

«Воды, в которые я вступаю, не пересекал еще никто»

Александр Фридман и истоки современной космологии



Девяносто лет назад российский физик Александр Фридман предсказал, что Вселенная может расширяться или сужаться с ускорением или с замедлением и что она могла даже родиться из «ничего». Эти революционные научные идеи первоначально встретили критику и непонимание со стороны Альберта Эйнштейна, и лишь спустя шесть лет после смерти Фридмана создатель теории относительности признал его правоту и стал его горячим сторонником. Фридман ушел из жизни рано – в 37 лет. Возможно, именно поэтому титул первооткрывателя расширяющейся Вселенной присваивался попеременно то Жоржу Леметру, то Эдвину Хабблу. Последние астрономические наблюдения подтвердили справедливость одного из сценариев эволюции Вселенной, предсказанного Фридманом, поэтому так важно сегодня напомнить о приоритете нашего соотечественника в этом великом открытии

А. Фридман
 Измерить океан глубокий,
 Сочесть пески, лучи планет,
 Хотя и мог бы ум высокий –
 Тебе числа и меры нет!
 Г.Р. Державин (1784)

Портрет А. А. Фридмана работы художника М. М. Десятова. Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (СПб.)



Ключевые слова: общая теория относительности, расширение Вселенной, постоянная Хаббла, красное смещение в спектре, космологическая постоянная, кривизна пространства, Риманова метрика, теория накрытий, Большой Взрыв, сингулярность.
Key words: general theory of relativity, expansion of Universe, Hubble constant, spectral red-shift, cosmological constant, curvature of space, Riemann metric, theory of coverings, Big Bang, singularity

© А. Беленький, 2012. ADAPTED WITH PERMISSION FROM PHYSICS TODAY, OCTOBER 2012, PAGES 38–43. COPYRIGHT 2012, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS

БЕЛЕНЬКИЙ Ари – математик и историк науки (г. Ричмонд, Британская Колумбия, Канада). Автор более 20 научных работ. Среди последних публикаций – статьи, посвященные неизвестному ранее календарю Исаака Ньютона (Notes & Records Royal Soc. 59 (3), 2005), объяснению убийства Гипатии Александрийской (Astronomy & Geophysics 51 (2), 2010), достижениям Ньютона в Королевском монетном дворе (Journal Royal Statistical Soc. Series A, в печати), вкладу Александра Фридмана в современную космологию (Physics Today 65 (10), 2012). Фото у Мемориала Эйнштейна (г. Вашингтон, США)

В 1922 г. физик из Петрограда Александр Фридман открывает, что уравнения общей теории относительности Эйнштейна допускают не только статические, но и динамические решения. Как следствие, он выводит два дифференциальных уравнения (теперь уравнения Фридмана), описывающих три возможных сценария развития Вселенной. Согласно им Вселенная может сжиматься, расширяться, схлопываться и даже возникать из точки (как говорят физики, из сингулярности). В 1924 г. Фридман предлагает еще одну революционную идею о возможности существования динамической Вселенной с отрицательной кривизной, а значит, бесконечной по объему и неограниченной в пространстве.

Спустя десятилетия космические наблюдения подтвердили, что один из трех сценариев развития космоса, предложенных Фридманом в 1922–1924 гг., оказался соответствующим действительности. Трём американским астрономам, обнаружившим ускоренное расширение Вселенной, была присуждена Нобелевская премия по физике за 2011 г. При обосновании важности этого открытия Шведская королевская академия наук ссылается на работы Фридмана (Scientific Background on the Nobel Prize in Physics, 2011), но при этом в значительной степени искажает суть его вклада.

К сожалению, непонимание и отрицание с самого начала сопровождали космологические идеи Фридмана, безупречно сформулированные с математической точки зрения. Но время все расставляет по своим местам...

Общая теория относительности: Эйнштейн против де Ситтера

Общая теория относительности предполагает, что гравитационное взаимодействие между физическими телами возникает как результат искривления пространства, вызванного находящимися в нем массами. Ее фундаментальные уравнения связывают кривизну пространства, описываемую тензором четвертого порядка (три пространственных координаты и время), с распределением и потоками массы материи. Математически общая теория относительности представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, и потому найти ее аналитическое решение можно только для ряда самых простых случаев.

Первое из таких решений, найденное немецким астрономом и физиком Карлом Шварцшильдом в 1916 г., описывает гравитационное поле вокруг массивных тел, таких как Солнце, в частности – движение планет и распространение солнечных лучей. Предельным случаем этого решения является гравитационный коллапс, приводящий к образованию черных дыр.

Вскоре перед физиками встал вопрос: а может ли общая теория относительности описывать саму Вселенную? Для упрощения вычислений был сформулирован следующий основополагающий космологический принцип: Вселенная однородна (т.е. любой наблюдатель видит сходную картину) и изотропна (по любому

Петроград.

29 мая 1922 года.

направлению Вселенная одинакова). Были выдвинуты и менее важные предположения: что плотность материи одинакова во всех точках пространства, что скорости движущихся тел ничтожны по сравнению со скоростью света и что иного взаимодействия, кроме гравитационного, между телами не существует.

И действительно, куда бы астрономы ни направляли свои телескопы, они всегда видели схожую картину. Кроме того, наибольшие скорости звезд относительно Солнца, известные в то время, были не больше 5 км/с.

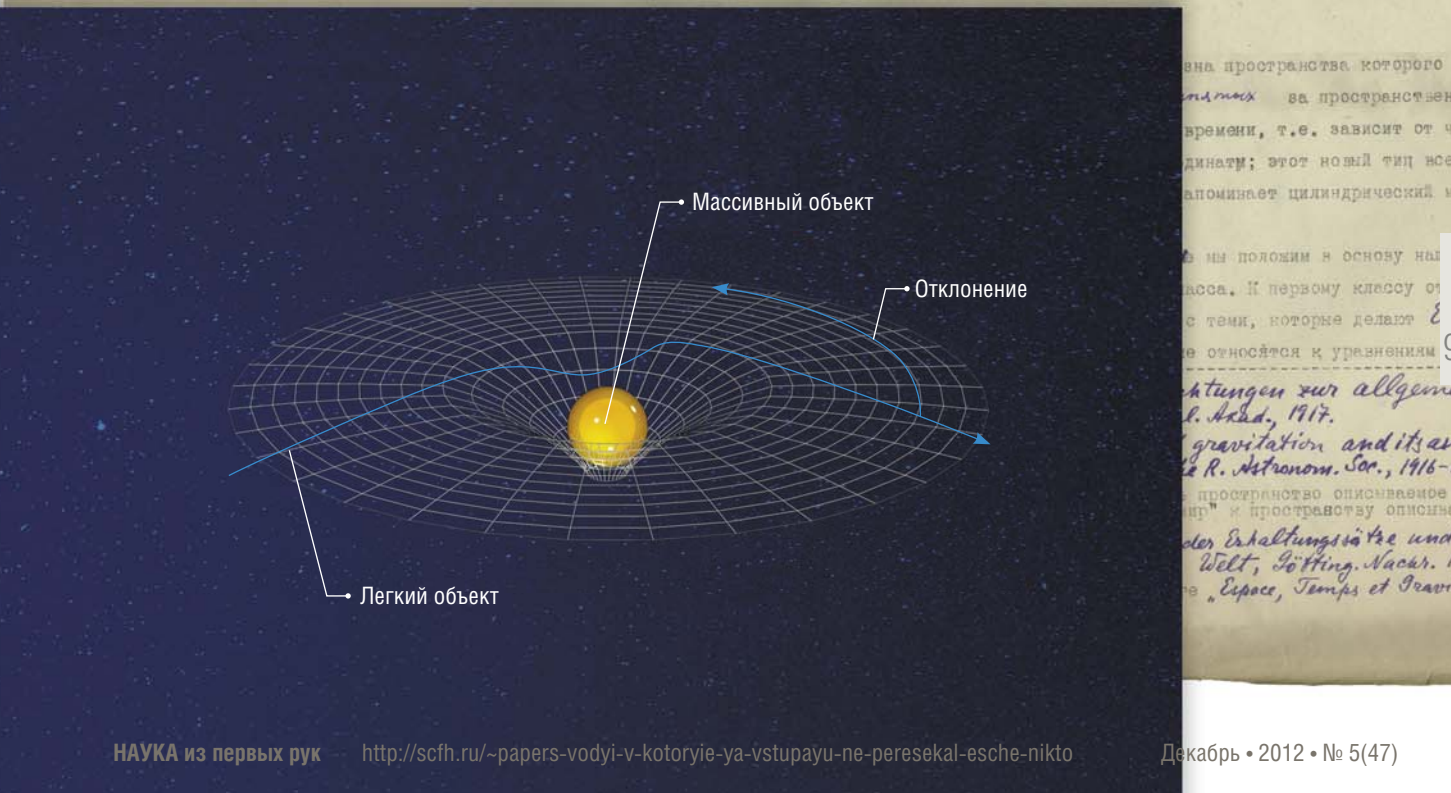
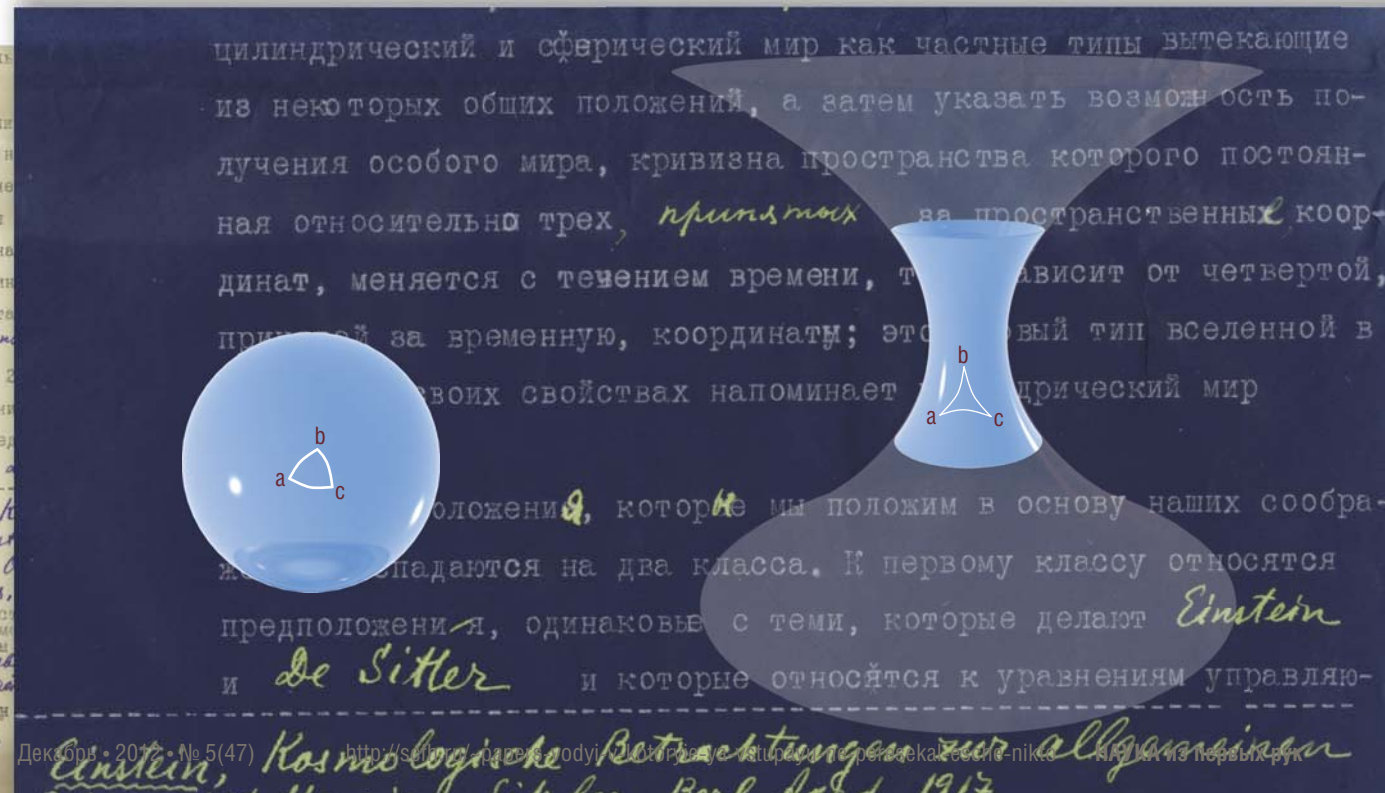
В феврале 1917 г. Эйнштейн находит первое из таких космологических решений: в его модели Вселенная представляется трехмерной гиперсферой постоянного радиуса кривизны, не меняющегося со временем. Для того чтобы Вселенная не схлопывалась под действием сил собственного гравитационного притяжения, Эйнштейн вводит в свои уравнения еще один член

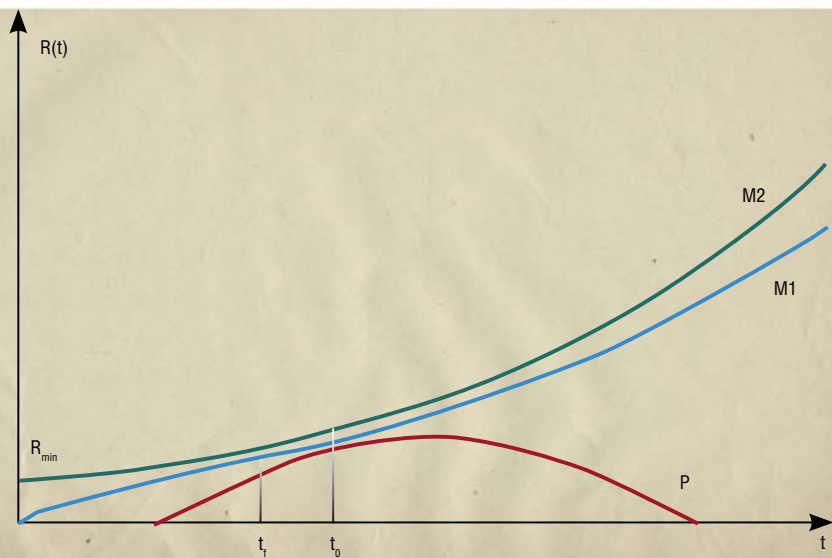
с коэффициентом Λ , названный космологической постоянной. На основе известных на то время астрономических данных его теория оценивала радиус Вселенной в 800 млн световых лет.

Эйнштейну кажется, что цель достигнута. Но второе космологическое решение, найденное нидерландским астрономом Виллемом де Ситтером буквально месяц спустя, действует на Эйнштейна как холодный душ. Вселенная де Ситтера также статична, но в ней каждый наблюдатель окружен своего рода «горизонтом», где время замедляется и даже останавливается. Кроме того, в этой модели Вселенной не были «предусмотрены» такие реалии, как материя и излучение.

Из-за последнего обстоятельства Эйнштейн объявляет модель де Ситтера неприемлемой, поскольку она противоречит принципу Эрнста Маха, гласящему, что инертность и инерция (следовательно, и опирающи-

Искривление пространства расположенными в нем массами можно наглядно продемонстрировать для двумерного случая. Сфера – поверхность, двумерное пространство с положительной кривизной. Расстояние между двумя точками на ней больше, чем расстояние между двумя имеющими те же пространственные координаты точками на плоскости, а сумма углов треугольника больше 180 градусов. Поверхность с отрицательной кривизной изображена ниже – сумма углов треугольника в этом случае меньше 180°, а вот расстояние между точками так же, как и в первом случае, больше, чем для плоского случая. Если пространство имеет положительную кривизну, то его объем конечен, оно замкнуто само на себя, но безгранично. Если отрицательную – оно открыто и его объем бесконечен. Кривизну трехмерного пространства изобразить наглядно сложнее. Если нарисовать в пространстве координатную сетку, то влияние массы приведет к ее искажению. Тело, которое двигалось бы в неискривленном пространстве вдоль прямых линий сетки, в искривленном пространстве будет двигаться также вдоль этих линий, но теперь они будут уже не прямыми





Три возможных главных сценария эволюции космоса, предложенных Фридманом в 1922 г., изображены в виде зависимости космического радиуса от времени. В первом монотонном сценарии, M_1 , Вселенная расширяется из сингулярности с уменьшающейся скоростью до некоторого момента t_1 , 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.

По: (Physics Today, October 2012, p. 38)

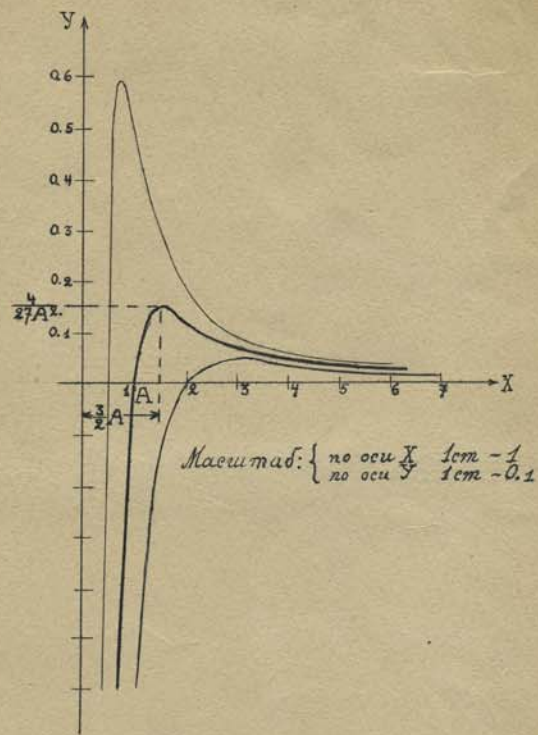


Рисунок из оригинала статьи Фридмана «О кривизне пространства» написанной в 1922 г., с помощью которого А. Фридман иллюстрирует свойства полученных им решений космологических уравнений. Институт Лоренца, Лейденский университет (Лейден, Нидерланды). Instituut-Lorentz, Leiden University

А. Фридман
Профессор Механики Петроградского
Политехнического Института.
КОРОТКАЯ, НАПОЛНЕННАЯ ЖИЗНЬ

Большая часть жизни Александра Фридмана прошла в Санкт-Петербурге, где он родился и вырос. Здесь заканчивает гимназию в революционном 1905 г. и в 1906 г. поступает на математический факультет университета. Руководит его диссертацией будущий академик Владимир Андреевич Стеклов. До конца своей жизни Фридман будет обращаться в своих письмах к нему так: «Глубокоуважаемый и дорогой Владимир Андреевич». Еще студентом последних курсов и после окончания университета Фридман посещает домашние семинары Поля Эренфеста, уроженца Вены, переехавшего в Санкт-Петербург в 1907 г. вместе с русской женой. После окончания университета в 1910 г. Фридман занимается математической физикой, в основном приложениями к аэродинамике и метеорологии. Его наставник – известный метеоролог князь Б. Б. Голицын. В 1912 г. Фридман женится на Екатерине Дорофеевой, которая сопровождает его во всех его странствиях до 1924 г.

Начавшаяся в августе 1914 г. Первая мировая война прерывает его научные занятия, и Фридман отправляется добровольцем на австрийский фронт, где служит в авиации, в роли инструктора по баллистике. Он составляет таблицы для прицельного бомбометания, принимает участие в разведывательных полетах. За храбрость во время боевых действий Фридман награжден Георгиевским крестом и произведен в офицеры.

После Февральской революции в России создаются новые университеты в провинции, и Фридман в 1918 г. по рекомендации Стеклова получает свое первое профессорское место в Перми. Там он преподает несколько прикладных дисциплин. В 1919-м эвакуируется с гуманитарной частью университета вместе с отступающей армией Колчака, но вскоре меняет свое решение и в Екатеринбурге поворачивает назад.

В 1920 г. Фридман возвращается в Петроград и начинает работать в геофизической обсерватории, а через пять лет становится ее директором. Основной его интерес в то время сосредоточен на аэродинамике и теории турбулентности. Параллельно он также преподает механику в Петроградском политехническом институте и интересуется общей теорией относительности и квантовой теорией. В 1924 г. Фридман выступает с докладом на I интернациональном конгрессе по механике в Дельфте (Нидерланды), его работами интересуются Леви-Чивита, Курант и другие лучшие математики Европы. Он принимает активное участие в подготовке собрания сочинений

еся на инертные свойства вещества принципы общей теории относительности) не могут существовать без материи. Однако у модели де Ситтера было одно важное достоинство: при замедлении времени у «горизонта» возникает псевдодоплеровский эффект, с помощью которого можно было бы объяснить факт смещения в красную сторону линий в спектре удаленных галактик, открытый в 1914 г. американским астрономом Весто Слайфером (обсерватория Лоуэлла, Аризона).

Де Ситтер оценил радиус Вселенной в 4,5 млн световых лет. Но эта цифра уже тогда казалась невозможной малой, ведь существующий в то время телескоп американской обсерватории Маунт Вильсон был способен различать объекты, находящиеся на расстоянии до 150 млн световых лет!

И все же модель де Ситтера еще долго оставалась в центре внимания космологов. В работах Феликса Клейна, Корнелия Ланцоша и Жоржа Леметра рассматривались ее варианты в зависимости от выбора системы координат: в виде шарового мира (пространство – время) с постоянной положительной кривизной или даже плоского мира с экспоненциально увеличивающимся масштабом пространства. А в 1923–1924 гг. оценка спектрального смещения в модели де Ситтера была улучшена Германом Вейлем и Людвиком Зильберштейном.

Все эти идеи широко обсуждаются вплоть до 1930 г. Участники дискуссии практически не замечают абсолютно новой, революционной идеи, привнесенной аутсайдером из далекого революционного Петрограда.

Вселенная Фридмана: три сценария эволюции

В своей первой работе, датированной 29 мая 1922 г., Фридман ссылается на описанные выше работы Эйнштейна и де Ситтера. Но вместо того, чтобы выбирать между двумя статическими моделями, он рассматривает задачу поиска космологического решения уравнений общей теории относительности с более общих позиций.

Так же, как и Эйнштейн, Фридман представлял себе пространство в виде трехмерной гиперсферы. Однако в отличие от Эйнштейна он понимал, что однородная и изотропная Вселенная не обязательно должна быть статичной и что радиус кривизны пространства R может меняться во времени. В этом случае существует два класса решения уравнений общей теории относительности – статические и динамические. К первым относятся модели Эйнштейна и де Ситтера; ко вторым – Фридмана, который приходит к двум обыкновенным дифференциальным уравнениям для радиуса кривизны как функции времени.

О КРИВИЗНЕ ПРОСТРАНСТВА.

§ I.

I. В своих известных работах посвященных общим космологическим вопросам *Einstein*^{х/} и *de Sitter*^{хх/} приходят к двум мыслимым типам вселенной; *Einstein* получает так называемый цилиндрический мир, в котором пространство обладает постоянной, не меняющейся с течением времени, кривизной, причем радиус кривизны связывается с общей массой материи, расположенной в пространстве; *de Sitter* получает шаровой мир, в котором уже не только пространство, но и весь мир обладает до известной степени характером мира постоянной кривизны.^{ххх/} При этом и *Einstein* и *de Sitter* предполагают определенный характер тензора материи, отвечающий гипотезе не связности материи и ее относительному покою^{уу/}, иначе говоря достаточной малости скоростей материи по сравнению с фундаментальной скоростью^{уу/}, т.е. со скоростью света.

Настоящая заметка имеет своей целью, во первых получить цилиндрический и шаровой мир как частные типы вытекающие из некоторых общих положений, а затем указать возможность получения особого мира, кривизна пространства которого постоянна относительно трех, *примитивных* за пространственных координат, меняется с течением времени, т.е. зависит от четвертой, принятой за временную, координату; этот новый тип вселенной в остальных своих свойствах напоминает цилиндрический мир *Einstein'a*.

2. Предположения, которые мы положим в основу наших соображений разделяются на два класса. К первому классу относятся предположения, одинаковые с теми, которые делают *Einstein* и *de Sitter* и которые относятся к уравнениям управля-

х/ *Einstein, Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie, Sitzber. Berl. Akad., 1917.*
 хх/ *de Sitter, On Einstein's theory of gravitation and its astronomical consequences, Monthly Notices of the R. Astronom. Soc., 1916-1917.*
 ххх/ Под пространством будем подразумевать пространство описываемое многообразием трех измерений, относим термин "мир" к пространству описываемому многообразием четырех измерений.
 ху/ См. *Klein, Ueber die Integralform der Erhaltungssätze und die Theorie der räumlich-geschlossenen Welt, Gött. Nachr., 1918.*
 уу/ См. тот термин у *Eddington'a* в книге "Espace, Temps et Gravitation, 2 partie, p. 10, Paris, 1921.

- II -

... эти цифры могут иметь, конечно, лишь иллюстративное значение.

А. Фридман

Профессор Механики Петроградского Политехнического Института.

Участники 1-го Всесоюзного геофизического (Третьего метеорологического) съезда, проходившего с 1 по 25 мая 1925 г. в Москве в аудиториях 1-го Московского университета (ныне – МГУ). А. Фридман – в центре, во втором снизу ряду. Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (СПб.).



Справа – последняя страница оригинала статьи «О кривизне пространства» с рукописной подписью А. Фридмана. Институт Лоренца, Лейденский университет (Лейден, Нидерланды). *Instituut-Lorentz, Leiden University*

Первая страница оригинала статьи А. Фридмана «О кривизне пространства», написанной в 1922 г. Переведенная на немецкий, эта работа была опубликована в журнале *Zeitschrift für Physik*, Bd 10, H.6. S. 377—387 в 1922 г. Институт Лоренца, Лейденский университет (Лейден, Нидерланды). *Instituut-Lorentz, Leiden University*

Письмо А. Фридмана П. Эренфесту от 3 июня 1922 г., которым он сопровождает рукопись своей работы «О кривизне пространства» с просьбой опубликовать ее в каком-либо научном журнале. Институт Лоренца, Лейденский университет (Лейден, Нидерланды). *Instituut-Lorentz, Leiden University*

некоторое время быстрое первоначальное расширение замедляется, и с некоторого момента начинается фаза расширения с ускорением, когда радиус Вселенной $R(t)$ растет экспоненциально со временем. Фридман называет этот сценарий «монотонным миром первого рода» (M1). Его характерная черта – особая точка перехода от фазы замедления к фазе ускорения.

Если же космологическая постоянная меньше той же критической величины, то возможны два сценария. При положительном значении Λ Вселенная в начальный момент имеет конечный радиус, а затем безгранично расширяется с ускорением. Фридман назвал этот сценарий «монотонным миром второго рода» (M2).

Дорогой Павел Александрович

Постановил Вам небольшую записку касательно вопроса о возможной форме вселенной более общей, чем цилиндрический мир *Einstein'a* и шаровый мир *de Sitter'a*; кроме этих двух случаев получаются еще мир, пространство которого обладает переменными с течением времени радиусом кривизны; мне кажется, что такого рода вопрос может заинтересовать Вас и *de Sitter'a*. Вобщем же вопрос о покое Вам немецкий перевод этой записки, если Вы найдете вопрос в ней заслуживающей интереса, то не откажитесь поместить в каком либо журнале. Передайте мой поклон Матвееву Александровичу. Конечно же, в виду неслыханности пошты, конверт лучше поместить в конверт письма.

3 июня 1922г. *Нерешено Вам А. Фридман*

*P.S. Быть может вы помните посылку *de Sitter'a* посылку мне отведенной отписку его радиус "On Einstein's theory etc..."; Monthly Notices R. Astr. Soc. sa 1917. емь в Москве, но доставить отписку журнал пошты невозможно, а когда-то была посылка очень трудно.*

и Кембридж, Главные Петербургские Общества науки Фридману.

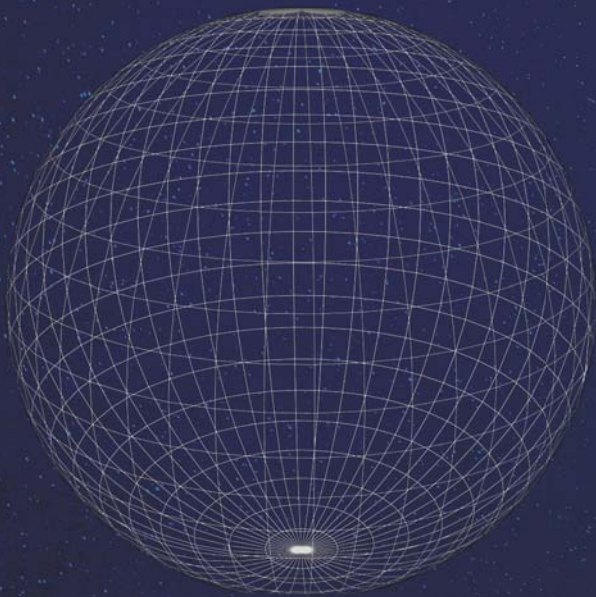
В этом случае радиус кривизны получается путем обращения некоторого эллиптического интеграла, т.е. путем решения относительно R уравнения:

$$t = \frac{1}{c} \int_{R_0}^R \sqrt{\frac{x}{A-x + \frac{\Lambda}{3c^2}x^3}} dx + t_0$$

В этом выражении, R_0 – это нынешний радиус Вселенной, а t_0 – это «время прошедшее от сотворения мира» (по собственному выражению Фридмана).

Космологическая постоянная Λ так же, как и у Эйнштейна, входит в уравнения Фридмана, но она играет роль независимого параметра, который должен быть определен эмпирически. Оказывается, что в зависимости от соотношения между Λ и средней плотностью вещества во Вселенной возникают три главных сценария эволюции Вселенной.

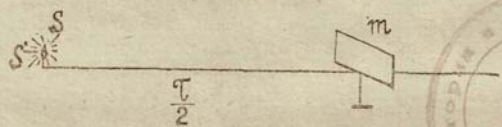
Если космологическая постоянная Λ будет больше некоторой критической величины, зависящей от плотности вещества, то Вселенная возникает из сингулярности (точки), где ее радиус равен нулю. Через



Двумерная сфера, «накрытая» бесконечной обмоткой. Если накручивать обмотку перпендикулярно какой-либо ее оси, то оба полюса остаются «ненакрытыми»

промежуток между двумя совпадающими моментами. Единица измерения избирается определенным образом, в связи со скоростью движения света. Промежуток между двумя моментами, различающимися друг от друга на бесконечно малое физическое местное время, назовем *бесконечно малым промежутком*. Так как нам нужны будут в дальнейшем лишь промежутки между двумя бесконечно близкими моментами, то мы и остановимся лишь на определении их последних.

Для установления понятия о промежутке между двумя бесконечно близкими моментами времени, опишем прежде всего особый инструмент, так называемые, *световые часы*¹⁾. Они состоят (см. чертеж 16) из



Черт. 16.

источника света *S*, посылающего луч света по определенному направлению; зеркала *m*, перпендикулярного лучу (правильнее, отражающего луч по направлению, прямо противоположному направлению падающего луча) и могущего быть передвигаемым на любое расстояние $\frac{cT}{2}$ от *S* и, наконец, приемника *S'*, находящегося в той же точке, как и *S*, и регистрирующего

¹⁾ Световые часы есть идеальный инструмент, совершенно отличный от того, что выше мы назвали часами в данной точке. Часы в данной точке служили нам лишь в качестве вспомогательного прибора, световые часы будут, наоборот, играть существенную роль, связанную с особой ролью, которую играет свет.

Мир, как простр., и вр.

В основе математической формулировки общей теории относительности лежит риманова геометрия или геометрия пространств с произвольной метрикой.

Метрика пространства это функция, при помощи которой можно определить расстояние между двумя бесконечно близкими точками. Например, для евклидовой плоскости она определяется как $dr^2 = dx^2 + dy^2$, а для поверхности двумерной сферы радиуса *R* - $dr^2 = R^2(d\theta^2 + \sin^2\theta \cdot d\varphi^2)$, где θ (широта) и φ (долгота) – угловые координаты на сфере. Аналогично определяется метрика трехмерной сферы: радиус сферы (*R*) может рассматриваться как радиус кривизны пространства. В модели Эйнштейна радиус *R* постоянен, в то время как в модели Фридмана он зависит от времени.

Другой сценарий особенно интересен: он может реализоваться и при отрицательном значении космологической постоянной. В этом случае Вселенная возникает из сингулярности, а затем расширяется. Скорость расширения постоянно уменьшается и через некоторое время она начинает сжиматься со все возрастающей скоростью, пока не схлопывается обратно в сингулярность.

Время жизни такого мира конечно и его существование завершается событием, прямо противоположным Большому взрыву – Большим схлопыванием. Такой мир Фридман назвал периодическим, ведь процесс расширения и схлопывания может происходить бесконечное число раз. Фридман оценил период в 10 млрд световых лет, что на удивление близко к современным оценкам времени, прошедшего с момента Большого взрыва.

Фридман также описывает и два предельных сценария своей модели в случае, когда космологическая постоянная Λ равна критическому значению. В одном из них Вселенная расширяется с замедлением, асимптотически приближаясь к размеру статичной модели Эйнштейна; в другом она начинается с размера статической модели Эйнштейна и затем бесконечно долго «уходит» от него, расширяясь по экспоненте.

Страница 5 из книги А. А. Фридмана «Мир как пространство и время», на которой автор описывает понятие бесконечно малого промежутка времени и предлагает умозрительный способ измерения промежутков времени – «световые часы». Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (СПб.)



А. Фридман
ики Петроградского
о Института.

Фотография здания Главной физической обсерватории (ныне – Департамент Росгидромета по Северо-Западному Федеральному округу), г. Санкт-Петербург. Начало XX в. Фридман стал директором этой обсерватории в 1925 г. Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (СПб.)

Начало на стр. 11

недавно умершего академика А. М. Ляпунова. О научном энтузиазме и энергии Фридмана говорит такой факт, что в июле 1925 г. он участвует в рискованном полете на стратостате с целью сбора данных о состоянии атмосферы на больших высотах. Достигнув высоты 7400 метров, он сам и пилот Федосеенко оказываются на волосок от гибели из-за нехватки кислорода. Чрезвычайно любопытны воспоминания обоих участников об этом полете, опубликованные уже после смерти Фридмана в журнале «Хочу все знать».

Появившаяся в 1905 г. специальная теория относительности была хорошо известна в России. Но статья Эйнштейна, написанная 1915 г., в которой он сформулировал принципы общей теории относительности, из-за Первой мировой войны дошла до российских ученых с запозданием. Вскоре после окончания войны сообщения об этой теории и о подтверждающих ее наблюдениях Артуром Эддингтоном солнечного затмения в мае 1919 г. наконец дошли до России и были с энтузиазмом восприняты научной общественностью. С 1921 г. возобновляется доставка европейских научных публикаций в Россию и российские ученые получают доступ к необходимой литературе. Кроме того, ценную информацию о новой теории привозит в Петроград физик Всеволод Фредерикс, знавший о ней фактически из первых рук. Во время войны он был интернирован в Германию в качестве «гражданского пленного». По разрешению немецких властей Фредерикс работал в Геттингене ассистентом у Давида Гильберта, сформулировавшего в начале 1916 г. уравнения общей теории относительности независимо от Эйнштейна, и был очень

Обложка книги А. Фридмана «Мир как пространство и время», СПб., издательство ACADEMIA, 1923 г. Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (СПб.)

хорошо знаком с ее принципами. В тесном сотрудничестве с Фредериксом Фридман и создает свои основополагающие труды по общей теории относительности. К несчастью, жизнь Александра Фридмана обрывается в самом ее разгаре – в сентябре 1925 г. он заболевает брюшным тифом, по возвращении из Крыма, и после двух недель борьбы с недугом умирает в возрасте 37 лет



Фридман и Эйнштейн

В книге «Мир как пространство и время», увидевшей свет в 1923 г., Фридман суммирует свои результаты, рассказывая о Большом взрыве совершенно современным языком: «Переменный тип Вселенной представляет большое разнообразие случаев; для этого типа возможны случаи, когда радиус кривизны мира, начиная с некоторого значения, постоянно возрастает с течением времени; возможны далее случаи, когда радиус кривизны меняется периодически: Вселенная сжимается в точку (в ничто), затем снова из точки доводит радиус свой до некоторого значения, далее опять, уменьшая радиус своей кривизны, обращается в точку и т. д.

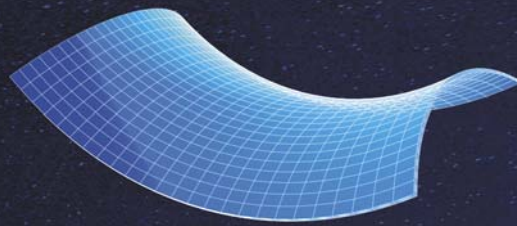
Невольно вспоминается сказание индусской мифологии о периодах жизни, появляется возможность также говорить о «сотворении мира из ничего», но все это пока должно рассматриваться как курьезные факты, не могущие быть солидно подтвержденными недостаточным астрономическим материалом. Бесплезно за отсутствием надежных астрономических данных приводить какие-либо цифры, характеризующие «жизни» переменной Вселенной; если все же начать подсчитывать ради курьеза время, прошедшее от момента, когда Вселенная создавалась из точки, до теперешнего ее состояния, начать определять, следовательно, время, прошедшее от создания мира, то получатся числа в десятки миллиардов наших обычных лет».

В июне 1922 г. Фридман посылает русскоязычный вариант своей работы в Лейден, нидерландском физико-теоретике Паулю Эренфесту, который передает для публикации в центральный немецкий «Физический журнал» (*Zeitschrift für Physik*). На статью, вышедшую в свет в июле 1922 г., обращает внимание сам Эйнштейн, что, впрочем, неудивительно – ведь Эренфест был близким другом создателя теории общей относительности.

Оценка Эйнштейном теории Фридмана как «подозрительной» показала, насколько неприемлемой в то время выглядела для него идея об изменяющейся Вселенной. Правильная, по его мнению, теория должна была подтвердить «очевидное» постоянство космоса.

В сентябре 1922 г. Эйнштейн посылает в *Zeitschrift für Physik* короткую заметку, в которой высказывает предположение, что Фридман допустил математическую ошибку. В ответном письме, датированном декабрем 1922 г., Фридман приводит свои выкладки более подробно. Однако это письмо попадает в руки адресата только в мае следующего года, когда Эйнштейн возвращается из своего лекционного тура вокруг света.

Месяцем позже коллега Фридмана советский физик Юрий Александрович Крутков встречается с Эйнштейном в доме Эренфеста в Лейдене и дает последние разъяснения. Сразу же после этой встречи Эйнштейн



Седло – пример двумерного пространства с отрицательной кривизной. При переходе на одну размерность выше, получается пространство Фридмана отрицательной кривизны

публикует в *Zeitschrift für Physik* еще одно сообщение, в котором признает математические выкладки Фридмана верными. Правда, в черновике он все-таки отмечает, что «решение не имеет физического смысла», но, поразмыслив, вычеркивает неосторожную ремарку.

Тем не менее должно было пройти еще восемь лет, прежде чем Эйнштейн согласился с идеей расширяющейся Вселенной.

В поиске бесконечной Вселенной

Фридман с самого начала понимал, что геометрию, топологию и кинематику реальной Вселенной невозможно определить, исходя лишь из уравнений общей теории относительности, и что выбор одного из нескольких возможных космологических решений должен основываться на астрономических наблюдениях.

Однако более всего он был озабочен представлением о конечности Вселенной, к тому времени уже прочно укоренившемся в умах физического сообщества благодаря авторитету Эйнштейна. Поэтому в своих работах 1922–23 гг. Фридман настаивает, что локальная метрика пространства сама по себе не может однозначно определять глобальные свойства (и, в частности, конечность) Вселенной. Для начала он предлагает довольно-таки умозрительную алгебротопологическую конструкцию бесконечного пространства со сферической метрикой.

Конструкция из алгебраической топологии была впервые использована в космологии в 1900 г. немецким астрономом Шварцшильдом, а позже, в 1917 г., де Ситтером под именем *эллиптическое пространство* (сейчас более известное как *вещественное проективное пространство*). В любой размерности оно представляет собой гиперболу, в которой точки-антиподы отождествлены. Другими словами, это пространство



А. Эйнштейн и Ж. Леметр. Калифорнийский технологический институт, Пасадена. Январь 1933 г. Архивы Джорджа Леметра, Католический университет Лувена, Центр исследований Земли и климата Дж. Леметра (Лувен-ля-Нёв, Бельгия). Archives Georges Lemaître Université catholique de Louvain Centre de recherche sur le Terre et le climat G. Lemaître Louvain-la-Neuve, Belgique

всевозможных направлений из любой точки евклидова пространства, с размерностью на единицу больше.

Так как на гиперболу любой источник света виден с двух противоположных сторон, то можно вполне ограничиться одной только половиной сферы. Вещественное проективное пространство в нечетных размерностях (в частности, в размерности три) не только сохраняет метрику гиперболы, но и ориентируемо так же, как и сама гиперсфера. Вот только его объем будет в два раза меньше, чем у гиперболы, и масса такой Вселенной будет соответственно в два раза меньше, чем масса сферической Вселенной с той же плотностью материи.

На семинаре Эренфеста Фридман познакомился с теорией накрытий римановых многообразий, кото-

рая была сформулирована Анри Пуанкаре в начале 1900-х гг. Вдохновленный этой теорией, Фридман предлагает вариант бесконечного пространства со сферической метрикой, которое можно получить, «накрывая» гиперболу бесконечным евклидовым пространством той же размерности. В одномерном случае это эквивалентно «накрытию» конечной окружности бесконечной прямой, представляющей собой бесконечно тонкую и бесконечно длинную обмотку окружности. При этом у окружности и у обмотки будет одна и та же метрика, но каждая точка окружности будет «накрыта» бесконечным количеством точек прямой. Однако в случае двух- и трехмерного пространства эта процедура не позволяет получить физически коррек-

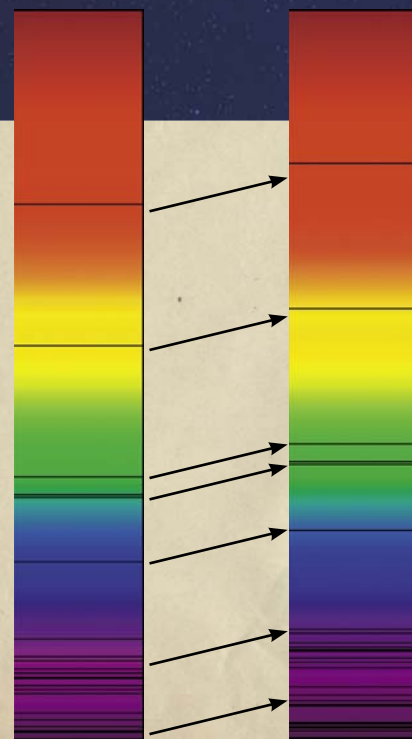


В августе 1914 г., на заседании Американского астрономического общества, Весто Слайфер – американский астроном из обсерватории Лоуэлла (Флагстафф, Аризона), объявил, что из наблюдавшихся им 14 спиральных галактик 11 показывают красное смещение и только 3 – фиолетовое.

Архив Обсерватории Лоуэлла (Флагстафф, Аризона, США). *Lowell Observatory Archives, Flagstaff, Arisona, USA*

тное пространство: полюса гиперсферы остаются при этом не «накрытыми», а в реальной Вселенной такая неоднородность не наблюдается.

Параллельно Фридман выдвигает еще один аргумент против идеи о замкнутом космосе. По предложению своего давнего друга математика Якова Тамаркина он задается вопросом: имеются ли у уравнений общей теории относительности решения в виде бесконечного по объему гиперлобоида с одинаковой отрицательной кривизной в каждой точке пространства?



В результате эффекта Доплера в оптических спектрах удаляющихся от нас галактик наблюдается красное смещение – линии поглощения смещаются в сторону красного спектра

В своей новой статье, опубликованной в *Zeitschrift für Physik* в январе 1924 г., он приводит два таких решения: статическое и динамическое. Статическое решение для пространства с отрицательной кривизной, как и решение де Ситтера, требует нулевой плотности вещества во Вселенной, а значит, не представляет физического интереса. В случае динамического решения плотность материи должна быть такой же, как и в варианте с положительной кривизной. Из чего, например, следует, что невозможно определить знак кривизны пространства на основе одного лишь измерения плотности вещества.

Эта статья Фридмана также была проигнорирована международным физическим сообществом, включая Эйнштейна.

Таблица радиальных скоростей спиральных галактик (знак «+» для удаляющихся от нас, знак «-» для приближающихся к нам), полученных из данных В. Слайфера по смещению спектра галактик в красную или фиолетовую области. Составлена и включена А. Эддингтоном в книгу, вышедшую в 1923 г. Для каждой галактики приведен ее номер по каталогу NGC и экваториальные координаты. В 1927 г. Ж. Леметр использует эти данные вместе с вычисленными Э. Хабблом расстояниями до галактик и получает первую оценку величины постоянной Хаббла. По: (Eddington A. S., *The Mathematical Theory of Relativity, Cambridge U. Press, London, 1923, p. 162*)

По следам Фридмана: открытия Жоржа Леметра

Дальнейшая судьба теории Фридмана оказалась далеко не «линейной». Вскоре она была переоткрыта заново и обогащена новыми идеями, главные из которых касались «темной материи» и «постоянной Хаббла».

В 1927 г. бельгийский физик и священник Жорж Леметр переоткрывает уравнения Фридмана и решает их. Зная результаты Слайфера относительно преобладания красного смещения в спектре галактик, он приходит к пониманию, что Вселенная, скорее всего, рас-

The most extensive measurements of radial velocities of spiral nebulae have been made by Prof. V. M. Slipher at the Lowell Observatory. He has kindly prepared for me the following table, containing many unpublished results. It is believed to be complete up to date (Feb. 1922). For the nebulae marked (*) the results have been closely confirmed at other observatories; those marked (†) are not so accurate as the others. The number in the first column refers to the "New General Catalogue," *Memoirs R.A.S.*, vol. 49. One additional nebula N.G.C. 1700 has been observed by Pease, who found a large receding velocity but gave no numerical estimate.

RADIAL VELOCITIES OF SPIRAL NEBULAE

+ indicates receding, - approaching

N. G. C.	R. A. h m	Dec. ° '	Rad. Vel. km. per sec.	N. G. C.	R. A. h m	Dec. ° '	Rad. Vel. km. per sec.
221	0 38	+40 26	- 300	4151*	12 6	+39 51	+ 980
224*	0 38	+40 50	- 300	4214	12 12	+36 46	+ 300
278†	0 47	+47 7	+ 650	4258	12 15	+47 45	+ 500
404	1 5	+35 17	- 25	4382†	12 21	+18 38	+ 500
584†	1 27	- 7 17	+1800	4449	12 24	+44 32	+ 200
598*	1 29	+30 15	- 260	4472	12 25	+ 8 27	+ 850
936	2 24	- 1 31	+1300	4486†	12 27	+12 50	+ 800
1023	2 35	+38 43	+ 300	4526	12 30	+ 8 9	+ 580
1068*	2 39	- 0 21	+1120	4565†	12 32	+26 26	+1100
2683	8 48	+33 43	+ 400	4594*	12 36	-11 11	+1100
2841†	9 16	+51 19	+ 600	4649	12 40	+12 0	+1090
3031	9 49	+69 27	- 30	4736	12 47	+41 33	+ 290
3034	9 49	+70 5	+ 290	4826	12 53	+22 7	+ 150
3115†	10 1	- 7 20	+ 600	5005	13 7	+37 29	+ 900
3368	10 42	+12 14	+ 940	5055	13 12	+42 37	+ 450
3379*	10 43	+13 0	+ 780	5194	13 26	+47 36	+ 270
3489†	10 56	+14 20	+ 600	5195†	13 27	+47 41	+ 240
3521	11 2	+ 0 24	+ 730	5236†	13 32	-29 27	+ 500
3623	11 15	+13 32	+ 800	5866	15 4	+56 4	+ 650
3627	11 16	+13 26	+ 650	7331	22 33	+33 23	+ 500
4111†	12 3	+43 31	+ 800				

The great preponderance of positive (receding) velocities is very striking; but the lack of observations of southern nebulae is unfortunate, and forbids a final conclusion. Even if these also show a preponderance of receding velocities the cosmogonical difficulty is perhaps not entirely removed by de Sitter's theory. It will be seen that two† nebulae (including the great Andromeda nebula) are approaching with rather high velocity and these velocities happen to be exceptionally well determined. In the full formula (70·21) there are no terms which under any reasonable conditions encourage motion towards the origin§. It is therefore difficult to account for these motions even as exceptional phenomena; on the other hand an approaching velocity of 300 km. per sec. is about the limit occasionally attained by individual stars or star clusters.

† N. G. C. 221 and 224 may probably be counted as one system. The two approaching nebulae are the largest spirals in the sky.
§ We are limited to the region in which $(1 - \frac{2}{3}\lambda r^2)$ is positive since light cannot cross the barrier.

ширяется. Поэтому он называет свою работу «Об однородной Вселенной с постоянной массой и увеличивающимся радиусом». Но вместо того, чтобы рассмотреть всевозможные сценарии, он выбирает предельный случай монотонного мира – M2 по классификации Фридмана, в котором размер Вселенной логарифмически медленно возрастает от радиуса Эйнштейна до бесконечности. Этот сценарий, как потом выяснилось, не является физически состоятельным.

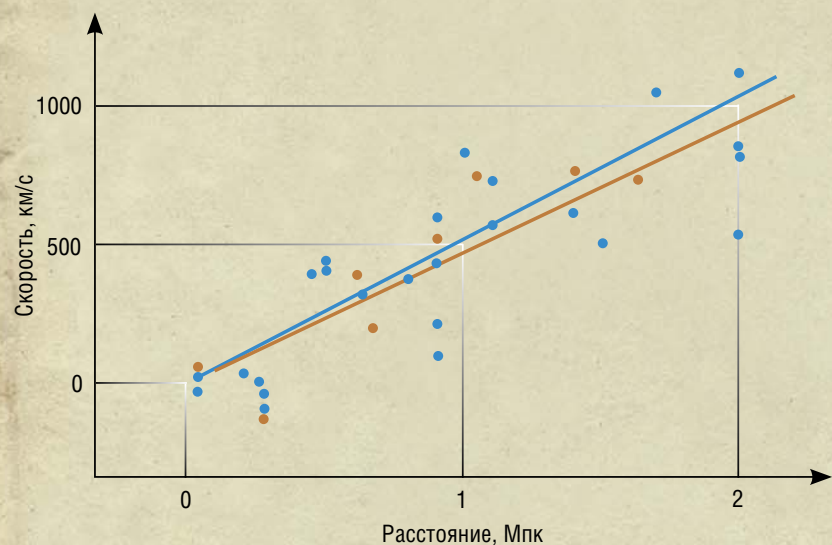
Зато в другом вопросе Леметр идет дальше Фридмана, связав математику с астрономией. Фридман не знал о результатах Слайфера, опубликованных в 1923 г., тогда как Леметр получил их, как говорится, из первых рук: в 1925 г. он много путешествовал по Америке, посещая все астрономические обсерватории.

Петроград.

29 мая 1922 года.

В 1929 г. Э. Хаббл построил график зависимости скорости удаления галактик от расстояния до них и обнаружил, что зависимость носит линейный характер. Синие точки и синяя линия – аппроксимация по индивидуальным галактикам, входящим в рассмотренные Хабблом скопления. Коричневые точки и коричневая линия – галактики, сгруппированные по принципу близости расположения в космическом пространстве.

По: (PNAS, March 15, 1929, vol. 15, no. 3, p. 168–173)



Великий перелом: звездный час Эдвина Хаббла

Леметр делает элегантную оценку величины «красного смещения» из своей теории и выводит важное соотношение:

$$\frac{v}{r} = \frac{\dot{R}}{R}$$

где v – скорость галактики, r – расстояние до нее, R – радиус кривизны пространства и \dot{R} – скорость изменения радиуса кривизны.

Поскольку в модели Леметра радиус увеличивается со временем почти по экспоненте, то правая часть уравнения близка к постоянной величине. Это означает, что скорости галактик должны быть пропорциональны расстоянию до них с одним и тем же постоянным коэффициентом. Леметр сравнивает скорости 42-х спиральных галактик, вычисленные Слайфером, с расстояниями до них, определенными американским астрономом Эдвином Хабблом, и получает искомую постоянную, равную 625 км/сек/Мпк.

Выбери Леметр другой сценарий расширения Вселенной – от сингулярности, он мог бы оценить «время от сотворения мира». Но в результате оценивает лишь то, что может, т. е. первоначальный радиус Вселенной.

Леметра, опубликовавшего свои открытия в малоизвестном журнале Бельгийской академии наук, ждала судьба Фридмана: никто из корифеев, даже его бывший учитель Артур Эддингтон, не проявляет интереса к его идеям. На конференции в Сольвее в 1927 г. Эйнштейн сообщил Леметру, что Фридман уже получил эти решения раньше, и назвал идею расширяющейся Вселенной «abominable» (буквально: «отвратительной»).

В 1929 г. Хаббл оценивает с помощью специальной техники расстояния до 46 галактик и, располагая на графике их скорости, полученные Слайфером, в зависимости от своих расстояний до них, обнаруживает, что полученные точки лежат достаточно близко от прямой. Наклон этой прямой, вычисленный как 530 км/сек/Мпк (сплошная прямая на графике), и получает название постоянной Хаббла.

На заседании Английского астрономического общества в январе 1930 г. Эддингтон и де Ситтер признают, что модель де Ситтера не в состоянии объяснить обнаруженную линейную зависимость между расстояниями до галактик и их скоростями. Тогда Леметр обращает внимание Эддингтона на свою работу 1927 г., и тот воспринимает идею расширяющейся Вселенной как откровение. Следующим был де Ситтер, заявивший, что «наконец-то пелена спала с его глаз».

Дольше всех противится новой теории Эйнштейн, но и его мнение постепенно меняется, чему способствуют публикация результатов Хаббла и найденное Эддингтоном в том же году доказательство неустойчивости статического решения самого Эйнштейна, даже при наличии положительной космологической постоянной.

В начале 1931 г. Эйнштейн отправляется в калифорнийскую обсерваторию Маунт Вильсон, чтобы лично поговорить с Хабблом и обсудить его результаты. Вернувшись в Берлин, он пишет работу, где признает теорию расширения Вселенной, отмечая приоритет Фридмана, и предлагает исключить из общей теории относительности своего давнего «недруга» – космологическую постоянную Λ .



Ж. Леметр со своим учителем А. Эддингтоном, Стокгольм, 1938 г.

Архивы Джорджа Леметра, Католический университет Лувена, Центр исследований Земли и климата Дж. Леметра (Лувен-ля-Нёв, Бельгия). Archives Georges Lemaître, Université catholique de Louvain, Centre de recherche sur le Terre et le climat G. Lemaître, Louvain-la-Neuve, Belgique

До открытия того факта, что расширение Вселенной происходит с ускорением, оставалось еще почти столетие. Неудивительно, что Эйнштейн полагал, что модель расширяющейся Вселенной – решение, вытекающее из теории Фридмана при нулевом значении космологической постоянной, является единственным верным описанием Вселенной.

В аппендиксе «О космологической проблеме», добавленном к основному тексту своего известного сборника лекций «The Meaning of Relativity» (1946), Эйнштейн отметит: «...математик Фридман нашел способ ре-

шить эту проблему [космологической постоянной]. Его результаты нашли неожиданное подтверждение в открытом Хабблом расширении звездной системы*. Дальнейшее изложение есть не что иное, как изложение идеи Фридмана...». И затем на 15 страницах Эйнштейн подробно объясняет теорию Фридмана.

В 1932 г. Эйнштейн и де Ситтер напишут совместную работу, где предложат исключить из общей теории относительности не только космологическую постоянную, но и идею об искривленной Вселенной, предлагая рассматривать только плоскую модель. Именно такая модель и станет основной для теории расширяющейся Вселенной на целые десятилетия вперед, и почти до конца века учебники по космологии будут разве что в примечаниях обсуждать модели с ненулевой космологической постоянной.

* К сожалению, Эйнштейн приписал это достижение единолично Э. Хабблу, хотя реально оно принадлежит, как минимум, нескольким ученым, главным образом В. Слайферу.

С другой стороны, с помощью астрономических наблюдений пока не удалось обнаружить ни одного доказательства того, что Вселенная в космических масштабах отличается от неискривленного евклидова пространства. Однако не исключено, что более точные измерения еще выявят ее положительную или отрицательную кривизну, предсказанную Фридманом.

По сценарию Фридмана

В конце своей книги Фридман (1923 г.) напишет: «Теория Эйнштейна оправдывается на опыте; она объясняет старые, казавшиеся необъяснимыми явления и предвидит новые поразительные соотношения. Вернейший и наиболее глубокий способ изучения при помощи теории Эйнштейна геометрии мира и строения нашей Вселенной состоит в применении этой теории ко всему миру и в использовании астрономических исследований. Пока этот метод немного может дать нам, ибо математический анализ складывает свое оружие перед трудностями вопроса, и астрономические исследования не дают еще достаточно надежной базы для экспериментального изучения нашей Вселенной. Но в этих обстоятельствах нельзя не видеть затруднений временных; наши потомки, без сомнения, узнают характер Вселенной, в которой мы обречены жить...»

Сам Фридман особенно выделял периодический мир. Циклические рождения и исчезновения Вселенной напоминали ему философские идеи о реинкарнации, идущие из Индии и Древней Греции. Но благодаря авторитету Эйнштейна среди космологов с 1930-х гг. главным фаворитом стала плоская Вселенная, расширяющаяся до бесконечности с замедлением (т.к. при отсутствии космологической постоянной ничто не противодействует силе гравитации, препятствующей ускорению плоского мира).

Правда, уже с 1980-х гг. среди теоретиков стали раздаваться голоса в пользу подхода Леметра, утверждавшего, что космологическая постоянная Λ помогает разрешить ряд трудностей, стоящих перед теорией. И все же полученные в 1998–1999 гг. результаты астрономических наблюдений оказались настоящим сюрпризом для научного сообщества.

Изучая яркость сверхновых звезд класса 1a, удаленных от нас на 5 млрд световых лет, две независимые команды астрономов во главе с тремя будущими лауреатами Нобелевской премии Солом Перлмуттером, Адамом Риссом и Брайаном Шмидтом – обнаружили ускорение Вселенной за этот период. Это означало, что периодический мир Фридмана должен быть отвергнут. Кроме того, обе группы выяснили, что космологическая постоянная достаточно велика, и установили соотношение количества энергии материи (включая темную

материю) и темной энергии в теперешней Вселенной, равное 30 % и 70 %, соответственно.

Однако эти результаты еще не давали возможности точно определить, какой из двух монотонных сценариев Фридмана реализуется – с сингулярностью или с конечным радиусом Вселенной в начале времен.

Сделать этот выбор удалось благодаря особенности первого сценария, состоявшей в том, что ускорение расширения Вселенной сначала уменьшается, а затем растет. Если принять возраст Вселенной в 13,75 млрд лет, как это определяется из современного значения постоянной Хаббла, и соотношением между энергией материи и темной энергией, то оказывается, что точка перемены знака ускорения отстоит от нас на 5,5 млрд световых лет.

В 2004 г. команде Рисса удалось измерить расстояние до сверхновой звезды, вспыхнувшей в эпоху замедления расширения Вселенной, которая удалена от нас на 8 млрд световых лет. Эти результаты свидетельствуют, что примерно 5 ± 1 млрд световых лет назад замедление расширения Вселенной действительно сменилось ускорением.

Таким образом, первым к финишу пришел сценарий монотонного мира М1 Фридмана.

Кто первый?

После публикации сенсационных астрономических результатов в 1998–1999 гг. историки науки начали спор о приоритете в открытии теории Большого взрыва. После непродолжительной дискуссии в «финал» вышли Леметр и Хаббл, причем последний считался фаворитом – именно ему одному приписывалась идея расширяющейся Вселенной. Но неожиданно выяснилось, что сам Хаббл никогда не верил в эту теорию.

В центр дискуссии попала одна загадочная история. Статья Леметра 1927 г. была переведена в 1931 г. и напечатана в журнале Английского астрономического общества, однако в этой перепечатке был опущен большой, размером со страницу, фрагмент с выводом постоянной Хаббла из астрономических данных. Возникло мнение, что именно Хаббл лично или через друзей был цензором статьи Леметра. Однако недавно была доказана полная несостоятельность этой версии: было найдено письмо Леметра к редактору английского журнала, в котором он сам соглашается удалить этот кусок, как устаревший (Livio, 2011).

Но историки уже объявили Леметра автором постоянной Хаббла и победителем в споре за титул первооткрывателя. И действительно, заслуги этого выдающегося ученого неоспоримы. После четырех лет колебаний и сомнений Леметр все же перенимает идею Фридмана о рождении Вселенной из сингулярности и в 1934 г. пытается придать ей физический смысл,



А. Эйнштейн и Э. Хаббл рядом со 100-дюймовым телескопом в обсерватории Маунт Вильсон, Южная Калифорния. Январь 1931 г. Калифорнийский технологический институт (Пасадена, США). Courtesy of the Archives, California Institute of Technology

говоря о «взрыве изначального атома», впоследствии иронически окрещенного Ф. Хойлем как «Big Bang» (буквально «Большой взрыв»).

Кроме того, несмотря на авторитет Эйнштейна, Леметр до конца своей жизни последовательно защищал необходимость космологической постоянной для общей теории относительности, придавая ей пока не вполне ясный статус «темной энергии» или «энергии вакуума».

Однако в своей первой статье Леметр фактически упустил из поля зрения вариант развития Вселенной по сценарию Большого взрыва. Переоткрыв уравнения Фридмана, он тем не менее не рассмотрел все классы их возможных решений, сфокусировавшись лишь на одном из них, на предельном варианте мира М2 с конечным начальным радиусом Вселенной и бесконечно долгим расширением до нынешнего радиуса. Но даже и это решение он получил, предполагая, что космологическая постоянная имеет некоторое критическое значение, зависящее от плотности вещества во Вселенной.

Потому вызывает недоумение, что историки науки Гарри Нуссбаумер и Лидия Бьери недавно сделали вывод, что «Леметр ничем не обязан Фридману» (Nussbaumer & Bieri, 2009, с. 111). И действительно,

«ничем», кроме как пониманием того, что космологическая постоянная – это независимый параметр, и что Вселенная родилась из сингулярности!

По иронии судьбы теория Большого взрыва вскоре после ее признания Эйнштейном оказалась пасынком в научном мире из-за неточности ранних попыток определить значение постоянной Хаббла. В несколько раз занизив оценки расстояний до удаленных галактик, Хаббл получил и соответственно меньший возраст Вселенной. Даже Эйнштейн в свои последние годы жизни отчаялся найти выход из этого парадокса: по геологическим данным возраст Земли оценивался в 4 млрд лет, а по космологическим данным возраст самой Вселенной не превышал 1,7 млрд лет.

И лишь в 1950-е гг., уже после смерти Хаббла и Эйнштейна, астрономы Вальтер Бааде и Аллан Сандаж из обсерватории Паломар (Южная Калифорния, США) заново обработав результаты наблюдений Хаббла, понизили оценку постоянной Хаббла в восемь раз и во столько же раз повысили возраст Вселенной. Теория Большого взрыва опять стала фаворитом в научном мире.

Добавим, что и вклад самого Хаббла в эмпирическую проверку теории расширяющейся Вселенной сейчас подвергается переоценке со стороны астрономов – в пользу Слайфера.

предположении, одинаковые с теми, которые делают

и *de Sitter* и которые относятся к уравнениям управл

Einstein, Kosmologische Betrachtungen zur allgemeine Relativitätstheorie, Sitzber. Berl. Akad., 1917.

de Sitter, On Einstein's theory of gravitation and its astron... Monthly Notices of the R. Astronom. Soc., 1916-1917.

-5-

Я буду писать *Thirring* и буду его просить прислать мне оттиск его статьи, но боюсь, что он не обратит внимание на мою маленькую просьбу. Может быть, при случае, Вы попросите его послать мне работы, указав, что у меня они будут лежать не совсем даром. Мне известно, впрочем затруднить Вас, так что я не надеюсь на исполнение моей просьбы.

Соображения II раздела суть пока лишь фантазии и на них Вам не стоит мне отвечать. Если у меня в этом направлении что либо получится, я опять напишу Вам.

Дорогой Павел Семимурдович, я знаю что Вы очень занятый, но все же не откажитесь черкнуть мне, могу ли я посоветовать Вам письмо (написанное на машинке) аналогичное настоящему.

Киевскими потанувшими Тамарице Алексеевне. Если когда либо надумаете приехать в Петроград (теперь это легко сделать в виде увеселительной прогулки), то, конечно, мой квартирка всегда к Вашим услугам, равно как и я сам.

Искренне Вам

А. Фридман

Мой адрес для писем: Петроград, Главная Рижская Обсерватория, Вас. Остр. 23 мн. Д. 2.

Живу я на В. О. Близин Д. 36 н. 13.

Страница из письма А. Фридмана П. Эренфесту в Лейден от 15 июня 1922 г. Институт Лоренца, Лейденский университет (Лейден, Нидерланды). Instituut-Lorentz, Leiden University

А. Фридман

Профессор Механики Петроградского Политехнического Института.

Петроград.

29 мая 1922 года.

Историки Хелге Краг и Роберт Смит (Kragh, Smith 2008) представляют Фридмана чистым математиком, не придававшим большого значения физическому смыслу своих открытий. Но эта точка зрения опровергается хотя бы его значительными достижениями в аэродинамике и метеорологии. Сборник его избранных трудов 1966 г. и широкий круг проблем, которые он там решает, не оставляет сомнений, что Фридман всегда искал физическое подтверждение своим теориям. Только его преждевременная смерть в возрасте 37 лет не дала ему возможности быть первым, кто связал воедино космологическую теорию и эмпирические данные, и способствовала последующей недооценке его вклада в современную космологию.

По воспоминаниям Екатерины Фридман, ее муж любил цитировать строку из Данте: «Воды, в которые я вступаю, не пересекал еще никто». И действительно, как философ космологии Фридман на голову выше всех остальных участников дебатов 1920-х гг., включая Эйнштейна. Известно, что в конце жизни Эйнштейн называл космологическую постоянную «своей величайшей ошибкой», имея в виду тот факт, что согласно Фридману теория расширяющейся Вселенной могла бы в принципе обойтись и без нее.

В советской литературе теория Большого взрыва долгое время величалась не иначе как «реакционной теорией Леметра». В таких условиях советским физикам было просто опасно отстаивать приоритет Фридмана: они стали открыто выступать в защиту достижений Фридмана только после смерти Сталина. Это изменило отношение к его достижениям и со стороны западных ученых, и с 1970-х гг. в учебниках по космологии уравнения и метрику Фридмана стали называть его именем.

Самый горячий сторонник Фридмана физик-теоретик Я. Зельдович подчеркивает, насколько трудным было то время, когда Фридман совершал свои открытия: «Работы Фридмана опубликованы в 1922–1924 гг., в период больших трудностей. «Россия во мгле» – вот впечатление Герберта Уэллса о Москве и Петрограде 1921 г. В том же номере [немецкого] журнала, где опубликована работа Фридмана [1922 г.], помещено обращение к немецким ученым: собрать научную литературу для русских коллег, которые были отрезаны от нее во время войны и революции. В этих условиях создание теории огромного значения было подвигом не только научным, но и общечеловеческим».

Литература

Фридман А. А. Избранные Труды / Серия «Классики Науки» / АН СССР, 1966.

The Accelerating Universe (Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2011) / Class for Physics of the Royal Swedish Academy of Sciences.

Belenskiy A. Alexander Friedmann and the origins of modern cosmology // Physics Today. 2012. № 65(10). P. 38–43.

Einstein A. The Meaning of Relativity. Princeton University Press. Third edition with an appendix (1946), Fourth edition with further appendix (1950), Fifth edition (1951), Six Edition (2004).

Eddington A. S. The Mathematical Theory of Relativity. London: Cambridge U. Press, 1923.

Kragh H., Smith R. W. Who discovered the expanding universe? // History of Science. 2003. № 41. P. 141–162.

Livio M. Lost in translation: Mystery of the missing text solved // Nature. 2011. № 479. P. 171–173.

Nussbaumer H., Bieri L. Discovering the Expanding Universe. CUP, 2009.

Perlmutter S. Supernovae, Dark Energy, and the Accelerating Universe // Physics Today. 2003. № 56(4). P. 53–60.

Tropp E. A. et al. Alexander A. Friedmann: The Man Who Made the Universe Expand. Cambridge University Press, 1993, 2006.

Тропп Э.А. и др. Александр Александрович Фридман. Жизнь и деятельность. Киев: КомКнига, 2006. 304 с.

Автор выражает признательность Алексею Кожевникову (Alexei Kojevnikov, UBC) за обсуждения истории вопроса, Карло Бинаккери (Carlo Beenakker, Leiden University) из университета Лейдена за публикацию писем Фридмана Эренфесту, Сабине Лер (Sabine Lehr, Springer DE) из издательства Шпрингер за точные даты публикаций Фридмана и Эйнштейна, Галине Житлиной (Richmond BC) за помощь в подготовке текста к публикации

Редакция благодарит за помощь в оперативном получении фотографий и прав на их публикацию Лилиан Мозн (Liliane Moens) (Архивы Джорджа Леметра, Католический университет Лувена, Центр исследований Земли и климата Дж. Леметра, Лувен-ля-Нев, Бельгия); Карло Бинаккери (Carlo Beenakker) (Институт Лоренца, Лейденский университет, Лейден, Нидерланды), Лорен Амундсон (Lauren Amundson) (Архив Обсерватории Лоуэлла, Флагстафф, Аризона, США), В.М. Катцова и Е.Л. Махоткину (Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург)