Введение.

Идея эволюции всей Вселенной представляется вполне естественной и даже необходимой сегодня. Однако так было не всегда. Как и всякая великая научная идея, она прошла сложный путь борьбы и становления, пока не восторжествовала в науке. Сегодня эволюция Вселенной является научным фактом, всесторонне обоснованным многочисленными астрофизическими наблюдениями и имеющими под собой прочный теоретический базис всей физики.

Научная физическая космология может считаться детищем XX века. Только в прошлом веке Альбертом Эйнштейном была создана релятивистская теория тяготения (общая теория относительности), которая является теоретическим фундаментом науки о строении Вселенной.

С другой стороны, успехи наблюдательной астрономии начала прошлого века – установление природы галактик открытие закона красного смещения Хаббла, а в последние годы успехи радиоастрономии, новые методы физических исследований, включая методы исследований с помощью космических аппаратов, создали наблюдательный фундамент космологии.

Началом современного этапа развития космологии является работа ученого А.А. Фридмана, выполненные в 1922-1924 г.г. На основе теории Эйнштейна он построил математические модели движения вещества во всей Вселенной под действием сил тяготения. Фридман доказал, что вещество Вселенной не может быть стационарной; она должна либо сжиматься, либо расширяться и, следовательно, плотность вещества во Вселенной должна либо уменьшаться, либо увеличиваться.

Так теоретически открыта необходимость глобальной эволюции Вселенной.

1. Крупномасштабная однородность и изотопия Вселенной.

Любые попытки построения модели окружающего нас мира начинаются, конечно, с осмысливания наблюдений.

Что представляет собой наблюдаемая нами Вселенная?

До последнего времени астрономы могли наблюдать непосредственно лишь светящиеся тела, т.е. звезды, светящийся газ, звездные системы.

В сравнительно небольших масштабах звезды распределены в пространстве совершенно неравномерно. Это стало ясно с того времени, когда поняли, что Млечный Путь является гигантским скоплением звезд – Галактикой. По мере того, как сила телескопов возрастала и совершенствовались методы астрофизических исследований, выяснилось, что галактик много, что они распределены неравномерно, и что общая картина Вселенной представляется совокупностью отдельных скоплений галактик. Размеры скоплений и количество галактик в них бывают весьма различны. Большие скопления содержат тысячи галактик и имеют размеры в несколько мегапарсек (1пк=3,1\*1018см, 1Мпк=106пк). Среднее расстояние между большими скоплениями около 30 Мпк, т.е. примерно в 10 раз больше, чем размеры скоплений. Это означает, что средняя плотность каждой структурной единицы в 100-1000 раз больше, чем та плотность, которая бы получилась, если бы все вещество равномерно «размазать» по всему пространству. Имеются и более крупные сгущения – сверхскопления. Таким образом, в масштабе 30 Мпк имеются отдельные структурные единицы, и, следовательно, Вселенная неоднородна. Если взять в 10 раз больший масштаб, то в таком кубе, где бы его не помещать, будет примерно и то же количество скоплений галактик (примерно около 1000), т.е. в большом масштабе Вселенная приблизительно однородна. Пока исследовались скопления галактик с помощью оптических телескопов, мы не очень хорошо представляли их распределение в пространстве.

Точность оптических методов определений распределения галактик в пространстве не слишком велика и утверждение о том, что мир в среднем однороден, имело точность около 10-20%. За последние полвека появились новые методы исследования крупномасштабной однородности и изотопии (так называют независимость свойств от направления в пространстве) Вселенной. Они связаны в первую очередь с измерением так называемого реликтового радиоизлучения, приходящего к нам с огромных расстояний. Самые точные сегодняшние измерения не обнаружили отклонений в интенсивности такого излучения в разных направлениях на небе с относительной точностью в 10-14 / 10-5. Это свидетельствует о том, что свойства Вселенной одинаковы по всем направлениям, т.е. что Вселенная изотопна с высокой точностью. Но эти наблюдения свидетельствуют также и о том, что Вселенная с высокой точностью однородна. Отклонения в плотности распределения вещества до среднего значения в масштабах 1000 Мпк не превышает трех процентов, а в больших масштабах эти отклонения еще существенно меньше.

Таким образом, важнейшей наблюдаемой особенностью Вселенной является неоднородность, структурность в малом масштабе и однородность в большом масштабе.

В масштабах сотни мегапарсек вещество Вселенной можно рассматривать как однородную непрерывную среду, «атомами» которой являются галактики, скопления галактик или даже сверхскопления.

В 19 веке делались попытки построения так называемых иерархических моделей Вселенной. Согласно таким моделям во Вселенной имеется бесконечная последовательность систем все более высокого порядка: звезды объединены в галактики, галактики в скопления галактик, скопления образуют сверхскопления и т.д. до бесконечности. Наблюдения опровергают такое предположение.

При рассмотрении крупномасштабной структуры Вселенной надо исходить из свойств ее однородности и изотопии.

1. Теория предсказывает нестационарность Вселенной.

Посмотрим, к каким выводам ведет факт однородного распределения вещества во Вселенной.

Важнейшей силой, действующей в мире небесных тел, является сила всемирного тяготения.

Закон, управляющий этой силой, был установлен И. Ньютоном в XVII веке.

Теория тяготения Ньютона и ньютоновская механика явились величайшим достижением естествознания. Они позволяют описать с большой точностью обширный круг явлений, в том числе движение естественных и искусственных тел в Солнечной системе, движения в других системах небесных тел: в двойных звездах, в звездных скоплениях, в галактиках.

На основе теории тяготения Ньютона были сделаны предсказания существования неизвестной ранее планеты Нептун, предсказания существования спутника Сириуса и многие другие предсказания, впоследствии блестяще подтвердившиеся. В настоящее время закон Ньютона является фундаментом, на основании которого в астрономии вычисляются движения и строение небесных тел, их эволюция, определяются массы небесных тел. Однако в некоторых случаях, когда поля тяготения становятся достаточно сильными, а скорости движения в них приближаются к скорости света, тяготение уже не может быть описано законом Ньютона. В этом случае надо пользоваться релятивистской теорией тяготения, созданной А. Эйнштейном в 1916 г.

Необходимость выхода за рамки ньютоновской теории тяготения в космологической проблеме была осознана давно, задолго до создания Эйнштейном новой теории. Но оказывается, что и теория тяготения Эйнштейна, и теория тяготения Ньютона обладают одной важной особенностью, которая позволяет выяснить важнейшее свойство модели Вселенной, не прибегая к сложной теории Эйнштейна, а пользуясь исключительно теорией Ньютона.

Итак, вернемся к общему важному свойству теорий Эйнштейна и Ньютона.

Дело в том, что сферически- симметричная материальная оболочка не создает никакого гравитационного поля во внутренней полости. Покажем это в случае теории Ньютона.

Рассмотрим материальную сферу (рисунок 1).

# В

# А

Рис.1 Силы тяготения, с которыми площадки А и В притягивают тело *т,* равны по величине и противоположны по направлению.

Сравним силы тяготения, которые тянут тело массы *т* (находящейся в произвольной точке внутри сферы) в противоположные стороны *А* и *В*. Направление линии *АВ*, проходящей через *т*, произвольно.Эти силы создаются веществом, расположенным на участках сферы, вырезанных узкими конусами с одинаковыми углами при вершине. Площади площадок, вырезаемых этими узкими конусами, пропорциональны квадратам высот этих конусов. Значит, площадь Sa площадки *А* относится к площади Sb площадки *В* как квадраты расстояний ra и rb от *т* до поверхности:

Sa / Sb= ra2/ rb2 (1)

Но так как масса считается равномерно распределенной по поверхности сферы, то для масс площадок получаем то же отношение:

Мa / Мb= ra2/ rb2  (2)

Теперь можно вычислить отношение сил, с которыми площадки притягивают тело. Сами силы записываются согласно закону Ньютона следующим образом:

FA= GMa m/ ra2 , FB= GMb m/ rb2  (3)

Их отношение есть FA/ FB = Ma ra2/ Mb rb2 (4)

Подставляя в (4) вместо Ma/ Mb его значение из (2), находим

FA/ FB =1, FA= FB . (5)

Следовательно, силы равны по абсолютной величине, направлены в противоположные стороны и уравновешивают друг друга. То же можно повторить и для любых направлений. Значит, все противоположно направленные силы уравновешены и регулирующая сила, действующая на *т,* равна нулю. Точка, в которой расположено тело *т*, произвольна. Следовательно, внутри сферы действительно нет сил тяготения.

Теперь обратимся к рассмотрению сил тяготения во Вселенной. В предыдущем пункте было выяснено, что в больших масштабах распределение вещества во Вселенной можно считать однородным. Везде рассматриваются только большие масштабы, поэтому вещество считается однородным.

Выделим мысленно в этом веществе шар произвольного радиуса с центром в произвольной точке (рис.2).

A

O

R

Рис.2 Сила тяготения, с которой Галактика А, расположенная на поверхности шара произвольного радиуса R, притягивается к центру шара О, определяется только суммарной массой вещества шара и не зависит от вещества, находящегося вне шара.

Рассмотрим сначала силы тяготения, создаваемые на поверхности этого шара только веществом самого шара, и не будем пока рассматривать все остальное вещество Вселенной. Пусть радиус шара выбран не слишком большим, так что поле тяготения, создаваемое веществом шара, относительно слабо и применима теория Ньютона для вычисления силы тяготения. Тогда галактики, находящиеся на граничной сфере, будет притягиваться к центру шара с силой, пропорциональной массе шара М и обратно пропорциональной квадрату его радиуса R.

Теперь вспомним о всем остальном веществе Вселенной вне шара, и попытаемся учесть силы тяготения, им создаваемые. Для этого будем рассматривать последовательно сферические оболочки все большего и большего радиуса, охватывающие шар. Но выше мы показали, что сферически-симмертичные слои вещества никаких гравитационных сил внутри полости не создают. Следовательно, все эти сферически-симметричные оболочки (т.е. все остальное вещество Вселенной) ничего не добавят к силе притяжение, которое испытывает Галактика А на поверхности шара к его центру О.

Итак, можно вычислить ускорение одной галактики А по отношению к галактике О. Мы приняли О за центр шара, а галактика А находится на расстоянии R от О. Это ускорение обусловлено тяготением только вещества шара радиусом R. Согласно закону Ньютона оно есть:

A= - (GM/R2). (6)

Знак минус означает, что ускорение соответствует притяжению, а не оттягиванию.

Итак, любые две галактики, находящиеся в однородной Вселенной на расстоянии R, испытывают относительное ускорение (отрицательное) *а*, даваемое формулой 6. Это и означает, что Вселенная должна быть нестационарной. Действительно, если бы мы представили, что в некоторый момент времени галактики покоятся, не движутся и плотность вещества во Вселенной не меняется, то в следующий момент галактики получили бы скорости под действием взаимного тяготения всего вещества, так как имеется ускорение тяготения, даваемое формулой 6.

Итак, покой галактик друг относительно друга возможен только лишь на мгновение. В общем же случае галактики должны двигаться – они должны удаляться или сближаться, радиус шара R должен меняться со временем, плотность вещества должна также изменяться со временем.

Вселенная должна быть нестационарной, ибо в ней действует тяготение – таков основной вывод теории. Этот вывод был получен А.А. Фридман на основе релятивистской теории тяготения в 1922- 1924 г.г. Значительно позже, в середине тридцатых годов, Э. Мили и В. Маккри обратили внимание на то, что вывод о нестационарности однородной Вселенной может быть получен из ньютоновской теории по схеме, приведенной здесь.

Как конкретно должны двигаться галактики, как должна меняться плотность, будет ли происходить расширение или сжатие?

Это зависит не только от сил тяготения, управляющих движением. Эти силы дают ускорение, а точнее, торможение (знак минус в формуле 6), т.е. показывают, как будет меняться скорость со временем. Если задать в некоторый момент покой галактик, то в последующие моменты галактики начнут сближаться, Вселенная будет сжиматься. Если задать в начальный момент скорости галактик так, чтобы они удалялись друг от друга, то мы получим расширяющуюся модель Вселенной, расширение которой тормозится тяготением. Величину скорости в некоторый момент теория тяготения сама дать не может, ее можно получить из наблюдений.

1. Открытие расширения Вселенной.

Далекие звездные системы – галактики и их скопления являются наибольшими известными астрономам структурными единицами Вселенной. Они наблюдаются с огромных расстояний и именно изучение их движений послужило наблюдательной основой исследования кинематики Вселенной. Для далеких объектов можно измерить скорость удаления или приближения, пользуясь эффектом Доплера. Напомним, что согласно этому эффекту у приближающегося источника света все длины волн, измеренные наблюдателем, уменьшены, смещены к фиолетовому концу спектра, а для удаляющегося источника – увеличены, смещены к красному концу спектра. Величина смещения обозначается буквой *z* и определяется формулой:

Z = λнабл.- λизл/ λизл= *v/c.* (7)

Эта формула справедлива для скоростей *v*, много меньших скорости света *с*, когда применима механика Ньютона. При скоростях, близких к световой, формула усложняется, но мы сейчас на этом останавливаться не будем, ибо будем рассматривать скорости, малые по сравнению со световой.

Измеряя смещение спектральных линий в спектрах небесных тел, астрономы определяют их приближение или удаление, т.е. измеряют компоненту скорости, направленную по «лучу зрения». Поэтому скорости, определенные по спектральным измерениям, носят название лучевых скоростей.

Пионером измерения лучевых скоростей у галактик был в начале прошлого века американский астрофизик В.М. Слайфер. В то время еще не были известны расстояния до галактик и велись ожесточенные споры, находятся ли они внутри нашей звездной системы – Галактики – или далеко за ее пределами. Слайфер обнаружил, что большинство галактик удаляются от нас и скорости удаления огромны: от 2-3 сотен до 1100 км/с. Приближались к нам только несколько галактик. Как выяснилось позже, Солнце движется вокруг центра нашей Галактики со скоростью около 250 км/с и большая часть «скоростей приближения» этих нескольких ближайших галактик связаны именно с тем, что Солнце сейчас движется к этим объектам.

Итак, галактики, согласно Слайферу, удалялись от нас. Линии в их спектрах были смещены к красному концу. Это явление получило название «красного смещения». В двадцатые годы были измерены расстояния до галактик. Это удалось сделать с помощью пульсирующих звезд, меняющих свой блеск – цефеид.

Эти переменные звезды обладают замечательной особенностью. Количество света, излучаемое цефеидой, – ее светимость и период изменений светимости вследствие пульсаций тесно связаны. Зная период, можно вычислить светимость. А это позволяет вычислить расстояние до цефеиды. Действительно, измерив период пульсаций по наблюдениям изменения блеска, определяем светимости цефеиды. Затем измеряется видимый блеск звезды. Видимый блеск 0обратно пропорционален квадрату расстояния до цефеиды. Сравнение видимого блеска со светимостью позволяет найти расстояние до цефеиды.

Цефеиды были открыты в других галактиках. Расстояние до этих цефеид, а значит, и до галактик, в которых они находятся, оказались гораздо большими, чем размер нашей собственной Галактики. Тем самым было окончательно установлено, что галактики – это далекие звездные системы подобные нашей.

Для установления расстояний до галактик, помимо цефеид, уже в первых работах использовались и другие методы. Одним из таких методов является использование ярчайших звезд в галактике, как индикатора расстояний. Ярчайшие звезды, по-видимому, имеют одинаковую светимость и в нашей Галактике и в других галактиках, и по этой «стандартной» величине можно определять расстояние. Но ярчайшие звезды имеют большую светимость, чем цефеиды, могут быть видны с больших расстояний и являются, таким образом, более мощным индикатором расстояний.

Расстояния до целого ряда галактик были определены американским астрономом Э. Хабблом.

Сравнение расстояний до галактик со скоростями их удаления (скорости были определены еще Слайфером и другими астрономами и только исправлялись за счет учета движения Солнца в Галактике) позволило Э. Хабблу установить в 1929 г. Замечательную закономерность: чем дальше галактика, тем больше скорость ее удаления от нас. Оказалось, что существует простая зависимость между скоростью удаления галактики и расстоянием от неё:

V=HR (8)

Коэффициент пропорциональности Н называют теперь постоянной Хаббла.

График зависимости скоростей удаления галактик от их расстояний, на основе которого Хаббл вывел свой закон, представлен на рисунке 3.

**1000**

С

К

О

Р

О

С

Т

Ь

Км/с

1. рис. 3 Полученная зависимость Хаббла.

**1**

**2**

**500**

**500**

**0**

**0**

Расстояние, Мпк

Согласно этому графику постоянная Хаббла равна приблизительно Н ≈ 500 км/(с х Мпк). Со времени этого открытия незримо возросла мощность астрономических исследований, и эти исследования подтвердили Закон Хаббла (8) – закон пропорциональности скорости удаления галактик их расстоянию. Однако, оказалось, что величина коэффициента пропорциональности Н была сильно завышена. Согласно современным оценкам величина Н почти в десять раз меньше.

Это открытие показывало, что галактики удаляются от нас во все стороны и скорость этого удаления прямо пропорциональна расстоянию.

Этот факт вызывает невольно удивление: почему именно от нас, от Галактики происходит разбегание других галактик. Неужели мы находимся в центре Вселенной?

Этот вывод неправилен. Дело в том, что галактики удаляются не только от нашей Галактики, но и друг от друга. Если бы мы находились в другой галактике, то видели бы точно такую же картину разбегания, как и из нашей звездной системы. Чтобы понять это, обратимся к рисунку 4.

Рис.4 Картина удаления галактик, как ее видит наблюдатель из А и картина удаления галактик, как ее видит наблюдатель из Б.

Пусть мы находимся в галактике А и рассматриваем ее как неподвижную (рис.4 а). Рассмотрим сначала галактики, находящиеся на одной прямой линии. Галактики В, С, ... удаляются от нас направо со все возрастающими скоростями. Галактики D, E, ... удаляются от нас налево. Перейдем из галактики А в галактику В и будем ее считать неподвижной (рис.4, б). Теперь, чтобы определить скорости всех галактик относительно В, надо вычесть из скоростей изображенных на рис.4, а, величину скорости галактики В.

Теперь А удаляется от В налево с той же скоростью, что и на рис.4 а, В удалялась направо от А. Галактика D удаляется с удвоенной скоростью и т.д. Удаление же С происходит относительно В с меньшей скоростью, чем относительно А, но она и ближе к В. В целом картина удаления галактик от В такая же – скорости пропорциональны расстоянию как и от А. Для простоты мы рассматривали галактики на одной прямой линии, но легко понять, что и в общем случае вывод остается прежним: с точки зрения наблюдателя в любой галактике картина выглядит так, как будто галактики разбегаются именно от него.

Действительно, после перехода в галактику В для получения картины движения всех остальных галактик по отношению к ней необходимо вычесть из скоростей галактик на рис.4, а, векторно скорость галактики В. В результате получим картину рис.4, б.

Вероятно, можно еще проще убедиться в том, что картина расширения, связанная с законом Хаббла, представляется одинаковой для наблюдателя, находящегося в любой точке пространства. Возьмем однородный шар и затем увеличим его размеры вдвое, так, чтобы шар оставался по-прежнему однородным. Ясно, что при этом расстояния между любыми парами точек внутри шара увеличиться вдвое, как бы не выбирали эти точки. Значит, при раздувании шара, где бы наблюдатель ни находился внутри него, он будет видеть одинаковую картину удаления от него всех точек внутри шара. Если взять шар неограниченно большого размера, то мы и получим картину, описанную выше, не зависящую от положения наблюдателя.

1. Расширение Вселенной в прошлом: начало расширения.

Как меняется расширение Вселенной с течением времени?

Снова, как в пункте 2, выделим мысленно в однородном веществе Вселенной шар. Будем следить за изменением размеров этого шара, поверхность которого проходит через одни и те же галактики. Расширение управляется законом всемирного тяготения. Ускорение (отрицательное, т.е. замедление), которое испытывают галактики на поверхности шара, описывается формулой (6)

А ═ – GM/R2

Эта формула позволяет вычислить точную зависимость радиуса шара от времени. Проследим эту зависимость качественно.

Во-первых, отметим следующую важную особенность ускорения, описанного выше. Выразим массу шара М через плотность вещества ρ и объем шара 4/3 πR3, и подставим в формулу для ускорения. В результате получим

а = -4/3 π G ρ R . (7)

Это уравнение показывает, что ускорение а прямо пропорционально расстоянию. Итак, в настоящий момент времени и скорости удаления галактик и ускорение (замедление) пропорциональны расстоянию. Но если пропорциональна расстоянию и скорость и ее изменение, то, значит, в моменты времени следующие за настоящим, также сохранится пропорциональность скорости расстоянию. Таким образом, в модели Фридмана всегда скорости разбегания галактик пропорциональны расстоянию, только коэффициент пропорциональности меняется с течением времени. Расширение тормозится, и раньше этот коэффициент был больше. Подобным же образом меняется расстояние между любыми двумя далекими галактиками во Вселенной. Только в соответствии с тем, больше это расстояние сегодня, чем радиус шара R, или меньше, график должен быть подобным образом увеличен или уменьшен. Такие графики изображены на рисунке 5.

Рис.5 Изменение с течением времени расстояния между галактиками. Разные кривые соответствуют разным галактикам: t0 – сегодняшний момент, О – начало расширения

расстояние

0

T0

Время

В прошлом радиус шара R был меньше. Кривая изогнута в соответствии с тем, что расширение происходит с замедлением силами тяготения. Штриховой линией на рисунке 5 изображены графики для других галактик, расстояние до которых сегодня больше или меньше, чем радиус R сегодня. Они отличаются от первого графика тем, что вертикальные расстояния умножены или разделены на одно и то же число. Самой важной особенностью графиков является то, что в некоторый момент времени в прошлом все расстояния обращались в нуль. Это был момент начала расширения Вселенной. Как давно это было? Как далеко точка О на рисунке 5 от точки Т0? Ответ зависит от скорости расширения сегодня (от постоянной Хаббла Н), т.е. от наклона кривой на рисунке 5 в сегодняшний момент, и от изогнутости кривой. Последняя определяется ускорением тяготения, т.е. по формуле 7 определяется плотностью материи во Вселенной. Если бы тяготение не замедляло расширение (допустим, плотность вещества исчезающе мала и замедлением а можно пренебречь), то галактики разлетались бы по инерции с постоянной скоростью. Вместо искривленных линий мы получим картину прямых линий рис. 8. В этом случае время, протекшее с начала расширения, определяется только постоянной Хаббла и равно   
Т = 1/Н ≈1/75 км/(c\*Мпк) = 13\* 109 лет. (8)

Возможные неопределенности в значении Н составляют 50 км/(c\*Мпк)‹ Н ‹ 75 км/(c\*Мпк). Это ведет к неопределенности времени t:

10\*109 лет ‹ t ‹ 20\*109 лет. (9)

Из-за конечного значения плотности вещества во Вселенной имеются силы тяготения, тормозящие расширение и несколько уменьшающие t (см. пунктирную кривую на рис. 6).

Рис.6 То же, что и на рисунке 6, при исчезающе малой плотности вещества во Вселенной. Для сравнения пунктиром дана кривая, которая на рис.5 была изображена сплошной линией.

К сожалению, величина средней плотности Вселенной определена не точно. Сравнительно легче учесть вещество, входящее в галактики. Массы галактик определяются по движению звезд и других светящихся объектов в них. Если известны скорости и размеры галактик, то масса вычисляется на основе ньютоновской механики и закона тяготения. Зная число галактик, находящихся в единице объема пространства и их массы, можно вычислить среднюю плотность материи во Вселенной, входящей в галактики. Плотность этого вещества, усредненная по всему объему, составляет примерно

ρ ≈ 3\*10-31г/см3. Но в пространстве между галактиками можно встретить вещество, которое очень трудно обнаружить, так как оно практически не излучает и не поглощает свет. Это может быть, например ионизированный газ между галактиками, слабо светящиеся или потухшие звезды. Наконец во Вселенной может быть много нейтрино – частицы, которые очень трудно реагируют с другими веществами, и поэтому их очень трудно обнаружить. Возможно также наличие гравитационных и других полей, предсказанных теорией Эйнштейна. Есть между галактиками и другие виды материи. Учесть их все крайне сложно. Наиболее вероятные пределы, в которых заключено значение средней плотности всех видов материи, есть 5\*10-29г/см3-3\*10-31 г/см3. При указанной плотности тяготение очень мало влияет на оценку t , приведенную выше. Таким образом, момент начала расширения Вселенной отстоит от настоящего момента на 10-20 миллиардов лет. Любопытно, что возраст Земли, определенный по радиоактивному распаду веществ, равен 5\*109 лет. Используя возраст Земли, советские физики Я.Б. Зельдович и Я.А. Смородинский дали верхний предел плотности для всех трудно наблюдаемых форм материи во Вселенной. Дело в том, что возраст Земли заведомо меньше времени, прошедшего с начала расширения. А если так, то максимальная изогнутость кривой на рис. 6 может быть такой, что точка начала расширения как раз соответствует возрасту Земли.

По изогнутости этой кривой определяется ускорение тяготения, а по нему из формулы 8 – максимально возможная плотность материи в сегодняшней Вселенной. Этот максимум равен 2\*10-28 г/см3.

Интересно сопоставить найденное время t, прошедшее с начала расширения, с возрастом других объектов во Вселенной. Например, возраст, так называемых шаровых скоплений в галактике оценивается в 10-14 миллиардов лет.

Мы видим, что и возраст нашей планеты, и, по-видимому, возраст скоплений звезд, лишь немногим меньше t.

Вернемся к закону расширения Вселенной.

Итак, в прошлом, 10-20 миллиардов лет назад, вблизи момента начала расширения плотность вещества во Вселенной была гораздо больше сегодняшней. Отдельные галактики, отдельные звезды не могли существовать как изолированные тела. Вся материя находилась в состоянии непрерывно распределенного вещества. Лишь позже, в ходе расширения, оно распалось на отдельные комки, что привело к образованию отдельных небесных тел.

7. Будущее расширяющейся Вселенной. Критическая плотность.

Расширение Вселенной протекает с замедлением, для будущего есть две возможности. Замедление пропорционально плотности вещества во Вселенной. С расширением плотность падает, уменьшается замедление. Возможна ситуация, когда при сегодняшней скорости расширения плотность вещества достаточно мала и замедление мало. Тогда расширение будет протекать не ограничено.

расстояние

расстояние

Время

Время

T0

T0

А Б

Рис.7 зависимость расстояния между Галактиками от времени для случая, когда плотность вещества во Вселенной меньше критической. Вселенная расширяется неограниченно (А). Такая же зависимость для плотности вещества больше критической. Расширение Вселенной сменяется сжатием (Б).

Расстояние между любой парой галактик неограничено возрастает.

Но возможно, что плотность достаточно велика, а значит, велико замедление расширения. В результате расширение прекращается и сменяется сжатием. Изменение расстояния между галактиками в этом случае показано на рис. 7, б.

Ситуация здесь полностью аналогична той, когда ракета, разогнанная до определенной скорости должна покинуть небесное тело. Так скорости 12 км/с достаточно, чтобы покинуть Землю и улететь в космос, ибо эта скорость больше «второй космической» скорости для Земли. Однако эта скорость недостаточна, чтобы покинуть поверхность Юпитера, где «вторая космическая» скорость 61 км/с. На поверхности Юпитера тело, брошенное со скоростью 12 км/с вверх, после подъема снова упадет на Юпитер.

Рассмотрим, теперь галактику А на границе сферы на рисунке 2. Скорость, с которой галактика удаляется от центра О, определяется законом Хаббла. Если эта скорость больше второй космической для шара радиуса R, то галактика будет неограниченно удаляться от О, Вселенная будет неограниченно расширяться (рис.9, А), если меньше второй космической, то расширение смениться сжатием (рис.9, Б). Скорость определена законом Хаббла и какой случай - 9, а или 9, б- будет иметь место, определяется массой шара, т.е. зависит от плотности ρ.

Итак, для Вселенной при нынешней скорости расширения (сегодняшней постоянной Хаббла 75км/(с\*Мпк)) и при малой характерно неограниченное расширение, при большой плотности – расширение, сменяющееся сжатием. Существует критическое значение плотности вещества ρкрит, отделяющее один случай от другого. Несложно определить это критическое значение плотности. Действительно, известно, сто вторая космическая скорость для шара массы М записывается следующим образом:

V=√2 GM/R (10).

Подставляя в (10) выражения для массы М=ρ 4/3 πR3 , а вместо скорости v=HR, находим

HR = √8Gπ/3 \*ρR2, или выражая отсюда плотность ρ,

ρкрит  =3 Н2/ 8πG. (11)

Итак, критическое значение средней плотности во Вселенной зависит от постоянной Хаббла Н. При постоянной Хаббла Н= 75 км/ (с\*Мпк) для ρкрит получаем:

ρкрит ≈10-29 г/см 3 . (12)

Мы видим, что от величины фактической средней плотности всех видов материи во Вселенной зависит будущая история Вселенной.