

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.

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

$$[R] = 1 \text{ Вт/м}^2$$

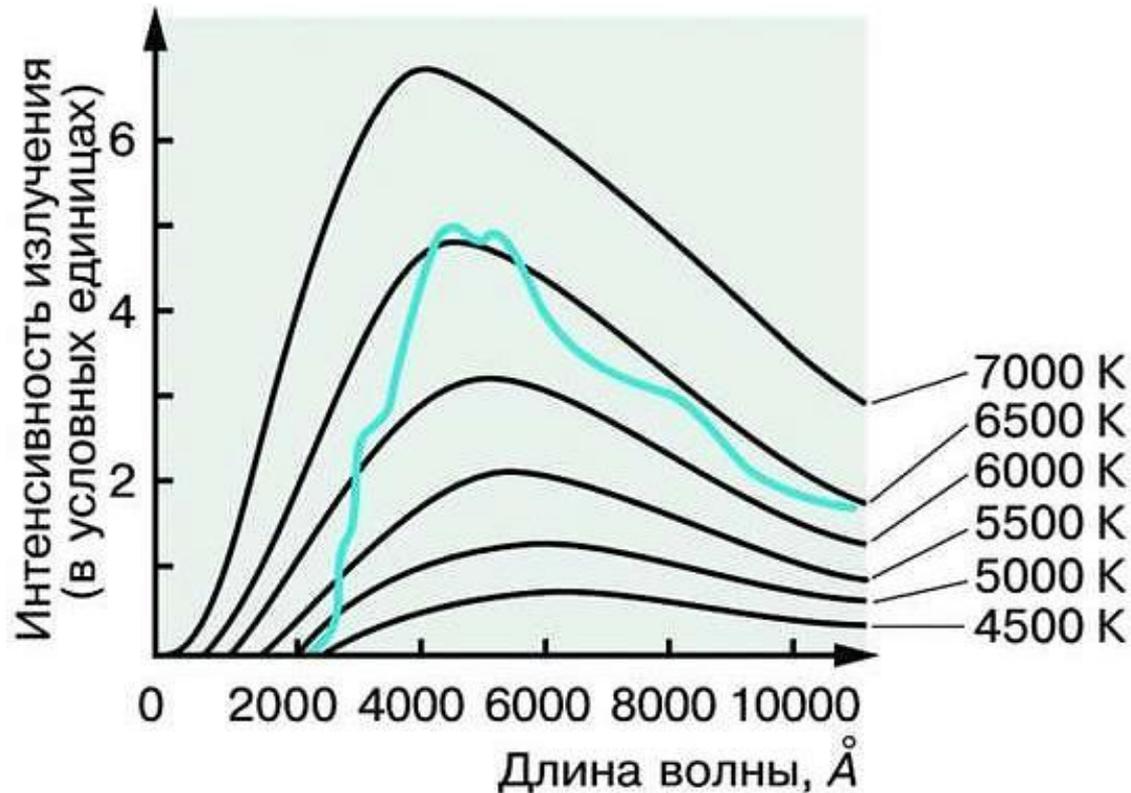
Эти величины учитывают энергию, переносимую волнами всех частот (длин волн)

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.

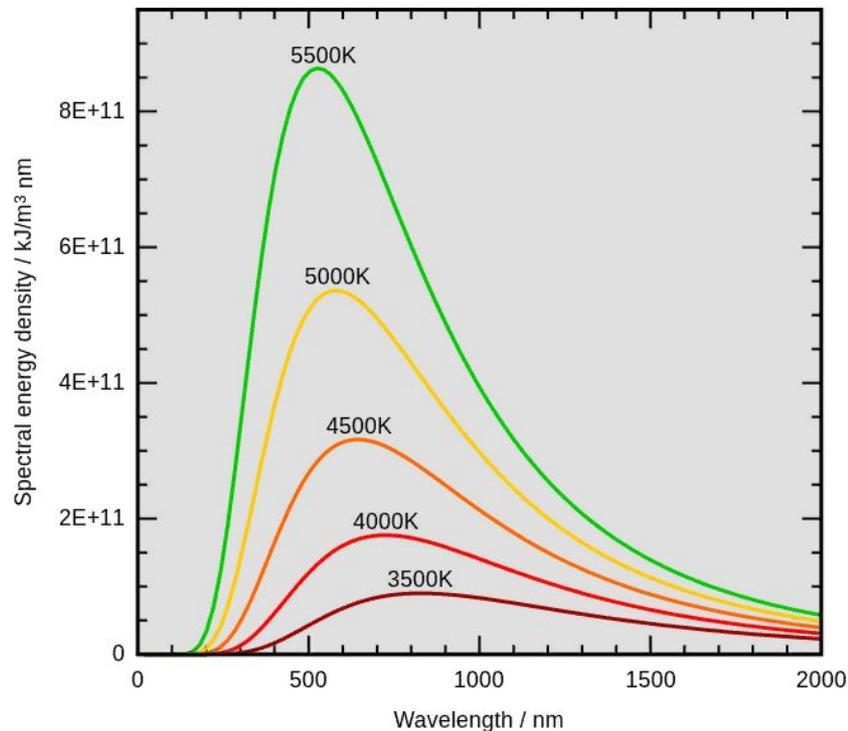


Длина волны, на которую приходится максимум излучения, зависит от температуры излучающего тела.

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 λ_{max} - длина волны (в см), на которую приходится максимум излучения, а T - абсолютная температура.

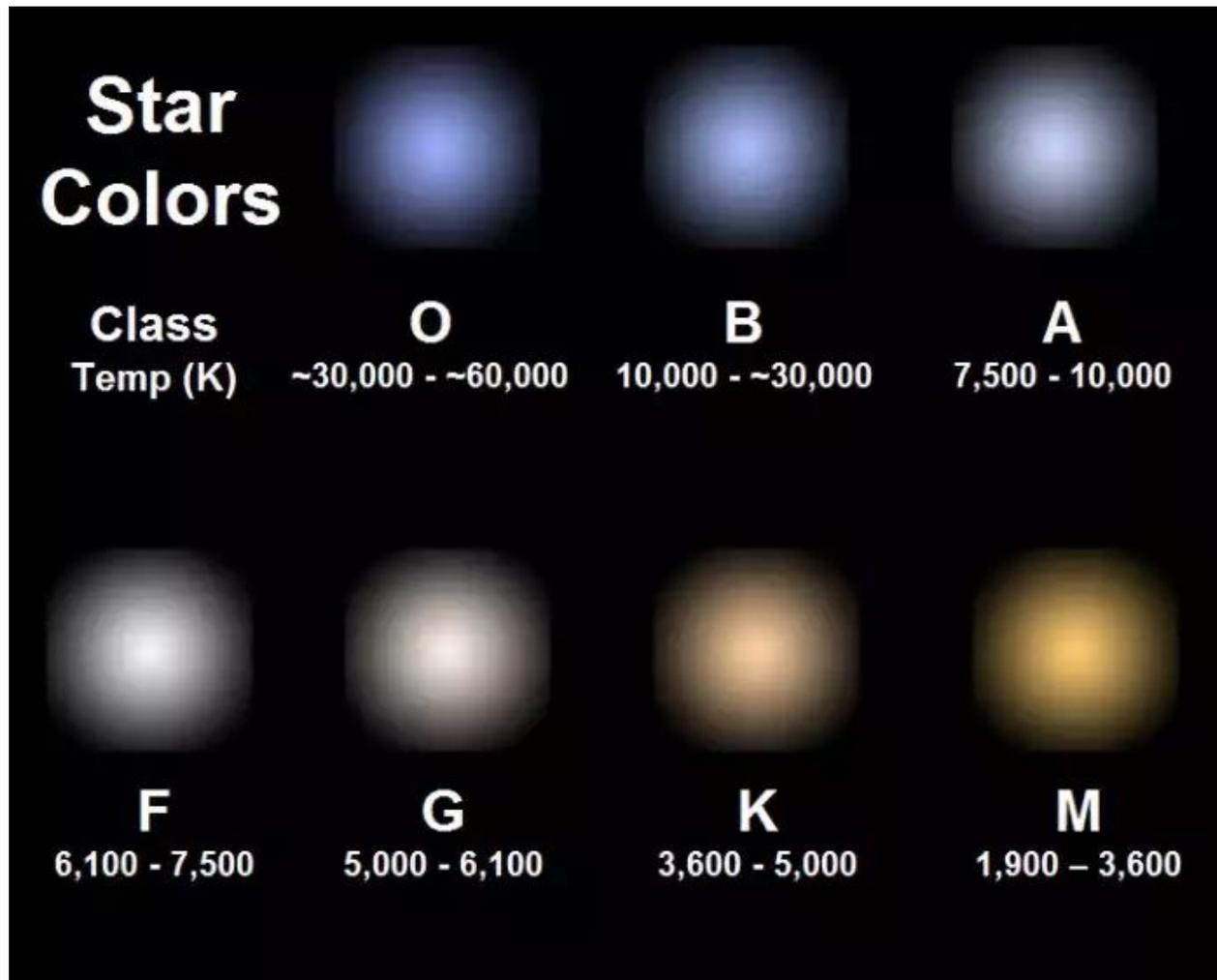


Зависимость мощности излучения чёрного тела от длины волны
Видимый цвет абсолютно чёрных тел с разной температурой

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.**





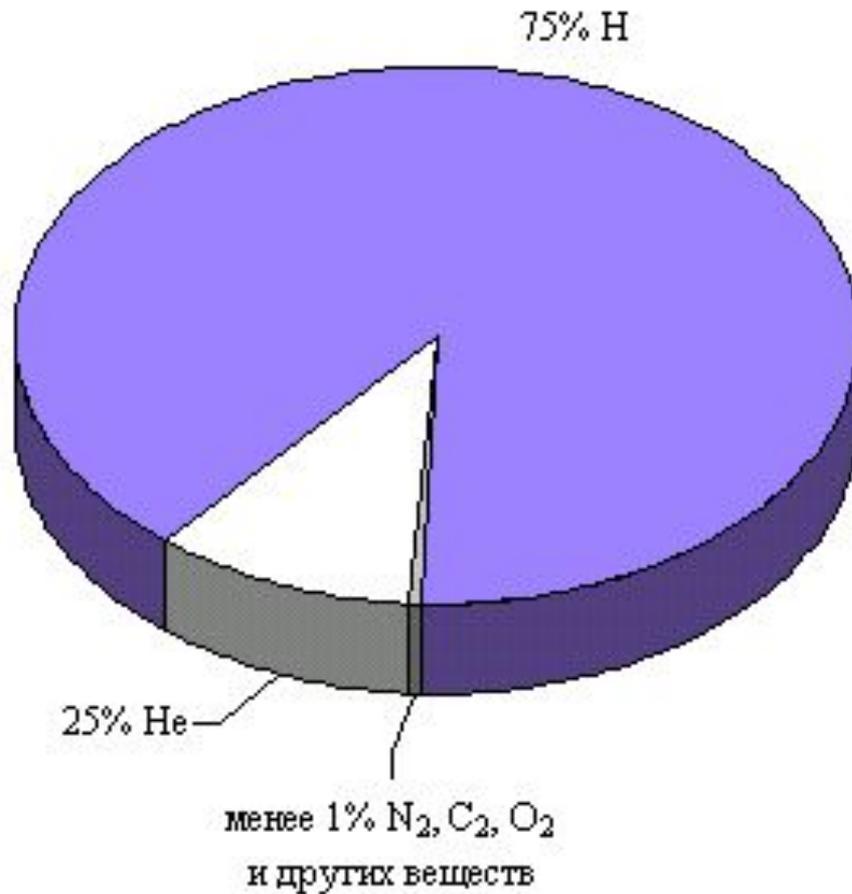
Acrux	24,730°C and 27,730°C
Beta Centauri	24,730°C
Spica	22,130°C
Achernar	14,730°C
Rigel	10,730°C
Regulus	10,030°C
Sirius	9,670°C
Canopus	7,080°C
Alpha Centauri	5,520°C and 4,990°C
Capella	4,670°C
Arcturus	4,020°C
Aldebaran	3,640°C
Betelgeuse	3,320°C
Antares	3,230°C

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 ионизированных металлов.

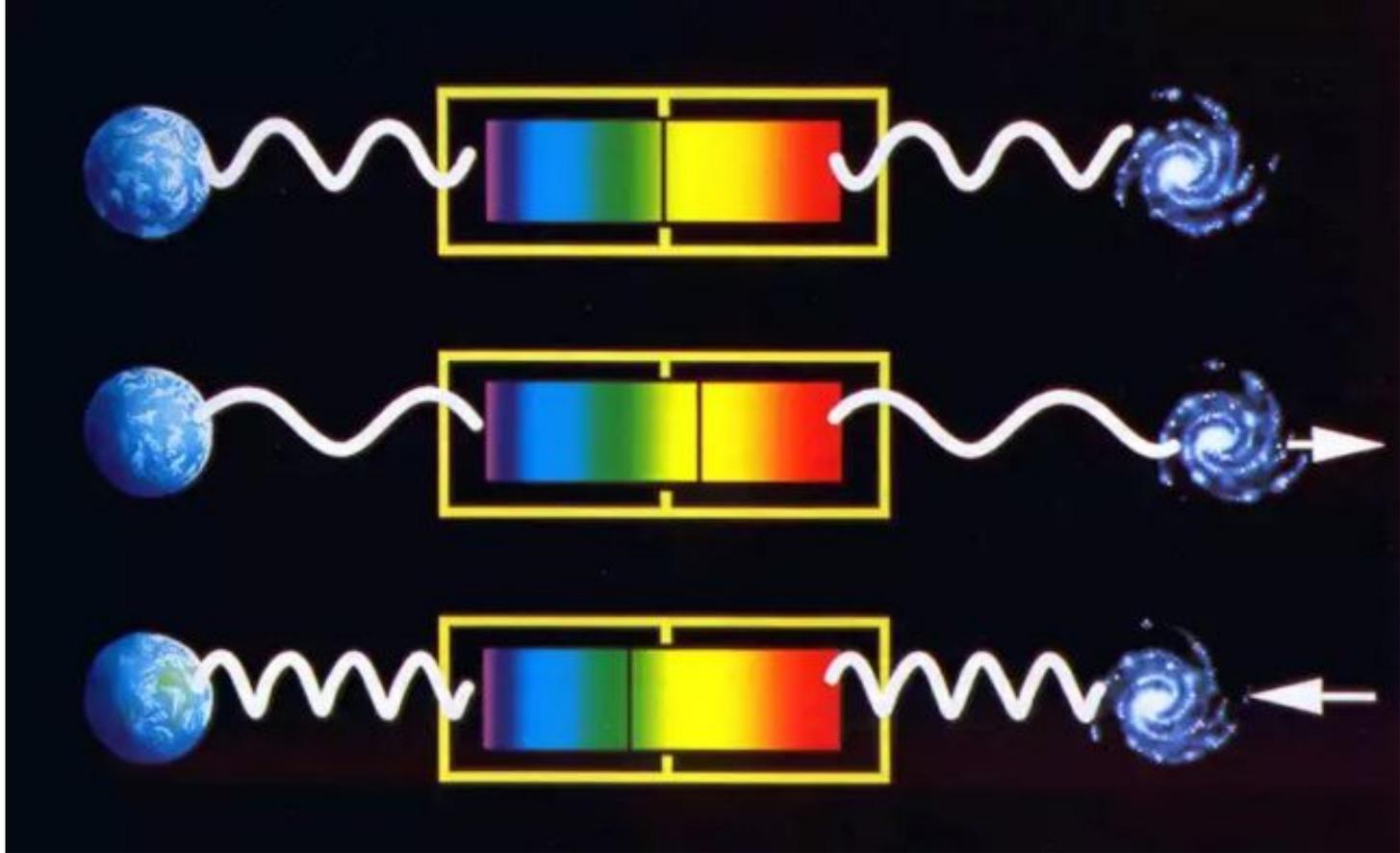


© ООО ФИЗИКОН, 2003

- 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:

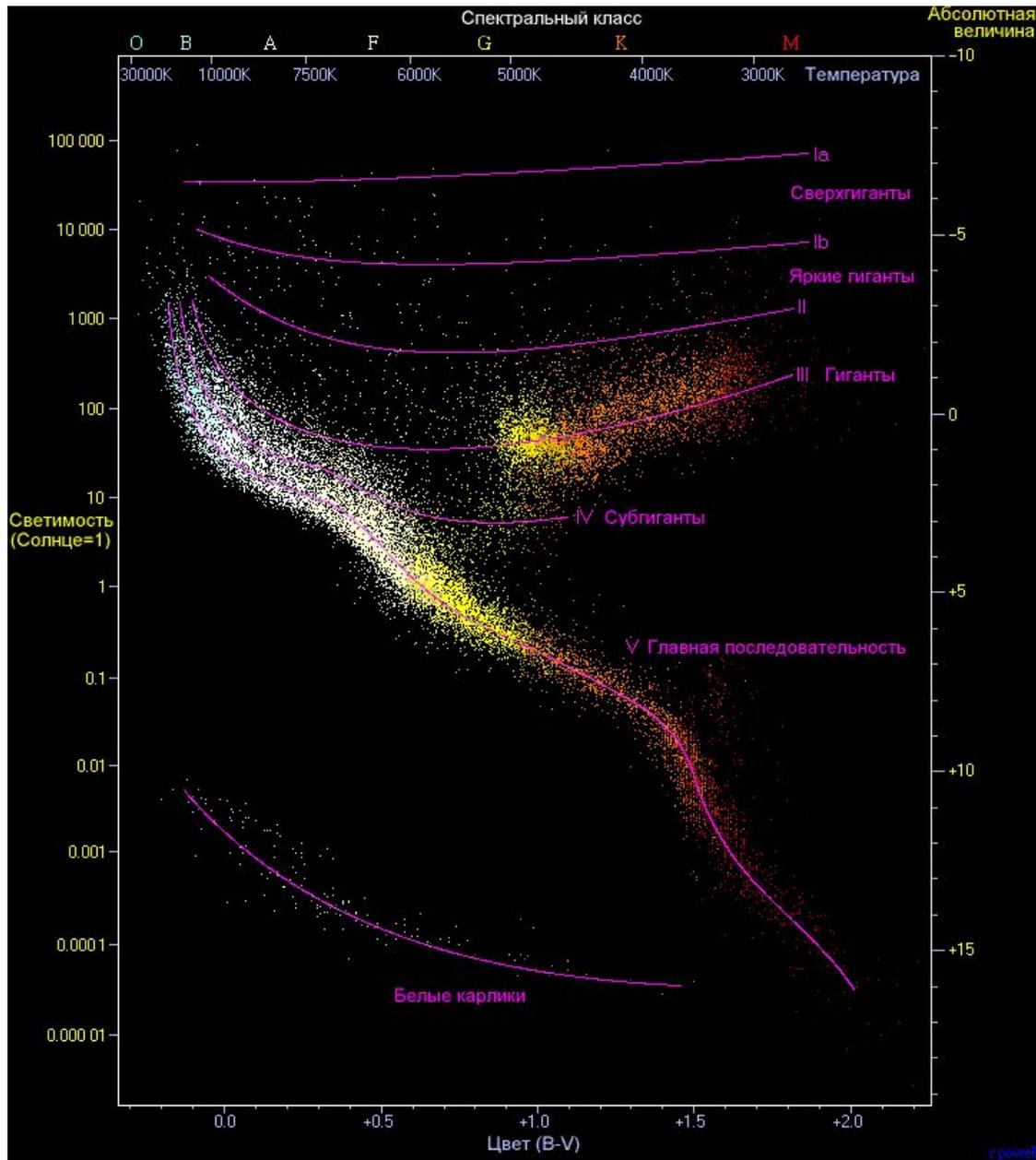
$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c},$$

где λ_0 - длина волны спектральной линии для неподвижного источника,
 λ - 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**.

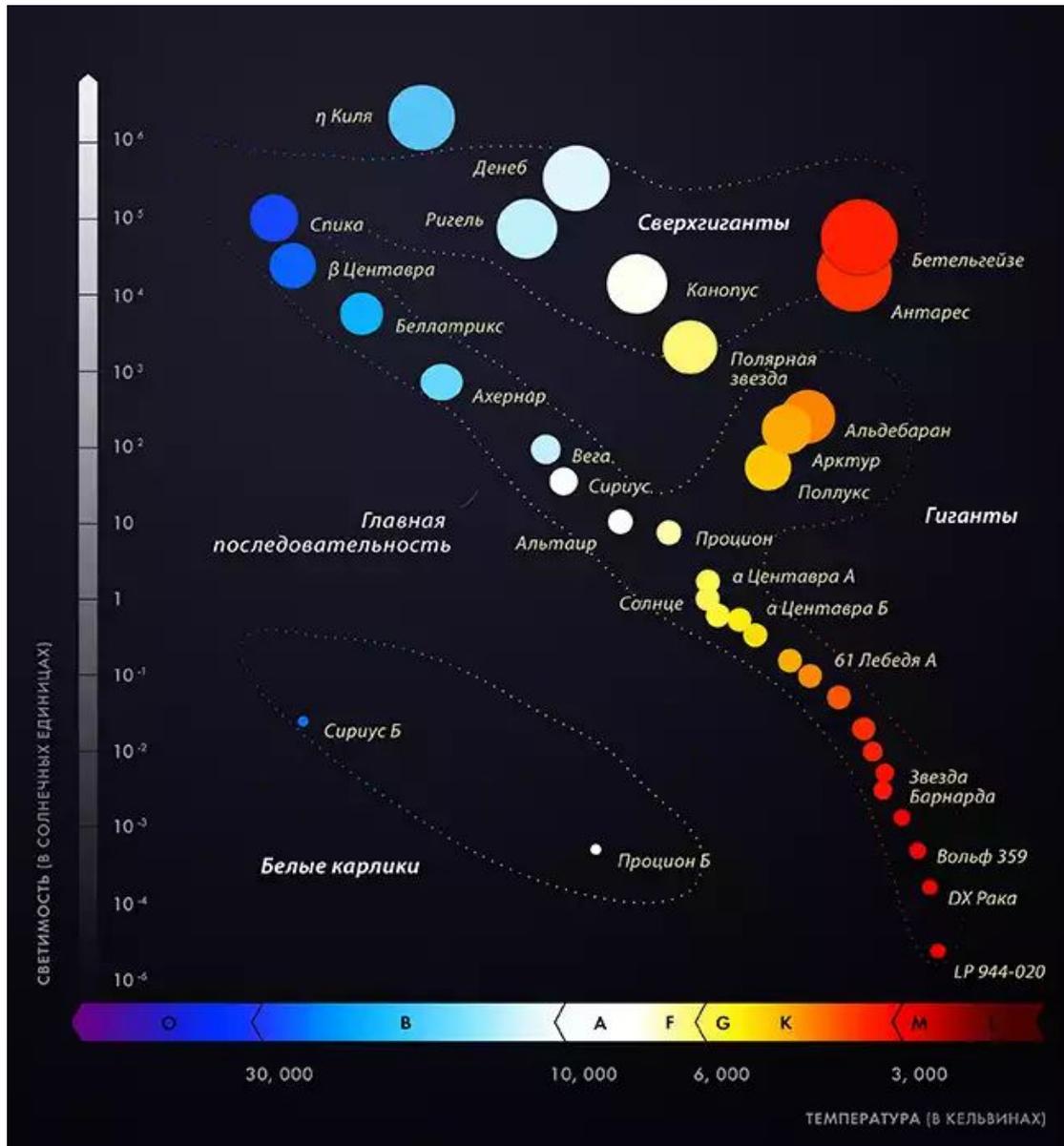


Диаграмма «спектр-светимость»

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**.

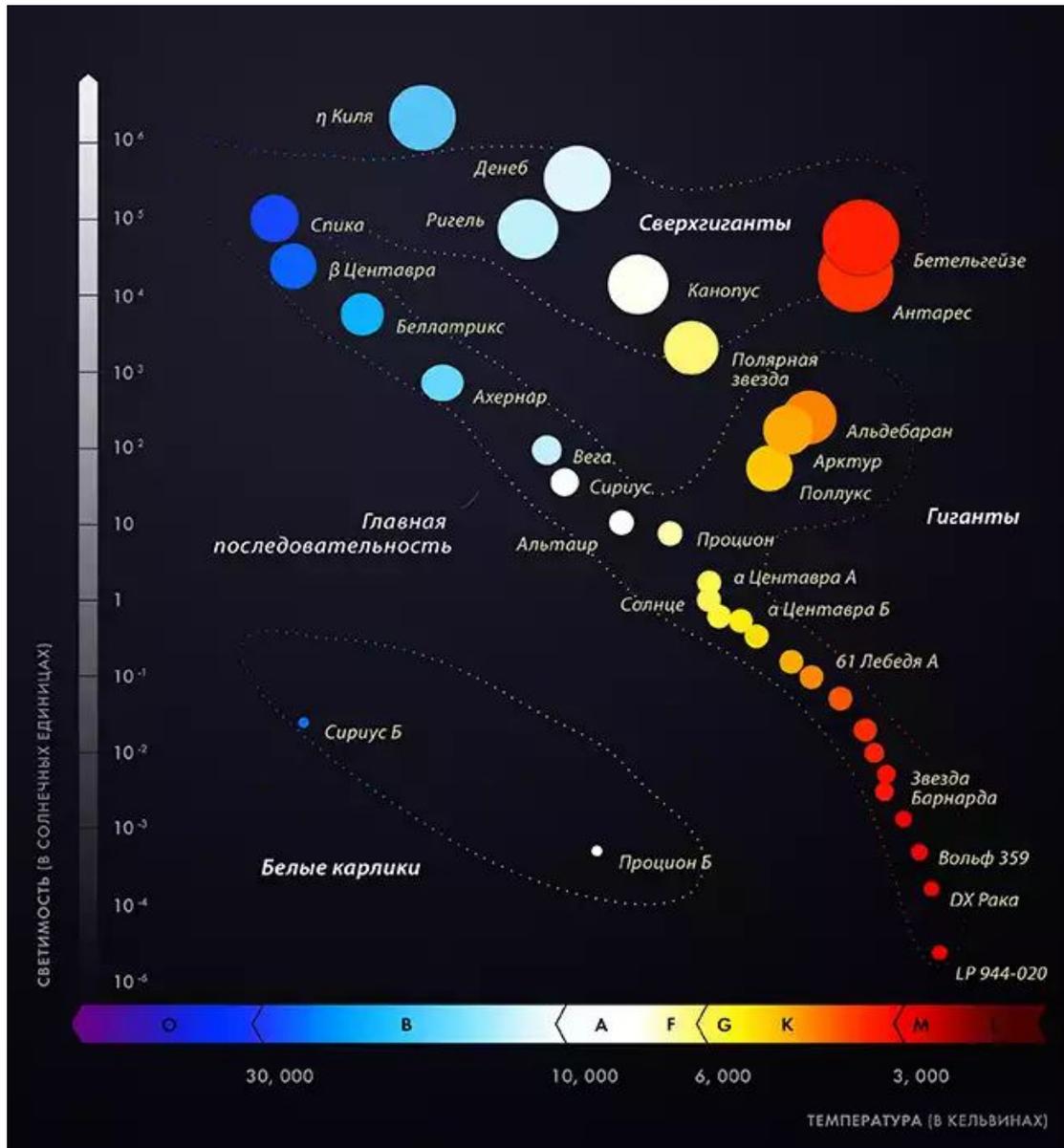


Диаграмма «спектр-светимость»

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**.

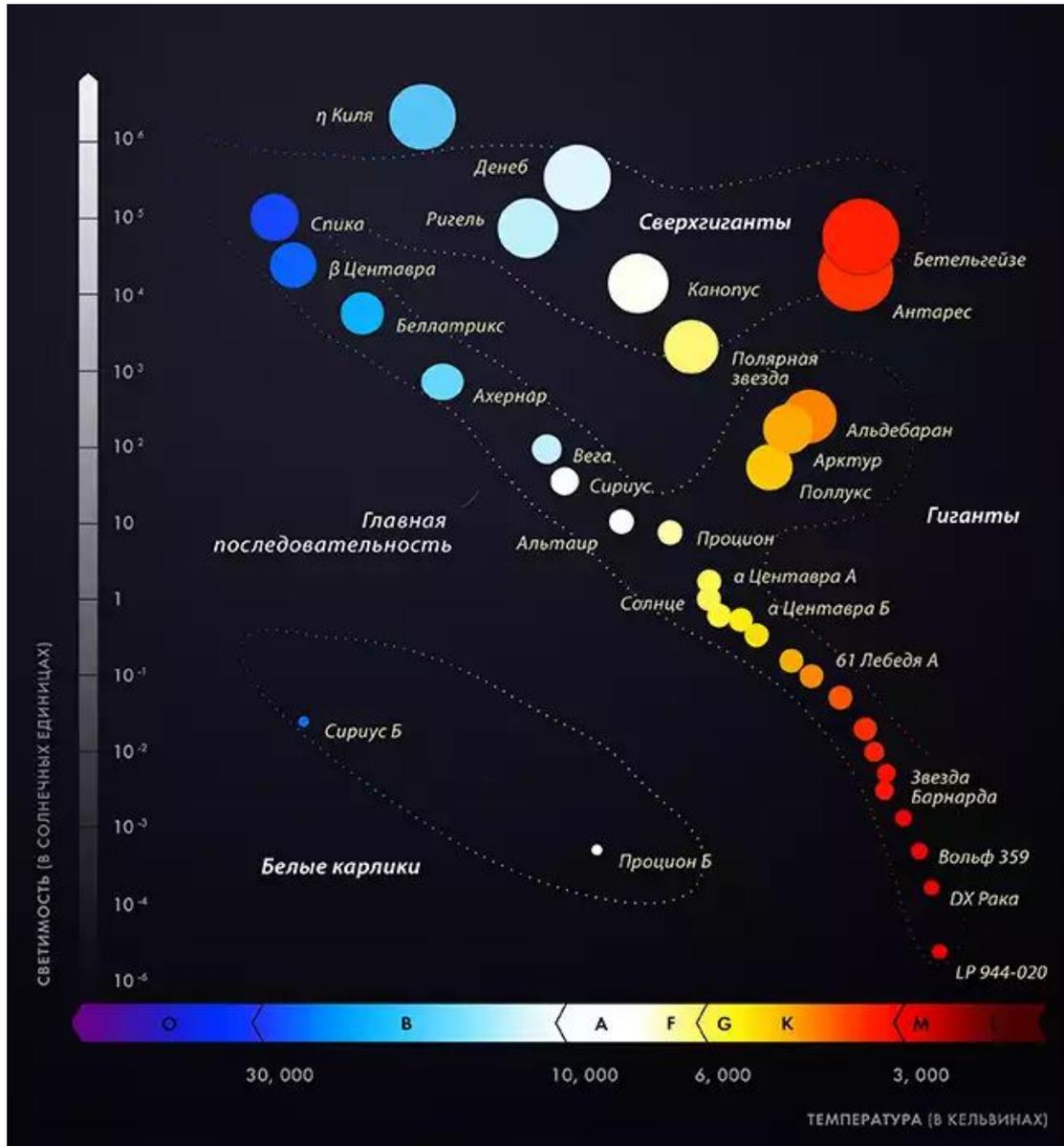
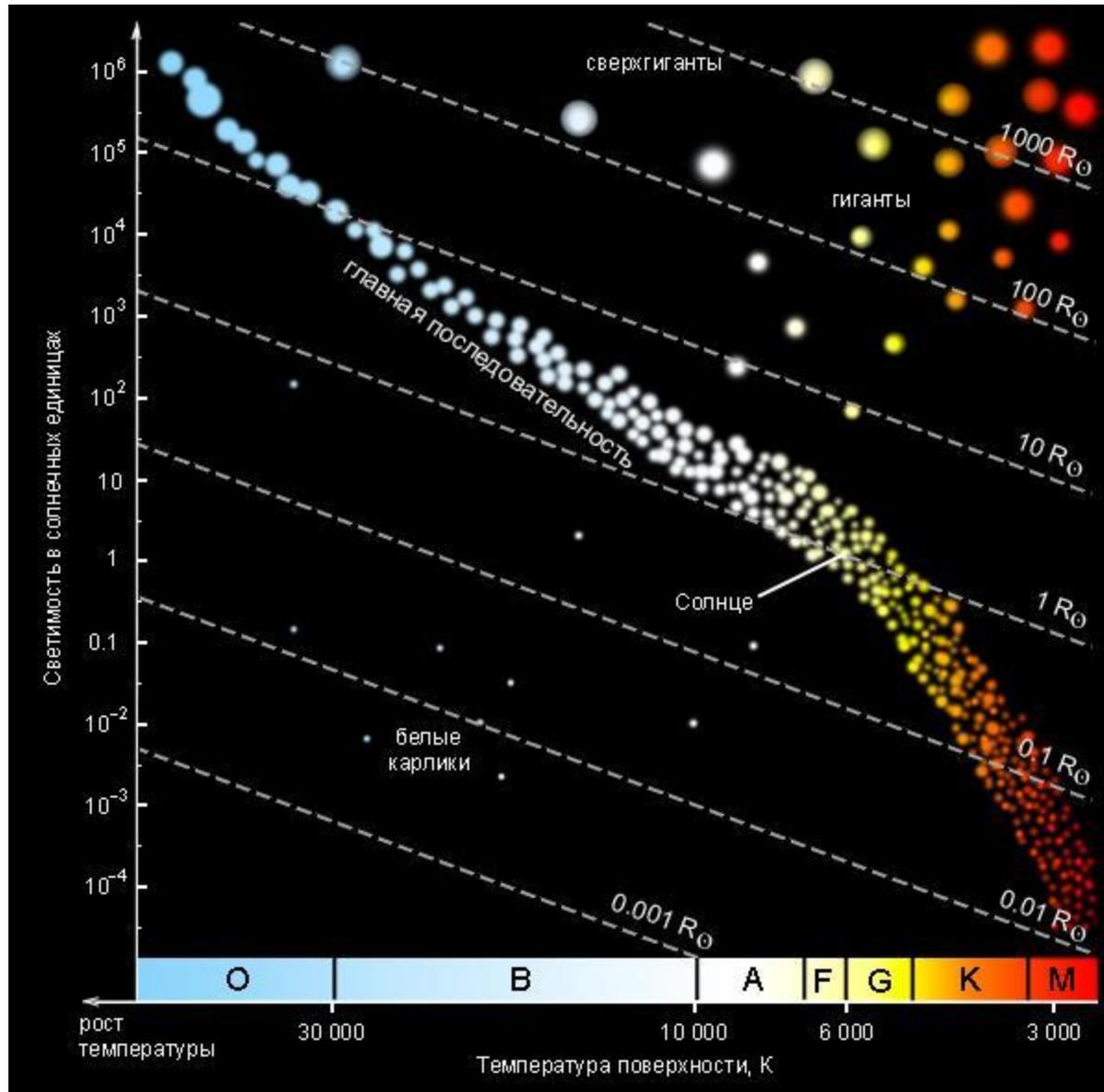


Диаграмма «спектр-светимость»

Диаграмма «спектр-светимость»



Главная последовательность:

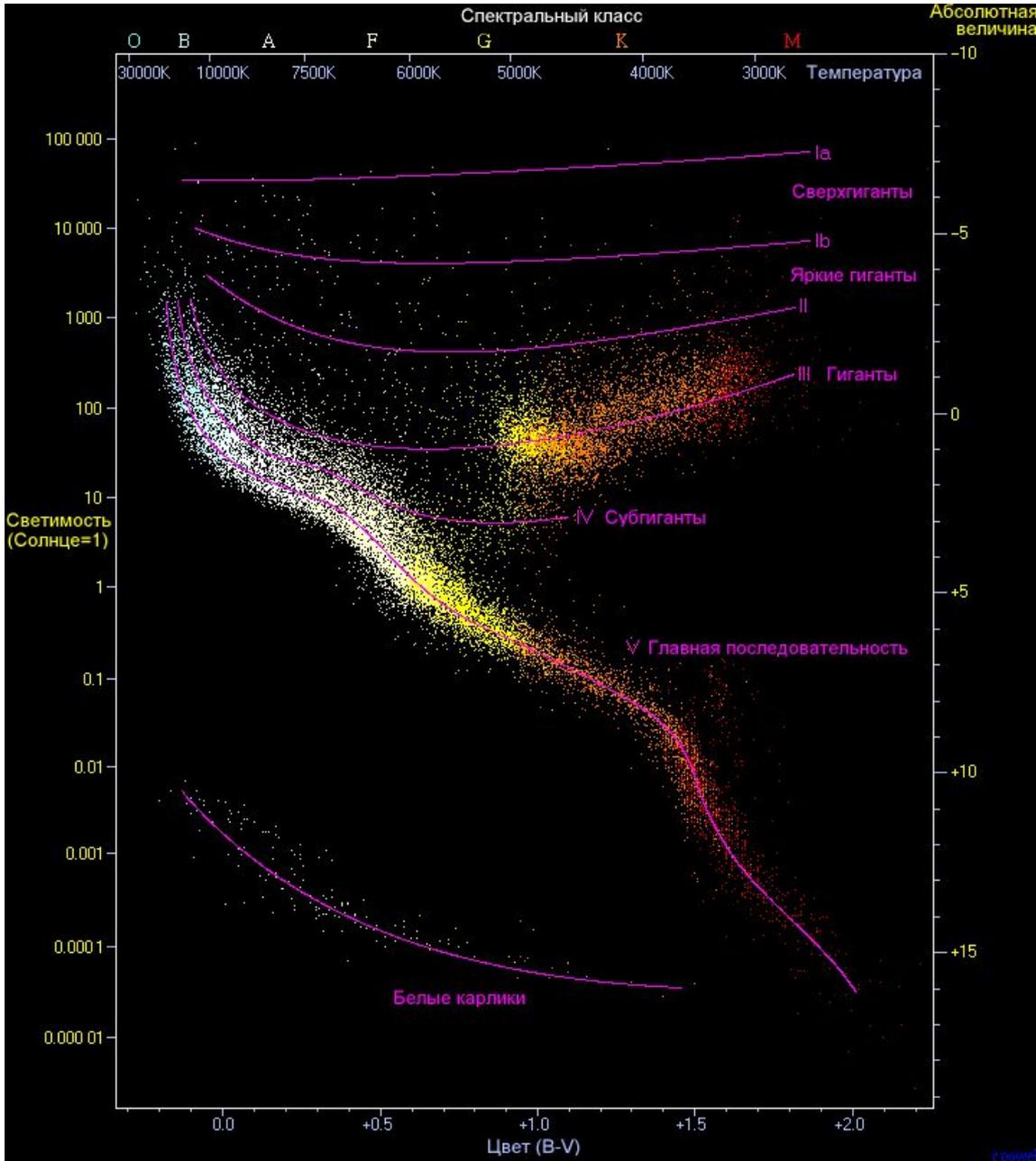
- это последовательность звезд разной массы. Самые большие (голубые гиганты) расположены в верхней части, а самые маленькие звезды – карлики – в нижней части главной последовательности
- это нормальные звезды похожие на Солнце в которых водород сгорает в термоядерной реакции.

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 ~ 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.

Светимость и размер звезд



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

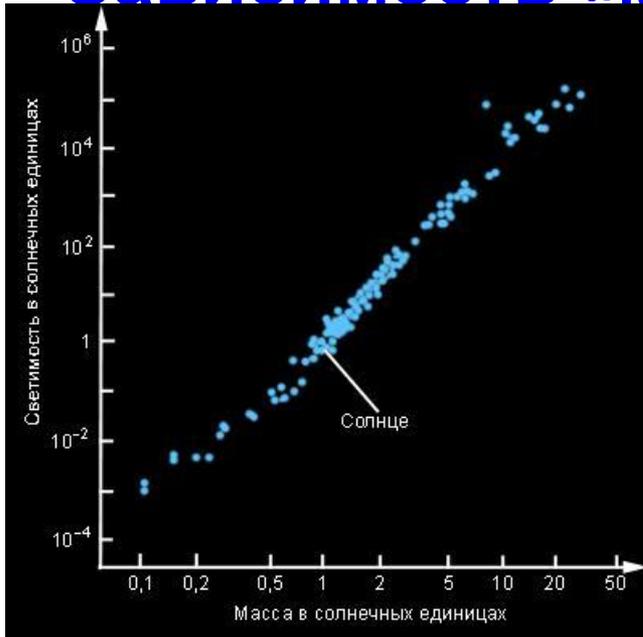
сверхгиганты – I класс светимости;
гиганты – II класс светимости;
звезды главной последовательности – V класс светимости;
субкарлики – VI класс светимости;
белые карлики – VII класс светимости.

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.**

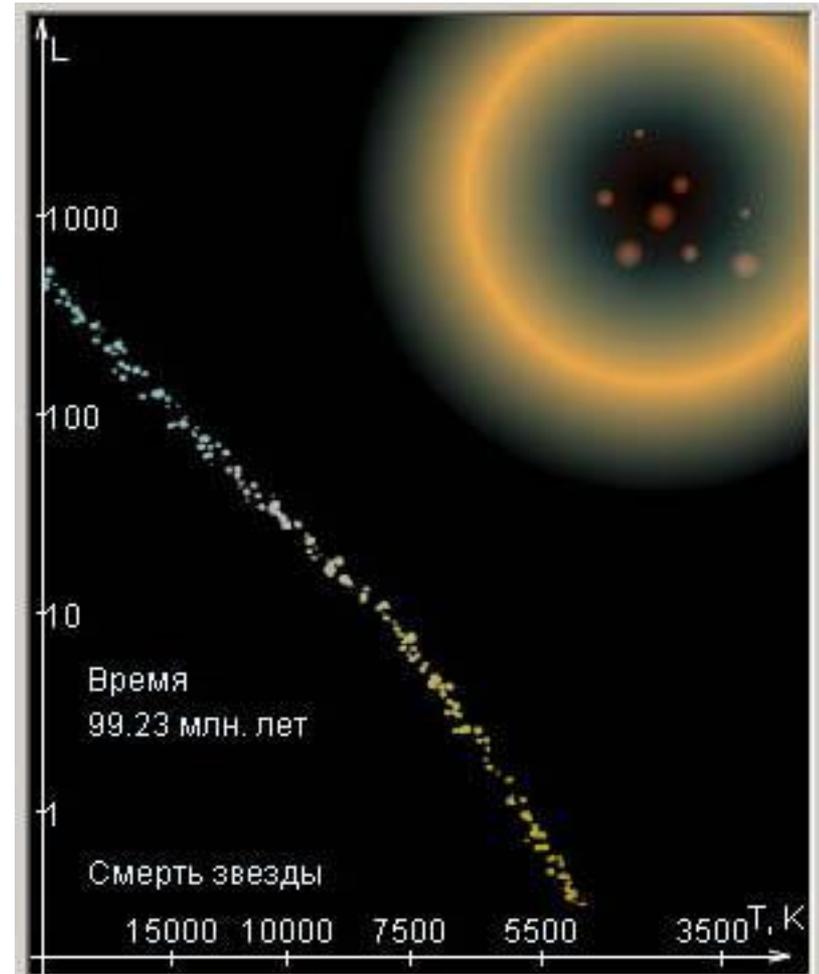
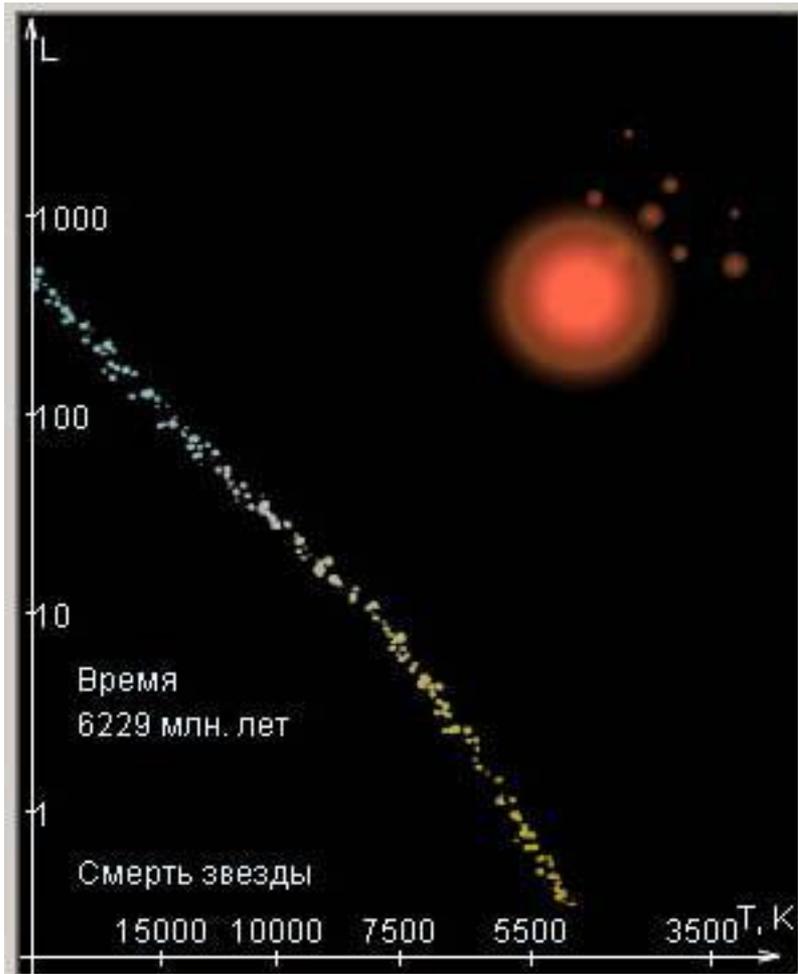
- **Звезда на главной последовательности** находится пока внутри происходит термоядерная реакция, что зависит от массы и химического состава. Время жизни на главной последовательности самое долгое в эволюции. Для звезд разной массы:

- **$M=0,8M_{\odot}$** $\tau=20$ 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

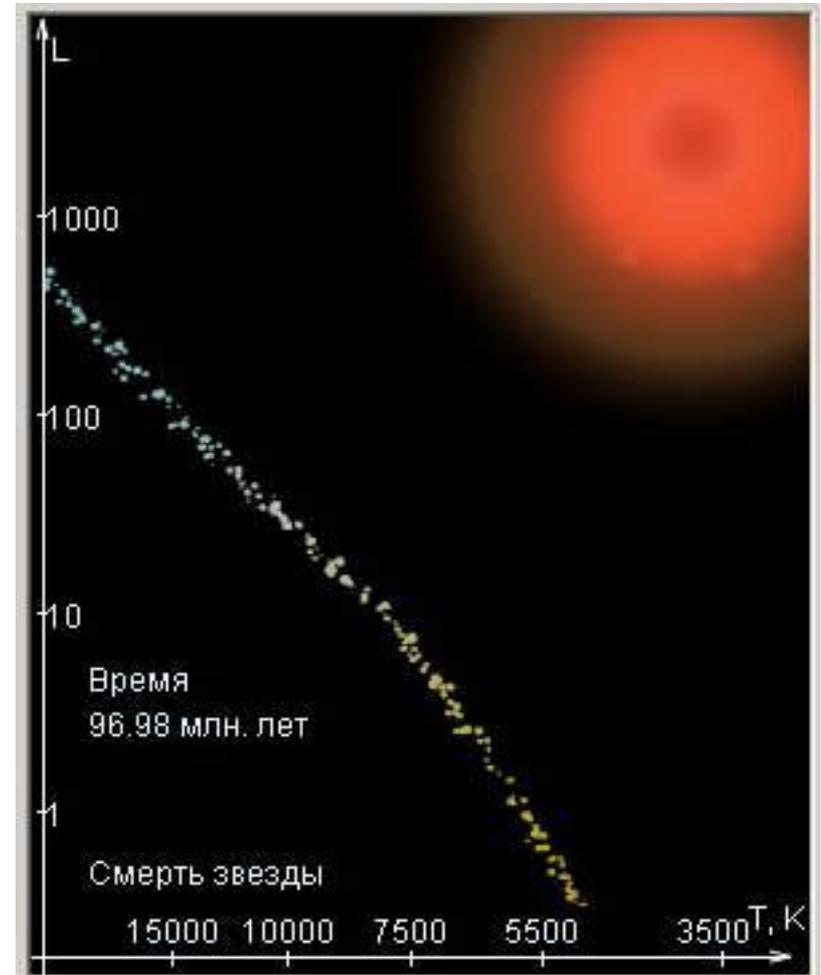
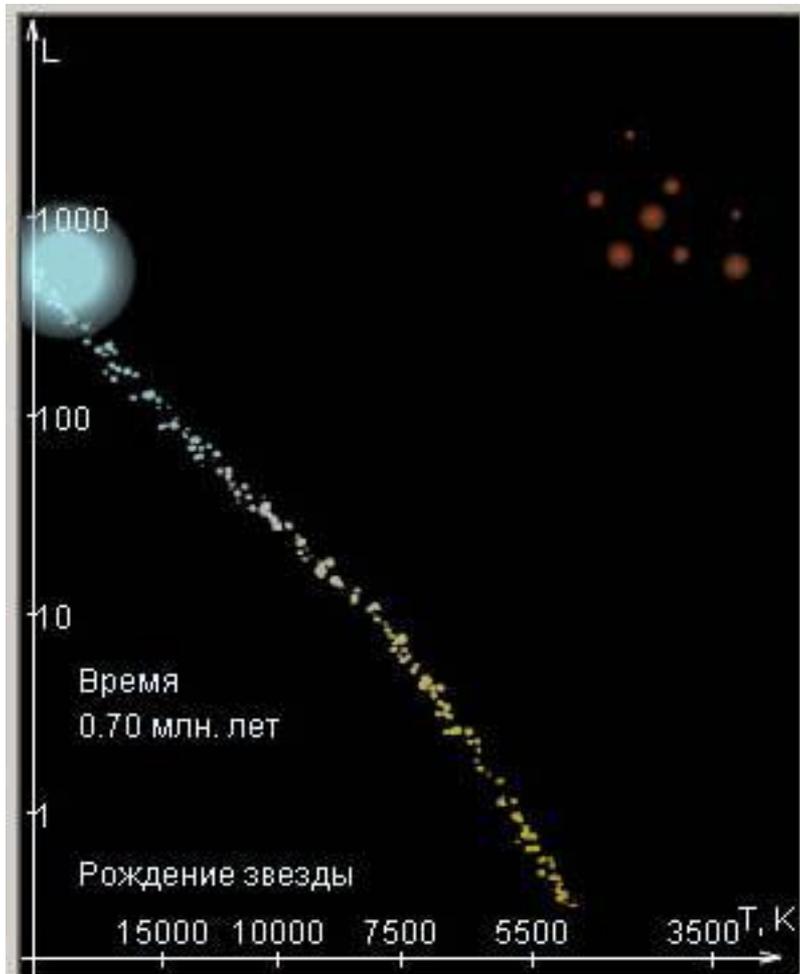
Стадии эволюции звезды после ухода с главной последовательности тоже короткие. Типичные звезды, как Солнце, становятся красными гигантами, очень массивные – красными сверхгигантами.

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



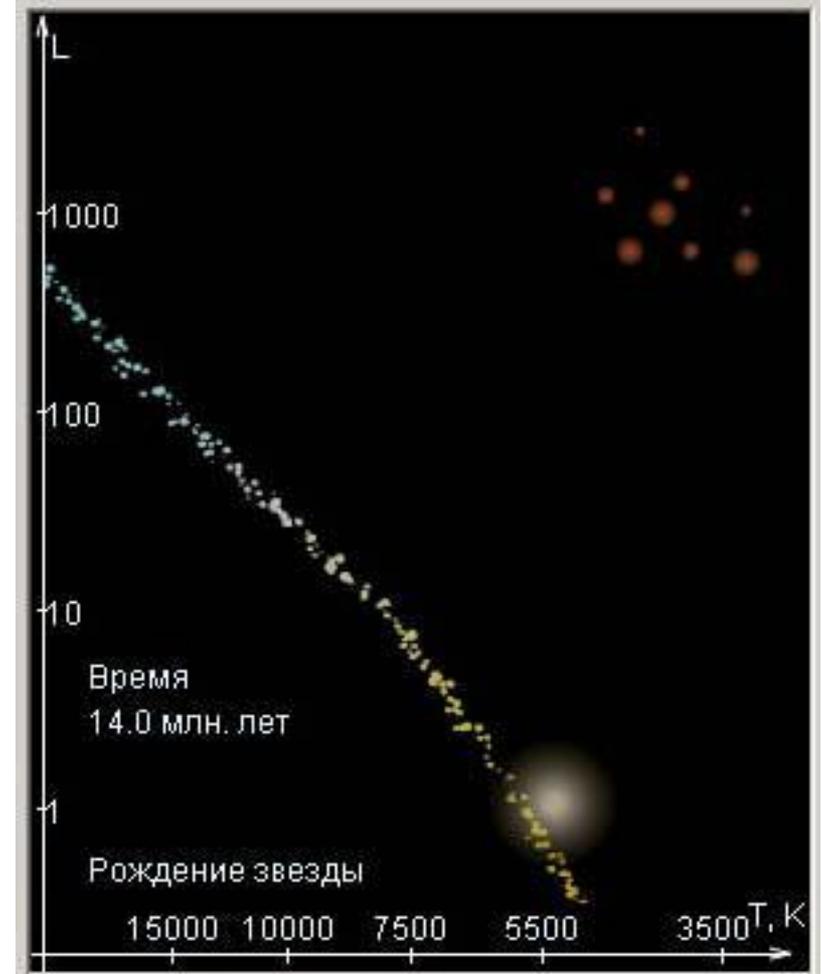
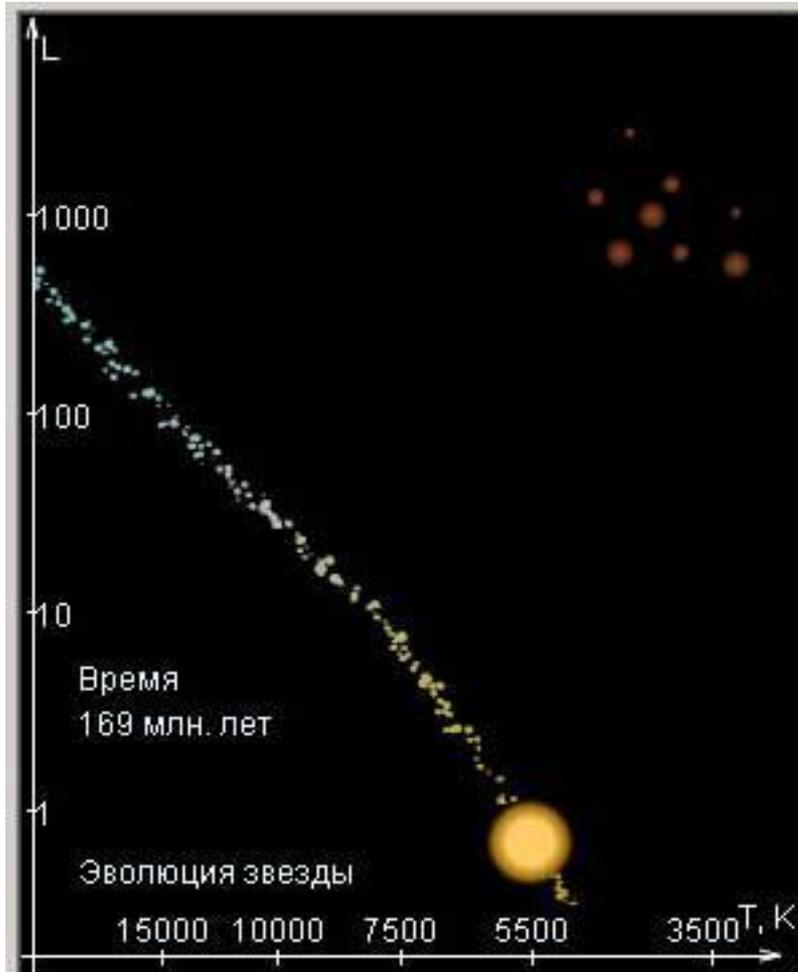
Эволюция звезд большой массы

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.

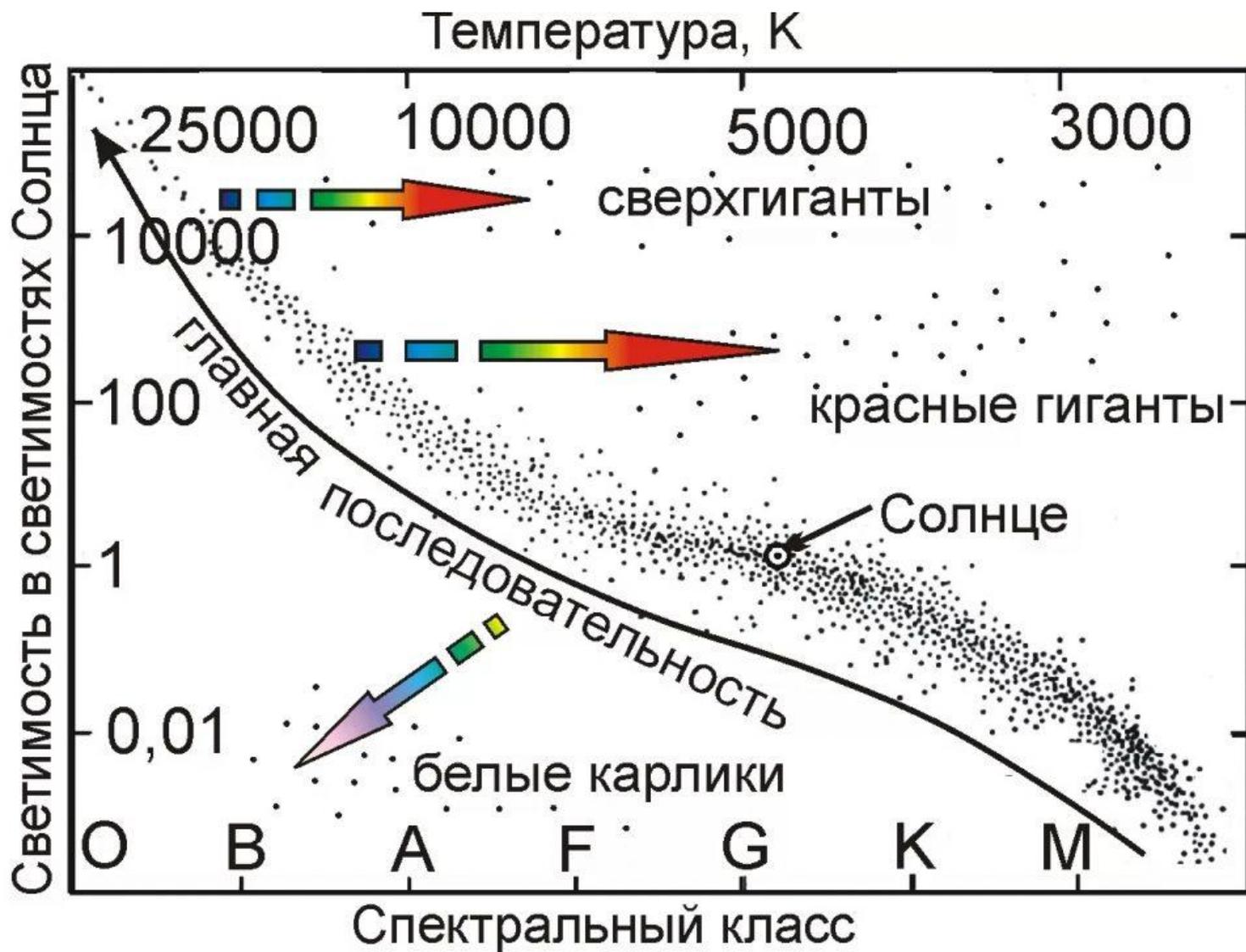


Эволюция красных карликов

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



И еще раз



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