



Новое
в жизни,
науке,
технике

Подписная
научно -
популярная
серия

11 '90

И.Л.Розенталь

ВСЕЛЕННАЯ И ЧАСТИЦЫ



КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ

ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

11/1990

Издается ежемесячно с 1971 г.

И. Л. Розенталь

ВСЕЛЕННАЯ И ЧАСТИЦЫ

В ПРИЛОЖЕНИИ ЭТОГО НОМЕРА:

ТРУДНЫЙ СТАРТ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА
СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ: СОЗВЕЗДИЕ БЛИЗНЕЦОВ
ХРОНИКА КОСМОНАВТИКИ
ПЛАНЫ, ПРОЕКТЫ, ПРОГНОЗЫ



Издательство «Знание» Москва 1990

ББК 22.6
Р 64

Редактор: ВПРКО Н. Г.

Розенталь И. Л.
Р 64 Вселенная и частицы. — М.: Знание, 1990. —
64 с., ил. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер.
«Космонавтика, астрономия»; № 11).
ISBN 5-07-001537-0
15 к.

Сегодня физика элементарных частиц (микрофизика) оказалась тесно связанной с космологией (макрофизикой). Связь эта вызывает к жизни новые теории и гипотезы как в одной, так и в другой областях знания.

Различным проблемам, возникшим в результате такого «симбиоза», и посвящена настоящая брошюра, предназначенная для широкого круга читателей.

1005000000

ББК 22.6

ISBN 5-07-001537-0

© Розенталь И. Л., 1990 г.

ОТ АВТОРА

В жизни мне очень везло. Страшная спираль репрессий 1937 года раскручивалась совсем рядом, однако меня и мою семью Бог миловал. Войну я прошел без единого ранения, хотя большинство друзей детства не возвратились домой. В кампанию против «космополитов» многие коллеги были уволены, но и эта чаша миновала меня.

И среди многих счастливых поворотов в моей судьбе яркой нитью проходит общение с А. Д. Сахаровым. С ним я познакомился еще до войны, когда мы учились на физическом факультете МГУ, а после войны работали в Физическом институте АН СССР (ФИАНе).

Сейчас, когда вся страна почитает Андрея Дмитриевича, было бы в русле моды назваться его другом. Но увы, хотя многократно за 50 лет наши пути пересекались, друзьями мы не стали. Да я и не думаю, что такая ярчайшая индивидуальность, как А. Д. Сахаров, могла бы находиться с кем-нибудь в таких отношениях, которые обычно определяют как дружеские. Наши связи носили в основном научный характер (обсуждение проблем, обмен идеями и статьями). Однако иногда они выходили за узкопрофессиональные рамки и затрагивали общечеловеческие ценности.

Так, в середине пятидесятых годов в одно из весьма редких посещений Сахаровым ФИАНа (он уже тогда работал в сверхсекретном центре конструирования водородного оружия) у нас по моей инициативе возник доверительный разговор, суть которого превосходно отражает мировоззрение Андрея Дмитриевича. Я спросил Сахарова о причинах, побудивших его посвятить себя прикладным проблемам, вместо того чтобы заниматься чистой наукой. Воспроизвожу суть его ответа: «Полагаю, что отставание Советского Союза в создании водородной бомбы создает предпосылки для его уничтожения. Ядерное равновесие сделает большую войну невозможной и это, вероятно, приведет к сближению разных социальных систем».

Думается, что это пророческое предсказание — осно-

ва хрущевской политики. Полагаю, что и современная перестройка связана с идеями, высказанными еще тогда Андреем Дмитриевичем. В середине шестидесятых годов началась его правозащитная деятельность. Среди многих весьма неожиданных поворотов она имела одно важное последствие — Сахаров вернулся к чистой физике. В ряду разделов этой науки, которым он посвятил себя, следует назвать в первую очередь космологию — науку о происхождении и эволюции Вселенной. Я назвал ее первой по двум причинам. Во-первых, мне представляется, что именно в космологии успехи А. Д. наиболее впечатляющие и, во-вторых, именно в размышлениях о путях развития космологии наши пути снова пересеклись. В космологии следует, на мой взгляд, отметить два его результата:

1. Интерпретация барионной асимметрии Метагалактики на основе гипотезы о нестабильности протона (эта тема разбирается в брошюре).

2. В своей последней опубликованной работе (Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1984, т. 87, с. 375) Сахаров развивает идею о вселенных со сложной топологией и об изменении стрелы времени при прохождении Вселенной через сингулярность (это понятие разъясняется далее). Сейчас эта идея приобретает значительную популярность.

В упомянутой работе А. Д. Сахаров высказывает весьма нестандартную точку зрения на антропный принцип, которому посвящена значительная часть брошюры. Он отметил: «Некоторые авторы считают антропологический принцип (сейчас более принят термин «антропный принцип». — *И. Р.*) неплодотворным и даже не соответствующим научному методу. Я с этим не согласен».

И в заключение о некоторых причинах, побудивших меня написать это краткое предисловие. При последней нашей беседе, происходившей поздней весной 1989 г., он пожаловался мне на недостаток времени для активной научной работы и ограниченную возможность помогать людям. В частности, он сказал, что получил письмо от двух старушек, объявивших голодовку в знак протеста против закрытия в их селе церкви. Однако занятость общественными делами в последние дни его жизни не позволила непосредственно вмешаться в этот конфликт. Я же со своей стороны не оценил великую идею

конкретного «малого» гуманизма (иногда находящегося в противоречии с идеей установления «идеального порядка» в мировом масштабе) и никак не прореагировал на его слова.

Хотя, вскоре после беседы, мне стала ясной моя обязанность: попытаться с помощью записки Сахарова уладить этот конфликт на месте, я такую попытку не предпринял. Мое ощущение вины перед Андреем Дмитриевичем усугубляется тем, что эта беседа была последней и никогда не возобновится.

В моем распоряжении почти единственная возможность, хотя бы в небольшой степени, смягчить это тяжелое ощущение: посвятить эту брошюру, в которой излагаются и его идеи, Андрею Дмитриевичу Сахарову.

ВВЕДЕНИЕ

Еще 10—15 лет назад казалось бесспорным, что эволюция нашей Метагалактики, как целого, определяется исключительно силами гравитации. Разумеется, и ранее превосходно понимали, что возникновение в Метагалактике неоднородностей (нуклонов, атомов, звезд и галактик) обязано и другим взаимодействиям элементарных частиц — слабому, электромагнитному и сильному, однако полагалось, что на всех этапах своей эволюции расширение Метагалактики определяется исключительно уравнениями Эйнштейна, т. е. гравитацией. Кардинальное изменение в мировоззрениях на эволюцию Метагалактики произошло на рубеже 70-х и 80-х годов, когда стало практически общепризнанным, что на самых ранних этапах эволюции характеристики Метагалактики обуславливаются всеми взаимодействиями. Хотя этот подход и существенно усложнил весьма простую и наглядную теорию, предложенную А. Фридманом (см. далее), однако он устранил очень большие ее трудности и практически решил важный мировоззренческий вопрос об отсутствии единственности Метагалактики.

Прологом к такому радикальному, поистине революционному повороту в космологии послужил прогресс в теории элементарных частиц. Развитие этой теории и космологии проходило параллельно и взаимосвязанно. Более того, возникла совершенно новая, не имеющая аналогов ситуация. Космология, которая всегда была ветвью астрономии и теории гравитации, оказалась, по видимому, единственным подходом к проверке объединенной теории взаимодействий частиц. По существу, основная идея данной брошюры и состоит в иллюстрации этого плодотворного симбиоза. Однако прежде чем приступить к последовательному изложению современной

космологии и ее связи с частицами, полезно пояснить утверждение о решающей роли космологии в проверке теории частиц, поскольку ранее было аксиомой утверждение, что эта акция — прерогатива ускорителей.

Напомним основную идею объединения взаимодействий. Объединенная теория должна характеризоваться единой константой этого взаимодействия. С первого взгляда подобное требование кажется абсурдным, поскольку все четыре взаимодействия характеризуются своими отличными друг от друга константами. Однако это утверждение кардинально неверно, поскольку то, что обычно называется константами взаимодействий, относится к низкоэнергетическому пределу, т. е. к взаимодействию частиц в обычных земных и астрономических условиях, когда температура T невелика, а энергия частиц сравнима с их массой покоя. Однако при увеличении их энергии величины констант меняются. Поэтому сейчас весьма употребителен термин «бегущие константы». Величины констант взаимодействия зависят от массы (импульса) частиц-переносчиков взаимодействия. Оказывается, что при импульсе (массе) частиц-переносчиков ≈ 100 ГэВ бегущие константы электромагнитного и слабого взаимодействий сравниваются. Поэтому именно при этих энергиях возникает единое электрослабое взаимодействие, теория которого была разработана более 20 лет назад С. Вайнбергом, Ш. Глэшоу и А. Саламом. Энергия 100 ГэВ вполне «человеческая», достижимая на ускорителях, и поэтому основное предсказание электро-слабой теории — существование частиц-переносчиков с массой ≈ 100 ГэВ (так называемые W^\pm - и Z -бозоны) — было блестяще подтверждено в 1983 г. в экспериментах на ускорителях.

Однако кардинально иная ситуация возникает при попытке объединить электрослабое и сильное взаимодействия (Большое объединение). Теория предсказывает, что такое объединение должно произойти при массе частиц-переносчиков $\approx 10^{15}$ ГэВ. Чтобы представить себе грандиозность этого масштаба, напомним, что ускоритель, опоясывающий всю Землю, может генерировать частицы с массой, не превышающей 10^7 ГэВ*, т. е. на

* Мы используем здесь «энергетические» единицы: 1 ГэВ соответствует массе $\approx 10^{-24}$ г.

8 порядков меньше, требуемой теорией Большого объединения.

Еще более впечатляет величина массы, характерной для объединения всех четырех взаимодействий (включая гравитацию). Здесь возникает так называемая планковская масса $10^{-5} \text{ г} \approx 10^{19} \text{ ГэВ}$.

Таким образом, попытки непосредственного обнаружения частиц-переносчиков, объединяющих три и четыре взаимодействия, обречены на неудачу. И здесь исключительно большое значение принадлежит, по-видимому, космологии. Все дело в том, что на ранних этапах эволюции Метагалактики температура должна быть очень велика и превышать (в энергетических единицах) массы частиц-переносчиков объединенных взаимодействий. Поэтому моделирование процессов, происходящих на самых ранних этапах развития Метагалактики, должно способствовать проверке объединенных теорий.

НЕКОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Сейчас в космологии существует терминологический хаос. Это не удивительно. Терминология, как правило, не успевает отслеживать быстро прогрессирующие области науки. А сейчас космология находится на переломном этапе и поэтому естественно, что к новым понятиям приспособляют старые термины. Например, до сих пор для определения наблюдаемого приборами пространства, заполненного звездами и галактиками, используются два термина: «Метагалактика» и «Вселенная». Еще совсем недавно полагали, что все наблюдаемое есть и все сущее, и потому эквивалентность обоих терминов казалась естественной. Однако основной мировоззренческий переворот заключается в разрушении этой иллюзии. Сейчас большинство космологов уверены (и автор разделяет это мнение), что наблюдаемое — лишь ничтожная часть всего сущего. Поэтому естественно (и даже необходимо, во избежание недоразумений) разделить оба термина, сохранив за наблюдаемой областью пространства (с размером $\sim 10^{28} \text{ см}$) название «Метагалактика», а все сущее называть Вселенной.

Однако возникает естественный вопрос: ограничиваются ли этими двумя понятиями все гигантские (сравнительно с человеческими масштабами) образования? В соответствии с современной космологией (которая и

будет составлять предмет данной брошюры) можно твердо ответить отрицательно. Во-первых, по-видимому, существуют объекты, сравнимые по размерам с нашей Метагалактикой, но с иными физическими свойствами. Мы будем такие объекты называть метагалактиками с маленькой буквы.

И наконец, должны существовать гигантские (по некоторым оценкам с размерами $\sim 10^6$ см) пузыри, которые часто называют мини-вселенными. И хотя подобное сочетание, прилагаемое к столь огромным объектам, едва ли самое удачное, мы не будем нарушать установившуюся в самое последнее время традицию.

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

В первой четверти нашего столетия четко сформировалось представление о Метагалактике как совокупности звезд и галактик. В течение длительного времени Метагалактика отождествлялась со Вселенной, и некоторые отголоски этих представлений сохранились до сих пор.

Первые попытки описать происхождение и эволюцию Метагалактики основывались на сформулированной в 1916 г. общей теории относительности — ОТО (А. Эйнштейн, В. де Ситтер, А. А. Фридман) и, по существу, предвосхитили основные модели эволюции Метагалактики. Коренные причины такой «удачи», в известной степени, подарок Природы, сконструировавшей Метагалактику максимально просто.

Расшифруем это утверждение. Уравнения ОТО (впрочем, как и любые уравнения движения) не определяют полностью эволюцию объекта в пространстве—времени. Необходимо задать еще начальные условия. Кроме того, правая часть уравнений ОТО определяется так называемым уравнением состояния материи в Метагалактике, связывающим давление p и плотность энергии ϵ материи.

Разумеется, начальные условия происхождения Метагалактики никто не знал. Поэтому они формулировались из соображений простоты и называются теперь основными космологическими постулатами: Метагалактика на протяжении всех этапов своей эволюции являлась (и является) однородным и изотропным объектом. Это очень сильное требование и, как мы увидим далее,

оно практически определяет эволюцию Метагалактики. Однако гораздо важнее, что основные космологические постулаты сравнительно хорошо согласуются с наблюдениями. Наиболее простое (однако довольно грубое) доказательство изотропии Метагалактики проводится путем подсчета числа галактик и их скоплений в разных направлениях, но в одинаковых телесных углах. В пределах ошибок измерений эти подсчеты дают одну и ту же цифру.

Более точную оценку изотропии Метагалактики дают измерения интенсивности реликтового излучения с температурой ≈ 3 К. Как известно, это излучение есть результат эволюции (остывания) первичного излучения, возникшего в первые мгновения жизни Метагалактики*. С точностью $\approx 10^{-4}$ никакого отклонения углового распределения реликтового излучения от изотропии не обнаружено. С такой же точностью изотропно и пространство Метагалактики.

С худшей точностью выполняется постулат однородности метагалактического пространства. В малых масштабах очевидно, что Метагалактика неоднородна. Это следует из существования Солнечной системы, звезд, галактик и т. д. Однако самые большие образования в Метагалактике — сверхскопления — имеют размеры $\approx 10^{-3} R_M$ ($R_M \approx 10^{28}$ см — радиус Метагалактики в современную эпоху). С такой точностью можно полагать пространство Метагалактики однородным. С этой оговоркой мы и примем постулат однородности.

Практически все главные модели Метагалактики базируются на основных космологических постулатах. Однако физические предпосылки в различных моделях существенно отличались друг от друга. А. Эйнштейн (1917 г.) исходил из многовековых убеждений о вечной неизменности Метагалактики (которую тогда отождествляли со Вселенной). Однако его попытки получить статическое решение уравнений ОТО при основных космологических постулатах окончились неудачей. Ее корни очень глубоки, хотя и имеют простую интерпретацию. Гравитация характеризуется притяжением, т. е. силами одного знака (в отличие от электродинамики). По-

* Более подробно с реликтовым излучением можно познакомиться в книге: Новиков И. Д. Эволюция Вселенной. — М.: Наука, 1983.

этому статическое решение системы гравитирующих тел невозможно. Эйнштейн, одержимый идеей стационарности Вселенной, ввел в свои уравнения *ad hoc* силы отталкивания, которые в космологических масштабах точно компенсировали бы гравитационные силы и определяли бы статичность системы. Конкретно эта идея реализовалась добавлением в первой части уравнения Эйнштейна константы $\Lambda \approx 10^{-56} \text{ см}^{-2}$ (так называемый Λ -член). Столь малое значение этой константы обусловило безнадежность ее обнаружения в лабораторных условиях и вместе с тем реализовало руководящую идею Эйнштейна — статичность Метагалактики.

В том же 1917 г. В. де Ситтер решил уравнения ОТО при допущении о доминированности Λ -члена над другими слагаемыми в уравнениях Эйнштейна*. В этом случае де Ситтер получил удивительный результат. Масштабный фактор a (расстояние между двумя «точками», например галактиками) должен изменяться экспоненциально со временем t :

$$a \sim e^{bt}, \quad b = \text{const.} \quad (1)$$

И наконец, в 1922 г. А. А. Фридман получил решение уравнений общей теории относительности без Λ -члена, так сказать в их первозданной форме. Естественно, что решение оказалось нестационарным, имеющим для сравнительно малых значений степенную форму:

$$a \sim t^{b_1} \quad (2)$$

Параметр b_1 в этом уравнении определялся уравнением состояния, т. е. зависимостью давления p от плотности энергии ϵ . Фридман допустил, что Метагалактика всегда состояла только из вещества (так называемая холодная Вселенная). В этом случае уравнение состояния имеет вид:

$$p = 0 \quad (3)$$

и $b_1 = 2/3$.

В 1948 г. Г. А. Гамов сделал в рамках модели Фридмана другое допущение: Метагалактика вначале состояла исключительно из излучения. Вещество же «возник-

* Исторически де Ситтер исходил из иной (однако эквивалентной) идеи. Он потребовал, чтобы выполнялся совершенный космологический принцип — изотропия в 4-мерном пространстве—времени.

ло» в результате реакции типа $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$ (γ , e^+ , e^- — соответственно фотон, позитрон и электрон). Такая модель получила название горячей Вселенной. В этом случае уравнение состояния имеет вид:

$$p = \varepsilon/3, \quad (4)$$

$$a b_1 = 1/2.$$

Однако космология изобиловала парадоксами. Эйнштейн, де Ситтер и Фридман получили свои решения, исходя из уравнений ОТО. Но в 1934 г. Э. Милл и В. Маккри показали, что соотношения (1) и (2) следуют не только из ОТО, но и из ньютоновской теории гравитации*. Впрочем, нетрудно показать, что для иллюстративного вывода этих соотношений можно обойтись без допущений относительно динамики расширения.

Космологические постулаты настолько сильные предположения, что сами представляют эту динамику. Приведем схему доказательства этого положения.

Рассмотрим две «точки» (галактики) в Метагалактике. Пусть радиус-вектор между этими двумя точками r_{12} . В самой общей форме скорость разбегания галактик.

$$v_{12} = H(r_{12}, t)r_{12}. \quad (5)$$

Эта формула есть следствие отсутствия выделенных направлений в пространстве (изотропии). Из однородности пространства следует, что функция H не зависит от r . Поэтому формулу (5) можно записать в форме

$$v_{12} = \frac{da}{dt} = H(t)a. \quad (6)$$

Из соображений размерности в простейших случаях следует, что $H(t)$ есть либо константа d , либо имеет вид b/t . В первом случае имеем

$$a = \text{const} \quad (7)$$

(при $d=0$),

$$a \sim e^{bt} \quad (8)$$

($d \neq 0$).

Во втором случае

$$a \sim t^b \quad (9)$$

* Подробный вывод этого положения содержится в книге автора: Элементарные частицы и структура Вселенной. — М.: Наука, 1984.

Таким образом, основные зависимости масштабного фактора $a(t)$, полученные Эйнштейном, де Ситтером и Фридманом, в значительной степени определяются космологическими постулатами.

Однако было бы грубой ошибкой полагать полную эквивалентность представлений о Метагалактике, следующих из ОТО и ньютоновской теории гравитации или теории размерности. Здесь есть весьма принципиальный пункт, и мы остановимся на нем подробнее.

В рамках ньютоновской теории рассматривается эволюция гравитирующего шара в трехмерном евклидовом пространстве. Последнее является фоновым пространством, а шар, символизирующий Метагалактику, неким объектом в этом пространстве. В ОТО же гравитационное взаимодействие само определяет характеристики пространства.

Одно из решений ОТО с учетом космологических постулатов представляет расширение трехмерной сферы. Однако это расширение осуществляется не в пространстве Евклида, а является эволюцией полностью автономного объекта. Для математиков (особенно занимающихся дифференциальной геометрией) автономные неевклидовы пространства привычные понятия. Однако астрономам и физикам нужно сделать определенные усилия, чтобы вообразить автономное сферическое (или какое-либо иное) неевклидово пространство. Например, изображение сферы на листке бумаги лишь запутывает ситуацию, поскольку лист, естественно, отождествляется с фоновым евклидовым пространством.

Огромное достижение ОТО, в частности применительно к космологии, заключается в необходимости анализа гипотезы о неевклидовости пространства сверхбольших объектов — Метагалактики, мини-вселенных и Вселенной.

МОДЕЛИ МЕТАГАЛАКТИКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

В первой четверти нашего столетия американский астроном В. Слайфер обнаружил, что из 41 исследованной им галактики 36 удаляются от нас. В 1929 г. американец Э. Хаббл окончательно установил, что это происходит с подавляющей частью галактик, причем относительная скорость их движения подчиняется соотношению (6), называемому теперь законом Хаббла. Констан-

та в этом законе называется постоянной Хаббла. По современным данным, в нашу эпоху постоянная Хаббла

$$H_0 \approx 2 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}. \quad (10)$$

Разбегание галактик противоречит идее стационарности Метагалактики и, следовательно, опровергает модель Эйнштейна, который впоследствии полагал, что введение Λ -члена в уравнения ОТО — самая крупная ошибка в его научной биографии. Как увидим далее, подобное покаяние не было вполне оправданным.

Для полноты следует сказать, что стационарная модель обладала и другим недостатком. Пространство Метагалактики в рамках такой модели было неустойчиво. Например, если бы в какой-то момент силы притяжения немного превысили бы силы отталкивания, то пространство Метагалактики начало бы практически неограниченно сжиматься. Модель Метагалактики, предложенная де Ситтером, сразу же вызвала серьезное возражение. Она соответствовала совершенно необычному в ту пору уравнению состояния

$$p = -\epsilon. \quad (11)$$

Необычность его очевидна. В любой системе, состоящей из реальных частиц, увеличение плотности энергии ϵ влечет за собой и увеличение давления. Уравнение (11) противоречит этому правилу. Казалось, что единственный объект, для которого удовлетворяется соотношение (11), это абсолютно пустое пространство $p = \epsilon = 0$. Однако Метагалактика заполнена веществом и излучением. Поэтому модель де Ситтера отвергалась долгое время и лишь сравнительно недавно начала интенсивно обсуждаться (см. далее).

Итак, осталась модель Фридмана. Рассмотрим подробнее ее достижения.

1. Согласно этой модели, возраст Метагалактики

$$t_0 \approx 1/H_0 \approx 20 \text{ млрд. лет}. \quad (12)$$

Это время хорошо согласуется с измерениями времени жизни старых звезд (10—15 млрд. лет).

2. В соответствии с горячей моделью в Метагалактике должно существовать изотропное излучение с $T \approx 5 \text{ К}$. Как известно, американские радиоастрономы А. Пензиас и Р. Вильсон в 1965 г. открыли такое излучение (названное впоследствии реликтовым) с $T \approx 3 \text{ К}$.

Это излучение было предсказано Г. А. Гамовым, и быть может, справедливо называть модель горячей Метагалактики моделью Фридмана—Гамова, однако мы не будем изменять установившуюся терминологию.

3. В соответствии с горячей моделью была рассчитана доля α -частиц в Метагалактике. Расчетное значение ($\approx 25\%$ по массе) хорошо согласуется с наблюдениями химического состава звезд и межгалактического газа.

4. Особо нужно остановиться на интерпретации барионной асимметрии Метагалактики.

Как известно, Метагалактика в основном состоит из протонов, нейтронов и электронов и в ней практически отсутствуют антипротоны и позитроны, хотя в соответствии с принципом зарядовой симметрии частицы и античастицы должны были бы присутствовать в равном количестве. Это явление и называется барионной асимметрией. Вплоть до начала 70-х годов господствовала следующая точка зрения. Метагалактика состоит из равного числа областей — доменов. В одних из них (в частности, в нашей) господствуют частицы, в других («антидоменах») — античастицы, так что в целом в Метагалактике осуществляется зарядовая симметрия.

Однако эта гипотеза просуществовала недолго. В связи с развитием ракетной техники и приборостроения бурно прогрессировала γ -астрономия. В рамках этой новой науки весьма интенсивно изучалось космическое излучение в диапазоне энергий $E_\gamma \approx 0,1—1$ МэВ. Если бы существовала доменная структура Метагалактики, то на границах доменов — антидоменов происходила бы аннигиляция электронов и позитронов по схеме: $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$. В этой реакции возникали бы γ -кванты с энергией $E_\gamma \approx 0,51$ МэВ. Однако никакой линии излучения вблизи энергий $\approx 0,5$ МэВ обнаружить не удалось, что полностью закрыло гипотезу о доменной структуре Метагалактики.

И тогда начали вспоминать о замечательной гипотезе, которую в 1967 г. высказал А. Д. Сахаров, интерпретировавший барионную асимметрию на основе двух положений:

1. Частицы и античастицы распадаются с несколькими различными вероятностями.

2. Протоны и антипротоны являются нестабильными частицами.

Если первое положение основывалось на некоторых установленных ранее экспериментальных фактах (распадах K -частиц), то второе было чрезвычайно нетривиально и свидетельствовало о пророческом даре Сахарова. Уже в то время было показано, что время жизни протона превышает 10^{28} — 10^{29} лет, что превосходит время существования Метагалактики по крайней мере на 18 порядков. Поэтому долгое время гипотеза Сахарова не признавалась. Ее ренессанс начался в середине 70-х годов в связи с объединением взаимодействий элементарных частиц. В рамках Большого объединения должен существовать X -бозон, переносящий слабое, электромагнитное и сильное взаимодействия. Этот X -бозон быстро распадается на протон и другие частицы, так же как \bar{X} -бозон на антипротон и античастицы. Вероятности этих распадов несколько различаются, что и должно привести к барионной асимметрии. Существование $X(\bar{X})$ -бозонов должно было обусловить нестабильность протона. Однако из-за большой ($\approx 10^{15}$ ГэВ) массы этих бозонов, время жизни протона должно превышать 10^{30} — 10^{31} лет.

В начале 80-х годов были созданы большие установки весом до 10^4 т для поисков распада протона. Было установлено, что $t_p > 32$ лет. Хотя непосредственно распад протона не был обнаружен, однако сейчас никто из серьезных теоретиков не сомневается в его нестабильности.

В рамках Большого объединения было подсчитано основное наблюдаемое отношение $n_\gamma / n_p \approx 10^8$ — 10^{10} (n_γ , n_p — соответственно средние концентрации фотонов и протонов в Метагалактике). В пределах экспериментальных ошибок и неопределенностей параметров теории расчетное и наблюдаемое значения этого отношения хорошо согласуются друг с другом.

Таким образом, все наблюдаемые параметры Метагалактики интерпретировались в рамках фридмановской модели*.

ПРОБЛЕМЫ ФРИДМАНОВСКОЙ МОДЕЛИ

Проблема сингулярности. Из формул (2)—(4) следует, что при $t \rightarrow 0$ масштабный фактор $a \rightarrow 0$, и следо-

* Мы здесь не затрагиваем проблему происхождения галактик. Теории рождения галактик существуют, однако проблема не имеет однозначного и общепризнанного решения.

рательно, «в начале» (примерно 15—20 млрд. лет назад) существовал момент, когда размеры Метагалактики обращались в нуль, а плотность частиц — в бесконечность. Хотя формулы (2)—(4) получены весьма приближенным методом, однако и строгие вычисления, основанные на ОТО, приводят к тому же заключению. Появление сингулярности в решении Фридмана ставит две серьезнейшие проблемы. Во-первых, весь физический опыт показывает, что появление бесконечности в теории означает, что эта теория при приближении к бесконечности становится непригодной. И во-вторых, возникает вопрос: что было при $t < 0$?

Обычно (еще 10—15 лет назад) оба вопроса либо обходили, либо на них давали весьма странные для физики ответы. Например, при $t < 0$ теряет смысл понятие времени, а Метагалактика (Вселенная) возникла при $t = 0$ из «ничего». Мне кажется, с точки зрения физика, гораздо «логичнее» гипотеза «Божественного творения».

Физический же вопрос (и серьезнейший) остается.

Проблема плоскостности. Еще в начале прошлого века полагали, что единственная геометрия сформулирована более двух тысяч лет назад Евклидом. Однако в середине прошлого столетия в работах Н. И. Лобачевского, Я. Больяи, К. Гаусса и Б. Римана было продемонстрировано, что существует бесконечное число непротиворечивых геометрий с единственным отличием от евклидовой — в этих геометриях не выполняется пятый постулат Евклида: через точку, лежащую вне прямой, можно провести одну и только одну параллельную линию (прямую).

Простейшим и наиболее наглядным примером неевклидовой геометрии является геометрия на двумерной сфере. В этом случае роль «прямых» играют большие круги (пересечения плоскостей, проходящих через центр сферы, с ее поверхностью). В этом случае через любую точку, лежащую вне «прямой», нельзя провести ни одну параллельную. Все большие круги пересекаются (подробнее см. далее раздел «Геометрия Вселенной»).

Ввиду существования бесконечного числа возможных геометрий возникает вопрос: какова же геометрия нашего физического пространства? Самые разнообразные исследования рассеяния элементарных частиц (особенно электронов), а также астрономические наблюдения сви-

детельствуют, что в интервале 10^{-16} — 10^{28} см пространство евклидово. Да и в основе классической физики (механики и электродинамики) лежит допущение об евклидовости пространства.

Заметим, что решения уравнений ОТО при выборе космологических постулатов в качестве начальных условий отнюдь не определяют евклидовости пространства. Возможны также решения в форме кривых пространств — трехмерной сферы и гиперболоида (так называемые пространства постоянной кривизны). Выбор определяется средней плотностью ρ_0 в Метагалактике. Если $\rho_0 < \rho_{кр} \approx 10^{-29}$ г·см⁻³, то решение соответствует гиперболоиду, а если $\rho_0 > \rho_{кр}$ — то сфере. Величина $\rho_{кр}$ называется критической плотностью. В нашей Метагалактике выполняется геометрия Евклида. Тем самым средняя плотность вещества близка к критической.

И тогда возникает вопрос: почему среди бесчисленного числа возможных геометрий Природа выбрала евклидову? Этот вопрос называется проблемой плоскостности.

Проблема горизонта. В современную эпоху размеры Метагалактики $R_{M0} \approx 10^{28}$ см. Время t_{M0} ее существования ($\approx 3 \cdot 10^{17}$ с) установлено по времени жизни самых старых звезд. Таким образом, $R_{M0} \approx ct_{M0}$ и размеры Метагалактики превосходно согласуются с величиной горизонта, т. е. расстоянием, которое проходит свет за характеристическое время существования Метагалактики. Следовательно, ненаблюдаемые размеры не противоречат принципу относительности: информация о событиях распространяется со скоростью, не превышающей скорость света c . Такое противоречие возникло бы, если, например, время жизни t_{M0} было бы меньше 10^{10} лет или $R_{M0} > 10^{28}$ см.

Таким образом, современные наблюдения хорошо согласуются с принципом относительности — существованием горизонта событий. Однако иная ситуация существовала (в рамках модели Фридмана) в ранние эпохи при $t_M \ll t_{M0}$. Действительно, в соответствии с основными соотношениями (2)—(4) $R_{M0} \sim t^b$ ($b < 1$). Размеры же горизонта $r_H \sim t$. Поэтому в ранние эпохи отношение размера горизонта к размеру Метагалактики $r_H/R_M \sim t^{b-1}$, т. е. становятся меньше 1. Следовательно,

в ранние эпохи Метагалактика состояла из множества причинно-несвязанных областей.

Например, по некоторым оценкам при $R_M \approx 10^{-30}$ см число таких областей $\approx 10^{80}$. С первого взгляда это обстоятельство кажется вполне невинным. Однако оно вырастает в серьезную проблему, если мы вернемся к замечательной изотропии Метагалактики. Каким образом великое множество причинно-несвязанных областей могли «подстроиться» друг к другу, чтобы определить такую изотропию?

Этот вопрос и составляет проблему горизонта.

Таким образом, возникает странная ситуация. Фридмановская модель превосходно описывает все наблюдения, однако содержит ряд теоретических проблем, которые указывают на ее незавершенность. Сейчас мы приступаем к изложению идей, которые, по-видимому, ликвидируют этот дефект фридмановской космологии. Однако прежде чем рассказать об этих идеях, следует сделать одно отступление.

ВАКУУМ

Термин «вакуум» в современной физике используется в двух смыслах. Первый — наиболее распространенный — соответствует весьма разреженным газам. Второй (так называемый физический вакуум), используемый в теории полей, соответствует состоянию, в котором полностью отсутствуют реальные частицы.

Такая ситуация определяет две физические картины. В первой — вакуум это пустое пространство. Во второй — физический вакуум соответствует конденсату частиц с целым спином (бозонов). Такой конденсат вследствие квантовых эффектов характеризуется следующими свойствами: 1) он соответствует минимуму в энергетической зависимости системы от функции φ , определяющей ее состояние; 2) при существовании реальных частиц конденсат стремится «затащить» их к себе, а не «вытолкнуть», как это имеет место в реальных газах. Поэтому физический вакуум характеризуется экзотическим уравнением состояния $p = -\varepsilon$ (см. соотношение (11))^{*}.

^{*} О свойствах вакуума как конденсата бозонов см. статью Д. А. Киржница, А. Д. Линде в ежегоднике «Наука и человечество», — М.: Знание, 1982.

Вакуум не следует себе представлять как состояние, в котором реальные частицы не испытывают никакого взаимодействия. Вакуумное состояние испытывает непрерывные и, в известном смысле, противоположные воздействия. С одной стороны, свойства бозонного конденсата таковы, что он стремится удержать все содержащиеся в нем частицы, а с другой — уравнение состояния (11) определяет его нестабильность. Эти полярные свойства вакуума приводят к тому, что для образования реальных частиц из вакуума необходимо затратить энергию (и иногда довольно значительную), а с другой — вакуум непрерывно порождает виртуальные частицы, время жизни t_v которых определяется принципом неопределенности и очень мало ($t_v \approx \hbar/mc^2$). Например, для электронов $t_v \approx 10^{-22}$ с. Виртуальные частицы наблюдать непосредственно нельзя, однако их существование проявляется во взаимодействии с реальными частицами. Можно образно сказать, что вакуум непрерывно «кипит», но не «выкипает». Наиболее известный «вакуумный» эффект — сдвиг энергетических уровней в атоме водорода, обусловленный взаимодействием движущихся атомарных электронов с виртуальными частицами вакуума. Это явление, именуемое эффектом Лэмба — Резерфорда, продемонстрировало (с точностью до восьмого знака) правильность современных представлений о вакууме.

ВАКУУМ И Λ -ЧЛЕН

Вакуум — абсолютно однородная среда, характеризующая своей плотностью энергии ϵ_v и, следовательно, гравитационными характеристиками. Поэтому он эквивалентен по своим свойствам введенному Эйнштейном в уравнения ОТО Λ -члену. Поскольку $\Lambda \sim 1/r^2$ (r — длина), то из соображений размерности следует, что связь

между Λ -членом и ϵ_v имеет вид: $[\Lambda] = [\frac{G\epsilon_v}{c^4}]$. Чтобы

точно сопоставить Λ -член в уравнениях Эйнштейна и энергию вакуума, следует ввести соотношение

$$\Lambda = \frac{8\pi G\epsilon_v}{c^4} . \quad (13)$$

Это важное соотношение было впервые (в 1965 г.) по-

лучено в Ленинграде Э. Б. Глинером, который отметил, что физический вакуум и есть та форма материи, для которой справедливо «криминальное» уравнение состояния (11), и поэтому вакуум может быть средой, эволюционирующей по экспоненциальному закону, выведенному де Ситтером. Глинер допустил, что де-ситтеровская модель может быть начальным состоянием в развитии Метагалактики.

Однако в работах Глинера отсутствовал анализ конкретных моделей возникновения вакуума и перехода от де-ситтеровской модели к фридмановской. Не очень ясно было также, для чего, собственно, вводить де-ситтеровскую стадию, если модель Фридмана хорошо объясняла все наблюдаемые характеристики Метагалактики.

В течение длительного времени к предложению Глинера не возвращались, пока в 1979 г. советский физик А. А. Старобинский снова не пришел к де-ситтеровскому описанию начальной стадии эволюции Метагалактики, но с иных позиций. Он решал уравнения ОТО с квантовыми поправками. Как известно, последовательная квантовая теория гравитации отсутствует, но в некотором приближении, не слишком заботясь о замкнутости теории, можно составить квантовый аналог уравнений ОТО. В этом приближении Старобинский снова получил решение де Ситтера, которое имело вполне определенное назначение — избавиться от основного дефекта фридмановской модели — сингулярности. Действительно, экспоненциальное решение (1) не имеет сингулярности при $t \rightarrow 0$. Однако из-за уравнения состояния $p = -\varepsilon$ оно нестабильно. Поэтому подход Старобинского хорошо описывает переход от де-ситтеровской стадии к фридмановской, но не решает проблемы сингулярности.

В 1981 г. американец А. Гус снова вернулся к идее Глинера, предложив конкретный механизм возникновения де-ситтеровской стадии и установив связь между ней и решением некоторых основных проблем космологии.

В своем анализе Гус опирался на зависимость плотности потенциальной энергии V от волновой функции φ вакуума. Эта зависимость представлена на рис. 1 и имеет следующие особенности: при $\varphi = 0$ функция $V(\varphi)$ имеет весьма плоский максимум; при $\varphi = \varphi_m \neq 0$ эта функция имеет минимальное значение.

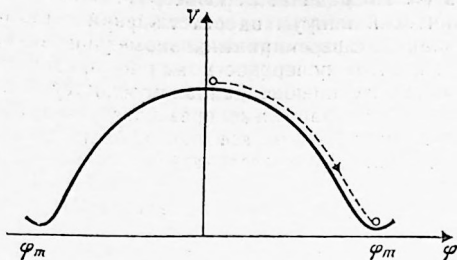


Рис. 1. Зависимость плотности энергии $V(\varphi)$ от волновой функции вакуума. Кружок представляет начальную стадию раздувания, которое происходит на плоском участке зависимости $V(\varphi)$, а заканчивается при $\varphi \approx \varphi_m$

Как известно из механики (или, точнее, из теории устойчивости), система стремится оказаться в состоянии, в котором потенциальная энергия минимальна.

По Гусу, существует следующий сценарий (любимое слово современных космологов) образования мини-вселенных — структур, обусловленных де-ситтеровской стадией, для обозначения которой Гус ввел термин «инфляция»*. Вначале мини-вселенные занимали весьма малый объем. Обычно говорят о планковских размерах $(G\hbar/c^3)^{1/2} \approx 10^{-33}$ см, поскольку на этих (или меньших) расстояниях заведомо существенны квантовые эффекты, которые при доминировании вакуумного состояния проходят плоский участок зависимости $V(\varphi)$ (см. рис. 1). На этом участке и развивается инфляционная стадия. На ней формируется огромный «пузырь» (мини-вселенная), размеры которого существенно превышают современные размеры Метагалактики. Энергия вакуума во время такой перестройки переходит в реальные частицы, которые, взаимодействуя между собой, и порождают барионную асимметрию. Плотность энергии ϵ_v вакуума существенно уменьшается: $\epsilon_v \ll \epsilon_m$ (ϵ_m — сумма плотностей энергии вещества и излучения). В этот момент мини-вселенные распадаются на метagalактики, которые развиваются по Фридману. Перестройка вакуума и образование метagalактик происходит в момент $t \approx \approx 10^{-35}$ с после начала возмущения вакуума.

* Иногда (по Линде) ее называют стадией раздувания.

Сценарий Гуса решает проблему плоскостности и горизонта. Чтобы понять ход рассуждений, напомним основную идею дифференциальной геометрии: всякую кривую, но гладкую поверхность можно представить как совокупность бесконечно малых плоскостей. Мини-вселенная (по Гусу) настолько превышает начальные размеры метagalактик, что все они представляются плоскими поверхностями и, следовательно, описываются геометрией Евклида.

Высокая степень изотропии, характерная для евклидова пространства и возникающая на начальной стадии развития метagalактик, сохраняется на протяжении всего времени их эволюции, а горизонт видимости всегда равен ct_M (t_M — время существования Метagalактики). Так решается проблема горизонта.

ХАОТИЧЕСКОЕ РАЗДУВАНИЕ

Гус, а также и другие физики сразу же отметили недостаток описанного выше сценария. Пузыри — мини-вселенные — должны были рождаться слишком часто и поэтому сталкиваться друг с другом. Подобные столкновения искажали бы однородность пространства, что проявилось бы в наблюдениях. А. Д. Линде предложил использовать иную форму зависимости $V(\varphi)$. При температуре $T \rightarrow 0$ эта зависимость имеет форму, представленную на рис. 2, а. Как правило, вакуумные возмущения при $\varphi \rightarrow 0$ не могут преодолеть потенциальный барьер и поэтому их размеры сравнимы с планковской длиной $\approx 10^{-33}$ см. Изредка, однако, эти возмущения могут превышать высоту барьера или проходить через него, образуя мини-вселенные. Весьма существенно, что зависимость $V(\varphi)$ при малых значениях φ должна быть достаточно плоской, чтобы раздувание продолжалось достаточно долго. Выбор потенциала определяется характеристиками вакуума. В сценарии хаотического раздувания вакуум состоит из скалярных (спин равен нулю) электронейтральных частиц, так называемых частиц Хиггса. Константа их взаимодействия очень мала, и поэтому они не обнаружены на ускорителях. Возможна и другая причина, затрудняющая идентификацию хиггсовых частиц: слишком большая их масса. На современных ускорителях надежно «обнаруживаются» частицы с массой ≈ 100 ГэВ (в энергетических единицах). Нельзя

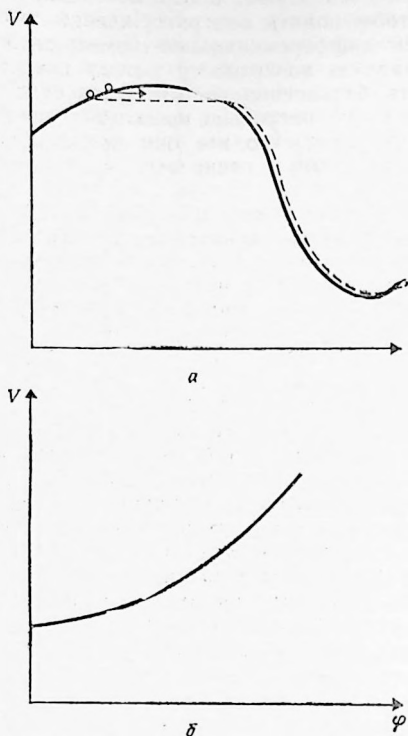


Рис. 2. а) Плотность энергии $V(\phi)$ при $T \rightarrow 0$ в модели хаотической Вселенной. Флуктуирующее возмущение (шарик) проходит через потенциальный барьер; в это время осуществляется «раздувание»; б) зависимость плотности потенциальной энергии $V(\phi)$ при $T \rightarrow \infty$

исключить, что масса частиц Хиггса существенно превышает этот предел.

Разумеется, возникает вопрос: можно ли серьезно обсуждать характеристики частиц, не обнаруженных на опыте? Положительный ответ следует из анализа структуры объединенной электрослабой теории Вайнберга—Глэшоу—Салама. Эта теория превосходно согласуется с опытом, а частицы Хиггса — ее необходимый элемент.

Поэтому поиск этих частиц является, пожалуй, задачей номер один для ускорителей нового поколения. Следует отметить, что зависимости $V(\varphi)$, сходные с представленными на рис. 2, возникают и в других моделях вакуума. По существу, сценарий базируется на двух допущениях: 1) существование нескольких (больше одного) минимумов, причем минимумы при $\varphi \neq 0$ должны располагаться ниже, чем $V(\varphi)$ при $\varphi = 0$, и 2) достаточно плоская зависимость $V(\varphi)$ вблизи $\varphi = 0$, для того чтобы успела развиться инфляция.

Важнейший элемент хаотического раздувания — разброс в начальных условиях, определяющих различие характеристик мини-вселенных, их размерность, массу, константы, число взаимодействий и т. д.

Разброс начальных условий определяется многими факторами и, в частности, изменением начальной температуры, которое влечет изменение формы потенциального барьера (рис. 3, б при $T \rightarrow \infty$), а также квантовыми флуктуациями, имеющими очень большую величину для расстояний, не превышающих планковские.

Хаотический сценарий снимает трудность модели Гуса, однако не решает проблему сингулярности, т. е. начального состояния. В рамках хаотического сценария возникают мини-вселенные, которые примерно через 10^{-35} с после своего возникновения переходят на фридмановский режим. По оценкам, размеры мини-вселенных могут достигать колоссальной (по нашим масштабам) величины: $\approx 10^{10^6}$ см.

ВЕЧНАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Вопрос о природе начального состояния в инфляционном сценарии остается открытым. Обычно его связывают с начальными возмущениями в вакууме в объеме с линейными размерами, равными планковской длине l_{Pl} . Почему выбирается эта длина? В соответствии с ОТО классическая теория гравитации верна вплоть до планковских расстояний. Квантовые эффекты начинают сказываться лишь при приближении к этим длинам, а при $l \lesssim l_{\text{Pl}}$ становятся определяющими. Однако последовательная квантовая теория гравитации отсутствует. Большинство физиков полагают, что описание процессов, происходящих на планковских длинах, удел теории, объединяющей все четыре взаимодействия. Однако та-

кая теория сейчас отсутствует, и колоссальные многолетние усилия по ее созданию не увенчались успехом. Полное описание вакуума есть составная часть такой будущей теории, а пока приходится ограничиваться модельными представлениями.

Сделаем несколько замечаний относительно характеристик планковской области. Планковские величины, введенные М. Планком в 1899 г., характеризуются тремя фундаментальными постоянными, определяющими три универсальных физических явления: гравитацию (константа G), квантовую теорию (\hbar) и теорию относительности (c). Из этих констант можно составить следующие планковские величины: длину $l_{\text{Pl}} = \left(\frac{G\hbar}{c^3}\right)^{1/2} \approx 10^{-33}$ см, время $t_{\text{Pl}} = \left(\frac{G\hbar}{c^5}\right)^{1/2} \approx 10^{-43}$ с, массу $m_{\text{Pl}} = \left(\frac{\hbar c}{G}\right)^{1/2} \approx 10^{-5}$ г и плотность $\rho_{\text{Pl}} = \frac{c^5}{\hbar G^2} \approx 10^{94}$ г·см⁻³.

В планковской области материя чрезвычайно сильно флуктуирует. Едва ли в ней существуют отдельные частицы. Скорее можно говорить о непрерывной, вакуумобразной среде.

После этого отступления нарисуеть возможную картину будущего мини-вселенной, принимая за его эталон эволюцию нашей Метагалактики*. Предположим, что средняя плотность вещества Метагалактики $\rho > \rho_{\text{кр}}$. Тогда наблюдаемое сейчас расширение сменится сжатием, плотность ρ будет увеличиваться (так называемая закрытая Метагалактика) и через некоторое время достигнет планковской. Например, для Метагалактики, полная масса которой равна $\approx 10^{60}$ г, это случится, когда ее размеры будут $\approx 10^{-10}$ см. В этом малом объеме будет находиться вакуумобразная материя, которая может вызвать к жизни новую мини-вселенную. И этот процесс будет продолжаться непрерывно и бесконечно. Самое существенное заключается в следующем: при переходе от одной мини-вселенной (или метагалактики) к другим аналогичным объектам вовсе не обязательно, чтобы фундаментальные постоянные (константы и число взаимодействий, размерность пространства, массы частиц) повторялись. Естественно допустить, что они меня-

* Модельный анализ самовосстанавливающейся Вселенной провел А. Д. Линде.

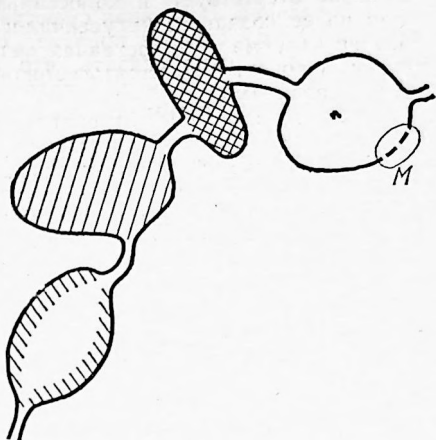


Рис. 3. «Вечная» Вселенная. Каждый «овал» представляет мини-вселенную со своим набором фундаментальных констант, которая в процессе эволюции порождает новую мини-вселенную, и так до бесконечности. На рисунке изображены топологически связанные мини-вселенные. Однако сейчас нельзя исключить, что Вселенная состоит из топологически несвязанных областей. Буквой *М* символически помечена наша Метагалактика, являющаяся весьма малой частью одной мини-вселенной

ют свое значение при трансформации одной мини-вселенной в другую.

Схематически такая картина представлена на рис. 3. Необходимо, однако, подчеркнуть чрезвычайную схематичность рисунка. Каждая заштрихованная область может иметь свою и, быть может, весьма высокую размерность и сложную геометрическую конфигурацию. «Степень заштрихованности» условно означает различные физические законы в этих областях.

Далее, по-видимому, возможны два варианта. В первом фоновое пространство отсутствует и Вселенная — совокупность весьма причудливых геометрических фигур. Во втором варианте существует фоновое пространство. Например, для простоты можно допустить, что таковым является N -мерное пространство Минковского ($N > 3$), заполненное вакуумом, в котором рождаются мини-вселенные, распадающиеся затем на метагалактики.

В этих ситуациях не возникает вопрос о начале метagalaktик или Вселенной. Вселенная существует вечно. Вечность, конечно, не физическое понятие, она имеет относительный смысл. Можно сказать, что время существования Вселенной весьма велико сравнительно со временем существования Метagalaktики (напомним, $t_M \approx 10^{10}$ лет). Что было ранее (например, 10^{1000} лет назад) — просто бессмысленный вопрос. В такой картине не возникает — даже теоретически — проблемы сингулярности. Конкретно решение этой проблемы, в частности, заключается в следующем. Как показали Р. Пенроуз и С. Хоукинг, любая система, эволюция которой определяется гравитацией и которая удовлетворяет космологическим постулатам, обязательно стремится к сингулярности. Однако «вечная» Вселенная существенно неоднородна и поэтому к ней теорема Хоукинга—Пенроуза неприменима.

В нарисованной схеме нет нужды существенно менять те относительно примитивные представления о времени, которые сейчас существуют. Например, время можно определить как меру направленной (от причины к следствию) эволюции объекта. Такое определение, которое можно использовать в пределах Метagalaktики, без труда распространяется и на Вселенную.

И наконец, последний по счету, но не по важности вопрос: можно ли экспериментально проверить нарисованную здесь картину? На этот вопрос можно ответить двояко. Прямая опытная проверка современной космологии невозможна. Мы обречены ограничить наблюдения размерами Метagalaktики ($\approx 10^{28}$ см). Однако существуют надежды на создание полной (немодельной) теории образования и эволюции Вселенной, а также косвенные экспериментальные указания, к которым мы и перейдем далее.

АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП

Коперник, отставив гелиоцентрическую модель Солнечной системы, низвел Землю до статуса рядовой планеты. В физическом аспекте это положение абсолютно правильно. Однако в некотором отношении Земля является исключительным космическим объектом: она — единственно известная нам обитель разума. Все (довольно многочисленные) попытки обнаружить внеземные

цивилизации окончились неудачей. Умозрительные рассуждения на эту тему едва ли убедительны. Можно привести аргументы как в пользу единственности нашей цивилизации (отсутствие сигналов иных более развитых цивилизаций), так и их множественности (отсутствие сигналов объясняется относительно малым временем существования цивилизации).

Бесспорно, что развитая цивилизация, если и не уникальней, то по крайней мере весьма редкий феномен. Возникновение разумного существа требует самоорганизации в весьма сложных физических условиях. Уже в конце прошлого столетия А. Уоллес отмечал, что человек мог возникнуть на Земле, если она является частью Вселенной, многократно превышающей ее по размерам. Он же высказал мысль о множественности миров с различными законами и о том, что появление человека возможно при вполне определенном сочетании физических законов.

Эта мысль впоследствии неоднократно трансформировалась, пока не приобрела относительно устойчивую формулировку, которая получила название антропного принципа. Основная идея анализа, основанного на этом принципе, заключается в постулировании взаимосвязи между существованием «наблюдателя» и конкретных физических законов. Есть несколько формулировок антропного принципа. Приведем две из них, принадлежащих Б. Картеру: «Наше положение во Вселенной с необходимостью является привилегированным в том смысле, что оно должно быть совместимо с нашим существованием, как наблюдателей» (так называемый «слабый» антропный принцип). И «Вселенная должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе эволюции допускалось существование наблюдателей» («сильный» антропный принцип).

Вот один из примеров использования антропного принципа. Уже много десятилетий существует эмпирическое соотношение, связывающее макроскопические и микроскопические параметры Метагалактики. По порядку величины

$$H_0 \approx \frac{a_g m_p c^2}{\hbar} \quad (14)$$

(напомним, что H_0 — постоянная Хаббла в нашу эпоху, $a_g = \frac{Gm_p^2}{\hbar c}$ — безразмерная постоянная гравитации,

m_p — масса протона). Время жизни звезды $t_s \approx \frac{h}{\alpha_g m_p c^2}$ а время жизни Метагалактики $t_M \approx 1/H_0$. Далее используем антропный принцип. Наиболее простая модель возникновения «наблюдателя» (по крайней мере, если его отождествить с человеком) требует существования звезд типа Солнца. Процесс эволюции материи, приводящей к появлению наблюдателя, весьма длителен, и вероятность его реализации увеличивается с увеличением времени t_s существования звезд. Однако очевидно, что время $t_s \leq t_M$. Поэтому «наблюдатель» возникает, если выполняется оптимальное соотношение $t_s \approx t_M$. Из этого приближенного равенства и следует соотношение (14).

На основе антропного принципа можно интерпретировать и некоторые иные загадочные соотношения.

Тем не менее популярность антропного принципа среди физиков не слишком велика. Автору представляется, что это обстоятельство не случайно и обусловливается несколькими аргументами.

1. В основу антропного принципа положено не вполне определенное понятие «наблюдателя». Если отождествить его с разумным субъектом, то тогда в основу физического закона закладывается биологическое понятие, с точки зрения физика также весьма неопределенное.

2. Антропный принцип только интерпретирует, но почти ничего не предсказывает, т. е. характеризуется практически нулевой эвристической способностью.

3. Если не прибегать к теологическим аргументам, то неясно, почему во Вселенной должно существовать разумное существо. Нетрудно представить себе метагалактику, мини-вселенную или Вселенную, в которой разум отсутствует. С другой стороны, можно вообразить себе Вселенную, устроенную по законам, совершенно отличным от тех, которые действуют в Метагалактике, но в которой существует Разум.

Однако, несмотря на перечисленные дефекты антропного принципа, за ним можно числить два больших достоинства. Этот принцип впервые поставил на научную основу вопрос: почему наш мир устроен таким, каким мы его наблюдаем? Ранее ограничивались вопросом: как устроен мир? Представляется также существенным,

что антропный принцип вывел вопрос о множественности миров из области догадок и мистического тумана в проблему, находящуюся в компетенции науки.

ПРИНЦИП ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ

Учитывая отмеченные выше недостатки антропного принципа, его следует модифицировать в двух направлениях. Во-первых, положить в основу не несколько иррациональное понятие «наблюдателя», а известные и четко определяемые физические объекты, и, во-вторых, использовать хорошо изученные в лабораторных условиях закономерности для их анализа и последующей экстраполяции в области пространства, расположенные вне Метагалактики.

Можно предложить следующую формулировку: законы физики не только достаточны, но и необходимы для создания и длительного существования основных связанных и устойчивых состояний: атомных ядер, атомов звезд и галактик. Этот принцип — принцип целесообразности — базируется на хорошо изученных физических объектах и позволяет, как мы увидим далее, сделать некоторые предсказания*.

Мы здесь не будем детально излагать обоснование этого принципа, а остановимся на рассуждениях, приводящих к нему, и некоторых выводах, которые из него следуют.

Аргументы в пользу принципа целесообразности базируются на мысленном (теоретическом) сценарии эволюции фридмановской Метагалактики при малом изменении параметров, определяющих физические закономерности. Вообще говоря, такой подход близок к стандартному методу исследования устойчивости физической системы. В такой системе всегда существуют численные параметры, варьируя которые проверяют ее устойчивость. Применительно к такому большому (по человеческим масштабам) объекту, как Метагалактика, в рамках подобного подхода можно говорить об универсальных физических константах.

По существу, принцип целесообразности заключает-

* Подробно о принципе целесообразности см. уже упомянутую книгу автора: *Элементарные частицы и структура Вселенной*. — М.: Наука, 1984.

ся в доказательстве неустойчивости структуры Метагалактики по отношению к численному изменению фундаментальных постоянных. Мы рассмотрим лишь три примера такой неустойчивости, отобрав их по принципу простоты и наглядности.

Пример 1. Масса электрона. Как известно, водород — абсолютно устойчивый элемент. Однако в принципе может существовать реакция

$$e + p \rightarrow n + \nu \quad (15)$$

(e , p , n , ν — соответственно электрон, протон, нейтрон и нейтрино). Однако эта реакция запрещена самым строгим законом — законом сохранения энергии (массы). В энергетических единицах разница Δm_N между массой нейтрона и протона равна 1,3 МэВ, в то время как масса электрона $m_e \approx 0,5$ МэВ. Поэтому распад нейтрона на протон, электрон и (анти)нейтрино возможен, а реакция (15) в природе не осуществляется.

Увеличим мысленно массу электрона втрое. Тогда реакция, как говорится, «проходит». И что же из этого следует?

Как известно, через 10^6 лет после начала расширения в Метагалактике образуются атомы водорода. Этот период исключительно важен, поскольку переход горячей плазмы в атомы означает возможность конденсации частиц в скопления и галактики. Если бы в истории Метагалактики не было бы эры нейтрального водорода, то излучение заряженных частиц плазмы препятствовало бы их конденсации в галактики.

В случае «утяжеленного» электрона атомы водорода (протоны) будут быстро и необратимо переходить в нейтроны и нейтрино, и звезды главной последовательности (типа нашего Солнца) возникнуть не смогут. Все скопления, галактики и, быть может, более мелкие образования будут состоять исключительно из нейтронов. Это мы и называем неустойчивостью структуры Метагалактики.

Возникает вопрос: велико или мало увеличение массы электрона втрое? Такой вопрос в физике сам по себе лишен смысла. Имеет смысл лишь вопрос о величине изменения сравнительно с какой-либо характеристической величиной системы. Сейчас на ускорителях хорошо изучен спектр масс элементарных частиц. Оказывается, что он имеет резкий максимум в области массы

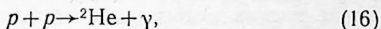
протона $m_p \approx 2000 m_e$. Ясно, что увеличение массы m_e втрое очень мало сравнительно с отношением $m_p/m_e \approx \approx 2000$.

Пример 2. Устойчивость дейтона. Дейтон — также абсолютно стабильная частица, состоящая из протона и нейтрона. Однако, как известно, нейтрон в свободном состоянии распадается. Стабильность же нейтрона в дейтоне имеет простую интерпретацию. Энергия связи протона и нейтрона превышает разницу масс между ними и поэтому в дейтоне аналог реакции (15) (с переносом нейтрона в левую часть) осуществиться не может. Однако, если увеличить разницу масс более чем вдвое, то нейтрон должен был бы распадаться, предопределяя нестабильность дейтона.

Дейтон является довольно экзотическим элементом, и поэтому, с первого взгляда, можно подумать, что его характеристики не должны сказаться на глобальных характеристиках таких гигантских образований, как метагалактики или мини-вселенные. Но такое впечатление ошибочно. Действительно, в современную эпоху роль дейтона в структуре Метагалактики ничтожна. Однако совершенно иная ситуация существовала в первые минуты после образования Метагалактики. Дейтон был необходим для нуклеосинтеза всех сложных элементов.

Именно на этапе космического нуклеосинтеза образование стабильного дейтона является необходимым звеном для последующей генерации α -частиц, которые уже в процессе звездной эволюции сливаются в более тяжелые элементы, в частности углерод. Нестабильность дейтона разрушила бы всю цепь нуклеосинтеза. В этом случае в метагалактике (мини-вселенной) отсутствовали бы тяжелые элементы.

Пример 3. О величине константы сильного взаимодействия. В противоположность дейтону частица, состоящая из двух протонов (бипротон ${}^2\text{He}$), нестабильна. Однако, как показывают оценки, увеличение константы сильного взаимодействия на несколько процентов обеспечило бы стабильность бипротона. В этом случае кардинально изменился бы характер космического нуклеосинтеза. Действительно, в случае стабильности бипротона существовала бы реакция



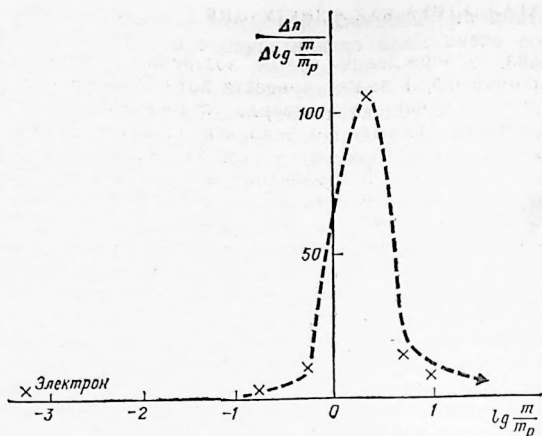


Рис. 4. Распределение элементарных частиц по массам. По оси абсцисс отложены логарифмы значений масс элементарных частиц. По оси ординат — отношение числа частиц Δn на единицу массы в логарифмическом масштабе $\Delta \lg \frac{m}{m_p}$. Пунктирная кривая — аппроксимация экспериментальных данных. За единицу массы принята масса протона m_p

которая реализуется по электромагнитному взаимодействию, т. е. на много порядков быстрее, чем реакции типа (15), обусловленные слабым взаимодействием. В таком случае протоны уже на первом этапе «выгорели» бы полностью, что привело бы к кардинальному изменению всей схемы эволюции звезд. Основная термоядерная реакция — слияние протона и нейтрона — не реализовалась бы, т. е. звезды бы быстро «угасли».

Таким образом, незначительное изменение численного значения фундаментальных постоянных приводит к радикальному изменению физической структуры Метагалактики. Иначе: эта структура неустойчива к изменению значений фундаментальных констант.

Такая «подстройка» численного значения фундаментальных постоянных к сложной структуре Метагалактики приводит к необходимости (если исключить гипотезу Божественного Провидения) допустить существование многих метагалактик (мини-вселенных) с разным набором фундаментальных констант.

МЕТАГАЛАКТИКА КАК ФЛУКТУАЦИЯ

Для утверждения новых воззрений на эволюцию Вселенной очень важно привести хотя бы косвенные аргументы, основанные на твердо установленных экспериментальных данных. На ускорителях превосходно изучены характеристики более чем 300 элементарных частиц. На рис. 4 и 5 приведены распределения, которые, быть может, послужат «ключом» для решения ряда проблем физики элементарных частиц и обоснования определенной концепции происхождения и эволюции Вселенной, мини-вселенных и метagalactic.

На рис. 4 представлено распределение элементарных частиц по массам. Поскольку массы частиц расположены в пределах пяти порядков (от массы электрона 10^{-27} г $\approx 0,5$ МэВ до массы W^\pm , Z^0 -бозонов $\approx 10^{-22}$ г ≈ 100 ГэВ), то представлять это распределение в линейном масштабе крайне неудобно и приходится использовать логарифмический масштаб. Из рисунка сле-

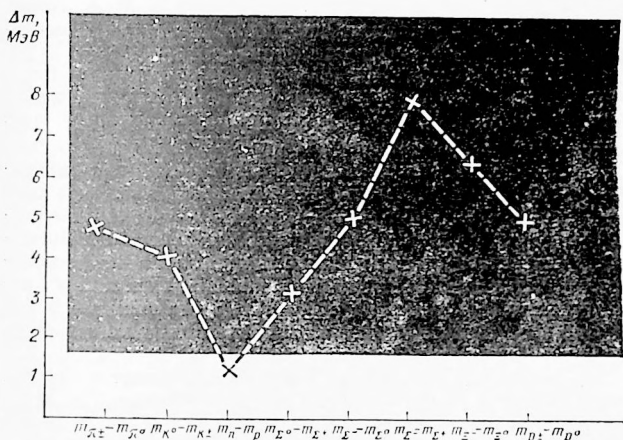


Рис. 5. Распределение изотопических семейств по разностям масс. По оси абсцисс указаны разности масс для соответствующего изотопического семейства, по оси ординат — величина этой разности, выраженная в энергетических единицах

дует, что вблизи массы протона m_p в распределении существует резкий максимум. Примерно 90% всех частиц имеют массу, значение которой находится в интервале $(\frac{1}{2} \div 2) m_p$.

Приведем другое важное для нас распределение (рис. 5), сделав предварительное пояснение. В физике элементарных частиц существует понятие изотопических семейств (мультиплетов). Частицы, входящие в один мультиплет, имеют одинаковые квантовые числа (кроме величины электрического заряда) и почти одинаковые значения масс. В пределах одного мультиплета массы отличаются на 0,1—1%. Наиболее известные представители изотопических мультиплетов — нуклоны. К этому семейству относятся протон и нейтрон. Разница масс $m_n - m_p \approx 10^{-3} m_p$. Электрический заряд протона равен заряду электрона, а заряд нейтрона — нулю. Все остальные квантовые числа обеих частиц тождественны.

На рис. 5 представлено распределение разниц масс частиц, входящих в одно и то же изотопическое семейство. Каждая точка на гистограмме — разница масс частиц одного мультиплета, выраженная в МэВ. Заметим, что на рисунке представлены семейства, массы которых измерены с наибольшей точностью.

После демонстрации этих хорошо установленных данных перейдем к их анализу, предварительно отметив одну из основных проблем физики элементарных частиц — проблему иерархии масс.

Эта проблема, решение которой в рамках современной теории полностью отсутствует, заключается в следующем. Как упоминалось ранее, масса Х-бозона, ответственного за Большое объединение, $m_X \approx 10^{15} m_p$. Возникает вопрос: почему отношение $m_X/m_p \approx 10^{15}$ столь велико по сравнению с единицей? Дирак еще в 1937 г. отмечал (и на наш взгляд, вполне справедливо), что все безразмерные фундаментальные константы должны быть ≈ 1 .

Еще более драматический вопрос возникает в связи с планковской массой $m_{Pl} \approx 10^{19} m_p$, ответственной за объединение всех четырех взаимодействий. К этой серии проблем примыкает также вопрос о малости массы электрона.

Упомянутый постулат Дирака не имеет четких количественных критериев, поскольку в этом определении нет эталонов и аналогов данной фундаментальной величин-

ны. Чтобы устранить этот дефект, воспользуемся распределением, представленным на рис. 4. Можно сформулировать простую задачу: какова вероятность существования частиц в интервале $0-3 m_e$ и $10^{15}-10^{19} m_p$? Оказывается, что вероятность частиц иметь очень малую массу составляет $\approx 10^{-5}-10^{-6}$, а вероятность иметь массу, аномально большую, еще меньше — $\approx 10^{-40}-10^{-42}$. Хотя экстраполяция в столь больших интервалах (2) порядков) всегда содержит большие неопределенности, тем не менее эта процедура дает полуколичественное представление о вероятности «появления» частиц с аномальными массами. Как мы видим, эти вероятности исключительно малы. Тем не менее появление частиц с такими массами на опыте или в теории является фактом. Как совместить эти оба, казалось бы, противоречивые утверждения? Ответ дает принцип целесообразности.

Действительно, теория нестабильности протона дает в логарифмическом приближении следующую зависимость для времени его жизни:

$$t_p \sim m_X^{-1}. \quad (17)$$

Поэтому, если бы масса X -бозона была бы на несколько порядков меньше предсказываемой теорией, то время t_p было бы меньше времени t_M существования Метагалактики. Все протоны распались бы, и вся материя состояла бы из фотонов и нейтрино. В такой Метагалактике отсутствовали бы ядра, атомы, звезды галактики. Нельзя существенно уменьшить и массу m_{pl} . Действительно, из теории эволюции звезд следует, что время их жизни

$$t_s \sim a_g^{-1}. \quad (18)$$

Но $m_{pl} = a_g^{1/2} m_p$. Поэтому $t_s \sim (m_{pl}/m_p)^2$, следовательно, даже уменьшение массы m_{pl} всего лишь на порядок катастрофически уменьшит время жизни звезд.

Увеличить массу m_e вдвое нельзя, поскольку это привело бы к коллапсу атомов водорода с последующими катастрофическими последствиями (см. предыдущий раздел). Таким образом, чудовищные флуктуации масс основных частиц являются залогом сложной гармонии нашей Метагалактики.

Флуктуативность (в этом смысле) фундаментальных постоянных подтверждает также и рис. 5. Из этого ри-

сунка следует, что разность масс $\Delta m_N = m_n - m_p$ существенно меньше аналогичной разности для других семейств. Более того, если бы разность Δm_N была бы равна минимальной из всех разностей Δm , представленных на рисунке, то дейтрон был бы нестабильной частицей, что привело бы (как отмечалось в предыдущем разделе) к катастрофическим последствиям.

Таким образом, можно считать почти доказанными два положения: 1) спектр масс элементарных частиц сформировался в процессе образования Метагалактики (мини-вселенной) по некоему вероятностному закону и 2) фундаментальные постоянные, необходимые для формирования сложной структуры Метагалактики, приобретают свое значение в этот же момент и являются большими флуктуациями в ряду подобных себе величин. Эта флуктуативность необходима для существования сложной структуры Метагалактики.

ГЕОМЕТРИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Вероятно только привычность, можно сказать обыденность, евклидовой геометрии препятствует нам остановиться с чувством глубокого благоговения перед этим достижением античной культуры. Действительно, уже давно стали достоянием истории физика Аристотеля, астрономия Птолемея или математика Архимеда, величайшие вершины древней цивилизации, а геометрия Евклида до сих пор остается основой школьной математики.

И здесь возникает вопрос: в чем же секреты удивительной живучести евклидовой геометрии? На наш взгляд, основных причин две. Во-первых, евклидова геометрия — образец построения, на основе которого можно наилучшим образом обучать в школе логическому мышлению, и во-вторых, геометрия Евклида является даже и по сей день превосходным отражением видимого наблюдаемого мира.

Тем не менее уже в прошлом столетии находились математики, которые осмелились подвергнуть сомнению евклидову геометрию как единственно возможную. Собственно говоря, в работах Гаусса—Лобачевского не отрицалась вся геометрия Евклида. Подвергался сомнению лишь знаменитый пятый постулат.

Гаусс и Лобачевский независимо друг от друга пы-

тались опытным путем проверить евклидову геометрию (точнее, справедливость пятого постулата), но никаких отклонений физического пространства от евклидоваго не обнаружили.

Однако в нашем столетии ситуация изменилась. А. Эйнштейн в 1915—1916 гг., основываясь на неевклидовой геометрии (геометрии Римана), создал свою теорию гравитации — общую теорию относительности. В рамках ОТО тела деформируют пространство, так что гравитация проявляется в движении по кратчайшим в данном неевклидовом пространстве линиям — геодезическим.

Огромное большинство экспериментальных данных о гравитации можно описать в рамках школьной физики (пространство Евклида + ньютоновский закон всемирного притяжения) или ОТО. Однако некоторые (правда, немногочисленные) явления (отклонение света в гравитационном поле Солнца, смещение перигелия Меркурия) превосходно согласуются с предсказаниями ОТО и противоречат ньютоновской теории. Таких данных немного, и поэтому до сих пор предпринимаются попытки построить полную теорию гравитации в пространстве, аналогичном евклидову. Для нас, однако, важно одно. В XIX столетии евклидовость физического пространства была очевидна. После работ Эйнштейна большинство физиков придерживается точки зрения, что пространство должно несколько отличаться от евклидова.

Теперь мы переходим к основному пункту. До сих пор мы касались лишь формы пространства, не затрагивая вопроса о его размерности. В рамках ОТО размерность физического пространства полагалась (как и во времена Евклида) равной трем. Или, если уж быть точным, эта размерность была равна $3+1$, где единица соответствует времени.

Как известно, в теории относительности пространство и время образуют единый четырехмерный континуум. Мы в дальнейшем и будем говорить о четырех измерениях этого континуума, подразумевая под четвертым измерением время.

Дальнейший прогресс наших представлений о физическом пространстве связан с попытками, относящимися к двадцатым годам нашего столетия. В это время некоторые физики, воодушевленные успехами ОТО, пытались построить единую теорию взаимодействий. В те

далекие времена это означало: объединить в единую теорию два хорошо изученных взаимодействия — электромагнитное и гравитационное. В частности, Т. Калуца в 1921 г. предложил провести это объединение, постулируя, что физическое пространство — время имеет не четыре измерения, а пять. С первого взгляда эта идея кажется абсолютно абсурдной, поскольку все наши опыты демонстрируют, что физическое пространство имеет три и не более измерений. Однако (и в этом заключается «чудо») для успеха объединения не имеют значения размеры пятого измерения пространственно-временного континуума. Его размеры могут быть сколь угодно малыми и не быть обнаружены на опыте. Чтобы понять это утверждение, представим себе бесконечный (или очень длинный) цилиндр. Тогда на достаточно большом расстоянии от него мы будем видеть вместо цилиндра прямую, слившуюся с осью этого цилиндра. Иначе говоря, двумерное образование (цилиндр) нам будет казаться одномерным (прямой).

Это, конечно, всего лишь аналогия. Наглядно представить себе пятое измерение мы не можем. Однако человеческий ум достаточно изощрен, чтобы преодолеть это препятствие. Используя аналитические методы, можно определить свойства пространства, не прибегая к наглядности.

Итак, в рамках пятимерной геометрии можно непротиворечиво и единообразно описать электромагнитное и гравитационное взаимодействия. Эта идея весьма воодушевила А. Эйнштейна, который последние десятилетия своей жизни посвятил развитию единой теории поля. С ним работали лишь его ближайшие ученики. Большинство же физиков оценивало эти попытки негативно, относя их к чудачествам стареющего гения. Сейчас довольно трудно восстановить точную контраргументацию оппонентов Эйнштейна. Однако и с точки зрения современного физика можно привести по крайней мере несколько возражений:

1. Теория Калуцы (включая и работы Эйнштейна) объединяла лишь электромагнитное и гравитационное взаимодействия. Квантовые взаимодействия (сильное и слабое) с малым радиусом сил ($\approx 10^{-13}$ см) не включались в данную теорию.

2. Отсутствовал подход к размерам пятого измерения. Экспериментальные же данные свидетельствова-

ли, что вплоть до расстояний 10^{-16} см никаких отклонений размерности пространства от трех не обнаружено.

3. Никаких новых результатов или предсказаний пятимерная теория не давала, хотя она и основывалась на непривычном математическом аппарате многомерной геометрии, который физикам следовало преодолеть для понимания новых идей. По-видимому, поэтому Эйнштейн остался в одиночестве и многомерная теория объединенного взаимодействия была забыта на многие десятилетия.

Ренессанс пришел совсем недавно, в конце 70-х годов. Весьма поучительно проследить причины реставрации старых идей многомерной физики. Ренессанс был не случаен, он был подготовлен блестящими достижениями в физике элементарных частиц. Перечислим коротко эти достижения.

1. Была создана и прекрасно подтверждена на опыте квантовомеханическая объединенная теория слабого и электромагнитного взаимодействий.

2. Выяснилось, что истинными носителями сильной взаимодействия являются кварки.

3. Взаимодействие между кварками описывается новой теорией — квантовой хромодинамикой.

4. В работах советских физиков (Л. Д. Ландау, И. Я. Померанчук, Е. С. Фрадкин) выяснилось, что на расстояниях $\approx 10^{-33}$ см квантовая электродинамика — образцовая теория — становится противоречивой. Все электрические заряды на этих расстояниях обращаются в нуль.

5. В квантовой теории поля не удается справиться с расходимостями и аномалиями.

Последний пункт важен для понимания идей, излагаемых далее, и поэтому мы остановимся на нем подробнее.

Как известно, квантовая механика предсказывает вероятность осуществления данного состояния (например, вероятность появления частицы с заданными значениями координаты и импульса). По смыслу определения понятия вероятности эта величина заключена в интервале от нуля до единицы. Вероятность, равная 1, означает, что данное событие осуществится обязательно. Вероятность, равная нулю, означает, что оно не осуществляется вовсе. Следовательно, вероятность не мо-

жет превышать единицу или быть отрицательной. Таков основной постулат квантовой механики. Однако в квантовой теории поля, описывающей взаимодействие элементарных частиц и их полей, иногда возникают значения вероятностей, превышающие 1 и даже достигающие бесконечных значений. Подобные результаты называются расходимостями. Аномалии также противоречат общим принципам квантовой механики и, в частности, соответствуют появлению отрицательных значений вероятностей.

Расходимости и аномалии, возникающие в теориях взаимодействий, рассматриваемых изолированно, говорят о незамкнутости и внутренней противоречивости этих теорий.

В последнее время возникло некоторое понимание того, что устранение расходимостей и аномалий связано с созданием истинной объединенной теории поля. В такой теории расходимости должны входить с разными знаками и, следовательно, компенсировать друг друга. Аномалии могут исчезнуть.

Решающим моментом в реставрации интереса к построениям типа Калуцы является геометрическая интерпретация объединенной теории. В простейшем варианте этой теории (так называемой супергравитации), помимо четырехмерного континуума пространства — времени, возникает семимерное компактное пространство, которое можно для некоторой наглядности отождествить с семимерной сферой.

Подобная геометрическая интерпретация может вызывать ассоциацию с построениями Калуцы—Эйнштейна. Утверждение, что Эйнштейн предвидел современную многомерную интерпретацию объединенной теории, представляется нам чрезмерным упрощением. Действительно, супергравитация обобщает теорию Калуцы, однако на совершенно иной основе — квантовой, в то время как основоположники многомерной интерпретации использовали лишь классические, неквантовые представления.

Перечисленные аспекты новой физики разрешают и упомянутые выше вопросы и проблемы, возникшие на первом этапе развития многомерной физики. Сейчас господствует убеждение, что именно на планковских величинах формируется фундаментальная физика, соответствующая объединенному взаимодействию.

Остановимся подробнее на планковской длине $\approx 10^{-33}$ см. Эта величина совпадает с тем критическим расстоянием, на котором теряет смысл квантовая электродинамика (проблема нуль-заряда, см. выше). Поэтому естественно предположить, что размеры семимерной компактной сферы совпадают по порядку величины с планковским расстоянием и поэтому не проявляются непосредственно при исследовании физической геометрии. Напомним, что сейчас на опыте определена геометрия лишь на расстояниях 10^{-16} см, что на семнадцать порядков превышает планковские размеры.

Таким образом, решается вторая из проблем, стоявшая перед создателями многомерной единой теории взаимодействий, — проблема радиусов компактных размерностей.

И наконец, главное. Объединение нужно для устранения расхождений и аномалий. И действительно, на основе идей супергравитации удалось справиться с некоторыми (но, увы, не со всеми) расхождениями и аномалиями.

Некоторый прогресс в этом вопросе наметился в начале 80-х годов после введения идеи суперструн (М. Грин, Дж. Шварц). В основе этой идеи лежит представление о том, что основным элементом физической геометрии является не точка, а одномерное образование — струна. Проще всего (хотя это и не обязательно) струну отождествить с колечком, имеющим планковские размеры. Однако в отличие от геометрической окружности суперструна характеризуется также и квантовыми числами (например, спином). Здесь полезно сделать следующее замечание. Суперструна — прообраз истинно элементарных частиц (например, электронов и кварков). Ранее полагали, что такие частицы имеют нулевые размеры, теперь же — планковские.

Вообразить же реально частицу с планковскими размерами совсем не просто. Например, отношение размеров точки на бумаге (≈ 1 мм) к размерам Солнца ($\approx 10^{11}$ см) равно «всего лишь» 10^{-12} . Даже отношение размеров точки к размерам Вселенной (10^{28} см) равно 10^{-29} , т. е. на несколько порядков превышает отношение планковской длины к размерам той же точки на бумаге (10^{-32}).

Объединенная теория, базирующаяся на идеях Калу-

цы и суперструн, развивалась весьма интенсивно. В теории суперструн достигнуты следующие результаты. Во-первых, ликвидированы многие расхождимости и аномалии. Во-вторых, казалось, что однозначно была зафиксирована размерность, которой соответствует непротиворечивая теория суперструн. Эта размерность равна 506. Из этого числа четыре относятся к пространственно-временному континууму, а остальные соответствуют компактному объему с планковскими размерами. Однако в последнее время удалось построить теории и с другими размерностями.

Сейчас трудно дать окончательную оценку теории суперструн и ее геометрической интерпретации. Тем не менее можно подвести предварительные итоги.

1. Теория суперструн и обобщенная теория Калуцы — «классический» образец нового мышления. Оба направления увязываются не с обычным физическим критерием — опытом, а с критериями, характерными скорее для математики — устранение непоследовательностей и противоречий (расхождимостей и аномалий).

2. Размерности 10 (супергравитация) или 506 (суперструны) не являются окончательными значениями. На пути построения последовательной единой теории взаимодействий могут возникнуть иные, более сложные геометрические образы.

3. Геометрическая интерпретация объединенных теорий почти с неизбежностью приводит к сложной геометрии. Три измерения имеют большую величину, равную размерам Метагалактики — 10^{28} см, однако существует множество измерений, имеющих очень малую (сравнительно с привычными человеческими масштабами) планковскую величину.

4. Построить однозначную и полностью непротиворечивую объединенную теорию пока не удалось.

5. Поскольку непосредственно обнаружить дополнительные размерности нельзя, то возникает естественный вопрос: реальна ли современная геометрическая интерпретация объединенной теории? Быть может, описанная здесь сложная физическая геометрия всего лишь леса, которые уберутся, когда будет окончательно построена объединенная теория?

На этот вопрос, вероятно, следует ответить отрицательно. Истинная геометрия мира не имеет три пространственных измерения. Три протяженных размера ха-

рактены лишь для нашей Метагалактики, которой отнюдь не исчерпывается весь мир. Об этом свидетельствует следующий факт, давно обнаруженный П. Эренфестом. В евклидовых пространствах с размерностью больше трех не могут существовать аналоги планет и атомов. Этот единичный факт мог бы считаться курьезом, однако анализ многих иных фактов* показывает, что структура нашей Метагалактики (существование атомов, звезд и т. д.) крайне неустойчива к численному значению фундаментальных постоянных (см. предыдущие разделы). Единственный выход — заключить, что метагалактик (мини-вселенных) много и они характеризуются различным набором фундаментальных постоянных, в том числе и размерностей. Размерность, равная трем, характерна для нашей Метагалактики, не исчерпывающей Вселенной. Эта размерность — основа существования планетных систем и прекрасно вписывается в принцип целесообразности.

Истинная размерность мира — всего сущего — велика (заведомо больше трех). В момент образования Метагалактики (15—20 млрд. лет назад) все пространственные размерности, кроме трех, компактифицировались, уменьшились до планковских размеров.

Сейчас геометрию Метагалактики можно представить себе следующим образом. На больших расстояниях (вплоть до размеров Метагалактики) пространство евклидово и трехмерно. На очень малых ($\approx 10^{-33}$ см) — геометрия многомерна и неевклидова.

Таким образом, существует много косвенных доводов, основанных на экспериментальных фактах и свидетельствующих в пользу вечной Вселенной, состоящей (или распадающейся на...) из множества самых разнообразных по своим свойствам мини-вселенных и метагалактик.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ И ТЕОРИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

В середине 80-х годов среди физиков-теоретиков наблюдалась некоторая эйфория относительно перспектив близкого построения единой теории всех взаимодейст-

* См. книгу автора: Геометрия, динамика, Вселенная. — М.: Наука, 1987.

вий. Эти надежды связывались с утверждением (которое впоследствии оказалось неверным) относительно единственности физического пространства, в котором ликвидируются все внутренние противоречия теории. После того как эти надежды не оправдались, наметился некоторый спад интереса к супертеориям, что заметно по уменьшению числа публикаций на эту тему.

Как отмечалось ранее, современные теории включают огромные массы m_x и m_y , совершенно недоступные для непосредственных исследований. Единственный косвенный эксперимент в этой области — изучение распада протона — не увенчался успехом, хотя для обнаружения этого феномена в середине 80-х годов строились огромные установки. Поэтому экспериментальный базис теорий, объединяющих три или четыре взаимодействия, практически отсутствует. Все сводится к попыткам установить физические законы по глобальным наблюдениям характеристик Метагалактики и сопоставить их с выводами теории.

Здесь есть кардинальное отличие от объединенного электрослабого взаимодействия, которое оперирует с вполне «человеческими» масштабами ($\approx 100 m_p$), доступными для детальных исследований на ускорителях.

На наш взгляд, трудности в построении законченной объединенной теории заключаются не только в отсутствии экспериментальной базы, но и коренятся в самом подходе. Метод современной теории основан на поисках адекватной симметрии (например, суперсимметрии) или новых фундаментальных объектов (струн). Но в рамках такого подхода остаются неизменными, заданными параметры теории и, в частности, массы частиц. Как мы могли убедиться, в начальный период возникновения Метагалактики, видимо, образовывались частицы с целым спектром масс. Короче говоря, последовательная и законченная теория должна включать, как обязательный элемент, переменность фундаментальных постоянных — масс, размерности пространства, констант взаимодействий. Из этой программы сейчас реализуются лишь теории с переменной размерностью.

Однако непосредственные наблюдения — да и современная космология — свидетельствуют о том, что, начиная со времени расширения Метагалактики (≈ 1 с), константы не изменялись. Следовательно, значения фун-

даментальных постоянных могли фиксироваться на очень малых временах ($t_m \ll 1$ с), скорее всего на временах $\approx 10^{-35}$ с, а это уже практически совпадает со временем возникновения Метагалактики (мини-вселенной). Следовательно, полная единая теория элементарных частиц и теория возникновения метагалактик (мини-вселенной), по-видимому, два разных аспекта одного явления.

Истинная и полная теория — синтез космологии и теории элементарных частиц. В поисках этой теории следует учитывать и вероятную изменчивость ее параметров — фундаментальных констант.

ЭССЕ НА ТЕМУ: НЕТ ПРОРОКА В СВОЕМ ОТЕЧЕСТВЕ

В настоящее время стало модным утверждение, которое часто произносится на повышенных тонах: мы там-то и там-то чудовищно отстали от Запада. Этот «крик души» совершенно не относится к космологии. Здесь можно без всякой рисовки сказать, что «мы впереди планеты всей». Более того, современная теоретическая космология в значительной степени создана советскими учеными. Я хотел бы все же оговориться. Космология базируется на ОТО, а к созданию теории относительности Эйнштейна советские физики практически не имели отношения. Несомненно, что в оценках относительной значимости научных достижений всегда существует элемент субъективности. С этой оговоркой я перечислю основные, этапные достижения в развитии космологии.

1. Теория расширяющейся Метагалактики (А. А. Фридман, 1922—1924 гг.).

2. Теория горячей Метагалактики, предсказание существования реликтового излучения, теория космического нуклеосинтеза (Г. А. Гамов, 1946—1949 гг.).

3. Исследование вакуума как первичной среды, в которой образуются метагалактики (Э. Б. Глинер, 1965—1970 гг.).

4. Интерпретация барионной асимметрии на основе гипотезы о нестабильности протона (А. Д. Сахаров, 1967 г.).

5. Основополагающее участие в создании теории раздувающейся мини-вселенной (А. Д. Линде, А. А. Старобинский, 1979—1982 гг.).

Считаю необходимым также отметить первоклассные космологические школы в Физическом институте АН СССР, Институте ядерных исследований, Институте теоретической физики и других научных учреждениях. Мне представляется, что в ряду достижений по космологии, равных по значимости перечисленным, можно поставить лишь одну из первых космологических моделей, предложенную де Ситтером (1917 г.), и интерпретацию проблем фридмановской модели в рамках инфляционной модели (А. Гус). Но если в теоретической космологии некоторая идиллия и существует, то наблюдательная картина совершенно другая. Основные достижения в этом направлении (открытие расширения Метагалактики Э. Хабблом и реликтового излучения А. Пензиасом и Р. Вильсоном) были сделаны за рубежом. Вероятно, в таком противопоставлении есть своя закономерность. Хорошие головы есть во всех странах, а хорошая экспериментальная база — только в высокоразвитых. Но это уже из области догадок. Тем более что пора перейти к основной теме этого раздела: тернистый путь советской космологии.

После первой публикации А. Фридманом решения ОТО, моделирующего расширение Метагалактики, было опубликовано краткое критическое замечание А. Эйнштейна, в котором он подвергал сомнению правильность этого решения. Однако надо отдать должное великому физiku — он вскоре отказался от своего отрицательного вердикта. К сожалению, автор теории «расширяющейся Вселенной» не смог получить полное удовлетворение от признания Эйнштейна. Вскоре (в 1925 г.) он неожиданно скончался в возрасте 37 лет, и его теория начинает жить странной, почти фантазмагорической жизнью. На Западе теория Фридмана интенсивно развивается и получает мощную поддержку в наблюдениях (Э. Хаббл, 1929) красного смещения в спектрах галактик. Фактически переоткрывается и развивается решение Фридмана бельгийским астрофизиком и религиозным деятелем Ж. Леметром.

Однако в тридцатых годах в Советском Союзе над фридмановской теорией сгущаются грозные тучи. Среди многих «аргументов», выдвигаемых «учеными» от идеологии, упомяну два: 1) в одной из своих работ Фридман назвал сингулярность моментом «сотворения мира» и, следовательно, по мнению критиков его теории, пытался

с помощью физики доказать существование Бога; 2) один из главных пропагандистов теории расширяющейся Вселенной — аббат Леметр — был президентом Ватиканской Академии наук, и уже поэтому такая теория была лишь пропагандой фидеизма.

По этим и иным причинам на фридмановскую теорию длительное время существовало строжайшее табу. Лишь после смерти Сталина ее начали активно развивать и в Советском Союзе.

Г. А. Гамов, один из основателей теории α -распада атомных ядер и автор модели горячей Вселенной, эмигрировал из Советского Союза в 1932 г. В своих воспоминаниях он указывает, что главной причиной его решения была всевозрастающая жесткость властей, растущая изоляция Советского Союза и почти полное прекращение научных контактов с зарубежными учеными. Окончательное решение остаться за рубежом он принял в 1934 г., когда советские власти отказали П. Л. Капице в выездной визе. Вплоть до самого последнего времени упоминание о вкладе Гамова в космологию считалось величайшим грехом и было абсолютно запрещено.

Трагична судьба Э. Б. Глинера, участника Отечественной войны, потерявшего в боях руку. После окончания войны он закончил институт и начал работать в одном из закрытых НИИ, но был вскоре арестован. Освобожден был лишь после смерти Сталина и начал заниматься физикой вместе с Л. Э. Гуревичем в Ленинградском физико-техническом институте. Здесь в 1965 г. он предложил свою идею о решающей роли вакуума на начальной стадии эволюции Метагалактики. Однако эта идея встретила враждебное отношение со стороны некоторых «ведущих» советских космологов. Несмотря на поддержку А. Д. Сахарова, представившего его работу в журнал «Доклады Академии наук» в 1970 г., Глинер с трудом защитил кандидатскую диссертацию, да и то не в своем родном Физтехе, а (насколько мне известно) в г. Тарту. Докторская ему совсем «не светила». Поэтому (а может быть, и по иным дополнительным причинам) в середине 70-х годов он эмигрировал в США, где, как мне кажется (судя по немногочисленным публикациям), так и не смог приблизиться по масштабам к пророческим идеям о роли вакуума.

И наконец, о работах А. Д. Сахарова по интерпре-

тации барионной асимметрии. Научный авторитет Сахарова был слишком высок, чтобы его работа критиковалась. Она просто почти полностью замалчивалась. Даже попытки ее цитирования могли привести «ослушников» к нежелательным «организационным» последствиям. Я могу (по собственному опыту) привести любопытную реакцию редакций на эту замечательную работу. В первый раз мне редактор посоветовал выбросить фамилию Сахарова. Я составил формулу, которой впоследствии неизменно придерживался: «как было показано в Советском Союзе в 1967 г., протон может распадаться». Как правило, редактор спрашивал: «А почему вы не укажете автора?»... «А, Сахаров... — задумчиво говорил редактор, отводя глаза, — давайте оставим вашу формулировку». Но никто и никогда не предлагал мне выбросить анонимное цитирование, что указывало на пределы гласности и благожелательное отношение рядовой интеллигенции к А. Д. Сахарову.

Таковы судьбы основоположников космологии в Советском Союзе. Будем надеяться, что «чаша сия» минет космологов послевоенного поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайнберг С. Первые три минуты. — М.: Энергоиздат, 1981.
2. Гуревич Л. Э., Чернин А. Д. Происхождение галактик и звезд. — М.: Наука, 1983.
3. Киржниц Д. А., Линде А. Д. Фазовые превращения в микромире и во Вселенной // Природа. — 1979. — № 11. — С. 20.
4. Линде А. Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. — М.: Наука, 1990.
5. Марков М. А. Размышляя о физике... — М.: Наука, 1988.
6. Новиков И. Д. Как взорвалась Вселенная. — М.: Наука, 1988.
7. Розенталь И. Л. Геометрия, динамика, Вселенная. — М.: Наука, 1987.
8. Шкловский И. С. Проблемы современной астрофизики. — М.: Наука, 1988.

Трудный старт космического телескопа

Миссию «Шаттла» СТС-31 семь лет ждали ученые многих стран мира. В ходе этого полета «Дискавери» предстояло вывести на орбиту космический телескоп им. Хаббла (КТХ) весом более 10 т и длиной 13 м — крупнейший и наиболее совершенный аппарат для астрономических исследований из космоса. (Об истории его создания и устройстве см. № 11/86 и № 5/89).

К моменту катастрофы «Челленджера» запуск КТХ планировался в октябре 1986 г. на борту «Атлантика» в ходе миссии «61 Джей», однако трагедия на мысе Канаверал привела к тому, что телескоп остался в хранилище фирмы «Локхид» в г. Санивейл (шт. Калифорния). За время этой длительной отсрочки для космического телескопа было разработано более эффективное программное обеспечение, подготовлены улучшенные солнечные батареи, усовершенствованы многие другие компоненты. Лишь 4 октября 1989 г. самолет «Гэлекси» ВВС США доставил телескоп из Калифорнии в Центр им. Кеннеди (шт. Флорида), где аппарат был размещен в здании вертикальной подготовки полезной нагрузки.

После вынужденных перестановок в общем графике полетов «Шаттлов» плановая дата старта СТС-31 была намечена на 26 марта 1990 г. (В период подготовки к возобновлению челночных полетов КТХ стоял на пятой по порядку позиции.) Однако в январе 1990 г. последовала новая отсрочка из-за подозрений в ненадежности задней секции правого твердотопливного ускорителя «Дискавери», которую было принято решение заменить. Быстрое выполнение этой работы позволило НАСА вместо ожидавшегося 18 апреля назначить старт на 12, а затем и на 10 апреля. 30 марта КТХ был размещен в грузовом отсеке «Дискавери», который находился на стартовой площадке «39 Бн».

За исключением командира «Дискавери» Лорена Шрайвера, иппешний экипаж составили астронавты, набранные еще для полета «61 Джей» (первоначально экипаж возглавлял Джон Янг). Второй пилот Чарльз Болден, астронавты-специалисты Стивен Хоули, Брус Маккендлесс и Катрин Салливен — все они участники прошлых полетов «Шаттлов», а двое последних имеют опыт работы в открытом космосе и сотни часов тренировок по ремонту КТХ в открытом космосе.

Утром 10 апреля экипаж занял места на борту «Дискавери», однако за 4 минуты до расчетного момента пуск был отложен — обнаружилась неполадка в одной из вспомогательных силовых установок. Это устройство пришлось заменить, что задержало «Дискавери» на Земле до 24 апреля. В этот день лишь на считанные минуты отсчет времени «застыл» из-за компьютерного сбоя, после чего «Дискавери» устремился со своим ценным грузом на орбиту высотой 611 км.

В первый рабочий день, кроме обычных операций обеспечения полета, С. Хоули выполнил пробное перемещение дистанционного манипулятора для подготовки к разворачиванию телескопа, намеченному на 19-м витке (через 29 ч после старта).

Операции выведения начались с захвата манипулятором специального держателя на корпусе телескопа и раскрытия замков крепления аппарата. Затем «Хаббл» был поднят манипулятором над грузовым отсеком и развернут таким образом, чтобы могли раскрыться две его остронаправленные антенны и панели солнечных батарей. Обе операции затянулись. Гибкие панели солнечных батарей, подобно ленте из рулетки, вытягивались из специальных барабанов, однако если с левой панелью все шло гладко, то правая неожиданно застряла, раскрутившись лишь на одну из пяти своих секций. Астронавты Б. Маккендлис и К. Салливан могли вручную выполнить эту операцию, однако пока они готовились к прогулке в грузовой отсек, наземные специалисты сумели «дистанционно» решить проблему. В итоге механическая рука «отпустила» телескоп примерно на полтора часа позже планировавшегося. Однако трудности продолжались. В течение следующих суток неполадки в системе связи и управления задержали раскрытие крышки апертуры телескопа. К моменту выполнения этой операции (27 апреля) «Дискавери» удалился на 74 км от телескопа, чтобы его оптическая система не подвергалась воздействию среды, загрязненной выхлопами маневровых движков «Дискавери». Поскольку повторного сближения с телескопом не потребовалось, экипаж «Дискавери» мог начать подготовку к возвращению на Землю. До приземления 29 апреля на базе Эдвардс астронавты выполнили ряд экспериментов, в том числе по выращиванию кристаллов, производству полимерных мембран и измерению уровня радиации.

Тем временем специалистам в центре космических полетов им. Годдарда предстояла трудная работа по постепенному введению телескопа в строй, на что отводилось 8 месяцев. Проблемы по-прежнему возникали. Инженеры столкнулись с нарушением ориентации при переходе КТХ на теневую часть орбиты, пришлось также перепрограммировать главный управляющий компьютер телескопа. Все это привело к тому, что первые изображения удалось получить лишь 21 мая. Несмотря на длительную экспозицию, гироскопы справились с задачей точной ориентации, и снимки показали высокую четкость и отсутствие вибраций. Однако с самыми серьезными неполадками специалисты столкнулись в конце июня при получении изображений с помощью широкоугольной планетарной камеры. Ученые с ужасом обнаружили так называемую сферическую аберрацию (т. е. оптическое искажение), создаваемую зеркальной системой телескопа. Выяснилось, что зеркала, считавшиеся самыми идеально отшлифованными в мире, изготовлены в соответствии с неверными спецификациями. Это мешает точной фокусировке изображений. НАСА признало, что зеркала телескопа не испытывались на Земле совместно, поскольку для этого потребовалось бы создание крайне дорогостоящей установки. Все это означало, что подорвана программа исследований с помощью широкоугольной планетарной камеры, работе с которой отводилось 40% от общего времени наблюдений. В то же время этот дефект не влияет на работу четырех других научных приборов телескопа.

Пока в руководстве НАСА и даже на слушаниях в конгрессе выяснялось, каким образом могли быть допущены подобные дефекты, изыскивались пути решения проблемы. Наиболее разумным представлялось перенести упор в исследованиях на приборы, не затронутые дефектом. В НАСА также вспомнили об уникальной особенностях телескопа: взаимозаменяемости его систем (в общем

70 элементов поддаются замене). Еще до запуска КТХ в графике полетов «Шаттлов» значилась миссия «СТС-68» (июнь 1993 г.), в ходе которой команда космического челнока должна была впервые провести обслуживание телескопа на орбите, в том числе установить на его борту усовершенствованный вариант широкоугольной камеры. Теперь ученые предлагают оснастить эту камеру специальной корректирующей линзой, которая устранил обнаруженную аберрацию. Однако, чтобы осуществить такой полет ранее 1993 г., необходимо быстро подготовить камеру с корректирующей линзой, а также пайти «окно» в графике полетов «Шаттлов». Возможность экстренного полета (в течение ближайших 12 месяцев) предусмотрена лишь в случае угрозы существованию телескопа, и такой полет должен быть одобрен директором НАСА.

Для осуществления ремонтного полета в грузовом отсеке «Шаттла» размещается кольцевая конструкция, к которой крепится телескоп на время ремонта. По всему корпусу КТХ размещены поручни и 31 пошной фиксатор для облегчения работы астронавтов.

Ориентировочные планы предполагали, например, в 1995—1996 гг. замену солнечных батарей и датчиков точного гидрирования, доустановку многоцелевого спектрометра, работающего в близкой к инфракрасной области спектра, и усовершенствованного УФ-спектрографа, а в конце 90-х гг. — установку широкоугольной камеры нового поколения.

Космический телескоп выполнил трудный старт, однако он по-прежнему сулит богатые перспективы для мировой астрономии.

Страницы истории: Созвездие Близнецов*

Г. САЛАХУТДИНОВ

Создание двухместного корабля, способного маневрировать на орбите, сближаться с различными объектами и стыковаться с ними, впервые дало возможность не повторять то, что уже было сделано в советской космонавтике, а идти своим путем, решая приоритетные задачи. Одна из них была поставлена перед экипажем «Джемини-5» и состояла в том, чтобы сблизить корабль с предварительно сброшенным с него контейнером, снабженным системой энергоснабжения, радиолокационным ответчиком, радиомаяком.

Корабль был выведен на орбиту 21 августа 1965 г. с астронавтами Г. Купером и Ч. Конрадом на борту.

«Джемини-5» был первым кораблем, энергоснабжение которого осуществлялось не от аккумуляторов, а от водородно-кислородных топливных элементов. Они-то как раз и стали причиной большого волнения как экипажа, так и наземных специалистов. Вскоре после выхода корабля на орбиту в работе этих элементов возникла неисправность. Отказ в системе энергоснабжения всегда чрезвычайно опасен. Корабль может в результате превратиться попросту в груду железа, поскольку в этом случае выходят из строя все остальные системы: терморегулирования, ориентации, связи, торможения

Продолжение (см. № 8)

и пр. К счастью, на этот раз неисправность привела лишь к уменьшению запасов энергии на борту, а не к полному выходу корабля из строя. Тем не менее от операций по сближению с контейнером пришлось отказаться. Под вопросом оказалась и сама возможность восьмидневного пребывания астронавтов в космосе, что было крайне желательно прежде всего потому, что требовались медико-биологические эксперименты для обеспечения будущего двухнедельного полета к Луне. Кроме того, в престижных целях можно было установить рекорд по длительности орбитального полета, принадлежавший советскому космонавту В. Ф. Быковскому и составлявший примерно пять суток. Последнее, впрочем, было для американцев непринципиально, поскольку советский корабль «Союз» еще не был готов даже для летных испытаний. У специалистов США были «развязаны руки», их никто не торопил и было еще время для установления их первых рекордов.

После тщательного анализа в Центре управления полетом решили полет «Джемини-5» не прерывать. Астронавты продолжали свои эксперименты и наблюдения и, пробыв в космосе примерно восемь суток, благополучно вернулись на землю.

Операции по сближению и стыковке космического корабля с различного рода «мишенями», конечно, не теряли своей актуальности, поскольку являлись неизбежными при будущих полетах на Луну. Поэтому перед экипажем «Джемини-6» была поставлена задача осуществить стыковку в космосе с заранее запущенной ракетной ступенью «Аджена». В эксперименте должны были участвовать В. Ширра и Т. Стаффорд.

25 октября 1965 г. астронавты расположились в креслах кабины «Джемини-6», готовясь к запуску. В этот же день была запущена и «Аджена». Однако через шесть минут после запуска выяснилось, что ступень потерялась — поступление телеметрической информации прекратилось, радиолокатор на мысе Кеннеди начал отслеживать пять или даже шесть целей вместо одной. Экипажу пришлось покинуть свои рабочие места, поскольку стало очевидным, что до запуска следующей мишени пройдет много времени. Руководство НАСА вскоре решило серьезно изменить свои первоначальные планы и вместо стыковки «Джемини-6» с неуправляемой ступенью «Аджена» провести операцию по его сближению с «Джемини-7» с астронавтами Дж. Ловеллом и Ф. Борманом на борту.

«Джемини-7» стартовал первым 4 декабря. 12 декабря Ширра и Стаффорд во второй раз заняли свои кресла в кабине «Джемини-6». Прозвучали последние команды, двигатели ракеты-носителя «Титан» мощно взревели, готовясь унести аппарат в ясное голубое небо. И вдруг произошло неожиданное — они заглохли. У экипажа была в распоряжении всего секунда, чтобы оценить ситуацию и принять правильное решение. Если двигатели отключились в тот момент, когда ракета еще оставалась на пусковом столе, то ничего серьезного не произошло, но можно было ожидать новой опасности — пожара, взрыва и пр. Если же отказ двигателей произошел, когда ракета уже сошла с пускового стола, то теперь она должна была неминуемо упасть, а это уже катастрофа с возможной гибелью экипажа. Стаффорд и Ширра приняли единственно правильное решение и, не мешкая, катапультировались, хотя ракета, как потом оказалось, осталась на пусковом столе.

Специалисты обнаружили причины неисправности довольно быстро. Из-за вибрации корпуса ракеты разъединился контакт в элек-

трической цепи и выключил двигатели. Однако на следующий день было объявлено, что даже если бы этот контакт и не отошел бы, двигатели все равно прекратили бы свою работу, поскольку по чьей-то небрежности на заводе в топливных магистралях осталась пыль от пластических материалов, блокировавшая запуск.

15 декабря Стаффорд и Ширра в третий раз разместились в кабине «Джемини-6». Эта попытка оказалась удачной, корабль вышел на орбиту и начал гонку, преследуя «Джемини-7». На четвертом витке ему удалось догнать свою «мишень» — начался совместный полет двух кораблей, находившихся на расстоянии всего нескольких метров друг от друга. После пятичасового рандеву экипаж «Джемини-6» с помощью ручного управления благополучно спустился на Землю, оставив своих товарищей Бормана и Ловелла еще на пару дней на орбите. Их возвращение на Землю планировалось на 18 декабря, после четырнадцати суток работы в космосе. В Центре управления полетом в этот день специалисты тревожились за исход операции по включению тормозных двигателей, работавших на твердом топливе. Причины этой тревоги были достаточно обоснованы. Ведь никто в то время не знал, какое влияние окажут условия космоса на качество этих двигателей после 300-часового их пребывания в нем. Все почувствовали большое облегчение, когда пришло сообщение об удовлетворительной работе системы торможения корабля. Длительность пребывания в космосе «Джемини-7» стала соизмеримой со временем, требующимся для полета на Луну и обратно. Послеполетный анализ показал, что Борман похудел в космосе примерно на пять, а Ловелл на три килограмма. Это было много, но меньше, чем Купер и Конрад за 8 дней полета.

Логика требовала сделать следующий шаг в покорении космоса, состоявший в отработке операций по стыковке двух аппаратов.

16 марта 1966 года на орбиту была выведена ракетная ступень «Аджена» и космический корабль «Джемини-8» с астронавтами Н. Армстронгом и Д. Скоттом на борту.

На четвертом витке корабль сблизился с «Адженой», а затем состыковался с ней. Однако Скотт, отмечая положение корабля по указателю горизонта, заметил, что с системой стабилизации не все в порядке. «Нейл, мы накреемся!» — с тревогой обратился он к своему командиру. Связка аппаратов потеряла устойчивость и стала быстро вращаться вокруг поперечной оси.

«У нас возникли здесь серьезные проблемы. Мы кувыркаемся», — сообщил Армстронг на Землю.

Можно было предположить, что причиной неполадки стал выход из строя системы стабилизации положения одного из аппаратов. Но какого из них? К сожалению, зона радиовидимости закончилась, полет проходил над Тихим океаном, где не было наземных станций слежения. Астронавты не имели возможности получить не только консультационную специалистов, но и необходимую для анализа телеметрическую информацию. Рассчитывать приходилось только на свои знания и опыт. Армстронг вручную включил двигатели системы ориентации и приостановил вращение. Однако оно возобновилось, как только он снова выключил их. Астронавт отсюда сделал вывод, что виной всему «Аджена», и решил отстыковать от нее «Джемини». В любом случае это решение было логичным, поскольку позволяло изучать поведение аппаратов по от-

дельности. Расстыковка принесла еще одну неожиданность — «Джемини» стал вращаться быстрее, совершая за одну секунду оборот на триста градусов. Ситуация стала очень неприятной. Вращение приводило к дрейфу «Джемини» в космосе, а значит, возникла опасность его столкновения с «Адженой». Оно могло также стать причиной ухудшения самочувствия астронавтов, вызвав у них тошноту. Остаться на орбите на весь запланированный срок было теперь нельзя, но и спуск на Землю во вращающемся корабле был затруднен. Армстронг не потерял самообладание и опробовал различные варианты стабилизации аппарата. Успех пришел после того, как он включил резервную систему стабилизации, предназначенную для работы на участке спуска. Всего для устранения вращения ему потребовалось около десяти минут времени, но какими трудными они были. Хладнокровие Армстронга снискало ему большое уважение в Америке.

Следующий полет представлял собой цепочку неудач. Запущенная 18 мая 1966 г. ракетная ступень «Аджена» из-за неполадок в ракете-носителе «Атлас» не вышла в нужную точку орбиты; и эксперименты с ней потеряли смысл. Не мешкая, специалисты подготовили к запуску новую ступень, которую удалось благополучно вывести в космос 1 июня. Через два дня за ней последовал корабль «Джемини-9» с астронавтами Томасом Стаффордом и Юджином Сернаном.

На третьем витке аппарат встретился с «мишенью», начались операции по стыковке. Однако астронавты быстро выяснили, что на этом пути их ждет неудача, поскольку стыковочный механизм «Аджены» оказался неисправным. Пришлось ограничиться лишь фотографированием ступени, которую астронавты в сердцах называли «злым аллигатором». Ее стыковочный узел и в самом деле придавал ей сходство с аллигатором.

Оставался последний эксперимент, который хоть как-то мог оправдать этот неудачный полет. Вместо стыковки с «мишенью» Сернан сделал предусмотренную программой попытку выйти в открытый космос, чтобы испытать устройство для передвижения в нем астронавтов. Разгерметизировали кабину, открыли люк. Сернан вышел из корабля, и тотчас на Земле услышали его встревоженный голос: «Я ничего не вижу!» Быстро выяснили, что с астронавтом все в порядке — просто от перепада температур запотело стекло гермошлема. Сернан вернулся в кабину, и они со Стаффордом мудро решили не рисковать и отложить выход в космос. После 44 витков вокруг Земли, на четвертые сутки полета астронавты благополучно приводнились в расчетном районе.

Программа полетов «Джемини» подходила к концу. Осталось совершить всего три экспедиции в космос, но в связи с неудачей предыдущего полета на экипажи последующих кораблей ложились большие нагрузки (продолжение следует).

Хроника космонавтики*

1 ЯНВАРЯ с мыса Канаверал с помощью РН «Титан-3» произведен первый коммерческий запуск двух спутников связи — частновладельческого японского аппарата «Джи-си-сат-2» массой 6,5 т и английского спутника «Скайнет-4А» массой 1,5 т.

* По состоянию на июнь 1990 г.

22 ЯНВАРЯ с космодрома Куру во Французской Гвиане РН «Ариан-4» выведен спутник дистанционного зондирования «Спот-2» и шесть малогабаритных ИСЗ для радиолюбителей. «Спот-2» массой 1,8 т является самым крупным французским спутником. Первый французский спутник аналогичного назначения «Спот-1» был запущен в 1986 г. и с тех пор передал на Землю более 1,5 млн. снимков земной поверхности.

23 ЯНВАРЯ в СССР РН «Молния» на высокоэллиптическую орбиту с высотой апогея 38 892 км в Северном полушарии выведен очередной (35-й) ИСЗ «Молния-3» в целях обеспечения дальней телефонной и телеграфной радиосвязи и передачи телевизионных программ по системе «Орбита».

24 ЯНВАРЯ с космодрома Утиноура в префектуре Кагосима (Япония) с помощью РН «Ми-3С2-5» на эллиптическую орбиту с максимальным удалением от Земли 500 тыс. км выведен японский космический аппарат «Мусес-А». В середине марта аппарат, представляющий собой цилиндр высотой 80 см, диаметром 1,4 м и массой 182 кг, приблизился к Луне на расстояние около 20 тыс. км и выполнил там пертурбационный маневр, в результате которого перешел на окололунную эллиптическую орбиту. На космическом аппарате имеется отделяемый зонд массой 11 кг с собственной двигательной установкой, позволяющей ему выйти на «личную» окололунную орбиту, откуда в течение месяца он должен передавать на борт основного спутника (с последующей передачей на Землю) данные об окружающем Луну космическом пространстве.

4 ФЕВРАЛЯ с космодрома Сичан в провинции Сычуань с помощью РН «Великий поход-3» на геостационарную орбиту запущен эксплуатационный китайский спутник национальной системы связи «Чайнасант-3». Точка стояния спутника на геостационарной орбите 98° в. д. расположена над Индонезией. Три выведенных ранее аналогичных космических аппарата «работают» над Южно-Китайским морем, четвертый — над Индийским океаном.

7 ФЕВРАЛЯ с космодрома Танегасима на юге Японии запущена двухступенчатая РН Н-1, доставившая на околоземные орбиты три спутника. Первый из них (МОС-1Б) выведен на приполярную орбиту с наклоном 99° и высотой 900 км. Как и его предшественник (МОС-1), запущенный в феврале 1987 г., новый космический аппарат, имеющий массу 740 кг, предназначен для наблюдений и исследований ресурсов Мирового океана. С помощью установленной на спутнике аппаратуры измеряются температуры поверхности воды и суши, собирается информация о распространении снежного и ледового покровов. Прием информации с борта ИСЗ ведется двумя станциями на территории Японии и 8 станциями, расположенными за ее пределами. Второй спутник массой 50 кг обслуживает радиолюбителей, а третий используется для проведения физических исследований в условиях микрогравитации. Два последних космических аппарата выведены на эллиптическую орбиту с апогеем 1600 км и перигеем 900 км.

15 ФЕВРАЛЯ в СССР РН «Протон» осуществлен запуск очередного (24-го) ИСЗ «Радуга». Выведенный на геостационарную орбиту в точку стояния 00° в. д. и получивший регистрационный индекс «Стационар-0» спутник, наряду с другими геостационарными ИСЗ связи, а также ИСЗ связи на высокоэллиптических орбитах будет использоваться в советских системах спутникового телевизионного вещания и телефонно-телеграфной радиосвязи.

27 ФЕВРАЛЯ в Советском Союзе РН «Космос» на орбиту, близкую к круговой, с высотой около тысячи км выведен ИСЗ «Надежда». На борту спутника установлена аппаратура навигационной системы, предназначенной для определения местонахождения судов морского и рыболовного флотов Советского Союза, а также аппарата для работы в составе международной космической системы поиска и спасения судов и самолетов, терпящих бедствие (КОСПАС — САРСАТ).

28 ФЕВРАЛЯ в Советском Союзе РН «Циклон» произведен запуск ИСЗ «Океан». Спутник предназначен для получения оперативной океанографической информации и данных о ледовой обстановке в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Получаемая со спутника информация обрабатывается и распространяется Государственным научно-исследовательским центром изучения природных ресурсов.

1 МАРТА в Советском Союзе РН «Союз» произведен запуск автоматического грузового космического корабля «Прогресс М-3», который 3 марта состыковался с орбитальным комплексом «Мир». Корабль доставил на борт комплекса расходные материалы и другие грузы общей массой около 2,5 т, 27 апреля 1990 г. корабль был отделен от орбитального комплекса, переведен на траекторию спуска и 28 апреля прекратил существование в плотных слоях атмосферы.

14 МАРТА с космодрома на мысе Канаверал с помощью РН «Титан-3» запущен спутник связи «Интелсат-6». Космический аппарат был выведен на нерасчетную орбиту высотой 145 км с вредом жизни на ней не более 12 сут. После этого срока спутник должен был войти в плотные слои атмосферы и сгореть. 17 марта удалось включить двигатели коррекции и перевести спутник на орбиту с высотой 260 км. Здесь аппарат может существовать несколько месяцев, в течение которых необходимо предпринять меры по его спасению. Таких способов может быть несколько. Одна из фирм предложила использовать с этой целью имеющийся в единственном экземпляре межорбитальный буксир. Консорциум «Интелсат» делает ставку на многоразовый корабль «Спейс Шаттл», который мог бы снять спутник с орбиты. Однако для этого пришлось бы изменить составленную на несколько лет вперед программу запусков этих кораблей. К тому же подготовка необходимого для спасения спутника выхода космонавтов в открытый космос займет не менее 9 месяцев. Общие затраты на этот запуск, включая стоимость РН и космического аппарата, расходы на его приобретение и предстартовые операции составляют 410 млн. долл.

8 АПРЕЛЯ в Израиле с помощью трехступенчатой РН «Шавит» на эллиптическую околоземную орбиту запущен экспериментальный ИСЗ «Офек-2». Его назначение — демонстрационные испытания с целью проверки и отработки технических решений, получения необходимого опыта при разработке, производстве и запусках космических аппаратов. Предыдущий спутник «Офек-1» массой 156 кг был запущен также израильской РН «Шавит» 19 сентября 1988 г. и, как планировалось, в январе 1989 г. вошел в плотные слои атмосферы и прекратил существование.

7 АПРЕЛЯ с космодрома Сичан произведен запуск РН «Великий поход-3», доставившей на промежуточную орбиту ИСЗ связи «Эй-шасат-1». Это первый иностранный спутник, запущенный китайской РН на коммерческой основе. Спутник, обеспечивающий те-

лефонную связь и ретрансляцию телевизионных передач для 35 стран Азии, принадлежит консорциуму в Гонконге, в состав которого входят английская и китайская фирмы, а также несколько иностранных корпораций и фирма из Гонконга. За доставку спутника в космос китайская государственная корпорация «Великая стена» получила 30 млн. долл. — в два раза меньше цены за аналогичную услугу, запрашиваемой французским концерном «Арианспейс».

11 АПРЕЛЯ в СССР РН «Союз» осуществлен запуск ИСЗ «Фотон», предназначенного для продолжения исследований по космическому материаловедению. В полете, продолжавшемся более двух недель, проводились эксперименты по получению в условиях микрогравитации органических кристаллов, полупроводниковых материалов с улучшенными свойствами, особо чистых биологически активных веществ, изучались протекающие при этом процессы. В соответствии с коммерческим соглашением на спутнике «Фотон» размещалась научно-исследовательская аппаратура Национального центра космических исследований Франции. 27 апреля материалы экспериментов были возвращены с орбиты на Землю.

14 АПРЕЛЯ с космодрома на мысе Канаверал с помощью РН «Дельта-2» произведен коммерческий запуск индонезийского спутника связи «Палапа В-2Р» стоимостью 60 млн. долл. Спутник имеет массу 1194 кг и оснащен 24 ретрансляторами, обеспечивающими расширение сети телефонной связи и увеличение числа телевизионных каналов не только на всей территории Индонезии, включающей 13 667 островов, но и Малайзии, Филиппин, Таиланда, Сингапура и Папуа — Новой Гвинеи. Космический аппарат «Палапа В-2Р» отправлен в космос вторично.

24 АПРЕЛЯ с помощью космического корабля «Дискавери» на самую высокую за всю историю полетов многоцветных кораблей «Спейс Шаттл» круговую орбиту высотой 612 км и наклоном $28,5^\circ$ выведен телескоп им. Хаббла, названный президентом Бушем «наиболее сложным искусственным спутником Земли, созданным за всю историю человечества». Телескоп, имеющий длину 13,1 м, диаметр 4,3 м и массу около 12 т, рассчитан на эксплуатацию в течение не менее 15 лет при условии регулярного обслуживания на орбите. На осуществление этого проекта американские научные и промышленные организации затратили около 20 лет и 1,5—2,0 млрд. долл. Космический телескоп в семь раз превысит зоркость самых совершенных астрономических инструментов. С его помощью можно будет наблюдать во Вселенной объекты, расположенные на расстоянии до 14 млрд. световых лет. Полагают, что за все время работы на орбите телескоп передаст на Землю более 100 тыс. изображений астрономических объектов, полученных по 162 научным программам, 43 из которых являются международными. Американский астроном Д. Вэстфал сравнивает создание нового космического телескопа с качественным скачком, который произвел в астрономии телескоп Галилея.

26 АПРЕЛЯ в Советском Союзе РН «Молния» осуществлен запуск ИСЗ связи «Молния-1». Спутник предназначен для обеспечения эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, а также передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита».

ПРИЛОЖЕНИЕ

Хроника пилотируемых полетов¹

Дата	Космонавты (первым указан командир экипажа)	Космиче- ский корабль	Продолжитель- ность полета		
			сут	час	мин
9 января	Бранденстайн Д. (3) ² Данбар Б. (2) Ветерби Д. (1) Айвинз М. (1) Лоу Д. (1)	«Колумбия»	10	21	01
11 фев- раля ³	Соловьев А. (2) Баландин А. (1)	«Союз ТМ-9»			
28 февраля	Крейтон Д. (2) Каспер Д. (1) Хилмерс Д. (3) Маллейн Р. (3) Туйот П. (1)	«Атлантис»	4	10	18
24 апреля	Шрайвер Л. (2) Болден Ч. (2) Маккэндлисс Б. (2) Салливэн К. (2) Хоули С. (3)	«Дискавери»	5	1	17

¹ Продолжение (см. № 6, 1990 г.).

² В скобках указано число полетов, включая последний.

³ Дата старта экспедиции на станцию «Мир».

Планы, проекты, прогнозы досадная судьба комплекса «Слик-6»

Вот уже более двадцати лет на Тихоокеанском побережье штата Калифорния, в районе базы ВВС Ванденберг, высятся пустующие стартовые сооружения. Это комплекс «СЛК-6» (в разговорном языке ракетчиков — «Слик-6»), который не использовался с тех пор, как была закрыта, так и не начав осуществляться, программа создания военной орбитальной станции «МОЛ». В первой половине 80-х годов здесь шли интенсивные работы по модернизации комплекса с целью запусков с него кораблей «Шаттл» на приполярные орбиты. В январе 1986 г. строительство было практически закончено, и в марте того же года «Дискавери» предполагалось переправить в Ванденберг с расчетом запуска в июле того же года с экипажем из 7 астронавтов, двумя военно-экспериментальными спутниками и комплектом исследовательской аппаратуры. Однако 28 января 1986 г. произошла катастрофа «Челленджера», и миссия «62-Эй», как и остальные полеты, повисла в воздухе. Первое время, когда масштабы и последствия катастрофы еще не были оценены в полном объеме, возобновление полетов с

базы Ванденберг ожидалось в конце 1987 — начале 1988 гг. Так, уже после гибели «Челленджера» появились планы отправить на базу Ванденберг «Колумбию» для проведения предполетных испытаний, а на самом комплексе продолжались подготовительные работы. Но необходимость компенсации финансового ущерба от катастрофы заставила в середине 1986 г. принять решение о консервации комплекса до 1990—1992 гг. Тем временем модификации, проводившиеся на кораблях типа «Шаттл», снижали их возможную ПН. Максимальный вес груза, выводимый «Шаттлом» с базы Ванденберг, становился меньше многих потенциальных ПН (в основном военных ИСЗ), предназначенных для запуска на приполярные орбиты. ВВС США, осуществлявшие строительство «СЛК-6», стали искать другие пути выведения своих грузов, например, приспособившая ИСЗ для запуска одноразовыми РН или соглашаясь на выведение их «Шаттлами» с мыса Канаверал на орбиты с ограниченным наклонением. Так, в настоящее время планируется, что ПН, которую не пришлось вывести на орбиту в ходе миссии «62-Эй» с базы Ванденберг, удастся запустить на борту «Атлантиса» в начале 1992 г. в ходе полета «СТС-39».

В августе 1989 г., когда Министерство обороны США отказалось в перспективе от сотрудничества с НАСА, включая пилотируемые полеты, полная отмена запусков с базы Ванденберг стала практически неизбежной. Будущее комплекса «СЛК-6» оставалось неопределенным до начала 1990 г.; высказывалась, например, идея использовать комплекс для пусков перспективного носителя «Шаттл-С». В настоящее время существуют серьезные планы переоборудования комплекса «СЛК-6» для запусков РН «Титан-4». Хотя на базе Ванденберг уже практически готов комплекс «СЛК-ЛЕ» для РН «Титан-4», он будет использоваться лишь для сочетаний этого носителя с верхней ступенью буксира ИУС. Площадка же «СЛК-6» должна быть приспособлена для наиболее мощного варианта РН «Титан-4-Центавр». С 1995 г. планируется 10 запусков этих ракет в год.

ПОПОЛНЕНИЕ В ГРУППЕ АСТРОНАВТОВ НАСА

Нынешний год отмечен в НАСА набором новой группы астронавтов для полетов на борту космических челноков. Недавно объявлено о том, что 23 человека, включая 5 женщин, начинают проходить стандартные тренировки, после чего будут назначены в экипажи. 7 человек из этой группы готовятся в качестве пилотов, остальные получают квалификацию полетных специалистов. Предыдущий набор астронавтов в НАСА осуществлялся в 1987 г.

ЗАВИДНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ «АРИАНСПЕЙС»

Консорциум западноевропейских стран «Арианспейс», занимающийся сбытом РН «Ариан», подписал в феврале 1990 г. свой очередной контракт — на этот раз по запуску на стационарную орбиту в конце 1992 г. спутника связи «Сатком СИ-3», принадлежащего американской фирме «Америкэн комьюникейшенз инкорпорейтед». Кажется, престиж «Арианспейс» может быть серьезно подорван после неудачного запуска в конце февраля РН «Ариан-4»,

когда были потеряны два японских ИСЗ, однако всего неделю спустя после этой катастрофы консорциум кладет в свой портфель еще два заказа! 1 марта 1990 г. с американской фирмой «Хьюз» заключается контракт на запуски спутников связи «Г'элекси-4 и -6» в 1992 и 1993 гг. ИСЗ, весящие 2575 кг, рассчитаны на эксплуатацию в течение 12 лет.

Таким образом, «Арианспейс» имеет 34 заказа по запуску спутников общей стоимостью 2,4 млрд. долл. Среди них на очереди стоят спутники связи «ТДФ-1», «Скайнет 4-Си», «Интелсат-2», «СБС-6», метеоспутник «МОП-2», спутник дистанционного зондирования Земли «ЕРС-1» и др.

«ДЖОТТО» ПРОБУДИЛСЯ ОТ СНА

Осуществились планы Европейского космического агентства возобновить контакт с АМС «Джотто», которая в марте 1986 г. прошла в 605 км от кометы Галлея, а затем в течение четырех лет совершала пассивный полет через Солнечную систему. 19 февраля 1990 г. европейский космический центр осуществил первую попытку установить связь с АМС, и спустя два с лишним часа на станцию дальней космической связи НАСА в Мадриде пришел первый сигнал от «Джотто». В последующие несколько дней наземные операторы убедились в том, что системы космического путешественника работают нормально.

После прохода 2 июля 1990 г. на расстоянии 22 000 км от Земли «Джотто» направляется к комете Гринга—Скяллераупа, которую аппарат должен пройти в июле 1992 г. По словам ученых, эта комета не «производит» так много пыли и газа, как комета Галлея, однако ее частицы должны четко регистрироваться, когда «Джотто» будет проходить комету.

ПОСЛЕДНЯЯ ВИДЕОВЕСТОЧКА ОТ «ВОЯДЖЕРА»

Как бы подводя итог своему многолетнему исследованию планет Солнечной системы, космический аппарат «Вояджер-2» передал на Землю ряд снимков, на основе которых в июне 1990 г. было сформировано необычное изображение. Оно показывает 6 планет Солнечной системы (светящиеся точки на фоне звезд), которые «Вояджер» снимал, находясь в 6 млрд. км от Земли. Представители НАСА сообщили, что для создания этой панорамы было использовано 64 отдельных снимка, полученных «Вояджером» в феврале 1990 г. Это последние изображения от АМС, которая, по предположениям, пересечет границу Солнечной системы в первом десятилетии XXI века.

КОНВЕРСИЯ ПО-АМЕРИКАНСКИ

В 1986 г. в США были начаты работы по изъятию 14 межконтинентальных баллистических ракет «Титан-2» из своих шахт, где они провели почти по 25 лет на боевом дежурстве, и превращению их в РН для запуска спутников. Каждая такая РН, под наименованием «Титан 23-Джи», способна доставить 2180 кг на круговую

орбиту высотой 185 км. Модификация бывших носителей ядерного оружия состоит в демонтаже боеголовок и установке переходников и головных обтекателей полезного груза от РН «Титан 34-Ди». Первые две экс-МБР были запущены в 1988—1989 гг. В дальнейшем РН «Титан 23Джи» будут использованы как для запусков ИСЗ ВВС и ВМС, так и для вывода спутников НАСА. В частности, в 1991 г. с помощью этой РН планируется вывести ИСЗ «Лендсат-6» для дистанционного зондирования Земли.

ИНДИЯ ВНОВЬ БРОСАЕТ ВЫЗОВ

Индийское агентство по исследованию космоса заявило, что в 1991 г. будет предпринята новая попытка вывести на орбиту 5-ступенчатую РН «АСЛВ». Эта ракета способна вывести груз весом 150 кг на орбиту высотой 400 км. Первый запуск «АСЛВ» в 1987 г. закончился неудачей — двигатель первой ступени не воспламенился после отделения боковых ускорителей. В ходе запуска в 1988 г. 1-я ступень воспламенилась, однако это произошло на 0,3 с позже запланированного, что было достаточно для полной потери контроля над ракетой и ее гибели. Несмотря на все неудачи, в Индии продолжались работы над более совершенным вариантом РН, предназначенной для выведения на полярную орбиту высотой 900 км спутника для дистанционного зондирования Земли весом 1105 кг. Запуск «ПСЛВ» также может быть осуществлен в 1991 г.

НОВЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ В ЯПОНИИ

В 1994 г. несколько японских фирм планируют с помощью отечественной РН «Н-2» вывести на орбиту спутник-платформу для проведения экспериментов. После нескольких месяцев пребывания в космосе аппарат должен быть возвращен на Землю на борту «Шаттла».

СОДЕРЖАНИЕ

От автора	3
Введение	6
Некоторые определения	8
Космологические модели	9
Модели Метагалактики и наблюдения	13
Проблемы фридмановской модели	16
Вакуум	19
Вакуум и Λ -член	20
Хаотическое раздувание	23
Вечная Вселенная	25
Антропный принцип	28
Принцип целесообразности	31
Метагалактика как флуктуация	35
Геометрия Вселенной	38
Происхождение Вселенной и теория элементарных ча- стиц	45
Эссе на тему: нет пророка в своем Отечестве	47
Литература	50
 ПРИЛОЖЕНИЕ	 51
Трудный старт космического телескопа	51
Страницы истории: созвездие Близнецов	53
Хроника космонавтики	56
Планы, проекты, прогнозы	60

Научно-популярное издание

Розенталь Иосиф Леонидович

ВСЕЛЕННАЯ И ЧАСТИЦЫ

Гл. отраслевой редактор *Г. Г. Карвовский*

Редактор *И. Г. Вирко*

Мл. редактор *С. С. Патрикеева*

Обложка художника *К. С. Гуреева*

Худож. редактор *К. А. Вечерин*

Техн. редактор *Н. В. Клецкая*

Корректор *В. И. Гуляева*

ИБ № 11220

Сдано в набор 24.08.90. Подписано к печати 29.10.90. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,62. Тираж 28 159 экз. Заказ 1442. Цена 15 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 904211. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

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 советских газет и журналов» в разделе «Центральные журналы», рубрика «Брошюры издательства «Знание»



Наш адрес:
СССР,
Москва,
Центр,
проезд Серова, 4