



Энергия, невидимая как материя

Доктор технических наук
Р.Е.Ровинский

Процесс научного познания почему-то идет неравномерно. Периоды потрясающих открытий и построения новых теорий перемежаются относительно спокойными временами, когда идет уточнение, шлифовка, сборка мультинаучной мозаики в общую картину мира. Почему так устроен процесс познания — непонятно. И немедленно приходящие на ум слова о переходе чего-то в качество ничего не объясняют: науковедение — как наука — еще не вылезла из коротких штанишек. Но иногда о том, что приближаются потрясения, можно догадаться.

В последние десятилетия XX века в астрономии были сделаны открытия, существенно изменившие представление ученых о Вселенной. Это привело к очередному пересмотру существующей космологической парадигмы. В частности, появилось новое понятие и новая загадка — «темная энергия». И эта загадка возникла намного раньше, чем появилось ее ныне распространенное название.



Художник Н. Крашин



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

ной субстанции (кроме гравитации) на периферии галактик не обнаруживали.

В 1933 году астроном Франц Цвики (тот самый, который открыл скопления галактик и предсказал нейтронные звезды) сообщил о возможном существовании во Вселенной «темной материи» без уточнения количественных величин.

К 1985 году орбитальная рентгеновская обсерватория «Эйнштейн» провела наблюдение 55 галактик и при этом обнаружила рентгеновские короны, окружающие все эллиптические галактики, звездная масса которых сравнима со звездной массой нашей Галактики (то есть примерно равна 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 есть невидимое гало, масса которого в десять раз превышает массу звездной галактики.

В 1986 году было сообщено, что такие же гало имеются и вокруг спиральных галактик. В масштабе групп и скоплений галактик динамическая масса также в десять раз превышает массу видимых объектов. Осталось неясным, какие частицы или объекты формируют эту скрытую массу. В 1990 году итальянские астрофизики исследовали туманность Андромеды (M 31, одна из первых трех галактик, «разложенных» на звезды Э.Хабблом в 1925 году) и показали, что до радиуса 16 килопарсек измеренная масса остается примерно равной содержащейся там массе звезд. Но в сфере радиусом 26 килопарсек, то есть на периферии галактики, масса возрастает в десять раз, хотя в промежутке между сферами звезд мало. Вывод: вся гигантская добавочная масса связана с темным гало, содержащим неизвестные объекты. Еще пример — в 1993 году в обсерватории Ла-Силла (Чили) была завершена работа по определению динамической массы у гигантской эллиптической галактики NGC 1399, находящейся на расстоянии 50 миллионов световых лет от нас. Динамическая масса опять превысила «наблюдаемую» в десять раз.

Невидимая масса

Исходным пунктом стали оценки масс различных галактик. Эти оценки астрофизики делают двумя способами. Можно оценить суммарную массу составляющих галактику звезд, добавить массу газовых и пылевых облаков, предполагаемых черных дыр и остатков потухших звезд определенного класса — темных карликов. Другой способ, который называют «определением динамической массы», — изме-

рение силы притяжения галактики путем измерения скорости движения звезд или газовых облаков на ее периферии. К удивлению исследователей, динамическая масса оказалась в десять раз больше, чем масса, оцененная по подсчету суммарной массы вещественных объектов. Конечно, у каждого способа существует своя погрешность измерений, но не в такой же степени! Тем более что никаких видимых или регистрируемых другими способами проявлений таинствен-

Предлагались разные гипотезы о том, какие известные или неизвестные частицы могут создать притяжение, в десять раз превосходящее притяжение вещественных объектов, и откуда берется рентгеновское излучение гало. Однако дальше гипотез продвинуться пока не удалось. Исследования последних лет позволили включить в понятие вещества, обладающего массой, нейтрино и антинейтрино. Их массы очень малы, но концентрация таких частиц во Вселенной на десятки порядков превосходит концентрацию нейтронов и протонов. Поэтому предполагаемый суммарный вклад этих частиц в вещественную тяготеющую массу превышает вклад всех атомарных частиц. Но и после их учета остается около 3/4 тяготеющей массы Вселенной, природа которой носит неведомый характер. Эта неведомая субстанция получила название «темной энергии». Именно она преобладает во Вселенной.

Вакуум, который не пуст

Таким образом, перед астрофизикой стоит задача: определить природу того, что названо темной энергией, и объяснить ее главенствующую роль во Вселенной. Можно высказать на этот счет некоторые предположения. В нашем мире реализуются две формы материи — вещество и физический вакуум. Уже давно физики рассматривают вакуум не как пустоту, но как материальную среду, отличную от вещества. При этом физический вакуум — базовое состояние материи в нашем мире, он был первоисточником процессов, приведших к возникновению Вселенной, и он же определял последующие преобразования вещества в ходе развития, наделяя частицы не только массой, но и способностью к взаимодействиям. Наука выделяет несколько уровней в иерархии нашего мира. Это Микромир, Макромир (зона нашего существования) и Мегамир, то есть Вселенная, и, возможно, не только она. Каждый последующий уровень иерархии опирается на нижележащие уровни. К этой иерархии снизу следует добавить еще один основополагающий уровень, который назван физическим вакуумом. Пока что научные знания о природе вакуума далеки от полноты. Известно, что он может существовать в нескольких модификациях, различающихся прежде всего содержанием энергии. Между модификациями возможны фазовые переходы.

Естественно было бы предположить, что недостающая гравитирующая масса, та самая темная энергия — это проявление физического вакуума, который несет огромную энергию. Но

проблема в том, что, согласно существующим теориям, физический вакуум — по крайней мере, в начале истории Вселенной — имел антигравитационные свойства, вызывал не притяжение, а отталкивание!

В частности, согласно современной, так называемой инфляционной теории, описывающей самый ранний период возникновения Вселенной, вакуумоподобное состояние физической среды стало 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 было невозможным. В таком состоянии в среде возникали отрывательные натяжения, которые условно можно назвать антигравитацией: под их влиянием вместо гравитации, которая существует в среде с обладающими массой частицами, возникали силы отталкивания, которые вызвали «раздувание» Вселенной. Этот эффект и был тем «первотолчком», за которым последовали Большой Взрыв и развертывание событий по образованию вещественной Вселенной. Однако вопросы, относящиеся к «началу», остаются сегодня дискуссионными, инфляционная теория, как и Большой Взрыв, не воспринимаются единодушно всеми исследователями, занимающимися проблемами ранней космологии. Правда, последние исследования реликтового излучения и обнаружение локальных неоднородностей в нем говорят в пользу этой теории — она их предсказывала.

В этой связи можно вспомнить некоторые события, имевшие место почти век назад.

Самая крупная ошибка или гениальное предвидение?

В 1917 году А.Эйнштейн предпринял попытку приложить свою только что созданную 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 предположил, что во Вселенной действует фактор, точно компенсирующий силы взаимного притяжения всех тел. То есть 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 уравнении своей теории Эйнштейн ввел константу, названную космологической постоянной Λ , которая учитывала интенсивность антигравитирующего отталкивания. Эта постоянная равнялась мизерной величине, несоизмеримой с постоянной тяготения G , поэтому в земных условиях на фоне гравитации нарушить силы отталкивания 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 на фоне сил притяжения.

Дальнейшая история этого нововведения хорошо известна. В 1922 году А.Фридман публикует полученное им нестационарное решение уравнений общей теории относительности для Вселенной. Согласно этому решению, Вселенная не может существовать в стационарном состоянии, она либо расширяется, либо сжимается. Для такого решения гипотеза об антигравитирующем отталкивании необязательна, космологическая постоянная может равняться нулю. Но она может иметь и некоторое положительное значение при условии, что силы тяготения в любом достаточно большом локальном объеме преобладают над силами отталкивания. А в 1929 году Эдвин 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 в его научной деятельности. Но эта идея не была отвергнута всеми. В тридцатые годы и в последующие времена находились теоретики, например Г.Леметр, которые продолжали разрабатывать модели Вселенной при различных положительных значениях космологической постоянной. Такие работы позволили найти

отличия в будущем развитии Вселенной, благодаря которым возможно определить, какая из моделей на самом деле описывает ее динамические свойства. Для этого следует установить наблюдение за очень далекими галактиками, находящимися ближе к границе видимой Вселенной. Если обнаружится, что удаленные галактики движутся ускоренно, а расстояния от них до нас превышают те расстояния, которые предсказывает фридмановская модель при $D = 0$, 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. Но при этом возникает вопрос об источнике гигантской энергии, обеспечившем возможность всего того, что предполагается необходимым для возникновения нашего вещественного мира.

Итак, теоретические игры с моделями Вселенной при $D > 0$ указали, как возможно путем наблюдений проверить, реализуется ли в нашем мире идея антигравитирующего вакуума. В конце XX века такую проверку сделали. В 1988 году были опубликованы результаты исследования в отдаленных галактиках взрывающихся звезд — сверхновых. Исследования проводили две независимые группы, одна в США под руководством С.Перлмуттера, другая — в Австралии под руководством Б.Шмидта.

В современной астрономии первое знакомство с внезапно появляющимися яркими «новыми» звездами произошло 31 августа 1885 года, когда астроном Е.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 гигантское сообщество нескольких сотен миллиардов звезд, ныне называемое галактикой, и что это сообщество удалено от нас на расстояние, превышающее два миллиона световых лет. А открытая Гартвигом новая звезда в момент своего появления создавала поток излучения, который только в четыре раза был меньше суммарного потока всех остальных сотен миллиардов звезд этой туманности.

Что еще можно прочитать на эту тему:

А.Д.Линде. Раздувающаяся Вселенная. «Успехи физических наук», 1984, № 1.
С.Хокинг. Край Вселенной. «Природа», 1985, № 4.
П.Девис. Суперсила. М.: Мир, 1989.



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Вспышки сверхновых — редкое событие, в одной галактике оно происходит в среднем раз в 350 лет. Но так как галактик очень много, то астрономы ежегодно наблюдают до 20 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.

По спектральным особенностям сверхновых разделяются на две группы. В первую входят сверхновые типа I, именно их и изучали. Изменение светимости звезд этой группы со временем и их спектры идентичны. Это позволяет определять абсолютную светимость вспыхнувшей звезды независимо от того, на каком расстоянии от наблюдателя она находится. Сравнивая абсолютную светимость с относительной светимостью, определяют расстояние до этой звезды — а значит, и до галактики, в которой произошла вспышка. Но одновременно расстояние до такой галактики определяется другим методом — по так называемому красному смещению спектральных линий какого-либо элемента, например водорода.

Красное смещение (эффект Доплера) зависит от скорости движения. 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 I, осуществляют еще одно независимое определение расстояния до галактики, в которой взорвалась звезда.

Из двух способов определения расстояния тот, который использует данные, полученные 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 совпада-

ющие результаты, то тем самым подтверждается фридмановская модель, не учитывающая антигравитацию 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. Если этот результат окончательно подтвердится, значит, космологическая постоянная на самом деле имеет небольшое положительное значение. А это, в свою очередь, подтверждает существование у вакуума антигравитационной способности. Той самой, которая сказывается только на очень больших расстояниях и которая была важна в момент «первотолчка».

Итак, что мы имеем в сухом остатке? Во-первых, вне всякого сомнения, в нашем мире существует, кроме вещества, некая невещественная субстанция, которая создает тяготение, в несколько раз превышающее тяготение вещественной составляющей Вселенной. Во-вторых, невещественный характер темной энергии дает основание для предположения, что она — составная часть физического вакуума, базовое состояние материи в нашем мире. Это не противоречит антигравитации вакуума на больших расстояниях и в момент Большого Взрыва. «Устройство» этой энергии и характер ее взаимодействия с веществом наука пока не понимает. Однако оптимизм в связи со сказанным вполне уместен — космология наука молодая, и мы можем ждать сюрпризов.

