

ОБ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ

Дж. В. Церцвадзе

Грузинский технический университет
Департамент инженерной физики
Тбилиси, Грузия

Принята 12 октября 2015 года

Аннотация

Рассказано об истории становления, развития, а также основных выводах теории расширяющейся Вселенной.

Как-то один известный ученый (говорят, это был Бертран Рассел) читал публичную лекцию об астрономии. Он рассказывал, как Земля обращается вокруг Солнца, а Солнце в свою очередь обращается вокруг центра огромного скопления звезд, которое называют нашей Галактикой. Когда лекция подошла к концу, из последних рядов зала поднялась маленькая пожилая леди и сказала: «Все, что Вы нам говорили – чепуха. На самом деле наш мир – это плоская тарелка, которая стоит на спине гигантской черепахи». Снисходительно улыбнувшись, ученый спросил: «А на чем держится черепаха?» – «Вы очень, очень умны, молодой человек, – ответила пожилая леди, – Черепаха – на другой черепахе, та – тоже на черепахе, и так все ниже и ниже».

Что нам известно о Вселенной, и как мы это узнали? Откуда взялась Вселенная, и что с ней станет? Было ли у Вселенной начало, а если было, то что происходило до начала? Какова сущность времени? Кончится ли оно когда-нибудь? Достижения физики последних лет, которыми мы частично обязаны фантастической новой технике, позволяют, наконец, получить ответы хотя бы на отдельные из таких давно поставленных вопросов.

Если в ясную безлунную ночь посмотреть на небо, то, вы увидите огромное количество звезд, похожих на наше Солнце, но находящихся гораздо дальше от нас. При обращении Земли вокруг Солнца некоторые из этих «неподвижных» звезд чуть-чуть меняют свое положение относительно друг друга, т.е. на самом деле они вовсе не неподвижны! Дело в том, что они несколько ближе к нам, чем другие. Поскольку же

Земля вращается вокруг Солнца, близкие звезды видны все время в разных точках фона более удаленных звезд. Благодаря этому можно непосредственно измерить расстояние от нас до этих звезд: чем они ближе, тем сильнее заметно их перемещение. Самая близкая звезда, называемая Проксимой Центавра, находится от нас на расстоянии приблизительно четырех световых лет (т.е. свет от нее идет до Земли около четырех лет), или около 37 миллионов миллионов километров. Большинство звезд, видимых невооруженным глазом, удалены от нас на несколько сотен световых лет. Сравните это с расстоянием до нашего Солнца, составляющим всего восемь световых минут! Видимые звезды рассыпаны по всему ночному небу, но особенно густо в той полосе, которую мы называем Млечным Путем.

Еще в 1750 г. некоторые астрономы высказывали мысль, что существование Млечного Пути объясняется тем, что большая часть видимых звезд образует одну дискообразную конфигурацию – пример того, что сейчас называется спиральной галактикой. Лишь через несколько десятилетий астроном Уильям Гершель подтвердил это предположение, выполнив колоссальную работу по составлению каталога положений огромного количества звезд и расстояний до них. Но даже после этого представление о спиральных галактиках было принято всеми лишь в начале прошлого века.

Современная картина Вселенной возникла только в 1924 г., когда американский астроном Эдвин Хаббл показал, что наша Галактика не единственная. На самом деле существует много других галактик, разделенных огромными областями пустого пространства. Для доказательства Хаббл требовалось определить расстояния до этих галактик, которые настолько велики, что, в отличие от положений близких звезд, видимые положения галактик действительно не меняются. Поэтому для измерения расстояний Хаббл был вынужден прибегнуть к косвенным методам. Видимая яркость звезды зависит от двух факторов: от того, какое количество света излучает звезда (ее светимость), и от того, где она находится. Яркость близких звезд и расстояние до них мы можем измерить; следовательно, мы можем вычислить и их светимость. И наоборот, зная светимость звезд в других галактиках, мы могли бы вычислить расстояние до них, измерив их видимую яркость. Хаббл заметил, что светимость некоторых типов звезд всегда одна и та же, когда они находятся достаточно близко для того, чтобы можно было производить измерения. Следовательно, рассуждал Хаббл, если такие звезды обнаружатся в другой галактике, то, предположив у них такую же светимость, мы сумеем вычислить расстояние до этой галактики. Если подобные расчеты для нескольких звезд одной и той же галактики дадут один и тот же результат, то полученную оценку расстояния можно считать надежной.

Таким путем Хаббл рассчитал расстояния до девяти разных галактик. Теперь известно, что наша Галактика – одна из нескольких сотен тысяч миллионов галактик, которые можно наблюдать в современные телескопы, а каждая из этих в свою очередь содержит сотни тысяч миллионов звезд. Наша Галактика имеет около ста тысяч световых лет в поперечнике. Она медленно вращается, а звезды в ее спиральных рукавах в каждые несколько сотен миллионов лет делают примерно один оборот вокруг ее центра. Наше

Солнце представляет собой обычную желтую звезду средней величины, расположенную на внутренней стороне одного из спиральных рукавов.

Звезды находятся так далеко от нас, что кажутся просто светящимися точками в небе. Мы не различаем ни их размеров, ни формы. Но в таком случае как же можно говорить о разных типах звезд? Для подавляющего большинства звезд существует только одно характерное свойство, которое можно наблюдать – это цвет идущего от них света. Настроив телескоп на какую-нибудь отдельную звезду или галактику, можно разложить в спектр свет, испускаемый этой звездой или галактикой. Разные звезды имеют разные спектры, но относительная яркость разных цветов всегда в точности такая же, как в свете, который излучает какой-нибудь раскаленный докрасна предмет. (Свет, излучаемый раскаленным докрасна непрозрачным предметом, имеет очень характерный спектр, зависящий только от температуры предмета – т.н. тепловой спектр. Поэтому мы можем определить температуру звезды по спектру излучаемого ею света.) Кроме того, мы обнаружим, что некоторые очень специфические цвета вообще отсутствуют в спектрах звезд, причем отсутствующие цвета разные для разных звезд. Поскольку, как мы знаем, каждый химический элемент поглощает свой определенный набор характерных цветов, мы можем сравнить их с теми цветами, которых нет в спектре звезды, и таким образом точно определить, какие элементы присутствуют в ее атмосфере.

В 20-х годах прошлого столетия, когда астрономы начали исследование спектров звезд других галактик, обнаружилось нечто еще более странное: в нашей собственной Галактике оказались те же самые характерные наборы отсутствующих цветов, что и у звезд, но все они были сдвинуты на одну и ту же величину к красному концу спектра. Чтобы понять смысл сказанного, следует сначала разобраться с эффектом Доплера. Как известно, видимый свет – это колебания или волны электромагнитного поля. Частота (число волн в одну секунду) световых колебаний чрезвычайно высока – от четырехсот до семисот миллионов миллионов волн в секунду. Человеческий глаз воспринимает свет разных частот как разные цвета, причем самые низкие частоты соответствуют красному концу спектра, а самые высокие – фиолетовому.

Представим себе источник света, например, звезду, расположенный на фиксированном расстоянии от нас излучающий с постоянной частотой волны. Очевидно, что частота приходящих волн будет такой же как та с которой они излучаются (пусть гравитационное поле галактики невелико и его влияние несущественно). Предположим теперь, что источник начинает двигаться в нашу сторону. При испускании следующей волны источник окажется ближе к нам, а потому время, за которое гребень этой волны до нас дойдет, будет меньше, чем в случае неподвижной звезды. Стало быть, время между гребнями двух пришедших волн будет меньше, а число волн, принимаемых нами за одну секунду (т.е. частота), будет больше, чем когда звезда была неподвижна. При удалении же источника частота приходящих волн будет меньше. Это означает, что спектры удаляющихся звезд будут сдвинуты к красному концу (красное смещение), а спектры приближающихся звезд должны испытывать фиолетовое смещение. Как известно, такое соотношение между скоростью и частотой называется эффектом Доплер

Доказав, что существуют другие галактики, Хаббл все последующие годы посвятил составлению каталогов расстояний до этих галактик и наблюдению их спектров. В то время большинство ученых считали, что движение галактик происходит случайным образом и поэтому спектров, смещенных в красную сторону, должно наблюдаться столько же, сколько и смещенных в фиолетовую. Каково же было удивление, когда у большей части галактик обнаружилось красное смещение спектров, т.е. оказалось, что все галактики удаляются от нас! Еще более удивительным было открытие, опубликованное Хабблом в 1929 г.: он обнаружил, что даже величина красного смещения не случайна, а прямо пропорциональна расстоянию от нас до галактики. Иными словами, чем дальше находится галактика, тем быстрее она удаляется! А это означало, что Вселенная не может быть статической, как думали раньше, что на самом деле она непрерывно расширяется и расстояния между галактиками все время растут.

Открытие расширяющейся Вселенной было одним из великих интеллектуальных переворотов двадцатого века. Задним числом мы можем лишь удивляться тому, что эта идея не пришла никому в голову раньше. Ньютон и другие ученые должны были бы сообразить, что статическая Вселенная вскоре обязательно начала бы сжиматься под действием гравитации. Но предположим, что Вселенная, наоборот, расширяется. Если бы расширение происходило достаточно медленно, то под действием гравитационной силы оно в конце концов прекратилось бы и перешло бы в сжатие. Однако если бы скорость расширения превышала некоторое критическое значение, то гравитационного взаимодействия не хватило бы, чтобы остановить расширение, и оно продолжалось бы вечно. Все это немного напоминает ситуацию, возникающую, когда с поверхности Земли запускают вверх ракету. Если скорость ракеты не очень велика, то из-за гравитации она в конце концов остановится и начнет падать обратно. Если же скорость ракеты больше некоторой критической (около одиннадцати километров в секунду), то гравитационная сила не сможет ее вернуть и ракета будет вечно продолжать свое движение от Земли.

Расширение Вселенной могло быть предсказано на основе ньютоновской теории тяготения в XIX, XVIII и даже в конце XVII века. Однако вера в статическую Вселенную была столь велика, что жила в умах еще в начале двадцатого века. Даже Эйнштейн, разрабатывая в 1915 г. общую теорию относительности, был уверен в статичности Вселенной. Чтобы не вступать в противоречие со статичностью, Эйнштейн модифицировал свою теорию, введя в уравнения так называемую космологическую постоянную. Он ввел новую «антигравитационную» силу, которая в отличие от других сил не порождалась каким-либо источником, а была заложена в саму структуру пространства–времени. Эйнштейн утверждал, что пространство–время само по себе всегда расширяется и этим расширением точно уравновешивается притяжение всей остальной материи во Вселенной, так что в результате Вселенная оказывается статической.

По-видимому, лишь один человек полностью поверил в общую теорию относительности: пока Эйнштейн и другие физики думали над тем, как обойти нестатичность Вселенной, предсказываемую этой теорией, российский физик и математик А. А. Фридман, наоборот, занялся ее объяснением. Фридман сделал два очень простых исходных предположения: во-первых, Вселенная выглядит одинаково, в каком бы

направлении мы ее ни наблюдали, и, во-вторых, это утверждение должно оставаться справедливым и в том случае, если бы мы производили наблюдения из какого-нибудь другого места. Не прибегая ни к каким другим предположениям, Фридман показал, что Вселенная не должна быть статической. В 1922 г., за несколько лет до открытия Хаббла, Фридман в точности предсказал его результат!

Предположение об одинаковости Вселенной во всех направлениях на самом деле, конечно, не выполняется. Как мы, например, уже знаем, другие звезды в нашей Галактике образуют четко выделяющуюся светлую полосу, которая идет по всему небу ночью – Млечный Путь. Но если говорить о далеких галактиках, то их число во всех направлениях примерно одинаково. Следовательно, Вселенная действительно «примерно» одинакова во всех направлениях – при наблюдении в масштабе, больших по сравнению с расстоянием между галактиками, когда отбрасываются мелкомасштабные различия.

Долгое время это было единственным обоснованием гипотезы Фридмана как «грубого» приближения к реальной Вселенной. Но потом по некоей случайности выяснилось, что гипотеза Фридмана и на самом деле дает удивительно точное описание нашей Вселенной.

В 1965 г. два американских физика, Арно Пензиас и Роберт Вильсон испытывали очень чувствительный «микроволновый», точнее сверхвысокочастотный (СВЧ) детектор. Пензиас и Вильсон заметили, что уровень шума, регистрируемого их детектором, выше, чем должно быть. Этот шум не был направленным, приходящим с какой-то определенной стороны. Они знали, что любой шум, приходящий из атмосферы, всегда сильнее не тогда, когда детектор направлен прямо вверх, а когда он наклонен, потому что лучи света, идущие из-за горизонта, проходят через значительно более толстые слои атмосферы, чем лучи, попадающие в детектор прямо сверху. «Лишний» же шум одинаков, куда бы ни направлять детектор. Следовательно, источник шума должен находиться за пределами атмосферы. Шум был одинаковым и днем, и ночью, и вообще в течение года, несмотря на то что Земля вращается вокруг своей оси и продолжает свое вращение вокруг Солнца. Это означало, что источник излучения находится за пределами Солнечной системы и даже за пределами нашей Галактики, ибо в противном случае интенсивность излучения изменялась бы, поскольку в связи с движением Земли детектор меняет свою ориентацию. Как мы знаем, по пути к нам излучение проходит почти через всю наблюдаемую Вселенную. Коль скоро же оно одинаково во всех направлениях, по крайней мере в крупном масштабе. Теперь нам известно, что, в каком бы направлении мы ни производили наблюдения, этот шум изменяется не больше, чем на одну десятитысячную. Так Пензиас и Вильсон, ничего не подозревая, дали удивительно точное подтверждение первого предположения Фридмана.

Правда, на первый взгляд, тот факт, что Вселенная кажется нам одинаковой во всех направлениях, может говорить о какой-то выделенности нашего местоположения во Вселенной. В частности, раз мы видим, что все остальные галактики удаляются от нас, значит, что мы находимся в центре Вселенной. Но есть и другое объяснение: Вселенная будет выглядеть одинаково во всех направлениях и в том случае, если смотреть на нее из

какой-нибудь другой галактики. Это, как мы знаем, вторая гипотеза Фридмана. У нас нет научных доводов ни за, ни против этого предположения, и мы приняли его, так сказать, из скромности: было бы крайне странно, если бы Вселенная казалась одинаковой во всех направлениях только вокруг нас, а в других ее точках этого не было! В модели Фридмана все галактики удаляются друг от друга. Это вроде бы как надутый шарик, на который нанесены точки, если его все больше надуть. Расстояние между любыми двумя точками увеличивается, но ни одну из них нельзя назвать центром расширения. Притом, чем больше расстояние между точками, тем быстрее они удаляются друг от друга. Но и в модели Фридмана скорость, с которой любые две галактики удаляются друг от друга, пропорциональна расстоянию между ними. Таким образом, модель Фридмана предсказывает, что красное смещение галактики должно быть прямо пропорционально ее удаленности от нас в точном соответствии с открытием Хаббла. Несмотря на успех этой модели и на согласие ее предсказаний с наблюдениями Хаббла, работа Фридмана оставалась неизвестной на Западе, и лишь в 1935 г. американский физик Говард Робертсон и английский математик Артур Уолкер предложили сходные модели в связи с открытием Хаббла.

Сам Фридман рассматривал только одну модель, но можно указать три разные модели, для которых выполняются оба фундаментальных предположения Фридмана. В модели первого типа (открытой самим Фридманом) Вселенная расширяется достаточно медленно для того, чтобы в силу гравитационного притяжения между различными галактиками расширение Вселенной замедлялось и в конце концов прекращалось. После этого галактики начинают приближаться друг к другу, и Вселенная начинает сжиматься. В модели второго типа расширение Вселенной происходит так быстро, что гравитационное притяжение, хоть и замедляет расширение, не может его остановить. Есть, наконец, и модель третьего типа, в которой скорость расширения Вселенной только-только достаточна для того, чтобы избежать сжатия до нуля (коллапса). В этом случае расстояние между галактиками тоже сначала равно нулю, а потом все время возрастает. Правда галактики «разбегаются» все с меньшей и меньшей скоростью, но она никогда не падает до нуля.

Модель Фридмана первого типа удивительна тем, что в ней Вселенная не бесконечна в пространстве, хотя пространство не имеет границ. Гравитация настолько сильна, что пространство, искривляясь, замыкается с самим собой, уподобляясь земной поверхности. Ведь, перемещаясь в определенном направлении по поверхности Земли, вы никогда не натолкнетесь на абсолютно непреодолимую преграду, не вывалитесь через край и в конце концов вернетесь в ту же самую точку, откуда вышли. В первой модели Фридмана пространство такое же, но только вместо двух измерений поверхности Земли имеет три измерения. Четвертое измерение, время, также имеет конечную протяженность, но оно подобно отрезку прямой, имеющему начало и конец. Мы сможем увидеть, что, если общую теорию относительности объединить с квантово-механическим принципом неопределенности, то окажется, что и пространство, и время могут быть конечными, не имея при этом ни краев, ни границ.

Мысль о том, что можно обойти вокруг Вселенной и вернуться в то же место, годится для научной фантастики, но не имеет практического значения, ибо, как можно показать, Вселенная успеет сжаться до нуля до окончания обхода. Чтобы вернуться в исходную точку до наступления конца Вселенной, пришлось бы передвигаться со скоростью, превышающей скорость света, а это невозможно!

В первой модели Фридмана (в которой Вселенная расширяется и сжимается) пространство искривляется, замыкаясь само на себя, как поверхность Земли. Поэтому размеры его конечны. Во второй же модели, в которой Вселенная расширяется бесконечно, пространство искривлено иначе, как поверхность седла. Таким образом, во втором случае пространство бесконечно. Наконец, в третьей модели Фридмана (с критической скоростью расширения) пространство плоское (и, следовательно, тоже бесконечное).

Но какая же из моделей Фридмана годится для нашей Вселенной? Перестанет ли Вселенная наконец расширяться и начнет сжиматься или же будет расширяться вечно? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно знать нынешнюю скорость расширения Вселенной и ее среднюю плотность. Если плотность меньше некоторого значения, зависящего от скорости расширения, то гравитационное притяжение будет слишком мало, чтобы остановить расширение. Если же плотность больше критической, то в какой-то момент в будущем из-за гравитации расширение Вселенной прекратится и начнется сжатие.

Сегодняшнюю скорость расширения Вселенной можно определить, измеряя (по эффекту Доплера) скорости удаления от нас других галактик. Такие измерения можно выполнить очень точно. Но расстояния до других галактик нам плохо известны, потому что их нельзя измерить непосредственно. Мы знаем лишь, что Вселенная расширяется за каждую тысячу миллионов лет на 5 – 10 %.

Однако неопределенность в современном значении средней плотности Вселенной еще больше. Если сложить массы всех наблюдаемых звезд в нашей и в других галактиках, то даже при самой низкой скорости расширения сумма окажется меньше одной сотой той плотности, которая необходима для того, чтобы расширение Вселенной прекратилось. Однако и в нашей и в других галактиках должно быть много «темной материи», которую нельзя видеть непосредственно, но о существовании которой мы узнаем по тому, как ее гравитационное притяжение влияет на орбиты звезд в галактиках. Кроме того, галактики в основном наблюдаются в виде скоплений, и мы можем аналогичным образом сделать вывод о наличии еще большего количества межгалактической темной материи внутри этих скоплений, влияющего на движение галактик. Сложив массу всей темной материи, мы получим лишь одну десятую того количества, которое необходимо для прекращения расширения. Но нельзя исключить возможность существования и какой-то другой формы материи, распределенной равномерно по всей Вселенной и еще не зарегистрированной, которая могла бы довести среднюю плотность Вселенной до критического значения, необходимого, чтобы остановить расширение.

Таким образом, имеющиеся данные говорят о том, что Вселенная, вероятно, будет расширяться вечно. Единственное, в чем можно быть совершенно уверенным, так это в

том, что если сжатие Вселенной все-таки произойдет, то никак не раньше, чем через десять тысяч миллионов лет, ибо по крайней мере столько времени она уже расширяется. Но это не должно нас слишком сильно тревожить: к тому времени, если мы не переселимся за пределы солнечной системы, человечества давно уже не будет – оно угаснет вместе с Солнцем!

Все варианты модели Фридмана имеют то общее, что в какой-то момент в прошлом (десять-двадцать тысяч миллионов лет назад) расстояние между соседними галактиками должно было равняться нулю. В этот момент, который называется большим взрывом, плотность Вселенной и кривизна пространства-времени должны были быть бесконечными. Поскольку математически невозможно обращаться с бесконечно большими величинами, это означает, что, согласно общей теории относительности (на которой основаны решения Фридмана), во Вселенной должна быть точка, в которой сама эта теория неприменима. Такая точка в математике называется особой (сингулярной). Все наши научные теории основаны на предположении, что пространство-время гладкое и почти плоское, а потому все эти теории неверны в сингулярной точке большого взрыва, в которой кривизна пространства-времени бесконечна. Следовательно, даже если бы перед большим взрывом происходили какие-нибудь события, по ним нельзя было бы спрогнозировать будущее, так как в точке большого взрыва возможности предсказания свелись бы к нулю. Точно так же, зная только то, что произошло после большого взрыва (а мы знаем только это), мы не сможем узнать, что происходило до него. События, которые произошли до большого взрыва, не могут иметь никаких последствий, касающихся нас, и поэтому не должны фигурировать в научной модели Вселенной. Следовательно, нужно исключить их из модели и считать началом отсчета времени момент большого взрыва.

Мысль о том, что у времени было начало, многим не нравится, возможно, тем, что в ней есть намек на вмешательство божественных сил. (В то же время за модель большого взрыва ухватилась католическая церковь и в 1951 г. официально провозгласила, что модель большого взрыва согласуется с Библией). В связи с этим известно несколько попыток обойтись без большого взрыва. Наибольшую поддержку получила модель стационарной Вселенной. Ее авторами были Х. Бонди и Т. Гоулд (1948), бежавшие из оккупированной нацистами Австрии, и англичанин Ф. Хойл, который во время войны работал с ними над проблемой радиолокации. Их идея состояла в том, что по мере разбегания галактик на освободившихся местах из нового непрерывно рождающегося вещества все время образуются новые галактики. Следовательно, Вселенная должна выглядеть примерно одинаково во все моменты времени и во всех точках пространства. Конечно, для непрерывного «творения» вещества требовалась некоторая модификация теории относительности, но нужная скорость творения оказывалась столь малой (одна частица на кубический километр в год), что не возникало никаких противоречий с экспериментом. Стационарная модель – это пример хорошей научной теории в смысле, что она дает определенные предсказания, которые можно проверять путем наблюдений. Одно из ее предсказаний таково: должно быть постоянным число галактик и других аналогичных объектов в любом заданном объеме пространства независимо от того, когда и где во Вселенной производятся наблюдения. В конце 50-х – в начале 60-х годов двадцатого века астрономы из Кембриджского университета под руководством М. Райла

составили каталог источников радиоволн, приходящих из внешнего пространства. Эта кембриджская группа показала, что большая часть этих радиоисточников должна находиться вне нашей Галактики и, кроме того, что слабых источников гораздо больше, чем сильных. Слабые источники интерпретировались как более удаленные, а сильные – как те, что находятся ближе. Далее, оказалось, что число обычных источников в единице объема в удаленных областях больше, чем вблизи. Это могло означать, что мы находимся в центре огромной области Вселенной, в которой меньше источников, чем в других местах. Но возможно было и другое объяснение: в прошлом, когда радиоволны начали свой путь к нам, источников было больше, чем сейчас. Оба эти объяснения противоречат предсказаниям теории стационарной Вселенной. Кроме того, микроволновое излучение, обнаруженное в 1965 г. Пензиасом и Вильсоном, тоже указывало на большую плотность Вселенной в прошлом, и поэтому от модели стационарной Вселенной пришлось отказаться.

В 1963 г. два советских физика, Е. М. Лифшиц и И. М. Халатников, сделали еще одну попытку исключить большой взрыв, а с ним и начало времени. Лифшиц и Халатников высказали предположение, что большой взрыв – особенность лишь моделей Фридмана, которые в конце концов дают лишь приближенное описание реальной Вселенной. Не исключено, что из всех моделей, в какой-то мере описывающих существующую Вселенную, сингулярность в точке большого взрыва возникает только в моделях Фридмана. Согласно Фридману, все галактики удаляются в прямом направлении друг от друга, и поэтому нет ничего удивительного в том, что когда-то в прошлом все они находились в одном месте. Однако в реально существующей Вселенной галактики никогда не расходятся точно по прямой: обычно у них есть еще и небольшие составляющие скорости, направленные под углом. Поэтому на самом деле галактикам не нужно находиться точно в одном месте – достаточно, чтобы они были расположены очень близко друг к другу. Тогда нынешняя расширяющаяся Вселенная могла возникнуть не в сингулярной точке большого взрыва, а на какой-нибудь более ранней фазе сжатия; может быть, при сжатии Вселенной столкнулись друг с другом не все частицы. Какая-то доля их могла пролететь мимо друг друга и снова разойтись в разные стороны, в результате чего и происходит наблюдаемое сейчас расширение Вселенной. Как тогда определить, был ли началом Вселенной большой взрыв? Лифшиц и Халатников занялись изучением моделей, которые в общих чертах были бы похожи на модели Фридмана, но отличались бы от фридмановских тем, что в них учитывались нерегулярности и случайный характер реальных скоростей галактик во Вселенной. В результате Лифшиц и Халатников показали, что в таких моделях большой взрыв мог быть началом Вселенной даже в том случае, если галактики не всегда разбегаются по прямой. Но это могло выполняться лишь для очень ограниченного круга моделей, в которых движение галактик происходит определенным образом. Поскольку же моделей фридмановского типа, не содержащих большой взрыв, бесконечно больше, чем тех, которые содержат такую сингулярность, Лифшиц и Халатников утверждали, что на самом деле большого взрыва не было. Однако позднее они нашли гораздо более общий класс моделей фридмановского типа, которые содержат сингулярности и в которых вовсе не требуется, чтобы галактики двигались каким-то особым образом. Поэтому в 1970 г. Лифшиц и Халатников отказались от своей теории.

Тем не менее их работа имела очень важное значение, ибо она показала, что если верна общая теория относительности, то Вселенная могла иметь особую точку, большой взрыв. Но эта работа не давала ответа на главный вопрос: следует ли из общей теории относительности, что у Вселенной должно было быть начало времени – большой взрыв?

Ответ на этот вопрос был получен при совершенно другом подходе, предложенном в 1965 г. английским математиком и физиком Роджером Пенроузом. Исходя из поведения световых конусов в общей теории относительности и того, что гравитационные силы всегда являются силами притяжения, Пенроуз показал, что когда звезда сжимается под действием собственных сил гравитации, она ограничивается областью, поверхность которой в конце концов сжимается до нуля. А раз поверхность этой области сжимается до нуля, то тоже самое должно происходить и с ее объемом. Все вещество звезды будет сжато в нулевом объеме, так что ее плотность и кривизна пространства–времени станут бесконечными. Иными словами, возникнет сингулярность в некоей области пространства–времени, называемая черной дырой.