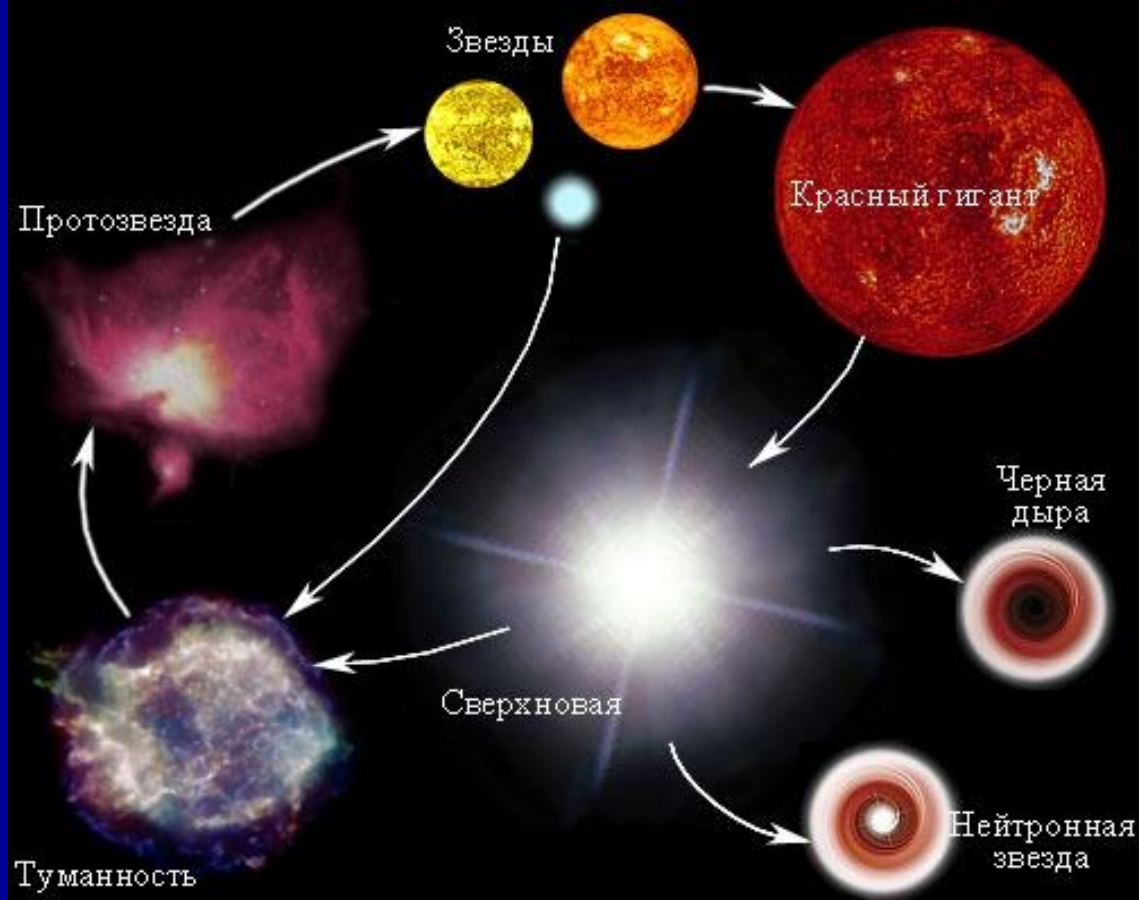


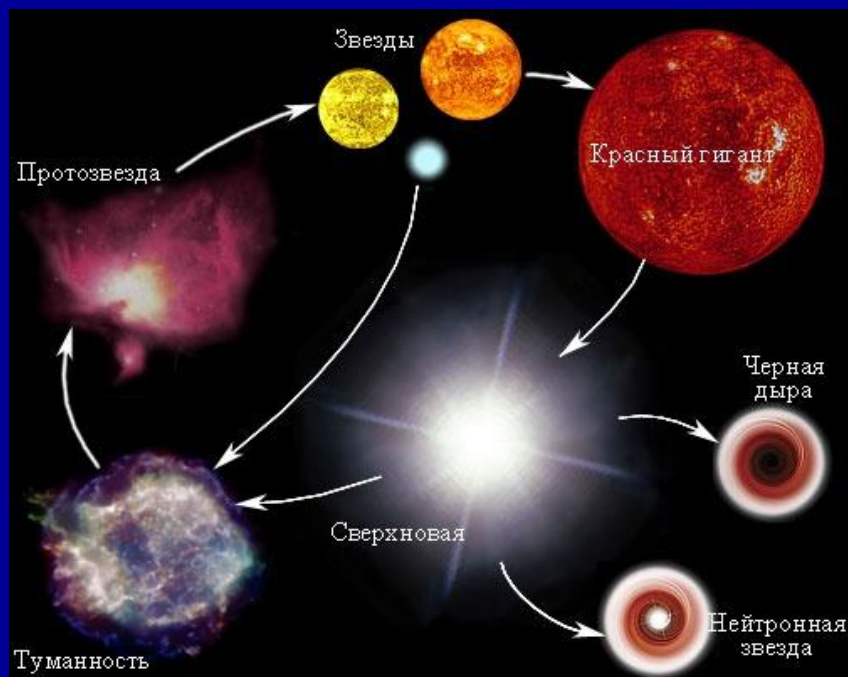
# Звезды — от рождения до смерти





### Этапы существования звёзд:

1. Туманность
2. Сжатое газовое облако
3. Протозвезда
4. Звезда типа Солнца
5. Красный гигант
6. Сбрасывание внешних оболочек
7. Белый карлик

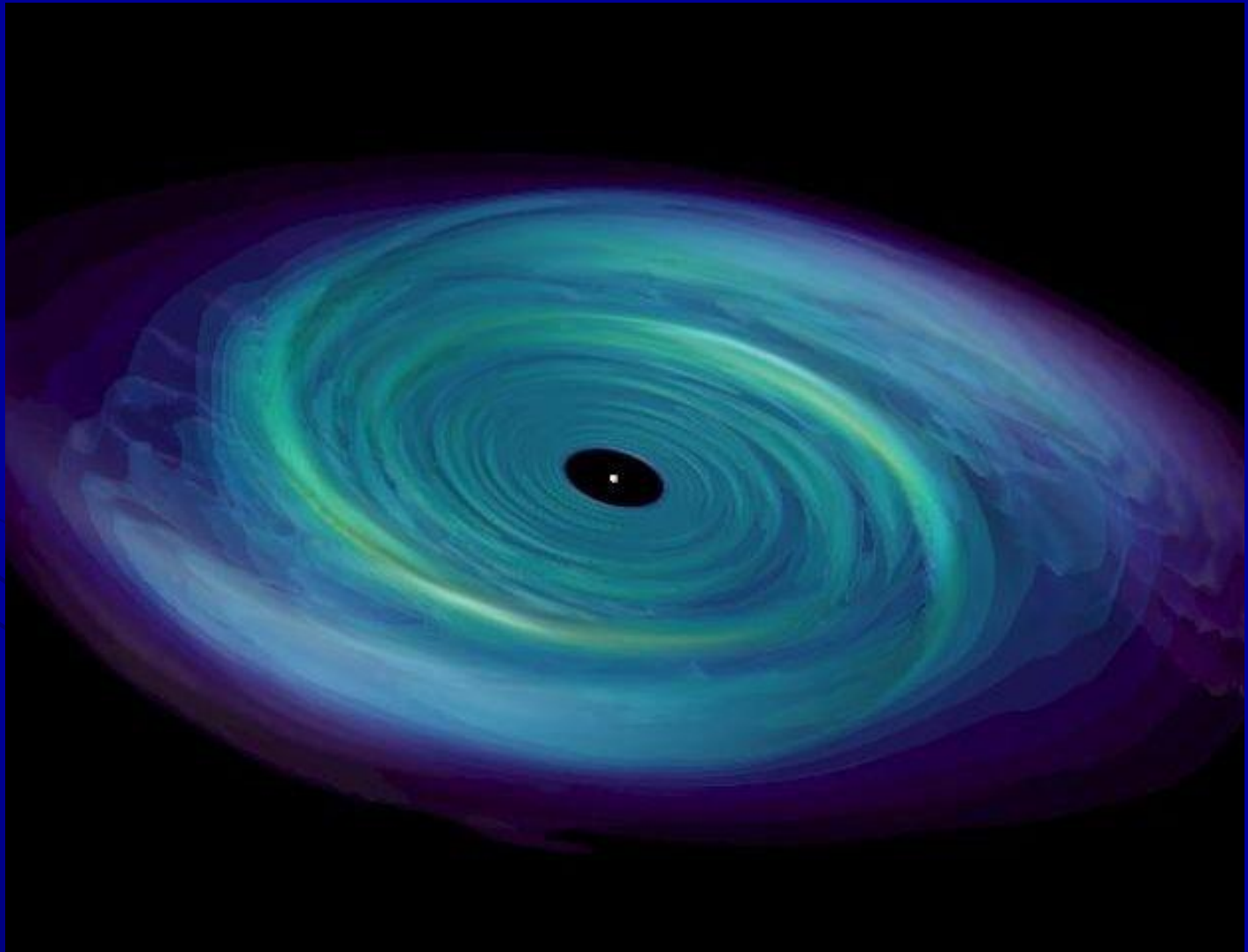


На звездном небе наряду со звездами имеются облака, состоящие из частиц газа и пыли (водорода). Некоторые из них настолько плотные, что начинают сжиматься под действием сил гравитационного притяжения. По мере сжатия газ нагревается и начинает излучать инфракрасные лучи. На этой стадии звезда называется **ПРОТОЗВЕЗДОЙ**

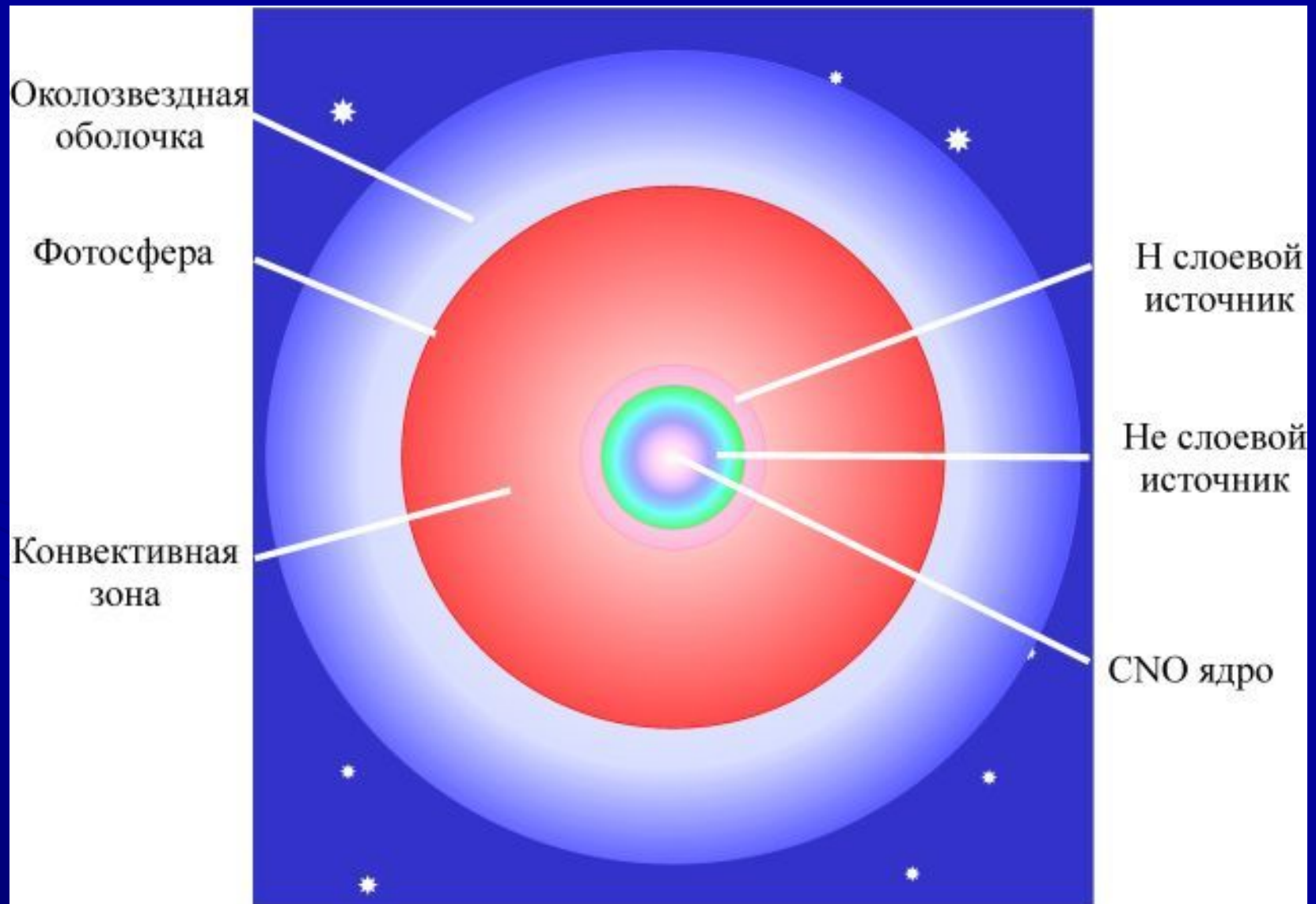
Когда температура в недрах протозвезды достигнет 10 миллионов градусов, начинается термоядерная реакция превращения водорода в гелий, при этом протозвезда превращается в **обычную звезду**, излучающую свет.

- Звёзды среднего размера, такие как Солнце, светятся в среднем 10 миллиардов лет. Считается, что Солнце все ещё на ней, так как оно находится в середине своего жизненного цикла.

# Протозвезда



# Внутренне строение звезды



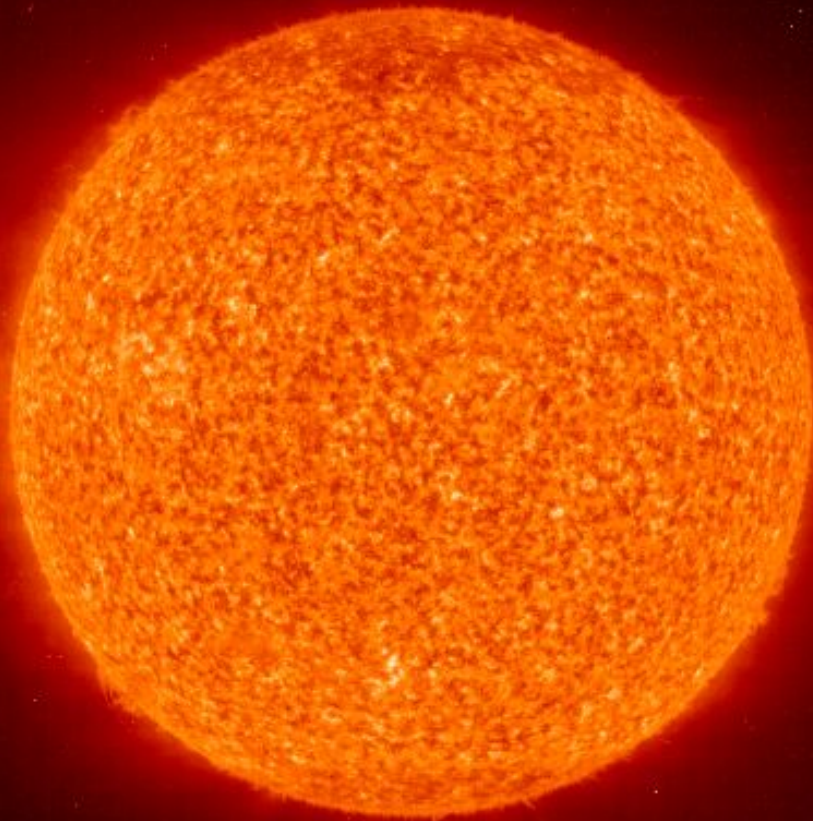


Весь водород в ходе термоядерной реакции превращается в гелий, образуется гелиевый слой. Если температура в гелиевом слое меньше 100 миллионов Кельвинов, дальнейшая термоядерная реакция превращения ядер гелия в ядра азота и углерода не происходит, термоядерная реакция происходит не в центре звезды, а только в водородном слое, прилегающем к гелиевому слою, при этом температура внутри звезды постепенно увеличивается. Когда температура достигает 100 миллионов Кельвинов начинается термоядерная реакция в гелиевом ядре, при этом ядра гелия превращаются в ядра углерода, азота и кислорода.

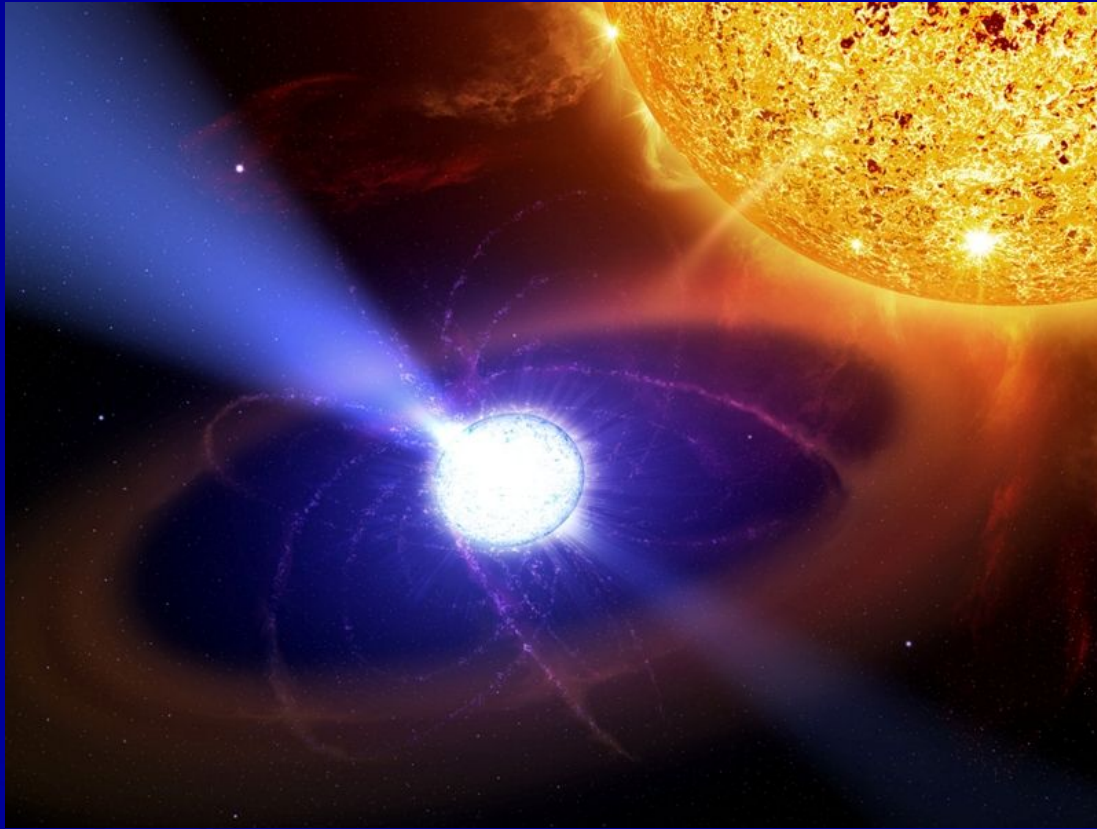
Светимость и размеры звезды увеличиваются, обычная звезда становится **красным гигантом или сверхгигантом**. Околозвездная оболочка звезд, масса которых не больше 1,2 массы Солнца, постепенно расширяется и в конце концов отрывается от ядра, а звезда превращается в **белого карлика**, который постепенно остывает и затухает.

**Если масса звезды примерно вдвое больше массы Солнца, то такие звезды в конце жизни становятся неустойчивыми и взрываются, становятся сверхновыми звездами, а затем превращаются в нейтронные звезды или черную дыру.**

SOHO EIT, He II line, 304 Å  
July 22, 1996 at 21:24



*Красный*  
*гигант*

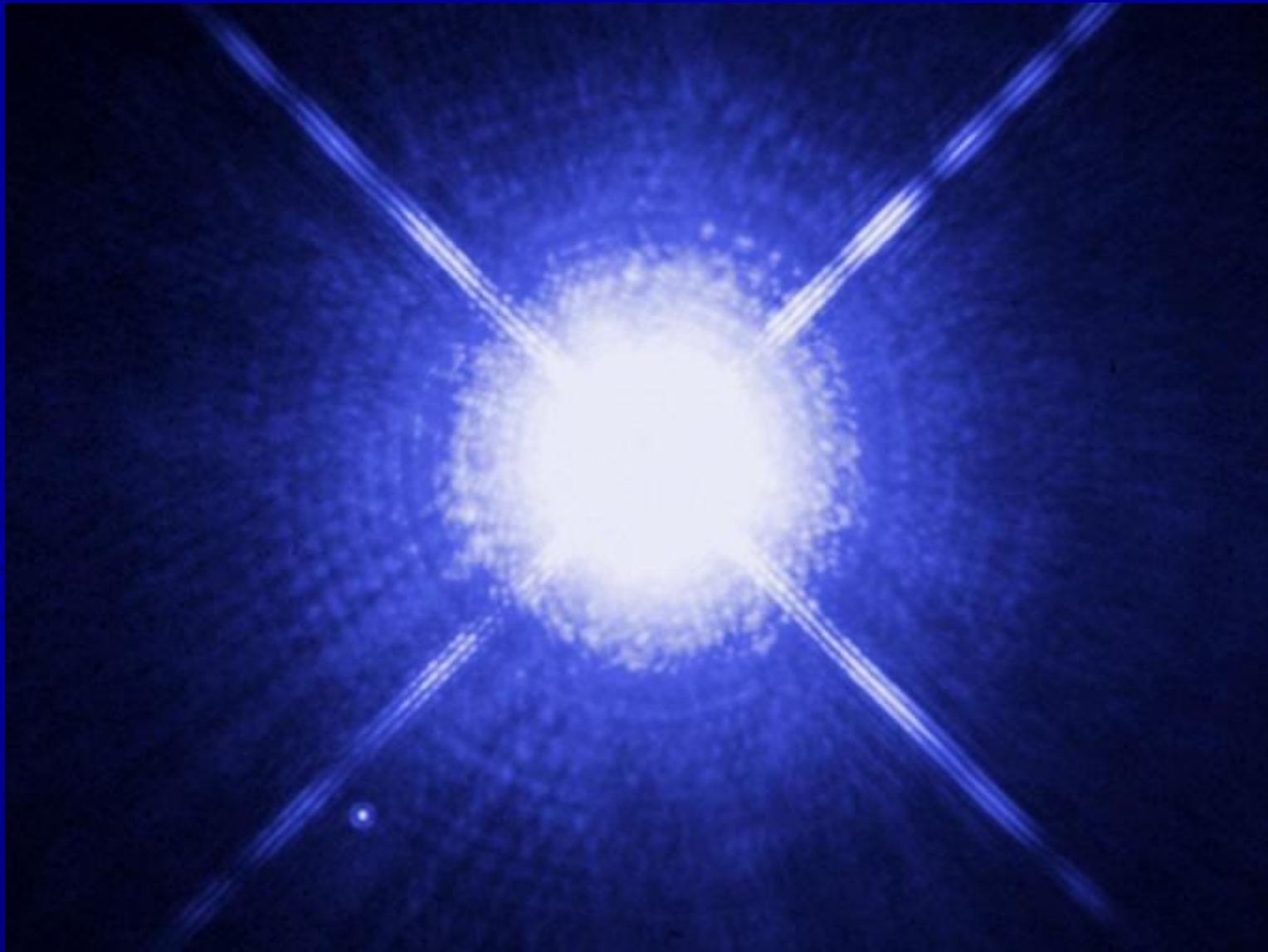


В конце своей жизни красный гигант превращается в белый карлик. Белый карлик – это сверхплотное ядро красного гиганта, состоящее из гелия, азота, кислорода, углерода и железа.

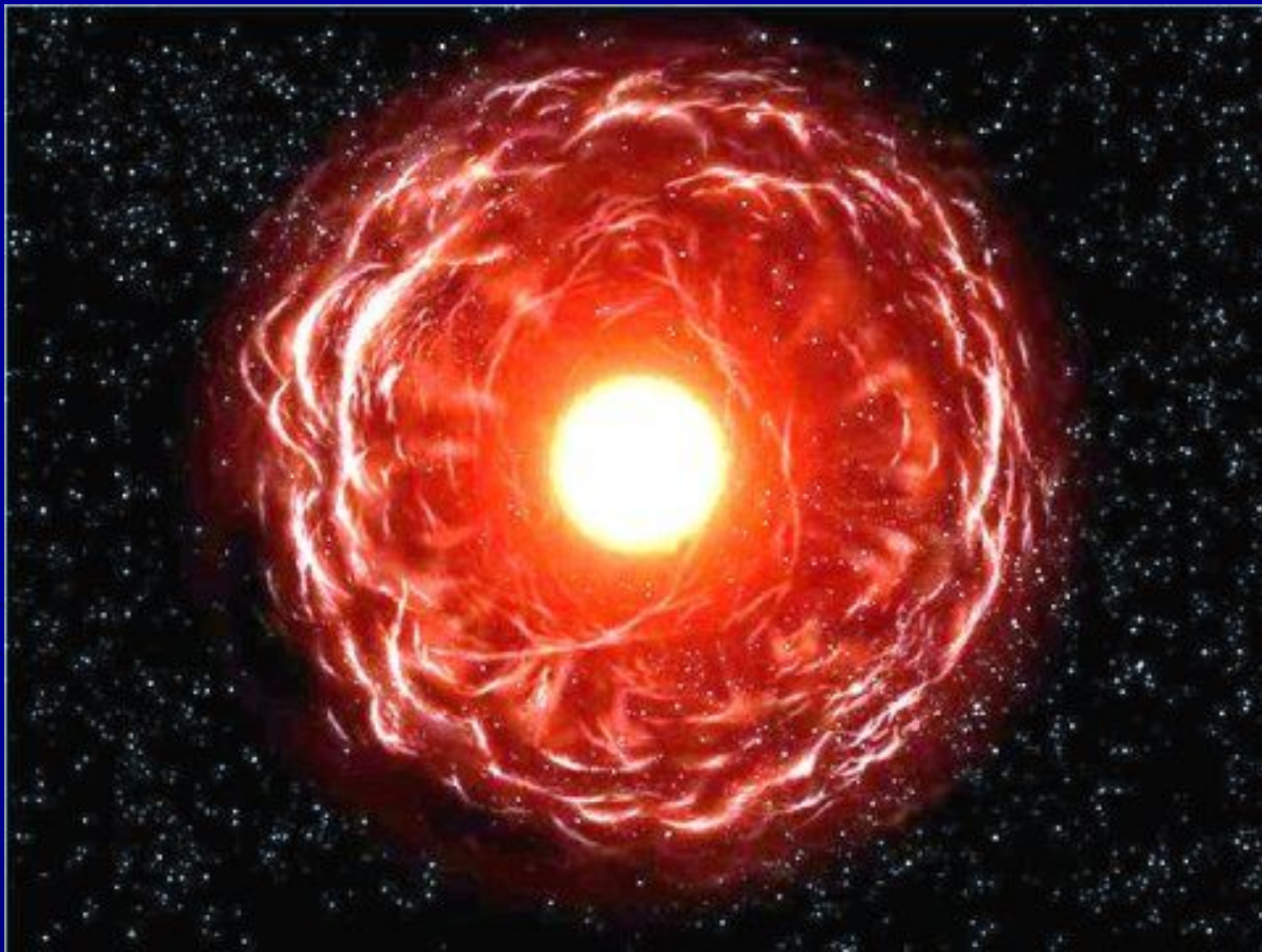
Белый карлик сильно сжат. Радиус его составляет примерно 5000 км, то есть он по размерам примерно равен нашей Земле. При этом плотность его составляет около  $4 \times 10^6$  г/см<sup>3</sup>, то есть весит такое вещество в четыре миллиона больше, чем вода на Земле. Температура на его поверхности – 10000К. Белый карлик очень медленно остывает и остаётся существовать вплоть до скончания мира.



# *Белый карлик*



# Взрыв Красного гиганта





*Сверхновой называется звезда в момент завершения своей эволюции в ходе гравитационного коллапса. Образованием сверхновой заканчивается существование звезд с массой выше 8-10 солнечных масс. На месте гигантского взрыва сверхновой остается нейтронная звезда или чёрная дыра, а вокруг этих объектов некоторое время наблюдаются остатки оболочек взорвавшейся звезды.*

Взрыв сверхновой звезды в нашей Галактике - явление довольно редкое. В среднем такое случается раз или два в сто лет, поэтому очень нелегко застать то мгновение, когда звезда испускает энергию в космическое пространство и вспыхивает в эту секунду как миллиарды звезд.

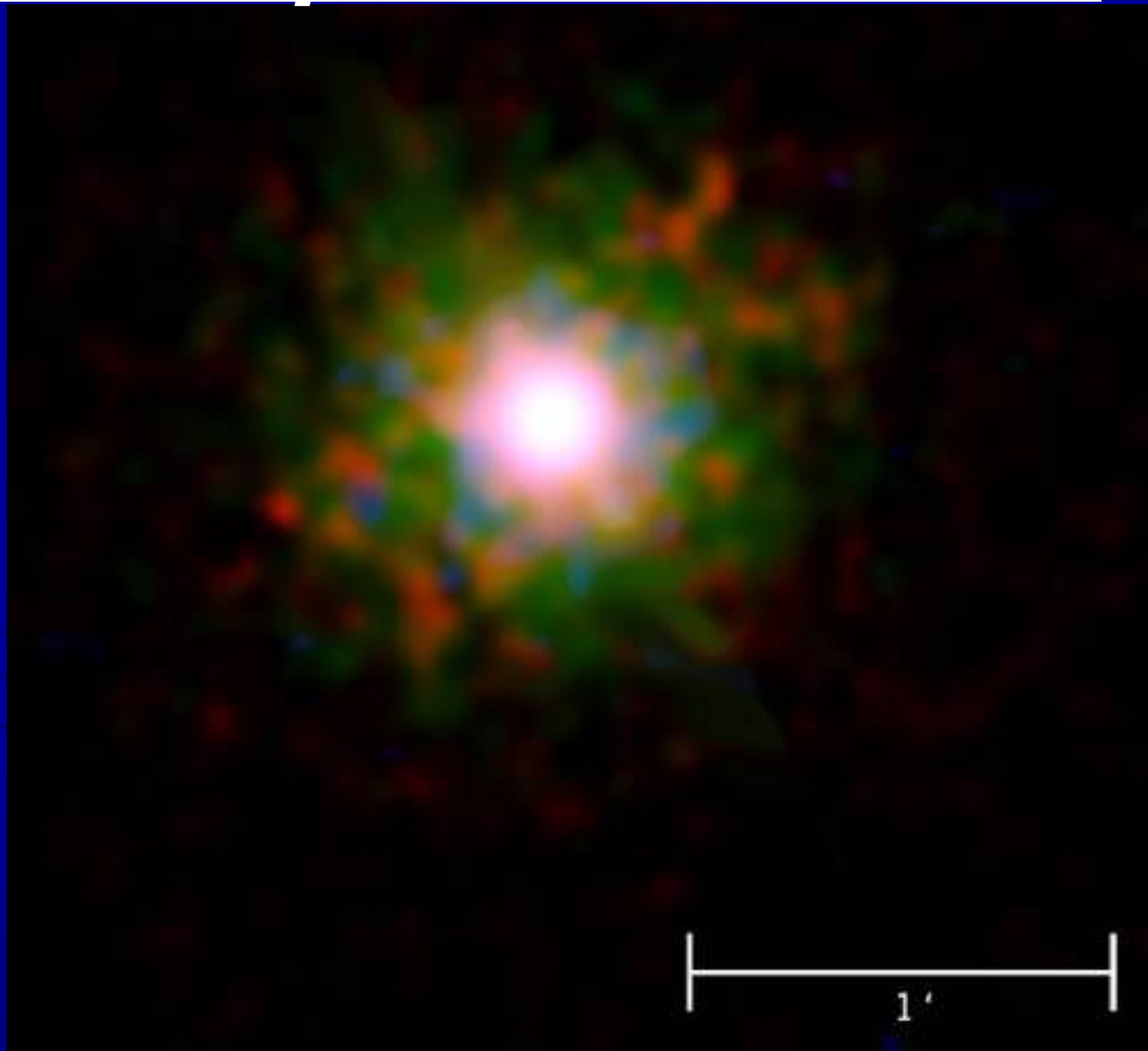




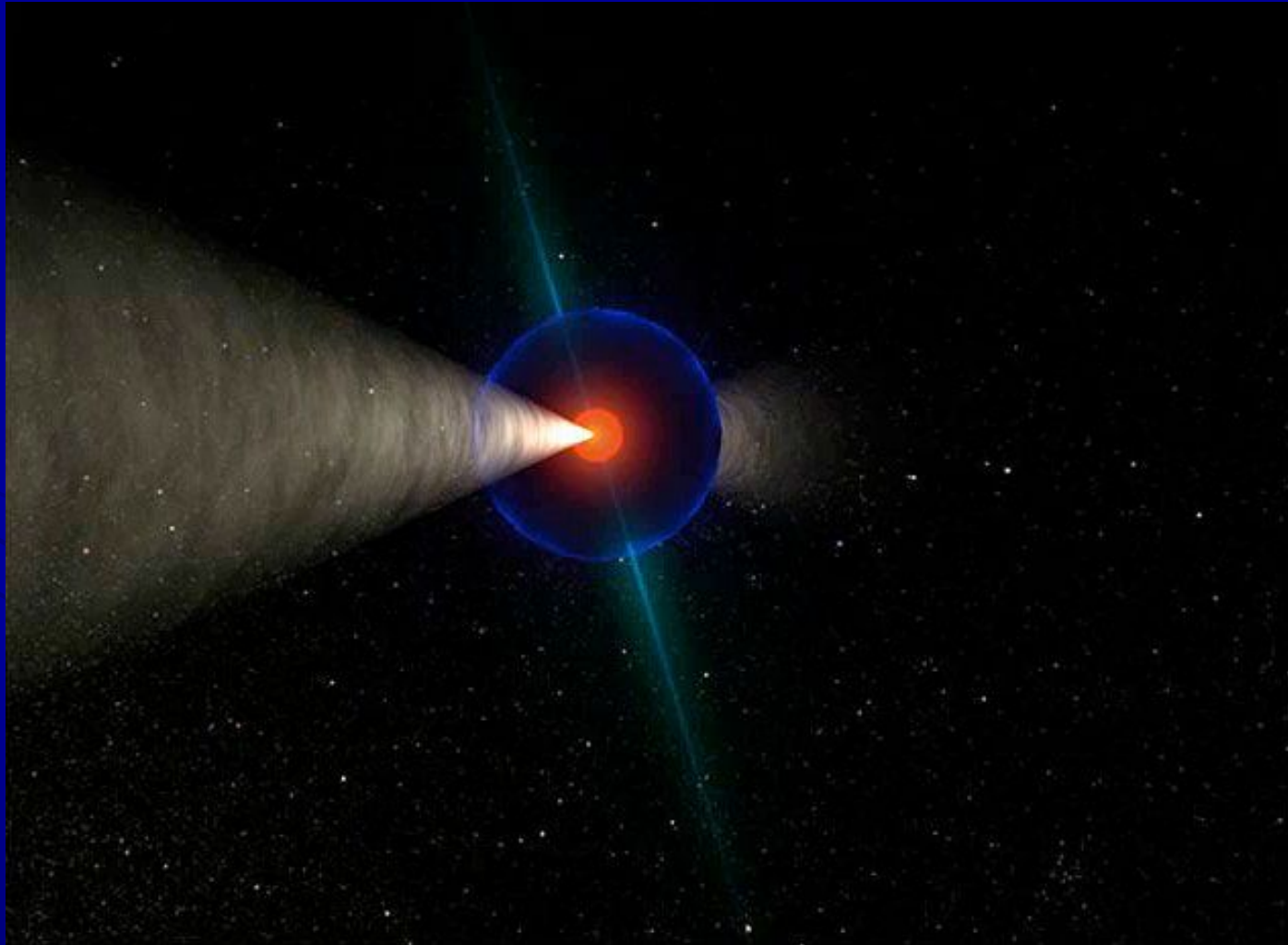
Экстремальные силы, возникающие при формировании нейтронной звезды, так сжимают атомы, что электроны, вдавленные в ядра, объединяются с протонами, образуя нейтроны. Таким образом рождается звезда, почти полностью состоящая из нейтронов. Сверхплотная ядерная жидкость, если ее принести на Землю, взорвалась бы, подобно ядерной бомбе, но в нейтронной звезде она устойчива благодаря огромному гравитационному давлению. Однако во внешних слоях нейтронной звезды (как, впрочем, и всех звезд) давление и температура падают, образуя твердую корку толщиной около километра. Как полагают, состоит она в основном из ядер железа.



# Нейтронная звезда



# Пульсары – вращающиеся нейтронные звезды





Согласно нашим нынешним представлениям об эволюции звезд, когда звезда с массой, превышающей примерно 30 масс Солнца, гибнет со вспышкой сверхновой, внешняя ее оболочка разлетается, а внутренние слои стремительно обрушиваются к центру и образуют черную дыру на месте израсходовавшей запасы топлива звезды. Изолированную в межзвездном пространстве черную дыру такого происхождения выявить практически невозможно, поскольку она находится в разреженном вакууме и никак не проявляет себя в плане гравитационных взаимодействий. Однако, если такая дыра входила в состав двойной звездной системы (две горячих звезды, обращающихся по орбите вокруг их центра масс), черная дыра будет по-прежнему оказывать гравитационное воздействие на парную ей звезду.

В двойной системе с черной дырой вещество «живой» звезды будет неизбежно «перетекать» в направлении черной дыры. При подходе к роковой границе, засасываемое в воронку черной дыры вещество будет неизбежно уплотняться и разогреваться в силу учащения соударений между поглощаемыми дырой частицами, пока не разогреется до энергий излучения волн в рентгеновском диапазоне.

Астрономы могут измерить периодичность изменения интенсивности рентгеновского излучения такого рода и вычислить, сопоставив ее с другими доступными данными, примерную массу объекта, «перетягивающего» на себя материю. Если масса объекта превышает предел Чандрасекара (1,4 массы Солнца), этот объект не может являться белым карликом, в которого суждено выродиться нашему светилу. В большинстве выявленных случаев наблюдения подобных двойных рентгеновских звезд массивным объектом является нейтронная звезда. Однако насчитано уже более десятка случаев, когда единственным разумным объяснением является присутствие в двойной звездной системе черной дыры.

# Черная звезда





# Поглощение звезды черной дырой (компьютерная модель)



# Образование сверхновой звезды



звезды почти в течение всей её жизни, водород превращается в гелий. После того как значительная часть водорода превратится в гелий, температура в её центре возрастает. При увеличении температуры примерно до 200 млн. К ядерным горючим становится гелий, который затем превращается в кислород и неон. Температуры в центре звезды постепенно увеличивается до до 300 млн. К. Но даже при столь высоких температурах кислород и неон вполне устойчивы и не вступают в ядерные реакции. Однако через некоторое время температура удваивается, теперь она уже равняется 600 млн. К. И тогда ядерным топливом становится неон, который в ходе реакций превращается в магний и кремний. Образование магния сопровождается выходом свободных нейтронов. Свободные нейтроны, вступая в реакцию с этими металлами, создают атомы более тяжёлых металлов - вплоть до урана - самого тяжёлого из природных элементов.

Но вот израсходован весь неон в ядре. Ядро начинает сжиматься, и снова сжатие сопровождается ростом температуры. Наступает следующий этап, когда каждые два атома кислорода, соединяясь, порождают атом кремния и атом гелия. Атомы кремния, соединяясь попарно, образуют атомы никеля, которые вскоре превращаются в атомы железа. В ядерные реакции, сопровождающиеся возникновением новых химических элементов, вступают не только нейтроны, но также протоны и атомы гелия. Появляются такие элементы, как сера, алюминий, кальций, аргон, фосфор, хлор, калий. При температурах 2-5 млрд. К рождаются титан, ванадий, хром, железо, кобальт, цинк, и др. Но из всех этих элементов наиболее представлено



Своим внутренним строением звезда теперь напоминает луковицу, каждый слой которой заполнен преимущественно каким-либо одним элементом. С образованием железа звезда оказывается накануне драматического взрыва. Ядерные реакции, протекающие в железном ядре звезды, приводят к превращению протонов в нейтроны. При этом испускаются потоки нейтрино, уносящие с собой в космическое пространство значительное количество энергии звезды. Если температура в ядре звезды велика, то эти энергетические потери могут иметь серьёзные последствия, так как они приводят к снижению давления излучения, необходимого для поддержания устойчивости звезды. И как следствие этого, в действие опять вступают гравитационные силы, призванные доставить звезде необходимую энергию. Силы гравитации всё быстрее сжимают звезду, восполняя энергию, унесённую нейтрино.

Как и прежде сжатие звезды сопровождается ростом температуры, которая в конце концов достигает 4-5 млрд. К. Теперь события развиваются несколько иначе. Ядро, состоящее из элементов группы железа, подвергается серьёзным изменениям: элементы этой группы уже не вступают в реакции с образованием более тяжёлых элементов, а распадаются с превращением в гелий, испуская при этом колоссальный поток нейтронов. Большая часть этих нейтронов захватывается веществом внешних слоёв звезды и участвует в создании тяжёлых элементов. На этом этапе звезда достигает критического состояния. Когда создавались тяжёлые химические элементы, энергия высвобождалась в результате слияния лёгких ядер. Тем самым огромные её количества звезда выделяла на протяжении сотен миллионов лет. Теперь же конечные продукты ядерных реакций вновь распадаются, образуя гелий: звезда оказывается вынужденной восполнить утраченную ранее энергию

– красный сверхгигант созвездия Ориона. Одна из крупнейших среди известных астрономам звезд. Если ее поместить вместо Солнца, то при минимальном размере она заполнила бы орбиту Марса, а при максимальном - достигала бы орбиты Юпитера. Объем Бетельгейзе почти в 160 млн. раз больше солнечного. И она одна из самых ярких – ее светимость в 14 000 раз больше солнечной. Возраст ее – всего, по космическим меркам, около 10 миллионов лет. И вот этот раскаленный гигантский космический «чернобыль» уже находится на грани взрыва. Красный гигант уже начал агонизировать и уменьшаться в размерах. За время наблюдения с 1993 по 2009 год диаметр звезды уменьшился на 15 %, а сейчас она просто сжимается на глазах. Астрономы НАСА обещают, что при чудовищном взрыве яркость звезды увеличится в тысячи раз. Но из-за дальнего расстояния - 430 световых лет от нас – катастрофа никак не затронет нашу планету. А итогом взрыва станет образование сверхновой звезды.

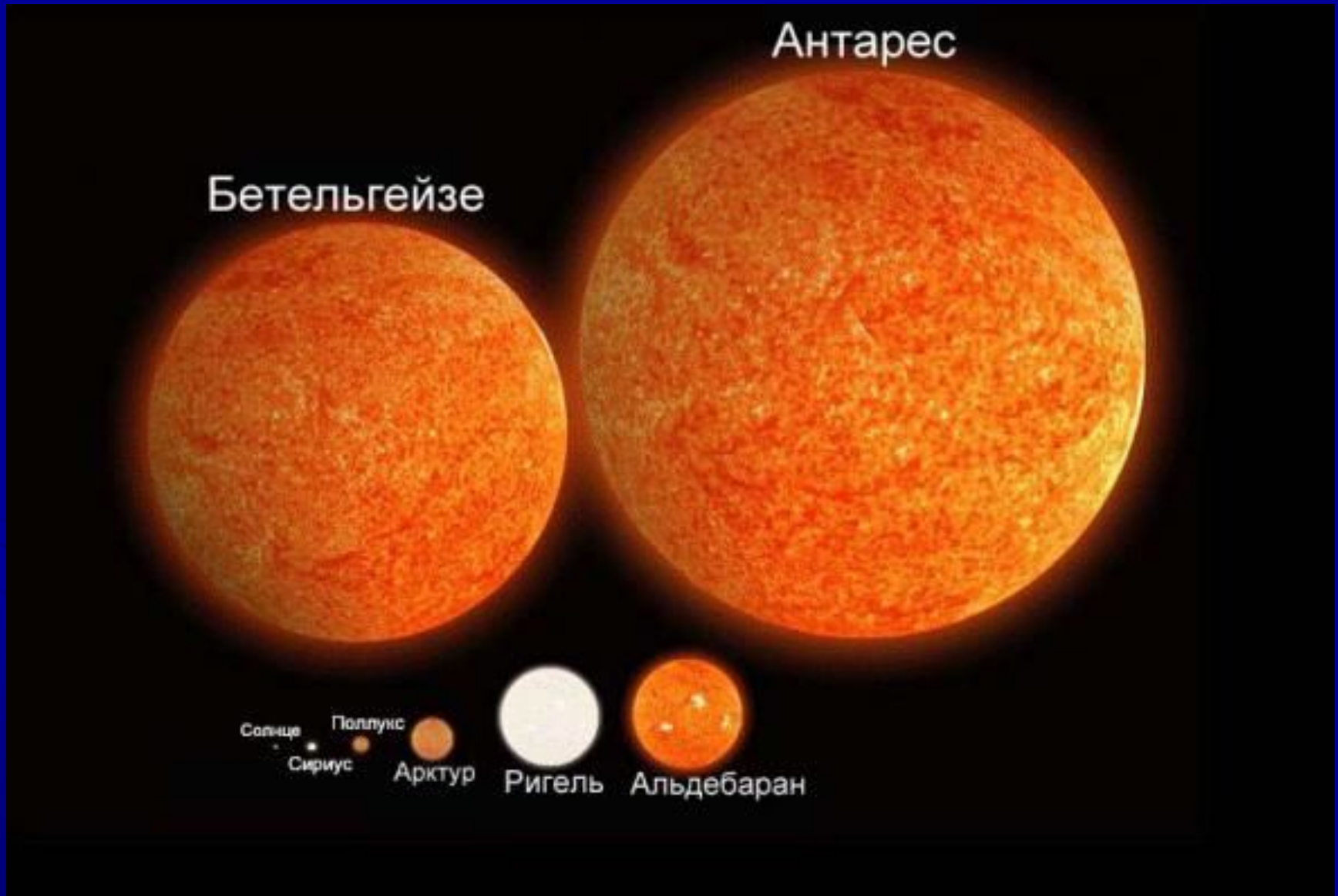
Как будет выглядеть это редчайшее событие с земли? Внезапно в небе вспыхнет очень яркая звезда.. Продлится подобное космическое шоу около шести недель, что означает более полутора месяцев «белых ночей» в определенных участках планеты, остальные люди насладятся двумя-тремя дополнительными часами светового дня и восхитительным зрелищем взорвавшейся звезды ночью.

Через две—три недели после взрыва звезда начнет угасать, а через несколько лет — окончательно превратится для земного наблюдателя в туманность типа Крабовидной.

Ну а волны заряженных частиц после взрыва дойдут до Земли через несколько столетий, и жители Земли получат небольшую (на 4—5 порядков меньше летальной) дозу ионизирующего излучения. Но волноваться не стоит в любом случае - как заявляют ученые, угрозы для Земли и ее жителей нет, **а вот подобное событие само по себе уникально - последнее свидетельство наблюдения взрыва сверхновой на Земле датировано 1054 годом.**



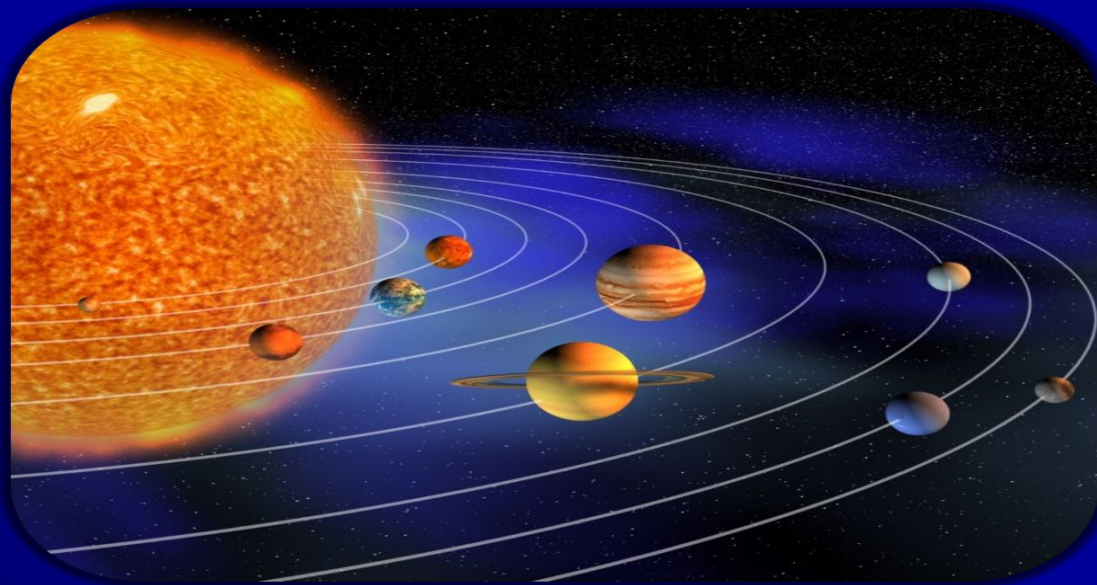
# Сравнительные размеры звезд

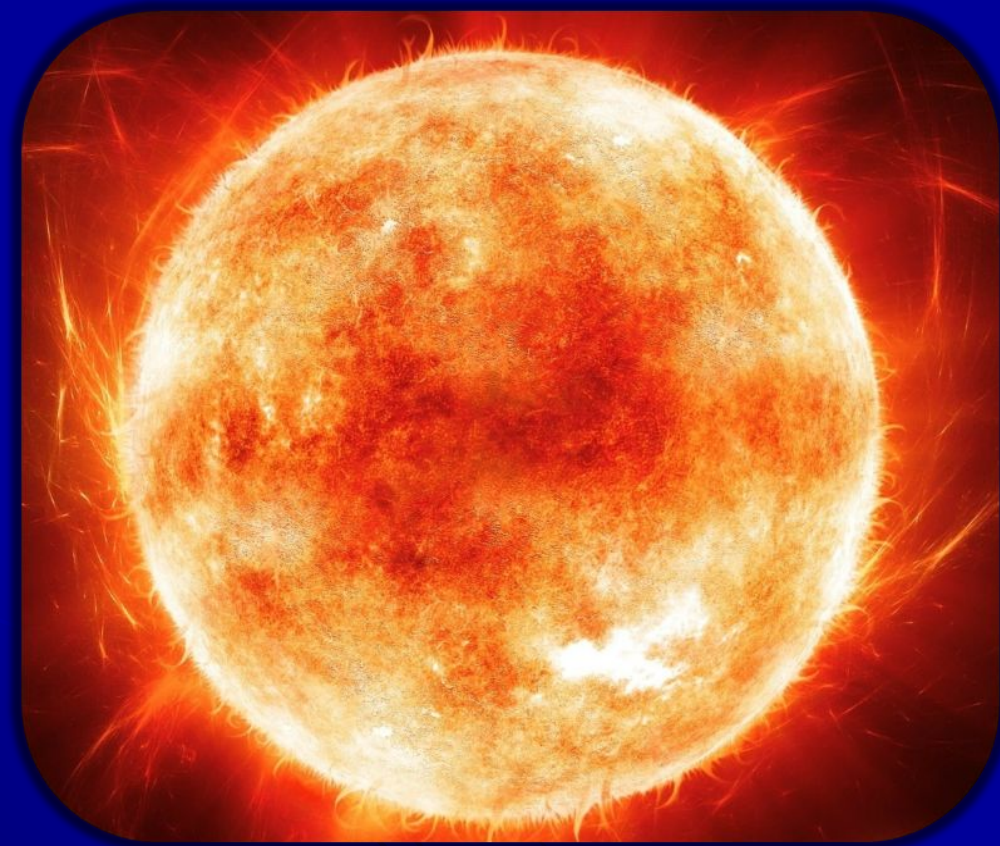


# *Красный гигант Бетельгейзе готовится к взрыву*



Солнце — единственная звезда Солнечной системы, вокруг которой обращаются другие объекты этой системы: планеты и их спутники, карликовые планеты и их спутники, астероиды, метеороиды, кометы и космическая пыль. Масса Солнца составляет 99,8 % от суммарной массы всей Солнечной системы.





Солнце излучает в космическое пространство колоссальный поток излучения, который в значительной мере определяет физические условия на Земле.

Земля получает всего лишь одну двухмиллиардную долю солнечного излучения. Однако и этого достаточно, чтобы управлять и климатом на земном шаре.



Как и многие другие звезды, Солнце представляет собою огромный шар, который состоит из водородно-гелиевой плазмы и находится в равновесии в поле собственного тяготения



Средний диаметр  $1,392 \times 10^9$  м (109 диаметров Земли)

Длина окружности экватора  $4,379 \times 10^9$  м

Площадь поверхности  $6,088 \times 10^{18}$  м<sup>2</sup>

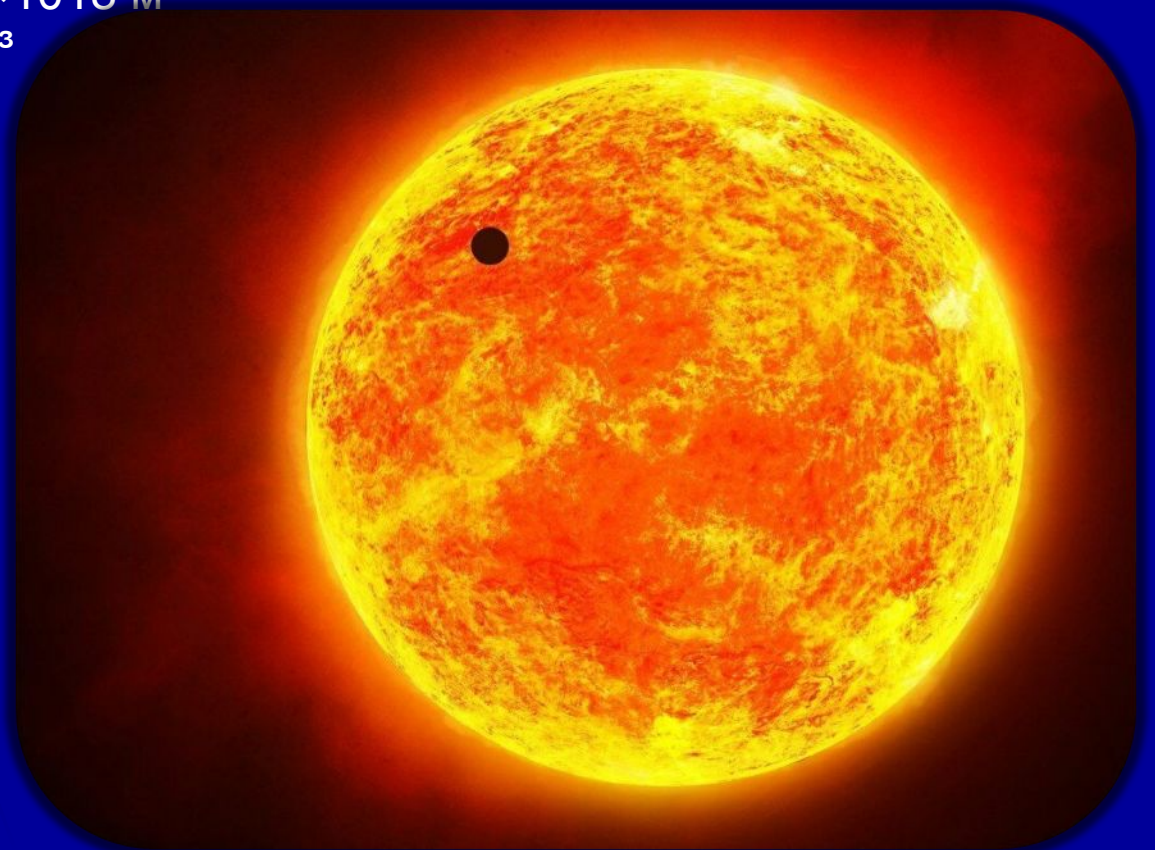
Средняя плотность 1409 кг/м<sup>3</sup>

Радиус  $6,955 \times 10^8$  м

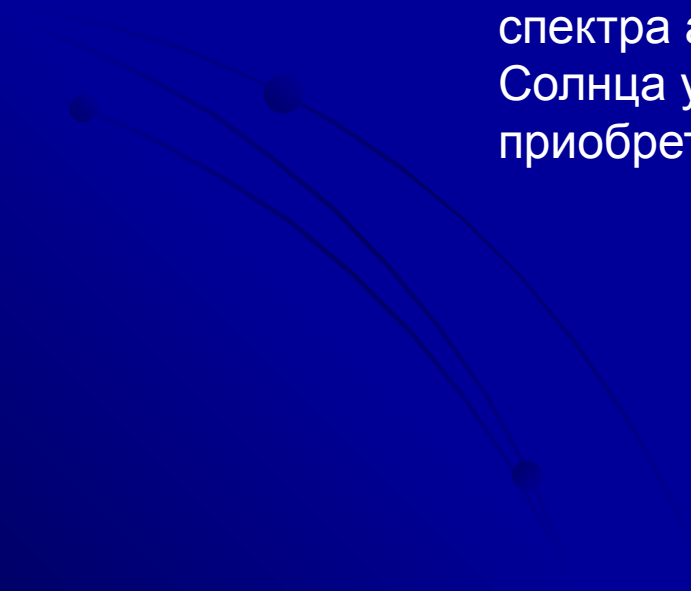
Объём  $1,4122 \times 10^{27}$  м<sup>3</sup>

Масса  $1,9891 \times 10^{30}$  кг

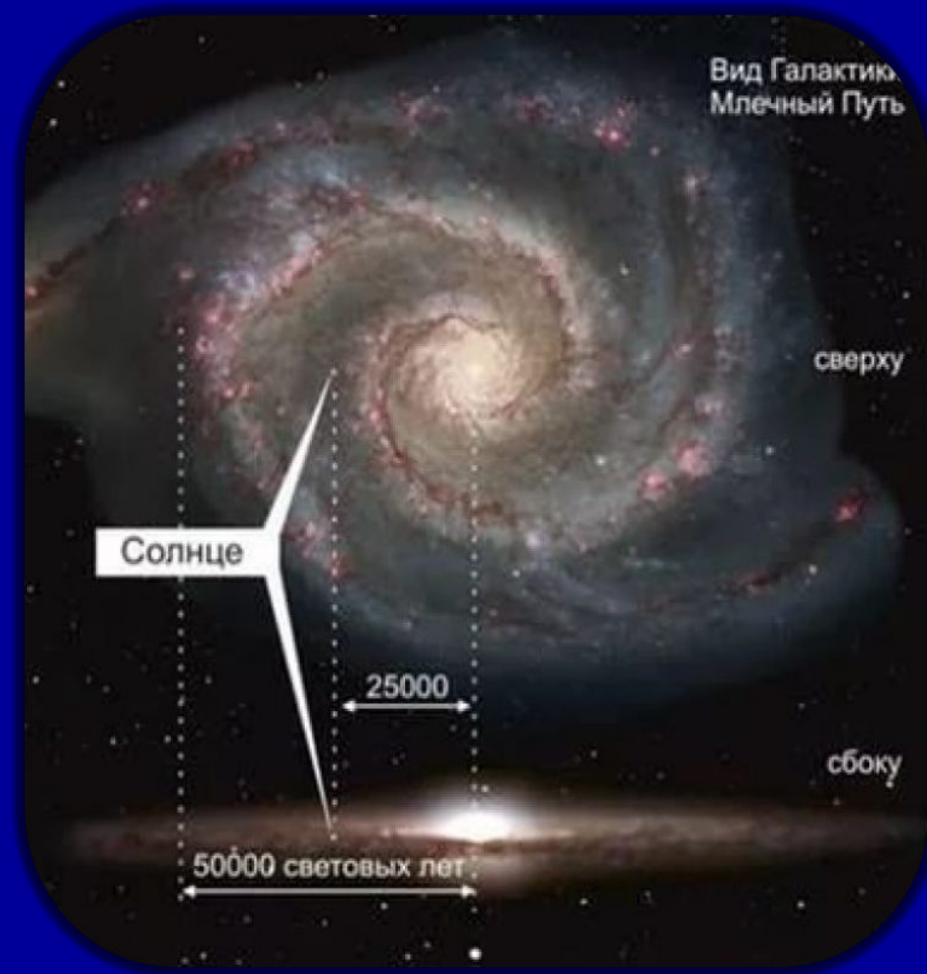
Эффективная температура  
поверхности 5515 С°



По спектральной классификации Солнце относится к типу G2V («жёлтый карлик»). Температура поверхности Солнца достигает 6000 К, поэтому Солнце светит почти белым светом, но из-за более сильного рассеяния и поглощения коротковолновой части спектра атмосферой Земли прямой свет Солнца у поверхности нашей планеты приобретает некоторый жёлтый оттенок.

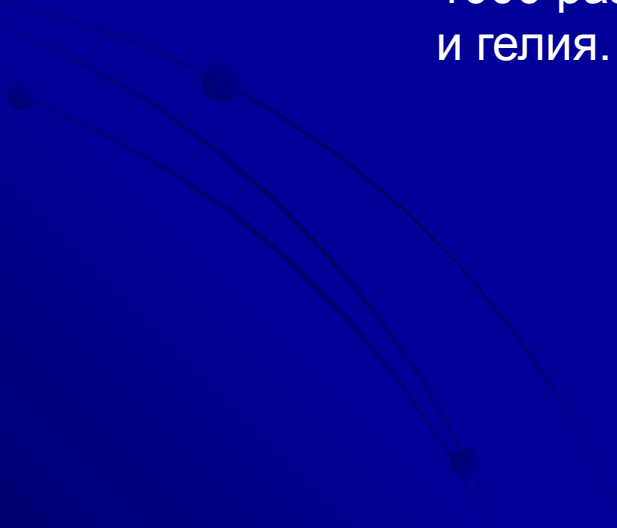


Солнце находится на расстоянии около 25 000 световых лет от центра Млечного Пути и обращается вокруг него, делая один оборот примерно за 225—250 миллионов лет. Орбитальная скорость Солнца равна 217 км/с — таким образом, оно проходит один световой год за 1400 земных лет, а одну астрономическую единицу за 8 земных суток. В настоящее время Солнце находится во внутреннем крае рукава Ориона нашей Галактики.

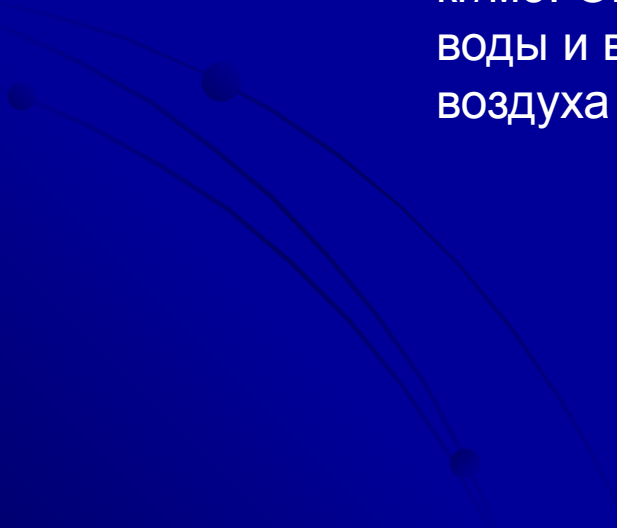




водород составляет около 70%  
солнечной массы,  
гелий – более 28%,  
остальные элементы – менее 2%.  
Количество атомов этих элементов в  
1000 раз меньше, чем атомов водорода  
и гелия.



Вещество Солнца сильно ионизовано: атомы, потерявшие электроны своих внешних оболочек и ставшие ионами, вместе со свободными электронами образуют плазму. Средняя плотность солнечного вещества примерно  $1400 \text{ кг/м}^3$ . Она соизмерима с плотностью воды и в 1000 раз больше плотности воздуха у поверхности Земли.





В центре Солнца находится солнечное ядро. Ядро — самая горячая часть Солнца, температура в ядре составляет 15 000 000 К. Плотность ядра — 150 000 кг/м<sup>3</sup>. В ядре осуществляется протон-протонная термоядерная реакция, в результате которой из четырёх протонов образуется гелий - 4. Ядро — единственное место на Солнце, в котором энергия и тепло получается от термоядерной реакции, остальная часть звезды нагрета этой энергией. Вся энергия ядра последовательно проходит сквозь слои, вплоть до фотосферы, с которой излучается в виде солнечного света и кинетической энергии.

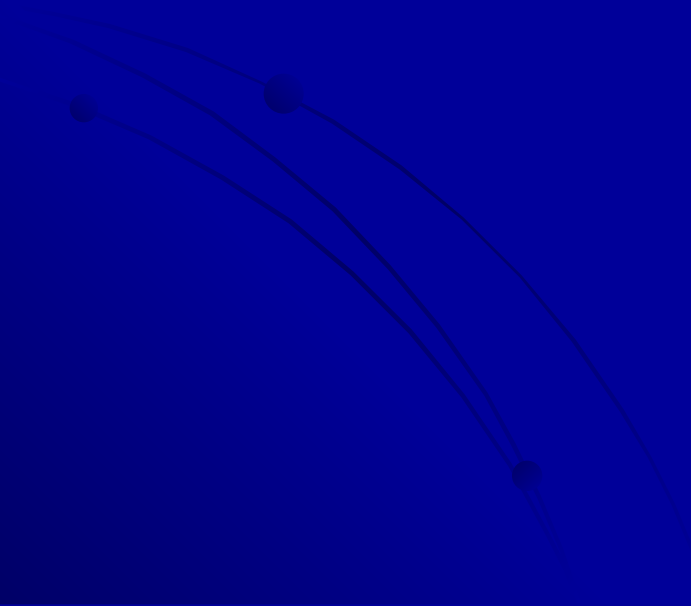






Радиоактивная зона — средняя зона Солнца. Располагается непосредственно над солнечным ядром. Плазма в этой зоне сжата настолько плотно, что соседние частицы не могут поменяться местами, из-за чего перенос энергии путём перемешивания вещества очень затруднён. Дополнительные препятствия для перемешивания вещества создаёт низкая скорость убывания температуры по мере движения от нижних слоёв к верхним. Прямое излучение наружу также невозможно, поскольку вещество непрозрачно для излучения, возникающего в ходе реакции ядерного синтеза.

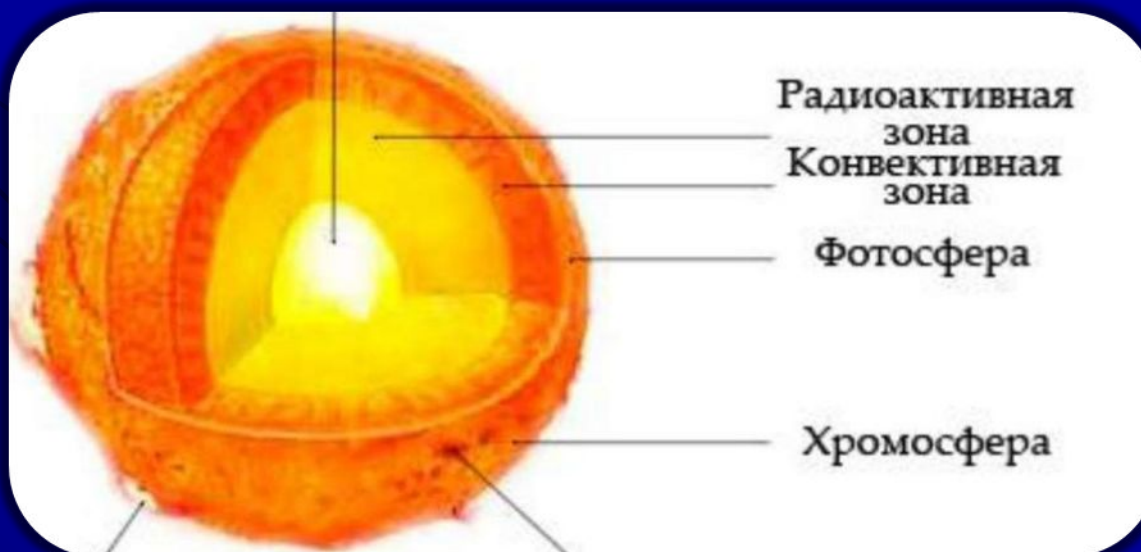
Единственный способ, переноса энергии  
— это последовательное поглощение и  
излучение фотонов отдельными слоями  
частиц.



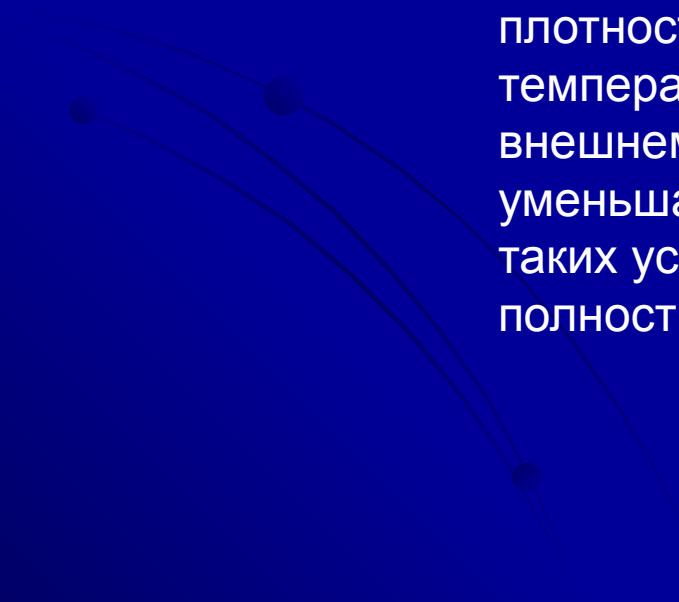


Конвекционная зона — область Солнца, в которой перенос энергии из внутренних районов во внешние происходит главным образом путём активного перемешивания вещества — конвекции. Конвективная зона Солнца занимает примерно треть объёма. Когда горячая плазма поднимается к верхней границе конвективной зоны, она охлаждается за счёт излучения энергии в фотосферу, остывает и погружается вглубь, где нагревается излучением лучистой зоны, после чего цикл повторяется. Поскольку зона ядерных реакций отделена от зоны перемешивания

вещества зоной лучистого переноса, то гелий практически не выносится в поверхностные слои Солнца, а накапливается в его ядре.



Фотосфера (слой, излучающий свет) достигает толщины  $\sim 320$  км и образует видимую поверхность Солнца. Из фотосферы исходит основная часть оптического (видимого) излучения Солнца, излучение же из более глубоких слоёв до неё уже не доходит. Температура в фотосфере достигает в среднем 5800 К. Здесь средняя плотность газа составляет менее  $1/1000$  плотности земного воздуха, а температура по мере приближения к внешнему краю фотосферы уменьшается до 4800 К. Водород при таких условиях сохраняется почти полностью в нейтральном состоянии.







Фотосфера образует видимую поверхность Солнца, от которой определяются размеры Солнца, расстояние от поверхности Солнца и т. д.

Хромосфера — внешняя оболочка Солнца толщиной около 10 000 км, окружающая фотосферу. Происхождение названия этой части солнечной атмосферы связано с её красноватым цветом. Верхняя граница хромосферы не имеет выраженной гладкой поверхности, из неё постоянно происходят горячие выбросы. Температура хромосферы увеличивается с высотой от 4000 до 15 000 градусов. Плотность хромосферы невелика, поэтому яркость её недостаточна, чтобы наблюдать её в обычных условиях. Но при полном солнечном затмении, когда Луна закрывает яркую фотосферу, расположенная над ней хромосфера становится видимой и светится красным цветом.



Корона — последняя внешняя оболочка Солнца. Несмотря на её очень высокую температуру, от 600 000 до 5 000 000 градусов, она видна невооружённым глазом только во время полного солнечного затмения, так как плотность вещества в короне мала, а потому невелика и её яркость. Поскольку температура короны велика, она интенсивно излучает в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах. Эти излучения не проходят сквозь земную атмосферу.



