

# Спектры, цвет и температура звёзд

# Повторяем! Характеристики излучения

**Потоком** (мощностью) **излучения**

называется количество энергии,  
переносимой ЭМ волнами,  
за единицу времени со всей площади  
тела

$$\Phi = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad [\Phi] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1$$

мощность, которую указывают на лампе  
или нагревателе

# Энергетической светимостью

называется величина, равная мощности теплового излучения с единицы площади тела.

$$R = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$$

$$[R] = 1 \text{ Вт/м}^2$$

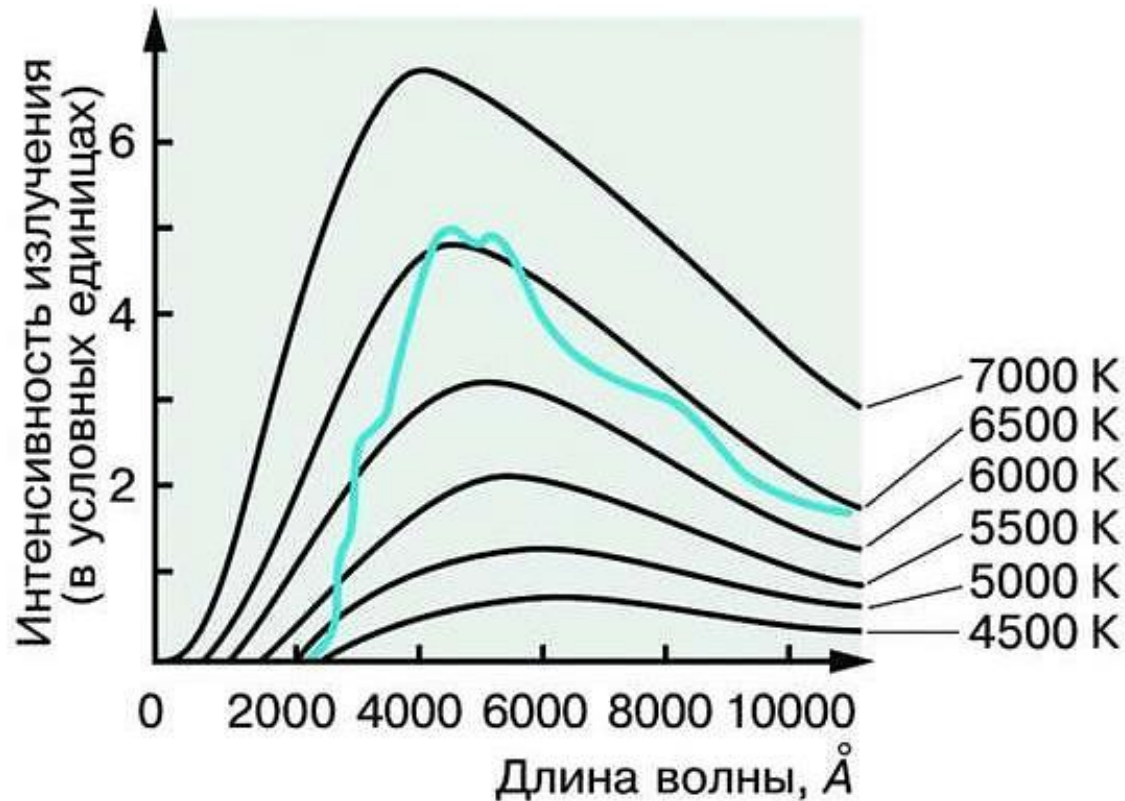
Эти величины учитывают энергию, переносимую волнами всех частот (длин волн)

**Спектры** – распределение энергии по частотам (по длинам волн)

## Цвет любого нагретого тела, в т.ч. звезды, зависит от его температуры.

Более полное представление об этой зависимости дает изучение звездных спектров. Для большинства звезд это спектры поглощения, в которых на фоне непрерывного спектра наблюдаются темные линии.

Температуру наружных слоев звезды, от которых приходит излучение, определяют по распределению энергии в непрерывном спектре, а также по интенсивности разных спектральных линий.

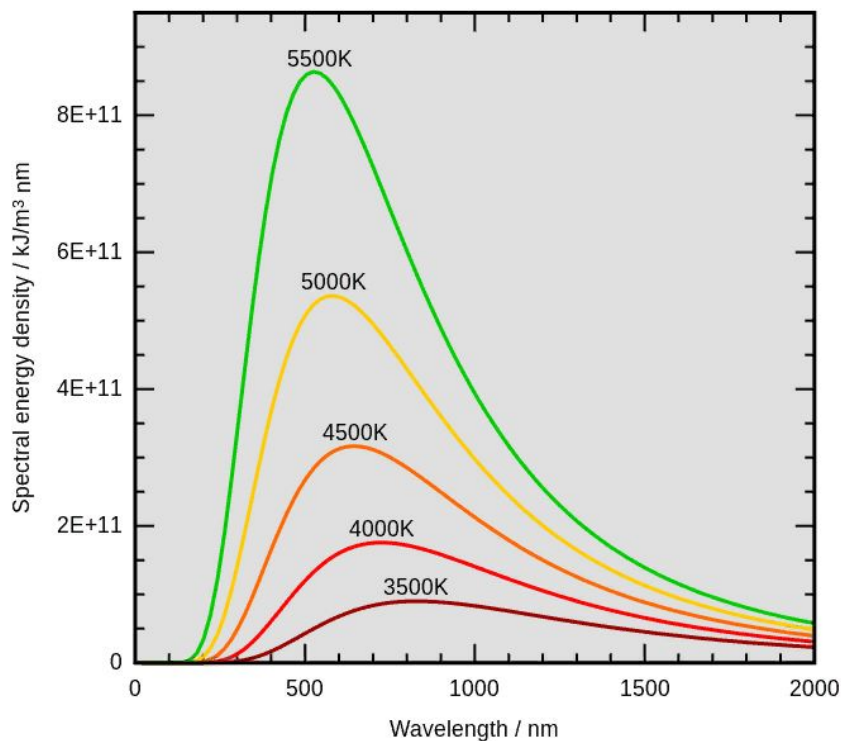


Длина волны, на которую приходится максимум излучения, зависит от температуры излучающего тела.

По мере увеличения температуры положение максимума смещается от красного к фиолетовому концу спектра.

Количественно эта зависимость выражается **законом Вина**

$\lambda_{max} = \frac{0,29}{T}$ , где  $\lambda_{max}$  - длина волны (в см), на которую приходится максимум излучения, а  $T$  - абсолютная температура.

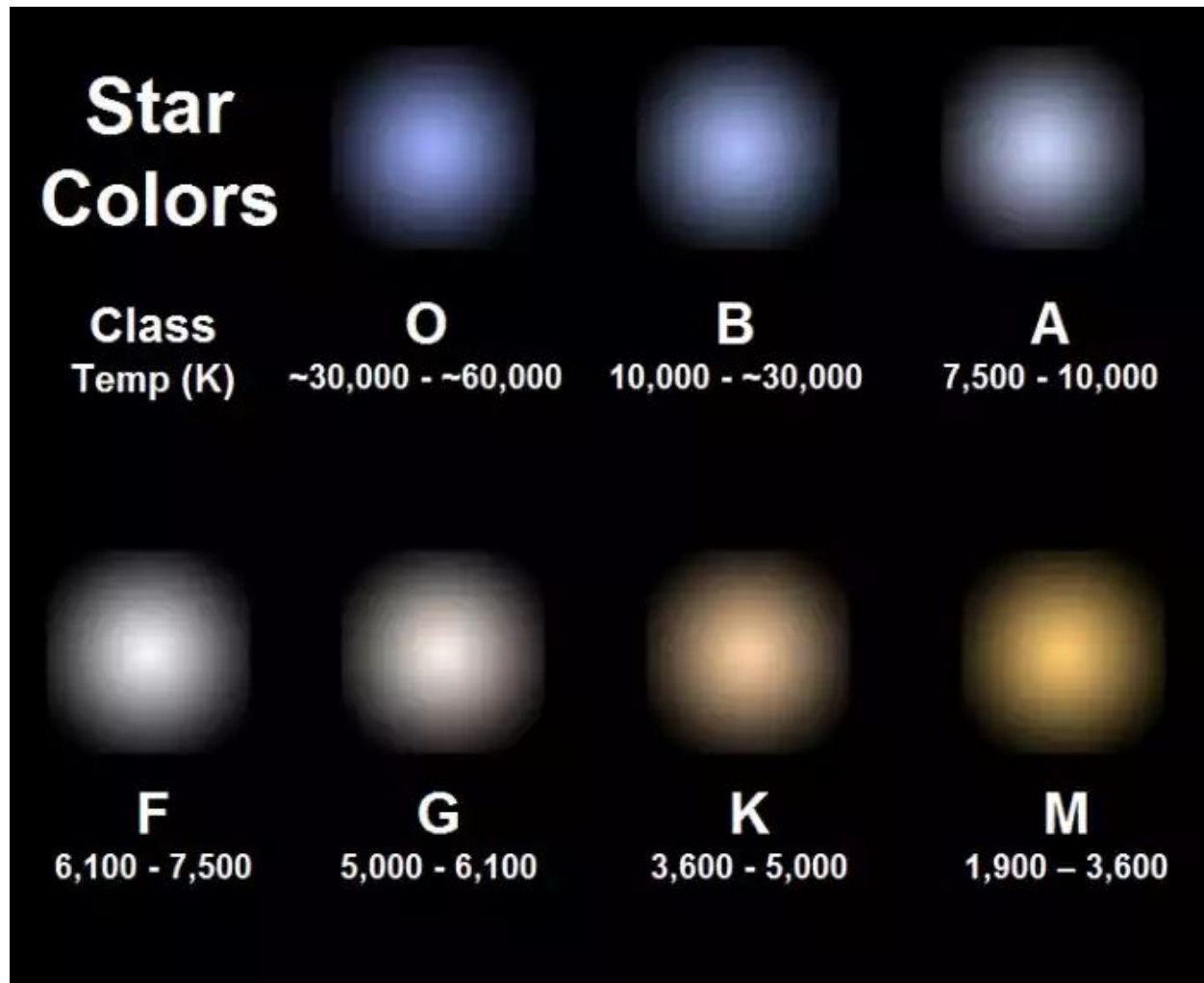


Зависимость мощности излучения чёрного тела от длины волны  
Видимый цвет абсолютно чёрных тел с разной температурой

Температура для различных типов звезд заключена в пределах от 2500 до 50000К.

По ряду характерных особенностей спектров звезды разделены на **спектральные классы**, которые обозначены латинскими буквами и расположены в порядке,

соответствующем убыванию температуры: **O, B, A, F, G, K, M.**





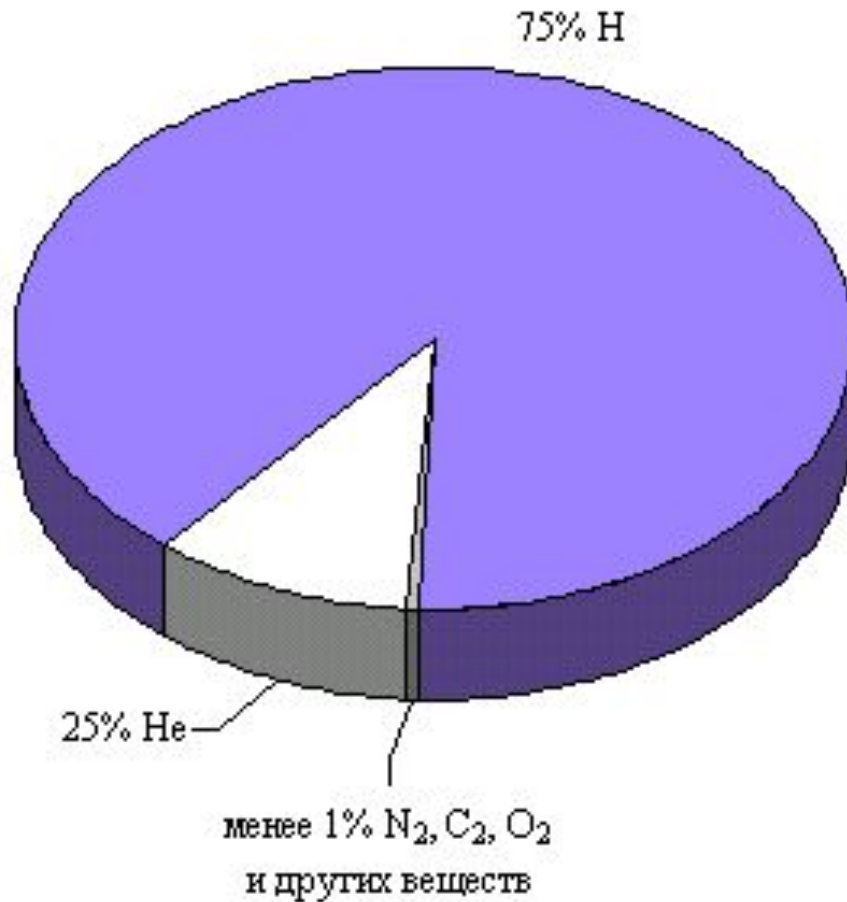
Acrux	24,730°C and 27,730°C
Beta Centauri	24,730°C
Spica	22,130°C
Achernar	14,730°C
Rigel	10,730°C
Regulus	10,030°C
Sirius	9,670°C
Canopus	7,080°C
Alpha Centauri	5,520°C and 4,990°C
Capella	4,670°C
Arcturus	4,020°C
Aldebaran	3,640°C
Betelgeuse	3,320°C
Antares	3,230°C

Изменение температуры меняет состояние атомов и молекул в атмосферах звезд, что отражается в их спектрах.

У наиболее холодных (красных) звезд класса **M** с температурой около **3000 K** (Антарес и Бетельгейзе), в спектрах наблюдаются линии поглощения некоторых двухатомных молекул (оксидов титана, циркония и углерода).

В спектрах желтых звезд класса **G** с температурой около **6000 K** (Солнце, Капелла) преобладают линии металлов: железа, натрия, кальция и т. д.

Для спектров белых звезд класса **A** с температурой около **10 000 K** (Вега, Денеб и Сириус), наиболее характерны линии водорода и множество слабых линий ионизованных металлов.



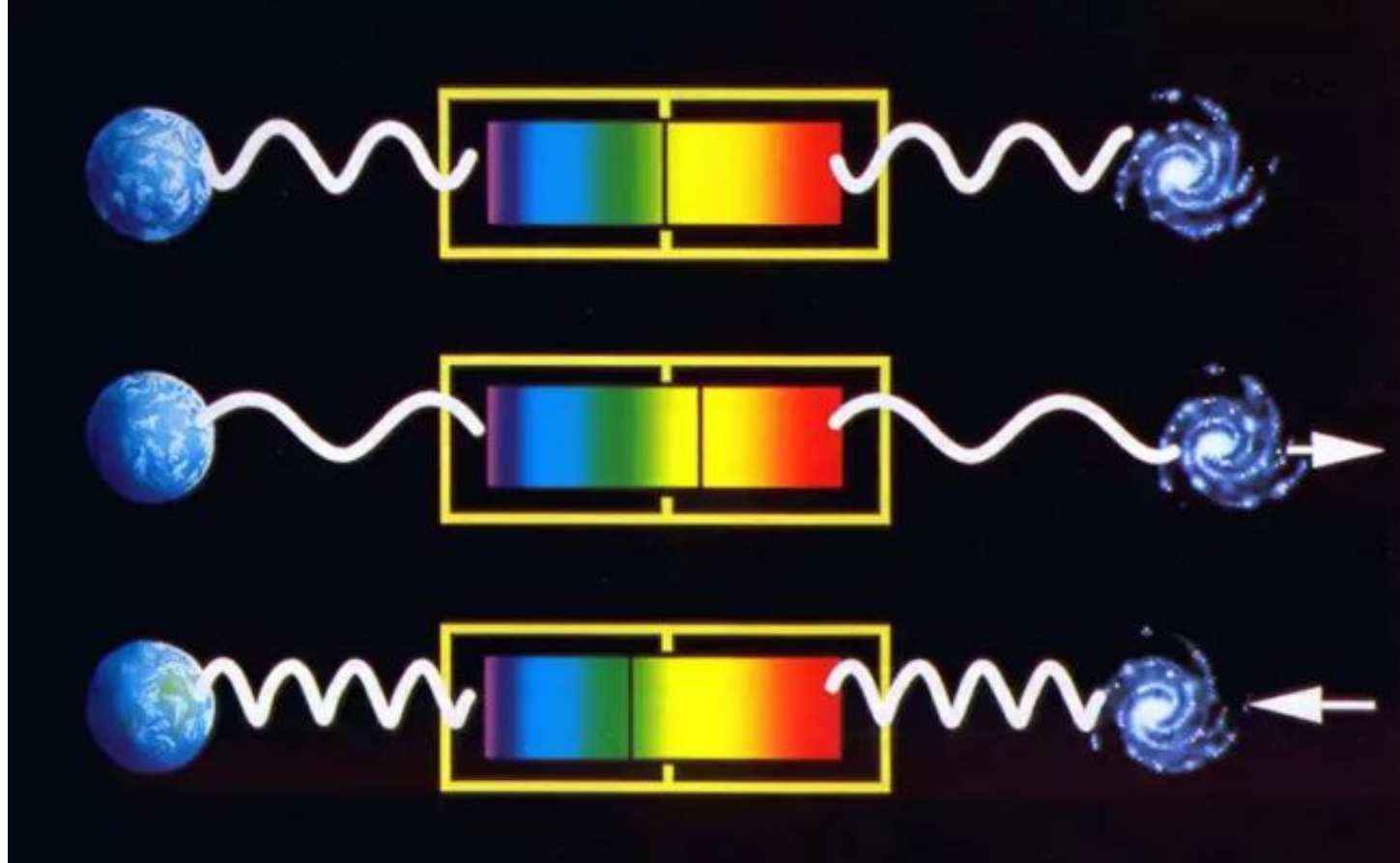
© ООО ФИЗИКОН, 2003

- Различия звездных спектров объясняются отнюдь не разнообразием их химического состава, а различием температуры и других физических условий в атмосферах звезд.

Изучение спектров показывает, что преобладают в составе звездных атмосфер (и звезд в целом) **водород и гелий**.

- На долю всех остальных химических элементов приходится не более нескольких процентов.





Измерение положения спектральных линий позволяет не только получить информацию о химическом составе звезд, но и определить скорость их движения. В случае **уменьшения** расстояния между наблюдателем и звездой длина волны уменьшается и соответствующая линия смещается к **сине-фиолетовому** концу спектра.

При **удалении** звезды длина волны излучения увеличивается, а линия смещается **в красную** его часть.

Явление изменения частоты и, соответственно, длины волны излучения, воспринимаемое наблюдателем, вследствие движения источника излучения и/или движения наблюдателя получило название **эффекта Доплера**.



Согласно эффекту Доплера зависимость разности длин волн от скорости источника по лучу зрения  $v$  и скорости света  $c$  выражается формулой:

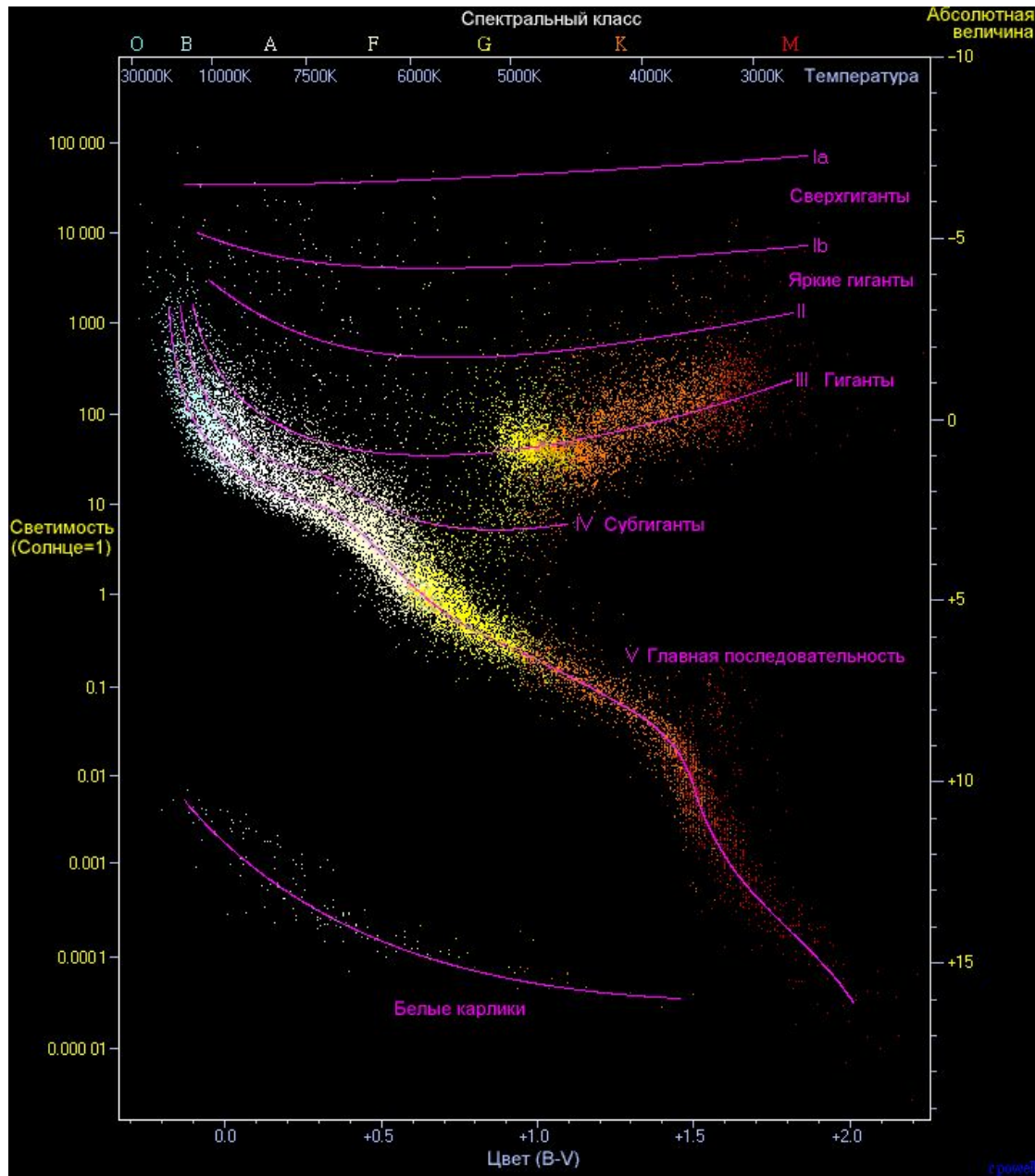
$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c},$$

где  $\lambda_0$  - длина волны спектральной линии для неподвижного источника,  
 $\lambda$  - длина волны в спектре движущегося источника.

# Диаграмма «спектр–светимость»

ОБЯЗАТЕЛЬНО ПРОЙДИ по ссылке и послушай

<https://yandex.ru/video/preview?filmId=343812175488383246&text=%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0%20%D0%B3%D0%B5%D1%80%D1%86%D1%88%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%B0-%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B0%20%D0%BA%D0%B0%D0%BA%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%81%D1%8F&path=wizard&parent-reqid=1586861602764520-1273944830858678025100328-production-app-host-vla-web-yp-265&redircnt=1586861620.1>



Полученные данные о светимости и спектрах звезд в начале XX в. были сопоставлены двумя астрономами – Эйнаром Герцшпрунгом (Голландия) и Генри Расселлом (США). Данные представлены в виде диаграммы, которая получила название «**диаграмма Герцшпрунга-Расселла**».

Звёзды образуют несколько групп, названных **последовательностями**.

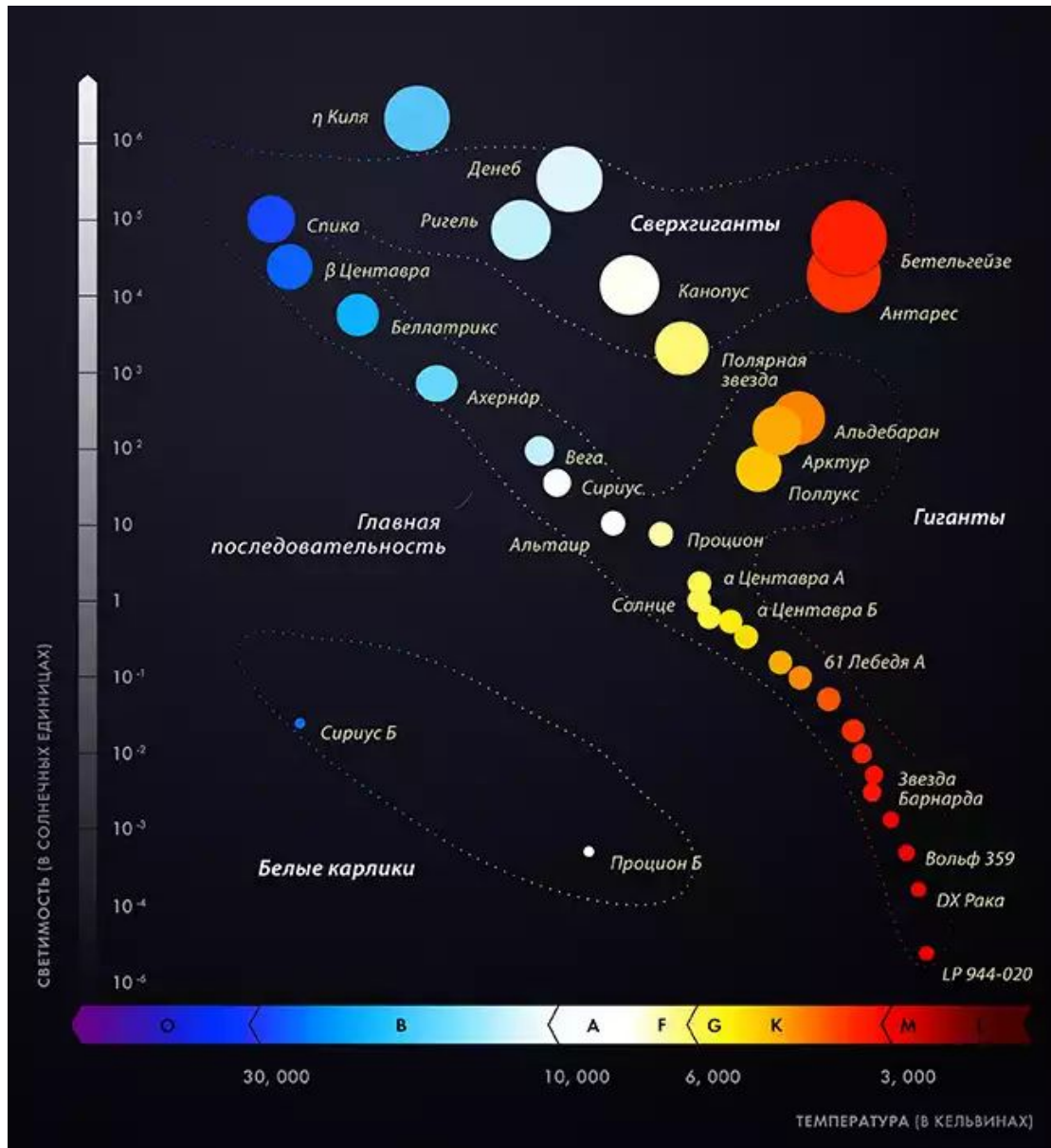


Диаграмма «спектр-светимость»

Наиболее многочисленная (примерно 90% всех звезд) - **главная последовательность**, к числу звезд которой принадлежит наше Солнце.

Самую высокую светимость имеют наиболее горячие звезды, а по мере уменьшения температуры светимость падает.

Красные звезды малой светимости получили название **красных карликов**.

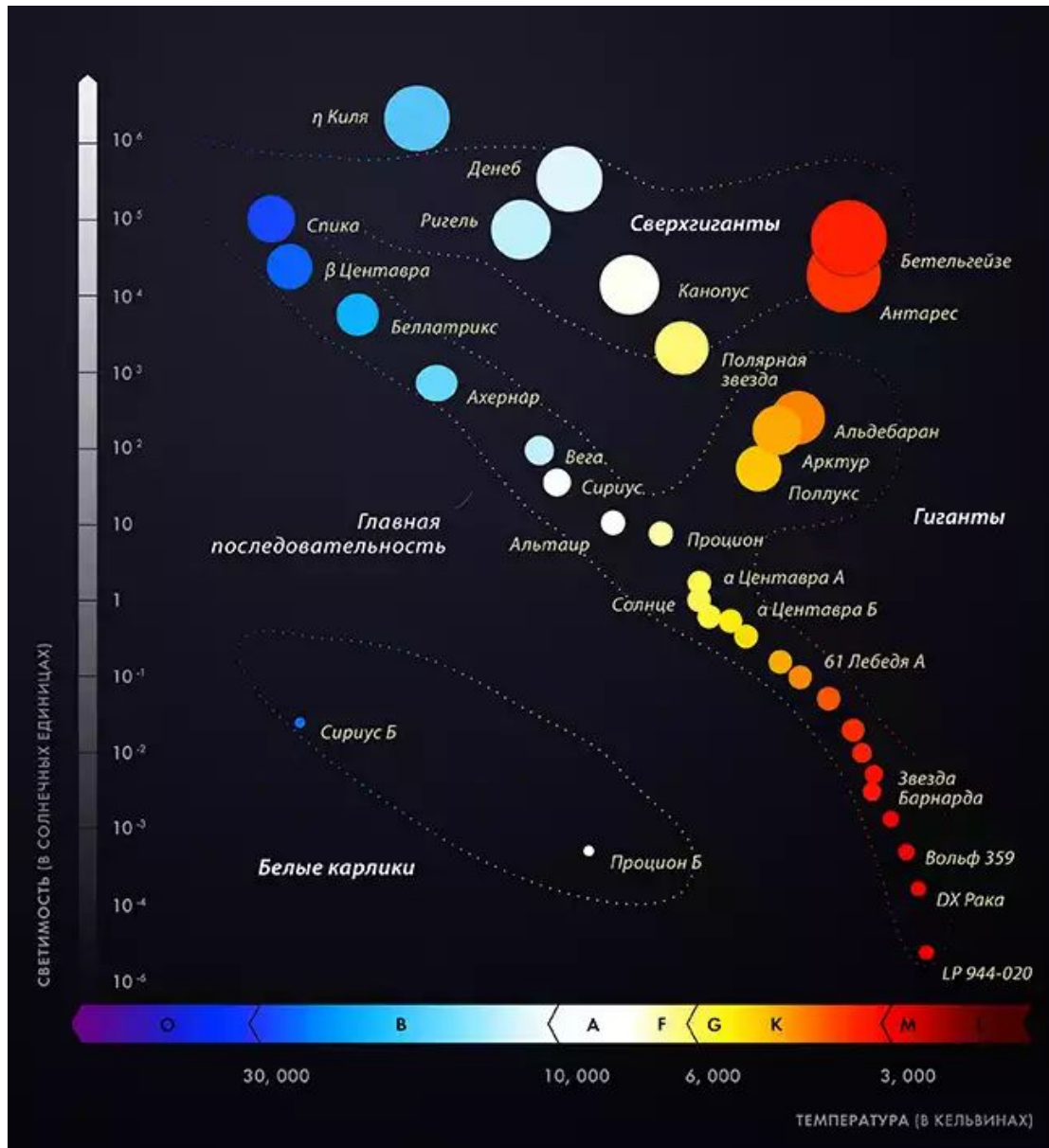


Диаграмма «спектр-светимость»

Помимо звезд, принадлежащих главной последовательности и потому имеющих малую светимость, на диаграмме представлены **звезды высокой светимости**, которая практически не меняется при изменении их температуры.

Такие звезды принадлежат двум последовательностям (**гиганты** и **сверхгиганты**), получившим эти названия вследствие своей светимости, которая значительно превосходит светимость Солнца.

Особое место на диаграмме занимают горячие звезды малой светимости - **белые карлики**.

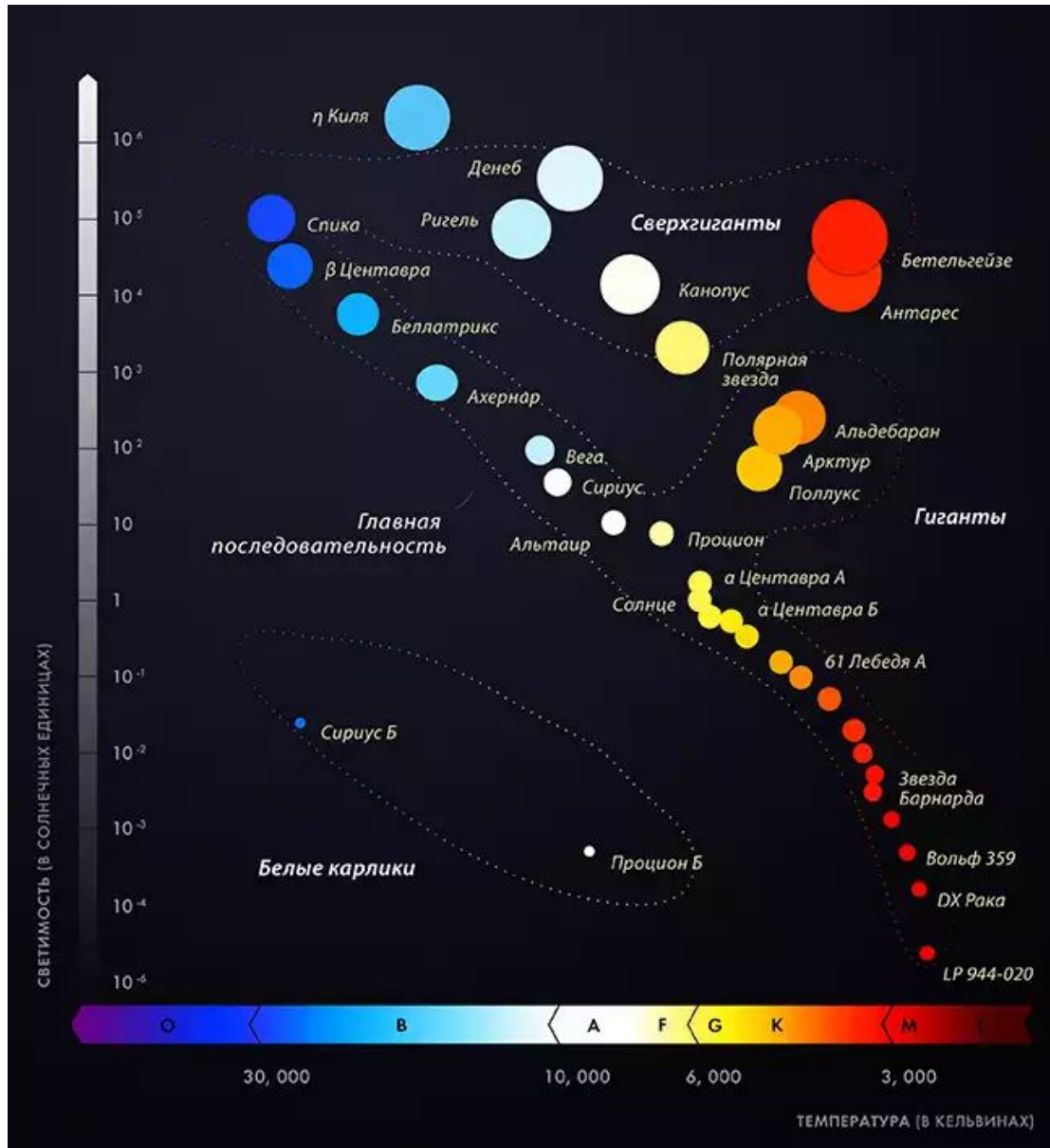
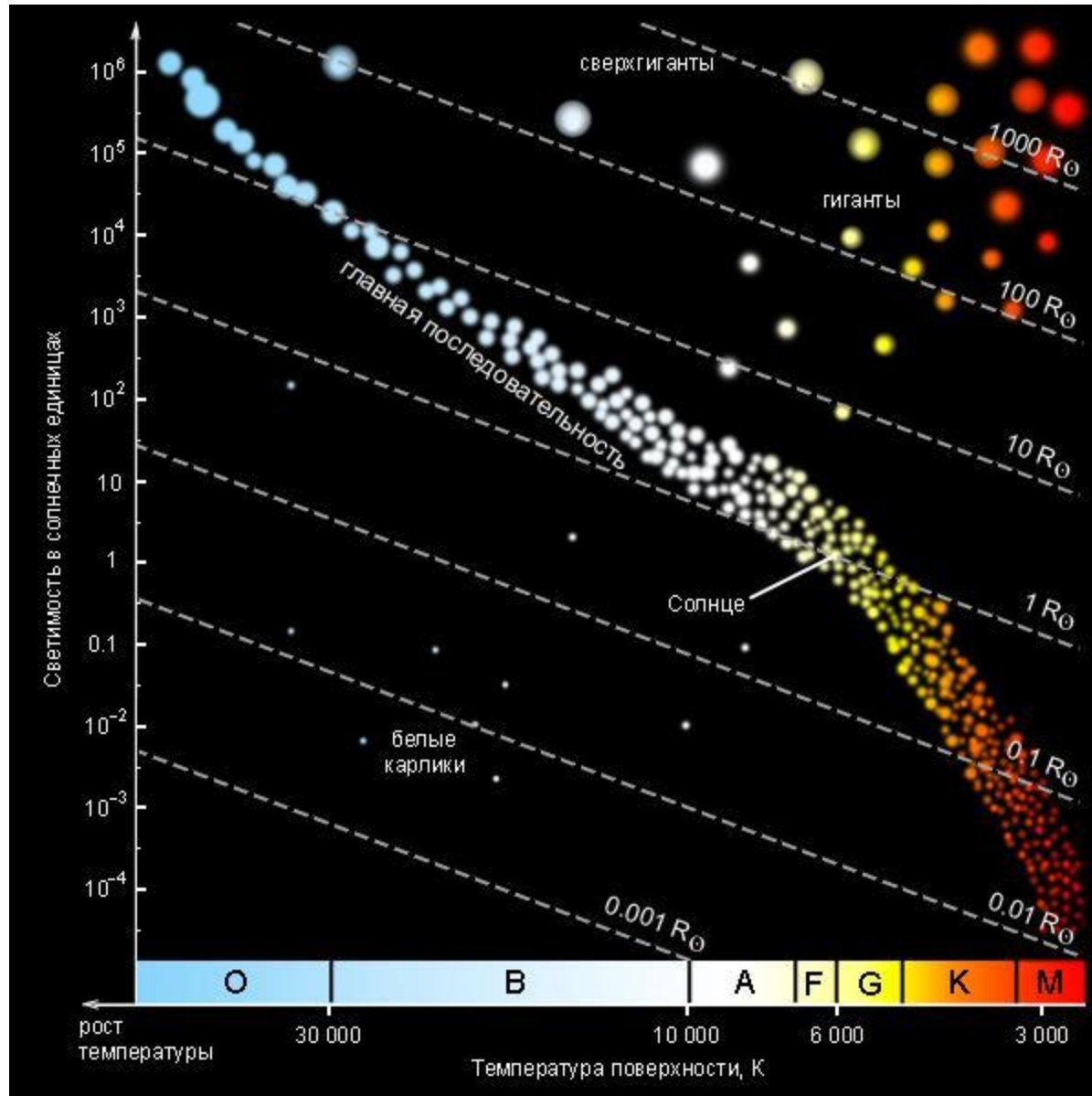


Диаграмма «спектр-светимость»

# 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.

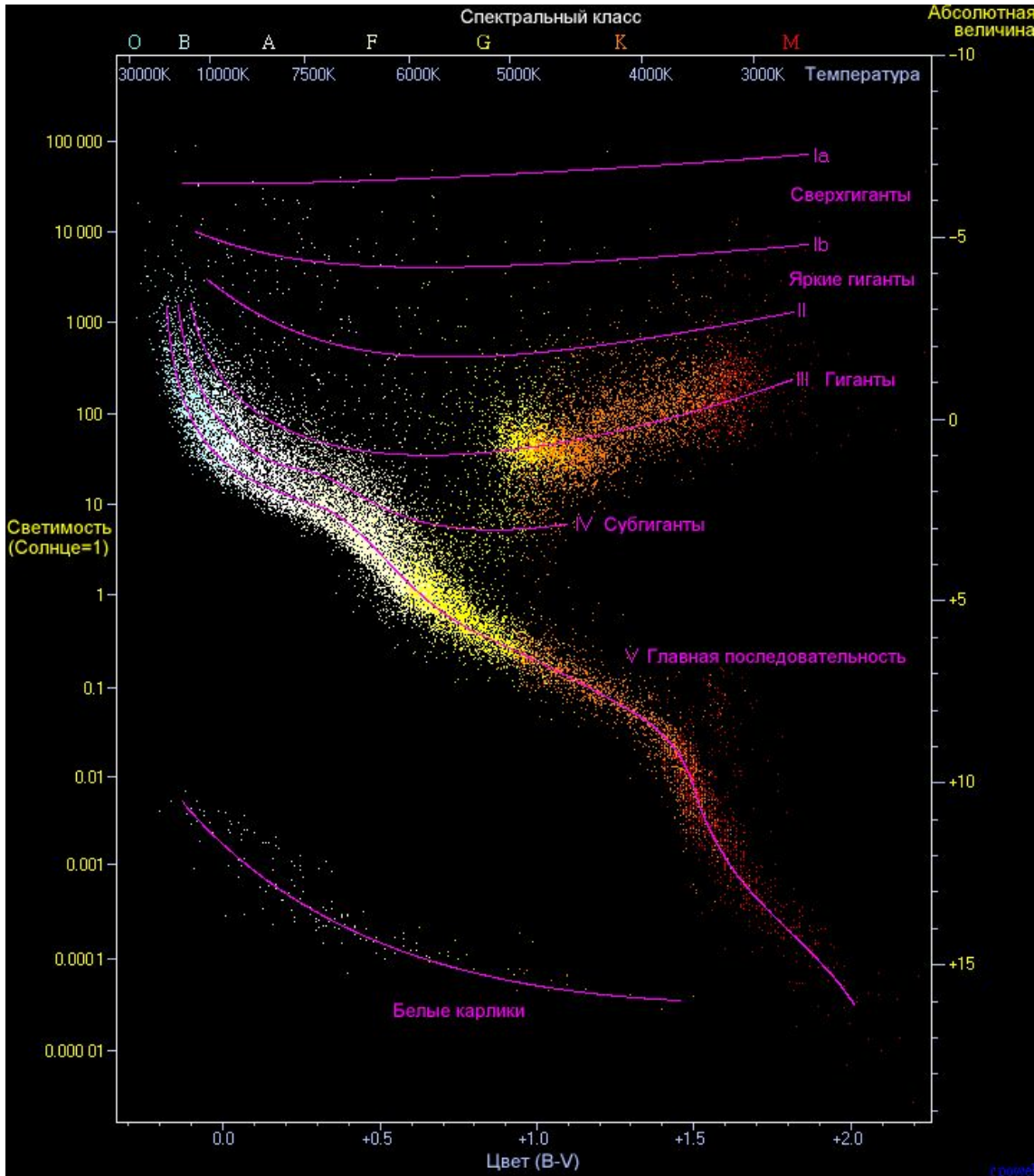
Красные гиганты и сверхгиганты располагаются над главной последовательностью справа, белые карлики – под ней слева, поэтому начало левой части главной последовательности представлена голубыми звёздами с массами  $\sim 50$  солнечных, конец правой — красными карликами с массами  $\sim 0.08$  солнечных.

**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.**



# Светимость и размер звезд



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

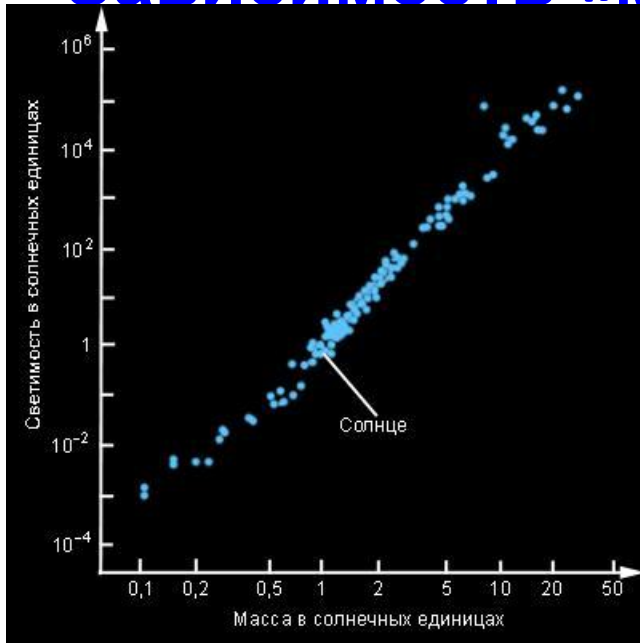
сверхгиганты – I класс светимости;  
гиганты – II класс светимости;  
звезды главной последовательности – V класс светимости;  
субкарлики – VI класс светимости;  
белые карлики – VII класс светимости.

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 1911–24гг астрономы Холм, Рассел, Э. 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**

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

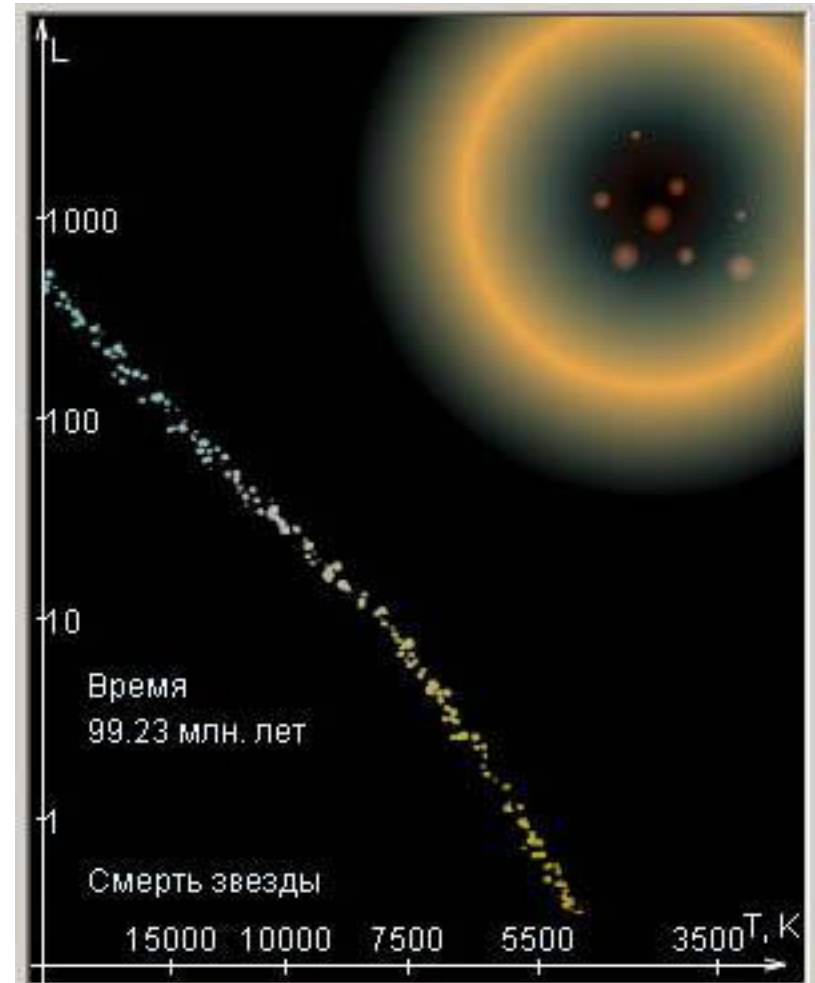
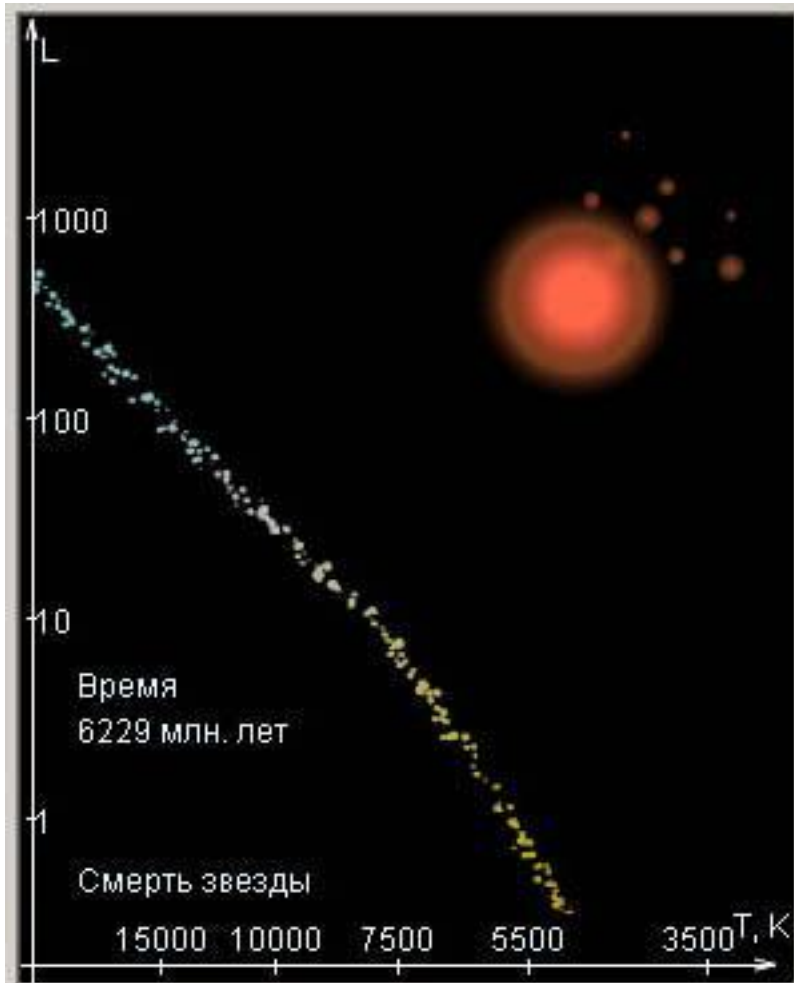
- **Звезда на главной последовательности** находится пока внутри происходит термоядерная реакция, что зависит от массы и химического состава. Время жизни на главной последовательности самое долгое в эволюции. Для звезд разной массы:

- **$M=0,8M_{\odot}$**        $\tau=20$  млрд.лет
- **$M=M_{\odot}$**        $\tau=10$  млрд.лет - это СОЛНЦЕ
- **$M=1,5M_{\odot}$**        $\tau=1,5$  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

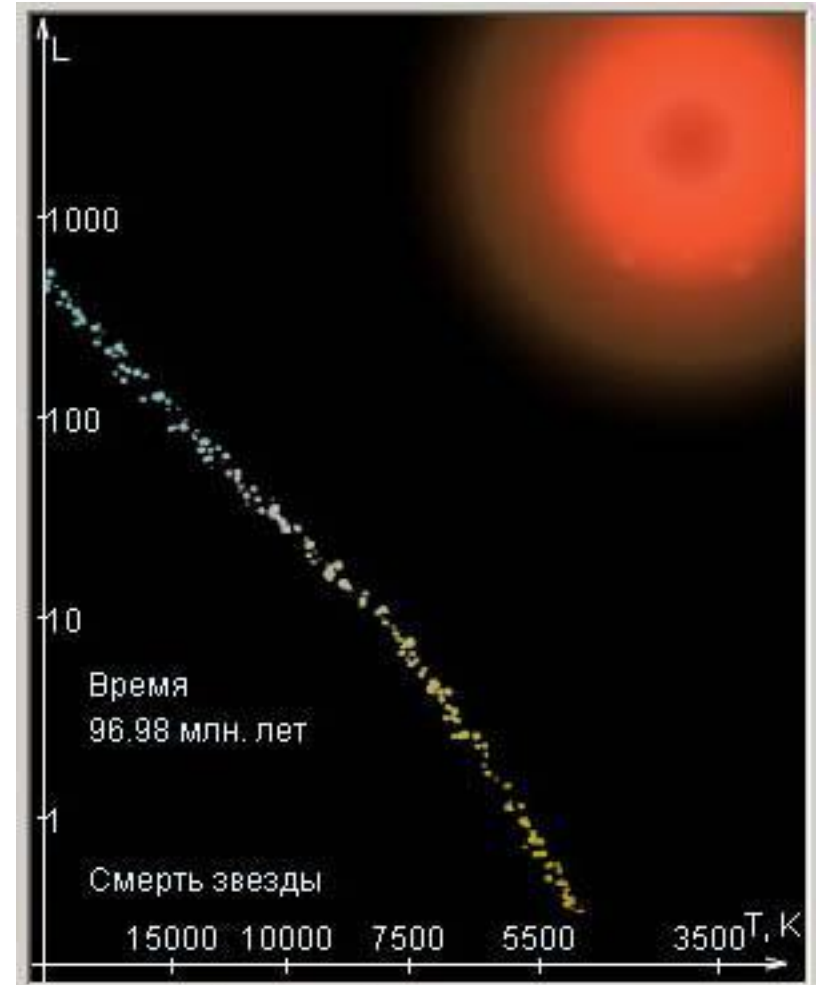
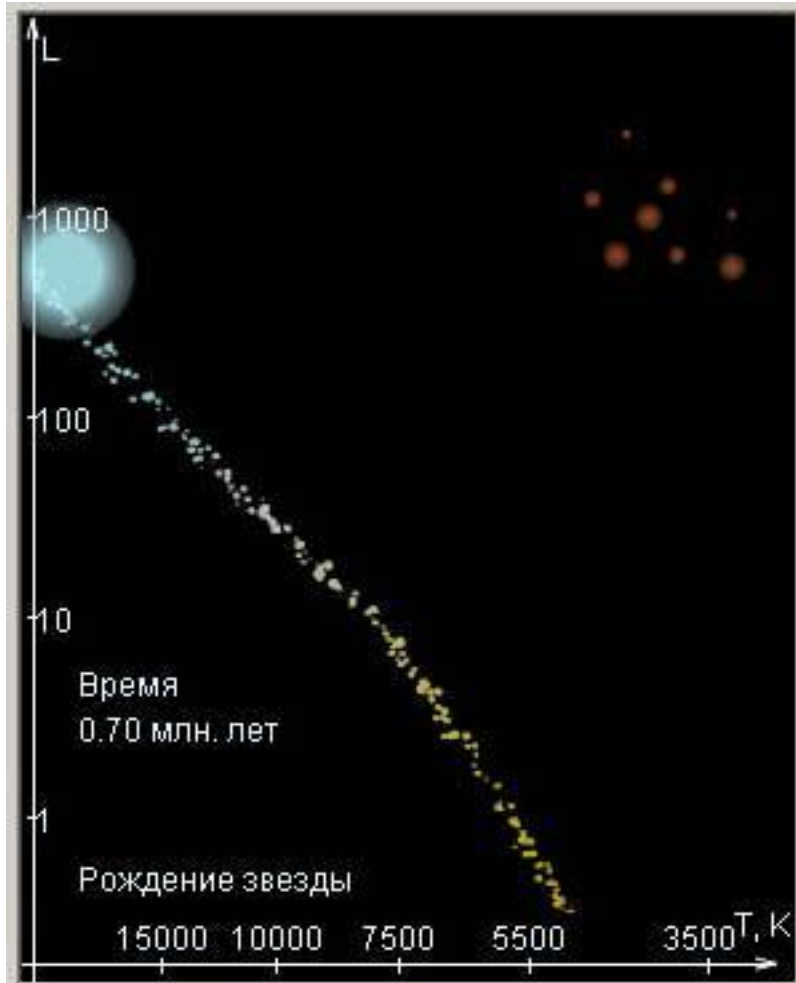
Стадии эволюции звезды после ухода с главной последовательности тоже короткие. Типичные звезды, как Солнце, становятся красными гигантами, очень массивные – красными сверхгигантами.

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



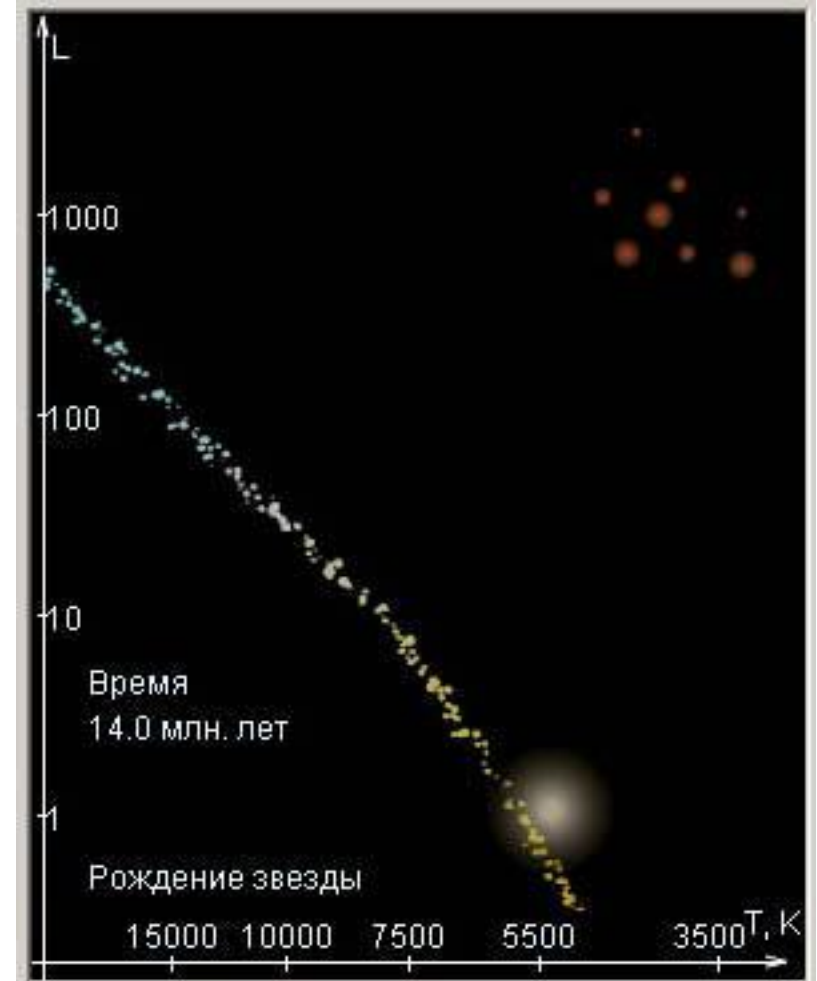
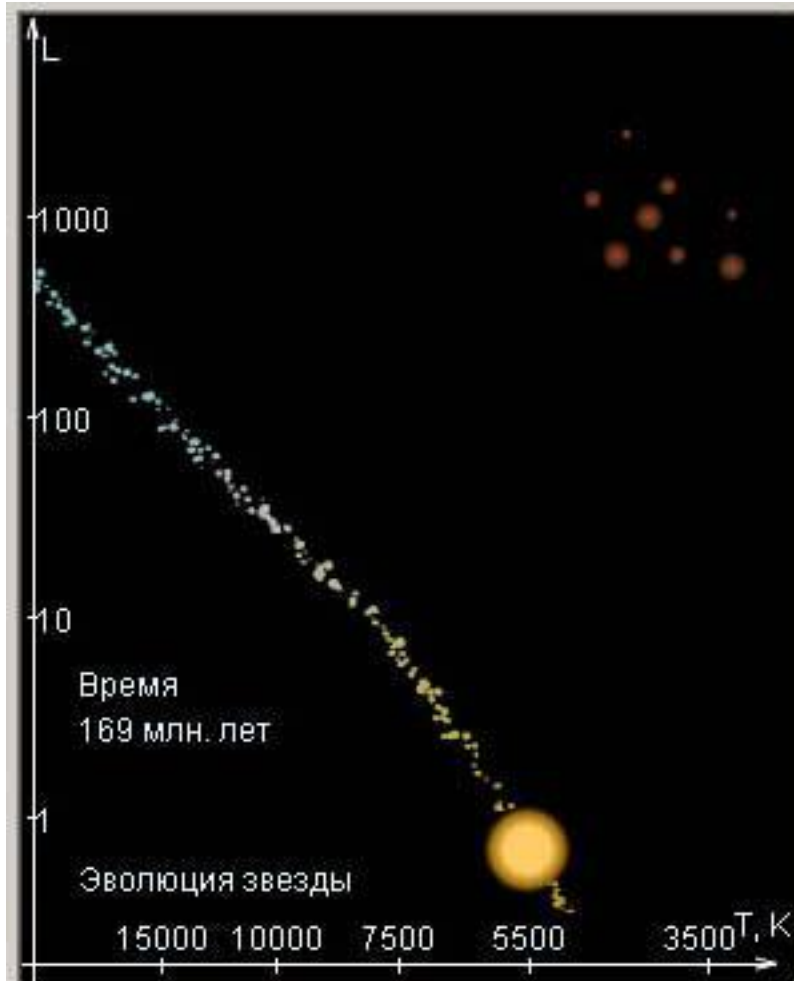
# Эволюция звезд большой массы

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.

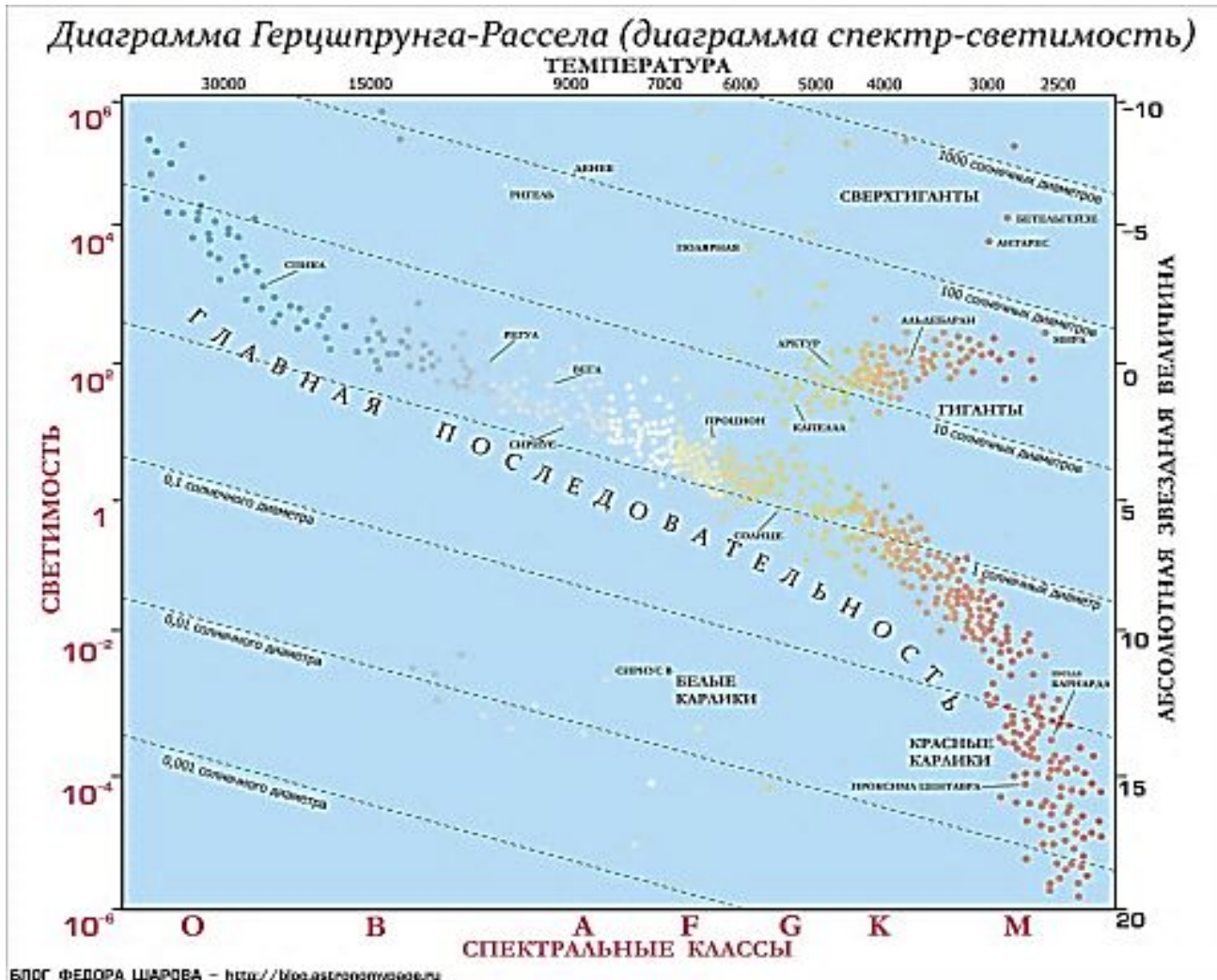


# Эволюция красных карликов

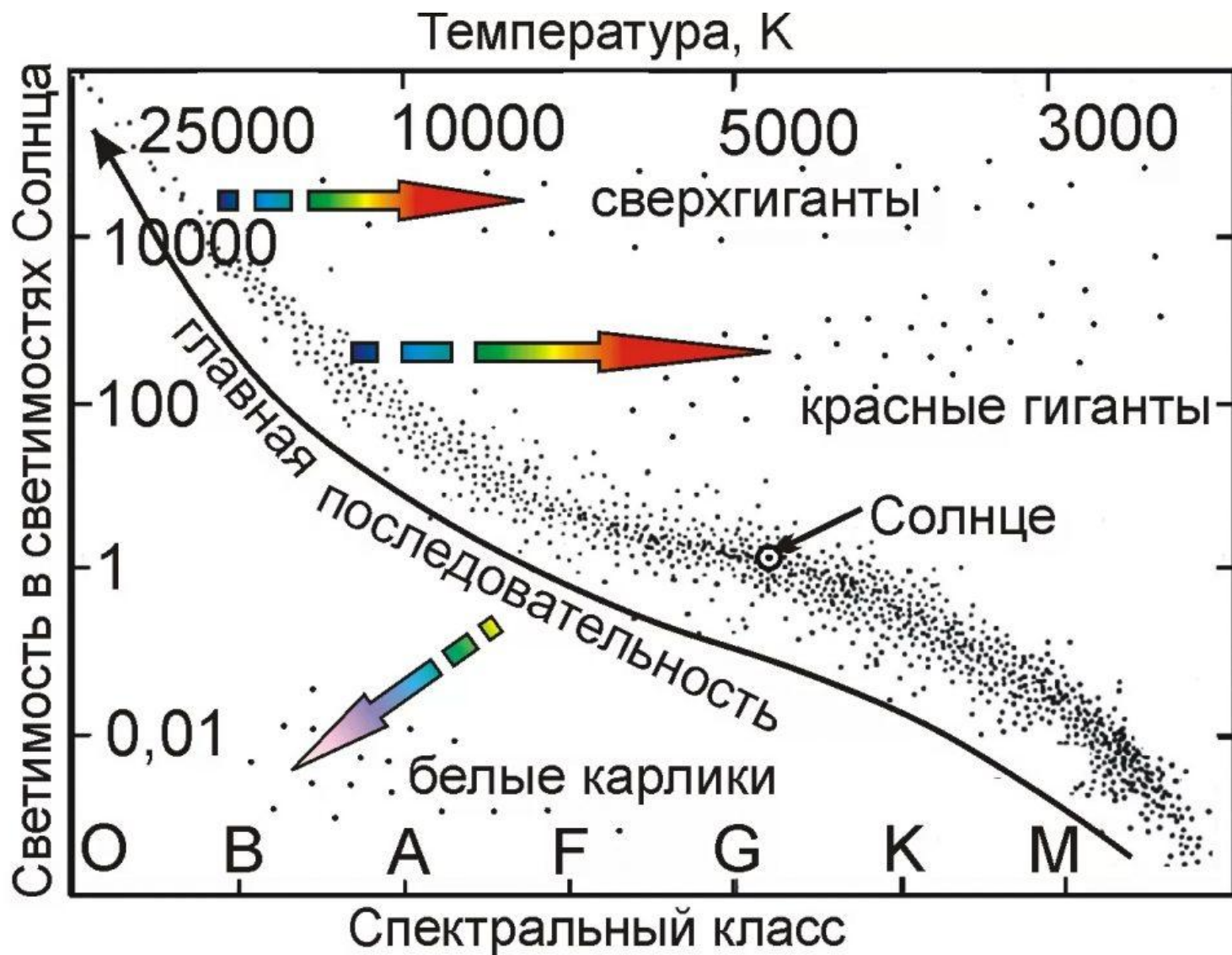
Красные карлики имеют малую массу, их эволюция продолжается до сотни миллиардов лет, поэтому они практически не успели сойти с главной последовательности.



# Итак, рассмотрим еще раз



# И еще раз





- Далее открываем приложение, заполняем таблицу и отвечаем на вопросы теста
- Отчет – фото таблицы и ответов