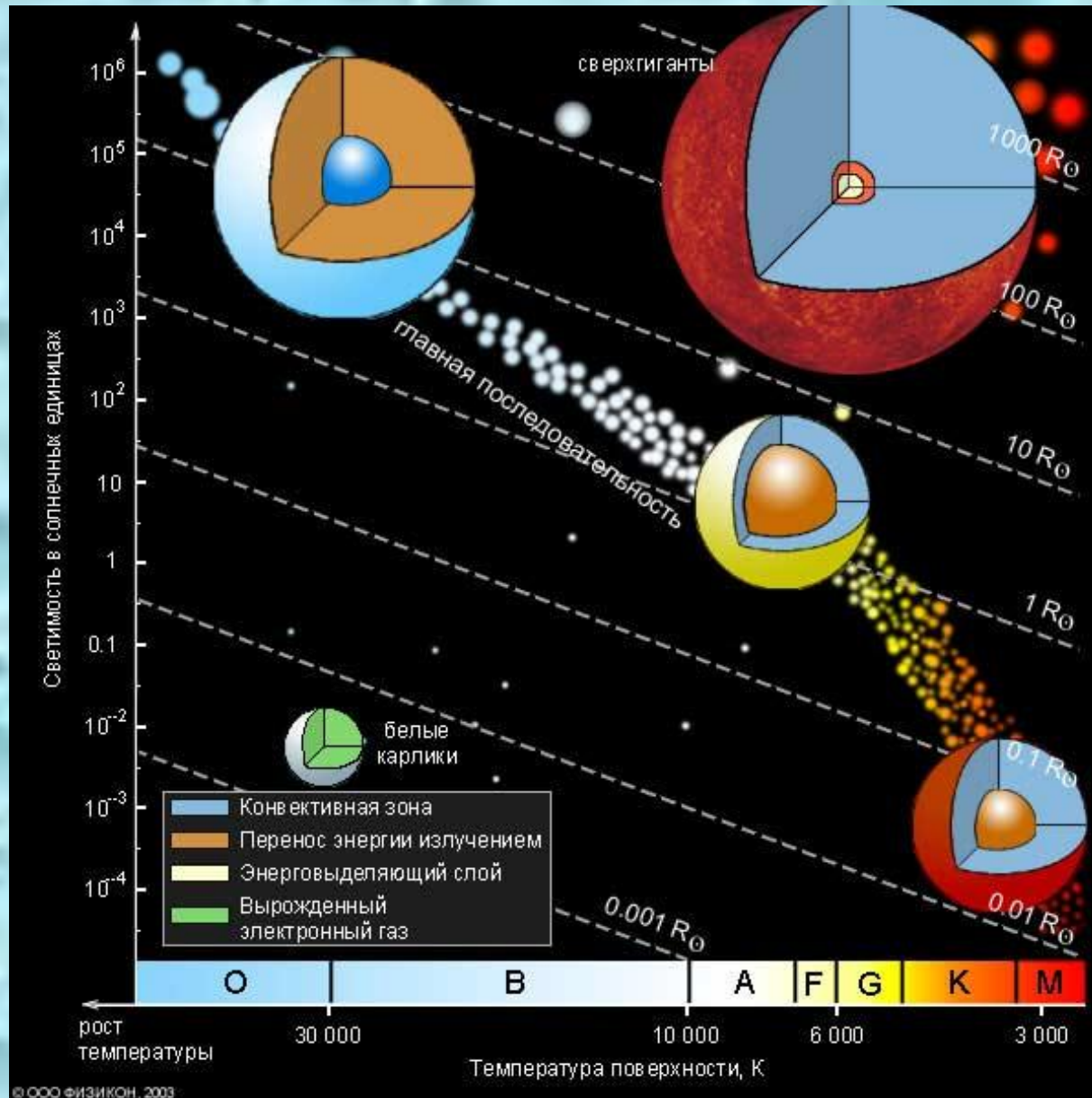
- это последовательность звезд разной массы. Самые большие (голубые гиганты) расположены в верхней части, а самые маленькие звезды – карлики – в нижней части главной последовательности
- это нормальные звезды похожие на Солнце в которых водород сгорает в термоядерной реакции.

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  $\sim 50$  солнечных, конец правой — красными карликами с массами  $\sim 0.08$  солнечных.

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

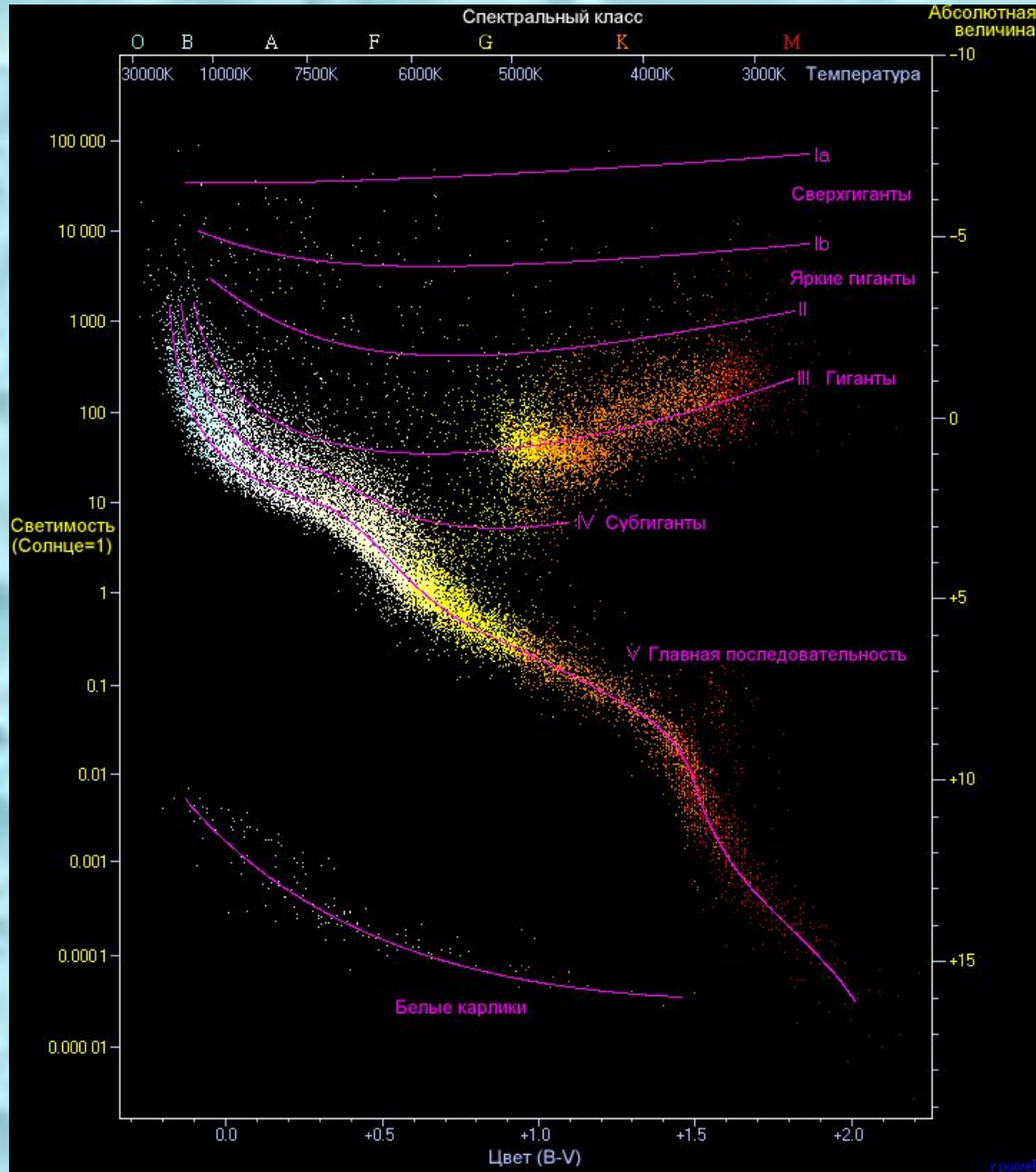
**Диаграмма показывает зависимость между абсолютной звёздной величиной, светимостью, спектральным классом и температурой поверхности звезды.**

# 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;

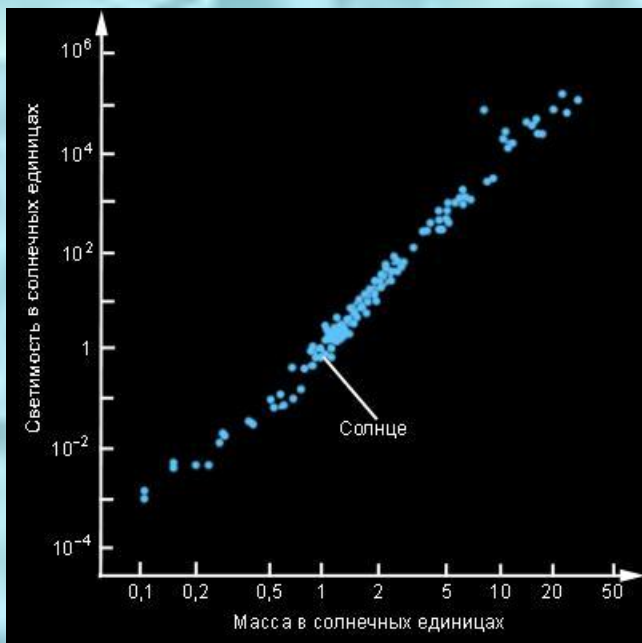
белые карлики – VII класс.

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**

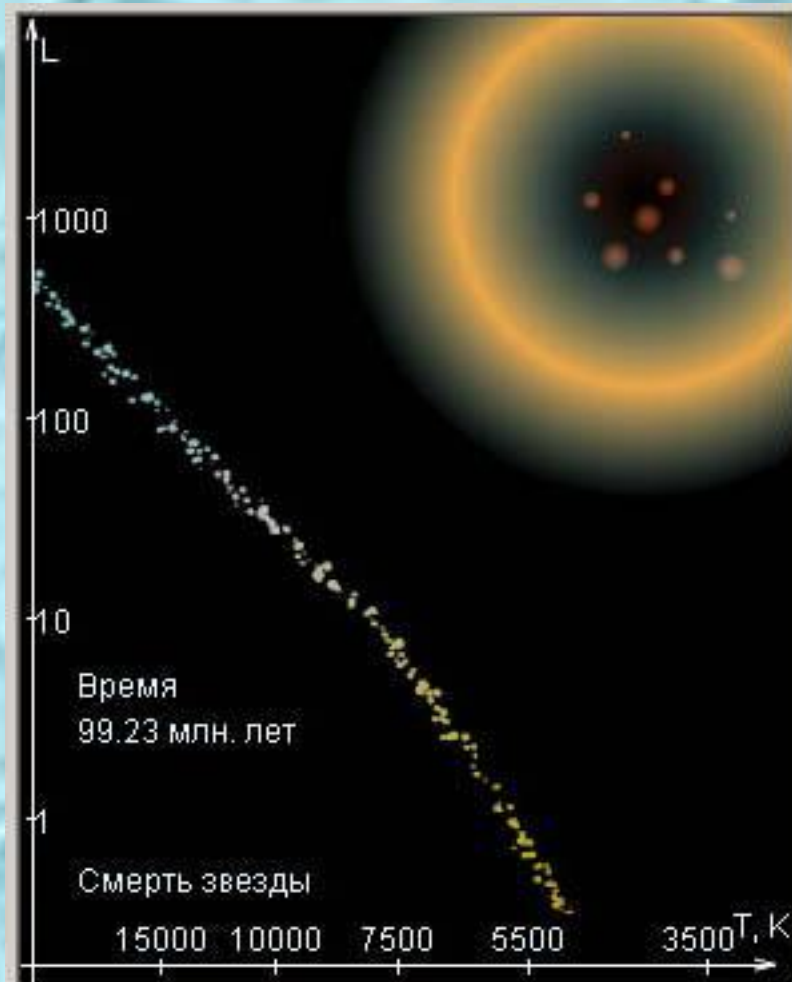
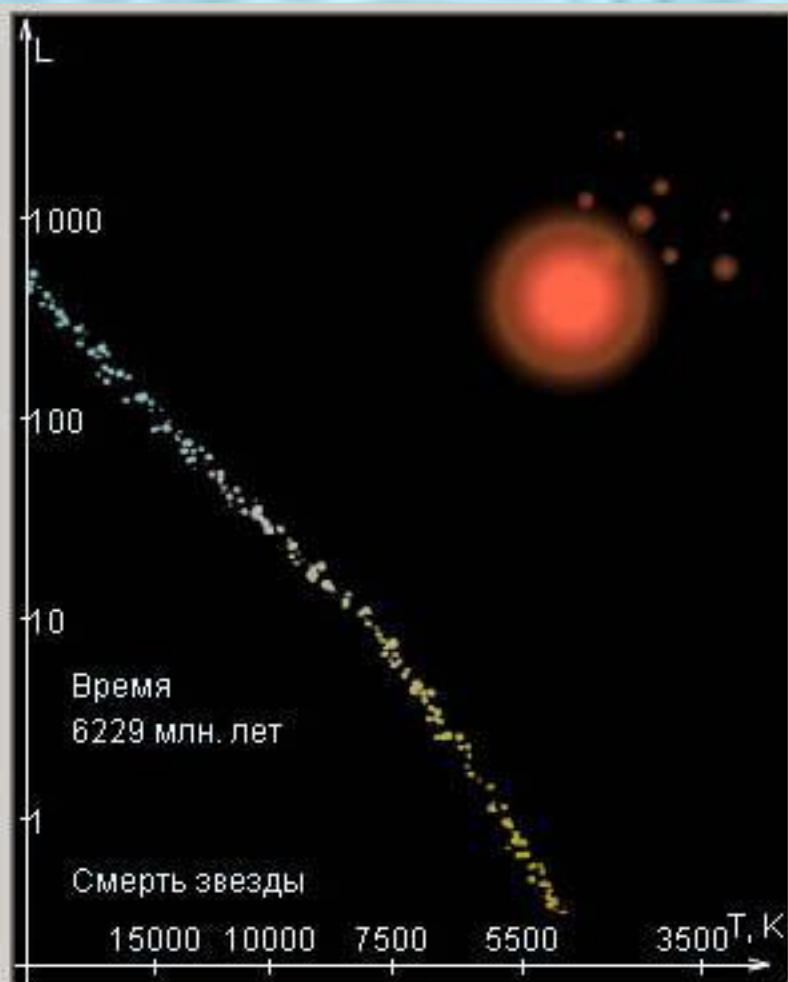
**$M=20M_{\odot}$   $\tau=10$  млн.лет**

# 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

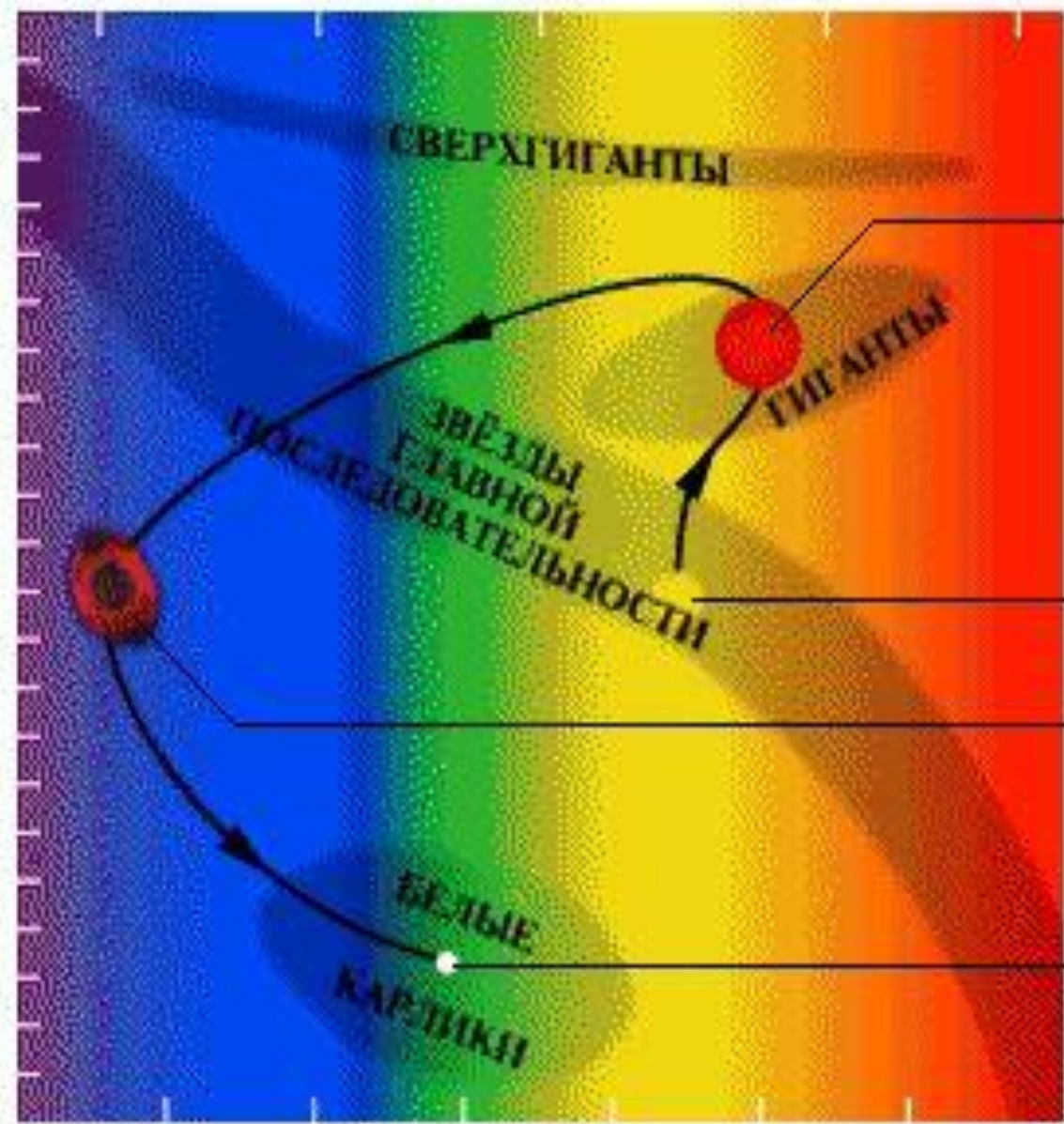
50,000 °C    10,000 °C    5,000 °C    3,500 °C    2,000 °C

БОЛЕЕ  
ЯРКИЕ  
ЗВЁЗДЫ

АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА

-5  
0  
+5  
+10  
+15

БОЛЕЕ  
ТУСКЛЫЕ  
ЗВЁЗДЫ



Красный гигант с  
возрастом  
10 млрд. лет

Солнце сейчас,  
звезда главной  
последовательности с возрас-  
том 5 млрд. лет

Планетарная  
туманность

Умирающий  
белый карлик

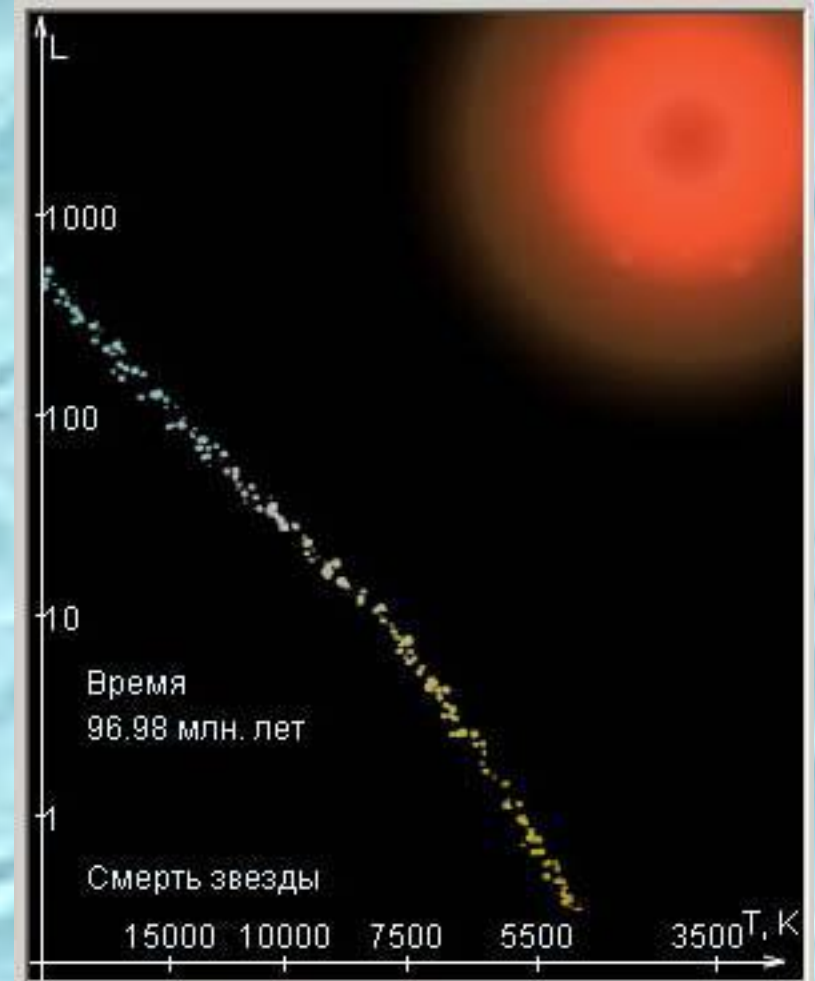
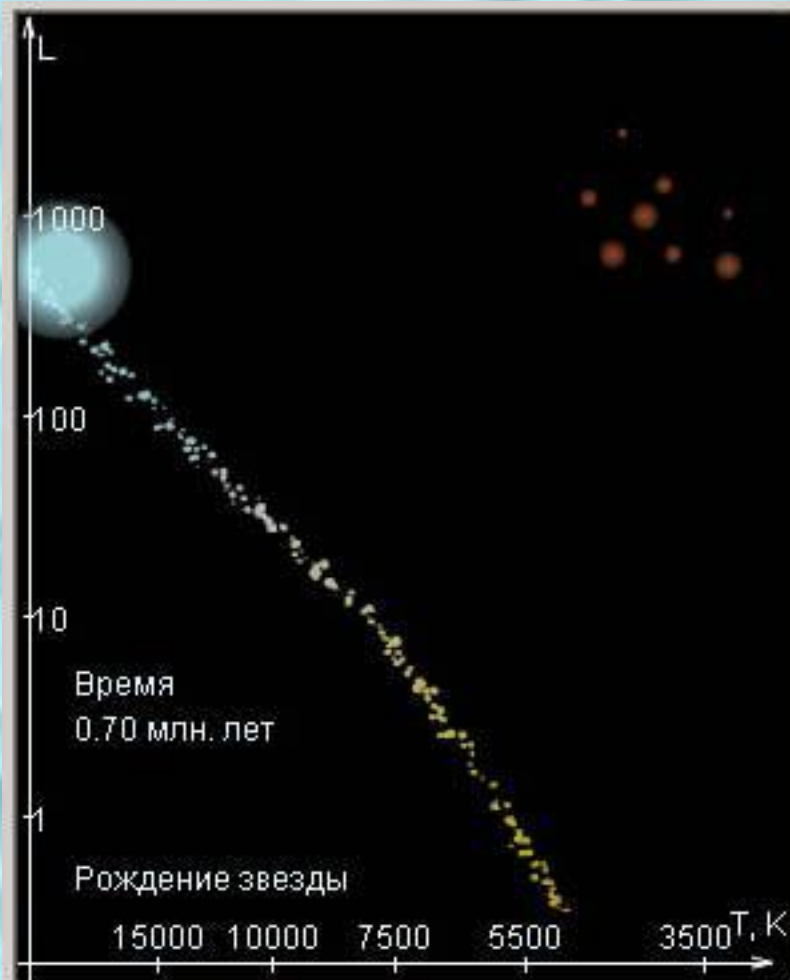
ОО    BO    AO    FO    GO    KO    MO

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.

