

# Звезды: главные действующие лица

Что такое звезда?

Снятие мерки со звезд.

# Что такое звезда?

Они восходили над динозаврами, над великим оледенением, над строящимися египетскими пирамидами. Одни и те же звезды указывали путь финикийским мореплавателям и каравеллам Колумба, созерцали с высоты Столетнюю войну и взрыв ядерной бомбы в Хиросиме. Одним людям виделись в них глаза богов и сами боги, другим – серебряные гвозди, вбитые в хрустальный купол небес, третьим – отверстия, через которые струится небесный свет.

«Этот космос, один и тот же для всех, не создал никто из богов, никто из людей, но он всегда был, есть и будет вечно живой огонь, мерно возгорающийся, мерно угасающий.»

(Гераклит Эфесский)



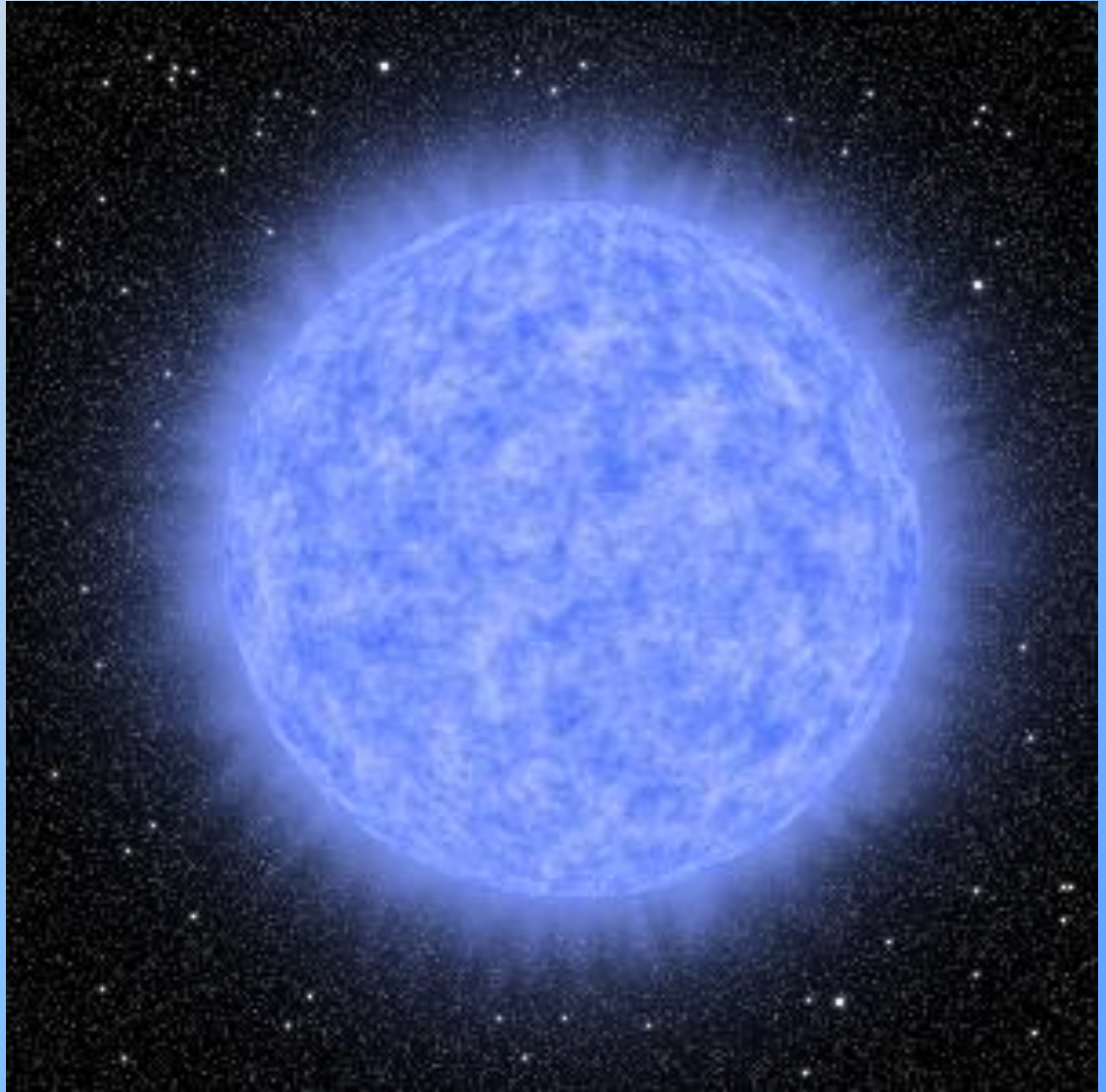
Гераклит Эфесский  
(р. около 544—540 до н. э. — г. смерти неизвестен)

**Нам повезло – мы живем в относительно спокойной области Вселенной. Возможно, именно благодаря этому жизнь на Земле возникла и существует в продолжение такого огромного (по человечески меркам) промежутка времени. Но с точки зрения исследования звезд этот факт вызывает чувство досады. На многие парсеки вокруг – только неяркие и невыразительные светила, подобные нашему Солнцу. А все редко встречающиеся типы звезд находятся очень далеко. Видимо, поэтому разнообразие мира звезд так долго оставалось скрытым от человеческого глаза.**



Основными характеристиками звезды являются мощность её излучения, масса, радиус, температура и химический состав атмосферы. Зная данные параметры, можно рассчитать возраст звезды. Эти параметры изменяются в очень широких пределах. Кроме того они взаимосвязаны. Звезды самой высокой светимости обладают наибольшей массой, и наоборот.

Все параметры  
звезды зависят  
от её возраста,  
массы и  
химического  
состава.



# Снятие мерки со звезд.

## Блеск

Первое, что замечает человек при наблюдении ночного неба, - это различная яркость звезд. Видимый блеск звезд оценивают в звездных величинах.

Видимый блеск – легко измеряемая, важная, но далеко не исчерпывающая характеристика. Для того чтобы установить мощность излучения звезды – *светимость*, надо знать расстояние до неё.

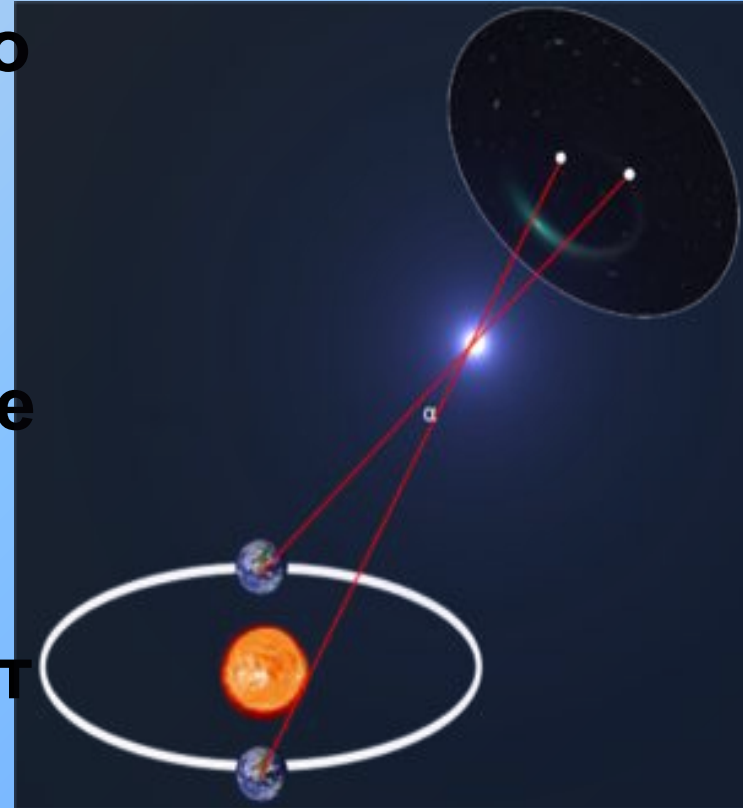




## Расстояния до звезд

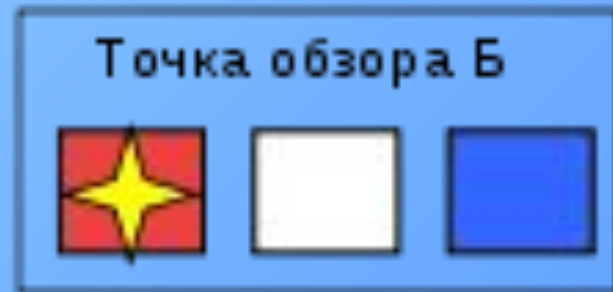
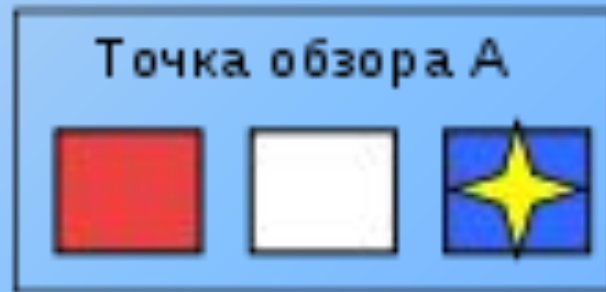
Расстояние до далекого предмета можно определить, не добираясь до него физически. Нужно измерить направления на этот предмет с двух концов известного отрезка (базиса), а затем рассчитать размеры треугольника, образованного концами отрезка и удаленным предметом. Это можно сделать, потому что в треугольнике известна одна сторона (базис) и два прилежащих угла. При измерениях на Земле этот способ называют триангуляцией.

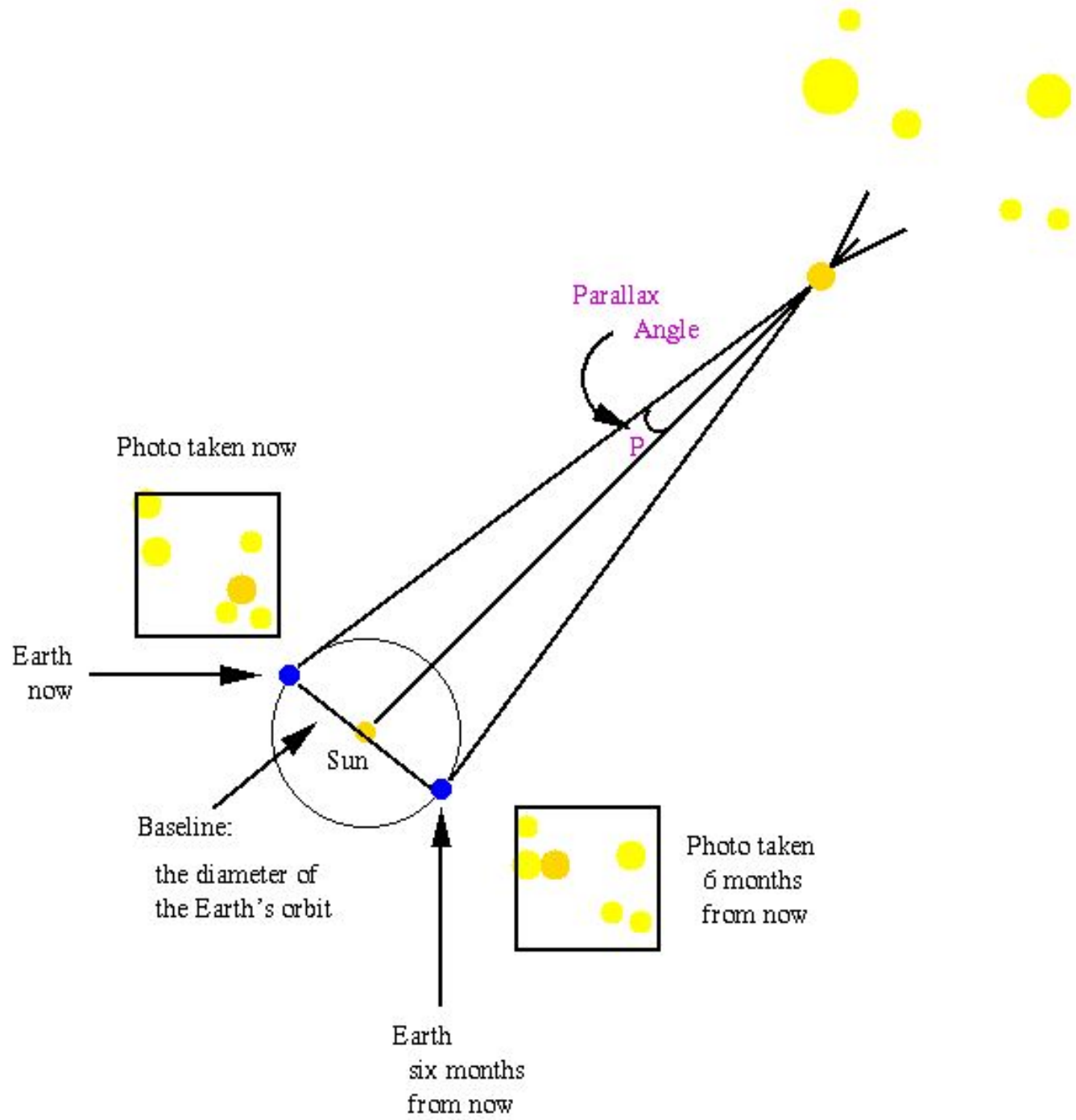
**Чем больше базис, тем точнее результат измерения.  
Расстояния до звезд велики, что длина базиса должна превосходить размеры земного шара иначе ошибка измерения будет больше измеряемой величины. Если произвести два наблюдения одной и той же звезды с интервалом в несколько месяцев, то окажется, что он рассматривает её с разных точек земной орбиты, - а это уже порядочный базис.**



Направление на звезду изменится: она немного сместится на фоне более далеких звезд и галактик. Это смещение называется *параллактическим*, а угол, на который сместилась звезда на небесной сфере, - *параллаксом*. Из геометрических соображений ясно, что он в точности равен тому углу, под которым были бы видны эти две точки земной орбиты со стороны звезды, и зависит как от расстояния между точками, так и от их ориентации в пространстве.

**Годичным параллаксом** звезды называется угол, под которым с неё был бы виден средний радиус земной орбиты, перпендикулярный направлению на звезду.





## Светимость

Когда были измерены расстояния до ярких звезд, стало очевидным, что многие из них по светимости значительно превосходят Солнце. Если светимость Солнца принять за единицу, то, к примеру, мощность излучения 4х ярчайших звезд неба, выраженная в светимостях Солнца, составит:

Сириус	22L
Канопус	4700L
Арктур	107L
Вега	50L

## Цвет и температура

Одна из легко измеряемых звездных характеристик – цвет. Как раскаленный металл меняет свой цвет в зависимости от степени нагрева, так и цвет звезды всегда указывает на её температуру. В астрономии применяют абсолютную шкалу температур, шаг которой – один кельвин – тот же, что и в привычной нам шкале Цельсия, а начало шкалы сдвинуто на  $-273$ .





# Гарвардская спектральная классификация

Спектральный класс	Эффективная температура, К	Цвет
O	26000-35000	Голубой
B	12000-25000	Бело-голубой
B	8000-11000	Белый
F	6200-7900	Желто-белый
G	5000-6100	Желтый
K	3500-4900	Оранжевый
M	2600-3400	Красный

Самые горячие звезды – всегда голубого и белого цвета, менее горячие – желтоватого, холодные – красноватого. Но даже наиболее холодные звезды имеют температуру 2-3 тыс. кельвинов – горячее любого расплавленного металла.

**O - гипергиганты (звезды самой высокой светимости);**

**Ia — яркие сверхгиганты;**

**Ib - более слабые сверхгиганты;**

**II — яркие гиганты;**

**III — нормальные гиганты;**

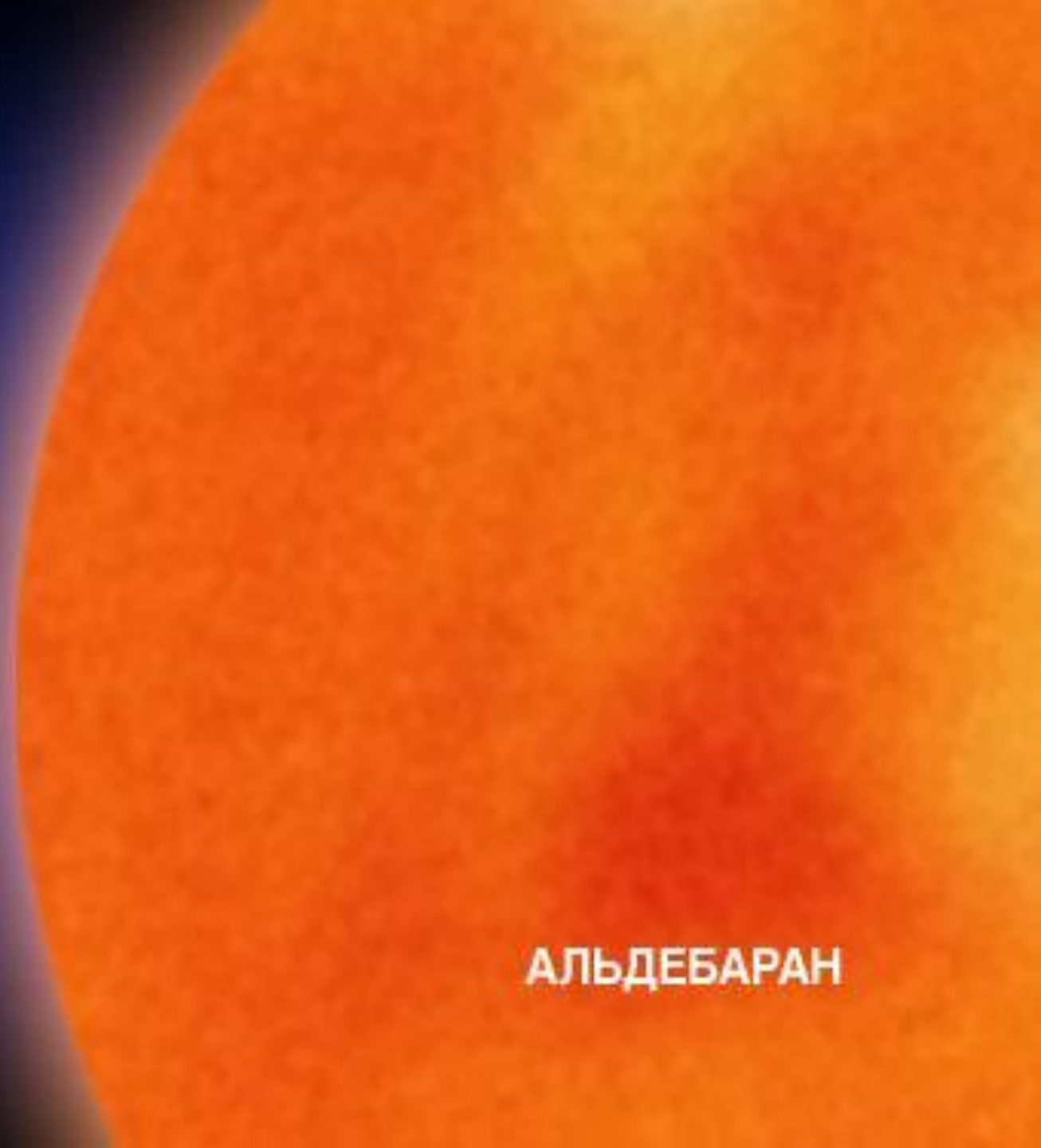
**IV — субгиганты;**

**V — карлики (звезды главной последовательности).**

СОЛНЦЕ



АЛЬДЕБРАН



## Размеры звезд

Как узнать размер звезды? На помощь астрономам приходит Луна. Она медленно движется на фоне звезд, по очереди «перекрывая» идущий от них свет. Хотя угловой размер звезды чрезвычайно мал, Луна заслоняет его не сразу, а за время в несколько сотых или тысячных долей секунды. По продолжительности процесса уменьшения яркости звезды при покрытии её Луной определяют угловой размер звезды. А зная расстояние до звезды, из углового размера легко получить её истинные размеры.

Earth



Venus



Mars



Mercury



Pluto



**Сравнительный размер планет земной группы**

Jupiter

Saturn

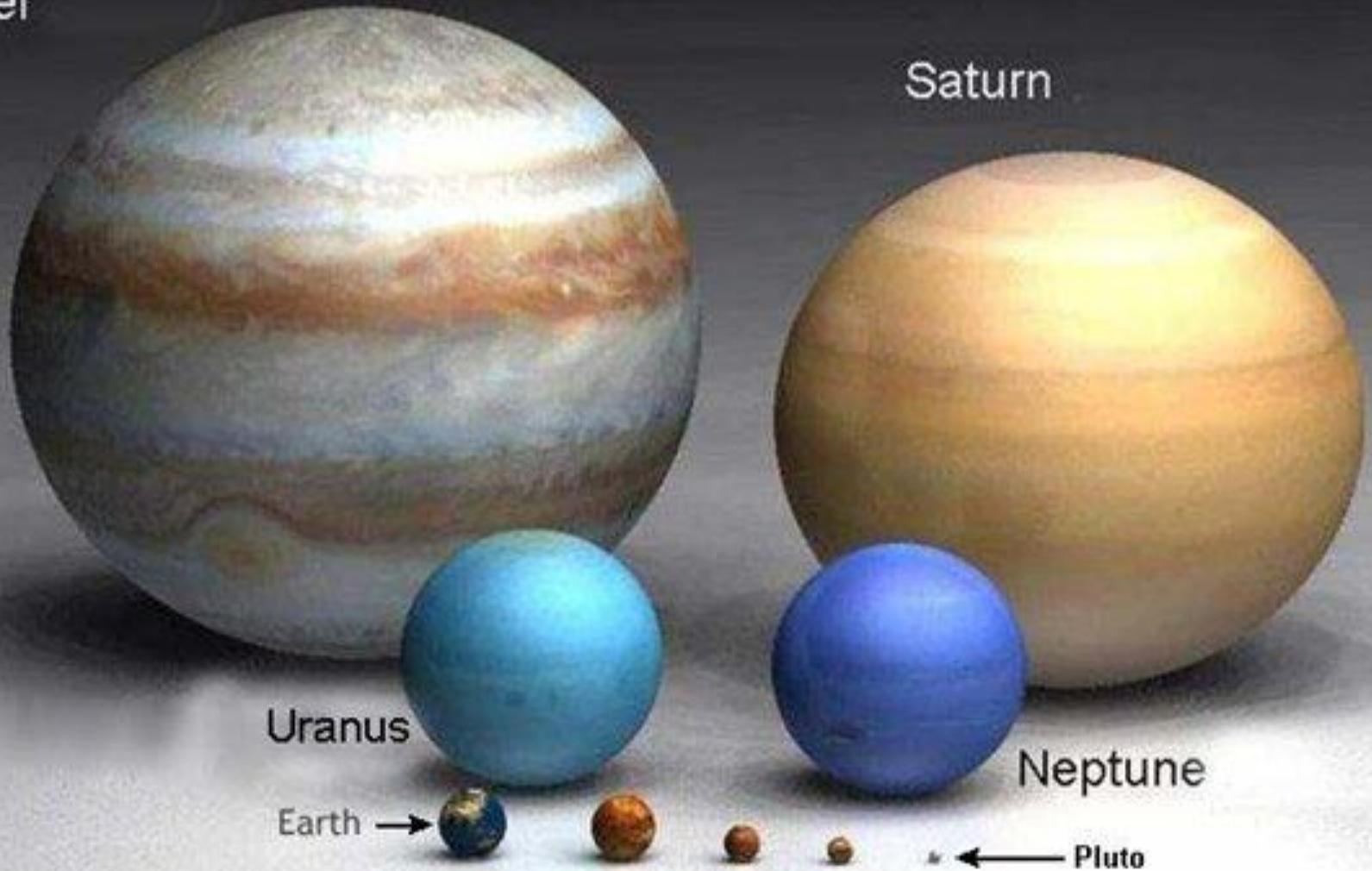
Uranus

Neptune

Earth →

← Pluto

**Сравнительный размер планет-гигантов**

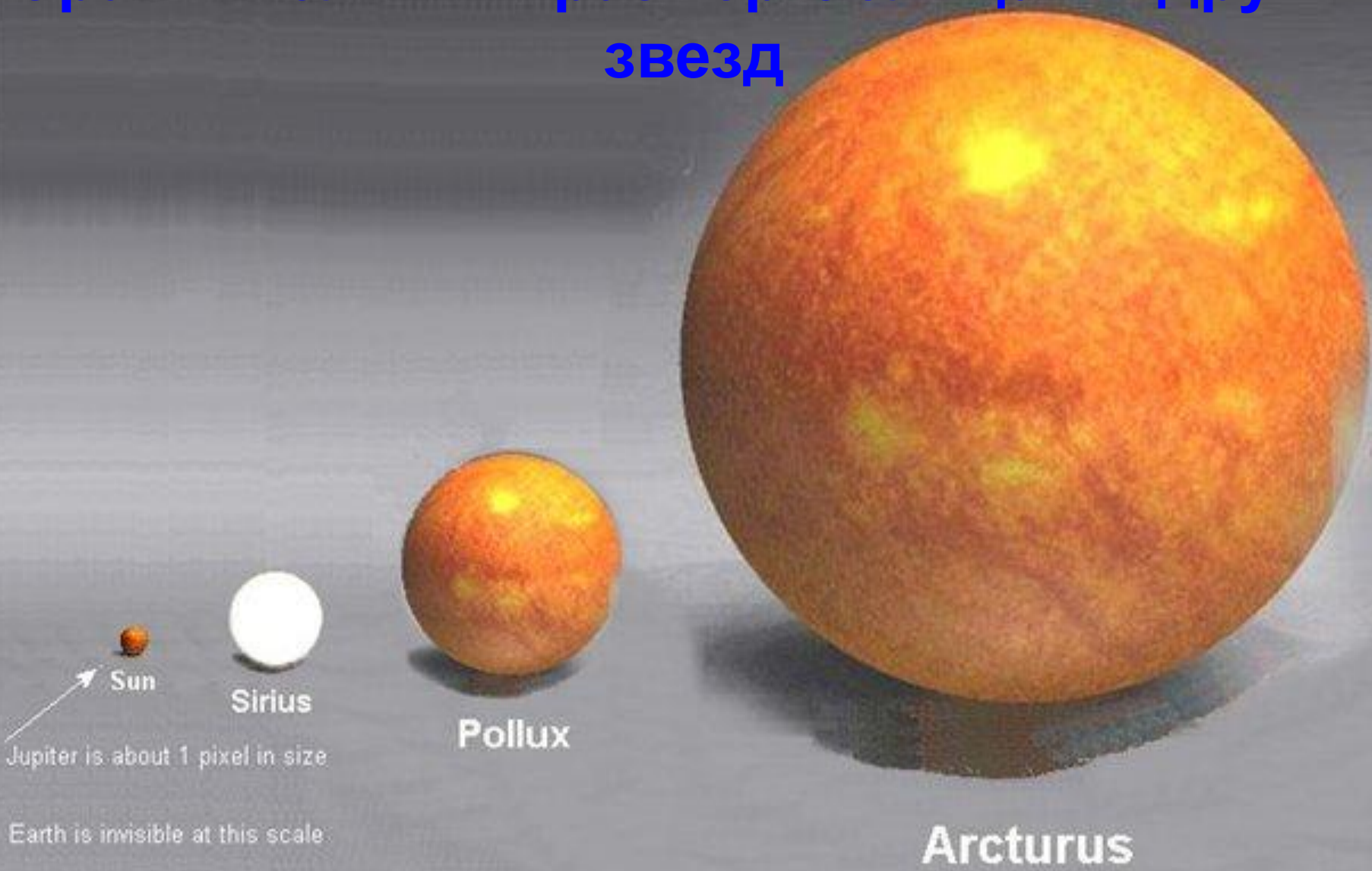


Sun



Сравнительный размер планет и нашего Солнца

# Сравнительный размер Солнца - и других звезд



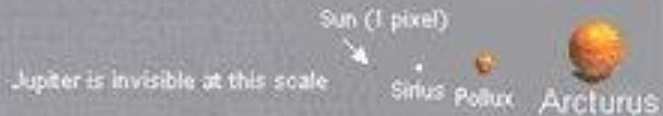


# Сравнительный размер Солнца - и планет сверхгигантов



Betelgeuse

Antares



Jupiter is invisible at this scale

Sun (1 pixel)  
Sirius Pollux Arcturus



Rigel

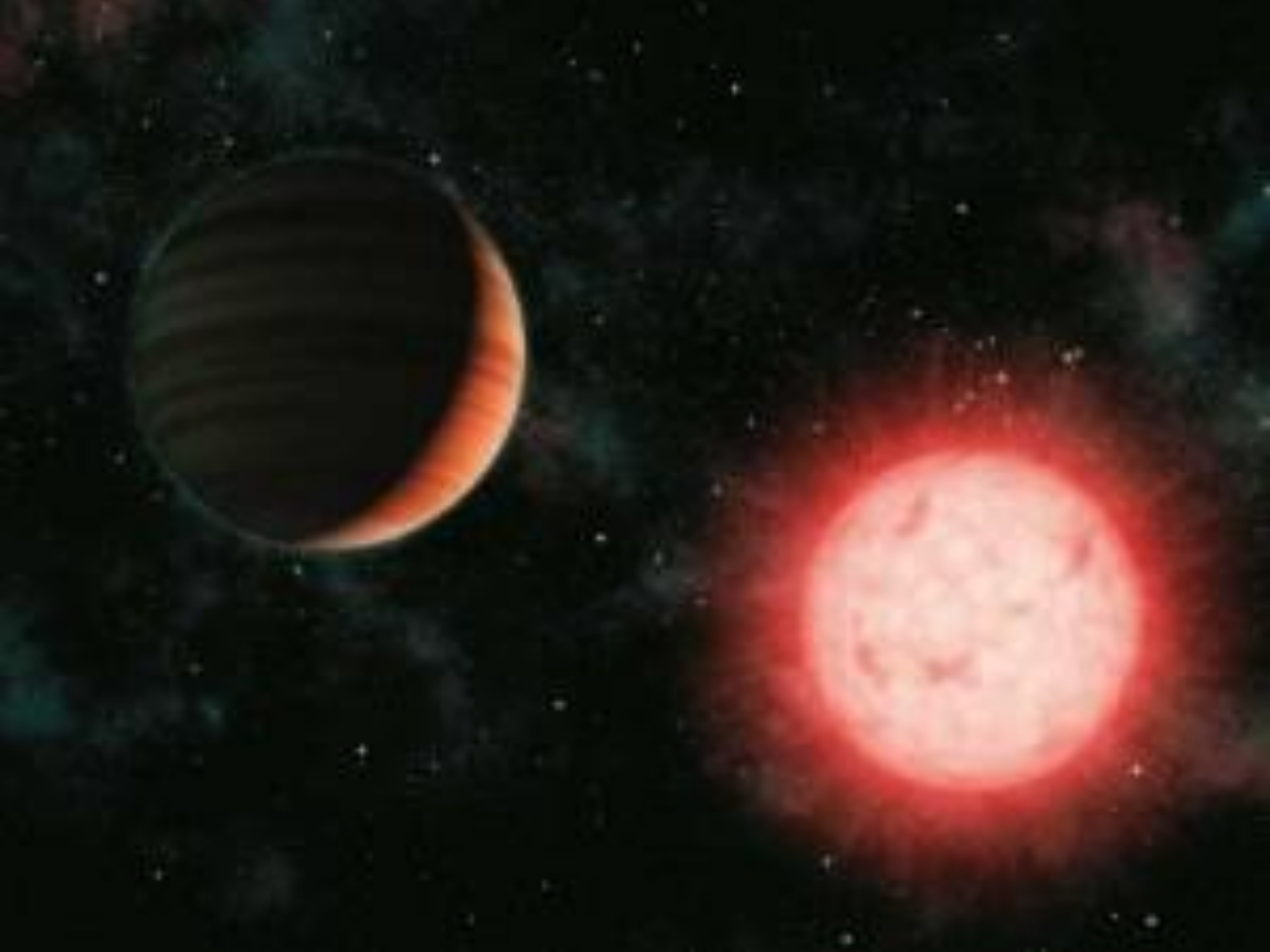
Aldebaran

Измерения показали, что самые маленькие звезды, наблюдаемые в оптических лучах, - так называемые *белые карлики* – имеют в диаметре несколько тысяч километров. Размеры же наиболее крупных – *красных сверхгигантов* – таковы, что, если бы можно было поместить подобную звезду на место Солнца, большая часть планет Солнечной системы оказалась бы внутри неё.

## Масса звезды

Важнейшей характеристикой звезды является масса. Чем больше вещества собралось в звезду, тем выше давление и температура в её центре, а это определяет практически все остальные характеристики звезды, а также особенности её жизненного пути.

Прямые оценки массы могут быть сделаны только на основании закона всемирного тяготения

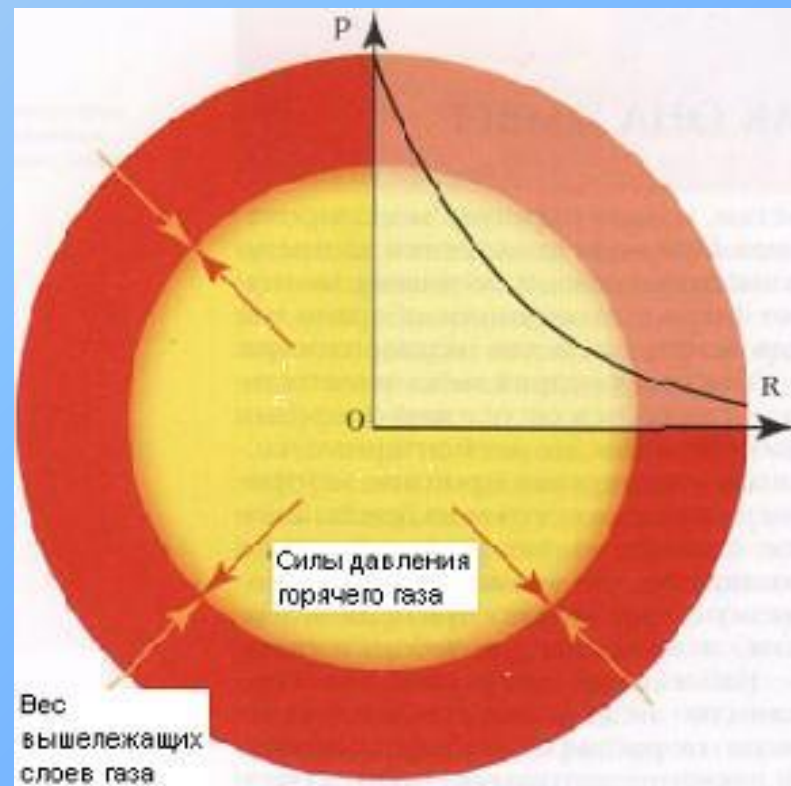


Анализируя важнейшие характеристики звезд, сопоставляя их друг с другом, ученые смогли установить и то, что недоступно прямым наблюдениям: как устроены звезды, как они образуются и изменяются в течение жизни, во что превращаются, растратив запасы энергии.



**Равновесие в звезде. Сила тяжести верхних слоев уравновешивается давлением газа, которое растет от периферии к центру. На графике показана зависимость давления ( $p$ ) от расстояния до центра ( $R$ )**

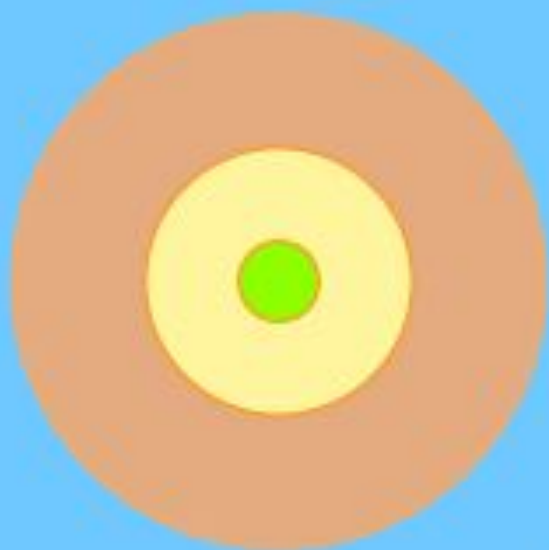
**Звёзды не останутся вечно такими же, какими мы их видим сейчас. Во Вселенной постоянно рождаются новые звёзды, а старые умирают.**



Звезда излучает энергию, вырабатываемую в её недрах. Температура в звезде распределена так, что в любом слое в каждый момент времени энергия, получаемая от нижележащего слоя, равняется энергии, отдаваемой слою вышележащему. Сколько энергии образуется в центре звезды, столько же должно излучаться её поверхностью, иначе равновесие нарушится. Таким образом, к давлению газа добавляется ещё и давление излучения.



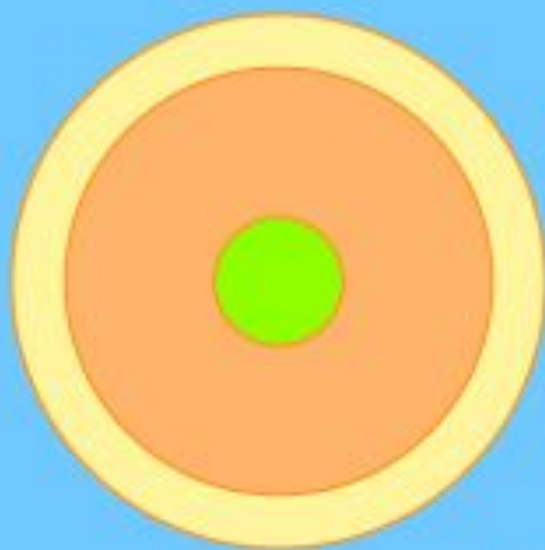
# Внутренняя структура звезд главной последовательности



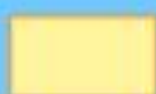
звезда класса O  
(60 солн. масс)



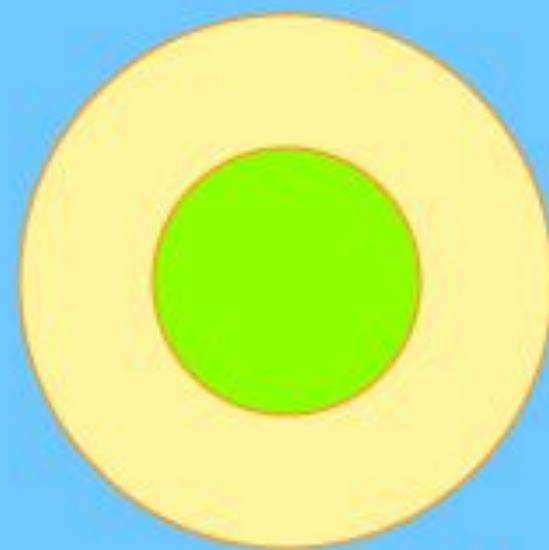
лучистая зона



звезда класса G  
(1 солн. масса)



конвект. зона



звезда класса M  
(0.1 солн. масса)

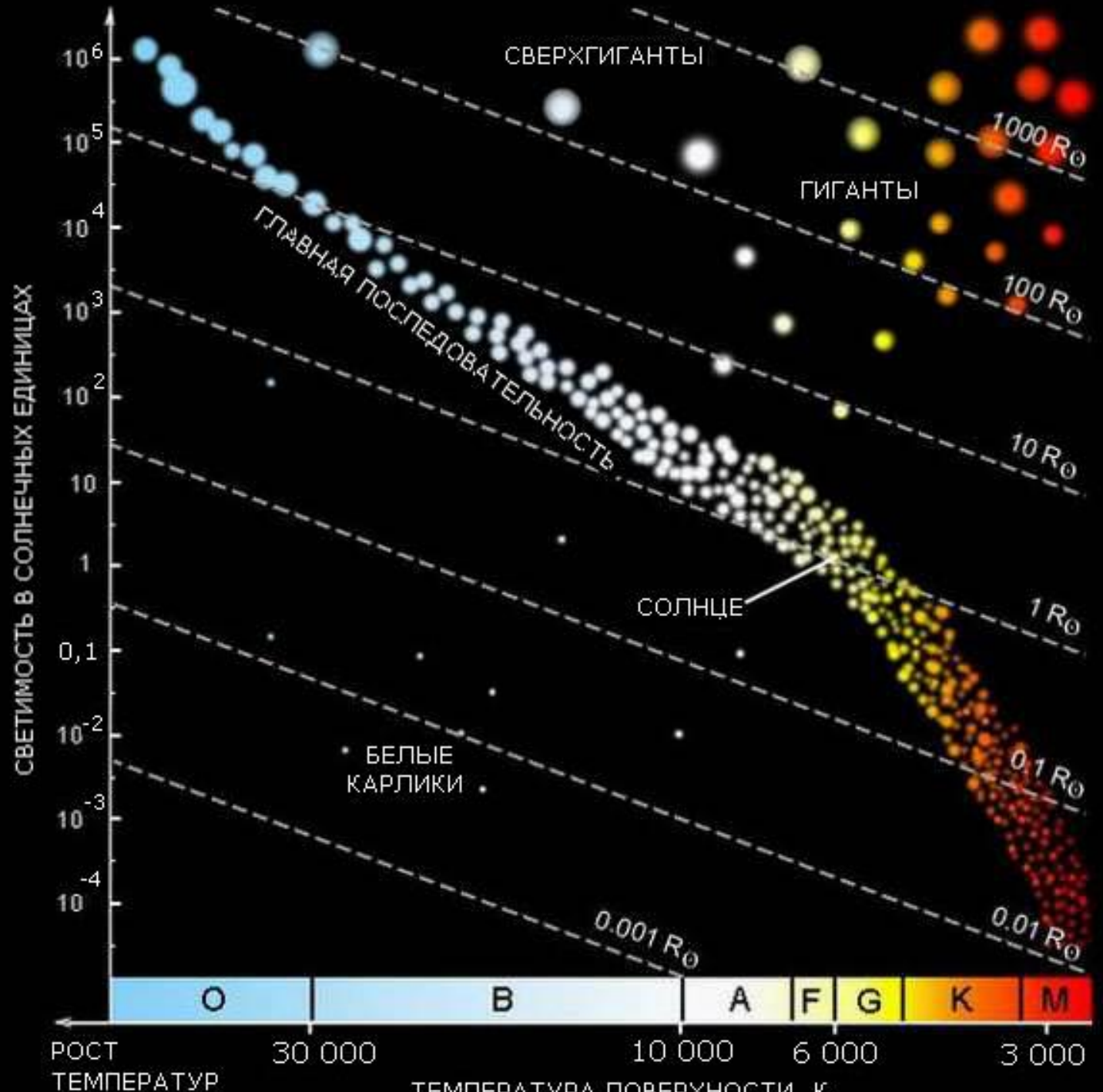


ядерное горение

## Диаграмма Герцшпрунга - Расселла

В конце XIX - начале XX в. В астрономию вошли фотографические методы количественных оценок видимого блеска звезд и их цветовых характеристик.

В 1913 г. Американский астроном Генри Расселл сопоставил светимость различных звезд с их спектральными классами. На диаграмму спектр – светимость он нанес все звезды с известными в то время расстояниями.



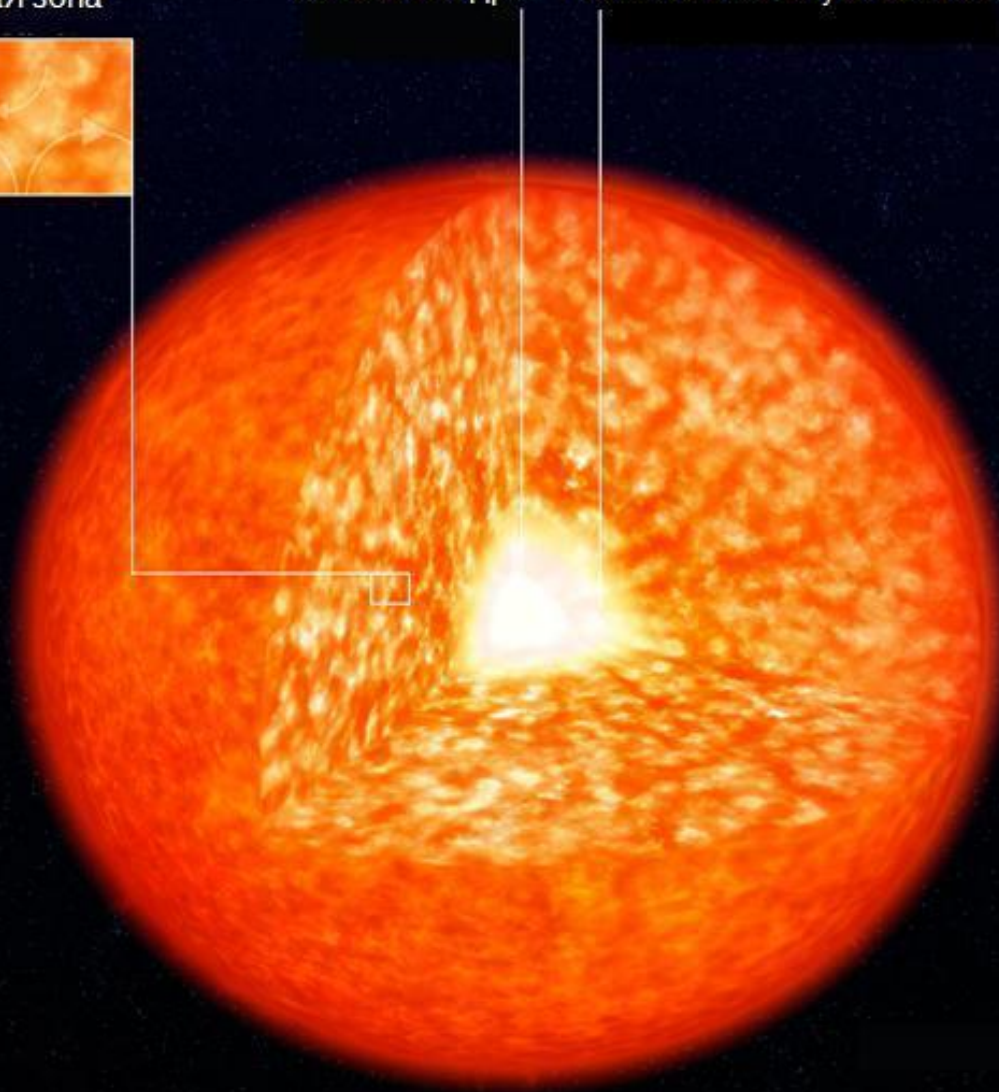
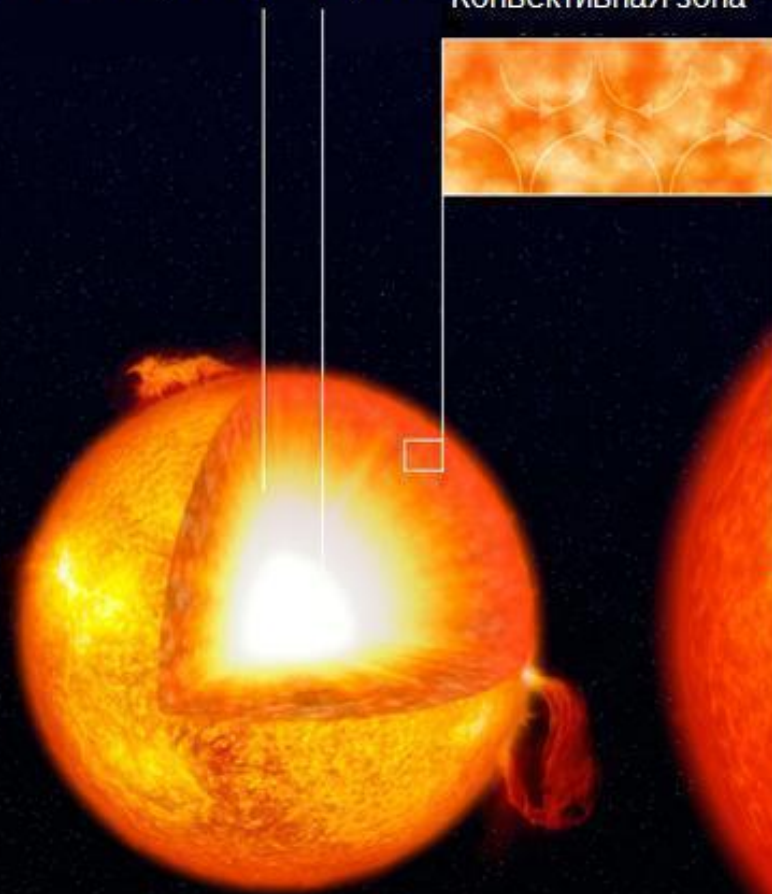
Зона лучистого переноса

Ядро

Конвективная зона

Гелиевое ядро

Слоевая зона нуклеосинтеза



Звезда солнечного типа

Красный гигант



Масштаб  $\rightarrow$  200 R Солнца