**Московский Государственный Университет Печати**

**Концепции современного естествознания**

# Тема: «Современная космология и

**проблема скрытой массы во Вселенной»**

**Сдано – «хорошо»**

**Москва**

**2003**

1. **ВВЕДЕНИЕ**

Стремление представить структуру всего ок­ружающего мира всегда являлось одной из насущных потребностей развивающегося человечества. «Как устроен мир? Почему существует? Откуда взялся?» — это примеры вечных вопросов. Их задавали себе люди и тогда, когда настоящей науки еще не было, и потом, когда зарождаю­щееся и набирающее силу знание начало свое бесконеч­ное движение в отыскании истины. Во время работы над этой темой была предпринята попытка небольшого анализа истории космологии и проблемы скрытой массы во Вселенной.

На каждом историческом этапе у людей были различ­ные господствующие представления о Вселенной. Эти представления отражали тот уровень знаний и опыт изу­чения природы, который достигался на соответствующем этапе развития общества. По мере того как расширились пространственные (и временные) масштабы познанной человеком части Вселенной, менялись и космологические представления. Первой космологической моделью, имею­щей Математическое обоснование, можно считать геоцен­трическую систему мира К. Птолемея (II век н. э.). В системе Птолемея в центре Вселенной была неподвижная шарообразная Земля, а вокруг нее обращалась Лу­на, Солнце, планеты, движимые сложной системой ок­ружностей — «эпициклов» и «дифферентов», и, наконец, все это было заключено в сферу неподвижных звезд. То есть система претендовала на описание всего материального мира, т. е. была именно космологической системой. Как бы наивно с нашей сегодняшней точки зрения ни выглядел этот «весь мир», необходимо отме­тить, что в ней было рациональное зерно — кое-что эта система описывала в основном правильно. Конечно, пра­вильное описание касалось не всего мира, всей Вселен­ной, а только лишь маленькой его части. Что же в этой системе было правильным? Правильным было представ­ление о нашей планете как о шарообразном теле, свобод­но висящем в пространстве; правильным было то, что Луна обращается вокруг Земли. Все остальное, как выяснилось, не соответствовало действительности. Наука тогда была еще в таком состоянии, что, за исключением отдельных гениальных догадок, не могла выйти за рамки системы Земля — Луна. Система мира Птолемея господ­ствовала в науке около 1,5 тысячи лет. Затем ее сменила гелиоцентрическая система мира Н. Коперника (XVI век и. э.).

Революция, произведенная в науке учением Коперни­ка, связана в первую очередь с тем, что наша Земля была признана рядовой планетой. Исчезло всякое проти­вопоставление «земного» и «небесного». Система Копер­ника также считалась системой «всего мира». В центре мира было Солнце, вокруг которого обращались планеты. Все это охватывала сфера неподвижных звезд.

Как мы знаем теперь, в действительности система Коперника была вовсе не «системой мира», а схемой строения Солнечной системы, и в этом смысле была пра­вильной.

В дальнейшем необычное расширение масштабов ис­следованного мира благодаря изобретению и совершенст­вованию телескопов привело к представлению о звезд­ной Вселенной. Наконец, в начале XX века возникло представление о Вселенной как о мире галактик (метагалактики). При рассмотрении этой исторической цепочки смен космологических представлений ясно прослежива­ется следующий факт. Каждая «система мира» по су­ществу была моделью наибольшей достаточно хорошо изученной к тому времени системы небесных тел. Так, модель Птолемея правильно отражала строение системы Земля — Луна, система Коперника была моделью Сол­нечной системы, идеи модели звездного мира В. Гершеля и др. отражали некоторые черты строения нашей звездной системы — Галактики. Но каждая из этих мо­делей претендовала в свое время на описание строения «всей Вселенной». Эта же тенденция на новом уровне прослеживается, как мы увидим, и в развитии современ­ной космологии в XX веке.

1. **НЕМНОГО ИСТОИИ**

Рассмотрим очень кратко, какие этапы прошло разви­тие науки о Вселенной уже в наше время. Современная космология возникла в начале XX века после создания А. Эйнштейном релятивистской теории тяготе­ния (общей теории относительности).

Первая релятивистская космологическая модель, ос­нованная на новой теории тяготения и претендующая на описание всей Вселенной, была построена А. Эйнштей­ном в 1917 г. Однако она описывала статическую Все­ленную и, как показали астрофизические наблюдения, оказалась неверной.

В 1922—1924 гг. советским математиком А. А. Фрид­маном были получены общие решения уравнений Эйн­штейна, примененных к описанию всей Вселенной. Ока­залось, что в общем виде эти решения описывают Все­ленную, меняющуюся с течением времени. Звездные сис­темы, заполняющие пространство, не могут находиться в среднем на неизменных расстояниях друг от друга. Они должны либо удаляться, либо сближаться. Мы уви­дим далее, что это является неизбежным следствием на­личия сил тяготения, которые главенствуют в космиче­ских масштабах. Вывод Фридмана означал, что Вселен­ная должна либо расширяться, либо сжиматься. Вывод этот означал корен­ную перестройку наших самых общих представлений о Вселенной и далеко не сразу был понят и принят даже наиболее передовыми умами человечества. В 1929 г. аме­риканский астроном Э. Хаббл с помощью астрофизиче­ских наблюдений открыл расширение окружающего нас мира галактик, открыл расширение Вселенной, подтвер­ждающее правильность выводов А. А. Фридмана. Модели Фридмана являются основой всего последующего разви­тия космологии. Как мы увидим далее, эти модели опи­сывали механическую картину движения огромных масс Вселенной и ее глобальную структуру. Если прежние Космологические построения призваны были описывать главным образом именно наблюдаемую теперь структуру Вселенной с неизменным в среднем движением миров в ней, то модели Фридмана по своей сути были эволюци­онными, связывали сегодняшнее состояние Вселенной с ее предыдущей историей. В частности, из этой теории следовало, что в далеком прошлом Вселенная была сов­сем не похожа на наблюдаемую нами сегодня. Тогда не было ни отдельных небесных тел, ни их систем, все вещество было почти однородным, очень плотным и быстро расширялось. Только значительно позже из этого веще­ства возникли галактики и их скопления. Начиная с конца 40-х годов нашего века все большее внимание в кос­мологии привлекает физика процессов на разный этапах космологического расширения.

В это время Г. Гамовым была выдвинутатак назы­ваемая теория горячей Вселенной. В этой теории рас­сматривались ядерные реакции, протекавшие в самом на­чале расширения Вселенной в очень плотном веществе. При этом предполагалось, что температура вещества бы­ла велика (отсюда и название теории) и падала с рас­ширением. Хотя в первых вариантах теории и были еще существенные недостатки (впоследствии они были устра­нены), она сделала два важных предсказания, которые могли быть проверены наблюдениями. Теория предска­зывала, что вещество, из которого формировались первые звезды и галактики, должно состоять главным образом из водорода (примерно на 75%) и гелия (около 25%), примесь других химических элементов незначительна. Другой вывод теории состоял в том, что в сегодняшней Вселенной должно существовать слабое электромагнит­ное излучение, оставшееся от эпохи большой плотности и температуры вещества. Это излучение, остывшее в хо­де расширения Вселенной, было названо советским аст­рофизиком И. С. Шкловским реликтовым излучением. Оба предсказания теории блестяще подтвердились.

К этому же времени (конец 40-х годов) относится появление принципиально новых наблюдательных воз­можностей в космологии. Возникла радиоастрономия, а затем после начала космической эры развилась рентге­новская, гамма-астрономия и др. Новые возможности по­явились и у оптической астрономии. Сейчас разными ме­тодами Вселенная исследуется вплоть до расстояний в несколько миллиардов парсеков (парсек — единица расстояния, используемая астрономами и равная примерно трем световым годам или 3 • 1018 см.).

В 1965 г. американские физики А. Пензиас иР. Вилсон открыли реликтовое излучение, за что в 1978 г. они были удостоены Нобелевской премии. Это открытие до­казало справедливость теории горячей Вселенной.

Современный этап в развитии космологии характери­зуется интенсивным исследованием проблемы начала космологического расширения, когда плотности материи и энергии частиц были огромными. Руководящими идея­ми здесь являются новые теоретические открытия в фи­зике взаимодействия элементарных частиц при очень больших энергиях. Другой важной проблемой космологии является проблема возникновения структуры Вселен­ной — скоплений галактик, самих галактик и т. д. из первоначально почти однородного расширяющегося ве­щества.

Современная космология построена трудами многих ученых всего мира. Можно отметить важную роль на­учных школ, созданных в нашей стране академиками В. Л. Гинзбургом, Я. Б. Зельдовичем, Е. М. Лившицем, М. А. Марковым, И. М. Халатниковым.

Следует подчеркнуть определяющую роль астрофизи­ческих наблюдений в развитии современной космологии. Ее выводы и заключения проверяются прямыми или косвенными наблюдениями. Сегодня мы можем судить о строении и эволюции наблюдаемой нами Вселенной с той же степенью надежности, с которой мы судим о строении и эволюции звезд, о природе других небесных тел.

На данном этапе считается, что звездные системы — галак­тики — состоят из сотен миллиардов звезд. Их размеры ча­сто достигают десятков тысяч парсеков. Галактики в свою очередь собраны в группы и скопления. Размеры крупных скоплений — несколько миллионов парсеков (Мпк). Имеются и еще большие по масштабам сгуще­ния и разрежения в распределении галактик. Однако, на­чиная с масштабов в несколько сотен миллионов парсе­ков в больше распределение вещества во Вселенной можно считать однородным.

1. **МОДЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ**

Что значит, построить модель Вселенной? Самый общий ответ на этот вопрос таков: необходимо найти уравнения, которым подчиняются параметры, ха­рактеризующие свойства Вселенной, и затем решить эти уравнения. Но как можно писать какие-то уравнения для всей Вселенной? В этом и следующих разделах мы покажем, как это делается. Разумеется под словом «модель» подразумевается выделение какие-то основных свойств, интересующие исследователей в первую оче­редь. Заранее очевидно, что каждое явление бесконечно многообразно и все его черты не может описать никакая система уравнений. Сказанное тем более справедливо для Вселенной. Поэтому обычный метод моделирования ка­кого-либо явления — это выделение в нем главного, ти­пичного.

Когда мы говорим о Вселенной, нас в первую очередь интересует распределение вещества в самых больших масштабах и ее движение. Значит, нам предстоит по­строить математическую модель, описывающую распре­деление вещества в пространстве и его движение. Что касается распределения вещества в больших масштабах, то, как уже было сказано, его можно с хорошей точ­ностью считать однородным по пространству. Нет во Вселенной и каких-либо выделенных направлений. Как говорят, наша Вселенная однородна и изотропна. Что определяет движение вещества в космических масштабах? Конечно же, это, в первую очередь, силы всемирною тя­готения — они главенствуют во Вселенной. Их называют также силами гравитации.

Итак, для построения модели Вселенной необходимо воспользоваться уравнениями тяготения. Закон всемир­ного тяготения был установлен И. Ньютоном. Его спра­ведливость подтверждалась на протяжении веков самыми разнообразными астрономическими наблюдениями и ла­бораторными экспериментами. Однако А. Эйнштейн показал, что закон тяготения Ньютона справедлив лишь в сравнительно слабых полях тяготения. Для сильных же полей необходимо применять релятивистскую теорию гравитации — общую теорию относительности. Какие же поля следует считать достаточно сильными? Ответ таков: если поле тяготения разгоняет падающие в нем тела до скоростей, близких к скорости света, то это силь­ное поле. Какова сила гравитационного поля во Вселенной? Легко пока­зать, что поля там дол­жны быть огромными.

А. А. Фридман вос­пользовался для построения модели Вселенной уравне­ниями Эйнштейна. Однако много лет спустя выяснилось, что для построения механики движения масс в однород­ной Вселенной нет необходимости использовать сложней­ший математический аппарат теории Эйнштейна. Это было показано в 1934 г. Э. Милном и В. Маккри. При­чина этой удивительной возможности состоит в следую­щем. Сферически-симметричная материальная оболочка не создает никакого гравитационного поля во всей внут­ренней полости.

Теперь обратимся к рассмотрению сил тяготения во Вселенной. В больших масштабах распределение вещества во Вселенной можно считать однородным. Рассмотрим сначала силы тяготе­ния, создаваемые на поверхности 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, будут притя­гиваться к центру шара с силой, пропорциональной мас­се шара, и обратно пропорциональной квадрату его радиуса.

Теперь вспомним обо 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, как было сказано выше, что сферически-симметричные 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 притяжения, которое испытывает галактика на по­верхности шара к его центру*.* Такой же вывод справедлив в общей теории относительности. Теперь ясно, почему для вывода законов движе­ния масс в однородной Вселенной можно воспользовать­ся теорией Ньютона, а не Эйнштейна.

Мы выбрали шар достаточно малым, чтобы была применима теория Нью­тона для вычисления гравитационных сил, создаваемых его веществом. Массы остальной Вселенной, окружаю­щие шар, на силы гравитации в данном шаре никак не повлияют. Но никаких других сил в однородной Вселен­ной вообще нет. Действительно, это могли бы быть толь­ко силы давления вещества. Но даже если давление есть (а в далеком прошлом давление во Вселенной было огромным), то оно не создает гидродинами­ческой силы. Ведь такая сила возникает только при пе­репаде давления от места к месту. Вспомним, что мы не чувствуем никакой силы от большого давления нашей атмосферы из-за того, что внутри нас воздух создает точ­но такое же давление. Никакого перепада нет — нет и силы. Но наша Вселенная однородна. Значит, в любой момент времени и плотность, и давление (если оно есть) везде одинаковы, и никакого перепада давлений быть не может.

Итак, для определения динамики вещества нашего шара существенно только тяготение его массы, определя­емое по теории Ньютона. Но Вселенная однородна. Это значит, что все области ее эквивалентны. Если определить движение вещества в данном шаре, можно найти, как меняются в нем плотность, давление, то тем самым найдем изменение этих величин и в лю­бом другом месте, во всей Вселенной.

**4. ПЕРВАЯ КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ - МОДЕЛЬ ЭЙНШТЕЙНА**

Первая космологическая модель была по­строена А. Эйнштейном в 1917 г. вскоре после создания им Общей теории относительности. Как и все тогда, он счи­тал, что Вселенная должна быть стационарна, она не может направленно эволюционировать. Эта модель создавалась более чем за десять лет до открытия Э. Хаббла. А. Эйнштейн, по-видимому, ничего не знал о больших скоростях некоторых галактик, которые к тому времени уже были измерены. К тому же в то время не было еще надежных доказательств, что галактики — действительно далекие звездные системы. Излагая свою Модель, Эйнштейн писал: «Самое важное из всего, что вам известно из опыта о распределении материи, заклю­чается в том, что относительные скорости звезд очень малы по сравнению со скоростью света. Поэтому я по­лагаю, что на первых порах в основу наших рассужде­ний можно положить следующее приближенное допуще­ние: имеется координатная система, относительно кото­рой материю можно рассматривать находящейся в течение продолжительного времени в покое».

Исходя из таких соображений, Эйнштейн ввел косми­ческую силу отталкивания, которая делала мир стацио­нарным. Эта сила универсальна: она зависит не от мас­сы тел, а только от расстояния, их разделяющего. Уско­рение, которое эта сила сообщает любым телам, разне­сенным на расстояние*,* должно быть пропорционально расстоянию. Силы отталкивания, если они, конечно, существуют в природе, можно было бы обнаружить в достаточно точных лабораторных опытах. Однако малость величины делает задачу ее лабораторного обнаружения совершенно безнадежной. Действительно, это ускорение пропорцио­нально расстоянию и в малых масштабах ничтожно. Легко подсчитать, что при свободном падении тела на поверхность Земли добавочное ускорение в 1030 раз меньше самого ускорения свободного падения. Даже в масштабе Солнечной системы или всей нашей Галактики эти силы ничтожно малы по сравнению с силами тяготе­ния.. Разумеет­ся, это отталкивание никак не сказывается на движении тел Солнечной системы и может быть обнаружено толь­ко при исследовании движений самых отдаленных на­блюдаемых галактик.

Так, в уравнениях тяготения Эйнштейна появилась космологическая постоянная, описывающая силы оттал­кивания вакуума. Действие этих сил столь же универ­сально, как и сил всемирного тяготения, т. е. оно не за­висит от физической природы тела, на котором проявля­ется, поэтому логично назвать это действие гравитацией вакуума.

Через несколько лет после работы Эйнштейна, А. А. Фридманом была создана теория расширяющейся Вселенной. А. Эйнштейн сначала не соглашался с выво­дами советского математика, но потом полностью их при­знал.

После открытия Э. Хабблом расширения Вселенной какие-либо основания предполагать, что в природе суще­ствуют космические силы отталкивания, казалось бы отпали.

**5. «ПУСТАЯ» ВСЕЛЕННАЯ**

Что будет, если из Вселенной убрать все вещество? На первый взгляд кажется, что такая опера­ция совершенно абстрактна и получаемая модель будет соответствовать лишь воображению тео­ретиков. Но это вовсе не так и ни­чего фантастического или тем более наивного в такой операции нет. В исто­рии Вселенной, по-видимому, был период, когда она бы­ла практически пуста, свободна от обычной физической материи, и модель пустой Вселенной описывала тогда ее эволюцию.

Впервые модель пустой Вселенной была построена голландским астрономом В. де Ситтером в 1917 г. Виллем де Ситтер был, если так можно выразиться, «клас­сическим астрономом». Он много занимался точным оп­ределением положения звезд на небе, небесной механи­кой, был одним из пионеров массовых фотометрических наблюдений звезд. В течение десятилетий он изучал движение спутников Юпитера, создал теорию этого дви­жения, которой пользуются до сих пор. В. де Ситтер сразу оценил то огромное значение, которое теория Эйн­штейна должна иметь в астрономии вообще и в космоло­гии в особенности. Модель Вселенной де Ситтера была опубликована в тот же год, что и модель Эйнштейна, и обе эти модели можно считать первым опытом приме­нения Общей теории относительности в космологии.

Итак, следуя де Ситтеру, уберем из Вселенной все вещество. Поместим в на­шу пустую Вселенную две свободные пробные частицы на расстоянии друг от друга. Частицы называются пробными, так как предполагается, что их массы доста­точно малы, чтобы не влиять на их относительное дви­жение, а свободными они называются потому, что на них не действует никакая сила, кроме гравитации. Во Вселенной это могут быть, например, две галактики, расположенные достаточно далеко друг от друга. Тогда отрицательная гравитация заставляет обе га­лактики двигаться друг от друга с ускорением, пропор­циональным расстоянию*.* Если по ускорению найти скорость, а затем изменение расстояния со временем, то легко показать, что относительная скорость частиц-га­лактик будет стремительно нарастать.

Такую зависимость называют экспоненциальной, она вы­ражает чрезвычайно быстрый рост расстояния от времени. Какой же можно сделать вывод? В «почти пус­той» Вселенной, т. е. в такой Вселенной, в которой можно пренебречь обычным тяготением галактик друг к дру­гу, галактики могут приобрести большие скорости удаления друг от друга. Такой вывод получил де Ситтер в 1917 г. В это время ему были известны скорости только трех галактик, и он не мог прийти к какому-либо определен­ному заключению о справедливости своей теории. К сегодняшней Вселенной модель де Ситтера вряд ли применима: динамика Вселенной определя­ется обычным тяготением вещества. Но эта модель оказалась важной для описания далекого прошлого Вселенной, когда она только начинала расширяться.

**6. ГИПОТЕЗА «БОЛЬШОГО ВЗРЫВА»**

Работы Фридмана показали, как с течением времени должна эволюционировать Вселенная. В частно­сти, они предсказали необходимость существования в прошлом «сингулярного состояния» — вещества огромной плотности, а значит, и необходимость какой-то причины, побудившей сверхплотное вещество начать расширяться. Это было теоретическим открытием взрывающейся Все­ленной. Заметим, что открытие было сделано без нали­чия каких-либо идей о самом взрыве, о причине начала расширения Вселенной. Никаких намеков на подобные идеи ни в теории, ни в эксперименте не существовало. Но уже из того факта, что Вселенная однородна, следо­вало, что из-за тяготения материи она нестационарна, а значит, в прошлом должна была быть причина начала расширения — причина Большого взрыва.

Наблюдательное открытие взрывающейся Вселенной было сделано американским астрономом Э. Хабблом в 1929 г. Далекие звездные системы — галактики и их скопле­ния — являются наибольшими известными астрономам структурными единицами Вселенной. Они наблюдаются с огромных расстояний, и именно изучение их движений дослужило наблюдательной основой исследования кине­матики Вселенной. Для далеких объектов можно изме­рять скорость удаления или приближения, пользуясь эф­фектом Доплера.

Измеряя смещение спектральных линий в спектрах небесных тел, астрономы определяют их приближение и удаление, т. е. измеряют компоненту скорости, направленную по лучу зрения. Поэтому скорости, определяемые по спектральным измерениям, носят название лучевых скоростей. Пионером измерения лучевых скоростей у галактик был в начале прошлого века американский астрофизик В. Слайфер. В 1924 г. К. Вирц обнаружил, что, чем меньше угло­вой диаметр галактики, тем в среднем больше ее скорость удаления, хотя полученная зависимость и была очень нечеткая. Вирц посчитал, что эта зависимость отражает зависимость между скоростью и расстоянием и поэтому свидетельствует в пользу космологической модели де Ситтера. О работе Фридмана К. Вирц, по-видимому, ничего не знал.

Однако известный шведский астроном К. Лундмарк и другие астрономы, повторив работу Вирца, не подтвер­дили его результаты. Теперь мы понимаем, что противо­речия были связаны с тем, что линейные размеры га­лактик весьма различны, и поэтому их видимые угловые размеры не указывают прямо на расстояние от нас: га­лактика может быть видима маленькой не только по­тому, что она расположена далеко, но и потому, что она в действительности мала по размерам.

Для решения вопроса нужны были надежные методы определения расстояний до галактик. И такие методы бы­ли созданы. Впервые это удалось сделать с помощью пульсирующих звезд, меняющих свою яркость,— цефеид.

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

Цефеиды были открыты в других галактиках. Рас­стояния до этих звезд, 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 применялись 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 Э. Хабблом.

Естественно, астрономы пытались проверить закон Хаббла для больших расстояний. Для этого нужно было иметь индикаторы расстояний гораздо более мощные, чем переменные звезды — цефеиды или ярчайшие звезды, рассмотренные выше.

В 1936 г. Хаббл предложил использовать в качестве таких индикаторов целые галактики. Он исходил из сле­дующих соображений. Индикатор расстояний должен об­ладать определенной фиксированной светимостью. Тогда видимый блеск будет служить указателем расстояния. Отдельные галактики не могут служить индикатором рас­стояний, так как светимость отдельных галактик весьма различна. Например, наша Галактика излучает энергия как десять миллиардов солнц. Имеются галактики, кото­рые светят в сотни раз слабее, но есть и такие, которые светят в десятки раз сильнее. Предположим, что есть верхняя граница полной светимости отдельных галактик. Тогда в богатых скоплениях галактик, содержащих тысячи членов, ярчайшая галактика с очень большой вероятностью должна иметь светимость около этого верхнего предела, т. е. иметь стандартную светимость, одинаковую для любого большого скопления. Ярчайшие галактики в больших скоплении являются, следовательно, эталонами, подобными цефеидам. Видимый блеск этих галактик можно использовать как указатель расстояний. Чем дальше расстояние, тем слабее блеск.

Итак, в космологии исследуется зависимость звездная величина *т —* красное смещение z (точнее, log z) для ярчайших галактик скоплений. Такая зависимость найдена, график ее прямолинеен, и это надежно подтверждает открытый Хабблом закон расширения Вселенной.

**7. «НЕПУСТАЯ» ВСЕЛЕННАЯ**

Вернемся к проблеме критической плотности. Каково же значение критической плотности? Сформулируем важнейшую задачу наблюдательной космологии: какова средняя плотность всех видов физической материи во Вселенной? И самое главное: больше ли эта средняя плотность критического значения или меньше?

Таким образом, речь идет именно плотности всех видов физической материи. Дело в том, что у астрономов есть веские основания считать, что, помимо видимых звезд и газовых туманностей, собранных в галактики, вокруг галактик и в пространстве между ними есть много невидимой или очень трудно наблюдаемой материи. Так как тяготение создается всеми видами материи, то учет невидимой материи в общей плотности вещества совершенно необходим для решения вопроса о будущей судьбе Вселенной.

Еще лет двадцать назад астрономы считали, что Вселенная в самых больших масштабах — это именно мир галактик и их систем. Изучая нашу звездную систему, Галактику, они установили, что в пределах ее видимых границ почти все вещество сосредоточено в звездах. Всего Галактика содержит ~200 миллиардов звезд. Газ и пыль между звездами дают к массе звезд совершенно незначительную добавку (около 2%).

Казалось, что и другие галактики в основном состоят из светящихся звезд, а пространство между галактиками практически пусто. Галактики собраны в группы и скопления разных масштабов, образуя ячеисто-сетчатую крупномасштабную структуру Вселенной. Размер типичных пустых областей, в которых галактик мало или совсем нет, около 30—40 Мпк. Расстояния между крупнейшими сверхскоплениями галактик, находящимися в узлах ячеистой структуры, могут быть 100—300 Мпк. В еще больших масштабах светящаяся материя в виде галактик и их скоплений распределена примерно однородно. Такова общая величественная картина распределения в пространстве звездных островов — галактик.

Как можно определить усредненную по столь боль­шим масштабам среднюю плотность вещества, которая нужна для решения космологической проблемы?

Если вся материя действительно сосредоточена в све­тящихся галактиках, то для этого надо подсчитать общее число галактик в достаточно большом объеме, затем оп­ределить массу средней галактики. Помножив эти числа друг на друга, мы получим полную массу вещества в данном объеме, а поделив ее на этот объем, получим интересующую нас среднюю плотность.

Так астрономы и поступали. При этом, прежде всего, необходимо было найти массы отдельных галактик. Надежное определение усредненной по большим объ­емам плотности вещества, входящего в галактики, было сделано около 30 лет назад голландским астрономом Я. Оортом. Многочисленные работы в этом направлении, проделанные с тех пор, подтвердили его результат. Если во Вселенной нет заметных количеств материи между галактиками, которая почему-либо не видна, то и Вселенная всегда будет расширяться.

Однако, есть основания счи­тать, что наблюдаемые нами галактики еще далеко невсе, что имеется во Вселенной. Более того, невидимая масса, вероятно, составляет основную часть Вселенной. Таким образом, весьма возможно, что непосредствен­но наблюдаемые в телескопы великолепные узоры ги­гантских галактических миров — это лишь малаявидимая часть истинной невидимой структуры мира. Невидимые массы Вселенной получили название скрытой массы.

**8. СКРЫТАЯ МАССА**

Существующие во Вселенной тела и скопления вещества астроно­мы обнаруживают в основном по их излучению. Это может быть видимый спектр или другие виды электромагнитных волн — всё равно имеются приз­наки излучения, позволяющие их регистрировать. Именно таким спо­собом установлено, что большая часть видимого вещества Вселенной сосредоточена в звёздах. Кроме них имеются разреженный межзвёздный галактический газ, пыль, тела планетного типа вблизи звёзд.

Однако, не от всех космических объектов можно принять излучение. Например, с Земли нельзя рассмот­реть массивные, но очень маленькие элементы двойных систем. А чёрные дыры принципиально не отпускают никакое излучение. Наличие подобных тел удаётся установить только по их гравитационному воздействию на соседей. Применение такого косвенного метода привело учёных к убеждению, что на самом деле Во Вселенной содержится гораздо больше вещества, чем то, которое доступно прямым наблюдениям.

Как возникли подозрения о существования скрытой массы? Важнейшие наблюдательные данные об этом сводятся к следующему. С помощью радиотелескопов наблюдаются движения спутников отдельных галактик (ими являются маленькие галактики) или движения газовых облаков. Эти объекты часто движутся на расстояниях далеко за видимой границей галактики (очерченной массой све­тящихся звезд), где, казалось бы, никакой материи в заметных количествах уже нет. Тем не менее, вычисленн­ая по этим наблюдениям масса той или иной галактики, вокруг которой наблюдались такие движения, оказывалась иногда раз в десять больше, чем определенная по движению звезд на видимой границе галактики. Это значит, что вокруг видимого тела галактики имеется какая-то невидимая корона, содержащая огромные массы. Тяготение этих масс никак не сказывается на движения звезд глубоко внутри короны на краю видимой галактики, так как мы знаем, что сферическая оболочка внут­ри себя тяготения не создает, но эти массы влияют своим тяготением на движение тел на ок­раинах короны и вне ее.

Еще большие скрытые массы имеются в межгалактическом пространстве в скоплениях галактик. В таких скоплениях галактики движутся хаотически. Поэтому астрофизики сначала измеряют скорости отдельных галактик, а, затем, после нахождения средней скорости, вычисляют полную массу скопления, создающую общее поле тяготения, которое разгоняет движущиеся в нем галактики. Разумеется, эта масса включает все вещество — и видимое, и невидимое. И вот оказывается, что иногда полная масса во многие десятки раз превышает суммарную светящуюся массу всех галактик в скоплении.

Впервые о скрытой массе заговорили в ­30-х гг. ХХ в. Швейцарский астроном Фриц Цвикки, измеряя по красному смещению скорости галак­тик из скопления в созвездии Воло­сы Вероники, получил неожиданный результат. Лучевые скорости этих га­лактик оказались слишком высокими и не соответствовали общей массе скопления, определённой по числу наблюдаемых галактик (т. е. по види­мому веществу). Тогда Цвикки выдви­нул смелую гипотезу, что в скопле­нии присутствует невидимая, скрытая масса, она-то и является причиной больших скоростей галактик. Но са­мым удивительным было то, что, со­гласно расчётам, эта невидимая масса во много раз превышала массу види­мую. Та же картина наблюдалась и во многих других скоплениях галактик

С тех пор гипотеза о существова­нии невидимого вещества неодно­кратно привлекалась для интерпрета­ции астрономических наблюдений, и прежде всего, для объяснения особен­ностей движения звёзд и газовых об­лаков по орбитам в дисках галактик. Если бы основная масса галактики была сосредоточена в звёздах, их орбитальные скорости уменьшались бы по мере удаления от центра. В дей­ствительности они не только не уменьшаются, но в ряде случаев даже возрастают. То же самое происходит и в нашей Галактике. Чтобы объяснить это явление, нужно предположить, что далеко за пределами видимых границ галактики простирается несве­тящаяся, тёмная материя. Обычно её называют темным гало. С его учётом масса гигантских спиральных сис­тем типа Млечного Пути оказывает­ся равной примерно 1012 массам Солнца, тогда как вещества, заклю­чённого в звёздах, в несколько раз меньше.

В 70-х гг. методами рентгенов­ской астрономии был открыт горя­чий межгалактический газ, особенно заметный в скоплениях галактик. Его температура достигает десятков мил­лионов градусов. По значению тем­пературы можно оценить характе­ристики гравитационного поля, в котором находится газ, а следовательно, и полную массу вещества, являю­щегося источником этого поля. Уже первые результаты рентгеновских наблюдений горячего газа в скопле­ниях галактик подтвердили присутствие в них скрытой массы, не входя­щей в состав отдельных галактик.

Ещё одно прямое указание на скрытую массу удалось получить при изучении движения Местной группы галактик. (В Местную группу входят наша Галактика и её ближайшие сосе­ди.) В середине 80-х гг. по результатам очень успешной миссии космиче­ской инфракрасной обсерватории HPAC (IRAS) было установлено, что движение Местной группы в про­странстве направлено в ту сторону, где сосредоточено большое количество галактик. В этом нет ничего удиви­тельного, ведь по закону тяготения большая масса должна притягивать окружающие группы галактик. Но измеренная скорость движения оказалась слишком высокой (более 600км/с), чтобы её можно было объяснить гравитационным действием наблюдаемых галактик. Это свидетельствовало о присутствии скрытой массы между галактиками.

Наконец, наблюдения слабых галактик, проведённые с помощью чувствительных детекторов излучения – ПЗС-матриц, — позволили не просто подтвердить наличие скрытой массы, но и достаточно точно обозначить ее распределение в скоплениях галактик. Этот метод называют гравитационным линзированием, идею которого впервые выдвинул Цвикки еще в 1937 г. Метод этот основан на том, что гравитация скопления галактик действует как собирающая линза. Она позволяет получить изображение слабых галактик (как правило, 22-28 звездной величины), находящихся далеко за самим скоплением. При этом изображения самих галактик становятся ярче и искажаются, вытягиваясь в дуги разной длины с центром, совпадающим с центром скопления. Анализируя такие изображения, можно восстановить распределение плотности в «линзе», т. е. в скоплении галактик. Оказалось, что создающая тяготение материя простирается далеко за пределы видимой части скопления.

Существование скрытой массы кардинально меняет оценку общей усредненной плотности всех масс Вселенной. Возможно, есть скрытая масса и между скоплениями галактик. Ее обнаруживать особенно трудно. Но если это так, то не исключено, что полная средняя плотность равна критической плотности или даже несколько больше. Таким образом, пока нельзя сказать, больше ли истин­ная плотность всех видов вещества во Вселенной, чем критическая плотность, или нет. Значит, мы пока не мо­жем сказать определенно, будет ли Вселенная расши­ряться неограниченно или же в будущем она начнет сжиматься.

Что представляет собой скрытая масса? Надо прямо сказать, что физическая природа скрытой массы пока не­ясна. Частично эта масса может быть обусловлена ог­ромным числом слабо светящихся и поэтому практически невидимых издали звезд или других несветящихся не­бесных тел. Однако вероятнее, что скрытая масса явля­ется своеобразным реликтом тех физических процессов, которые протекали в первые мгновения расширения Все­ленной. Скрытая масса, возможно, является совокуп­ностью большого числа элементарных частиц, обладаю­щих массой покоя и слабовзаимодействующих с обыч­ным веществом. Теория предсказывает возможность существования таких частиц. Ими могут быть, например, нейтрино, если они обладают массой покоя.

Какова же природа невидимого вещества? Возможно, скрытая масса создается не открытыми пока элементарными частицами. Дело в том что, согласно современной теории горячей Вселенной, максимально возможная масса барионов (протонов и нейтронов — частиц, из которых состоят атомные ядра всех химических элементов) не превышает 10% от массы, необходимой для критической плотности, т. е. той плотности, какой теоритически должна обладать Вселенная. Поэтому остаётся либо предположить, что во Вселенной помимо обычной барионной (атомной) мас­сы содержится ещё очень много вещества, не состоящего из атомов, либо считать, что пустое пространство (вакуум) обладает такими свойствами, что вносит свой вклад в полную плотность материи. В принципе небарионная скрытая масса может быть заключена в легких элементарных частицах (с массой в миллионы раз меньше массы покоя электрона), существование которых следует их современной физической теории элементарных частиц. Поиски таких частиц усиленно ведутся на самых мощных ускорителях, но пока не увенчались успехом.

Однако, часть скрытой массы возможно заключается в телах, состоящих из обычных атомов. Наблюдая светящееся вещество, можно сделать вывод, что звезды, содержащие основную часть видимой материи, - это лишь небольшая часть даже от барионного вещества. Значит во Вселенной наверняка много невидимых и не открытых пока объектов барионной природы, скорее всего газовых тел с массой, промежуточной между массой звезд и небольших планет (их называют «темными» карликами). Теоретически такими объектами могут быть черные дыры массой около ста солнечных. Возможно, что эти невидимые объекты — часть вещества, оставшаяся от эпохи образования галактик, или остатки эволюции звёзд, существовавших ещё до рож­дения галактик. Хотя таких тёмных тел вряд ли хватит для объяснения парадокса скрытой массы, их поис­ки активно проводятся. Перспектив­ными в этом отношении являются работы по гравитационному микро­линзированию.

Исследуя эффекты гравитацион­ного микролинзирования миллионов звёзд в Магеллановых Облаках, астро­номы зарегистрировали несколько случаев характерного изменения яр­кости далёких слабых звёзд. Это мо­жет быть связано с существованием тёмных объектов в гало нашей Галак­тики. Однако из наблюдений пока трудно окончательно определить, ка­кую часть массы невидимого вещест­ва они составляют.

**9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## Космология быстро развивается. Много новых работ в этой области появляется в открытой печати в последние годы. Но рассказать обо всех невозможно, каждая из них – тема для отдельной работы.

Сегодня можно достаточно уверенно заключить: Вселенная в основном заполнена невидимым веществом. Оно образует протяженные гало галактик и заполняет межгалактическое пространство, концентрируясь в скоплениях галактик.

Итак, попытки разобраться, из чего же состоит Вселенная, привели в наше время к весьма любопытной ситуации. В начале ХХI столетия обнаружива­ется, что все изучавшиеся до сих пор астрономические объекты составляют лишь незначительную долю космиче­ского вещества. Это настоящий вызов человеческому знанию. Остаётся на­деяться, что новейшие методы астро­номии, такие, как метод гравитацион­ного микролинзирования, позволят в будущем пролить свет на увлекатель­ную и загадочную проблему невиди­мого вещества в нашей Галактике и во Вселенной.

**10. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Девис П. Суперсила: Пер. с англ./ Под ред. И с предисл. Е.М. Лейкина. – М.: Мир, 1989.
2. Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. Драма идей в познании природы (частицы, поля, заряды). – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
3. Чирков Ю.Г. Охота за кварками. – М.: Мол. Гвардия, 1985.
4. Визгин В.П. Релятивистская теория тяготения (истоки и формирование). – М.: Наука, 1981.
5. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. – М.: Наука, 1990.
6. Хокинг С. От Большого Взрыва до черных дыр. – М.: Мир,1990.

**11. СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Введение …………………………………………………………………………… | 2 |
| 2. Немного истории …………………………………………………………………. | 3 |
| 3. Модель Вселенной ………………………………………………………………. | 6 |
| 4. Первая космологическая модель Вселенной – модель Энштейна ……………... | 8 |
| 5. «Пустая» Вселенная ………………………………………………………………. | 10 |
| 6. Гипотеза «Большого Взрыва» ……………………………………………………. | 11 |
| 7. «Непустая» Вселенная …………………………………………………………… | 13 |
| 8. Скрытая масса …………………………………………………………………….. | 15 |
| 9. Заключение ………………………………………………………………………… | 20 |
| 10. список использованной литературы …………………………………………… | 21 |
| 11. Содержание ……………………………………………………………………… | 22 |