



**Абрашкін Анатолій Александрович**

Д. ф.-м. н., професор кафедри математики  
Національного Ісследовательского Университета  
Высшая Школа Экономики, Нижний Новгород

## Нестационарные миры Александра Фридмана

*Величие открытия Фридмана заключается,  
может быть, не столько в применении  
общей теории относительности, сколько  
в отказе от предвзятого представления  
о стационарности Вселенной.*

*Академик Я. Б. Зельдович*

Вплоть до начала 1920-х годов Космос представлялся ученым «в среднем» неизменным. Астрономы того времени наблюдали небольшие перемещения звезд, но они не походили на организованное крупномасштабное движение. Вселенная считалась стационарной: никаких доказательств ее сжатия или расширения, как целого, на тот момент не существовало. Исследования Александра Александровича Фридмана разрушили эти представления. Вселенная предстала в своем нестационарном обличье — эволюционирующем миром с определенной датой рождения и внутренне присущим ей стремлением к развитию.

1. Имя Фридмана обессмертили две его статьи, посвященные решению уравнений общей теории относительности (ОТО). Ее в 1915 году предложил Альберт Эйнштейн. ОТО рассматривает мир как четырехмерную реальность: к трем пространственным измерениям добавляется время. Пространство и время рассматриваются как четырехмерный пространственно-временной континуум, или пространство-время. Все четыре измерения неразрывны, поэтому речь идет, например,

уже не о пространственном расстоянии между двумя объектами, как это имеет место в трехмерном мире, а о пространственно-временных интервалах между событиями, которые фиксируют их удаленность друг от друга — как по времени, так и в пространстве.

Согласно ОТО, тела, обладающие массой, деформируют (искривляют) пространство. Как результат, кривизна пространства-времени меняется от точки к точке. Кривизна является геометрической характеристикой

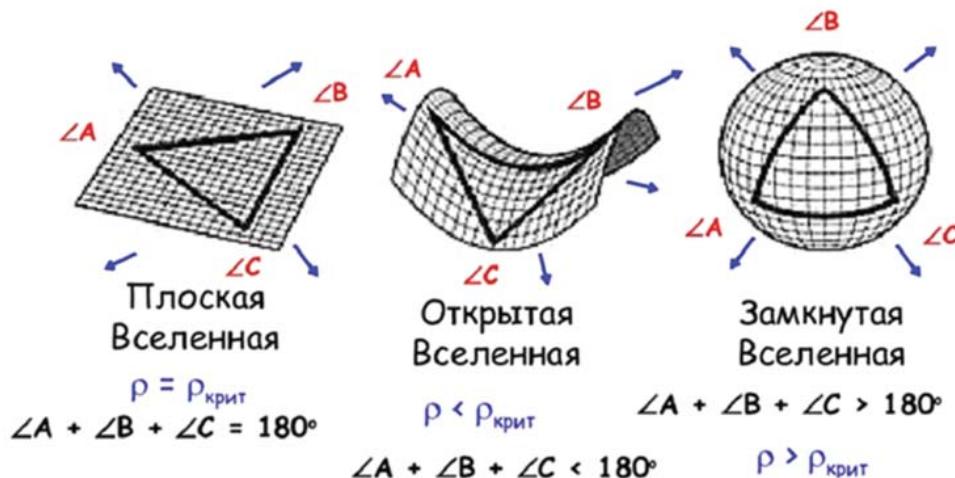


Рис. 1. Типы двумерных поверхностей с нулевой (слева), отрицательной (в центре) и положительной (справа) кривизной;  $\rho$  — средняя плотность материи Вселенной,  $\rho_c$  — ее критическое значение, определяющее глобальные геометрические свойства мира в космологических моделях (А.А. Абрашкин. Тайна Большого Взрыва. М.: Ленанд, 2022)

и записывается с помощью метрического тензора пространства-времени<sup>1</sup>. Наглядно представить искривленный четырехмерный мир ОТО крайне сложно, поэтому обычно понятие кривизны объясняют на примере двумерных поверхностей (рис. 1). В случае плоскости кривизна равна нулю, это свойство выражается в том, что сумма углов любого треугольника на ней равна 180 градусам. Для поверхности в виде седла кривизна отрица-

тельна, а сумма углов треугольника уже меньше 180 градусов. Наконец, для сферической поверхности кривизна положительна, и сумма углов треугольника больше 180 градусов. Соответственно первый случай характеризует плоский мир (или мир на плоскости), второй — открытый мир (неограниченная поверхность), а третий — замкнутый мир.

Через компоненты метрического тензора записывается интервал —

<sup>1</sup> Метрический тензор пространства-времени (метрика) обозначается  $g_{ij}$ , где индексы  $i, j$  пробегают значения от 0 до 3. Записывается в виде матрицы:

$$\|g_{ij}\| = \begin{pmatrix} g_{00} & g_{01} & g_{02} & g_{03} \\ g_{10} & g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{20} & g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{30} & g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{pmatrix}$$

В силу симметрии  $g_{ij} = g_{ji}$  из 16 его компонент независимыми являются только 10. Для однородной и изотропной Вселенной все недиагональные коэффициенты метрики равны нулю.

«расстояние» между двумя бесконечно близкими точками пространства-времени в различных направлениях. В общем случае это очень сложное выражение, но вид его значительно упрощается, если считать, что Вселенная однородная и изотропная.

Однородность означает, что во Вселенной нет предпочтительного местоположения. То есть, независимо от того, где вы находитесь во Вселенной, она будет выглядеть одинаково. Изотропия означает, что во Вселенной нет предпочтительного направления. То есть, независимо от того, в каком направлении вы смотрите, Вселенная будет выглядеть одинаково. На малых расстояниях — в пределах Солнечной системы, ближайших к нам звездных скоплений и даже галактик — эти предположения не выполняются. Но в объемах, содержащих достаточно большое количество галактик, об этом сегодня следует говорить как о твердо установленном факте.

Размер наблюдаемой области Вселенной в современную эпоху составляет  $10^{28}$  см. Эту область называют Метагалактикой. Самые большие образования в ней — сверхскопления галактик — имеют размеры порядка одной тысячной от этой величины. Если считать вещества равномерно размазанным в пространстве, то на масштабах сверхскоплений галактик свойства пространства будут уже в достаточной степени (с точностью одна тысячная) изотропны. Доказательство изотропии Метагалактики проводится, например, путем подсчета числа галактик и их скоплений в одинаковых пространственных углах, но в разных направлениях.

Космологические постулаты об однородности и изотропности Вселенной накладывают сильные требования на метрические свойства пространства-времени и значительно упрощают уравнения Эйнштейна. В качестве неизвестной величины в них остается только одна величина — масштабный фактор, характеризующий расстояние между двумя точками. Например, между двумя галактиками (среда, заполняющая Метагалактику, считается сплошной). Но, решая уравнения, Эйнштейн столкнулся со странной математической проблемой. Из них следовало, что Вселенная не могла оставаться статичной (неизменной во времени). Допустить такую возможность ученый никак не мог: это противоречило научной картине мира и мировоззренческим установкам физиков того времени. Масштабный фактор в его уравнениях не должен был зависеть от времени. И тогда Эйнштейн решил ввести в уравнения дополнительную постоянную. Ее назвали космологической постоянной, а новый член уравнений ОТО (в силу обозначения этой постоянной греческой буквой) — лямбда-членом.

Присутствие в уравнениях космологической постоянной эквивалентно наличию в пространстве сил отталкивания, она описывает антитяготение. Появление лямбда-члена в этом смысле совершенно закономерно. Поскольку гравитация характеризуется только притяжением, то статическое решение для системы гравитирующих тел невозможно. Гравитационное взаимодействие, в отличие от электродинамики, где есть как притяжение, так и отталкивание, не позволяет космическому

веществу находиться в покое. Космологическая постоянная стабилизировала состояние Вселенной. Если энергия и материя пытались затянуть в себя пространство-время, то космологическая постоянная выталкивала его, препятствуя коллапсу. Баланс между силами сжатия и расширения допускал статичное состояние Вселенной, как того и хотелось Эйнштейну. Он вводил величину, природа которой была ему абсолютно неясна. В земных условиях мы не встречаемся с проявлениями антигравитации, поэтому для введения ее в уравнения требовалось огромное мужество. Это был смелый шаг учченого. И дело, конечно же, не в математике и физике, хотя появление новой мировой постоянной — явление исключительно неординарное. На первый план тут выходит уже философский аспект. Из одних теоретических предпосылок учений выводил глобальное свойство Вселенной, аналогов которому на Земле не существует.

Дискуссии о правомерности введения лямбда-члена будут продолжаться на протяжении всего XX века. В какой-то момент сам Эйнштейн повинно заявит, что это была самая большая его научная ошибка. Но открытие темной энергии<sup>1</sup> перевернет ситуацию и окончательно подтвердит оправданность введения космологической постоянной. Между тем маятнику космологической истории в начале 1920-х годов было суждено качнуться в направлении, ко-

торое отодвигало проблему лямбда-члена на задний план. И виной тому был герой нашего очерка.

**2. Александр Александрович Фридман** родился в 1888 году в Санкт-Петербурге. Его отец, тоже Александр Александрович, — выпускник Петербургской балетной школы. Уже став артистом кордебалета Императорского театра в Петербурге, он закончил консерваторию и стал композитором. Мать Фридмана, Людмила Игнатьевна Воячек, также воспитанница Петербургской консерватории, служила преподавателем игры на фортепиано. Когда Саше было девять лет, родители расстались, и он воспитывался в новой семье отца и в кругу его родственников. С матерью Александр возобновил отношения лишь незадолго до смерти.

Семейные неурядицы, однако, не отразились на учебе. Все выпускные экзамены в гимназии Александр сдал на «отлично». Его аттестат заканчивается так: «Во внимание к постоянному отличному поведению и прилежанию и к отличным успехам в науках, в особенности же в математике, Педагогический совет постановил наградить его Золотой медалью».

В 1906 году Фридман поступает на математическое отделение физико-математического факультета Петербургского университета. Счастливой случайностью стало то, что именно с этого года профессором университета стал, оказавший значительное влияние на развитие Фридмана.

<sup>1</sup> Темная энергия — гипотетическая форма энергии, равномерно заполняющая все пространство Вселенной и проявляющаяся в антигравитации (т.е. гравитации, отталкивающей, а не притягивающей массивные тела). Введена в математическую модель Вселенной, чтобы объяснить ее ускоренное расширение, которое было открыто в конце 1990-х годов в результате наблюдений за сверхновыми звездами 1a.

Перед поступлением в университет Александр проштудировал многочисленные труды классиков математики и механики (этот список сохранился, и он даже сто с лишним лет спустя впечатляет). Зачетная книжка студента Фридмана напоминает о множестве прослушанных им курсов, и по всем этим предметам поставлена одна и та же оценка: «вуд», т.е. «весьма удовлетворительно» (в то время была трехбалльная шкала — «неуд», «уд» и «вуд»). В зачетке против названий ряда других курсов механики и математики (все названия и фамилии профессоров напечатаны типографским шрифтом) стоит пометка: «освобожден». Похоже, что успехи студента Фридмана были столь очевидны преподавателям, что они не считали нужным подвергать его формальным испытаниям.

Отработав после окончания Университета (1910 г.) три года преподавателем математики, Фридман поступил на работу в Аэрологическую обсерваторию в Павловске под Санкт-Петербургом, где начал заниматься динамической метеорологией (геофизической гидродинамикой). С началом Первой мировой войны молодой ученый добровольцем вступил в авиационный отряд. Фридман принимал участие в организации аэронавигационной и аэрологической службы на фронте, был летчиком-испытателем, бомбил Перемышль и проводил авиаразведку. За мужество и геройство Александр Александрович был награжден Георгиевским крестом 4-й степени, золотым оружием и орденом Святого Владимира с мечами и бантом. Удивительно, но и на передовой он не оставлял занятия наукой. Под статьей «О вихрях

с меняющейся температурой» написано: «Действующая армия, 10 сентября 1915 г.»

На фронте Александр Александрович занимается еще и вопросами теории прицельного бомбометания, составляя соответствующие таблицы, пользование которыми резко повышало вероятность попадания бомбы в намеченную цель. В уравнения движения бомбы, составленные Фридманом, входил некий коэффициент, связанный с сопротивлением воздуха, величину которого следовало определить эмпирически: он был разным для бомб с разным весом. Случилось так, что в укрепленном австрийскими войсками крепости Перемышль (Западная Галиция) в феврале 1915 г. находился будущий профессор-метеоролог Г. Фиккер. По его воспоминаниям единственное удачное бомбометание было проведено с аэроплана, который pilotировал Фридман. В мемуарных статьях об ученом говорится, что немецкие солдаты в Перемышле, когда удачно поражались их цели на земле, говорили: «Сегодня летает Фридман».

Приведем еще один пример храбрости и невероятного самообладания Александра Александровича. 18 июля 1925 года он вместе с пилотом П. Ф. Федосеенко совершил полет на аэростате. Аэронавты достигли высоты в 7400 метров, побив при этом довоенный рекорд на 1000 метров. Фридман оставил прекрасное по стилю и глубине изложения описание этого 10-часового путешествия. Оно оказалось серьезным испытанием на прочность характера членов экипажа: на высоте выше 7 километров аэростат пробыл более двух часов, а на высоте, превышающей 6 кило-

метров, более трех. Как следствие, воздухоплаватели пережили сильное кислородное голодание. Ситуация осложнялась еще тем, что их «кислородный сундук» разорвался на высоте, и они всячески экономили этот жизненно необходимый газ. При всем при том на протяжении всего полета Александр Александрович проводил научные наблюдения и делал соответствующие записи.

На тот момент Фридман был директором Главной Геофизической Обсерватории, и тот факт, что именно отправился ученым-наблюдателем в полет, свидетельствует не только о его личной храбрости, но и об ответственности руководителя, не пожелавшего подвергнуть риску жизнь его сотрудников. К тому времени у Александра Александровича уже накопился огромный опыт организаторской и преподавательской деятельности. После войны Фридман был основателем и директором завода «Авиаприбор» (1917 г., Москва), а также профессором Пермского (1918–1920) и затем Петроградского университетов. Объем проделанной им работы впечатляет и удивляет своей разносторонностью: это и научные труды, и всяческие административно-хозяйственные хлопоты, закупка оборудования для экспериментов и организация семинаров и конференций. Неоднократно ученый выезжал в научные командировки за границу, где с блеском представлял советскую науку.

Пик научной деятельности А. А. Фридмана приходится на 1922–1924 годы. В это время он как раз обращается к проблемам ОТО. Как

и Эйнштейн, он предположил, что в большом масштабе материя Вселенной распределена равномерно, а геометрия пространства может быть описана всего одним числом — масштабным фактором  $R(t)$ , определяющим кривизну пространства-времени,  $t$  — время. Эйнштейн утверждал, что это число раз и навсегда зафиксировано ( $R = \text{const}$ ), обеспечивая тонкую грань между введенной им космологической постоянной и плотностью распределенной в пространстве материи в виде звезд и планет. Фридман, однако, нашел решения с масштабным фактором, зависящим от времени. Плотность вещества при этом в общем случае тоже менялась со временем. В 1922 году статья Фридмана «О кривизне пространства» при посредстве Пауля Эренфеста была опубликована в центральном немецком «Физическом журнале» (*Zeitschrift für Physik*). В статье было показано, что уравнения ОТО допускают не только статические, но и динамические (нестационарные) решения. Фридман указал на три возможных сценария развития Вселенной. Согласно им Вселенная может сжиматься, расширяться, схлопываться и даже возникать из точки сингулярности<sup>1</sup>. Статическая Вселенная Эйнштейна являлась частным случаем фридмановских решений. Кроме того, результаты Фридмана «обесценивали» космологическую постоянную. В отличие от исходной модели Эйнштейна, она не обеспечивала статичность Вселенной, и ее уже нельзя было связать с каким-либо определенным

<sup>1</sup> Сингулярность (космологическая сингулярность) — предполагаемое состояние Вселенной в начальный момент Большого взрыва, характеризующееся бесконечно большой плотностью и температурой вещества.

значением. Фридман особо отмечал, что теперь это произвольная константа.

На статью, вышедшую в свет в июле 1922 года, обратил внимание сам Эйнштейн, что, впрочем, неудивительно: Эренфест был его близким другом. Первая оценка Эйнштейном теории Фридмана была крайне негативной. В сентябре 1922 года он послал в редакцию журнала короткую заметку, где констатировал, что Фридман допустил математическую ошибку. В ответном письме, датированном декабрем 1922 года, Фридман приводит свои выкладки более подробно. Однако это письмо попало в руки адресата только в мае следующего года, когда Эйнштейн возвратился из своего лекционного турне вокруг света. Месяцем позже коллега Фридмана советский физик Юрий Александрович Крутков встретился с Эйнштейном в доме Эренфеста в Лейдене и дал необходимые разъяснения. Сразу же после этой встречи Эйнштейн опубликовал в *Zeitschrift für Physik* еще одно сообщение, где была такая фраза: «Я считаю результаты г. Фридмана правильными и проливающими новый свет».

Творец ОТО признал математическую безупречность работы советского физика, но нестационарность Вселенной по-прежнему казалась ему абсурдом. Как и любому здравомыслящему физику, фридмановская идея казалась ему безумной. Здесь его упорство вполне понятно. Представить, чтобы плотность изменилась синхронно, оставаясь одинаковой, во всем объеме Вселенной, — дорогостоящего стоило. И именно Фридман сделал этот отчаянно смелый шаг!

В книге «Мир как пространство и время» он так представляет основной результат своих исследований: «Можно прийти прежде всего к двум типам Вселенной: 1) стационарный тип — кривизна пространства не меняется с течением времени и 2) переменный тип — кривизна пространства меняется с течением времени. Иллюстрацией первого типа Вселенной может служить шар, радиус которого не меняется с течением времени; двумерная поверхность этого шара будет как раз двумерным пространством постоянной кривизны. Наоборот, второй тип Вселенной может быть изображен меняющимся все время шаром, то раздувающимся, то уменьшающим свой радиус и как бы сжимающимся. <...> Переменный тип Вселенной представляет большое разнообразие случаев. Для этого типа возможны случаи, когда радиус кривизны мира <...> постоянно возрастает с течением времени. Возможны далее случаи, когда радиус кривизны меняется периодически: Вселенная сжимается в точку (в ничего), затем снова из точки доводит радиус свой до некоторого значения, далее опять, уменьшая радиус своей кривизны, обращается в точку и т.д. Невольно вспоминается сказание индусской мифологии о периодах жизни, является возможность также говорить о «создании мира из ничего», но все это пока должно рассматривать как курьезные факты, не могущие быть солидно подтвержденными достаточным астрономическим экспериментальным материалом».

В приведенном фрагменте каждое слово выглядит весомо и солидно. Фридман блестяще формулирует результаты своих исследований

и четко подчеркивает, что результаты, полученные для его математической модели, следует верифицировать дальнейшими экспериментами. Его обмоловка относительно индусской мифологии часто используется для утверждений, будто бы Александр Александрович отдавал предпочтение сценарию периодической (пульсирующей) Вселенной, но для этого нет оснований. Циклические рождания и исчезновения Вселенной напоминали ему философские идеи о реинкарнации, идущие из Индии, не более того. Точно так же «создание мира из ничего» он называет курьезным фактом. Фридман не выделяет ни один из возможных сценариев, а лишь утверждает факт нестационарности Вселенной. Нель-

зя не отметить предельную корректность исследователя при формулировке своих результатов. Он выжимает максимум из математики, но окончательный выбор оставляет за физиками-экспериментаторами. При этом Фридман прекрасно осознает, что расширение мира из «точки» или сжатие до «точечного состояния» означает взаимосвязь макро и микрофизики, включающей теорию элементарных частиц. Все авторы, пишущие о гениальном русском физике, признают, что только преведременная смерть не позволила ему сопоставить свои представления с набиравшими в то время силу астрофизическими исследованиями (умер Александр Александрович от брюшного тифа в 1925 году).

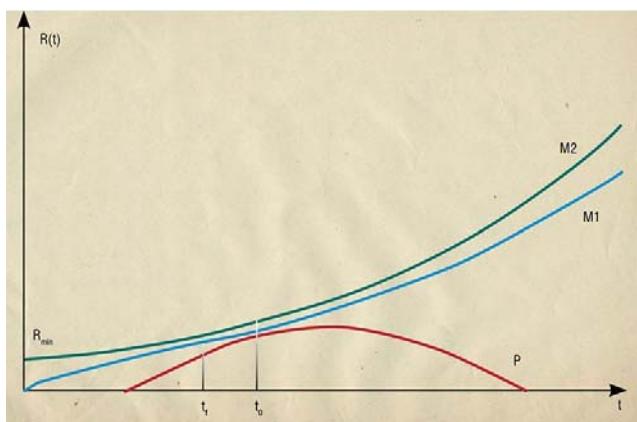


Рис. 2. Слева — Александр Александрович Фридман.

Справа: Три возможных главных сценария эволюции Космоса, предложенных Фридманом в 1922 г., изображены в виде зависимости масштабного фактора от времени. В первом монотонном сценарии,  $M_1$ , Вселенная расширяется из сингулярности с уменьшающейся скоростью до некоторого момента  $t_f$ , затем скорость расширения увеличивается. Настоящее время отмечено на графике линией, проходящей через  $t_0$ . Сценарий  $M_1$  наилучшим образом согласуется с современными астрофизическими наблюдениями. Кривая  $M_2$  соответствует сценарию, когда Вселенная начинает расширяться из состояния с ненулевым начальным радиусом  $R_{min}$ . Периодический сценарий  $P$  соответствует расширению из точки и сжатию обратно в точку

Александр Фридман был не единственным, кто в 20-х годах XX века стал исповедовать идею нестационарной Вселенной. В 1927 году бельгиец Жорж Леметр переоткрыл решения Фридмана. Из всех решений, допускаемых уравнением эволюции, Леметр выбрал и специально изучил то, которое Фридман обозначил  $M2$  (рис. 2). Расширение начинается с некоторого конечного радиуса мира, отвечающего, как в решении Эйнштейна, равновесию между гравитацией вещества и антигравитацией вакуума, и продолжается неограниченно во времени к сколь угодно большим значениям радиуса мира. Фридман не выделял какой-либо отдельный сценарий эволюции, предоставляя решающее право выбора эксперименту. Леметр, в свою очередь, не хотел ждать и жаждал определенности. Во вводном параграфе своей работы он писал: «Представляется желательным <...> рассмотреть Вселенную Эйнштейна, в которой радиусу пространства, или радиусу Вселенной, было бы позволено изменяться некоторым произвольным образом». В данном случае интуиция подвела ученого, он не угадал закон, по которому развивается Вселенная.

Статья Леметра вышла в 1927 году, на пять лет позже работы Фридмана, но в ней отсутствовало упоминание о результатах русского ученого. Первая ссылка на Фридмана появилась у Леметра в английском переиздании статьи в 1931 году. М. Хеллер и А. Чернин, авторы книги «У истоков космологии: Фридман и Леметр», пишут по этому поводу: «Как могло случиться, что он (Леметр. — А. А.) не заметил до 1931 г. ни публикаций Фридмана в междуна-

родном журнале, ни даже посвященных работам Фридмана двух заметок Эйнштейна в том же журнале, наверняка доступном везде в Европе? <...> Признаться, эти вопросы оставляют нас в недоумении, мы не знаем ответа на них». Подобно Леметру, западные ученые, как это бывало не раз, тоже не обратили внимания на открытие выдающегося русского ученого, они стали активно ссылаться на него существенно позже. Что ж, у науки не-предсказуемые пути развития...

**3.** В 1966 году в издательстве «Наука» вышел сборник избранных трудов ученого, где впервые были собраны его основные работы. Изучая их, можно проследить за развитием его научных интересов и ходом научной мысли. Поначалу Фридман занимался динамической метеорологией. Это были по преимуществу задачи прикладного характера, аналитическое решение которых представляло определенные сложности. Но ученый выделял в уравнениях «зерно» эффекта, отbrasывал несущественные члены и получал формулы, позволяющие эффективно вычислять необходимые величины. С одинаковым энтузиазмом он брался за любые задачи, от предсказаний погоды до поведения циклонов, от течения жидкостей до траекторий падающих бомб. В рамках занятий геофизической гидродинамикой Фридмана привлекли проблемы динамики сжимаемой жидкости. В начале 1920-х годов это направление гидромеханики только набирало силу, и Фридман остро почувствовал его важность и перспективность. Смена вектора исследований — необходимая сторона творчества великих ученых, но для

Александра Александровича это стало поворотным моментом. Интерес к течениям жидкости с переменной плотностью предопределил его гениальные достижения в релятивистской космологии.

Историки науки каждый раз пытаются угадать, как родилось то или иное открытие, откуда ученые улавливают искры вдохновения. Конечно, тайна творчества никогда не сможет быть высвеченена полностью, в полной палитре красок. Но в случае с математиком Фридманом ее объяснение напрашивается само собой.

Представим человека, занимающегося вопросами движения сжимаемой жидкости и одновременно с этим знакомящегося с ОТО. Академик Владимир Александрович Фок (1898–1974) вспоминал, что профессора Петроградского университета Фридман и Фредерикс были первыми, познакомившими русских физиков с ОТО. В начале 1920-х годов в Физическом институте университета собирался семинар, на котором они рассказывали о теории Эйнштейна. «Стиль их докладов был различный. Фредерикс глубоко понимал физическую сторону, но не любил математических выкладок. Фридман же делал упор не на физику, а на математику. Он стремился к математической строгости и придавал большое значение полной и точной формулировке исходных предпосылок». Тут мы, отталкиваясь от этого свидетельства Фока, решимся угадать путь первооткрывателя. Фридман взглянул на уравнения Эйнштейна как математик. Проблема стационарности, которой Эйнштейн придавал первостепенное значение, не ставилась Фридма-

ном во главу угла. Он искал все возможные решения уравнений Эйнштейна. Причем, его поиски приходятся на период написания статей по динамике сжимаемой жидкости, когда идея сплошной среды с переменной плотностью господствовала в его научном сознании. Задача об однородной и изотропной Вселенной, плотность которой изменяется со временем, напоминала о рассмотренных им гидродинамических примерах. Различие было только в том, что роль уравнений гидродинамики теперь должны были сыграть уравнения Эйнштейна. Путь Фридмана к необыкновенному открытию, таким образом, получился необыкновенно коротким, но везет сильнейшим. Более того, надо было еще не испугаться обнародовать свое поразительное открытие.

«Иногда говорят, — писал академик Капица, — что Фридман не очень-то верил в свою собственную теорию и относился к ней лишь как к математическому курьезу. Он будто бы говорил, что его дело — решать уравнения, а разбираться в физическом смысле решений должны другие специалисты — физики. Это ироническое высказывание о своих трудах остроумного человека не может изменить нашу высокую оценку его открытия. Даже если Фридман не был уверен в том, что расширение Вселенной, вытекающее из его математических выкладок, существует в природе, это никоим образом не умаляет его научной заслуги. Вспомним, например, теоретическое предсказание Дираком позитрона. Дирак тоже не верил в реальное существование позитрона и относился к своим расчетам как к чисто мате-

матическому достижению, удобному для описания некоторых процессов. Но позитрон был открыт, и Дирак, сам того не предполагая, оказался пророком. Никто не пытается преуменьшить его вклад в науку, из-за того что он сам не верил в свое пророчество». Мнение выдающегося физика о своем гениальном собрате не может не впечатлить. Капица ставит Фридмана в один ряд с Дираком.

Нобелевский лауреат Абдус Салам (1926–1996), получивший премию за объединение электромагнитного и слабого взаимодействий, так характеризовал его: «Поль Адриен Морис Дирак, без сомнения, один из величайших физиков этого, да и любого другого столетия. В течение трех решающих лет — 1925, 1926 и 1927, — своими тремя работами он заложил основы, во-первых, квантовой физики в целом, во-вторых, квантовой теории поля, и в-третьих, теории элементарных частиц. Ни один человек, за исключением Эйнштейна, не оказал столь определяющего влияния за столь короткий период времени на развитие физики в этом столетии». В этой характеристике в полной мере раскрывается вся глубина сопоставления Капицы. Фридман и Дирак не только сделали свои эпохальные открытия примерно в одни и те же годы, но и задали выбранным направлениям исследований запредельный уровень проницательности. Фридман впервые заявил о нестационарности Вселенной, а Дирак — о существовании antimатерии.

В подкрепление слов Капицы стоит указать на работы Фридмана по динамической метеорологии. Александр Александрович не ограничивался в них теоретическими расчетами, а сопоставлял их с экспериментальными данными. Необходимо признать это одной из важнейших особенностей его научной работы. Нет никаких сомнений, что, проживи ученый чуть дольше, он стал бы искать астрономические доказательства в пользу своих космологических идей. Что же касается веры в теоретические модели, то Фридман, как вспоминала его (первая) жена Екатерина Петровна, часто цитировал строку из Данте: «Воды, в которые я вступаю, не пересекал еще никто». Это дантовское выражение, думается, в первую очередь относилось к работам по космологии, и все иронические высказывания о своих результатах следует признать одной из мер защиты от консервативно настроенного большинства. Как автор статьи, он отвечал не только за правильность математических вычислений, но и за выбор направления исследований. В самом деле, станет ли публиковать ученый принципиально новую по содержанию статью, если не верит в ее выводы? Именно первооткрыватель пересекает «воды», в которые не входил еще никто. Все это позволяет говорить о Фридмане не только как о выдающемся математике, но и физике, ставшем основоположником теории нестационарной Вселенной.