

## Лекция 13

### 13.1. О роли плотности вселенной в космологии

Теперь мы увидели, как постулат об однородности приводит к различным возможностям вселенной, которая может быть как открытой, так и закрытой. Мы видим, что один из наиболее интересных космологических вопросов состоит в том, является ли наша вселенная неограниченной и расширяющейся вечно или она ограничена. Мы рассчитываем ответить на этот вопрос на основе наблюдений. Какие же есть факторы, относящиеся к этой проблеме? Центральный вопрос есть следующий: являются ли скорости галактик достаточно большими, чтобы они неограниченно разбегались, или эти скорости настолько малы, что движение финитное? Давайте сделаем некоторые оценки на основе ньютоновской механики, которые достаточно близки к релятивистским оценкам для нашей задачи. Если радиальная скорость оболочки с радиусом  $r$  пропорциональна величине  $r$ , достаточно ли кинетической энергии для неограниченного разбегания? Из-за сферической симметрии мы, при выписывании закона сохранения энергии, рассматриваем только массу, находящуюся внутри оболочки. Если мы предполагаем однородную плотность  $\rho$  во вселенной, то критическое значение для чисто финитной и чисто инфинитной вселенной есть условие, что

$$\frac{1}{2} v^2 = \frac{GM}{r}, \quad \text{где} \quad M = \frac{4\pi}{3} \rho r^3. \quad (13.1.1)$$

Мы можем произвести это вычисление для какого бы то ни было любого значения  $r$ . Теперь мы положим  $v = r/T$ , где  $T$  есть хаббловское время, одна из тех величин, которые мы должны определить. Критическое значение может быть тогда выражено через значение плотности

$$\rho = \frac{3}{8\pi} \frac{1}{GT^2}. \quad (13.1.2)$$

Если мы принимаем нынешнее значение хаббловского времени  $T = 13 \times 10^9$  лет, мы вычисляем критическую среднюю плотность, которая оказывается равной  $\rho = 1 \times 10^{-29} \text{ г}/\text{см}^3$ . Мы не будем знать, является ли вселенная финитной или инфинитной до тех пор, пока мы не измерим среднюю плотность с достаточной точностью для того, чтобы иметь обоснованное сравнение с критическим значением.

К сожалению, измерения плотности вселенной являются предельно трудными и предельно неопределенными, произвести их намного труднее, чем измерения постоянной Хаббла, которая сама может иметь существенную неопределенность. Как уже упоминалось, всего-навсего несколько лет назад возраст вселенной  $T$  считался меньшим примерно в 2.4 раза. Для получения исправленной оценки возраста вселенной было затрачено существенно больше усилий, чем для получения первоначальной оценки, так что ис-

правленная оценка может быть более надежной, тем не менее, не является невообразимым, что нынешнее значение может быть вновь изменено на аналогичный множитель. Как обычно, конечный результат является очень чувствительным к величине, которая измеряется для многих сложных случаев измерения, а именно, тех галактик, которые находятся на пределе чувствительности наших телескопов. Соответствующие расстояния определяются на основе анализа яркости скоплений вместо того, чтобы делать это на основе анализа яркости галактик, и нет гарантии, что такие наблюдаемые скопления являются типичными в рассматриваемой нами области и что они по своей интенсивности сопоставимы со скоплениями, близкими к нам. Таким образом, конечные оценки  $T$  оказываются случайными в зависимости от правильности длинной цепочки предположений, каждое из которых вносит существенный вклад в возможную ошибку в конечном результате. Какова же ситуация, связанная с оценками средней плотности? Если мы считаем галактики и предполагаем, что они более и менее такие же, как ближайшие к нам галактики, полная плотность такого рода видимого вещества около  $10^{-31}$  г/см<sup>3</sup>. Эта величина представляет некоторого рода нижний предел на плотность вещества, так как видимое вещество должно быть некоторой частью полной плотности вещества. Плотность вещества в межгалактических областях оценивается по измерениям интенсивности различных узких спектральных линий, как функция расстояния до источника. Предположительно, поглощение излучения в таких линиях есть мера количества атомов заданного типа в области между излучателем и наблюдателем. Имеется огромное число предположений и поправок, которые должны быть сделаны для того, чтобы привести полученные данные к численной оценке, так что также не ожидается, что конечный результат будет определенным, за исключением возможно оценки по порядку величины. Измерения по количеству натрия явились достаточно успешными, но ключевой величиной при таких измерениях является количество водорода, которое предположительно получается из наблюдений поглощения в линии водорода 21 см. Радиоастрономы работают над такими измерениями; их результаты, полученные к настоящему времени, указывают на то, что видимое вещество составляет на самом деле лишь очень небольшую часть полной плотности вещества. Критическая величина плотности  $\rho = 1 \times 10^{-29}$  г/см<sup>3</sup> всегда находится в пределах диапазона любой оценки, тем не менее, эти данные являются достаточно грязными, так что если в теории потребуется плотность настолько высокая как  $\rho = 1 \times 10^{-27}$  г/см<sup>3</sup>, то наблюдения не могли бы исключить такую величину, теория не могла бы быть опровергнута на основе того, что плотность, предсказываемая такой теорией, оказывается слишком высокой.

В этом месте я хотел бы сделать замечание о нынешнем состоянии наблюдений, относящихся к космологии. Когда физик читает статью типичного астронома, то он обнаруживает необычный стиль при работе с неопределенностями и ошибками. Хотя работы, в которых приводятся вычисления и измерения, очень часто бывают аккуратны при перечислении и

обсуждении источников ошибки и даже при оценивании степени согласия, с которой мы могли бы сделать определенные ключевые предположения, когда возникает время для оценивания такой величины, как хаббловский возраст вселенной, то физик не находит оценку полной неопределенности, например, в виде обычной оценки  $\pm \Delta T$ , используемой физиками. Такие авторы, очевидно, не имеют намерения в точности установить вероятность, соответствующую тому, что их величина оказывается правильной, хотя они очень тщательно приводят многие источники ошибок, и хотя совершенно ясно, что эта ошибка составляет существенную часть этой величины. Беда заключается в том, что часто другие космологи или астрофизики берут это число без относительно возможной ошибки, рассматривая его как астрономическое наблюдение, являющееся настолько точным, как и период планеты. Например, подобная беда имеет место при работе с космологическими моделями, где все модели предсказывают красное смещение с практически линейной зависимостью от расстояния. Только ускорение далеких галактик есть та величина, с помощью которой различия между космологическими моделями становятся существенными. Оказывается, что если ускорение выражается как параметр  $q$ , который, как показывают наблюдения и вычисления, должен быть, например,

$$\frac{\ddot{R}R}{\dot{R}^2} = q = 1.2, \quad (13.1.3)$$

то это число оказывается непригодным для того, чтобы сравнивать его с предсказаниями теории. Даже если модель Хойла должна предсказывать  $q = -0.5$ , Хойл мог бы быть все-таки прав потому, что ускорение может иметь гигантские ошибки, например  $1.2 \pm 5.0$ . Тем не менее, это именно то место, где некоторые авторы сбиваются с пути, работая с величинами без указания их ошибок, как будто это величины известны предельно точно. Когда-нибудь, конечно, ошибки могут быть много меньше, так как гигантские усилия предпринимаются многими астрономами для того, чтобы получить все более точные величины.

Развязка всего этого состоит в том, что критическая плотность является наилучшей плотностью, для использования в космологических задачах. Этот факт имеет огромное множество очень приятных свойств, например, эта плотность, при которой создание вещества в центре вселенной (который находится всюду, согласно принципу космологической однородности) ничего не стоит. Если плотность вещества есть  $\rho$ , тогда мы знаем, что пространство имеет положительную кривизну, обусловленную непосредственно плотностью вещества. С другой стороны, трехмерное пространство в эквивалентные моменты собственного времени при эволюции галактики имеет отрицательную кривизну; критическая плотность уравновешивает величину кривизны таким образом, чтобы сделать трехмерное пространство плоским. Критическая плотность также разделяет случай вселенной с конечным числом галактик от вселенной с бесконечным их числом. С учетом всех волшебных свойств этой величины заманчиво было бы пораз-

мышлять, что эта величина, на самом деле, есть "истинная" плотность. Тем не менее, мы не должны обманывать самих себя думая, что такой замечательный результат более надежен просто благодаря своей "красоте", которая есть частично искусственный результат наших предположений.

### 13.2. О возможности неоднородной и несферической вселенной

Так как все наши заключения серьезным образом основаны на постулате однородной космологии, мы могли бы проанализировать природу такого свидетельства. Если мы исследуем область вселенной, находящейся в пределах  $1.3 \times 10^8$  световых лет от нас, мы без труда находим одно скопление, скопление Девы (Virgo), другими словами, вещество распределено в значительной степени довольно несимметричным способом. Отсутствие симметрии в этой области является таким значительным, что оно не может быть объяснено небольшими отклонениями от симметрии. Например, это не может быть обусловлено потемнением, вызванным галактической пылью, которое может задевать только ту область неба, которая лежит в пределах нескольких градусов от галактического экватора. Однородность должна выделяться при исследовании областей, которые больше, чем  $10^8$  световых лет, так как число галактик в обычном скоплении является слишком большим для того, чтобы их можно было достаточно точно описать как флукутация плотности. Что обнадеживает, так это то, что оказывается, что очень удаленные области неба населены очень регулярными и компактными скоплениями скоплений, включающими в себя возможно тысячи галактик, причем все они роятся как пчелы вокруг центра масс сверхскоплений. Измерения дисперсии красных смещений показывают, что скорости относительно центра масс должны быть порядка 1000 км/с. Эта дисперсия служит в качестве весьма полезной меры массы скопления. Очевидно, что такие скопления образуются гравитационным притяжением, и что они являются объектами, которые имеют долгую жизнь, они являются устойчивыми финитными системами. Из этой информации мы выводим массу, поскольку знаем, что скоростей 1000 км/с недостаточно для того, чтобы галактика, обладающая такой скоростью, покинула систему. Существует некоторое беспокойство, вызванное использованием такой поправки; если, например, мы делаем подобное вычисления для массы скопления Девы, мы получаем массу примерно в 30 раз меньше, чем величина, получаемая другими способами. Однако, удаленные сверхскопления являются больше скоплением Девы, так что такое вычисление может быть более надежным.

Само существование скоплений показывает, что галактики притягиваются друг к другу с достаточной силой, так что такие системы находятся вместе в течение времени, сравнимого со временем вселенной. Очень интересно отметить, что почти все галактики находятся в скоплениях; и оказывается, что только очень небольшая их часть находится не в скоплении. Вывод состоит в том, что почти все видимое вещество во вселенной не дает достаточной кинетической энергии для того, чтобы вещество могло бы

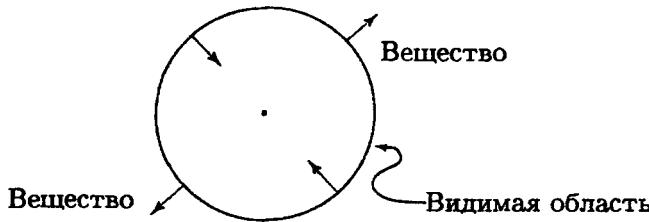


Рис. 13.1.

освободиться из гравитационного поля окружающей материи. Ввиду этого факта, мне кажется, что очень невероятным, чтобы средняя плотность вселенной много меньше, чем критическая плотность. Если плотность много меньше, чем критическая плотность, то образование скоплений должно быть приписано локальным флуктуациям, которые делают вещество более плотным в некоторых областях. На основе статистической модели это было бы довольно трудно, в этом случае должно быть достаточно локальных флуктуаций правильного вида, так чтобы почти все вещество было сосредоточено в скоплениях. Может быть доказано, что в более ранние моменты времени, когда плотность была выше, такие флуктуации могут быть образованы более легко, но я не вижу количественного доказательства, основанного на этой идее. Неизбежный вывод состоит в том, что большая часть вещества затягивается в скопления, поскольку гравитационная энергия того же порядка, что и кинетическая энергия расширения, это наводит на мысль, что средняя плотность всюду должна быть почти равной критической плотности.

Предыдущие предположения о средней плотности не дают никакой поддержки гипотезе однородности. Может все еще оставаться вопрос, который касается того, является ли скопление вещества в заданных областях чисто локальным эффектом и меняется ли ситуация от области к области. Космологический принцип может изучаться только путем проведения детального сравнения плотности вещества и нелинейной зависимости красного смещения, которая представляет ускорение галактик. Это есть величины, которые в принципе измеряются независимо, хотя определенное соотношение между ними предсказывается теориями, в которых принимается космологический принцип. Если вариация плотности от радиальной координаты была бы измерена с большой точностью, то мы могли бы обнаружить, что вещество может быть имеет большую плотность во внутренней области, так что космологический принцип не может выполняться.

Даже если космологический принцип был бы неверен, может оказаться, что вселенная имеет сферическую симметрию. Предпочтение в пользу космологического принципа отражает наше удивление от обнаружения того, что мы находимся в таком месте, которое выглядит как центр вселенной. Давайте предположим, что видимая область почти симметрична, но что вне ее имеется довольно много вещества, распределенного достаточно кривобоко. Каково бы было в этом случае отличие от симметричного рас-

пределения вещества? Мы могли бы ожидать поправки первого порядка к движению удаленной галактики, которые были бы обусловлены влиянию приливных сил, как это проиллюстрировано на рис. 13.1. (Если видимая область ускоряется как целое, то мы не могли бы отдавать себе отчет в этом ускорении!) Этот результат соответствовал бы поправке к красному смещению, имеющему квадрупольный характер; красное смещение было бы краснее в двух полярных областях и более голубое в экваториальной области.

Предшествующая дискуссия показала нам, как мало релятивистская теория гравитации говорит нам о космологии. Главные проблемы космологии могут быть решены только тогда, когда мы на самом деле знаем, как же "действительно" выглядит вселенная, когда мы имеем точные зависимости красного смещения и плотности как функции расстояния и положения на небесной сфере.

### 13.3. Исчезновение галактик и сохранение энергии

Давайте кратко напомним некоторые другие загадки космологии и космологических моделей. Возможно ли, чтобы некая галактика исчезла, если мы смотрим на нее с позиции вечности? Если мы используем нашу нынешнюю теорию, то наш ответ на этот вопрос является отрицательным вне зависимости от того, является ли плотность больше или меньше критической, не существует галактики, которая сейчас является видимой и которая когда-нибудь полностью исчезнет, хотя она может становиться все более и более красной. Не имеет смысла беспокоиться о возможности галактик удаляться от нас со скоростью, превышающей скорость света, чтобы это не означало, так как эти галактики никогда не могли бы быть наблюдаемыми в соответствии с используемой нами теорией.

В теории Хойла галактики, находящиеся вдали от нас, действительно исчезают; его выражение для скорости удаления является таким, что объем куба, определяемый восемью заданными галактиками, удваивается в каждый временной интервал определенной величины. Таким образом, для того, чтобы получить такое увеличение, постулируются такие скорости, что некоторые галактики должны ускоряться до скоростей больших, чем скорость света  $c$ . Тем не менее, теория Хойла не претендует на то, чтобы объяснить движение галактики на языке сил. Она попросту устанавливает кинематическое правило для вычисления вполне определенных положений как функций времени, эти определения положений являются такими, что галактики действительно исчезают со временем. Мало смысла в поисках такой силы в природе, которая могла приводить к расширению Хойла, эта сила должна была бы быть необычного вида, так как нет финитных сил, которые когда-нибудь приводили бы к такому движению в рамках существующей механики.

Я унаследовал предрассудок моего учителя проф. Дж. Уилера, который считал, что это против правил объяснять результат, делая удобные изменения в теории, когда нынешняя теория не полностью исследована. Я

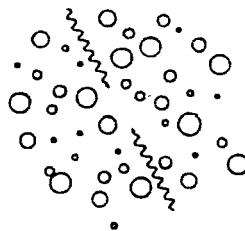


Рис. 13.2.

говорю это, поскольку было высказано предположение, что сила расширения, которая должна бы стремиться ускорить галактики так, как этого хочет Хайл, должна бы возникать в том случае, если положительные заряды не были бы в точности равными отрицательным зарядам. Так как у нас есть превосходная теория электродинамики, в которой  $e^+$  в точности противоположен  $e^-$ , такое предположение кажется бесполезным. Мы не намереваемся опровергать очень красивую теорию электродинамики для того, чтобы обеспечить механизм для кинематической модели, которая может просто оказаться неверной, как только мы проведем точные измерения. Все еще остается возможность, что Хайл прав, но мы узнаем это прежде всего из наблюдений вселенной такой, какая она есть.

Давайте скажем также кое-что о том, чего ученые, которые беспокоятся о математических доказательствах и противоречиях, кажется, не знают. Нет способа показать математически, что некоторое физическое заключение является неверным или противоречивым. Все, что может быть показано, состоит в том, что математические предположения ложны. Если мы находим, что определенные математические предположения приводят к логически противоречивому описанию Природы, мы меняем эти предположения, а не Природу.

Я говорю все это потому, что я не уверен в том, в каких пунктах теория вселенной, в соответствии с теорией Хайла, может не вполне совпадать со многими другими предположениями, которые мы, физики, обычно делаем. Например, может быть есть некоторое затруднение в возможности передачи сигнала, что составляет очень большую часть размышлений в релятивистских теориях. Если заданная галактика исчезает из вида, действительно ли она исчезает из вселенной для нас? Возможно ли, что мы можем спросить друга с некоторого внешнего края (доступного для общения с нами) о том, как эта другая галактика себя ведет, пока этот друг остается для нас на виду и галактика находится у него на виду? Или это есть общий заговор детальной кинематики для того, чтобы сохранить это релятивистское правило, что скорость вблизи  $c$  в координатной системе, движущейся относительно нас со скоростью вблизи  $c$ , всегда приводит к тому, что сумма меньше, чем  $c$ ?

Давайте кратко поговорим о законе сохранения энергии. В теории Хайла вещества создается в покое в "центре" вселенной, и мы говорили, что нет всеобщего образования энергии, поскольку отрицательная гравитаци-

онная энергия попросту уравновешивает энергию массы покоя. Такого рода сохранение энергии состоит в том, что если мы берем ящик конечного размера где бы то ни было, никакого вещества не появляется внутри ящика, исключая возможный поток энергии и вещества через стеки этого ящика. Другими словами, только локальный закон сохранения оказывается значимым. Если энергия может исчезать в одном месте и одновременно вновь появляться в некотором другом месте без течения чего бы то ни было между этими местами, мы не можем вывести никаких физических следствий из всеобщего "сохранения". Следовательно, давайте интерпретировать образование вещества согласно модели Хойла следующим образом. Мы представим себе конечную вселенную, имеющую большие массы, распределенные в сферической оболочке, как показано на рис. 13.2. Мы представляем себе пары частиц нулевой массы, падающих из внешней относительно оболочки части внутрь этой оболочки. Мы могли бы думать о том, что подобно фотонам, или гравитонам, или нейтрино, могут существовать некоторые новые частицы, некоторые шмутрино,<sup>1</sup> которые не доставляют нам беспокойство, связанное с анализом сохранения барионного заряда. Когда они встречают другое шмутрино, падающее внутрь с противоположной стороны с противоположным значением импульса, эти частицы могут иметь достаточно энергии для того, чтобы образовать атом водорода. Таким образом, у нас может быть и образование вещества, требуемое в модели Хойла, и локальное сохранение энергии, так как вещество создается из энергии, втекающей внутрь и переносимой шмутрино. Если поток шмутрино является очень большим и сечение для образования вещества будет конечным, в точности выше порога, мы можем понять, почему вещество должно бы создаваться в покое относительно некоторого среднего в этой галактике. Идея состоит в том, что если поток является достаточно большим, как только шмутрино имеет достаточную энергию, это шмутрино будет находить другую такую же частицу, прилетающую с противоположного направления и будет приступать к созданию вещества; если максимальная энергия, которую шмутрино могут приобрести при падении, есть в точности такая же, как и порог для образования вещества, то материя будет создаваться "в покое". Каким-то таким способом мы можем одновременно иметь и закон сохранения энергии, и теорию Хойла. Конечно, имеется большое число оставшихся проблем: мы еще должны рассмотреть, почему барионное число может не сохраняться.

#### 13.4. Принцип Маха и граничные условия

Классическая теория гравитации не приводит нас к ответу на вопрос о том, справедлив ли принцип Маха? Мы можем спросить, например, предсказывает ли теория гравитации силы Кориолиса, если в целом галактики обладают некоторым результирующим вращением вокруг нас. К этой за-

<sup>1</sup> Возможно, что это название гипотетической частицы взято Р. Фейнманом от слова Shmoo – Шму или Пузанчик, который является персонажем юмористических картинок. Тогда шмутрино – это маленькие пузанчики. (Прим. перев.)

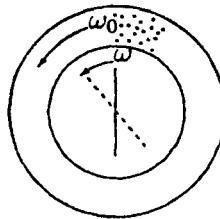


Рис. 13.3.

даче подходят следующим способом. Мы представляем себе находящуюся на большом расстоянии от нас вращающуюся оболочку, образованную веществом, как показано на рис. 13.3. Спросим себя, будут ли силы в центре так влиять на качающийся маятник, чтобы он следовал движению оболочки. Эта задача решается подстановкой в граничные условия  $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu}$  на бесконечно больших расстояниях. Тогда результат (полученный Тиррингом [Thir 18])

$$\omega = \omega_0 \left( \frac{GM}{Rc^2} \right). \quad (13.4.1)$$

Величина  $GM/(Rc^2)$  всегда меньше, чем 1, так что маятник или что бы то ни было другое не совсем следуют вращающемуся веществу. Всегда возможно, что этот результат может быть негодным из-за особенного выбора граничных условий. Все, что мы знаем, состоит в том, что  $g_{\mu\nu} \sim \eta_{\mu\nu}$  в областях, где гравитационный потенциал равен константе; но у нас нет гарантии того, что  $g_{\mu\nu} \sim \eta_{\mu\nu}$ , когда гравитационные потенциалы равны нулю. Таким образом, может быть, что видимый неуспех принципа Маха вызывается нашим выбором неверного граничного условия. Мы могли бы сравнить эту ситуацию со случаем электростатики; оказывается возможным решить уравнения, положив  $E_z = 1$  на больших расстояниях в качестве граничного условия. Мы можем продолжить эти решения на все большие и большие области, однако, мы делаем это за счет того, что представляем себе все большее и большее количество заряда, однородно распределенного вдоль плоскостей, перпендикулярных оси  $z$  во внешней области. Из того, что мы предполагаем  $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu}$  на бесконечности, может следовать, что бесконечно большое количество вещества однородно распределено "со внешней стороны от бесконечности". Таким образом, это показывает мне, что мы могли бы узнать о том, согласуется ли принцип Маха с нашей теорией путем изучения смысла граничных условий.

При предыдущем обсуждении принципа Маха мы строили догадки о том, что возможно величина компонент  $g_{\mu\nu}$  в метрике

$$(ds)^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \quad (13.4.2)$$

есть имеющая физическое значение величина, если мы измеряем собственное время в естественных единицах, таких как хаббловская величина  $cT$ , и

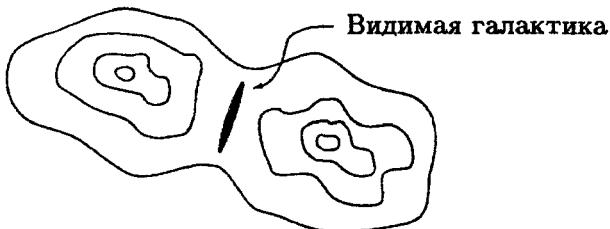


Рис. 13.4.

длины в некоторых природных единицах, таких как комптоновская длина волны; для длины волны протона  $g_{\mu\nu}$  есть величина порядка  $10^{-84}$ . Специальная теория относительности приходит на ум, если имеет место частный случай  $g_{\mu\nu} = \text{const}$ , для которого масштабы времени и длины могут быть приведены к лабораторным измерениям. Находящиеся вблизи нас массы, такие как Солнце, вносят небольшой вклад в величину  $g_{\mu\nu}$ , который наблюдается иным способом, чем вклад от удаленных распределений массы, поскольку локально эта величина быстро меняется сравнительно с вариациями вклада от удаленных галактик. Мы видели также, что если мы постулируем равный вклад от каждого бариона, появляется оценка для этой величины порядка  $10^{-84}$ . Есть ли у нас какая-либо информация о таком барионном числе? Например, что эта величина сохраняется? Что она бесконечна? Может быть не барионное число в наблюдаемой области вселенной приводит к некоторым следствиям, влияющим на физические процессы?

Ответы на все эти вопросы могут быть непростыми. Я знаю, что есть некоторые ученые, которые ходят вокруг того утверждения, что Природа всегда выбирает наимпростейшие решения. Тем не менее, простейшее решение, намного превосходящее все остальные решения, было бы такое решение, где нет ничего, так что не было бы совсем ничего во вселенной. Природа многое более изобретательна, чем такая картина, так что я отвергаю то, чтобы носиться с мыслью о том, что Природа всегда должна быть просто устроена.

### 13.5. Тайны на небесах

Была старая головоломка в космологии (называемая парадоксом Ольберса), состоящая в том, что если вселенная бесконечна и всюду имеется светящаяся материя, почему же небеса не становятся бесконечно яркими? Очевидно, имеется действительная возможность того, что количество звезд – конечно. Если же количество звезд не является конечным, небеса не обязательно должны быть бесконечно яркими, поглощение света или красное смещение и гравитационное красное смещение могут сделать так, что даже бесконечная вселенная имеет темное небо. Несмотря на это, на небе имеются некоторые объекты, обладающие поистине удивительной интенсивностью. Радиоастрономы, чьи инструменты позволяют наблюдать наиболее удаленные от нас объекты (по сравнению с другими способами

наблюдений), нашли некоторое число радиоисточников, имеющих весьма своеобразную структуру. Рис. 13.4 есть грубый эскиз линий постоянной интенсивности. Имеется 20 или 25 таких объектов, о которых уже сделаны сообщения и приведены их карты. Когда астрономы поворачивают свои телескопы в эту область пространства, они находят в центре такой структуры галактику, видимую с ребра. Время от времени также находят радиоисточники, чьи линии уровня, соответствующие постоянным значениям интенсивности, имеют единственный фокус, и в этом фокусе имеется галактика, видимая с той стороны, с которой галактика кажется больше. Это предположительно представляет объект того же самого типа, что и предыдущая галактика, только видимая под другим углом. Что поистине является удивительным, так это количество энергии, излучаемой такими объектами. Когда радиоастрономы интегрируют интенсивность по *целому* наблюдаемому спектру, не делая никаких экстраполаций на ненаблюденные частоты, они находят, что такие объекты излучают энергию, соответствующую мощности  $10^{44}$  эрг/с. Если оценить нижний предел для времени жизни таких объектов путем измерения их размеров и разделив на скорость света, то находим, что энергия, излучаемая такими объектами, порядка  $10^{60}$  эрг, что является эквивалентом массы от  $10^6$  до  $10^8$  звезд размера нашего Солнца. Энергия, излучаемая в видимом диапазоне, есть дополнительная величина того же порядка. Это означает, что произошло такое энерговыделение, как будто бы от  $10^6$  до  $10^8$  звезд полностью аннигилировали. Где источник такой энергии?

Обычные ядерные процессы, которые превращают протоны в железо, могут обеспечить энерговыделение, соответствующее лишь незначительной доли их массы. Количество звезд в обычной галактике в среднем примерно  $10^9$ , так что  $10^8$  звезд не могут аннигилировать вследствие действия ядерных процессов в звездах. Мы можем сделать такое сравнение, поскольку галактики, имеющие гало с гигантской интенсивностью излучения, выглядят в точности, как другие галактики в видимом свете. Даже взрыв всех таких звезд в обычной галактике едва ли сможет обеспечить столь высокое энерговыделение. Кажется имеется только один способ получить энерговыделение с такой огромной мощностью, состоящий в том, что необходимо иметь миллион звезд, которые аннигилируют с миллионом звезд, образованных из антивещества. Альтернативные объяснения включают в себя некоторый вид структуры в центре таких галактик, некоторые исполинские звезды, в которых выделение энергии следует путем весьма отличным от тех, которым следует выделение энергии в обычных звездах. Структура, изображенная на рис. 13.4, интерпретируется как наличие поглощения радиочастот темной пылью, сосредоточенной вдоль галактической плоскости.

Один из интересных фактов об обычных звездах заключается в том, что они мало различаются по своему размеру; их массы всегда того же порядка, что и масса нашего Солнца, возможно, самое большое в 10 раз больше. Не очень трудно установить, что может быть возможно есть есте-

ственный предел для размера звезды, путем рассмотрения одновременно требований принципа исключения Паули и скоростей, необходимых для выхода из системы; нам необходимо начать заполнять энергетические уровни для электронов (скажем, мы делаем это при температуре 0° Кельвина) в море Ферми и проводить добавление масс протонов внутри заданного объема. При массе порядка (1.5) массы Солнца, вершина моря Ферми является критически высоким. Тем не менее, обычная звезда не является достаточно массивной для того, чтобы релятивистские решения очень сильно отличались бы от нерелятивистских решений.

Если мы пытаемся иметь дело с конденсацией сверхзвезды с массой, содержащей  $10^9$  солнечных масс, гравитационные процессы могут быть в большей степени релятивистскими. Модель охлаждения излучением и коллапса внутренней части, приводящий к повышению температур, может оказаться несправедливой для сверхзвезды. При достаточно высоких давлениях предпочтительное направление ядерных процессов может быть связано с обратными  $\beta$  распадами протонов

$$p + e \rightarrow n + \nu. \quad (13.5.1)$$

Эволюция звезды с такой большой массой и обогащенной такими нейтронами может быть совершенно отлична от эволюции нашего Солнца. Я убежден в том, что совершенно необходимо перед тем, как мы создадим новые теории для объяснения подобных процессов, предпринять серьезную попытку использования всех знаний нашей существующей физики для того, чтобы понять, что может происходить при столь своеобразных обстоятельствах.