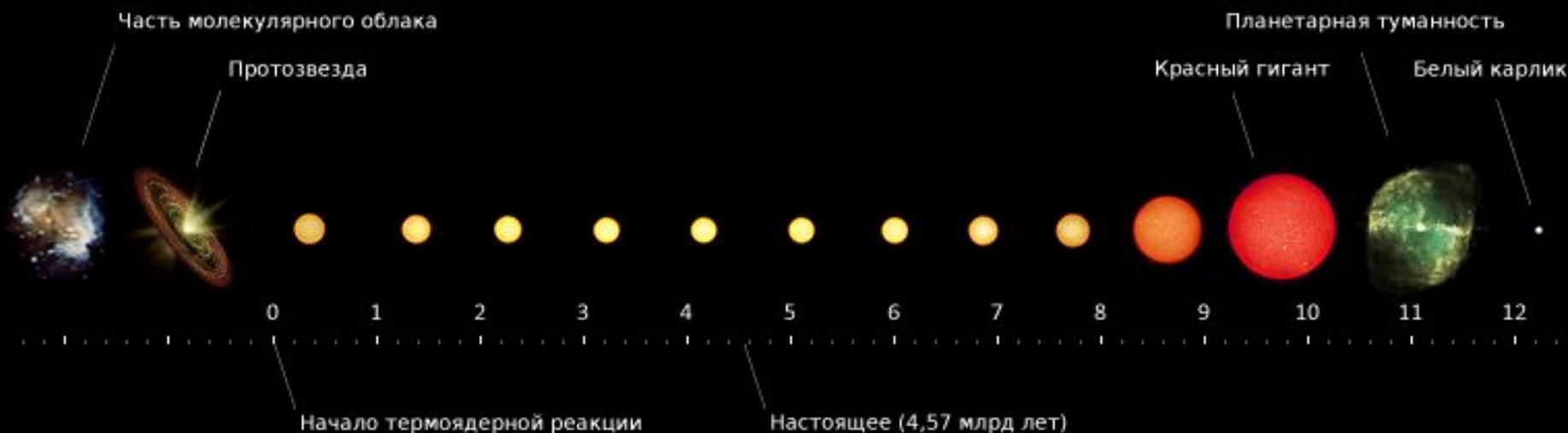


# Эволюция звезд

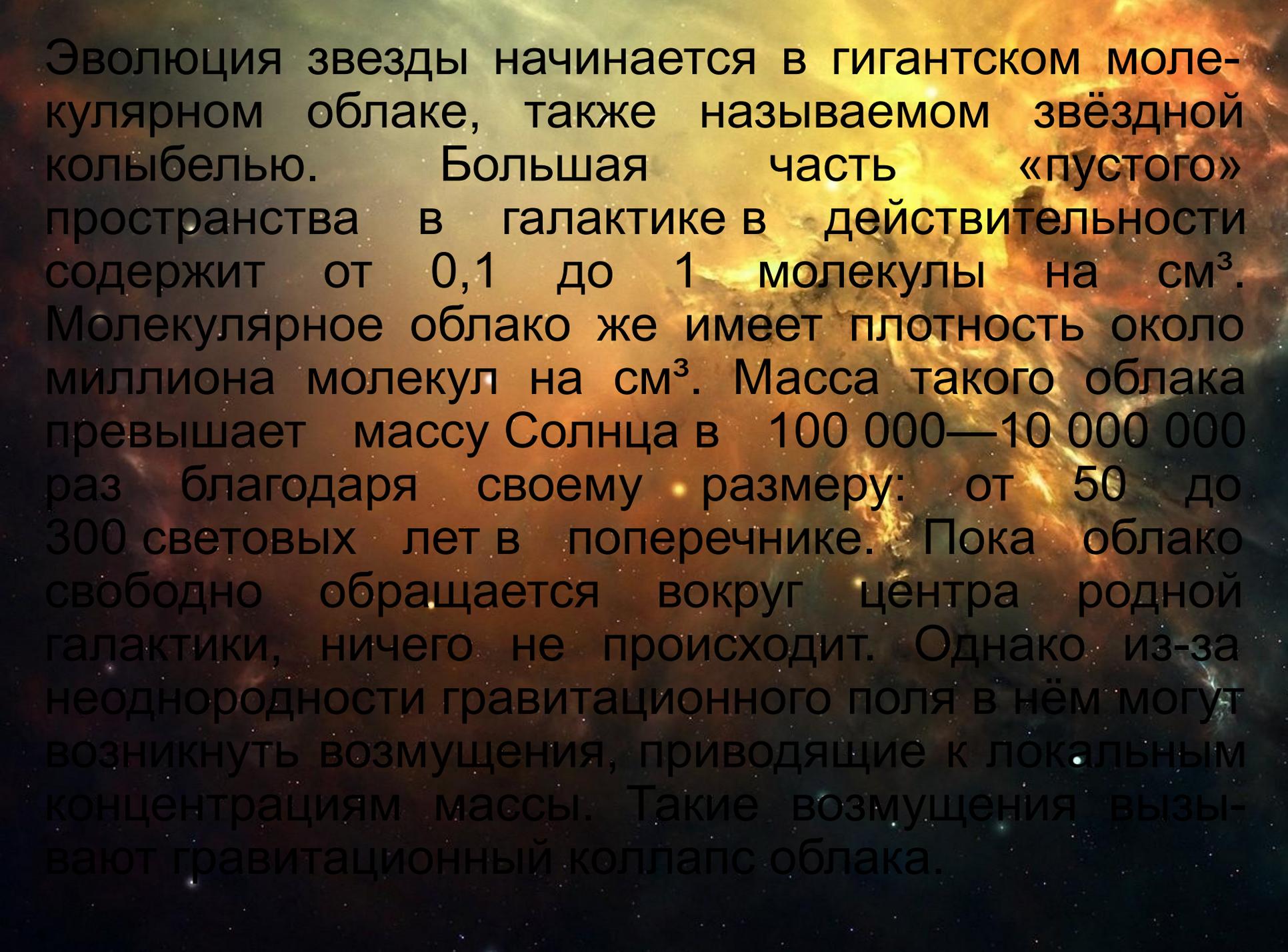


**Звёздная эволюция** — последовательность изменений, которым звезда подвергается в течение её жизни, то есть на протяжении сотен тысяч, миллионов или миллиардов лет, пока она излучает свет и тепло. В течение таких колоссальных промежутков времени изменения оказываются весьма значительными.

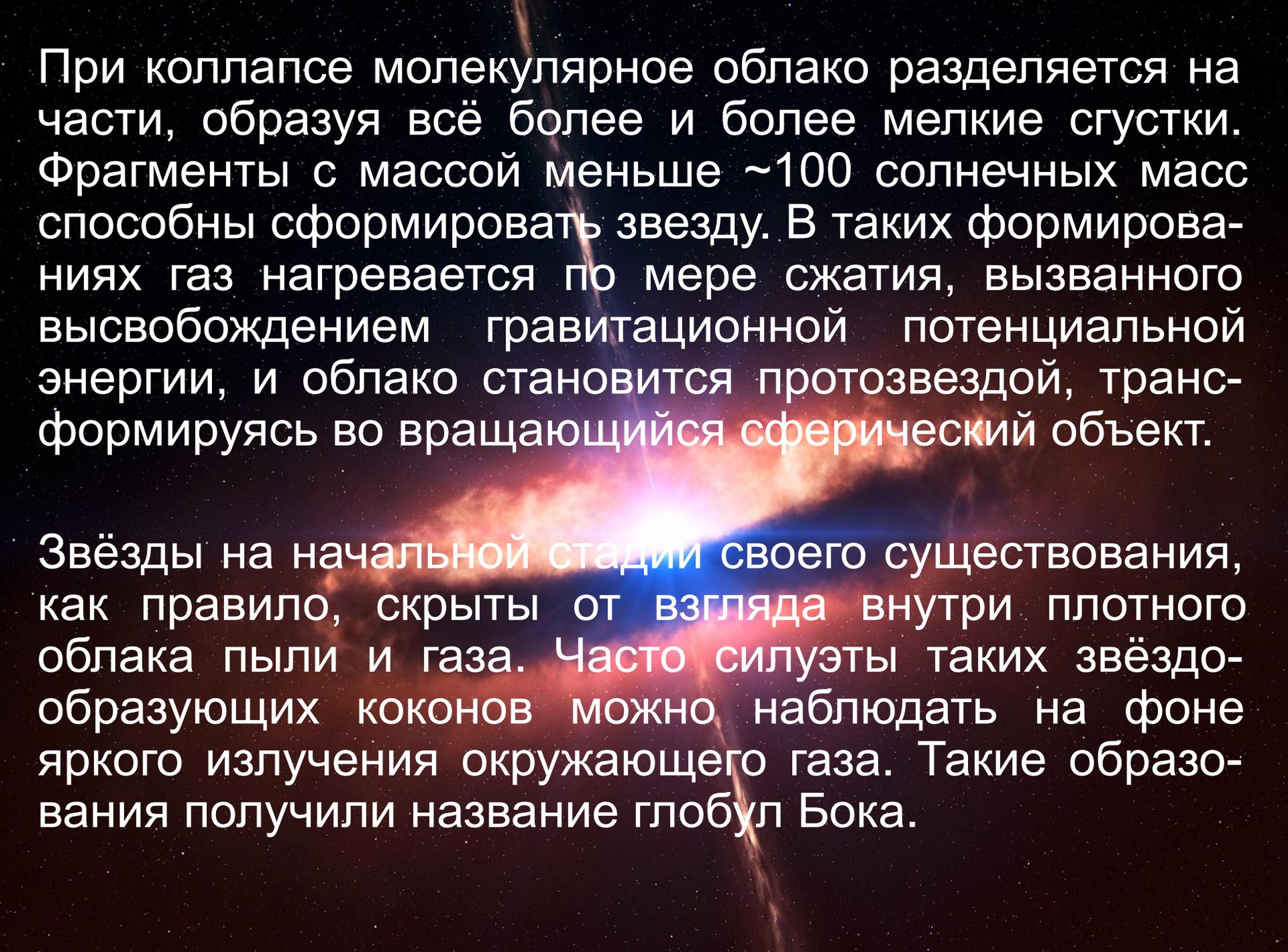


### Жизненный цикл Солнца

Масштаб и цвета условны. Временная шкала в миллиардах лет (приблизительно)

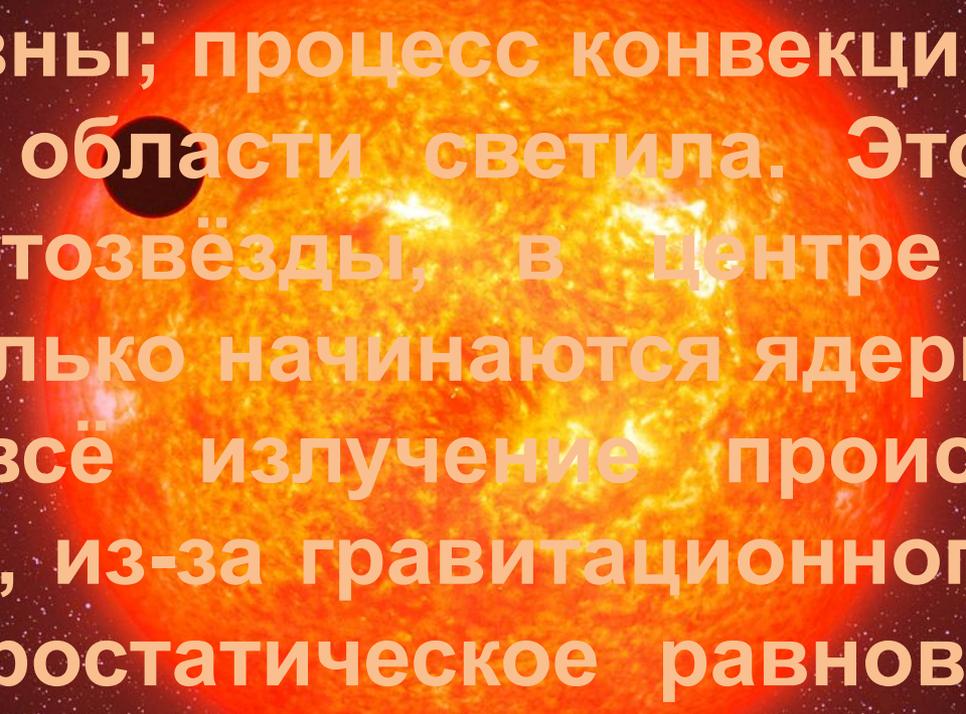


Эволюция звезды начинается в гигантском молекулярном облаке, также называемом звёздной колыбелью. Большая часть «пустого» пространства в галактике в действительности содержит от 0,1 до 1 молекулы на см<sup>3</sup>. Молекулярное облако же имеет плотность около миллиона молекул на см<sup>3</sup>. Масса такого облака превышает массу Солнца в 100 000—10 000 000 раз благодаря своему размеру: от 50 до 300 световых лет в поперечнике. Пока облако свободно обращается вокруг центра родной галактики, ничего не происходит. Однако из-за неоднородности гравитационного поля в нём могут возникнуть возмущения, приводящие к локальным концентрациям массы. Такие возмущения вызывают гравитационный коллапс облака.



При коллапсе молекулярное облако разделяется на части, образуя всё более и более мелкие сгустки. Фрагменты с массой меньше  $\sim 100$  солнечных масс способны сформировать звезду. В таких формированиях газ нагревается по мере сжатия, вызванного высвобождением гравитационной потенциальной энергии, и облако становится протозвездой, трансформируясь во вращающийся сферический объект.

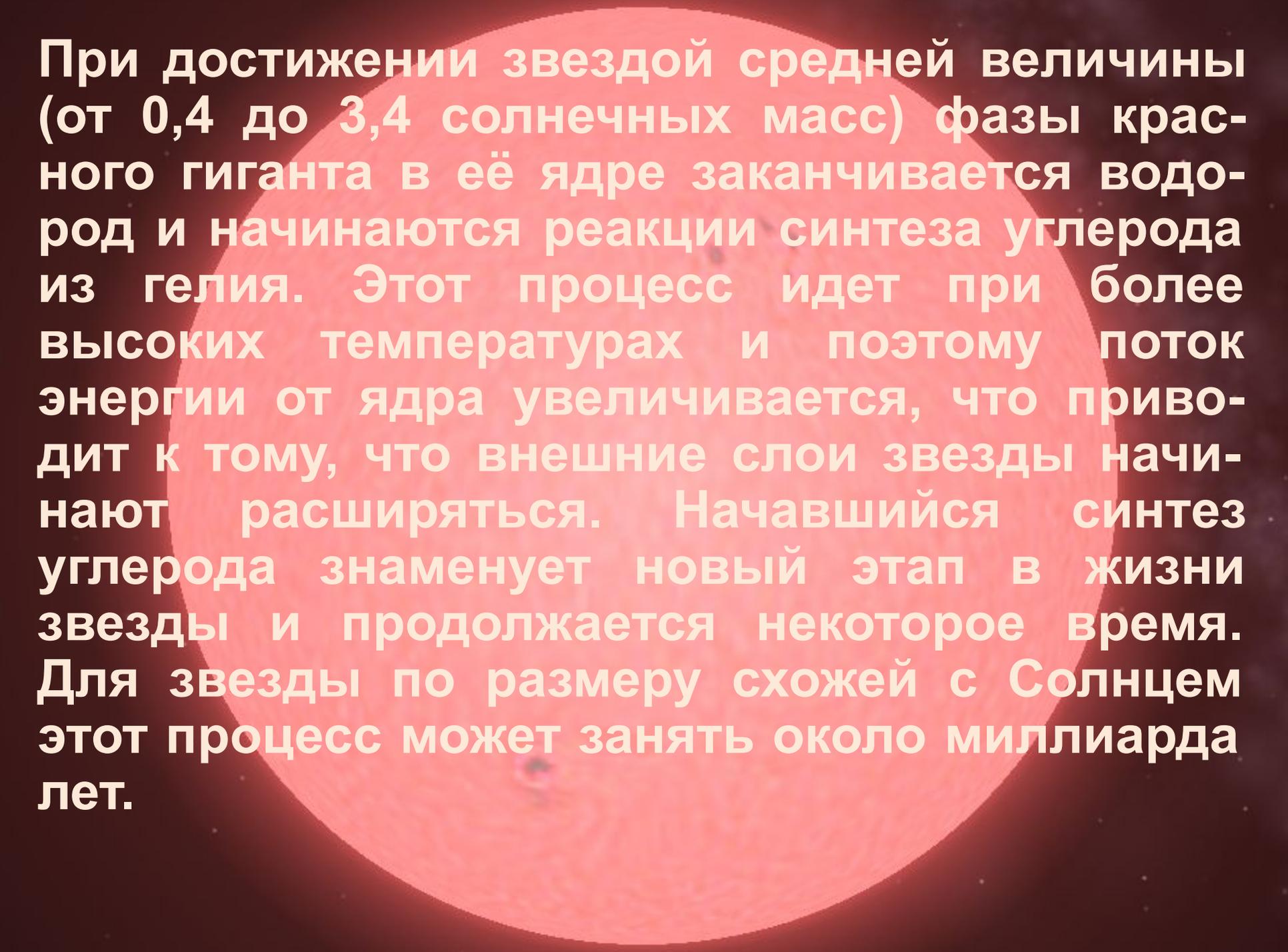
Звёзды на начальной стадии своего существования, как правило, скрыты от взгляда внутри плотного облака пыли и газа. Часто силуэты таких звёздообразующих коконов можно наблюдать на фоне яркого излучения окружающего газа. Такие образования получили название глобул Бока.



Молодые звёзды малой массы (до трёх масс Солнца), находящиеся на подходе к главной последовательности, полностью конвективны; процесс конвекции охватывает все области светила. Это ещё по сути протозвёзды, в центре которых только-только начинаются ядерные реакции, и всё излучение происходит, в основном, из-за гравитационного сжатия. Пока гидростатическое равновесие ещё не установлено, светимость звезды убывает при неизменной эффективной температуре.

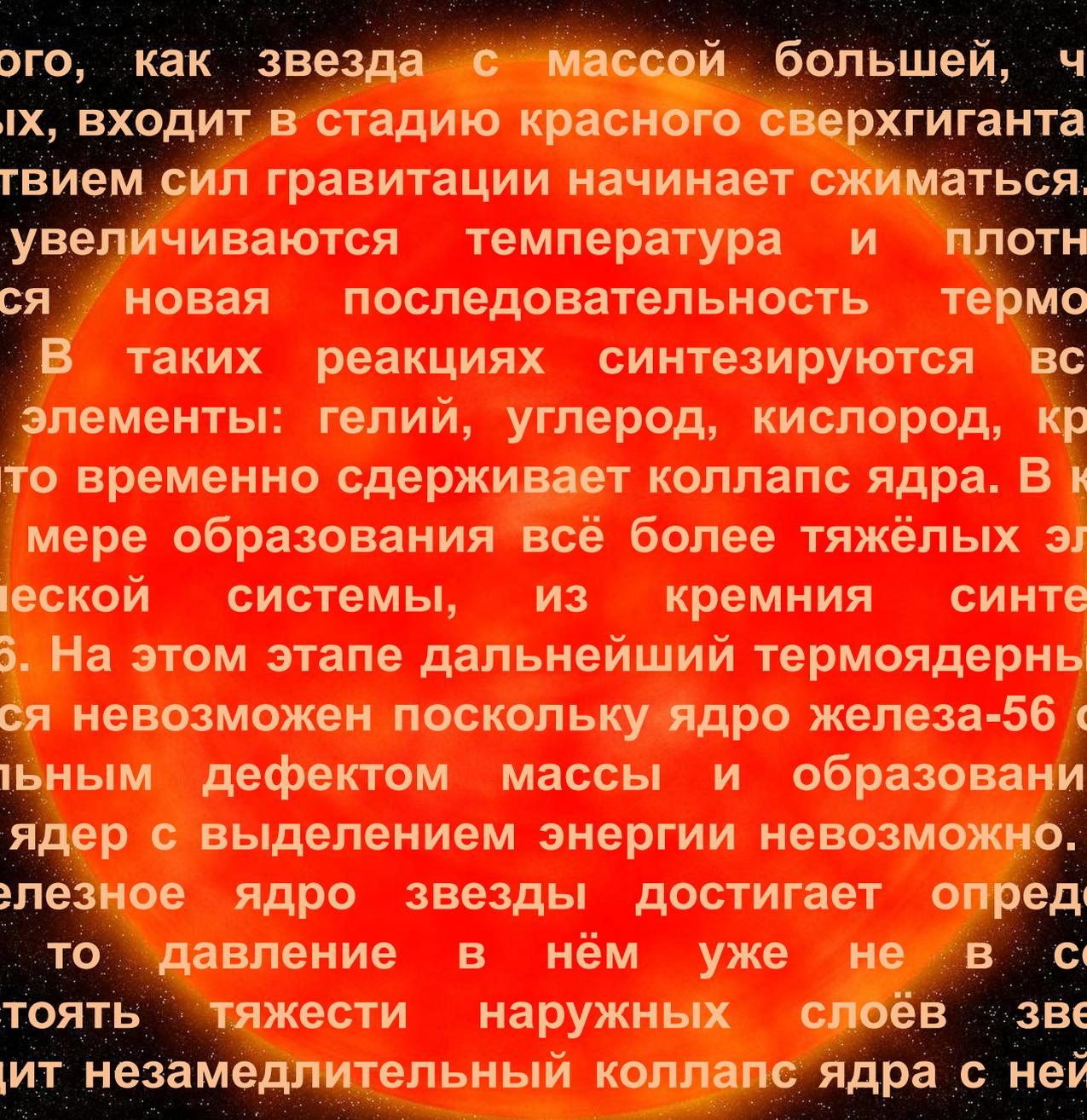
Очень малая доля протозвёзд не достигает достаточной для реакций термоядерного синтеза температуры. Такие звёзды получили название «коричневые карлики», их масса не превышает одной десятой солнечной. Такие звёзды быстро умирают, постепенно остывая за несколько сотен миллионов лет. В некоторых наиболее массивных протозвёздах температура из-за сильного сжатия может достигнуть 10 миллионов К, делая возможным синтез гелия из водорода. Такая звезда начинает светиться.

Реакции сжигания гелия очень чувствительны к температуре. Иногда это приводит к большой неустойчивости. Возникают сильнейшие пульсации, которые в конечном итоге сообщают внешним слоям достаточное ускорение, чтобы быть сброшенными и превратиться в планетарную туманность. В центре туманности остаётся оголенное ядро звезды, в котором прекращаются термоядерные реакции, и оно, остывая, превращается в гелиевый белый карлик, как правило, имеющий массу до 0,5-0,6 солнечных и диаметр порядка диаметра Земли.



При достижении звездой средней величины (от 0,4 до 3,4 солнечных масс) фазы красного гиганта в её ядре заканчивается водород и начинаются реакции синтеза углерода из гелия. Этот процесс идет при более высоких температурах и поэтому поток энергии от ядра увеличивается, что приводит к тому, что внешние слои звезды начинают расширяться. Начавшийся синтез углерода знаменует новый этап в жизни звезды и продолжается некоторое время. Для звезды по размеру схожей с Солнцем этот процесс может занять около миллиарда лет.

Молодые звёзды с массой больше 8 солнечных масс уже обладают характеристиками нормальных звезд, поскольку прошли все промежуточные стадии и смогли достичь такой скорости ядерных реакций, чтобы они компенсировали потери энергии на излучение, пока накапливалась масса гидростатического ядра. У этих звёзд истечение массы и светимость настолько велики, что не просто останавливают коллапсирование ещё не ставших частью звезды внешних областей молекулярного облака, но, наоборот, отталкивают их прочь. Таким образом, масса образовавшейся звезды заметно меньше массы протозвёздного облака. Скорее всего, этим и объясняется отсутствие в нашей галактике звёзд больше чем около 300 масс Солнца.



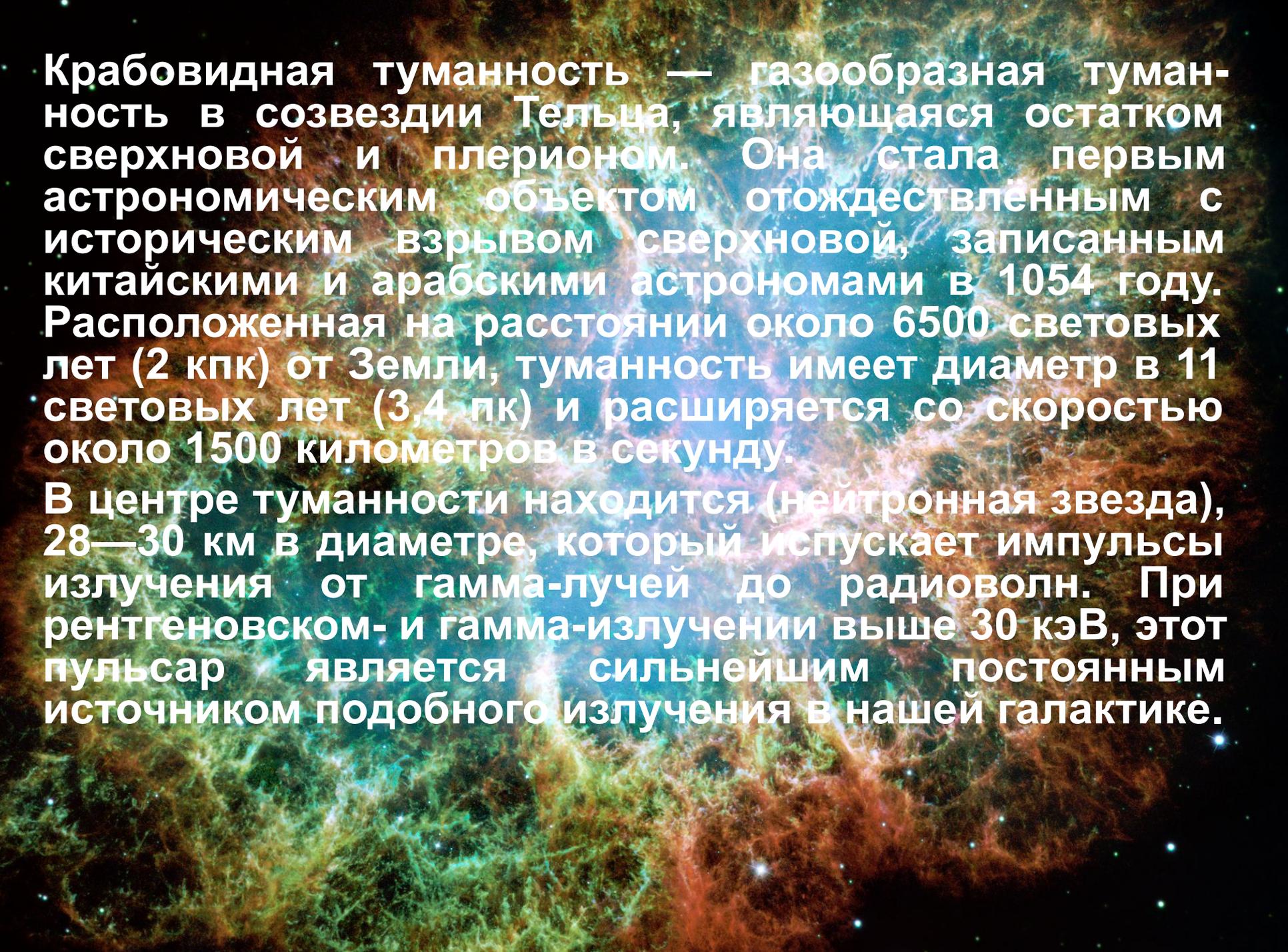
После того, как звезда с массой большей, чем пять солнечных, входит в стадию красного сверхгиганта, её ядро под действием сил гравитации начинает сжиматься. По мере сжатия увеличиваются температура и плотность, и начинается новая последовательность термоядерных реакций. В таких реакциях синтезируются все более тяжёлые элементы: гелий, углерод, кислород, кремний и железо, что временно сдерживает коллапс ядра. В конечном итоге, по мере образования всё более тяжёлых элементов периодической системы, из кремния синтезируется железо-56. На этом этапе дальнейший термоядерный синтез становится невозможен поскольку ядро железа-56 обладает максимальным дефектом массы и образование более тяжёлых ядер с выделением энергии невозможно. Поэтому когда железное ядро звезды достигает определённого размера, то давление в нём уже не в состоянии противостоять тяжести наружных слоёв звезды, и происходит незамедлительный коллапс ядра с нейтронизацией его вещества.

Сопутствующий этому всплеск нейтрино провоцирует ударную волну. Сильные струи нейтрино и вращающееся магнитное поле выталкивают большую часть накопленного звездой материала — так называемые распадочные элементы, включая железо и более лёгкие элементы. Разлетающаяся материя бомбардируется вырываемыми из ядра нейтронами, захватывая их и тем самым создавая набор элементов тяжелее железа, включая радиоактивные, вплоть до урана (а возможно, даже до калифорния). Таким образом, взрывы сверхновых объясняют наличие в межзвёздном веществе элементов тяжелее железа, что, однако, не является единственно возможным способом их образования, к примеру это демонстрируют технециевые

Взрывная волна и струи нейтрино уносят вещество прочь от умирающей звезды в межзвёздное пространство. В последующем, остывая и перемещаясь по космосу, этот материал сверхновой может столкнуться с другим космическим «мусором», и возможно, участвовать в образовании новых звёзд, планет или спутников.

Процессы, протекающие при образовании сверхновой, до сих пор изучаются, и пока в этом вопросе нет ясности. Также под вопросом остаётся момент, что же на самом деле остаётся от изначальной звезды. Тем не менее, рассматриваются два варианта: нейтронные звезды и чёрные дыры.





**Крабовидная туманность** — газообразная туманность в созвездии Тельца, являющаяся остатком сверхновой и плерионом. Она стала первым астрономическим объектом отождествленным с историческим взрывом сверхновой, записанным китайскими и арабскими астрономами в 1054 году. Расположенная на расстоянии около 6500 световых лет (2 кпк) от Земли, туманность имеет диаметр в 11 световых лет (3,4 пк) и расширяется со скоростью около 1500 километров в секунду.

В центре туманности находится (нейтронная звезда), 28—30 км в диаметре, который испускает импульсы излучения от гамма-лучей до радиоволн. При рентгеновском- и гамма-излучении выше 30 кэВ, этот пульсар является сильнейшим постоянным источником подобного излучения в нашей галактике.