

ГЛАВА 3

Творение и его недостатки

Как ученый я просто не верю,
что Вселенная началась со взрыва.
СЭР АРТУР ЭДДИНГТОН

ВСЕЛЕННЫЕ ФРИДМАНА

В начале 1920-х годов вряд ли кто-то мог предположить, что замерзающий и голодный Петроград станет одним из тех мест, где случится очередной прорыв в космологии. Занятия в Петроградском университете едва возобновились после шестилетнего перерыва, вызванного войной и революцией. В холодной аудитории молодой профессор в очках читал лекции группе студентов, закутанных в шинели и меховые шапки. Профессора звали Александр Фридман. Лекции его были подготовлены тщательнейшим образом и подчеркнута строги в математическом плане. В своем курсе Фридман затрагивал широкий круг тем: от математики и метеорологии — основных областей его специализации — до по-

следнего увлечения молодого ученого — общей теории относительности.

Он восхищался теорией Эйнштейна и погрузился в ее изучение со свойственным ему энтузиазмом. “Я неуч, — часто говорил он. — Я ничего не знаю. Я буду еще меньше спать и не позволю себе никаких отвлечений, поскольку вся эта так называемая жизнь — лишь бесполезная растрата времени”¹. Он словно бы знал, что у него в запасе всего несколько лет, а сделать предстоит еще много.

В совершенстве освоив математику общей теории относительности, Фридман сконцентрировался на проблеме, которую считал центральной, — строении Вселенной в целом. Из статей Эйнштейна он знал, что без космологической постоянной теория не имеет статических решений, но хотел выяснить, какие варианты решений все же возможны. И тут был совершен радикальный шаг, обесмертивший его имя. Вслед за Эйнштейном Фридман предположил, что Вселенная однородна, изотропна и замкнута, то есть имеет геометрию трехмерной сферы. Но он отбросил статическую парадигму и позволил Вселенной двигаться. Радиус сферы и плотность вещества могли теперь изменяться во времени. Отказавшись от требования статичности, Фридман обнаружил, что уравнения Эйнштейна имеют решение. Они описывают сферическую вселенную, которая начинается с точки, расширяется до некоторого максимального размера, а потом вновь сжимается в точку. В начальный момент, который мы теперь называем Большим взрывом, все вещество Вселенной упаковано в единственную точку, в которой плотность вещества бесконечна. Она убывает, пока Вселенная расширяется, и растет, пока та сжимается обратно, чтобы опять стать бесконечной в момент “большого схлопывания”, когда Вселенная вновь становится точкой.

Большой взрыв и “большое схлопывание” отмечают начало и конец Вселенной. Из-за исчезающе малого размера и бес-

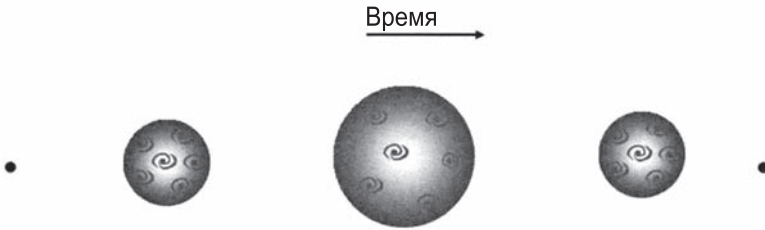


Рис. 3.1. Расширяющаяся и вновь сжимающаяся Вселенная.

конечной плотности материи математические величины, фигурирующие в уравнениях Эйнштейна, становятся неопределенными, а пространство-время не может продолжаться за этими точками. Такие точки называют *сингулярностями пространства-времени*.

Двумерную сферическую вселенную можно представлять расширяющимся и сжимающимся воздушным шаром (рис. 3.1). Закорючки на его поверхности изображают галактики, и по мере расширения шара расстояния между ними будут расти. Таким образом, наблюдатель в любой галактике видит, что остальные галактики разбегаются. Расширение постепенно замедляется гравитацией и в конце концов останавливается, сменяясь сжатием. На фазе сжатия расстояния между галактиками будут убывать, и все наблюдатели увидят, что галактики приближаются к ним.

Не имеет большого смысла спрашивать, куда расширяется Вселенная. Мы изображаем вселенную воздушного шара расширяющейся в окружающее пространство, но это не имеет никакого значения для ее обитателей. Они привязаны к поверхности шара и не представляют себе третьего, радиального измерения. Подобным образом для наблюдателя в замкнутой вселенной трехмерное сферическое пространство — это все существующее пространство, и вне его ничего нет.



Вскоре после публикации этих результатов Фридман открыл другой класс решений с иной геометрией. Вместо искривления “на себя” пространство в этих решениях в определенном смысле искривляется “от себя”, что приводит к бесконечным (открытым) вселенным. Двумерным аналогом этого типа пространства является поверхность седла (рис. 3.2).

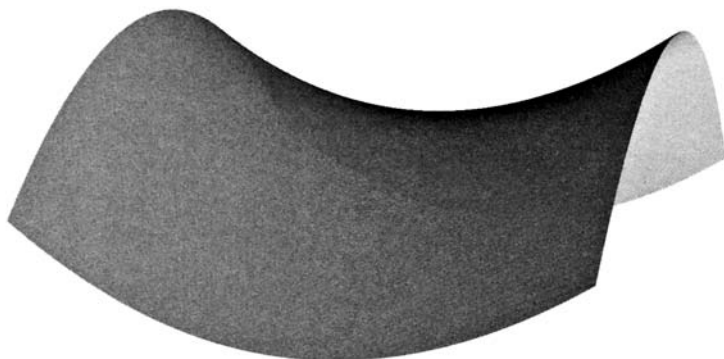


Рис. 3.2. Двумерный аналог открытой вселенной.

И вновь Фридман обнаруживает, что расстояние, разделяющее любую пару галактик в открытой вселенной, растет, начиная с нулевого значения в сингулярности. Сначала расширение замедляется, но в данном случае гравитация недостаточно сильна, чтобы обратить его вспять, и со временем галактики приближаются к постоянной скорости удаления.

На границе между открытыми и закрытыми моделями находится вселенная с плоской, евклидовой геометриейⁱⁱ. Она хоть и расширяется без ограничений, но делает это как будто на пределе, так что скорость расширения становится со временем все меньше и меньше.

Замечательная особенность решений Фридмана состоит в том, что они устанавливают простую связь между геометрией Вселенной и ее конечной судьбой. Если Вселенная замкнутая, она должна вновь сколлапсировать, а если открытая или плоская, то будет расширяться вечно¹. В своих статьях Фридман не отдавал предпочтения ни одной из моделей.

К сожалению, Фридман не увидел, как его работа стала основанием современной космологии. Он умер от брюшного тифа в 1925 году в возрасте 37 лет. И хотя его статьи были опубликованы в ведущем немецком физическом журнале, на них почти не обратили вниманияⁱⁱⁱ. Они были извлечены из небытия лишь в 1930-х годах, вслед за открытием Хабблом расширения Вселенной².

МОМЕНТ ТВОРЕНИЯ

Что бы ни говорили решения Фридмана о будущем Вселенной, самая неожиданная и интригующая их особенность — наличие начальной сингулярности, Большого взрыва, где перестает работать математика общей теории относительности. В сингулярности вещество сжимается до бесконечной плотности, и становится невозможно распространить решение на более ранние моменты времени. Таким образом, если воспринимать все буквально, Большой взрыв должен рассматриваться как начало Вселенной. Было ли это сотворением мира? Возможно ли, чтобы целая Вселенная началась с единственного события, случившегося конечное время назад?

- 1 Простая связь между геометрией и судьбой Вселенной сохраняется, только если считать нулевой плотность энергии вакуума (космологическую постоянную). Подробнее об этом в главе 18.
- 2 Модель расширяющейся Вселенной была переоткрыта в 1927 году Жоржем Леметром. Как и работа Фридмана, статья Леметра оставалась совершенно неизвестной вплоть до открытия Хаббла.

Для большинства физиков это было чересчур. Такой одномоментный старт Вселенной выглядел как божественное вмешательство, которому, по их мнению, не должно быть места в физической теории. Но хотя для многих ученых “начало мира” было — и в большой мере остается — источником дискомфорта, оно дает и некоторые преимущества. Оно помогает избавиться от возмутительных парадоксов, которыми полна картина статической, вечной и неизменной Вселенной.

Для начала, вечность Вселенной, по-видимому, противоречит одному из самых фундаментальных законов природы — второму началу термодинамики. Этот закон гласит, что физические системы эволюционируют от более упорядоченных состояний к менее упорядоченным. Если тщательно разложить бумаги по стопкам на столе, и в окно неожиданно дунет порыв ветра, листы будут беспорядочно разбросаны по полу. Но вы никогда не увидите, чтобы ветер поднял бумаги с пола и сложил их аккуратными стопками на столе. Такое спонтанное уменьшение беспорядка не является принципиально невозможным, но оно настолько маловероятно, что увидеть подобное никогда не удастся.

Математически степень беспорядка характеризуется величиной, называемой *энтропией*, а второе начало термодинамики говорит, что энтропия изолированной системы может только возрастать. Неуклонное возрастание беспорядка ведет в конце концов к состоянию максимально возможной энтропии, которое называется *тепловым равновесием*. В этом состоянии вся энергия упорядоченного движения превращается в тепло, и по всей системе устанавливается одинаковая температура.

На космические следствия второго начала термодинамики впервые указал немецкий физик Герман фон Гельмгольц в середине XIX века. Он отметил, что вся Вселенная может рассматриваться как изолированная система (поскольку по отноше-

нию к Вселенной не существует ничего внешнего). А раз так, то к Вселенной как к целому применимо второе начало термодинамики, и она должна неотвратимо приближаться к “тепловой смерти” — состоянию термодинамического равновесия. В этом состоянии звезды умрут и будут иметь одинаковую температуру с окружающей средой, а все движения, кроме беспорядочной тепловой толкотни молекул, остановятся.

Еще одно следствие второго начала термодинамики состоит в том, что если Вселенная вечна, то она должна была уже достичь термодинамического равновесия. И раз мы не находимся в состоянии максимальной энтропии, значит, Вселенная не могла существовать всегда^{IV}.

Гельмгольц не акцентировал этот второй вывод, а больше говорил о той части, которая касалась “смерти” (надо сказать, что такие настроения во многом поддерживались апокалиптической прозой конца XIX — начала XX века). Однако другие физики, в том числе такие титаны, как Людвиг Больцман¹, хорошо понимали эту проблему. Больцман видел выход в статистической природе второго начала. Даже если Вселенная действительно находится в состоянии максимального беспорядка, он может неожиданно чисто случайно уменьшиться. Такие события, называемые тепловыми флуктуациями, достаточно обычны в масштабе нескольких сотен молекул, но становятся все более невероятными по мере увеличения масштабов. Больцман предположил, что все наблюдаемое вокруг нас — это гигантская тепловая флуктуация в совершенно беспорядочной Вселенной. Вероятность возникновения такой флуктуации невыразимо мала. Однако даже невероятные вещи иногда случаются, если ждать достаточно долго, и они обязательно произойдут, если у вас в распоряжении бесконечное количе-

1 Больцман установил связь между энтропией и беспорядком, прояснив тем самым смысл второго начала термодинамики.

ство времени. Жизнь и наблюдатели могут существовать только в упорядоченных частях Вселенной, и это объясняет, почему нам повезло наблюдать столь неправдоподобно редкое событие^v.

Трудность больцмановского решения состоит в том, что упорядоченная часть Вселенной выглядит чрезмерно большой. Для существования наблюдателя хватило бы превращения хаоса в порядок на масштабах, близких к размерам Солнечной системы. Это было бы намного более вероятно, чем флуктуация размером в миллиарды световых лет, необходимая для существования наблюдаемой нами Вселенной.

Другая проблема, имеющая более длинную предысторию, возникает, если предположить, что Вселенная бесконечна, а звезды более или менее однородно распределены по всему ее пространству. В этом случае, в каком бы направлении мы ни взглянули на небо, луч зрения в конце концов неизбежно должен упираться в звезду. А значит, все небо должно постоянно и ослепительно светиться. Встает простой вопрос: почему ночью темно? Иоганн Кеплер в 1610 году первым обратил внимание на эту проблему и пришел к заключению, что Вселенная не может быть бесконечной.

Как проблема энтропии, так и парадокс ночного неба естественным образом разрешаются, если возраст Вселенной конечен. Если она возникла лишь определенное время назад и изначально пребывала в высокоупорядоченном состоянии (с низкой энтропией), тогда сегодня мы наблюдаем деградацию от этого состояния к хаосу и не должны удивляться, что состояние максимальной энтропии еще не достигнуто. Парадокс ночного неба разрешается, поскольку во Вселенной конечного возраста свету очень далеких звезд еще не хватило времени, чтобы дойти до нас. Мы можем наблюдать лишь звезды, находящиеся в пределах радиуса *горизонта*, равного расстоянию, пройденному светом за время, равное возрасту Все-

ленной. Ясно, что число звезд в пределах этого радиуса конечно, даже если вся Вселенная бесконечна.

После таких аргументов как может хоть кто-то верить, что Вселенная существовала вечно? Но дело, конечно, в том, что идея возникновения космоса конечное время назад тоже порождает проблемы, способные поставить в тупик. Если Вселенная появилась в некоторый момент в прошлом, то чем определялись начальные условия Большого взрыва? Почему Вселенная началась с однородного и изотропного состояния? Ведь она могла возникнуть в любом другом. Должны ли мы приписать этот выбор Творцу? Неудивительно, что физики не торопились бросаться в объятия космологии Большого взрыва и предприняли множество попыток увильнуть от разрешения “проблемы начала”.

ПРИНИМАЯ НЕИЗБЕЖНОЕ

Поначалу некоторые специалисты считали сингулярность Большого взрыва чисто формальным следствием предположений о строгой однородности и изотропности, которые Фридман использовал для решения уравнений Эйнштейна. Если в коллапсирующей Вселенной все галактики приближаются к нам по радиальным траекториям, то неудивительно, что они столкнутся в одном большом схлопывании. Но если движение галактик будет хоть немного отличаться от радиального, можно предположить, что они пронесутся друг мимо друга и начнут снова разлетаться. В таком случае сингулярности удастся избежать, а вслед за сжатием последует новое расширение. Была надежда, что таким способом удастся построить осциллирующую модель Вселенной без начала с чередующимися периодами расширения и сжатия.

Оказалось, однако, что притягивающая природа гравитации делает такой сценарий невозможным. Британские физики

Роджер Пенроуз и Стивен Хокинг, тогда еще аспиранты, доказали серию теорем, показывающих, что в очень широком диапазоне условий космологической сингулярности избежать нельзя. Основные предположения, использованные в этих доказательствах, состоят в том, что общая теория относительности Эйнштейна верна и что материя во всей Вселенной обладает положительными плотностью энергии и давлением. (Более строго: давление не должно столь существенно уходить в отрицательные значения, чтобы гравитация становилась отталкивающей.) Таким образом, пока мы держимся в рамках общей теории относительности и не предполагаем существования экзотической гравитационно отталкивающей материи, сингулярность будет при нас, а вопрос о начальных условиях останется неразрешенным.

Самой известной попыткой избежать этой проблемы была, без сомнений, теория стационарного состояния, выдвинутая в 1948 году в Кембриджском университете британским астрофизиком Фредом Хойлом и двумя австрийскими эмигрантами Германом Бонди и Томасом Голдом. Они настаивали, что в своих общих чертах Вселенная всегда остается неизменной, так что во всех местах и во все времена она выглядит более или менее одинаково. Может показаться, что этот взгляд находится в резком противоречии с расширением Вселенной: если расстояния между галактиками растут, как Вселенная может оставаться неизменной? Чтобы компенсировать расширение, Хойл с друзьями постулировали, что вещество постоянно создается из вакуума. Это вещество заполняет пустоты, открывающиеся между удаляющимися галактиками, так что на их месте могут формироваться новые. Кембриджские физики признавали, что у них нет подтверждений спонтанного рождения материи, однако требуемый темп ее возникновения был столь низким — всего несколько атомов на кубический сантиметр в столетие, — что нет и наблюдений, свидетельствующих против него. Защи-

щая свою теорию, они ссылались на то, что непрерывное возникновение материи, по их мнению, было ничуть не более сомнительным, чем одномоментное рождение всей материи в Большом взрыве. Кстати, сам термин “Большой взрыв” был придуман именно Хойлом, когда он высмеивал конкурирующую теорию в популярном ток-шоу на радио “Би-Би-Си”.

Впрочем, и теория стационарного состояния вскоре столкнулась с серьезными трудностями. Самые далекие галактики видны такими, какими они были миллиарды лет назад, поскольку столько времени нужно свету, чтобы добраться до нас. Если верна теория стационарного состояния и Вселенная в то время была такой же, как сегодня, тогда далекие галактики должны быть более или менее похожи на те, что наблюдаются в наших окрестностях. Однако по мере накопления данных становится все более очевидно, что находящиеся вдалеке галактики в действительности совсем другие и показывают отчетливые признаки своей молодости. Они меньше, имеют неправильные формы и населены очень яркими короткоживущими звездами. Многие из них являются мощными источниками радиоволн, что гораздо реже встречается среди близких к нам галактик^{iv}. По-видимому, нет никакой возможности объяснить эти наблюдения в рамках теории стационарного состояния.

Шерлок Холмс любил говорить: “Отбросьте все невозможное; то, что останется, и будет ответом, каким бы невероятным он ни казался”^{vii}. По мере того как перспективы теории стационарного состояния становились все более туманными и за отсутствием в поле зрения других жизнеспособных альтернатив, представления стали меняться. Физики постепенно склонялись к картине эволюционирующей Вселенной, начавшейся со взрыва.