

## Загадка "темной энергии"

Загадка темной энергии возникла намного раньше появления ныне распространенного ее термина. Исходным пунктом этой истории стали проводившиеся астрономами оценки масс различных галактик. К таким оценкам приводили два возможных способа.

Во-первых, оценивалась суммарная масса составляющих галактику звезд, к этой массе добавлялись оценки масс газовых и пылевых облаков и таких объектов, как предполагаемые черные дыры и остатки потухших звезд определенного класса, так называемые темные карлики. Другой способ, получивший название динамической массы, состоит в измерении силы притяжения галактики путем определения скорости движения звезд или газовых облаков на ее периферии. К удивлению исследователей динамическая масса оказалась в 10 раз больше, чем масса, оцененная по подсчету суммарной массы вещественных объектов. Конечно, у каждого из способов существует своя погрешность измерений, но не в такой же степени! Тем более, что никаких видимых или регистрируемых другими способами объектов (кроме гравитации) на периферии галактик не обнаруживали. Приведу для примера краткий перечень некоторых подобных измерений.

В 1985 году появилось сообщение [1], что орбитальная рентгеновская обсерватория «Эйнштейн» провела наблюдение 55-и галактик и при этом обнаружила рентгеновские короны, окружавшие все эллиптические галактики, звездная масса которых сравнима со звездной массой нашей Галактики (то есть, с массой, примерно равной ста миллиардам солнечных масс). Чтобы источники рентгеновских корон наблюдаемой интенсивности удержались возле галактики, суммарной массы всех ее звезд было недостаточно. Пришлось предположить, что в эллиптических галактиках на периферии имеется невидимое гало, масса которого в 10 раз превышает массу звездной галактики.

В 1986 году в [2] сообщалось как уже установленный факт, что галактики, и не только эллиптические, окружены гало из невидимой материи, и масса таких гало примерно в 10 раз превышает собственную массу самих галактик. В масштабе групп и скоплений галактик динамическая масса также в 10 раз превышает массу видимых объектов. Остается неясным, какие частицы или объекты формируют эту скрытую массу.

В 1990 году в [3] опубликованы результаты, полученные итальянскими астрофизиками, исследовавшими ближайшую к нам галактику в созвездии Андромеды. Выяснилось, что в пределах 16 килопарсек измеренная масса остается примерно равной содержащейся там массе звезд. Но в сфере диаметром в 26 килопарсек, то есть на периферии галактики, масса возрастает в 10 раз, хотя в промежутке между сферами звезды практически отсутствуют. Вывод: вся гигантская добавочная масса связана с темным гало, содержащим неизвестные объекты.

Еще один, но далеко не последний пример. В ноябре 1993 года в обсерватории Ла Силла (Чили) была завешена работа по определению динамической массы у гигантской эллиптической галактики NGC 1399, находящейся на расстоянии 50 миллионов световых лет от нас [4]. Оцененная масса галактики оказалась в 10 раз больше суммарной массы всех ее звезд.

В последующие годы выдвигались разные гипотезы о том, какие известные и пока неизвестные науке частицы могут создать притяжение, в десять раз превосходящее притяжение вещественных объектов (и, следовательно, господствовать в нашем мире) и быть причисленными к понятию «темной массы». Однако в лучшем случае эти попытки остались сомнительными гипотезами. Более успешно протекала работа по оценке соотношений тяготеющих масс между веществом Вселенной и пока не известными науке невидимыми тяготеющими массами. Установлено, что вещество, как одна из форм материи в нашем мире, составляет не более 5% от наблюдаемой тяготеющей массы.

Под веществом подразумеваются три класса так называемых элементарных частиц, образующих весь вещественный мир Вселенной, включая и нас самих. Это класс кварков, класс лептонов и класс бозонов. Кварки, прежде всего, образуют протоны и нейтроны, непременные составные части атомных ядер. Класс лептонов включает электрон, мюон, тау-лептон и три сорта нейтрино. Именно эти два класса участвуют в образовании атомарного вещества. Класс бозонов образуют особые частицы, роль которых состоит либо в создании в макромире излучений, либо в участии по обеспечению взаимодействий, протекающих между частицами первых двух классов. Так фотон, безмассовая частица, служит основой всех электромагнитных излучений. Восемь разновидностей глюонов, также безмассовых частиц, обеспечивают в ходе сильного взаимодействия объединения кварков в протоны и нейтроны. Они же обеспечивают объединение протонов и нейтронов в атомные ядра. Векторные бозоны трех разновидностей участвуют в процессах, носящих название слабого взаимодействия. Они имеют массы примерно в 100

раз превышающие массу протона. К этому же классу приписан гравитон, безмассовая частица, участвующая в гравитационных взаимодействиях, но пока представленная только в теории гравитации. Перечисленные частицы составляют ту Вселенную, объекты которой до сих пор преимущественно изучались астрономами и астрофизиками.

Исследования последних лет позволили с определенными оговорками включить в понятие вещества ряд объектов, предположительно образованных вещественными частицами. Например, установление маленькой массы у частиц, называемых нейтрино, дает существенную добавку к вещественной массе, поскольку концентрация таких частиц в космосе очень большая, на десятки порядков превышающая концентрацию частиц, составляющих атомарное вещество. Но и после их учета осталось порядка 70% тяготеющей массы Вселенной, природа которой носит явно выраженный не вещественный характер. По причинам, которые мы обсудим в дальнейшем, эта субстанция получила название «темной энергии». Именно она доминирует во Вселенной.

Таким образом, перед наукой сегодняшнего дня встала задача определить природу того, что названо темной энергией, и объяснить ее доминирующую роль во Вселенной. Пока для решения этой задачи пришлось вспомнить, что наряду с веществом в нашем мире присутствует еще одна форма реализации материи, получившая название физического вакуума. Уже давно физики рассматривают вакуум не как пустоту, но как материальную среду, отличную от вещества. При этом физический вакуум является базовым состоянием материи в нашем мире, он служил первоисточником в процессах, приведших к возникновению Вселенной, и он же определял последующие преобразования вещества в ходе развития, наделяя частицы не только массой, но и способностью к определенным взаимодействиям между собой. Пока что научные знания о природе материи вакуума далеки от полноты. Для нашей темы будет иметь значение одно из возможных состояний вакуума, получившее название вакуумоподобного состояния физической среды.

Согласно современной инфляционной теории, предположительно описывающей самый ранний период возникновения Вселенной [5], вакуумоподобное состояние физической среды явилось той основой, от которой пошел процесс возникновения и развития нашего мира. Такое состояние вакуума характеризовалось предельно допустимой плотностью энергии (планковской плотностью), при которой существование вещества в свободном состоянии оказалось невозможным. Более того, согласно [6] оказалось полностью деформированным пространство-время. В таком состоянии в среде

возникали отрицательные натяжения, которые условно можно назвать антигравитацией, так как под их влиянием вместо гравитации, существующей в среде с обладающими массой частицами, возникали силы отталкивания, вызвавшие процесс «раздувания» Вселенной. Этот эффект и явился тем «первотолчком», за которым последовал Большой Взрыв и развертывание событий по образованию Вселенной.

Однако, вопросы, относящиеся к «началу», являются сегодня дискуссионными и инфляционная теория, как и Большой Взрыв, не воспринимаются единодушно и одинаково всеми исследователями, занимающимися проблемами ранней космологии. Не будем задерживаться на подробностях инфляционной теории, это не входит в нашу задачу. Отмечу только то, что последние исследования реликтового излучения в связи с обнаружением в нем точечных температурных пятен, проведенные с использованием телескопов, поднимаемых в стратосферу на воздушных шарах, позволили подтвердить ранее сделанные в инфляционной теории предсказания относительно особенностей таких пятен. Что говорит в пользу этой теории.

Для нашей темы, касающейся темной энергии, важно то, что вакууму могут быть присущи антигравитационные свойства. Если такие свойства лежат в самой природе вакуума, то с ними связаны огромные энергии, до сих пор наукой не обнаруживавшиеся. Отсюда интуитивно можно предположить, что темная энергия, возможно, связана с такими свойствами вакуума.

Однако, в космосе сегодняшних дней вакуумоподобные состояния если и встречаются, то скорее всего в предполагаемых черных дырах. Возникает сомнение, можно ли считать, что в других современных состояниях вакуума также присутствует свойство антигравитации. И здесь нам предстоит обсудить другой феномен, имеющий прямое отношение к нынешнему состоянию вакуума в космическом пространстве.

В 1917 году Альберт Эйнштейн предпринял попытку приложить свою только что созданную современную теорию гравитации, получившую название Общей теории относительности, к Вселенной, которая в те годы считалась стационарной и бесконечной в пространстве и времени. Но для этого надо было решить проблему совмещения стационарности с тяготением. Ведь звезды и другие небесные объекты взаимно притягиваются, и удержать их на исходных местах не представлялось возможным.

Эйнштейн выдвинул смелую, но логически единственно допустимую гипотезу, согласно которой во Вселенной действует фактор, точно

компенсирующий силы взаимного притяжения всех тел. Иными словами допускалось существование антигравитации, действие которой обнаруживало себя в масштабах Вселенной, но оставалось незаметным в локальных масштабах Земли, Солнечной системы и даже ближайших галактик. Позже средой, создававшей такой фактор, предложили считать вакуум, который получил название антигравитирующего вакуума. В уравнения своей теории Эйнштейн ввел константу, названную космологической постоянной  $L$ , через которую учитывалась интенсивность антигравитирующего отталкивания. При сделанных предположениях эта постоянная равнялась мизерной величине, всего лишь  $10^{-56}$  в степени  $\text{см}^{-2}$ . Оно несоизмеримо с постоянной тяготения  $G$ , поэтому в земных условиях на фоне гравитации его обнаружить невозможно. Но ускорение, сообщаемое антигравитацией, растет пропорционально расстоянию от наблюдателя к удаленным объектам, в то время как ускорение гравитации уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния. При очень больших расстояниях, примерно превышающих миллиард световых лет, действие антигравитации должно заметно проявлять себя.

Дальнейшая история этого нововведения развивалась так. В 1922 году Александр Фридман публикует полученное им нестационарное решение уравнений Общей теории относительности для Вселенной. Согласно этому решению Вселенная не должна существовать в стационарном состоянии, она либо расширяется, либо сжимается. Для такого решения гипотеза об антигравитирующем отталкивании не обязательна, космологическая постоянная может равняться нулю. Но в принципе она может иметь некоторое положительное значение при условии, что силы тяготения в любом достаточно большом локальном объеме преобладают над силами отталкивания, то есть значение  $L$  более низкое, чем следует из первоначального эйнштейновского предположения. А в 1929 году Хаббл обобщает многочисленные астрономические наблюдательные данные, подтверждающие факт расширения Вселенной. Хаббл установил эмпирический закон, названный его именем, согласно которому скорость удаления галактик от наблюдателя пропорциональна их расстоянию от него.

В свете новых представлений большинство космологов предпочло похоронить идею антигравитирующего вакуума и считать космологическую постоянную равной нулю. Эйнштейн заявил, что его идея о существовании антигравитации является самой большой ошибкой, допущенной им в своей научной деятельности. Но эта идея не была отвергнута всеми. В тридцатые годы и в последующие времена находились теоретики, которые продолжали разрабатывать модели Вселенной при различных положительных значениях космологической постоянной. Эти расчеты показали, что при

современной средней плотности вещества Вселенная оказывается более «старой», чем если бы расширение шло без наличия сил отталкивания. Отсюда вытекала возможность определить, которая модель на самом деле описывает динамические свойства Вселенной, а тем самым выяснить, существует ли в нашем мире антигравитация. Это можно в принципе установить наблюдениями за очень далекими галактиками, находящимися ближе к границе видимой Вселенной. Если обнаружится, что под действием антигравитационных сил эти галактики движутся ускоренно и их удаление от нас превышает те расстояния, которые предсказываются фридмановской моделью при  $L = 0$ , то этот факт можно будет трактовать как доказательство существования в нашем мире антигравитации и, соответственно, антигравитирующего вакуума.

Что же заставляло часть теоретиков сохранять приверженность идее антигравитирующего вакуума? Прежде всего, современные теоретические представления о физическом вакууме, его свойствах и тесной связи с космологическими процессами. Без представления о вакуумоподобном состоянии невозможно в рамках современных научных знаний объяснить происхождение «первотолчка», приведшего к возникновению и расширению Вселенной. К тому же это еще один дополнительный довод в пользу того, что сингулярность не является физической реальностью, но всего лишь результат неоправданного переноса классических представлений в область, где эти представления не могут иметь места.

Итак, теоретические игры с моделями Вселенной при  $L > 0$  указали возможный путь наблюдательной проверки того, реализуется ли в нашем мире идея антигравитирующего вакуума. В конце XX века такая проверка была осуществлена. В 1988 году были опубликованы результаты исследования в отдаленных галактиках взрывающихся звезд типа Сверхновые 1. Исследования проводились двумя независимыми группами, одна – в США под руководством профессора Саула Перлмуттера, другая – в Австралии под руководством профессора Бриана Шмидта.

В современной астрономии первое знакомство с внезапно появляющимися яркими «новыми» звездами произошло 31 августа 1885 года, когда астроном Гартвиг из обсерватории города Тарту обнаружил такую звезду вблизи от ядра туманности Андромеды. Тогда еще не было известно, что туманность в созвездии Андромеды на самом деле является гигантским сообществом нескольких сотен миллиардов звезд, ныне называемого галактикой, и что это сообщество удалено от нас на расстояние, превышающее 2 миллиона световых лет. А открытая Гартвигом новая звезда в момент своего появления создавала поток излучения, который только в 6 раз был

меньше суммарного потока всех остальных сотен миллиардов звезд этой туманности. До 1920 года в разных галактиках астрономы зарегистрировали около десяти вспышек подобных звезд. Позже, в 1934 году, название «сверхновая», закрепившееся за такими звездами, предложили американские астрономы Цвикки и Бааде, создавшие «патрульную службу» для их обнаружения. Сегодня известно, что вспышки сверхновых очень редкое событие, в одной галактике оно происходит в среднем раз в 360 лет. Но так как галактик очень много, то даже при не очень совершенных оптических инструментах астрономы наблюдают такие вспышки в разных галактиках один-два раза в год.

Ныне возросшие инструментальные возможности позволяют астрономам ежегодно наблюдать до 20 вспыхивающих Сверхновых, в том числе в галактиках, удаленных от нас на миллиарды световых лет. Такая возможность определяется тем, что в момент максимального блеска сверхновой ее светимость в десять миллиардов раз превышает светимость Солнца. Светимость звезды называют энергией, которую она излучает во всем диапазоне электромагнитных длин волн за одну секунду. Общая же выделенная энергия за все время существования Сверхновой достигает таких значений, которое наше Солнце сможет выделить лишь в течение одного миллиарда лет. Из этой энергии лишь 1% уносится электромагнитными излучениями, остальную энергию уносят нейтрино.

По спектральным особенностям сверхновые разделяются на две группы. В первую входят Сверхновые типа 1, именно они изучались обеими упомянутыми выше командами исследователей. Изменение светимости звезд этой группы со временем и их спектры практически идентичны. Это обстоятельство позволяет непосредственно определять абсолютную светимость вспыхнувшей звезды независимо от того, на каком расстоянии она находится от наблюдателя. Сравнивая абсолютную светимость с относительной светимостью, измеряемой на входе телескопа, определяют расстояние до этой звезды. Тем самым определяется независимым методом расстояние до галактики, в которой произошла вспышка Сверхновой. Но одновременно расстояние до такой галактики определялось другим методом – по так называемому красному смещению спектральных линий определенного элемента, например, водорода. Термин «красное смещение» образно обозначает оптический эффект Доплера.

Атомы, находящиеся в сильно нагретой среде, например, в атмосферах звезд, излучают свет. Если с помощью спектрографа разложить этот свет по длинам волн, то, как правило, его спектр предстает в виде отдельных разноцветных линий, разделенных

темными промежутками. С коротковолнового участка спектра располагаются линии, примыкающие к синей области, а с длинноволнового – к красной области. Каждый элемент, например, водород, гелий и другие, характеризуется своим набором спектральных линий, их расположение присуще только этому элементу. Но если звезда или галактика удаляются от нас, то весь спектр как одно целое сдвигается в область длинных волн, к красному краю спектра. По величине сдвига определяют скорость удаления светящегося объекта. Согласно закону, установленному Хабблом, скорость удаления объекта пропорциональна расстоянию до него. Следовательно, определив величину сдвига линий в спектре удаляющейся от нас галактики, в которой вспыхнула Сверхновая 1, осуществляют еще одно независимое определение расстояния до галактики, в которой взорвалась звезда.

Из двух способов определения расстояния тот, который определяется по данным, полученным от Сверхновой, считается наиболее надежным, поскольку он не связан с привлечением тех или иных модельных представлений. Второй способ, опирающийся на эмпирический закон Хаббла, заранее связан с моделью Вселенной, в которой космологическая постоянная равна нулю. Если в пределах точности измерений оба метода дают совпадающие результаты, то тем самым подтверждается фридмановская модель без учета антигравитирующих свойств вакуума. Но обе независимые группы исследователей получили результат, согласно которому расстояние до Сверхновой больше того, которое дают измерения красного смещения в спектре галактики, где эта Сверхновая взорвалась.

Это справедливо в том случае, когда галактики находятся на периферии видимой Вселенной, то есть на расстояниях, превышающих примерно миллиард световых лет. Следовательно, периферийное расширение Вселенной не замедляется, как следовало ожидать, а ускоряется. Этот результат, в случае его окончательного подтверждения, означает, что космологическая постоянная на самом деле имеет небольшое положительное значение. А это, в свою очередь, служит подтверждением существования антигравитационной способности у вакуума, находящегося в его современном космическом состоянии, даже при отсутствии вакуумоподобного состояния физической среды.

Что же можно сказать при сегодняшних научных знаниях о природе и значении темной энергии?

Во-первых, вне всякого сомнения, в нашем мире существует, кроме вещества, некая пока неизвестная науке субстанция, которая создает тяготение, почти на порядок превышающее тяготение вещественной



составляющей Вселенной. До этого открытия астрономия и астрофизика в основном занимались изучением вещественной Вселенной, состоящей из атомарного вещества и излучений. После того, как окончательно выяснится, что господствует не эта часть Вселенной, а пока неизвестная науке субстанция невещественной природы, предстоит капитально пересмотреть сегодняшние космологические представления о нашем мире, что приведет к изменению космологической парадигмы, утвердившейся на основании открытий первой четверти XX века.

Во-вторых, пока имеется в распоряжении науки лишь одна сфера присутствия невещественной материи – это физический вакуум. Подтверждение открытия, что материя вакуума, ко всему прочему, обладает антигравитирующими способностями, указывает на вакуум, как на носителя этой неизвестной субстанции. Можно говорить, что для проявления таких его свойств вакуум должен обладать огромной энергией. Каким-то образом такая энергия может породить следствия, проявляющиеся в нашем мире в виде того, что получило название темной энергии, связанной с отрицательным давлением. Принцип этой энергии наука пока не понимает.

Оптимизм в связи со сказанным можно испытывать лишь в том плане, что наука еще молода, и впереди, по-видимому, предстоят новые открытия, по сравнению с которыми, возможно, поблекнут даже выдающиеся открытия XX века.

### ***Литература***

1. *Astrophysical Journal*, 1985, v. 299, p. 102 (US)
2. *Physical Rev. Letters*, 1986, v. 59, N 3, p.263 – 265 (US)
3. *Astronomy and Astrophysics*, 1990, v. 236, p. 99 – 106
4. M. Arnabaldi, K.S. Freeman, H. Ford, X. Hui, M. Capaccioli, *ESO Press Release*, 1994, 15 April
5. А.Д. Линде, *Раздувающаяся Вселенная, Успехи физических наук*, 1984, т. 144, с. 177
6. С. Хокинг, *Край Вселенной, «Природа»*, 1985, № 4, с. 21
7. Р.Ровинский. *Загадка темной энергии, Вопросы философии*, 2004, 12, с.103-108