

ШЕСТЬДЕСЯТ ЛЕТ ТЕОРИИ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ А. А. ФРИДМАНА

Ю. Б. ТАТАРИНОВ

В середине 1922 г. в редакцию журнала «Zeitschrift für Physik» поступила статья «О кривизне пространства» [1], подписанная А. Фридманом и посвященная новой области науки о Вселенной — релятивистской космологии. Автор статьи, совершенно неизвестный на Западе как космолог, вступил в научный спор с А. Эйнштейном, родоначальником идеи использования общей теории относительности (ОТО) для решения космологической проблемы.

Чтобы лучше понять суть и идейные истоки этой дискуссии, сыгравшей фундаментальную роль в развитии естествознания, рассмотрим ситуацию, сложившуюся в космологии к моменту появления работы Фридмана. В 1916 г. завершился восьмилетний труд А. Эйнштейна по созданию ОТО. Уже в следующем году Эйнштейн сделал дальнейший шаг в развитии ОТО — заложил основы релятивистской космологии [2].

Новое решение космологической проблемы, данное Эйнштейном, появилось в период, когда классическая космология, основывающаяся на законах ньютоновской механики, переживала определенные трудности. Теоретический анализ физических условий во Вселенной Ньютона привел к установлению в XIX в. трех многократно исследовавшихся и обсуждавшихся парадоксов классической космологии: фотометрического (Ольберс, 1826), гравитационного (Нейман, 1874; Зеелигер, 1895) и термодинамического (Клаузиус-Томсон, теория «тепловой смерти»).

Эйнштейн предложил первую релятивистскую модель Вселенной. Руководствуясь идеей Маха о том, что инерция обуславливается взаимодействием тел, и исходя из гравитационных уравнений ОТО, дополненных так называемым космологическим членом, соответствующим введению гипотетической силы отталкивания — силы отрицательного давления, он получил однородную изотропную статическую модель с замкнутым пространством положительной кривизны, заполненную равномерно распределенной покоящейся материей. «Мир Эйнштейна» стационарен, неизменен и бесконечен во времени, представляет трехмерное сферическое (риманово) пространство с постоянной положительной кривизной и конечным объемом. По мнению Эйнштейна, это представление являлось логически непротиворечивым и наиболее естественным с точки зрения ОТО [2, с. 612]. «С гносеологической точки зрения, — писал Эйнштейн [3, с. 81], — гораздо более оправданна мысль, что механические свойства пространства полностью определяются материей, а это может быть только в случае пространственно-ограниченной Вселенной». Модель, казалось, адекватно отражала «космологическую реальность», так как она устраняла фотометрический и гравитационный парадоксы.

Принципиально новая постановка и решение космологической проблемы в рамках ОТО совершили подлинный переворот в способе видения Вселенной, однако сразу же вызвали острую полемику в ученом мире, начало которой положил В. де Ситтер, предложивший в том же 1917 г. другую, так называемую пустую космологическую модель, также удовлетворяющую ОТО, с положительной космологической постоянной. Подобно модели Эйнштейна, эта модель была статична и обладала конечным пространством положительной кривизны при средней плотности материи в ней, равной нулю.

Первым, кто подверг критике «пустую» модель де Ситтера, был Эйнштейн, который в 1918 г. подчеркнул, что, согласно ОТО, «никакой пространственно-временной континуум не может существовать без порождающей его материи» [4, с. 648—649]. Воз-

ник вопрос, может ли модель де Ситтера описывать метрическую структуру мирового пространства. Это послужило началом дискуссии вокруг моделей Эйнштейна и де Ситтера, продолжавшейся немногим более 10 лет и привлечшей внимание А. Эддингтона, К. Ланцоша, Г. Вейля, М. Лауэ, Ж. Леметра, Р. Толмена и других видных ученых.

В 1919 г. эксперимент по наблюдению во время солнечного затмения отклонения света в гравитационном поле Солнца, идея которого была высказана автором ОТО еще в 1911 г., подтвердил существование и численную величину эффекта Эйнштейна, являющегося одним из следствий теории гравитации. В том же году Г. Лоренц сообщил Эйнштейну, что ОТО можно считать подтвержденной.

Научная деятельность Эйнштейна в разнообразных областях физики была по достоинству оценена: за открытие законов фотоэлектрического эффекта он был награжден Нобелевской премией за 1921 г. Характерно, что «за теорию относительности премии ему не присудили, потому что в Нобелевском комитете разделились мнения о том, достаточно ли строго она доказана с точки зрения физики» [5, с. 160]. Немалую трудность для осмысления ОТО, по-видимому, представил также и необходимый переход от утвердившейся в XVII—XIX вв. концепции пространственно-бесконечной Вселенной к идее Эйнштейна о возможности реального существования конечной Вселенной. В действительности недостаток модели Эйнштейна состоял совсем не в том, что она конечна, а в том, что она, хотя формально и статична, однако, как показал в 1930 г. Эддингтон, обладает неустойчивостью [6, с. 467—468].

В работе «О кривизне пространства» (1922) наш отечественный математик и физик А. А. Фридман, сохранив все допущения Эйнштейна, но пренебрегая постулатом статичности, получил принципиально новые фундаментальные результаты, относящиеся не только к моделям Эйнштейна и де Ситтера, но и к решению космологической проблемы в целом. Он показал, что метрика пространства — времени Вселенной вопреки выводам Эйнштейна может быть не статичной, а изменяться во времени [7, с. 442—446]. Оказалось, что можно прийти к этим результатам, не вводя в начальные уравнения λ -член, без которого модель Эйнштейна не могла бы существовать даже формально.

Первоначально А. Эйнштейн отнесся к этой космологической работе Фридмана как к математически ошибочной. Автор ОТО в краткой заметке высказал сомнение по поводу полученного Фридманом решения, соответствующего непостоянству «радиуса мира во времени», и назвал «результаты относительно нестационарного мира... подозрительными» [8, с. 118].

Позже рассказал об этом акад. В. А. Фок. В 1923 г. в заграничной командировке был советский физик Ю. А. Крутков. По просьбе Фридмана он посетил в Берлине Эйнштейна и с большим трудом убедил великого ученого в его неправоте [9, с. 355]. Как следует из записей и писем Круткова, изученных В. Я. Френкелем [10, с. 6—13], его беседы с Эйнштейном состоялись в Лейдене в период с 7 по 18 мая 1923 г. и были затем продолжены в Берлине. Знаменательны строки письма Круткова от 18 мая: «Победил Эйнштейна в споре Фридмане. Честь Петрограда спасена!». Благодаря В. Я. Френкелю стало также известно, что в конце 1922 г., получив от Круткова сообщение о неблагоприятной реакции Эйнштейна на его статью, Фридман 6 декабря направил последнему письмо. В нем он привел подробные выкладки, подтверждающие справедливость полученного им результата, соответствующего случаю «нестационарного мира». Однако не это письмо (хранящееся в архиве Эйнштейна), а именно беседы с Крутковым, по мнению Френкеля, заставили Эйнштейна изменить свою точку зрения на возможность нестационарного решения космологической проблемы. В результате этой полемики появилась вторая заметка Эйнштейна [11].

Придавая исключительную важность этой публикации для правильной оценки всех обстоятельств заочной дискуссии Фридман — Эйнштейн, а также учитывая погрешности ее перевода в УФН [12, с. 453], использованного позднее в «Собрании научных трудов» [13, с. 119], считаем необходимым привести ниже полный, наиболее адекватный подлиннику текст перевода данной заметки, датированной 31 мая 1923 г. «В более ранней заметке, — писал Эйнштейн, — я критиковал названную работу. Однако мое возражение основывалось на вычислительной ошибке, как я убедился по побуждению (auf Anregung) г-на Круткова, руководствуясь (an Hand) письмом г-на Фридмана. Я считаю результаты г-на Фридмана правильными и вносящими ясность. Обнаруживается, что уравнения поля допускают для структуры пространства, наряду со статиче-

скими, также и динамические (то есть с переменной временной координатой) центрально-симметричные решения» (перевод автора).

О чем свидетельствует эта заметка? Прежде всего о том, что первоначальное возражение Эйнштейна, как он самокритично признал, было вызвано его собственной ошибкой в математических выкладках; во-вторых, о том, что Эйнштейн убедился в этом непосредственно из письма Фридмана, полученного им, а не «сообщенного... г-ном Крутковым», как это утверждается в тексте перевода, приведенного в УФН. А отсюда в свою очередь следует, что вопреки предположению В. Я. Френкеля [10, с. 12] Эйнштейн лично читал письмо Фридмана, а следовательно, не мог не ознакомиться с его полным содержанием. Наконец, в-третьих, и это самое важное, Эйнштейн в ходе бесед с Крутковым был вынужден согласиться с тем, что решение Фридмана о возможности существования «нестационарного мира» полностью соответствует гравитационным уравнениям ОТО. Тем самым Эйнштейн признал свою ошибку в споре с Фридманом. Однако первоначальная оценка Эйнштейном работы петроградского ученого не могла не отразиться отрицательно на признании мировой научной общественностью этого фундаментального открытия [14, с. 172].

Действительно, как отмечает М. П. Бронштейн в этой же статье, «работа Фридмана была наполовину забыта», а приоритет в разработке теории расширяющейся Вселенной был отдан позже Леметру, который только через пять лет после Фридмана вновь вернулся к этой концепции, пытаясь ее связать с конкретными астрономическими данными [15]. В рассматриваемый же момент внимание физиков и астрономов было привлечено к дискуссии, развернувшейся вокруг статических моделей Эйнштейна и де Ситтера, главным образом по вопросу об их соответствии реальному астрономическому миру.

Особую остроту эта полемика приобрела с того момента, когда в 1923 г. Г. Вейлю [16], а в 1924 г. А. Эддингтону [6, с. 301—308] удалось показать, что по сравнению с моделью Эйнштейна модель де Ситтера имеет то преимущество, что она способна объяснить в первом приближении явление смещения к красному концу спектра спектральных линий удаленных от нас спиральных туманностей, установленное к этому времени (к началу 1922 г.) путем астрономических наблюдений В. Слайфером. Позднее было также показано, что первоначальное возражение Эйнштейна против модели де Ситтера несостоятельно. Хотя данная модель и не удовлетворяет принципу Маха, однако она соответствует одному из допустимых решений гравитационных уравнений, так как материя может существовать не только в виде материальных масс. Так, в частности, в мире де Ситтера действие сил на так называемое «пробное тело» обусловливается полем, описываемым с помощью λ -члена. Вместе с тем всестороннее исследование этого решения в течение последующих лет показало, что оно не соответствует ставшим известным к концу 20-х годов астрономическим данным относительно распределения скоростей спиральных галактик, средней плотности материи и величины «радиуса мира» [14, с. 171], а следовательно, не может адекватно отобразить реальную Вселенную. По-видимому, не случайно в 1930 г. от этого решения отказались как сам автор де Ситтер [17], так и его сторонник А. Эддингтон. А отсюда можно заключить, что первое решение гравитационных уравнений ОТО, откуда можно непосредственно получить в качестве одного из следствий правильное выражение для закона «разбегания» галактик, экспериментально установленного Э. Хабблом в 1929 г., принадлежит А. А. Фридману, впервые обосновавшему возможность существования «нестационарного мира».

Вслед за своей космологической работой «О кривизне пространства», вызвавшей на первых порах столь острую и несправедливую реакцию Эйнштейна, Фридман в том же журнале «*Zeitschrift für Physik*» в 1924 г. публикует вторую — «О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной пространства» [18]. Отметим, что первые соображения о существовании подобного решения гравитационных уравнений были высказаны Фридманом в письме к Эйнштейну еще в 1922 г. [10, с. 10—11].

В этих двух работах при использовании наиболее общего вида уравнений ОТО, содержащих космологический член, Фридманом получен спектр решений, охватывающих как стационарный случай, так и нестационарный, отвечающий изменению во времени радиуса кривизны пространства. В стационарном случае для мира с положительной кривизной «сопутствующего» пространства и космологической постоянной, большей нуля, им получены частные решения, соответствующие уже известным моделям Все-

ленной: при положительной плотности «вещества» — «цилиндрическому миру Эйнштейна» и при нулевой — «сферическому миру де Ситтера». Для мира с отрицательной стационарной кривизной пространства Фридманом получены новые решения, которые отвечают «нулевой или отрицательной плотности вещества» [19, с. 450], причем последнее, по его мнению, не имеет физического смысла.

Наиболее важны результаты Фридмана, относящиеся к нестационарному случаю. В первой работе он показал, что уравнения тяготения допускают решения, соответствующие космологическим моделям с замкнутым пространством положительной кривизны, заполненным материей с положительной плотностью, при любых значениях космологической постоянной, в том числе и равной нулю. При этом особый интерес представляет решение, соответствующее «периодическому миру», радиус кривизны которого периодически меняется от нуля до некоторой постоянной величины [7, с. 445—446]. Фридман указывает, что «период мира» по порядку величины может быть близок к 10 млрд. лет. Другой заслуживающий внимания результат получен им в его второй работе, где доказывается возможность существования нестационарных миров с постоянной отрицательной кривизной пространства и с положительной плотностью вещества не только при положительной, но и при отрицательной и равной нулю космологической постоянной [19, с. 450—451]. Таким образом, исследования Фридмана наглядно показали, что уравнения ОТО Эйнштейна не дают однозначной модели Вселенной независимо от значения космологической постоянной.

Поскольку Фридман первый рассмотрел решения гравитационных уравнений при космологической постоянной, равной нулю, и показал, что в полученных им решениях эта константа, по существу, является лишней [7, с. 446], подобные модели без космологического члена принято называть «фридмановскими». При этом в зависимости от величины плотности вещества, заполняющего пространство, различают три основные модели расширяющейся Вселенной, две из которых исследованы в работах Фридмана. Простейшая фридмановская модель (сам Фридман ее не рассматривал), которую обычно называют моделью Эйнштейна — де Ситтера (1932 г.), соответствует случаю, когда плотность вещества ρ во Вселенной равна некоторому его критическому значению ρ_k ; непрерывно расширяющееся пространство является евклидовым, т. е. обладает нулевой кривизной; объем пространства при этом бесконечен. Вторая, так называемая закрытая модель относится к случаю, когда ρ больше ρ_k . Это соответствует сферическому риманову пространству с положительной постоянной (для каждого момента времени) кривизной и конечным объемом; расширение мира начинается в некий нулевой момент времени, а затем сменяется сжатием. Если плотность вещества меньше критической: $\rho < \rho_k$, то геометрия третьей, так называемой открытой модели соответствует неограниченно расширяющемуся пространству Лобачевского с постоянной отрицательной кривизной и бесконечным объемом.

В. А. Фок очень высоко оценивал полученные Фридманом результаты — доказательство возможности нестационарной, в частности расширяющейся, Вселенной. Однако он считал, что сам Фридман якобы недооценивал значимость своего открытия, утверждая, что «его дело — указать возможные решения космологических уравнений, а там пусть физики делают с этими решениями, что они хотят» [9, с. 356]. «Это ироническое, по мнению П. Л. Капицы [20, с. 397], высказывание о своих трудах остроумного человека» было, к сожалению, некритически воспринято многими авторами, пишущими о Фридмане, что не могло не повлиять отрицательным образом на оценку его роли в становлении теории расширяющейся Вселенной.

В то же время достаточно внимательно ознакомиться с его статьями, а также с книгой «Мир как пространство и время» [21], чтобы убедиться в полной несостоятельности утверждений о том, что автор не очень-то верил в свою собственную теорию и относился к ней лишь как к математическому курьезу. Конец третьей главы этой книги, как указывает сам Фридман, «посвящен вопросу об общем устройстве нашей (само собой разумеется, материальной) Вселенной. Как бы ни были шатки наши соображения, касающиеся этой области, но обширность задачи заставляет отнестись к ним с необычайным интересом» [21, с. 9]. Именно в этой главе Фридман приводит важное соображение по поводу решения вопроса о пространственной конечности или бесконечности Вселенной (не замеченное или забытое его современниками), развиваемое им в его второй статье. Фридман показывает, что без некоторых дополнительных предположений

о свойствах связности пространства нельзя только по одной кривизне судить о конечности или бесконечности пространства [19, с. 451—452]. Эти трудности устраняются, отмечают В. В. Казютинский и А. С. Кармин, «если наложить на пространство — время требование „топологической простоты“, согласно которому пространство — время ориентируемо и односвязно. Во фридмановских однородных и изотропных моделях эти ограничения обычно молчаливо подразумеваются» [22, с. 289].

Доказательство возможности нестационарной Вселенной было достаточно радикальным открытием, в корне изменившим в дальнейшем космологическую картину мира, однако не менее революционные выводы Фридмана были связаны с указанием на существование начального момента времени, соответствующего «рождению» Вселенной. Все нестационарные модели с $\lambda=0$ характеризуются существованием особой (сингулярной) точки четырехмерного пространства — времени, отвечающей $t=0$. Отсчет времени истории Вселенной как бы начинается с этого момента. «Если... начать подсчитывать... время,— писал в связи с этим Фридман,— прошедшее от момента, когда Вселенная создавалась из точки до теперешнего ее состояния... следовательно, время, прошедшее от создания мира, то получатся числа в десятки миллиардов наших обычных лет» [21, с. 101]. Таким образом, Фридман, якобы только решавший одни уравнения, проявил здесь исключительную физическую прозорливость, предсказав, что время в релятивистских моделях в направлении к прошлому оказывается конечным, и правильно оценив порядок величины «возраста» Вселенной.

Этими работами 1922—1924 гг. А. А. Фридман заложил основы всей современной космологии. Напрашивается вопрос, каким образом удалось ему в сложных условиях Советской России 20-х годов создать «теорию огромного значения», т. е. совершить, по словам Я. Б. Зельдовича, великий научный и общечеловеческий подвиг.

Александр Александрович Фридман родился в 1888 г. Очень рано проявилось его выдающееся математическое дарование. После окончания Петербургского университета в 1910 г. Фридман был оставлен на кафедре математики. Его интересы вплоть до 1913 г., когда он сдал экзамены на степень магистра чистой и прикладной математики, не выходят за пределы этой науки. Именно в этот период, по-видимому, и начали складываться предпосылки для последующего суждения о Фридмане как ученом, чьим делом было только решение математических уравнений, физический смысл которых его якобы не очень-то и интересовал [9, с. 353, 356]. Нам представляется, что подобного рода мнение по поводу существа научного творчества этого талантливого физика, к сожалению, проникшее на страницы не только научно-популярной, но и научной литературы, глубоко ошибочно. Вся последующая научная деятельность А. А. Фридмана может служить убедительным опровержением этого достаточно устоявшегося мнения.

«А. А. Фридман имел редкие способности к математике,— вспоминал его университетский товарищ — математик А. Ф. Гаврилов,— однако изучение одного только математического мира чисел, пространства и функциональных в них соотношений не удовлетворяло его. Ему было мало и того мира, который изучается теоретической и математической физикой. Его идеалом было наблюдать реальный мир и создавать математический аппарат, который позволил бы формулировать с должной общностью и глубиной законы физики и затем уже без наблюдения предсказывать новые законы» [23, с. 420]. В течение ряда последующих лет, работая главным образом в области гидромеханики сжимаемой жидкости, динамической метеорологии и физики атмосферы, Фридман добился ряда фундаментальных результатов, сделавших его имя всемирно известным среди специалистов по метеорологии.

В своей научной деятельности Фридман не ограничился теоретической и практической метеорологией. В начале 20-х годов он проявил огромный интерес к изучению ОТО Эйнштейна. В эти годы А. А. Фридман и В. К. Фредерикс становятся популяризаторами его идей, нередко выступая со специальными докладами по ОТО на совместном семинаре физиков, математиков и механиков в Петроградском университете. Изучая новую отрасль науки — космологию, Фридман, как и всегда, не ограничился ознакомлением с уже известными результатами, а приступил к своим собственным оригинальным исследованиям, применяя математический аппарат, уже широко использованный им в теоретической метеорологии [24 с. 444]. Их основной результат — доказательство возможности «нестационарных решений, соответствующих постоянной (как положительной, так и отрицательной) кривизне „сопутствующего“ пространства» (В. А. Фок).

Многие ученые — естествоиспытатели и историки науки, опираясь на текст второй заметки Эйнштейна, утверждают, что спор между ним и Фридманом нашел свое логическое завершение в 1923 г., когда Эйнштейн согласился с тем, что ошибся, признал полученные Фридманом результаты правильными и дал им положительную оценку. Однако детальный исторический анализ этой дискуссии, а также развития космологических представлений в этот период показывает, что дело обстоит далеко не так.

Прежде всего следует заметить, что в исключительно краткой заметке «Эйнштейн подтвердил (только! — Ю. Т.) формальную правильность этого решения» [25, с. 16], оставаясь сам до конца 20-х годов на позициях стационарной Вселенной, «требующей» использования так называемого космологического члена. О формальном характере и определенной неполноте второй публикации свидетельствуют и следующие детали. В этой заметке, признавая целиком правильность математических выкладок Фридмана, Эйнштейн в то же время говорит о данном результате только как об одном из двух равнозначных вариантов решения гравитационных уравнений. Вместе с тем немногим более месяца спустя (11 июля 1923 г.) в докладе на Северной ассамблее естествоиспытателей Эйнштейн признал, что найденное им «решение „космологической проблемы“ пока нельзя считать вполне удовлетворительным» из-за введения λ -члена, «который не основан на каких-либо опытных данных и ни в коей мере не обусловлен логически основными членами этих (гравитационных. — Ю. Т.) уравнений» [26, с. 127].

Таким образом, статическая модель Эйнштейна благодаря изменению уравнений ОТО ad hoc путем введения в них λ -члена не отвечает провозглашенному им же самим критерию «внутреннего совершенства». В отличие от этого решение Фридмана, включающее варианты с λ -членом, равным нулю, этому критерию соответствует полностью. С точки зрения же так называемого критерия «внешнего оправдания», обе модели равным образом устраняют фотометрический и гравитационный парадоксы, обе основаны на одних и тех же физических допущениях о характере состояния и движения материи в пространстве. В то же время такой астрономический фактор, как характер распределения скоростей внегалактических туманностей, который мог бы решающим образом свидетельствовать либо о стационарности, либо о расширении пространства, в этот момент (1922—1924 гг.) был неизвестен не только Фридману, но и Эйнштейну, поскольку 2-е издание книги А. Эддингтона «Теория относительности», где впервые были опубликованы результаты измерения В. Слайфером радиальных скоростей спиральных туманностей, вышло в свет в 1924 г.

Вместе с тем и с точки зрения уже имеющихся астрономических данных решение Фридмана выглядит более предпочтительным. Дело в том, что еще в 1920 г. в своей работе «Пространство, время и тяготение» Эддингтон впервые заговорил об обнаруженном Слайфером «красном смещении» спектральных линий туманностей, что, по мнению Эддингтона, можно было интерпретировать «как эффект Допплера, указывающий на то, что эти туманности удаляются от нас», или «что причина в действительности заключается в замедлении колебаний атомов, предсказанном теорией де Ситтера» [27, с. 161]. Фридман пользовался работой Эддингтона (французским изданием 1921 г.), однако, по-видимому, считал его данные «недостаточным астрономическим экспериментальным материалом» [21, с. 10, 101].

Таким образом, указанные модели в целом вряд ли могли рассматриваться Эйнштейном в качестве равнозначных вариантов решения уравнений ОТО, что тем не менее можно заключить из второй его заметки по поводу работы Фридмана.

Об определенном психологическом своеобразии ситуации в этот момент дискуссии Фридман — Эйнштейн можно судить и по следующим двум фактам, оставленным без внимания историками науки. Эйнштейн не только обошел молчанием содержащуюся в письме Фридмана просьбу высказать свое мнение относительно исследования им возможности существования мира с постоянной и изменяющейся (во времени) отрицательной кривизной [10, с. 10—11], но никак не откликнулся и на последующую публикацию им статьи на эту же тему, которая не могла пройти для Эйнштейна незамеченной. Ведь именно вторая работа Фридмана поставила под сомнение принципиальное положение Эйнштейна о том, что мир, обладающий средней плотностью материи, отличной от нуля, должен быть, согласно ОТО, пространственно конечным. Вместе с тем Эйнштейн, очень быстроотреагировавший на первую статью Фридмана, на этот раз сохранил молчание.

В сентябре 1925 г. преждевременная смерть прервала плодотворную и многостороннюю научную деятельность А. А. Фридмана. Его имя и его космологические работы на долгие годы были преданы забвению. Этому способствовало то обстоятельство, что в период 1927—1931 гг. Ж. Леметр выступил с циклом работ, в которых он, как утверждается, совершенно независимо от Фридмана разработал одну из моделей расширяющейся Вселенной, наполненной кроме материи также и лучистой энергией. Как и Эйнштейн, Леметр использовал идею об антигравитирующей среде, описываемой в уравнениях λ -членом, и предсказал возможность существования «замедления» в расширении Метагалактики, в результате чего ее «возраст» может достигать 50—70 млрд. лет. Леметр выдвинул концепцию «эволюционной космологии», названной позже теорией «Большого взрыва», который и положил начало расширению Вселенной. После того как Эддингтон в 1930 г. горячо поддержал идеи Леметра, модель последнего, подтвержденная в принципе экспериментальными данными Хаббла по «красному смещению», завоевала достаточно широкое признание.

В этих условиях имя Фридмана, приоритет его идей были почти забыты. И единственным ученым, кто активно встал на защиту его научных достижений, оказался Альберт Эйнштейн, показавший всему научному миру прекрасный пример научной объективности и честности. В 1931 г. автор ОТО под влиянием «исследований Хаббла о доплеровском смещении и распределении внегалактических туманностей» отказался от «предположения о статической природе пространства», признал, что его прежнее решение (первая релятивистская модель — *Ю. Т.*) не имеет физического смысла, и отметил, что в своих дальнейших исследованиях он использует результаты, полученные Фридманом, который, как подчеркивает тут же Эйнштейн, «первым, причем независимо от наблюдательных фактов», предложил решение, описывающее пространство, «радиус которого зависит от времени» [28, с. 349—352]. Эта публикация Эйнштейна свидетельствовала, таким образом, впервые о полном признании им работ Фридмана, об отказе автора ОТО от статической модели и от введения космологического члена в уравнения тяготения и тем самым о переходе к идее нестационарной Вселенной. Доказательством последнего является разработка им в 1931—1932 гг. совместно с де Ситтером одной из моделей расширяющейся Вселенной без λ -члена [29, с. 396—398].

Вероятно, здесь напрашивается вопрос: что помешало Эйнштейну признать «правильными» результаты Фридмана о возможной нестационарности Вселенной еще в 1922 г., а в 1923 г., уже в его второй заметке, «заставило» говорить о статическом и динамическом решениях как о равнозначных? Ведь вряд ли причиной этого была только ошибка в вычислениях, а также упомянутые выше некоторые астрономические и гносеологические факторы, якобы подтверждающие адекватность стационарной модели.

Вопрос кажется простым, а вместе с тем он достаточно сложен, потому что касается такой тонкой области научной деятельности, как процесс восприятия научного открытия, и относится к особому случаю, когда ученый, совершенно неизвестный в дисциплинарном сообществе, не только ставит под сомнение результаты, полученные выдающимся ученым, но и претендует на оригинальный вклад в науку. В этих условиях на процесс восприятия не могли не оказать существенного влияния так называемый «феномен Барбера» — социально обусловленная сопротивляемость открытиям в научной среде, а также некоторые факторы, носящие личностно-психологический характер [30, с. 5—20]. Так, в данном случае определенную роль, по нашему мнению, сыграл взгляд автора ОТО на место математики в научном исследовании.

Чтобы понять полностью психологическую «установку» Эйнштейна, приведшую к отрицательной оценке им первой работы Фридмана, целесообразно, по-видимому, проанализировать соотношение математического и физического в творчестве этих двух выдающихся ученых. В самом общем виде можно утверждать, что если Фридман на пути своего научного поиска шел от математики к физике, то Эйнштейн при разработке ОТО и в своих космологических работах всегда отталкивался от глубоких физических принципов и только затем переходил к постановке и решению математической задачи. Отсюда и их различное отношение в этот период к использованию математики в научных исследованиях.

Основным методом исследования для Фридмана стал метод математической гипотезы, который он широко применял как в теоретической метеорологии, так и в релятивистской космологии. Вместе с тем он стремился в нужных случаях довести решение

до численных значений, допускающих опытную проверку. Интересно, что с годами неуклонно повышался удельный вес «физического» в исследованиях, проводимых этим замечательным ученым, воспитанным в строгих математических традициях.

Путь Эйнштейна к осознанию значимости математики для исследовательской деятельности в области физики значительно более сложен. По воспоминаниям самого автора ОТО, он в молодые годы увлекался физическим экспериментом, «пренебрегая до некоторой степени математикой». Значение математики для решения глубоких проблем физики стало для него «выясняться лишь постепенно, после многих лет самостоятельной научной работы». Поскольку вопрос о хронологии изменения взглядов Эйнштейна на роль математики в физическом исследовании в целом, и эвристического значения математического конструирования в частности, является до некоторой степени спорным, проследим эволюцию этого отношения, используя высказывания автора ОТО.

Для периода 1919 — 1923 гг., представляющего для нас особый интерес, характерно, что Эйнштейн, оценивая возможности метода математической гипотезы, каждый раз возвращается к мысли о необходимости опоры на физические принципы или на опытные факты. Так, в 1919 г. в письме к Эренфесту Эйнштейн писал: «Мне трудно понять, как сам Вейль и все остальные не замечают тех положений теории, которые противоречат опыту» [5, с. 156]. В 1921 г. Эйнштейн, излагая эволюцию идей при разработке теории относительности, ставит вопрос, непосредственно касающийся предложенной им космологической модели: «Является ли Вселенная пространственно ограниченной?». Доказать ничего нельзя, отвечает он, «пока не будет проведено динамическое исследование больших звездных систем неподвижных звезд» [31, с. 104]. В том же 1921 г. Эйнштейн, вновь возвращаясь к теории Вейля и восхищаясь смелостью и логичностью его математической мысли, вместе с тем подчеркивал: «...отдавая должное стройности и изящности построений Вейля, я все же думаю, что они не соответствуют физической реальности» [32, с. 105—106]. В 1922 г. Эйнштейн пишет Вейлю: «Сейчас я как раз занят разбором Вашей работы о математической предпочтительности квадратичной формы. Ее физический смысл я не улавливаю... На мой взгляд, для того, чтобы действительно двинуться вперед, следовало бы найти всеобщий выведенный у природы принцип» [5, с. 165]. Наконец, в 1923 г., впервые формулируя свою программу единой теории поля, Эйнштейн вновь говорит о коренном недостатке используемого им метода: «К сожалению,— пишет он,— при этой попытке мы не можем опереться на опытные факты, как при построении теории тяготения (равенство инертной и тяжелой массы), а вынуждены ограничиться критерием математической простоты, который не свободен от произвола» [26, с. 127—128].

Позднее Эйнштейн, все чаще вспоминая о своем грандиозном успехе при создании ОТО, приходит к теоретическим построениям, которые, по его словам, заслуживают опубликования независимо от попыток придать им физический смысл. Так, в 1929 г. он уже подчеркивает: «Удача этой попытки (установление закона гравитационного поля.— Ю. Т.) вывести законы природы чисто умозрительным путем, основываясь на убеждении в формальной простоте действительности (Эйнштейн здесь противоречит самому себе.— Ю. Т.), поощряет к дальнейшему движению по этому пути» [33, с. 246].

Таким образом, в процессе работы над единой теорией поля взгляды Эйнштейна на роль математики в научном исследовании существенным образом эволюционировали. О принципиальном изменении творческого кредо Эйнштейна свидетельствует его лекция «О методе теоретической физики», прочитанная им в 1933 г. «Я убежден,— говорил ученый,— что посредством чисто математических конструкций мы можем найти те понятия и закономерные связи между ними, которые дадут нам ключ к пониманию явлений природы... Конечно, опыт остается единственным критерием пригодности математических конструкций физики. Но настоящее творческое начало присуще именно математике» [34, с. 184].

Краткий анализ эволюции взглядов Фридмана и Эйнштейна на соотношение математического и физического в научном поиске указывает на постепенное сближение позиций обоих ученых. Однако в 1922—1923 гг. Эйнштейн, по-видимому, под свежим впечатлением своей критики работы Вейля [5, с. 152, 154, 156, 165] рассматривал результаты Фридмана о возможной нестационарности Вселенной как результат чисто математических ухищрений, не имеющих физического смысла и не находящихся доста-

точного экспериментального подтверждения. На такое суждение могло оказать влияние и то обстоятельство, что в сравнении с решением космологической проблемы Эйнштейном Фридман, используя метод математической гипотезы, пошел дальше автора ОТО в части принятых допущений, а следовательно, и в отношении модификации гравитационных уравнений. Наша оценка совпадает с интересным высказыванием К. Ланцоша об отношении Эйнштейна к математике в период создания ОТО: «Он опасался,— отмечал Ланцош,— что изящество математического механизма может затуманить физическую проблему и привести лишь к чисто формальному ответу, в котором может просто утонуть сама суть физической ситуации» [35, с. 22].

В упомянутом ответе Фридману сказались также и определенные черты характера Эйнштейна, которого было нелегко заставить изменить свою точку зрения. Об этом независимо друг от друга рассказывали Л. Инфельд, К. Зелиг и Ю. А. Крутков. В то же время, когда Эйнштейн получил информацию о достоверности «красного смещения», он считал себя обязанным вновь вспомнить об уже покойном Фридмане и подтвердить приоритет последнего в разработке концепции нестационарной Вселенной.

Логика развития релятивистской космологии оказалась такова, что спустя 20 лет после безвременной кончины Фридмана Эйнштейну пришлось активно защищать концепцию нестационарной Вселенной [36, с. 610—611]. Эйнштейн отводит ряд возражений против этой идеи. Он подчеркивает, что «схема Фридмана» является наиболее общей, дающей решение космологической проблемы. Одновременно Эйнштейн приходит к выводу, что «открытое Хабблом явление нельзя рассматривать иначе как расширение звездной системы», т. е. как экспериментальное подтверждение теории Фридмана.

С момента появления теории расширяющейся Вселенной, разработанной А. А. Фридманом, прошло уже 60 лет. Из этого испытания временем, сопровождавшегося периодами острой критики и забвения, теория Фридмана вышла более развитой и окрепшей. После пересмотра шкалы внегалактических расстояний была уточнена постоянная Хаббла, в результате чего «время жизни» Вселенной возросло до 10—17 млрд. лет, устранив «временной парадокс» в этой теории. Экспериментальное подтверждение «разбегания» далеких галактик в форме «красного смещения», открытие в 1965 г. реликтового излучения и, наконец, высокая степень изотропии реликтового фона (до сотых и тысячных долей процента), установленная в 1976—1977 гг. с помощью радиотелескопа РАТАН-600 [37, с. 483], подтвердили сам факт нестационарности нашей Метагалактики и картину ее прошлого, разработанную теоретически в конце 40-х годов Г. А. Гамовым на основе фридмановской теории.

Фундаментальные результаты исследований Фридмана в совокупности с результатами Хаббла явились провозвестником современной астрономической революции, в основе которой лежат идеи о решающей роли нестационарных явлений на различных стадиях развития Вселенной.

Яркая научная деятельность А. А. Фридмана, одного из основоположников советской физики, удостоенного в 1931 г. премии им. В. И. Ленина, оставила неизгладимый след в релятивистской космологии, многие нерешенные проблемы которой разрабатываются в рамках развитых им идей.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить признательность рецензентам Л. С. Полаку, Г. М. Идлису и В. П. Визгину за ряд ценных замечаний.

Литература

1. *Friedmann A.* Über die Krümmung des Raumes.— *Zeit. für Physik*, 1922, В. 10 S. 377—386.
2. *Эйнштейн А.* Вопросы космологии и общая теория относительности (1917).— В кн.: *Собр. научн. трудов. Т. 1.* М.: Наука, 1965.
3. *Эйнштейн А.* Сущность теории относительности (1921).— В кн.: *Собр. научн. трудов. Т. 2.* М.: Наука, 1966.
4. *Эйнштейн А.* Критические замечания к решению де Ситтера уравнений гравитационного поля (1918).— В кн.: *Собр. научн. трудов. Т. 1.* М.: Наука, 1965.
5. *Зелиг К.* Альберт Эйнштейн. М.: Атомиздат, 1966.
6. *Эддингтон А. С.* Теория относительности. Л.— М.: ГТТИ, 1934.
7. *Фридман А. А.* О кривизне пространства.— *УФН*, 1963, т. 80, вып. 3.
8. *Эйнштейн А.* Замечание к работе А. Фридмана «О кривизне пространства» (1922).— В кн.: *Собр. научн. трудов. Т. 2.* М.: Наука, 1966.
9. *Фок В. А.* Работы А. А. Фридмана по теории тяготения Эйнштейна.— *УФН*, 1963, т. 80, вып. 3.
10. *Френкель В. Я.* Новые материалы о дискуссии Эйнштейна и Фридмана по релятивистской космологии.— В кн.: *Эйнштейновский сборник*, 1973. М.: Наука, 1974.

11. *Einstein A.* Notiz zu der Bemerkung zu der Arbeit von A. Friedmann «Über die Krümmung des Raumes».— *Zeit. für Physik*, 1923, B. 16, S. 228.
12. *Эйнштейн А.* К работе А. Фридмана «О кривизне пространства».— *УФН*, 1963, т. 80, вып. 3.
13. *Эйнштейн А.* К работе А. Фридмана «О кривизне пространства» (1923).— В кн.: *Собр. научн. трудов*. Т. 2. М.: Наука, 1966.
14. *Бронштейн М. П.* Современное состояние релятивистской космологии.— *УФН*, 1931, т. 11, вып. 1.
15. *Lemaitre G.* *Ann. Soc. Sci.*, 47, 49. Bruxelles, 1927.
16. *Weyl H.* *Phys. Z.*, 1923, 24, 230.
17. *Sitter W. de.* On the distances and radial velocities of extragalactic nebulae etc. *Proc. Nat. Acad.*— *USA*, 16, 274 (1930).
18. *Friedmann A.* Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes.— *Zeit. f. Physik*, 1924, B. 21, S. 326—333.
19. *Фридман А. А.* О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной пространства.— *УФН*, 1963, т. 80, вып. 3.
20. *Калица П. Л.* Александр Александрович Фридман.— В кн.: *А. А. Фридман. Избранные труды*. М.: Наука, 1966.
21. *Фридман А. А.* Мир как пространство и время. Изд. 2-е. М.: Наука, 1965.
22. *Казюгинский В. В., Кармин А. С.* Проблема бесконечности Вселенной и современная космология.— В кн.: *Современное естествознание и материалистическая диалектика*. М.: Наука, 1977.
23. *Гаврилов А. Ф.* Воспоминания о Фридмане.— В кн.: *А. А. Фридман. Избранные труды*. М.: Наука, 1966.
24. *Поллак Л. С.* Жизнь и научное творчество Александра Александровича Фридмана. 1888—1925 гг.— В кн.: *А. А. Фридман. Избранные труды*. М.: Наука, 1966.
25. *Зельдович Я. Б.* Творчество Эйнштейна и астрономия.— *Земля и Вселенная*, 1979, № 2.
26. *Эйнштейн А.* Основные идеи и проблемы теории относительности (1923).— В кн.: *Собр. научн. трудов*. Т. 2. М.: Наука, 1966.
27. *Эддингтон А.* Пространство, время и тяготение. Одесса, 1923.
28. *Эйнштейн А.* К космологической проблеме общей теории относительности (1931).— В кн.: *Собр. научн. трудов*. Т. 2. М.: Наука, 1966.
29. *Эйнштейн А.* О связи между расширением и средней плотностью Вселенной (1932).— В кн.: *Собр. научн. трудов*. Т. 2. М.: Наука, 1966.
30. *Миклулинский С. Р., Ярошевский М. Г.* Восприятие открытия как науковедческая проблема.— В кн.: *Научное открытие и его восприятие*. М.: Наука, 1971.
31. *Эйнштейн А.* Краткий очерк развития теории относительности (1921).— В кн.: *Собр. научн. трудов*. Т. 2. М.: Наука, 1966.
32. *Эйнштейн А.* Об одном естественном дополнении основ общей теории относительности (1921).— В кн.: *Собр. научн. трудов*. Т. 2. М.: Наука, 1966.
33. *Эйнштейн А.* О современном состоянии теории поля (1929).— В кн.: *Собр. научн. трудов*. Т. 2. М.: Наука, 1966.
34. *Эйнштейн А.* О методе теоретической физики (1933).— В кн.: *Собр. научн. трудов*. Т. 4. М.: Наука, 1967.
35. *Ланцош К.* Альберт Эйнштейн и строение космоса. М.: Наука, 1967.
36. *Эйнштейн А.* О космологической проблеме (1945).— В кн.: *Собр. научн. трудов*. Т. 2. М.: Наука, 1966.
37. *Парийский Ю. Н., Петров З. Е., Чернов Л. Н.* Письма в АЖ, 1977, т. 3.

60-th ANNIVERSARY OF THE FRIEDMAN'S THEORY OF EXPANDING UNIVERSE

Yu. B. TATARINOV

The article is devoted to the analysis of the genesis of the expanding Universe theory, the principles of which were worked out by the outstanding Soviet scientist A. A. Friedman (1888—1925). The main part of the article is spared to the discussion between A. A. Friedman and A. Einstein on the question of use of the general theory of relativity for solving a cosmological problem. The author reveals a number of privately psychological and socially logical moments, which allow to explain more adequately a gradual change of Einstein's view on the importance of the results of the studies of the problem of nonstationary Universe, obtained by Friedman. Einstein changed his views on Friedman's results from their complete ignorance (1922) to the formal estimation (1923) and at last not only to the complete recognition (1931) but to an active supporting (1945) of Friedman's theory, which solves, according to Einstein, the cosmological problem almost completely. It is shown that this polemics, which was a part of a general discussion concerning a degree of conformity of different cosmological models of the real world, has played a fundamental role in the formation of the theory of expanding Universe.