Министерство образования Российской Федерации

Санкт-Петербургский Государственный

Инженерно Экономический Университет

Кафедра современного естествознания и природоведения

Курсовая работа

Классификация и эволюция звёзд

Выполнила:

Студентка

Группа № зачёт. книжки

Подпись:

Преподаватель:

Должность:

Оценка: Дата:

Подпись:

Санкт-Петербург

2007

**Оглавление**

Аннотация

Введение

1. Историческая справка

2. Классификация звёзд

2.1 Масса звёзд

2.1 Средние плотности звезд

2.3 Светимость

2.4 Температура

2.5 Эффективная температура

2.6 Радиус

2.7 Расстояния до звёзд

2.8 Спектр

2.9 Вращение звёзд

2.10 Химический состав

2.11 Магнетизм

3. Зависимости между звёздными параметрами

4. Эволюция звёзд

4.1 Глобулы

4.2 Протозвезда

4.3 Белые карлики

4.4 Сверхновые

4.5 Нейтронные

4.6 Чёрные дыры

Заключение

Приложение

Список литературы

**Аннотация**

Данная курсовая работа освещает проблему классификации и эволюции звёзд.

Работа состоит из трёх частей.

В предисловии – краткий экскурс в историю. Перечислены наиболее важные события в области астрономии, произошедшие в промежуток времени с древнейших времён и до наших дней.

Первая часть – классификация звёзд, включает в себя одиннадцать подпунктов. В данном разделе перечислены основные характеристики звёзд, такие как масса, светимость, размер, химический состав и др., на основе которых производится их классификация. Каждому параметру дано краткое пояснение.

Вторая часть – зависимость между звёздными параметрами. В данном разделе подробно разобрана диаграмма Герцшпрунга-Ресселла, показывающая взаимосвязь между такими звёздными параметрами, как светимость и спектральный класс.

Третья часть – эволюция звёзд, включает в себя шесть подпунктов. В данном разделе перечислены основные стадии развития звезды, с их подробным описанием.

В заключении подведены итоги работы.

**Введение**

Тему для своей курсовой работы по дисциплине КСЕ классификация и эволюция звёзд я выбрала по нескольким причинам:

1. Я считаю, что выбранная мною тема актуальна в наши дни. С каждым годом инвестиции в область астрономии и астронавтики всех мировых стран-лидеров растут. Не смотря на это, многие важные вопросы астронавтики до сих пор не решены. Среди них особенно выделяются такие, как:

* какова природа планет у других звезд;
* как образовались планеты Солнечной системы, их спутники и кольца;
* как рождались галактики разных типов;
* какие новые знания о Вселенной несут нейтринные потоки и гравитационные волны;
* можно ли понять загадку рождения Вселенной и предугадать ее дальнейшую судьбу?

Поиску ответов на некоторые из этих вопросов я посвятила свою курсовую работу.

1. По выбранным мною вопросам можно найти немало информации, в том числе и «свежей», так как работа над их разгадкой идёт уже долгие годы. Это значительно упростит подборку материала, и позволит рассмотреть данную тему с современной точки зрения.
2. Нельзя исключать и фактор личной заинтересованности в изучении проблемы.

Перед началом работы над курсовой передо мной стояла следующая цель: изучить как можно больше информации по выбранной теме, постараться всесторонне рассмотреть основные её вопросы, отобразить результаты исследований в курсовой и сделать вывод о проделанной работе.

Во время работы над курсовой я выявила следующие задачи:

1. подобрать материал по выбранной теме (при этом необходимо учитывать, что работа над решением вопросов классификации и эволюции звёзд ведётся и сейчас, потому материал должен быть максимально современным)
2. изучить литературу, составить план курсовой и в соответствии с ним разделить имеющийся материал по тематике
3. написать курсовую в соответствии с составленным планом
4. проанализировать выполненное исследование.

**1. Историческая справка**

«Звёзды, самосветящиеся небесные тела, состоящие из раскалённых газов, по своей природе сходные с Солнцем. Число звёзд, видимых невооружённым глазом на обоих полушариях небесной сферы, составляет около 5 тыс.

Изучение звёзд было вызвано потребностями материальной жизни общества (необходимость ориентировки при путешествиях, создание календаря, определение точного времени). Уже в глубокой древности звёздное небо было разделено на созвездия. Долгое время звёзды считались неподвижными точками, по отношению к которым наблюдались движения планет и комет. Со времён Аристотеля (IV в. до н. э.) в течение многих столетий господствовали взгляды, согласно которым звёздное небо считалось вечной и неизменной хрустальной сферой, за пределами которой находилось жилище богов. В конце 16 в. итальянский астроном Джордано Бруно учил, что звёзды - это далёкие тела, подобные нашему Солнцу. В 1596 немецким астрономом И. Фабрициусом была открыта первая переменная звезда, а в 1650 италийским учёным Дж. Риччоли - первая двойная звезда. В 1718 английский астроном Э. Галлей обнаружил собственные движения трёх звёзд. В середине и во 2-й половине 18 в. русский учёный М. В. Ломоносов, немецкий учёный И. Кант, английские астрономы Т. Райт и В. Гершель и другие высказывали правильные идеи о той звёздной системе, в которую входит Солнце. В 1835-39 русский астроном В. Я. Струве, немецкий астроном Ф. Бессель и английский астроном Т. Гендерсон впервые определили расстояния до трёх близких звёзд. В 60-х гг. 19 в. для изучения звёзд применили спектроскоп, а в 80-х гг. стали пользоваться и фотографией. Русский астроном А. А. Белопольский в 1900 экспериментально доказал для световых явлений справедливость принципа Доплера, на основании которого по смещению линий в спектре небесных светил можно определить их скорость движения вдоль луча зрения. В начале 20 в., особенно после 1920, произошёл переворот в научных представлениях о звёздах. Их начали рассматривать как физические тела; стали изучаться структура звезды, условия равновесия их вещества, источники энергии. Этот переворот был связан с успехами атомной физики, которые привели к количественной теории звёздных спектров, и с достижениями ядерной физики, давшими возможность провести аналогичные расчёты источников энергии и внутреннего строения звезды.

В середине 20 в. исследования звёзд приобрели большую глубину в связи с расширением наблюдательных возможностей и применением электронных вычислительных машин. Большие успехи были достигнуты в изучении процессов переноса энергии в фотосферных звёздах (советские учёные Э.Р.Мустель, В. В. Соболев) и в исследованиях структуры и динамики звёздных систем (голландский учёный Я. Оорт, советские учёные П. П. Паренаго,). Запуск первого искусственного спутника Земли в 1957 году открыл новую эпоху в жизни человечества – космическую эру» **[4].**

**2. Классификация звёзд**

В результате огромной работы, проделанной астрономами ряда стран в течение последних десятилетий, мы многое узнали о различных характеристиках звезд, природе их излучения и эволюции. Как это ни покажется парадоксальным, сейчас мы гораздо лучше представляем образование и эволюцию многих типов звезд, чем собственной планетной системы. В какой-то степени это понятно: астрономы наблюдают огромное множество звезд, находящихся на различных стадиях эволюции, в то время как непосредственно наблюдать другие планетные системы мы пока не можем.

Выше были упомянуты «характеристики» звезд. Основные характеристики звезды - масса, радиус (не считая внешних прозрачных слоев), светимость (полное количество излучаемой энергии); эти величины часто выражаются в долях массы, радиуса и светимости Солнца. Кроме основных параметров, употребляются их производные: эффективная температура; спектральный класс, характеризующий степень ионизации и возбуждения атомов в атмосфере звезды; абсолютная звёздная величина (т. е. звёздная величина, которую имела бы звезда на стандартном расстоянии 10 парсек). Рассмотрим некоторые из них более подробно.

**2.1 Масса звёзд**

В сущности, астрономия не располагала и не располагает в настоящее время методом прямого и независимого определения массы изолированной, то есть не входящей в состав кратных систем, звезды. И это достаточно серьезный недостаток нашей науки о Вселенной. Если бы такой метод существовал, прогресс наших знаний был бы значительно более быстрым.

«Массы звезд изменяются в сравнительно узких пределах. Очень мало звезд, массы которых больше или меньше солнечной в 10 раз. В такой ситуации астрономы молчаливо принимают, что звезды с одинаковой светимостью и цветом имеют одинаковые массы. Они определяются только для двойных систем. Утверждение, что одиночная звезда с той же светимостью и цветом имеет такую же массу, как и ее "сестра", входящая в состав двойной системы, всегда следует принимать с некоторой осторожностью.

На основе закона Всемирного тяготения и законов Кеплера, обобщенных Ньютоном, была выведена формула

**a3**

**М1+М2 = ------**

**3P2**

где М1 и М2 - массы главной звезды и ее спутника, Р - период обращения спутника, а - большая полуось земной орбиты» **[1].**

**2.2 Средние плотности звезд**

Так как размеры звезд различаются значительно больше, чем их массы, то и средние плотности звезд сильно отличаются друг от друга. У гигантов и сверхгигантов плотность очень мала. Например, плотность Бетельгейзе около 10-3 кг/м3. Вместе с тем существуют чрезвычайно плотные звезды. К ним относятся небольшие по размерам белые карлики (их цвет обусловлен высокой температурой). Например, плотность белого карлика Сириус В более 4х107 кг/м3. В настоящее время известны значительно более плотные белые карлики (1010- 1011 кг/м3). Огромные плотности белых карликов объясняются особыми свойствами вещества этих звезд, которое представляет собой атомные ядра и оторванные от них электроны. Расстояния между атомными ядрами в веществе белых карликов должны быть в десятки и даже сотни раз меньше, чем в обычных твердых и жидких телах, с которыми мы встречаемся в земных условиях. Агрегатное состояние, в котором находится это вещество, нельзя назвать ни жидким, ни твердым, так как атомы белых карликов разрушены. Мало похоже это вещество на газ или плазму. И все-таки его принято считать «газом», учитывая, что расстояние между частицами даже в плотных белых карликах во много раз больше, чем сами ядра атомов или электроны.

**2.3 Светимость**

Одни звезды кажутся нам более яркими, другие более слабыми. Но это еще не говорит об истинной мощности излучения звезд, так как они находятся на разных расстояниях. Таким образом, видимая звездная величина сама по себе не может быть характеристикой звезды, поскольку зависит от расстояния. Истинной характеристикой служит светимость, то есть полная энергия, которую излучает звезда в единицу времени. Светимости звезд крайне разнообразны. У одной из звезд-гигантов - S Золотой Рыбы - светимость в 500000 раз больше солнечной, а светимость самых слабых звезд-карликов примерно во столько же раз меньше.

«Характеристикой светимости является так называемая абсолютная величина звезды. Видимая звездная величина зависит, с одной стороны, от ее светимости и цвета, с другой - от расстояния до нее. Если отнести какую-либо звезду на условное стандартное расстояние 10пс, то ее величина будет называться «абсолютной». Поясним это примером. Если видимая (относительная) звездная величина Солнца (определяемая потоком излучения от него) равна -26.8, то на расстоянии 10пс (которое приблизительно в 2 млн. раз больше истинного расстояния от Земли до Солнца) его звездная величина будет около +5. На таком расстоянии наше дневное светило казалось бы звездочкой, едва видимой невооруженным глазом (напомним, что самые слабые звезды, видимые невооруженным глазом, имеют величину +6). Звезды высокой светимости имеют отрицательные абсолютные величины, например -7, -5. Звезды низкой светимости характеризуются большими положительными значениями абсолютных величин, например +10, +12 и т.д.

Если известна абсолютная звездная величина, то можно вычислить светимость любой звезды по формуле

**lg L = 0,4(M-Mс)**

где: L - светимость звезды, M - ее абсолютная звездная величина, а

Mс- абсолютная звездная величина Солнца» **[2].**

**2.4 Температура**

Температура определяет цвет звезды и ее спектр. Так, например, если температура поверхностных слоев звезды 3-4 тыс. К, то ее цвет красноватый, 6-7 тыс. К - желтоватый. Очень горячие звезды с температурой свыше 10-12 тыс. К имеют белый и голубоватый цвет. В астрономии существуют вполне объективные методы измерения цвета звезд. Последний определяется так называемым «показателем цвета», равным разности фотографической и визуальной звездной величины. Каждому значению показателя цвета соответствует определенный тип спектра.

У холодных красных звезд спектры характеризуются линиями поглощения нейтральных атомов металлов и полосами некоторых простейших соединений (например, CN, Н20 и др.). По мер увеличения температуры поверхности в спектрах звезд исчезают молекулярные полосы, слабеют многие линии нейтральных атомов, а также линии нейтрального гелия. Сам вид спектра радикально меняется. Например, у горячих звезд с температурой поверхностных слоев, превышающей 20 тыс. К, наблюдаются преимущественно линии нейтрального и ионизованного гелия, а непрерывный спектр очень интенсивен в ультрафиолетовой части. У звезд с температурой поверхностных слоев около 10 тыс. К наиболее интенсивны линии водорода, в то время как у звезд с температурой около 6 тыс. К. линии ионизированного кальция, расположенные на границе видимой и ультрафиолетовой части спектра. Заметим, что такой вид I имеет спектр нашего Солнца.

**2.5 Эффективная температура**

Обычно под температурой звезды понимают ее эффективную температуру.

Для определения последней необходимо знать полный поток излучения и радиус звезды. Достаточно точно обе эти величины, а потому и эффективные температуры могут быть измерены лишь для немногих звезд. Для остальных звезд эффективные температуры находят косвенными методами на основании изучения их спектров или показателей цвета с помощью шкалы эффективных звездных температур.

Шкалой эффективных температур называется зависимость цветовых характеристик излучения звезд, например спектрального класса или показателя цвета, от эффективных температур (см. приложение 1).

Аналогично вводится шкала цветовых температур. Если известна шкала температур, то, определив из наблюдений спектральный класс или показатель цвета данной звезды, легко найти ее температуру. Температурная шкала определяется эмпирически по звездам с известными, например, эффективными температурами, а также для звезд некоторых типов теоретически.

**2.6 Радиус**

Еще одна существенная характеристика звезды **-** ее радиус. Радиусы звезд меняются в очень широких пределах. Есть звезды, по своим размерам не превышающие земной шар (так называемые «Белые карлики»), есть огромные «пузыри», внутри которых могла бы свободно поместиться орбита Марса. Мы не случайно назвали такие гигантские звезды «пузырями». Из того факта, что по своим массам звезды отличаются сравнительно незначительно, следует, что при очень большом радиусе средняя плотность вещества должна быть ничтожно малой. Если средняя плотность солнечного вещества равна 1410 кг/м3, то у таких «пузырей» он может быть в миллионы раз меньше, чем у воздуха. В то же время белые карлики имеют огромную среднюю плотность, достигающую десятков и даже сотен миллионов килограммов на кубический метр.

«Зная эффективную температуру Т и светимость L, можно вычислить радиус R звезды по формуле: **L=4pR2sT** основанной на законе излучения Стефана - Больцмана (s - постоянная Стефана)» **[1].**

**2.7 Расстояния до звёзд**

«Несмотря на все достижения современной техника, определение расстояний до звезд по-прежнему остается одной из труднейших задач астрономии. Расстояния до звезд настолько велики, что для оценки их не пригодны ни километры, ни даже астрономические единицы (а. е.). Астрономы используют такие единицы расстояний, как световой год (св. год), но чаще парсек (пк; сокращение от двух слов паралакс секунда) - расстояние, с которого радиус земной орбиты, равный 1 а. е., виден под углом в 1" (секунда дуги). 1 пк = 3,216 св. г. = = 206265 а.с. =; 3.1 • 10" км. Для целей галактической и внегалактической астрономии используют еще более крупные единицы расстояний: килопарсек (1 кпк = 1000 пк) и мегапарсек (1 Мпк = = i 000000 пк)» **[3].**

Фотометрический метод определения расстояний.

Освещенности, создаваемые одинаковыми по мощности источниками света, обратно пропорциональны квадратам расстояний до них. Следовательно, видимый блеск одинаковых светил (т. е. освещенность, создаваемая у Земли на единичной площадке, перпендикулярной лучам света) может служить мерой расстояния до них. Выражение освещенностей в звездных величинах (m - видимая звездная величина, М - абсолютная звездная величина) приводит к следующей основной формуле фотометрических расстояний rф (пс):

**lgrф = 0,2 (m - M) + 1**.

При определении r ф по вышеназванной формуле погрешность составляет ~30%.

Определение расстояния по относительным скоростям. Косвенным показателем расстояния до звезд являются их относительные скорости: как правило, чем ближе звезда, тем больше смещается она по небесной сфере. Определить таким способом расстояние, конечно нельзя, но этот способ дает возможность “вылавливать” близкие звезды. Также существует другой метод определения расстояний по скоростям, применимый для звездных скоплений. Он основан на том, что все звезды, принадлежащие одному скоплению, движутся в одном и том же направлении по параллельным траекториям. Измерив лучевую скорость звезд с помощью эффекта Доплера, а также скорость, с которой эти звезды смещаются относительно очень удаленных, то есть условно неподвижных звезд, можно определить расстояние до интересующего нас скопления.

**2.8 Спектр**

«Спектры звезд - это их паспорта с описанием всех их физических свойств. По спектру звезды можно узнать ее светимость (а значит, и расстояние до нее), ее температуру, размер, химический состав ее атмосферы, как качественный, так и количественный, скорость ее движения в пространстве, скорость ее вращения вокруг оси и даже то, нет ли вблизи нее другой, невидимой звезды, вместе с которой она обращается вокруг их общего центра тяжести. Существует детально разработанная классификация звездных классов (гарвардская). В Гарвардской классификации спектральные типы (классы) обозначены буквами латинского алфавита: О, В, A, F, G, К и М. Поскольку в эпоху разработки этой классификации связь между видом спектра и температурой не была еще известна, то после установления соответствующей зависимости пришлось изменить порядок спектральных классов, который первоначально совпадал с алфавитным расположением букв. Подклассы обозначены цифрами от 0 до 9 после буквы, обозначающей класс. Спектры большинства звезд характеризуются наличием линий поглощения (см. приложение 2).

Класс О. О высокой температуре звезд этого класса можно судить по большой интенсивности ультрафиолетовой области непрерывного спектра, вследствие чего свет этих звезд кажется голубоватым. Наиболее интенсивны линии ионизованного гелия и многократно ионизованных некоторых других элементов (углерода, кремния, азота, кислорода). Наблюдаются слабые линии нейтрального гелия и водорода.

Класс В. Линии нейтрального гелия достигают наибольшей интенсивности. Хорошо видны линии водорода и некоторых ионизованных элементов. Цвет голубовато-белый. Типичная звезда - a Девы (Спика).

Класс А. Линии водорода достигают наибольшей интенсивности. Хорошо видны линии ионизованного кальция, наблюдаются слабые линии других металлов. Цвет звезд белый. Типичные звезды: a Лиры (Вега) и a Большого Пса (Сириус).

Класс F. Линии водорода становятся слабее. Усиливаются линии ионизованных металлов (особенно кальция, железа, титана). Цвет слегка желтоватый. Типичная звезда - a Малого Пса (Процион).

Класс G. Водородные линии не выделяются среди многочисленных линий металлов. Очень интенсивны линии ионизованного кальция. Цвет звезды желтый. Типичный пример - Солнце.

Класс К. Линии водорода не заметны среди очень интенсивных линий металлов. Фиолетовый конец непрерывного спектра заметно ослаблен, что свидетельствует о сильном уменьшении температуры по сравнению с ранними классами (О, В, А). Цвет звезды красноватый, как, например, у a Волопаса (Арктур) и a Тельца (Альдебаран).

Класс М. Красные звезды. Линии металлов ослабевают. Спектр пересечен полосами поглощения молекул окиси титана и других молекулярных соединений. Типичная звезда - a Ориона (Бетельгейзе).

Кроме этих основных классов существуют дополнительные, являющиеся ответвлениями от классов G и К и представляющие собой звезды с аномальным химическим составом, отличающимся от химического состава большинства других звезд. Первое ответвление происходит от класса G и содержит "углеродные" звезды:

Класс С, отличающийся от классов К и М наличием линий поглощения атомов и полос поглощения молекул углерода.

Второе ответвление происходит от класса К и содержит "циркониевые" звезды:

Класс S. Звезды этого класса отличаются от звезд класса М тем, что вместо полос окиси титана TiO присутствуют полосы окиси циркония (ZrO). Таким образом, все перечисленные спектральные классы схематически можно расположить следующим образом:

C

|

O-B-A-F-G-K-M.

|

S

Рассмотренная выше классификация одномерная, так как основной характеристикой является температура звезды. Но среди звезд одного класса есть звезды-гиганты и звезды-карлики. Они отличаются по плотности газа в атмосфере, площади поверхности, светимости. Эти различия отражаются на спектрах звезд. Существует новая, двумерная классификация звезд. По этой классификации у каждой звезды кроме спектрального класса указывается еще класс светимости. Он обозначается римскими цифрами от I до V. I - сверхгиганты, II-III - гиганты, IV - субгиганты, V - карлики. Например, спектральный класс звезды Веги выглядит как А0V, Бетельгейзе - М2I, Сириуса - А1V

Характерной особенностью звездных спектров является еще наличие у них

огромного количества линий поглощения, принадлежащих различным элементам. Тонкий анализ этих линий позволил получить особенно ценную информацию о природе наружных слоев звезд» **[5].**

**2.9 Вращение звёзд**

Вращение звезд изучается по их спектрам. При вращении один край диска звезды удаляется от нас, а другой приближается с той же скоростью. В результате в спектре звезды, получающемся одновременно от всего диска, линии расширяются и, в соответствии с принципом Доплера, приобретают характерный контур, по которому возможно определять скорость вращения. Звезды ранних спектральных классов О, В, А вращаются со скоростями (на экваторе) 100-200 км/с. Скорости вращения более холодных звезд - значительно меньше (несколько км/с). Уменьшение скорости вращения звезды связано, по-видимому, с переходом части момента количества движения к окружающему её газопылевому диску вследствие действия магнитных сил. Из-за быстрого вращения звезды принимает форму сплюснутого сфероида.

**2.10 Химический состав**

«По химическому составу звезды, как правило, представляют собой водородные и гелиевые плазмы. Остальные элементы присутствуют в виде сравнительно незначительных «загрязнений». Средний химический состав наружных слоев звезды выглядит примерно следующим образом. На 10 тыс. атомов водорода приходится 1000 атомов гелия, 5 атомов кислорода, 2 атома азота, один атом углерода, 0.3 атома железа.

Существуют звезды, имеющие повышенное содержание того или иного элемента. Так, известны звезды с по повышенным содержанием кремния (кремниевые звезды), звезды, в которых много железа (железные звезды), марганца (марганцевые), углерода (углеродные) и т. п. Звезды с аномальным составом элементов довольно разнообразны. В молодых звездах типа красных гигантов обнаружено повышенное содержание тяжелых элементов. В одной из них найдено повышенное содержание молибдена, в 26 раз превышающее его содержание в Солнце. Вообще говоря, содержание элементов, атомы которых имеют массу, большую массы атома гелия, постепенно уменьшается по мере старения звезды. Вместе с тем, химический состав звезды зависит и от местонахождения звезды в галактике. В старых звездах сферической части галактики содержится немного атомов тяжелых элементов, а в той части, которая образует своеобразные периферические спиральные « рукава » галактики, и в ее плоской части имеются звезды, относительно богатые тяжелыми элементами. Именно в этих частях и возникают новые звезды. Поэтому можно связать наличие тяжелых элементов с особенностями химической эволюции, характеризующей жизнь звезды.

Очень интересны углеродные звезды. Это звезды относительно холодные - гиганты и сверхгиганты. Их поверхностные температуры лежат обычно в пределах 2500 - 6000С. При температурах выше 3500С при равных количествах кислорода и углерода в атмосфере большая часть этих элементов существует в форме оксида углерода CO. Некоторые типы звезд характеризуются повышенным содержанием металлов, расположенных в одном столбце периодической системы с цирконием; в этих звездах имеется неустойчивый элемент технеций 4399Тс. Ядра технеция могли образоваться из 98Мо в результате захвата нейтрона с выбрасыванием электрона из ядра молибдена или при фотопроцессе из 97Мо. Во всяком случае наличие нестабильного ядра - убедительное доказательство развития ядерных реакций в звездах» **[2].**

**2.11 Магнетизм**

Наконец, стоит сказать несколько слов о магнетизме звезд. Тем же спектроскопическим методом было обнаружено наличие мощных магнитных полей в атмосферах некоторых звезд. Напряженность этих полей в отдельных случаях доходит до 10 тыс. Э (эрстед), т. е. в 20 тыс. раз больше, чем магнитное поле Земли. Заметим, что в солнечных пятнах напряженность магнитных полей доходит до 3-4 тыс. Э. Вообще магнитные явления, как выяснилось в последние годы, играют значительную роль в физических процессах, происходящих в солнечной атмосфере. Имеются все основания полагать, что то же самое справедливо и для звездных атмосфер.

**3. Зависимости между звёздными параметрами**

«Прежде чем приступать к рассмотрению эволюции звезд, мы должны ознакомиться с одним из самых важных графиков, существующих в астрономии.

В начале нашего столетия выдающиеся астрономы датчанин Герцшпрунг и американец Ресселл эмпирически установили (независимо), что существует зависимость между светимостью звезд и их спектральным классом. Если нанести положения большого количества звезд на диаграмму , у которой по оси абсцисс отложены спектральные классы звезд, а по оси ординат - светимости, оказывается, что звезды отнюдь не располагаются беспорядочно, а образуют определенные группы. Положение звезды на диаграмме зависит от ее массы, возраста и химического состава (см. приложение 3). Со временем выявился глубокий физический смысл расположения звезд на диаграмме, и стали понятными передвижения звезд по диаграмме в зависимости от возраста (эволюционные треки). Диаграмма Герцшпрунга-Ресселла (Г. — Р. д.) для звезд является важным инструментом сравнения теоретических моделей звезд с наблюдениями. Диаграмма ГР обычно приводится в следующих координатах:

1. Светимость - эффективная температура 2. Абсолютная звездная величина - показатель цвета 3. Абсолютная звездная величина - спектральный класс

Большинство известных звёзд располагается на главной последовательности (см.приложение 4), простирающейся по диагонали Г. — Р. д. от горячих голубых звёзд (например, Спика, спектральный класс В) со светимостью в 1000 раз больше солнечной через белые звёзды (Сириус, А), желтовато-белые (Процион, F), жёлтые (Солнце, G), оранжевые (t Кита, К) к красным карликам (звезда Крюгер 60, М), которые слабее Солнца в 1000 раз. Звёзды-гиганты — жёлтые, оранжевые и красные звёзды больших размеров (Капелла, Арктур, Альдебаран) — находятся справа от главной последовательности. Сверхгиганты — сравнительно немногочисленная группа звёзд всех спектральных классов очень большой светимости (в 104—105 раз больше солнечной) — заполняют самую верхнюю область Г. — Р. д. (Ригель, В и Бетельгейзе, М). Субгигантами называют красноватые звёзды, размеры которых больше звёзд главной последовательности той же светимости (компоненты затменно-двойных звёзд). Субкарлики — это звёзды-карлики главной последовательности, отличающиеся пониженным содержанием металлов, характерным для звёзд сферической составляющей Галактики, и располагающиеся вследствие этого на Г. — Р. д. в пределах главной последовательности. (Первоначально предполагалось, что субкарлики образуют самостоятельную последовательность на 1—1,5 звёздной величины ниже главной последовательности.) Группа белых карликов — очень плотных маленьких звёзд, находится на 10 звёздных величин ниже главной последовательности. Для каждой группы звёзд свойственны определённые зависимости между массой, светимостью и радиусом и свои особенности строения. Количество звёзд в разных областях Г. — Р. д. различно; звёзд большой светимости значительно меньше, чем слабых. Вне описанных групп звёзд практически нет. На рисунках представлены Г. — Р. д. для звёзд окрестности Солнца и звёзд рассеянных скоплений, принадлежащих плоской составляющей Галактики (см. приложение 4, рис.1), и звёзд шаровых скоплений, относящихся к сферической составляющей Галактики (см. приложение 4, рис.2). Различие между диаграммами (отсутствие сверхгигантов в верхней части главной последовательности у звёзд сферической составляющей) объясняется разницей в возрасте (т. е. в наблюдаемых стадиях эволюции) и в начальном химическом составе обеих составляющих. (Звёзды сферической составляющей в основном более старые и содержат меньше металлов.)» **[3].**

**4. Эволюция звёзд**

Как и все тела в природе, звёзды не остаются неизменными, они рождаются, эволюционируют, и, наконец "умирают". Чтобы проследить жизненный путь звёзд и понять, как они стареют, необходимо знать, как они возникают. В прошлом это представлялось большой загадкой ; современные астрономы уже могут с большой уверенностью подробно описать пути, ведущие к появлению ярких звёзд на нашем ночном небосводе.

Не так давно астрономы считали, что на образование звезды из межзвёздных газа и пыли требуются миллионы лет. Но в последние годы были получены поразительные фотографии области неба, входящей в состав Большой Туманности Ориона, где в течение нескольких лет появилось небольшое скопление звёзд. На снимках 1947г. в этом месте была видна группа из трёх звездоподобных объектов. К 1954г. некоторые из них стали продолговатыми, а к 1959г. эти продолговатые образования распались на отдельные звёзды - впервые в истории человечества люди наблюдали рождение звёзд буквально на глазах этот беспрецедентный случай показал астрономам, что звёзды могут рождаться за короткий интервал времени, и казавшиеся ранее странными рассуждения о том, что звёзды обычно возникают в группах, или звёздных скоплениях, оказались справедливыми.

Каков же механизм их возникновения? Почему за многие годы астрономических визуальных и фотографических наблюдений неба только сейчас впервые удалось увидеть "материализацию" звёзд? Рождение звезды не может быть исключительным событием: во многих участках неба существуют условия, необходимые для появления этих тел.

**4.1 Глобулы**

«В результате тщательного изучения фотографий туманных участков Млечного Пути удалось обнаружить маленькие чёрные пятнышки неправильной формы, или глобулы, представляющие собой массивные скопления пыли и газа. Они выглядят чёрными, так как не испускают собственного света и находятся между нами и яркими звёздами, свет от которых они заслоняют. Эти газово-пылевые облака содержат частицы пыли, очень сильно поглощающие свет, идущий от расположенных за ними звёзд. Размеры глобул огромны - до нескольких световых лет в поперечнике. Несмотря на то что вещество в этих скоплениях очень разрежено, общий объём их настолько велик, что его вполне хватает для формирования небольших скоплений звёзд, по массе близких к Солнцу. Для того чтобы представить себе, как из глобул возникают звёзды, вспомним, что все звёзды излучают и их излучение оказывает давление. Разработаны чувствительные инструменты, которые реагируют на давление солнечного света, проникающего сквозь толщу земной атмосферы. В чёрной глобуле под действием давления излучения, испускаемого окружающими звёздами, происходит сжатие и уплотнение вещества. Внутри глобулы гуляет "ветер", разметающий по всем направлениям газ и пылевые частицы, так что вещество глобулы пребывает в непрерывном турбулентном движении.

Глобулу можно рассматривать как турбулентную газово-пылевую массу, на которую со всех сторон давит излучение. Под действием этого давления объём, заполняемый газом и пылью, будет сжиматься, становясь всё меньше и меньше. Такое сжатие протекает в течение некоторого времени, зависящего от окружающих глобулу источников излучения и интенсивности последнего. Гравитационные силы, возникающие из-за концентрации массы в центре глобулы, тоже стремятся сжать глобулу, заставляя вещество падать к её центру. Падая, частицы вещества приобретают кинетическую энергию и разогревают газово-пылевое облако. Падение вещества может длиться сотни лет. Вначале оно происходит медленно, неторопливо, поскольку гравитационные силы, притягивающие частицы к центру, ещё очень слабы. Через некоторое время, когда глобула становится меньше, а поле тяготения усиливается, падение начинает происходить быстрее. Но, как мы уже знаем, глобула огромна, не менее светового года в диаметре. Это значит, что расстояние от её внешней границы до центра может превышать 10 триллионов километров. Если частица от края глобулы начнёт падать к центру со скоростью немногим менее 2км/с, то центра она достигнет только через 200 000 лет. Наблюдения показывают, что скорости движения газа и пылевых частиц на самом деле гораздо больше, а потому гравитационное сжатие происходит значительно быстрее.

**4.2 Протозвезда**

Падение вещества к центру сопровождается весьма частыми столкновениями частиц и переходом их кинетической энергии в тепловую. В результате температура глобулы возрастает. Глобула становится протозвездой и начинает светиться, так как энергия движения частиц перешла в тепло, нагрела пыль и газ. В этой стадии протозвезда едва видна, так как основная доля её излучения приходится на далёкую инфракрасную область. Звезда ещё не родилась, но зародыш её уже появился. Астрономам пока неизвестно, сколько времени требуется протозвезде, чтобы достигнуть той стадии, когда она начинает светиться как тусклый красный шар и становится видимой. По различным оценкам, это время колеблется от тысяч до нескольких миллионов лет. Однако, помня о появлении звёзд в Большой Туманности Ориона, стоит, пожалуй считать, что наиболее близка к реальности оценка, которая даёт минимальное значение времени. Здесь мы должны сделать небольшое отступление, с тем чтобы тщательно рассмотреть некоторые детали, связанные с рождением звезды, и оценить их воздействие на её дальнейшую судьбу. Звёзды рождаются с самыми различными массами. Кроме того, они могут обладать самым разным химическим составом. Оба эти фактора оказывают влияние на дальнейшее поведение звезды, на всю её судьбу. Чтобы лучше в этом разобраться, выйдем из дома и взглянем на ночное небо.

С вершины горы, вдали от мешающего нам городского света, мы увидим на небе по крайней мере 3000 звёзд. Наблюдатель с очень острым зрением при идеальных атмосферных условиях увидит в полтора раза больше звёзд. Одни из них удалены от нас на тысячу, другие - всего на несколько световых лет. Попытаемся теперь разместить все эти звёзды на диаграмме, на которой каждая звезда характеризуется двумя физическими величинами : температурой и светимостью. Разместив все 3000 звёзд, мы обнаружим, что самые яркие из них одновременно оказываются и самыми горячими, а самые слабые - самыми холодными. При этом заметим, что подавляющее большинство звёзд располагается вдоль наклонной линии, которая тянется из верхнего левого угла графика в нижний правый (Если, как это традиционно принято, ось температур направить влево, а ось светимостей - вверх.) Это нормальные звёзды, и их распределение называют "главной последовательностью". Полученная диаграмма называется диаграммой Герцшпрунга - Рессела, в честь двух выдающихся астрономов, впервые установивших эту замечательную зависимость. В ней важную роль играет масса звезды. Если масса звезды велика, последняя при рождении попадает на верхнюю часть главной последовательности, если масса мала, то звезда оказывается в нижней её части.

Продолжительность жизни звезды зависит от её массы. Звёзды с массой меньшей, чем у Солнца, очень экономно тратят запасы своего ядерного "топлива" и могут светить десятки миллиардов лет. Внешние слои звёзд, подобных нашему Солнцу, с массами не большими 1,2 масс Солнца, постепенно расширяются и в конце концов совсем покидают ядро звезды. На месте гиганта остаётся маленький и горячий белый карлик.

**4.3 Белые карлики**

Белые карлики - одна из увлекательнейших тем в истории астрономии: впервые были открыты небесные тела, обладающие свойствами, весьма далёкими от тех, с которыми мы имеем дело в земных условиях. И, по всей вероятности, разрешение загадки белых карликов положило начало исследованиям таинственной природы вещества, запрятанного где-то в разных уголках Вселенной. Во Вселенной много белых карликов. Одно время они считались редкостью, но внимательное изучение фотопластинок, полученных в обсерватории Маунт-Паломар (США), показало, что их количество превышает 1500. Удалось оценить пространственную плотность белых карликов: оказывается, в сфере с радиусом в 30 световых лет должно находиться около 100 таких звёзд. История открытия белых карликов восходит к началу 19в, когда Фридрих Вильгельм Бессель, прослеживая движение наиболее яркой звезды Сириус, открыл, что её путь является не прямой линией, а имеет волнообразный характер. Собственное движение звезды происходило не по прямой линии; казалось, что она едва заметно смещалась из стороны в сторону. К 1844г., спустя примерно десять лет после первых наблюдений Сириуса, Бессель пришёл к выводу, что рядом с Сириусом находится вторая звезда, которая, будучи невидимой, оказывает на Сириус гравитационное воздействие; оно обнаруживается по колебаниям в движении Сириуса. Ещё более интересным оказалось то обстоятельство, что если тёмный компонент действительно существует, то период обращения обеих звёзд относительно их общего центра тяжести равен приблизительно 50 годам.

Таким образом, Сириус стал предметом всеобщего интереса и многих исследований, ибо физические характеристики двойной системы заинтриговали астрономов.

В 1915г. с использованием всех технических средств, которыми располагала крупнейшая обсерватория того времени Маунт-Вилсон (США), были получены удачные фотографии спектра Сириуса. Это привело к неожиданному открытию: температура спутника составляла 8000 К, тогда как Солнце имеет температуру 5700 К. Таким образом, спутник в действительности оказался горячее Солнца, а это означало, что светимость единицы его поверхности также больше.

В результате несложных арифметических действий получаем, что плотность спутника почти в 100 000 раз превышает плотность воды. Кубический сантиметр этого вещества на Земле весил бы 100 кг, а 0,5 л такого вещества - около 50 т.

Такова история открытия первого белого карлика. А теперь зададимся вопросом: каким образом вещество можно сжать так, чтобы один кубический сантиметр его весил 100 кг ?

Когда в результате высокого давления вещество сжато до больших плотностей, как в белых карликах, то вступает в действие другой тип давления, так называемое «вырожденное давление». Оно появляется при сильнейшем сжатии вещества в недрах звезды. Именно сжатие, а не высокие температуры является причиной вырожденного давления. Вследствие сильного сжатия атомы оказываются настолько плотно упакованными, что электронные оболочки начинают проникать одна в другую.

Гравитационное сжатие белого карлика происходит в течение длительного времени, и электронные оболочки продолжают проникать друг в друга до тех пор, пока расстояние между ядрами не станет порядка радиуса наименьшей электронной оболочки. Внутренние электронные оболочки представляют собой непроницаемый барьер, препятствующий дальнейшему сжатию. При максимальном сжатии электроны уже не связаны с отдельными ядрами, а свободно движутся относительно них. Процесс отделения электронов от ядер происходит в результате ионизации давлением. Когда ионизация становится полной, облако электронов движется относительно решётки из более тяжёлых ядер, так что вещество белого карлика приобретает определённые физические свойства, характерные для металлов. В таком веществе энергия переносится к поверхности электронами, подобно тому как тепло распространяется по железному пруту, нагреваемому с одного конца.

Но электронный газ проявляет и необычные свойства. По мере сжатия электронов их скорость всё больше возрастает. Однако в среднем, чем ниже скорость электронов, тем больше тот минимальный объём, который они могут занимать. Иными словами, самые быстрые электроны занимают наименьший объём. Хотя отдельные электроны носятся со скоростями, соответствующими внутренней температуре порядка миллионов градусов, температура полного ансамбля электронов в целом остаётся низкой.

Установлено, что атомы газа обычного белого карлика образуют решётку плотно упакованных тяжёлых ядер, сквозь которую движется вырожденный электронный газ. Ближе к поверхности звезды вырождение ослабевает, и на поверхности атомы ионизированы не полностью, так что часть вещества находится в обычном газообразном состоянии.

Зная физические характеристики белых карликов, мы можем сконструировать их наглядную модель. Начнём с того, что белые карлики имеют атмосферу. Анализ спектров карликов приводит к выводу, что толщина их атмосферы составляет всего несколько сотен метров. В этой атмосфере астрономы обнаруживают различные знакомые химические элементы. Известны белые карлики двух типов - холодные и горячие. В атмосферах более горячих белых карликов содержится некоторый запас водорода, хотя, вероятно, он не превышает 0,05%. Тем не менее по линиям в спектрах этих звёзд были обнаружены водород, гелий, кальций, железо, углерод и даже окись титана. Атмосферы холодных белых карликов состоят почти целиком из гелия; на водород, возможно, приходится меньше, чем один атом из миллиона. Температуры поверхности белых карликов меняются от 5000 К у "холодных" звёзд до 50 000 К у "горячих". Под атмосферой белого карлика лежит область невырожденного вещества, в котором содержится небольшое число свободных электронов. Толщина этого слоя 160 км, что составляет примерно 1% радиуса звезды. Слой этот может меняться со временем, но диаметр белого карлика остаётся постоянным и равным примерно 40 000 км. Как правило, белые карлики не уменьшаются в размерах после того, как достигли этого состояния. Чем же определяется окончательный диаметр белого карлика ? Оказывается его массой. Чем больше масса белого карлика, тем меньше его радиус; минимально возможный радиус составляет 10 000 км. Теоретически, если масса белого карлика превышает массу Солнца в 1,2 раза, его радиус может быть неограниченно малым. Именно давление вырожденного электронного газа предохраняет звезду от всяческого дальнейшего сжатия, и, хотя температура может меняться от миллионов градусов в ядре звезды до нуля на поверхности, диаметр её не меняется. Со временем звезда становится тёмным телом с тем же диаметром, который она имела, вступив в стадию белого карлика.

Под верхним слоем звезды вырожденный газ практически изотермичен, то есть температура почти постоянна вплоть до самого центра звезды; она составляет несколько миллионов градусов - наиболее реальная цифра 6млн.К.

Теперь, когда мы имеем некоторые представления о строении белого карлика, возникает вопрос: почему он светится? Очевидно одно: термоядерные реакции исключаются. Внутри белого карлика отсутствует водород, который поддерживал бы этот механизм генерации энергии.

Единственный вид энергии, которым располагает белый карлик, -это тепловая энергия. Ядра атомов находятся в беспорядочном движении, так как они рассеиваются вырожденным электронным газом. Со временем движение ядер замедляется, что эквивалентно процессу охлаждения. Электронный газ, который не похож не на один из известных на Земле газов, отличается исключительной теплопроводностью, и электроны проводят тепловую энергию к поверхности, где через атмосферу эта энергия излучается в космическое пространство.

Астрономы сравнивают процесс остывания горячего белого карлика с остыванием железного прута, вынутого из огня. Сначала белый карлик охлаждается быстро, но по мере падения температуры внутри него охлаждение замедляется. Согласно оценкам, за первые сотни миллионов лет светимость белого карлика падает на 1% от светимости Солнца. В конце концов белый карлик должен исчезнуть и стать чёрным карликом, однако на это могут понадобиться триллионы лет, и, по мнению многих учёных, представляется весьма сомнительным, чтобы возраст Вселенной был достаточно велик для появления в ней чёрных карликов.

Так или иначе, если принять, что возраст Вселенной превышает 10 млрд. лет, красных карликов в ней должно быть намного больше, чем белых. Зная это, астрономы предпринимают поиски красных карликов. Пока они безуспешны. Массы белых карликов определены недостаточно точно. Надёжно их можно установить для компонентов двойных систем, как в случае Сириуса. Но лишь немногие белые карлики входят в состав двойных звёзд. Сила тяжести на поверхности белых карликов примерно в 60-70 раз больше, чем на Солнце. Если человек весит на Земле 75 кг, то на Солнце он весил бы 2тонны, а на поверхности белого карлика его вес составлял бы 120-140 тонн. С учётом того, что радиусы белых карликов мало отличаются и их массы почти совпадают, можно заключить, что сила тяжести на поверхности любого белого карлика приблизительно одна и та же.

Некоторые астрономы считают, что 50-95 % всех белых карликов возникли не из планетарных туманностей. Таким образом, хотя часть белых карликов целиком связана с планетарными туманностями, по крайней мере половина или более из них произошли от нормальных звёзд главной последовательности, не проходящих через стадию планетарной туманности.

Полная картина образования белых карликов туманна и неопределенна. Отсутствует так много деталей, что в лучшем случае описание эволюционного процесса можно строить лишь путём логических умозаключений. И тем не менее общий вывод таков: многие звёзды теряют часть вещества на пути к своему финалу, подобному стадии белого карлика, и затем скрываются на небесных «кладбищах» в виде чёрных, невидимых карликов.

Если масса звезды примерно вдвое превышает массу Солнца, то такие звёзды на последних этапах своей эволюции теряют устойчивость. Такие звёзды могут взорваться как сверхновые, а затем сжаться до размеров шаров радиусом несколько километров, т.е. превратиться в нейтронные звёзды» **[6]**.

**4.4 Сверхновые**

Звезда с массой, превосходящей солнечную примерно на 20%, может со временем стать неустойчивой. Это показал в своём блестящем теоретическом исследовании, сделанном в конце 30-х годов нашего столетия, астроном Чандрасекар. Он установил, что подобные звёзды на склоне жизни порой подвергаются катастрофическим изменениям, в результате чего достигается некоторое равновесное состояние, позволяющее звезде достойно завершить свой жизненный путь. Многие астрономы занимались изучением последних стадий звёздной эволюции и исследованием зависимости эволюции звезды от её массы. Все они пришли к одному выводу: если масса звезды превышает предел Чандрасекара, её ожидают невероятные изменения.

Как мы видели, устойчивость звезды определяется соотношением между силами гравитации, стремящимися сжать звезду, и силами давления, расширяющими её изнутри. Мы также знаем, что на последних стадиях звёздной эволюции, когда истощаются запасы ядерного горючего, это соотношение обеспечивается за счёт эффекта вырождения, которое может привести звезду к стадии белого карлика и позволит ей провести остаток жизни в таком состоянии. Став белым карликом, звезда постепенно остывает и заканчивает свою жизнь, превратившись в холодный, безжизненный, невидимый звёздный шлак.

Если масса звезды превосходит предел Чандрасекара, эффект вырождения уже не в состоянии обеспечить необходимое соотношение давлений. Перед звездой остаётся только один путь для сохранения равновесия - поддерживать высокую температуру. Но для этого требуется внутренний источник энергии. В процессе обычной эволюции звезда постепенно использует для этого ядерное горючее. Однако как может звезда добыть энергию на последних стадиях звёздной эволюции, когда ядерное топливо, регулярно поставляющее энергию, на исходе? Конечно она ещё не энергетический «банкрот», она большой, массивный объект, значительная часть массы которого находится на большом расстоянии от центра, и у неё в запасе ещё есть гравитационная энергия. Она подобна камню, лежащему на вершине высокой горы, и благодаря своему местоположению обладающему потенциальной энергией. Энергия заключённая во внешних слоях звезды, как бы находится в огромной кладовой, из которой в нужный момент её можно извлечь.

Итак, чтобы поддерживать давление, звезда теперь начинает сжиматься, пополняя таким образом запас своей внутренней энергии. Как долго продолжается это сжатие? Фред Хойл и его коллеги тщательно исследовали подобную ситуацию и пришли к выводу, что в действительности происходит катастрофическое сжатие, за которым следует катастрофический взрыв. Толчком взрыву, избавляющему звезду от избытка массы, является значение плотности, создаваемое при сжатии. Избавившись от избыточной массы, звезда тут же возвращается на путь обычного угасания.

Наибольший интерес для учёных представляет процесс, в ходе которого шаг за шагом осуществляется постепенное выгорание ядерного топлива. Для расчёта этого процесса используется информация, полученная из лабораторных опытов; огромную роль при этом играют современные быстродействующие вычислительные машины. Хойл и Фаулер смоделировали с помощью ЭВМ процесс энерговыделения в звезде и проследили её ход. В качестве примера они взяли звезду, масса которой втрое превосходит солнечную, то есть звезду, находящуюся далеко за пределом Чандрасекара. Звезда с такой массой должна иметь светимость, в 60 раз превышающую светимость Солнца, и время жизни около 600 млн. лет.

Мы уже знаем, что в ходе обычных термоядерных реакций, протекающих в недрах звезды почти в течение всей её жизни, водород превращается в гелий. После того как значительная часть вещества звезды 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. Таким образом, гелиевое ядро начинает порождать более тяжёлое ядро, состоящее из двух этих химических элементов. Теперь звезда становится многослойной энергопроводящей системой. В тонкой оболочке, по одну сторону от которой находится водород, а по другую гелий, происходит превращение водорода в гелий; эта реакция идёт с выделением энергии. Поэтому, пока такая реакция осуществляется, температура ядра звезды неуклонно растёт. Сжатие звезды ведёт к уплотнению её ядра и росту температуры в центре до 200-300 млн. К. Но даже при столь высоких температурах кислород и неон вполне устойчивы и не вступают в ядерные реакции. Однако через некоторое время ядро становится ещё плотнее, температура удваивается, теперь она уже равняется 600 млн. К. И тогда ядерным топливом становится неон, который в ходе реакций превращается а магний и кремний. Образование магния сопровождается выходом свободных нейтронов. Когда звезда родилась из праматерии, она уже содержала некоторые металлы группы железа. 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. Температура ядра поднимается до полутора миллиардов градусов. По-прежнему продолжается образование более тяжёлых элементов с использованием свободных нейтронов, но на этой стадии из-за большой температуры происходят некоторые новые явления.

Хойл считает ,что при температурах порядка миллиарда градусов возникает мощное гамма-излучение, способное разрушать ядра атомов. Нейтроны и протоны отрываются от ядер, но этот процесс обратимый: частицы вновь соединяются, создавая устойчивые комбинации. Когда температура превысит 1,5 млрд. К, более вероятными становятся процессы распада ядер. Любопытным и неожиданным оказался следующий результат: при дальнейшем увеличении температуры и усилении процессов разрушения и соединения ядра в итоге присоединяют всё больше и больше частиц и, как следствие этого, возникают более тяжёлые химические элементы. Так, при температурах 2-5 млрд. К рождаются титан, ванадий, хром, железо, кобальт, цинк, и др. Но из всех этих элементов наиболее представлено железо. Как и прежде, при превращении лёгких элементов в тяжёлые вырабатывается энергия, удерживающая звезду от коллапса. Своим внутренним строением звезда теперь напоминает луковицу, каждый слой которой заполнен преимущественно каким-либо одним элементом.

Как отмечает Хойл, с образованием группы 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 начинают снова превращаться 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, как указывает Хойл, 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. Остаётся последнее её достояние - гравитация. Но чтобы звезда могла воспользоваться этим резервом, плотность её ядра должна увеличиваться крайне быстро, то есть ядро должно резко сжаться; происходит «взрыв внутрь», отрывающий ядро звезды от её внешних слоёв. Он должен произойти за считанные секунды. Это и есть начало конца массивной звезды.

Имплозия, или взрыв внутрь, устраняет давление, поддерживавшее внешние слои звезды, её оболочку, и с этого момента оболочка, сжимаясь, начинает падать на ядро. Падение сопровождается выделением колоссального количества энергии - так ещё раз проявляет себя гравитация. Выделение энергии приводит в свою очередь к резкому повышению температуры (примерно 3 млрд. К ), и падающая оболочка звезды оказывается в необычных для неё температурных условиях. Для звезды с температурой ядра, равной 2,5 млрд. К, лёгкие элементы оболочки служат потенциальным ядерным топливом. Но чтобы обеспечить свечение во время взрыва, температура должна подняться выше этого значения - до 3 млрд. К. В течение секунды кинетическая энергия звезды превращается в тепловую, и вещество оболочки нагревается. При такой высокой температуре более лёгкие элементы - в основном кислород - проявляют взрывную неустойчивость и начинают взаимодействовать. Подсчитано, что за время меньше секунды в ходе этих ядерных реакций выделяется энергия, равная энергии, которую Солнце излучает за миллиард лет !

Внезапно освободившаяся энергия срывает со звезды её наружные слои и выбрасывает их в космическое пространство со скоростью, достигающей нескольких тысяч километров в секунду. На эти слои приходится значительная часть массы звезды. Газовая оболочка удаляется от звезды образуя туманность, которая простирается на многие миллионы миллионов километров.

Газ по инерции продолжает удаляться от звезды до тех пор, пока, возможно через 100 000 лет, вещество туманности не станет настолько разряженным и диффузным, что больше уже не сможет возбуждаться коротковолновым излучением очень горячей материнской звезды ; тогда мы перестанем его видеть. Но самое главное: как в взорвавшемся веществе, так и в межзвёзном газе присутствует магнитное поле. Сжатие газа за фронтом ударной волны вызывает сжатие силовых линий и повышение напряжённости межзвёздного магнитного поля, что в свою очередь приводит к увеличению энергии электронов, и их ускорению. В результате остаётся сверхгорячая звезда, масса которой уменьшилась именно настолько, чтобы она могла достойно угаснуть и умереть. По всей вероятности она станет нейтронной звездой, масса которой в 1,2-2 массы Солнца. Если же её масса более, чем вдвое превышает массу Солнца, то она в конечном счёте может превратиться в чёрную дыру.

Сверхновые - очень редкие объекты. История засвидетельствовала лишь несколько случаев появления сверхновых. Первая - это, конечно, Крабовидная туманность, вторая - Сверхновая Тихо Браге, обнаруженная в 1572г.., и третья - Сверхновая Кеплера, открытая им в 1604 г. Недавно стало известно о сверхновой в созвездии Волка. Астрономы вычислили, что каждая звёздная система, галактика, в среднем раз в сто-триста лет рождает сверхновую. В настоящее время астрономами открыто около 150 сверхновых.

Только три из них оказались в нашей Галактике, хотя существует много объектов, такие, как Петля в Лебеде и Кассиопея А, которые, как предполагают, могут оказаться остатками взрывов сверхновых Млечного Пути. Точное время взрыва для Петли в Лебеде почти невозможно установить, но полагают, что если это действительно остатки взрыва сверхновой, то Петля в Лебеде начала своё расширение около 60 тысяч лет назад. Кассиопея А - самая молодая сверхновая на небе, так как её расширение началось примерно в 1700г.

**4.5 Нейтронные**

«Звёзды, у которых масса в 1,5-3 раза больше, чем у Солнца не смогут в конце жизни остановить своё сжатие на стадии белого карлика. Мощные силы гравитации сожмут их до такой плотности, при которой произойдёт «нейтрализация» вещества: взаимодействие электронов с протонами привёдёт к тому, что почти вся масса звезды будет заключена в нейтронах. Образуется нейтронная звезда. Наиболее массивные звёзды могут обраться в нейтронные, после того как они взорвутся как сверхновые.

Говоря о нейтронных звёздах, следует учитывать, что их физические характеристики установлены теоретически и весьма гипотетичны, так как физические условия, существующие в этих телах, не могут быть воспроизведены в лабораторных экспериментах.

Решающее значение на свойства нейтронных звёзд оказывают гравитационные силы. По различным оценкам, диаметры нейтронных звёзд составляют 10-200 км. И этот незначительный по космическим понятиям объём «набит» таким количеством вещества, которое может составить небесное тело, подобное Солнцу, диаметром около 1,5 млн. км, а по массе почти в треть миллиона раз тяжелее Земли ! Естественное следствие такой концентрации вещества - невероятно высокая плотность нейтронной звезды. Фактически она оказывается настолько плотной, что может быть даже твёрдой. Сила тяжести нейтронной звезды столь велика, что человек весил бы там около миллиона тонн. Расчёты показывают, что нейтронные звёзды сильно намагничены. Согласно оценкам, магнитное поле нейтронной звезды может достигать 1млн. млн. гаусс, тогда как на Земле оно составляет 1 гаусс. Радиус нейтронной звезды принимается порядка 15 км, а масса - около 0,6 - 0,7 массы Солнца. Наружный слой представляет собой магнитосферу, состоящую из разрежённой электронной и ядерной плазмы, которая пронизана мощным магнитным полем звезды. Именно здесь зарождаются радиосигналы, которые являются отличительным признаком пульсаров. Сверхбыстрые заряженные частицы, двигаясь по спиралям вдоль магнитных силовых линий, дают начало разного рода излучениям. В одних случаях возникает излучение в радиодиапазоне электромагнитного спектра, в иных - излучение на высоких частотах. Почти сразу же под магнитосферой плотность вещества достигает 1 т/см3, что в 100 000 раз больше плотности железа.

Следующий за наружным слой имеет характеристики металла. Этот слой «сверхтвёрдого» вещества, находящегося в кристаллической форме. Кристаллы состоят из ядер атомов с атомной массой 26 - 39 и 58 - 133. Эти кристаллы чрезвычайно малы: чтобы покрыть расстояние в 1 см, нужно выстроить в одну линию около 10 млрд. кристалликов. Плотность в этом слое более чем в 1 млн. раз выше, чем в наружном, или иначе, в 400 млрд. раз превышает плотность железа. Двигаясь дальше к центру звезды, мы пересекаем третий слой. Он включает в себя область тяжёлых ядер типа кадмия, но также богат нейтронами и электронами. Плотность третьего слоя в 1 000 раз больше, чем предыдущего.

Глубже проникая в нейтронную звезду, мы достигаем четвёртого слоя, плотность при этом возрастает незначительно - примерно в пять раз. Тем не менее при такой плотности ядра уже не могут поддерживать свою физическую целостность: они распадаются на нейтроны, протоны и электроны. Большая часть вещества пребывает в виде нейтронов. На каждый электрон и протон приходится по 8 нейтронов. Этот слой, по существу, можно рассматривать как нейтронную жидкость, «загрязнённую» электронами и протонами.

Ниже этого слоя находится ядро нейтронной звезды. Здесь плотность примерно в 1,5 раза больше, чем в вышележащем слое. И тем не менее даже такое небольшое увеличение плотности приводит к тому, что частицы в ядре движутся много быстрее, чем в любом другом слое. Кинетическая энергия движения нейтронов, смешанных с небольшим количеством протонов и электронов, столь велика, что постоянно происходят неупругие столкновения частиц. В процессах столкновения рождаются все известные в ядерной физике частицы и резонансы, которых насчитывается более тысячи. По всей вероятности, присутствует большое число ещё не известных нам частиц.

Температуры нейтронных звёзд сравнительно высоки. Этого и следует ожидать, если учесть, как они возникают. За первые 10 - 100 тыс. лет существования звезды температура ядра уменьшается до нескольких сотен миллионов градусов. Затем наступает новая фаза, когда температура ядра звезды медленно уменьшается вследствие испускания электромагнитного излучения» **[5].**

**4.6 Чёрные дыры**

«Если масса звезды в два раза превышает солнечную, то к концу своей жизни звезда может взорваться как сверхновая, но если масса вещества оставшегося после взрыва, всё ещё превосходит две солнечные, то звезда должна сжаться в крошечное плотное тело, так как гравитационные силы всецело подавляют всякое внутреннее сопротивление сжатию. Учёные полагают, что именно в этот момент катастрофический гравитационный коллапс приводит к возникновению чёрной дыры. Они считают, что с окончанием термоядерных реакций звезда уже не может находиться в устойчивом состоянии. Тогда для массивной звезды остаётся один неизбежный путь - путь всеобщего и полного сжатия (коллапса), превращающего её в невидимую чёрную дыру.

Каковы же физические свойства «чёрных дыр» и как учёные предполагают обнаружить эти объекты? Многие учёные раздумывали над этими вопросами; получены кое-какие ответы, которые способны помочь в поисках таких объектов.

Само название - чёрные дыры - говорит о том, что это класс объектов, которые нельзя увидеть. Их гравитационное поле настолько сильно, что если бы каким-то путём удалось оказаться вблизи чёрной дыры и направить в сторону от её поверхности луч самого мощного прожектора, то увидеть этот прожектор было бы нельзя даже с расстояния, не превышающего расстояние от Земли до Солнца. Действительно, даже если бы мы смогли сконцентрировать весь свет Солнца в этом мощном прожекторе, мы не увидели бы его, так как свет не смог бы преодолеть воздействие на него гравитационного поля чёрной дыры и покинуть её поверхность. Именно поэтому такая поверхность называется абсолютным горизонтом событий. Она представляет собой границу чёрной дыры»**[6]**.

**Заключение**

Поставленную передо мной в начале работы цель (изучить как можно больше информации по выбранной теме, постараться всесторонне рассмотреть основные её вопросы, отобразить результаты исследований в курсовой и сделать вывод о проделанной работе) успешно выполнила.

Особое внимание в своей работе я старалась уделить проблеме эволюции звёзд. Известен повышенный интерес учённых к происхождению чёрных дыр. «Некоторые из них рассматривают образование чёрной дыры как маленькую модель того, что, согласно предсказаниям общей теории относительности, в конечном счёте может случиться со Вселенной. Общепризнано, что мы живём в неизменно расширяющейся Вселенной, и один из наиболее важных и насущных вопросов науки касается природы Вселенной, её прошлого и будущего. Без сомнения, все современные результаты наблюдений указывают на расширение Вселенной. Однако на сегодня один из самых каверзных вопросов таков: замедляется ли скорость этого расширения, и если да, то не сожмётся ли Вселенная через десятки миллиардов лет, образуя сингулярность. По-видимому, когда-нибудь мы сможем выяснить, по какому пути следует Вселенная, но, быть может, много раньше, изучая информацию, которая просачивается при рождении чёрных дыр, и те физические законы, которые управляют их судьбой, мы сможем предсказать окончательную судьбу Вселенной»**[6]**.

**Приложение 1**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **Шкала эффективных температур** Спектральный класс | Классы светимости | | | | | | | Главная последовательность (V) | | Гиганты (III) | | Сверхгиганты (I) | | | Показ. цвета, B - V | Эффект. темп., К | Показ. цвета, B - V | Эффект. темп., К | Показ. цвета, B - V | Эффект. темп., К | | O5 | - 0,35 | 40 000 |  |  |  |  | | B0 | - 0,31 | 28 000 |  |  | - 0,21 |  | | B5 | -0,17 | 15 500 |  |  |  |  | | A0 | 0,00 | 10 000 |  |  | 0,00 |  | | A5 | + 0,16 | 8 500 |  |  |  |  | | F0 | 0,30 | 7 400 |  |  | +0,30 | 6 400 | | F5 | 0,45 | 6 600 |  |  |  |  | | G0 | 0,57 | 6 000 | +0,65 | 5 700 | 0,76 | 5 400 | | G5 | 0,70 | 5 400 | 0,84 | 5 000 | 1,06 | 4 700 | | K0 | 0,84 | 4 700 | 1,06 | 4 300 | 1,42 | 4 000 | | K5 | 1,11 | 4 000 | 1,40 | 3 600 | 1,71 | 3 400 | | M0 | 1,39 | 3 600 | 1,65 | 3 400 | 1,94 | 2 800 | | M5 | 1,61 | 3 000 | 1,85 | 2 800 | 2,15 |  | |

**Приложение 2**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Спектральный класс | Цвет | Эффективная температура, К | Типичные звезды |
| О | Голубой | 25 — 30 тыс. | ς Кормы |
| λ Ориона |
| ξ Персея |
| λ Цефея |
| В | Голубовато-белый | 15 — 25 тыс. | ε Ориона |
| α Девы (Спика) |
| γ Персея |
| γ Ориона |
| А | Белый | ~ 11 000 | α Большого Пса (Сириус) |
| α Лиры (Вега) |
| γ Близнецов |
| F | Желтовато-белый | ~ 7 500 | δ Близнецов |
| α Малого Пса (Процион) |
| α Персея |
| α Кормы |
| G | Желтый | ~ 6 000 | Солнце |
| α Возничего (Капелла) |
| β Южной Гидры |
| K | Оранжевый | ~ 5 000 | α Волопаса (Арктур) |
| β Близнецов (Поллукс) |
| α Тельца (Альдебаран) |
| M | Красный | 2-3 тыс. | α Ориона (Бетельгейзе) |
| α Скорпиона (Антарес) |
| ο Кита |

**Приложение 3**

## Зависимость параметров звезд главной последовательности от спектрального типа

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | Спектральный класс | Температура, К | Светимость, L | Масса, M | Радиус, R | | O7 | 38000 | 140000 | 27 | 8.5 | | В0 | 32000 | 16000 | 16 | 5.7 | | В3 | 17000 | 2500 | 8.3 | 4.8 | | В5 | 15000 | 750 | 5.4 | 3.7 | | В8 | 12500 | 130 | 3.5 | 2.7 | | А0 | 9500 | 63 | 2.6 | 2.3 | | А2 | 9000 | 40 | 2.2 | 2.0 | | А5 | 8700 | 24 | 1.9 | 1.8 | | А7 | 8100 | 11 | 1.8 | 1.7 | | F0 | 7400 | 9 | 1.6 | 1.5 | | F2 | 7100 | 6.3 | 1.5 | 1.3 | | F5 | 6400 | 4 | 1.35 | 1.2 | | F8 | 6100 | 2.5 | 1.2 | 1.1 | | G0 | 5900 | 1.45 | 1.08 | 1.05 | | G2 | 5800 | 1.10 | 1.0 | 1.00 | | G5 | 5600 | 0.70 | 0.95 | 0.91 | | G8 | 5300 | 0.44 | 0.85 | 0.87 | | К0 | 5100 | 0.36 | 0.83 | 0.83 | | К2 | 4830 | 0.28 | 0.78 | 0.79 | | К5 | 4370 | 0.18 | 0.68 | 0.74 | | К8 | 3900 | 0.12 | 0.58 | 0.67 | | М0 | 3670 | 0.075 | 0.47 | 0.63 | | М2 | 3400 | 0.03 | 0.33 | 0.36 | | М3 | 3300 | 0.014 | 0.26 | 0.29 | | М4 | 3200 | 0.005 | 0.2 | 0.21 | |

**Приложение 4**



Рис. 1. Диаграмма Герцшпрунга — Ресселла для звёзд плоской составляющей Галактики

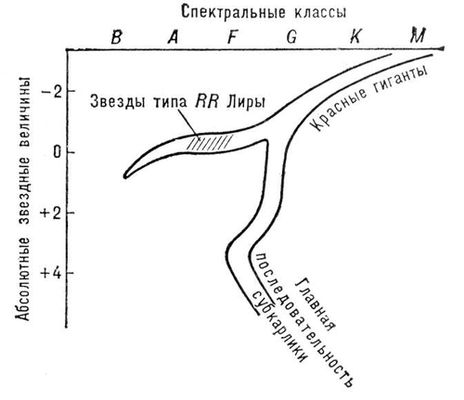


Рис. 2. Диаграмма Герцшпрунга — Ресселла для звёзд сферической составляющей Галактики.

**Список литературы**

1. Бабушкин А.Н. Современные концепции естествознания: Курс лекций. СПб.: Омега-Л, 2004
2. Дубинцева Т.Я. Концепции современного естествознания. Новосибирск: ООО Издательство «ЮКЭА», 1997
3. Левитан Е.П. Астрономия. 11 класс. М.: Просвещение, 2004
4. Хабер Х. Звезды. М.: «Слово», 1998
5. Шкловский И. С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984
6. http://www.astrogalaxy.ru