



Новое
в жизни,
науке,
технике

Подписная
научно -
популярная
серия

8'91

М. Хеллер
А. Чернин

У ИСТОКОВ
КОСМОЛОГИИ :
ФРИДМАН
И ЛЕМЕТР

КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

**КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**

8/1991

Издается ежемесячно с 1971 г. \

М. Хеллер, А. Чернин

У ИСТОКОВ
КОСМОЛОГИИ:
ФРИДМАН
И ЛЕМЕТР



МОСКВА ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ» 1991

ББК 22.632
X 36

Редактор: ВИРКО И. Г.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Фридман: геометрия и динамика мира	6
Расширяющаяся Вселенная	6
Возраст мира	17
Мир как целое	19
Глава 2. Леметр: астрономия и физика Вселенной	25
Первые шаги	25
Мир галактик	30
Физическая космология	40
Глава 3. Космология, философия, религия	47
Русский профессор	48
Бельгийский аббат	52
Заключение	60
Литература	64

Хеллер М., Чернин А. Д.

X 36 У истоков космологии: Фридман и Леметр. —
М.: Знание, 1991. — 64 с., ил. — (Новое в жизни,
науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»;
№ 8).

ISBN 5-07-002053-6

40 к.

Космологическое расширение — самое грандиозное по масштабам явление Природы. Оно было предсказано теоретически в 20-е годы нашего века русским математиком Александром Фридманом и бельгийским теоретиком Жоржем Леметром. В брошюре рассказывается о зарождении современной космологии, о научном творчестве ее основателей.

1605070000

ББК 22.632

ISBN 5-07-002053-6

© Хеллер М., Чернин А. Д., 1991 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предмет космологии — вся наблюдаемая Вселенная, рассматриваемая как единое целое. Ее размеры определяются дальностью действия современных телескопов, которая достигает 10 млрд. световых лет (10^{26} м). Такова пространственная мера самого большого объекта науки. Но космология имеет также дело и с самым малым объектом науки, размер которого $\sim 10^{-35}$ м. Это невообразимо малая величина, которая на целых двадцать порядков меньше радиуса такой элементарной частицы, как, например, протон или нейтрон. Именно такими размерами обладала Вселенная в первые мгновения своего существования — она была тогда много меньше не то что булавочной головки, но и самых мельчайших крупинок вещества. Это было приблизительно 15—20 млрд. лет назад. С тех пор Вселенная находится в состоянии непрерывного расширения.

Космологическое расширение — самое грандиозное по масштабу явление природы. Оно было открыто сначала чисто теоретическими, математическими средствами, а затем его обнаружили в прямых астрономических наблюдениях. Честь первооткрывателей космологического расширения принадлежит русскому математику Александру Александровичу Фридману и бельгийскому теоретику Жоржу Леметру.

Имя Фридмана находилось долгие годы почти в полном забвении. Его космологические труды не получили достойной оценки при его жизни; они оставались малоизвестными и тогда, когда его теория нашла надежное наблюдательное подтверждение. На Западе да и на родине Фридмана его заслонила с 30-х годов фигура Леметра, которому приписывалось исключительное и единоличное авторство теории расширяющейся Вселен-

ной. Его считали отцом эволюционной космологии, космологом № 1. Вот что можно прочитать в книге Дж. Пиблса «Физическая космология», вышедшей в США в 1971 г. (русский перевод: М.: Мир, 1975): «Хотя теория эволюционирующей Вселенной была предсказана еще Фридманом, Леметру очень повезло в том, что он построил расширяющуюся космологическую модель тогда, когда выкристаллизовалось основное явление — закон общего разбегания галактик, и Леметр осознал его важность. В соответствии с обычным критерием научных открытий Леметр заслуживает того, чтобы называться отцом теории расширяющейся Вселенной». Такова, по-видимому, распространенная точка зрения, разделяемая до сих пор многими на Западе.

Для судьбы фридмановского наследия в СССР особенно тяжелыми были 30—50-е годы, когда космология оказалась объектом ожесточенных нападок со стороны невежественных и агрессивных официальных «идеологов». Теория расширяющейся Вселенной была объявлена «буржуазной лженаукой, выдуманной реакционными учеными в капиталистических странах». Советских же ученых-космологов именовали, случалось, «агентурой леметрианства внутри СССР». В журналах и брошюрах раздавались тогда призывы «беспощадно разоблачать обветшалое поповское учение об изменяющейся в одном направлении (от «начала» к «концу») Вселенной». Какое-то особое раздражение и ярость у разоблачителей и обличителей, выступавших «под знаменем марксизма» (таково название журнала, в котором выходило немало публикаций с вульгарной критикой космологии), вызывало то обстоятельство, что Леметр был не только ученым, но и священником. «Фидеизм и поповщина», «поповское мракобесие», «поповско-фашистские реакционные силы в науке» — такие перлы обличительного красноречия щедро рассыпались А. А. Ждановым и прочими «бойцами идеологического фронта» в многочисленных выступлениях тех лет.

Нужно сказать, что и на Западе у эволюционной космологии имелось в те годы немало противников; конечно, характер их критики, ее размах и последствия были совершенно иными, но все же и там не обходилось, бывало, без выражений типа «иезуитские выверты».

Однако год от года авторитет космологии Фридма-

на—Леметра укреплялся и рос. Настоящий перелом в общем отношении к этой науке произошел в середине 60-х годов, когда было открыто реликтовое излучение, послужившее настоящим вещественным доказательством эволюционного прошлого Вселенной. В последующие годы космология получила глубокое и всестороннее развитие в трудах многих самых крупных современных физиков и астрономов. В наши дни ее научный статус исключительно высок. Фундамент современной космологии составляют классические труды Фридмана и Леметра.

Интерес к научному творчеству основоположников космологии в последние годы значительно возрос. Большим событием в жизни мировой науки стало празднование в 1988 г. столетия со дня рождения Фридмана. В Ленинграде, его родном городе, прошли представительные научные конференции, посвященные этому юбилею; в советской печати появились публикации, рассказывающие об этом выдающемся деятеле отечественной науки; в издательстве «Наука» вышла первая научная монография о Фридмане. Пришло время обстоятельного и углубленного изучения научного наследия классиков космологии. Необходимо достоверно восстановить историко-научные обстоятельства рождения новой науки о Вселенной, собрать и проанализировать объективные свидетельства той эпохи, дать реальную, свободную от каких-либо научных, идеологических или религиозных предубеждений или предпочтений оценку вклада, внесенного в фундамент этой науки двумя ее основоположниками.

Этой цели и служит предлагаемая читателю брошюра, авторы которой многие годы посвятили изучению жизни и творчества Фридмана и Леметра. В ней отражены как научные публикации разных лет, так и результаты изучения архивных материалов. Один из авторов (М. Х.), польский ученый, профессор, специалист в области космологии, философии и истории науки, член Папской академии наук имел счастливую возможность познакомиться с архивом Леметра в Лувене (Бельгия); другой (А. Ч.) — профессор МГУ, специалист в области астрофизики и космологии — изучал материалы Фридмана и о Фридмане, хранящиеся в архивах Ленинграда. Основное внимание в нашей брошюре мы уделяем классическим работам наших героев, вышедшим в 1922—

1927 г.; вместе с тем мы сочли необходимым рассказать, хотя бы и очень кратко, о дальнейшем развитии их идей, а также о жизненном пути и философских взглядах каждого из них.

Глава I. ФРИДМАН: ГЕОМЕТРИЯ И ДИНАМИКА МИРА

Данная научная и философская традиция, устойчивая парадигма приписывали Вселенной статичность и неизменность как важнейшее, неотъемлемое ее свойство. Веками считалось, что научный подход требует признания ее вечности и тождественности самой себе во все времена. Из этой предпосылки исходил Эйнштейн в своей попытке применить общую теорию относительности к космологии. Его точку зрения разделял де Ситтер, другие видные физики и астрономы тех лет. Ссылаясь на астрономические сведения при обосновании своих взглядов, Эйнштейн в действительности ни на минуту не сомневался в своей априорной установке. Данные же, о которых он упоминал (он говорил о малости скоростей звезд), на деле не имели прямого отношения к космологии.

Новая физика, возникшая в начале века, несла в себе, однако, принципиально иное миропонимание. Она вела к решительному разрыву с традицией, господствовавшей в научном сообществе, к коренной ломке прежней системы взглядов. Это и было осуществлено в работах Фридмана.

РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

Фридман посвятил космологии две научные статьи, первая из которых была завершена 29 мая 1922 г. и в том же году опубликована по-немецки в вестнике в те годы «Журнале физики» (1922. — Т. 10. — С. 377—387). Она носила название «О кривизне пространства». Речь в ней шла, однако, не столько о кривизне, сколько о динамике мира. Упомянув в самом начале о работах Эйнштейна и де Ситтера, двух своих предшественников в космологии, Фридман сразу же точно сформулировал цель своего исследования: «...указать возможность получения особого мира, кривизна пространства которого, постоянная относительно трех принятых за пространст-

венные координат, меняется с течением времени, то есть зависит от четвертой координаты, принятой за временную...». Изложение следует простой и ясной схеме: исходные предположения — решение уравнений — анализ результатов. Предположения геометрического характера у Фридмана те же, что были приняты и у Эйнштейна и де Ситтера. Именно считается, что трехмерное пространство подобно сфере и имеет всюду одинаковую кривизну. Что же касается поведения мира во времени, то оно должно определяться уравнениями общей теории относительности. Решив эти уравнения в сделанных предположениях, Фридман доказал, что мир действительно способен изменяться, открыв тем самым во Вселенной динамику и развитие. Так возникла новая космологическая теория, которой и предстояло лечь в фундамент современной науки о Вселенной.

Фридман использовал уравнения общей теории относительности в форме, содержащей так называемый космологический член (который мог, в частности, быть и равным нулю). Это дополнение к «стандартным» уравнениям общей теории относительности было специально введено Эйнштейном, чтобы они давали возможность статического, не зависящего от времени решения этих уравнений применительно к космологической проблеме. По современной интерпретации такое видоизменение уравнений соответствует допущению о том, что во Вселенной наряду с «обычным» веществом — электронами, протонами, нейтронами, фотонами и прочими частицами и полями — существует непрерывная, заполняющая равномерно все пространство среда, создающая не тяготение, а, напротив, всемирное отталкивание, антигравитацию. Ничем другим, кроме антигравитации, эта среда себя не проявляет. Очень важно, что по отношению к ней неразличимы движение и покой; сама же эта среда имеет всюду постоянную и неизменную во времени плотность, т. е. принципиально лишена движения. Она не подвержена действию никаких частиц и полей. Среда со столь необычными свойствами похожа, скорее, на пустоту, чем на «нормальное» вещество. Чаще всего ее так и называют «антигравитирующий вакуум». Но это не просто пустота как некое «ничто», как отсутствие чего бы то ни было; на самом деле это особое состояние вещества, в котором отсутствуют частицы или поля, но имеется тем не менее энергия. Антиграви-

тирующий космический вакуум характеризуют величиной плотности энергии ϵv , или, что то же, плотности массы, $\rho v = \epsilon v/c^2$. У него имеется и давление, которое, однако, отрицательно и равно по величине плотности энергии: $p v = -\epsilon v$. Согласно общей теории относительности источником тяготения является не только плотность вещества, но и его давление; эффективная гравитирующая плотность энергии определяется как $\epsilon_{\text{эфф}} = \epsilon + 3p$. Для вакуума последняя величина отрицательна, что и означает наличие не гравитации, а антигравитации.

Присутствие космологического члена, добавленного Эйнштейном в общие уравнения с целью обеспечить статичность космологического решения, не исключает у Фридмана возможности эволюции мира.

Первым на работу Фридмана откликнулся в печати Эйнштейн в том же «Журнале физики» (1922. — Т. 11. — С. 326). В краткой заметке он заявил, что обнаружил у Фридмана математическую ошибку, по устранении которой фридмановское нестатическое решение оказывается статическим, т. е. совпадает с его, Эйнштейна, статическим решением. Статичность у Эйнштейна получалась из-за того, что введенная им антигравитация (сам он не пользовался этой терминологией и рассматривал космологический член несколько формально) подбиралась так, чтобы она могла точно компенсировать гравитацию обычного вещества; это создавало возможность покоя для вещества, а следовательно, и для мира в целом. У Фридмана же никакого предположения о соотношении гравитации и антигравитации заранее не делалось. Поэтому его решение было в этом смысле самым общим, а решение Эйнштейна получалось из него только как один очень специальный, частный случай. Эйнштейн почему-то этого не заметил, его критика была основана на недоразумении, на недостаточно внимательном разборе работ Фридмана. Необходимые разъяснения сообщил Эйнштейну по просьбе Фридмана находившийся тогда в командировке в Европе профессор Петроградского университета Юрий Александрович Крутков. И Эйнштейн изменил свою оценку и даже точку зрения. Вскоре появилась его новая заметка — Фридман успел еще ее прочесть, где говорилось: «Я считаю результаты г. Фридмана правильными и проливающими новый свет» (Журнал физики. — 1923. — Т. 16. — С. 228) Это было, несомненно, полное признание новой

космологии, которым и завершилась недолгая заочная дискуссия между создателем общей теории относительности и создателем теории расширяющейся Вселенной.

Не Фридман искал ошибки у Эйнштейна, как почему-то думали (и даже в окружении Фридмана). Это Эйнштейн нашел у Фридмана ошибку, которая, однако, оказалась мнимой. И тем не менее и тогда и позднее многие считали (среди них В. А. Стеклов, Г. А. Гамов и др.), что космологическая деятельность Фридмана сводится всего лишь к устранению мелкой неточности у слегка споткнувшегося классика. «Он нашел ошибку в расчетах Эйнштейна, и тот с ним согласился» — это из письма жены Фридмана, Натальи Евгеньевны Малининой (1893—1981) *, написанного много позднее, в 60-е годы. Исправить что-то в «суждениях Эйнштейна» — это уже, конечно, немалое достижение для молодого ученого, лишь только что взявшегося за изучение общей теории относительности, столь сложной и непостижимой... Но для Фридмана нужны были другие мерки. Сам он, человек остроумный, чуждый важности, шутил, что «подковал Эйнштейна». Это запомнили. Повторялись и другие слова Фридмана: «Мое дело решать уравнения, а что решение означает, пусть думают другие».

Понимал ли он в действительности настоящее значение своих космологических работ? Если внимательно прочитать сейчас две его космологические статьи, вышедшие в 1922 и 1924 гг., и научно-популярную книгу «Мир как пространство и время», изданную в 1923 г., то ответ будет очевиден.

Откроем книгу «Мир как пространство и время». В самом ее конце Фридман говорит о только что полученных результатах 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 про-

* Выпускница Бестужевских курсов, она работала вместе с Фридманом в Главной геофизической обсерватории, позднее была многолетним директором Ленинградского отделения Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР

странством постоянной кривизны. Наоборот, второй тип Вселенной может быть изображен меняющимся все время шаром, то раздувающимся, то уменьшающим свой радиус и как бы сжимающимся. Стационарный тип Вселенной дает лишь два случая Вселенной, которые были рассмотрены Эйнштейном и де Ситтером. 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 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, является возможность также говорить о «сотворении мира из ничего», но все это пока должно рассматривать как курьезные факты, не могущие быть солидно подтвержденными недостаточным астрономическим экспериментальным материалом».

В этих словах Фридман ясно формулирует свой главный научный результат. Он берет на себя смелость сказать и о весьма далеко идущих следствиях, которые из него вытекают. Сотворение мира из ничего — вот важнейшее следствие и вместе с тем исключительной сложности проблема, которую Фридман ставит перед физической наукой. Он говорит об этом как о курьезных фактах. Но что можно было тогда, в начале 20-х годов, сказать о только что возникшей грандиозной проблеме, если она и сейчас, к исходу века, еще очень далека от решения. Можно считать немалым достижением самых последних лет, что эта проблема получает наконец физическую формулировку на языке квантовой теории и теории относительности, становится предметом конкретных теоретических исследований. При этом обнаруживается глубокая внутренняя связь между физикой самого большого объекта науки — Вселенной как целого и физикой самых малых тел Природы — элементарных частиц.

Элементарные частицы подчиняются законам квантовой теории. С другой стороны, и сама Вселенная вблизи начала расширения была чуть ли не точкой, как сказано у Фридмана, так что и она сама представляла собой как бы элементарную частицу. Но если так, то

вся Вселенная как целое должна была управляться тогда квантовыми законами. Эти законы действовали в условиях, когда плотности вещества были на множество порядков выше плотности такой, например, элементарной частицы, как протон. Кроме того, в этих условиях поля тяготения были исключительно сильными, или, что то же самое, пространство—время было исключительно сильно искривлено. Чтобы изучать эти совершенно необычные свойства раннего состояния Вселенной, необходима теория, которая объединила бы физику элементарных частиц с физикой Вселенной. Такой синтез теории микромира и космологии еще не достигнут. Но развитие физики в последние годы идет именно к этой цели, причем побудительные мотивы к синтезу такого рода возникают не только в космологии, но вытекают также и из внутренних интересов самой физики элементарных частиц. Многие считают сейчас правдоподобным, что физические процессы в самом начале жизни Вселенной определили наперед не только ее собственные свойства, но и свойства элементарных частиц нашего мира, например, их массы и характер взаимодействий.

В этом духе и ведутся сейчас поиски ответа на вопрос о рождении Вселенной. Одна из самых ярких идей выдвинута киевским теоретиком П. И. Фоминым. Он предложил изучить такую возможность: не могло ли возникновение Вселенной представлять собой квантовый процесс самопроизвольного рождения? И в самом деле, рождение отдельных элементарных частиц из вакуума хорошо известно в физике, экспериментально доказано и детально изучено. И если сама Вселенная была когда-то подобна элементарной частице, то почему бы ей не возникнуть таким доступным и даже естественным для элементарных частиц образом... Эта идея, высказанная независимо Э. П. Трайном в США и другими исследователями, привлекла к себе внимание теоретиков. Значительный вклад в разработку этого круга идей внесли в последние годы А. Д. Сахаров, Я. Б. Зельдович, В. А. Кузьмин, Дж. Уилер, Д. А. Киржниц, А. Д. Долгов, А. А. Старобинский.

То, что у Фридмана в его первой работе было изложено всего на десятке страниц, дало пищу для рассуждений, вычислений, толкований на многие годы, вылилось затем в сотни научных статей, десятки книг. Были детально изучены различные варианты динамики

Вселенной, указанные в общем виде Фридманом, найдены и проанализированы все простые решения, являющиеся частными случаями его общего космологического решения, и т. д.

Замечательного успеха в истолковании и разъяснении основных результатов Фридмана достигли в 1934 г. английские теоретики Вильям Мак-Кри и Эдвард Милн. Они не открыли нового, но раскрыли простой смысл космологической динамики, спрятанный за сложной математикой общей теории относительности. Космологическая теория как бы сразу прояснилась. Оказалось, что во многих своих чертах она может быть осмыслена и изложена на основе понятий «обычной» физики.

Английские теоретики заметили, что уравнение для радиуса кривизны, фигурирующее у Фридмана и определяющее динамику Вселенной в его теории, напоминает уравнение движения частицы под действием тяготения в классической ньютоновой теории. Можно начать с простого и рассмотреть тот частный случай решения Фридмана, когда космологический член отсутствует (или, как бы мы сейчас сказали, равна нулю плотность энергии вакуума) и имеется только «обычное» вещество. Задача ставилась так. Давайте считать, что вещество заполняет не все пространство, а только шар некоторого конечного радиуса. Далее примем, что давление в веществе мало и им можно вообще пренебречь (в работе Фридмана давление тоже не учитывается). Пусть вещество внутри шара распределено однородно. Как должен изменяться со временем радиус шара?

Решая такую задачу в рамках классической механики, нужно прежде всего выяснить, какие силы действуют на частицы вещества в шаре. Так как давление не учитывается, единственной силой является сила тяготения, создаваемая всеми вместе частицами шара. Рассмотрим некоторую частицу, находящуюся на границе шара. Все остальные частицы притягивают ее к себе по закону Ньютона. Это значит, что на нашу частицу действует каждая из остальных частиц с силой, пропорциональной произведению масс двух частиц и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Если сложить силы, создаваемые всеми частицами (складывать нужно векторно, т. е. с учетом направления действия силы), то окажется, что наша частица испытывает такую силу, как если бы все остальные частицы,

кроме нее, собрались в центре шара*. Значит, суммарная сила должна быть пропорциональна произведению массы нашей частицы на полную массу шара и обратно пропорциональна квадрату радиуса шара. Пусть m — масса частицы; M — масса шара; R — его радиус, тогда сила или, вернее, ее проекция на радиус-вектор есть

$$F = -G \frac{mM}{R^2} .$$

Здесь G — гравитационная постоянная. Сила направлена, очевидно, к центру шара — отсюда знак «минус». Величина ускорения, с которым под действием этой силы должна двигаться наша частица, равна силе F , деленной на массу частицы

$$a = \frac{F}{m} .$$

Мы видим, что расстояние нашей частицы до центра, т. е. радиус шара, не может оставаться постоянным. Раз на частицу действует сила, должно быть и движение, а движение частицы означает изменение радиуса шара. Зная ускорение, можно найти скорость частицы, а найдя скорость, можно определить путь, проходимый частицей, т. е. выяснить, как изменяется со временем радиус шара. Так и решается задача Милна — Мак-Кри.

Уравнение движения в этой задаче — это уравнение дающее ускорение частицы. И вот оказывается, что оно совпадает с уравнением теории Фридмана, определяющим изменение со временем радиуса кривизны пространства в том частном случае, когда нет космологического члена (Роль скорости в уравнении Фридмана играет производная радиуса кривизны по времени $v = \dot{R}$).

Динамика расширения вещества, даваемая теорией Фридмана, находит, таким образом, очень близкий аналог в ньютоновой теории. Совпадение уравнений не может быть, конечно, простой случайностью. В этом проявляется определенного рода соответствие между ньютоновой механикой и обобщившей ее механикой общей теории относительности. Шар в задаче Милна—Мак-Кри ведет себя так, как если бы он был «вырезан» из обще-

* Это утверждение, справедливое и в теории тяготения Ньютона, и в электростатике, называется теоремой Гаусса

го однородного распределения расширяющегося вещества. Радиус такого шара изменяется пропорционально радиусу кривизны мира.

В ньютоновой теории кривизны пространства нет. Поэтому в задаче Милна—Мак-Кри имитируется только динамика, но не геометрия мира Фридмана. В ней передается локальное расширение вещества, в котором отражается общая динамика вещества и самого пространства.

Но откуда берется расширение? Ведь на частицу, лежащую на границе шара в модели Милна—Мак-Кри, действует сила, притягивающая ее к центру. Значит, казалось бы, шар должен не расширяться, а сжиматься. Ведь эта частица и любая другая частица шара испытывают действие направленной к центру силы; из-за этого они приходят в движение, и им, казалось бы, ничего иного не остается, как всем вместе падать к центру. Это правильное рассуждение, но в нем имеется в виду, хотя явно не формулируется, вполне определенная «начальная» ситуация: сначала шар покоится, затем «включается» сила и шар начинает сжиматься. Это вполне возможный (допустимый и общим решением Фридмана) частный случай. Он похож на картину падения камня в земном поле тяжести: камень держат на какой-то высоте над землей, затем отпускают, и он падает вниз в направлении действия силы.

Однако в примере с камнем возможно и иное движение. Камень можно подбросить вертикально вверх, и тогда некоторое время он будет лететь не по направлению силы, а против силы. Футбольный мяч летит вверх, когда бьют «свечкой». Ядро из пушки тоже может лететь вертикально вверх. Наконец, ракету можно запустить по вертикали. Камень, мяч или пушечное ядро, достигнув верхней точки полета, падают затем вниз. А ракета, если ее начальный разгон достаточно велик, может оторваться от земли и никогда уже обратно не вернуться. Ракете для этого нужно сообщить, как известно вторую космическую скорость.

Теперь мы располагаем достаточным набором очевидных примеров, чтобы, вернувшись к динамике гравитирующего шара, разобрать возможные случаи его движения. Первый из рассмотренных вариантов — падение камня — соответствует сжатию, начинающемуся из состояния покоя: все точки шара свободно падают к

центру. Это случай нулевых начальных скоростей. Но скорости в начальный момент могут быть и отличными от нуля. Представим себе, что в начальном состоянии при некотором значении радиуса все частицы шара имели какие-то скорости, и притом направленные не к центру, а, наоборот, наружу, радиально от центра шара. Ясно, что и в последующие (по крайней мере, близкие) моменты времени все частицы будут двигаться в разные стороны радиально, а шар в целом будет расширяться. Расширение должно со временем замедляться — ведь это движение против силы тяжести, создаваемой самим шаром. Можно представить себе, что при не слишком больших начальных скоростях наш шар не сможет долго сопротивляться тяготению, и его расширение рано или поздно должно будет сильно замедлиться, затем остановиться на миг и после этого смениться сжатием. Но если скорости с самого начала достаточно велики, осуществляется не случай мяча, а случай ракеты, получившей вторую космическую скорость. Шар будет расширяться неограниченно, его частицы преодолеют взаимное тяготение, так что никогда за их разлетом не последует возвратное движение, сжатие.

Общее решение Фридмана содержит, как мы видели, космологический член, присутствие которого означает учет антигравитирующего вакуума.

Антигравитирующий вакуум — это особое состояние вещества, которое не было известно классической ньютоновой механике. Тем не менее его динамическую роль в космологии можно обсуждать, пользуясь ньютоновым языком, распространяя и на этот случай прием Мак-Кри и Милна. Нужно считать, что расширение шара, который мы мысленно выделили из общего распределения вещества, происходит на фоне вакуума, который с постоянной и неизменной во времени плотностью заполняет весь мир. Тогда на частицы шара будет действовать тот сферический объем вакуума, который заключен внутри этого шара. Эффективная гравитирующая масса вакуума, которую нужно добавить к массе вещества в уравнение движения, отрицательна:

$$M_v = -\frac{8\pi}{3} \rho_v R^3 .$$

Присутствие вакуума усложняет и обогащает динамику расширяющейся среды, что и приводит к тому

многообразие типов ее движения, о котором говорил Фридман в приведенном выше отрывке из его книги.

В этой книге Фридман выражал озабоченность «крайней шаткостью и ненадежностью наших астрономических сведений о Вселенной». А ведь только астрономические наблюдения могут указать, какой из типов геометрии и динамики расширяющегося мира из тех, что допускаются космологической теорией, реально осуществляется в том единственном мире, в котором, как говорил Фридман, «мы обречены жить». Однако как раз в 1923 г. произошло знаменательное астрономическое открытие, с которого начались прямые наблюдательные исследования в космологии. Это открытие было сделано американским астрономом Эдвином Хабблом. С помощью 2,5-метрового телескопа обсерватории Маунт Вилсон он сумел получить исключительно удачные фотографии нескольких спиральных туманностей на которых были отчетливо различимы отдельные звезды. Тем самым было доказано, что туманности — это огромные звездные системы, лежащие вне нашей звездной системы, вне Млечного Пути, на очень больших расстояниях от него; их потом стали называть галактиками. Именно галактики оказались, по словам Эйнштейна (сказанным позднее, в 1935 г.), «предназначенными для пополнения наших знаний о строении пространственно-временного континуума». Вселенная предстала перед глазами астрономов не миром звезд, а миром туманностей, миром галактик. Важнейшую роль в осознании этого фундаментального факта науки сыграл Леметр (см гл 2)

В 1929 г. Хаббл сделал новое открытие. Он обнаружил, что галактики не покоятся в мировом пространстве, а довольно быстро движутся. По большей части они двигались по направлению от нас, а не к нам. Движение галактик проявило себя знаменитым «красным смещением». линии в спектрах удаляющихся галактик оказались заметно сдвинутыми к более длинным волнам, к красному концу спектра. Естественная интерпретация этого явления — эффект Доплера, т. е. изменение длины волны света при относительном движении источника и приемника. Если источник и приемник сближаются, принимаемые длины волн сокращаются, если они удаляются друг от друга, длины волн увеличиваются. Изменение длины волны тем больше, чем больше относительная скорость движения

Открытие Хаббла стало прямым астрономическим доказательством нестационарности Вселенной. Расширяющаяся Вселенная Фридмана должна выглядеть именно такой, какой ее увидел Хаббл. Из фридмановской космологической теории следует и найденный Хабблом закон скорости. Относительная скорость двух тел в расширяющемся мире — но это конечно, должны быть именно те тела, из которых и строится Вселенная, — всегда пропорциональна расстоянию между ними.

Сначала Леметр, а затем и все научное сообщество оценили открытие Хаббла как убедительное подтверждение теории расширяющейся Вселенной*. К этой точке зрения вскоре, в 1931 г., присоединился и Эйнштейн, окончательно признавший правоту Фридмана, доказанную теперь уже не только математикой, но, можно сказать, самой Природой. В дальнейшем в своих выступлениях и статьях он неоднократно подчеркивал, что первым на правильный путь в космологии ступил Фридман.

Эйнштейн определенно отказался от идеи статичности Вселенной; заодно он «аннулировал» и космологический член, заявив, что теперь для его существования отпали всякие основания.

Спустя почти четыре десятилетия после открытия разбегания галактик, в 1965 г., было сделано второе важнейшее открытие в космологии — обнаружено космическое реликтовое излучение, приходящее к нам из далекого прошлого Вселенной**. Это был настоящий триумф эволюционной космологии, окончательно утвердивший ее высокий научный статус. реликтовое излучение было заранее предсказано на основании эволюционной космологической теории. Сделал это предсказание Георгий Антонович Гамов (1914—1968), начинавший свои занятия космологией в Ленинградском университете под руководством профессора Фридмана.

ВОЗРАСТ МИРА

Жизнь Вселенной началась с состояния, когда, по словам Фридмана, «пространство было точкой». Что это

* Нужно заметить, что сам Хаббл держался на этот счет более осторожной точки зрения; фактически он даже не считал окончательно доказанной доплеровскую природу красного смещения

** См. об этом, например, в кн. Вайнберг С. Первые три минуты. — М.: Энергоиздат, 1981.

было за состояние? Как далеко от нас в прошлом лежал момент начала? «Пользуясь очевидной аналогией, — пишет Фридман, — будем называть промежуток времени, понадобившийся, чтобы радиус кривизны от 0 дошел до R_0 , временем, прошедшим от сотворения мира». (Здесь R_0 — значение радиуса кривизны в наше время.) Фридман дает общую формулу для вычисления промежутка времени, отделяющего нас от начала расширения мира. Что же касается вытекающей из нее численной оценки, то он пишет: «Данные, которыми мы располагаем, совершенно недостаточны для каких-либо численных подсчетов...».

И все же в работе было дано характерное космологическое время. Предупреждая, что любые цифры могут иметь пока что лишь иллюстративное, ориентировочное значение, Фридман приводит оценку возможного периода расширения — сжатия для случая пульсирующего мира: десять миллиардов лет. А в книге «Мир как пространство и время» он пишет: «Бесполезно за отсутствием надлежащих 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».

Наибольшие длительности, о которых говорили в 20-е годы, касались возраста Земли, Солнца и звезд. От них мог бы отталкиваться космолог, разумно считая, что возраст мира уже, по крайней мере, не меньше возраста астрономических тел. В одной из лекций 1931 г. Эйнштейн называл в качестве самого большого из независимо измеренных времен возраст Земли: он говорил, что возраст Земли, определенный по радиевому методу, составляет около 800 млн. лет (современные оценки дают для возраста Земли величину около 4,5 млрд. лет).

Фридман вряд ли располагал сведениями о возрасте небесных тел, иначе он, вероятно, упомянул бы о них, по крайней мере, в популярной книге. Полностью отдавая себе отчет в исключительном значении проблемы возраста мира, он определенно склонялся к дважды повторенной величине порядка десяти миллиардов лет.

Строго говоря, это была лишь догадка. Добавим, однако, счастливая догадка, которая в дальнейшем оправдалась. Современные независимые эмпирические оценки возраста Вселенной, основанные на данных о распространности радиоактивных ядер и эволюционном состоянии определенных звездных скоплений, приводят к величине 15—20 млрд. лет (см. гл. 2).

МИР КАК ЦЕЛОЕ

«О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной» — так называлась вторая (и последняя) космологическая работа Фридмана, законченная в ноябре 1923 г. и в следующем году опубликованная в том же «Журнале физики» (1924. — Т. 21. — С. 326—333). Судя по названиям, которые автор дал обоим своим статьям, он исходил прежде всего из геометрии. Во второй работе он делает еще один важный шаг — отказывается от геометрического ограничения, принятого Эйнштейном и де Ситтером. Прежде рассматривались только миры с трехмерным пространством, подобным сфере. Фридман вводит в космологию новое трехмерное пространство, которое тоже обладает однородностью и изотропией, но имеет иной геометрический тип — тип геометрии Лобачевского. Его двумерным аналогом служит не сфера, а, например, гиперboloид — поверхность, похожая на седло.

В геометрии принято различать эти два случая, приписывая кривизне пространства разные знаки. Кривизна всюду выпуклых поверхностей, подобных сфере, считается положительной, а кривизна седлообразных поверхностей — отрицательной. Соответствующие знаки приписываются и трехмерным искривленным пространствам. Смена знака кривизны влечет за собой изменение таких геометрических связей, как отношение длины окружности к радиусу и отношение площади поверхности сферы к квадрату радиуса. Для пространства отрицательной кривизны эти отношения не меньше (как для сферы), а больше соответственно, чем 2π и 4π .

Тот вид пространственной метрики, который использует Фридман, заимствован им из вышедшей в 1923 г. в Болонье книги итальянского математика Л. Бьянки —

на эту книгу Фридман дает ссылку, единственную, кроме упоминания своей первой работы (книги Бьянки Фридман изучал еще в гимназии).

Изучив сначала мир с трехмерным пространством положительной кривизны, Фридман распространил теперь представление о динамике на мир с трехмерным пространством отрицательной кривизны. Он доказывает в этой работе «возможность нестационарных миров с постоянной отрицательной кривизной пространства». («Постоянной» значит здесь «не зависящей от пространственных координат, то есть одинаковой в данный момент времени во всех точках».) Этот результат был получен им еще в 1922 г. В письме Эйнштейну, датированном 6 декабря 1922 г., он, в частности, упоминает о том, что в последнее время он исследовал «случай мира с постоянной и изменяющейся (во времени) отрицательной кривизной... Результат расчетов показал, что... может существовать как мир с постоянной (но уже отрицательной), так и мир с изменяющейся (во времени) кривизной. Наличие возможности получить из Ваших мировых уравнений мир с постоянной отрицательной кривизной представляет для меня исключительный интерес...»

Читая эту работу, замечаешь, что написана она легко, как бы одним махом (местами даже с легкой небрежностью). Фридман не очень вдаётся в анализ динамики новой модели. Динамика мира была уже им открыта; более всего его интересовал теперь вопрос о конечности или бесконечности пространства. Если следовать Эйнштейну, то трехмерное пространство положительной кривизны нужно рассматривать во всех отношениях подобным сфере: не только метрика, но и общее строение пространства, его топология должны быть такими, как у сферы. В частности, полный объем пространства должен быть конечным, подобно тому как конечна поверхность сферы. Таковы геометрические модели, рассмотренные Эйнштейном, де Ситтером да и самим Фридманом в его первой работе. В новой работе вводится новая геометрия, причем двумерные ее аналоги уже не похожи на сферу по общему своему строению: параболоид — это поверхность, неограниченно продолжимая во всех направлениях, так что ее площадь должна считаться бесконечной. Если прямо переносить это свойство двумерных пространств отрицательной кри-

визны на трехмерное пространство того же типа, то нужно приписать ему бесконечный объем.

Как бы то ни было, геометрическое основание, которое имелось у Эйнштейна для утверждения о конечности пространства, теперь исчезает: новая геометрическая картина не позволяет сделать вывод о конечности объема для пространств с отрицательной постоянной кривизной. Дело, однако, не только в метрике, которая может быть похожа или не похожа на метрику сферы. Общее строение пространства, его глобальные свойства, его топология требуют в действительности особого подхода. Здесь недостаточно простых геометрических аналогий, и Фридман считает необходимым указать на это с подчеркнутой настойчивостью и в статье, и в популярной книге.

В самом начале книги Фридман, впервые упомянув о космологии, говорит: «Этот вопрос о Вселенной я считаю особо необходимым осветить с должной подробностью, так как... распространялись совершенно превратные сведения о конечности, замкнутости, кривизне и т. п. свойствах нашего пространства, которые будто бы устанавливаются принципом относительности». И вот на последних страницах книги читаем об «одном недоразумении, повторяющемся не только в статьях и книгах популярного характера, но и в более серьезных и специальных работах, посвященных принципу относительности. Я имею в виду пресловутый вопрос о конечности Вселенной, т. е. о конечности нашего физического, занятого блистающими звездами пространства. Утверждают, что, найдя постоянную положительную кривизну Вселенной, можно якобы заключить о ее конечности, и прежде всего о том, что прямая во Вселенной имеет «конечную длину», что объем Вселенной является тоже конечным и т. п. Это утверждение может быть основано или на недоразумении, или на дополнительных гипотезах. Из метрики мира они ни в коем случае не вытекают, а только метрика может быть выяснена мировыми уравнениями». И далее еще раз: «Таким образом, одна метрика мира не дает нам никакой возможности решить вопрос о конечности Вселенной. Для решения этого водроса нужны дополнительные теоретические и экспериментальные исследования».

Вот поучительный пример, который Фридман приводит не в книге, а во второй статье: «...мы называем про-

странство конечным, если расстояние между двумя несовпадающими точками не превышает некоторого положительного постоянного числа, какова бы ни была эта пара точек. Следовательно, прежде чем рассматривать проблему конечности пространства, мы должны еще условиться, какие точки этого пространства следует считать разными. Например, если мы будем рассматривать поверхность сферы в трехмерном евклидовом пространстве, то точки, лежащие на одной параллели и имеющие разность долгот в 360° , мы сочтем совпадающими; напротив, если бы мы рассматривали эти точки как различные, то получили бы многолистную сферическую поверхность в евклидовом пространстве». Расстояние между двумя произвольными точками на сфере всегда меньше некоторого числа — длины большого круга. Но это только тогда, когда — как это обычно и бывает — сферу считают не расслаивающейся на множество листов. Если же такое расслоение допустить и против обычного считать точки с разностью долгот 360° , лежащие на одной параллели, не совпадающими, то «расстояние можно сделать как угодно большим (сопоставляя соответствующим образом точки разным листам). Отсюда ясно, что, прежде чем приступить к рассуждениям о конечности мира, необходимо уточнить, какие точки следует считать совпадающими и какие различными».

Возвращаясь к книге Фридмана, найдем в ней мысленный эксперимент, который позволил бы непосредственно проверить, является ли сферическое пространство многолистным или «обычным». Предполагается вообразить, что «мы неестественно сплющились и, подобно поверхностным теньям, живем на большом шаре». Задавшись вопросом о конечности пространства, на (или в) котором они обитают, тени «могли бы решить этот вопрос, отправив в путь одного из сферических путешественников. Держась все время прямой линии и проходя ее в одном направлении, наш путешественник, наблюдая около себя характер местности, видел бы, что этот характер во все время его путешествия менялся бы; ему попадались бы иные ландшафты и сферические города, мало напоминающие города его родины; однако, приближаясь с другого конца к своему городу, откуда он вышел, путешественник заметил бы, что окружающая его местность становится все более и более похожей на ту,

которую он, отправляясь в далекое путешествие, покинул. Вернувшись в исходную точку, путешественник путем тщательных наблюдений мог бы констатировать, что точка, в которую он пришел, совершенно совпадает с точкой, откуда он вышел; таким образом была бы... выяснена конечность вселенной сферы». Так было бы в «обычном» случае. А в случае многолистной сферы наш воображаемый путник шел бы и шел, только удаляясь все больше и больше от «родных мест». Пройдя путь, длина которого больше длины большого круга, и не вернувшись домой, он понял бы, что его пространство устроено сложнее, чем «обычная» сфера. И у него уже не было бы оснований считать, что пространство, в котором он живет, конечно.

Конечность и бесконечность — это еще один предмет спора с Эйнштейном. Мир не статичен, как было доказано в первой статье. Но нет также оснований говорить, что он замкнут, доказано во второй. Фридман ставит вопрос о глобальной топологии пространства Вселенной, т. е. о тех ее свойствах, которые касаются не местных геометрических отношений в малых областях (подобных связи между радиусом и длиной окружности), а свойств всего пространства как целого. Этот вопрос лежит вне рамок общей теории относительности. Он относится к компетенции науки, которой не существовало во времена Фридмана, которой и сейчас еще не существует. До сих пор нет еще физической теории, которая изучала бы глобальную топологию мира. По примеру общей теории относительности она могла бы, вероятно, ставить топологию пространства (а вернее, пространства—времени) в соответствие с глобальными физическими процессами, охватывающими весь мир как целое. И Фридман первым ясно и четко указал на принципиальные ограничения космологической теории, основанной только на общей теории относительности. Решение «вечного» вопроса о конечности или бесконечности Вселенной ей не под силу: «одних только космологических уравнений Эйнштейна, без дополнительных предположений, еще недостаточно для того, чтобы сделать вывод о конечности нашего мира».

И в его время, и десятилетия спустя эти соображения Фридмана с трудом пробивали себе дорогу в космологии; по сути дела, они были должным образом оценены лишь совсем недавно. Что касается математики, то

вопрос о связи между знаком кривизны однородного пространства и его возможным топологическим устройством весьма полно изучен. Оказывается, например, что имеется возможность замкнутого, конечного по объему пространства с евклидовой метрикой, т. е. с нулевой кривизной. Всего же для евклидова пространства допустимо 18 различных вариантов топологии. Для искривленных пространств число допустимых топологических реализаций и вовсе бесконечно.

Представления о сложной, нетривиальной топологии пространства — времени получили в самые последние годы новое развитие в связи с идеей первичного вакуума, существовавшего в исходном состоянии Вселенной. Особенно значительных результатов в этом направлении достигли А. Гус, А. Д. Линде, А. А. Старобинский и другие исследователи, соединяющие космологические идеи с новейшей физикой элементарных частиц. Развиваемую ими теорию называют инфляционной моделью или моделью раздувающейся Вселенной*. Дело в том, что вакуум создает очень быстрое расширение, как бы «выдувая» в рождающемся из него веществе «пузыри». Таких пузырей может быть несколько, много или даже бесконечно много. Возникает целая «пространственно-временная пена». Один из пузырей игрой случая становится нашей Вселенной.

Эта увлекательная картина еще только разрабатывается. В ней много места для фантазии и изобретательных выдумок. Кое-что удается теоретически обосновать, остальное пока лишь гипотезы. Наметились трудные проблемы. Например, как добиться того, чтобы после раздувания плотность вакуума резко и на множество порядков величины упала как раз до того значения, которое следует из сегодняшних данных (10^{-29} г/см³, см. гл. 2)? Здесь предстоит еще много работы.



Со страниц своих статей, книг, писем, в воспоминаниях современников Фридман предстает перед нами глубоким, независимым и дерзким мыслителем, разру-

* См сб.: «Прошлое и будущее Вселенной» (М.: Наука, 1986) и книгу И. Л. Розенталя «Геометрия, динамика, Вселенная» (М.: Наука, 1987).

шителем научных предрассудков, мифов и догм. Его ум видит то чего не видят другие, и не желает видеть того, что все считают очевидным и для чего в действительности нет никаких оснований. Он отбрасывает многовековую традицию, которая заведомо, до всякого опыта считала Вселенную вечной и вечно неподвижной. Он совершает настоящую научную революцию. Как Коперник заставил Землю обращаться вокруг Солнца, так Фридман заставил Вселенную расширяться.

Глава 2. ЛЕМЕТР: АСТРОНОМИЯ И ФИЗИКА ВСЕЛЕННОЙ

Космологические исследования Леметра с самого начала были ориентированы на физическую реальность, на теснейшую связь с астрономическими данными, на поиск прямой «привязки» теории к наблюдениям Вселенной. Проблема, которая, как мы видели, представлялась Фридману делом отдаленного будущего, стала в научном творчестве Леметра живой и актуальной научной задачей. Он дал принципиальное решение центральной проблемы наблюдательной космологии. Вместе с тем он наполнил космологическую теорию глубоким физическим содержанием. Это принесло ему огромный научный успех. Его труды открыли для новых поколений космологов широкую перспективу исключительно плодотворных исследований.

ПЕРВЫЕ ШАГИ

В первой космологической статье Леметра, появившейся в 1925 г., присутствовали два главных, ключевых понятия новой космологии — «нестационарность Вселенной» и «разбегание спиральных галактик». Работа носила название «Замечание о Вселенной де Ситтера» и была напечатана в английском «Журнале математики и физики» (1925. — Т. 4. — С. 37—41). Результаты Фридмана не были известны Леметру, и эта статья относилась еще как бы к дофридмановской эпохе в космологии. Она была посвящена изучению статической космологической модели, но по самому своему духу была нацелена на нестатичность и эволюционность. Идеей она примыкала к соображениям Эддингтона; Леметр мог

познакомиться с ними в Кембридже, где в 1923—1924 гг. он находился на научной стажировке у Эддингтона. Леметр ссылается в своей статье на книгу Эддингтона «Математическая теория относительности» (английское издание 1923 г.), где было указано на внутреннюю нестатичность, скрытую в неподвижном мире де Ситтера. Леметр демонстрирует эту нестатичность в явном виде и дает ей точное математическое описание

В космологическом решении де Ситтера метрический тензор не зависит от времени. Это и означает, что мир как четырехмерное многообразие пространства — времени является статическим, таково фундаментальное свойство «пустой» Вселенной, или, точнее, Вселенной, заполненной физическим вакуумом, который характеризуется величиной космологической константы. Но такой вакуум обладает свойством антигравитации, и именно поэтому частицы, помещенные в этот мир должны удаляться друг от друга. Эддингтон заметил, что под действием антигравитации частицы получают ускорение и приходят в движение. «горсть» частиц, брошенная в мир де Ситтера, сразу начинает рассыпаться, так что все расстояния между частицами ускоренно возрастают со временем. Если частицы с самого начала равномерно рассыпать по какой-то области пространства или по всему пространству мира, то и во все последующие моменты времени они будут равномерно, однородно распределены по занятому ими объему. А этот объем должен расти и «раздуваться» с течением времени.

Нужно заметить, что сами частицы считаются при этом пробными, т. е. их обратным воздействием на исходное пространство — время и друг на друга в данном рассмотрении пренебрегается. Это, конечно, весьма серьезное физическое ограничение. Оно означает, что свойства пространства — времени не зависят в этом случае от присутствия или отсутствия в нем вещества, пространство — время выступает здесь как некая раз и навсегда установленная четырехмерная структура, не подверженная никаким внешним воздействиям или внутренним изменениям. Если учесть это обстоятельство, то должно быть ясно, что введение в рассмотрение пробных частиц не может само по себе принести ничего нового в физическое существо космологической модели как таковой. Очень важно, однако, что анализ поведения пробных частиц позволяет глубже понять реальный

смысл этой модели, открыть в ней новые важные грани*.

Это и сделал Леметр в своей первой космологической работе. Он построил математическую теорию, описывающую мир де Ситтера в системе отсчета, опирающейся на внесенные в этот мир пробные частицы. «Наблюдаемый» из этой системы мир де Ситтера и представляется расширяющимся. Расширение проявляется в том, что все пространственные расстояния, измеряемые с точки зрения этой системы отсчета, возрастают со временем. Расстояния увеличиваются по тому закону, по которому возрастают расстояния между разбегающимися частицами. Согласно Леметру этот закон имеет вид:

$$R(t) \sim \text{ch} \frac{t-t_0}{T_0}.$$

Здесь $R(t)$ — масштабный фактор (множитель), пропорционально которому изменяются все расстояния в мире; t_0 и T_0 — некоторые константы, первая из которых имеет смысл момента, начиная с которого отсчитывается время, а вторая выражается через космологическую постоянную, или, в современной интерпретации, через плотность энергии вакуума**:

$$T_0 = \left(\frac{3c^2}{8\pi G \varepsilon_v} \right)^{1/2}.$$

В леметровской системе отсчета метрический тензор оказывается уже зависящим от времени. Но это не означает, что модель де Ситтера должна теперь считаться нестатической. Свойство быть статической или нестатической определяется для космологических моделей простым правилом: если существует хотя бы одна система отсчета, в которой метрический тензор не зависит от времени, модель является статической. Стоит, может быть, напомнить, что введение конкретной системы отсчета неизбежно означает разделение единого четырехмерного пространства — времени на трехмерное пространство и одномерное время. Такое разделение,

* Почти полвека спустя тот же анализ послужил для Э. Б. Глинера, И. Г. Дымниковой и Л. Э. Гуревича исходным пунктом того, что в их работах, а также в работах А. Гауса, А. Д. Линде, А. А. Старобинского и многих других превратилось в столь популярную ныне «инфляционную космологию» (см. литературные указания в конце брошюры).

** Эти соотношения фигурируют и в инфляционной космологии.

расщепление на отдельно пространство и отдельно время может быть сделано бесчисленным числом способов. Соответственно этому пространственные и временные свойства мира, рассматриваемые в различных системах отсчета, могут представлять перед нами в самом разнообразном виде, хотя всякий раз это будет один и тот же мир с теми же физическими свойствами. Те свойства мира, которые присущи ему как единому четырехмерному пространственно-временному многообразию независимо от тех или иных систем отсчета, называются инвариантными и характеризуются специальными математическими, геометрическими величинами, называемыми инвариантами метрики. Эти инварианты для метрики де Ситтера не зависят от времени, в какой бы конкретной системе отсчета они ни вычислялись (по соответствующему каждой системе отсчета конкретному виду метрического тензора), что и отражает ее статичность как присущее ей неотъемлемое инвариантное свойство.

С физической точки зрения разумный смысл имеют не любые математически допустимые системы отсчета, а лишь такие из них, которые — хотя бы в принципе — могут быть реализованы «нормальными» физическими телами, образующими как бы «платформы» с установленными на них «линейками» для измерения длин и «часами» для измерения промежутков времени. В этом отношении система отсчета, выбранная Леметром для изучения мира де Ситтера, является физически разумной и естественной (но, конечно, не единственной в этом роде). Если представить себе астронома, расположившегося со своими измерительными инструментами на одной из частиц, которыми реализуется система отсчета Леметра, то легко видеть, что, с его точки зрения, все остальные частицы должны удаляться от него по найденному Леметром закону. При этом время, фигурирующее в этом законе, измеряется по часам, находящимся на всех этих частицах и движущимся вместе с ними.

Не только временные, но и пространственные свойства мира де Ситтера предстают в леметровской системе отсчета в новом виде. Если прежде трехмерное пространство обладало положительной кривизной, то теперь оно оказывается неискривленным, а плоским, т. е. обычным, привычным нам евклидовым пространством. Судя по тексту статьи, этот результат был для Леметра не-

ожиданным и даже в некотором смысле нежелательным. Он явно предпочел бы, чтобы и в новой системе отсчета пространство оставалось искривленным, подобно сфере. Очевидно, что то пространство, которое теперь оказалось плоским, это вовсе не то же самое трехмерное пространство, хотя бы и описанное иначе; это совсем другое трехмерное пространство, выделенное из четырехмерного многообразия совсем другим способом. Этот пример наглядно демонстрирует относительность геометрических свойств пространства: они зависят от того способа, каким пространство вычленяется из пространства—времени.

Как мы помним, и Эйнштейн и де Ситтер считали, что пространство положительной кривизны должно быть похоже на сферу не только по локальным, дифференциально-геометрическим свойствам, но и по общему топологическому устройству, они считали, что такое пространство должно быть замкнутым и иметь конечный объем. В представлении Леметра пространство оказалось евклидовым, т. е. похожим не на сферу, а на плоскость, если и тут прибегать к двумерным аналогам с дифференциальной геометрией того же типа. Переходя и в этом случае от локальных геометрических свойств к топологическим, приходится — на тех же основаниях, что у Эйнштейна и де Ситтера, — заключить, что новое пространство следует считать бесконечным по объему, как бесконечна по площади неограниченно продолжаемая во всех направлениях обычная евклидова плоскость. Такого рода заключение представляется Леметру обязательным и неизбежным; переход от дифференциальной геометрии к топологии он не воспринимает как дополнительную гипотезу — четкие указания на этот счет, сделанные за год до того Фридманом, ему еще не известны. Нужно сказать, что, и познакомившись с этими указаниями, Леметр впоследствии не придавал им, судя по всему, должного значения. Простая и однозначная связь между свойствами кривизны трехмерного пространства и его топологией — а следовательно, и величиной полного объема — принималась им как естественная и необходимая.

Следуя Эйнштейну и де Ситтеру, Леметр считает конечность пространства обязательным атрибутом реального мира. Поэтому обнаруженное им свойство евклидовости пространства, истолкованное как свидетельство

его бесконечности, представляется Леметру серьезным недостатком нового варианта модели де Ситтера. Это обстоятельство, по его словам, «представляется полностью недопустимым». И далее «Решение де Ситтера должно быть отвергнуто не потому, что оно нестатично а потому, что оно не дает конечного пространства » Нестатичность представляется Леметру преимуществом этой модели — в этом отношении он уже преодолел влияние авторитета этих двух своих предшественников и твердо стал на точку зрения Эддингтона. «Наше рассмотрение, — пишет он, — свидетельствует в пользу нестатического характера мира де Ситтера, что дает возможность интерпретировать среднее движение удаляющихся спиральных туманностей»

Как мы видим, первая космологическая работа Леметра полна новыми важными результатами, хотя она и оставляет впечатление некоторой противоречивости. Автор демонстрирует, что мир де Ситтера нестатичен, дает точное математическое описание этого его свойства, которое он непосредственно связывает с реально наблюдаемым астрономическим явлением. Но с другой стороны, этот вариант космологической модели отвергается им на основании требования конечности мира, которое, казалось бы, не является обязательным ни с наблюдательной, ни даже с математической точки зрения. Априорная установка на конечность пространства, столь твердо проводимая космологом, который во всем остальном целиком ориентируется на наблюдательные данные, была связана не только с традицией и авторитетом классиков науки; для этого имелись и очень важные для Леметра мотивы мировоззренческого характера, о которых мы еще будем говорить далее, в заключительном разделе брошюры.

Своей работой 1925 г. молодой космолог сделал лишь первые, но уже многообещающие шаги на дороге большой науки. Через два года ему предстояло прийти к новым результатам, полным зрелости и глубины, а затем заложить основы того, что сейчас называют физической космологией.

МИР ГАЛАКТИК

Если первая работа Леметра носит следы очевидного влияния идей Эддингтона, его учителя в космологии, то вторая работа, появившаяся в апреле 1927 г., опреде-

ленно опережает Эддингтона. В специальном дополнении к русскому изданию его книги Эддингтон пишет: «Работая вместе с доктором Мак Витти, я несколько месяцев тому назад предпринял исследования с целью выяснения вопроса, является ли сферическая Вселенная Эйнштейна устойчивой. Прежде чем наш анализ был закончен, мы познакомились со статьей аббата Леметра, который дает замечательно полное решение различных вопросов, связанных с космологическими построениями Эйнштейна и де Ситтера. Моей целью является рассмотрение вопроса с астрономической точки зрения, хотя мое первоначальное желание получить некоторый принципиально новый результат и было предупреждено блестящим решением Леметра». (Давая далее в своем дополнении к книге (и в тексте статьи 1930 г., на содержании которой основано это дополнение) ссылку на работу Леметра 1927 г., Эддингтон добавляет: «См. также работу А. Фридмана, пришедшего к тем же результатам еще раньше».)

Новая работа Леметра носила название «Однородная Вселенная постоянной массы и возрастающего радиуса, объясняющая радиальные скорости внегалактических туманностей». Она вышла на французском в «Анналах научного общества Брюсселя (1927. — Т. 47 А. — С. 29—39). Как только Эддингтон познакомился с ней, он организовал ее публикацию по-английски в «Ежемесячных записках Королевского астрономического общества» (1931. — Т. 91. — С. 483—489). С тех пор эта работа стала классическим, хрестоматийным текстом по современной космологии, предметом бесчисленных ссылок и цитирования.

Леметр и в 1927 г. не знал еще трудов Фридмана*. Он продолжал и развивал свою собственную ли-

* Первая ссылка на Фридмана появляется у Леметра в английском издании его классической статьи. Указывая на две работы Фридмана в общем списке литературы, он говорит, что «проблема нестационарной Вселенной была исследована ранее Фридманом во всей математической полноте». «Хотя и без связи с наблюдениями туманностей», — добавляет он. Но как могло случиться, что он не заметил до 1930 или 1931 г. ни публикаций Фридмана в международном журнале, ни даже посвященных работам Фридмана двух заметок Эйнштейна в том же журнале, наверняка доступном везде в Европе? Неужели они прошли мимо Эддингтона и его окружения в 1923—1924 гг., когда Леметр был на стажировке в Кембридже? Признаться, эти вопросы оставляют нас в недоумении, мы не знаем ответа на них.

нию исследований, начатую работой 1925 г. Логика анализа требовала разрешения парадокса «расширяющейся пустоты» открытого им в космологии де Ситтера. Отсутствие в мире де Ситтера вещества означало, что в нем нет места туманностям, если рассматривать их не просто как пробные частицы. А туманности стали теперь — и навсегда — главным героем космологических трудов Леметра. Ранг пробных частиц явно не соответствовал их новой роли. Нужна была новая космология, в которой имелось бы расширяющееся вещество в виде разбегающихся туманностей. При этом сохранялось и требование конечности пространства.

В качестве нового отправного пункта в своих рассуждениях Леметр привлекает теперь мир Эйнштейна, а не мир де Ситтера. В мире Эйнштейна имеется гравитирующее вещество, распределенное равномерно по пространству, объем которого конечен. Два требуемых условия налицо, но нет третьего — расширения. Если снова рассмотреть поведение пробных частиц, служащих как бы индикаторами динамики, допускаемой данной космологической моделью, то окажется, что в мире Эйнштейна они не станут разбежаться и будут всегда оставаться в покое, если они были лишены движения в начальный момент. Главное, однако, состоит в том, что само вещество этой модели статично и вечно покоится. Но нельзя ли попытаться преодолеть этот недостаток и сообщить миру Эйнштейна динамику, открытую в мире де Ситтера? Такой вопрос и ставит перед собой Леметр.

О своих целях он ясно пишет во вступительном параграфе своей работы: «Представляется желательным найти промежуточное решение, которое могло бы скомбинировать преимущества обоих решений... рассмотреть Вселенную Эйнштейна, в которой радиусу пространства, или радиусу Вселенной, было бы позволено изменяться некоторым произвольным образом».

Конечно, при всем возможном произволе своего поведения радиус Вселенной как функция времени должен удовлетворять уравнениям общей теории относительности. Леметр записывает эти уравнения применительно к конкретно поставленной космологической задаче. Эта задача предполагает однородность распределения вещества в объеме Вселенной, изотропию движения этого вещества и положительную кривизну пространства, в ко-

тором космическое вещество существует и расширяется Нет ничего удивительного в том, что Леметр получает в итоге точно такое же уравнение для эволюции радиуса мира, какое имеется у Фридмана в его первой работе 1922 г исходные предположения у обоих наших авторов одинаковы

Из всех решений, допускаемых уравнением эволюции, Леметр выбирает и специально изучает одно особое решение, описывающее именно тот тип расширения мира, который его более всего интересует Это решение в буквальном и точном смысле слова является промежуточным между решениями Эйнштейна и де Ситтера Оно описывает эволюцию, начальным состоянием для которой служит мир Эйнштейна, а конечным — мир де Ситтера Эти два состояния являются для решения Леметра асимптотиками в пределах соответственно бесконечно далекого прошлого и бесконечно далекого будущего Такой вариант поведения расширяющегося мира был указан — среди всех иных возможностей — уже и самим Фридманом в работе 1922 г, он обозначался у Фридмана как асимптотическое решение типа A_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

Изучая архив Леметра в Лувене, один из авторов (М·Х) отыскал с помощью ученика и друга Леметра бельгийского профессора О. Годара ряд неизвестных ранее материалов, относящихся к работе 1927 г Среди них два замечательных рисунка сделанных космологом на основании математического анализа различных типов поведения радиуса кривизны в расширяющемся мире Один из них дает графическое представление зависимости радиуса от времени в той модели, которая привлекала Леметра в 1927 г (рис 1) На другом (рис. 2) представлена серия кривых, показывающих изменение радиуса мира со временем в тех случаях, когда начальное его значение равно нулю Как мы видим, представлены кривые, отвечающие и неограниченному во времени расширению, и расширению, сменяющемуся сжатием Такие картинки можно встретить сейчас в любой книге по космологии; впервые они были построены Леметром Чаще всего в популярных изданиях воспроизводятся за-

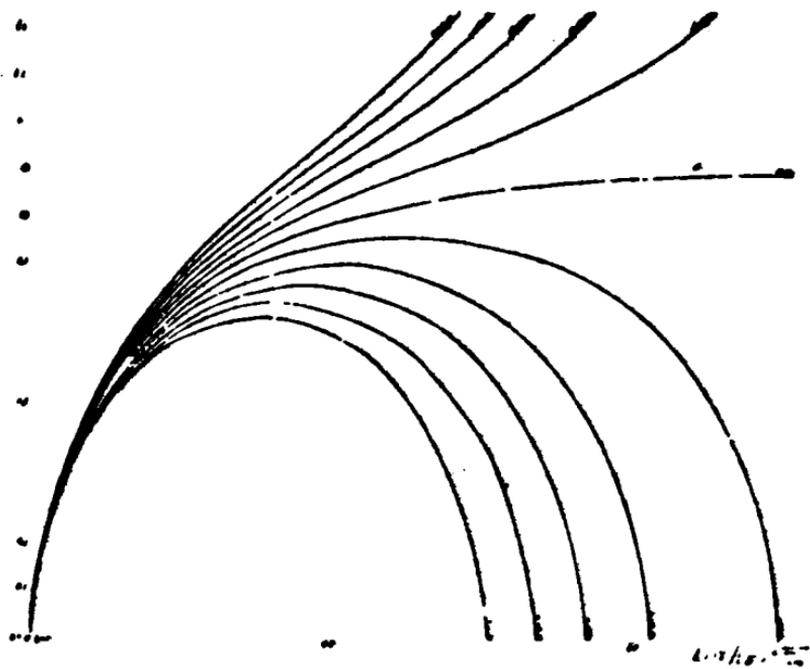


Рис. 1

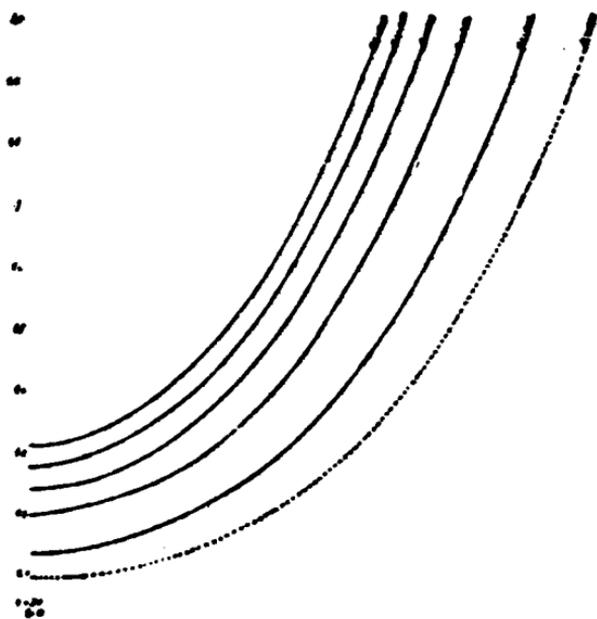


Рис. 2

висимости такого рода без учета антигравитирующего вакуума. В моделях без вакуума существует простая и взаимно однозначная связь судьбы расширения со знаком кривизны пространства: неограниченное расширение возможно тогда и только тогда, когда кривизна является отрицательной или нулевой; смена расширения сжатием возможна лишь при отрицательной кривизне. Обратим в связи с этим внимание на то, что в рисунках Леметра полностью отражено возможное влияние вакуума на расширение; в моделях с вакуумом простая связь типа расширения со знаком кривизны исчезает. У Леметра все кривые относятся к трехмерному пространству положительной кривизны.

Если все допустимые варианты космологического расширения были известны Леметру в 1927 г., почему он остановил свой выбор на модели с эйнштейновским началом? Об одной причине, имеющей исторический или точнее, биографический характер, мы уже упоминали — она связана с предшествующей работой самого Леметра. Другую, гораздо более важную причину Леметр ясно указывает в замечании (правда, весьма кратком) в конце пятого параграфа своей статьи; он говорит, что иные космологические решения, кроме того, которое он изучает, должны быть отвергнуты, так как они дают слишком короткую временную шкалу космической эволюции. Это исключительно важное соображение, впервые высказанное Леметром, означает, что время, прошедшее от начала космологического расширения, должно быть достаточно большим, чтобы возраст Вселенной заведомо превосходил возраст всех объектов реального мира — Земли, других планет, звезд, звездных систем. Этому требованию принадлежит роль одного из фундаментальных критических тестов в выборе между теоретически мыслимыми космологическими моделями — это было так и для Леметра, и во всем последующем развитии космологии вплоть до наших дней. При этом Леметр имел в виду, вероятно, известные в его время данные о возрасте земных пород, который считался тогда равным 1—2 млрд. лет, и астрофизические оценки длительности эволюции звезд и звездных систем, которая, согласно Джинсу и Эддингтону, характеризовалась временами в тысячи миллиардов лет. Первая из этих оценок, как выяснилось позднее, несколько занижена, а вторая сильно завышена. По современным данным, возраст

Земли приближается к 4.5 млрд лет, а возраст самых старых звезд и звездных систем заключен, скорее всего, в интервале от 13 до 18 млрд лет, хотя не исключено, что он может достигать и 20—22 млрд лет. По порядку величины наибольшие длительности, о которых сейчас идет речь, — это те самые «десятки миллиардов наших обычных земных лет», которые впервые появились у Фридмана в его «иллюстративных» как он говорил оценках возраста мира

В изучаемой Леметром модели возраст мира можно произвольно «назначать» в самых широких пределах — от бесконечности до любой разумной конечной величины. По соображениям общего характера, о которых далее мы еще скажем, Леметр предпочитал модель с конечным возрастом. Для этого, однако, требуется ввести в рассмотрение дополнительную физическую величину, которая характеризовала бы начальное отклонение расширяющейся модели от статической модели Эйнштейна. Расширение происходит под действием антигравитации вакуума, поэтому такой величиной могла бы быть плотность вещества в начальный момент. Если задать ее хотя бы немного меньшей той, которая необходима для точного равновесия между антигравитацией вакуума и гравитацией вещества, возможность расширения будет обеспечена, а его продолжительность от начала до нашей эпохи будет зависеть от конкретной меры начального «разбаланса» плотностей вакуума и вещества*.

Вот как говорил об этом сам Леметр: «По крайней мере математически кажется возможным дать продолжительности расширения Вселенной сколь угодно долгое время. Если же захотеть дать расширению Вселенной продолжительность в тысячи миллиардов лет, то для этого необходимо было бы, чтобы реальная плотность была подогнана к фиктивной плотности пустоты с совершенно невероятной точностью, которая выразилась бы длиннейшим рядом нулей. Если предположить, что уравнение реальной плотности и космологической плотности совершается с точностью до одной миллион-

* Возможность самопроизвольного начала расширения при сколь угодно малом начальном отклонении плотности вещества (и других параметров модели) от равновесного значения представляет собою то, что Эддингтон называл неустойчивостью модели Эйнштейна.

ной или даже миллиардной их доли, то получим продолжительность в десяток миллиардов лет».

«Вы чувствуете, — говорит далее Леметр, — что в этом есть нечто искусственное», это похоже на «математическое ухищрение» К 1934 г., когда были сказаны эти слова Леметр предпочитал уже иную космологическую модель, в которой проблема возраста решалась, по его мнению, более естественным путем (см. ниже)

Цитата, которую мы только что привели, взята из доклада Леметра на собрании Французского астрономического общества, сделанного 5 декабря 1934 г. и опубликованного в следующем году во французском журнале «Астрономия» и в русском переводе в советском журнале «Мироведение» (1935. — Т 24 — № 4. — С. 225—236) Эта была первая и пока что единственная публикация Леметра в СССР

Самым главным и важным в работе Леметра 1927 г была в действительности даже не специальная космологическая модель, которая в ней обсуждалась, а развитый Леметром в этой работе принципиально новый подход к космологии. Впервые в этой работе с полной определенностью и основательностью было доказано и заявлено, что не звезды, как полагал Эйнштейн, а галактики — внегалактические туманности — являются основными структурными элементами Вселенной. В этом Леметр опирался на новейшие данные астрономии, и прежде всего на наблюдательные результаты, полученные Хабблом

С этими результатами Леметр имел возможность познакомиться самым непосредственным образом во время своей научной поездки в США в 1926 г. Он присутствовал на докладе Хаббла, посвященном новым измерениям красного смещения галактик. Очень важно, что Хаббл определенно считал галактики — уже с 1923 г. — гигантскими звездными системами, находящимися далеко за пределами нашей Галактики, Млечного Пути. Он не называл их тогда (да и позже) галактиками, а по-старому туманностями, но непременно добавлял при этом прилагательное «внегалактические». Это отражено и в названии работы Леметра 1927 г., идея которой пришла к нему, по его собственным словам, на докладе Хаббла. «Внегалактические туманности» — это ключевые слова и в названии и во всей работе.

Вселенная — это не мир звезд, а мир галактик. Кос-

мология обязана Леметру ясным осознанием этого фундаментального факта всей науки о природе, всего современного миропонимания.

Галактики представляют собой как бы молекулы, составляющие разреженный газ, который равномерно заполняет весь физический объем Вселенной. Такова трактовка Леметра той космической среды, которая фигурирует в моделях Вселенной. Этого не было ни у Эйнштейна, ни у Фридмана. Их модели содержали такую характеристику мира, как средняя плотность вещества, рассматриваемого в виде некоей сплошной среды. Но из чего именно состоит эта среда, каково ее физическое состояние, чем определяется ее плотность — все это оставалось до работы Леметра полностью неясным. И казалось, этим вопросам долго еще предстояло оставаться открытыми «ввиду скудости наших знаний об астрономической Вселенной», как всего за 3—4 года до того полагал Фридман. Общее расширение космической среды, разбегание ее «молекул», описываемое космологической теорией, Леметр ставит в прямое соответствие с открытием Слайфером и Хабблом удаления от нас внегалактических спиральных туманностей

Не ограничиваясь этим общим заключением Леметр находит теоретически закон наблюдаемого расширения мира — зависимость скорости удаления галактик от расстояния до них. Он выясняет, что, когда эти расстояния невелики (по космологическим масштабам т. е. когда они много меньше радиуса мира), скорость удаления прямо пропорциональна расстоянию. Открытая эмпирически Хабблом, эта зависимость носит в космологии название закона Хаббла и обычно записывается в следующем виде

$$v = Hr.$$

Здесь v — скорость удаления галактики, находящейся от нас на расстоянии r . Коэффициент пропорциональности в этом соотношении (H), называемый константой Хаббла, не зависит от направления на галактику. Такое равноправие всех направлений в законе расширения отражает факт высокой симметрии мира, изотропию его пространства и изотропию его динамики.

Леметр делает оценку величины коэффициента пропорциональности в законе расширения, исходя, как он пишет, «из обсуждения доступных данных». По тогдаш-

ним данным Хаббла, этот коэффициент составлял примерно 500 км/с на 1 мегапарсек в используемых с тех пор единицах измерения. Принимаемая сейчас величина в 5—10 раз меньше — между 50 и 100 км/с·Мпк. Но даже и независимо от конкретных цифр, которые могут и должны уточняться, нужно признать, что в работе Леметра сведения о движении галактик впервые были впрямую использованы для определения важнейшей космологической величины, характеризующей общую динамику Вселенной как целого.

Говоря об этом чуть подробнее, стоит напомнить, что скорость взаимного удаления двух галактик, находящихся в данный момент на расстоянии r друг от друга, есть производная от этого расстояния по (собственно-му) времени

$$v = \frac{dr}{dt}$$

С другой стороны, расстояние между галактиками r , как и все вообще расстояния в мире, изменяется пропорционально радиусу кривизны пространства, радиусу мира

$$r \sim R.$$

Отсюда должно быть ясно, что константа Хаббла характеризует не только и не просто движения тел, составляющих космическую среду, а определяет темп эволюции пространства — времени в масштабах Вселенной.

$$\frac{dR}{dt} \frac{1}{R} = H.$$

Найденная из наблюдений всего нескольких, по сути дела, галактик, величина константы Хаббла, как это демонстрирует Леметр, дает меру нестационарности всего наблюдаемого мира.

Это достижение Леметра вскоре получило самую высокую оценку мирового научного сообщества. Принципиальный вопрос наблюдательной космологии — вопрос о физическом состоянии космической среды и темпе пространственно-временной эволюции реальной Вселенной — был решен на основании астрономических данных. Космологическая теория обрела теперь надежный эмпирический фундамент.

◆ ФИЗИЧЕСКАЯ КОСМОЛОГИЯ

Как мы уже упомянули, Леметр не остановился в своих исследованиях на том специальном космологическом решении, которое он изучал в работе 1927 г и которое вызвало столь восторженную реакцию Эддингтона. Он ясно понимал, что космология как наука еще только начинается и стоящие перед ней дальнейшие задачи требуют новых усилий, свежих физических идей накопления и анализа все новых и новых наблюдательных данных о мире. Среди этих задач особенно важной представлялась ему работа по поиску той единственной космологической модели, которая могла бы точно соответствовать реальной Вселенной во всех ее наблюдаемых чертах. Этот поиск велся на основе и в рамках фридмановского решения 1922 г., описывающего нестационарную Вселенную, по словам Леметра, «во всей математической полноте». Указание на общность и математическую полноту решения Фридмана впервые появляется у Леметра в публикации 1931 г., а затем неоднократно встречается в его последующих работах.

В 30-е годы внимание космолога привлекают две модели, в которых начальное состояние не описывается моделью Эйнштейна, как в работе 1927 г., а представляет собою космологическую сингулярность. Эволюция расширяющейся Вселенной начинается в этих моделях с момента, «когда пространство было точкой», если снова вспомнить Фридмана, давшего в этих словах краткое и точное определение сингулярности. Одна из рассмотренных Леметром моделей не только начинается, но и кончается сингулярностью — это модель, в которой радиус мира сначала возрастает от нуля, а затем, после достижения максимального расширения, начинает убывать и за конечное время снова обращается в нуль. Более того, Леметр допускал, что возможно циклическое повторение следующих друг за другом фаз расширения и сжатия. Таких циклов может быть в принципе неограниченно много и в прошлом и в будущем мира. Модель рождающейся, умирающей и снова возрождающейся Вселенной Леметр называл феникс-моделью, по имени легендарной птицы, способной возрождаться из пепла. В этой модели остается невыясненным, однако, кардинальный вопрос — из какой причины происходит «возрождение» мира? В ней отсутствует физический меха-

низм смены сжатия расширением? Леметру было ясно, что физика сингулярного состояния — все равно какого, начального и исключительного, конечного или периодически повторяющегося — требует каких-то совершенно новых теоретических представлений, касающихся структуры и взаимодействия элементарных частиц, их влияния на динамику пространства — времени и т. п. Только в наши дни стали постепенно вырисовываться подходы к построению физики сингулярного состояния, которым еще предстоит доказать свою продуктивность, а тогда, в 30-е годы, это была задача и вовсе, скорее фантастическая, чем научная.

И тем не менее в феникс-космологии прозвучала одна важная идея: это идея о том, что в начальной фазе расширения вблизи космологической сингулярности вещество должно было быть исключительно горячим. Обратившись к той же идее через полтора десятка лет после Леметра, Г. А. Гамов построил на ее основе свою знаменитую теорию горячей Вселенной. В ней изучалась не сама сингулярность как таковая, а физика космической среды через несколько минут после начала расширения. В таком состоянии мира уже применима обычная термодинамика и обычная ядерная физика (последняя, впрочем, тогда еще только сформировалась, и Гамову первому пришла мысль применить ее в космологии) Одно из самых впечатляющих достижений теории Гамова — предсказание, что от горячего начального состояния мира должно сохраниться до наших дней термодинамически равновесное излучение, заполняющее всю Вселенную; оно было обнаружено в 1965 г. в виде общего радифона, обладающего исключительно высокой степенью изотропии, отражающей высокую пространственную симметрию самой Вселенной.

Замечательно, что некий прообраз этого гамовского предсказания был дан ранее Леметром. Он тоже ставил вопрос о том, что какие-то следы, материальные «остатки» исходного состояния мира должны присутствовать и в современной Вселенной. В качестве возможных кандидатов на эту роль он рассматривал космические лучи — потоки частиц высоких энергий, приходящие на Землю из космического пространства. Он выдвинул предположение, что космические лучи возникли задолго до галактик и звезд в том особом начальном состоянии мира, когда все его вещество было сжато до размера

атомных масштабов и весь мир представлял собою некий «первичный атом», обладающий к тому же «сверхрадиоактивностью». В этом «сверхрадиоактивном» распаде и родились, по мысли Леметра, наблюдаемые сейчас космические лучи, продукты распада «первичного атома». Оба взятые в кавычки понятия не были разработаны Леметром количественно, он предупреждал, что их не стоит понимать слишком буквально на манер обычных атомов и обычной радиоактивности. Это, скорее, гипотетические наглядные образы, чем точные физические представления. В уже цитировавшемся нами выступлении 1934 г. Леметр прибег и к другому, скорее, уже литературному, чем научному образу; он говорил, что космические лучи — это, возможно, лучи того грандиозного фейерверка, которым было ознаменовано рождение Вселенной.

Физика космических лучей получила совсем иное, не космологическое развитие. Однако исходная идея Леметра — искать в современном мире элементарные частицы особого рода, несущие информацию о первых мгновениях жизни Вселенной, — остается полностью актуальной. Именно в этом духе обсуждаются сейчас проблемы реликтовых частиц — не только фотонов, но и нейтрино, гравитонов, магнитных монополей, загадочных частиц «скрытой массы» и т. п.

Как ни странно, работы Гамова по теории горячей Вселенной не вызвали у Леметра видимого интереса. Годар рассказывает, что Леметр был знаком с этими работами, но на предложения установить научные контакты с группой Гамова всякий раз отвечал отказом; в его публикациях отсутствуют какие-либо упоминания о теории Гамова (последний же, кстати сказать, очень часто цитировал Леметра, много чаще, чем даже Фридмана, своего учителя по Ленинградскому университету).

Недавно один из авторов (М. Х.) и Годар разыскали в архиве Леметра рукопись обширного обзора по космологии, подготовленного Леметром в конце 30-х годов, по-видимому, для японской католической энциклопедии. События второй мировой войны помешали его публикации; сейчас он издан факсимильным способом в США. В этом обзоре дается широкая картина успехов космологии за два десятилетия ее существования. Очень значительное место отведено в нем трудам Фрид-

мана Леметр дает также изложение своих собственных научных результатов, рассказывает о Феникс-модели, о гипотезе космологического происхождения космических лучей; большое внимание уделено в обзоре еще одной космологической модели которую впоследствии стали называть моделью Леметра

В этой модели радиус кривизны мира изменяется от нуля до бесконечности, так что она описывает эволюцию, начинающуюся с космологической сингулярности и продолжающуюся неограниченно во времени. Это тоже, как отмечает Леметр, одна из возможностей, указанных впервые Фридманом. Отличительной чертой модели является существование трех этапов эволюции. На первом из них происходит расширение, сопровождающееся постепенным замедлением из-за действия собственной гравитации вещества. При этом плотность вещества, которая в самом начале была неограниченно большой, постепенно уменьшается и в определенный момент времени оказывается сравнимой с плотностью антигравитирующего вакуума. С этого момента начинается второй этап эволюции, на котором возникает приблизительное равновесие между гравитацией вещества и антигравитацией вакуума, расширение протекает очень медленно, так что создается состояние, похожее на статический мир Эйнштейна. Но расширение все же продолжается, и потому происходит дальнейшее падение плотности вещества на фоне неизменной, как всегда, плотности вакуума. В результате равновесие рано или поздно смещается в пользу антигравитации и наступает третий этап эволюции, который продолжается затем неограниченно долго. На этом «вакуумном» этапе расширение происходит в возрастающем темпе из-за ускорения, создаваемого антигравитирующим вакуумом.

К этой модели не раз обращались космологи в последующие годы в связи с разнообразными астрофизическими проблемами, причем самой острой из них — как и во времена Леметра — оставалась и остается до сих пор проблема возраста мира. В модели Леметра время, протекшее от начала расширения, зависит от длительности средней стадии эволюции, которая, в свою очередь, зависит, очевидно, от принимаемого значения космологической константы, а с ней и плотности вакуума. Судя по всему, требования к возрасту мира, выте-

кающие из нынешних оценок возраста звезд и звездных систем (а также и некоторых радиоактивных ядер в земных породах), заставляют рассматривать модель Леметра в качестве самого вероятного — на сегодняшний день — варианта космологической эволюции. Детальные численные расчеты, проделанные недавно на основании формул Фридмана — Леметра немецкими теоретиками Г. Клапдором и К. Гротцем, показывают, что современное состояние Вселенной соответствует, скорее всего, третьей стадии эволюции в модели Леметра. Если считать, что возраст мира не меньше 17 млрд. лет (как это и принимается в расчете немецких теоретиков), то окажется, что плотность вакуума в современную эпоху превышает плотность всех других форм вещества во Вселенной — ядер и электронов, из которых состоят звезды и галактики, фотонов любой природы, нейтрино, гравитонов, гипотетических реликтовых частиц, составляющих «скрытую массу». Это превышение над суммарной плотностью всех других форм вещества оценивается в 20—30%, если постоянная Хаббла равна 50 км/с·Мпк; при ее значении 75 км/с·Мпк превышение существенно больше — в 4—8 раз. Плотность вакуума составляет при этом по порядку величины 10^{-29} г/см³.

Стоит заметить, что оценку плотности вакуума, или космической пустоты, как он это называл (не придавая вакууму того физического смысла, который сейчас в него вкладывается, — как одной из форм вещества), приводил в своих работах 30-х годов и Леметр. Он пользовался принятым тогда завышенным значением постоянной Хаббла, а способ расчета был, по существу, тем же, что и сейчас. Действительно, на фазе ускоренного космологического расширения применимы — для приближенной оценки — формулы из первой работы Леметра. Из зависимости радиуса мира от времени, $R \sim$

$\sim \text{ch} \frac{t-t_0}{T_0}$, имеем при $t-t_0 > T_0$ приближенно

$$R \sim \exp \frac{t-t_0}{T_0} .$$

Тогда постоянная Хаббла

$$H = \frac{dR}{dt} = \frac{1}{T_0} .$$

По формуле для T_0 (см. выше) находим

$$\rho_v = \frac{e_v}{c^2} = \frac{3}{8\pi G T_0^2} = \frac{3}{8\pi G} H^2 = 5 \cdot 10^{-30} \left(\frac{H}{50 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}} \right)^2 \text{ г/см}^3.$$

Из тех же расчетов Клапдора и Гротца вытекает, что кривизна пространства положительна, как это всегда принималось Леметром, если плотность «скрытых масс» не менее чем вдвое превышает плотность светящегося вещества звезд и галактик. Согласно тому, что известно сейчас о «скрытых массах», это условие вполне можно считать выполненным.

Любопытно, что в упомянутом нами обзоре описание модели, носящей сейчас его имя, Леметр поместил в главе под названием «Фридмановские Вселенные».

В том же обзоре Леметр дает изложение и других результатов и идей, которые в разные годы были в сфере его научных интересов. Это прежде всего фундаментальная проблема космологической сингулярности, открытой в работах Фридмана.

«Является ли это особое начальное состояние неизбежным в эволюционной космологической теории?» — таков принципиальный вопрос, который с полной определенностью сформулировал в 30-е годы Леметр. Он пишет в обзоре, что однажды в частной беседе Эйнштейн высказал предположение, что сингулярность возникает, возможно, из-за заложенного в теории допущения об идеальной симметрии — однородности и изотропии — пространства. Проанализировав ряд моделей, в которых изотропия отсутствовала, Леметр пришел к заключению, что таким путем сингулярность вряд ли можно исключить. Это был, конечно, лишь предварительный, но — как оказалось позднее — совершенно правильный по существу вывод. В 70-е годы к нему пришли также В. А. Белинский, Е. М. Лифшиц и И. М. Халатников, построившие гораздо более общие, чем у Леметра, примеры космологических решений, в которых однородность и изотропия пространства отсутствовали, но сингулярность оставалась. Правда, на одном из промежуточных этапов этих многолетних исследований авторам казалось, что предположение Эйнштейна подтверждается, и в очередном издании знаменитой «Теории поля» Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица появился параграф под названием «Об отсутствии особенности в общем кос-

мологическом решении». Окончательный итог исследований в этом направлении был подведен строгой теоремой, доказанной Р. Пенроузом и С. Хокингом, которая утверждает, что сингулярность неизбежна в любой сколь угодно асимметричной космологической модели при выполнении ряда естественных физических условий

С начала 30-х годов внимание Леметра привлекла проблема образования галактик. Он первым четко и ясно поставил эту проблему в контексте эволюционной космологии и верно наметил пути ее решения. В качестве ключевого физического механизма формирования галактик из однородной расширяющейся догалактической среды Леметр рассматривал гравитационную неустойчивость. Этот процесс изучался ранее Дж. Джинсом применительно к образованию звезд, а первые указания на его природу и роль в космогонии восходят ещё к Ньютону. Следуя своему правилу давать по возможности не только общие соображения по проблеме, но делать и конкретные количественные разработки, Леметр изучил вопрос в рамках модели, носящей его имя. Он заметил, что неустойчивость, ведущая к распаду однородного вещества на протогалактические сгущения, эффективнее всего развивается на средней, замедленной стадии космологического расширения. Если эта стадия была в действительности достаточно продолжительной, то на ней могло бы произойти обособление сгущения масштаба скоплений галактик, дальнейшее дробление которых способно дать начало галактикам, а затем и звездам.

Идея гравитационной неустойчивости в расширяющейся Вселенной развивалась и обобщалась в последующие годы в работах Г. Гамова и Э. Теллера (будущего отца американской водородной бомбы) и особенно Е. М. Лифшица, построившего полную и строгую теорию гравитационной неустойчивости, служащую в наши дни основой всех многочисленных теорий образования галактик. Один из наиболее разработанных вариантов этих теорий — известная теория «блинов», основы которой были заложены Я. Б. Зельдовичем. Значительный вклад в изучение проблемы образования галактик внесли в последние годы Р. Дикке, Дж. Пиблс, Дж. Острайкер, М. Рис, Дж. Силк, Х. Сато и многие другие ведущие астрофизики наших дней.

За рамками нашего краткого рассказа осталось еще

немало других интересных и плодотворных идей, соображений, начинаний Леметра, которым тоже суждена была долгая и яркая жизнь в науке о Вселенной

Глава 3. КОСМОЛОГИЯ, ФИЛОСОФИЯ, РЕЛИГИЯ

«Леметр, которого я хорошо знал, сказал мне как-то, что, когда он попытался обсудить с Эйнштейном возможность более точно представить себе начальное состояние Вселенной, чтобы понять, быть может, природу космических лучей. Эйнштейна это не заинтересовало: «Это слишком похоже на акт творения, — сказал он Леметру, — сразу видно, что Вы священник» Это рассказ И. Пригожина из его выступления в 1979 г в Бельгийской королевской академии наук, членом которой был в свое время и Леметр

«Фридман, ...признавая бесконечность пространства и массы Вселенной, доходил в то же время до некоторых идеалистических выводов в других вопросах космологии». А это Большая Советская Энциклопедия (изд. 2-е, синее).

Шутливое замечание великого физика, как и весьма строгая фраза БСЭ (которая могла бы обернуться для нашего героя нешуточными последствиями, будь он в конце 40-х — начале 50-х годов, когда готовился соответствующий том, в пределах, так сказать, досягаемости), вряд ли дают основания для сколько-нибудь ответственного суждения о мировоззренческих представлениях основоположников космологии, но какая-то доля истины в них, несомненно, есть. Ни тот ни другой не был профессиональным философом и не оставил никакого систематического описания своих «некосмологических» взглядов на мир. По университетскому образованию оба они математики и механики, для обоих второй наукой — для Фридмана, собственно, первой — была теоретическая метеорология. Лишь по отдельным кратким высказываниям, очень немногочисленным у рано умершего Фридмана, немного более частым у Леметра, прожившего почти вдвое более долгую жизнь, можно попытаться составить представление об установках, предпочтениях, привязанностях в вопросах общего характера, в философских проблемах, связанных с научной космологией.

РУССКИЙ ПРОФЕССОР

Фридмана отличала, прежде всего, широта взглядов, воспитанная традиционной культурой русской интеллигенции, питавшаяся наследием всей мировой культуры. В его научно-популярной книге можно найти цитаты из Блаженного Августина, христианского богослова и философа IV—V вв., много размышлявшего, в частности, о природе времени и его восприятии человеком. Его высказывания на эту тему Фридман считал «поразительными» по глубине и пронизательности. «Вся мерою и числом сотвори еси» — эти слова из «Книги Премудрости Соломоновой», входящей в православный свод Ветхого Завета, взяты Фридманом в качестве эпиграфа к одной из глав книги. Это не были случайные украшения, внесенные «для разбавления» в сложный, научный по содержанию текст. Христианская традиция была для него, судя по всему, живым и естественным элементом жизни, мироощущений, знаний и образованности. В зрелые годы он был, по словам его современников и друзей, далек от церкви; но при рождении был крещен, как и его отец с матерью, его деды и бабки, в год смерти венчался в церкви с Натальей Евгеньевной Малининой («Чтоб крепче было», — сказал он ей тогда), похоронен на Смоленском православном кладбище; на могиле его стоит скромный крест.

С библейской премудростью соседствует в книге Фридмана античная ученость: «Время есть число движения» — еще один эпиграф, на этот раз из Аристотеля. Фридман вспоминает в своей книге и древнеиндийскую мифологию — представление о повторяющихся циклах жизни приходит ему на ум, когда он говорит о циклической, пульсирующей Вселенной как одной из моделей мира, допускаемых его теорией.

Большим вопросом философии всегда считался вопрос о конечности и бесконечности мира. Читая статьи и книгу Фридмана, легко заметить, что его подход к этому вопросу свободен от каких-либо заранее принятых установок научного или философского характера. Как мы уже говорили в гл. 2, он решительно возражает Эйнштейну, когда тот принимает в качестве исходного постулата космологии конечность физического объема Вселенной, которую он считает обязательным свойством реального мира. Фридман отрицает вывод о конечности

Вселенной не как неверный, а как необоснованный — для такого заключения ни общая теория относительности, ни первые принципы физики, ни тем более астрономические наблюдения не дают никаких оснований. Пожалуй Вселенная с бесконечным пространством нравится ему больше, но только, так сказать, в пику Эйнштейну Большая Советская Энциклопедия его в этом одобряет диалектический материализм тоже считает Вселенную бесконечной. Так сказано у Энгельса. Не знаем, слышал ли об этом Фридман, но если бы услышал, то наверняка спросил бы, откуда Энгельс об этом узнал. (Согласно студенческому анекдоту на похожую тему ему сказал Маркс.) Для научного вывода о бесконечности Вселенной тоже — и по тем же причинам — нет оснований. Это было совершенно ясно Фридману любое суждение на этот счет, подчеркивал он, есть не более чем произвольная дополнительная гипотеза, которая на существующем — и в его время, и теперь — уровне развития науки не может быть ни доказана, ни опровергнута. В этом смысле вопрос о конечности и бесконечности мира остается философским — он не стал еще естественнонаучным, хотя современная космология и внесла в его анализ ряд принципиально новых и глубоко нетривиальных идей — немало, в общем, такого «что и не снилось нашим мудрецам»

В изучении пространственных свойств мира, как и в исследовании его эволюционного поведения, Фридман конструктивно действует в духе научного реализма, принятого им от своих учителей в науке. Достойный питомец Петербургской математической школы, славной именами Чебышева, Маркова, Ляпунова, Стеклова (его прямого учителя), Фридман, по-видимому, не особенно ломал себе голову над тем, познаваем ли мир в принципе или нет. Он просто и непосредственно познавал его в ежедневных напряженных трудах и был счастлив этим, полностью осознавая настоящее значение своих научных достижений «Говорили, что он сам не понимал сделанного им Чепуха! Он прекрасно знал, что он такое» Это сказал в беседе с одним из авторов (А Ч.) ученик Фридмана по физико-механическому факультету Политехнического института Г. А. Гринберг, ныне член-корреспондент АН СССР.

«Идеалистические выводы», которые БСЭ приписала Фридману, не вдаваясь в них конкретно, касаются

надо думать, космологической сингулярности. Еще бы, он математически доказал, что у мира было начало, а возможно, и будет конец. В своей книге он прямо говорил о «сотворении мира из ничего». Этого официальная идеология не могла ему простить — математик замахнулся, можно сказать, на святая святых Учения, о котором известно, что оно всеильно, потому что верно.

Профессиональных философов, которые могли бы объяснить, что к чему, в 20-е годы было уже почти не слышно. Одних увез из России печальной памяти «философский пароход», отчаливший из Кронштадта в 1921 г.; среди его недобровольных пассажиров был профессор Карсавин, философ, ректор Петроградского университета, где ранее учился, а тогда преподавал Фридман; другие надолго или навсегда замолчали. А новые «кадры», которые созрели к 30—50-м годам, были уже специалистами, как говорилось, «особого склада, скроенными из особого материала». Они были вполне способны вообразить, что Фридман и впрямь предъявил математическое доказательство акта творения. Подобная мысль могла поразить и не такие умы, она увлекала в те годы людей куда более просвещенных и подготовленных (см. ниже).

«Связь с философией делает космологию важным участком борьбы материалистической науки против идеализма и фидензма. Эта борьба шла на всех этапах развития знаний, обостряясь в эпохи наиболее ожесточенной классовой борьбы», — авторитетно утверждает статья БСЭ, которую мы уже цитировали. Как понимались эта «связь» и эта «борьба» воинствующими материалистами сталинских лет, можно видеть хотя бы по примерам более конкретных высказываний на эту тему из литературы 30—50-х годов.

«Еще в 1931 г. в «Успехах физических наук» разоблаченный ныне контрреволюционер М. Бронштейн выступил со статьей, рекламировавшей «космологическую» страпню Леметра как образец «замечательной» теории. Можно было бы удивляться демагогии и маскировке, с помощью которых советскому читателю навязывается здесь обветшалое поповское учение, если бы подобные приемы не входили в общую тактику вредительской банды, засылаемой вражеским окружением на разные участки нашего культурного, научного и хозяйственного

фронта» (Под знаменем марксизма — 1938. — № 7 — С. 137—167). Автора этого лихого пассажа видели недавно, вполне бодренького, на Невском у автомата с газированной водой.

Лет десять или больше подряд, считая с середины 40-х годов, ни одна публикация, хоть как-то затрагивающая космологию, не обходилась, кажется, без цитаты из А. А. Жданова. В 1946 г он сказал следующее: «Современная буржуазная наука снабжает поповщину, фидеизм новой аргументацией, которую необходимо беспощадно разоблачать. Многие последователи Эйнштейна.. договариваются до конечности мира, до ограниченности его во времени и пространстве, а астроном Милн даже «подсчитал», что мир создан два миллиарда лет назад». Похоже, главный идеолог и в самом деле полагал, что научные аргументы работают в пользу «поповщины, фидеизма»

А вот фраза из книги, вышедшей в издательстве Ленинградского университета в год XX съезда: «Метафизический, искусственный и откровенно поповский характер в еще большей мере свойствен космологической схеме нестатической Вселенной Леметра, математическая формулировка которой получена профессором А. А. Фридманом. Советскими учеными решительно отмечаются как несоответствующие действительной науке все мракобесные вымыслы буржуазных космологов о конечности материального мира во времени и пространстве»

К тому времени, когда все это писалось и говорилось космология в СССР была фактически ликвидирована. То, что с нею произошло, ни к какой философии отношения уже не имело. В стране шло истребление свободной мысли, шла война против народа. В этой войне страдали и гибли друзья, коллеги, последователи Фридмана. М. П. Бронштейн, автор первого в советской литературе научного обзора по космологии, создатель теории гравитонов, был арестован в 1937 г. и расстрелян совсем молодым. Л. Д. Ландау, его соавтор по одной из космологических работ, чудом избежал этой участи благодаря исключительно по смелости заступничеству П. Л. Капицы, директора его института. Профессору Я. Д. Тамаркину, ближайшему другу и соавтору Фридмана, а позднее и Г. А. Гамову пришлось уехать из страны. Долгие годы провел в лагерях профессор Ю. А.

Крутков, который в 1923 г. в беседах с Эйнштейном убедил его в правильности работы Фридмана («Победил Эйнштейна в споре о Фридмане», — как он писал из Лейдена в Петроград). Коллеги и старшие товарищи Фридмана по университету профессора В. К. Фредерикс, В. Р. Бурсиан, Л. В. Шубников погибли в тюрьмах; их судьбу разделили астрономы, пулковские коллеги Фридмана. Сам он до массового террора не дожил. Его нельзя было уже заставить публично отречься от новой космологии, а затем и уничтожить. Уничтожению подлежали, однако, его теория, память о нем, его имя. В ход была пущена лживая легенда о нем как о провинциальном чудачке-математике, оторванном от настоящей науки, который и сам не понимал, что он вычислял, отголоски этих нелепостей иногда еще слышны и сейчас.

«Имя Фридмана до сих пор (1963 г. — М. Х., А. Ч.) было в незаслуженном забвении. Это несправедливо и это нужно исправить. Мы должны увековечить это имя», — говорил П. Л. Капица, выступая в Академии наук СССР по случаю 75-летия Фридмана. К счастью, космология на его родине смогла возродиться, а известность первого космолога, его слава год от года набирают силу.

БЕЛЬГИЙСКИЙ АББАТ

Леметр был современником, главным участником свидетелем многих событий в космологии на протяжении почти полувека ее истории. Всеобщее признание досталось ему гораздо легче, чем Фридману и что куда важнее, еще при жизни. В свои зрелые а затем и преклонные годы он нередко выступал с лекциями и публикациями в которых вместе с научным одержанием имелись еще и соображения общего характера. Впрочем, как показывают материалы его архива он и смолоду имел склонность к философским размышлениям. Среди его бумаг сохранился рукописный реферат посвященный философским вопросам теории относительности, составленный в 1922 г., когда Леметр был слушателем духовной семинарии и изучал теологию. Он явно находился под влиянием эйнштейновской философии науки, увлекался и восхищался ею.

Известно что самым удивительным на свете Эйнштейн считал познаваемость Вселенной, возможность

изучения физического мира методами науки; изумление перед этим фактом он испытывал всю свою жизнь. Это и был основной мотив его философии науки. Молодой Леметр живо разделял эти чувства. В реферате он говорил о том, что удивление при соприкосновении с новым и странным в природе служит не только побудительным мотивом научных исследований, но, возможно, и вообще необходимым условием реального прогресса науки. Вместе с этим нужен, разумеется, и трезвый объективный анализ конкретных фактов. Комбинация того и другого позволяет исследователю избежать крайностей, как пишет Леметр, «мечтательного идеализма» и «стерильного позитивизма». От внешней загадочности и странности явлений научная мысль движется к внутренней гармонии, логике и простоте физического мира.

Познаваемость мира приобретает для космолога особое, специфическое значение. Это связано прежде всего все с той же проблемой конечного — бесконечного. Вот какое рассуждение предлагает обсудить Леметр в своем реферате. Примем в качестве исходной посылки, что мир познаваем, т. е. обладает простотой, доступностью для человеческого ума. Но может ли быть понятна нам бесконечность? Нет, она очевидным образом выходит за рамки человеческих возможностей понимания. Наш ум не может по-настоящему осознать бесконечность пространства и бесконечность времени. Тем не менее решение научной задачи требует от космолога определенного ответа. Он должен сознательно взвесить обе возможности — конечность и бесконечность и сделать выбор между ними. Каким же должен быть этот выбор? Леметр говорит, что осмысленным может быть по-настоящему только один ответ: мир конечен. В противном случае пришлось бы утверждать то, что само по себе выходит за рамки понимания. Итак, если Вселенная познаваема, она должна быть конечной во времени и пространстве.

Это умозаключение способно, несомненно, произвести сильное впечатление. Конечно, нужно было бы еще выяснить, что в действительности означает здесь «осознавать». Ведь математики, например, — а вспомним, что по исходному образованию Леметр именно математик, — свободно и разнообразно оперируют в своей науке с бесконечностями, нисколько не затрудняясь в их «понимании» и «осознании». Формальный аппарат в та-

ких математических операциях может быть и совсем простым, и каким-то более изощренным, но если его освоить, то можно потом конструктивно работать с бесконечностями, не призывая всякий раз воображение, чтобы их еще и как-то специально «осознавать». Чаше всего бесконечное — это просто нечто очень большое по сравнению с чем-то другим, что принято за единицу, за исходную мерку. Собственно, так именно и обстоит дело с бесконечностями в физике, во всех науках о природе. Но только не в космологии: в этой науке приходится иметь дело не с чем-то очень большим по сравнению с чем-то другим, т. е. с формальной бесконечностью, а с бесконечностью по существу, с настоящей бесконечностью как таковой. Вот это, считает Леметр, и есть основной вопрос космологической науки, главная загадка мира, которая разрешима лишь в том случае, если в действительности никакой бесконечности и нет.

Как мог бы отнестись к подобному рассуждению Фридман, который как раз в том же 1922 г. тоже много размышлял о тех же проблемах, но уже в духе новой космологии? Можно предполагать, что он вряд ли безоговорочно принял бы это умозрительное доказательство конечности мира. Для него в таких вопросах важнее всего был, как мы уже знаем, эксперимент, реальный или мысленный. Нетрудно представить себе мысленный эксперимент в конечном пространстве, доказывающий ограниченность его объема. Образцом здесь мог бы послужить эксперимент с воображаемым путешественником, о котором Фридман говорил в связи с вопросом о топологии мира (см. гл. 2). Но можно ли придумать мысленный эксперимент в бесконечном пространстве, способный доказать бесконечность его объема? Путешественники тут очевидно, уже не помогут сколько бы они не удалялись от исходного пункта, в каждый момент времени пройденный ими путь будет конечным; они могут сообщить о длине этого пути, но ничего не скажут о том какой путь предстоит им еще впереди. Прямой мысленный эксперимент с измерением длин не способен доказать бесконечность мира. Но может быть, бесконечность и вообще никак нельзя доказать эмпирически, экспериментально? Если так то, пожалуй, в духе «стерильного позитивизма» нужно заключить, что раз это недоказуемо, значит, этого и нет в природе.

Но вспомнив об одной из «крайностей», о которых

писал Леметр, не забудем тогда уже и о другой. В духе «мечтательного идеализма» предпочительна, скорее, бесконечность, чем конечность: она загадочна и вызывает человека на новые умственные усилия, пробуждает в нем воображение и интуицию, зовет к выходу за привычные рамки простого здравого смысла и т. д. Она не так уж и чужда человеку, ведь это он сам придумал ее, в конце концов. Можно сказать, что бесконечный мир притягателен для человека своей новизной и нетривиальностью, хотя и не постижим как единое целое с помощью имеющихся в его распоряжении наличных или воображаемых средств исследования. Как сказано в «Фаусте», «Вселенная во весь объем доступна только Провиденью».

Вернемся, однако, к исходной посылке, принимаемой Леметром. Он считает, что мир постижим. Но обязательно ли думать, что в действительности существует столь прямая связь между общим устройством мира и познавательной способностью человека? «Знает» ли вообще мир о человеке, чтобы еще «устроить» свои свойства доступным его уму способом? Пожалуй, эти вопросы не проще, чем те вопросы космологии, из которых они возникают в такого рода рассуждениях. Они и не проще, и даже, может быть, еще интереснее, таинственнее и увлекательнее, чем вся космология. Потому что, согласно Паскалю, в конечном счете интереснее всего человек.

Леметру представлялось, что тезис о познаваемости мира естествен и прост; во всяком случае, он может служить хорошей рабочей гипотезой для космолога. С современной точки зрения в этом подходе можно усмотреть нечто близкое к антропному принципу, который сейчас живо обсуждается в физике, космологии, философии. Согласно одной из простейших его формулировок наша Вселенная устроена так, как она устроена, потому что в противном случае это была бы уже не наша Вселенная. Или, как говорил А. Л. Зельманов, мы являемся свидетелями данных событий потому, что другие события протекают без свидетелей. В любой возможной формулировке этот принцип фиксирует весьма жесткую связь между устройством мира и возможностью самого нашего существования в нем. В пользу такого рода связи приводится ряд весьма веских аргументов, но какова природа этой связи, остается полностью неизвестным ни

в физике, ни в космологии, ни в философии. Если заменить простое существование человека на нашу способность познавательной деятельности, то возникнет, так сказать, когнитивный вариант антропного принципа, в существе своем в точности совпадающий с тем, что говорил Леметр: мир таков, каков он есть, ибо в противном случае он был бы нам непонятен. Или, конкретнее, мы живем в конечном мире, потому что бесконечный мир для нас непостижим.

Суждение о познаваемости и конечности мира имело, судя по всему, немалое значение для Леметра. Он следовал ему не только в молодые годы. Спустя почти 20 лет после записей 1922 г., он говорил: «Вселенная не слишком велика для человека; она не превосходит ни умственные возможности человека, ни способности человеческого духа». Этот тезис присутствовал и в его выступлении на Сольвеевском конгрессе в 1958 году. Эту его точку зрения разделяли видные космологи и философы на Западе.

Леметр считал, что бесконечное пространство и бесконечное время — это атрибуты классической, ньютоновой физики, которые исчезают в новой релятивистской физике с эйнштейновской концепцией пространства — времени. Мир физики Ньютона и в самом деле не знает ограничений на пространственные расстояния и длительности промежутков времени. Абсолютное пространство у Ньютона — это трехмерное евклидово пространство, объем которого бесконечен. Время у Ньютона течет вечно, не имея начала в прошлом и конца в будущем оно тоже абсолютно. Под абсолютностью понимается независимое и неизменное всюду и везде существование, не обязанное ничему иному, кроме самого себя. Леметр полагал, что новая космология устраняет эти бесконечности тем, что лишает пространство и время их абсолютного характера. Действительно, пространственно-временные свойства мира зависят теперь от распределения и движения вещества. При этом бесконечность пространства исчезает и заменяется конечным, ограниченным объемом пространства положительной кривизны, которое к тому же легко вообразить по аналогии с обычной сферой. (Как мы уже говорили, Леметр считал, что конечность пространства требует именно положительной кривизны; Фридман на это возразил бы, что и при положительной кривизне объем пространства может быть

бесконечным, как, например, в бесконечнолистной сфере.)

Что касается бесконечности времени, то и эта проблема может быть снята в новой космологии, если рассматривать модели с начальной сингулярностью, которая находится от нас на конечном временном интервале в прошлом. Сингулярность служит естественным началом отсчета времени: временной поток рождается в ней вместе со всей Вселенной. Теперь можно понять, почему столь важным и привлекательным для Леметра был его собственный научный результат, утверждающий неизбежность космологической сингулярности, полученный им как бы в опровержение замечания Эйнштейна о том, что сингулярность может исчезнуть в моделях с более низкой симметрией (см. гл. 3).

Вспомним здесь и о другом замечании Эйнштейна, о его шутке в разговоре с Леметром о начальном состоянии Вселенной. Вопрос о разных интерпретациях начальной сингулярности обсуждался тогда и космологами, и философами, и теологами. Теологическая интерпретация сингулярности как указание на акт божественного творения была действительно весьма распространенной в 30—50-е годы на Западе. К ней вполне определенно склонялись такие известные исследователи, как Э. Милн, Дж. Джинс, Э. Уиттекер. Это были люди высокой учености и культуры. Только в представлении невежественных «бойцов идеологического фронта», выполнявших вполне определенный социальный заказ, — эти свободные и просвещенные мыслители могли быть «мракобесами», как их нередко именовали. (Забавно, что «бойцы» сражались не с той или иной интерпретацией сингулярности, а как бы с ней самой.) Принято было считать, что приоритет в теологическом толковании сингулярности принадлежит Леметру, что первый космолог Запада рассматривает существование сингулярности в качестве научного доказательства сотворения мира Богом.

Это, однако, не так. В вопросе о сингулярности, как и в других принципиальных вопросах космологии, Леметр придерживался той точки зрения, что не следует проводить слишком прямолинейную связь между фактами науки и теологическими, религиозными представлениями. Он говорил о двух уровнях познания — научном и религиозном, которым отвечают разные способы

рассуждений, разный образ мыслей. Не нужно смешивать одно с другим, не стоит произвольно соединять, сочетать, выстраивать в одну цепочку аргументы разной природы. Наука не нуждается в «гипотезе Бога» для того, чтобы заполнять бреши в объективном знании. Вместе с тем вера в акт творения не нуждается в естественнонаучных аргументах, сколь бы привлекательными они ни казались. Конечно, каждый человек волен интерпретировать те или иные научные теории либо в материалистическом, либо в теологическом духе. Не следует, однако, при этом забывать, что в таких интерпретациях мы уже выходим за пределы науки. Вне науки в области религии или философии любой факт науки может предстать и в материалистическом и в религиозном обличье — так часто и происходит. Но не стоит искать в науке ни обоснования религиозных доктрин, ни доказательств, например, преимущества материализма над идеализмом.

Говоря об эволюционной космологии на Сольвеевском конгрессе, Леметр заметил: «Насколько я понимаю, такого рода теория остается полностью в стороне от любых метафизических или религиозных вопросов.

Она оставляет материалисту свободу отрицать любое трансцендентное Бытие. Он может с тем же умонастроением относиться к самым глубинам пространства — времени, что и к событиям в несингулярных местах пространства — времени.

Для человека верующего это отводит любую попытку более близкого знакомства с Богом... что созвучно с изречением Исайи, гласящем о «Скрытом Боге», скрытом даже в начале творения».

В уже упоминавшемся обзоре для японской энциклопедии Леметр пишет о сингулярности: «Мы можем говорить об этом событии как о начале. Я не говорю о творении. С точки зрения физики это начало в том смысле, что если что-либо и происходило раньше этого события, оно не имело никакого наблюдаемого влияния на поведение нашей Вселенной. Вопрос о том, было ли это действительно начало или скорее творение, когда нечто возникло из ничего, есть вопрос философский, который не может быть разрешен никакими физическими или астрономическими соображениями».

Мы не можем здесь, разумеется, сколько-нибудь основательно входить в сложную проблему взаимоотноше-

ний науки и религии, науки и философии, имеющую огромную литературу, требующую даже для краткого обсуждения много больше места, чем это позволяет наша брошюра. (Это только у Остапа Бендера в его диспуте с ксендзами все было ясно и коротко: «Эй вы! Бога нет, это медицинский факт!») Наша задача гораздо уже — мы хотели бы обрисовать лишь позицию космологов в конкретных вопросах, которые ставила перед ними их наука и которые побуждали их к размышлениям общего характера о мире и человеке в мире. Замечательно, что о самых главных из них очень ясно, самым простым языком сумел сказать Леметр, и мы можем приводить цитаты из его статей и лекций, которые не требуют специальных дополнительных разъяснений и комментариев. Вот еще несколько кратких его высказываний.

Леметр не раз говорил о том, что «...высшую цель человеческой деятельности составляет поиск истины. Этим мы отличаемся от животных, у нас имеется особая ловкость схватывать истину во всех ее формах». Поиски научной истины должны быть свободными, независимыми от давления любой идеологии или религии.

О роли Церкви (католической), о ее отношении к науке Леметр писал: «Как может Церковь быть незаинтересованной в самом благородном из человеческих занятий, а именно в поисках истины». Но это требует вместе с тем и большой ответственности: лучше Церкви вообще не участвовать в человеческих поисках истины, чем делать это плохо.

Коснувшись в одном из выступлений конца 30-х годов судьбы Галилея, Леметр сказал, что это был «пример прискорбного упадка уважения к принципу автономии науки».

О позиции ученого-христианина он писал:

«Его методы исследования те же, что и у его неверующих коллег. В некотором смысле исследователь отрешается от своей веры, когда ведет научную работу. Он поступает так не потому, что вера могла бы вовлечь его в какие-то затруднения, а потому просто, что она не имеет ничего общего с научной деятельностью».

И все же, надо думать, каждый человек живет, чувствует, мыслит как существо цельное; он может сознательно проводить границу между научными и мировоззренческими установками, но реально ее вряд ли удается провести слишком четко и резко. Возможно, и Ле-

метр в своих эвристических усилиях, интуитивных догадках не избегал влияния мировоззренческого «фона». Можно, в частности, предположить, что его представления о познаваемости Вселенной человеком питались внутренним ощущением единства человека и мира, общности их природы в духе библейской поэмы творения. Сам Леметр об этом не говорил. Но однажды он заметил, что у исследователя-верующего есть как бы дополнительный источник вдохновения, источник научного оптимизма.

Подчеркивая необходимость отделения науки от веры или идеологии, Леметр вместе с тем полагает, что не стоит впадать в «недоразумение, которое противопоставляет науку вере». За последнее, «возможно, несут ответственность и сами теологи», когда они пренебрегают знакомством с текущими достижениями науки (это замечание сделано в выступлении перед учеными-богословами). Он писал:

«Нельзя считать, что космология не имеет значения для философии. Философия и теология, когда их удерживают в изоляции от научной мысли, превращаются либо в отсталую, погруженную в саму себя систему, либо становятся опасной идеологией».

До Леметра доходили, вероятно, какие-то сведения о многолетней идеологической кампании в СССР вокруг космологии, вокруг его имени. Он не отвечал на нападки, не вступал в идеологический спор. И в более спокойные времена, и в годы «холодной войны», разделившей мир и ученых «железным занавесом», Леметр неизменно следовал гуманистическим традициям, чуждым узости, враждебности и непримиримости. Поиск истины в науке и жизни всегда оставался для него высшей и благородной целью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В книге «Краткая история времени», вышедшей недавно несколькими изданиями на разных языках, Стивен Хокинг, один из самых известных современных космологов, пишет, что расширение Вселенной, по существу, «могло бы быть открыто в XIX или XVIII веках, даже в конце XVII века на основе ньютоновской теории тяготения. Но вера в статичность Вселенной была столь сильной, что она перешла и в начало XX века. Даже

Эйнштейн при создании общей теории относительности в 1917 г. был настолько уверен в статичности Вселенной, что специально модифицировал свою теорию таким образом, чтобы она допускала статичность мира... Похоже, что только один человек пожелал тогда принять общую теорию относительности такой, как она есть, и пока Эйнштейн вместе с другими физиками был озабочен тем, как избежать нестатичности, русский физик и математик Александр Фридман принял ее и дал ей объяснение. Действительно, в 1922 г., за несколько лет до открытия Эдвина Хаббла, Фридман теоретически предсказал в точности то, что позднее нашел Хаббл!».

Мы привели эту цитату из книги Хокинга для того, чтобы показать, какова новая, сформировавшаяся в последние годы и ставшая теперь, по-видимому, общепринятой в мировом научном сообществе точка зрения на место и роль Фридмана в истории науки о Вселенной. Это изменение взглядов произошло не случайно и не само собой. После десятилетий почти полного забвения труды Фридмана вновь привлекли внимание физиков и астрономов в 1963 г., когда журнал «Успехи физических наук» посвятил специальный выпуск 75-летию со дня рождения Фридмана. Журнал напечатал яркую статью Я. Б. Зельдовича с исключительно ясным и очень простым изложением основных результатов фридмановской космологии, которая получила большой резонанс как среди советских ученых, так и за рубежом (журнал выходит в США в английском переводе). В том же выпуске были помещены биографическая статья П. Я. Полубариновой-Кочиной, большой обзор актуальных проблем космологии, написанный Е. М. Лифшицем и И. М. Халатниковым и основанный на их оригинальных работах о характере космологической сингулярности и гравитационной неустойчивости в мире Фридмана. Тогда же в издательстве АН СССР в серии «Классики науки» был выпущен сборник избранных трудов А. А. Фридмана. Начиная с этого времени, всеобщий интерес к трудам и личности Фридмана неизменно нарастал. Очень значительный вклад в разработку и популяризацию фридмановского научного наследия внесли в 60—80-е годы Я. Б. Зельдович и его ученики, среди которых нужно назвать прежде всего И. Д. Новикова, автора нескольких научно-популярных книг по космологии, выходящих в СССР и за рубежом, соавтора Зельдовича по

фундаментальной монографии «Строение и эволюция Вселенной»

Большим событием для космологов всего мира стала Международная фридмановская конференция, которая проходила в 1988 г. в Ленинграде по случаю 100-летия основоположника современной космологии. Во многих выступлениях ведущих ученых мира прозвучала тогда высочайшая оценка трудов Фридмана, значение которых становится по-настоящему ясным лишь сейчас, когда за годы и десятилетия своего развития космология раскрыла в большой полноте истинный масштаб научного подвига Фридмана. «Мы все живем в состоянии огромного потрясения от того, что сделано Фридманом», — сказал на конференции А. Д. Сахаров. К юбилею ученого была в том же году выпущена научно-биографическая книга «Александр Александрович Фридман. Жизнь и деятельность», написанная Э. А. Тропном, В. Я. Френкелем и одним из авторов данной брошюры (А. Ч.). Благодаря блестящей книге Хокинга (в газетах и журналах ее называют международным бестселлером № 1), другим научно-популярным публикациям на разных языках имя Фридмана становится сейчас известным не только специалистам, но и широкой читающей публике во всем мире. Слава Фридмана набирает силу, а его научное открытие осознается, по словам Хокинга, как «одна из великих интеллектуальных революций XX века».

Но вот парадокс: если в 30—60-е годы имя Фридмана оставалось как бы в тени, а первым космологом всюду считался Леметр, то теперь происходит другой и столь же несправедливый перекося — имя Леметра все реже и реже появляется на страницах научных и популярных изданий по космологии. В той же книге Хокинга, где Фридману и его трудам посвящены многие страницы, Леметр вообще, как ни странно, не упоминается. Между тем новая слава Фридмана не должна, да, конечно, и не может затмить Леметра и его огромный вклад в науку о Вселенной. Никто не может отрицать, что после смерти Фридмана он был наиболее последовательным сторонником фридмановского, эволюционного взгляда на мир; именно Леметру посчастливилось осуществить грандиозный синтез теории расширяющейся Вселенной с новой астрономией нашего века. Он первым остро ощутил связь самой абстрактной, ка-

кой она тогда всем представлялась, космологической идеи с тем, что реально видели в свои телескопы астрономы-наблюдатели. Не только теоретические возможности тогда только-только появились в космологии — совсем новыми и далеко еще не всеми осознанными были тогда и новые возможности наблюдений на первых крупных телескопах, таких, как телескоп Хаббла, вошедший в строй в 1918 г. Достаточно сказать, что и сам Хаббл не очень-то склонялся в пользу космологической интерпретации своего открытия: он предпочитал считать, что обнаруженное им красное смещение в спектрах далеких галактик свидетельствует не об удалении от нас этих объектов а скорее, о «старении» света по дороге от них к нам. Возможно, это сейчас уже и трудно вообразить, но в конце 20-х годов космологическая теория и астрономические наблюдения воспринимались как нечто, относящееся как бы к совсем разным наукам. Соединение одного с другим произошло отнюдь не само собой — тут потребовались немалые интеллектуальные усилия, настоящее научное прозрение, свободное от догматических пут, научная фантазия, широкая образованность. Эти редкие качества и проявил молодой космолог Леметр, опередив в развитии новых взглядов на Вселенную и Эйнштейна, и своего учителя Эддингтона, и других теоретиков и астрономов, которые, впрочем, вскоре присоединились к выработанной Леметром новой точке зрения. Именно Леметр со всей определенностью и полной уверенностью провозгласил, что Вселенная — это не мир звезд, а мир галактик. Он первым раскрыл физический смысл той космической среды, которая фигурировала в теории Фридмана и в динамике которой является общая динамика расширяющегося мира: это среда, «молекулами» которой являются целые галактики, это «газ» галактик. Все дальнейшее развитие космологии полностью подтвердило правоту Леметра. Его классические труды вдохновляли и еще долго будут вдохновлять новые поколения исследователей Вселенной.

Мы хотели бы надеяться, что эта брошюра, в которой рассказывается о научном творчестве двух классиков науки XX в., даст возможность и основания верно и объективно оценить выдающийся вклад в мировую науку и культуру этих замечательных ученых, стоявших у истоков современной космологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков И. Д. Эволюция Вселенной. — М.: Наука, 1990.
2. Шаров А. С., Новиков И. Д. Человек, открывший взрыв Вселенной. — М.: Наука, 1989.
3. Ефремов Ю. Н. В глубины Вселенной. — М.: Наука, 1984.
4. Розенталь И. Л. Геометрия, динамика, Вселенная. — М.: Наука, 1987.
5. Чернин А. Д. Вращение галактик. — М.: Знание, 1990.
6. Зельдович Я. Б., Хлопов М. Ю. Драма идей в познании природы. — М.: Наука, 1988.

Научно-популярное издание

Хеллер Миханя
Чернин Артур Давыдович

У ИСТОКОВ КОСМОЛОГИИ ФРИДМАН И ЛЕМЕТР

Гл отраслевой редактор *Г. Г. Карвовский*
Редактор *И. Г. Вирко*
Мл редактор *С. С. Латрикеева*
Обложка художника *К. С. Гуреева*
Худож редактор *К. А. Вечерин*
Техн редактор *Н. В. Клецкая*
Корректор *С. П. Ткаченко*
ИБ № 11731

Сдано в набор 27.05.91. Подписано к печати 06.08.91. Формат бумаги 84×108^{1/2}.
Бумага тип № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл печ л 3,36.
Усл кр-отт 3,57. Уч изд л 3,47. Тираж 14 296 экз. Заказ 781. Цена 40 коп.
Издательство «Знание» 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д 4.
Индекс заказа 914208.
Типография Всесоюзного общества «Знание» Москва, Центр Новая пл., д 3/4.

1873-189

Дорогой читатель!
Брошюры этой серии в розничную продажу не
поступают, поэтому своевременно
оформляйте подписку
Подписка на брошюры издательства «Знание»
ежеквартальная принимается в любом
отделении «Союзпечати»
Напоминаем Вам, что сведения о подписке
Вы можете найти в каталоге «Всесоюзные
газеты и журналы» в разделе
«Подписные серии издательства «Знание»



Наш адрес
101835
Москва Центр,
проезд Серова, 4