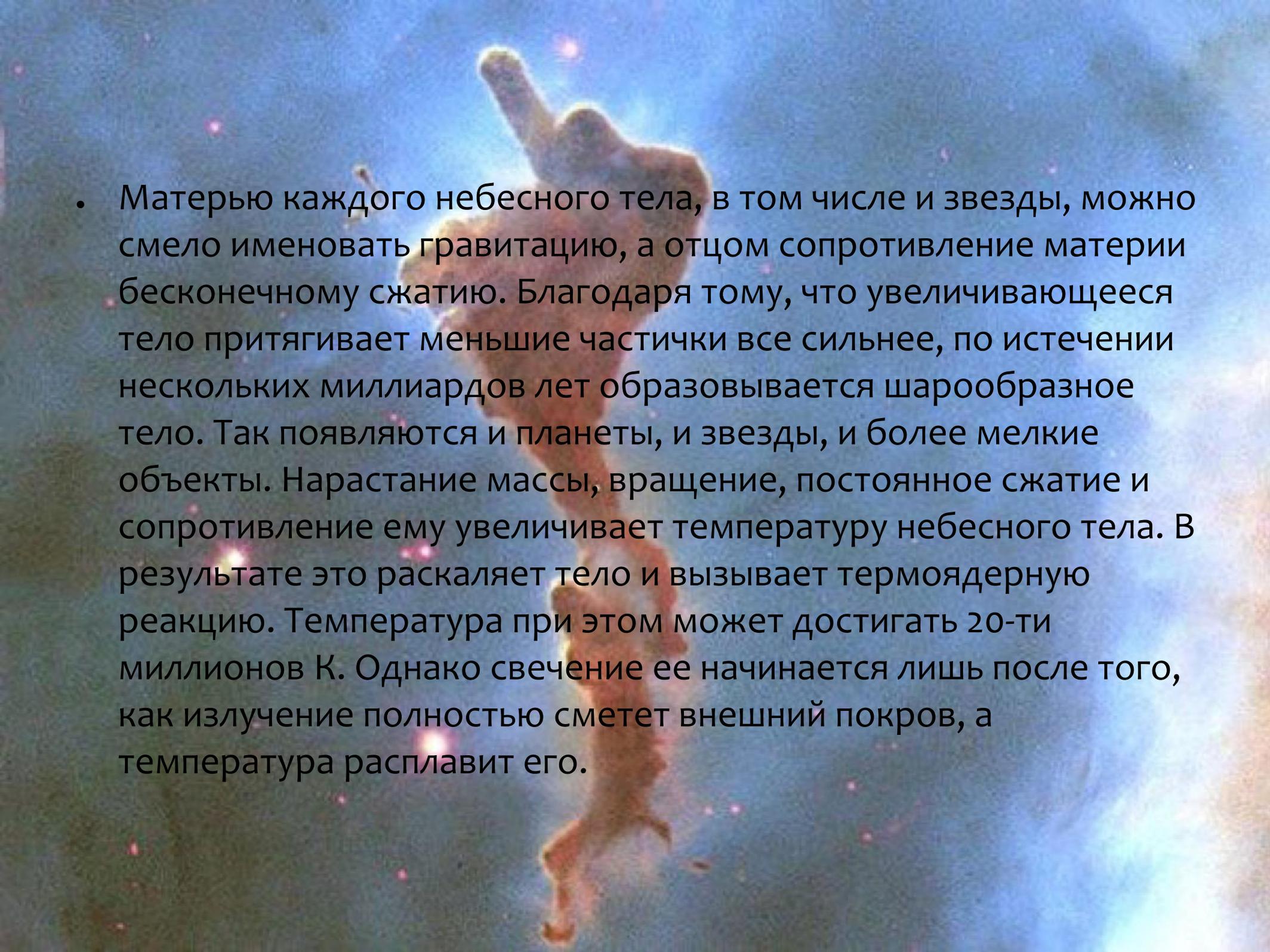
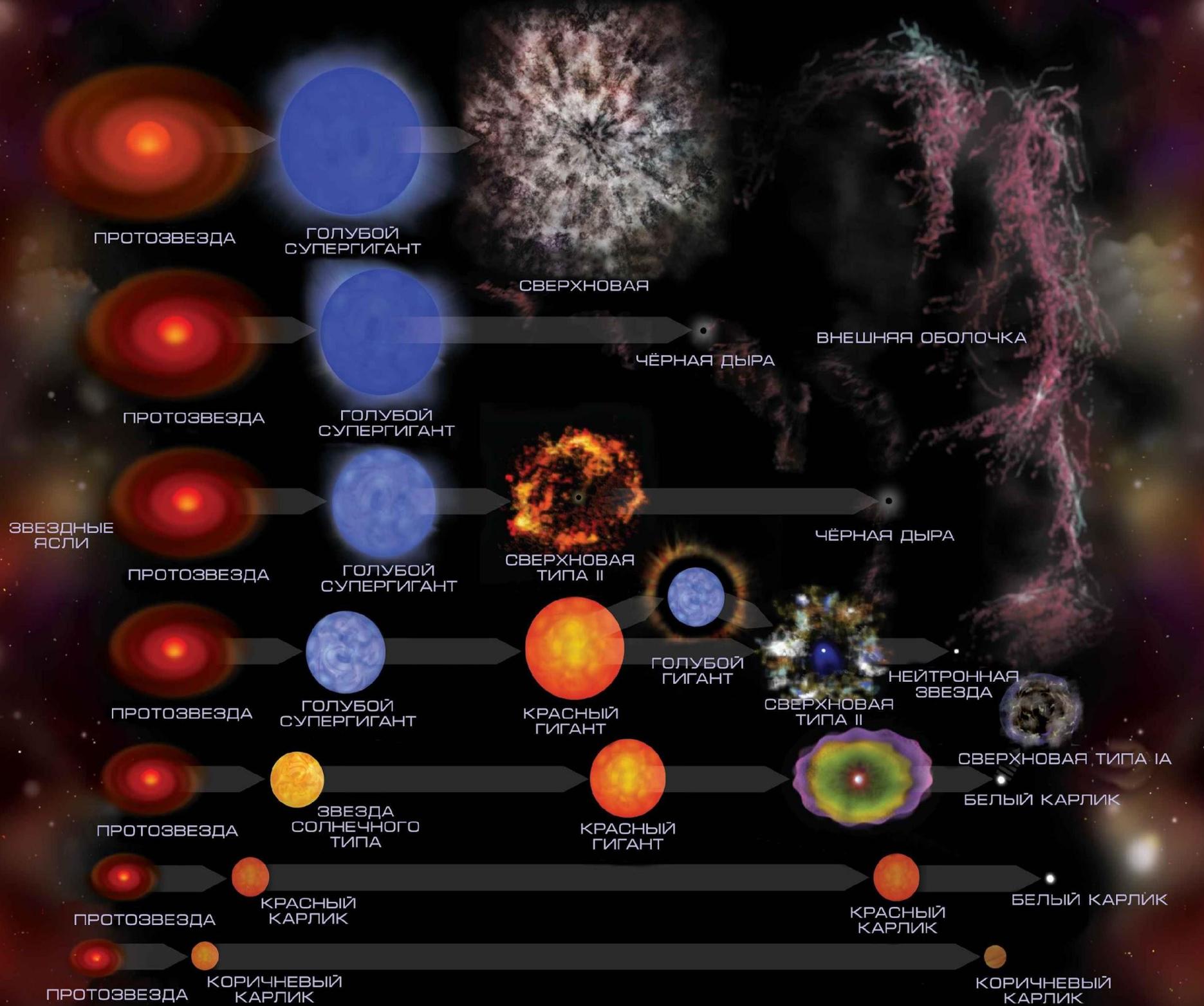




# Эволюция звёзд

Шумарова Полина 11 «А»

- 
- A hand is shown pointing upwards against a blue, starry background. The hand is positioned in the upper left quadrant of the image, with the index finger pointing towards the top. The background is a deep blue with numerous small, bright stars and a soft, glowing light source on the right side, creating a gradient from dark blue to light blue and white. The overall effect is that of a night sky or a celestial scene.
- Матерью каждого небесного тела, в том числе и звезды, можно смело именовать гравитацию, а отцом сопротивление материи бесконечному сжатию. Благодаря тому, что увеличивающееся тело притягивает меньшие частички все сильнее, по истечении нескольких миллиардов лет образовывается шарообразное тело. Так появляются и планеты, и звезды, и более мелкие объекты. Нарастание массы, вращение, постоянное сжатие и сопротивление ему увеличивает температуру небесного тела. В результате это раскаляет тело и вызывает термоядерную реакцию. Температура при этом может достигать 20-ти миллионов К. Однако свечение ее начинается лишь после того, как излучение полностью сметет внешний покров, а температура расплавит его.



# Рождение

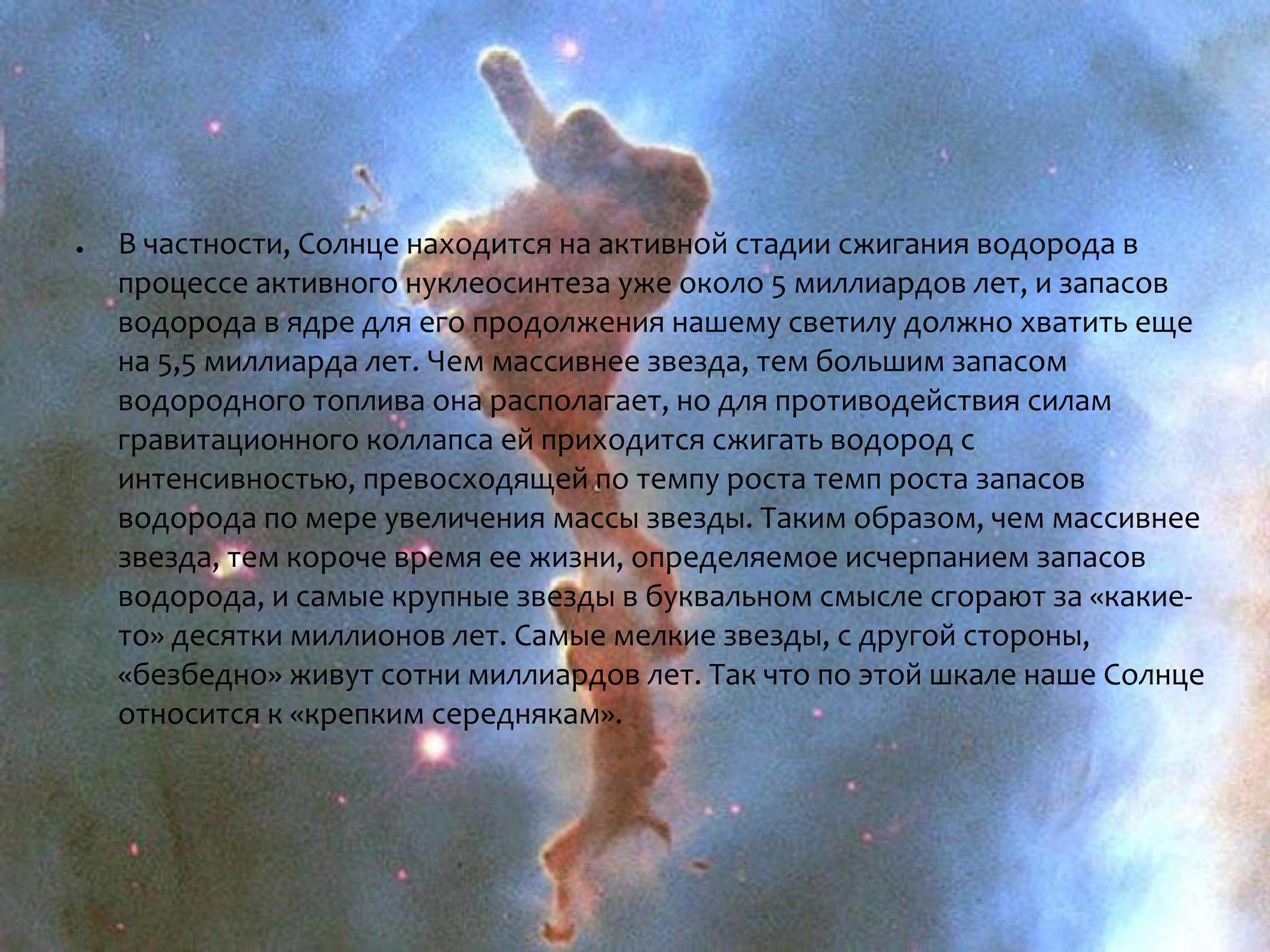
- Когда было исследовано большое количество звезд, оказалось, что среди них многие излучают в тысячи раз больше энергии, чем Солнце, и поэтому физически не могут жить миллиарды лет. Получается, должен быть процесс, который приводит к рождению звезд в эпохи, сравнительно близкие к нашему времени. Молодые звёзды - прежде всего звезды очень большой массы и очень высокой светимости, то есть те, которые излучают энергии во много раз больше, чем Солнце. Именно они не могут соперничать с Солнцем по возрасту, так как столь интенсивно теряют энергию, что в состоянии существовать только сравнительно короткое время по астрономическим масштабам.

## Облака газа

- Газ этот представляет собой в основном водород, но уже не в атомарном, а в молекулярном состоянии. Молекула водорода — это два атома водорода, связанные между собой. Такой газ практически не излучает ни в оптическом, ни в радиодиапазоне. Только по косвенным признакам можно было заподозрить, что его на самом деле в пространстве очень много. Лишь через какое-то время научились этот газ наблюдать непосредственно благодаря тому, что молекулярному водороду сопутствуют другие молекулы, в частности молекулы CO. температура молекулярных облаков очень низкая (обычно минус 230-250 градусов по Цельсию), а плотность сравнительно высокая. Эти два условия делают физически возможным гравитационное сжатие вещества, которое, начавшись, будет продолжаться до тех пор, пока газ не уплотнится до состояния звезды и ярко не засветится. Процесс сжатия газа в звезду достаточно медленный, он может занимать сотни тысяч и миллионы лет. Представьте себе, насколько должно уплотниться вещество, чтобы из разреженного межзвездного газа образовалась звезда. Это все равно, что взять, скажем, шар размером в 100 километров, а потом его сжать и втянуть в маленький шарик размером с копеечную монету. Приблизительно такой масштаб изменения плотности имеет место при превращении межзвездной среды в звезду.

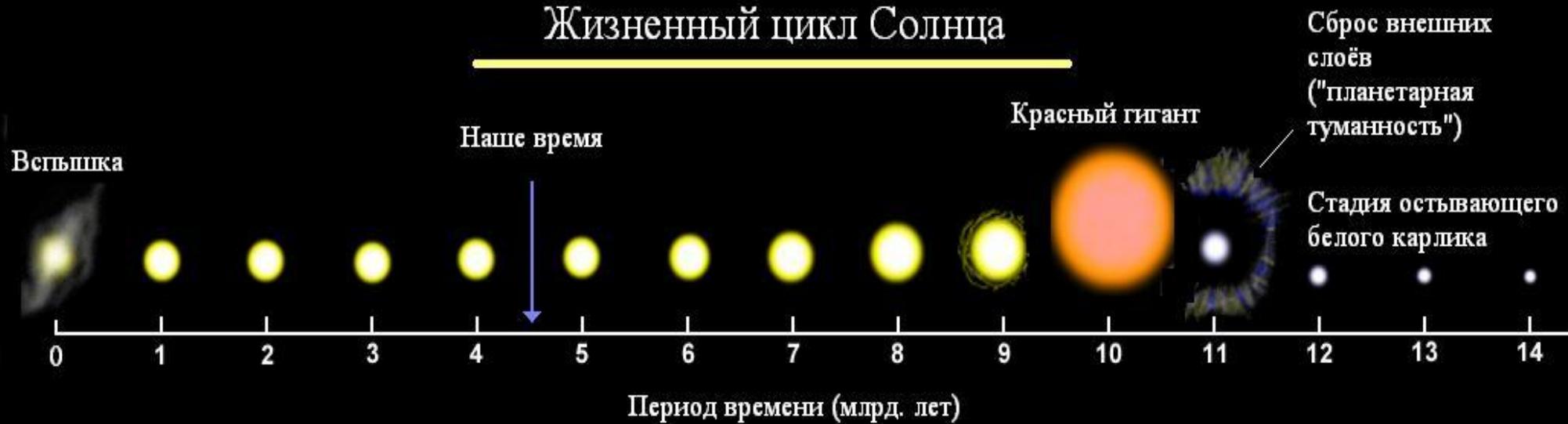
## Протозвезда -> звезда на основной фазе (фазе синтеза гелия из водорода)

По мере уплотнения такого облака сначала образуется протозвезда, температура в ее центре неуклонно растет, пока не достигает предела, необходимого для того, чтобы скорость теплового движения частиц превысила порог, после которого протоны способны преодолеть макроскопические силы взаимного электростатического отталкивания (см. Закон Кулона) и вступить в реакцию термоядерного синтеза (см. Ядерный распад и синтез). В результате многоступенчатой реакции термоядерного синтеза из четырех протонов в конечном итоге образуется ядро гелия (2 протона + 2 нейтрона) и выделяется целый фонтан разнообразных элементарных частиц. В конечном состоянии суммарная масса образовавшихся частиц меньше массы четырех исходных протонов, а значит, в процессе реакции выделяется свободная энергия (см. Теория относительности). Из-за этого внутренне ядро новорожденной звезды быстро разогревается до сверхвысоких температур, и его избыточная энергия начинает выплескиваться по направлению к ее менее горячей поверхности — и наружу. Одновременно давление в центре звезды начинает расти (см. Уравнение состояния идеального газа). Таким образом, «сжигая» водород в процессе термоядерной реакции, звезда не дает силам гравитационного притяжения сжать себя до сверхплотного состояния, противопоставляя гравитационному коллапсу непрерывно возобновляемое внутреннее термическое давление, в результате чего возникает устойчивое энергетическое равновесие. О звездах на стадии активного сжигания водорода говорят, что они находятся на «основной фазе» своего жизненного цикла или эволюции (см. Диаграмма Герцшпрунга—Рассела). Превращение одних химических элементов в другие внутри звезды называют ядерным синтезом или нуклеосинтезом. Свечение в этот период характеризуется как голубое и белое.

- 
- A hand with the index finger pointing upwards is superimposed over a background of a blue and purple nebula with scattered stars. The hand is semi-transparent, allowing the background to be seen through it.
- В частности, Солнце находится на активной стадии сжигания водорода в процессе активного нуклеосинтеза уже около 5 миллиардов лет, и запасов водорода в ядре для его продолжения нашему светилу должно хватить еще на 5,5 миллиарда лет. Чем массивнее звезда, тем большим запасом водородного топлива она располагает, но для противодействия силам гравитационного коллапса ей приходится сжигать водород с интенсивностью, превосходящей по темпу роста темп роста запасов водорода по мере увеличения массы звезды. Таким образом, чем массивнее звезда, тем короче время ее жизни, определяемое исчерпанием запасов водорода, и самые крупные звезды в буквальном смысле сгорают за «какие-то» десятки миллионов лет. Самые мелкие звезды, с другой стороны, «безбедно» живут сотни миллиардов лет. Так что по этой шкале наше Солнце относится к «крепким середнякам».



## Жизненный цикл Солнца

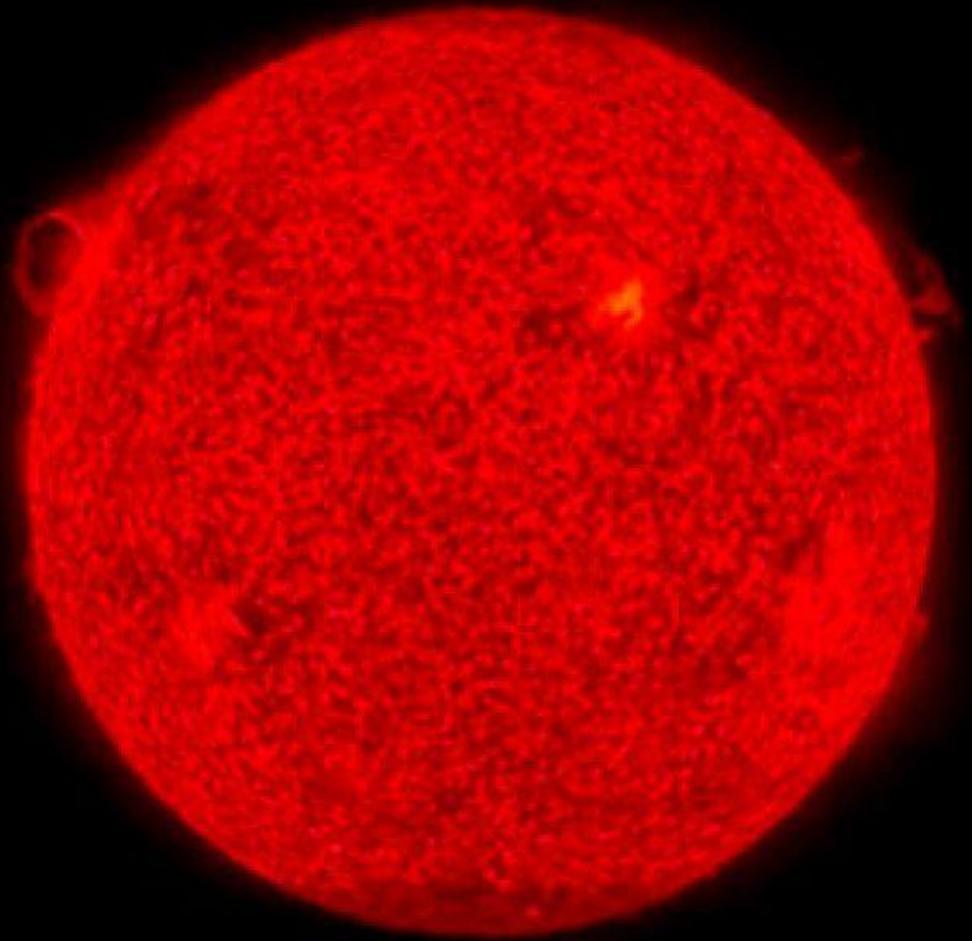


## Синтез углерода из гелия

- Рано или поздно, однако, любая звезда израсходует весь пригодный для сжигания в своей термоядерной топке водород. Что дальше? Это также зависит от массы звезды. Солнце (и все звезды, не превышающие его по массе более чем в восемь раз) заканчивают свою жизнь весьма банальным образом. По мере истощения запасов водорода в недрах звезды силы гравитационного сжатия, терпеливо ожидавшие этого часа с самого момента зарождения светила, начинают одерживать верх — и под их воздействием звезда начинает сжиматься и уплотняться. Этот процесс приводит к двойному эффекту: Температура в слоях непосредственно вокруг ядра звезды повышается до уровня, при котором содержащийся там водород вступает, наконец, в реакцию термоядерного синтеза с образованием гелия. В то же время температура в самом ядре, состоящем теперь практически из одного гелия, повышается настолько, что уже сам гелий — своего рода «пепел» затухающей первичной реакции нуклеосинтеза — вступает в новую реакцию термоядерного синтеза: из трех ядер гелия образуется одно ядро углерода. Этот процесс вторичной реакции термоядерного синтеза, топливом для которого служат продукты первичной реакции, — один из ключевых моментов жизненного цикла звезд. При вторичном сгорании гелия в ядре звезды выделяется так много энергии, что звезда начинает буквально раздуваться. В частности, оболочка Солнца на этой стадии жизни расширится за пределы орбиты Венеры. При этом совокупная энергия излучения звезды остается примерно на том же уровне, что и в течение основной фазы ее жизни, но, поскольку излучается эта энергия теперь через значительно большую площадь поверхности, внешний слой звезды остывает до красной части спектра. Звезда превращается в красный гигант.

Красный гигант

Солнце



## Путь развития звёзд класса Солнца

- Для звезд класса Солнца после истощения топлива, питающего вторичную реакцию нуклеосинтеза, снова наступает стадия гравитационного коллапса — на этот раз окончательного. Температура внутри ядра больше не способна подняться до уровня, необходимого для начала термоядерной реакции следующего уровня. Поэтому звезда сжимается до тех пор, пока силы гравитационного притяжения не будут уравновешены следующим силовым барьером. В его роли выступает давление вырожденного электронного газа (см. Предел Чандрасекара). Электроны, до этой стадии игравшие роль безработных статистов в эволюции звезды, не участвуя в реакциях ядерного синтеза и свободно перемещаясь между ядрами, находящимися в процессе синтеза, на определенной стадии сжатия оказываются лишенными «жизненного пространства» и начинают «сопротивляться» дальнейшему гравитационному сжатию звезды. Состояние звезды стабилизируется, и она превращается в вырожденного белого карлика, который будет излучать в пространство остаточное тепло, пока не остынет окончательно.

## Более массивные звёзды

- Звезды более массивные, нежели Солнце, ждут куда более зрелищный конец. После сгорания гелия их масса при сжатии оказывается достаточной для разогрева ядра и оболочки до температур, необходимых для запуска следующих реакций нуклеосинтеза — углерода, затем кремния, магния — и так далее, по мере роста ядерных масс. При этом при начале каждой новой реакции в ядре звезды предыдущая продолжается в ее оболочке. На самом деле, все химические элементы вплоть до железа, из которых состоит Вселенная, образовались именно в результате нуклеосинтеза в недрах умирающих звезд этого типа. Но железо — это предел; оно не может служить топливом для реакций ядерного синтеза или распада ни при каких температурах и давлениях, поскольку как для его распада, так и для добавления к нему дополнительных нуклонов необходим приток внешней энергии. В результате массивная звезда постепенно накапливает внутри себя железное ядро, не способное послужить топливом ни для каких дальнейших ядерных реакций.

## Образование сверхновой

- Как только температура и давление внутри ядра достигают определенного уровня, электроны начинают вступать во взаимодействие с протонами ядер железа, в результате чего образуются нейтроны. И за очень короткий отрезок времени — некоторые теоретики полагают, что на это уходят считанные секунды, — свободные на протяжении всей предыдущей эволюции звезды электроны буквально растворяются в протонах ядер железа, всё вещество ядра звезды превращается в сплошной сгусток нейтронов и начинает стремительно сжиматься в гравитационном коллапсе, поскольку противодействовавшее ему давление вырожденного электронного газа падает до нуля. Внешняя оболочка звезды, из под которой оказывается выбита всякая опора, обрушивается к центру. Энергия столкновения обрушившейся внешней оболочки с нейтронным ядром столь высока, что она с огромной скоростью отскакивает и разлетается во все стороны от ядра — и звезда буквально взрывается в ослепительной вспышке сверхновой звезды. За считанные секунды при вспышке сверхновой может выделиться в пространство больше энергии, чем выделяют за это же время все звезды галактики вместе взятые. При вспышках сверхновых образуются более тяжёлые, чем железо, химические элементы.



# Нейтронная звезда, пульсар, чёрная дыра

- После вспышки сверхновой и разлета оболочки у звезд массой порядка 10-30 солнечных масс продолжающийся гравитационный коллапс приводит к образованию нейтронной звезды, вещество которой сжимается до тех пор, пока не начинает давать о себе знать давление вырожденных нейтронов — иными словами, теперь уже нейтроны (подобно тому, как ранее это делали электроны) начинают противиться дальнейшему сжатию, требуя себе жизненного пространства. Это обычно происходит по достижении звездой размеров около 15 км в диаметре. В результате образуется быстро вращающаяся нейтронная звезда, испускающая электромагнитные импульсы с частотой ее вращения; такие звезды называются пульсарами. Наконец, если масса ядра звезды превышает 30 солнечных масс, ничто не в силах остановить ее дальнейший гравитационный коллапс, и в результате вспышки сверхновой образуется черная дыра.

A hand is shown at the top, pointing towards a central glowing orange-yellow sphere. This sphere is surrounded by concentric white rings representing magnetic field lines. From the top and bottom of the sphere, two beams of light extend outwards, each containing several bright, jagged pulses of light. The background is a dark, starry space with many small white stars and a few larger, colorful stars. The overall scene is set against a blue and white background at the top and bottom edges.

Она вращается с колоссальной скоростью и испускает электромагнитные импульсы.

