

## ЛЕКЦИЯ 6

### Космос.

# Структура, происхождение и эволюция Вселенной.

#### *Введение*

**Астроно́мия** (др.-греч. ἀστρονομία, от ἄστρον — звезда и νόμος — закон) — наука о движении, строении и развитии небесных тел и их систем, вплоть до Вселенной в целом. В частности, астрономия изучает Солнце, планеты Солнечной системы и их спутники, астероиды, кометы, метеориты, межпланетное вещество, звёзды и внесолнечные планеты (экзопланеты), туманности, межзвёздное вещество, галактики и их скопления, пульсары, квазары, чёрные дыры и многое другое.

Ещё в глубокой древности люди интересовались движением светил по небосводу, хотя астрономия тогда была основательно перемешана с астрологией. Окончательное выделение научной астрономии произошло в эпоху Возрождения и заняло долгое время.

Современная астрономия подразделяется на ряд отдельных разделов, которые тесно связаны между собой, и такое разделение астрономии в известном смысле условно.

Главнейшими разделами астрономии являются:

**Астрометрия** — изучает видимые положения и движения светил. На этапе исторического развития науки роль астрометрии долгое время состояла также в высокоточном определении географических координат и времени с помощью изучения движения небесных светил (в данный момент для того и другого существуют новейшие способы).

**Астрофизика** – изучает строение, физические свойства и химический состав небесных объектов. Она делится на: а) практическую (наблюдательную) астрофизику, в которой разрабатываются и применяются практические методы астрофизических исследований и соответствующие инструменты и приборы; б) теоретическую астрофизику, в которой, на основании законов физики, даются объяснения наблюдаемым физическим явлениям.

**Космогония** – рассматривает вопросы происхождения и эволюции небесных тел, в том числе и нашей Земли.

**Космология** – изучает общие закономерности строения, происхождения и развития Вселенной как целого. Космология неразрывно связана с ОТО, поскольку в ней приходится иметь дело с огромными расстояниями, скоростями и массами.

В XX веке астрономия разделилась на две главные ветви: наблюдательную и теоретическую. Наблюдательная астрономия — это получение наблюдательных данных о небесных телах, которые затем анализируются. Теоретическая астрономия ориентирована на разработку компьютерных, математических или аналитических моделей для описания астрономических объектов и явлений. Эти две ветви дополняют друг друга: теоретическая астрономия ищет объяснения результатам наблюдений, а наблюдательная астрономия даёт материал для теоретических выводов и гипотез и возможность их проверки.

Зачем мы изучаем космос:

- мы хотим знать, как устроен мир;

Вселенная – доступная нам часть космоса. Для осмысления Вселенной нужна теория. Многие физические теории, в том числе и квантовая теория поля, имеют не только физическое, но и космологическое значение.

- **мы хотим ответить на вопрос «где мы находимся»;**

Место Солнечной системы во Вселенной;

- **мы хотим ответить на вопросы «как мы возникли», «откуда мы пришли» и «куда движемся»;**

Мы хотим узнать место Солнечной системы во Вселенной, происхождение Солнечной системы и Вселенной в целом. Это философские, мировоззренческие вопросы;

- **мы хотим изучить, понять и глубже оценить связь человека с космосом;**

Человек – существо космическое. Ему нужна космология, среди прочего для того, чтобы понять самого себя, свое происхождение и будущее.

Человек, биосфера, имеют неразрывную связь с космосом. Само наше бытие определяется космическими явлениями, законами, космическими циклами;

- **мы хотим избавиться от незнания, предрассудков и объективно понять устройство мира;**

Люди, не имеющие астрономических знаний, интерпретируют содержание космических явлений, исходя из эрзац-теорий.

2009 год был объявлен ООН Международным годом астрономии (IYA2009).

Основной упор делается на повышении общественной заинтересованности астрономией и её пониманием. Это одна из немногих наук, где непрофессионалы всё ещё могут играть активную роль. Любительская астрономия привнесла свой вклад в ряд важных астрономических открытий.

Любительская астрономия является одним из видов деятельности, который не приносит денежных доходов и не требует специального образования или вузовской подготовки.

Проекты, в которых участвовали астрономы-любители:

1. SOHO — поиск комет
2. Lunar Crater Observation and Sensing Satellite — наблюдение падения на Луну
3. AAVSO — наблюдения переменных звезд
4. Центр малых планет — астрометрия и фотометрия астероидов и комет
5. Международная метеорная организация (англ.) — наблюдение метеорной активности
6. Ассоциация наблюдателей за Луной и планетами (англ.)
7. Тихоокеанское астрономическое общество

## *§6.1 Солнечная система*

**Солнечная система** — планетная система, включающая в себя центральную звезду — Солнце — и все естественные космические объекты, обращающиеся вокруг неё. Большая часть массы объектов, связанных с Солнцем гравитацией, содержится в восьми относительно уединённых планетах, имеющих почти круговые орбиты и располагающихся в пределах почти плоского диска — плоскости эклиптики.

Центральным объектом Солнечной системы является **Солнце** — звезда главной последовательности спектрального класса G2V, жёлтый карлик. В Солнце сосредоточена подавляющая часть всей массы системы (**около 99,866 %**), оно удерживает своим

тяготением планеты и прочие тела, принадлежащие к Солнечной системе. Четыре крупнейших объекта — газовые гиганты, **составляют 99 % оставшейся массы** (при том, что большая часть приходится на Юпитер и Сатурн — **около 90 %**).

Солнце — звезда Солнечной системы и её главный компонент. Его масса (332 900 масс Земли) достаточно велика для поддержания термоядерной реакции синтеза в его недрах, при которой высвобождается большое количество энергии, излучаемой в пространство в основном в виде электромагнитного излучения, максимум которого приходится на диапазон длин волн 400—700 нм, соответствующий видимому свету.

Солнце состоит из водорода (~73 % от массы и ~92 % от объёма), гелия (~25 % от массы и ~7 % от объёма[9]) и других элементов с меньшей концентрацией: железа, никеля, кислорода, азота, кремния, серы, магния, углерода, неона, кальция и хрома. На 1 млн атомов водорода приходится 98 000 атомов гелия, 851 атом кислорода, 398 атомов углерода, 123 атома неона, 100 атомов азота, 47 атомов железа, 38 атомов магния, 35 атомов кремния, 16 атомов серы, 4 атома аргона, 3 атома алюминия, по 2 атома никеля, натрия и кальция, а также совсем немного всех прочих элементов. Средняя плотность Солнца составляет 1,4 г/см<sup>3</sup>.

Положение Солнца на главной последовательности показывает, что оно ещё не исчерпало свой запас водорода для ядерного синтеза и находится примерно в середине своей эволюции. Сейчас Солнце постепенно становится более ярким, на более ранних стадиях развития его яркость составляла лишь 70 процентов от сегодняшней.

Наряду со светом, Солнце излучает непрерывный поток заряженных частиц (плазмы), известный как солнечный ветер. Этот поток частиц распространяется со скоростью примерно 1,5 млн км в час, наполняя окосолнечную область и создавая у Солнца некий аналог планетарной атмосферы (гелиосферу), которая имеется на расстоянии по крайней мере 100 а. е. от Солнца. Она известна как межпланетная среда. Геомагнитные бури на поверхности Солнца, такие как солнечные вспышки и корональные выбросы массы, возмущают гелиосферу, порождая космическую погоду. Крупнейшая структура в пределах гелиосферы — гелиосферный токовый слой; спиральная поверхность, созданная воздействием вращающегося магнитного поля Солнца на межпланетную среду.

Солнце — магнитоактивная звезда. Она обладает сильным магнитным полем, напряжённость которого меняется со временем и которое меняет направление приблизительно каждые 11 лет, во время солнечного максимума. Вариации магнитного поля Солнца вызывают разнообразные эффекты, совокупность которых называется солнечной активностью и включает в себя такие явления, как солнечные пятна, солнечные вспышки, вариации солнечного ветра и т. д., а на Земле вызывает полярные сияния в высоких и средних широтах и геомагнитные бури, которые негативно сказываются на работе средств связи, средств передачи электроэнергии, а также негативно воздействует на живые организмы (вызывают головную боль и плохое самочувствие у людей, чувствительных к магнитным бурям). Предполагается, что солнечная активность играла большую роль в формировании и развитии Солнечной системы. Она также оказывает влияние на структуру земной атмосферы.

Магнитное поле Земли мешает солнечному ветру сорвать атмосферу Земли. Венера и Марс не имеют магнитного поля и в результате, солнечный ветер постепенно сдувает их атмосферы в космос. Корональные выбросы массы и подобные явления изменяют магнитное поле и выносят огромное количество вещества с поверхности Солнца — порядка 10<sup>9</sup>—10<sup>10</sup> тонн в час. Взаимодействуя с магнитным полем Земли это вещество попадает преимущественно в верхние приполярные слои атмосферы Земли, где от такого

взаимодействия возникают полярные сияния, наиболее часто наблюдаемые около магнитных полюсов.

Солнечный ветер (поток плазмы от Солнца) создаёт пузырь в межзвёздной среде, называемый гелиосферой, который простирается до края рассеянного диска. Гипотетическое облако Оорта, служащее источником долгопериодических комет, может простираться на расстояние примерно в тысячу раз больше по сравнению с гелиосферой.

Считается, что Солнце сформировалось примерно 4,59 млрд лет назад, когда быстрое сжатие под действием сил гравитации облака молекулярного водорода привело к образованию в нашей области Галактики звезды первого типа звёздного населения типа Г Тельца.

Звезда такой массы, как Солнце, должна существовать на главной последовательности в общей сложности примерно 10 млрд лет. Таким образом, сейчас Солнце находится примерно в середине своего жизненного цикла. На современном этапе в солнечном ядре идут термоядерные реакции превращения водорода в гелий. Каждую секунду в ядре Солнца около 4 млн тонн вещества превращается в лучистую энергию, в результате чего генерируется солнечное излучение и поток солнечных нейтрино.

Четыре меньшие внутренние планеты Солнечной системы: Меркурий, Венера, Земля и Марс, также называемые **планетами земной группы**, состоят в основном из силикатов и металлов.

Четыре внешние планеты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, также называемые **газовыми гигантами**, в значительной степени состоят из водорода и гелия и намного массивнее, чем планеты земной группы.

Состав Солнечной системы (в порядке удаления от Солнца):

## 1. Солнце

*Межпланетная среда*

## 2. Внутренняя область Солнечной системы

*Планеты земной группы*

1) Меркурий

2) Венера

3) Земля

Луна

4) Марс

спутники Марса

*Пояс астероидов*

Церера

## 3. Внешняя область Солнечной системы

*Планеты –гиганты*

5) Юпитер

спутники Юпитера

кольца Юпитера

6) Сатурн

спутники Сатурна

кольца Сатурна

7) Уран

спутники Урана

кольца Урана

## 8) Нептун

спутники Нептуна

кольца Нептуна

*Кометы*

*Кентавры*

*Транснептуновые объекты*

Пояс Койпера

Плутон

спутники Плутона

Хаумеа

спутники Хаумеа

Макемаке

Рассеянный диск

Эрида

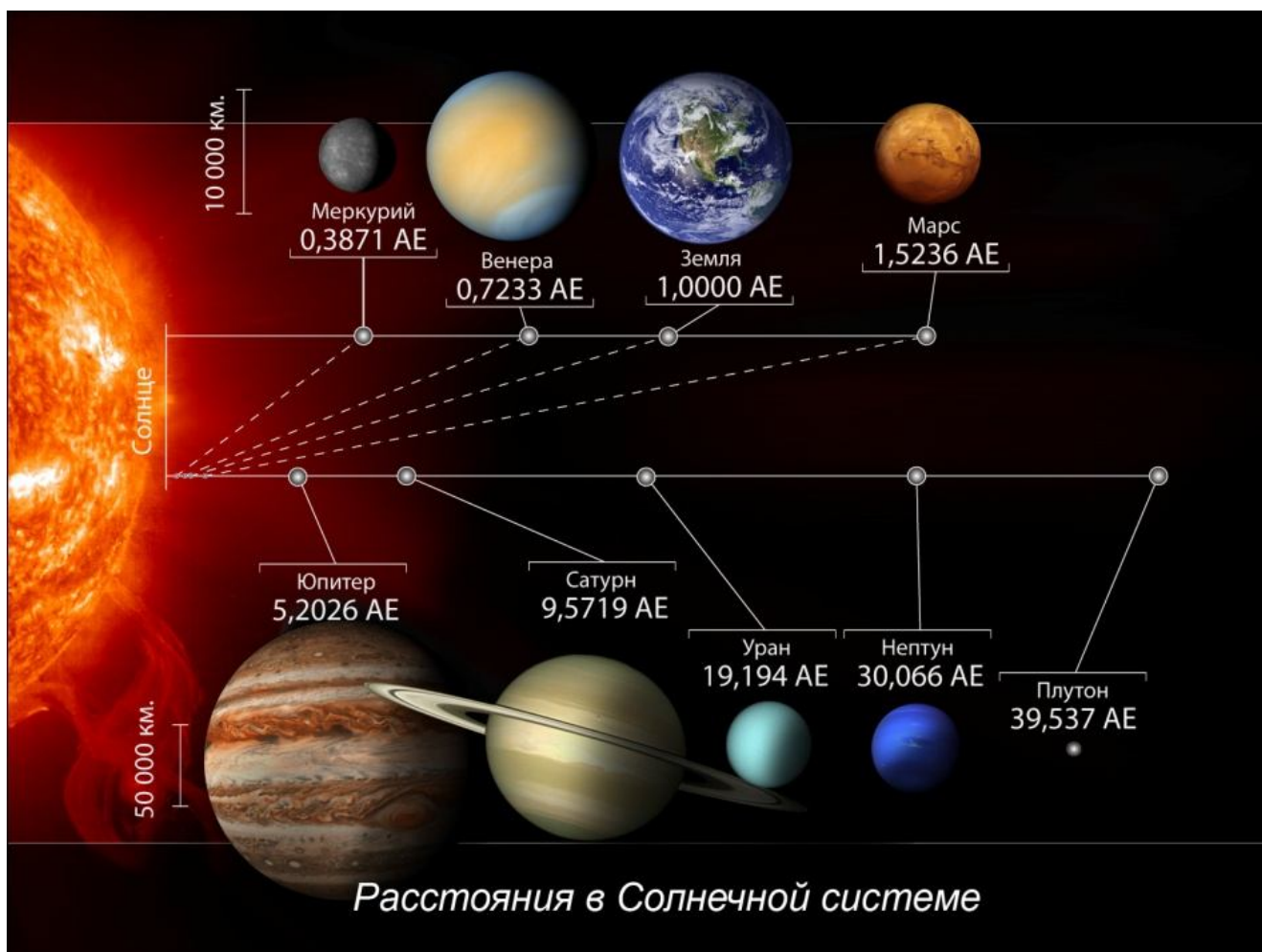
Дисномия

## 4. Отдаленные области

*Гелиосфера*

*Облако Оорта*

Седна



1 АЕ - расстояние от Земли до Солнца ( $1,495 \times 10^8$  км)

**Меркурий** — самая близкая к Солнцу планета Солнечной системы, обращающаяся вокруг Солнца за 88 земных суток. Продолжительность одних звёздных суток на Меркурии составляет 58,65 земных, а солнечных — 176 земных. Планета названа

древними римлянами в честь бога торговли — быстроногого Меркурия, поскольку она движется по небу быстрее других планет.

Меркурий относится к внутренним планетам, так как его орбита лежит внутри орбиты Земли. После лишения Плутона в 2006 году статуса планеты Меркурию перешло звание самой маленькой планеты Солнечной системы. О планете пока известно сравнительно немного. Только в 2009 году учёные составили первую полную карту Меркурия, используя снимки аппаратов «Маринер-10» и «Мессенджер». Естественных спутников у планеты не обнаружено.

Меркурий — самая маленькая планета земной группы. Его радиус составляет всего  $2439,7 \pm 1,0$  км, что меньше радиуса спутника Юпитера Ганимеда и спутника Сатурна Титана. Масса планеты равна  $3,3 \cdot 10^{23}$  кг. Средняя плотность Меркурия довольно велика —  $5,43$  г/см<sup>3</sup>, что лишь незначительно меньше плотности Земли. Учитывая, что Земля намного больше по размерам, значение плотности Меркурия указывает на повышенное содержание в его недрах металлов. Ускорение свободного падения на Меркурии равно  $3,70$  м/с<sup>2</sup>. Вторая космическая скорость —  $4,25$  км/с. Несмотря на меньший радиус, Меркурий всё же превосходит по массе такие спутники планет-гигантов, как Ганимед и Титан.

**Венера** — вторая внутренняя планета Солнечной системы с периодом обращения в 224,7 земных суток. Названа именем Венеры, богини любви из римского пантеона. Это единственная из восьми основных планет Солнечной системы, получившая название в честь женского божества.

Венера классифицируется как землеподобная планета, и иногда её называют «сестрой Земли», потому что обе планеты похожи размерами, силой тяжести и составом. Однако условия на двух планетах очень разнятся. Поверхность Венеры скрывают чрезвычайно густые облака серной кислоты с высокой отражательной способностью, что мешает увидеть её поверхность в видимом свете (но её атмосфера прозрачна для радиоволн, с помощью которых впоследствии и был исследован рельеф планеты). Споры о том, что находится под густой облачностью Венеры, продолжались до двадцатого столетия, пока многие из тайн Венеры не были приоткрыты планетологией. У Венеры самая плотная среди известных землеподобных планет атмосфера, состоящая главным образом из углекислого газа. Это объясняется тем, что на Венере нет круговорота углерода и жизни, которая могла бы перерабатывать его в биомассу.

В глубокой древности Венера, как полагают, настолько разогрелась, что подобные земным океаны, которыми, как считается, она обладала, полностью испарились, оставив после себя пустынный пейзаж с множеством плитоподобных скал. Одна из гипотез полагает, что из-за слабости магнитного поля водяной пар (расщеплённый солнечным излучением на элементы) был унесён солнечным ветром в межпланетное пространство. Установлено, что атмосфера планеты и сейчас теряет водород и кислород в соотношении 2:1.

Атмосферное давление на поверхности Венеры в 92 раза больше, чем на Земле. Детальное картографирование поверхности Венеры проводилось в течение последних 22 лет, в частности проектом «Магеллан». Поверхность Венеры носит яркие признаки вулканической деятельности, а атмосфера содержит много серы. Некоторые эксперты полагают, что вулканическая деятельность на Венере продолжается и сейчас. Однако явных доказательств этому не было найдено, поскольку пока ни на одной из вулканических впадин — кальдер — не было замечено лавовых потоков. Удивительно низкое число ударных кратеров говорит в пользу того, что поверхность Венеры относительно молода: ей приблизительно 500 миллионов лет. Никаких свидетельств

тектонического движения плит на Венере не обнаружено, возможно, потому что её литосфера из-за отсутствия воды слишком вязкая и, следовательно, недостаточно подвижна. Полагается также, что Венера постепенно теряет внутреннюю высокую температуру.

**Земля** – третья планета по порядку удаления от Солнца. Научные данные указывают на то, что Земля образовалась из солнечной туманности около 4,54 миллиарда лет назад и вскоре после этого приобрела свой единственный естественный спутник — Луну. Предположительно жизнь появилась на Земле примерно 3,9 млрд лет назад, то есть в течение первого миллиарда после её возникновения. С тех пор биосфера Земли значительно изменила атмосферу и прочие абиотические факторы, обусловив количественный рост аэробных организмов, а также формирование озонового слоя, который вместе с магнитным полем Земли ослабляет вредную для жизни солнечную радиацию, тем самым сохраняя условия существования жизни на Земле. Радиация, обусловленная самой земной корой, со времён её образования значительно снизилась благодаря постепенному распаду радионуклидов в ней. Кора Земли разделена на несколько сегментов, или тектонических плит, которые движутся по поверхности со скоростями порядка нескольких сантиметров в год. Изучением состава, строения и закономерностей развития Земли занимается наука геология.

**Марс** — четвёртая по удалённости от Солнца и седьмая по размерам планета Солнечной системы; масса планеты составляет 10,7 % массы Земли. Названа в честь Марса — древнеримского бога войны, соответствующего древнегреческому Аресу. Иногда Марс называют «красной планетой» из-за красноватого оттенка поверхности, придаваемого ей оксидом железа.

Марс — планета земной группы с разреженной атмосферой (давление у поверхности в 160 раз меньше земного). Особенности поверхностного рельефа Марса можно считать ударные кратеры наподобие лунных, а также вулканы, долины, пустыни и полярные ледниковые шапки наподобие земных.

У Марса есть два естественных спутника — Фобос и Деймос (в переводе с древнегреческого — «страх» и «ужас» — имена двух сыновей Ареса, сопровождавших его в бою), которые относительно малы (Фобос — 27x22x18 км, Деймос — 15x12,2x10,4 км) и имеют неправильную форму.

Начиная с 1960-х годов, непосредственным исследованием Марса с помощью АМС занимались СССР (программы «Марс» и «Фобос»), США (программы «Маринер», «Викинг», «Mars Global Surveyor» и другие) и Европейское космическое агентство (программа «Марс-экспресс»).

**Юпитер** — пятая планета от Солнца, крупнейшая в Солнечной системе. Наряду с Сатурном, Ураном и Нептуном Юпитер классифицируется как газовый гигант. Планета была известна людям с глубокой древности, что нашло своё отражение в мифологии и религиозных верованиях различных культур: месопотамской, вавилонской, греческой и других. Современное название Юпитера происходит от имени древнеримского верховного бога-громовержца.

Ряд атмосферных явлений на Юпитере — такие, как штормы, молнии, полярные сияния, — имеют масштабы, на порядки превосходящие земные. Примечательным образованием в атмосфере является Большое красное пятно — гигантский шторм, известный с XVII века.

Юпитер имеет, по крайней мере, 67 спутников, самые крупные из которых — Ио, Европа, Ганимед и Каллисто — были открыты Галилео Галилеем в 1610 году. Исследования Юпитера проводятся при помощи наземных и орбитальных телескопов; с 1970-х годов к планете было отправлено 8 межпланетных аппаратов НАСА: «Пионеры», «Вояджеры», «Галилео» и другие.

Во время великих противостояний (одно из которых происходило в сентябре 2010 года) Юпитер виден невооружённым глазом как один из самых ярких объектов на ночном небосклоне после Луны и Венеры. Диск и спутники Юпитера являются популярными объектами наблюдения для астрономов-любителей, сделавших ряд открытий (например, кометы Шумейкеров-Леви, которая столкнулась с Юпитером в 1994 году, или исчезновения Южного экваториального пояса Юпитера в 2010 году).

**Сатурн** — шестая планета от Солнца и вторая по размерам планета в Солнечной системе после Юпитера. Сатурн, а также Юпитер, Уран и Нептун, классифицируются как газовые гиганты. Сатурн назван в честь римского бога земледелия.

В основном Сатурн состоит из водорода, с примесями гелия и следами воды, метана, аммиака и тяжёлых элементов. Внутренняя область представляет собой небольшое ядро из железа, никеля и льда, покрытое тонким слоем металлического водорода и газообразным внешним слоем. Внешняя атмосфера планеты кажется из космоса спокойной и однородной, хотя иногда на ней появляются долговременные образования. Скорость ветра на Сатурне может достигать местами 1800 км/ч, что значительно больше, чем на Юпитере. У Сатурна имеется планетарное магнитное поле, занимающее промежуточное положение по напряжённости между магнитным полем Земли и мощным полем Юпитера. Магнитное поле Сатурна простирается на 1 000 000 километров в направлении Солнца. Ударная волна была зафиксирована «Вояджером-1» на расстоянии в 26,2 радиуса Сатурна от самой планеты, магнитопауза расположена на расстоянии в 22,9 радиуса.

Сатурн обладает заметной системой колец, состоящей главным образом из частичек льда, меньшего количества тяжёлых элементов и пыли. Вокруг планеты обращается 62 известных на данный момент спутника. Титан — самый крупный из них, а также второй по размерам спутник в Солнечной системе (после спутника Юпитера, Ганимеда), который превосходит по своим размерам Меркурий и обладает единственной среди спутников Солнечной системы плотной атмосферой.

В настоящее время на орбите Сатурна находится автоматическая межпланетная станция «Кассини», запущенная в 1997 году и достигшая системы Сатурна в 2004, в задачи которой входит изучение структуры колец, а также динамики атмосферы и магнитосферы Сатурна.

**Уран** — планета Солнечной системы, седьмая по удалённости от Солнца, третья по диаметру и четвёртая по массе. Была открыта в 1781 году английским астрономом Уильямом Гершелем и названа в честь греческого бога неба Урана, отца Кроноса (в римской мифологии Сатурна) и, соответственно, деда Зевса (у римлян — Юпитер).

Уран стал первой планетой, обнаруженной в Новое время и при помощи телескопа. Об открытии Урана Уильям Гершель объявил 13 марта 1781 года, тем самым впервые со времён античности расширив границы Солнечной системы в глазах человека. Несмотря на то, что порой Уран различим невооружённым глазом, более ранние наблюдатели не догадывались, что это планета, из-за его тусклости и медленного движения.

В отличие от газовых гигантов — Сатурна и Юпитера, состоящих в основном из водорода и гелия, в недрах Урана и схожего с ним Нептуна отсутствует металлический



водород, но зато много льда в его высокотемпературных модификациях. По этой причине специалисты выделили эти две планеты в отдельную категорию «ледяных гигантов». Основу атмосферы Урана составляют водород и гелий. Кроме того, в ней обнаружены следы метана и других углеводородов, а также облака изо льда, твёрдого аммиака и водорода. Это самая холодная планетарная атмосфера Солнечной системы с минимальной температурой в 49 К (-224 °С). Полагают, что Уран имеет сложную слоистую структуру облаков, где вода составляет нижний слой, а метан — верхний. В отличие от Нептуна, недра Урана состоят в основном из льдов и горных пород.

**Нептун** — восьмая и самая дальняя планета Солнечной системы. Нептун также является четвёртой по диаметру и третьей по массе планетой. Масса Нептуна в 17,2 раза, а диаметр экватора в 3,9 раза больше таковых у Земли. Планета была названа в честь римского бога морей. Его Обнаруженный 23 сентября 1846 года[1], Нептун стал первой планетой, открытой благодаря математическим расчётам, а не путём регулярных наблюдений.

Обнаружение непредвиденных изменений в орбите Урана породило гипотезу о неизвестной планете, гравитационным возмущающим влиянием которой они и обусловлены. Нептун был найден в пределах предсказанного положения. Вскоре был открыт и его спутник Тритон, однако остальные 13 спутников, известные ныне, были неизвестны до XX века. Нептун был посещён лишь одним космическим аппаратом, «Вояджером-2», который пролетел вблизи от планеты 25 августа 1989 года.

Нептун по составу близок к Урану, и обе планеты отличаются по составу от более крупных планет-гигантов — Юпитера и Сатурна. Иногда Уран и Нептун помещают в отдельную категорию «ледяных гигантов». Атмосфера Нептуна, подобно атмосфере Юпитера и Сатурна, состоит в основном из водорода и гелия, наряду со следами углеводородов и, возможно, азота, однако содержит в себе более высокую пропорцию льдов: водного, аммиачного, метанового. Ядро Нептуна, как и Урана, состоит главным образом из льдов и горных пород. Следы метана во внешних слоях атмосферы, в частности, являются причиной синего цвета планеты.

В атмосфере Нептуна бушуют самые сильные ветры среди планет Солнечной системы, по некоторым оценкам, их скорости могут достигать 2100 км/ч. Во время пролёта «Вояджера-2» в 1989 году в южном полушарии Нептуна было обнаружено так называемое Большое тёмное пятно, аналогичное Большому красному пятну на Юпитере. Температура Нептуна в верхних слоях атмосферы близка к -220 °С. В центре Нептуна температура составляет по различным оценкам от 5400 К до 7000—7100 °С, что сопоставимо с температурой на поверхности Солнца и сравнимо с внутренней температурой большинства известных планет. У Нептуна есть слабая и фрагментированная кольцевая система, возможно, обнаруженная ещё в 1960-е годы, но достоверно подтверждённая «Вояджером-2» лишь в 1989 году.

В 1948 году в честь открытия планеты Нептун было предложено назвать новый химический элемент под номером 93 нептунием.

12 июля 2011 года исполнился ровно один Нептунианский год — или 164,79 земного года — с момента открытия Нептуна 23 сентября 1846 года.

В Солнечной системе имеются две области, заполненные малыми телами. Пояс астероидов, находящийся между Марсом и Юпитером, сходен по составу с планетами земной группы, поскольку состоит из силикатов и металлов. Крупнейшими объектами пояса астероидов являются **Церера**, **Паллада** и **Веста**. За орбитой Нептуна располагаются **транснептуновые объекты**, состоящие из замёрзшей воды, аммиака и

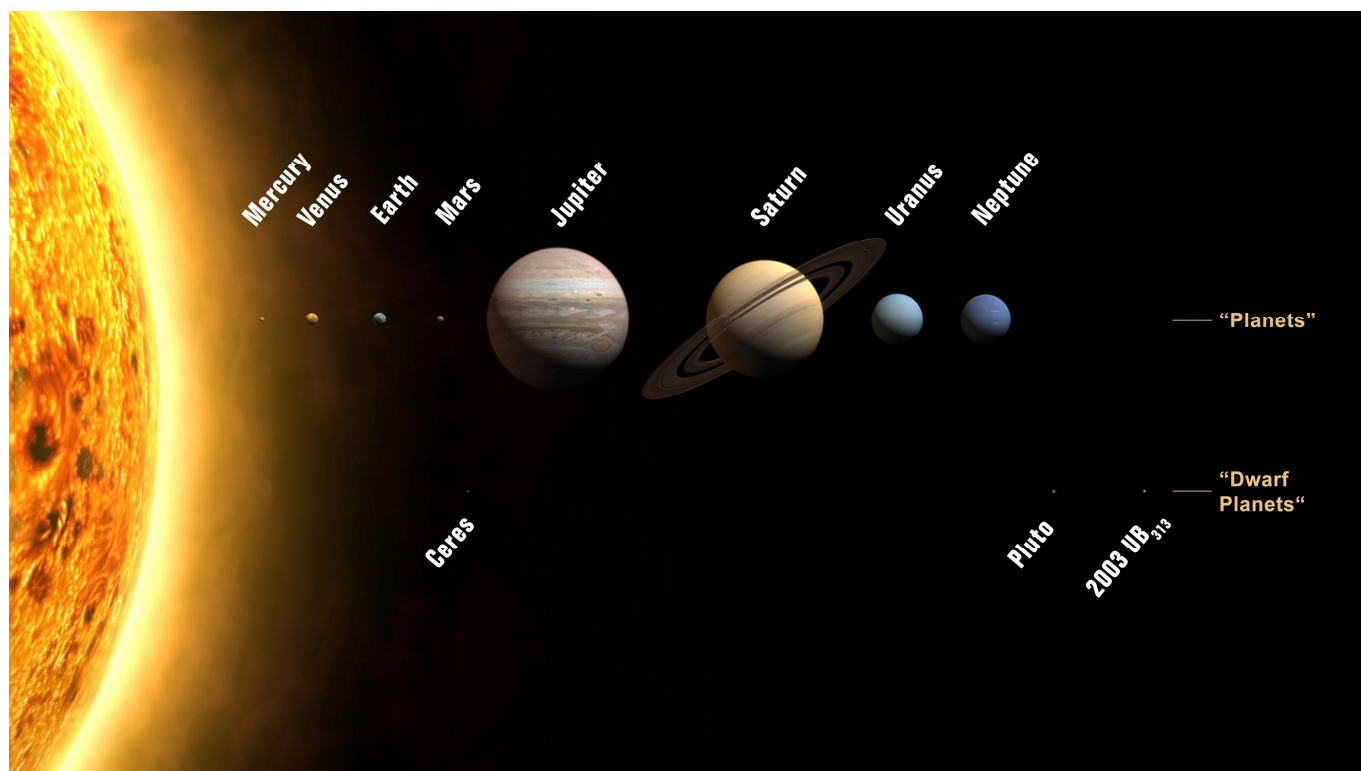
метана, крупнейшими из которых являются **Плутон, Седна, Хаумеа, Макемаке** и **Эрида**.

**Транснептуновый объект (ТНО)** - небесное тело Солнечной системы, которое обращается по орбите вокруг Солнца, и у которого среднее расстояние до Солнца больше, чем у Нептуна. Транснептуновые объекты образуют пояс Койпера, рассеянный диск и облако Оорта.

В 1930 году был открыт Плутон — первый известный науке транснептуновый объект, с момента открытия до 2006 года считавшийся девятой планетой Солнечной системы. В 1978 году был открыт Харон, спутник Плутона. Следующий транснептуновый объект, (15760) 1992 QB1, был открыт только в 1992 году — более чем на 60 лет позже Плутона. В общей сложности по состоянию на начало 2012 года известно около 1400 транснептуновых объектов с разнообразными характеристиками. Крупнейшими известными транснептуновыми объектами являются Эрида, открытая в 2005 году, и Плутон.

Дополнительно к тысячам малых тел в этих двух областях другие разнообразные популяции малых тел, таких как астероиды, планетные квазиспутники и троянцы, околоземные астероиды, кентавры, дамоклоиды, а также перемещающиеся по Солнечной системе кометы, метеороиды и космическая пыль.

Шесть планет из восьми и три карликовые планеты окружены естественными спутниками. Каждая из внешних планет окружена кольцами пыли и других частиц. Шесть планет из восьми и три карликовые планеты окружены естественными спутниками. Каждая из внешних планет окружена кольцами пыли и других частиц.



**Планеты Солнечной системы с примерным сохранением относительных размеров**

## §6.2 Астрономические расстояния и методы изучения

Расстояния между астрономическими объектами столь огромны, что пользоваться обычными единицами измерений расстояний в астрономии (м, км) не удобно. По этой причине астрономы используют специфическими единицами измерения. В масштабах Солнечной системы основная единица расстояний – **астрономическая единица** (а.е.) – среднее расстояние от Земли до Солнца ( $1,496 \times 10^8$  км).

Расстояние от Солнца до Земли луч света, движущийся со скоростью  $3 \cdot 10^8$  м/с, пройдет за время  $t \approx 499$  сек  $\approx 8,31$  минуты. Для сравнения, длину экватора Земли (40075 км) луч света облетит за 0,13 сек. Естественно со скоростями, близкими к скоростям света искусственные объекты двигаться не могут. Самая большая из достижимых человеком скоростей на данный момент – скорость исследовательского аппарата Вояджер-2, покинувшего в этом году Солнечную систему. Она составляет  $\approx 17$  км/с. Характерные расстояния между некоторыми астрономическими объектами можно увидеть в таблице.

Расстояние	Расстояние в А.Е.	Расстояние в километрах	Время пролета светового луча	Время движения со скоростью 17 км/с
длина экватора Земли		40075 км $\approx 4,0 \times 10^4$	0,13 сек	
расстояние от Земли до Солнца	1	$1,496 \times 10^8$	8,31 мин	
минимальное расстояние от Земли до Марса (великое противостояние)	0,386	$0,58 \times 10^8$	3,2 мин	39,3 дней
примерное минимальное расстояние от Земли до Плутона	38,6	$57,7 \times 10^8$	5,34 часа	
расстояние до границы Солнечной системы	100	$149,6 \times 10^8$	13,85 часа	
расстояние до Проксима Центавры (ближайшей звезды)	$6,68 \times 10^5$ (4,3 с.г.)		4,3 года	75900 лет

Расстояния же за пределами Солнечной системы многократно больше. Поэтому во «внесолнечной» астрономии астрономическая единица уже не используется. Основные единицы измерения расстояний здесь:

**световой год** (с.г.) – расстояние, проходимое светом за 1 год ( $\sim 10^{13}$  км)

**парсек** (пк) –  $\sim 3,26$  с.г.

### *методы изучения космоса*

Математическая основа всех космологических моделей – это Общая теория относительности.

Основная сложность при изучении астрофизических и космологических явлений – невозможность провести контрольный эксперимент. Мы можем только наблюдать естественный ход событий.

Тем не менее, смотря на удаленные космические объекты в телескоп, мы заглядываем в их прошлое. Нужно иметь в виду, что световой сигнал от, например, звезды, удаленной от нас на одну тысячу световых лет, дойдет до нас через тысячу лет.

То есть если мы в данный момент посмотрим на эту звезду, мы увидим ее такой, какая она была тысячу лет назад. Данный эффект имеет место благодаря огромным, колоссальным расстояниям между космическими объектами.

### *§6.3 Структура и масштабы Вселенной. Млечный путь.*

Земля находится на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца. Одна астрономическая единица (а.е.), 150 миллионов километров, колоссальное расстояние для нас, в тоже время – совершенно ничтожное для Вселенной.

Расстояние до Плутона – Плутон сейчас перестал быть планетой, девятой планетой, он стал просто телом, так называемым пояса Койпера – 40 а.е. (примерно шесть миллиардов километров), пять с половиной световых часов, т.е. свет от какого-нибудь космического корабля на орбите Плутона дойдет до Земли за 5 с половиной часов.

Размер Солнечной системы, он считается до так называемого облака Оорта, где сосредоточена основанная масса комет, это примерно 100000 а.е. или 1,5 световых года или 0,5 парсека.

Расстояние до ближайших к нам звезд – это Проксима Центавра (созвездие Альфа Центавра), это 4,3 с.г. Если не использовать новые, новейшие технологии, которые пока недоступны, а лететь на обычных химических двигателях, то полёт до Проксимы Центавры займёт сто тысяч лет. А вообще, в ближайшей к нам окрестности известно примерно где-то шестьдесят пять звезд, похожих на наше Солнце.

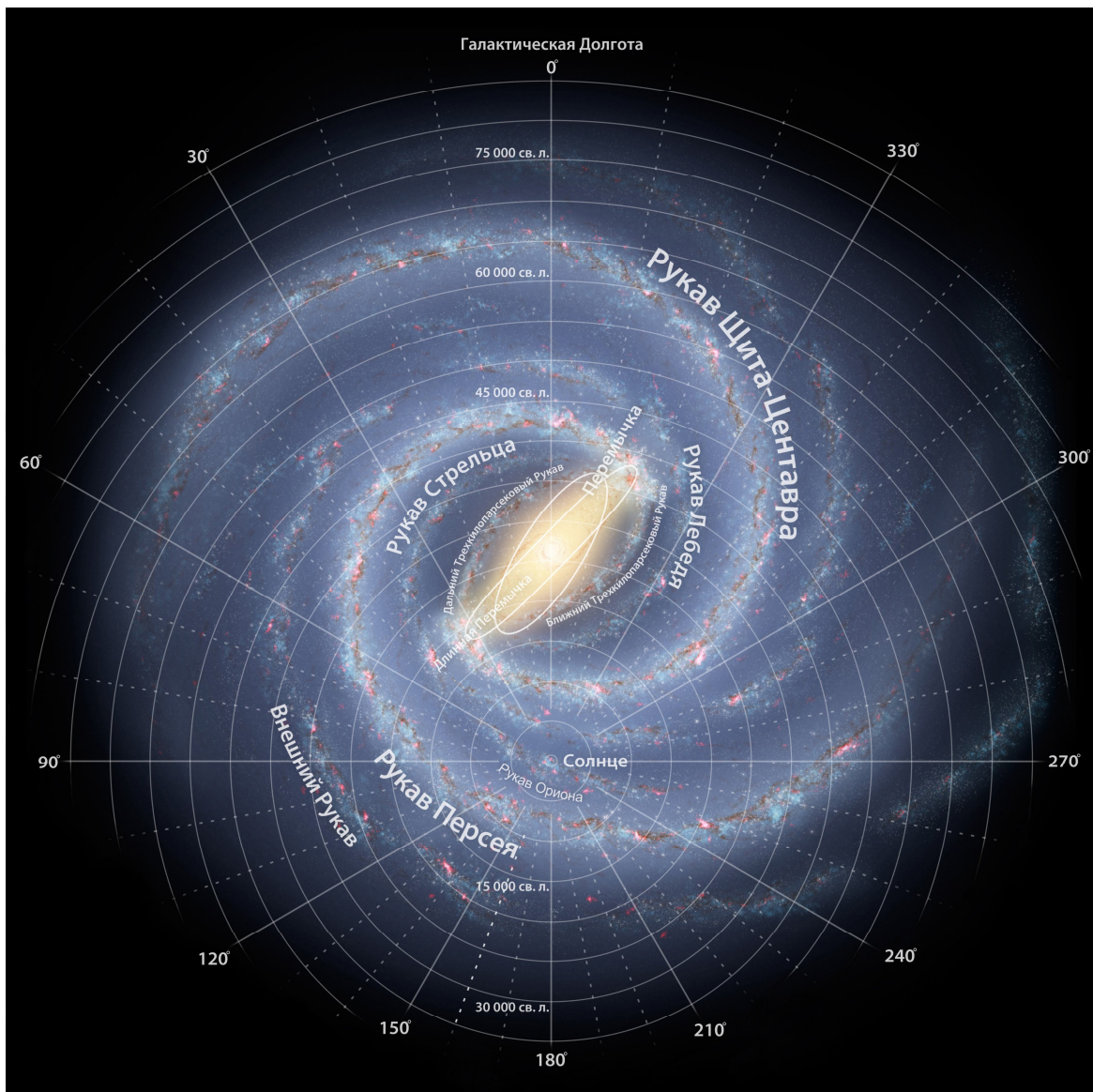
Звезды во Вселенной не заполняют равномерно всё космическое пространство. Большинство звезд сгруппированы в звездные скопления – **галактики**.

Наша галактика Млечный путь – это спиральная галактика, содержащая примерно 400 млрд. звезд. Размер нашей Галактики 100000 св. лет (30 кпк или  $10^{15}$  км). Галактика имеет форму спирали Архимеда и вращается вокруг своего центра, совершая один оборот за ~250 млн лет. Центр Галактики ассоциируется с наличием в ней массивной черной дыры. Мы находимся в одном из спиральных рукавов Галактики на расстоянии 2/3 от ее центра (~20 кпк).

Млечный путь обладает большим моментом импульса и представляет собой спиральный диск с четырьмя закрученными рукавами и с центральным шаровидным утолщением. Толщина диска около 500 световых лет (за такой интервал времени свет пересечет его). Радиус рукавов равен примерно 50 000 световых лет. Центральное утолщение Млечного пути (называется **балдж**) имеет диаметр около 20 000 световых лет, толщину в 3 000 световых лет и окружено роем (иногда используют термин гало) из примерно 200 шаровых звездных скоплений.

Черная полоса, которую мы видим ночью вдоль Млечного пути, свидетельствует, что межзвездное пространство в Галактике заполнено гигантскими газопылевыми облаками поглощающими видимое излучение, но прозрачными для радиоволн и инфракрасного излучения. Именно на основании данных радиоастрономии и спутниковых наблюдений в ИК - диапазоне была установлена четырехрукавная структура нашей галактики и то, что Солнце располагается на расстоянии 25 000 световых лет от центральной части. Один оборот вокруг центра Галактики Солнце совершает примерно за 200 миллионов лет, за время его существования оно около 25 раз успело обойти центр Млечного пути. Можно образно сказать, что Солнцу 25 галактических лет!

Измерения скоростей движения звезд, расположенных на периферии Млечного пути и шаровых скоплений в галактическом гало показало, что они движутся вокруг центра с такими скоростями, которые не соответствуют оценке полной массы видимого вещества нашей галактики. Несоответствие устраняется в том только случае, если допустить, что существует **темное вещество** (или **темная материя**), скрытое от использованных методов наблюдения. Причем, масса невидимого вещества на порядок величины превосходит ту массу, которая определяется современными методами астрономии. Физическая природа темного вещества, которое проявляется только в гравитационном взаимодействии, в настоящее время дискуссионна. По мнению многих специалистов, темная материя состоит из нейтрино, очень маленьких частиц. Нейтрино не имеют электрического заряда, и долгое время считалось, что, как и фотоны, они не имеют массы. Впоследствии было остановлено, что все же очень малая масса у нейтрино есть. А поскольку таких нейтрино в галактике насчитывается огромное количество, суммарная масса «нейтринного вещества» может быть весьма значительна.



**Млечный путь (компьютерная модель)**

В самом центре нашей Галактики зарегистрирован источник с экстремально большим энерговыделением. Имея сравнительно небольшие размеры (порядка размеров Солнечной системы), он обладает массой в миллион раз большей, чем Солнце и светит в широком диапазоне излучений в 100 миллионов раз интенсивней. Первая гипотеза о природе такого источника связывала его с черной дырой, образовавшейся в самом

"сердце" Галактики. В настоящее время более вероятной причиной считают вспышку звездообразования "молодых" звезд.

Наша галактика входит в Местную группу, членами которой являются также М31 (Андромеда), М33 (Треугольник), галактики Большого Магелланового облака и ряд других (всего около 25~30). Члены Местной группы разбросаны по пространству в пределах до 3 миллионов световых лет. Центр масс группы расположен на одной трети расстояния от нашей Галактики (другое ее название - Млечный путь) до галактики М31. Все галактики движутся по орбитам вокруг общего центра масс. При этом самые массивные галактики могут иметь маломассивные галактики-спутники. Например, Большое Магелланово облако является спутником нашей Галактики и совершает один оборот вокруг Млечного пути за 2,5 миллиарда лет.

Галактика Андромеды (или Андромеда, М 31, NGC 224, Туманность Андромеды) — спиральная галактика типа Sb, крупнейшая галактика Местной группы. Ближайшая к Млечному Пути большая галактика. Содержит примерно 1 триллион звёзд, что в 2,5–5 раз больше Млечного Пути. Расположена в созвездии Андромеды и отдалена от Земли на расстояние 2,52 млн св. лет.

Предполагается, что во Вселенной существуют сотни миллиардов галактик, среднее расстояние между которыми имеет порядок одного мегапарсека. Эти галактики распределены крайне не равномерно, образуя скопления (кластеры). Однако если рассматривать Вселенную в очень большом масштабе, например «разбивая» ее на «ячейки» с линейным размером, превышающим 300 мегапарсек, то неравномерность структуры Вселенной уже не будет наблюдаться. Таким образом, в очень больших масштабах Вселенная является однородной и изотропной.

Вещество во Вселенной кластеризовано. Скопления галактик (кластеры) содержат несколько десятков или сотен галактик (даже тысячи). Размеры кластеров ~3Мпк, что примерно в 100 раз больше размера нашей галактики (~30Кпк). Кластеры образуют суперкластеры. Некоторые из них содержат свыше 100 кластеров. Ближайшие к нам кластеры – это Большая Медведица, Близнецы.

Всего во Вселенной – порядка 100 миллиарды галактик. В каждой из них порядка сотен миллиардов звезд.

### Структурная организация мегамира.

<b>Космические тела</b>	<b>Диффузная материя</b>
Мегагалактики (скопления галактик)	Газопылевые туманности
Галактики (звездные скопления)	Разобщенные молекулы
Звезды (99,9% видимой массы галактик)	Разобщенные атомы
Планетные системы	Излучение
Планеты	
Спутники планет	
Астероиды	
Кометы	

Звезды сосредоточены в громадных звездных ассоциациях, имеющих форму тонких дисков (галактиках), являющихся основными «строительными блоками» видимой Вселенной.

**Галактики** – крупные системы, состоящие из звезд, газа и пыли. Галактика – это гравитационно-связанная система из звёзд и звездных скоплений, межзвёздного газа и пыли, и тёмной материи. Все объекты в составе галактики участвуют в движении относительно общего центра масс.

Основная классификация галактик – это классификация Эдвина Хаббла. По ней можно выделить четыре основных типа галактик:

- спиральные;                      - линзообразные;
- эллиптические; - неправильные.

Разнообразие форм галактик можно рассматривать как проявление действия принципа минимального разнообразия. Оно свидетельствует о вариативности условий формирования и эволюции конкретных строительных блоков Вселенной. В общих чертах можно полагать, что переход от симметричной шаровой формы к эллиптическим (примерно три четверти галактик - эллиптические) и спиральным галактикам связан с величиной полного момента импульса системы.

В галактиках можно выделить составные части:

**Ядро** — крайне малая область в центре галактики. Когда речь заходит о ядрах галактик, то чаще всего говорят об *активных ядрах галактик*, где процессы нельзя объяснить свойствами сконцентрированных в них звёзд.

**Диск** — относительно тонкий слой, в котором сконцентрировано большинство объектов галактики. Подразделяется на газопылевой диск и звёздный диск.

**Полярное кольцо** — редкий компонент. В классическом случае галактика с полярным кольцом имеет два диска, вращающихся в перпендикулярных плоскостях. Центры этих дисков в классическом случае совпадают. Причина возникновения полярных колец до конца не ясна.

**Сфероидальный компонент** — сфероподобное распределение звёзд.

**Балдж** (англ. *bulge* — вздутие) — наиболее яркая внутренняя часть сфероидального компонента.

**Гало** — внешний сфероидальный компонент. Граница между балджем и гало размыта и достаточно условна.

**Спиральная ветвь** (*спиральный рукав*) — уплотнение из межзвёздного газа и преимущественно молодых звёзд в виде спирали. Скорее всего, являются волнами плотности, вызванными различными причинами, однако вопрос об их происхождении до сих пор окончательно не решён.

**Бар** (*перемычка*) — выглядит как плотное вытянутое образование, состоящее из звёзд и межзвёздного газа. По расчётам, главный поставщик межзвёздного газа к центру галактики. Однако почти все теоретические построения основываются на факте, что толщина диска много меньше его размеров, иными словами, диск плоский, и почти все модели — упрощённые двумерные модели, расчётов трёхмерных моделей дисков крайне мало. А трёхмерный расчёт галактики с баром и газом в известной литературе всего один. По данным автора данного расчёта, газ не попадает в центр галактики, а проходит довольно далеко.

Галактики, кроме галактики Млечный Путь, внутри которой находится Земля — чрезвычайно далёкие астрономические объекты. Расстояние до ближайших из них принято измерять в мегапарсеках, а до далёких — в единицах красного смещения  $z$ . Разглядеть на небе невооружённым глазом можно всего лишь три галактики: туманность Андромеды (видна в северном полушарии), Большое и Малое Магеллановы Облака (видны в южном).

Разрешить изображение галактик до отдельных звёзд не удавалось вплоть до начала XX века. К началу 1990-х годов насчитывалось не более 30 галактик, в которых удалось увидеть отдельные звёзды, и все они входили в Местную группу. После запуска космического телескопа «Хаббл» и ввода в строй 10-метровых наземных телескопов число разрешённых галактик резко возросло.

Галактики отличаются большим разнообразием: среди них можно выделить сфероподобные эллиптические галактики, дисковые спиральные галактики, галактики с перемычкой (баром), линзовидные, карликовые, неправильные и т. д. Если же говорить о числовых значениях, то, к примеру, их масса варьируется от  $10^7$  до  $10^{12}$  масс Солнца, для сравнения — масса нашей галактики Млечный Путь равна  $2 \cdot 10^{11}$  масс Солнца. Диаметр галактик — от 5 до 250 килопарсек (16—800 тысяч световых лет), для сравнения — диаметр нашей галактики около 30 килопарсек (100 тысяч световых лет). Самая большая известная на 2012 год галактика IC 1101 имеет диаметр более 600 килопарсек.

Одной из нерешённых проблем строения галактик является тёмная материя, проявляющая себя только в гравитационном взаимодействии. Она может составлять до 90 % от общей массы галактики, а может и полностью отсутствовать, как в некоторых карликовых галактиках.

В пространстве галактики распределены неравномерно: в одной области можно обнаружить целую группу близких галактик, а можно не обнаружить ни одной, даже самой маленькой галактики (так называемые войды). Точное количество галактик в наблюдаемой части Вселенной неизвестно, но, по всей видимости, их порядка ста миллиардов ( $10^{11}$ ).

## *§6.5 Становление астрономии*

Ещё в глубокой древности люди интересовались движением светил по небосводу, хотя астрономия тогда была основательно перемешана с астрологией. Окончательное выделение научной астрономии произошло в эпоху Возрождения и заняло долгое время.

Степень развития египетской математики и астрономии неясна. Документов на эту тему почти нет, но египтяне высоко ценили египетских астрономов и учились у них.

Платон, ученик Сократа, уже не сомневался в шарообразности Земли (даже Демокрит считал её диском). По Платону, Космос не вечен, так как всё, что ощущается, есть вещь, а вещи старятся и умирают. Более того, само Время родилось вместе с Космосом. Далёко идущие последствия имел призыв Платона к астрономам разложить неравномерные движения светил на «совершенные» движения по окружностям.

Подлинно гелиоцентрическая система была предложена в начале III века до н. э. **Аристархом Самосским**. Скучная информация о гипотезе Аристарха дошла до нас через труды Архимеда, Плутарха и других авторов.

Аристарх впервые пытался также измерить расстояние до Солнца и Луны и их диаметры; для Солнца он ошибся на порядок (получилось, что диаметр Солнца в 250 раз больше земного), но до Аристарха все полагали, что Солнце меньше Земли. Именно поэтому он и решил, что в центре мира находится Солнце. Более точные измерения



углового диаметра Солнца выполнил Архимед, в его пересказе нам и известны взгляды Аристарха, сочинения которого утрачены.

**Эратосфен** в 240 г. до н. э. довольно точно измерил длину земной окружности и наклон эклиптики к экватору (т.е. наклон земной оси); он также предложил систему високосов, позже названную юлианским календарём.

В конечном итоге гелиоцентризм был оставлен греками. Главной причиной может быть общий кризис античной науки, начавшийся после II века до н. э. На место астрономии заступает астрология. В философии доминирует мистицизм или откровенный религиозный догматизм. С другой стороны, те немногие философские школы, которые в целом исповедуют рационализм (эпикурейцы, скептики), имеют одну общую черту: неверие в возможность познания природы.

Геоцентрическую систему (предложенную Гиппархом) завершил великий александрийский астроном, математик, оптик и географ Клавдий Птолемей. Он значительно усовершенствовал сферическую тригонометрию, составил таблицу синусов (через  $0,5^\circ$ ). Но главное его достижение — «Мегале синтаксис» (Большое построение); арабы превратили это название в «Аль Маджисти», отсюда позднейшее «Альмагест». Труд содержит фундаментальное изложение геоцентрической системы мира.

Будучи принципиально неверной, система Птолемея, тем не менее, позволяла с достаточной для того времени точностью предвычислять положения планет на небе и потому удовлетворяла, до известной степени, практическим запросам в течение многих веков.

После II века н. э. в эллинистическом мире прочно утвердился геоцентризм, основанный на философии Аристотеля и планетной теории Птолемея, в которой петлеобразное движение планет объяснялось с помощью комбинации деферентов и эпициклов. «Физическим» фундаментом теории Птолемея была аристотелевская теория хрустальных небесных сфер, переносивших планеты. Существенной особенностью учения Аристотеля было резкое противопоставление «надлунного» и «подлунного» миров. Надлунный мир (куда относились все небесные тела) считался миром идеальным, не подверженным каким-либо изменениям. Напротив, всё, что находилось в подлунной области, в том числе Земля, считалось подверженным постоянным изменениям, порче.

В последствие геоцентризм стал общепринятым в Средние века. Укоренению идеи «Земля – центр мироздания» способствовало буквальное прочтение текстов святых писаний. В эпоху Средневековья европейские астрономы занимались преимущественно наблюдениями видимых движений планет, согласовывая их с принятой геоцентрической системой Птолемея.

Интересные космологические идеи можно найти в сочинениях Оригена из Александрии, видного апологета раннего христианства, ученика Филона Александрийского. Ориген призывал воспринимать Книгу Бытия не буквально, а как символический текст. Вселенная, по Оригену, содержит множество миров, в том числе обитаемых. Более того, он допускал существование множества Вселенных со своими звёздными сферами. Каждая Вселенная конечна во времени и в пространстве, но сам процесс их зарождения и гибели бесконечен.

В XI—XII веках основные научные труды греков и их арабоязычных учеников были переведены на латынь. Основоположник схоластики Альберт Великий и его ученик Фома Аквинский в XIII веке препарировали учение Аристотеля, сделав его приемлемым для католической традиции. С этого момента система мира Аристотеля-Птолемея фактически сливается с католической догматикой. Экспериментальный поиск истины подменялся более привычной для теологии методикой — поиском подходящих цитат в канонизированных сочинениях и их пространственным комментированием.

Возрождение научной астрономии в Европе началось на Пиренейском полуострове, на стыке арабского и христианского мира.

К XVI веку стало ясно, что система Птолемея неадекватна и приводит к недопустимо большим расчётным ошибкам. **Николай Коперник** стал первым, кто предложил детально проработанную альтернативу, причём основанную на совершенно иной модели мира.

Главный труд Коперника — «De Revolutionibus Orbium Caelestium» («О вращении небесных сфер») — был в основном завершён в 1530 году, но только перед смертью Коперник решился опубликовать его. Впрочем, в 1503—1512 годах Коперник распространял среди друзей рукописный конспект своей теории («Малый комментарий о гипотезах, относящихся к небесным движениям»), а его ученик Ретик опубликовал ясное изложение гелиоцентрической системы в 1539 году. По-видимому, слухи о новой теории широко разошлись уже в 1520-х годах.

До середины XVI века астрономические наблюдения в Европе были не слишком регулярными. Первым проводить систематические наблюдения начал датский астроном Тихо Браге, используя специально для этого оборудованную обсерваторию «Ураниборг» в Дании (остров Вен). Он соорудил крупные, уникальные для Европы инструменты, благодаря которым определял положение светил с небывалой ранее точностью. На основании своих тезисов Тихо Браге выдвинул свою модель Солнечной системы. Проверить правильность своей модели Браге не сумел из-за недостаточного знания математики, и поэтому, переехав в Прагу по приглашению императора Рудольфа, пригласил туда (в 1600 году) молодого немецкого учёного Иоганна Кеплера.

**Законы Кеплера** — три эмпирических соотношения, интуитивно подобранных Иоганном Кеплером на основе анализа астрономических наблюдений Тихо Браге. Описывают идеализированную гелиоцентрическую орбиту планеты.

1. Каждая планета Солнечной системы обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.
2. Каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца, причём за равные времена радиус-вектор, соединяющий Солнце и планету, заметает сектора равной площади.
3. Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся, как кубы больших полуосей орбит планет. Справедливо не только для планет, но и для их спутников.

Великий итальянский учёный Галилео Галилей систему Коперника принял с энтузиазмом. Для доказательства правоты Коперника он использовал телескоп.

В 1609 году Галилей усовершенствовал телескоп, отшлифовал линзы так, что они давали беспрецедентное 30-ти кратное увеличение. И вместо того, чтобы наблюдать за кораблями, идущими из Венеции, он решил смотреть в небо. И то, что он там увидел, полностью изменило астрономию.

Галилей увидел небо ближе и подробней, чем кто-либо до него. Через свой телескоп он узрел тысячи звезд, Луну, испещренную кратерами, спутники, окружающие Юпитер, Сатурн с гигантскими кольцами. И что важнее всего, Галилей увидел Венеру, переходящую из фазы в фазу, словно Луна. Верное доказательство тому, что Венера вращается вокруг Солнца. Доказательство наличия Солнечной системы с Солнцем в центре.

Галилей со своим телескопом потеснил Землю из центра Вселенной и заявил, что мы не главные. Мы — планета среди планет. И что Вселенная гораздо шире, чем мы считали.

То, что Коперник предполагал из эстетических соображений, что Кеплер вывел посредством математических расчетов, Галилей доказал, Галилей увидел. Галилей открыл.

Наши предки видели лишь то, что видно невооруженным глазом... Телескоп был переходом от древности к современности.

В дальнейшем, вплоть до начала двадцатого века, астрономия постепенно накапливала эмпирическую базу открытий. Совершенствовались приборы наблюдения, поступали на службу новые методы исследования. Астрономы постепенно видели небо все лучше и подробнее.

## *§6.6 Происхождение и эволюция Вселенной*

### **Основные этапы развития представлений о строении Вселенной:**

геоцентрическая система мира	Птолемей (ок. 90 – ок. 160 гг. н.э.)
гелиоцентрическая система мира	Н. Коперник (1473 – 1543)
идея множественности миров	Дж. Бруно (1548 – 1600)
открытие вращения планет вокруг Солнца (и другие открытия)	Г. Галилей (1564 – 1642)
законы движения планет	И. Кеплер (1571 – 1630)
гипотеза возникновения Солнечной системы	И. Кант (1724 – 1804)
теория звездной природы галактик	Э. Хаббл (1889 – 1953)
модель расширяющейся Вселенной	А. Фридман (1888 – 1925)
теория горячей Вселенной	Г. Гамов (1904 – 1968)

Первое научно обоснованное представление о Вселенной, сложившееся в XVIII в., было связано с механистической концепцией детерминизма, в соответствии с которой все процессы в природе подчиняются жестким причинно-следственным закономерностям, исключающим появление нового качества.

Движение в природе — это непрерывная смена состояний, которая происходила, происходит и будет происходить вечно в соответствии с законами классической механики. Ареной этих движений является бесконечная Вселенная, свойства которой в среднем одинаковы во всех направлениях.

В соответствии с этим термодинамическим сценарием (Тепловая смерть) современное состояние Вселенной является результатом гигантской флуктуации, спонтанным, самопроизвольным «прыжком» в упорядоченное состояние, после чего началась медленная релаксация к хаотическому состоянию с максимальной энтропией, когда и вещество, и поле будут распределены в пространстве равномерно и прекратятся все процессы в природе. После этого возможны новые флуктуации, сопровождающиеся релаксацией к равновесию, и так до бесконечности.

Однако еще Ньютон обращал внимание, что вещество не может быть распределено с постоянной средней плотностью в сколь угодно большом объеме.

XX век — век рождения современной космологии. Она рождается почти вровень с веком и по мере развития вбирает в себя все новейшие достижения, такие как технологии постройки больших телескопов, космические полеты и компьютеры.

В 1916 А. Эйнштейн пишет уравнения общей теории относительности. Теории гравитации, ставшей основой для доминирующих космологических теорий.

Самым удивительным оказалось то, что из написанного им «мирового уравнения» вытекала невозможность стационарного, то есть не изменяющегося со временем, состояния Вселенной. Получалось, что от малейшего «толчка» силы тяготения начнут либо неумолимо сжимать все вещество, находящееся во Вселенной, в точку, либо, наоборот, «распираемый изнутри» мир станет неудержимо расширяться (здесь уместно вспомнить гравитационный парадокс Зелигера–Неймана). Другими словами, радиус кривизны Вселенной и средняя плотность материи в ней получались у Эйнштейна зависящими от времени, хотя их постоянство было взято за основу при выводе «мирового уравнения».

В 1917 году, пытаясь получить решение, описывающее "стационарную" Вселенную в уравнениях ОТО Эйнштейн вводит дополнительный параметр - космологическую постоянную.

В 1922-1924 гг. Александр Фридман применяет уравнений Эйнштейна без космологической постоянной ко всей Вселенной и получает нестационарные решения.

Идеи Фридмана и Эйнштейна подхватили ученые в разных странах. Особого внимания заслуживают работы бельгийского астронома и одновременно священника аббата Ж. Леметра, впоследствии президента Папской академии наук в Ватикане. Именно он впервые высказал предположение о конечности Вселенной, о Большом Взрыве, сопровождавшем возникновение Вселенной.

Наконец, в 1929 Эдвин Хаббл открывает закон пропорциональности между скоростью удаления галактик и расстоянием до них, позже названный его именем. Становится очевидным, что Млечный путь—лишь небольшая часть окружающей Вселенной. Одновременно подтверждаются выводы Фридмана о нестационарности окружающего мира, а вместе с тем и верность выбранного направления развития космологии.

Э. Хаббл обнаружил «**красное смещение**» спектральных линий излучения, приходящего от удаленных галактик. Это смещение указывало на то, что Вселенная расширяется, причем «разбегание» любых двух галактик происходит со скоростью  $v$ , пропорциональной расстоянию  $L$  между этими галактиками:  $V=HL$

Закон связал красное смещение галактик и расстояние до них линейным образом. Используя закон Хаббла можно рассчитать примерный возраст Вселенной. По современным, самым точным оценкам, возраст нашей Вселенной составляет 13,7 млрд. лет.

С этого момента и вплоть до 1998 года классическая модель Фридмана становится доминирующей. Влияние космологической постоянной на итоговое решение изучается, но не придается физический смысл.

1932 год – Ф.Цвикки выдвигает идею о существовании **темной матери** – вещества, не проявляющего себя в виде какого-либо излучения, но участвующего в гравитационном взаимодействии. Но в тот момент идея была встречена скептически. И только в 1975 года она получает второе рождение и становится общепринятой.

В 1946-1949 Г.Гамов, пытаясь объяснить происхождение химических элементов, использует законы ядерной физики. Так возникает теория "**горячей Вселенной**" - теория

Большого Взрыва, а вместе с ней и гипотеза об изотропном реликтовом излучении с температурой в несколько К.

1964 А.Пезиас, Р.Вилсон открывают изотропный источник помех в радиодиапазоне. И только позже выясняется, что это **реликтовое излучение**, предсказанное Гамовым. Теория горячей Вселенной получает подтверждение, а в космологию приходит физика элементарных частиц.

В 1991-1993 в космических экспериментах "Реликт-1" и COBE открыто флуктуации реликтового излучения. Правда нобелевской награды позже удостоится только некоторые члены команды COBE.

В 1998 году по далеким сверхновым типа Ia строится диаграмма Хаббла для больших  $z$ . Выясняется, что Вселенная расширяется с ускорением. А модель Фридмана допускает подобное только при введении антигравитации, описываемой космологической постоянной. Возникает мысль о существовании особого рода энергии, отечественного за это - темной энергии. Появляется современная теория расширения -  $\Lambda$ CDM -модель, включающая в себя как **темную энергию**, так и темную материю.

### §6.7 Модель горячей Вселенной (Теория Большого Взрыва)

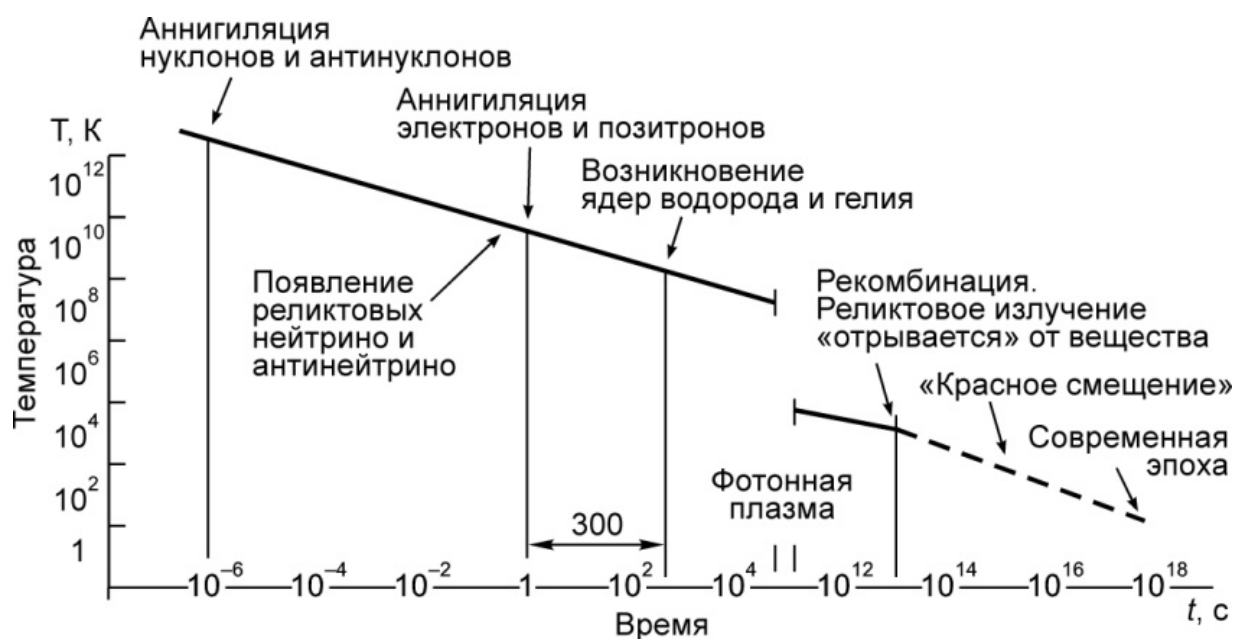
Данная модель выдвинута в 1948 г. Георгием Гамовым. Она описывает расширяющуюся Вселенную из начального состояния бесконечно малых размеров и бесконечно большой плотности и взрывное, замедляющееся во времени расширение при высокой температуре.

Основные этапы развития Вселенной:

1. **Начальное состояние Вселенной – сингулярность**, т.е. сверхплотное состояние вещества ( $10^{93}$  г/см<sup>3</sup>), а размер Вселенной  $10^{-33}$  см. Первоначальный сгусток содержал в себе колоссальную энергию. Энергия (и температура) была столь огромна, что не существовало различия между материей и излучением, все четыре физических взаимодействия были объединены в одно. В основе концепции Большого взрыва лежит предположение о том, что началу эволюции Вселенной ( $t = 0$ ) соответствовало состояние с бесконечной плотностью (сингулярное состояние Вселенной).
2. **Этап Большого Взрыва** – от первоначально сингулярного состояния Вселенная перешла к расширению. В результате образовалась не только материя, но и само пространство-время. В результате расширения и охлаждения во Вселенной произошли фазовые переходы, аналогичные конденсации жидкости из газа, но применительно к элементарным частицам. Доподлинно неизвестно как, из чего образовался первоначальный «сгусток». И откуда взялось такое количество энергии. Тем не менее, огромное радиационное давление внутри этого сгустка привело к необычайно быстрому его расширению – Большому Взрыву. Расширяясь, Вселенная постепенно остывала.
3. **Этап образования элементарных частиц** – в определенный момент температура понизилась до такого значения, которое позволило образоваться элементарным частицам - протонам и нейтронам. При этом одновременно происходило асимметричное образование как материи, которая превалировала, так и антиматерии, которые взаимно аннигилировали, превращаясь в излучение. При очень высоких температурах ( $T > 10$  К,  $t < 10$ с) Вселенная была абсолютно непохожа на то, что мы видим сегодня. В той Вселенной не было ни галактик, ни звезд, ни атомов... Как в

«кипящем котле», в ней непрерывно рождались и исчезали кварки, лептоны и кванты фундаментальных взаимодействий, в первую очередь фотоны.

4. **Этап первичного ядерного синтеза (нуклеосинтеза)** – образование ядер простейших элементов (водорода и гелия). За ним (когда температура еще больше снизилась) последовало образование из ядер полноценных атомов (Через 380 тысяч лет после начала). Теория утверждает, что к исходу пятой минуты на каждые 100 протонов приходилось примерно 15 нейтронов. Именно в это время температура Вселенной упала до  $\sim 10^{10}$  К, и создались условия для образования стабильных ядер, прежде всего ядер водорода (H) и гелия (He). Если пренебречь ядрами других элементов (а они тогда действительно почти не возникали), то с учетом приведенного выше соотношения протонов и нейтронов во Вселенной должно было образоваться  $\sim 70\%$  ядер водорода и  $\sim 30\%$  ядер гелия.
5. **Этап образования атомов.** После образования ядер H и He в течение длительного времени (порядка миллиона лет) во Вселенной почти ничего заслуживающего внимания не происходило. Было еще достаточно горячо, чтобы ядра могли удерживать электроны, так как фотоны тут же их отрывали. Поэтому состояние Вселенной в этот период называют фотонной плазмой. Так продолжалось до тех пор, пока температура не упала до  $\sim 4000$  К, а это случилось через  $\sim 10^{13}$  с или почти через миллион лет после Большого взрыва (см. рис. 10.2). При такой температуре ядра водорода и гелия начинают интенсивно захватывать электроны и превращаться в стабильные нейтральные атомы (энергии фотонов уже недостаточно, чтобы эти атомы разбивать). Астрофизики называют этот процесс **рекомбинацией**. С этого момента электромагнитное излучение начинает свою «самостоятельную жизнь», практически мало взаимодействуя с веществом. Теория предсказывала, что однородный фон этого излучения мы можем обнаружить и сейчас (см. реликтовое излучение ниже).
6. **Этап формирования галактик** – образование и эволюция звезд различных масс, в которых путем различного вида ядерных реакций создавались в разных пропорциях легкие, средние и тяжелые элементы. Образование галактик (огромных звездных скоплений).



## Подтверждения Теории Большого Взрыва

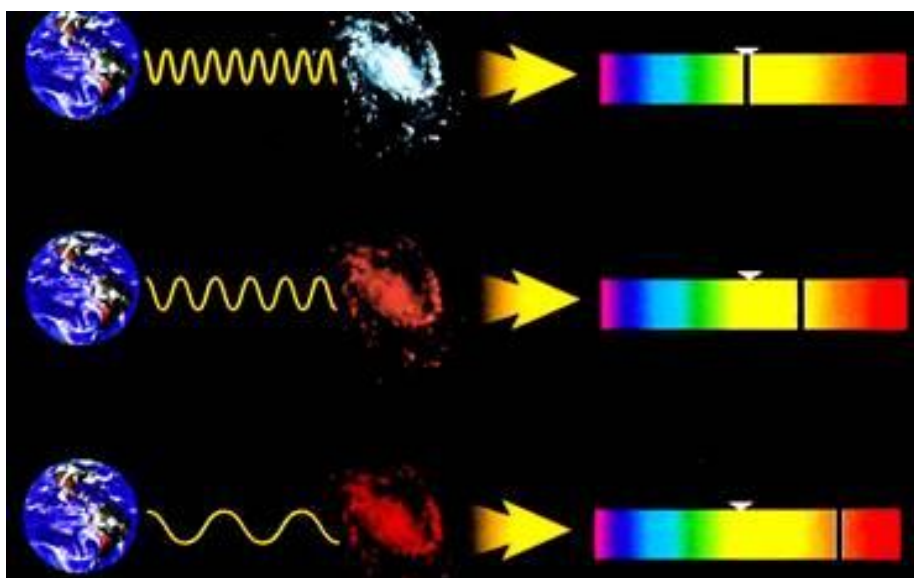
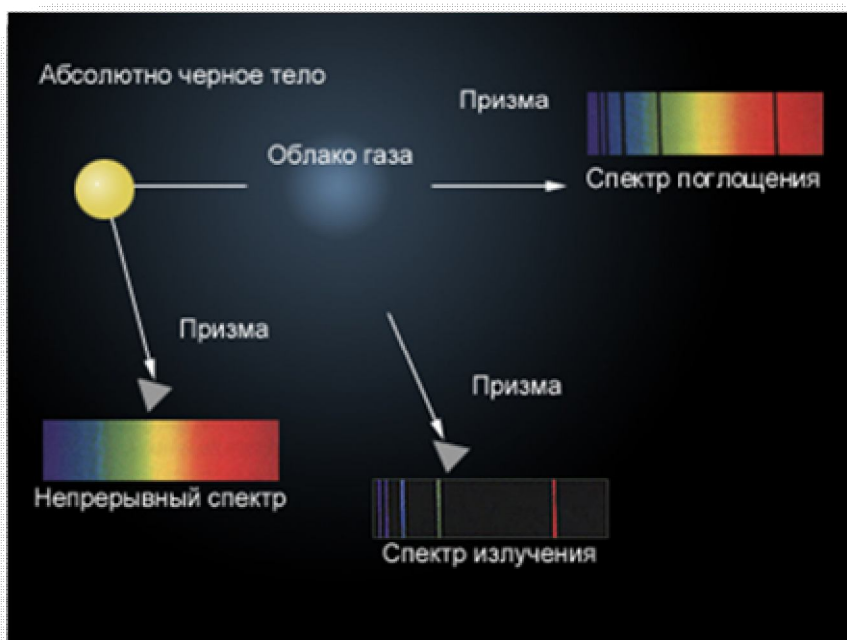
### 1. Расширение Вселенной – разбегание галактик (**красное смещение**).

В 1926 г. Эдвин Хаббл при исследовании спектров излучения далеких галактик открыл красное смещение, т.е. смещение спектральных линий к красному концу спектра как следствие эффекта Доплера.

Явление красного смещения объясняется на основании двух физических явлений:

1. существования спектров излучения и поглощения различных химических элементов и соединений (у каждого соединения – свой уникальный спектр частот поглощаемого и испускаемого электромагнитного излучения);
2. эффекта Доплера (изменение частоты (длины волны) принимаемого излучения при относительном движении источника и приемника излучения друг относительно друга).

Более далекие от нас галактики видятся нам в более красном свете, нежели более близкие. Был открыт факт удаления галактик друг от друга. И чем дальше находится галактика, тем выше скорость удаления. На основании этого факта впоследствии утвердилась модель расширяющейся Вселенной. Вопрос о цикличности расширения и сжатия остается пока открытым.



## 2. Обнаружение реликтового излучения.

Существование реликтового излучения было предсказано Г. Гамовым при разработке теории происхождения химических элементов. РИ связано с существованием первоначального сверхплотного сгустка вещества и излучения. Первоначально РИ обладало огромной энергией, но расширение, и как следствие охлаждение сгустка привели к тому, что излучение «остыло», и энергия квантов уменьшилась. Это фоновое излучение и сейчас существует во Вселенной, но теперь уже в виде радиоволн, микроволн и ИК-излучения. Его длина волны соответствует температуре  $T=2,74\text{K}$ . РИ было открыто в 1965 г. американцами А. Пензиасом и Р. Вильсоном при изучении радиопомех (Нобелевская премия по физике 1978 год) и фактически стало «дымящимся ружьем» Большого Взрыва. После этого открытия число противников теории горячей Вселенной стало стремительно сокращаться.

## Календарь Карла Сагана и возраст Вселенной

13,7 млрд. лет назад случился Большой взрыв, в результате которого Вселенная начала расширяться и расширяется до сих пор. Все временные интервалы в нашем мире — от самых больших до самых маленьких — неизбежно вложены в этот максимальный интервал. Американский астроном Карл Саган предложил календарь, который позволяет наглядно представить себе взаимоотношение разных временных масштабов. Возраст Вселенной приравнен в ней к одному году, а все остальные интервалы пропорционально уменьшены. Вот основные даты этого календаря. Большой взрыв — 1 января  $0^{\text{ч}} 0^{\text{м}} 0^{\text{с}}$ . Образование галактик — 10 января. Образование Солнечной системы — 9 сентября. Образование Земли — 14 сентября. Возникновение жизни на Земле — 25 сентября. Появление бактерий — 9 октября. Первые клетки с ядром — 15 ноября. Дальнейшие события, связанные с развитием жизни на Земле, вынесены в отдельный «декабрьский» блок, расписанный по дням. Заметим, что человек в этом временном масштабе существует только последние полтора «предновогодних» часа. А средняя человеческая жизнь длится чуть больше чем 0,1 секунд.





## DECEMBER

Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday
	1 Образование кислородной атмосферы на Земле	2	3	4	5 Интенсивное извержение вулканов и образование каналов на Марсе	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16 Первые многоклеточные организмы (черви)	17 Конец докембрийского периода. Первые беспозвоночные	18 Первый океанический планктон. Расцвет трилобитов	19 Период ордовика. Первые рыбы, первые позвоночные	20 Силур. Первые споровые растения. Растения завоевывают сушу
21 Начало девонского периода. Первые насекомые. Животные колонизируют сушу	22 Первые амфибии. Первые крылатые насекомые	23 Каменноугольный период. Первые деревья. Первые рептилии	24 Начало пермского периода. Первые динозавры	25 Конец палеозойской эры. Начало мезозойской эры	26 Триасовый период. Первые млекопитающие	27 Юрский период. Первые птицы
28 Меловой период. Первые цветы. Вымирание динозавров	29 Конец мезозойской эры. Первые китообразные. Первые приматы	30 Первые млекопитающие. Расцвет гигантских млекопитающих	31 Начало четвертичного периода. Первые люди	<b>Примечание:</b> Вся зафиксированная история человечества занимает последние 10 секунд 31 декабря; все, что произошло с конца средних веков до настоящего момента, занимает меньше, чем одну секунду		

(из статьи «Сцена для Вселенского спектакля» (журнал «Химия и жизнь» №7, 2006) <http://elementy.ru/lib/430331>)

## Оценки плотности вещества во Вселенной (по Фридману) и дальнейшая эволюция Вселенной:

Из теории Фридмана следует, что возможны различные сценарии эволюции Вселенной: неограниченное расширение, чередование сжатий и расширений и даже тривиальное стационарное состояние. Какой из этих сценариев реализуется, зависит от соотношения между критической и фактической плотностью вещества во Вселенной на каждом этапе эволюции. Для того чтобы оценить значения этих плотностей, рассмотрим сначала, как астрофизики представляют себе структуру Вселенной.

Сценарий развития Вселенной зависит от отношения средней плотности материи (энергии) во Вселенной к некоторой рассчитанной теоретически критической плотности.

$$\rho_{\text{крит}} = \frac{10 \text{ атомов водорода}}{1 \text{ м}^3}$$

- а) если  $\rho_{\text{сред}} < \rho_{\text{крит}}$ , то Вселенная будет неограниченно расширяться (открытая модель);
- б) если  $\rho_{\text{сред}} \approx \rho_{\text{крит}}$ , то расширение Вселенной в будущем прекратится;
- в) если  $\rho_{\text{сред}} > \rho_{\text{крит}}$ , то расширение сменится сжатием (закрытая модель).

Трудности в определении фактической плотности вещества во Вселенной связаны с тем фактом, что «обычного», понятного нам вещества, сконцентрированного в Галактиках, во Вселенной всего порядка 4%.

Порядка 100 млрд. галактик во Вселенной, в каждой порядка сотен млрд. звезд, и это всего 4% вещества во Вселенной. Остальное это, так называемое темное вещество (24%) и темная энергия. И они составляют основную массу (96%).

На данный момент известно, что наша Вселенная расширяется, причем расширяется ускоренно. Есть предположение, что за ускоренное расширение Вселенной отвечает темная энергия, какая-то неизвестная энергия вакуума, создающая антигравитационный эффект, благодаря которому, несмотря на силы тяготения, происходит расширение Вселенной.

Существуют различные космологические модели и концепции, описывающие ранний период жизни Вселенной или ее будущее через миллиарды лет. Так же уже существуют предположения о том, «что происходило» с Вселенной до Большого Взрыва. Но подтверждение или опровержение этих предположений – дело нескорого времени. На данный момент их статус носит скорее гипотетический характер.

### Общая характеристика Вселенной:

Средняя скорость разбегания галактик (постоянная Хаббла)	55км/с
Плотность излучения во Вселенной	$10^9$ фотонов на один нуклон
Число галактик в наблюдаемой части Вселенной	100 млрд.
Расстояние до самой удаленной наблюдаемой обыкновенной галактики	$5 \times 10^9$ свет. лет
Расстояние до самого удаленного наблюдаемого квазара	$12 \times 10^9$ свет. лет
Возраст Вселенной	$13,73 \pm 0,12$ млрд. лет

### §6.8 Рождение и эволюция звезд

**Звезда** — небесное тело, в котором идут, шли или будут идти термоядерные реакции. Но чаще всего звездой называют небесное тело, в котором идут в данный момент термоядерные реакции. Звёзды представляют собой массивные светящиеся газовые (плазменные) шары. Образуются из газовой-пылевой среды (главным образом из водорода и гелия) в результате гравитационного сжатия. Температура вещества в недрах звёзд измеряется миллионами кельвинов, а на их поверхности — тысячами кельвинов. Энергия подавляющего большинства звёзд выделяется в результате термоядерных реакций превращения водорода в гелий, происходящих при высоких температурах во внутренних областях. Звёзды часто называют главными телами Вселенной, поскольку в них заключена основная масса светящегося вещества в природе.

Ближайшей к Земле звездой (не считая Солнца) является Проксима Центавра. Она расположена в 4,2 св. лет от нашей Солнечной системы (4,2 св. лет = 39 Пм = 39 триллионов км =  $3,9 \times 10^{13}$  км).

Невооружённым взглядом (при хорошей остроте зрения) на небе видно около 6000 звёзд, по 3000 в каждом полушарии. Все видимые с Земли звёзды (включая видимые в самые мощные телескопы) находятся в местной группе галактик.

Большинство звёздных характеристик, как правило, выражается в СИ, но также используется и СГС (например, светимость выражается в эргах в секунду). Масса, светимость и радиус обычно даются в соотношении с нашим Солнцем:

солнечная масса:  $M_{\odot} = 1.9891 \times 10^{30}$  кг

солнечная светимость:  $L_{\odot} = 3.827 \times 10^{26}$  Вт

солнечный радиус:  $R_{\odot} = 6.960 \times 10^8$  м

Звезды являются самыми распространенными объектами Вселенной, в них сосредоточено до 97% видимого вещества. Именно в звездах находится тот «плавильный котел», в котором создаются химические элементы. Первые звезды начали образовываться после того, как произошла рекомбинация ядер водорода и гелия с электронами и вещество «отделилось» от излучения. Поэтому исходным материалом, из которого рождались первые звезды, была смесь газов водорода и гелия в соотношении 70:30. В процессе эволюции звезд, о чем речь пойдет далее, в их недрах синтезировались все более тяжелые химические элементы, а при взрывах звезд эти элементы рассеивались в космическом пространстве. Так образовались гигантские газопылевые облака, заполняющие межзвездную среду и состоящие из различных газов, в первую очередь, конечно, из водорода и гелия, а также из атомов других элементов и твердых микроскопических частиц силикатов, графитов и т. п.

Звёзды классифицируют по светимости, массе, температуре поверхности, химическому составу, особенностям спектра (спектральному классу) и кратности.

Звёздные системы могут быть одиночными и кратными: двойными, тройными и большей кратности. В случае если в систему входит более десяти звёзд, то принято её называть звёздным скоплением. Двойные (**кратные**) звёзды очень распространены. По некоторым оценкам более 70 % звёзд в галактике кратные. Так, среди 32 ближайших к Земле звёзд 12 кратных, из которых 10 двойных, в том числе и самая яркая из визуально наблюдаемых звёзд Сириус. В окрестностях 20 парсек от Солнечной системы из более 3000 звёзд, около половины — двойные звёзды всех типов.

## Рождение звезд.

Эволюция звезды начинается в гигантском молекулярном облаке, также называемом звёздной колыбелью. Большая часть «пустого» пространства в галактике в действительности содержит от 0,1 до 1 молекулы на  $\text{см}^3$ . Молекулярное облако же имеет плотность около миллиона молекул на  $\text{см}^3$ . Масса такого облака превышает массу Солнца в 100 000—10 000 000 раз благодаря своему размеру: от 50 до 300 световых лет в поперечнике.

По мере того, как молекулярное облако вращается вокруг какой-либо галактики, несколько факторов могут вызвать гравитационный коллапс. К примеру, облака могут столкнуться друг с другом, или одно из них может пройти через плотный рукав

спиральной галактики. Другим фактором может стать близлежащий взрыв сверхновой звезды, ударная волна которого столкнется с молекулярным облаком на огромной скорости. Кроме того, возможно столкновение галактик, способное вызвать всплеск звёздообразования, по мере того, как газовые облака в каждой из галактик сжимаются и возбуждаются в результате столкновения.

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

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

Очень малая доля протозвёзд не достигает достаточной для реакций термоядерного синтеза температуры. Такие звёзды получили название «коричневые карлики», их масса не превышает одной десятой солнечной. Такие звёзды быстро умирают, постепенно остывая за несколько сотен миллионов лет. В некоторых наиболее массивных протозвёздах температура из-за сильного сжатия может достигнуть 10 миллионов К. Таких температур достаточно для начала ядерных реакций - синтеза гелия из водорода (см. рис – два протона образуют дейтерий D, из ядер дейтерия образуются ядра гелия He3, и после образуются ядра He4). Звезда начинает светиться. Начало термоядерных реакций устанавливает гидростатическое равновесие, предотвращая ядро от дальнейшего гравитационного коллапса (сжатие прекращается). Далее звезда может существовать в стабильном состоянии. В таком состоянии звезда пребывает большую часть своей жизни.

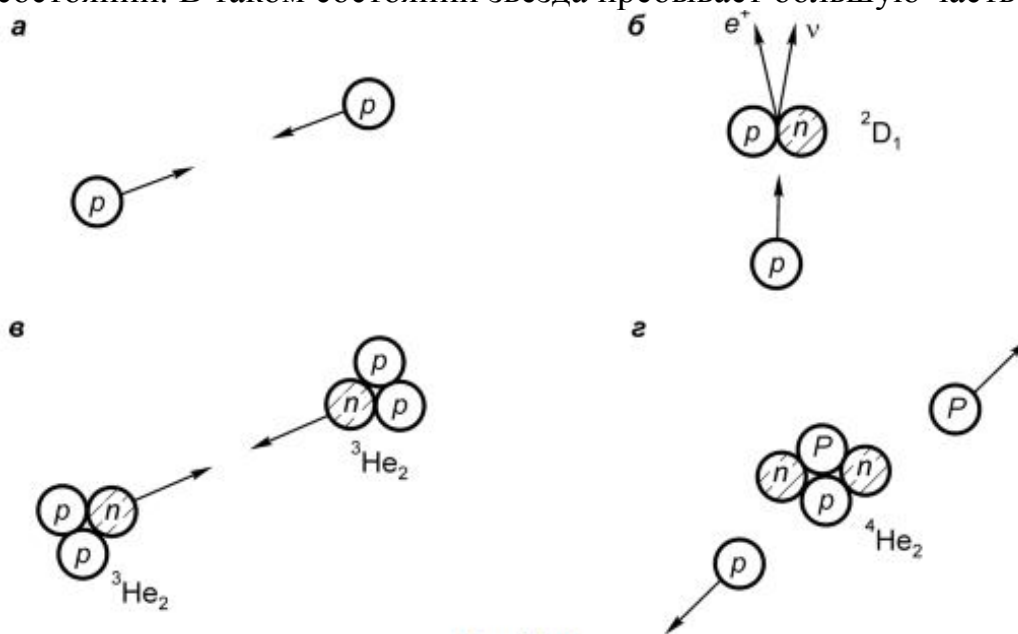


Рис.11.2  
Протон-протонный цикл

### Дальнейшая эволюция звезд.

Звезды — это раскаленные газовые шары, которые «цементируются» силой всемирного тяготения. Если бы не было этой силы, газ бы рассеялся в космическом пространстве. Причем это рассеяние произошло бы достаточно быстро, всего за несколько суток! С другой стороны, если бы на газ, образующий звезду, действовала только сила гравитации, то звезда катастрофически быстро сжалась бы за несколько минут! Таким образом, имеет место точнейшее равновесие между гравитацией и

давлением (на самом деле гравитацией и электромагнитными силами, не позволяющими молекулам вещества «сливаться» друг с другом). Многие миллионы и миллиарды лет длится эта титаническая «борьба» между силами гравитации и давлением, в процессе которой в «топку» звезды поступают все новые и новые порции ядерного горючего.

Если рождение звёзд можно описать единым образом, то дальнейший путь развития звезды почти полностью зависит от массы, и лишь в самом конце может сыграть свою роль химический состав. Реакции протон-протонного цикла с образованием гелия протекают относительно медленно и спокойно, при этом температура в центре звезды плавно возрастает. Например, у нашего Солнца этот период продолжается уже 4,6 млрд лет, а запасов водорода у него должно хватить еще на 10 млрд лет.

Когда в центре звезды весь водород превратится в гелий, термоядерное горение водорода продолжается на периферии гелиевого ядра.

В этот период структура звезды начинает заметно меняться. Её светимость растёт, внешние слои расширяются, а внутренние, наоборот, сжимаются. И до поры до времени яркость звезды тоже понижается. Температура поверхности снижается — звезда становится **красным гигантом**. На ветви гигантов звезда проводит значительно меньше времени, чем на главной последовательности. Когда масса её изотермического гелиевого ядра становится значительной, оно не выдерживает собственного веса и начинает сжиматься; возрастающая при этом температура стимулирует термоядерное превращение гелия в более тяжёлые элементы.

После выгорания водородного топлива звезде становится нечем поддерживать высокую температуру, а значит, она на какое-то время теряет способность сопротивляться гравитационному сжатию. Это сжатие приводит к тому, что температура в центральной области звезды, состоящей теперь преимущественно из ядер гелия и свободных электронов, повышается до ~100 млн К. При такой температуре ядра гелия обладают столь высокой энергией, что при столкновении теперь уже они могут сближаться до расстояний, при которых происходят сильные взаимодействия. При слиянии ядер гелия возникают прежде всего ядра углерода  $^{12}\text{C}$ , при этом высвобождается энергия, которая поддерживает температуру звезды. Когда запасы гелия также полностью исчерпаются, звезда вновь сжимается под действием гравитационных сил, центральные области нагреваются до еще более высокой температуры и из ядер углерода, а также оставшихся ядер гелия возникают более тяжелые элементы. Последовательное «сжигание» легких ядер и рост температуры центральной области звезды продолжается и далее, пока не возникают стабильные ядра. К их числу, в частности, принадлежат ядра железа.

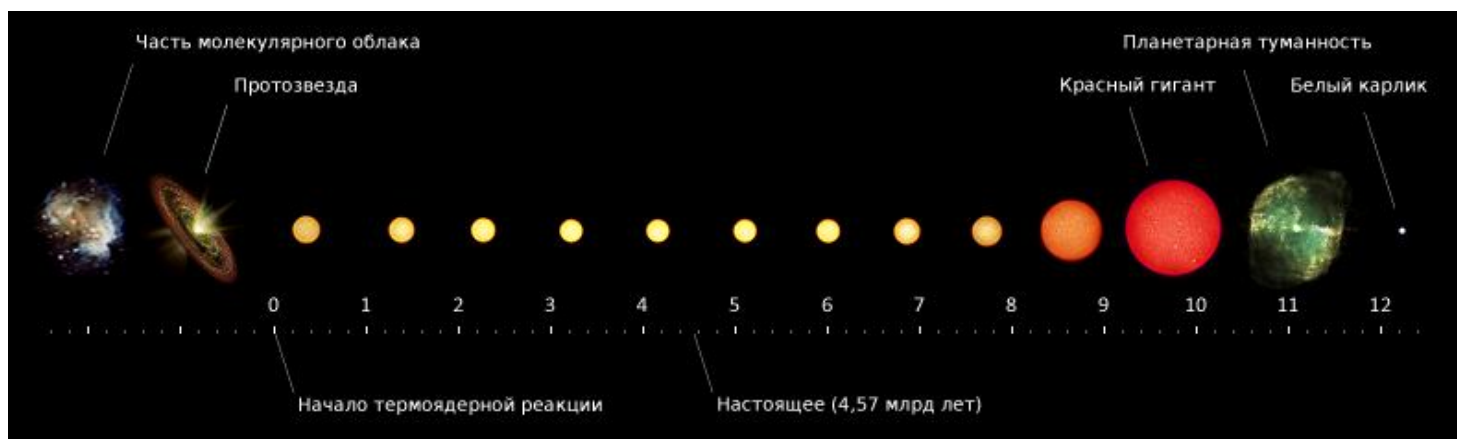
В то время как внешние слои звезды постепенно расширяются, ее центральная часть становится все плотнее и плотнее под действием сил гравитационного сжатия. Размер атмосферы звезды увеличивается ещё больше, и она начинает интенсивно терять газ в виде разлетающихся потоков звёздного ветра. Судьба центральной части звезды полностью зависит от её исходной массы: ядро звезды может закончить свою эволюцию как белый карлик (маломассивные звёзды), в случае, если её масса достаточно велика — как нейтронная звезда (пульсар), если же масса очень велика — как чёрная дыра. В двух последних случаях завершение эволюции звёзд сопровождается катастрофическими событиями — вспышками сверхновых.

Именно во время катастрофических взрывов звезд образуются тяжелые химические элементы (элементы тяжелее железа). Во время вспышек сверхновых происходят выбросы вещества в космическое пространство. При этом возникают столь

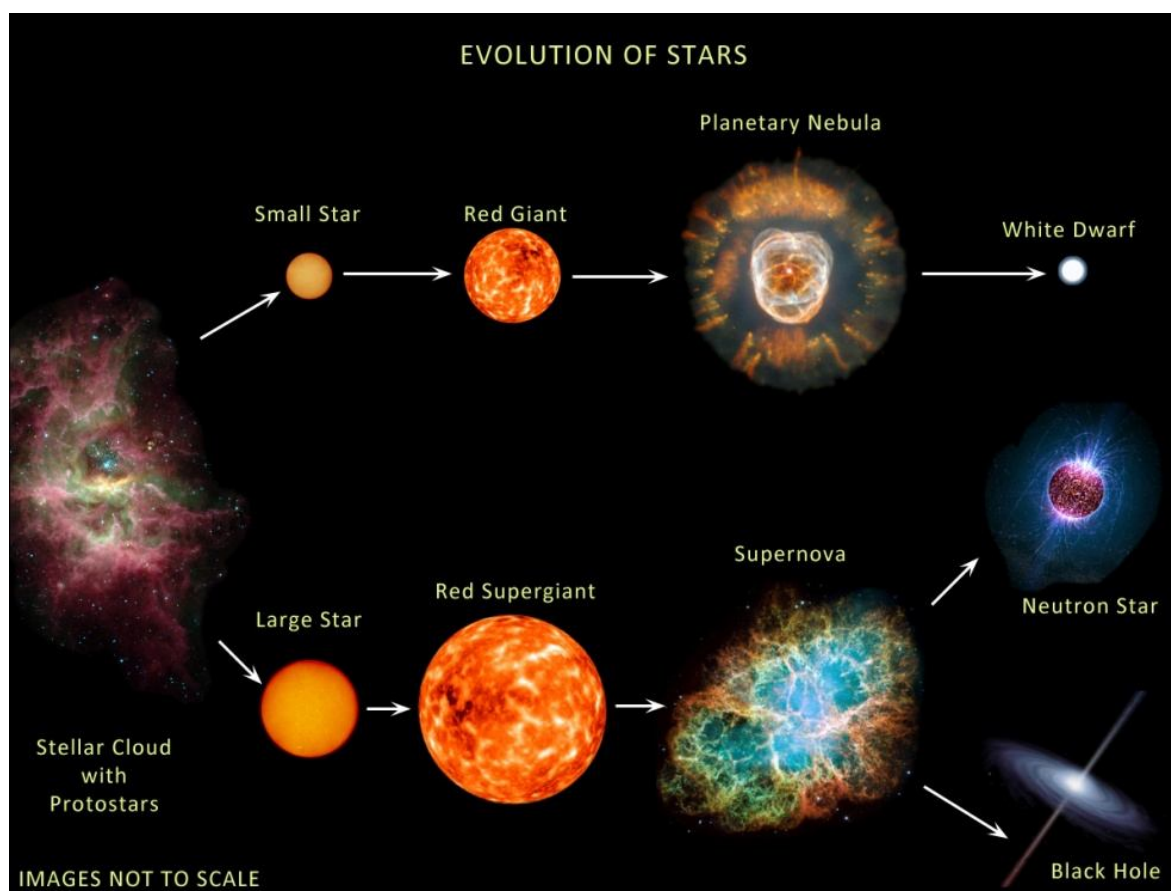
большие давления, что ядра химических элементов вдавливаются друг в друга. Именно так образуются ядра элементов, тяжелее железа, которыми обогащается межзвездное пространство. Предполагается, что вещество нашей Галактики уже прошло по меньшей мере одну или две переплавки в недрах каких-то звезд. Светимость взрывающейся звезды резко возрастает.

- Подавляющее большинство звёзд, и Солнце в том числе, заканчивают эволюцию, сжимаясь до тех пор, пока давление внутренней части не уравнивает гравитацию. В этом состоянии, когда размер звезды уменьшается в сотню раз, а плотность становится в миллион раз выше плотности воды, звезду называют **белым карликом**. Она лишена источников энергии и, постепенно остывая, становится тёмной и невидимой.
- У звёзд более массивных, чем Солнце ( $>1,4$  массы Солнца), внутреннее давление не может сдержать сжатие ядра, и оно продолжается до тех пор, пока большинство частиц не превратится в нейтроны, упакованные так плотно, что размер звезды измеряется километрами, а плотность в 280 трлн. раз превышает плотность воды. Такой объект называют **нейтронной звездой**; его равновесие поддерживается давлением вырожденного нейтронного вещества. Из-за особенностей своего строения нейтронные звезды испускают узконаправленное электромагнитное излучение, поэтому в момент их открытия их прозвали **пульсарами**. Выделяется огромная гравитационная энергия — наступает гигантский взрыв. За несколько секунд выделяется энергия  $10^{45}$  Дж, то есть больше, чем за всю предшествующую жизнь. Температура мгновенно достигает невообразимой величины  $10^{11}$  К. Такой катастрофический процесс называется взрывом сверхновой звезды. При этом большая часть массы звезды выбрасывается в космическое пространство со скоростью 1000–5000 км/с. Выброшенное вещество содержит тяжелые элементы, образовавшиеся в момент взрыва. В течение нескольких суток сверхновая звезда испускает больше света, чем целая галактика. Под действием такого взрыва электроны вдавливаются в атомные ядра, сливаются с протонами и образуют нейтроны. Мощные потоки нейтрино охлаждают ядро звезды и превращают ее в нейтронную звезду — своеобразное гигантское атомное ядро с поперечником в десяток километров. В летописях зафиксированы несколько событий, которые можно трактовать как взрыв сверхновой звезды: 4 июля 1054 г., 5 ноября 1572 г., 9 октября 1604 г. После первого из упомянутых взрывов образовалась расширяющаяся Крабовидная туманность в созвездии Тельца. В центре этой туманности находится быстро вращающаяся нейтронная звезда.
- У звёзд более массивных, чем предшественники нейтронных звёзд ( $>2,5$  массы Солнца), ядра испытывают полный гравитационный коллапс. По мере сжатия такого объекта сила тяжести на его поверхности возрастает настолько, что никакие частицы и даже свет не могут её покинуть, — объект становится невидимым. В его окрестности существенно изменяются свойства пространства-времени; их может описать только общая теория относительности. Такие объекты называют чёрными дырами. Фактически черная дыра — это такой объект, для которого вторая космическая скорость превышает скорость света, а значит, ни вещество, ни излучение не могут покинуть этот объект. Теория черных дыр была разработана более 60 лет назад. Однако теоретические исследования последних лет показали, что эти объекты не абсолютно «черны». Поверхность черных дыр должна испускать электромагнитные волны. В результате этого излучения черная дыра теряет массу и,

В конце концов, заканчивает свое существование взрывом — вспышкой в спектральном диапазоне жесткого гамма-излучения.



**Эволюция Солнца**



**Эволюция звезд**

*рекомендуемые источники*

1. Кожевников Н.М. Концепции современного естествознания.
2. В.Г. Сурдин, С.А. Ламзин. Протозвезды. Где и из чего формируются звезды.  
<http://www.astronet.ru/db/msg/1191265/index.html>
3. Айзек Азимов. Земля и космос. От реальности к гипотезе
4. Стивен П. Маран. Астрономия для чайников

<http://heritage.stsci.edu> – фотографии с телескопа Хаббл в очень хорошем разрешении.

<http://astronet.ru> – Российская астрономическая сеть. Крупнейший портал по астрономии, где можно узнать про любые астрономические явления, события, задать вопросы компетентным людям.