# Содержание

Введение 3

1.Источники энергии звезд 5

Гравитационное сжатие 5

Термоядерный синтез 6

2. Ранние стадии эволюции звезд 11

3. Выход звезд из главной последовательности. Гравитационный коллапс и поздние стадии эволюции звезд 15

4. Особенности эволюции тесных двойных систем 22

Заключение 25

Список использованной литературы 26

# Введение

Многие сотни и тысячи лет человечество пользовалось дарами Солнца, не задумываясь о его природе. Позже Солнце обожествляли древние египтяне, персы. Но они также мизерно мало знали о истинной природе Солнца. В те времена астрономия только зарождалась, делала первые шаги, училась измерять расстояния, предсказывать разливы рек и время солнечных и лунных затмений.

Развитие науки в Древнем мире и особенно греческой философии привело к тому, что зародилось учение о том, что звезды – это далекие солнца. Но природа и этих далеких солнц и нашего более близкого светила была не известной. Сократ сказал: «все это навсегда останется тайной для смертного и самим богам жалко смотреть на старания человека разгадать то, что они навсегда скрыли от человека…». Через две тысячи лет то же твердил и французский философ Огюст Конт: «мы ничего не можем узнать о звездах. Кроме того, что они существуют. Даже их температура навсегда останется неизвестной…». Но наука, как и наш мир, развивается и через сто лет все изменилось…

За последние сто лет, несмотря на пессимистические прогнозы Конта, удалось выяснить основные проблемы, что касаются природы звезд и физики процессов, которые происходят в их недрах. Астрономы шаг за шагом, постепенно, вторгаются в ту область, которая за Сократом навсегда должна быть тайной для смертного.

Целью нашей работы будет рассмотреть те физические процессы, которые являются источниками энергии звезд, рассмотреть процессы термоядерного синтеза и их виды, которые проходят в недрах звезд на разных этапах ее развития. Также рассмотрим механизмы переноса энергии к поверхности звезд, что также довольно важно при выяснении характера звезды.

Звезды вечны с точки зрения человека, но они не вечны с точки зрения самих звезд. Звезды рождаются и стареют, время жизни человека мизерно по сравнению с временем жизни самой звезды. Но при помощи математического аппарата и наблюдений вселенной астрономы смогли рассчитать модели развития звезд в зависимости от ее массы, радиуса и т.п. Поэтому в нашей работе мы рассмотрим также и процессы эволюции звезд.

# Источники энергии звезд

На протяжении ста лет после формулирования Р. Майэром в 1842 году закона сохранения энергии высказывали много гипотез о природе источников энергии звезд, в частности была предложена гипотеза о выпадении на звезду метеорных тел, радиоактивном распаде элементов, аннигиляции протонов и электронов. Реальное значение имеют только гравитационное сжатие и термоядерный синтез.

Гравитационное сжатие

Звезду массой *т*☼ и радиусом R можно характеризовать ее потенциальной энергией Е*. Потенциальной,* или *гравитационной, энергией* звезды называется работа, которую надо затратить, чтобы распылить вещество звезды на бесконечность. И наоборот, эта энергия высвобождается при сжатии звезды, т.е. при уменьшении ее радиуса. Значение этой энергии можно вычислить при помощи формулы:



Потенциальная энергия Солнца равна: Е☼= 5,9∙1041 Дж.

Теоретическое исследование процесса гравитационного сжатия звезды показало, что приблизительно половину своей потенциальной энергии звезда излучает, тогда, как вторая половина тратится на повышение температуры ее массы приблизительно до десяти миллионов кельвинов. Нетрудно, однако, убедиться, что эту энергию Солнце высветило бы за 23 млн. лет. Итак, гравитационное сжатие может быть источником энергии звезд только на некоторых, довольно кратких этапах их развития.

Термоядерный синтез

Теорию термоядерного синтеза сформулировали в 1938 г. немецкие физики Карл Вейцзеккер и Ганс Бете. Предпосылкой этого было, во-первых, определение в 1918 г. Ф. Астоном (Англия) массы атома гелия, который равняется 3,97 массы атома водорода*,* во-вторых, выявление в 1905 г. связи между массой тела *т* и его энергией *Е* в виде формулы Эйнштейна:

Е=тс2

где с – скорость света, в-третьих, выяснение в 1929 г. того, что благодаря туннельному эффекту две одинаково заряженные частицы (два протона) могут сближаться на расстояние, где превосходящей будет сила притяжения, а также открытие в 1932 г. позитрона е+ и нейтрона п.

Первой и наиболее эффективной из реакций термоядерного синтеза есть образования из четырех протонов р ядра атома гелия по схеме:



Очень важно то, что здесь возникает *дефект массы:* масса ядра гелия равняется 4,00389 а.е.м., тогда как масса четырех протонов 4,03252 а.е.м. За формулой Эйнштейна вычислим энергию, которая выделяется во время образования одного ядра гелия:



Нетрудно подсчитать, что если бы Солнце на начальной стадии развития состояло из одного водорода, то его превращение в гелий было бы достаточным для существования Солнца как звезды при нынешних потерях энергии около 100 млрд. лет. На самом деле же идет речь о «выгорании» около 10% водорода из глубочайших недр звезды, где температура достаточна для реакций синтеза.

Реакции синтеза гелия могут проходить двумя путями. Первый называется *рр-циклом,* второй – *СNО-циклом.* В том и другому случае дважды в каждом ядре гелия протон превращается в нейтрон по схеме:

,



где *V* - нейтрино.

В таблице 1 указано среднее время каждой из термоядерных реакций синтеза, промежуток, за который количество исходных частичек уменьшится в *е* раз.

Таблица 1. Реакции синтеза гелия.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Реакция | Выделяемая энергия, МэВ | Среднее время реакции. |
| рр-цикл | 1,44  5,9  12,85 | 14 млрд. лет  5 с  1 млн. лет |
| CNO-цикл | 1,95  2,22  7,54  7,35  2,71  4,96 | 13 млн. лет  7 мин.  2,7 млн. лет  320 млн. лет  82 с  110 тыс. лет |

Эффективность реакций синтеза характеризуется мощностью источника, количеством энергии, которая высвобождается в единице массы вещества за единицу времени. Из теории вытекает, что *,* тогда как *.* Граница температуры *Т,* выше которой главную роль сыграет не *рр-,* а *CNO-цикл*, равна 15∙106 К. В недрах Солнца основную роль сыграет *рр-*цикл. Именно потому, что первая из его реакций имеет очень большое характерное время (14 млрд. лет), Солнце и подобные ему звезды проходят свой эволюционный путь около десяти миллиардов лет. Для более массивных белых звезд это время у десятки и сотни раз меньше, поскольку значительно меньшим есть характерное время основных реакций *CNO-*цикла.



Если температура в недрах звезды после исчерпания там водорода достигнет сотен миллионов кельвинов, а это возможно для звезд с массой *т* >1,2 m☼, то источником энергии становится реакция преобразования гелия в углерод по схеме: . Расчет показывает, что запасы гелия звезда истратит приблизительно за 10 млн. лет. Если ее масса достаточно большая, ядро продолжает сжиматься и при температуре свыше 500 млн. градусов становятся возможными реакции синтеза более сложных атомных ядер по схеме:



При высших температурах перебегают такие реакции:



и т.д. вплоть до образования ядер железа. Это реакции *экзотермические,* вследствие их хода энергия высвобождается.

Как знаем, энергия, которую излучает звезда в окружающее пространство, выделяется в ее недрах и постепенно просачивается к поверхности звезды. Это перенесение энергии через толщу вещества звезды может осуществляться двумя механизмами: *лучистым переносом* или *конвекцией.*

В первом случае речь идет о многоразовом поглощении и переизлучении квантов. Фактически при каждом таком акте проходит дробление квантов, поэтому вместо жестких γ-квантов, которые возникают при термоядерном синтезе в недрах звезды до поверхности ее доходят миллионы квантов низкой энергии. При этом исполняется закон сохранения энергии.

В теории переноса энергии введено понятие длинны свободного пробеге кванта некоторой частоты υ. Нетрудно сориентироваться, что в условиях звездных атмосфер, длина свободного пробега кванта не превышает нескольких сантиметров. И время просачивания квантов энергии от центра звезды к ее поверхности измеряется миллионами лет. Однако в недрах звезд могут сложиться условия, при которых такое лучистое равновесие нарушается. Аналогично ведет себя вода в сосуде, который подогревают снизу. Определенное время здесь жидкость находится в состоянии равновесия, так как молекула, получив излишек энергии непосредственно от дна сосуда, успевает передать часть энергии за счет столкновений другим молекулам, которые находятся выше. Тем самым устанавливается определенный градиент температуры в сосуде от ее дна к верхнему краю. Однако со временем скорость, с которой молекулы могут передавать энергию вверх за счет столкновений, становится меньше темпа передачи тепла снизу. Наступает кипение – перенос тепла непосредственным перемещением вещества.

В основе теории конвекции лежит принцип, что во время движения вверх каждый элемент массы не успевает обмениваться энергией с окружающим веществом, т.е. что это движение *адиабатическое.* Это дает возможность разработать теорию конвективного движения, а соответствующие уравнения решать в объединении с уравнением гидростатического равновесия. Хотя в определенных частях звезды может существовать конвективная зона, равновесие звезды как целого сохраняется.

Как выяснено, в условиях звездных конфигураций конвекция возникает в двух случаях в центральной части звезды, если выделение энергии там происходит в весьма быстром темпе (благодаря процессам CNO-цикла), это касается звезд, массы которых превышают солнечную, и в оболочках звезд, если вещество там мало или совсем не ионизировано.

# 2. Ранние стадии эволюции звезд

За современными представлениями звезды образовываются вследствие гравитационного сжатия фрагментов газово-пылевых туч. Как показывают исследования, имеющиеся в межзвездной среде газо - пылевые комплексы, массы которых достигают 103.. 104 m☼, размеры 10 . 100 пк, а температуры нескольких десятков кельвинов, есть гравитационно-неустойчивыми и они должны сжиматься. При этом часть энергии идет на нагревание вещества. Тем не менее, газ и пылинки быстро трансформируют эту энергию в инфракрасное излучение, которое свободно оставляет газопылевой комплекс. Это приводит к тому, что температура вещества, которое сжимается, практически не изменяется, тогда, как ее плотность возрастает. И в конце концов, в соответствии с критерием гравитационной неустойчивости Джинса, массивная газо - пылевая туча начинает измельчаться на отдельные фрагменты, которые, сжимаются, превращаясь в протозвезды – зародыши будущих звезд.

Однако для того, чтобы протозвезда могла сжиматься в дальнейшем, она должна непрерывно терять тепловую энергию, которая выделяется при сжатии. Иначе температура вещества возрастет настолько, что давление газа будет препятствовать этому сжатию. Таким механизмом отвода тепла выступает инфракрасное излучение пыли и молекул газа. Это излучение свободно выходит из протозвезды, унося с собой излишек тепловой энергии.

Таким образом, протозвезды являются мощными источниками инфракрасного излучения. Наблюдения показывают, что в межзвездных газопылевых комплексах есть компактные источники инфракрасного излучения. Это объекты Хербига - Аро(их известно свыше 100), названные так в честь астрономов, открывших их. Очевидно, протозвездами будут и источники мазерного излучения молекул Н2О и ОН.

За последние 40 лет представления об изменении физических параметров протозвезд, а также и о их эволюционных трекахна диаграмме спектр-светимость, радикально пересмотрены. За это же время усовершенствованы методы вычислений радиуса, поверхностной температуры и светимости протозвезд, ее внутренней структуры при помощи электронно-вычислительных машин.

Например, в 50-ых годах считали, что эволюционная кривая, которую описывает протозвезда на диаграмме спектр-светимость, начинается в дальнем правом нижнем углу этой диаграммы, и что светимость протозвезды медленно и непрерывно возрастает вплоть до выхода на главную последовательность. При этом считали, что во время гравитационного сжатия звезды энергия в ней переносится лишь переизлучением. Однако в 1961 г. японский астроном Ч. Хаяши выяснил, что когда звезда сжимается как единое целое, то энергия в ней от центра к поверхности переносится конвекцией. В 80-ых годах доказали, что на самом деле часть газопылевой тучи сжимается как целое (в режиме свободного падения) лишь на начальной стадии.

Как только в центральной зоне сначала однородного газового шара образовывается ядро со значительно высшей плотностью, то ускорение силы тяжести возле него увеличивается и соответственно возрастает скорость падения внутренних слоев протозвезды. Ядро сжимается, масса его непрерывно возрастает, соответственно увеличивается и температура в центре. Через несколько десятков тысяч лет после начала формирования температура уже достигает значения свыше 106К, так что в ядре начинает выгорать дейтерий. Энергия через все вещество ядра переносится конвекцией. Однако все это излучение поглощает вещество оболочки, которая продолжает падать на уже сформированный зародыш протозвезды. И лишь, после того как основная часть массы оболочки упадет на ядро, а ее остаток становится прозрачным, мы можем заметить свет самой звезды. Ядро сжимается до тех пор, пока температура в нем не достигнет значения, достаточного для реакций синтеза гелия из четырех протонов. Сила тяготения в каждой точке звезды уравновешивается соответственно градиентом давления и на диаграмме спектр-светимость звезда, соответственно ее массе, занимает определенное место на главной последовательности.

Итак, главная последовательность – это геометрическое место точек на диаграмме спектр-светимость, которые отображают положение звезд, в недрах которых водород превращается в гелий.

Вычисления показывают, что сжатие протосолнца длилось около 25 млн. лет. Для других звезд это время тем меньше, чем больше их масса. Протозвезда с массой 15*т*☼ эволюционирует к главной последовательности за 60 000 лет, а с массой m=0,5 *т*☼ - около 150 млн. лет.

Все эти данные дают лишь более или менее возможные схемы развития протозвезд. Так как еще не выяснено, насколько правильный выбор математических соотношений, которые описывают перенесение энергии из недр звезды конвекцией, как влияет на эволюционный путь звезды ее обращение вокруг оси, а также магнитное поле, которое пронизывает газопылевое облако. Что касается вращения, то очевидно, что оно придает сферическую симметрию. Вычисления, которые пока что приходится проводить с определенными упрощениями, дают возможность сделать вывод, что фрагмент, который от начала имел заметное вращение, со временем сплющивается в направлении оси вращения. При дальнейшей эволюции фрагмента он превращается в кольцо, в котором через несколько десятков тысяч лет формируется два диаметрально противоположных уплотнения, которые дальше становятся звездами, образовывая двойную систему.

Уплотнения, которые формируется в центральной зоне протозвезды, может избавиться своего момента количества движения (передать его периферийным частям облака) благодаря магнитным полям, а также турбулентным движениям с учетом трения. Однако эти процессы наименее изучены.

# 3. Выход звезд из главной последовательности. Гравитационный коллапс и поздние стадии эволюции звезд

Пребывание звезды на главной последовательности длится до тех пор, пока в ее недрах не исчерпается ядерное горючее – водород. Точнее, как это определили в 1942 г. М. Шенберг иС. Чандрасекар, пока в центре звезды не образуется гелиевое ядро с массой 10...12% массы Солнца. Время, за которое звезда достигает *предела Шенберга-Чандрасекара* (т.е. время пребывания на главной последовательности), описывает формула:

(1).



Здесь учтено, что светимость звезды равна: и запасы энергии . По всей видимости, звезда спектрального класса В, что имеет массу m = 20m☼ находится на главной последовательности несколько миллионов лет (звезда типа Солнца c m = 1m☼ - на протяжении 10 млрд. лет, а красный карлик с массой m = 0,5 m☼ около 100 млрд. лет).



С уменьшением содержания водорода в ядре звезды коэффициент непрозрачности вещества непрерывно уменьшается. Это приводит к непрерывной перестройке звезды, что сопровождается сжатием ее ядра и разбуханием оболочки. При этом часть потенциальной энергиипереходит в тепло, температура звезды возрастает. В это время реакции синтеза гелия из водорода проходят в тонком сферическом слое, который непосредственно окружает ядро. Поскольку водород в упомянутом слое также постепенно выгорает, то соответственно непрерывно возрастает масса гелиевого ядра. Это приводит к увеличению силы тяготения, дальнейшему сжатию ядра и к росту температуры в нем. Соответственно возрастает светимость звезды. Энергия, которая выделяется в ее недрах, не успевает просачиваться наружу с помощью переизлучения фотонов, поэтому возникают конвективные потоки, так что очень быстро конвекция становится решающим механизмом перенесения энергии от ядра через оболочку звезды.

Ядро сжимается и температура его повышается до тех пор, пока в нем не начнутся реакции синтеза более тяжелых химических элементов (если масса звезды m > 1,2m☼). Например, при температуре 200 млн. кельвинов при соединении трех ядер атома гелия синтезируются ядра атома углерода, а со временем при еще высших температурах образовываются кислород, неон и т.д. При этом на некоторое время энергии, которая выделяется, достаточно, чтобы временно остановить сжатие ядра. Реакции синтеза перебегают с выделением энергии вплоть до синтеза ядер атомов железа**.** Более тяжелые химические элементы, которые также образовываются, является следствием хода эндотермических реакций, которые сопровождаются некоторым охлаждением недр звезды.

За все время выгорания водорода в ядре звезды она немного смещается на главной последовательности и очень быстро оставляет ее, как только достигнет предела Шенберга-Чандрасекара, превратившись в зависимости от своей массы в красного гиганта или сверхгиганта.

Если масса звезды m < 1,2m☼ , то после исчерпания водорода в ядре оно сжимается. За несколько десятков тысяч лет размеры ядра звезды уменьшаются приблизительно в 100 раз, плотность вещества в нем равняется нескольким сотням килограммов на кубический сантиметр. На этой стадии сжатие ядра останавливается давлением вырожденного электронного газа, т.е. ядро звезды превращается в белый карлик. Оболочка звезды увеличивается до (10... 100)R☼, так что сама звезда становится красным гигантом. Приблизительно через 20000 лет оболочка совсем отделяется от ядра. На месте бывшей звезды главной последовательности остается звезда белый карлик и оболочка, которая со скоростью около 20 км/с расширяется в окружающее пространство как планетарная туманность. Таким будет завершающий этап эволюции нашего Солнца.

Если масса звезды больше 1,2m☼ , то при сжатии массивного ядра, температура в нем достигает сотен миллионов и даже миллиардов кельвинов. Например, в звезды с массой m = 2m☼ формируется чисто гелиевое ядро, где температура достигает 1,7 млрд. кельвинов. В ядре такой звезды возможные термоядерные реакции вплоть до образования кремния.

На диаграмме спектр-светимость после выгорания водорода в ядре звезда смещается вправо вверх, превращаясь у красного гиганта или сверхгиганта. Если масса звезды больше чем 5m☼, то как только из-за сжатия температура в ядре превысит , в нем начинает выгорать гелий. Тогда сразу жевнешние слои звезды перестраиваются, конвекция в оболочке подавляется, и размеры звезды существенным образом уменьшаются. На диаграмме спектр-светимость звезда на протяжении нескольких сотен тысяч лет передвигается почти горизонтально влево к главной последовательности. Однако после того как запасы гелия в ядре исчерпываются, начинается дальнейшее сжатие ядра, которое сопровождается повторным образованием в звезды протяжной конвективной оболочки. Звезда снова передвигается вправо в зону красных сверхгигантов. Такой процесс повторяется несколько раз. Описывая на диаграмме спектр-светимость петли, звезда в моменты перестройки оболочки становится неустойчивой. В ее оболочке возникают и поддерживаются пульсации, т.е. звезда становится пульсирующей сменной.



Как знаем, конечным итогом эволюции звезды с массой m < 1,2m☼ будет белый карлик. Если же масса звезды m > 1,2m☼, то после достижения в ее недрах плотности 109 кг/м3 сжатие не прекращается. Сила веса здесь настолько большая, что даже давление вырожденного электронного газа не в состоянии ему противодействовать. Поэтому при сжатии ядра звезды распадаются ядра тяжелых элементов на более простые и проходят реакции «нейтронизации» вещества:



Протоны, из которых состоят атомные ядра, которые образовались на предыдущей стадии эволюции звезды, наконец превращаются в нейтроны. Если, масса ядра меньше 3m☼, то его сжатие остановится при плотностиоколо 1017 кг/м3. Благодаря действию принципа запрета Паули при упомянутых плотностях в нейтронном газе также будет действовать специфическая сила отталкивания, которая не дает возможности веществу сжиматься дальше. Ядро такой звезды станет *нейтронной звездой.*

Ядро сжимается к размерам нейтронной звезды очень быстро, поскольку нет сил, которые могли бы воспрепятствовать этому. В свою очередь, при столкновении вещества оболочки, которая падает вниз, с поверхностью ядра образуется мощная ударная волна, которая распространяется вверх, срывая эту оболочку. Все это создает эффект вспышки сверхновой звезды.

При условиях, созданных в недрах массивных звезд на поздних этапах их эволюции, важную роль в поддержке равновесия звезды играют нейтрино. Как упоминалось (7, ст. 56), из недр Солнца нейтрино выносят 5% энергии, которые там синтезируется. С повышением температуры в недрах звезды роль потоков нейтрино в вынесении энергии и в охлаждении постоянно возрастает. В частности, при температурах, выше 300 млн. кельвинов, значительное количество нейтрино и антинейтрино образуется вследствие рассеяния гамма-квантов на электронах (по схеме )*,* в дальнейшем – при свободных переходах электронов *е-* в поле атомных ядер: .



Вынося большое количество энергии из недр звезды (при температуре свыше 1 млрд. кельвинов это составляет около 50% всей энергии, которая высвобождается за счет гравитационного сжатия и термоядерных реакций), нейтрино тем самым существенным образом охлаждают ядро и выступают причиной все большего сжатия в ускоренном темпе. За подсчетами, без таких потерь энергии углерод в ядре звезды с массой 15,6m☼ сгорал бы на протяжении 250 тыс. лет. Вынесение же энергии нейтринными парами сокращает продолжительность эволюции звезды на этом этапе до 20 тыс. лет. Следующие термоядерные реакции, если бы не было нейтринных потоков, длились бы около 600 тыс. лет. Перенесение же энергии из недр звезды нейтринными потоками приводит к тому, что конечные фазы эволюции звезд имеют черты взрыва – *коллапса,* поскольку ядро сжимается катастрофически. Правильность этой схемы подтвердили наблюдение сверхновой из Большого Магелланового Облака, когда соответственно проведенных вычислений для таких явлений зафиксировали кратковременный импульс нейтринного излучения.

Сложнее говорить о конечных этапах развития звезды, масса которой больше 3m☼, поскольку масса нейтронной звезды не может превышать указанное значение. Высказывают допущение, что такие звезды после перехода в стадию сжатия продолжают его, превращаясь, наконец, в черные дыры. Однако есть основания утверждать, что большинство массивных звезд (с массой меньшей, чем 10m☼) избавляется от излишка своей массы на тех этапах эволюции, когда после выгорания (следует помнить, что срок этот условный) водорода, потом гелия и других элементов в недрах звезды, она на короткое время становится сверхгигантом. Такие надгиганты, с поверхности которых интенсивно «стекает» вещество (с темпом его потери до 10-5 m☼/год), в самом деле существуют. Однако полностью возражать против возможности сжатия массы звезды за ее сферу Шварцшильда нельзя. По статистическим данным видно, что каждый год в Галактике должны были бы завершать свою эволюцию около пяти звезд с массами свыше 3m☼, и столько должно было бы вспыхивать сверхновых. Но в среднем в Галактике вспыхивает одна сверхновая за 50 лет (в наше время в последний раз это случилось в 1604 г.). Поэтому не исключено, что определенное количество звезд переходит в новое состояние (возможно, в состояние черной дыры), «беззвучно», без внешних эффектов.

Хотя сама вспышка сверхновой, явление кратковременное, в этот момент проходят важные реакции синтеза тяжелых химических элементов. Поэтому кратко перечислим все процессы синтеза с общепринятыми названиями (7, ст. 112).

*Н- процесс –* превращение водорода в гелий в недрах обычных звезд, в том числе в недрах Солнца, по схеме: .



*а- процесс –* совокупность реакций синтеза углерода и гелия по схеме 34Не12С, а также последующие реакции синтеза ядер кислорода, неона, магния (12С + 4Не16О, 16О + 4Не20Nе и т.д.), что протекают в недрах звезд с массой ☼ при температурах больше .



*е-процесс –* образование ядер элементов группы железа:



в недрах массивных звезд при температурах непосредственно перед вспышкой звезды как сверхновой.



*s-процесс* (от англ. Slow - медленный) – процесс медленного захвата нейтронов в ядрах звезд с массой ☼ на позднем этапе их эволюции. Попадая в ядро, нейтрон превращается в протон раньше, чем это ядро захватит еще один нейтрон и станет стойким изотопом. Так образовываются ядра более тяжелых (после железа) химических элементов вплоть до висмута (209Ві).



*r-процесс* (от англ. *rаріd -* быстрый) – быстрый процесс захвата нейтронов атомными ядрами, который происходит в недрах сверхновой во время вспышки на протяжении всего около 100 с. При этом образовываются элементы с атомной массой около 270, в том числе уран и торий.

*р-процесс –* процесс захвата протонов ядрами тяжелых элементов, который происходит в оболочках сверхновых.

*υ-процесс –* образование в оболочке сверхновой ядер некоторых химических элементов при взаимодействии с веществом оболочки потоков нейтрино, которые выходят из недр колапсирующего ядра звезды.

*Х-процесс –* образование лития, бериллия и бора вследствие процессов расщепления, при которых легкая частица высокой энергии сталкивается с тяжелым ядром и выбивает из него легкий осколок. Так объясняют разность в средний распространенности химических элементов в Солнечной системе и их содержимым в космических лучах, где Х-процессы очень эффективны.

# 4. Особенности эволюции тесных двойных систем

Двойные, как и более сложные звездные системы (кратные звезды), формируются благодаря сохранению момента количества движения. Поэтому в каждом конкретном случае возраст звезд, которые образовывают эту систему, должен быть одинаковым. А если это так, то любые отличия между компонентами (размеры, поверхностные температуры и т.п.) были бы обусловленные разностью в значениях их масс.

Но наблюдаемые звездные системы очень часто резко противоречат этой теоретической схеме. Особенно это касается тесных двойных систем. Например, в подавляющем большинстве хорошо изученных тесных двойных систем один из компонентов есть субгигантом, тогда как второй – нормальной звездой главной последовательности. При этом оказывается, что массы субгигантов, как правило, меньше масс звезд главной последовательности – компонентов той же системы. А это противоречит приведенной выше теории эволюции одинарных звезд, ведь в зону красных гигантов быстрее должна передвигаться та звезда, которая имеет большую массу.

Эту проблему решили, когда выяснили, что субгиганты – компоненты тесных двойных систем заполняют свою полость Роша (3, ст. 367). В тесных двойных системах поверхность Роша ограничивает возможные размеры компонентов звездной системы. Поэтому можно утверждать, что начальные массы красных субгигантов были большими. Однако в процессе эволюции такой звезды после выгорания основной части водорода в ее недрах ядро сжималось, и разбухала оболочка. Во время такого расширения вещество оболочки пересекало поверхность Роша и покидало звезду, переходя к звезде-спутнику и оседая на его поверхности. В этом заключается так называемая гипотеза «изменения ролей»: вследствие обмена массой главным компонентом системы становится звезда, начальная масса которой сначала была меньшей и которая поэтому еще остается в своей эволюции на главной последовательности. Значительный излишек светимости субгиганта (приблизительно на 3т), который противоречит его малой массе, объясняется повышенным содержанием гелия во внешних слоях звезды, благодаря чему эти слои более прозрачны. А это оказывает влияние на излучение энергии, которая освобождается в недрах звезды.

Расчеты подтверждают высокую эффективность процесса «изменения ролей». Оказывается, что такое «изменение ролей» в каждой двойной системе может происходить несколько раз. Потеряв часть массы, первая звезда со временем, сжавшись, за своими размерами может стать меньше своей полости Роша, тогда как вторая, расширившись, заполнит свою полость, и процесс обмена массой повторится, но уже в обратном направлении. За вычислениями, такой обмен массой длится всего несколько десятков или сотен тысяч лет.

Приведем пример таких вычислений. Рассмотрим эволюцию тесной двойной системы с массами m1=5m☼ и m2=4m☼ при расстоянии между компонентами равном а=13,8R☼. Сначала эволюция первой звезды проходит так же, как и одинарной, и на диаграмме спектр-светимость она смещается из главной последовательности немного вверх. В скором времени звезда заполняет свою полость Роша и вещество начинает переплывать ко второму компоненту, причем за всего 420 000 лет масса первой звезды уменьшится до 0,94m☼. На диаграмме спектр-светимость звезда опускается вниз почти параллельно к главной последовательности, причем ее светимость уменьшается почти в десять раз. После этого первая звезда двигается вверх к начальной светимости и быстро передвигается влево в зону белых карликов. Второй компонент увеличивает свою массу вдвое и передвигается вверх вдоль главной последовательности.

С обменом массой в тесных двойных системах связан феномен вспышки новой звезды. Анализ показал, что вспышка возникает в том случае, если компонентом, который увеличивает свою массу, есть белый карлик. Падая на поверхность звезды белого карлика, вещество (главным образом водород) накапливается, сжимается и нагревается. И если масса вещества, захваченного звездой, будет составлять приблизительно 10-3m☼, то температура и плотность в поверхностном слое белого карлика возрастут настолько, что в нем станут возможными термоядерные реакции азотного цикла. При этом выделение тепла вверх здесь недостаточно быстрое. Как следствие, в водородной оболочке белого карлика развивается тепловая неустойчивость, наступает взрыв и накопленную при акреции оболочку срывает ударная волна.

Таким образом, можно объяснить как наблюдаемую мощность вспышек новых звезд, так и наличие повторных новых.

Эффективность механизма обмена массой, очевидно, существенным образом уменьшается с ростом массы компонентов в том понимании, что тогда значительная часть массы попадает в межзвездное пространство, так что система ее вообще теряет. В качестве примера можно показать, что в ряде случаев компонентами тесных двойных (спектрально-двойных) систем есть звезды Вольфа-Райе – объекты, массы которых достигают 10m☼. Здесь скорости разлета газовой оболочки составляют 1000... 1500 км/с при темпе потери массы 10-5…10-4 m☼ за год. Важную роль при этом, очевидно, играет высокая светимость упомянутых звезд и световое давление в их внешних слоях. Особенности эволюции звезд Вольфа-Райє окончательно еще не выяснены. На сегодня установлено, что в их атмосферах больше гелия, чем водорода, и что они в основном принадлежат к плоской составляющей Галактики и являются молодыми звездами.

# Заключение

В работе мы рассмотрели вопросы эволюции звезд, генерации и распространения энергии в оболочках звезд. В работе рассмотрено пути эволюции звезд в зависимости от их массы и показано последние этапы эволюции разных систем. Также рассмотрено эволюцию тесных звездных систем, в которых возможен обмен массой и энергией.

Рассмотрено также пути генерации энергии в ядрах звезд в зависимости от их положения в главной последовательности и различные термоядерные циклы генерации.

Рассмотренные вопросы описывают развитие звезды во времени.

# Список использованной литературы

1. Воронцов-Вельяминов Б. А. Очерки о вселенной. 8-е изд. М.: Наука, 1980, 248 с.
2. Гиндилис Л.М. 1990. Андрей Дмитриевич Сахаров и поиски внеземных цивилизаций // Земля и Вселенная. 1990. N 6. С. 63-67.
3. Ефремов И. Н. Из глубины Вселенной. 248 с. Ильяминов Б. А. Очерки о вселенной, массы, радиуса и т.п. с временем жизни самой звезды и характера звезд М.: Наука, 1984, 196 с.
4. Климишин И. А. Астрономия наших дней. 3-е изд. М.: Наука, 1986, 286 с.
5. Климишин И. А. Открытие Вселенной. 2-е изд. М.: Наука, 1992, 248 с.
6. Климишин А. В. Астрономия. М.: Наука, 1992., 237 с.
7. Шкловский И. С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. 3-е изд. М.: Высшая школа, 1984, 342 с.