

Тёмные силы нашей Вселенной

Р.Р. Исаев, к.ф.-м.н.
Учитель высшей категории

В последние несколько лет получены качественно новые фундаментальные результаты в космологии: открыто ускоренное расширение Вселенной, установлено существование новых типов частиц, еще не открытых в земных условиях и составляющих темную материю во Вселенной. Еще более удивительным результатом наблюдательной космологии является указание на существование совершенно новой формы материи – темной материи, которая в сумме с темной энергией составляет 96% всей массы Вселенной. Проблема темной материи (материи гало), возникающая из необходимости согласовывать известные гравитационные законы с наблюдаемыми кривыми вращения, является сложной проблемой современной астрофизики. Из наблюдений выходит тот факт, что масса темной материи в галактиках растет с увеличением расстояния, но в кластерах галактик можно наблюдать обратную картину, распределение темной материи с расстоянием уменьшается. Полная масса отдельной галактики остается неизвестной величиной, так как закон на больших расстояниях убедительно не наблюдался.

Темная материя похожа на обычное вещество в том смысле, что она способна собираться в сгустки (размером, скажем, с галактику или скопление галактик) и участвует в гравитационных взаимодействиях так же, как обычное вещество. Скорее всего, она состоит из новых, не открытых еще в земных условиях, частиц.

Первое указание на то, что расчетная масса Вселенной оказалась намного больше, чем это предполагалось ранее, появилось в середине 30-х годов XX века. Швейцарский астроном Фриц Цвикки измерил скорости, с которыми галактики скопления Волосы Вероники (а это одно из самых больших известных нам скоплений, оно включает в себя тысячи галактик)

движутся вокруг общего центра. Результат оказался следующим: скорости галактик оказались гораздо больше, чем можно было ожидать, исходя из наблюдаемой суммарной массы скопления. Это означало, что истинная масса скопления Волосы Вероники гораздо больше видимой. Но основное количество материи, присутствующей в этой области Вселенной, остается по каким-то причинам невидимой и недоступной для прямых наблюдений, проявляя себя только гравитационно, то есть только как масса.

О наличии скрытой массы в скоплениях галактик свидетельствуют также эксперименты с использованием гравитационного линзирования. Объяснение этого явления следует из теории относительности. В соответствии с ней, любая масса деформирует пространство и подобно линзе искажает прямолинейный ход лучей света. Искажение, которое вызывает скопление галактик, столь велико, что его легко заметить. В частности, по искажению изображения галактики, которая лежит за скоплением, можно рассчитать распределение вещества в скоплении-линзе и измерить тем самым его полную массу. И оказывается, что она всегда во много раз больше, нежели вклад видимого вещества скопления.

Через 40 лет после работ Цвикки, в 70-е годы, американский астроном Вера Рубин изучала скорости вращения вокруг галактического центра вещества, расположенного на периферии галактик. В соответствии с законами Кеплера (а они напрямую следуют из закона всемирного тяготения), при движении от центра галактики к ее периферии скорость вращения галактических объектов должна убывать обратно пропорционально квадратному корню из расстояния до центра. Измерения же показали, что для многих галактик эта скорость остается почти постоянной на весьма значительном удалении от центра. Эти результаты можно истолковать только одним способом: плотность вещества в таких галактиках не убывает при движении от центра, а остается почти неизменной. Поскольку плотность видимого вещества (содержащегося в звездах и межзвездном газе) быстро

падает к периферии галактики, недостающую плотность должно обеспечивать нечто, чего мы по каким-то причинам увидеть не можем. Для количественного объяснения наблюдаемых зависимостей скорости вращения от расстояния до центра галактик требуется, чтобы этой невидимой субстанции было примерно в 10 раз больше, чем обычного видимого вещества. Эта субстанция получила название «темная материя» (по-английски «dark matter») и она до сих пор остается самой интригующей загадкой в астрофизике.

Помимо космологических данных, в пользу существования темной материи служат измерения гравитационного поля в скоплениях галактик и в галактиках. Имеется несколько способов измерения гравитационного поля в

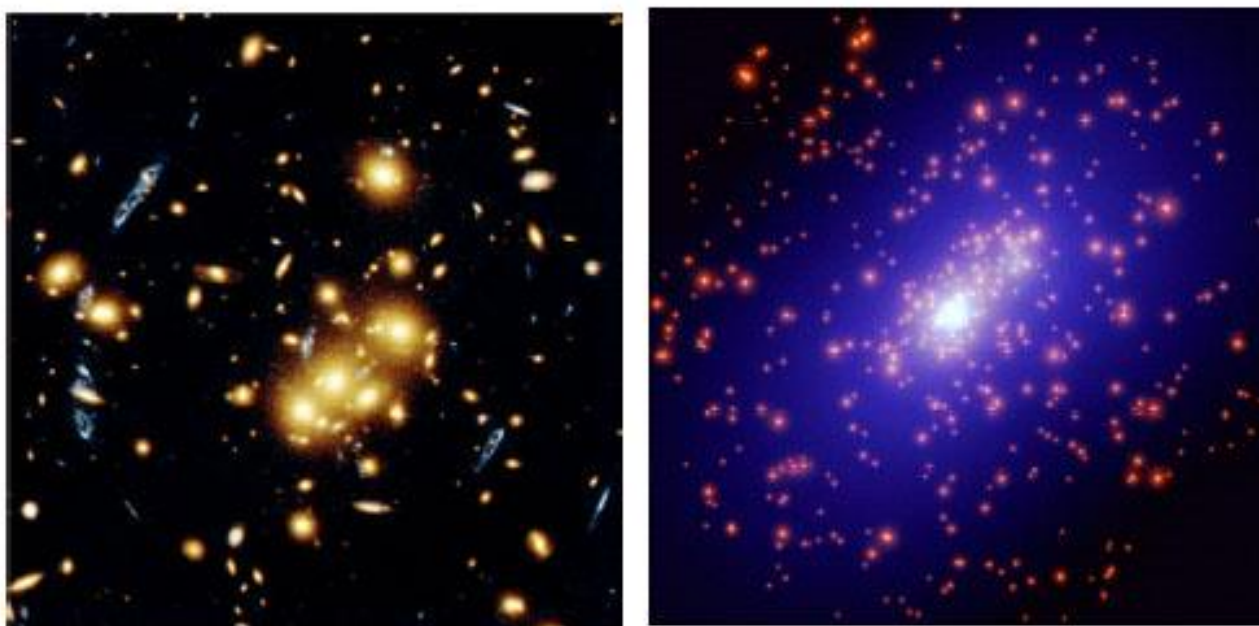


Рис. 1.1

скоплениях галактик, один из которых - гравитационное линзирование, проиллюстрированное на рис. 1.1.

Гравитационное поле скопления искривляет лучи света, исходящие от галактики, находящейся за скоплением, т.е. гравитационное поле действует как линза. При этом иногда появляются несколько образов этой удаленной галактики; на левой половине рис. 1.1 они имеют голубой цвет. Искривление

света зависит от распределения массы в скоплении, независимо от того, какие частицы эту массу создают. Восстановленное таким образом распределение массы показано на правой половине рис. 1.1 голубым цветом; видно, что оно сильно отличается от распределения светящегося вещества.

Итак, доля обычного вещества (протонов, атомных ядер, электронов) в суммарной энергии в современной Вселенной составляет [5] всего 4%. Оставшиеся же 96% полной энергии во Вселенной – ее темная



Рисунок 1.2 Состав Вселенной по данным WMAP

составляющая. Более того, эта субстанция состоит из двух фракций - темной материи и темной энергии, как изображено на рис. 1.2.

Еще одно важное свидетельство присутствия темной материи в нашем мире приходит из расчетов, моделирующих процесс формирования галактик, который начался примерно через 300 тысяч лет после начала Большого взрыва. Эти расчеты показывают, что силы гравитационного притяжения,

которые действовали между разлетающимися осколками возникшей при взрыве материи, не могли скомпенсировать кинетической энергии разлета. Вещество просто не должно было собраться в галактики, которые мы тем не менее наблюдаем в современную эпоху. Эта проблема получила название галактического парадокса, и долгое время ее считали серьезным аргументом против теории Большого взрыва. Однако если предположить, что частицы обычного вещества в ранней Вселенной были перемешаны с частицами невидимой темной материи, то в расчетах всё становится на свои места — формирование галактик из звезд, а затем скоплений из галактик становится возможным. При этом, как показывают вычисления, сначала в галактики собиралось огромное количество частиц темной материи и только потом, за счет сил тяготения, на них собирались элементы обычного вещества, общая масса которого составляла лишь несколько процентов от полной массы Вселенной.

Наконец, общая теория относительности однозначно связывает темп расширения Вселенной со средней плотностью вещества, заключенного в ней. В предположении о том, что средняя кривизна пространства равна нулю, то есть в нем действует геометрия Эвклида, а не Лобачевского (что надежно проверено, например, в экспериментах с реликтовым излучением), эта плотность должна быть равна 10^{-29} грамм на кубический сантиметр. Плотность же видимого вещества примерно в 20 раз меньше. Следует обратить внимание на то, что значение плотности, измеренное из скорости расширения Вселенной равно критическому. Два значения, независимо вычисленные совершенно разными способами, таким образом оказались равными. Если в действительности плотность Вселенной в точности равна критической, это не может быть случайным совпадением, а представляет собой следствие какого-то фундаментального свойства нашего мира, которое еще предстоит понять и осмыслить.

Небольшая (4–5%) часть гало галактики — это обычное вещество, которое не испускает или почти не испускает собственного излучения и поэтому невидимо. Существование нескольких классов таких объектов можно считать экспериментально подтвержденным. Сложнейшие эксперименты, основанные всё на том же гравитационном линзировании, привели к открытию так называемых массивных компактных гало объектов (МАСНО), то есть расположенных на периферии галактических дисков. Для этого потребовалось следить за миллионами удаленных галактик в течение нескольких лет. Когда темное массивное тело проходит между наблюдателем и далекой галактикой, ее яркость на короткое время уменьшается (или увеличивается, поскольку темное тело выступает в роли гравитационной линзы). В результате кропотливых поисков такие события были выявлены. Природа массивных компактных гало объектов ясна не до конца. Скорее всего, это либо остывшие звезды (коричневые карлики), либо планетоподобные объекты, не связанные со звездами и путешествующие по галактике сами по себе. Еще один представитель барионной темной материи — недавно обнаруженный в галактических скоплениях методами рентгеновской астрономии горячий газ, который не светится в видимом диапазоне.

В качестве главных кандидатов на небарионную темную материю выступают так называемые WIMP (сокращение от английского *Weakly Interactive Massive Particles* — слабо взаимодействующие массивные частицы). Особенность WIMP состоит в том, что они почти никак не проявляют себя во взаимодействии с обычным веществом. Именно поэтому они и есть самая настоящая невидимая темная материя, и именно поэтому их чрезвычайно сложно обнаружить. Масса WIMP должна быть как минимум в десятки раз больше массы протона. Поиски WIMP ведутся во многих экспериментах в течение последних 20–30 лет, но, несмотря на все усилия, они до сих пор обнаружены не были.

Одна из идей состоит в том, что если такие частицы существуют, то Земля в своем движении вместе с Солнцем по орбите вокруг центра Галактики должна лететь сквозь дождь, состоящий из WIMP. Несмотря на то что WIMP представляет собой чрезвычайно слабо взаимодействующую частицу, какая-то очень малая вероятность провзаимодействовать с обычным атомом у нее всё же есть. При этом сигнал может быть зарегистрирован в специальных установках. Количество таких сигналов должно меняться в течение года, поскольку, двигаясь по орбите вокруг Солнца, Земля меняет свою скорость и направление движения относительно ветра, состоящего из WIMP. Экспериментальная группа DAMA, работающая в итальянской подземной лаборатории Гран-Сассо, сообщает о наблюдаемых годовых вариациях скорости счета сигналов. Однако другие группы пока не подтверждают этих результатов, и вопрос, по существу, остается открытым.

В начале прошлого века Альберт Эйнштейн, желая обеспечить космологической модели в общей теории относительности независимость от времени, ввел в уравнения теории так называемую космологическую постоянную, которую обозначил греческой буквой «лямбда» — Λ . Эта Λ была чисто формальной константой, в которой сам Эйнштейн не видел никакого физического смысла. После того как было открыто расширение Вселенной, надобность в ней отпала. Эйнштейн очень жалел о своей поспешности и называл космологическую постоянную Λ своей самой большой научной ошибкой. Однако спустя десятилетия выяснилось, что постоянная Хаббла, которая определяет темп расширения Вселенной, меняется со временем, причем ее зависимость от времени можно объяснить, подбирая величину той самой «ошибочной» эйнштейновской постоянной Λ , которая вносит вклад в скрытую плотность Вселенной. Эту часть скрытой массы и стали называть «темная энергия».

О темной энергии можно сказать еще меньше, чем о темной материи. Во-первых, она равномерно распределена по Вселенной, в отличие от

обычного вещества и других форм темной материи. В галактиках и скоплениях галактик ее столько же, сколько вне их. Во-вторых, она обладает несколькими весьма странными свойствами, понять которые можно, лишь анализируя уравнения теории относительности и интерпретируя их решения. Например, темная энергия испытывает антигравитацию: за счет ее присутствия темп расширения Вселенной растет. Темная энергия как бы расталкивает саму себя, ускоряя при этом и разбегание обычной материи, собранной в галактиках. А еще темная энергия обладает отрицательным давлением, благодаря которому в веществе возникает сила, препятствующая его растяжению.

Подводя итог можно с уверенностью сказать, что темная материя и темная энергия существуют и о природе этой физической сущности пока мало чего известно. Вполне возможно, что ученые будущего, ныне обычные школьники смогут пролить свет на природу и свойства этого астрофизического феномена.