

22.6
Л 36

Е.П.ЛЕВИТАН

ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩАЯ ВСЕЛЕННАЯ



Е. П. ЛЕВИТАН

ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Книга для учащихся
10—11 классов



МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1993

ББК 22.632
Л36

Рецензенты:

доктор физико-математических наук *А. В. Засов*,
кандидат философских наук *В. В. Казютинский*

Левитан Е. П.
Л36 **Эволюционирующая Вселенная: Кн. для учащихся 10—11 кл. — М.: Просвещение, 1993.— 159 с.: ил. — ISBN 5-09-001839-1.**

В доступной для учащихся форме в книге рассказано о развитии всех астрономических объектов и систем небесных тел, о взаимосвязи и взаимообусловленности явлений микро- и мегамира, о диалектике происходящих во Вселенной процессов.

Л $\frac{4306020000-399}{103(03)-93}$ 128—91 инф. письмо 92

ББК 22.632

ISBN 5-09-001839-1

© Левитан Е. П., 1993

Вселенная — какая она? «Удивительная», «ошеломляющая», «взрывающаяся», «страшная», «случайная», «великолепная», «загадочная»? Список подобных эпитетов можно продолжить. Но мы поступим иначе, заменив их все одним термином — «эволюционирующая», с которым вы встретились, прочитав название книги. И наверное, это правильно, потому что все многообразие самых привычных и самых экзотических свойств Вселенной есть следствие ее эволюции.

Книга «Эволюционирующая Вселенная» не учебник. Она адресована тем из вас, кто заканчивает изучать школьные курсы астрономии и физики (или даже уже изучил их). Цель книги — расширить и углубить знания, полученные на уроках, еще больше заинтересовать вас наукой о Вселенной и вызвать потребность к дальнейшему чтению учебной и научно-популярной литературы (небольшой список ее вы найдете в конце книги) и факультативным занятиям по астрономии. Построение книги, подбор включенного в нее обширного материала и даже стиль изложения преследуют указанную цель.

В книге — три главы или три очерка, раскрывающие с различных сторон астрономическую картину

мира. В первой главе — «Неожиданная Вселенная» — рассказывается о «диких» открытиях в астрономии XX в., причем начинается она с параграфа о современных инструментах, без которых сейчас просто невозможно развитие астрофизики и внегалактической астрономии. Вторая глава — «Какой была и какой будет наша Вселенная» — в основном посвящена важнейшим проблемам космологии. Но если первые две главы знакомят вас со Вселенной прошлого, настоящего и будущего, то в третьей содержится попытка ответить на вопрос: почему наша Вселенная такая, а не какая-нибудь другая? Это очень сложный вопрос, но то, что современная наука (физика, математика, астрофизика, космология и т. д.) находит подходы к его решению, свидетельствует о познаваемости самых сокровенных тайн природы и мощи разума человека. Это наиболее трудная, но совершенно необходимая глава, потому что, вдумавшись в прочитанное, вы ощутите не только уникальность нашей Земли и нашего Солнца, но и уникальность нашей Вселенной. А тогда более глубоко будут осознаваться глобальные экологические проблемы человечества, необходимость сохранения на многие века бесценной природы Земли и космоса.

Но так ли уж все это интересно? Нужно ли думать о проблемах мироздания, разбираться в ученых спорах, самому пытаться поспорить с учеными? Лучшим ответом, пожалуй, могут быть следующие слова, принадлежащие выдающемуся советскому физiku и астрофизiku академику Я. Б. Зельдовичу (1914—1987): «Человек нуждается в диалоге на вечные, самые простые, самые глубокие и волнующие вопросы. Человек, которого нисколько не интересуют эти вопросы, теряет свое нравственное начало. Он подобен человеку, отравленному наркотиками, будь то буквально алкоголь или анаша, или в переносном смысле—наркотиком потребительства».

Рассказывая о многих увлекательных проблемах мироздания,

автор не стремился объяснить все «до конца». Во-первых, это просто невозможно, так как «до конца» все еще и науке неизвестно. Во-вторых, преследуя сформулированную выше цель книги, автор помнил о полезных советах известного французского писателя Анатоля Франса: «Возбудите только любопытство. Откройте своим слушателям глаза, но не перегружайте их мозг. Зароните в него искру. Огонь сам разгорится, где для него найдется пища».

Существенным дополнением к тексту книги являются включенные в нее иллюстрации, часть которых заимствована из таких научно-популярных журналов, как «Земля и Вселенная», «Sky and Telescope», «В мире науки», и цветная вклейка.

Автор

НЕОЖИДАННАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Ищу я в этом мире сочетанья
Прекрасного и вечного. Вдали
Я вижу ночь: пески среди молчанья
И звездный свет над сумраком Земли.

И. Бунин

И страшным, страшным креном
К другим каким-нибудь
Неведомым вселенным
Повернут Млечный Путь.

Б. Пастернак

Чтобы оценить достижения науки наших дней, полезно оглянуться назад, взглянуть на мир глазами ученых прошлого. В XVI в. знаменитый датский астроном Тихо Браге писал: «По всем философским воззрениям следует, что в воздушных просторах небесного мира ничего не меняется, что небеса и небесные тела не растут и не уменьшаются, что они не подвергаются никаким изменениям ни по числу, ни по виду, ни по блеску, ни в каких других отношениях, что они всегда остаются подобными самим себе во всех отношениях, не меняясь с годами». И даже спустя несколько веков, в начале XX в., считалось, что Вселенная в целом не изменяется, она статична, а подавляющее большинство изменений в ней происходит медленно и плавно. Что же касается таких явлений, как Новые и

Сверхновые звезды, то их рассматривали как совершенно нетипичные.

Всего лишь несколько десятилетий понадобилось для того, чтобы возникло и утвердилось совершенно иное видение мира. Современная астрономическая картина мира — это грандиозная картина эволюционирующей Вселенной, где нестационарные явления, часто носящие взрывной характер, представляют собой необходимые, закономерные фазы беспредельного во времени и пространстве процесса эволюции космической материи. Новые воззрения на мир явились прежде всего результатом блестящего каскада «диких» открытий, а сами эти открытия стали возможными благодаря научно-техническому прогрессу в астрономии XX в., ее оснащению новыми инструментами и методами исследования.

§ 1. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ АРСЕНАЛ СОВРЕМЕННОЙ АСТРОНОМИИ

Наземная и космическая астрономия

Астрономия — одна из древнейших наук. На протяжении многих веков астрономические наблюдения

проводились невооруженным глазом. Как известно, первооткрывателем телескопической эры в исто-



Своеобразная обсерватория каменного века — мегалитическое сооружение в Уилтшире (Англия), состоящее из особым образом ориентированных вертикальных глыб.

рии астрономии был Галилео Галилей, впервые направивший на небо свой телескоп в начале XVII в. Почти до середины XX в. создавались и совершенствовались только оптические телескопы, из которых наибольшее распространение получили телескопы-рефлекторы и зеркально-линзовые телескопы.

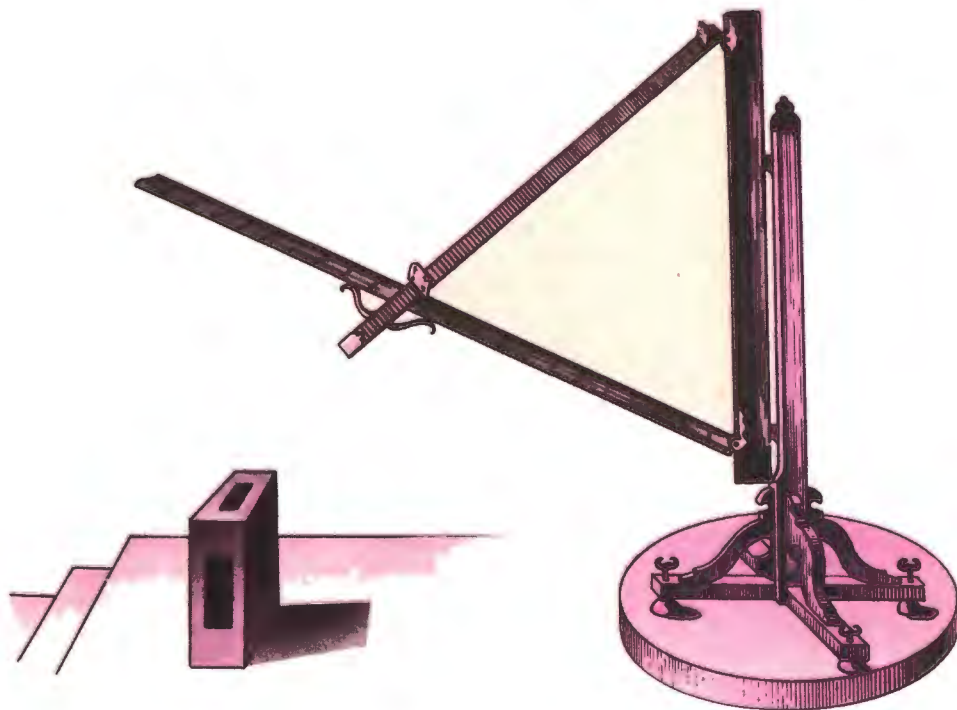
После второй мировой войны начала быстро развиваться радиоастрономия. Использование радиотелескопов резко расширило диапазон электромагнитных волн, в котором исследуются процессы во Вселенной. Наконец, запуск в нашей стране первого искусственного спутника Земли (4 октября 1957 г.), ознаменовавший начало космической эры в истории человечества, стал также началом новой эры в истории астрономии. Во-первых, астрономия превратилась во всеволновую, потому что с помощью приборов, установленных на космических аппаратах (искусственные спутники Земли, орбитальные научные станции и автоматические межпланетные станции), можно проводить астрономические наблюдения в диапазоне всех длин волн — от гамма-излу-

чения до радиоволн. Во-вторых, появилась возможность экспериментальных исследований в околоземном космическом пространстве, на поверхности Луны и ближайших к Земле планет (Венера, Марс); фотографирования с близкого расстояния Меркурия, Юпитера и его спутников, Сатурна и его спутников, Урана и его спутников, Нептуна и его спутников; исследований комет с близкого расстояния.

Нашей стране принадлежат многие приоритетные достижения в области исследования космоса в мирных целях. Достаточно вспомнить о запуске первого в мире искусственного спутника Земли, о полете первого в мире космонавта, о первом в мире выходе космонавта в открытый космос, о фотографировании обратной стороны Луны, о полетах к Венере, Марсу, к комете Галлея, о самых длительных в истории космонавтики экспедициях на орбитальные научные станции. Эти достижения — результат творческой работы больших коллективов советских рабочих, конструкторов и ученых. Сейчас всему миру известны имена Главного теоретика космо-

навтики академика М. В. Келдыша, Главного конструктора ракетно-космических систем академика С. П. Королева, а также таких ученых и конструкторов, как академики В. П. Глушко, Р. З. Сагдеев и многие другие. Советские космические ракеты типа «Протон» оказались надежными и универсальными по применению. Ведь это они выводили на орбиту автоматические межпланетные станции типа «Венера», «Марс» и «Вега», специализированные спутники «Экран», «Радуга», «Горизонт», а также орбитальную станцию «Мир», к которой могут подстыковываться до пяти орбитальных модулей (специализированные научные лаборатории, или производственные «цеха» на орбите).

Уже в апреле 1987 г. на околоземной орбите был впервые создан методом последовательной сборки сложный советский научно-исследовательский комплекс из четырех аппаратов, составляющих единую систему. Этот «космический поезд» включал базовый блок (станция «Мир»), астрофизический модуль («Квант»), пилотируемый корабль («Союз ТМ-2», на котором космонавты Ю. В. Романенко и А. И. Лавейкин прибыли на станцию «Мир») и автоматический грузовой корабль («Прогресс-29»). В дальнейшем к базовому блоку станции «Мир» пристыковывались и другие модули. Уже после пристыковки модуля «Квант-2» размеры комплекса превысили размеры десятиэтажного дома.



С этим прибором — трикветрумом — выполнял наблюдения Николай Коперник.

А в мае 1987 г. начались летно-конструкторские испытания новой мощной советской универсальной ракеты-носителя «Энергия», предназначенной для выведения на околоземные орбиты многоразовых кораблей и крупногабаритных космических аппаратов научного и народнохозяйственного назначения. Создание этой мощнейшей космической ракеты стало одним из самых крупных достижений отечественной науки и техники.

15 ноября 1988 г. впервые стартовала ракетно-космическая система «Энергия» — «Буран». Орбитальный корабль многоразового использования «Буран», совершив двухвитковый полет вокруг Земли, с ювелирной точностью приземлился на посадочной площадке космодрома «Байконур». Внешне «Буран» похож на американский «Шаттл». Но у нашего «Бурана» имеется ряд важных отличий от зарубежного предшественника. Он имеет меньшую собственную массу, более упрощенную компоновочную схему, оснащен объединенной двигательной установкой с едиными баками для управляющих и маршевых двигателей, работает на экологически чистом топливе, рассчитан на полеты в автоматическом и пилотируемом режимах. Максимальная стартовая масса «Бурана» 105 т, максимальная масса доставляемого на орбиту груза 30 т, а с орбиты — 20 т. Высота «Бурана» около 16,5 м, длина 36,5 м, продолжительность полета 7 сут, а максимальная — 30 сут.

21 декабря 1988 г. завершился самый длительный полет в истории пилотируемой космонавтики: В. Г. Титов и М. Х. Манаров на протяжении целого года работали на борту научно-исследовательского комплекса «Мир». Такие и еще более длительные полеты людей необходимы

для подготовки к будущим экспедициям на Марс и другие планеты Солнечной системы.

Исследования Вселенной открывают необозримый простор для развития международного сотрудничества всех государств нашей планеты, к этому призывает народы мира наша страна. Важное место в международном сотрудничестве должна занять космическая астрономия, что и было наглядно продемонстрировано успешным осуществлением в 1986 г. полетов космических кораблей к комете Галлея.

В июле 1988 г. началось осуществление новой многоцелевой научной программы исследования Фобоса (спутник Марса), Марса, Солнца и межпланетного пространства (проект «Фобос»). Ракета-носитель «Протон» вывела на орбиту две межпланетные станции «Фобос» (масса каждой 6 200 кг). В состав каждой из станций вошли космический аппарат, автономная двигательная установка (для выполнения коррекций траектории и формирования орбиты спутника Марса), долгоживущая автономная станция (67 кг) и передвижной зонд (43 кг). Долгоживущая автономная станция предназначена для научных исследований на Фобосе. Этой же цели служит и передвижной зонд, способный совершать «прыжки» на поверхности Фобоса.

Проект «Фобос», как и проект «Вега», был многоцелевой. На трассе перелета, который длился 200 сут, ученые получили ценную информацию о межпланетном пространстве, Солнце и солнечной активности. С орбиты искусственного спутника Марса, на которую «Фобос-2» вышел в конце января 1989 г. (связь с «Фобосом-1» из-за неправильно выданной с Земли команды была потеряна в сентябре 1988 г.), прово-

дились исследования Фобоса и Марса. До полного завершения программы оставалось примерно 10 дней, но 14 апреля 1989 г. пришлось принять решение о прекращении работ с «Фобосом-2», с которым на протяжении двух недель не удавалось восстановить неожиданно прекратившуюся связь. Космический аппарат потерял ориентацию, начал вращаться, исчерпал свои запасы энергии. Несмотря на это, в ходе осуществления миссии «Фобос» многое удалось сделать: получены конкретные научные результаты, блестяще справились со своей сложнейшей задачей баллистики, но конечную цель проекта — исследование Фобоса активными и пассивными методами — достичь не удалось. Но разумеется, полеты к Марсу будут продолжены и в нашей стране, и за рубежом. Один из вариантов программы включает эта-

пы: первый этап (1994—1996) — запуск искусственного спутника Марса с отработкой техники посадки на эту планету; второй этап (1996—2005) — доставка на Землю марсианских пород; третий этап (2005—2015) — пилотируемый полет на Марс. Интересно, что в ряде проектов дальнейших исследований Марса предусмотрено использование аэростатов (баллонов), хорошо зарекомендовавших себя при исследовании атмосфер Земли и Венеры.

Однако космическая астрономия не отменила наземную — обе, взаимно дополняя друг друга, позволили человеку XX в. открыть новую Вселенную. Ограничимся несколькими примерами, показывающими, какие инструменты имеют сейчас астрономы в своем распоряжении.

НАЗЕМНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ

Крупнейшие обсерватории мира оснащены телескопами-рефлекторами с диаметром главного зеркала от 2 до 6 м. На территории бывшего СССР около 50 обсерваторий. Несколько из них обладают очень крупными и весьма совершенными инструментами. Например, на Абастуманской астрофизической обсерватории АН Грузии имеется крупнейший в мире зеркально-линзовый телескоп системы Д. Д. МаксUTOва (диаметр зеркала около 1 м, а диаметр мениска около 0,7 м). Крымская астрофизическая обсерватория и Бюраканская астрофизическая обсерватория АН Армении оснащены телескопами-рефлекторами с диаметром объектива 2,6 м (это один из крупнейших в Европе телескопов данного типа). Крупнейший в мире

6-метровый телескоп-рефлектор с 1967 г. действует в Специальной астрофизической обсерватории АН России. Подчеркнем, что все перечисленные уникальные телескопы были созданы в оптико-механической промышленности нашей страны, а работы по созданию этих инструментов возглавлял выдающийся советский конструктор телескопов Б. К. Иоаннисиани (1911—1986). Поразительны размеры и масса (42 т) главного зеркала 6-метрового телескопа, общая масса телескопа (600 т) и его 44-метровой башни (1000 т). Принципиальное значение имеет использование в таком огромном телескопе азимутальной монтировки, позволяющей трубе телескопа вращаться вокруг вертикальной и горизонтальной осей (слежение за наблюдаемым небесным светилом осу-



Башня крупнейшего в мире советского 6-метрового телескопа-рефлектора.

шествляет электронная система управления). Еще недавно считалось, что такая монтировка пригодна лишь для небольших инструментов. А ведь от качества и надежности монтировки телескопа во многом зависит качество получаемого изображения. В этом легко может убедиться каждый любитель астрономии, имеющий в своем распоряжении хотя бы призмный бинокль. Сделав даже простейшую подставку, можно рассмотреть в него, например, Юпитер со спутниками. Значительно труднее и менее эффективно проводить наблюдения, держа бинокль в руках.

С помощью 6-метрового телеско-

па выполняются фотографические и спектральные наблюдения, причем все большее применение на лучших обсерваториях мира находят принципиально новые приемники светового излучения. Среди них особенно перспективны приборы с зарядовой связью (например, ПЗС-матрицы). В них осуществляется накопление электронов, получаемых в результате фотоэффекта, а затем восстановление изображения наблюдаемого объекта. Благодаря этому в современной мировой практике удастся фотографировать слабые объекты до 26-й звездной величины.

Наземные радиотелескопы

Основные части этих телескопов аналогичны тем, которые имеют оптические телескопы: антенна собирает радиоизлучение и направляет его в приемник, настроенный на выбранную длину волны; монтаж обеспечивает наводку телескопа на объект наблюдения и слежение за ним. Конструкции антенн различны. Подвижные чашеобразные параболические антенны имеют диаметры, достигающие 100 м. Иного вида антенны используются в более крупных инструментах. Например, антенна большого радиотелескопа Специальной астрофизической обсерватории АН России состоит из 895 отдельных зеркал, расположенных по окружности (диаметр ее около 600 м). Конструкция этого телескопа такова, что одновременно на нем можно наблюдать три участка неба. Независимо от погоды и времени суток наблюдения на РАТАНЕ-600 проводятся в диапазоне длин волн от 8 мм до 30 см, а информация оперативно обрабатывается на ЭВМ.

Чем больше антенна телескопа, тем выше его разрешающая способность. Существуют очень большие радиотелескопы с неподвижными антеннами для работы в диапазоне длинных волн. Но и гигантские радиотелескопы нередко оказываются недостаточными. Это происходит не только при решении астрофизических задач (исследование структуры ядер квазаров и галактик), но и при решении задач гео-

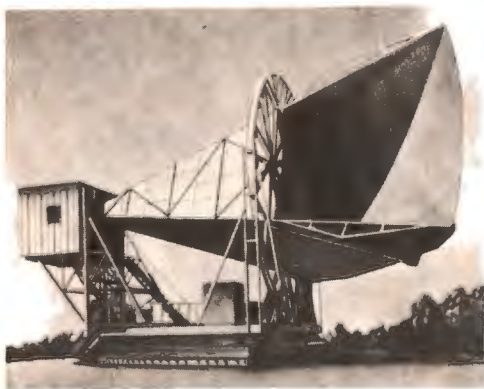
физики (изучение дрейфа континентов) и космонавтики (слежение за космическими объектами, летящими в близком и дальнем космосе). Тогда применяют радиоинтерферометры. В этом случае один и тот же объект наблюдают одновременно на двух или нескольких радиотелескопах, а потом обрабатывают полученные данные. Расстояние между радиотелескопами (оно называется базой) может достигать нескольких тысяч километров (т. е. входящие в состав радиоинтерферометра телескопы могут находиться на разных континентах или даже в космосе). Метод сверхдальней радиоинтерферометрии изобретен в нашей стране в 60-х гг. Применяя радиоинтерферометры, астрономы, например, научились определять положение радиосточника на небесной сфере с точностью до 0,001" (это уже превышает возможности оптических наблюдений).



Советский радиотелескоп (РТ-70) с неповоротной квазипараболической антенной (диаметр зеркала 70 м), обеспечивающий связь с космическими аппаратами в пределах Солнечной системы (Центр дальней космической связи, г. Евпатория).



600-метровый радиотелескоп (РАТАН-600)
Специальной астрофизической обсерватории



7-метровая рупорная антенна — небольшой радиотелескоп, с которым было впервые обнаружено реликтовое излучение («Белл Телефон лаборатория», США).

Наземные радиоастрономические комплексы имеют большое будущее. Создаются новые обсерватории, планируются интереснейшие программы наблюдений. Например, полноповоротный параболический рефлектор (диаметр зеркала 70 м) будет работать в горах Узбекистана на высоте

2300 м над уровнем моря (плато Суффа, что по-узбекски означает плоское место). Здесь строится радиоастрономическая обсерватория Института космических исследований РАН. Этот телескоп (РТ-70) предназначен для работы в миллиметровом диапазоне радиоволн (вплоть до $\lambda = 1$ мм),

который очень интересует астрофизиков.

Радиоастрономические наблюдения имеют еще один важный, можно сказать, мировоззренческий аспект, поскольку именно они используются для поиска внеземных цивилизаций (ПВЦ). Напомним, что 11 апреля 1960 г. ПВЦ был начат американским ученым Фрэнком Дрейком. Использовался один из радиотелескопов Национальной радиоастрономической обсерватории (Грин-Бэнк, Западная Вирджиния). Проект получил название «Озма» (от названия мифической страны Оз, описанной в научно-фантастических книгах. Дрейк надеялся принять сигналы от обитателей планет, обращающихся вокруг звезд ϵ Эридана и τ Кита. На эти звезды, находящиеся в пределах 100 св. лет от нас, был направлен радиотелескоп с диаметром зеркала 25,5 м, но «братья по разуму» никак не проявили себя ни тогда, ни в последующие годы поиска...

Наверное, действительно, внеземные цивилизации уникальны, а не встречаются повсюду, как это казалось прежним энтузиастам гипотезы множественности внеземных цивилизаций. Однако существуют десятки программ ПВЦ, которые позволяют время от времени делать открытия, косвенным образом имеющие отношение к жизни во Вселенной и вдохновляющие ищущих (открыты сложные органические молекулы в межзвездной среде; открыты как будто

не только протопланетные диски у отдельных звезд, но и, возможно, большие планеты у таких звезд, как τ Эридана, γ Цефея и др.).

С целью ПВЦ производятся и полные обзоры неба, и направленный поиск сигналов от выбранных звезд. Как известно, Земля благодаря своим многочисленным радио- и телепередатчикам сама стала радиоисточником для внешних наблюдателей. Сегодня подобные радиоисточники могли бы быть обнаружены нами на расстояниях до 1 000 св. лет. Но помимо всего прочего обнаружение сигналов искусственного происхождения в миллиметровом и сантиметровом диапазонах затрудняется из-за огромного числа помех как естественного — космического — происхождения, так и искусственного — земного (например, из-за радиосигналов, посылаемых многочисленными искусственными спутниками Земли, в частности спутниками связи).

Планы осуществления ПВЦ очень впечатляют. Например, американские специалисты собираются в 90-х гг. исследовать около 100 звезд типа Солнца в пределах 80 св. лет от Земли. Эти исследования будут проводиться в широком диапазоне частот с использованием ряда радиотелескопов с диаметром антенн от 33,6 до 300 м. Поиском внеземных цивилизаций занимаются и советские радиоастрономы.

ОРБИТАЛЬНЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ

Как мы уже знаем, внеатмосферные наблюдения можно проводить в диапазоне всех длин волн. С этой целью на орбиту выводятся телескопы для наблюдения источников гамма-излучения, а также рентгеновского, ультрафиолетового и ин-

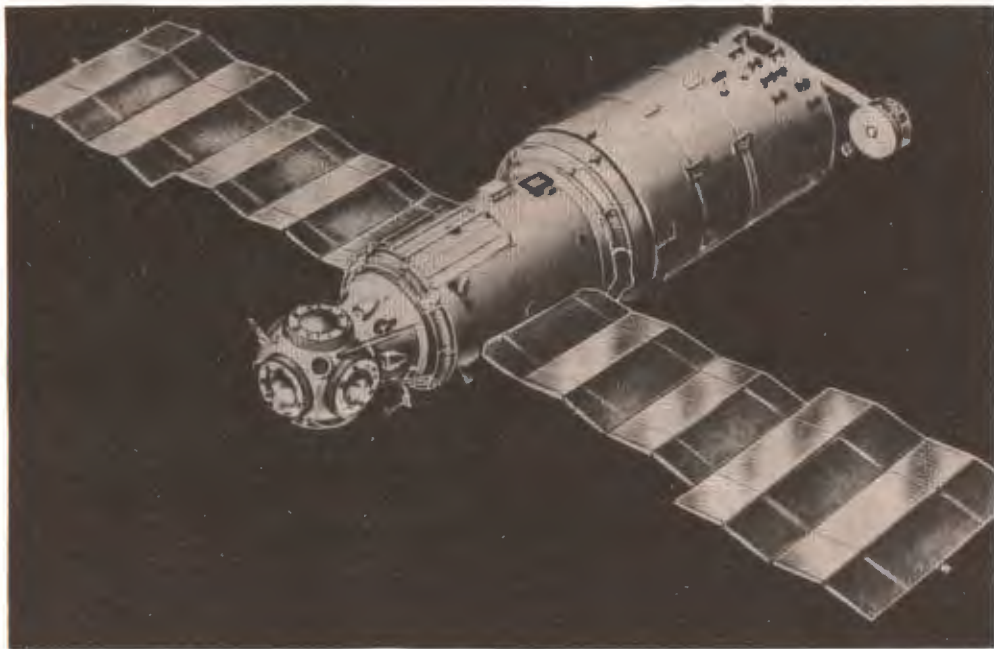
фракрасного излучений. Разумеется, из космоса можно наблюдать также источники оптического и радионизлучений. На космических аппаратах устанавливают гамма-телескопы для регистрации «мягкого» (от нескольких долей МэВ до 10—15 МэВ) и

«жесткого» излучения (примерно до 5 ГэВ). Это сцинтилляционные телескопы, т. е. особого рода счетчики гамма-квантов, в которых обеспечивается отбор именно строго определенных квантов. Угловое разрешение таких устройств пока еще невелико, что затрудняет отождествление источников гамма-излучения с оптическими объектами, находящимися в том же направлении на небесной сфере.

В рентгеновском диапазоне исследуются фотоны с энергией 0,1 до 100 КэВ (или от 100 до 0,1 А). В зависимости от «жесткости» излучения применяют те или иные телескопы, основанные либо на использовании явления фотоэффекта (пропорциональные газонаполненные счетчики), либо наблюдают вспыш-

ки в сцинтилляторах. «Мягкое» рентгеновское излучение исследуют с помощью специальных телескопов-рефлекторов, т. е. строят рентгеновское изображение объекта (например, Солнца). На таком изображении различимы детали, угловое расстояние между которыми 1—2". Длительные наблюдения рентгеновских источников проводились на американских спутниках «Ухуру», «Эйнштейн» и советском «Астрон» с помощью обсерватории «Рентген», находящейся на астрофизическом модуле «Квант» станции «Мир» и др.

В 1983 г. был запущен советский астрономический спутник «Астрон», на борту которого находился, кроме рентгеновского, ультрафиолетовый телескоп с диаметром зеркала 80 см



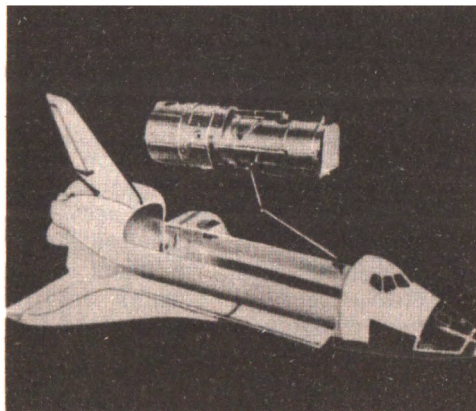
Советская долговременная орбитальная научная станция «Мир» (выведена на орбиту 20 февраля 1986 г.). Эта станция третьего поколения снабжена переходным отсеком с пятью стыковочными узлами, предназначенными для приема модулей «Квант», «Квант-2» и др.

Орбитальный оптический телескоп-рефлектор («Космический телескоп имени Хаббла», диаметр зеркала 2,4 м), который американские специалисты вывели на орбиту с высотой более 600 км с помощью космического корабля многоразового использования «Спейс Шаттл».

(крупнейший среди действующих до настоящего времени). Специальная система стабилизации обеспечила наведение спутника на объект с большой точностью (достигающей при определенных условиях долей угловой секунды).

Планировалось, что «Астрон» будет работать на орбите около года, но и через пять лет после запуска «Астрон» продолжал разнообразное исследование рентгеновских и ультрафиолетовых источников. К уникальным наблюдениям, выполненным с помощью «Астроны», относятся, в частности, наблюдения кометы Галлея и Сверхновой, вспыхнувшей 23 февраля 1987 г. в Большом Магеллановом Облаке. Масса приборов, установленных на «Астроне», 0,7 т. В 3 раза больше масса приборов, которые находятся на борту международной астрофизической обсерватории «Гранат» (СССР, Франция, Дания и Болгария); ее вывела на высокоапогейную орбиту в начале декабря 1989 г. наша ракета «Протон». Основные телескопы «Граната» — АРТ-II и «Сигма» — предназначены для наблюдения рентгеновских источников в широком диапазоне (от 3 до 2 000 КэВ) и гамма-всплесков.

Очень информативен инфракрасный диапазон (от 0,8 мкм до 1 мм, т. е. вплотную примыкающий к радиодиапазону со стороны коротких длин волн). Часть инфракрасного излучения достигает поверхности Земли и исследуется с помощью наземных телескопов,



которые устанавливаются высоко в горах (например, на высоте 4 200 м над уровнем моря на вершине бывшего вулкана Мауна-Кеа, Гавайские острова). Но в основном наблюдения источников ИК-излучения осуществляются с использованием орбитальных телескопов.

В 1983 г. несколько стран (Нидерланды, США, Англия) осуществили запуск специализированного спутника (ИРАС) для обзора неба и обнаружения источников ИК-излучения (их было зарегистрировано около 250 000). Методы регистрации ИК-излучения разнообразны и получили большое распространение в наземной и космической астрономии. Установки для таких наблюдений включают телескоп, собирающий излучение; собственно приемник ИК-излучения (охлаждаемый до температуры в несколько кельвинов); системы модуляции, детектирования и усиления сигнала; ЭВМ для обработки полученной информации.

Внеатмосферная (космическая) астрономия имеет много достижений (о некоторых из них будет рассказано ниже) и интенсивно развивается в нашей стране и за рубежом. В 1987 г. на советской орби-

тальной станции «Мир» космонавты начали наблюдения с новыми рентгеновскими и ультрафиолетовыми телескопами. В этом же году на орбиту искусственного спутника Земли рентгеновский телескоп вывели и японские ученые. В перспективе вывод на орбиту новых телескопов. 22 апреля 1990 г. был выведен на околоземную орбиту телескоп имени Хаббла — один из лучших инструментов нынешнего века. Диаметр зеркала этого космического телескопа-рефлектора 2,4 м. Он снабжен совершенной системой стабилизаций, обладает высокой разрешающей и проникающей способностью, что, вероятно, позволит выполнить много научных программ за время расчетного срока службы телескопа (15—20 лет).

В августе 1989 г. был запущен первый астрометрический спутник, созданный по заказу Европейского космического агентства. Он называется «Hipparcos» («Гиппарх») — от аббревиатуры слов «спутник высокоточного определения параллаксов». А Гиппарх, как вы знаете, древнегреческий астроном (II в. до н. э.), составивший первый каталог звезд и использовавший метод параллакса для определения расстояния до Луны. Спутник «Гиппарх» предназначен для составления современного обширного звездного каталога, содержащего звезды до 13-й звездной величины с точностью определения координат $0,002''$. На борту спутника находится оптический телескоп для многократного фотографирования отобранных звезд. Предполагалось, что спутник будет выведен на геостационарную орбиту и будет активно существовать не менее 2,5 лет. Однако из-за неполадок спутник оказался на эллиптиче-

ской орбите (апогей около 36 тыс. км, перигей около 500 км), что крайне затруднит выполнение программы.

В нашей стране учеными и конструкторами ряда учреждений (прежде всего Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга) разработан интереснейший проект астрометрического космического эксперимента («Ломоносов») с целью создания высокоточной карты всего неба. Планируется составить каталог 400 тыс. звезд (до 10-й звездной величины) с точностью определения координат и собственных движений $0,002—0,010''$. Для этого на борту искусственного спутника Земли будет установлен телескоп-рефлектор с диаметром главного зеркала 1 м, который будет снабжен системой для надежной стабилизации и быстрого наведения на необходимые небесные объекты и очень чувствительной регистрирующей аппаратурой.

Вообще надо сказать, что в 90-х гг. мы станем свидетелями осуществления многих интереснейших космических проектов, а 1992 г. Организация Объединенных Наций объявила годом Космоса. В ряде стран (Россия, США, Япония и др.) разрабатываются интереснейшие проекты исследования Луны и планет Солнечной системы («Магеллан», «Галилей» и др.).

Из множества открытий, которые были сделаны астрономами с помощью этого мощного арсенала инструментальных средств, мы выделим лишь те, которые наиболее ярко свидетельствуют об изменениях, происходящих на небесных телах, об их эволюции.

Планеты и их спутники

В 1930 г. была открыта самая далекая и, как недавно выяснилось, самая маленькая из известных сегодня больших планет — Плутон. Открыл ее Клайд Томбо (в то время молодой и очень талантливый астроном), а имя планете придумала одиннадцатилетняя англичанка Венеша Берни. Об открытии новой планеты она узнала от своего дедушки Ф. Мэдена, библиотекаря Оксфордского университета, который пересказал содержание только что прочитанного им газетного сообщения. Девочка, изучавшая в школе греческую мифологию, предложила назвать планету именем бога подземного царства. И хотя было много других предложений, принято было именно это, поскольку первые две буквы имени древнегреческого бога совпадают с инициалами Персиваля Ловелла, многие годы посвятившего поиску планеты, находящейся за Нептуном. Никаких планет, расположенных ближе к Солнцу, чем Меркурий, и дальше от Солнца, чем Плутон, не обнаружено. Что же касается спутников, то их число в последние годы возросло (открыт спутник у Плутона, новые спутники открыты у Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна). Кроме того, непрерывно пополняется число вносимых в каталоги астероидов, причем у некоторых из самых больших астероидов удалось, по-видимому, открыть крошечные спутники.

В последние годы существенно возросли наши знания о кольцах планет. Эти кольца, как и предсказывал советский астроном С. К. Всехсвятский (1905—1984), обнаружены не только у Сатурна, но и у других планет-гигантов. Наиболее подроб-

ные сведения получены о системе колец Сатурна: вместо нескольких сравнительно широких колец, наблюдаемых с Земли, на снимках, переданных с космического аппарата «Вояджер-1», пролетевшего вблизи Сатурна, видны сотни и даже тысячи узких «колечек», а кольца в целом напоминают граммофонную пластинку. Из-за взаимодействия частиц, входящих в состав колец, друг с другом и с малыми спутниками Сатурна некоторые кольца по форме сильно отличаются от круговых. Происхождение колец пока еще окончательно не выяснено. Возможно, они состоят из вещества несформировавшегося спутника, оказавшегося в зоне разрушительных приливных сил. В этом случае исследование колец позволит нам изучать вещество, из которого возникли планеты.

Вы знаете, что планеты делятся на две группы — планеты земной группы и планеты-гиганты. Планеты земной группы обладают твердыми оболочками. Однако Земля резко выделяется среди планет своей группы: ведь только наша планета обладает гидросферой, имеет богатую кислородом и азотом атмосферу, и наконец, только на этой планете возникла и развилась биосфера. Из курса физической географии вы знаете об общем строении земного шара (кора, мантия, ядро) и об особенностях строения литосферы, включающей земную кору и часть верхней мантии. Согласно одной активно развивающейся геофизической гипотезе, литосфера состоит из нескольких жестких подвижных плит, «плавающих» на сравнительно пластичном слое верхней мантии (астеносфера). Различные переме-

Перед вами полученные с помощью бортовой аппаратуры советских и американских автоматических межпланетных станций изображения участков поверхности следующих небесных тел:



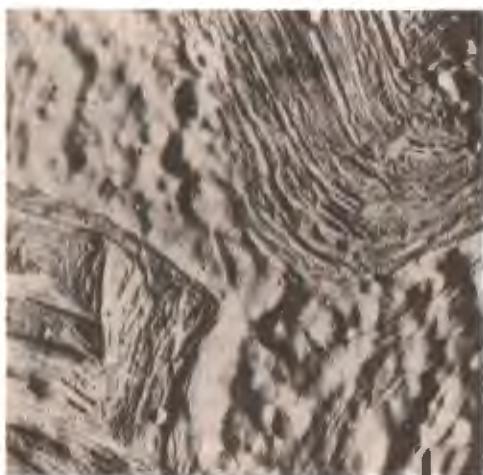
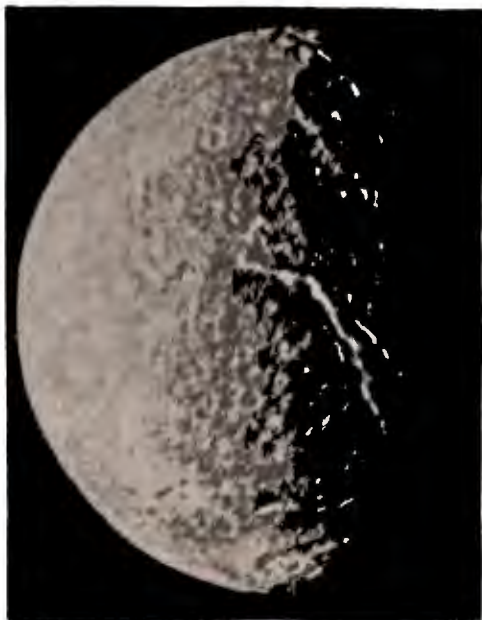
а



б

Венера (а — фрагмент одной из панорам района посадки АМС; б — фотомонтаж радиолокационных изображений участка поверхности).

Титан — спутник Урана.



Миранда — спутник Урана.



Марс.

шения литосферных плит приводят к возникновению рифтовых зон, глубоководных желобов, открытых на дне океанов, и горных хребтов. Этой гипотезой делается также попытка объяснить дрейф материков. Идея о том, что когда-то материки составляли единое целое, высказывалась еще в XVII в. (Френсис Бэкон и др.), а детальной разработкой происхождения материков и океанов занялся в начале XX в. немецкий метеоролог Альфред Вегенер, который, изучая астрономию, увлекся метеорологией и геофизикой. Вегенер и его многочисленные последователи приводят разнообразные доказательства того, что существовавший в прошлом материк Пангея распался, образовав Лавразию (се-

верный континент) и Гондвану (южный континент). Имеется возможность не только представить себе, как выглядела поверхность Земли в прошлом, но и заглянуть в будущее. Например, «всего лишь» через 50 млн. лет Австралия существенно продвинется к северу, в Карибском море появится суша, Калифорния отколется от американского континента, Африка почти полностью закроет Средиземное море и т. д. Если в дополнение к этому вспомнить, что на Земле постоянно происходят землетрясения, извержения вулканов, а поверхность Земли подвержена влиянию не только внутренних (эндогенных) процессов, но и внешних (экзогенных — эрозия под действием ветра, воды, ледников

и т. п.), то станет ясно, что наша планета, и в частности ее поверхность, эволюционирует, живет довольно активной жизнью.

Значительно медленнее эволюционирует Луна, формы рельефа которой «застыли» миллиарды лет назад. Экзогенные процессы в мире, где нет воздуха и воды (есть, правда, микрометеоритная эрозия и бомбардировка частицами солнечного ветра), мало изменяют облик Луны. Да и тектоническая активность там незначительна (хотя «лунотрясения» происходят). Все это и превратило поверхность Луны в «геологический музей» — очень интересный объект для сравнительного изучения небесных тел Солнечной системы. Каждый любитель астрономии знаком с такой распространенной на Луне формой рельефа, как кратеры. Большинство лунных кратеров метеоритного происхождения и представляют собой последствия интенсивной метеоритной бомбардировки, которой подверглась Луна на одном из заключительных этапов своего формирования (как небесного тела).

Теперь мы знаем, что крупные метеоритные кратеры есть не только на Луне и на Земле. Они открыты на Меркурии, Венере и Марсе, а также на спутниках Марса, Юпитера, Сатурна и в 1986 г. — на спутниках Урана, а в 1989 г. — на спутниках Нептуна. Экзогенные процессы стерли большинство метеоритных кратеров на Земле, но кратеры хорошо сохранились на Меркурии, Луне и других спутниках планет, лишенных атмосферы. Наличие кратерированных областей на различных телах Солнечной системы свидетельствует в пользу единого процесса, который происходил в эпоху формирования планет и их спутников. Сравнение кратериро-

ванных областей на этих небесных телах с областями на Марсе, имеющем атмосферу, наглядно показывает, как ветры и пыльные бури медленно изменяют облик Марса, хотя «внутренняя жизнь» угасла. А она была: грандиозной была, например, вулканическая активность, о чем свидетельствует открытие на Марсе громадной горы Олимп (это бывший вулкан: гора высотой более 25 км и кратером с диаметром около 60 км на вершине!). В настоящее время активная вулканическая деятельность предполагается на Венере и обнаружена на спутнике Юпитера Ио, а также, возможно, на Тритоне (спутник Нептуна).

Эволюционируют не только поверхности планет, но и атмосферы тех планет, у которых они сохранились до настоящего времени. В отличие от планет-гигантов, атмосферы которых образовались одновременно с этими планетами, планеты земной группы стали обладателями атмосферы несколько позже. Когда именно, сказать трудно, так как газы, входящие в состав планетных атмосфер, могли, например, появиться в результате бурной вулканической деятельности. Но не исключаются другие возможности: например, газы могли выделяться из твердых частиц, из которых «слипались» планеты (см. гл. II, § 7).

В настоящее время хорошо известен химический состав атмосфер планет. На Земле — азотно-кислородная атмосфера, на Венере и Марсе атмосфера в основном состоит из углекислого газа, в атмосфере Юпитера преобладает водород. Различен и состав облаков: облака в атмосфере Земли состоят из воды и льда, облака Венеры содержат серную кислоту, а облака Юпитера

и Сатурна — аммиак, много метана в атмосферах Титана и, возможно, Тритона.

Из-за различного нагрева Солнцем полярных и экваториальных областей планет атмосферы их никогда не остаются в покое: они движутся, участвуя в общепланетной циркуляции. Большое впечатление производят, например, наблюдения местных (локальных) движений газа в атмосфере Юпитера, где на протяжении нескольких веков сохраняется Большое Красное Пятно (своеобразный циклон, размеры которого превосходят земной шар).

Таков в самых общих чертах мир планет и их спутников, по существу, открытый заново в XX в. Не случайно в последнее время появилось много интересных книг и брошюр о планетах.

Именно исследование планет с помощью космических аппаратов открыло перед нами новый мир планет, позволило узнать то, что раньше было совершенно недоступно астрономам. Например, советские ученые (О. Н. Ржига и др.) выполнили огромную работу по картографированию поверхности Венеры на основе радиолокационной съемки, выполненной в 1983—1984 гг. с помощью космических аппаратов «Венера-15» и «Венера-16». Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР выпустило в 1989 г. «Атлас Венеры», фрагменты которого («Загадочные ландшафты Венеры») публиковались в 1989—1990 гг. в научно-популярном журнале «Земля и Вселенная». Картографирование Венеры планируют осуществить и американские ученые. В мае 1989 г. к Венере направилась автоматическая межпланетная станция «Магеллан», которая в августе 1990 г. достигла

Венеры и с орбиты искусственного спутника этой планеты получила радиолокационные данные, необходимые для картографирования поверхности Венеры.

21 августа 1989 г. «Вояджер-2» передал на Землю великолепные фотографии Нептуна и его спутников. Ученые Лаборатории реактивного движения НАСА (Пасадена, штат Калифорния, США) обратили внимание на то, что на Нептуне есть большое Темное Пятно, сходное со знаменитым Красным Пятном на Юпитере. Были зарегистрированы радиоимпульсы от Нептуна, свидетельствующие, по-видимому, о его магнитном поле. 25—26 августа 1989 г. «Вояджер-2» прошел вблизи Тритона — крупнейшего из шести известных теперь спутников этой планеты (радиус Тритона, вероятно, не превышает 1 380 км). Температура около 30 К, поверхность как будто покрыта слоем изморози (замерзший азот). У Тритона, как и у Титана (спутник Сатурна), есть азотная атмосфера. На Тритоне имеются немногочисленные кратеры, но больше, чем они, внимание ученых привлекло множество впадин и выступов неправильной формы, гряд холмов и борозд. На снимках заметны и крупные равнинные области (примерно $200 \times 400 \text{ км}^2$), которые, возможно, заполнены замерзшей водой, обладающей в условиях Тритона большой хрупкостью. Информация, переданная «Вояджером-2» о Нептуне и его спутниках, будет еще долгое время тщательно изучаться.

В октябре 1989 г. с борта американского многоразового транспортного корабля «Атлантис» была запущена к Юпитеру автоматическая межпланетная станция «Галилей». «Галилей» сначала прошел около Венеры (февраль 1990 г.),

затем — вблизи Земли (декабрь 1990 г.), потом, пролетев через пояс астероидов, снова приблизится к Земле (декабрь 1992 г.). Только к 1995 г. начнутся исследования самого Юпитера и его спутников с помощью зондов и орбитального бло-

ка «Галилея». С декабря 1995 г. по октябрь 1997 г. орбитальный блок «Галилея» будет находиться на орбите искусственного спутника Юпитера и многократно сближаться с некоторыми из его естественных спутников.

Кометы

Ежегодно открывают несколько комет. Некоторые из приближающихся к Солнцу и Земле «волосатых звезд» оказываются нашими старыми знакомыми — это периодические кометы. Среди последних особое место занимает комета Галлея, которая регулярно через 75—76 лет приближается к Солнцу и Земле, причем таких появлений зафиксиро-

вано не менее 30! Из всех небесных тел, обращающихся вокруг Солнца, кометы наиболее активные, быстроизменяющиеся, эволюционирующие буквально на глазах. Комета Галлея в наилучшем виде продемонстрировала все это при своем последнем появлении в 1986 г. На многочисленных наземных фотографиях видны выбросы кометного



Комета Галлея. На фотографии, полученной 1 января 1986 г. В. В. Солодовниковым в Астрофизическом институте АН КазССР, запечатлено уникальное явление: отрыв части плазменного хвоста знаменитой кометы.

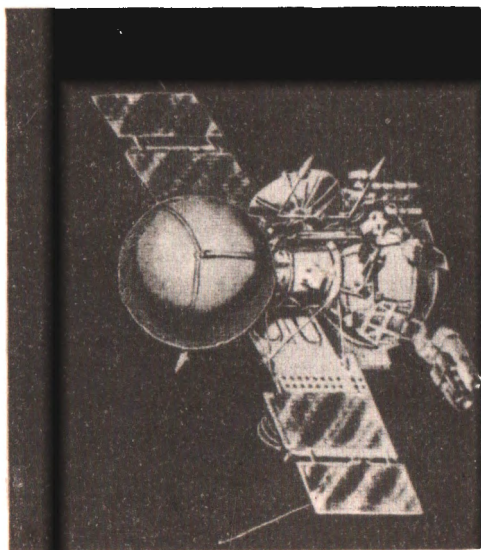
вещества из головы кометы, появление в хвосте кометы плазменных «лучей» и «пузырей», наблюдался отрыв хвоста и образование на его месте нового! Комета как будто бы «чувствовала», что к ней приковано внимание астрономов всего мира и что на встречу с ней устремлены посланцы Земли — советские АМС «Вега-1» и «Вега-2», западноевропейский зонд «Джотто» и японские космические аппараты «Суйсей» («Планета-А») и «Сангаке» («Пионер»). Все аппараты выполнили поставленные перед ними задачи, но успех советских АМС стал поистине выдающимся. Труд ученых Института космических исследований АН СССР по достоинству высоко был оценен отечественной и мировой научной общественностью.

Из многочисленных новых данных о комете Галлея выделим те, которые относятся к ее ядру. Оно было сфотографировано нашими АМС с расстояний 8—9 тыс. км. Ядро оказалось неправильной фор-

мы (его форму сравнивали с картошкой, арахисом, бананом и даже... стоптанным башмаком). Размеры ядра $\sim 16 \times 7 \times 7$ км, масса $\sim 6,5 \cdot 10^{17}$ г, температура поверхности около 100°C , период вращения около 55 ч. Исследователи сравнивают ядро кометы с «летающим айсбергом», «мартовским сугробом снега» и т. д. Последнее сравнение позволяет объяснить высокую поверхностную температуру ядра тем, что верхний (грязный) слой нагревается, но тепло не проникает внутрь. Скорее всего, тугоплавкий поверхностный слой ядра постоянно обновляется, а значит, со временем (через несколько десятков тысяч лет) ядро перестанет быть активным и будет мало отличаться от обыкновенного астероида (или малых спутников планет). Такое сходство не случайно. Оно, возможно, является подтверждением гипотезы о том, что ядра некоторых комет образовались в районе местонахождения планет-гигантов, а потом были отброшены ими на далекую периферию Солнечной системы.

Появились данные и о том, что снежно-ледяное ядро кометы покрыто слоем углеводородов, напоминающих... асфальт. В этой коре есть трещины, кратеры и даже холмы.

Дважды в год Земля пересекает метеорный рой, созданный кометой Галлея. Любители астрономии с интересом наблюдают оба метеорных потока: майские Аквариды с радиантом в созвездии Водолея и октябрьские Ориониды с радиантом, расположенным вблизи границы созвездий Ориона и Близнецов.



«Вега» — одна из двух советских автоматических межпланетных станций, с помощью которых успешно был осуществлен полет к комете Галлея.



«Звездный дождь» 12 ноября 1833 г. Это необычное проявление метеорного потока Леонид, повторяющееся (но не столь эффектно!) каждые 33 года.
Репродукция с гравюры.

В январе 1989 г. астрономам удалось сфотографировать комету Галлея, когда она была на расстоянии свыше 10 а. е. от Солнца. В это время комета имела яркость всего лишь 18,4-й звездной величины. Но и на таком расстоянии проявляла признаки активности. Более того, еще через два года (12 февраля 1991 г.), когда комета находилась между Сатурном и Ураном, астрономы с удивлением обнаружили мощную вспышку в ядре кометы.

Исследование комет дает редкую возможность наблюдать быстрые эволюционные процессы в Солнечной системе и позволяет заглянуть в ее далекое прошлое.

Еще в 1950 г. голландский астроном Я. Оорт предложил гипотезу, согласно которой на расстоянии порядка 10^5 а. е. (примерно 1 пк) находится рой каменисто-ледяных тел, являющихся ядрами комет. Из этого Облака Оорта (расстояние порядка

10^{11} ядер) лишь немногие тела под действием притяжения ближайших звезд (а затем и планет-гигантов) становятся короткопериодическими кометами, к числу которых относится и комета Галлея. Тот факт, что масса ядра этой довольно старой и очень активной кометы оказалась довольно большой, позволила советским ученым Л. С. Марочнику и Л. М. Мухину предположить, что в облаке Оорта может находиться множество массивных тел. Так появилась удивительная гипотеза о том, что масса вещества в облаке Оорта может на один или даже два порядка превышать массу Солнца! Если дальнейшие исследования подтвердят это, то очень существенно изменятся представления о строении, динамике и развитии Солнечной системы... Может быть кое-что выяснится, когда американская автоматическая межпланетная станция «Пионер-10», запущенная в 1972 г., пересечет кометное облако Оорта.

Наше обыкновенное и необыкновенное Солнце

В школьных учебниках и научно-популярной литературе по астрономии Солнцу уделяется, как оно того и заслуживает, много внимания. Поэтому всем известно, что Солнце — единственная в нашей Солнечной системе звезда. Это большой и массивный раскаленный плазменный шар (температура фотосферы около 6 000 К), являющийся динамическим центром Солнечной системы и источником света и тепла в ней (мощность общего излучения Солнца примерно равна $4 \cdot 10^{23}$ кВт, почти на 17 порядков больше мощности крупнейших современных электростанций).

В спектре Солнца отождествлены линии свыше 70 химических элементов таблицы Менделеева. Боль-

ше всего там, как известно водорода и гелия. А например, один атом золота приходится на 10^{12} (триллион) атомов водорода. Впрочем, и этого оказывается немало: всего в состав Солнца может входить порядка 10^{16} (10 квадриллионов) тонн золота... В недрах Солнца водород превращается в гелий (в основном это протон-протонный цикл). При «сгорании» 1 г водорода выделяется столько энергии, сколько дает сжигание 20 т каменного угля. На Солнце каждую секунду в гелий превращается 600 млн. т водорода. Именно такое количество водорода должен потреблять солнечный «термоядерный реактор», чтобы поддерживать (причем на протяжении миллиардов лет!) наблюдаемую

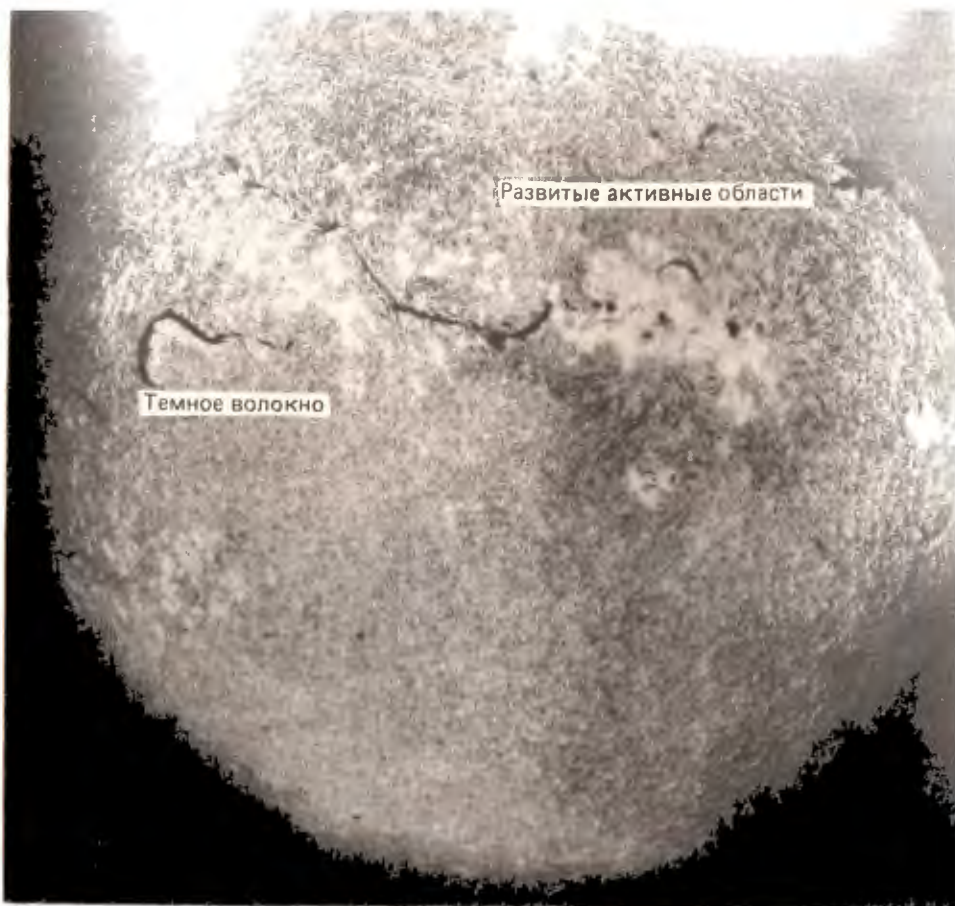
светимость Солнца. От «термоядерного реактора» высокоэнергичные кванты медленно «просачиваются» (путем многократного переизлучения) ближе к фотосфере Солнца. Здесь, на расстоянии 0,7—0,8 радиуса Солнца от центра светила, температура и плотность газа значительно меньше, чем в ядре (в центре Солнца температура близка к $15 \cdot 10^6$ К, а плотность газа в 150—160 раз превышает плотность воды). В этих условиях на смену лучистому переносу энергии приходит конвекция. Выход на «поверхность» Солнца конвективных потоков мы наблюдаем в виде гранул, которые особенно хорошо видны на фотографиях фотосферы, получен-

ных с помощью телескопов, поднимаемых на стратостатах.

Фотосфера — это, конечно, не «поверхность» в буквальном смысле слова, а самый нижний слой солнечной атмосферы (его толщина достигает нескольких сотен километров). Над фотосферой простираются внешние слои солнечной атмосферы — хромосфера и весьма протяженная корона (с непрерывным расширением которой связано существование «солнечного ветра»). В отличие от гранул, всегда наблюдаемых на Солнце, на фотосфере временами появляются солнечные пятна (одиночные или большие группы), обычно окруженные факелами, а над фотосферой — солнеч-



Пятна и факелы на фотосфере Солнца (снимок сделан 12 апреля 1980 г. заслуженным учителем РСФСР Ю. А. Гришиным, г. Углич).



а



б

ные вспышки и протуберанцы. Все это различные (причем мы перечислили не все!) проявления циклической солнечной активности, которая достигает максимума в среднем через каждые 11 лет. Последний и очень высокий максимум 1989—1990 гг. Известны и более продолжительные циклы солнечной активности, из которых наиболее короткий близок к 22 годам. В целом Солнце обладает очень небольшим магнитным полем, сравнимым с магнитным полем Земли. Но в активных областях Солнца (или в центрах активности) магнитное поле в сотни и даже тысячи раз сильнее. С появлением и развитием таких местных (локальных) магнитных полей связаны все явления солнечной активности. Локальные магнитные поля возникают в подфотосферных слоях Солнца, затем «выходят» на поверхность, и силовые линии их простираются во внешние слои солнечной атмосферы. Магнитные поля в зависимости от их интенсивности способны либо ускорить подъем к фотосфере масс раскаленной плазмы (тогда мы наблюдаем на фотосфере факелы), либо они могут замедлить конвекцию, вызывая появление солнечных пятен. Быстрая перестройка сложных магнитных полей (сопровождающаяся «перезамыканием» магнитных силовых линий) может быть причиной солнечных вспышек — наиболее грандиозных проявлений солнечной активности. Мощность вспышки ($\sim 10^{19}$ кВт) составляет всего лишь несколько сотых долей

процентов от мощности излучения Солнца. На самом деле это очень много: за те минуты, что происходит вспышка, выделяется энергия, в десятки раз превосходящая количество теплоты, которое выделилось бы при сжигании всех известных запасов угля и нефти... (порядка 10^{13} т условного топлива с удельной теплотой сгорания около $3 \cdot 10^7$ Дж/кг). Вспышки сопровождаются выбросом в корону и межпланетное пространство ускоренных до больших энергий электронов и протонов, коротковолнового излучения (гамма-излучения, рентгеновского излучения), а также радиоизлучения.

Как известно, солнечная активность в целом (и вспышки особенно) вызывает многочисленные явления в околоземном космическом пространстве (вспомните, например, о магнитосфере и радиационных поясах Земли), в земной атмосфере (где, например, возникают столь важные для нас слои, как ионосфера и озоносфера) и даже биосфере. Поэтому изучение солнечной активности имеет большое практическое значение для космонавтики, геофизики, развития радиосвязи и т. д. Но этим практическое значение исследования Солнца, конечно, не исчерпывается. Напомним, например, что в настоящее время все большее развитие получает гелиотехника, задачей которой является непосредственное превращение неисчерпаемой энергии солнечного излучения в другие виды энергии (электрическую, тепловую и др.).

Процессы в хромосфере Солнца:

а — общий вид хромосферы (снимок сделан в линии $H\alpha$ ($\lambda=6562$ Å) 15 мая 1984 г.); *б* — Гигантское темное волокно (протяженность более 900000 км!), которое можно было наблюдать в хромосфере 14 июня 1984 г. (снимок сделан научными сотрудниками Байкальской астрофизической обсерватории Сибирского института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн).

Хочется подчеркнуть, что в физике Солнца много нерешенных проблем. Они связаны прежде всего с выяснением природы солнечной активности в целом и механизме образования пятен, вспышек и других проявлений солнечной активности в частности.

Непосредственно заглянуть в недра Солнца, конечно, невозможно. Но в принципе имеется возможность зарегистрировать нейтрино, образующиеся в процессе превращения водорода в гелий. Нейтрино мало взаимодействуют с веществом и, обладая огромной проникающей способностью, беспрепятственно проходят через него. Поэтому потребовалось придумать особые нейтринные телескопы, позволяющие все-таки обнаружить нейтрино солнечного происхождения. Выполненные эксперименты не очень удовлетворяют ученых, поскольку имеется расхождение между данными эксперимента и теорией. Возможно, новые эксперименты позволят получить лучшее совпадение. Например, значительные надежды связываются с экспериментами, в которых будет использоваться галлиевый детектор. Под действием солнечных нейтрино изотоп галлия переходит в германий ($^{71}\text{Ga} + \nu \rightarrow ^{71}\text{Ge} + \bar{e}$), причем темп реакции известен достаточно хорошо. Техническое осуществление эксперимента сопряжено с немалыми трудностями, многие из которых, впрочем, уже преодолены. Для галлиевого детектора требуется около 40 т галлия. При небольшой мировой добыче галлия это тоже представляет собой затруднение, которое смягчается тем, что галлий может быть взят «взаимы», так как в ходе эксперимента не изменится ни его количество, ни его качество.

В 1987—1988 гг. появились принципиально новые нейтринные детек-

торы («Камиоканде-II», Япония), в которых измеряются вспышки света, возникающие при быстром движении электронов в большом бассейне с водой. Поток солнечных нейтрино, измеренный с помощью этих детекторов, тоже оказался почти в 2 раза меньше теоретического.

Очень интересны исследования Солнца как звезды. Нужно, например, выяснить: не является ли наше Солнце переменной звездой? Ответом на этот вопрос считается открытие, сделанное группой советских астрофизиков во главе с академиком А. Б. Северным (1913—1987). На протяжении ряда лет советские ученые тщательно измеряли в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР разность смещения спектральных линий от всей центральной части солнечного диска и от всей остающейся краевой зоны. Пользуясь этим методом, удалось обнаружить пульсации Солнца с периодом 160 мин (соответствующее изменение радиуса Солнца ± 10 км). Это открытие может иметь большое значение для углубления наших представлений о внутреннем строении Солнца. Более того, ученые Крымской астрофизической обсерватории считают, что 160-минутная пульсация может оказаться универсальной, т. е. с таким периодом должны пульсировать не только некоторые звезды, но и совершенно другие объекты, включая даже те, которые, возможно, находятся в центральных областях галактик!

Мы привыкли к тому, что Солнце — рядовая звезда Вселенной. Действительно, есть много звезд, больших Солнца, есть много звезд меньших, чем оно. Солнце не выделяется особо ни своей массой, ни своей светимостью, ни своим спектральным классом. Казалось

бы, таких звезд, как Солнце, можно обнаружить сколько угодно. Но в последнее время выяснилось, что очень непросто найти хотя бы несколько звезд, точно таких, как Солнце. Строго говоря, пока не обнаружено ни одного «двойника» Солнца. Неужели же не существует звезда-карлик желтого цвета (спектральный класс G2) с температурой фотосферы около 6 000 К? Очень похожа на Солнце, например, одна из звезд в созвездии Лебедя, входящая в состав двойной звезды, но она, по-видимому, старше

Солнца, прошла более длительный, чем Солнце, эволюционный путь. По другим причинам «двойниками» нельзя назвать и ряд других звезд, очень похожих на Солнце. Казалось бы, ничего особенного в этом нет, да и вообще проблема обнаружения «двойника» на первый взгляд не очень интересна. Но это только на первый взгляд, поскольку ученые справедливо задают себе вопрос: не связана ли уникальность жизни на Земле с уникальностью физических условий на Солнце?

§ 2. МНОГООБРАЗИЕ МИРА ЗВЕЗД

«Спокойные» и взрывающиеся звезды

Несмотря на разнообразные, порой весьма бурные проявления своей активности и возможные 160-минутные пульсации, наше Солнце по праву считается достаточно спокойной, стационарной звездой. Такие звезды находятся в устойчивом механическом и тепловом равновесии. Механическое равновесие обеспечивается равенством силы, стремящейся сжать звезду (сила тяготения), и силы, стремящейся разорвать ее (в основном газовое давление). Тепловое равновесие связано с тем, что звездные термоядерные реакторы являются саморегулирующимися. Представим себе, что по каким-то причинам в недрах звезды стало бы вырабатываться больше энергии. Тогда возросшее давление газа заставило бы звезду начать расширяться. Но расширение газового шара вызвало бы его охлаждение и понижение температуры в центре. Ядерные реакции весьма чувствительны к температуре. Поэтому понижение температуры «отключило» бы дополнительные источники

энергии. В результате установился бы прежний режим работы термоядерного реактора и звезда вновь обрела бы прежние размеры и былую устойчивость. Однако так хорошо «ведут» себя далеко не все звезды. Например, одни начинают вести себя совершенно иначе по мере взросления, и особенно на заключительных стадиях жизненного пути; другие обнаруживают диковинные особенности, живя не в одиночку, а в паре (это, как вы догадались, двойные звезды).

Мир звезд поражает своим разнообразием. Любуясь звездным небом, мы замечаем, что звезды отличаются друг от друга своим блеском и цветом. Бинобль или даже небольшой телескоп убеждают нас в том, что видимые невооруженным глазом звезды составляют лишь незначительную часть звезд нашей Галактики. Спектральные, фотометрические и другие методы исследования звезд раскрывают природу звезд — раскаленных плазменных шаров, имеющих различные



Одно из первых изображений фотосферы звезды Бетельгейзе. Это не просто сильно увеличенное черно-белое фотографическое изображение, полученное на 4-метровом рефлекторе обсерватории Китт-Пик (Аризона, США). Чтобы его создать, пришлось использовать и узкополосные фильтры, и электронно-оптический усилитель, и позволяющий выделять полезную информацию на фоне шумов особый интерференционный метод, и реконструирование изображения диска звезды с помощью компьютера. В результате получилось изображение, на котором самые крупные детали, достигающие трети диаметра диска, могут оказаться реальными «звездными пятнами» на фотосфере Бетельгейзе (репродукция с цветного изображения, выполненного в условных цветах).

размеры и светимости (от сверхгигантов до карликов), температуры фотосфер (от 2 000—3 000 К до десятков тысяч), массы (от десятых и даже сотых долей массы Солнца до масс, в десятки раз превышающих массу нашего светила), средние плотности, ускорения силы тяжести на поверхности, скорости вращения вокруг осей, магнетизм и т. д. Радионаблюдения привели к обнаружению самых крошечных и самых плотных звезд (нейтронных). Наблюдения в рентгеновском диапазоне стали основным источником данных о звездных коронах и звездной активности, которая во много раз превосходит солнечную активность. У таких звезд, вероятно, пятнами покрыта большая часть поверхности (а не тысячные ее доли, как у Солнца).

В астрофизике звезды давно пользуются репутацией эволюционирующих объектов. Но пожалуй,

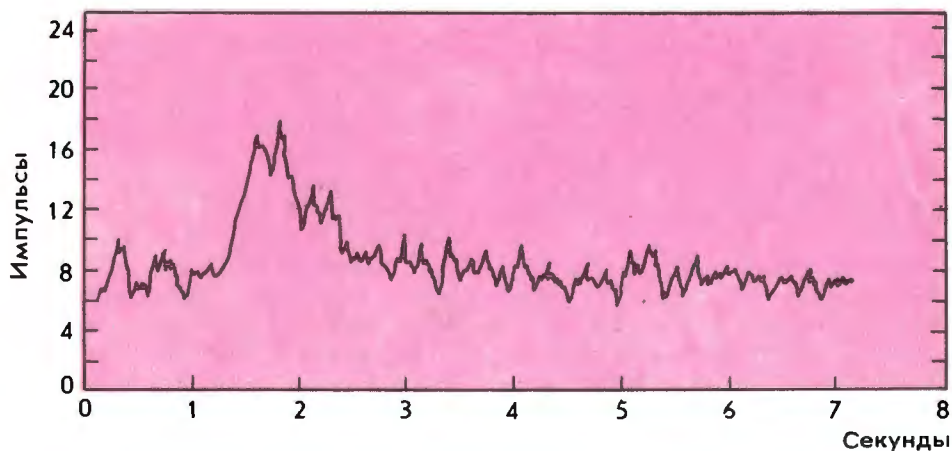
лишь в последние десятилетия были получены как предсказанные теорией эволюции звезд, так и совершенно неожиданные данные. Только в нашей Галактике обнаружены (радио- и инфракрасные наблюдения) тысячи молекулярных облаков, вероятно, входящих в состав газопылевых комплексов. Это места звездообразования—места, где рождаются звезды. Из плотных и холодных частей, на которые распадаются газовые облака, образуются быстросжимающиеся протозвезды. Пока это только будущие звезды: ведь лишь через миллионы лет внутри протозвезды начнет работать термоядерный реактор и она станет настоящей звездой. До этого протозвезда будет разогреваться при своем сжатии за счет превращения гравитационной энергии в тепловую. На разных стадиях своей эволюции такие объекты могут стать не только источниками инфракрасного излучения (а поиск подобных источников — одна из задач запуска «инфракрасных спутников»), но и источниками оптического излучения (по свойствам напоминающими, например объект FU Ориона — родоначальник объектов, названных «фуо-

рами»). Можно сказать, что мы вступаем в эпоху непосредственного наблюдения рождающихся и очень молодых (чрезвычайно активных и быстровращающихся) звезд, которым еще только предстоит стать обычными звездами.

Что же касается взрослых звезд, то у некоторых из них обнаружены такие ярко выраженные эволюционные признаки, как различные формы истечения вещества («звездный ветер», истекающие наружу хромосферы, «сдувание» горячих корон), вспышки блеска и т. д. Впрочем, эволюционные феномены, подобные вспыхивающим и взрывающимся звездам, заслуживают особого внимания. Но прежде напомним, что одиночные звезды могут изменять свой блеск по разным причинам. Например, звезды типа δ Цефея (цефеиды) — это пульсирующие шары, периодическое изменение блеска которых обусловлено реальным изменением радиуса (и площади фотосферы) звезды, ее температуры и, следовательно, светимости.

Вероятно, многие звезды проходят «цефеидную» стадию на определенном этапе своей эволюции. На многих звездах происходят и вспышки, подобные солнечным.

Сейчас это не только теоретический вывод: рентгеновские наблюдения доказывают, что, например, на ближайшей к нам звезде (Проксима Кентавра) солнечноподобные вспышки действительно происходят. А звезды типа UV Кита получили название вспыхивающих. Это звезды-карлики, на которых вспышки, похожие на солнечные, происходят почти ежечасно. У вспыхивающих звезд наблюдается увеличение блеска, когда всего за 1 с блеск возрастает в десятки и сотни раз и более медленно возвращается к исходному. Особенно мощные вспышки, в тысячи раз превосходящие солнечные, происходят на молодых звездах (таких звезд много, например, в рассеянных звездных скоплениях типа Плеяд). В последние 10—15 лет вспыхивающие звезды астрономы наблюдают в оптическом, радио- и



Кривая блеска, детально показывающая вспышку карликовой звезды UV Кита. Длительность вспышки менее 2 с. Исследование проводили астрономы Специальной астрофизической обсерватории АН СССР на 6-метровом телескопе-рефлекторе, используя современные фотометрические методы.

рентгеновском диапазоне. К числу интересных относится вывод о том, что вспыхивающие звезды — это не только молодые, но и очень старые звезды. Значительная часть вспыхивающих звезд входит в состав двойных систем, а потому, говоря о таких системах, мы еще кое-что скажем о возможной природе вспышек.

А теперь — об удивительных Сверхновых. Появление каждой такой «звезды-госты» всегда обращало на себя внимание современников, находило отражение в летописях и научных трактатах. Думали, что это рождается звезда, а на самом деле мы наблюдаем в нашей и других галактиках гигантские взрывы, которыми завершается финальная стадия звезд, масса которых до взрыва, как правило, превышала массу Солнца. У некоторых Сверхновых блеск за несколько суток возрастает почти на 17 звездных величин. Звезда несколько суток светит как 12 миллиардов Солнц, а всего вспышка продолжается несколько сотен суток. Несмотря на то что вспышки Сверхновых происходят редко (две последние вспышки в нашей Галактике Тихо Браге наблюдал в 1572 г., а Иоганн Кеплер — в 1604 г.) и современные астрономы наблюдают их лишь в других галактиках, удалось пополнить обширный материал о характере изменения блеска, об особенностях спектров Сверхновых и т. д.

Данные наблюдения положены в основу теорий, объясняющих феномен Сверхновых. Эти теории в настоящее время детально разрабатываются советскими и зарубежными астрофизиками и пока еще не считаются завершенными. Несомненно лишь то, что явление, которое сопровождается выделением порядка 10^{44} Дж энергии, представляет собой взрыв. Считается, что взрыв

может произойти только на поздней стадии эволюции звезды, когда уже неоднократно последовательно сменялось несколько этапов ядерного горения (сначала «выгорает» водород, потом — гелий, потом — углерод и т. д.) и синтезировались внутри звезды химические элементы вплоть до железа. Результат взрыва (в зависимости от массы звезды и ряда других причин) неоднозначен. Например, он может завершиться полным разлетом вещества (термоядерный взрыв). В другом варианте (стремительное сжатие ядра, его гравитационный коллапс и сброс внешних слоев звезды) после звезды остается расширяющаяся газовая оболочка (туманность) и компактный остаток (им может быть нейтронная звезда или даже черная дыра). Например, в результате взрыва Сверхновой, который произошел в нашей Галактике в 1054 г., образовались знаменитая Крабовидная туманность и находящийся в центре ее пульсар.

Важнейшая страница в исследование Сверхновых была вписана в 1987 г. В ночь с 23 на 24 февраля 1987 г. вспыхнула Сверхновая (получившая обозначение SN 1987 A, или SN 1987 A) хотя и не внутри нашей Галактики, но в одном из ее самых крупных спутников — Большом Магеллановом Облаке. По астрономическим меркам вспышка произошла «рядом», ибо расстояние, составляющее примерно 170 000 св. лет, в масштабах внегалактической астрономии не считается большим. Итак, почти 170 000 лет назад произошла катастрофа в звездном мире, о которой мы лишь сейчас узнали, потому что раньше просто узнать не могли. Вероятно, первыми обнаружили вспышку звезды в созвездии Золотой Рыбы астрономы, работавшие в Чили (обсерватория

Лас Кампанас) и по счастливой случайности производившие фотосъемку именно того участка неба, где вдруг появилась звезда $4,5^m$ (в марте блеск ее достиг 4^m , затем после кратковременного ослабления возрос в мае до 3^m , достигнув максимума).

С момента открытия SN 1987 A оказалась в центре внимания астрономов всего мира. Этот объект наблюдали на обсерваториях ряда стран и многие любители астрономии. В работу включились не только астрономические обсерватории, но и обсерватории «нейтринные» и даже «гравитационные». Кроме этого, долгожданную Сверхновую стали наблюдать с помощью находящегося на орбите международного спутника IUE, летавшей к тому времени четыре года советской космической обсерватории «Астрон» и научного модуля «Квант», пристыкованного к нашей замечательной станции «Мир». На различных астрофизических форумах (совещаниях, семинарах, международных конференциях: например, на проходившей в августе 1987 г. в Москве конференции по физике космических лучей) вспышка Сверхновой была одной из самых важных обсуждаемых проблем. Заметим, что в 1987 г. наблюдалось еще несколько вспышек Сверхновых в других галактиках, но они происходили значительно дальше от нас и оказались несравненно менее информативными.

Жители северного полушария Земли, к сожалению, не могли наблюдать сенсационную Сверхновую (в отличие от яркой Новой, вспыхнувшей в созвездии Лебедя в 1975 г.), которую сначала приняли за Сверхновую.

Но почему все-таки именно SN 1987 A стала сенсационной Сверх-

новой? Причин несколько: звезда, которую астрофизики наблюдали почти непосредственно перед вспышкой как голубой сверхгигант $12,4^m$, вспыхнула на небольшом расстоянии от нас; удалось не только проследить изменение блеска и спектра звезды (и получить данные о расширении оболочки звезды со скоростью более 15 000 км/с), но и зафиксировать радиоизлучение, выполнить внеатмосферные наблюдения в ультрафиолетовом диапазоне. Были предприняты очень большие усилия для осуществления наблюдений SN 1987 A из космоса в рентгеновском и гамма-диапазонах. Нейтринные детекторы в Италии, СССР, Японии и США зафиксировали вспышку (вспышки?) нейтринного излучения (возможность такого излучения была предсказана академиком Я. Б. Зельдовичем и его учениками еще в 60-х гг.). Наконец, не исключено, что с этой Сверхновой связана регистрация гравитационных волн (на установке итальянских ученых). Иными словами, вполне возможно, что наблюдения SN 1987 A открыли эру нейтринной и гравитационной астрономии!

Теоретики предполагают, что взорвалась звезда, масса которой в 10 раз больше массы Солнца, оставив после себя нейтронную звезду, по массе сравнимую с Солнцем (подробнее о природе нейтронных звезд рассказывается в следующем разделе этого параграфа). Но это лишь самый общий взгляд на удивительную Сверхновую, с которой, в частности, связаны проблемы отождествления точечных источников, оказавшихся вблизи места взрыва.

До этого времени астрофизики считали невозможной вспышку голубой звезды. Естественно, сразу же стали появляться новые гипотезы. Может быть, там, «у них», в Боль-

шом Магеллановом Облаке, звезды эволюционируют не совсем так, как в нашей Галактике? Или, может быть, пару тысяч лет тому назад наблюдаемый нами голубой сверхгигант был красным?

С помощью рентгеновских телескопов астрофизического модуля «Квант» было установлено, что «тя-

желые» химические элементы действительно образуются во взрывающихся звездах (к вопросу о том, как это происходит, мы еще вернемся). Астрофизики надеются, что их еще ждут многие важные открытия при наблюдении замечательной Сверхновой звезды SN 1987 А.

Радиопульсары и нейтронные звезды

Первый источник удивительного стабильного (строго повторяющегося) радиоизлучения (пульсар) был открыт в 1967 г. английскими радиоастрономами во главе с Э. Хьюишем. Открытие было столь неожиданным, а форма, строгая повторяемость и частота импульсов оказались столь непривычными, что первооткрыватели не сразу сообщили об обнаруженном ими феномене (ведь такие сигналы вполне могли принадлежать внеземным цивилизациям). Но когда было открыто несколько других пульсаров (а сейчас их известно уже несколько сотен), то стало ясно, что обнаружен новый тип космических объектов. Этими объектами, как вскоре выяснилось, оказались быстровращающиеся нейтронные звезды, магнитные поля которых превосходили общее магнитное поле Солнца в 10^{12} — 10^{13} раз.

Физики-теоретики (и в их числе академик Л. Д. Ландау) еще в 30-х гг. предсказывали существование нейтронных звезд. Однако никто не знал, что на определенной стадии своей эволюции нейтронные звезды способны излучать подобно маяку, посылая узкий пучок направленного излучения (причем не только радио-, но и в ряде случаев оптического, рентгеновского и гамма-излучений). Мы «видим» этот маяк и регистрируем его излучение, когда он ориентирован на Землю. Такая ситуация

повторяется с периодом, равным периоду вращения нейтронной звезды. Периоды эти очень малы: самый быстрый из открытых пульсаров (он обнаружен в созвездии Лисички) совершает 642 об/с (т. е. вращается почти в 20 раз быстрее, чем прежний «рекордсмен» — пульсар в Крабовидной туманности). Как и пульсар в Крабовидной туманности, пульсар в Лисичке обнаружен и в оптическом диапазоне.

Пульсары — это объекты, принадлежащие нашей Галактике (но первые пульсары найдены и за ее пределами — см. гл. I, § 3). Пульсары оказались чрезвычайно «полезными» объектами: благодаря им удалось приступить к непосредственному исследованию таких экзотических небесных тел, как нейтронные звезды; глубже понять природу Сверхновых и остающихся после них туманностей; исследовать разнообразные физические свойства межзвездной среды (плотность, магнитное поле и др.); уточнить скорость орбитального движения Земли и т. д. В 1974 г. Э. Хьюиш был удостоен за открытие пульсаров Нобелевской премии. Характерно, что формально премия была присуждена ему по разделу физики. Верно, что от открытия пульсаров физики выиграли ничуть не меньше астрономов: Вселенная, в которой существуют такие объекты, как нейт-

ронные звезды, поистине является замечательной «космической лабораторией» современной физики. Попробуйте вообразить себе крохотную звезду (радиус ее менее 15 км), масса которой близка к массе Солнца, а плотность в центре достигает плотности атомного ядра (т. е. в 10^{15} раз превышает плотность воды) и оставляет далеко позади огромные плотности, характерные для белых карликов. Но это еще не все. Как следует из названия, нейтронные звезды состоят в основном из нейтронов. И хотя это действительно звезды — самосветящиеся небесные тела с очень высокой поверхностной температурой порядка 10^6 К, — нейтронные звезды обладают... твердой корой, кристаллическая решетка которой состоит из железа с примесью некоторых других элементов. Под этой железной корой есть еще одна твердая кора, состоящая из нейтронов. Обе твердые оболочки простираются до глубины 4 км (от поверхности звезды), а под ними находится жидкое ядро. Жидкость, заключенная под твердой скорлупой нейтронной звезды, совершенно необычная по составу и свойствам (сверхтекучая нейтронная жидкость, сверхпроводящая протонная жидкость и т. д.).

Одна из таких звезд, по-видимому, и открыта в Крабовидной туманности. Крабовидная туманность находится от нас на расстоянии около 2 кпк. Так как ее видимая звездная величина 9^m , то, обладая хотя бы хорошим биноклем, ее можно найти в созвездии Тельца. Это действительно нужно сделать, чтобы своими глазами увидеть один из уникальных космических объектов. Но конечно, простейших визуальных наблюдений недостаточно для того, чтобы обнаружить види-

мые лишь на фотографиях, сделанные через специальные светофильтры, такие признаки активности туманности, как появление в ее центральной части светлых «жгутов». Только спектральные наблюдения показывают, что туманность и сейчас продолжает расширяться (со средней скоростью около 1 200 км/с), дают возможность определить химический состав волокон (водород, гелий, азот и др.), их температуру (17 000 К). Для всеволновой астрономии Крабовидная туманность представляет своеобразный «пробный камень», так как зарегистрировано излучение от «Краба» во всех диапазонах длин волн электромагнитных колебаний. Доказано, что по своей природе излучение туманности синхротронное, т. е. оно возникает при движении электронов различных энергий в магнитном поле туманности. Например, движение электронов с энергией порядка 10^{11} — 10^{12} эВ порождает оптическое излучение, а менее энергичные электроны (до 10^9 эВ) создают радиоизлучение. Электроны высоких энергий вызывают рентгеновское излучение. Таким образом, природа излучения «Краба» в основном нетепловая; она связана не с нагревом плазмы, а с движением электронов высоких энергий (релятивистских электронов) в магнитном поле. Синхротронное излучение впервые наблюдалось в синхротронах (ускорителях электронов) и представляет собой один из видов магнитотормозного излучения. Но откуда берутся релятивистские электроны, поддерживающие свечение Крабовидной туманности? Различные виды излучения пульсируются с одним и тем же периодом. Он равен примерно 0,033с и совпадает с периодом пульсара, т. е. с периодом нейтронной звезды, которая образовалась в ре-

зультате взрыва массивной Сверхновой, вспыхнувшей в 1054 г. Нейтронная звезда, расходуя кинетическую энергию своего вращения на ускорение электронов и излучение, тормозится (через 2 000 лет период пульсара в Крабовидной туманности станет в 2 раза больше, чем сегодня). Интересно, что данные наблюдений подтверждают как это медленное торможение, так и скачкообразные изменения периода вращения звезды (скорость вращения скач-

ком возрастает при «звездотрясениях» в твердой коре нейтронной звезды).

Открытие пульсара в Крабовидной туманности рассматривается как доказательство существования нейтронных звезд, возникающих в результате «взрыва внутрь» некоторых Сверхновых. Но поистине захватывающие перспективы откроются, когда будут обнаружены еще более компактные «звездные огарки» — черные дыры.

«Обычные» черные дыры

Мысль о том, что в природе могут существовать небесные тела, чье сильное тяготение не позволяет даже свету покинуть их поверхность, высказывалась еще в конце XVIII в. Об этом писали и английский астроном Джон Митчелл (1783), и знаменитый французский математик Пьер Симон Лаплас (1799), хотя термин «черная дыра» они не использовали. Смысл термина ясен: объекты, у которых параболическая (или вторая космическая) скорость превосходит скорость света c , невидимы для внешнего наблюдателя. Радиус таких невидимых миру звезд очень мал. Например, Солнце, чтобы стать черной дырой, должно было бы сжаться до размеров шара с радиусом 3 км. В общем случае радиус (его называют гравитационным и обозначают r_g) можно вычислить по формуле $r_g = \frac{2GM}{c^2}$, где G — гравитационная постоянная; M — масса тела; c — скорость света. Формально такое выражение получается из известной формулы для второй космической скорости (при $v=c$). Однако строгий вывод получается не из теории тяготения Ньютона, а из теории тяготения Эйнштейна, в которой

рассматриваются поля тяготения тел очень больших масс.

Один из возможных путей образования черных дыр как раз и связан с эволюцией массивных звезд, когда коллапс ядра вспыхнувшей Сверхновой не останавливается даже на стадии нейтронной звезды. По мнению многих астрономов, такие черные дыры (назовем их «обычными», поскольку черные дыры могут возникать и другими путями) вот-вот будут открыты. А пока советские и зарубежные теоретики подробно исследовали возможные свойства таких объектов. Эти свойства оказались очень необычными.

Дело в том, что тела, превращаясь в черные дыры, теряют свою индивидуальность. При сжатии невращающегося тела (его форма может даже отличаться от сферической) получится вполне симметричная черная дыра, которая сохранит от исходного тела лишь... массу и электрический заряд. Никакие другие первоначальные свойства, включая магнитные поля, не сохраняются (кроме гравитационного и электрического полей). Черная дыра, получившаяся в результате коллапса вращающегося тела, «помнит» и

об этом факте своей биографии, так как она сама оказывается вращающейся. Черные дыры могут втягивать в себя порции вещества и поглощать энергию, увеличивая свои массы. Придуманы мысленные эксперименты, показывающие, что при определенных условиях можно уменьшить массу черной дыры. Впрочем, масса черной дыры очень медленно уменьшается, потому что

черные дыры постепенно... испаряются. Некоторые наблюдаемые вспышки гамма-излучения могут быть известием о гибели образовавшихся остатков черных дыр.

Но пожалуй, самое главное — придумана стратегия поиска черных дыр, находящихся в расцвете своих сил. Она связана с исследованием компактных объектов, входящих в состав тесных двойных систем звезд.

Необыкновенные явления в «обыкновенных» двойных системах

Хорошо известно, что большинство звезд не одиночки, а члены двойных и кратных систем. Недавно предпринимались попытки доказать, что даже наше Солнце входит в состав двойной системы. На всякий случай гипотетическому спутнику Солнца дали название Немезида. Предполагают, что Немезида — это красный карлик, период обращения которого близок к 30 млн. лет, а большая полуось орбиты порядка 10^5 а. е. Дальнейшие исследования покажут, существует ли в действительности широкая звездная пара «Солнце — Немезида», а мы обратимся к обзору некоторых твердо установленных фактов звездной астрономии и астрофизики.

Из десятков тысяч открытых визуально-двойных звезд (компоненты этих звезд видны в телескопы или на получаемых с помощью телескопов фотографиях) только несколько десятков удалось использовать для определения масс звезд. Эту важнейшую физическую характеристику звезд определяют, как известно, из школьного курса астрономии по обобщенному Ньютоном третьему закону Кеплера. К сожалению, надежно определить элементы орбиты двойной звезды удается лишь для сравнительно немногих визуально-двойных звезд. Спект-

ральные наблюдения тесных двойных (спектрально-двойных) звезд дали возможность определить элементы свыше 1 000 звезд.

Однако интересы современной астрофизики выходят далеко за пределы исследования упомянутых и других типов двойных звезд с целью вычисления масс. Тесные и даже ультратесные двойные системы (периоды обращения некоторых из них измеряются минутами) — арена поистине диких и эволюционных процессов. Например, судя по наблюдениям в рентгеновском диапазоне, существуют звезды, орбитальное движение компонентов которых происходит за 12—18 мин, а расстояние между ними не превышает десятых долей радиуса Солнца. В таких системах возможны перетекание вещества с одной звезды на другую, различный темп эволюции компонентов (из-за резкого различия масс), всплески рентгеновского излучения и т. д. К числу возможных, но пока не наблюдавшихся удивительных эффектов нужно отнести и излучение гравитационных волн. Такие волны предсказаны теорией тяготения Эйнштейна, но и до сих пор, скорее всего, не обнаружены, хотя и были сообщения о регистрации гравитационных волн от СН 1987 А. Тесные двойные звезды

могут оказаться одним из источников переменного гравитационного поля, распространяющегося со скоростью света, т. е. гравитационных волн.

Рассмотрим несколько феноменов, которые сейчас принято связывать с физическими процессами в тесных двойных системах.

Рентгеновские пульсары

Рентгеновские пульсары — один из видов рентгеновских источников излучения, отличающихся периодической повторяемостью всплесков излучения. Таких объектов открыто не сотни, как радиопулсаров, а не более нескольких десятков. Но это очень интересные объекты. Как и радиопулсары, они представляют собой быстровращающиеся нейтронные звезды с сильным магнитным полем. В отличие от радиопулсаров они входят в состав тесных двойных систем, а их излучение вызвано определенным режимом падения (аккреция) вещества с обычной звезды на нейтронную. Магнитное поле нейтронной звезды сосредоточивает вблизи магнитных полюсов значительную часть упавшей плазмы. Разогретая до высокой температуры плазма излучает в рентгеновском диапазоне, а прерывистость наблюдаемого излучения обусловлена вращением нейтронной звезды.

Открытие и исследование рентгеновских пульсаров проводится с начала 70-х гг. Одним из первых был обнаружен Геркулес X-1, имеющий несколько периодов повторяемости импульсов. Самый короткий

(1,24 с) объясняется вращением нейтронной звезды вокруг оси. Через каждые 1,7 сут импульсы исчезают на 6 ч. Это затменный эффект (вспомните, например, затменные переменные звезды типа Алголя). Очевидно, Геркулес X-1 на 6 ч скрывается за обычной звездой (HZ Геркулеса), а 1,7 сут — период обращения нейтронной звезды вокруг обычной. Масса нейтронной звезды примерно такая же, как масса Солнца, а масса обычной звезды в 2 раза больше. Впрочем, обычная звезда тоже оказалась переменной: ее оптический блеск меняется также с периодом 1,7 сут. Советские астрофизики Р. А. Сюняев, А. М. Черепашук и В. М. Лютый объяснили это тем, что фотосфера звезды периодически становится ярче за счет подогрева рентгеновским источником. Но это еще не все, потому что Геркулес X-1 замечателен рядом своих индивидуальных особенностей (обнаружено монотонное уменьшение периода пульсаций; из каждых 35 сут источник наблюдается только 11 сут; временами источник практически выключается, а потом снова принимается за работу).

Барстеры

Это вспыхивающие рентгеновские источники, впервые открытые в середине 70-х гг. У самых быстрых из них регистрировались промежутки между вспышками длительностью всего лишь в несколько десятков секунд. За первые 15 лет наблюде-

ний было открыто примерно 50 барстеров, причем некоторые из них оказались внутри шаровых звездных скоплений. По мнению теоретиков, вспышки барстеров вызваны термоядерными взрывами на поверхности нейтронных звезд. Такие

взрывы могут происходить в результате накопления плазмы, истекающей из обычной звезды на нейтронную. Расчеты показывают, что в некоторых тесных двойных системах

периодически на поверхности нейтронных звезд накапливается необходимое количество вещества (гелия) и возникают условия для его взрывного возгорания.

Новые звезды

В отличие от экзотических источников рентгеновского излучения Новые известны давно и по своей эффективности (блеск звезды может внезапно увеличиться в миллионы раз) они уступают лишь Сверхновым. Новые обнаружены не только в нашей Галактике, но и в Магеллановых Облаках и в галактике Андромеды. У типичных Новых блеск возрастает за несколько суток, а спадает годами. Блеск быстрых Новых ослабевает за несколько недель. После вспышки наблюдается расширяющаяся оболочка, оторвавшаяся от звезды. Характер феномена Новых однозначно свидетельствует о том, что мы наблюдаем некоторое взрывное явление, иногда повторяющееся (повторные Новые). Однако взрывной процесс в данном случае резко отличается от наблюдаемого в Сверхновых и по природе имеет некоторое сходство с тем,

что происходит в барстерах. Дело в том, что Новые, как и барстеры, входят в состав тесных двойных систем. Но в случае Новых компактный объект представляет собой не нейтронную звезду, а белый карлик. Оказывается, и на поверхности белого карлика при определенном темпе аккреции и химическом составе падающего вещества (водород, гелий) созревают условия для термоядерного взрыва и сброса оболочки в окружающее пространство. Заметим, что происходит именно сброс оболочки, которая затем расширяется со скоростью 1 500—2 000 км/с, а не ее более спокойное отделение, как это имеет место при эволюции одиночных красных гигантов (в этом случае возникают планетарные туманности, которые сравнительно медленно расширяются и через тысячи лет становятся совсем невидимыми).

Тайна Геминги

В середине 70-х гг. внимание астрофизиков привлек источник гамма-излучения, пульсирующий с периодом около 1 мин.

Основная часть излучения этого источника принадлежит гамма-диапазону, хотя впоследствии было обнаружено его излучение в рентгеновской, оптической и радиообластях. Объект находится от нас на расстоянии 100 пк и принадлежит созвездию Близнецов. От названия этого созвездия («Gemini») и от основного вида излучения («Gam-

ma») происходит название объекта — Геминга. По оценкам астрофизиков, Геминга должна излучать огромный поток гравитационных волн, в десятки — сотни миллионов раз превосходящий ожидаемое на Земле гравитационное излучение от других объектов. Поэтому советский астрофизик Г. С. Бисноватый-Коган остроумно предложил называть объект Гемингрой, а не Гемингой. Едва ли можно сомневаться в том, что Геминга — тесная пара двух небесных тел. Вопрос

лишь в том, какова их природа. Заметное возрастание периода пульсаций (0,2 с за два года) и некоторые другие необычные свойства Геминги заставили теоретиков отвергнуть идею о том, что Геминга — одиночный объект. Были отвергнуты и другие стандартные модели тесных двойных с одним (или даже двумя) компактным объектом. Поиск подходящей модели привел к гипотезе о том, что мы встречаемся здесь с системой, состоящей из белого карлика и... черной дыры, а излучение возникает при перетекании вещества от первого объекта (его масса оценивается примерно вдвое меньше массы Солнца) ко второму (его масса примерно в 4,5 раза больше массы Солнца). Такая система должна была пройти

до современного состояния длительный путь эволюции, соизмеримый с возрастом Галактики (примерно 10 млрд. лет). Но не всегда в этой системе работал источник гамма-излучения, который мог возникнуть в ней всего лишь 100—150 лет назад и находится сейчас в самом начале своего жизненного пути. Что же касается самого механизма излучения, то, по мнению Г. С. Бисноватого-Когана, гамма-излучение возникает при ускорении частиц в магнитном поле толстого плазменного диска, окружающего черную дыру. Мы видим, что в данной модели черная дыра фигурирует в качестве совершенно реального объекта. Но ведь черные дыры пока не обнаружены. Видимо, пора рассказать о стратегии их поиска.

Черные дыры в двойных системах

Разумеется, совершенно независимо от объектов типа Геминги (хотя Геминга и не единственный из известных источников гамма-излучения) должна рассматриваться возможность того, что компактный объект в двойной системе может оказаться не белым карликом и даже не нейтронной звездой, а черной дырой. Это один из вероятных путей эволюции звезд, входящих в двойную систему. Для поиска черных дыр такой путь может оказаться самым многообещающим. Работы академика Я. Б. Зельдовича и его учеников О. Х. Гусейнова и И. Д. Новикова, начатые еще в середине 60-х гг., привели к выводу о том, что гравитационное воздействие невидимой черной дыры может быть выявлено по движению ее оптической соседки. А в том, что мы имеем дело именно с черной дырой, а не с белым карликом или нейтронной звездой, нам позволит убе-

диться масса компактного объекта (если масса в несколько раз больше массы Солнца, то это заведомо черная дыра). Сигналом, призывающим к вниманию, должно послужить, конечно, рентгеновское излучение, которое, как мы знаем, возникает в тесных двойных системах при аккреции вещества на компактный объект. Известный советский астрофизик И. С. Шкловский (1916—1985) еще в 1967 г. нарисовал совершенно правильную картину физических процессов, происходящих в рентгеновском источнике Скорпиона X-1 (доказано, что там происходит аккреция вещества на нейтронную звезду). Вокруг черных дыр образуются аккреционные диски (вещество не просто падает в черную дыру, а закручивается вокруг нее, разогревается до 10^7 К и становится источником беспорядочного рентгеновского излучения).

Одним из первых «кандидатов»

в черные дыры считается рентгеновский источник Лебедь X-1. Анализ данных наблюдений показывает, что это двойная система, в которой с периодом 5,6 сут обращаются вокруг общего центра масс два небесных тела — нормальная звезда (в 20 раз массивнее Солнца) и компактный объект (с массой почти в 10 раз больше массы Солнца). Итак, есть рентгеновский источник, есть данные о том, что это действительно двой-

ная система, есть обнадеживающие оценки масс компонентов. И все-таки астрофизики не торопятся объявлять, что первая черная дыра открыта: ведь, может быть, это что-нибудь другое (например, одно время не исключалось, что Лебедь X-1 не двойная, а тройная звездная система). Кроме Лебедя X-1, существуют и другие «кандидаты» в черные дыры. Думается, что в ближайшее время картина прояснится.

Источник SS 433

К числу сенсационных открытий, сделанных в 70-х гг., относится «радиозвезда» SS 433. Это один из 455 объектов, которые вошли в каталог американских астрономов Ц. Стефенсона и Н. Сандулака. Объект расположен в созвездии Орла и в оптическом диапазоне похож на звездочку 14-й звездной величины. Впервые SS 433 привлек к себе особое внимание в 1978 г., когда английские радиоастрономы отождествили его с компактным переменным радиоисточником. Но хотя источник этот наблюдался вблизи туманности, оставшейся после вспышки Сверхновой, он не был пульсаром. В 1979 г. стали известными удивительные спектральные особенности SS 433. Линии излучения водорода и нейтрального гелия в спектре SS 433 расщеплены — каждая из них имеет по два «спутника», которые, во-первых, расположены симметрично относительно основной линии и, во-вторых, периодически смещаются навстречу друг другу (примерно через 164 сут восстанавливается картина их взаимного расположения). Очень скоро ученые заключили, что смещение линий свидетельствует о каких-то реальных движениях излучающего вещества, причем часть вещества уда-

ляется от нас, часть приближается к нам, часть остается на одном и том же месте. Если к этому добавить, что скорость движения составляет около 80 000 км/с, то можно понять, почему дискуссии о природе SS 433 вызвали огромный интерес у астрономов.

Что это за объект? Принадлежит ли он нашей Галактике? Звезда это (или звездная система) или ядро не очень далекой другой галактики, которые просвечивают сквозь одну из галактических туманностей? Таков список основных вопросов, но немаловажно также установить реальность и выяснить причину колебаний блеска SS 433 в оптическом диапазоне, оценить размеры источника, его светимость и т. д. В наблюдения и их анализ включились многие советские и зарубежные обсерватории. Пригодились коллекции фотопластинок, которые длительное время накапливались в Гарвардской обсерватории, Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга, Зоннебергской и других обсерваториях. В разных диапазонах длин волн ученые наблюдали SS 433 на радиоастрономических обсерваториях. Ценную информацию удалось, в частности, получить Ю. Н. Парий-

скому и его коллегам, работающим на РАТАНе-600.

Не останавливаясь на многочисленных гипотезах о природе SS 433, кратко расскажем об одной из них. Ее предложил директор Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга А. М. Черепашук. Представим себе затменную переменную звезду (период обращения компонентов 13,09 сут), находящуюся от нас на расстоянии 5 кпк и состоящую из обычной звезды и компактного объекта. Оба компонента имеют большие массы (возможно, 10 солнечных масс — масса обычной звезды и 60 солнечных масс — масса компактного объекта, которым в этом случае может оказаться черная дыра). В такой системе возможен сверхкритический режим аккреции, при котором часть падающего вещества отбрасывается давлением излучения (вещество, следовательно, не только падает к компактному объекту, но и устремляется от него). Объект SS 433 должен иметь необычный аккреционный диск, из которого в обе стороны (в направлении, перпендикулярном плоскости диска) вырываются две плазменные струи.

Одним из последствий взрыва Сверхновой, породившей компактный объект, могло стать особое (прецессионное) движение диска. При таком движении ось диска, перпендикулярная его плоскости и проходящая через центр, описывает в пространстве за 164 дня некоторый конус. В этом прецессионном движении участвуют, конечно, и газовые струи, вырывающиеся из диска. На расстоянии 60 пк (в обе стороны от диска) обнаружены в оптическом, радио- и рентгеновском диапазонах слабые тонковолокнистые туманности, которые возникли под воздействием узконаправленных выбросов высокоэнергичных частиц с межзвездным газом. Эти и некоторые другие наблюдения рассматриваются в качестве подтверждения гипотезы об устройстве и работе SS 433.

Разработка гипотезы продолжается. Но уже сейчас совершенно ясно, что SS 433 не только удивительный, но и весьма поучительный объект, потому что узконаправленные выбросы частиц плазмы наблюдаются и в значительно больших масштабах — в ядрах активных галактик и квазаров.

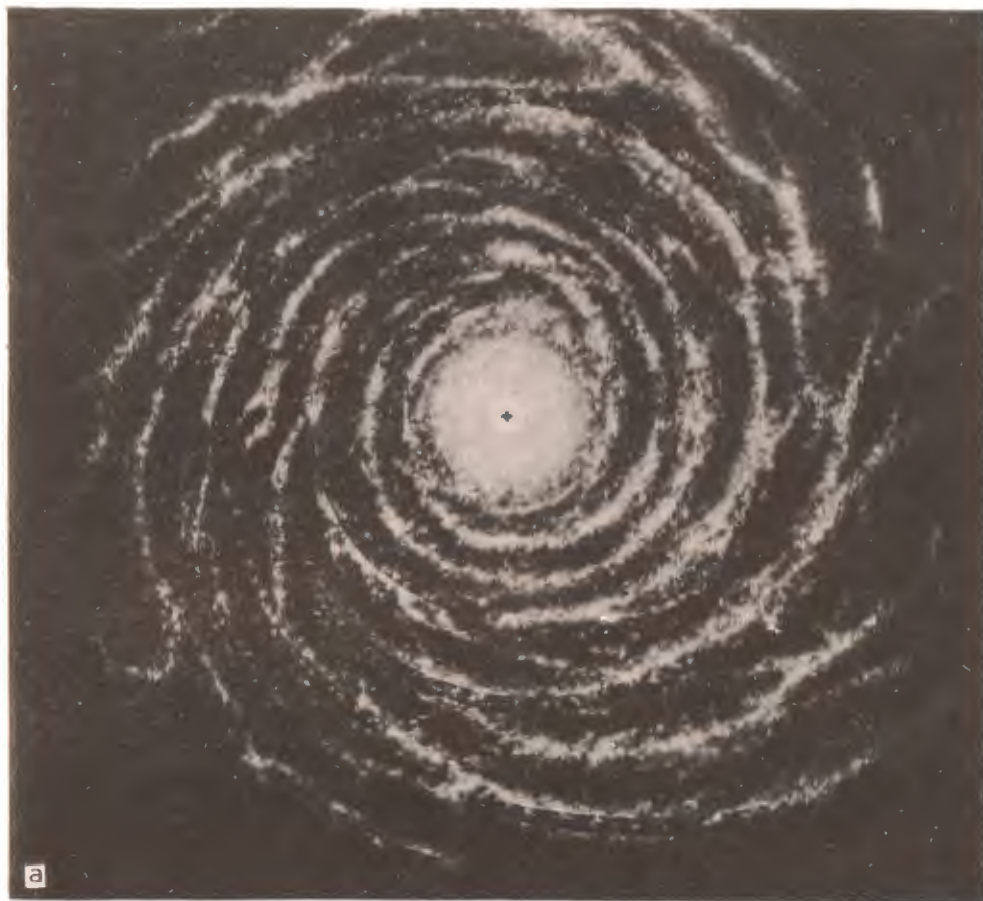
§ 4. АКТИВНОСТЬ НАШЕЙ ГАЛАКТИКИ

Все нестационарные и взрывные процессы, о которых мы рассказали, происходят на разных стадиях эволюции небесных тел. Но небесные тела (звезды, планеты, кометы) образуют системы разной сложности (например, Солнечная система, двойные и кратные звезды, звездные скопления), которые в свою очередь входят в состав основных структурных единиц Вселенной — галактик. Одна из галактик — наша Галактика (Млечный Путь). Из-

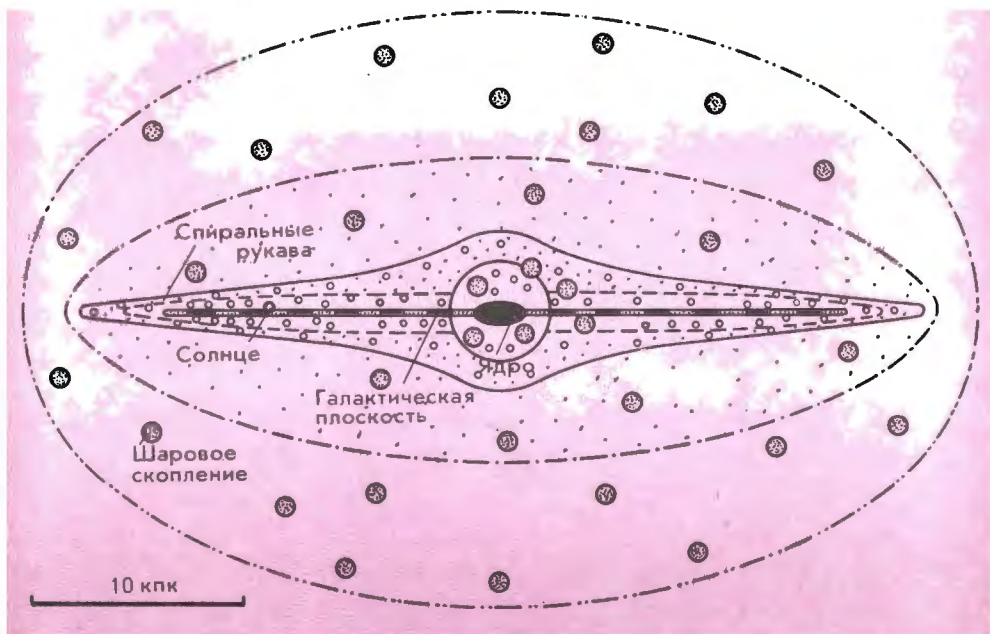
вестно, что эта гигантская спиральная система может быть отнесена к числу довольно спокойных, несмотря на непрерывно происходящие в ней грандиозные процессы рождения и гибели звезд. Эволюционные процессы охватывают не только отдельные небесные тела, входящие в состав Галактики, но и Галактику в целом. Например, происходит химическая эволюция Галактики, в ходе которой изменяется ее химический состав (он по-

степенно обогащается элементами, более тяжелыми, чем водород и гелий). С эволюцией звезд и газа связана также эволюция Галактики как системы, обладающей сложной

структурой и движением (динамикой) входящих в нее объектов. Напомним, что Галактика имеет сложное строение. Входящие в нее объекты образуют подсистемы.



Предполагаемый вид Галактики:
а — планшмя (сверху); б — сбоку.



Схема, поясняющая общее строение Галактики.

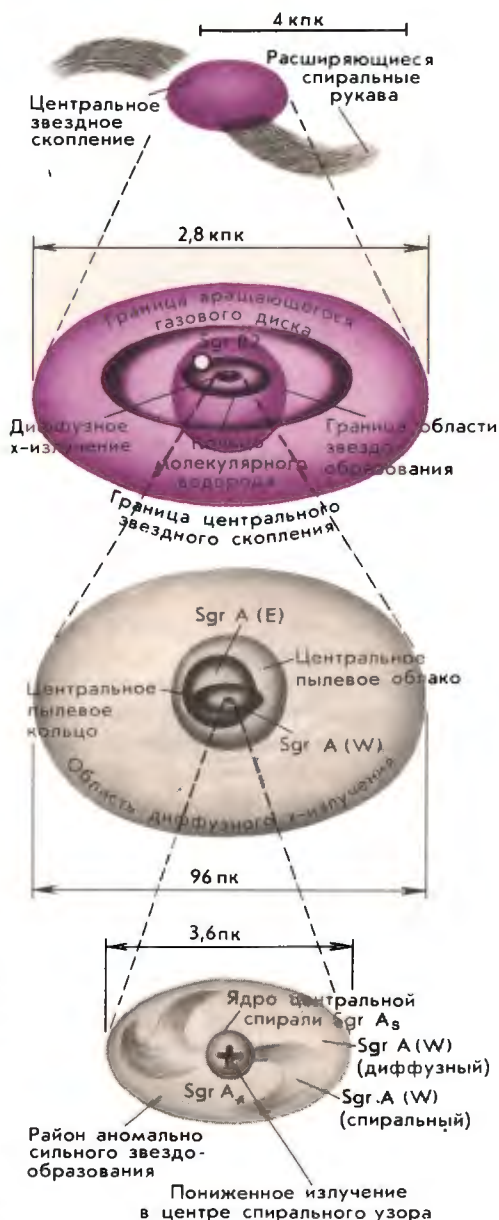
Главные из них — сферическая, включающая, например, шаровые звездные скопления, и плоская (рассеянные звездные скопления, горячие звезды, цефеиды, газ). От центральной области Галактики отходят спиральные рукава, в которых сосредоточены наиболее яркие звезды и газ. К галактической плоскости (к «диску» Галактики) прижимаются гигантские молекулярные облака (ГМО) — важный класс объектов, с которым связано рождение звезд и звездных скоплений.

Своеобразен характер вращения Галактики: с увеличением расстояния от центра (где сосредоточена сравнительно небольшая часть из 1 000 млрд. звезд Галактики) изменяется и угловая, и линейная скорости вращения Галактики (угловая скорость убывает, а линейная сначала возрастает, а затем,

достигнув максимума, начинает убывать). Как раз в той области Галактики, где линейная скорость звезд максимальна, и находится Солнце, которое мчится вокруг центра Галактики со скоростью 250 км/с. Ясно, что такой режим вращения установился лишь на определенной, нынешней стадии эволюции Галактики. В прошлом Галактика представляла собой медленно вращающийся газовый сгусток, где только начиналось формирование таких старейших обитателей Галактики, как шаровые звездные скопления, наиболее крупные из которых дожили до наших дней. Говоря о составе Галактики, не следует забывать, что она, кроме звезд и их спутников, газа и пыли, содержит различного рода поля (гравитационные, магнитные) и космические лучи. Космические лучи — это

электроны, протоны и ядра некоторых более тяжелых химических элементов, движущиеся с релятивистскими скоростями и обладающие большой кинетической энергией. Эти частицы, порожденные взрывными процессами в Галактике, играют важную роль в происходящих в ней эволюционных процессах. В последние десятилетия астрофизика космических лучей стала одной из основных областей астрофизики высоких энергий. Значителен вклад советских физиков и астрофизиков (академик В. Л. Гинзбург и др.) в становление и развитие астрофизики космических лучей. Теперь уже ясно, что в пределах Галактики плотность энергии космических лучей сравнима, например, с плотностью энергии излучения всех звезд, т. е. не считаться с космическими лучами просто нельзя! Исследования в диапазоне радиоволн, гамма- и рентгеновского излучений свидетельствуют в пользу того, что по крайней мере большинство космических лучей

образуется в нашей Галактике в результате активных процессов на звездах типа нашего Солнца, при звездных вспышках, взрывах Сверхновых, а также в результате актив-



Сложная структура центра Галактики. На схеме, заимствованной из журнала «Земля и Вселенная» (1984, № 5), изображено центральное звездное скопление (масса порядка 10^{10} масс Солнца):

два газовых рукава (простираются на расстояние до 3—4,5 кпк, участвуют во вращении Галактики и удаляются от ее центра); крупнейший компактный объект (Сгг В2—Стрелец В2, расстояние от центра 120 пк, масса порядка $3 \cdot 10^6$ масс Солнца, диаметр около 30 пк, состоит из молодых звезд, газа и пыли); граница газового диска (расстояние 700 пк от центра, масса порядка 10^8 масс Солнца, состоит в основном из молекулярного водорода); центральное пылевое облако (оно содержит оболочку Сверхновой, обозначено Сгг А (Е)); район очень интенсивного звездообразования — Сгг А (W); центральная спиральная туманность; Сгг А (W), содержащая ядро Сгг Аs, внутри которого расположен сверхкомпактный активный радионисточник Сгг А*. Есть основания предполагать, что в районе центра Галактики существует сверхмассивная черная дыра (или даже двойная черная дыра).

ных процессов в центре Галактики.

Центр Галактики по праву относится к одной из самых загадочных из близких к нам областей Вселенной. Всеволновая астрономия позволила проникнуть сквозь плотные и непрозрачные для лучей света пылевые облака, скрывающие от нас то, что находится в центре Галактики. Сейчас мало кто сомневается, что в центре Галактики «работает» мощный источник энерговыделения. Там открыты источники радио-, инфракрасного, рентгеновского и гамма-излучений (общая мощность излучения ядра Галактики порядка 10^{34} Вт).

В ядре Галактики обнаружено не только звездное скопление, но и уникальные компактные массивные объекты, газовые диски и кольца из молекулярного водорода, области необыкновенно интенсивного звездообразования и т. д. По мнению советских астрофизиков (Н. С. Кардашев, И. Д. Новиков и др.),

в центре Галактики, возможно, находится одна или даже две сверхмассивные черные дыры (масса каждой из них в миллион раз превосходит массу Солнца). Такие дыры могут образовываться в центральных областях галактик (не только нашей). Если они возникли раньше, чем сами галактики, то они играют роль «центров конденсации» вещества, из которого образуется галактика. Если же они возникли в ходе эволюции какой-нибудь галактики, то они состоят из вещества, постепенно скопившегося в центре галактики. Основным источником энерговыделения таких черных дыр связан с их вращением. Излучение в виде волн и потоков космических лучей будет возникать, когда падающий на черную дыру газ начнет тормозить ее вращение. А падающий газ, возможно, представляет собой остаток звезд, разорванных в полях тяготения сверхмассивных черных дыр...

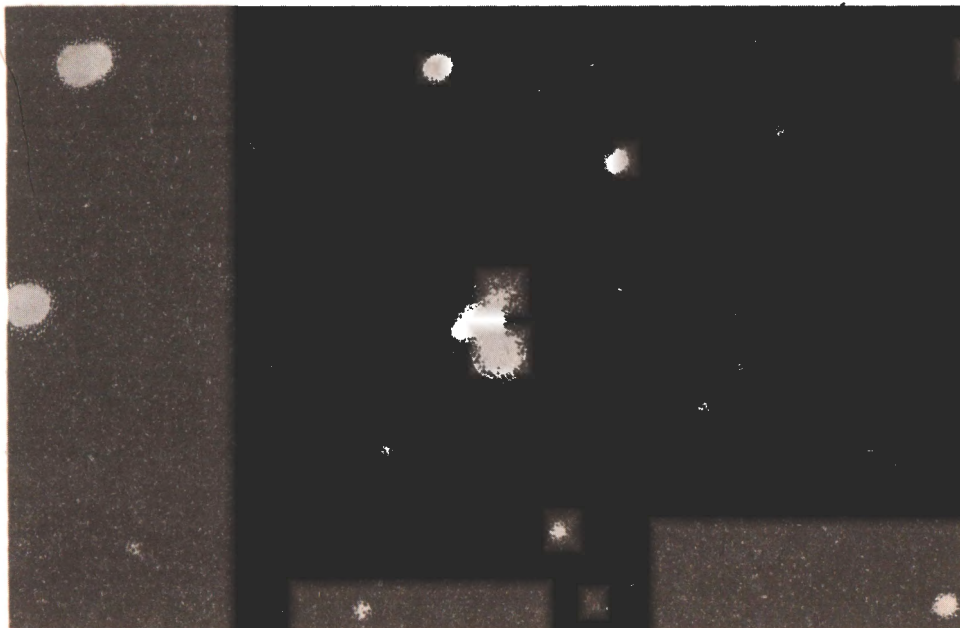
§ 5. ГАЛАКТИКИ, НЕПОХОЖИЕ НА НАШУ

В 1968 г. на XIV съезде Международного астрономического союза известный американский астрофизик А. Сендидж сказал: «Никто из астрономов не стал бы сегодня отрицать, что тайна и в самом деле окружает ядра галактик, и первым, кто осознал, какая богатая награда содержится в этой сокровищнице, был Виктор Амбарцумян». Виктор Амазаспович Амбарцумян открыл принципиально новое грандиозное космическое явление — активность ядер галактик — и ввел в науку это новое фундаментальное понятие.

Активность ядер галактики действительно удивительное и загадочное явление, сопровождающееся истечением газа, выбросами газовых сгустков и струй, взрывами и

нетепловым излучением, особенно интенсивным звездообразованием. Академик В. А. Амбарцумян четыре десятилетия назад создал в Армении ныне известную во всем мире Бюраканскую астрофизическую обсерваторию, прославившуюся своими исследованиями активности ядер галактик.

Все галактики, включая нашу, излучают в радиодиапазоне, но активные галактики представляют собой, как правило, особенно мощные источники радиоизлучения. В начале 50-х гг. несколько таких источников было обнаружено и отождествлено с галактиками, получившими название радиогалактик. Из множества открытых радиогалактик наиболее подробно изучены



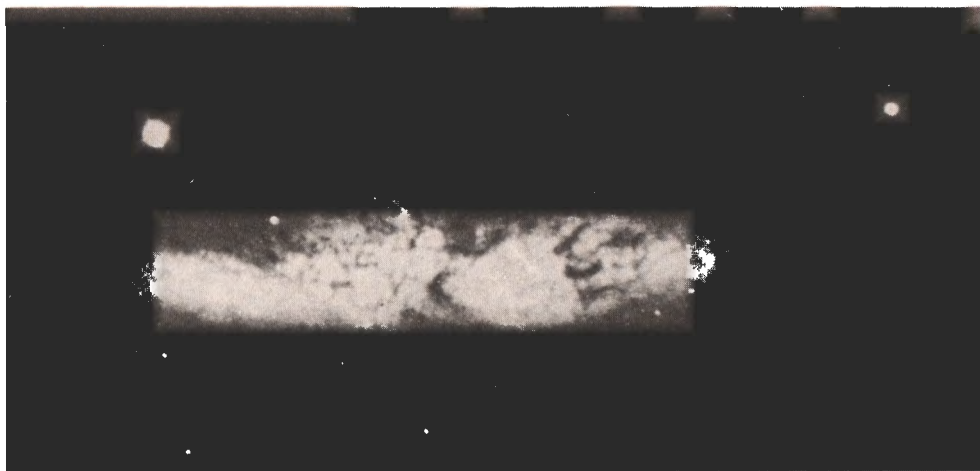
Лебедь А.

Лебедь А, Кентавр А (или Центавр А) и Дева А. Оптическое изображение радиогалактики Лебедь А как бы раздвоено. Это дало повод к обсуждению двух противоположных гипотез. Согласно одной, на расстоянии 200 Мпк от нас происходит гигантская космическая катастрофа — столкновение двух галактик. Согласно другой, мы наблюдаем взрыв в ядре галактики и ее разделение на две части. 30—40 лет назад первая гипотеза отвергалась на том основании, что столкновение галактик считалось явлением едва ли возможным и уж, во всяком случае, крайне редким. Сейчас, как мы увидим дальше, отношение к возможности столкновения галактик изменилось. Конечно, пока еще трудно утверждать, что именно эта радиогалактика — результат столкновения. Возможность взрыва в ядре не менее вероятна. Из наблю-

дений следует, что расстояние между «частями» радиоисточника около 80 кпк, а разлетаются они со скоростью, достигающей, по-видимому, нескольких десятков тысяч километров в секунду. Мощность радиоизлучения порядка 10^{37} Вт.

Самая близкая к нам радиогалактика находится в созвездии Кентавра (Центавра). Расстояние до Кентавра А в 50 раз меньше, чем до Лебеда А. На фотографии отчетливо виден газово-пылевой комплекс, который как бы раздваивает галактику. Здесь, как и в Лебеде А, обнаружена двойственность источника радиоизлучения. И так же как в Лебеде А, имеется компактный радиоисточник в центре галактики. Радиосветимость Кентавра А примерно в 100 раз меньше, чем Лебеда А.

Радиогалактика Дева А в оптических каталогах имеет обычные



Галактика М 82 (созвездие Большая Медведица), которую долгое время называли «взрывающейся галактикой». Потом выяснилось, что мы наблюдаем не взрыв в ядре галактики, а мощное расширение газовой-пылевой облаков, вызванное интенсивным образованием звезд в центре этой галактики. М 82 входит в одну из близких к нам групп галактик и удалена от нас примерно на 3,2 Мпк.

для галактик обозначения М 87 или NGC 4486. Эта галактика находится от нас на расстоянии около 15 Мпк и содержит два компактных радиоисточника по обе стороны от центра галактики. Ее характерная особенность — протяженный выброс (общая длина до 1,5 кпк), состоящий из нескольких сгустков вещества. Создается впечатление, будто перед нами совершенно очевидное последствие гигантского взрыва в ядре этой галактики. Впрочем, доверять «очевидности» следует весьма осторожно. Поучительный пример — галактика М 82 (в созвездии Большой Медведицы), которая долгое время так и называлась «взрывающаяся галактика» (уж очень необычен ее вид и ряд наблюдаемых особенностей), но потом выяснилось, что все это — следствие происходящей в М 82 «вспышки звездообразования».

Этот процесс, по всей вероятности, начался в М 82 несколько

миллионов лет назад. Мы сейчас наблюдаем в М 82 частые вспышки Сверхновых звезд (один раз в несколько лет), причем диаметры остатков Сверхновых (по данным канадского астронома Ф. Кронберга) очень велики (несколько световых лет).

Активность ядер галактики и природа этой активности до сих пор остаются предметом напряженного исследования. В последние годы делаются попытки связать активность галактик с их взаимодействием при близких пролетах или даже при столкновениях. На протяжении многих лет известный советский астроном Б. А. Воронцов-Вельяминов изучал взаимодействующие галактики. Это чаще всего близко расположенные двойные галактики, соединенные перемычками, мостами и нередко имеющие весьма причудливый вид. Скорее всего, наблюдаемые формы взаимодейст-

вующих галактик связаны с их гравитационным взаимодействием и являются следствием приливных эффектов.

Напомним, что приливные явления очень распространены во Вселенной. Это, конечно, не только хорошо известные многим лунно-солнечные приливы в океанах (а также в твердой оболочке и атмосфере) Земли. Приливное трение замедляет вращение Земли и Луны и также изменяет расстояние между этими небесными телами (в прошлом Луна была гораздо ближе к Земле и меньшими были периоды вращения обоих небесных тел вокруг осей). Приливные эффекты проявляются не только в движении небесных тел, входящих в Солнечную систему. Они очень ощутимы в системах тесных двойных звезд (например, звезды из шаров превращаются в эллипсоиды). Так вот, взаимодействующие галактики —

пример особенно впечатляющих приливных явлений. В нашей стране и за рубежом на современных ЭВМ успешно моделируют гравитационные взаимодействия галактик, получая различные варианты «взаимодействующих галактик». Вполне возможно, что при таких взаимодействиях галактики способны «активизироваться», т. е. в них могут начаться многие из тех процессов, которые характерны для активных галактик.

В настоящее время исследуется слияние галактик, когда, например, галактики как бы «поглощают» друг друга. Считается, что вопреки прежним представлениям случаи такого «каннибализма» в мире галактик могут быть довольно частыми или даже очень частыми. Если это так, то открываются новые увлекательные перспективы детального изучения таких межгалактических катастроф.

§ 6. КВАЗАРЫ

Начало изучения квазизвездных источников радиоизлучения (сокращенно квазаров) относится к 1960 г. Исследовались наиболее мощные радиисточники, включенные в 3-й Кембриджский каталог (ЗС), — ЗС 273 (отождествленный со звездой 13-й звездной величины в созвездии Девы) и ЗС 48 (отождествленный со звездой 16-й звездной величины в созвездии Треугольника). Эти «звезды» имели спектр, резко отличающий их от всех других звезд. Первое время загадочными казались эмиссионные линии в спектрах этих объектов, поскольку отождествить эти линии с линиями известных химических элементов не удавалось. Если бы такая ситуация возникла несколько десятилетий назад, то, вероятно, немедленно появ-

вилась бы гипотеза «квазария» — гипотетического химического элемента, из которого якобы состоят в основном эти необычные небесные объекты. В наше время ничего подобного не произошло. Работавший в США молодой голландский астрофизик М. Шмидт выяснил, что линии в спектрах странных источников неузнаваемы лишь потому, что они сильно смещены в красную область спектра, а на самом деле это линии хорошо известных химических элементов (прежде всего водорода). Причина смещения спектральных линий квазаров была предметом больших научных дискуссий, в итоге которых подавляющее большинство астрофизиков пришли к выводу, что красное смещение спектральных линий связано с об-

шим расширением Метагалактики (см. гл. I, § 9). К другим особенностям спектров квазаров относится явный избыток (по сравнению с обычными звездами) инфракрасного и ультрафиолетового излучений. Квазары обнаруживают переменность (в оптическом и радиодиапазонах) с характерными временами — от нескольких дней до года. Поляризация излучения квазаров и характер распределения энергии в непрерывном спектре свидетельствуют о синхротронной природе основной части излучения этих объектов. У некоторых квазаров обнаружено рентгеновское излучение.

Энергия излучения квазаров порядка 10^{40} — 10^{41} Дж (это в 10^3 — 10^4 раз больше энергии суммарного излучения звезд любой галактики, а размеры излучающей области квазаров не должны превышать одного светового года, что следует из анализа наблюдаемой переменности блеска квазаров). Это наиболее далекие из доступных наблюдениям объекты Вселенной (расстояния до некоторых квазаров превышают 10 млрд. св. лет). В настоящее время открыты сотни квазаров.

Особое внимание астрофизиков и физиков привлекли кратные (двойные, тройные) квазары: двойной квазар в созвездии Большой Медведицы (1978), тройной квазар в созвездии Льва (1980) и такой же квазар в созвездии Рыб (1981). Каждый из объектов представлял собой квазаров-близнецов, расположенных друг от друга на расстоянии нескольких угловых секунд, имеющих очень похожие спектры и красные смещения. Наличие двойных квазаров позволило бы независимым методом оценить массы квазаров и рассмотреть некоторые другие вопросы, связанные с природой этих объектов. Однако, по всей вероятности, перечисленные

выше квазары не есть «истинные» кратные квазары, а лишь изображения соответствующего источника. Расщепление одного изображения на несколько происходит под действием гравитационного поля массивной галактики, оказавшейся на пути между квазаром и нами. Подобно тому как лучи звезд, проходящие вблизи Солнца, искривляются в поле тяготения Солнца (об этом подробнее см. в гл. II), лучи света от квазаров могут искривляться под действием гравитации галактик, играющих роль источников гравитационной фокусировки. Такие гравитационные линзы могут искажать формы далеких галактик, что, по мнению некоторых ученых, открывает новые возможности исследования крупномасштабных неоднородностей в распределении вещества во Вселенной.

Не исключено, что эффект гравитационной линзы в некоторых случаях создают не далекие галактики, а массивные черные дыры. Дело в том, что из семи только в трех случаях как будто бы найдены (1988 г.) галактики, расположенные так, как это необходимо, чтобы эффект наблюдался. Индийские астрофизики Г. Падманабхан и С. Читре обратили внимание на случаи, когда видно удвоенное изображение квазара, а галактики, вызвавшей это явление, поблизости не обнаружено. Вот и появилась гипотеза о том, что эффект создают практически точечные черные дыры с массой, в миллион раз превосходящей массу Солнца. Так как до сих пор нигде ни одна черная дыра не обнаружена, то пока трудно сказать, насколько близка к истине такая гипотеза. Но интересны следующие два соображения. Во-первых, теоретики утверждают, что именно точечные черные дыры, а не

галактики способны создавать четные изображения. Но во-вторых, трудно себе представить, что точечный объект «поймал» луч света от квазара и создал его парное изображение. Приходится вводить еще одно, очень сильное предположение: эффект гравитационной линзы создается благодаря тому, что наша Галактика окружена... облаком из черных дыр. Такое предположение приводит к новому представлению о распределении вещества в Галактике, потому что гипотетическое гало из черных дыр может содержать в себе огромную «скрытую массу», превышающую массу всех звезд!

Мы рассказали здесь об этом в основном для того, чтобы показать один из примеров движения мысли современных исследователей Вселенной: от факта (наблюдаются кратные квазары) к гипотезе о распределении вещества в нашей Галактике (и, возможно, в других). Можно ли найти хотя бы какой-нибудь наблюдательный тест, т. е. необходимый способ проверки предположенной гипотезы? Ученые считают, что это возможно: если в нашей Галактике существует гало из черных дыр, то они постепенно перемещаются перпендикулярно лучу зрения. Следовательно, нужно набраться терпения и, подождав... несколько сотен лет, убедиться, что изображения квазаров сместятся!

Вопрос о том, существуют ли в природе «истинные» двойные квазары, остается предметом исследований и дискуссий. Заметим, что еще в 60-х гг. советский астрофизик Б. В. Комберг высказал гипотезу о том, что квазары (как и ядра активных галактик) представляют собой сверхмассивные двойные системы (миниатюрной моделью которой, возможно, является SS 433).

Эта гипотеза, получившая в последние годы ряд подтверждений, нуждается в новых наблюдениях. Скорее всего, ядра квазаров — это и не звезды, и не простые их скопления, а компактные (10^{17} см) и очень массивные (10^7 — 10^9 солнечных масс) объекты, представляющие собой ядра чрезвычайно активных галактик, удаленных от нас на миллиарды световых лет и поэтому невидимых (в деталях) с больших расстояний. Подтверждением этому является, например, открытие светящегося гало вокруг квазара 3C 273, что принято рассматривать как доказательство того, что данный квазар — далекая галактика.

Поистине революционное значение для исследования ядер активных галактик и квазаров имело создание радиоинтерференционных систем, в состав которых, как уже говорилось, входят не только пары отдельных радиотелескопов, но и многие инструменты, объединенные в глобальные радиотелескопы. Еще в апреле 1976 г. начал работать первый глобальный радиотелескоп, в систему которого вошли четыре радиотелескопа: 22-метровый инструмент Крымской астрофизической обсерватории АН СССР, два американских инструмента — 26-метровый (Мерилэнд Пойнт) и 40-метровый (Оуэнс Велли), 64-метровый австралийский радиотелескоп в Тиндбинбилле. Расстояние между Симеизом и Тиндбинбиллой 11 570 км, между Тиндбинбиллой и Оуэнс Велли 10 580 км, Мерилэнд Пойнт и Тиндбинбиллой 12 090 км (0,94 диаметра нашей планеты). Максимальное разрешение этой системы 0,1 миллисекунды дуги, т. е. радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой позволила многократно увеличить разрешающую силу радиотелескопов: разрешающая

сила современных радиointерферометров в тысячи раз (!) превышает казавшуюся недостижимой разрешающую силу самых мощных оптических телескопов. Благодаря этому удалось «рассмотреть» детали структуры компактных внегалактических источников, обнаружить в них выбросы облаков релятивистских частиц, двойственность ядер, очень компактные переменные источники радиоизлучения со сложной структурой и т. д.

Такая фантастическая разрешающая способность радиointерферометров может быть еще более увеличена. Например, в середине 90-х гг. американские ученые планируют завершить постройку радиointерферометра со сверхдлинной базой. Этот инструмент состоит из

10 антенн, разбросанных по всей территории США. Диаметр каждой антенны 25 м, а работать они будут в миллиметровом диапазоне. И российские, и американские ученые планируют создать в 90-х гг. интерферометры «Земля — Космос». Осуществление этих проектов («Квазар» — США, «Радиоастрон» — Россия) может увеличить разрешающую способность на несколько порядков.

Вынос хотя бы одного из элементов радиointерферометра на околоземную орбиту позволит еще более увеличить разрешающую способность радиоастрономической системы и исследовать активные процессы в ядрах радиогалактик и квазаров, пятна на поверхности звезд и т. д.

§ 7. ЗА ПРИЗРАЧНЫМ ЗАНАВЕСОМ СОЗВЕЗДИЙ

Звездное небо извечно восхищало людей. Наши предки уподобляли его огромной книге сказок, причем книга весьма полезной. Ведь звездами не только любовались — они издавна помогали людям ориентироваться в походах и путешествиях, определять время начала сельскохозяйственных работ и т. д. Картинки «звездной книги» запечатали различные мифы, сказки и легенды народов мира. И сейчас, любясь Большой Медведицей, Кассиопеей, Орионом, Тельцом и другими созвездиями, мы вспоминаем связанные с ними легенды.

Глядя на небо, невозможно определить, какая из звезд дальше, а какая ближе к нам. Звезды кажутся удаленными на одинаковое расстояние, и трудно представить, что, например, крайняя звезда в ручке ковша Большой Медведицы вдвое дальше, чем находящаяся «рядом» с ней средняя звезда. И уж совсем никому на протяжении ты-

сячелетий не приходило в голову, что едва заметное в созвездии Андромеды светлое пятнышко представляет собой гигантскую звездную систему (которая превосходит по размерам нашу Галактику) и является одной из ближайших к нам галактик; свет от нее до нас идет почти 2 млн. 300 тыс. лет.

Звездное небо прекрасно, но, по существу, лишь в XX в. человек осознал, что за призрачным занавесом созвездий, образованных всего лишь тысячами звезд, находятся тысячи миллиардов звезд нашей Галактики и великое множество других галактик. Можно было бы, конечно, сравнить видимую картину звездного неба с вершиной айсберга, основная часть которого погружена в воду. Но это было бы слишком слабое сравнение, потому что за роскошным занавесом созвездий от нашего взора скрыта беспредельная Вселенная. Наблюдения с помощью крупнейших опти-

ческих и радиотелескопов позволяют астрономам проникать на миллиарды световых лет в глубины Вселенной. Совокупность данных современной внегалактической астрономии дает возможность нарисовать грандиозную астрономическую картину мира, небольшим фрагментом которой является не только наша Солнечная система, но и наша Галактика.

Прежде всего напомним, что наша Галактика с ее спутниками (Магеллановы Облака и несколько карликовых галактик), галактики в созвездиях Андромеды и Треугольника образуют устойчивую Местную группу галактик. В этой наиболее изученной системе насчитывается, кроме упомянутых трех крупных галактик, несколько десятков карликовых (только наша Галактика имеет полтора десятка спутников). Центр масс Местной группы расположен на линии, соединяющей центры нашей Галактики и галактики в Андромеде (М 31) на расстоянии $\frac{2}{3}$ от М 31. В 70-х гг. радиоастрономы, исследовавшие южное небо, неожиданно открыли протяженный водородный рукав, в который оказались погружены Магеллановы Облака (самые крупные спутники Галактики) и ряд карликовых галактик. Этот рукав, получивший название Магелланов поток, тянется от созвездия Пегаса к созвездию Скульптора, проходит через Магеллановы Облака и Южный полюс Галактики. Оказалось, что газ в Магеллановом потоке движется, причем скорость его непрерывно меняется (она отличается на концах потока примерно на 200 км/с). Следует заметить, что хотя газ в потоке разрежен, но общая суммарная масса его велика и, вероятно, в миллиард раз превосходит массу Солнца. Существование Магелланова пото-

ка — свидетельство эволюционных процессов, происходящих в Местной группе галактик. Предполагалось, что Магелланов поток содержит газ, некогда потерянный Магеллановыми Облаками. Не исключено, что часть газа уже израсходована на образование некоторых карликовых галактик Местной группы. Согласно другой гипотезе, Магелланов поток — своего рода кильватерный след, который остается в газовой короне Галактики после прохождения в ней Магеллановых Облаков и их некоторых карликовых собратьев.

Изучение спутников нашей Галактики представляет очень большой интерес: ведь это пусть и небольшие, но очень близкие (по внегалактическим масштабам) галактики. Например, Большое Магелланово Облако (оно расположено в созвездии Золотой Рыбы) находится от нас на расстоянии 52 кпк, а Малое Магелланово Облако (созвездие Тукана) — на расстоянии 71 кпк. Особенно удобно для наблюдений Большое Магелланово Облако (небольшое расстояние, удачный «разворот» по отношению к земному наблюдателю). К числу достопримечательностей Большого Магелланова Облака относятся комплекс газовых туманностей Тарантул (диаметр 600 пк), одна из ярчайших звезд S Золотой Рыбы (абсолютная звездная величина — 10^m), множество звездных скоплений, переменных звезд, десятки новых звезд и остатков Сверхновых. В 1982 г. там был открыт первый пульсар, а в 1987 г. — знаменитая Сверхновая. Впечатляет и то, что в Большом Магеллановом Облаке примерно 100 млн. звезд ярче Солнца!

Но конечно, уникальную возможность для исследования разно-

образного звездного населения астрономы получают, изучая большие галактики, входящие в Местную группу. По выражению известного американского астронома Харлоу Шелли (1885—1972), галактика в Андромеде со своими спутниками и с галактикой в Треугольнике образует «архипелаг Андромеды». Это своеобразная лаборатория внегалактической астрономии, в которой, в частности, исследуются эллиптические и неправильные галактики (напомним, что наша Галактика, а также галактика в Андромеде и Треугольнике относятся к числу спиральных).

На расстоянии нескольких мегапарсек от Местной группы галактик находятся примерно такие же группы галактик, а до сосед-

него крупного скопления галактик около 20 Мпк. Это скопление галактик в созвездии Девы. Оно содержит не менее 200 довольно ярких галактик и, вероятно, 2—3 тыс. галактик малой светимости. Размер скопления в Деве достигает 5 Мпк (считается, что скопления галактик имеют не сферическую форму, а форму, близкую к эллипсоиду).

Известны десятки различных скоплений, находящихся от нас на расстояниях от 130 до 5 200 Мпк. Каждое из скоплений, кроме галактик и разреженного газа, вероятно, включает довольно большое количество невидимого вещества («скрытая масса»), гравитация которого обеспечивает устойчивость скопления, удерживает галактики в



Часть скопления галактик в созвездии Геркулеса.

скоплении. Природа «скрытой массы» до сих пор во многом остается загадочной. Предполагают, что в скоплениях галактик могут находиться и невидимые погасшие звезды, и черные дыры, и «массивные» нейтрино.

Большой интерес представляет богатое скопление галактик в созвездии Волосы Вероники, находящееся от нас на расстоянии около 140 Мпк (т. е. это довольно близкое скопление). По размеру это сплюснутое скопление напоминает скопление галактик в созвездии Девы. В каталоги занесено более 1500 галактик, но на самом деле скопление в созвездии Волосы Вероники содержит во всяком случае не меньше галактик, чем скопление в созвездии Девы (просто слабые галактики не видны на таком расстоянии). Скоплениям в созвездиях Девы и Волосы Вероники посвящено так много работ, выполненных астрономами разных стран, что эти скопления во многом стали эталоном при изучении других скоплений галактик. Заметим, что в Волосах Вероники есть и другие скопления, в том числе очень далекие.

Сделав следующий шаг по иерархической лестнице структур нашей Вселенной, мы окажемся в мире скопления скоплений галактик. Подобно тому как существуют наша Солнечная система, наша Галактика, наша Местная группа галактик, существует, оказывается, и наше скопление скоплений галактик. Оно даже «видно» на небе! Дело в том, что на небе есть два млечных пути. Один из них известен всем: это Млечный Путь — видимая «с ребра» часть нашей собственной Галактики («галактика» от греч. *galactikós* — молочный, млечный). Этот Млечный

Путь доступен наблюдению каждому, и изучение его в телескоп (или хотя бы в хороший бинокль) доставляет большое удовольствие любителям астрономии. Второй млечный путь — это «Млечный Путь» галактик (он расположен почти перпендикулярно привычному нам Млечному Пути). Так вот, «Млечный Путь» галактик — это видимое «с ребра» наше Локальное скопление скоплений галактик, или Локальное сверхскопление. Размеры этой системы (около 60 Мпк) превосходят возможности воображения. Предоставляем читателю самому построить наглядную модель, в которой размер земной орбиты будет изображен, например, размером с десятикопеечную монету.

Уже известное нам скопление в созвездии Девы — ядро Локального сверхскопления. Определить точное число больших и карликовых галактик, входящих в эту систему, едва ли возможно. Но достаточно обоснованные оценки существуют, и, согласно некоторым из них, Локальное сверхскопление содержит около 20 тыс. галактик. Галактики распределены в нашем сверхскоплении неравномерно. В этом убеждает, в частности, факт существования Местной группы галактик и других аналогичных групп. Пространственной фигурой, дающей приближенное представление о форме Локального сверхскопления, считается эллипсоид (отношение осей 1:10).

Еще в начале XX в. казалось вполне вероятным, что наша Галактика — это и есть вся Вселенная. После определения размеров Галактики и расстояний до туманностей (оказавшихся другими галактиками) эти воззрения стали достоянием истории астрономии.

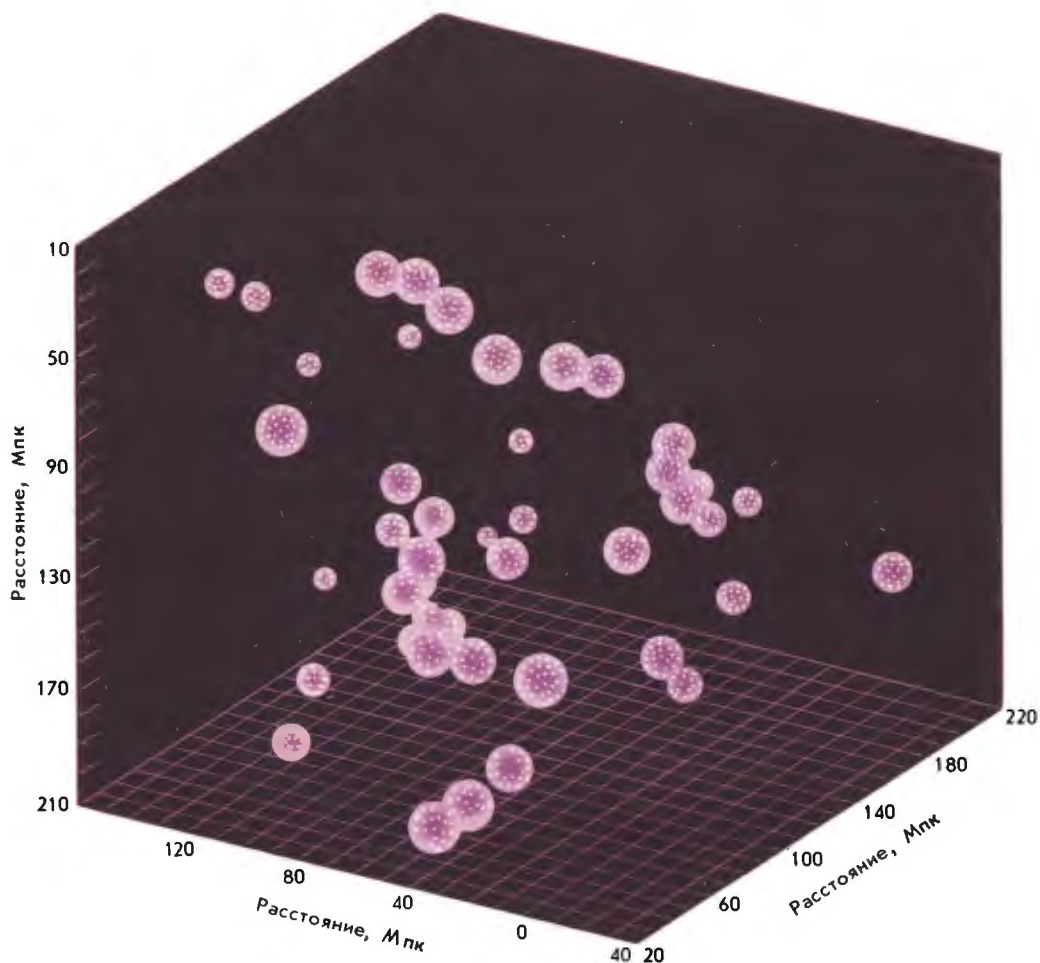
Что же касается Локального сверхскопления, то и оно первоначально казалось единственным, да и сам факт существования Локального сверхскопления был предметом дискуссий, происходивших еще сравнительно недавно, вплоть до 70-х гг. Убедительным доводом в пользу реальности Локального сверхскопления считается открытие концентрации галактик к плоскости, перпендикулярной главной плоскости нашей Галактики. Иными словами, было доказано, что галактики концентрируются к своему «Млечному Пути».

Наша Галактика скромно ютится на окраине Локального сверхскопления. Эти данные внегалактической астрономии можно трактовать как очередной удар по нашему стремлению вообразить себя в центре Вселенной (сначала таким центром считали Землю, потом Солнце, а затем и Галактику). Но и Локальное сверхскопление сейчас уже не отождествляется со всей охваченной наблюдениями части Вселенной (Метагалактики). Открыто несколько десятков других сверхскоплений галактик. Некоторые из них очень отличаются от Локального сверхскопления. Например, выявлено огромное сверхскопление, которое простирается от созвездия Персея до области небесной сферы, где расположены созвездия Пегас и Рыбы. Это уже не эллипсоид, а, скорее, нить с бусинками (каждая бусинка — скопление галактик!) длиной около 400 Мпк (более миллиарда световых лет). Сверхскопления венчают собой иерархию структур нашей Вселенной: во Вселенной не существуют системы более высокого «ранга», чем сверхскопления галактик, нет сверхскопления сверхскоплений (сверхсверхскоплений).

Среди пионеров открытия и исследования сверхскопления в Персее — Пегасе были эстонские астрономы (Я. Э. Эйнасто и его коллеги). Они не только обнаружили в конце 70-х гг., что сверхскопление, не ограничиваясь пределами созвездия Персея, простирается в направлении к Пегасу, но и привели убедительные доводы в пользу существования ячеистой структуры Вселенной.

Суть новой идеи состояла в том, что скопления галактик распределены не хаотично, а вблизи границ огромных ячеек (размером порядка 100 Мпк), внутри ячеек галактики не видны. Группе американских астрономов во главе с Д. Пиблсом удалось наглядно продемонстрировать ячеистую структуру Вселенной. Применяв особый метод обработки на ЭВМ фотографий участков звездного неба, где были запечатлены объекты до 19-й звездной величины, они удалили звезды с изображения северной полусферы звездного неба и оставили только галактики. Получилась двумерная картина распределения галактик на небесной сфере, действительно напоминающая множество ячеек. Впоследствии изображение ячеистой структуры было получено и другими группами специалистов. В частности, в Институте прикладной математики АН СССР еще в 1976 г. было выполнено моделирование движения 1 000 частиц и показано, что такие «частицы-галактики» сгущаются в «комки-скопления» и образуют подобие ячеистой структуры.

Со времени, когда впервые выполнялись эти работы, минуло уже немало лет. Однако до сих пор астрономы ищут дополнительные подтверждения существования ячеистой структуры галактик. По



На модели, созданной американскими учеными, каждая сфера изображает не отдельную галактику, а целое скопление галактик. Модель дает представление о пространственной структуре сверхскопления галактик в области созвездий Персей и Пегас. Протяженность этого волокно-подобного сверхскопления более миллиарда световых лет (!). Подобные сверхскопления, разделенные гигантскими просторами и удаляющиеся друг от друга, образуют нашу Вселенную.

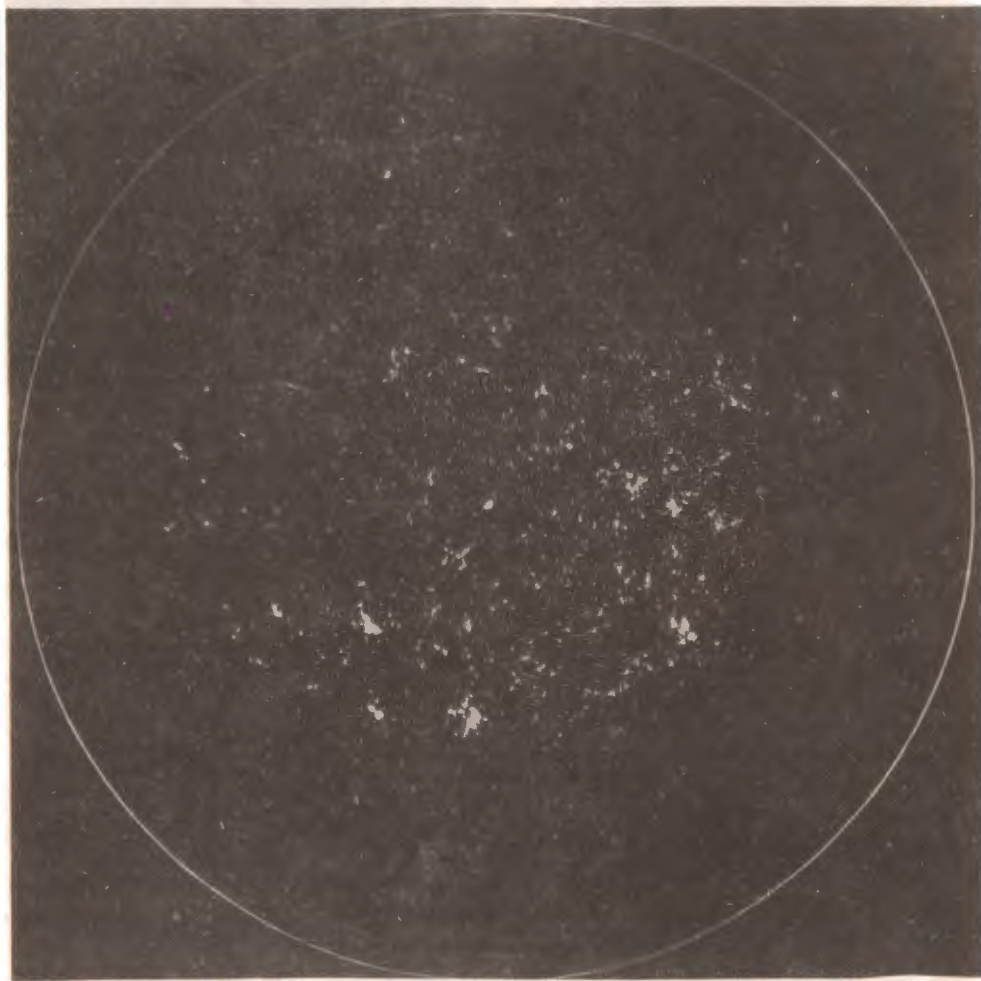
мнению многих специалистов, структуры, обрамляющие ячейки (а точнее, места пересечения стенок ячеек), как раз и есть то, что следует называть сверхскоплениями галактик. Постепенно представление о ячеистой структуре удалось углубить в буквальном смысле этого слова. Был сделан

переход от двумерной картины (проекция пространственного распределения галактик на небесную сферу) к трехмерной (истинное пространственное распределение галактик). Чтобы сделать такой шаг, пришлось определить (по красному смещению в спектрах) расстояния до большого числа га-

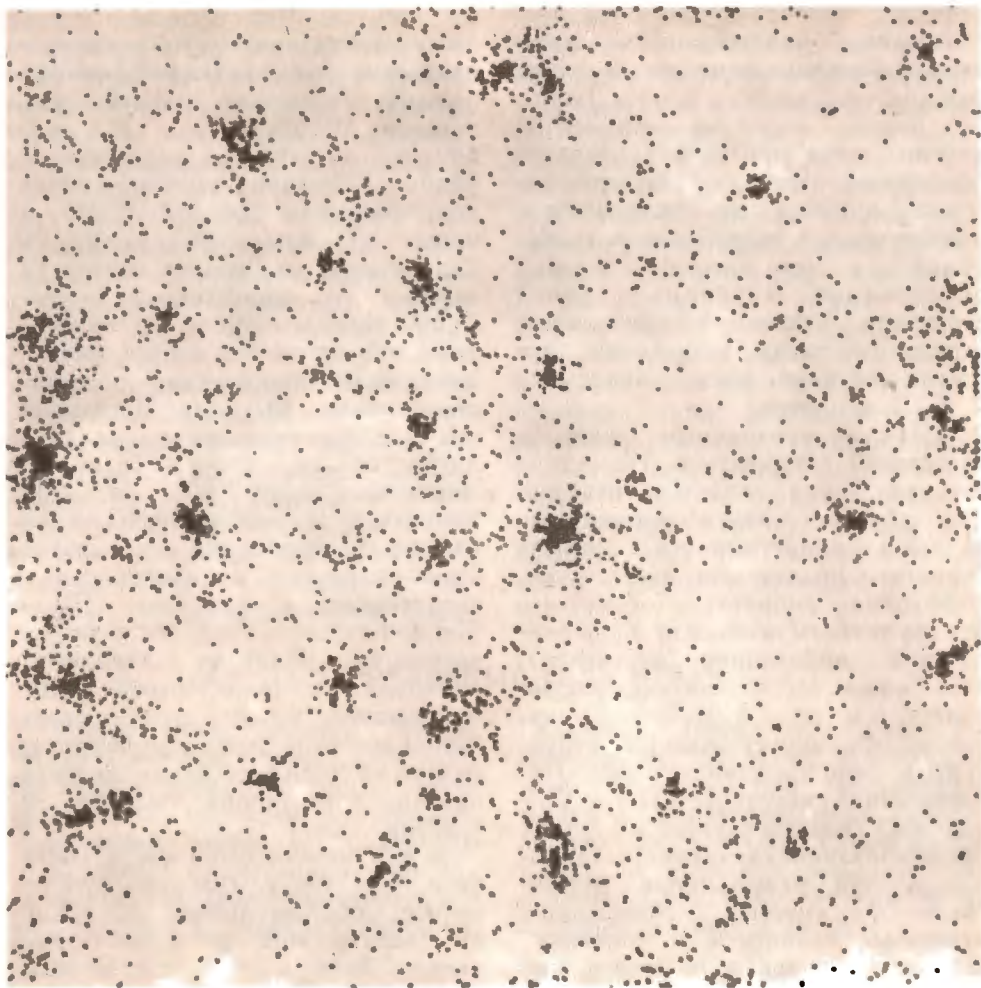
лактик. Для этой цели, например, группа американских астрономов (Р. Киршнер и др.) в начале 80-х гг. определила расстояния до всех галактик ярче определенной звездной величины ($17,3^m$) в трех участках неба в созвездии Волопаса (площадь каждого участка около полутора квадратного градуса). Такое «зондирование» Вселенной в

направлении трех лучей привело к открытию огромных пустот, практически лишенных галактик данной яркости. В результате возникло представление о наличии черных областей во Вселенной (не путать с черными дырами!).

В 1986 г. астрономы, работающие в Астрофизическом центре Гарвардского университета, опубли-



На специально обработанной фотографии большой области звездного неба видна ячеистая (или сетчатая) структура, элементами которой является, примерно миллион галактик ярче 19-й звездной величины (Sky and Telescope.— 1980.— № 5).



Ячеистая структура возникла в процессе длительной эволюции вещества в расширяющейся Метагалактике. Перед вами не изображение галактик, а полученная в Институте прикладной математики АН СССР картина распределения точечных масс под действием сил тяготения. Прежде чем возникла сетчатая структура, во Вселенной возникли «блины» — будущие сверхскопления и скопления галактик.

ликовали результаты исследования более 1 000 галактик, принадлежащих скоплению галактик в созвездии Волосы Вероники. И здесь были довольно четко выявлены черные области, свидетельствующие о том, что существует не только «поверхностная» ячеистая (или

пенистая) структура, но и, вероятно, наглядной моделью пространственной структуры Вселенной могут служить кусок пемзы или пустые пчелиные соты. Объем ячеек таких «сот» иногда превосходит 10^6 Мпк³! Мы давно привыкли к пустотам, которые существуют в

веществе благодаря большим расстояниям, разделяющим ядра атомов обычного вещества (и пустотам внутри самих ядер). Теперь же видное место в современной картине мира приходится отводить гигантским пустотам, открытие которых, впрочем, не было неожиданностью для теоретиков, разрабатывающих возможные сценарии образования крупномасштабной структуры Вселенной; наибольших успехов в таких разработках достигла научная школа академика Я. Б. Зельдовича.

Итак, за призрачным занавесом созвездий скрываются громадные сверхскопления галактик, отделенные друг от друга громадными черными областями, в которых галактики практически отсутствуют. Необходимо добавить к этому, что вся эта захватывающая воображение картина мироздания нестатична; ведь наша Метагалактика расширяется (см. гл. I § 9). Это расширение деформирует ячеистую структуру в районах стенок ячеек. Наблюдения свидетельствуют: Локальное сверхскопление и другие сверхскопления галактик нестационарны, они расширяются (растягиваются «мосты», содержащие отдельные галактики и соединяющие сверхскопления; из стенок ячеек как бы вытягиваются галактики и т. д.).

Но и это не все. В последнее время возникло «подозрение», что во Вселенной существуют структуры, размеры которых во много раз превышают размеры уже известных нам ячеек. По отношению друг к другу галактики удаляются, участвуют в космическом расширении Метагалактики. Однако, по-видимому, галактики обладают еще и собственными скоростями по отношению к расширяющейся систе-

ме отсчета. Что это за система отсчета? Ею может быть реликтовое излучение (см. гл. II, § 5), которое дошло до нас от ранней эпохи истории Метагалактики. По отношению к этому «вселенскому эфиру» Солнечная система, например, движется со скоростью не менее 400 км/с. Вспомним, что Солнце мчит нас вокруг центра Галактики со скоростью 250 км/с. Кроме того, мы вместе со всей Галактикой летим по направлению к туманности Андромеды со скоростью около 40 км/с. Считается, что вся Местная группа галактик движется в пространстве со скоростью около 600 км/с. По мнению ряда американских и английских астрономов, не только Местная группа, но и скопления и сверхскопления галактик (Девы, Гидры-Кентавра) несутся к гипотетическому Великому Аттрактору (Эттрэктору). Роль такого центра притяжения может играть сверхсверхмассивное скопление вещества, содержащегося в десятках тысяч галактик, образующих Великий Эттрэктор.

Здесь можно было бы и поставить пока точку. Но одно существенное обстоятельство заставляет сделать еще несколько замечаний. Дело в том, что нередко чтение научно-популярной литературы по астрономии порождает у некоторых любителей науки о Вселенной неверное представление о «легкости», с которой создается научная картина мироздания. В результате в редакциях журналов («Наука и жизнь», «Земля и Вселенная» и др.) скапливаются объемистые сочинения, авторы которых с легкостью необыкновенной «разрабатывают» новые «системы мира», «теории Вселенной» и т. д. Происходит это, вероятно, по

многим причинам. Но одна из них — элементарная неосведомленность о том титаническом труде, результатом которого становятся открытия в области астрономии, астрофизики, внегалактической астрономии и космологии. Как правило, это труд не ученых-одиночек, а коллективов высококвалифицированных специалистов. Прогресс в области наблюдательной астрономии связан прежде всего с использованием крупнейших телескопов мира, снабженных принципиально новыми (в отличие от фотопластинок) светоприемниками. Только таким способом удастся осуществлять необходимые глубокие обзоры участков неба. Обработка наблюдений производится, как уже упоминалось, с помощью ЭВМ и модельных расчетов на суперкомпьютерах. Опре-

деление расстояний до небесных объектов требует скрупулезного измерения красных смещений, которые наблюдаются в спектрах далеких галактик вследствие расширения Метагалактики. Наконец, для осмысления полученных результатов требуется разработка теории (например, теории образования крупномасштабной структуры Вселенной) с использованием самых современных достижений физики элементарных частиц и космологии. Таким образом, каждый шаг на пути познания тайн Вселенной сродни научному подвигу, совершаемому нашими современниками-учеными, умело использующими богатейший арсенал средств и методов, которые появились в современную эпоху научно-технического прогресса.

§ 8. ДАЖЕ НЕБЕСНЫЕ ТЕЛА НЕВЕЧНЫ...

Время существования человека (несколько миллионов лет), не говоря уже о времени жизни отдельного человека (несколько десятилетий), мало по сравнению со временем существования многих небесных тел (планеты, звезды) и их систем (Солнечная система,

Галактика, другие галактики). Но сегодня мы знаем, что и небесные тела не вечны — они рождаются, живут и умирают, проходя за миллиарды лет свой «жизненный цикл». Когда же возникли Земля, другие планеты Солнечной системы и их спутники, Солнце и звезды?

Возраст планет и их спутников

Непосредственно в лаборатории можно определить возраст земных пород, метеоритов и доставленных на Землю лунных пород. Применяемый метод называется методом ядерной космохронологии. В основе метода — естественная радиоактивность урана, например изотопа урана ^{238}U . Ядро этого изотопа, содержащее 92 протона и 146 нейтронов, излучая альфа-частицы, распадается (время полураспада 4,51 млрд. лет) и превращается в

изотоп свинца ^{206}Pb (82 протона и 124 нейтрона). Скорость радиоактивного распада постоянна. Определив количество накопившегося в породе свинца (его обычно сравнивают с количеством природного изотопа свинца ^{204}Pb), можно узнать, сколько урана подверглось распаду и, следовательно, каков возраст породы. Возраст железных метеоритов, которые в несколько раз старше каменных, близок к 4,6 млрд. лет. Несколько меньше (око-

ло 4,5 млрд. лет) возраст древнейших земных и лунных пород. Эти данные позволяют заключить, что

планеты Солнечной системы и их спутники сформировались примерно 4,6 млрд. лет назад.

Возраст звезд и Солнца

В курсе школьной астрономии изучается диаграмма Герцшпрунга—Ресселла, отражающая зависимость светимости звезд от температуры поверхности (или от спектрального класса). На диаграмме четко прослеживается главная последовательность, содержащая большинство звезд, включая наше Солнце. Основным источником энергии звезд, находящихся на главной последовательности, достаточно хорошо известен — это термоядерные реакции, в ходе которых водород превращается в гелий. Светимость и температура звезд главной последовательности обусловлены их массами. Самые массивные звезды с массами в несколько десятков масс Солнца располагаются в верхней части главной последовательности, а внизу находятся звезды, массы которых составляют десятые или даже сотые доли массы Солнца. От времени вступления звезды на главную последовательность отсчитывается ее возраст (хотя, строго говоря, этой стадии предшествуют миллионы лет формирования звезды). Длительность стадии реакций

водородного (протон-протонного) цикла оценивается по формуле

$$T_H \approx \frac{10M}{L} \text{ млрд. лет,}$$

где M и L — соответственно масса и светимость звезд в единицах массы и светимости Солнца. Для Солнца, очевидно, $T_H \sim 10$ млрд. лет — это время, в течение которого источником энергии Солнца будут реакции превращения водорода в гелий. Если можно было бы точно определить, сколько водорода и гелия сейчас содержится в центральных областях Солнца, то стало бы ясно, сколько лет уже длится водородный цикл и, следовательно, каков возраст Солнца. На самом деле удастся лишь получить некоторые приближенные значения интересующего нас соотношения водорода и гелия, из чего делается вывод о том, что возраст Солнца близок к 5 млрд. лет (у Солнца еще впереди столько же лет пребывания на главной последовательности).

Как мы увидим, существуют звезды моложе и старше Солнца.

Возраст звездных скоплений и Галактики

В скоплениях звезды возникли в результате единого процесса и практически одновременно. Самые молодые звезды, возраст которых не превышает нескольких миллионов лет, принадлежат звездным ассоциациям и молодым рассеянным звездным скоплениям. Самые старые звезды, возраст которых достигает 9—15 млрд. лет, принадлежат

шаровым звездным скоплениям. Для звездных скоплений, как и для отдельных звезд, может быть построена диаграмма «спектр — светимость» (диаграмма Герцшпрунга — Ресселла) и по ней могут быть определены точки, в которых звезды скопления сворачивают с главной последовательности. По этим точкам как раз и определяют возраст мно-

гих звездных скоплений (и большинства входящих в них звезд).

К возрасту самых старых звезд (и шаровых звездных скоплений) близок возраст нашей Галактики. Оценки возраста Галактики делаются разными методами. Их получают, например, из рассмотрения различных стадий эволюции Галактики (в Галактике существуют звезды разных поколений; наше Солнце, скорее всего, звезда второго поколения — (см. гл. II, § 6). Пример другого метода — оценка времени,

которое потребовалось для того, чтобы в Галактике образовались наблюдаемые тяжелые химические элементы, т. е. элементы, тяжелее гелия. Такие элементы отсутствовали в первичной плазме, из которой формировались галактики, включая и нашу (см. гл. III, § 2).

Наконец, существует возможность оценить возраст всей наблюдаемой части Вселенной (Метагалактики). Об этой возможности будет рассказано в следующем параграфе.

§ 9. РАСШИРЕНИЕ МЕТАГАЛАКТИКИ

Итак, только в XX в. удалось открыть необъятный мир галактик, их скоплений и сверхскоплений. Неизмеримо вырос кругозор человека, узнавшего о существовании мегамира и как бы явившегося связующим звеном между этим миром и микромиром. Оба эти мира недоступны невооруженному глазу. Но они не менее реальны и существуют не менее объективно (т. е. независимо от сознания

человека), чем привычный нам макромир. Поэтому человек в конце концов сумел открыть невидимые миры, обогатив себя качественно новым знанием, без которого сейчас невозможно представить ни современную физику, ни современную астрономию и которое составляет естественнонаучный фундамент диалектико-материалистического мировоззрения.

Красное смещение

Американский астроном Вестон Слайфер на протяжении 10 лет (начиная с 1912 г.) терпеливо фотографировал спектры внегалактических туманностей (так в то время называли галактики). По спектрограммам он определил сдвиг спектральных линий, а затем и лучевые скорости галактик. Напомним, что лучевые скорости определяют по спектрам звезд. Здесь используется эффект Доплера, согласно которому линии в спектре источника света, приближающегося к наблюдателю, смещены к фиолетовому концу спектра, а линии в спектре удаляющегося источника смещены

к красному концу спектра (по отношению к положению линий в спектре неподвижного источника). Почему же меняется частота излучения, воспринимаемая наблюдателем (причем это явление наблюдается не только в случае оптического источника, но также источника радиоволн или, например, звуковых волн)? Пусть расстояние от источника света до наблюдателя будет ct (где c — скорость света; t — время, за которое свет преодолевает расстояние до наблюдателя). За время t источник испускает $\nu_0 t$ волн (ν_0 — частота излучения). Если источник неподвижен, то на

отрезке ct как раз и укладывается $v_0 t$ волн. Но если источник движется (например, удаляется со скоростью v_r), то число волн $v_0 t$ будет укладываться на отрезке, длина которого $ct + v_r t$. Перейдем от частоты к длинам волн. Длина волны λ_0 , которую принимает наблюдатель от неподвижного источника, будет $\lambda_0 = \frac{ct}{v_0 t}$ (или известное вам из физики соотношение $\lambda_0 = \frac{c}{v_0}$), а длина волны, которую наблюдатель принимает от удаляющегося источника, будет

$$\lambda = \frac{ct + v_r t}{v_0 t}.$$

Тогда смещение, равное $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, можно записать в виде

$$\Delta\lambda = \frac{ct + v_r t}{v_0 t} - \frac{ct}{v_0 t},$$

т. е. $\Delta\lambda = \frac{v_r}{v_0} \lambda_0$, или $\Delta\lambda = \lambda_0 \frac{v_r}{c}$, откуда $v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c$. Это и есть формула для вычисления лучевых скоростей по измеренному сдвигу данной спектральной линии (сравнивается ее положение в спектре наблюдаемого

источника с положением в спектре неподвижного лабораторного источника).

Лучевая скорость удаляющегося источника получается из выведенной формулы со знаком «плюс», а приближающегося — со знаком «минус». Так вот, Слайфер измерил лучевые скорости свыше 40 галактик. Что же оказалось? Во-первых, эти скорости оказались очень большими (сотни и даже тысячи километров в секунду). Во-вторых, у большинства галактик (это были далекие галактики) были зафиксированы «скорости удаления», соответствующие смещению линий к красному концу спектра. Работу Слайфера продолжили астрономы других обсерваторий. Исследователи доказали, что красное смещение в различной степени присуще всем галактикам, и определили смещение линий в спектре галактик. Строго говоря, красным смещением называется относительное изменение длины волны спектральной линии, т. е.

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}.$$

Закон Хаббла

Эдвину Хабблу (1889—1953) было 25 лет, когда он, юрист по образованию и опыту работы, заинтересовался астрономией и начал изучать ее в Чикагском университете. Впоследствии, работая на крупнейших в мире телескопах, Хаббл сделал ряд важных открытий преимущественно в области внегалактической астрономии. Среди них одним из самых выдающихся по праву считается открытый Хабблом фундаментальный закон природы, согласно которому скорость удаления галактик (v) пропорциональна расстоянию (r), т. е. $v = Hr$, где H — постоянная Хаббла (первая буква

фамилии ученого — Hubble). Проверенный вначале на небольшом числе относительно близких к нам галактик закон Хаббла был подтвержден в дальнейшем на обширном материале наблюдений, охватывающих множество слабых (далеких) галактик.

Каким путем шел Хаббл к открытию своего закона? Прежде всего он, используя ряд методов, уточнил расстояния до некоторых галактик. Затем он сопоставил полученные значения расстояний с уже известными значениями лучевых скоростей (для этих же галактик). Построенный Хабблом график (по

горизонтальной оси откладывались расстояния до галактик, а по вертикальной — их лучевые скорости) однозначно свидетельствовал о прямой пропорциональности, существующей между этими величинами.

В настоящее время закон Хаббла, проверенный для большого

числа галактик, стал основой одного из главных методов определения расстояний до галактик. Но, очевидно, чтобы воспользоваться этим законом для определения расстояния, нужно знать, кроме лучевой скорости интересующей нас галактики, еще и значение постоянной Хаббла H .

Постоянная Хаббла H

Суть метода определения H проста: нужно хотя бы для одной далекой галактики определить (независимо от закона Хаббла) лучевую скорость v и расстояние r , а затем, подставив эти величины в формулу закона Хаббла, найти H .

Хаббл в 1929 г. поступил следующим образом. Он решил определить расстояние до галактики в созвездии Андромеды (М 31). Для этого он, пользуясь 2,5-метровым рефлектором обсерватории Маунт Вилсон, определил в галактике М 31 периоды нескольких цефеид. Период изменения их блеска, как уже было известно ко времени работы Хаббла, связан со светимостью (или абсолютной звездной величиной) цефеид. Значит, определив период цефеиды, астроном мог сразу же найти ее абсолютную звездную величину M , которая, как вы знаете, связана с видимой звездной величиной формулой

$$M = m - 5 \lg r + 5,$$

где M и m — соответственно абсолютная и видимая звездные величины звезды, а r — расстояние до нее. Но в нашем случае r можно считать не просто расстоянием до цефеиды, но и искомым расстоянием до звездной системы, в которой цефеида наблюдается.

Казалось бы, задача решена, но... Дело в том, что М 31 — бли-

жайшая к нам галактика, а по отношению к близким галактикам закон Хаббла, как мы потом поясним подробнее, выполняется не очень точно (некоторые близкие галактики не удаляются, а приближаются к нам!). Поэтому, определив таким способом H , можно получить значение данной мировой константы с очень большой ошибкой. Исследовать цефеиды в более далеких галактиках Хаббл не мог. Вот ему и пришлось прибегнуть к следующей гипотезе. Он допустил, что различные спиральные галактики включают в себя ярчайшие звезды (Новые, Сверхновые или, быть может, даже целые шаровые скопления) примерно одинаковых звездных величин. Если в качестве таких объектов выбираются шаровые звездные скопления (их абсолютная звездная величина принимается равной $M \sim -10,6^m$), то такие скопления можно видеть и в М 31, и в более удаленной галактике, например в одной из галактик скопления в созвездии Девы. Измерив видимую звездную величину шарового скопления в созвездии Девы и зная его абсолютную звездную величину, определяют расстояние до галактики (а значит, практически и до всего скопления галактик; 17 Мпк по современным оценкам). Решая подобную задачу с использованием Новых и Сверхновых, принимают,

что средняя абсолютная звездная величина Новой звезды $M \sim -7^m$, а Сверхновой $M \sim -19^m$ или $M \sim -17,5^m$ (в зависимости от типа вспыхнувшей звезды). Такова суть метода, которым пользовался Хаббл, определяя значение H .

Хабблу удалось определить видимые звездные величины m ярчайших звезд примерно в 30 галактиках с известным красным смещением. Абсолютные величины этих звезд Хаббл принял за $-6,35^m$. Он нашел, что зависимость скорости удаления v от m может быть представлена формулой $\lg v = 0,2m - 1,0$. Комбинируя данную формулу с двумя следующими: $v = Hr$ (или $\lg v = \lg H + \lg r$) и $\lg r = 0,2(m - M) + 1$, он получил формулу для определения H :

$$\lg H = 0,2M - 2,00.$$

Подставляя $M = -6,35^m$, Хаббл получил $H = 535$ км/(с · Мпк). Позднее, в 1936 г., Хаббл внес уточнение в свой результат, получив $H = 530$ км/(с · Мпк). Однако сегодня известно, что и данное значение H очень далеко от истинного. Причины ошибки могут быть различные. И заключаются они прежде всего в том, что расстояния до ближайших галактик, включая М 31, дол-

гое время были известны очень неточно. В 50-х гг. астрономы были вынуждены пересмотреть шкалу внегалактических расстояний, вдвое «отодвинув» ближайшие галактики, и без того далекие — в 6—7 раз! Автоматически во столько же (т. е. примерно в 7 раз) уменьшилось и значение постоянной Хаббла, став $H = 75$ км/(с · Мпк). Попытки уточнить H предпринимаются и по сей день, причем для этой цели астрономы стремятся использовать данные о красных смещениях многих, а не какой-то одной галактики.

Важность дальнейшего уточнения значения постоянной Хаббла очевидна: это фундаментальная константа, с которой непосредственно связаны оценки возраста Метагалактики. Необходимо подчеркнуть, что получение точного значения H сопряжено с трудностями точного определения расстояний до внегалактических объектов (и постоянным уточнением шкалы внегалактических расстояний).

Пока, повторяем, однозначных данных о значении H нет, и в различных расчетах оно принимается разным: $50 \text{ км/(с · Мпк)} \leq H \leq 100 \text{ км/(с · Мпк)}$.

Границы применимости закона Хаббла

Закон Хаббла был установлен эмпирическим путем, т. е. получен в результате анализа данных наблюдений. Прикладное значение этого закона заключается в том, что, основываясь на нем, можно определять расстояния до галактик с известным красным смещением. Но для всех ли галактик такой метод окажется полезным? Оказывается, что нет. Закон Хаббла имеет границы применения. Он практически не годится для определения расстоя-

ний до близких галактик. Определив сравнительно небольшую лучевую скорость близкой к нам галактики, астрономы должны еще разобраться, какая часть этой скорости обусловлена хаббловским удалением галактики, а какая представляет собой индивидуальную лучевую скорость (такие «хаотические» скорости достигают 200—600 км/с). Поэтому расстояния до близких галактик можно значительно точнее узнать из наблюдений в них цефеид.

Чем дальше галактика, тем больше ее хаббловская лучевая скорость и тем меньший вклад в значение лучевой скорости вносит индивидуальная скорость галактики. Казалось бы, вывод напрашивается вполне определенный: самые точные значения расстояний закон Хаббла дает для самых далеких галактик. Но это не так. В формуле

$$v = Hr$$

v есть лучевая скорость. Мы знаем, что если исследуется линия, соответствующая длине волны λ_0 и обнаружено ее смещение $\Delta\lambda$, то скорость v определяется из соотношения

$$\frac{v_r}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}, \text{ или } v_r = cz.$$

Легко заметить, что эта формула верна лишь для небольших значений z . Она заведомо неприменима для квазаров, у многих из которых $z > 1$, что приводит к значению $v > c$, противоречащему специальной теории относительности. Уже при $z > 0,3$

формулу $v = cz$ нужно заменять точной формулой, даваемой теорией относительности,

$$v = c \frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1},$$

которая, как вы легко можете убедиться, при малых z практически совпадает с формулой $v = cz$.

Допустим, что согласно наблюдениям $\Delta\lambda = \lambda$, т. е. $z = 1$. Тогда из неточной формулы мы бы получили $v = c$, а из точной $v = \frac{3}{5}c$. Убедитесь и в том, что при любых z точная формула приводит к скоростям удаления, меньшим, чем предельная в природе скорость света. Таким образом, закон Хаббла следует применять к тем галактикам, которые и не очень близки к нам, и не очень далеки от нас. Выяснилось также, что закон Хаббла точнее выполняется для скоплений галактик, чем для отдельных галактик. Объектами, обладающими наибольшими красными смещениями, являются квазары; у некоторых из них $z \approx 3,5$.

Природа красного смещения

Прежде чем двигаться дальше, мы должны еще раз вернуться к общепринятому истолкованию закона Хаббла, к его интерпретации. Наблюдения свидетельствуют о том, что линии в спектрах галактик смещены к красному концу. Таков наблюдательный факт. Но какова причина красного смещения? — Удаление галактик и обусловленный им эффект Доплера. В предположении истинности такого объяснения были не только использованы приближенные и точные формулы эффекта Доплера, но, по существу, сделан чрезвычайно важный вывод о расширении мегамира. Как мы увидим, такой вывод имеет далеко идущие космические и философские последствия. Уверены ли астрономы в том,

что принятое ими объяснение однозначно и что никаких других объяснений красного смещения нет? На этот вопрос в настоящее время можно ответить положительно, хотя еще в недалеком прошлом шли страстные споры о природе красного смещения. Противники доплеровской интерпретации выдвинули доводы в пользу того, что наблюдаемое красное смещение обусловлено не движением галактик, а другими причинами, способными вызвать «покраснение» квантов света. Что же это за предполагаемые причины?

Расскажем об одной из них. Долгое время делались попытки объяснить «покраснение» квантов (фотонов) их «старением», предполагая, что кванты теряют свою энергию,

т. е. более «энергичные» кванты (фиолетового света) превращаются в менее «энергичные» кванты (красного света). На что же могла расходоваться энергия квантов? Кванты, например, могли бы ее передавать встречающимся им частицам межгалактического газа. Такой процесс передачи энергии должен сопровождаться и передачей импульса, а последнее может вызвать изменение направления дальнейшего движения кванта. Если бы это происходило в действительности, то наблюдалась бы размытость изображений галактик, чего на самом деле нет.

Потерять часть своей энергии квант может и другим способом: например, распавшись, испустить пару элементарных частиц (нейтрино, антинейтрино). Можно доказать, что на самом деле этого не происходит. Из специальной теории относительности вам известны соотношения, справедливые и для мезонов, и для фотонов:

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ и } E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где T и E — соответственно время жизни и энергия движущейся со скоростью v релятивистской частицы; T_0 и m_0 — соответственно время жизни и масса покоящейся частицы (той же самой).

Обозначим через W вероятность распада кванта. Ясно, что она обратно пропорциональна времени жизни частицы, т. е.

$$W = \frac{1}{T}.$$

Рассмотрим произведение

Метагалактика — наша Вселенная

Итак, человек сумел не только открыть мегамир, но и обнаружить его нестатичность! Но что, собственно,

$$\begin{aligned} EW &= \frac{E}{T} = \frac{m_0 c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} T_0} = \\ &= \frac{m_0 c^2}{T_0} = m_0 c^2 W_0 \end{aligned}$$

Поскольку $m_0 c^2 W_0 = A$, где $A = \text{const}$, то $EW = A$. Из курса физики вы знаете формулу зависимости энергии фотона от его частоты ν : $E = h\nu$, где h — постоянная Планка. Мы можем написать $h\nu \cdot W = A$, откуда $W = \frac{B}{\nu}$, где $B = \frac{A}{h} = \text{const}$, и, следовательно, вероятность самопроизвольного распада кванта обратно пропорциональна его частоте (вывод впервые сделан в 30-х гг. ленинградским физиком М. П. Бронштейном). Значит, если бы кванты самопроизвольно (спонтанно) распадались, то быстрее всего распадались бы кванты низких частот, т. е. кванты радиоволн. На самом деле радиоастрономические наблюдения показывают, что $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \text{const}$ для данной галактики независимо от λ (в настоящее время красное смещение открыто не только в оптическом диапазоне, но и в радиодиапазоне).

Попытки придумать другую историю «старения» квантов продолжают и по сей день, но ни одна из них не выдерживает сурового приговора наблюдательной проверки. Эффект красного смещения пытались объяснить и другим способом — действием сильных полей тяготения. С таким явлением связано, например, смещение линий в спектрах белых карликов.

мы наблюдаем с помощью современных оптических и радиотелескопов? — Грандиозный мир галак-

тик со свойственными ему (подчас удивительными!) явлениями. По мере совершенствования методов наблюдения и появления новых, более крупных телескопов границы мира галактик расширяются. Следовательно, на каждом определенном этапе процесса познания расширяется доступная наблюдению область Вселенной. Эту охваченную астрономическими наблюдениями часть Вселенной называют Метагалактикой. Иными словами, Метагалактика — это наша Вселенная, а Вселенная в целом, возможно, не исчерпывается Метагалактикой и вклю-

чает в себя другие метагалактики (см. гл. III, § 4).

Из истории науки мы знаем, как (кроме нашего Солнца) было открыто множество других солнц (звезд), а потом неединичной оказалась и наша Галактика, которую мы теперь рассматриваем как одну из множества галактик. Будет ли доказана неединственность Метагалактики? Ответить на этот вопрос может только дальнейшее развитие науки о Вселенной (см. гл. III, § 4). Наука сегодняшнего дня исследует настоящее, прошлое и будущее Метагалактики (см. гл. II, § 4—8).

Характер расширения Метагалактики

Теперь нам предстоит выяснить, как происходит расширение Метагалактики. Для этого попытаемся разобраться в трех важных особенностях расширения Метагалактики.

Первая особенность заключается в том, что в Метагалактике нет центра, от которого разбегаются галактики. На первый взгляд может показаться, что такой центр есть и им является наша Галактика. Такой ошибочный вывод как будто бы непосредственно следует из закона Хаббла: ведь чем дальше галактика от нас (т. е. от нашей Галактики), тем с большей скоростью она удаляется. На самом же деле из закона Хаббла вытекает равноправие каждой из разбегающихся галактик: в какой бы из галактик ни оказался наблюдатель, он всюду увидит картину расширения Метагалактики (а его собственная галактика покажется ему неподвижной).

Одномерной моделью этого (трехмерного!) расширения может служить резиновая нить с завязанными на ней узелками, изображающими галактики. Если растянуть

нить, например, вдвое, то во столько же раз увеличится расстояние между любой парой соседних узелков. Ясно, что узелки равноправны, а по отношению к каждому из них скорость удаления других узелков тем больше, чем более далекие от выбранного узелка мы будем рассматривать.

Двумерная модель расширения: надуваемый детский воздушный шарик с нанесенными метками (галактиками). По мере надувания шарика расстояния между метками будут увеличиваться, ни одна из меток не займет центрального положения по отношению к другим и, наконец, чем дальше будут метки от какой-нибудь выбранной нами метки (наша Галактика), тем с большей скоростью убегут от нее другие метки.

Теперь докажем, что если к системе галактик применим закон Хаббла, то ни одна из галактик не занимает в этой системе особого положения. Выберем систему координат так, чтобы в начале координат находилась бы наша Галактика, которую мы пока будем считать не-

подвижной. Скорость движения других галактик будет положительна (направлена от начала координат) и пропорциональна расстоянию (закон Хаббла): $v = Hr$.

Перейдем в систему координат с началом в точке A (т. е. какая-то произвольная галактика). Скорость движения этой точки будет \vec{v}_A . Очевидно, мы произвели перенос начала координат и выполнили галилеевский переход к движущейся системе. Величины, измеренные в этой системе, отметим штрихом (\vec{v}' ; \vec{r}'). Так как $\vec{r}' = \vec{r} - \vec{r}_A$, то $\vec{v}' = \vec{v} - \vec{v}_A = H\vec{r} - H\vec{r}_A = H(\vec{r} - \vec{r}_A) = H\vec{r}'$, т. е. $\vec{v}' = H\vec{r}'$. Следовательно, в новой системе координат, как и в прежней, выполняется закон Хаббла. Наблюдатель, находящийся в любой из движущихся галактик, видит картину разбегания галактик, хотя, конечно, и не находится в центре разбегания. Такого «центра» просто не существует. Метагалактика как бы растягивается во всех направлениях. Вследствие этого галактики «убегают» от нашей Галактики, а наша (вместе с остальными) «бежит» от всякой другой. Открытие расширения Метагалактики разрушило надежду на то, что уж если Земле и Солнцу не суждено было стать «центром Вселенной», то, может быть, «повезло» нашей Галактике... Нет! Земля оказалась одной из девяти больших планет Солнечной системы, Солнце — одной из тысячи миллиардов звезд Галактики, а Галактика — одна из множества галактик Метагалактики.

Вторая особенность расширения Метагалактики связана с тем, что же, собственно, расширяется. Еще раз растянем нить с закрепленными на

ней узелками. Расстояния между узелками увеличиваются, но это происходит из-за растяжения нити, а не потому, что узелки перемещаются вдоль нее. Нечто подобное происходит и в Метагалактике. Внегалактические расстояния (т. е. расстояния между галактиками или квазарами) увеличиваются, а размеры галактик и квазаров не изменяются. Более того, при расширении Метагалактики практически не возрастают размеры скоплений галактик! И уж само собой разумеется, что расширение Метагалактики не затрагивает размеров звезд и планет; оно не касается ни макромира, ни микромира. Нечто сходное происходит при тепловом расширении тел. Например, размеры куска железа при нагревании увеличиваются, но, как вы знаете, происходит это из-за увеличения расстояний между атомами, а не из-за увеличения размеров самих частиц.

Наконец, отметим еще и **третью особенность** расширения Метагалактики.

Расширение Метагалактики состоит не просто в разбегании галактик в пространстве, а в расширении самого пространства. Это не есть движение «во что-то», это не есть расширение пространства Метагалактики в какое-то более «внешнее» пространство. Расширение Метагалактики происходит совсем не так, как расширяется резиновый двумерный шарик в трехмерном евклидовом пространстве. О явлении подобного рода можно сказать, что его легче понять, чем наглядно представить (ибо для этого пришлось бы «изобразить» трехмерную сферу в четырехмерном пространстве)...

Темп и длительность расширения

Вновь обратимся к закону Хаббла и рассмотрим уже знакомую нам постоянную H . Что, например, означает $H = 55 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$?

Это значит, что две галактики, находящиеся на расстоянии 1 млн. пк, удаляются друг от друга на 55 км за каждую секунду (т. е. примерно на 1,5 млрд. км в год). Если расстояние между галактиками 2 Мпк, то они ежесекундно удаляются друг от друга на 110 км, и т. д. Таким образом, постоянная H говорит нам о темпе расширения Метагалактики. Обратим внимание и на то, что величина H имеет размерность с^{-1} .

Предположив, что такой же темп расширения был и в прошлом, т. е. считаем $H = \text{const}$ (в дальнейшем мы увидим, что постоянная Хаббла не совсем постоянна), оценим длительность процесса расширения.

Так как $T = H^{-1}$ (величина, обратная H , и есть время расширения!), то $T = 1 \text{ Мпк} : 55 \text{ км}/\text{с} \approx 19 \cdot 10^9 \text{ лет}$, поскольку $1 \text{ Мпк} \approx 3 \cdot 10^{19} \text{ км}$, $10^9 \text{ лет} \approx 3 \cdot 10^{16} \text{ с}$.

Таким образом, из закона Хаббла следует, что расширение Метагалактики началось примерно 20 млрд. лет тому назад, т. е. возраст Метагалактики по меньшей мере в 4 раза превышает возраст Солнечной системы и, по-видимому, не более чем в 1,5—2 раза больше возраста галактик.

Итак, мы живем в расширяющейся Метагалактике. Поразительная мощь разума человека, затерянного на одной из бесчисленных пылинок мироздания и все-таки оказавшегося способным проникнуть в одну из сокровенных тайн Вселенной! Едва ли нужно доказывать, что расширение Метагалактики можно по праву отнести к грандиознейшему явлению природы. Но имеет ли какое-нибудь отношение расширение Метагалактики к возникновению и развитию жизни на Земле? Изменилось бы что-нибудь на нашей планете, если бы существовало не красное, а фиолетовое смещение, т. е. если бы галактики не удалялись друг от друга, а, наоборот, приближались? Почему разбегаются галактики? Двигутся ли они под действием какой-нибудь силы или по инерции? Что представляла собой Метагалактика 20 млрд. лет тому назад? Вечно ли будет продолжаться наблюдаемое сейчас расширение? Можно ли теоретически осмыслить (или, быть может, даже предсказать) факт расширения Метагалактики? Эти и многие другие проблемы, имеющие исключительно важное мировоззренческое значение, рассматриваются в современной физической космологии, с основами которой нам и предстоит познакомиться в следующих главах книги.

КАКОЙ БЫЛА И КАКОЙ БУДЕТ НАША ВСЕЛЕННАЯ

В расширяющейся Вселенной,—
Если это действительно так,—
Что ты чувствуешь,
Обыкновенный
Человек,
Неученый простак?

Л. Мартынов

§ 1. ЧТО ТАКОЕ КОСМОЛОГИЯ

В предыдущей главе мы уже заглянули в прошлое Вселенной. Исходным пунктом нашего путешествия во времени было современное состояние Вселенной — астрофизические данные о ее структуре и расширении. Основываясь на том, что расширение будет неограниченно долго продолжаться, можно представить себе будущее нашей Вселенной. Несколько ниже мы так и поступим, причем такое рассмотрение станет у нас анализом лишь одного из нескольких возможных путей эволюции Метагалактики.

Исследованием свойств Вселенной как целого занимается космология. Вот какое определение дал космологии один из крупнейших советских специалистов в этой области А. Л. Зельманов (1913—1987): «физическое учение о Вселенной как целом, включающее в себя теорию всего охваченного астрономическими наблюдениями мира как части Вселенной». Здесь под словом «учение» понимается совокупность накопленных теоретических положений о строении вещества и структуре Вселенной.

Космология неотделима от всей истории развития астрономии. Ведь даже появившиеся во времена античности геоцентрические системы мира претендовали на объяснение

устройства мироздания. Неотъемлемой частью космологических представлений древних были их взгляды на соотношение пространства и находящихся в нем предметов. Например, Аристотель (384—322 гг. до н. э.) не видел никакой связи между пространством и тем, что в нем находится. Еще в древности высказывались гениальные догадки о существовании атомов (древнегреческий философ Демокрит, около 460—370 гг. до н. э.), бесконечности пространства (Демокрит и древнеримский поэт и философ Тит Лукреций Кар, около 99—56 гг. до н. э.), движении Земли вокруг Солнца (Аристарх Самосский, около 310—250 гг. до н. э.) и т. д. Но именно геоцентрическая система мира и неразрывно связанная с ней физика Аристотеля господствовали, опираясь на поддержку церкви, почти полторы тысячи лет.

Решительный отказ от многовекового противопоставления «земного» и «небесного», а также от отождествления видимых и истинных явлений содержится в гелиоцентрической системе, созданной одним из титанов эпохи Возрождения польским астрономом Николаем Коперником (1473—1543). Высоко оценив значение открытия Коперника, Ф. Энгельс сказал, что от Коперника «начинает свое летосчисление освобож-

дение естествознания от теологии» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч.— Т. 20.— С. 347).

Все последующее развитие астрономической науки (Джордано Бруно, Галилео Галилей, Иоганн Кеплер, Исаак Ньютон, М. В. Ломоносов) свидетельствует о том, что Коперник предвозвестил великую общенаучную революцию, подготовил необходимую почву для ее осуществления. В этой революции огромная роль принадлежит трудам Ньютона, который 300 лет назад (1687 г.) опубликовал знаменитые «Математические начала натуральной философии». Эта книга содержала не только стройное здание классической механики, но и динамическое обоснование представлений Коперника об устройстве Солнечной системы. Как известно, именно в «Началах» сформулированы три закона механики и закон всемирного тяготения, из которого выведены законы Кеплера. Без «Начал» невозможно представить появление и развитие небесной механики (и, в частности, завершение в 1825 г. Лапласом пятитомной «Небесной механики»). Заметим, что небесная механика развивается и совершенствуется и в наши дни, что во многом связано с потребностями космонавтики.

Применение ко всей Вселенной законов классической физики (и, в частности, законов ньютоновской механики) привело к необъяснимым, парадоксальным заключениям. Один из парадоксов классической космологии, в основе которой был закон всемирного тяготения, получил название гравитационного. Обратили внимание на этот парадокс в XIX в., а состоит он в следующем. Парадокс возникает при попытке вычислить силу тяготения, с которой масса всей бесконечной Вселенной действует на пробное тело.

Полагая, что звезд во Вселенной бесконечно много и что они почти равномерно распределены в пространстве (число их растет пропорционально кубу расстояния), можно доказать, что сила всемирного тяготения в каждой точке пространства может принимать совершенно неопределенное значение. Например, если расположить пробную массу в центре изолированного от всей Вселенной шарового объема, равномерно заполненного массивными частицами, решение получится нулевое; равнодействующая всех сил, действующих на такую пробную массу, будет (в силу симметрии) равна нулю. Результат не изменится и от прибавления любого числа сферических слоев, охватывающих первоначально выбранный объем, поскольку никакая сферически-симметричная материальная оболочка не создает во внутренней полости гравитационного поля. Но если пробную массу поместить не в центр однородного шара, а, допустим, на его поверхность, сразу же окажется, что сила, действующая на пробное тело со стороны заключенного в шаровом объеме вещества, будет иметь вполне определенное значение (которое, согласно закону всемирного тяготения, пропорционально массе шара и обратно пропорционально квадрату его радиуса). Значение этой силы, очевидно, не изменится по мере того, как мы будем добавлять к шару все новые и новые внешние сферические оболочки. Но «первоначальный шар» мы можем выбрать любого радиуса. Следовательно, значение силы, действующей на пробную массу, тоже может оказаться любым...

В действительности, конечно, ничего подобного не наблюдается. Поэтому нужно было найти объяснение парадокса. И первые безуспешные попытки сводились к видоиз-

менению самого закона всемирного тяготения и выдвигению гипотез, которые со временем стали достоянием истории науки. На самом деле гравитационный парадокс был одним из сигналов того, что требовалось не уточнение классической физики, а создание новой теории тяготения. Такой теорией стала общая теория относительности Альберта Эйнштейна (1879—1955). Эйнштейн работал над этой теорией 10 лет (1905—1915).

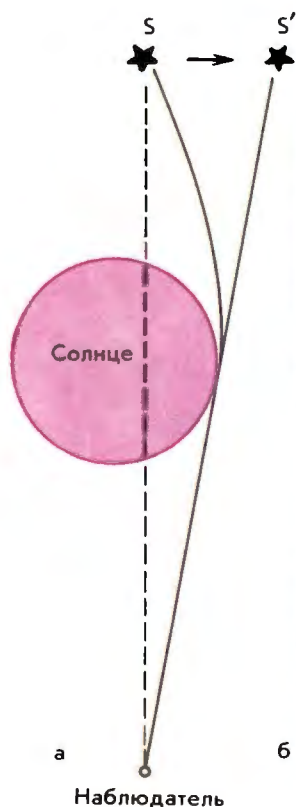
В школьный курс физики включены основы специальной теории относительности (дается представление о четырехмерном пространстве-времени, зависимости массы от скорости и, конечно, о знаменитом законе Эйнштейна: $E = mc^2$). Основы общей теории относительности (ОТО) в школе не изучаются, но именно эта теория положена в основу релятивистской космологии, пришедшей на смену классической. Как известно, гравитация действует на все материальные тела. Она поистине вездесуща, и единственное, что можно сравнить с ней по вездесущности, — это пространство-время.

Эйнштейн предположил, что связующим звеном между гравитацией (тяготением) и пространством-временем является... геометрия! Материальные тела искривляют пространство-время, подобно тому как массивный шарик вызывает прогибание растянутой пленки. На такой искривленной пленке какой-нибудь легкий шарик уже не сможет двигаться равномерно и прямолинейно (он скатится в ложбинку, образованную тяжелым шариком, как бы притягиваясь к нему). В общей теории относительности тяготение рассматривается как следствие искривления пространства-времени. Материя не погружена в независимые от нее пространство и время, как считали

античные философы и как учила классическая физика, а неразрывно связана с пространством-временем.

Основные идеи общей теории относительности облечены в форму системы из десяти уравнений. Эти уравнения сложны (дифференциальные уравнения в частных производных), их понимание требует большой математической подготовки (надо быть знакомым с неевклидовыми геометриями, тензорным исчислением и т. д.). Интересующиеся могут попытаться разобраться в уравнениях Эйнштейна хотя бы по книге И. А. Климишина «Релятивистская астрономия» (М.: Наука, 1983) или по другим книгам, а мы остановимся лишь на тех выводах из уравнений ОТО, которые важны для космологии.

Надо сказать, что вскоре после появления ОТО новая теория привлекла внимание астрономов, физиков, математиков. Например, в 1916 г. немецкий астроном Карл Шварцшильд применил уравнения Эйнштейна к исследованию движения материальной точки относительно массивного тела и изучению распространения лучей света вблизи массивного тела. Из уравнений ОТО, как и из механики Ньютона, следует, что планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам. Но эллипсы медленно вращаются в пространстве в ту же сторону, в которую по ним движутся планеты. Результатом этого является смещение перигелиев орбит (оно максимально у Меркурия и достигает 43" в столетие!). Теория тяготения Эйнштейна легко устранила расхождение между ньютоновской теорией движения Меркурия и наблюдаемым смещением перигелия орбиты планеты. Эта же теория, естественно, устранила гравитационный парадокс, которого в ОТО просто нет. Дело здесь связано



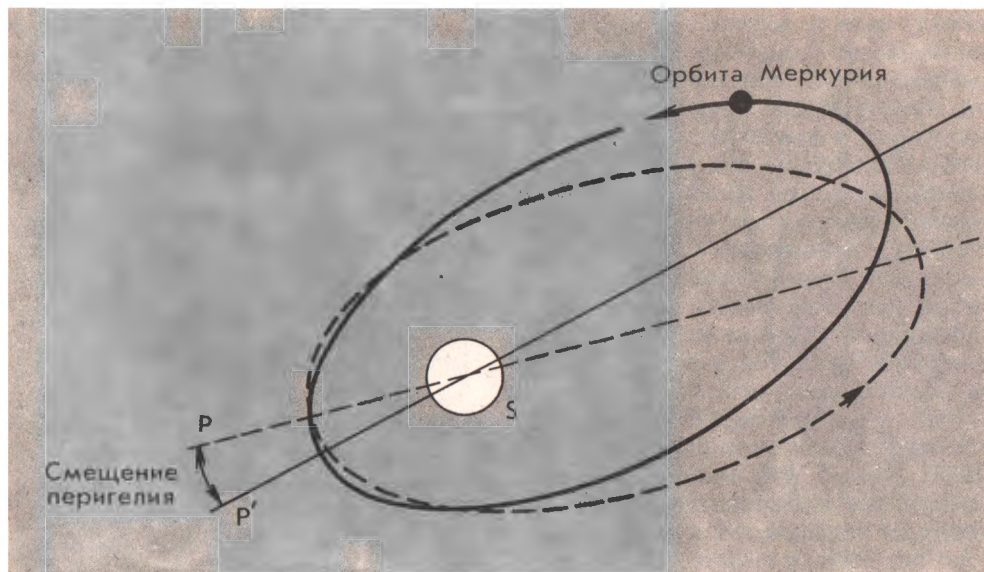
Отклонение света звезды в поле тяготения Солнца:

a — схема, поясняющая возможность обнаружения данного эффекта во время полного солнечного затмения; *б* — одна из первых фотографий (негатив), полученная выдающимся астрономом Артуром Эддингтоном 29 мая 1919 г. На этом снимке короткими черточками выделены звезды, для которых были выполнены измерения. Данные эксперимента оказались в удовлетворительном согласии с теоретическими предсказаниями, сделанными Эйнштейном.

с коренным отличием ньютоновской теории тяготения от эйнштейновской. В первой вычисляют силу тяготения в абсолютном пространстве, т. е. находят вектор силы (или вектор равнодействующих сил), действующей на данную звезду (галактику и т. д.). В ОТО не существует абсолютного пространства и вообще не требуется вычислять силы, потому что из уравнений Эйнштейна в готовом виде получаются относительные ускорения и

скорости. Следовательно, с «исчезновением» абсолютного пространства и абсолютных сил тяготения исчезает и гравитационный парадокс.

Хорошее согласие дают наблюдения и теория, когда во время полных солнечных затмений измеряется угол, на который смещены изображения звезд, оказавшихся рядом с Солнцем на небесной сфере. Теория предсказывает, что под действием притяжения Солнца лучи звезд искривляются и изображения долж-



Смещение перигелия орбиты Меркурия. При обращении планеты вокруг Солнца перигелий ее орбиты непрерывно смещается. На рисунке показано направление смещения, но масштаб, конечно, не выдержан: за 100 лет угол поворота достигает $575''$ ($\sim 0,16^\circ$), из которых угол примерно $532''$ объясняется возмущением со стороны других планет, а угол в $43''$ — релятивистский эффект, получивший объяснение в теории тяготения Эйнштейна.

ны смещаться на величину $1,75''$.

В настоящее время известны и другие эффекты, которые предсказаны теорией тяготения Эйнштейна и открытие которых подтверждает правильность этой теории. Нас интересуют те выводы из ОТО, которые имеют непосредственное отношение к учению о Вселенной как целому, т. е. к космологии. Однако, перед тем как рассказать о них, необходимо подчеркнуть, что рождение релятивистской космологии пришлось на время, когда мало что было известно о крупномасштабной структуре Вселенной, а в целом Вселенную все

мыслили, включая Эйнштейна, статичной, неизменных размеров. К статичной Вселенной Эйнштейн пытался специально приспособить свои уравнения, введя в них, кроме сил тяготения, силы отталкивания (см. гл. III, § 1).

Идея о том, что Вселенная в целом может оказаться нестатичной, не сразу получила признание. Выдающаяся роль в доказательстве того, что мы живем в нестатичной Вселенной, принадлежит советскому математику, метеорологу и космологу Александру Александровичу Фридману (1888—1925).

§ 2. КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Построение различных моделей (моделирование) относится к одному из важных путей познания объек-

тивно существующего мира. Объекты, явления и процессы, происходящие во Вселенной, очень сложны.

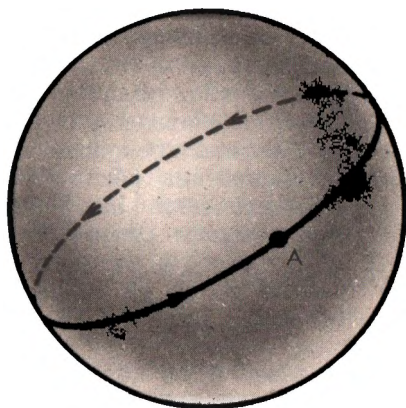
Моделирование позволяет выделить наиболее существенные, характерные черты этих процессов, отвлекаясь от множества второстепенных деталей. В астрофизике и космологии моделирование применяется очень часто. Например, модели внутреннего строения планет, Солнца и звезд разных типов дают представление о том, каким образом в этих небесных телах с глубиной изменяются температура, плотность, давление и химический состав.

Особое значение построение моделей имеет в космологии. Как уже говорилось, Эйнштейн построил на основе своей теории космологическую модель статичной Вселенной. Исходной гипотезой, упрощающей задачу, было предположение о том, что Вселенная однородна и изотропна. От этих предположений не отказывается и современная космология. По существу, предполагается, что в больших масштабах и во всех направлениях с любой галактики Вселенная выглядит практически одинаково. Данные о крупномасштабной структуре Вселенной делают обоснованной гипотезу о том, что в огромных масштабах (в масштабах сверхскоплений галактик) Вселенная однородна. Но во времена Эйнштейна подобных данных не было и гипотеза об однородной и изотропной Вселенной представлялась очень далекой от реальности.

В 1922 г. А. А. Фридман доказал, что статичный «мир Эйнштейна» всего лишь частный случай решения уравнений ОТО. В общем же случае эти уравнения приводят не к статич-

ным моделям, а к моделям, зависящим от времени. Однородная и изотропная Вселенная, заполненная материей, должна эволюционировать, т. е. непрерывно изменяться со временем.

Выводы, полученные Фридманом, показались неправдоподобными самому Эйнштейну. «Результаты относительно нестационарного мира,— писал Эйнштейн в 1922 г.,— содержащиеся в упомянутой работе (А. Фридман. «О кривизне пространства». — *Е. Л.*), представляются мне подозрительными». За этими словами в заметке Эйнштейна следовали еще несколько строк, которые, по мнению Эйнштейна, ясно вскрывали ошибку в работе Фридмана. Но вскоре Эйнштейн был вынужден признать, что он сам оказался не прав. Это случилось в 1923 г. В то же время в Берлине находился профессор Ю. А. Крутков, которого Фридман попросил встретиться с Эйнштейном. Ю. А. Крутков выполнил просьбу Фридмана, хотя ему не без труда удалось убедить Эйнштейна в правоте советского ученого. Вот какую заметку («К работе А. Фридмана «О кривизне пространства») опубликовал А. Эйнштейн в 1923 г.: «В предыдущей заметке я подверг критике названную выше работу. Однако моя



Вселенная Альберта Эйнштейна стационарная, возможно, конечная, но неограниченная. Луч света в такой вселенной, выйдя из какой-нибудь точки А, возвращается в ту же точку. Именно это и поясняет рисунок (на сфере большой круг подобен прямой на плоскости).



а



б

Реальная Вселенная оказалась иной: она, как и предсказал А. А. Фридман, расширяется. Рисунок поясняет, как видно расширение Метагалактики из различных галактик: расширение Метагалактики с точки зрения наблюдателя, находящегося в нашей Галактике (Млечный Путь); б) расширение Метагалактики с точки зрения наблюдателя, находящегося в некоторой другой галактике. Векторы скоростей удаляющихся галактик изображены в соответствии с законом Хаббла (скорость удаления пропорциональна расстоянию независимо от местоположения наблюдателя).

критика, как я убедился из письма Фридмана, сообщенного мне г-ном Крутковым, основывалась на ошибке в вычислениях. Я считаю результаты г. Фридмана правильными и проливающими новый свет. Оказывается, что уравнения поля допускают наряду со статическими также и динамические (то есть переменные относительно времени) центрально-симметричные решения для структуры пространства».

Приведенный полный текст второй заметки Эйнштейна по поводу работы Фридмана прекрасно характеризует Эйнштейна как истинного ученого и человека. Ему нелегко было отказаться от своей убежденности в статичности (стационарности) Вселенной, но он сделал это, когда осознал правоту А. А. Фридмана.

Мы знаем, что в конце 20-х гг. астрономические наблюдения (крас-

ное смещение в спектре галактик) позволили сделать однозначный вывод: Метагалактика расширяется. Фридман пришел к тому же выводу.

Отметим, что нестационарные (нестатичные) решения Фридмана соответствуют трем различным возможным значениям кривизны пространства ($k=0$, $k>0$, $k<0$ величины, имеющие размерность, обратную квадрату длины).

1. $k=0$; расширяющееся (плоское и бесконечное) трехмерное евклидово пространство, двумерный аналог которого — плоскость.

2. $k>0$; пульсирующее (расширяющееся и сжимающееся) трехмерное неевклидово пространство с положительной кривизной (своеобразный «сферический мир», объем которого конечен, но ни центра, ни границ у этого мира нет; луч света из любой точки сферического мира когда-нибудь должен обязательно

вернуться в эту же точку с противоположной стороны...).

3. $k < 0$; монотонно расширяющееся неевклидово трехмерное пространство с отрицательной кривизной (бесконечный «гиперболический мир», двумерный аналог которого — поверхность седла).

Подчеркнем два существенных обстоятельства, касающихся кривиз-

ны пространства.

Во-первых, в однородной Вселенной всегда в один и тот же момент времени значение k постоянно.

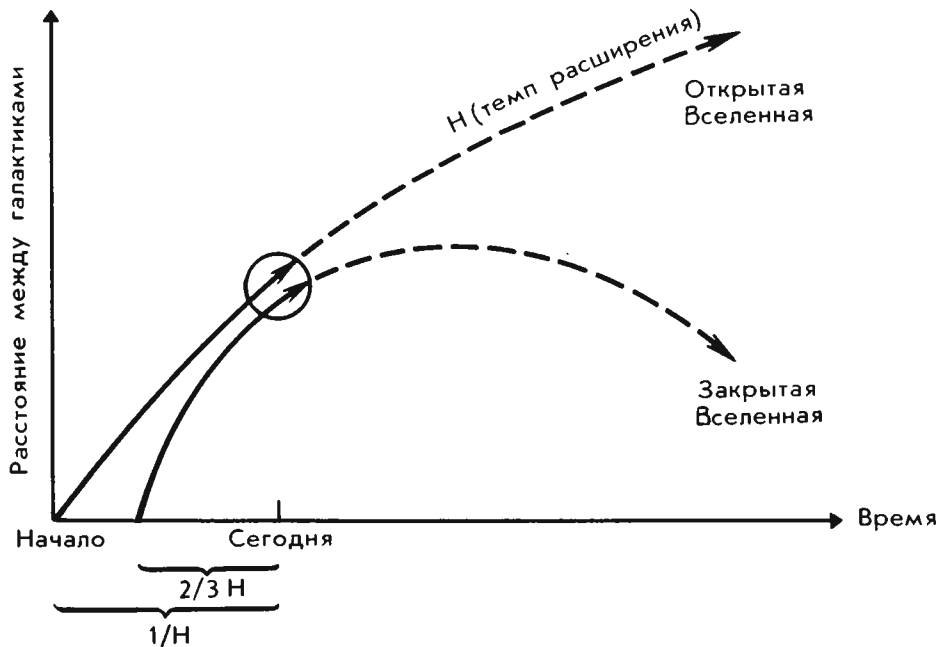
Во-вторых, k зависит от H и плотности вещества ρ (причем зависимость такова, что, несмотря на изменение H и ρ со временем, кривизна пространства k остается одной и той же).

§ 3. МОЖНО ЛИ ДОВЕРЯТЬ КОСМОЛОГИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ?

Поскольку «судьба» Метагалактики зависит от средней плотности вещества в ней, то, казалось бы, нужно лишь определить $\bar{\rho}$, и тогда станет ясно, вечно ли будет происходить расширение или оно сменится сжатием. Однако найти истинное значение $\bar{\rho}$ на самом деле трудно. Для этого нужно прежде всего оценить среднюю плотность вещества, наблюдаемого в галактиках. Оказалось, что такая оценка возможна, так как удается подсчитать число галактик в единице объема и их суммарную массу. Принято считать, что такой подсчет приводит к значению $\rho = (3 \div 5) \cdot 10^{-28} \text{ кг/м}^3 \approx 10^{-28} \text{ кг/м}^3$. Хочется немедленно сравнить ρ и $\rho_{кр}$. Зная, что $\rho_{кр} = \frac{3H^2}{8\pi a}$, находим, что при $H = 75 \text{ км/(с} \cdot \text{Мпк)}$ $\rho_{кр} \approx 10^{-26} \text{ кг/м}^3$. Но из полученного неравенства ($10^{-28} \text{ кг/м}^3 < 10^{-26} \text{ кг/м}^3$) нельзя, к сожалению, сделать вывод, что мы живем в «открытом» мире. И дело не в том, что ошибочно найдено значение $\bar{\rho}$. Его можно получить и другими способами. Например, несколько лет назад группа американских астрономов выполнила исследование динамики сверхскоплений галактик в созвездиях Волоса и Геркулеса. Эти сверхскопления удалены от нас на расстояния порядка 700 Мпк, имеют линейные размеры порядка

100 Мпк и содержат по 10—20 скоплений галактик. Астрономам удалось определить среднюю плотность вещества в каждом из сверхскоплений. Она оказалась равной $5 \cdot 10^{-27} \text{ кг/м}^3$. Ясно, что средняя плотность материи в Метагалактике должна быть меньше, чем внутри сверхскоплений (в пространстве между сверхскоплениями отдельных галактик заведомо меньше, чем внутри их). Подобные данные нуждаются в подтверждении и распространении на другие сверхскопления, но они свидетельствуют о реальности значения $\bar{\rho} \approx 10^{-28} \text{ кг/м}^3$. И все-таки разумно считать, что это значение — нижняя граница плотности Метагалактики, поскольку в Метагалактике могут существовать различные невидимые резервуары вещества с неизвестными нам запасами.

Вполне возможно, что, кроме невидимых звезд в галактиках, существует «скрытая» масса вещества в скоплениях галактик. Каковы основания для последнего подозрения? Масса скопления галактик M_b определяется по формуле $M_b = \frac{\bar{v}^2 R}{G}$, где \bar{v} — средняя скорость членов скопления, а R — радиус скопления. Это следует из условия гравитационной устойчивости скопления, а оно требует, чтобы потенциальная энергия равнялась удвоен-



Основные фридмановские модели Вселенной.

ной кинетической энергии членов скопления ($2E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}} = 0$ — «теорема о вириале»). Фактическая масса галактик $M_{\text{ф}}$, измеренная методами практической звездной астрономии, значительно меньше той, которую дает теория $M_{\text{б}}$. Чтобы объяснить, почему $M_{\text{ф}} < M_{\text{б}}$, предложили гипотезу о «скрытой» массе, под которой подразумеваются завершившие свой жизненный путь невидимые («мертвые») галактики, газ вокруг галактик, межгалактический газ и т. д.

Разумеется, никто никогда «мертвых» галактик не видел, хотя нет ничего неправдоподобного в гипотезе об их существовании. Имеются данные о наличии газовых корон у крупных галактик и газа в скоплениях галактик. Так, например, наблюдения, выполненные в рентгеновском диапазоне (также наблюдения прово-

дятся с помощью приемников рентгеновского излучения, устанавливаемых на искусственных спутниках Земли), свидетельствуют о том, что вокруг некоторых гигантских галактик существуют большие массы горячего газа с температурой порядка 10^7 К. В короне нашей Галактики также есть газ. Он, в частности, сосредоточен в облаках водорода, которые еще в 60-х гг. были обнаружены известным голландским астрономом Я. Оортом. Это, скорее всего, относительно холодный газ (его температура не превышает 10^5 К).

Горячий газ (10^6 — 10^8 К) открыт и в скоплениях галактик. Его плотность в центре скоплений галактик в 10^2 — 10^4 раз меньше плотности межзвездного газа в нашей Галактике. Однако в скоплениях галактик этого сверхразреженного вещества набирается очень много (10^{13} — 10^{14}

масс Солнца). Такого же порядка суммарная масса звезд, образующих галактики, входящие в скопления. Но, чтобы надежно «обеспечить» устойчивость скоплений галактик, даже столь солидной газовой добавки недостаточно — нужно, чтобы масса галактик в скоплениях была бы на порядок больше той, которой они обладают. Иными словами, невидимой и скрытой от нас остается примерно 90% массы вещества в скоплениях галактик.

Таким образом, если бы мы знали, какова масса невидимых звезд и галактик, определили бы массу невидимого газа и учли наличие космических лучей, то, вероятно, получили бы значение $\bar{\rho}$, превышающее $\rho_{кр}$. Впрочем, возможны и другие запасы «скрытой» массы.

Один из них — нейтрино. В 1980 г. появилась надежда связать вопрос о выборе между открытой и закрытой моделями Вселенной с проблемой реликтовых нейтрино, т. е. с судьбой тех нейтрино (электронные нейтрино и антинейтрино), которые родились в горячей плазме на самых ранних стадиях расширения Метагалактики. Дело в том, что группа советских физиков во главе с В. А. Любимовым выполнила обширную серию экспериментов, которые как будто бы свидетельствуют о ненулевой массе нейтрино. Если масса покоя нейтрино действительно отлична от нуля, то во Вселенной могут существовать огромные нейтринные запасы. Легко оценить эту «скрытую» массу невидимой материи. По данным московских физиков, масса покоя нейтрино порядка $5 \cdot 10^{-32}$ г, т. е. каждая частичка электронного нейтрино (так называют нейтрино, рождающиеся в паре с электронами при распаде мюонов) в 20 000 раз меньше массы электрона. Но таких сверхлегких частиц очень много. И хотя масса

каждой из них в десятки миллионов раз меньше массы протона, общая масса нейтрино может в 30 раз превысить массу обычного вещества (на один протон приходится почти миллиард нейтрино, а масса этого миллиарда частичек в 30 раз больше массы одного протона)!

Космологические следствия этой новой нейтринной ситуации были предсказаны академиком Я. Б. Зельдовичем и некоторыми другими учеными еще в 1966 г. Независимо от наличия или отсутствия у нейтрино массы покоя (этот вопрос и до сих пор нельзя считать окончательно решенным) в настоящее время в каждом кубическом сантиметре должно содержаться около 200 реликтовых нейтрино. Но если эти частички «весомы», то простое умножение массы каждой из них на число частиц в 1 см^3 дает плотность нейтрино, равную 10^{-29} г/см^3 или 10^{-26} кг/м^3 . Эта величина совпадает со значением средней критической плотности. Иными словами, если бы во Вселенной не было бы никакой материи, кроме нейтрино, то и тогда судьба космологического расширения была бы почти предрешена. Но на самом деле существует еще и обычное вещество! Следовательно, если масса покоя нейтрино отлична от нуля, то расширение Метагалактики должно смениться сжатием... Однако очень трудно уловить слабовзаимодействующие с веществом нейтрино. Это относится и к нейтрино, которые должны возникать в результате термоядерных реакций, происходящих внутри нашего Солнца и других звезд, и к реликтовым нейтрино, сохранившимся от эпохи Большого Взрыва (см. гл. II, § 4).

К числу перспективных методов регистрации нейтрино относится метод акустической регистрации. Еще в начале 60-х гг. академик М. А. Мар-

ков предложил использовать океан в качестве нейтринного детектора. Эта идея лежит и в основе проекта ДЮМАНД (Deep Underwater Muon and Neutrino Detection — глубоководная регистрация мюонов и нейтрино). Согласно проекту ДЮМАНД, специальные фотоумножители, регистрирующие оптическое (черенковское) излучение от ливня заряженных частиц, которое возникает при прохождении нейтрино высокой энергии сквозь водную толщу, должны быть установлены на огромной глубине (около 5 км). Но оказывается, нейтрино способны породить не только оптическое излучение, но и звук. Соответствующая идея была обоснована советским физиком Г. А. Аскарьяном еще в 1957 г., а в дальнейшем более детально разработана им, Б. А. Долгошеиным и другими учеными. Экономически во много раз выгоднее вместо дорогостоящих фотоумножителей, которые необходимы для осуществления проекта ДЮМАНД, воспользоваться дешевыми ультразвуковыми пьезодатчиками, позволяющими прослушать большие объемы воды. Дело в том, что ливень заряженных частиц, порожденных пролетом нейтрино, буквально нагревает воду, в которой он распространяется. Это нагревание и возникновение микроскопических пузырьков вызывают расширение воды, рождая быстротатающий звук высокой частоты и звук низкой частоты (10^4 — 10^5) Гц, способный распространяться перпендикулярно оси ливня на сотни метров. Такие низкочастотные звуковые волны и могут быть зарегистрированы, превращены в электрические сигналы и переданы на ЭВМ.

До сих пор мы говорили о различных сторонах проблемы непосредственного определения $\bar{\nu}$. Но уже давно предпринимаются попытки

сделать выбор между различными космологическими моделями, используя обходные пути. Например, остроумными способами из оптических и радионаблюдений внегалактических объектов пытались определить знак кривизны пространства, но из-за многих трудностей уверенного результата получить не удалось.

Академик Я. Б. Зельдович обратил внимание на эффект, который может быть обнаружен в однородной Вселенной. Мы привыкли к тому, что чем дальше от нас данное небесное тело, тем под меньшим углом мы его видим. Например, угол, под которым видно Солнце с Земли, больше, чем угол, под которым Солнце видно с Плутона. Но иной получится картина, если мы будем рассматривать два объекта, находящихся от нас на разных расстояниях, но погруженных вместе с нами в некую однородную среду, например в прозрачный межгалактический газ. Этот газ будет своим притяжением изгибать лучи света от наблюдаемого светила (подобно тому, как Солнце изгибает лучи света от звезд, оказавшихся поблизости от него на небесной сфере). С учетом этого результат наблюдения может оказаться парадоксальным. Объект, находящийся дальше от нас, мы будем видеть под углом большим, чем тот, под которым с меньшего расстояния виден объект такого же размера. Эффект этот, конечно, очень тонкий, и обнаружить его будет трудно (вспомните, что при солнечных затмениях наблюдаемое отклонение лучей света звезд близко к $1,75''$), но он может представить интерес для наблюдательной космологии.

Теперь, наконец, можно вернуться к вопросу, поставленному в заглавии этого параграфа: можно ли доверять космологическим моделям?

Думается, что исходя из всего сказанного нужно следующим образом ответить на этот вопрос. Наблюдения подтверждают, что в больших масштабах Метагалактику можно рассматривать как однородную и изотропную среду. Следовательно, оправданы те допущения, которые лежат в основе релятивистской космологии. Подтверждена астрономическими наблюдениями (смещение перигелия Меркурия, отклонение лучей звезд в поле тяготения Солнца и др.) и различными физическими экспериментами общая теория относительности А. Эйнштейна. Следовательно, релятивистская космология имеет все основания опираться на ОТО.

Теория Большого Взрыва, которой будут посвящены следующие параграфы и которая сейчас имеет очень серьезное обоснование, тоже может рассматриваться как свидетельство в пользу фридмановской космологии.

Таким образом, мы можем довериться тем выводам (предсказаниям), которые получены А. А. Фридманом. Но этих выводов (моделей Вселенной) несколько, а к Метагалактике, в которой мы живем, применим, очевидно, только один из них. Какой именно, мы сказать еще пока не можем, ибо пока колеблется «чаша весов», на которую помещают все новые и новые данные наблюдений. Психологически мы должны быть готовы к тому, что живем либо в «открытом», либо в «замкнутом» (неевклидовом) мире. И в соответствии с этим мы и будем рассматривать возможные сценарии грядущей истории Вселенной.

И еще. Думается, что не имеет смысла утаивать появление теорий тяготения, отличных от теории Эйнштейна. Мы уже неоднократно подчеркивали, что современная реляти-

вистская космология основывается на теории тяготения Эйнштейна. Эта теория имеет убедительные экспериментальные подтверждения (астрономические наблюдения эффектов, предсказанных ОТО; прекрасно согласующаяся с наблюдениями, недавно разработанная релятивистская теория движения планет; ряд физических экспериментов).

Однако не все физики считают, что теория тяготения Эйнштейна непогрешима и не может быть заменена другой, более совершенной, с их точки зрения, теорией. Например, в нашей стране разработкой такой теории занимается в МГУ им. М. В. Ломоносова, академик Российской академии наук А. А. Логунов. Отдавая должное ОТО как одному из важнейших этапов в изучении гравитации, он создает свою теорию — релятивистскую теорию гравитации (РТГ). Она строится на основе фундаментальных законов сохранения энергии-импульса и момента количества движения для вещества и гравитационного поля, вместе взятых.

В РТГ, как и в ОТО, материя и пространство рассматриваются в единстве. Вместе с тем геометрия, как подчеркивает А. А. Логунов, «определяется не на основе изучения движения света и пробных тел, а на основе обобщения динамических свойств материи — ее законов сохранения, которые не только имеют фундаментальное значение, но и экспериментально проверяемы». Важная особенность РТГ состоит в том, что ее уравнения (их 14) позволяют четко отличать силы инерции от сил гравитационных.

Заметим, что из РТГ следуют весьма существенные космологические выводы, касающиеся геометрии реальной Вселенной, «скрытой» массы, характера гравитационного кол-

лапса (при котором исключается существование черных дыр как объектов, не имеющих материальной поверхности) и т. д. В будущем новые данные физических экспериментов и астрофизических наблюдений внесут ясность не только в дис-

куссию о теории тяготения (интересующихся этой дискуссией адресуем к статье В. Л. Гинзбурга, включенной в список рекомендуемой литературы), но и в наши представления о строении и эволюции Вселенной.

§ 4. СЦЕНАРИЙ ДАЛЕКОГО ПРОШЛОГО

Нас будет интересовать эпоха, которая отделена от нынешней на 13—20 млрд. лет (20 млрд. лет соответствуют возрасту Метагалактики, равному H^{-1} и вычисленному в предположении «открытого мира», а 13 млрд. лет получаются в случае «закрытого мира», когда возраст равен $\frac{2}{3} H^{-1}$). Поскольку все это время наша Вселенная расширялась и плотность ее непрерывно уменьшалась, в прошлом плотность должна была быть очень большой. Следовательно, мы уже кое-что знаем об одном параметре материи, которая существовала на ранней стадии расширения Вселенной.

Из теории Фридмана следует, что в прошлом плотность могла быть бесконечно большой. На самом деле, как мы увидим дальше, существует некоторый предел значения плотности ($\approx 10^{97}$ кг/м³). Здесь же только заметим, что сценарий, которому посвящен этот параграф, имеет своим началом плотность, близкую к плотности атомного ядра ($\approx 10^{17}$ кг/м³). Следовательно, сценарий, представляющий собой описание последовательности важнейших эволюционных событий, будет начинаться чуть позже начала расширения Метагалактики.

Для создания сценария, конечно, недостаточно знать только плотность материи. Нужны и другие параметры, из которых наиболее важным, пожалуй, является температура. Вопрос о том, холодной или

горячей была материя в ту отдаленную от нас эпоху, долгое время оставался спорным. Приводились доводы в пользу обоих состояний. Решающее доказательство того, что в прошлом Вселенная была горячей, удалось получить лишь в середине 60-х гг. (см. гл. II, § 5).

В настоящее время подавляющее большинство космологов считают, что в начале расширения Вселенной материя была не только очень плотной, но и очень горячей. А теория, рассматривающая физические процессы, происходившие на ранних стадиях расширения Вселенной, начиная с первой секунды после «начала», получила название теории «горячей Вселенной». Согласно этой теории, ранняя Вселенная напоминала гигантский ускоритель «элементарных» частиц. Слово «элементарных» взято в кавычки, так как наши представления о кирпичиках материи довольно быстро изменяются. Если раньше к числу элементарных частиц уверенно относили протоны и нейтроны, то сейчас эти частицы относят к числу составных, построенных из кварков (см. гл. III, § 1).

Началом работы вселенского ускорителя частиц был Большой Взрыв. Этот термин очень часто применяют сегодня космологи. Наблюдаемый разлет галактик и скоплений галактик — следствие Большого Взрыва. Однако Большой Взрыв, который академик Я. Б. Зель-

дович назвал астрономическим, качественно отличается от каких-либо химических взрывов. У обоих взрывов есть черты сходства: например, в обоих случаях вещество после взрыва охлаждается при расширении, падает и его плотность. Но есть и существенные отличия. Главное из них заключается в том, что химический взрыв обусловлен разностью давлений, которая существует между давлением во взрывающемся веществе и давлением в окружающей среде (воздухе). Эта разность давлений создает силу, которая сообщает ускорение частицам заряда взрывчатого вещества. В астрономическом взрыве подобной разности давлений не существует. В отличие от химического астрономический взрыв не начался из определенного центра (и потом стал распространяться на все большие области пространства), а произошел сразу во всем существовавшем тогда пространстве. Представить себе это очень трудно, тем более что «все пространство» могло быть в начале взрыва конечным (в случае замкнутого мира) или бесконечным (в случае открытого мира)...

Пока мало что известно о том, что происходило в первую секунду после начала расширения (см. гл. III, § 2), и еще меньше о том, что было до начала расширения. Но к счастью, это незнание не явилось помехой для очень детальной разработки теории «горячей Вселенной» и сценарий, к рассмотрению которого мы сейчас переходим, основан не на умозрительных рассуждениях, а на строгих расчетах.

Итак, в результате Большого Взрыва 13—20 млрд. лет назад начал действовать уникальный ускоритель частиц, в ходе работы которого непрерывно и стремительно сменяли друг друга процессы рождения и ги-

бели (аннигиляция) разнообразных частиц. Как мы увидим в главе III, эти процессы во многом определили всю последующую эволюцию Вселенной, нынешний облик нашей Вселенной и создали необходимые предпосылки для возникновения и развития жизни.

Сценарий «горячей Вселенной» содержит несколько основных фрагментов, каждый из которых называют эрами. Придуманы названия этим эрам — эра адронов, эра лептонов, эра фотонов (или эра радиации) и эра вещества.

Эра адронов длилась примерно от $t=10^{-6}$ до $t=10^{-4}$ с ($t=0$ соответствует моменту отсчета времени начала расширения и начала отсчета времени существования Метагалактики). О том, что творилось в адронной эре, можно в какой-то мере судить по плотности (порядка 10^{17} кг/м³) и температуре (порядка 10^{12} К). Атомов химических элементов тогда еще, конечно, не было. Но уже существовали нуклоны (протоны и нейтроны), мюоны, электроны и нейтрино различных типов (электронные, мюонные, тау-нейтрино). Важно, что существовали также античастицы всех перечисленных частиц (антипротоны, антинейтроны, антимюоны, позитроны, антинейтринно соответствующих типов). Наконец, существовало и электромагнитное излучение (фотоны), которое в то время находилось в равновесии (термодинамическом) с веществом. Можно сказать, что число частиц и античастиц вещества в единице объема было равно числу находящихся там же фотонов. Главным событием адронной эры был процесс аннигиляции нуклонов и антинуклонов. Эти частицы, как и некоторые другие тяжелые частицы, участвующие в сильном физическом взаимодействии (см. гл. III, § 1), объеди-

няются общим названием — адроны (от греч. *hadrós* — большой, сильный). Отсюда и название эры, о которой мы сейчас рассказываем. Если бы в единице объема содержалось равное количество нуклонов и антинуклонов, то в результате аннигиляции все эти частицы исчезли бы и мир стал бы совершенно иным. К счастью, этого не случилось: нуклонов было чуть больше, чем антинуклонов, и Вселенная не осталась без строительного материала для ядер будущих атомов (см. гл. III, § 2).

Эра лептонов длилась примерно от $t=10^{-4}$ до $t=10$ с. К концу этой эры температура уменьшилась до 10^9 К, а плотность стала «всего» лишь 10^7 кг/м³. Лептоны — класс частиц, которые не участвуют в сильном физическом взаимодействии. Это преимущественно легкие частицы (слово лептоны происходит от греч. *leptós* — тонкий, легкий), например электроны, некоторые мюоны, нейтрино (и соответствующие античастицы). В начале лептонной эры аннигилировали мюон — антимюонные пары, а затем — электроны с позитронами ($e^- + e^+ \rightarrow \nu + \bar{\nu}$). В результате, во-первых, качественно изменился состав плазмы. Во-вторых, приобрели самостоятельность нейтрино, которые начиная с этого времени перестали участвовать во взаимодействиях и при дальнейшем расширении Вселенной сохранили свою самостоятельность (среда стала прозрачной для нейтрино). Следовательно, в принципе можно обнаружить эти древнейшие (реликтовые) нейтрино и получить дополнительную информацию о процессах, происходивших в лептонной эре. Но, как мы знаем, нейтрино трудно уловить, и обнаружение реликтовых нейтрино — дело будущего. В-третьих, произошло перераспределение

энергии: после аннигиляции тяжелых частиц их энергия перешла к более легким частицам и тратилась на нагрев излучения, а после аннигиляции легких частиц освободившаяся энергия стала расходоваться в основном на повышение температуры излучения. Все было готово к наступлению новой эры — эры радиации (излучения). Остановимся еще на одном событии, которое произошло в конце лептонной эры и в начале эры радиации. Мы имеем в виду синтез ядер гелия (и дейтерия — тяжелого водорода). Эти ядра образовались путем слияния протонов и нейтронов, причем уже примерно через 100 с после начала расширения образовалось почти 25% ядер гелия (по массе), а остальной состав плазмы (около 75%) — ядра водорода. Подробнее вопрос о соответствующих термоядерных реакциях и о значении получившегося в ходе реакции соотношения гелия и водорода мы обсудим в главе III, § 2.

Эра радиации длилась от $t=10$ с примерно до 300 000 лет. К концу этой эры плотность стала 10^{-18} кг/м³, а температура уменьшилась до 3 000 К. Одно из важнейших событий произошло в конце этой эры. Его обычно называют «отрывом» излучения от вещества. А случилось вот что. Температура понизилась, энергия квантов излучения уменьшилась. Теперь уже кванты излучения не могли столь успешно, как раньше, ионизовывать атомы водорода. Создались условия, при которых присоединение электронов к протонам (рекомбинация) стало преобладать над отрывом электронов от протонов (ионизация). В результате среда стала прозрачной для излучения. Что же произошло потом?

Чтобы представить себе дальнейшую судьбу излучения, рассмотрим, чем вообще отличаются поведение

вещества и излучение в расширяющейся Метагалактике. Если плотность вещества $\rho_{\text{вещ}}$, то плотность его энергии покоя будет $\rho_{\text{вещ}}c^2$ (в соответствии с формулой Эйнштейна $E=mc^2$). С течением времени плотность энергии покоя $\rho_{\text{вещ}}c^2$ будет уменьшаться; при постоянной массе вещества закон изменения плотности энергии будет таким же, как и закон изменения плотности в расширяющемся объеме, т. е. $\rho_{\text{вещ}}c^2 \sim \frac{1}{R^3(t)}$.

Температуру вещества можно получить из рассмотрения адиабатического процесса для идеального газа:

$$T_{\text{вещ}} V^{\gamma-1} = \text{const},$$

где V — объем, $V \sim R^3(t)$ и $\gamma = 5/3$. Отсюда следует, что $T_{\text{вещ}}$ обратно пропорциональна $R^2(t)$, т. е.

$T_{\text{вещ}} \sim \frac{1}{R^2(t)}$. Число фотонов по мере расширения Метагалактики будет изменяться по такому же закону, как и плотность вещества, т. е.

$\frac{1}{R^3(t)}$, но энергия квантов света не остается постоянной. Двигаясь относительно вещества, они непрерывно теряют энергию: их энергия уменьшается в $1/R(t)$ раз. Поэтому закон изменения плотности энергии излучения ($\rho_{\text{изл}}c^2$) будет

$$\rho_{\text{изл}}c^2 \sim \frac{1}{R^4(t)}.$$

Значит, в расширяющейся Метагалактике излучение теряет свою энергию быстрее, чем вещество, при-

чем сразу же после начала расширения, когда $R(t)$ было мало, плотность энергии излучения превосходила плотность энергии покоя вещества. Закон изменения температуры излучения в расширяющейся Метагалактике ($T_{\text{изл}} \sim \frac{1}{R(t)}$) может быть

получен из формулы адиабатического процесса: $T_{\text{изл}} V^{\gamma-1} = \text{const}$, где отношение теплоемкостей $\gamma = 4/3$.

Сравнивая формулы $T_{\text{вещ}} \sim \frac{1}{R^2(T)}$ и

$T_{\text{изл}} \sim \frac{1}{R(t)}$, видим, что температура

излучения уменьшается со временем медленнее, чем температура вещества. Но времени прошло много, и потому если считать, что в эпоху «отрыва» излучения от вещества $T = 3\,000 - 4\,000$ К, то сейчас Вселенная должна быть заполнена излучением, температура которого $3 - 4$ К.

Эра вещества (или послерекомбинационная эра) длится до сих пор. После «отрыва» излучения от вещества наша Вселенная довольно спокойно расширялась, а главные события, происходившие в ней, были связаны с рождением галактик, звезд и планет. К настоящему времени некоторые звезды и планеты успели завершить свой жизненный путь, а на смену им пришли небесные тела второго или даже третьего поколения.

§ 5. А БЫЛ ЛИ БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ?

На этот вопрос современная наука дает совершенно определенный ответ: Большой Взрыв был! Вот что, например, написал по этому поводу академик Я. Б. Зельдович в 1983 г.: «Теория «Большого Взрыва» в настоящий момент не имеет сколько-нибудь заметных недостатков. Я бы даже сказал, что она столь же надежно установлена и верна,

сколько верно то, что Земля вращается вокруг Солнца. Обе теории занимали центральное место в картине мироздания своего времени, и обе имели много противников, утверждавших, что новые идеи, заложенные в них, абсурдны и противоречат здравому смыслу. Но подобные выступления не в состоянии препятствовать успеху новых теорий».

На чем основана уверенность в справедливости теории «горячей Вселенной»? Неужели существуют неопровержимые свидетельства в ее пользу?

Отвечая на эти вопросы, заметим, что имеется ряд данных, которые не противоречат теории «горячей Вселенной». К их числу относятся, например, данные о возрасте небесных тел. Мы знаем, что возраст Солнечной системы близок к 4,6 млрд. лет. Менее точно известен возраст самых старых звезд. Скорее всего, он близок к возрасту нашей и других галактик (10—15 млрд. лет). Следовательно, данные о возрасте небесных тел не противоречат данным о возрасте Метагалактики. Если бы, например, получилось, что время, прошедшее от Большого Взрыва, меньше, чем возраст Земли, Солнца или Галактики, то это следовало бы рассматривать как факты, противоречащие космологическим моделям Фридмана и теории «горячей Вселенной».

Данные радиоастрономии свидетельствуют о том, что в прошлом далекие внегалактические радиоисточники излучали больше, чем сейчас. Следовательно, эти радиоисточники эволюционируют. Когда мы сейчас наблюдаем мощный радиоисточник, мы не должны забывать о том, что перед нами его далекое прошлое (ведь сегодня радиотелескопы принимают волны, которые были излучены миллиарды лет назад). Тот факт, что радиогалактики и квазары эволюционируют, причем время их эволюции соизмеримо со временем существования Метагалактики, принято также рассматривать в пользу теории Большого Взрыва.

Важное подтверждение теории «горячей Вселенной» следует из сравнения наблюдаемой распространен-

ности химических элементов с тем соотношением между количеством гелия и водорода (около 25% гелия и примерно 75% водорода), которое возникло во времена первичного термоядерного синтеза.

И все-таки главным подтверждением теории «горячей Вселенной» считается открытие реликтового излучения. Для космологии это открытие имело фундаментальное значение. В истории наблюдательной космологии открытие реликтового излучения, пожалуй, сопоставимо по значению с открытием расширения Метагалактики. Что же это за излучение и как оно было открыто? По существу, мы уже с ним знакомы: ведь именно о нем шла речь в рассказе об эре радиации. Вспомним об «отрыве» излучения от вещества в эпоху, когда температура в расширяющейся Вселенной понизилась до 3 000—4 000 К. В ходе последующего расширения Вселенной температура излучения падала, но его характер (спектр) сохранился до наших дней, напоминая о далекой молодости Метагалактики. Вот поэтому советский астрофизик И. С. Шкловский предложил называть это излучение реликтовым. Таким образом, теория «горячей Вселенной» предсказывает существование реликтового излучения.

Еще в конце 40 — начале 50-х гг. в работах Г. А. Гамова, а затем его учеников Р. Альфера и Р. Германа содержались предполагаемые оценки температуры реликтового излучения (от 25 до 5 К). В 1964 г. советские астрофизики И. Д. Новиков и А. Г. Дорошкевич впервые выполнили более конкретные расчеты. Они сравнили интенсивность других источников (звезды, межзвездная пыль, галактики и т. д.) в сантиметровом диапазоне длин волн. Примерно в это же время груп-

на американских ученых во главе с Р. Дикке уже приступила к попыткам обнаружить реликтовое излучение, но их опередили А. Пензиас и Р. Вильсон, получившие в 1978 г. Нобелевскую премию за открытие космического микроволнового фона (таково официальное название реликтового излучения) на волне 7,35 см. В отличие от группы Р. Дикке будущие лауреаты Нобелевской премии не искали реликтовое излучение, а в основном занимались отладкой радиоантенны для работы по программе спутниковой связи. Как известно, принимаемый антенной радиосигнал регистрируется на фоне многочисленных шумов. Источники этих шумов могут находиться на поверхности Земли, в земной атмосфере, в Солнечной системе, в Галактике и т. д. Антенна радиотелескопа сама создает определенные шумы и принимает их в числе прочих. В распоряжении Пензиаса и Вильсона была антенна, конструкция которой позволяла максимально освободиться от всякого постороннего излучения и тщательно учесть неизбежные помехи. Во время наблюдений с июля 1964 г. по апрель 1965 г. А. Пензиас и Р. Вильсон, а также их коллеги при различных положениях антенны (ее направляли на разные участки неба) регистрировали космическое излучение, природа которого наблюдателям была неясна. О полученных результатах Пензиас и Вильсон сообщили Р. Дикке. В мае 1965 г. в «Астрофизическом журнале» были опубликованы две статьи. В первой А. Пензиас и Р. Вильсон рассказывали о своем открытии, а во второй Р. Дикке с коллегами объясняли природу неизвестного радиоизлучения: им оказалось реликтовое излучение. Какие же факты говорят о том, что открыто именно реликтовое излучение, а не какое-нибудь другое?

Мы уже знаем, что реликтовое излучение обнаружили на длине волны 7,35 см. Прежде всего нужно было получить данные на других длинах волн. Это сделали различные группы исследователей, благодаря чему реликтовое излучение удалось зарегистрировать на различных длинах волн: примерно от 0,5 мм до нескольких десятков сантиметров. Чтобы получить эти данные, исследователям, работающим в разных странах, пришлось выполнять не только очень точные наземные наблюдения, но и использовать также запуски ракет для измерений на волнах субмиллиметрового диапазона. Общий итог наблюдений сводился к тому, что открытое излучение имеет тепловую природу и соответствует излучению абсолютно черного тела при температуре 2,7 К. Именно такой характер должно было иметь излучение, дошедшее до нас от эпохи радиации. Зная интенсивность реликтового излучения на разных длинах волн, легко построить кривую распределения энергии в зависимости от длины волны. Полученный таким образом спектр реликтового излучения не похож на спектр излучения звезд, радиогалактик и других возможных источников. Все это, а также и то, что интенсивность обнаруженного излучения почти одинакова при наблюдениях разных участков небесной сферы, убедительно доказывает, что открыто именно реликтовое излучение. Заметим, что задолго до открытия А. Пензиаса и Р. Вильсона астрофизики (и, в частности, пулковские радиоастрономы) обращали внимание на неизвестное излучение, возбуждающее молекулярные соединения, входящие в состав межзвездной среды.

Собственно говоря, здесь можно было бы и поставить точку, так как приведено достаточно доводов в

пользу правильности теории «горячей Вселенной». Однако справедливости ради следует сказать, что не все ученые согласны с идеей Большого Взрыва. К числу противников относятся, например, такие известные физики и астрофизики, как Х. Альвен (Швеция), Д. Нарликар (Индия) и др. Чтобы опровергнуть теорию Большого Взрыва, противникам этой теории приходится искать иные объяснения микроволновому фоновому излучению, а также строить сценарии эволюции нашей Вселенной, основанные не на общей теории относительности Эйнштейна, а на иных физических принципах. Например, делаются

попытки объяснить микроволновой фон переизлучением света звезд крохотными графитовыми частицами межгалактической пыли. Эти, как и некоторые другие, подходы к проблемам космологии большинство специалистов считают неубедительными. Но появление и развитие оригинальных, нетрадиционных точек зрения, с которыми выступают видные ученые, вносят определенный вклад в общий прогресс науки, так как появляется необходимость более тщательно и скрупулезно аргументировать лежащие в основе науки принципы, теории и факты наблюдений.

§ 6. ПРОШЛОЕ ГАЛАКТИК И ЗВЕЗД

Итак, в больших масштабах Метагалактику можно считать однородной и изотропной и построить теорию, не противоречащую наблюдениям. Однако в мире, к счастью для нас, есть неоднородности в виде систем галактик и звезд. Как они могли возникнуть в однородной и изотропной, да еще расширяющейся среде? Этот вопрос находится на стыке космологии и космогонии галактик и звезд; последняя, как известно, исследует проблему происхождения и развития галактик и звезд. В масштабах, меньших масштабов скоплений галактик, современная Метагалактика неоднородна. Но может быть, малые отклонения от однородности были и на ранних стадиях ее существования? А если были, то какова их судьба? Еще в 1946 г. академик Е. М. Лифшиц, основываясь на ОТО, рассмотрел вопрос о судьбе малых возмущений (неоднородностей) в однородной среде. Выяснилось, что неоднородности, возникшие в гравитационно неустойчивой среде, с течением времени растут. Скорость их роста

обусловлена свойствами среды и, в частности, зависит от соотношения в ней вещества и излучения. Происхождение неоднородностей само по себе является важной проблемой и, возможно, связано с процессами, происходившими в первые мгновения после начала расширения Метагалактики (см. гл. III, § 2). Какое отношение все это имеет к происхождению галактик? Оказывается, самое непосредственное.

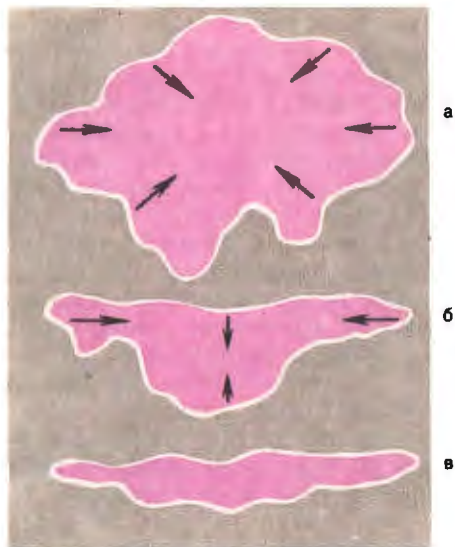
В процессе эволюции «выжили» лишь крупномасштабные неоднородности. Их массы могли быть в 10^{13} — 10^{14} раз больше массы Солнца и продолжали свой рост, достигая массы, сравнимой с массой крупных скоплений галактик. Физические процессы в этих «протоскоплениях галактик» подробно рассмотрены академиком Я. Б. Зельдовичем и его учениками. Выяснилось, что такие массивные облака газа приобретают не сферическую форму, а становятся похожими на гигантские «блины». Это происходит, во-первых, в результате беспрепятственного сжатия (сила газового давления первона-

Образование «блинов». Сжатие газового облака *а* происходит не симметрично, а вдоль какой-нибудь выделенной оси *б*. В результате возникают «блины» — сравнительно плоские образования с размытыми границами *в*.

начально была небольшой), которое происходило неодинаково по разным направлениям. Во-вторых, плавное сжатие на некотором этапе приобретает характер сверхзвуковой (ударной) волны: скорость падения газа в облаке превысила скорость теплового движения частиц (и, следовательно, скорость звука в среде), и образовались скачки давления, температуры и плотности.

Начальные возмущения в распределении вещества могут быть выявлены в неоднородности (анизотропии) реликтового излучения. Поиск мелкомасштабной анизотропии этого излучения уже много лет проводят радиоастрономы, работающие на крупнейших радиотелескопах, включая РАТАН-600 (этот телескоп позволяет осуществлять предельно глубокие обзоры неба). Экспериментаторы ищут ничтожные вариации температуры реликтового излучения (теоретики предсказывают анизотропию порядка $\Delta T/T = 10^{-4} - 10^{-5}$, а характерные угловые размеры галактических зародышей — порядка $10'$). Итогом поисков явилась не очень уверенная оценка верхнего предела мелкомасштабной анизотропии (меньше $10^{-4} - 10^{-5}$).

Наряду с продолжением наземных поисков осуществляется исследование реликтового излучения с помощью космической техники. В 1988 г. на околоземную орбиту был выведен ИСЗ «Прогноз-9» (апогей орбиты 700 000 км, перигей 1 000 км). На этом спутнике советские ученые решили провести эксперимент «Ре-



ликт». Как следует из названия эксперимента, объектом исследования было реликтовое излучение, для наблюдения которого на спутнике установили миниатюрный уникальный радиотелескоп (масса 30 кг, мощность 50 Вт, наблюдение проводилось на длине волны 8 мм). Основной целью эксперимента было обнаружение малейших отклонений реликтового излучения от свойственной ему изотропии. Ученые искали не только мелкие неоднородности реликтового излучения (мелкомасштабную анизотропию), но и то, что называют дипольной составляющей реликтового излучения. Поскольку пространство Вселенной заполнено реликтовым излучением, то относительно этого излучения движутся и наша Солнечная система, и наша Галактика. Фотоны реликтового излучения, летящие нам навстречу, будут из-за эффекта Доплера казаться более энергичными, чем те, которые нас догоняют.

Следовательно, на небесной сфере должны быть диаметрально противо-

положные области с относительно повышенной и пониженной температурой реликтового излучения. По данным спутника «Прогноз-9», наша Галактика мчится в направлении созвездий Девы и Льва со скоростью более 500 км/с. Из анализа этого факта ученые получают независимую оценку отношения средней плотности вещества к критической (0,1—0,2). К сожалению, полученный результат нельзя однозначно интерпретировать в пользу бесконечного расширения Метагалактики, поскольку данные относятся пока лишь к небольшому объему пространства. Что же касается мелкомасштабной анизотропии реликтового излучения, то в эксперименте «Реликт» первоначально не удалось ее выявить даже на уровне $2 \cdot 10^{-4}$ К. Возможно, что, когда будет увеличена точность измерений и в максимальной степени будут использованы все имеющиеся возможности обработки данных наблюдений, результат получат иной. По мнению специалистов, уверенное обнаружение мелкомасштабной анизотропии реликтового излучения представляет собой одну из очень важных проблем космологии и космогонии галактик. В настоящее время поиск мелкомасштабной анизотропии реликтового излучения проводят несколько групп ученых в России и за рубежом.

В разных частях расширяющейся Метагалактики могли возникать разные «блины», причем те, которые родились позднее, имели меньшую массу, плотность и температуру. Так как «блины» были разные, то и «продукты распада» оказались неодинаковыми: из одних «блинов» возникали скопления галактик, из других — небольшие группы галактик, из третьих — одиночные галактики. Ударные волны, породившие «блины», должны были создать внут-

ри их турбулентность, вихри, т. е. все то, что могло стать первопричиной вращения будущих галактик. С позиций этой гипотезы удалось получить оценки масс отдельных галактик и целых скоплений галактик, а также вывести некоторые другие параметры галактик, удовлетворительно согласующиеся с наблюдениями. Есть надежда увидеть «блины», которые еще не успели превратиться в галактики. Температура в веществе образовавшегося «блина» неодинакова: там должны быть горячие и холодные области. Предполагается, что радиоизлучение холодной части «блина» может быть выявлено на волне 21 см, хотя практические трудности обнаружения «блинов» очень велики. Одна из возможностей — увидеть какой-нибудь «блин» на фоне квазара (об этом астрономы узнали бы, заметив в спектре квазара «не его» линии поглощения).

Взаимодействуя между собой, «блины» могут довольно естественно образовывать границы наблюдаемых ячеек крупномасштабной структуры Вселенной. Многие недостающие звенья картины воссоздания современной ячеистой структуры способны восполнить «весомые» нейтрино. В самом деле, если нейтрино обладает ненулевой массой, то уже на начальных стадиях расширения Метагалактики решающее значение для последующей эволюции играло появление сначала малых, а затем и больших нейтринных неоднородностей. С этой точки зрения нейтрино играло роль «теста», из которого пеклись «блины». Далее предполагается, что нейтринные «блины» образовали ячеистую структуру, которая, конечно, была невидимой, поскольку невидимы сами нейтринные облака. «Проявиться», т. е. стать видимым, нейтринный узор мог лишь тогда, когда наступала соответ-

ствующая стадия эволюции обычного вещества. Когда же это могло произойти? Нейтринные облака могли сформироваться лет через 300 после начала расширения, а обычное вещество из плазменного состояния стало переходить в состояние нейтрального газа примерно через миллион лет после начала расширения. В эту эпоху формированием структуры обычного вещества «занимались нейтринные облака». Когда обычное вещество начало собираться в центральных областях нейтринных облаков, стала «проявляться» невидимая ячеистая структура Вселенной...

Каждая галактика, возникшая из распавшихся «блинов», имела свой жизненный путь — в ней возникали (из отдельных сжимающихся сгущений) шаровые звездные скопления, звезды разных поколений и т. д. Например, в нашей спиральной Галактике массивные звезды первого поколения давно завершили свой жизненный путь и, взорвавшись, обогатили межзвездную среду тяжелыми элементами. Часть из них вошла в состав звезд нового поколения. Звезды последующих поколений, включая те, которые рождаются на наших глазах, формируются в обнаруженных сравнительно недавно молекулярных облаках, богатых молекулами водорода, молекулами других веществ и межзвездной пылью. Звезды малых масс эволюционируют медленно, и поэтому многие из них, относящиеся к первому поколению, дожили до наших дней.

Постепенно все более отчетливо выясняется важная роль молекулярных облаков в строении и эволюции Галактики. Частицы пыли в молекулярных облаках способствуют образованию молекул (от H_2 и CO до многоатомных молекул ацетона $(CH_3)_2CO$, цианодекапентина $HC_{11}N$

и др.) и защищают их от разрушения ультрафиолетовым излучением горячих звезд. Обнаружены не только сравнительно «небольшие» молекулярные облака, но и гигантские скопления таких облаков. Именно в них, по-видимому, в едином процессе рождаются различные группы молодых звезд — ассоциации, рассеянные звездные скопления и т. д. Массы гигантских молекулярных облаков близки к массам шаровых звездных скоплений, т. е. это очень массивные объекты Галактики и весьма многочисленные.

Молекулярные облака располагаются вблизи галактической плоскости. В нашей Галактике они образуют слой толщиной 100—150 пк. Их немало и в областях Галактики, прилегающих к ее ядру. Столкновения облаков, их уплотнение взрывными волнами, возникающими при вспышках Сверхновых, как раз и создают условия для активного зарождения протозвезд в более плотной среде.

Как справедливо заметил известный московский астроном Ю. Н. Ефремов, «эволюция галактик в существенной степени является историей звездообразования в них». Это полностью относится и к нашей Галактике, структура которой (ее подсистемы) неотделима от эволюционных процессов, в результате которых в ней до сих пор рождаются звезды и существуют объекты разного возраста. Заметим, что, согласно данным советских и зарубежных астрономов (А. А. Сучков, В. А. Марсаков, Дж. Скало и др.), звездообразование в Галактике происходит с определенными перерывами. Например, в эпохи интенсивных и частых вспышек Сверхновых (а такие эпохи как будто бы удалось выявить) звездообразование затруднено. Взрывающиеся звезды нарушают спокойствие в межзвездной среде

(нагревают ее, вызывают турбулентность, насыщают тяжелыми химическими элементами). Оседая в конечном итоге к галактической плоскости, межзвездный газ образует сравнительно тонкий слой, в котором формируются звезды уже нового поколения.

Итак, современное строение Галактики, имеющиеся в ней различные подсистемы — результат длительной эволюции Галактики. Старые звезды принадлежат к сферической подсистеме. Молодые звезды в нашей Галактике продолжают образовываться в богатой газом плоской подсистеме и в центральных областях Галактики. По современным представлениям, звезды образуются в результате сжатия (под действием тяготения) облаков холодного газа. Сами эти облака представляют собой части (фрагменты) более обширных и массивных комплексов, на которые распалось протогалактическое облако. Происходит то, что называется каскадной фрагментацией, в итоге которой образуются более уже не дробящиеся сгустки газа, превращающиеся в звезды. Стадия будущей звезды, или протозвезды, длится у звезд с массами, близкими к солнечной, несколько миллионов лет. Некоторые необычные источники инфракрасного излучения вполне могут оказаться «звездами-коконами». Это и есть формирующиеся звезды, окруженные газово-пылевыми оболочками, которые не пропускают оптическое излучение от разогретых в ходе сжатия центральных областей протозвезды. «Включение» термоядерного реактора означает, что стадия протозвезды закончилась и началась стадия настоящей звезды.

Академик В. А. Амбарцумян был одним из первых, кто обнаружил, что звезды возникают не в отдельности, а группами (таковы, например, ОВ-ассоциации, насчитывающие до нескольких сотен звезд спектральных классов О и В).

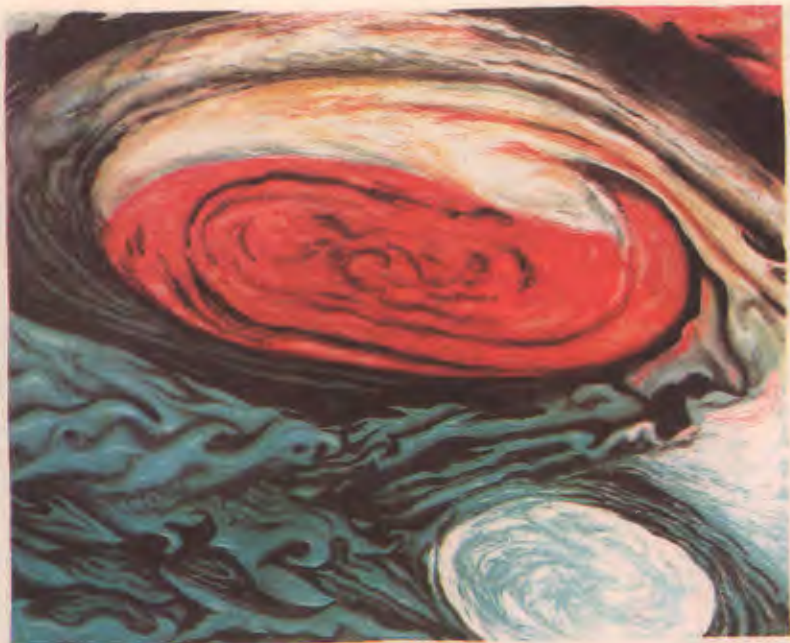
Молодым звездам, массы которых близки к массе Солнца, предстоит долгая жизнь: ведь только на главной последовательности диаграммы Г — Р они находятся не менее 10 млрд. лет. Звезды, массы которых в несколько десятков раз больше, «пролетают» эту стадию за несколько миллионов лет. А звезды, массы которых вдвое меньше массы Солнца, могли бы спокойно жить до 100 млрд. лет...

Смена режима работы термоядерного топлива (водород «выгорает» в ядре, начинается горение в слоях, прилегающих к гелиевому ядру, и т. д.) преобразует звезду. Она разбухает, теряет свою оболочку, ядро обнажается, и звезда постепенно превращается в белый карлик. Следовательно, наблюдаемые белые карлики когда-то были и звездами типа Солнца, и пережили стадию красных гигантов, а в будущем станут остывшими «черными» карликами.

Но такова судьба звезд, похожих на Солнце. Более массивные звезды, как мы знаем, не довольствуются такой спокойной эволюцией, а взрываются, рассыпаясь в межзвездном пространстве, или оставляют после себя нейтронные звезды или даже черные дыры. Впрочем, о будущем Вселенной у нас речь впереди, а сейчас мы обратимся к прошлому планет.



Солнце, над которым виден протуберанец высотой 586 000 км (изображение получено с помощью американского космического аппарата «Скайлаб—4» в декабре 1973 г.).



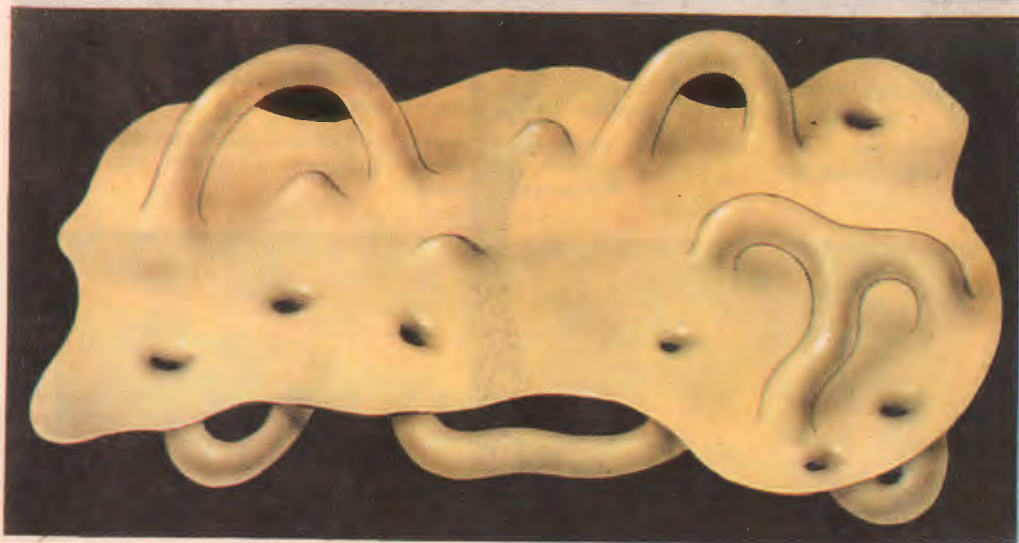
Большое . Красное
Пятно на Юпитере.

Фрагменты из-
бражения участка
марсианской по-
верхности с
каньонами и кра-
терами.



Ядро кометы Галлея.

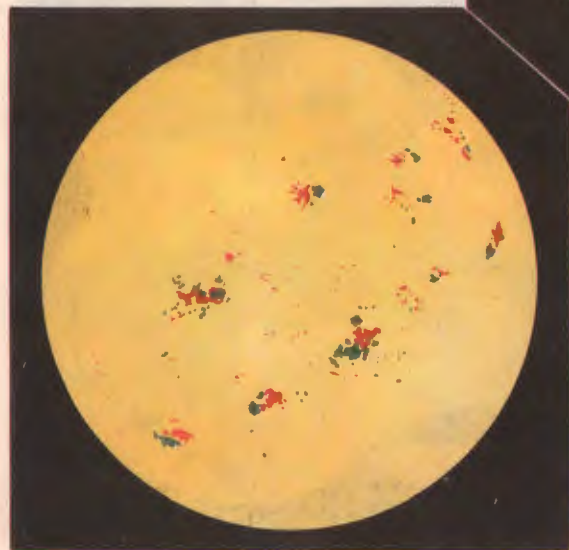
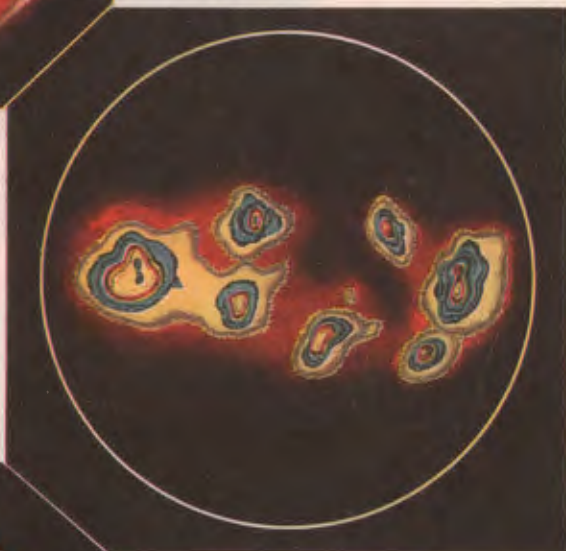
Сложнейшая структура пространства-времени («пнящееся» пространство-время по Дж. Уилеру), для которой характерны порожденные квантовыми эффектами многочисленные «кратовые норы» и «мостки». Возможно, такой была самая-самая ранняя Вселенная, для которой момент 10^{-43} с был еще будущим...



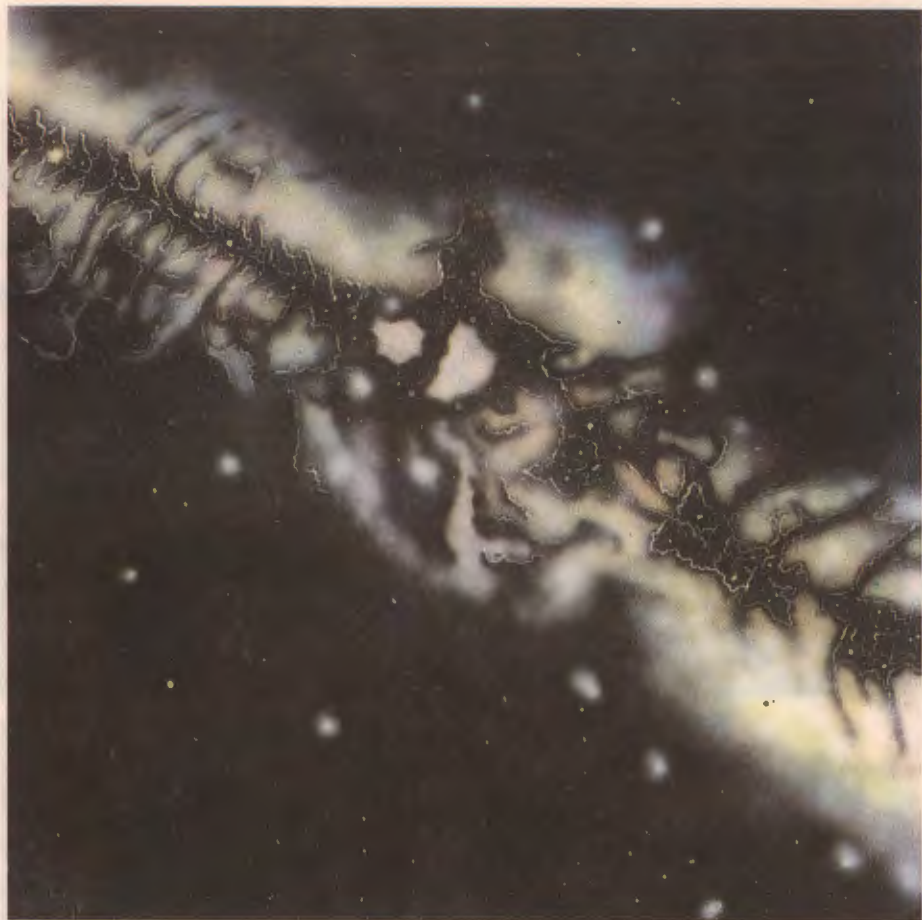


Изображение Солнца, полученное с помощью солнечного телескопа, находившегося на борту американской орбитальной космической станции «Скайлэб».

Самые горячие участки районов солнечной активности, условно обозначенные различными цветами.

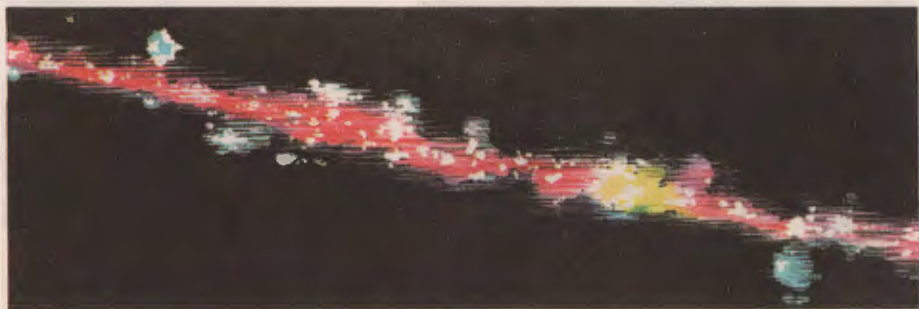


Магнитные поля на Солнце. Восходящие магнитные поля изображены красным цветом, нисходящие — синим. Изображение получено с помощью наземного магнитографа и компьютера, который перевел данные в цветные изображения.



Картина Йона Ломберга «Хребет ночи», так называли «Млечный Путь» бушмены племени кунг из пустыни Калахари в Ботсване.

Изображение Млечного Пути в инфракрасных лучах. Такое изображение получено с помощью инфракрасного астрономического спутника в 1983 г. (Голландия, США, Великобритания).





Ранняя Вселенная.

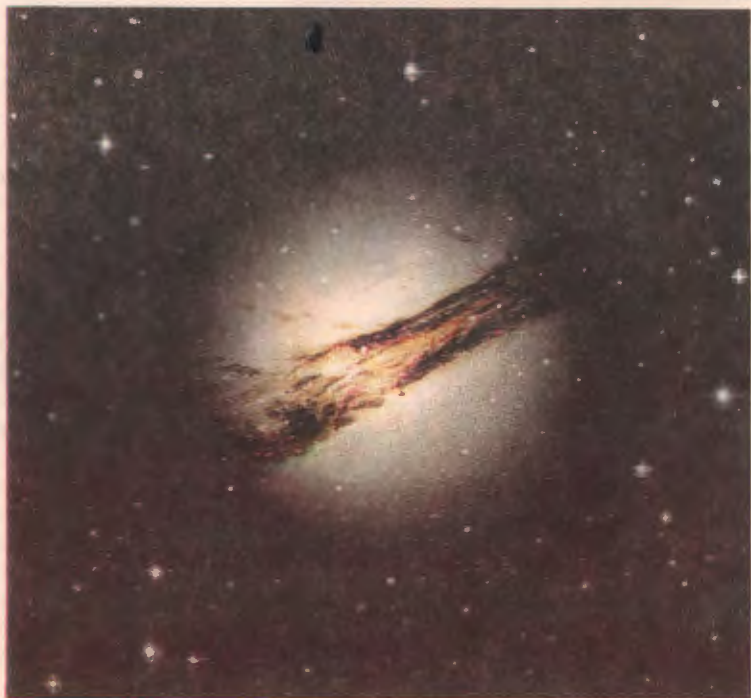
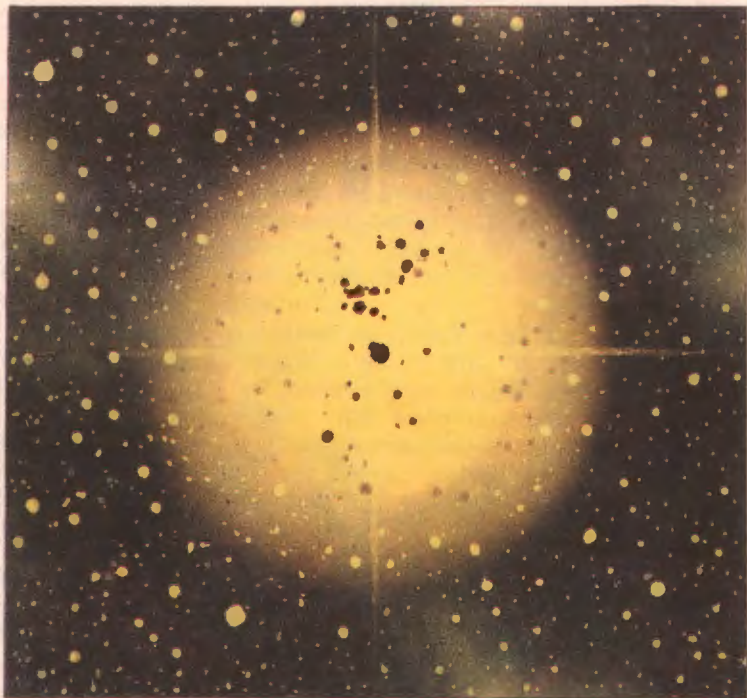
Картина распределения неоднородностей, полученная с помощью ЭВМ учеными Калифорнийского университета. Желтый, зеленый и голубой цвета — сильно сжавшиеся области; оранжевый, красный и фиолетовый — более разреженные.

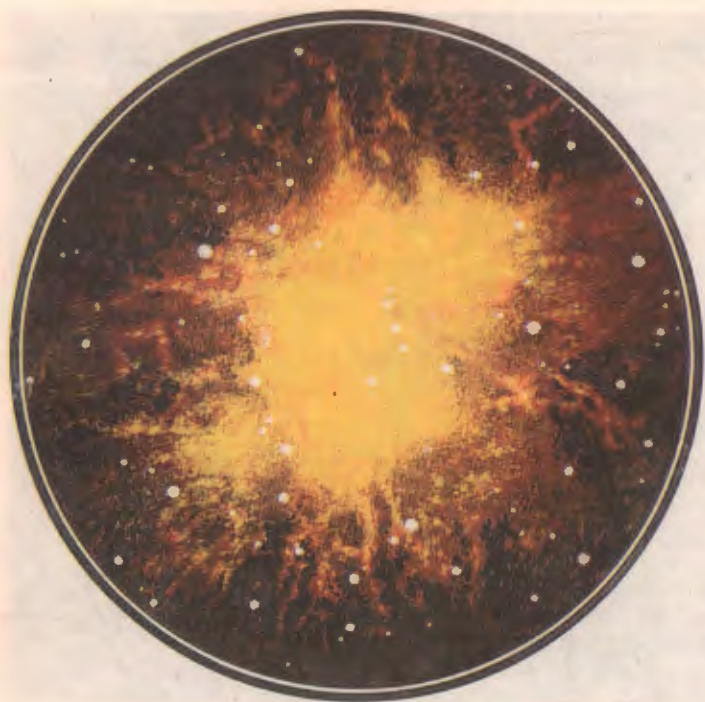
а — первоначальное распределение неоднородностей разного масштаба;

б — в дальнейшем неоднородности, массы которых были меньше, чем 10^{16} масс Солнца, рассеялись в результате взаимодействия вещества и излучения.

Дева А — одна из близких к нам радиогалактик (расстояние до нее около 20 Мпк). На снимках, полученных крупнейшими современными телескопами, виден протяженный выброс из ядра галактики (негатив, *а*). Этот выброс, как показывает обработка на ЭВМ, представляет собой гирлянду сгущений вещества, *б*.

Кентавр А — гигантская эллиптическая радиогалактика, находящаяся от нас на расстоянии не более 5 Мпк. Один из самых удивительных внегалактических объектов.





Крабоподобная туманность.

Туманность в созвездии
Ориона.



§ 7. ПРОШЛОЕ ПЛАНЕТ И МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Современная планетная космогония основывается на многочисленных астрономических, геофизических и геологических данных о Земле, других планетах и их спутниках. Она должна объяснить хорошо известные вам из школьного курса астрономии закономерности в Солнечной системе (расположение планет примерно в одной плоскости; их движение вокруг Солнца в одном направлении, совпадающем с вращением Солнца вокруг оси; деление планет на две группы; существование астероидов и комет; распределение вращательного момента между Солнцем и планетами и т. д.). В планетной космогонии 80-х гг. получили развитие наиболее плодотворные идеи, содержащиеся в трудах знаменитых философов и естествоиспытателей XVII—XVIII вв. (Декарт — 1644 г., Кант — 1775 г., Лаплас — 1796 г.) и ученых, занимавшихся проблемами космогонии в XX в. (советские ученые О. Ю. Шмидт, Б. Ю. Левин, В. С. Сафронов, Л. Э. Гуревич и др., зарубежные ученые Х. Альвен — Швеция, Ф. Хойл — Великобритания, А. Камерон — США, Э. Шацман — Франция и др.). Сказанное, возможно, поможет читателю почувствовать, что разработка современных космогонических гипотез не есть плод деятельности какого-нибудь одного ученого, а результат усилий многих, трудившихся в прошлом и продолжающих в разных странах заниматься космогонией в наши дни.

Сейчас считается общепризнанным, что планеты возникли в результате объединения твердых тел и частиц, образовавшихся во вращающемся вокруг Солнца гигантском протопланетном облаке, состоящем из газа и пыли. «Холодная» средняя первоначальная температура

около 1 000 К, а не огненно-жидкая Земля могла прийти в конечном итоге к наблюдаемым тектоническим процессам. Впоследствии не только данные геофизики, но и результаты исследования метеоритов, а затем и образцов лунного грунта укрепили эти позиции в планетной космогонии.

Пока не существует однозначно-го ответа на вопрос: откуда взялось протопланетное облако? Но обнаружение при инфракрасных обзорах неба газово-пылевых дисков у некоторых звезд, включая, например, Вега, может интерпретироваться как открытие протопланетных облаков. Скорее всего, Солнце и допланетное облако образовались в каком-то совместном процессе, механизм которого, однако, остается и по сей день предметом дискуссии. В частности, очень нелегко объяснить наблюдаемое распределение момента количества движения в Солнечной системе и ответить на вопрос: почему Солнце так медленно вращается? Напомним, что планеты, суммарная масса которых менее 1% массы Солнца, содержат в своем орбитальном движении более 98% общего момента количества движения Солнечной системы.

Протопланетное облако содержало газ «звездного» состава (водород и гелий) и пыль из более тяжелых элементов. Сжимающееся облако увеличивало скорость вращения, а это создавало благоприятные условия для преимущественного сжатия вдоль оси вращения и накопления пылинок к средней плоскости облака. Тонкий пылевой слой гравитационно неустойчив. Поэтому он распался на множество сгустков, превратившихся в рой твердых тел. Сначала это были тела сравнительно

небольшие по размерам и массам, двигавшиеся по орбитам, близким к круговым. Но по мере роста масс увеличивалось взаимное притяжение тел, возрастали их относительные скорости, вытягивались, становясь эллиптическими, орбиты. В процессе многочисленных неупругих столкновений и объединений (слипаний) из твердых тел возникали зародыши планет.

Массы зародышей резко отличались от масс других тел, находившихся вблизи них и образовавших для зародышей своего рода зону питания. Сначала было очень много таких зародышей и окружавших их зон питания. Но постепенно среди этого множества зародышей стали выделяться те, которым впоследствии предстояло стать настоящими планетами. Такие массивные и двигавшиеся почти по круговым орбитам сверхзародыши получались путем объединения ранее возникших зародышей и обобществления их зон питания.

Гравитационное взаимодействие было определяющим фактором и в процессе формирования будущих планет, и в появлении удивляющего многих и поныне закона планетных расстояний. В гипотезе О. Ю. Шмидта закон планетных расстояний как бы рождается вместе с самими планетами. Дело в том, что уменьшение числа зародышей и появление сверхзародышей происходило до тех пор, пока возникающие крупные и массивные тела не оказались на таких расстояниях, где взаимное притяжение не могло уже существенно изменить их орбиты. Эти безопасные расстояния как раз и стали залогом устойчивости будущей Солнечной системы. Формирование спутников планет, включая нашу Луну, в общих чертах было сходно с образованием самих планет.

Планетам земной группы и планетам-гигантам понадобилось неодинаковое время для своего роста. Например, по оценке В. С. Сафронова, наша планета выросла всего за 100 млн. лет. А вот планеты-гиганты росли дольше. Это прежде всего связано с наложением зон питания, т. е. появлением объединенных зон питания протоюпитера и протосатурна, а затем и других будущих планет-гигантов. По мере роста массы протоюпитера тела из его зоны питания начали долетать до протосатурна, а затем (это, как показывают расчеты, случилось через 150 млн. лет после начала формирования больших планет) в самые внешние области нынешней планетной системы, а также до орбиты уже сформировавшегося Марса. На определенной стадии своего роста будущие большие планеты, особенно Юпитер, не только «простреливали» телами из своих зон питания Солнечную систему, но и, сообщая телам скорости, близкие к параболическим, выбрасывали их за пределы планетной системы. Одним из результатов игры в такой космический бильярд могло стать рождение Облака Оорта.

Еще одно явление приходится учитывать при рассмотрении роста сверхзародышей будущих гигантских планет. Это аккреция (или захват) ими газа, образующего вторую составляющую допланетного облака, постепенно собравшегося (под воздействием, например, давления света Солнца) за пределами орбит планет земной группы. Газ в зонах питания Юпитера и Сатурна вначале тормозил движущиеся тела, уменьшая их относительные скорости и тем самым задерживая рост зародышей. Но когда зародыши выросли настолько, что могли увеличивать свою массу за счет аккреции газа (преимущественно водорода), их рост ускорился. Не-

которая часть газа, входившая в допланетное облако, не вошла в состав планет и покинула Солнечную систему.

А чем объяснить направление движения планет вокруг Солнца и вращения вокруг осей? Почему оси планет имеют различные наклоны к плоскости эклиптики: у Венеры и Юпитера угол наклона близок к прямому, у Земли и Марса $65-66,5^\circ$, а Уран вообще вращается «лежа на боку»? Советские ученые (В. В. Радзиевский, Л. В. Артемьев, В. С. Сафронов и др.) получили немало интересных результатов, проясняющих проблему вращения планет. Обращение и вращение планет рассматривается сейчас как следствие процесса роста протопланетных тел. Тела и частицы, падая на формирующуюся планету, передавали ей имеющееся у них количество движения. Как именно будет вращаться та или иная планета, зависит от среднего результата множества падений. Преобладающее в Солнечной системе прямое движение отражает характер общего вращения тел и частиц, двигавшихся вокруг Солнца еще до возникновения планет. В статистическом процессе усреднения моментов количества движения отдельных тел и частиц могли появляться и аномальные результаты, которыми в принципе можно объяснить обратное вращение Венеры и некоторые ранее известные явления в Солнечной системе.

Крупные тела, падавшие на зародыши, обусловили и наклоны осей будущих планет. В. С. Сафронову удалось по наблюдаемым наклонам осей планет оценить массы этих тел. Оказалось, что, например, массы наибольших тел, участвовавших в формировании Земли, примерно в тысячу раз меньше нынешней массы нашей планеты. А тела, падение

которых определило расположение в пространстве оси Урана, были даже сравнимы по массе с массой Земли!

Необходимо подчеркнуть, что не только механические процессы, а хитросплетение различных сложных физических процессов (тепловые, магнитогидродинамические и др.) сопровождали все стадии возникновения и эволюции планет Солнечной системы и их спутников. Например, крупные по массам и размерам тела, падая на относительно холодную Землю и глубоко врезааясь в нее, разогревали нашу планету (до температуры свыше $1\,500\text{ K}$ в области верхней мантии). Такой разогрев оказался сильнее, чем это могло произойти за счет энергии других механических (гравитационное сжатие, приливное воздействие молодой Луны) и немеханических процессов (распад радиоактивных элементов).

То, что было рассказано о планетной космогонии, сегодня уже можно назвать «классическими» представлениями, потому что появились и развиваются новые взгляды. В конце 80-х гг. найдены аргументы в пользу того, что очень молодая Земля сталкивалась с достаточно крупными телами, массы которых были соизмеримы с массой современной Луны. Развитие этих взглядов (А. В. Витязев, Г. В. Печерникова и др.) изменило представление о разогреве растущей Земли. Не исключено, что плавление в приповерхностных слоях протопланеты началось тогда, когда ее масса еще не превосходила массу современного Марса. Вспомним, что в начале 50-х гг. наука отказалась от представления о первичной огненно-жидкой планете. Было развито представление об изначально холодной Земле. И вот теперь ученые снова говорят уже если не об огненно-жидкой Земле, то об умеренно горячей. Они доказы-

вают, что наша протоземля не просто тихо и холодно росла, сталкиваясь с небольшими метеоритами, а испытывала мощные удары, разогревалась, частично плавилась, изменяла свою структуру, с юности формировала ядро и оболочки... Этот пример из области планетной космогонии наглядно показывает сложность и неоднонаправленность процесса развития науки. Новые подходы к решению космогонических проблем можно рассматривать лишь как стартовую площадку, с которой ученые, вооруженные мощнейшей компьютерной техникой, достижениями всех наук о Земле и небе, устремятся к штурму теории эволюции Земли и других планет Солнечной системы.

В настоящее время, как известно, Земля имеет расплавленное ядро, состоящее в основном из железа (и никеля). Вещества, содержащие более легкие элементы (кремний, магний и др.), постепенно «всплывали», образуя мантию и кору Земли. Самые легкие элементы вошли в состав океана и первичной атмосферы Земли. Состав последней постепенно изменялся (например, улетучивались водород и гелий, в результате фотосинтеза появился кислород и т. д.).

Эволюция атмосферы Земли имеет прямое отношение к тем условиям (температура, наличие воды), которые существуют на Земле сейчас и которые необходимы для развития жизни на нашей планете. Как вы знаете, на ближайших к Земле планетах ситуация совершенно другая. Сравните: на Земле есть вода, в атмосфере много кислорода, средняя температура $+15^{\circ}\text{C}$. На Венере и Марсе сейчас свободной воды нет (на Марсе она, возможно, имеется в подповерхностном слое вечной мерзлоты), состав воздуха непригодный для дыхания (земных обитате-

лей!), средняя температура на Венере $+460^{\circ}\text{C}$, а на Марсе -60°C ... Всегда ли так было? Ведь не исключено, что в прошлом состав атмосферы у этих планет был иным. Причем эволюция атмосферы могла оказаться более существенным фактором для становления климата на этих планетах, чем расстояние планеты от Солнца.

В частности, большое значение могло иметь содержание углекислого газа (диоксид углерода CO_2), от которого во многом зависит парниковый эффект. Чем больше углекислого газа в атмосфере, тем больше может разогреваться атмосфера и поверхность планеты в результате парникового эффекта. Напомним, что CO_2 , как и водяной пар H_2O , пропускает солнечные лучи, но поглощает и переизлучает тепловое (инфракрасное) излучение поверхности планеты. Количество CO_2 в атмосфере может изменяться: углекислый газ способен выводиться из атмосферы или, наоборот, поступать в нее из карбонатных пород (карбонат кальция CaCO_3). На Земле даже происходит длительный (500 тыс. лет) геохимический цикл, в ходе которого CO_2 из атмосферы переходит в твердые породы, а потом из них снова в воздух (с помощью вулканических извержений). Такой цикл «работает» на Земле, а вот на Венере и Марсе он нарушился. В результате Марс потерял возможность возвращать CO_2 в атмосферу, а Венера — выводить CO_2 из атмосферы. Заметим, что парниковый эффект может со временем привести к повышению температуры на Земле. Имеются данные о том, что повышение температуры будет весьма ощутимым $0,3^{\circ}$ в 10 лет, а это может вызывать постепенное повышение уровня Мирового океана.

Интересен вопрос о происхожде-

нии астероидов: представляют ли они обломки якобы существовавшей в прошлом большой планеты (по имени Фаэтон), или в силу каких-то обстоятельств это остатки от формирования Солнечной системы? Против первой точки зрения неоднократно выдвигались очень веские возражения. Они основаны и на анализе физики этого интересного процесса, и на факте необъяснимого с точки зрения гибели Фаэтона существования отдельных групп астероидов, и на глубоком изучении метеоритов, скорее всего, являющихся пришельцами из пояса астероидов.

Вторая точка зрения получила серьезное развитие в рамках гипотезы, созданной О. Ю. Шмидтом и его последователями. Гипотеза Шмидта в какой-то степени даже предусматривает существование астероидов: нечто подобное поясу астероидов должно было возникнуть как раз между орбитами Марса и Юпитера, т. е. в пограничной области между планетами земной группы и планетами-гигантами! Гигантский сверхзародыш будущего Юпитера обстреливал телами, выбрасываемыми из его зоны питания, и ту область, которую занимают нынешние астероиды. Юпитерианские снаряды сталкивались с телами, которые, если бы им не мешали, могли образовать свой сверхзародыш и породить Фаэтон. Но помехи были слишком значительны, а своего «защитника» вроде сверхзародыша Сатурна здесь не было. Поэтому многие из аборигенов зоны астероидов были просто изгнаны, а оставшиеся приобрели дополнительную энергию, увеличивая свои относительные скорости движения, и при столкновении стали не объединяться, а дробиться. В таких условиях большая планета возникнуть не могла, и процесс остановился

на стадии малых планет, вращающихся вокруг осей.

Напомним, что между астероидами, кометами и метеорными телами существует связь. Астероиды и ядра комет принято рассматривать в качестве родоначальников метеорного вещества. Последнее включает в себя камни и мелкие частицы, которые, встречаясь с Землей, порождают метеоры и болиды, а иногда долетают до поверхности Земли в виде больших и маленьких метеоритов. Метеориты, скорее всего, представляют собой осколки астероидов, что подтверждается наблюдениями за астероидами. Эти наблюдения в последние годы позволили сопоставить минералогический состав поверхности наиболее крупных астероидов с составом метеоритов. Удалось выяснить, что дробление астероидов, приводящее к образованию метеоритов, происходит не в поясе астероидов, т. е. не между орбитами Марса и Юпитера, а где-то в области, более близкой к земной орбите. В этом случае последними в цепочке родительских тел метеоритов должны быть астероиды, перигелии орбит которых лежат внутри или недалеко вне земной орбиты. Обсуждается гипотеза и о том, что некоторые из астероидов в прошлом были ядрами комет.

Ученые с нетерпением ожидают открытия планетных систем, которые наверняка должны существовать у многих звезд. Несколько лет назад исследование инфракрасного излучения звезд показало, что примерно у 10% звезд в окрестностях нашего Солнца наблюдается небольшой избыток этого излучения. Не исключено, что вокруг таких звезд (α Лиры, β Живописца, α Южной Рыбы) имеются протяженные диски из мелких частиц. Может быть, мы наблюдаем рождение планетных систем из протопланетных облаков?

§ 8. СЦЕНАРИИ ДАЛЕКОГО БУДУЩЕГО

Не случайно опять в названии одного из параграфов книги о космологии употреблено слово «сценарий» (итал. *scenario*), который прежде был обычным лишь в лексиконе литераторов и кинематографистов. Сценарий — это некоторая схема, например сюжетная схема пьесы или кинофильма. Если хотите, сценарий — это развернутый план будущего художественного произведения. В космологии сценарий представляет собой более богатую деталями модель Вселенной. Мы могли убедиться в этом на примере теории «горячей Вселенной», знакомясь с этапами, которые прошла наша Вселенная в далеком прошлом. Фридмановские модели Вселенной показывают в самом общем виде характер эволюции. Например, мы знаем, что Метагалактика начала расширяться 15—20 млрд. лет назад и продол-

жает расширяться сейчас. Но о том, какие процессы во Вселенной преобладали на определенных этапах эволюции, мы узнаем из теории «горячей Вселенной», а также из космогонии галактик, звезд и планет. Эти новые знания обогащают и расцвечивают модель Вселенной многими важными деталями. И хотя подробная и во всем достоверная, количественно обоснованная картина эволюции еще не создана, сценарий ее готов. Вот и сейчас, исходя из основных фридмановских моделей, мы расскажем о том, каким видится будущее Вселенной с позиций современной науки. А так как двумя основными возможностями является безграничное расширение или расширение, сменяющееся сжатием, то мы рассмотрим соответственно два сценария далекого будущего нашей Вселенной.

Вечное расширение

Если предположить, что масса покоя нейтринно не отличается от нуля и никаких других существенных резервуаров «скрытой» массы в природе нет, то, по-видимому, ничего не мешает нашей Вселенной вечно расширяться. Вечно? Следовало бы и это слово взять в кавычки, так как в невообразимо отдаленном будущем наша Вселенная станет также мало напоминать нынешнюю, как мало похожа Вселенная, которую мы застали, на ту, что была 15—20 млрд. лет назад. Дело в том, что, как показывают расчеты, через 10^{14} лет (сравните это время с возрастом Метагалактики) звезды погаснут, часть из них разрушится. Многие звезды постепенно покинут свои галактики, подобно тому как ведут себя молекулы медленно испаряющейся воды.

Через 10^{19} лет, таким образом, разрушатся галактики (останутся их «ядра» в виде гигантских черных дыр). Через 10^{32} лет протоны (еще недавно казавшиеся стабильными — см. гл. III, § 2) будут распадаться (на позитроны, фотоны, нейтринно), т. е. произойдет распад ядерного вещества, а вместе с ним и всех небесных тел и частиц, которые из него состоят. Самыми долговечными окажутся черные дыры. Мы не оговорились: именно долговечными, а не вечными, как всем казалось до работ английского астрофизика и космолога С. Хоукинга. Им доказано, что черные дыры медленно «испаряются», излучая фотоны, нейтринно и, возможно, некоторые другие частицы.

Но дело в том, что черные дыры

очень холодные объекты: температура черной дыры с массой порядка массы Солнца близка к абсолютному нулю (порядка 10^{-7} К), т. е. значительно ниже температуры реликтового излучения (2,7 К). Очевидно, что в современную эпоху черные дыры (если они существуют!) больше поглощают, чем излучают. Но так будет не всегда, ибо в ходе расширения Метагалактики температура реликтового излучения уменьшается. Наступит время, когда сначала испарятся (примерно через 10^{69} лет) черные дыры с массами не более чем на порядок большими массы Солнца. Медленный темп испарения может даже смениться взрывом (когда масса черной дыры достигнет всего лишь 10^9 г), эквивалентным взрыву миллиона мегатонных водородных бомб. Время от времени эти взрывы, которые будут происходить в очень-очень старой и, надо думать, расширяющейся Вселенной, станут пос-

ледними фейерверками умирающих звезд...

А через 10^{96} лет испарятся черные дыры, массы которых в десятки и сотни миллиардов раз больше массы Солнца. Возможно, что такой будет гибель ядер галактик и квазаров. Пройдет еще «немного» времени — и (через 10^{100} лет) в нашей Вселенной не останется никакого вещества, кроме сверхразреженной плазмы, в которой на объем пространства, в 10^{185} раз превышающий объем нашей Вселенной, придется всего лишь одна частица (!) ... Впрочем, в столь отдаленном будущем ситуация может оказаться и иной. Это случится, например, если наша Метагалактика — одна из множества существующих во Вселенной (см. гл. III, § 4). Тогда можно фантазировать о том, что произойдет в результате контакта сильно расширившейся Метагалактики с ее соседями...

Сжатие, сменяющее расширение

Если же представить, что через десятки миллиардов лет происходящее сейчас расширение Метагалактики прекратится (из-за тяготения «скрытой» массы) и сменится сжатием, то вряд ли получится более жизнерадостный сценарий далекого будущего нашей Вселенной. Дело в том, что сжимающаяся Вселенную ожидает коллапс, который должен завершиться неким возвратом к исходной «огненной купели». И хотя употребление слова «коллапс» в данном случае оправдано, наша Вселенная будет отнюдь не стремительно продвигаться к завершению своего жизненного пути. Сначала, как уже отмечалось, десятки миллиардов лет будет продолжаться расширение (этого времени вполне хватит на то, чтобы Солнце, а воз-

можно, и Солнечная система прекратили бы свое существование). Но даже когда сжатие начнется, «наблюдатели», находящиеся, вероятно, уже в других солнечных системах, долгое время ничего не заметят, поскольку до них будут доходить лучи света, когда-то испущенные удаляющимися внегалактическими объектами.

В конце концов красное смещение в спектрах галактик сменится фиолетовым. Это послужит сигналом того, что теперь уже лучи света испускаются приближающимися галактиками. Другой тревожный симптом грядущего бедствия — повышение температуры. По мере приближения к концу коллапса будут все чаще сталкиваться галактики, разрушаться уцелевшие звезды (сначала

разрушатся звезды главной последовательности, потом — белые карлики и, наконец, нейтронные звезды). Звездная эра прекратится за 10^{-4} с до конца сжатия Метагалактики.

Что может произойти дальше? Однозначного ответа на этот вопрос нет. Не исключено, например, что сжатие завершится образованием объекта, напоминающего очень массивную черную дыру. Другая воз-

можность — взаимодействие сжавшейся Метагалактики с особой средой «физическим вакуумом» (см. гл. III, § 2). Такое взаимодействие может послужить началом нового цикла эволюции Метагалактики и ее нового расширения. Однако вновь родившаяся Метагалактика может оказаться принципиально отличной от той, которая когда-то сжималась (см. гл. III, § 4).

ПОЧЕМУ НАША ВСЕЛЕННАЯ ТАКАЯ

Как мне быть к Вселенной
безразличным,
если суть ее нам все ясней,
если всем существованием личным
я в конечном счете связан с ней...

С. Щипачев

Эйнштейну принадлежат следующие замечательные слова: «Мы хотим не только знать, **как** устроена природа (и как происходят природные явления), но и по возможности достичь цели, может быть, утопической и дерзкой на вид,— **узнать, почему** природа является именно такой, а не другой».

Вселенная предстала перед человеком XX в. в виде грандиозного процесса непрерывного движения, изменения и развития космической материи. Астрономические наблюдения позволили открыть и исследовать структуру Вселенной на разных уровнях — от Солнечной системы до Метагалактики. Теоретические исследования дали возможность понять

разнообразные процессы и явления, которые происходили и происходят во Вселенной и подчиняются объективным законам природы. Но пожалуй, самое замечательное состоит в том, что современная наука (астрономия, космология, физика) вплотную подошла к решению «утопической и дерзкой» задачи и нашла пути к пониманию того, почему наша Вселенная такая, а не какая-нибудь иная. О том, какая она конкретно — наша Вселенная,— говорилось в предыдущих главах книги. И все-таки имеет смысл начать заключительную главу с краткой характеристики основных свойств, присущих окружающему нас удивительному мегамиру.

§ 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ВСЕЛЕННОЙ

Расширение

В XX в. стало ясно, что мы живем в расширяющейся Вселенной (Метагалактике). Галактики (точнее, скопления галактик) удаляются друг от друга, причем в соответствии с законом Хаббла лучевая скорость удаляющихся от нас внегалактических объектов пропорциональна расстоянию до этих объектов. Темп расширения характеризуется постоянной

Хаббла, значение которой на современном этапе эволюции Вселенной заключено в пределах от 50 до 100 км/(с · Мпк) и, вероятно, в ближайшее время будет определено более точно. Величина, обратная постоянной Хаббла, позволяет оценить длительность расширения Метагалактики (10—20 млрд. лет). До сих пор нельзя считать решенным вопрос

о том, с какого физического состояния вещества началось расширение Метагалактики. Представление о том, что наша Вселенная первоначально была чрезвычайно горячей и плотной, хорошо согласуется с такими важными данными, как, например, наблюдаемая распространенность химических элементов и реликтовое излучение. А вот началось ли расширение с загадочного состояния вещества (сингулярности), или этой стадии вообще не было в истории

нашей Вселенной, еще предстоит окончательно выяснить. Во всяком случае, пока преждевременно относить сингулярность к числу фундаментальных свойств Вселенной. Что же касается факта расширения Метагалактики, то он считается твердо установленным и по праву может быть назван фундаментальным. Однако и здесь есть вопрос, который еще недавно оставался без какого-либо вразумительного ответа: почему Метагалактика расширяется?

Средняя плотность вещества, близкая к критической

Как мы знаем, судьба расширения Метагалактики зависит от средней плотности содержащегося в ней вещества. Учет вещества в форме звезд, галактик и квазаров приводит к значению плотности порядка $\bar{\rho} \approx 3 \cdot 10^{-28}$ кг/м³, но это значение может оказаться гораздо выше реального, если выяснится, что необходимо учитывать еще и различные формы невидимого, «скрытого» ве-

щества. Следовательно, не исключено, что значение средней плотности на самом деле равно или даже превосходит значение критической плотности ($\rho_{кр} \approx 10^{-26}$ кг/м³ при $H = 75$ км/(с · Мпк)). Но удивительно, что значение $\bar{\rho}$ довольно близко к $\rho_{кр}$, хотя, казалось бы, значение плотности могло бы быть любым. Случайно ли такое совпадение, или оно имеет какую-нибудь причину?

Крупномасштабная структура

Еще 10—15 лет назад не было оснований сравнивать Вселенную с гигантскими пчелиными сотами, в ребрах которых скоплены галактики, или с гигантскими кусками пемзы, губки и т. п.

Открытие скоплений и сверхскоплений галактик, а также огромных пустот в Метагалактике привело к

представлению о возможной ячеистой крупномасштабной структуре нашей Вселенной.

Как возникла такая структура? Как вообще могли образоваться галактики и их скопления в однородной и изотропной Метагалактике?

Как вы помните, эти вопросы рассматривались в гл. II, § 6.

Однородность и изотропность

Сверхскопления галактик — самые крупные структурные единицы нашей Вселенной. В масштабах, превышающих миллионы световых лет, не существуют заметные неоднородности в распределении вещества, т. е. космическая материя в нашей Вселенной распределена в высшей

степени однородно и изотропно. Это означает, что наблюдатель, находящийся в любой из галактик и способный обозревать глубины Вселенной, всюду во всех направлениях будет видеть примерно одинаковую картину. Важным доказательством однородности и изотропности считается

тот факт, что температура реликтового излучения, измеренная в разных участках неба, получается практически одинаковой (отклонения порядка 10^{-3} K), а об отклонениях, обусловленных движением Солнечной системы относительно поля реликтового излучения, мы здесь не говорим. Но не может ли оказаться наша Вселенная частью Большой Вселенной, которая состоит из множества малых вселенных (метагалактик), устроенных не так, как Метагалактика?

И еще. Наблюдаемая однородность нашей Вселенной, вообще говоря, достойна удивления. Собственно, почему по разным направлениям насчитывается одинаковое число галактик? Этот вопрос вызван тем, что галактики, наблюдаемые по разным направлениям, находятся в разных областях нашей Вселенной, включая те, которые оказались вне горизонтов событий друг друга. Поясним.

Вообразите себе наблюдателя, находящегося на корабле *A* в открытом море. Допустим, он видит два других корабля: один *C* — на востоке, другой *B* — на западе, но оба — на горизонте. Легко понять, что моряки, находящиеся на корабле *B*, не видят

корабля *C*. Точно так же далекие галактики могут оказаться за пределами горизонта видимости во Вселенной (или «горизонта событий»). Такой необычный горизонт представляет собой границу, которая отделяет то, что можно увидеть, от того, что нельзя увидеть в данный момент. В расширяющейся Вселенной наблюдению доступна сфера радиусом $r < ct$, где c — скорость света, а t — время, прошедшее с момента испускания сигнала. Если какие-то чрезвычайно удаленные друг от друга галактики не «видят» друг друга, то мы вправе сказать, что они не только не могут обмениваться информацией, но между ними отсутствует причинная связь. Но если в нашей Вселенной могут существовать области, причинно не связанные между собой, то чем объяснить однородность и изотропность Метагалактики, а вместе с тем структурную одинаковость ее самых разных областей? И еще один, пожалуй, риторический вопрос: не изменится ли само представление об однородности космоса в связи с открытием сверхкрупномасштабных неоднородностей — гигантских по протяженности скоплений галактик?

Распространенность химических элементов

В настоящее время в распоряжении ученых много различных методов для определения химического состава Солнца и звезд, межзвездной среды, Луны, планет и комет. Достаточно вспомнить не только о спектральном анализе, но и о возможности получать данные о химическом составе из анализа космических лучей, непосредственного исследования в земных лабораториях метеоритов, лунного грунта и, наконец, поверхностного грунта ближайших к Земле планет с помощью бортовой аппаратуры направляемых к этим небесным

телам автоматических межпланетных станций. В результате использования всех этих методов и данных теоретической астрофизики и космологии появилась возможность получить общую картину распространенности химических элементов во Вселенной и убедиться в том, что во Вселенной нет элементов, которые не «предусмотрены» таблицей Менделеева. Оказалось, что наиболее распространены во Вселенной водород и гелий. Других элементов (углерод, азот, кислород, кремний, различные металлы и т. д.) значительно меньше.

Как правило, чем больше атомная масса элемента, тем реже он встречается. Всегда ли во Вселенной

существовала наблюдаемая ныне распространенность химических элементов?

Набор элементарных частиц

В отличие от естественных и искусственных химических элементов, число которых в 1987 г. достигло 110¹, сейчас насчитывается несколько сотен элементарных частиц, причем многие из них не такие уж элементарные, так как сами имеют сложную структуру и могут оказаться составными. Например, протон и нейтрон — эти главные «кирпичики» мироздания — скорее всего, состоят из кварков — частиц, которые непосредственно пока не удавалось наблюдать и которые, как предполагают, в настоящее время существуют внутри ядер атомов лишь в связанном состоянии.

Как вы знаете, частицы, входящие в состав ядер атомов, подвержены в основном сильному взаимодействию. Их относят к группе адронов (что означает крупные, массивные). В эту группу, кроме протонов и нейтронов, входят, например, мезоны, гипероны и ряд других частиц. А легкие частицы, или лептоны (электроны, мюоны, нейтрино и др.), не участвуют в сильном взаимодействии (для них характерны электромагнитное и слабое взаимодействие). Понятие о физических взаимодействиях дается в школьном курсе физики. Необходимые дополнения будут сделаны ниже. Таким образом,

в зависимости от участия в тех или иных видах взаимодействий (гравитационное взаимодействие является общим для всех) все частицы (за исключением фотонов) можно разбить на две большие группы — адроны и лептоны, причем в каждую из групп входят как сами частицы, так и античастицы.

Из известных сейчас частиц (их свыше 350) большинство составляет различного рода нестабильные частицы. Наблюдаемое во Вселенной вещество состоит в основном из протонов, нейтронов и электронов, а элементарными частицами излучения являются различные кванты электромагнитного излучения (кванты видимого света, кванты радиоизлучения, кванты коротковолнового излучения).

К сказанному полезно кое-что добавить о современном кварк-глюонном уровне строения вещества. Комплекс явлений, связанных с этими представлениями, объединяется в рамках квантовой хромодинамики — теории сильного взаимодействия кварков. В то время когда квантовая хромодинамика возникла (конец 60 — начало 70-х гг.), физики обходились всего тремя типами кварков, сейчас их уже шесть. Кварки наделены дробными электрическими зарядами ($2/3$ и $-1/3$). За единицу положительного электрического заряда принят, как известно, заряд протона. Из трех кварков, два из которых имеют заряд $2/3$, а один $-1/3$, состоит протон с зарядом $+1$. А из трех кварков, из которых один имеет заряд $2/3$, а два других $-1/3$, состоит нейтрон, электрический заряд которого равен 0.

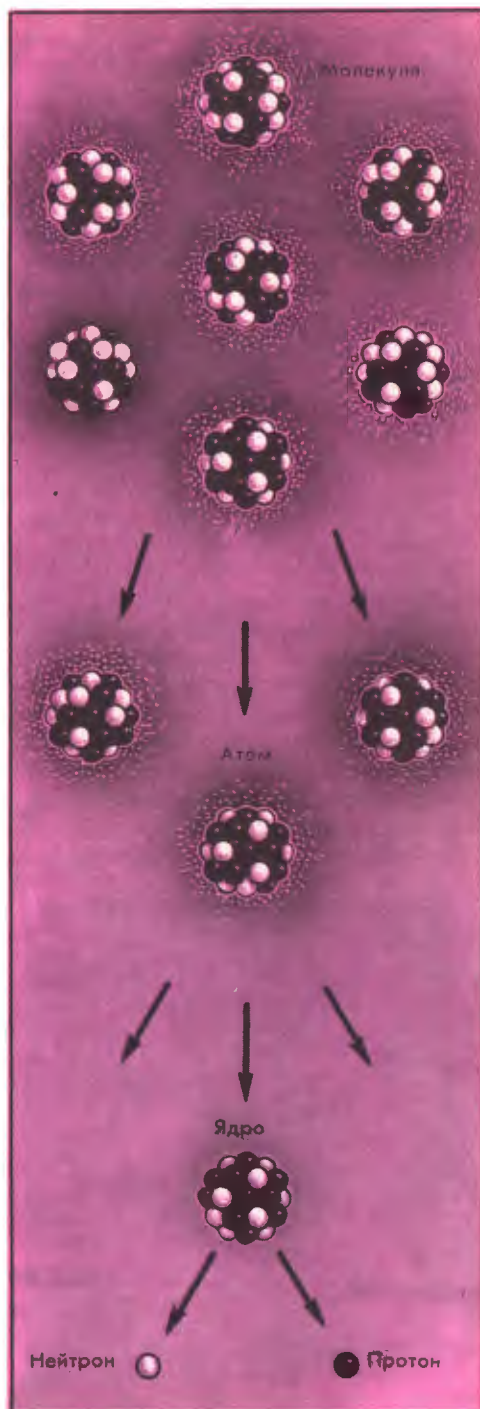
¹ 110-й был впервые синтезирован в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне под руководством академика Г. Н. Флерова. Ядра этого элемента — «долгожители»: они живут около 0,01 с, и их открытие рассматривается как доказательство того, что в районе 110—114 элементов, возможно, существует «остров» сверхтяжелых и довольно стабильных элементов (по отношению к радиоактивному распаду).

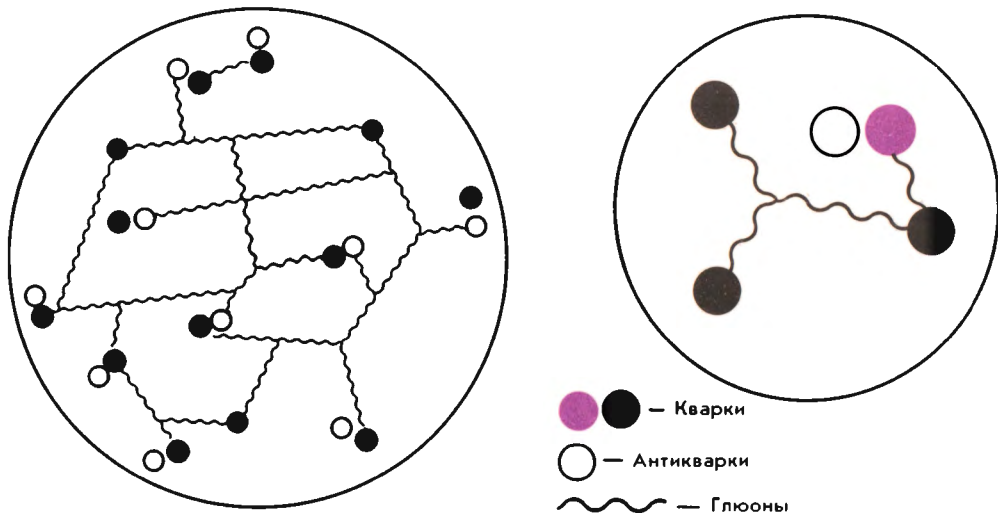
В настоящее время квантовая хромодинамика оперирует кварками шести типов (ароматов): верхний, нижний, странный, очарованный, прекрасный, правдивый. Они обозначаются буквами *u* (от англ. *Up* — вверх), *d* (*down* — вниз), *s* (*strange* — странный), *c* (*charm* — очарование), *b* (*beautiful* — прекрасный), *t* (*truth* — правда).

Каждый кварк имеет свой антикварк (античастицу). Но это еще не все. Кварки могут находиться в трех различных состояниях. Эти состояния называют цветом (красный, желтый, синий). Обычные элементарные частицы состоят из кварков разных цветов, но содержатся в них кварки в таких комбинациях, чтобы в результате получилась бесцветная частица. Бесцветными будут также и частицы, состоящие из кварка и антикварка (таковы, например, некоторые мезоны).

Все 36 «известных» сейчас кварков (их, вообще говоря, может быть и больше) взаимодействуют между собой. «Склеивают» кварки особые кванты-частицы, которые называются глюонами (от англ. *glue* — клей); спин глюонов 1, а масса покоя 0. В 1987 г. академик А. Б. Мигдал (1911—1991) привел ряд важных доводов в пользу того, что элементарные частицы имеют форму, отличную от сферической. Например, адроны и мезоны можно представить себе в виде «мешков», внутри которых движутся кварки. Фигура «мешков» напоминает эллипсоиды. Поистине удивительна «проницающая способность» теоретиков! Прекрасно и то, что они в своих работах указывают и пути возможной эксперименталь-

Строение вещества:
молекулы; ядра атомов, состоящие из протонов и нейтронов;



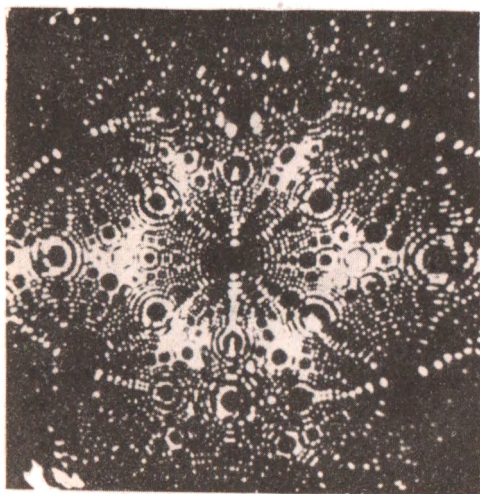


Структура протона, состоящего из кварков. Справа — таким мы бы увидели протон, если бы рассматривали его с помощью инструмента, обеспечивающего разрешение около 10^{-14} см. Слева — более детальная картина (при разрешении около 10^{-15} см). Если же в распоряжении наблюдателя имеется инструмент, дающий разрешение не более 10^{-13} см (этого же порядка размер самого протона), то протон будет казаться бесструктурным шариком;

ной проверки новых гипотез о строении (а теперь и виде) «кирпичиков» мироздания.

Свободные, изолированные кварки до сих пор не обнаружены (не исключено, что они вообще не могут

находиться вне частиц, в состав которых они входят), но есть эксперименты, подтверждающие реальность кварков. Например, в 1983 г. появились экспериментальные данные, позволившие пополнить семейство кварков t -кварком (существование этого кварка было предсказано раньше). Вполне возможно, что физические процессы с участием кварков происходили при условиях, которые существовали в первые мгновения расширения нашей Вселенной, когда еще не успели образоваться не только простейшие химические элементы, но и привычные нам элементарные частицы. Возможно, что в первые мгновения расширения на-



Поверхность кристалла вольфрама при увеличении микроскопа в 10^7 раз (разрешение $3 \cdot 10^{-8}$ см). Перед вами кристаллическая решетка вольфрама (каждая яркая точка — отдельный атом).

шей Вселенной существовали некие «прародители» нынешних частиц; такие «преоны» могли быть даже предшественниками кварков. Как мы

увидим, исследования в области современной космологии неразрывно связаны с прогрессом в области физики элементарных частиц.

Асимметрия вещества и антивещества

С точки зрения физики частицы и античастицы равноправны: протон, например, ничуть не лучше (или не хуже) антипротона. Главное — знак заряда (существуют и более тонкие отличия). Но вот почему-то наша планета и все, что на ней находится, включая нас самих, состоит из протонов, а не антипротонов. Нет никаких оснований предполагать, что другие планеты Солнечной системы и их спутники, а также астероиды и кометы состоят из антипротонов или других античастиц. Можно, например, вспомнить, что все перечисленные небесные тела образовались в процессе эволюции протопланетного облака, некогда окружавшего Солнце. А Солнце? Оно тоже состоит из частиц, а не из античастиц — об этом свидетельствуют данные о космических лучах, изверженных солнечными вспышками. К аналогичному выводу ученые приходят, анализируя потоки космических лучей, образующихся в Галактике. Конечно, в космических лучах солнечного и галактического происхождения обнаружены античастицы (например, позитроны), но они не имеют непосредственного отношения к Солнцу, другим звездам и к межзвездной среде, потому что большинство из них родилось в земной атмосфере под воздействием потоков первичных космических лучей.

Другие галактики, скорее всего, тоже состоят из вещества, а не из антивещества. Правда, спектральные исследования не помогают доказать это, так как спектры излучения вещества не отличаются от спектров из-

лучения антивещества. Но если бы одни галактики состояли из вещества, а другие — из антивещества, то мы бы все-таки об этом догадались. В самом деле, трудно было бы не заметить колоссальные космические фейерверки, которые сопровождали бы столкновения галактик и антигалактик. Впрочем, заметны были бы и менее величественные явления, например гамма-вспышки в результате аннигиляции частиц, испускаемых нашей Галактикой, и античастиц, летящих от какой-нибудь «антивещественной» звездной системы.

Таким образом, достаточно обосновано представление о том, что в нашей Вселенной вещество явно преобладает над антивеществом. Можно ли объяснить этот факт, или мы должны просто констатировать, что в природе существуют протоны или электроны, а вот антипротоны и позитроны встречаются исключительно редко?

Преобладание вещества над антивеществом часто называют барионной асимметрией (объединяя под названием «барионы» протоны, нейтроны и ряд других частиц, из которых состоит обычное вещество).

Говоря о веществе и излучении во Вселенной, необходимо особо сказать о квантах реликтового излучения, которых очень много в нашей Вселенной, а между тем соотношение вещества и излучения тоже имеет фундаментальное значение. В настоящее время температура микроволнового (реликтового) излучения (диапазон длин волн от 0,6 мм до 50 см) близка к 2,7 К. Можно под-

считать, что энергия квантов этого излучения почти в 3000 раз меньше, чем энергия квантов видимого света. Но во Вселенной очень много квантов реликтового излучения: на один атом (точнее, на один протон) приходится миллиард квантов (примерно 400—500 в каждом кубическом сантиметре). Напомним, что во Вселенной очень много и нейтрино; их число сравнимо с числом фотонов.

Итак, частиц электромагнитного

излучения в природе значительно больше, чем обычных частиц, из которых состоит вещество. Число квантов, приходящихся на один протон, называют удельной энтропией. Из сказанного ясно, что она очень велика (10^9). Почему во Вселенной преобладают кванты излучения, а не частицы вещества? Эквивалентная формулировка этого вопроса такая: почему Вселенная обладает большой удельной энтропией?

Четыре типа физических взаимодействий

Все многообразие наблюдаемых на Земле и во Вселенной физических взаимодействий сводится к следующим основным типам:

Гравитационное взаимодействие, с проявлением которого все хорошо знакомы и которое с большой точностью описывается законом всемирного тяготения.

Для сопоставления этого взаимодействия с другими воспользуемся константой гравитационного взаимодействия α_g . Можно привести α_g к безразмерному виду, выразив ее через универсальные физические постоянные: h (постоянная Планка), m_p (масса протона), c (скорость света) и G (постоянная тяготения). Тогда $\alpha_g = Gm_p^2 \cdot h^{-1} \cdot c^{-1} \approx 10^{-39}$.

Слабое взаимодействие «ответственно» за некоторые процессы превращений в мире элементарных частиц. Пример такого процесса — хорошо известный β -распад, в результате которого нейтрон превращается в протон, электрон и антинейтрино. Это короткодействующее и, казалось бы, малоощутимое взаимодействие имеет самое прямое отношение к термоядерным реакциям, в ходе которых в недрах звезд водород превращается в гелий, и к другим процессам, сопровождающим эволюцию звезд разных типов. В честь

итальянского физика Э. Ферми, разработавшего теорию β -распада, константа слабого взаимодействия именуется константой Ферми (g_F), а соответствующая безразмерная величина есть $\alpha_w = g_F \cdot m_p^2 \cdot ch^{-3} \approx 10^{-5}$.

Электромагнитное взаимодействие — это дальнедействующее взаимодействие, определяющее движение заряженных тел (частиц). Сила электрического притяжения (отталкивания) точечных неподвижных зарядов вычисляется по закону Кулона. При рассмотрении явлений в более общем случае используются уравнения электродинамики Максвелла. Безразмерная константа этого взаимодействия равна: $\alpha_e = e^2 \cdot h^{-1} \cdot c^{-1} \approx 1/137$ ($e \approx 10^{-19}$ Кл — заряд электрона).

Сильное взаимодействие — короткодействующее взаимодействие (радиус действия $\approx 10^{-13}$ см, что примерно на три порядка меньше радиуса слабого взаимодействия), обеспечивающее прочную связь между нуклонами (протонами и нейтронами) в ядрах атомов и, вероятно, связывающее кварки внутри элементарных частиц. Как и слабое взаимодействие, оно играет важную роль во многих процессах, происходящих в природе и используемых

в технике. Сопоставить это взаимодействие с другими можно путем сравнения безразмерных констант (при этом константа сильного взаимодействия, обозначаемая α_s , близка к 1; $\alpha_s \approx 1$).

Итак, во Вселенной, в которой мы живем, четко различаются названные четыре основных типа взаимодействий. А нет ли других разновидностей взаимодействий? Всегда ли при всех ли условиях названные типы взаимодействий существовали (существуют) изолированно?

Последний вопрос представляет, в частности, интерес в связи с появившимся в 1986 г. сообщением об открытии «пятой силы» (или «пятого взаимодействия»). Не исключено, что «пятая сила» есть ранее неизвестная составляющая силы тяготения, разная для тел одинаковой массы, но различного химического состава. Из проведенных экспериментов (например, очень точно измерялось ускорение свободного падения различных

тел в глубоких шахтах) появилась гипотеза, что «пятая сила» — это сила отталкивания, пропорциональная барионному заряду тела. Напомним, что масса вещества неточно пропорциональна барионному заряду. Масса может быть различной при одинаковой сумме протонов и нейтронов (нужно учитывать наличие электронов, энергию взаимодействия частиц — «дефект массы» — и т. д.). Дальнейшие, очень тонкие экспериментальные и теоретические исследования покажут, существует ли «пятая сила». Обнаружение этой новой силы, способной весьма слабо себя проявлять, практически ничего не изменит ни в нашей повседневной механике, ни в небесной механике, но для физики элементарных частиц «пятая сила» может оказаться чрезвычайно важной. Конечно, принципиальное значение имеет вообще обнаружение силы отталкивания, потому что для механики наиболее привычны силы притяжения.

Притяжение и отталкивание

Говоря об основных типах физических взаимодействий, мы не случайно первым назвали гравитационное. Это связано с особой ролью, которую играет гравитация во Вселенной. Являясь одной из основных сил природы, сила тяготения удерживает планеты и их спутники на орбитах, объясняет существование двойных звезд и звездных скоплений, удерживает звезды на их орбитах при движении вокруг центральных областей галактик. Сила гравитации самым активным образом участвует в образовании планет и звезд из диффузной материи. Сила гравитации, уравновешивая силу газового давления, обеспечивает устойчивое равновесие звездных шаров и даже выступает в роли регулятора происхо-

дящих в звездах термоядерных реакций. Под действием силы гравитации звезды сжимаются в конце своего жизненного пути, превращаясь в белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры. Сила тяготения способна сконцентрировать огромные массы вещества и образовывать сверхмассивные черные дыры, которые, вероятно, будут со временем обнаружены в центральных областях нашей и других галактик. Наконец, сила тяготения сдерживает расширение Метагалактики и, как мы знаем, может при определенных условиях привести к тому, что расширение Метагалактики сменится сжатием.

Таким образом, сила тяготения, изменяющаяся обратно пропорцио-

нально квадрату расстояния между притягивающимися массами, является универсальной. Этот вывод из теории тяготения Ньютона остается в силе и в теории тяготения Эйнштейна (а на очень больших расстояниях от массивных тел или просто в слабых гравитационных полях обе теории практически совпадают). Но не существует ли силы отталкивания, которая уравнивает силу тяготения и, например, предотвращает сжатие Вселенной? Известно, что Эйнштейн, который первоначально считал, что Вселенная стационарна, был вынужден даже ввести в уравнения своей теории тяготения дополнительный космологический член, или ламбда-член (Λ), но отказался от этой идеи, когда выяснилось, что Вселенная расширяется. Однако вопрос о существовании силы отталкивания до сих пор не считается окончательно решенным. Сила отталкивания, если она существует, должна быть очень малой и в отличие от силы тяготения увеличиваться с увеличением расстояния между массивными телами. Например, две массы ($m_1 = m_2 = 1$ кг), разнесенные на

расстояние 1 м, притягиваются с силой $6,7 \cdot 10^{-11}$ Н, а сила отталкивания между ними должна быть в 10^{25} раз меньше! Но если перейти к космическим масштабам и сравнить силы притяжения двух галактик (масса каждой из них порядка 10^{41} кг, а расстояние принять 10^6 св. лет $\approx 10^{22}$ м), то силы притяжения и отталкивания окажутся сравнимыми. Таким образом, существует гипотеза о силе отталкивания. Есть возможность оценить значение этой гипотетической силы ($F_{\text{отт}} \simeq \simeq \Lambda r m c^2$, где Λ — космологический член, $\Lambda \leq 10^{-53}$ м $^{-2}$; m — масса отталкиваемого объекта; r — его расстояние от отталкивающего тела; c — скорость света), но считать, что сила отталкивания столь же реальна, как и сила тяготения, пока нельзя. Впрочем, к обсуждению этого вопроса нам придется еще вернуться в связи с рассказом о необычных свойствах физического вакуума (см. гл. III, § 2). Подчеркнем, что все сказанное здесь не имеет отношения к гипотетической «пятой силе», о которой шла речь в предыдущем разделе этого параграфа.

Свойства пространства

Только в простейших случаях пространство может быть плоским (кривизна равна нулю) или искривленным (с положительной или отрицательной кривизной). Вблизи таких объектов, как, например, черные дыры, пространство может обладать очень сложными геометрическими свойствами. Огромные массы вещества, содержащиеся в галактиках и их скоплениях, искривляют пространство. Искривляется не только трехмерное пространство — искривленной, неевклидовой становится геометрия реального четырехмерного пространства-времени. Плоское трех-

мерное пространство, как и плоское четырехмерное пространство-время, есть, строго говоря, лишь геометрическая идеализация. Однако кривизна реального пространства Вселенной мало отличается от нуля и даже трудно пока определить ее знак, т. е. сделать выбор между пространством с положительной или отрицательной кривизной. Кривизна пространства в однородной Вселенной одинакова во всех точках пространства (в один и тот же момент) и зависит от средней плотности вещества. По существу, эквивалентными являются следующие два вопроса:

почему $\bar{\rho}$ близка к $\rho_{кр}$, или почему кривизна реального пространства близка к нулю?

Мы вправе задать и другой вопрос: почему мы живем в мире трех

пространственных (и одного временного) измерений, почему наше пространство трехмерно и может ли вообще пространство быть иным?

Асимметрия прошлого и будущего («стрела времени»)

Все процессы эволюции материи во Вселенной неотделимы от пространства и времени: вне пространства и времени материя не существует, пространство и время — всеобщие формы бытия материи. О некоторых фундаментальных свойствах пространства было только что сказано. Здесь же мы обратимся к такому важному и очень привычному свойству времени, как его односторонненность. Известно, что развитие материальных систем во Вселенной происходит необратимым образом — от прошлого к будущему. А это и означает, что течение времени асимметрично: оно направлено от прошлого (через настоящее) к будущему, причина всегда предшествует следствию, «стрела времени» всегда устремлена в будущее. Иногда говорят о нескольких «стрелах времени», имея в виду, например, статистический характер протекания многих материальных макропроцессов (статистическая «стрела») или рассеивание в космосе электромагнитного излучения (электродинамическая «стрела»). Есть и космологическая «стрела времени», обусловленная происходящим расширением Метагалактики.

Нерешенными остаются пока проблемы, связанные со свойствами времени в эпоху начала расширения Метагалактики (и тем более до начала расширения). Нелегко представить себе особенности течения времени и в том случае, если через десятки миллиардов лет расширение Метагалактики сменится ее сжатием.

Однако не следует слишком упрощенно понимать связь «стрелы времени» с теми или иными физическими (космологическими) процессами. Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков подчеркнули, что, хотя связь «стрелы времени» с расширением Вселенной является важным свойством нашей Вселенной, не следует примитивно соотносить понятие будущего с грядущими этапами расширения Вселенной. Они поясняют свою мысль таким примером. Представим себе полет космической ракеты, которая стартует с Земли, но не выходит на околоземную или гелиоцентрическую орбиту, а, удалившись на определенное расстояние от Земли, начинает падать. Находящиеся в ракете часы не изменяют своего хода: они монотонно отсчитывают время подъема ракеты, не реагируют на ее мгновенную остановку на максимальной высоте, продолжают идти и во время возвращения ракеты на Землю. Подобно этому «стрела времени» не будет изменять свое направление на обратное, если Метагалактика когда-нибудь перестанет расширяться и начнет сжиматься. Нормально будут происходить при сжатии физические процессы. Например, звезды будут излучать свет в космическое пространство, а не поглощать собственные лучи света.

Таким образом, если наблюдатели могли бы только по часам судить о происходящих во Вселенной процессах, то они, вероятно, даже не заметили бы, что расширение Метагалактики сменилось сжатием...

§ 2. «РАЗДУВАЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ»

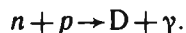
Что объясняет и что не может объяснить теория «горячей Вселенной»

Понять, почему мы живем в такой Вселенной, — значит объяснить, почему наша Вселенная обладает фундаментальными свойствами, которым был посвящен предыдущий параграф. Конечно, проще всего заявить, что такую Вселенную создал бог, или, даже не ссылаясь на бога, постулировать фундаментальные свойства Вселенной, т. е. считать, что «так было всегда». Но мы знаем, что живем в эволюционирующей Вселенной, в которой когда-то не было ни скоплений галактик, ни отдельных галактик, ни звезд с планетными системами. Так, может быть, и фундаментальные свойства Вселенной имеют свою историю? Не являются ли они результатом тех физических процессов, которые происходили на ранних и очень ранних стадиях эволюции Вселенной? На подобные вопросы современная наука дает положительный ответ: происхождение многих фундаментальных свойств Вселенной уже сегодня можно объяснить. Важным шагом на этом пути и явилась теория «горячей Вселенной».

Как мы знаем, одно из важнейших достижений этой теории — объяснение наблюдаемого соотношения водорода и гелия. Теория «горячей Вселенной» не объясняет происхождение всех химических элементов: ведь сейчас известно, что тяжелые элементы (т. е. элементы, тяжелее гелия) образовались в результате термоядерных реакций, родившихся в недрах звезд. В ходе этих реакций, происходящих, например, в недрах Солнца, водород превращается в гелий, но подавляющее количество гелия затем расходуется на образование тяжелых элементов. Поэтому

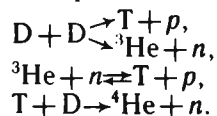
звездный термоядерный синтез незначительно обогащает Вселенную гелием. Если бы по каким-либо причинам в звездах образовывалось больше гелия, чем теперь (около 8% по массе), то соответственно больше расходовалось бы водорода и звезды, подобные Солнцу, имели бы светимость существенно выше наблюдаемой. Следовательно, соотношение водорода и гелия (примерно 75% вещества по массе состоит из водорода и 25% — из гелия) должно было возникнуть на дозвездной стадии. Теория «горячей Вселенной» как раз и приводит к такому результату (75—78% водорода, 22—25% гелия и небольшие примеси дейтерия, а также изотопов гелия ^3He и лития ^7Li).

Через несколько секунд после начала расширения при температуре порядка 10^9 К началось образование ядер дейтерия (D):



В настоящее время в космическом веществе доля дейтерия порядка 10^{-5} (по массе), но, оказывается, и эта малая доля дейтерия возникла не в звездных термоядерных реакциях, а в «горячей Вселенной».

В первые минуты после начала расширения процесс образования ядер атомов гелия (^4He) происходил в соответствии со следующими реакциями, в которых промежуточным «продуктом» был тритий T (сверхтяжелый изотоп водорода, содержащий два нейтрона и один протон):



Заметим, что, во-первых, тритий — нестабильный изотоп водорода (период полураспада около 12,3 года) и, во-вторых, почти все нейтроны расходятся на образование ядер гелия. Более тяжелые ядра, чем ${}^4\text{He}$, не образуются. Это связано с тем, что при столкновениях ядер ${}^4\text{He}$ с такими же ядрами, а также с протонами и нейтронами должны возникать ядра с атомной массой 8 или 5. Но в таблице Менделеева вблизи ядер лития находится некий «запретный» интервал масс ядер атомов, в котором просто не существуют стабильные ядра.

Итак, основной химический состав Вселенной (водород и гелий в известном нам соотношении) наметился в первые минуты расширения Вселенной, когда существовали условия, подходящие для синтеза гелия. Особый интерес представляет соотношение водорода и гелия: ведь в принципе первичный синтез мог бы произвести не 30% гелия, а, скажем, 100% или Вселенная могла бы остаться вообще без гелия. Как мы увидим дальше, подобные возможности имели бы удручающие последствия для дальнейшей судьбы Вселенной и ее обитателей. Здесь же лишь обратим внимание на то, что наблюдаемое соотношение водорода и гелия можно считать довольно случайным и связано оно с тем соотношением между количеством нейтронов и протонов, которое установилось к моменту синтеза ядер гелия. А соотношение было примерно таким: 0,15 нейтронов и 0,85 протонов. В ядрах гелия — половина нейтронов и половина протонов, причем, как отмечалось выше, почти все нейтроны включены в ядра гелия. Поэтому доля гелия по массе может быть получена простым умножением на 2 первоначальной доли нейтронов ($0,15 \cdot 2 = 0,3$, т.е. гелий дол-

жен составлять не более 30% от всей массы продуктов реакций термоядерного синтеза в ранней Вселенной).

Что же касается первоначального соотношения нейтронов и протонов, то оно связано с реакциями их взаимопревращений ($p + e^- \rightleftharpoons n + \nu$, $p + \bar{\nu} \rightleftharpoons n + e^+$). Эти реакции чрезвычайно чувствительны к температуре и прекратились примерно через 1 с после начала расширения, когда доля образовавшихся нейтронов достигла примерно 0,15.

Итак, теория «горячей Вселенной», рассматривающая физические процессы на ранних стадиях расширения начиная с первой секунды, и теория звездной эволюции объясняют наблюдаемую распространенность химических элементов. Происхождение химических элементов перестало быть тайной: химические элементы — результат эволюции нашей Вселенной.

Однако многие важные фундаментальные свойства Метагалактики теория «горячей Вселенной» объяснить не может. Довольно долго не было даже видно путей подхода к их объяснению. Но ситуация резко изменилась в лучшую сторону с появлением гипотезы «раздувающейся Вселенной». Такой поворот дел был связан с новейшими достижениями физики элементарных частиц. О некоторых из них мы прежде всего и расскажем. Без этих достижений космология не могла бы продвинуться «ближе к началу» и рассмотреть удивительные процессы, происходившие в первую секунду расширения. Но и физика, безусловно, выиграла, ибо она получила в свое распоряжение «космическую лабораторию» самой ранней Вселенной с экстремальными условиями, пока не достигшими в земных лабораториях.

Великое объединение физических взаимодействий

Мы знаем, что существуют четыре вида физических взаимодействий — гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное. Каждое из них можно характеризовать определенной константой и указать частицы-переносчики (или «обменные» частицы), которые осуществляют эти взаимодействия. Например, переносчик электромагнитного взаимодействия — фотон (масса этой частицы 0, а спин 1). Раньше всего были открыты электромагнитное и гравитационное взаимодействия. Именно их Эйнштейн пытался объединить в единой теории поля. Эту задачу ему решить не удалось, но идея объединения взаимодействий до сих пор относится к одной из основных идей физической науки.

В 1979 г. Нобелевскую премию получили американские физики С. Вайнберг и Ш. Глэшоу, а также А. Салам — физик из Бангладеш, которым удалось создать теорию электрослабых взаимодействий; в ней объединены слабые и электромагнитные взаимодействия. Все процессы слабого взаимодействия (бета-распад ядер атомов, рассеяние нейтрино протонами, аннигиляция и др.) могут быть теперь рассчитаны на основе этой теории. В ней роль переносчиков взаимодействий играют частицы, которые называются промежуточными векторными бозонами (W^- , W^+ , Z^0). Массы их примерно в 100 раз превышают массу протона, спины равны 1. В 1983 г. промежуточные бозоны были открыты в Женеве на ускорителе частиц при столкновении пучков протонов и антипротонов с энергией в каждом пучке 270 ГэВ. Открытие промежуточных бозонов рассматривается как доказательство теории электрослабых взаимодействий (за это открытие физики-

экспериментаторы К. Руббиа и С. Фан дер Мейер получили в 1984 г. Нобелевскую премию). Открытие бозонов рассматривается и как доказательство реальности особого вида полей, которые называются скалярными. В отличие, например, от векторного электрического поля, которое можно характеризовать вектором напряженности, скалярное поле характеризуется скаляром ϕ . Это поле в обычных условиях себя никак не проявляет, но именно благодаря ему электрические и слабые силы отличаются друг от друга, да и бозоны становятся отличными от фотонов. У тех и других частиц спины равны 1, а вот массу имеют только бозоны (у фотонов масса покоя отсутствует). Таким образом, скалярное поле как бы обладает способностью наделять некоторые частицы массой.

Мы еще будем возвращаться к вопросу о скалярном поле ϕ , а пока продолжим разговор об объединении взаимодействий и выясним, какое отношение все это имеет к проблемам космологии. Дело в том, что единство слабого и электромагнитного взаимодействий проявляется при очень больших температурах и энергиях. Для этого необходимы энергия порядка 10^2 ГэВ и температура 10^{15} К.

Еще большую температуру (10^{27} К) и энергию (10^{14} ГэВ) необходимо иметь для того, чтобы к электрослабому взаимодействию присоединилось еще и сильное взаимодействие (тогда наступает «великое объединение»). Наконец, сверхобъединение — присоединение гравитации к трем только что названным типам взаимодействий — возможно лишь при температуре 10^{32} К и энергии около 10^{19} ГэВ.

О сверхобъединении взаимодействий физики пока только мечтают. Электрослабое взаимодействие уже стало реальностью, а его успехи позволили физикам вплотную заняться разработкой теории «великого объединения».

Модели теории «великого объединения» имеют особое значение для космологии. Так, например, эти модели предсказывают, что протоны, еще недавно считавшиеся стабильными частицами, на самом деле распадаются через 10^{30} — 10^{32} лет. Столь длительное время распада протона практически бесконечно по сравнению со всеми нашими земными и даже космогоническими мерками, но для космологии, стремящейся, как

мы видели в гл. II, § 8, заглянуть в «сверхбудущее» Вселенной, важно знать время жизни самой стабильной частицы.

Прогресс в области этой теории «великого объединения», а также в теории сверхплотного вещества с температурой, которая в миллиарды раз превосходит температуру внутри звезд, был необходим для того, чтобы космология сделала следующий шаг в своем развитии. Этим шагом и стало создание гипотезы «раздувающейся Вселенной». Но чтобы разобраться в сценарии новой гипотезы, нам необходимы еще некоторые отступления в физику. Им посвящены два небольших следующих раздела этого параграфа.

Физический вакуум

Произнося слово «вакуум», мы обычно представляем себе чрезвычайно разреженную среду, которую либо исследуют в специальных вакуумных лабораториях, либо наблюдают в космическом пространстве (околоземное космическое пространство, межпланетное и межзвездное пространство). Действительно, даже в околоземном космическом пространстве среда очень разреженная (по сравнению, например, с концентрацией частиц внутри космического корабля), и приходится принимать необходимые меры, чтобы не допустить разгерметизацию космического корабля. Но сейчас нас будет интересовать не «вакуум-пустота», а нечто совершенно иное: особое, «ненаблюдаемое» в повседневной жизни состояние материи, которое называется физическим вакуумом.

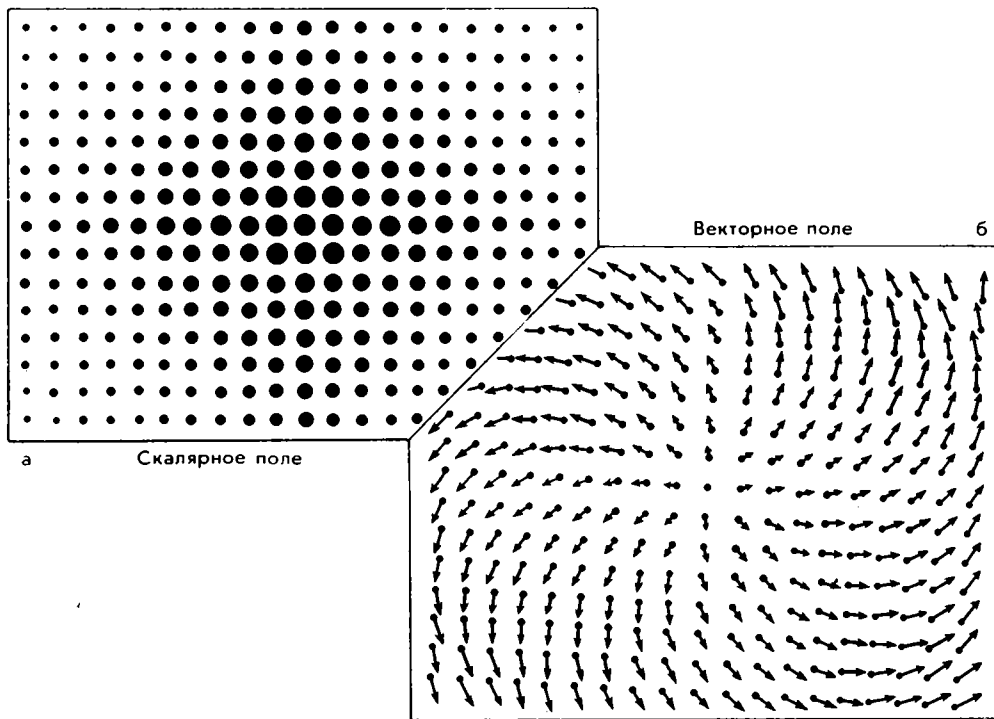
Что же представляет собой это физическое «ничто»? Неужели в объеме, из которого тщательнейшим образом удалены частицы вещества (допустим, даже все части-

цы!), осталось это интересующее физиков «ничто»? Обычных (реальных) частиц в пустом объеме, конечно, нет, но квантовая теория предсказывает существование множества других частиц, называемых виртуальными. Такие частицы способны при определенных условиях превратиться в реальные. Время «жизни» для частиц с массой, равной m_e , можно вычислить по формуле

$$t = h \cdot m_e^{-1} c^{-2} \approx 10^{-21} \text{ с.}$$

Как видим, величина эта очень малая и говорит она, пожалуй, не о «жизни», а о кратковременном всплеске жизни весьма странных частиц и связанных с ними полей.

Итак, море ненаблюдаемых частиц, правда, готовых при определенных условиях (о них будет еще кое-что сказано) превратиться в обычное! Из истории физики хорошо известен пример подтверждения реальности гипотетических частиц. Вспомним, что позитрон (античастица электрона) в 1928 г. был открыт



Схематическое изображение скалярного *а* и векторного *б* полей. Пример векторного поля — электромагнитное поле. Пример скалярного — квантовое ϕ -поле (поле Хиггса), являющееся одним из главных элементов единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий и, следовательно, гипотезы «раздувающейся Вселенной».

«на кончике пера». Это сделал английский физик Поль Дирак. В 1932 г. «дырка» в вакууме была открыта на практике (вместе с ней была доказана реальность электронно-позитронного вакуума, а затем получены экспериментальные данные о взаимодействии электронов с этой средой). В физическом вакууме отсутствуют реальные частицы и связанные с ними реальные поля. Но это же состояние можно характеризовать наименьшим значением энергии таких квантовых полей, как уже упомянутое выше скалярное поле, которое должно существовать в вакууме. Этому полю ставится в соответствие гипотетическая частица, которая по

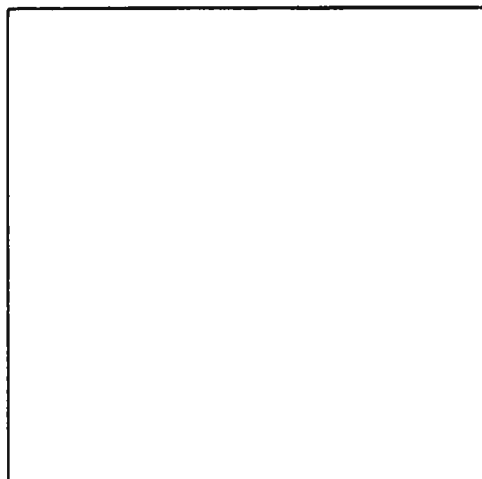
фамилии предложившего ее английского ученого называется хиггсом. Хиггс — пример сверхтяжелого бозона, масса хиггса должна быть очень большой (возможно, в 10^{14} больше массы протона). Такие частицы могут рождаться при температуре 10^{27} К. Существуют проекты огромных ускорителей, где, наблюдая взаимодействие частиц, ученые надеются подтвердить реальность существования хиггсов. Один из проектов американские инженеры и физики планируют осуществить в конце века. Это будет очень мощный ускоритель на встречных пучках, причем для уменьшения потребляемой энергии в установке («кольцо» с длиной

окружности 84 км) будут использоваться сверхпроводящие магниты. Будущий ускоритель назван сверхпроводящим суперколлайдером SSC (Superconducting Supercollider). Энергия столкновения двух встречных протонов будет выделяться в области пространства в 10^5 раз меньше размеров протона, мгновенная мощность превысит мощность всех ныне работающих электростанций. Мгновение должно длиться поистине ничтожный отрезок времени: оно меньше секунды в столько же раз, во сколько секунда меньше 10^{14} лет! Этот миг и будет напоминать нашу Вселенную через 10^{-16} с после начала расширения... Таковы надежды обнаружить хиггсы, хотя реальность существования физического вакуума в настоящее время не связывается с обнаружением этих сверхтяжелых частиц.

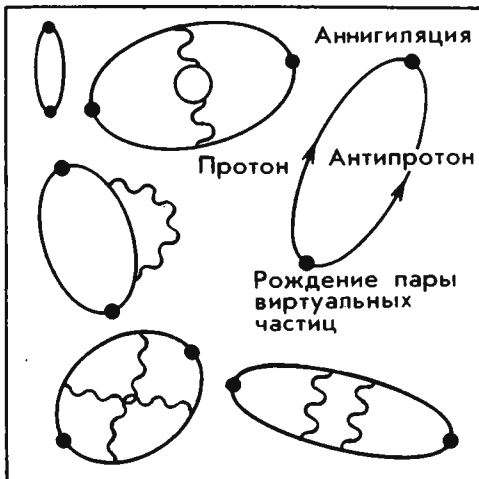
Одно из удивительных свойств

физического вакуума связано с тем, что он создает отрицательное давление и, стало быть, может оказывать источником сил отталкивания в природе. Это свойство, как мы увидим дальше, играет исключительно важную роль в сценарии «раздувающейся Вселенной».

Известный советский физик И. Л. Розенталь образно сравнивает физический вакуум с камнем, о который ударяется частица и выбивает из него осколки при достаточно энергичном ударе. Физический вакуум буквально нужно растормошить, чтобы «полуживые» виртуальные частицы ожили. Это может произойти, например, при возбуждении вакуума электромагнитным полем, а также при фазовых переходах, сопровождающихся резким изменением состояния физического вакуума.



а



б

Вакуум:

а — обычное представление о вакууме как о «пустом пространстве», в котором отсутствуют какие-либо элементарные частицы, включая гипотетические кварки (в необъятных просторах Вселенной повсюду вакуум — и между небесными телами, и между частицами, из которых состоят атомы и их ядра); б — физический вакуум не «пустое пространство», а находящиеся в состоянии непрерывных колебаний и вечного «кипения» поля, в которых рождаются (чтобы немедленно погнубить) виртуальные (буквально возможные) частицы.

Фазовые переходы первого рода

Представление о простейших фазовых переходах — превращении (скачкообразном переходе) вещества из одного состояния в другое — имеют все. Например, хорошо известно, что в зависимости от температуры вода может находиться в жидком, твердом или газообразном состоянии, а превращение воды в лед или в пар, как и обратные переходы, называются фазовыми переходами.

Различают два рода фазовых переходов. К первому относят те переходы вещества из одной фазы в другую, при которых скачком меняются термодинамические параметры системы (например, плотность) и выделяется (или поглощается) теплота. Очевидно, переход льда в воду (плавление) или воды в пар (испарение), а также превращение пара в воду (конденсация) и воды в лед (затвердевание) — все это примеры фазовых переходов первого рода. К этому же роду фазовых переходов относится превращение сверхпроводящего материала в обычный (в сильных магнитных полях), превращение графита в алмаз (при больших давлениях), затвердевание жидкого гелия (при температурах, близких к абсолютному нулю, и давлении, всего лишь раза в два большем атмосферного).

Если же при фазовом переходе

внутренняя энергия и плотность вещества не меняются, а происходит скачкообразное изменение таких свойств, как теплоемкость, намагничивание, сжимаемость и т. д., то говорят о фазовых переходах второго рода. Сюда относится, например, переход парамагнетика в ферромагнетик. Теория фазовых переходов второго рода очень интересная область теоретической физики, но мы этого касаться совершенно не будем и даже не будем приводить других примеров фазовых переходов второго рода. Дело в том, что в теории «раздувающейся Вселенной» рассматриваются изменения состояния физического вакуума, сопровождающиеся, например, выделением огромного количества теплоты, т. е. переходы первого рода. Оказывается, такое необычное состояние материи, как физический вакуум, способно перестраиваться под влиянием внешних условий (подобно привычным нам твердым и жидким телам). Но последствия фазовых переходов физического вакуума для судьбы нашей Вселенной оказались поистине фантастическими. Впрочем, мы убедимся в этом, познакомившись со сценарием «раздувающейся Вселенной» и с тем, как новая гипотеза объясняет ряд фундаментальных свойств Метагалактики.

Сценарий «раздувающейся Вселенной»

Строго говоря, существует несколько таких сценариев. Первые из них появились в начале 80-х гг. (1980 г. — американский физик А. Гус; 1981 г. — советский физик А. Д. Линде и чуть позднее — американские физики П. Стейнхардт и А. Альбрехт; 1983 г. — новый сценарий, получивший название сценарий

«хаотического раздувания», разработал А. Д. Линде). Разработкой гипотезы «раздувающейся Вселенной» ученые продолжают активно заниматься и сейчас в нашей стране и за рубежом.

В чем же суть сценария «хаотического раздувания»? Прежде всего обратим внимание на то, что сцена-

рий «раздувающейся Вселенной» не отменяет такие важнейшие результаты, полученные релятивистской космологией, как фридмановская теория расширения Метагалактики, теория «горячей Вселенной» и т. д. Модели «раздувающейся Вселенной» позволяют приблизиться к началу расширения и исследовать ранее вообще не рассматривавшиеся процессы, которые происходили в первую секунду, а точнее, в первые мгновения истории Метагалактики. Предполагается, что в истории очень ранней нашей Вселенной огромную роль играл физический вакуум, который, как мы знаем, обладает антигравитационными свойствами, т. е. способен вместо обычного гравитационного притяжения создавать мощное гравитационное отталкивание.

Сценарий «раздувающейся Вселенной» не отменяет Большой Взрыв, в начале которого плотность материи превосходила 10^{96} кг/м³, а свойства пространства и времени пока нам неизвестны. Через 10^{-45} с после начала расширения плотность материи стала 10^{96} кг/м³ (это почти на восемьдесят порядков больше плотности атомного ядра и неизмеримо выше плотности физического вакуума). До тех пор пока плотность физического вакуума (10^{77} кг/м³) оставалась много меньше плотности реальных горячих частиц и античастиц, антигравитационные свойства такого «ложного вакуума» не оказывали значительного влияния на характер расширения. Но уже через 10^{-34} с после начала расширения температура была порядка 10^{27} К, а плотность обычной материи стала такой же, как и плотность «ложного вакуума». В этих условиях гравитационное отталкивание превосходит силы притяжения. Под действием отрицательного давления физического вакуума наша Вселенная начала

ускоренно расширяться. За каждые 10^{-34} с расстояние между произвольно выбранными элементами среды удваивалось или стало экспоненциально расти (график такого процесса экспонента — кривая показательной функции с основанием e). Таким образом, фридмановскому расширению, при котором

$$R(t) \sim t^{1/2},$$

предшествовала стадия эволюции Вселенной, при которой

$$R(t) \sim (H_0^{-1} e^{H_0 t}),$$

где H_0^{-1} — постоянная Хаббла, которая тогда резко отличалась от современного значения.

«Раздувание» продолжалось ничтожное (по нашим представлениям!) время — порядка 10^{-32} с, но этого хватило для того, чтобы размер рождающейся Метагалактики чудовищно увеличился: по одним моделям в 10^{50} раз, а по другим — в $10^{1\,000\,000}$ раз! Без «раздувания» размеры увеличились бы лишь в 10 раз...

Гипотезу «раздувающейся Вселенной» называют еще «инфляционной».

В принципе не исключено, что в истории нашей Вселенной была не одна, а несколько «инфляционных» стадий, но так или иначе «раздувание» было явлением кратковременным. По мере расширения Вселенной быстро уменьшались плотность и температура обычного вещества. Наступили переохладение и фазовый переход среды из состояния «ложного вакуума» в состояние истинного вакуума, плотность которого мало отличается от нуля. Этот переход сопровождается выделением очень большой энергии, прежде скопившейся в «ложном вакууме». Освободившаяся энергия расходовалась на рождение (из физического ва-

куума) множества реальных частиц и античастиц. Скорости движения и энергии новорожденных частиц были очень велики, а потому Вселенная вновь разогрелась до температуры порядка 10^{27} К, а «инфляционная» стадия эволюции Метагалактики сменилась уже известной нам стадией «горячей Вселенной». Исходный объем, с которого началось «инфляционное» расширение пространства, был менее 10^{-33} см³. Вот этот объем мгновенно вырос до объема, многократно превосходящего нынешние размеры Метагалактики.

Здесь необходимо сделать следующие замечания. Во-первых, легко убедиться в том, что размеры Метагалактики увеличивались со сверхсветовой скоростью. Это диковинное явление, однако, не противоречит специальной теории относительности, которая запрещает распространение сигналов со сверхсветовыми скоростями, но не ограничивает скорость роста размеров какой-либо системы. Во-вторых, еще более впечатляет тот факт, что из ничтожной массы (10^{-5} г), которая содержалась в крошечном объеме пространства до начала «инфляционной» стадии, возникла Метагалактика с массой порядка 10^{50} т. Это произошло в результате работы, совершенной гравитационными силами.

Итак, основная идея гипотезы «раздувающейся Вселенной» заключается в том, что таинственная «первая секунда» содержала в себе стадию (или стадии) расширения очень юной Вселенной со всевозрастающей скоростью. Особенность же сценария «хаотического раздувания», разработанного А. Д. Линде, связана с использованием фазового перехода, который называется медленным скатыванием. Чтобы получить представление об этом, вспом-

ним о скалярном поле ϕ , неотделимом от физического вакуума. Скалярное поле может находиться в различных энергетических состояниях — в неустойчивых, неравновесных, или в устойчивых, равновесных (причем, оказывается, устойчивых состояний тоже может быть не одно, а больше). Из физики мы знаем, что равновесное состояние системы соответствует минимуму потенциальной энергии. Неравновесное поле ϕ при больших температурах может принимать некоторое значение ϕ_0 , «скатываясь» к своему равновесному состоянию. Термин «скатывание» подчеркивает, что уменьшение потенциальной энергии происходит медленно, т. е. плотность энергии скалярного поля остается почти постоянной, как и плотность «ложного вакуума». А в это время плотность обычного вещества в расширяющейся Вселенной падает, и наступает момент, когда судьбу Вселенной «решает» скалярное поле ϕ , медленно «скатывающееся» к минимуму своей потенциальной энергии и «попутно» раздувающее Вселенную до невообразимых масштабов. Существенно и то, что в очень ранней Вселенной могли быть области, в которых господствовали скалярные поля ϕ , по-разному удаленные от своего равновесного состояния. Наибольшему «раздуванию» подверглись те области, где скалярное поле дальше всего находилось от минимума потенциальной энергии. Достигнув минимума, скалярное поле не успокоилось, а начало колебаться вблизи равновесного состояния, передавая свою энергию рождающимся частицам и разогревая Вселенную до начальной температуры стадии «горячей Вселенной» (начало и конец стадии раздувания приходятся на температуру порядка 10^{27} — 10^{28} К, т. е. на температуру «великого объединения»). Все, что

известно о «горячей Вселенной», относится к истории нашей Вселенной, а «раздувание» могло завершиться

образованием множества вселенных. Впрочем, к этому мы еще вернемся в § 4 этой главы.

Что объясняет гипотеза «раздувающейся Вселенной»

Поскольку физическую основу гипотезы «раздувающейся Вселенной» составляют теория «великого объединения» и представление о фазовых переходах в физическом вакууме и связанных с ним скалярных полях, то мы начнем с того, что же дает космологии теория «великого объединения».

Как мы уже знаем, одна из особенностей нашей Вселенной — барионная асимметрия (вещество явно преобладает над антивеществом), причем на миллиард фотонов реликтового излучения приходится всего лишь одна тяжелая частица. Наблюдаемый избыток вещества над антивеществом и соотношение между излучением и веществом оказывается можно объяснить процессами, которые происходили между элементарными частицами при температуре, близкой к температуре «великого объединения» (10^{27} К). При таких температурах (через 10^{-34} с после начала расширения) рождались среди прочих сверхтяжелые (хиггсовские) частицы: Х-бозоны (помните: масса такой частицы более чем в 10^{14} раз превышала массу протона) и антибозоны (Х-бозоны). Следовательно, первоначально не было барионной асимметрии. Ее не было бы и сейчас, если бы распад обоих сортов смеси (Х и \bar{X}) происходил с одинаковой вероятностью. На самом деле, как следует из современной физики элементарных частиц, частицы и античастицы обладают не совсем одинаковыми свойствами. В частности, Х-бозон распадается с большей вероятностью (т. е. быстрее), чем антибозон \bar{X} . В результате протонов

(и электронов), которые в конечном итоге получились в расширяющейся Вселенной при распаде Х-бозонов, оказалось чуть больше, чем антипротонов (и позитронов), которые возникли при распаде антибозонов. Что значит «чуть»? На миллиард пар частиц-античастиц одна «лишняя» частица. Все частицы и античастицы в процессе аннигиляции превратились в кванты реликтового излучения. И во Вселенной осталась одна частица на миллиард квантов (наблюдаемое соотношение!). Но если бы сверхтяжелые частицы Х и \bar{X} распадались совершенно одинаково, то никаких излишков обычных частиц в природе не было бы, а вместе с тем не было бы галактик, звезд, планет и нас...

Расширение Метагалактики не находит объяснения в теории «горячей Вселенной», где просто приходится постулировать некоторое подходящее для разлета начальное распределение скоростей частиц. Но анализ событий, происходивших в первую секунду, проясняет картину. Мощное антигравитационное (или, проще говоря, отрицательное) давление физического вакуума явилось причиной расталкивания частиц, катастрофического «раздувания» Вселенной и такого наблюдаемого ныне разлета галактик (скоплений галактик), который происходит, несмотря на торможение, вызванное обычными силами тяготения.

Гипотеза «раздувающейся Вселенной» не только указывает путь к решению проблемы расширения Вселенной, но и позволяет понять, как возникли те первичные неодно-

родности, которые потом превратились в галактики. На первый взгляд в процессе «раздувания» должны были сгладиться все неоднородности среды. Но при фазовом переходе квантовые явления порождают неоднородности, которые потом образуют крупномасштабную структуру Вселенной. Если сравнить распад «ложного вакуума» с радиоактивным распадом, то процесс образования неоднородностей станет более понятным. В самом деле, в обоих случаях вещество распадается не сразу (одни части раньше, другие — с опозданием), что и создает небольшие неоднородности плотности. Надо сказать, что гипотеза «раздувающейся Вселенной» приводит как раз к такому характеру распределения неоднородностей, который еще в начале 70-х гг. предсказали Я. Б. Зельдович и другие ученые, занимавшиеся теорией образования галактик. Что же касается наблюдаемой однородности нашей Вселенной в больших масштабах, то это — следствие сглаживания в процессе «раздувания». Столь же естественным образом решается «проблема горизонта». Сегодня мы удивляемся тому, как «подстроились» друг к другу области нашей Вселенной, удаленные на расстояния, превышающие горизонт событий. Но совершенно иная ситуация была до «раздувания Вселенной», когда эти области находились буквально рядом, а следовательно, были возможны обмен сигналами, выравнивание температур и т. д. Здесь же уместно объяснить приближенное равенство средней плотности материи и критической ($\bar{\rho} \approx \rho_{кр}$). Это приближенное равенство имеет очень давнюю историю: оно досталось нам с того времени, когда в конце стадии «раздувания» плотность «ложного вакуума» сравнилась с плотностью обычной материи. И сейчас, через миллиарды

лет после фазового перехода, средняя плотность материи близка к критической.

Довольно четкие ответы из гипотезы «раздувающейся Вселенной» следуют на вопросы, связанные со свойствами пространства. Мы живем в сильно «растянутом» пространстве: как бы ни была велика первоначально кривизна пространства, после «раздувания» она исчезает и пространство становится плоским (евклидовым). Чтобы наглядно представить себе это, вообразите «параллели» и «меридианы» на небольшом резиновом шарике. По мере раздувания шарика параллели и меридианы на выделенном участке этой сферы будут выпрямляться. И мы получим практически часть плоскости, разделенной на клетки, близкие к квадратам. Труднее представить себе, как пространство стало трехмерным. Дело в том, что трехмерное пространство — это пространство нашей Вселенной. А вообще-то во время «раздувания Вселенной» пространство могло быть многомерным и сжиматься в разных направлениях по-разному. Пространства других измерений как бы скрутились в «трубочки», в которые мы не можем проникнуть. Не исключено, что эти «трубочки» сейчас стали другими вселенными.

Итак, гипотеза «раздувающейся Вселенной», которую вполне можно назвать одной из самых «сумасшедших» гипотез эволюции Вселенной, позволяет объяснить многие свойства нашего мегамира. Но пожалуй, не менее важно мировоззренческое значение новой гипотезы. В первую секунду истории юной Вселенной происходили фазовые переходы, в результате которых материя стремительно переходила из одного качественно отличного состояния в другое. Следовательно, удалось не толь-

ко продвинуться еще на несколько мгновений к загадочному началу расширения, но и получить совершенно новое подтверждение важного положения материалистической диалектики о непрерывном движении, изменении, развитии материи. И хотя новая гипотеза не решает проблему «начала» (или проблему сингулярности), но уже сейчас начинают вырисовываться контуры будущей теории, которая свяжет происхождение нашей Вселенной с процессами, имевшими место в пространственно-временной «пене».

Необходимо подчеркнуть, что данные астрономии и космологии часто идеалистически интерпретируются богословами и представителями современной идеалистической философии. Они, например, пытаются использовать теорию расширяющейся Вселенной и теорию «горячей Вселенной» для защиты религиозного учения о сотворении мира бо-

гом, утверждая, что эти теории являются непосредственным «подтверждением» важнейших религиозных догм.

В настоящее время в связи с разработкой сценария «раздувающейся Вселенной» появляются новые моменты в материалистической и атеистической интерпретации данных космологии. Например, в рамках гипотезы «раздувающейся Вселенной» история рождения, эволюции и гибели нашей Метагалактики представляется одними из бесчисленного множества «эпизодами» эволюции вечной во времени и беспредельной в пространстве Вселенной. Постепенно, по мере разработки теории физического вакуума и связанных с ним скалярных полей, проясняется сложная проблема о тех формах, в которых существовала материя до появления привычных нам вещества, излучения и т. д.

Подобная Афродите юная Вселенная

Современные физические теории имеют безграничную область применения, хотя и позволяют изучать явления в огромном пространственно-временном диапазоне и в самых экстремальных условиях. В частности, считается, что если продвигаться от сегодняшнего дня в далекое прошлое, то границей применимости этих теорий будет рубеж, отстоящий от начала расширения Метагалактики всего лишь на 10^{-43} с. Заметим, что $t_p \approx 10^{-43}$ с называют фундаментальной единицей времени («время Планка»), причем

$$t_p = (Gh \cdot c^{-5})^{1/2} \approx 10^{-43} \text{ с.}$$

Аналогичным образом, комбинируя величины h , c и G , получают фундаментальную единицу длины («длина Планка»):

$$l_p = (Gh \cdot c^{-3})^{1/2} \approx 10^{-35} \text{ м.}$$

Планковская плотность равна:

$$\rho_p = c^5 \cdot G^{-2} h \approx 10^{97} \text{ кг/м}^3.$$

За пределами этого планковского рубежа должны проявляться еще не изученные эффекты квантовой гравитации, пока совершенно недоступные современным методам экспериментальной проверки. Теория квантовой гравитации, как следует из ее названия, требует использования для анализа явлений общей теории относительности (теории гравитации) и квантовой теории. Что можно сказать о кривизне пространства-времени в «планковской эре»? Что можно сказать о поведении частиц (и полей) за пределами рубежа, достигнутого современными физиче-

скими теориями? Из ответов на подобные вопросы и возникло представление о губкообразной пространственно-временной «пене». Это необычное состояние материи, для которого характерны самые замысловатые изгибы и повороты пространства-времени (геометрический образ не бесконечная евклидова плоскость, а множество «ручек», «горловин» и т. п.) и бесчисленные случайные флуктуации частиц и полей. Распад обычной структуры пространства-времени и образование «пены» произошли при температуре порядка 10^{32} К и плотности, близкой к 10^{97} кг/м³.

Еще в начале 70-х гг. советские и зарубежные ученые высказывали идеи о том, что из «пены» пространства-времени родилась наша Вселенная. Эти идеи получили серьезное подкрепление после появления сценария «хаотического раздувания». Действительно, условия, господствовавшие в «планковской эре», как раз

такие, при которых идет «раздувание» (причем тем сильнее, чем дальше от равновесного значения ϕ_0 находится скалярное поле ϕ и чем больше плотность энергии скалярного поля). «Новорожденная» Вселенная имела размер, близкий к планковской длине, и, скорее всего, была замкнутой. Но мы знаем, что если и наша вселенная окажется замкнутой, то нынешнее расширение сменится сжатием (коллапсом), за которым, возможно, последует новое расширение, новое рождение уже другой Вселенной (ибо это уже будет мир с другими фундаментальными свойствами!).

По одному из вариантов мифа, греческая богиня Афродита родилась из белоснежной пены морских волн вблизи острова Кифера. Это сказочное рождение прекрасной богини невольно вспоминается, когда размышляешь о возможном рождении нашей Вселенной из «пены» пространства-времени...

§ 3. ЧЕЛОВЕК В ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

Уникальность нашей Вселенной

Какое место в современной астрономической картине мира отводится Земле и человеку?

Мы знаем, что когда-то Землю мыслили центром Вселенной, а затем это место стали отводить Солнцу. Но потом выяснилось, что Солнце не только не центр мироздания, но даже и не центр нашей Галактики, которая сама оказалась одной из множества галактик в расширяющейся Метагалактике. Не исключено, что в будущем наука получит доказательства и того, что даже наша Метагалактика — одна из многих (см. гл. III, § 4). Современная астрономическая картина мира находится в резком

противоречии с религиозным учением о человеке как «венце творения». Но человек не чувствует себя затерянным в беспредельных просторах безразличной к нему Вселенной. Его разум оказался способным познать многие ее самые сокровенные тайны. Одна из них связана с очень интересным вопросом: могли ли появиться жизнь, разум и, наконец, цивилизация в другой Вселенной, принципиально отличающейся от нашей?

Прежде чем рассматривать проблему в столь общей постановке, вспомним, что в нашей Солнечной системе разумная жизнь (а скорее всего, и вообще жизнь!) существует

только на Земле. Ни на какой другой планете, не говоря уж о других небесных телах Солнечной системы (Солнце, астероиды, кометы), нет подходящих для возникновения и развития жизни условий (температура, вода в свободном состоянии, соответствующий состав атмосферы и т. д.). С точки зрения наличия всех этих условий наша планета, бесспорно, является уникальной, наверняка единственной в Солнечной системе и, вероятно, редкостной в Галактике. В настоящее время наука не располагает данными ни о существовании таких же планет, движущихся вокруг других звезд, ни о возможности существования высокоразвитых форм жизни в условиях, совершенно непохожих на те, к которым мы привыкли на Земле.

Теперь обратимся к положению нашей Солнечной системы в Галактике. Спросим себя: одинаково ли хороши для обитания различные области Галактики? Ответ на этот вопрос большинство астрономов дают отрицательный, считая, например, что крайне мала вероятность существования обитаемых небесных тел вблизи центра Галактики. Эта область Галактики таит пока еще много секретов, и трудно вообразить условия, в которых оказались бы цивилизации, находясь вблизи часто вспыхивающих Сверхновых или недалеко от сверхгигантской черной дыры... По мнению советских ученых Л. С. Марочника и Л. М. Мухина, очень важно, что наша Солнечная система расположена в узком «поясе жизни» Галактики. Этот «пояс» находится на определенном расстоянии от центра Галактики (его называют коротационным радиусом; от англ. corotation — совместное вращение), где совпадают скорости вращения самой Галактики и ее спиральных ветвей. Звезды, оказавшиеся в корота-

ционной зоне, на протяжении миллиардов лет могут находиться вне спиральных рукавов — областей бурного звездообразования, довольно частых вспышек Сверхновых и т. д. Поэтому у звезды, находящейся между спиральными ветвями, есть время для того, чтобы на планетах, если они у данной звезды появились, возникла бы жизнь и достигла бы высокого уровня. Согласно гипотезе Л. С. Марочника и Л. М. Мухина, Солнце — один из примеров такой звезды. Таким образом, и наша Земля в Солнечной системе, и наше Солнце в Галактике находятся в «поясах жизни», отличающихся наиболее подходящими условиями для возникновения и развития жизни.

Теперь обратимся к Метагалактике и хотя бы к некоторым ее фундаментальным свойствам. Нам предстоит убедиться в том, что эти свойства имеют прямое отношение к факту существования жизни. Прежде всего само расширение Метагалактики благоприятствует эволюции жизни в нашей Вселенной, потому что если бы Метагалактика сжималась, то через десятки миллиардов лет она бы превратилась в «огненный шар», а жизнь стала бы невозможной задолго до этого. Конечно, как мы видели (см. гл. II, § 8), расширение, безопасное для небесных тел и их обитателей, тоже не будет длиться вечно, но оно не станет препятствовать эволюции жизни на протяжении невообразимо большого отрезка времени.

В нашей Вселенной \bar{r} близка к $\rho_{кр}$. И оказывается, это весьма существенно для нас. Дело в том, что от значения \bar{r} зависит скорость движения частиц вещества в Метагалактике. Речь идет о том самом веществе, из которого образовались звезды и галактики. Если $\bar{r} \ll \rho_{кр}$, то скорость частиц так велика, что рассеянное,

очень разреженное вещество просто не может скопиться в массы, необходимые для формирования звезд. Если же $\rho \gg \rho_{кр}$, то, наоборот, процесс конденсации произойдет ускоренными темпами. Однако это не так хорошо, как может показаться. При большом значении ρ расширение и жизнь во Вселенной могут просто не успеть возникнуть, а тем более получить то развитие, для которого необходимы, как показывает эволюция жизни на Земле, миллиарды лет.

Мы живем в однородной Вселенной, причем однородность эта проявляется лишь в огромных масштабах. В расширяющейся Вселенной плотность вещества непрерывно уменьшается. Когда говорят о средней плотности вещества, то имеют в виду всю охваченную наблюдениями Вселенную на каком-нибудь конкретном, например сегодняшнем, этапе ее расширения. К счастью для нас, однородность не исключает существования скоплений галактик, звезд и планет, в существовании которых мы жизненно заинтересованы. Мы знаем, что в той однородной расширяющейся среде, которая возникла на ранних стадиях расширения Метагалактики, все-таки нашлось место неоднородностям, появление которых оказалось необходимым этапом в образовании последующей крупномасштабной структуры нашей Вселенной.

Для возникновения и развития жизни требуется определенный набор химических элементов. Например, для образования воды и органического вещества необходим водород. В нем нет недостатка, потому что это изначально самый распространенный элемент во Вселенной. Из него в основном состоят звезды, он же играет роль топлива в термоядерных реакциях, протекающих в недрах Солнца и подобных ему звезд. Мы

еще вернемся к вопросу о том, что, вообще говоря, водорода в нашей Вселенной могло бы и не быть так много, а пока вспомним, что все живое на Земле состоит из элементов, тяжелее водорода (да и для образования нашей планеты потребовалось немало тяжелых элементов).

Науке известна лишь жизнь на углеродной основе. Углерод — основной элемент органической химии — непрерывно циркулирует в окружающей нас земной природе. Мы редко задумываемся над тем, откуда он вообще взялся, и удивляемся, когда узнаем, что все живое на Земле содержит атомы, когда-то входившие в состав звезд. А между тем именно в звездах происходит синтез ядер атомов углерода, а рассеяние их в космическом пространстве — результат вспышек Сверхновых. Следовательно, появлению органического вещества (а затем и жизни) должна предшествовать длительная эволюция звезд, родившихся и умерших еще до рождения нашего Солнца. Следует подчеркнуть, что и сам процесс синтеза ядер углерода оказался удивительным. Когда внутри звезды водород полностью превратится в гелий (температура достигнет почти $3 \cdot 10^8$ К, а плотность — 10^7 кг/м³, становятся возможными реакции, в ходе которых гелий будет превращаться в углерод: $3\ ^4\text{He} \longrightarrow\ ^{12}\text{C} + 7,7\text{ МэВ}$). Ядро гелия (или α -частица) не просто присоединяет к себе другую α -частицу (это привело бы лишь к образованию нестабильных изотопов), а произошло тройное слияние α -частиц. Должны столкнуться и объединиться три ядра атома гелия! Это происходит в результате двух обстоятельств. Во-первых, при указанной выше плотности вещества в каждом кубическом сантиметре содержится много α -частиц. Во-вторых, на помощь приходит

ядерный магнитный резонанс — способность ядер избирательным образом поглощать электромагнитные волны. Дело в том, что энергия трех α -частиц превосходит энергию ядра гелия на 7,7 МэВ. Для осуществления тройного слияния требуется, чтобы ядро углерода имело бы возбужденный уровень с энергией 7,7 МэВ. Такой уровень действительно есть! Интересно, что астрофизики настаивали на его существовании еще до того, как физики в лабораторных условиях открыли этот квантовый эффект.

Будем продолжать удивляться. Поскольку тепловая энергия ядер внутри звезды оказалась близкой к необходимой, то процесс образования углерода из гелия происходил в звездах достаточно интенсивно (и, главное для нас, достаточно интенсивно, когда еще не было нашего Солнца). И наконец, последнее. Представим себе, что ядро углерода возникло. Но если оно присоединит к себе еще одну α -частицу, то образуется ядро кислорода (^{16}O). Вот еще новая угроза того, что углерода все-таки может и не быть. И эти опасения напрасны: углерод не может полностью сгореть внутри звезды, потому что резонансная энергия ядер атомов кислорода ниже тепловой энергии ядер атомов углерода. По выражению известного английского астрофизика Ф. Хойла, «все здесь выгодно нарочно подстроено». Собственно, что именно подстроено? «Удачное» расположение ядерных резонансов, которое в свою очередь зависит от двух физических взаимодействий (сильного и электромагнитного). Поскольку от физических взаимодействий зависит и многое другое в окружающем нас мире, обратимся к их рассмотрению.

Прежде всего еще раз выпишем значения безразмерных констант фи-

зических взаимодействий (см. гл. III, § 1): константа гравитационного взаимодействия $\alpha_g \approx 10^{-39}$, слабого взаимодействия $\alpha_w \approx 10^{-5}$, электромагнитного взаимодействия $\alpha_e \approx 1/137$, сильного взаимодействия $\alpha_s = 1$. Видно, например, что $\alpha_g < \alpha_e$. Хорошо или плохо, что так мала безразмерная фундаментальная постоянная гравитационного взаимодействия, которая, как мы видели, пропорциональна постоянной тяготения, входящей в закон всемирного тяготения ($\alpha_g \sim G$)? Подойдем к ответу на этот вопрос с точки зрения возраста звезды. Если имеется в виду звезда типа нашего Солнца, то, как мы знаем, время ее пребывания на главной последовательности примерно 10 млрд. лет. Этот результат дает теория эволюции звезд. Но оценить время жизни звезды типа Солнца можно из других соображений, воспользовавшись значениями h , α_g , m_p и c . В этом случае получается следующая формула:

$$t_s \approx \alpha_g^{-1} (h \cdot m_p^{-1} c^{-2}).$$

Отсюда видно, что если α_g была бы, например, в 100 раз больше, то во столько же раз меньше стало бы время жизни Солнца (не $5 \cdot 10^9$ лет, а $5 \cdot 10^7$ лет). Ясно, что пятьдесят миллионов лет — время, совершенно недостаточное для того, чтобы на планетах звезд типа Солнца возникла жизнь. Иными словами, наше существование очень зависит от гравитации: значительное отличие гравитационного взаимодействия от нынешнего либо привело бы к возникновению безжизненных планет, либо вообще стало бы препятствием к образованию самих планетных систем.

Теперь выясним нашу заинтересованность в константе электромагнитного взаимодействия α_e , которая, как мы знаем, имеет порядок 10^{-2} (для наших рассуждений несущ-

шественно ее более точное значение: $1/_{137}$). Расчеты показывают: именно такой порядок величины α_e необходим для того, чтобы протоны были устойчивыми долгое время (10^{32} лет), чтобы в звездах осуществлялись жизненно необходимые нам термоядерные реакции и т. д. Более того, с вполне определенным значением α_e связана химическая основа всех живых организмов, атомы и молекулы которых содержат углерод и в которых вода играет роль универсального растворителя. Фантасты могут переносить нас в неведомые миры, где существует, скажем, кремниевая жизнь. Но в этих мирах, совершенно непохожих на наш, α_e должна резко отличаться от константы электромагнитного излучения в привычном нам мире. Что же касается роли слабого и сильного взаимодействий, то достаточно вспомнить, что о ней уже было сказано (см. гл. III, § 1). Эти взаимодействия «отвечают» не только за ядерные процессы, но и за устойчивость самих ядер (например, без сильного взаимодействия ядра просто бы распались из-за электрического отталкивания входящих в них протонов). Слабое взаимодействие существенно определило основной результат превращений частиц в первые минуты расширения Метагалактики. Анализ свидетельствует, что увеличение α_w только в 10 раз могло бы привести к тому, что наша Вселенная состояла бы только из водорода. Но в этом случае стал бы невозможным тройной α -процесс ($3\ ^4\text{He} \rightarrow\ ^{12}\text{C}$), являющийся поставщиком жизненно необходимого нам углерода и важной ступенькой синтеза тяжелых элементов. Не лучше было бы, если бы α_w оказалась в 10 раз меньше: тогда Вселенная состояла бы из гелия, а не из водорода. Такую Вселенную нелегко себе представить, но довольно просто по-

нять, что жить в ней мы бы не могли. Впрочем, к таким же печальным для нас последствиям (либо только водород, либо только гелий) привело бы Вселенную и изменение константы сильного взаимодействия α_s . Стало бы, облик нашей Вселенной и наше существование в ней обусловлены строго определенными значениями констант слабого и сильного взаимодействий.

Пожалуй, самым привычным для нас является представление о том, что основные «кирпичики» мироздания — это протоны, нейтроны и электроны и что наше пространство трехмерно. Легче всего убедить себя в том, что иначе и быть не может, но значительно интереснее попытаться хотя бы мысленно «изменить» мир: представить себя в мире с иными, чем у нас, свойствами «кирпичиков» мироздания с иной размерностью пространства. Все то, с чем мы только что познакомились, в значительной степени подготовило нас к новым сюрпризам. Мы, например, убедились в фундаментальной роли констант физических взаимодействий. Но достаточно взглянуть на формулы, приведенные в § 1 этой главы, чтобы убедиться в том, что значения констант взаимодействий зависят, например, от m_p и e . Следовательно, можно предположить, что если бы эти величины оказались иными, то иными стали бы значения констант взаимодействий, а это чревато известными нам последствиями.

Согласно современным представлениям, нейтроны и протоны состоят из кварков и отличаются содержанием кварков определенных типов. Масса нейтрона m_n превышает массу протона m_p ничтожно мало (примерно на $10^{-3} m_p$): $\Delta m = m_n - m_p \approx 10^{-3} m_p$. Устойчивость ядра атома водорода, состоящего из протона и нейтрона, обусловлена достаточным

значением энергии связи (E_a) между этими частицами ($E_a > \Delta m \cdot c^2$). Так вот, если Δm оказалась хотя бы в 2 раза больше нынешнего значения, то знак в написанном выше неравенстве поменялся бы на обратный. Но при $E < \Delta m \cdot c^2$ ядро атома самого распространенного во Вселенной химического элемента потеряло бы свою устойчивость, стало бы нестабильным. О некоторых последствиях «исчезновения» водорода мы уже говорили. Следовательно, величины m_p и m_n имеют фундаментальное значение и для структуры Вселенной, и для появления в ней жизни.

В связи с этим необходимо подчеркнуть, что массы подавляющего числа элементарных частиц близки к m_p или отличаются от этого значения примерно в 2 раза. Исключение составляют мюоны и, конечно, электроны ($m_p/m_e \approx 1836$). Можно сказать, что электрон поистине редкостная частица. Впрочем, мы должны радоваться тому, что масса электрона столь мала. Дело в том, что, как следует из расчетов, увеличение массы электрона лишь в 3 раза опять-таки привело бы к распаду ядер атома водорода ($p + e \rightarrow n + \nu$). А ведь на первый взгляд трудно представить себе, что мироздание в такой степени зависит от массы крошечной (и удивительно легкой!) частицы вещества! Итак, столь «обыкновенные» элементарные частицы, как протон, нейтрон и электрон, нам нужны именно такими, какие они есть.

Точно такой же вывод нам предстоит сделать и относительно размерности пространства. Еще в 1917 г. известный физик Пауль Эренфест (1880—1933) предпринял попытку выяснить, почему, собственно, мы живем в трехмерном пространстве. Не нужно думать, что до этого времени никого не волновал вопрос

о трехмерности пространства. О нем рассуждали философы и физики, математики и психологи. Немецкий философ Иммануил Кант (1724—1804) уловил связь между трехмерностью пространства и изменением силы тяготения обратно пропорционально квадрату расстояния. Но мы знаем: дальнедействующими являются не только силы тяготения, но и электромагнитные (в частном случае электрические силы) и в законе всемирного тяготения, и в законе Кулона $F \sim r^{-2}$. Чтобы понять, какое это имеет отношение к трехмерности, вспомним, что в трехмерном евклидовом пространстве площадь поверхности сферы пропорциональна квадрату радиуса ($4\pi r^2$). Эренфест обобщил рассмотрение на случай N -мерного пространства, в котором площадь поверхности сферы пропорциональна r^{N-1} , а сила $F \sim r^{N-1}$, и доказал, что в пространстве, где $N > 3$, не могут существовать ни планетные системы, ни атомы (он рассматривал модель атома Бора).

Суть дела заключается в следующем. При $N = 1$ и $N = 2$ (одномерный и двумерный мир) материальная точка под действием притяжения центрального тела совершает колебание и не улетает от центра притяжения в бесконечность. Случай $N = 3$ (трехмерный мир) нам хорошо известен: здесь возможны либо «связанные» движения по эллипсу (в частном случае по окружности), либо уход в бесконечность по параболической или гиперболической траектории. Если же $N \geq 4$, то материальная точка или падает на центр притяжения, или улетает в бесконечность, а периодическое движение по замкнутой орбите невозможно. Это означает, что в мире, где $N \geq 4$, нет планетных систем, движения электронов по орбитам вокруг ядер и т. д.

Не менее диковинные явления должны происходить в мирах, где $N \neq 3$, и с атомами. Например, в одномерном и двумерном пространстве атомы неспособны излучать непрерывный спектр (электроны там не могут совершать необходимые для этого переходы). А в пространстве с $N \geq 4$ вообще не могут существо-

вать атомы как системы (электроны просто упадут на ядро). Мы сознательно не упоминали короткодействующие взаимодействия (слабые и сильные), в которых зависимость силы от расстояния имеет значительно более сложный характер и которые труднее сопоставить с неизбежностью трехмерного пространства.

Струны мега- и микромира

В 80-х гг. в космологии и физике элементарных частиц мощно зазвучала «струнная тема». Космологи стали говорить о гигантских гипотетических «космических струнах», существованием и эволюцией которых можно было бы объяснить многое: от рождения галактик и появления «пустот» в межгалактическом пространстве до различных наблюдаемых явлений (двойные изображения некоторых внегалактических объектов, гамма-вспышки и др.). Физики-теоретики стали развивать идею «структур», согласно которой истинные элементарные частицы (электроны, кварки) представляют собой не точки, а крошечные струны (или, быть может, колечки), размеры которых порядка 10^{-33} см. Активно развиваемая теория суперструн приводит к удивительным следствиям, одно из которых относится к размерности пространства. Мы знаем, что живем в евклидовом трехмерном пространстве (и таковым оно является по крайней мере до 10^{28} см, т. е. до «границ» Метагалактики). Геометрия «планковского» мира иная: в масштабах 10^{-33} см пространство неевклидово и многомерно.

Невидимым «космическим струнам», якобы пронизывающим нашу Вселенную, приписывается тоже не-

мало удивительных свойств. Трудно вообразить эти тонкие сверхмассивные «трубки» (толщина 10^{-30} см, а масса 1 см порядка 10^{16} т), возможно, свернутые в огромные кольца (диаметром в миллионы световых лет), которые непрерывно колеблются, пересекаются, закручиваются, делятся. В ранней Вселенной могли существовать небольшие петли (диаметром порядка ста световых лет), способные своим притяжением сгребать вещество в комки (будущие галактики, а затем и их скопления). Поэтому некоторые космологи считают, что именно ранние струны были причиной перехода от однородного распределения вещества к неоднородностям, без которых не могли бы возникнуть галактики.

Струны, пройдя длительный эволюционный путь, должны существовать и в современной Вселенной («тяжелые» — очень далеко, на расстоянии порядка 300 млн. св. лет, а «легкие» — ближе), но их еще никто никогда не наблюдал. Ученые предполагают, что «космические струны» могут когда-нибудь выдать себя различными способами (действовать, как гравитационные линзы; вызывать едва ощутимые всплески реликтового излучения; явиться источником гравитационных волн и т. д.).

Антропный принцип

Прежде всего резюмируем то, что мы уже знаем. Со времен Коперника люди стали понимать, что наша планета (и ее обитатели) не занимает какого-либо привилегированного положения в Солнечной системе, Галактике и Метагалактике. Однако мы обитаем в наиболее удобной для этого области Солнечной системы (и Галактики), а фундаментальные свойства Вселенной удивительно «подстроены» под тот жесткий набор требований, без которого не могли бы возникнуть ни галактики, ни звезды, ни планеты, ни жизнь и разум в нашей Вселенной.

Как объяснить наблюдаемое глубочайшее единство микромира и мегамира, живой и неживой природы, физики и биологии, человека и Вселенной? Проще всего, конечно, с этой задачей «справляется» религия, согласно которой мир таков, каким его создал бог, а бог создавал мир таким, чтобы в нем мог жить человек — венец творения! Все ясно и понятно, но только это «объяснение», заставляющее людей верить в несуществующего бога-творца, ничего не объясняет.

Какова же позиция ученых? Позиция тех из них, которые утверждают, что свойства Вселенной просто вытекают из факта нашего существования, мало отличается от богословской (если даже слово «бог» не произносится). Материалистический подход к объяснению наблюдаемого единства человека и Вселенной основан на представлении о том, что мы живем в эволюционирующей Вселенной. Да, говорят ученые-материалисты, в иной Вселенной разумная жизнь (в привычной для нас форме) возникнуть бы не могла. Появление жизни и разума в нашей Вселенной стало возможным на определенном

этапе эволюции Вселенной. Эволюционный процесс во Вселенной происходил, конечно, объективно и задолго до появления жизни и разума (бытие материи действительно, первично, а сознание вторично!). Но если бы эволюция космической материи проходила бы иначе, то не было бы ни наблюдаемой структуры Вселенной, ни нас как наблюдателей.

Таковы основные точки зрения на вскрытую наукой неразрывную связь человека со Вселенной. По существу, в современной космологии появился новый взгляд на Вселенную, новый принцип. Согласно известному ранее космологическому принципу, Вселенная выглядит почти одинаково из любой точки пространства (идеальный принцип требует, чтобы Вселенная выглядела совершенно одинаково и в любой момент времени). Теперь же к этому принципу добавляется новый (его называют антропным или антропологическим, подчеркивая самым названием связь Вселенной и человека). Смысл антропного принципа нам теперь ясен, а формулировать этот принцип можно различным образом. Можно, например, сказать, что это принцип отбора только тех начальных условий (из всех имеющихся на ранней стадии Вселенной), которые совместимы с существованием разумной жизни. Идеи, воплощенные в антропном принципе, выдвигались и развивались многими учеными. В 50—60-е гг. на них обратили внимание советские астрофизики А. Л. Зельманов и Г. М. Идлис. В 70—80-е гг. они разрабатывались рядом зарубежных астрофизиков и космологов (Р. Дикке, Б. Картер, Дж. Уилер, С. Хоукинг и др.), а в нашей стране — И. Д. Новиковым, И. Л. Розенталем, А. Г. Полнаревым и некоторыми другими.

Поскольку антропный принцип имеет важное мировоззренческое значение и, как мы видели, может истолковываться совершенно различным образом, этот принцип обстоятельно анализируется и в работах советских философов (В. В. Казютинский, А. Д. Урсул).

Подчеркнем, что антропный принцип — это не есть новый фундаментальный физический закон, способный объяснить «приспособление» свойств Вселенной к требованиям существования разумной жизни. Принцип вообще не эквивалентен закону, а представляет собой один из уровней философского основания науки. Но идеи, содержащиеся в антропном принципе, позволяют не только более глубоко осознать связь человека со Вселенной, но и продвигаться дальше в понимании взаимосвязи материи, пространства и времени. Напомним, что в классической физике пространство и время рассматривались изолированно от материи. Можно было представить «пустое» пространство, независимое от материи время и т. д. После создания специальной теории относительности стала ясной связь между пространством и временем, появилась возможность рассматривать четырехмерное пространство-время. Общая теория относительности неразрывно связала пространство-время с материей, ее массой и энергией. Так вот, следующий шаг сделал: современной космологией, позволившей нарисовать картину эволюционирующей Вселенной и обозначить в этой картине процессы и фундаментальные свойства Вселенной, благодаря которым появились жизнь и разум.

Здесь необходимо сделать некоторые существенные уточнения. Мы видим, насколько «чувствителен» окружающий мир к значениям фун-

даментальных констант. Однако не нужно это слишком упрощенно понимать, потому что появлению жизни и разума предшествовали не только разнообразные физические процессы на разных стадиях эволюции Вселенной, но и разнообразные химические и биологические процессы. Без химической и биологической эволюции материи разумная жизнь возникнуть не может. И хотя в какой-нибудь другой вселенной с «другой» физикой должны быть совершенно иными химия и биология, физика в нашей Вселенной представляет собой одну из важнейших, но не единственную предпосылку появления жизни.

Сказанное в еще большей степени относится к появлению разумных существ, мыслящего человека. Хорошо известно, что человек не просто сложная система частиц и даже не просто один из сложнейших биологических индивидуумов. В процессе общественно-трудовой деятельности человек стал существом социальным. По определению К. Маркса, человек «есть совокупность всех общественных отношений». Таким образом, становление человека как существа социального происходит под влиянием общества, во взаимодействии с обществом, развивающимся по присущим ему объективным законам и несводимым к законам физики, химии и биологии.

Еще сравнительно недавно понятной считалась зависимость жизни на Земле от тепла и света Солнца, затем стали проявляться многие важные, но до конца еще непонятные сегодня детали солнечно-земных связей. Нашему замечательному ученому К. А. Тимирязеву принадлежат слова: «Человек — сын Солнца». Развитие и становление антропного принципа неизбежно приводит (с учетом только что сделанных заме-

чаний) к широкому обобщению этого вывода, к заключению о том, что человек — это сын Вселенной.

Любопытно, как в связи с этой идеей английский космолог П. Девис критикует религию в своей очень интересной научно-популярной книге «Пространство и время в современной картине Вселенной» («Мир», 1979). Он отмечает, что наука (в противоположность религии!) рассматривает «мелкомасштабную» структуру Вселенной (звезды, включая Солнце, и планеты, включая Землю) не как совершенно особую организацию специально сотворенного мира, а как то, что «естественно и автоматически» произошло из комбинации крупномасштабных свойств Вселенной. Значит, отпадает необходимость в каком-либо «организаторе». Человеку не нужно благодарить за свое существование бога, создавшего Землю и Солнце, так как небесные тела и сам человек — следствие когда-то существовавшего распределения вещества и излучения. Но может быть, бог — творец Вселенной в космологическом масштабе? И на этот вопрос дается отрицательный ответ, потому что приписать действию бога «сотворение мира» означало бы попасть в ловушку (антропоморфное божество оказалось бы вне пространства-времени, вне материи, вне причинно-следственных отношений и т. д.). П. Девис очень образно показывает, как далеко мы «отошли от библейского толкования сотворения мира», замечая, что вместо божественного «Да будет свет!» ученый говорит: «Да будет тьма!», потому что лишь в темной и холодной Вселенной возможна передача от Солнца той энергии, которая необходима для развития жизни на Земле. Перестало быть «чудом» не только образование Земли и других небесных тел, но и возникновение жизни («бог ока-

зался вне жизни»). И наконец, «современное понимание организации общества и этики исключает бога также из всех мирских дел человека». Ясно, что в своей книге П. Девис выступает как ученый-атеист, стоящий на позициях стихийного материализма.

И уж коль скоро мы опять коснулись философских вопросов, сделаем по этому поводу еще несколько замечаний. Прежде всего уместно напомнить, что одним из самых существенных элементов мировоззрения справедливо считают отношение человека к мирозданию, к своему месту во Вселенной. Наивная библейская картина мира не могла быть совмещена с открытиями и взглядами Коперника, Бруно, Галилея, Кеплера, Ньютона, Ломоносова. Этим, в частности, объясняется беспощадность действий католической церкви по отношению к сторонникам нового, «еретического» учения. На различных этапах коперниканской революции в астрономии борьба мировоззрений происходила вокруг разных проблем мироздания. Согласитесь, что после открытия законов Кеплера и закона всемирного тяготения и построения фундамента небесной механики трудно было выступать против гелиоцентрической системы мира и доказывать, что в центре мироздания находится Земля. Соответственно менялись методы и формы борьбы религии и идеализма против научного мировоззрения. Уже с XVIII в. для такой борьбы характерны философские дискуссии, в ходе которых, например, Вселенную пытались уподобить механическим часам, а бога — часовщику (он должен был время от времени заводить часы, чтобы они не остановились). Или, скажем, науке «разрешалось» открывать физические законы, но сами законы объявлялись изначально установленными

богом. Как правило, предметом дискуссии становились какие-либо неразрешенные (старые или новые) научные проблемы. Одна из философско-теологических дискуссий велась, например, в начале XVIII в. вокруг проблемы устойчивости Солнечной системы. Суть проблемы заключается в том, что под действием взаимного притяжения планет и особенно из-за возмущений орбит планет со стороны Сатурна и Юпитера устойчивость Солнечной системы, казалось бы, должна нарушаться. Эта проблема была первоначально разрешена лишь в конце XVIII в. Пьером Лапласом, доказавшим, что Солнечная система останется устойчивой по крайней мере на протяжении миллионов лет. Дело в том, что взаимные возмущения планет-гигантов в действительности имеют периодический характер, а потому возникающие отклонения постепенно (примерно через 900 лет) выравниваются. Однако, до того как позиция науки определилась, многие годы велись споры, которые, в частности, касались вопроса о том, достаточно ли всемирного тяготения для поддержания устойчивости Солнечной системы, или без божественного вмешательства Солнечная система обязательно разрушится...

XX в. дал новую богатую пищу теологам и идеалистам, потому что открытие расширения Вселенной, разработка теории «горячей Вселенной» и гипотеза «раздувающейся Вселенной», обсуждение антропного принципа затрагивают коренные проблемы мироздания и содержат немало трудных и сегодня до конца не решенных наукой вопросов. В одной из энциклик папы римского (Пия XII) было объявлено, что современная космология подтверждает содержащееся в Библии «учение» о сотворении мира. Теологи и идеа-

листы называли Большой Взрыв абсолютным началом всех вещей и событий, а сингулярность, по существу, отождествили с богом. При этом церковь не упускала ни одного случая сослаться и на те высказывания западных астрофизиков и космологов, которые можно было истолковать в пользу отождествления момента Большого Взрыва с актом божественного творения. Подчеркнем, что одновременно теологи и идеалисты не обращали внимание на предостережения от подобных выводов, которые содержались в высказываниях известных ученых Запада (например, таких американских ученых, как Ричард Толмен — один из основоположников релятивистской термодинамики Вселенной; Харлоу Шепли — один из крупнейших специалистов в области внегалактической астрономии и др.).

Разумеется, научные дискуссии вокруг острейших проблем космологии велись не только на Западе, но и в нашей стране, где в 30—50-х гг. было немало ученых, которые не сразу примирились с фактом расширения Вселенной. В настоящее время общественное научное мнение — на стороне релятивистской космологии: с ее основными положениями согласно подавляющее большинство ученых в нашей стране и за рубежом. И хотя идеологическая борьба вокруг достижений релятивистской космологии до сих пор продолжается, положение коренным образом отличается от того, каким оно было в 50-х гг. По словам известного философа Акбара Турсунова, «космологическая наука вышла из состояния изоляции; ныне именно теория эволюционирующей Вселенной становится центром кристаллизации новой научной картины мира».

Спор между наукой и религией продолжается, но, как справедливо

отметил А. Турсунов, у нас есть ряд веских доводов в пользу того, чтобы верить ученым, а не богословам. Имеется в виду, во-первых, что наука свои выводы не только провозглашает, но и доказывает (вспомните, например, о доказательствах истинности теории «горячей Вселенной»). Во-вторых, наука, стремясь к простоте и естественности в объяснении явлений природы, исключает из рассмотрения какие-либо сверхъестественные силы (а именно к ним постоянно обращается религия). В-третьих, материалистическая наука идет от ряда относительных истин к истине абсолютной, а религия свои извечные догмы объявляет «божественными истинами». В-четвертых, наука, провозглашая главным судьей опыт и практику, готова пересмотреть, если понадобится, свои понятия и законы, а религия отказывается от пересмотра «сверхистин», основанных на «божественном откровении».

§ 4. МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ВСЕЛЕННЫХ И ОСЦИЛЛИРУЮЩАЯ МЕТАГАЛАКТИКА

Мировоззренческое значение антропного принципа не исчерпывается тем, что он помогает глубже понять роль, которую играет в появлении жизни эволюция неживой материи в нашей Вселенной. Антропный принцип заставляет нас задуматься еще и над тем, одинока ли наша Вселенная, не существуют ли другие метagalактики, другие вселенные, или, быть может, наша Метagalактика в ходе своей эволюции проходит множество циклов, в одном из которых возникла и получила развитие жизнь.

Поводом для таких размышлений является удивительная «подстройка» свойств нашей Вселенной к жестким требованиям, которые «предъявляет»

Каскад блестящих открытий в астрофизике и космологии — прекрасное подтверждение мощи науки, успешно раскрывающей самые сокровенные тайны Вселенной. Но говоря о возрастающей силе науки, мы не должны забывать, что в современных условиях очень велика роль мировоззренческой позиции ученого-естествоиспытателя, основу которой составляет диалектический материализм. Наш великий соотечественник, ученый-энциклопедист В. И. Вернадский именно это и имел в виду, говоря: «Только в абстракции и в воображении, не отвечающем действительности, наука и научное мировоззрение могут довлеть сами по себе...»

Думается, что сделанные философские замечания помогут вам осмыслить уже прочитанные страницы книги и в какой-то степени подготовят к восприятию ее последнего параграфа.

жизнь к неживой природе. А результат размышлений — гипотеза о том, что существует множество вселенных, в которых подобной «подстройки» просто нет. Такая гипотеза вносит некоторую ясность в понимание следующих двух загадочных, таинственных или даже чудесных фактов: во-первых, удивительную пригодность нашей Вселенной для появления и развития в ней жизни и, во-вторых, не менее удивительную флуктуацию в распределении фундаментальных констант. Первый факт мы уже достаточно подробно обсудили, рассматривая антропный принцип.

Если существует множество вселенных (или, как иногда говорят, ансамбль вселенных), резко отли-

чающихся друг от друга, то нет ничего удивительного в том, что в этом множестве имеется один мир (или даже много миров), который пригоден для жизни. Мы знаем, например, что из 9 планет нашей Солнечной системы лишь одна пригодна для жизни. Мы потому и живем именно на этой планете! И подобно тому как разумная жизнь невозможна, например, на Юпитере, необитаемыми могут быть многие вселенные. Ясно, что гипотеза о множественности вселенных по-новому ставит вопрос и о множественности обитаемых миров. Ведь если жизнь представляет собой уникальное явление в пределах Галактики или даже в пределах Метагалактики, то не исключено, что в Большой Вселенной, состоящей из множества метагалактик, есть множество обитаемых миров. Конечно, остается открытым вопрос о том, какова вероятность обнаружить обитаемую вселенную среди множества возможных. Но мы не будем торопиться с решением этого вопроса, поскольку пока речь у нас идет лишь о гипотезе и совершенно неизвестно, когда будет обнаружена хотя бы одна метагалактика за пределами Метагалактики!

Теперь рассмотрим второй из упомянутых фактов. Мы уже знаем, что электрон относится к числу редких частиц, поскольку вообще мало элементарных частиц, столь сильно отличающихся по массам от массы протона. Случайные отклонения каких-либо физических величин от их средних значений принято называть флуктуациями (от лат. *fluctutio* — колебания). В данном случае масса электрона может рассматриваться как флуктуация в мире «обычных» частиц, большинство из которых значительно массивнее. Но, как мы знаем, масса электрона имеет фундаментальное значение, и будь

она иной, Метагалактика стала бы неузнаваемой. Облик Метагалактики, ее структура жестко связаны и с другими фундаментальными константами, к числу которых относятся массы протона и нейтрона, константы физических взаимодействий, размерность пространства. Именно основываясь на этом, ученые делают вывод о том, что весь набор фундаментальных констант в нашей Метагалактике, а следовательно, и сама Метагалактика представляют собой флуктуацию на фоне всевозможных значений констант из всевозможных метагалактик! Если действительно существует Большая Вселенная, состоящая из ансамбля миров, то мы вправе дать волю воображению и попытаться представить множество «обычных» метагалактик, от которых наша Метагалактика-флуктуация резко отличается по самым различным параметрам.

Но как представить рождение множества метагалактик и их существование в нынешнюю эпоху? Еще недавно ответить на эти вопросы было совершенно невозможно. Теперь ситуация несколько изменилась в связи с появлением и разработкой гипотезы «раздувающейся Вселенной» (см. гл. III, § 2).

С точки зрения гипотезы «раздувающейся Вселенной» Метагалактика со всеми ее свойствами не есть вся Вселенная, а представляет собой лишь мини-вселенную. Другие мини-вселенные, как и наша, образовались в результате «раздувания» домен («домены» от франц. *domaine* — область, сфера), на которые оказалась разбита очень ранняя Вселенная. Каждая такая область «раздулась» до размеров, превышающих нынешний размер нашей Метагалактики, а потому границы доменных областей (доменные стенки) удалены от нас и друг от друга на огромные рас-

стояния. Пока мало что можно сказать о природе этих стенок и о возможности какого-либо взаимодействия вселенных через эти стенки. По некоторым оценкам, ближайшая к нам доменная стенка удалена от нас на расстояние порядка 10^{35} св. лет (при размерах Метагалактики порядка 10^{10} св. лет). Следовательно, радиус Метагалактики во много раз меньше радиуса «инфляционной Вселенной».

Советские ученые Я. Б. Зельдович и Л. П. Гришук не исключают возможность того, что в отдаленном будущем (скажем, через 10^{20} лет!) вещество из соседних с нами вселенных сумеет просочиться в нашу Вселенную. Такая «добавка» приведет, в частности, к увеличению средней плотности материи в нашей Вселенной и «замкнет» Вселенную, если до того она была разомкнутой...

Ученые с увлечением обсуждают вопрос о том, из чего могут состоять доменные стенки, какова их природа. Не исключено, например, что именно там могут находиться неуловимые магнитные монополи. Напомним, что магнитные монополи — гипотетические частицы, несущие изолированные магнитные заряды. Теория предсказывает, что если эти частицы существуют, то они должны быть очень тяжелыми (примерно в 10^{17} раз тяжелее протона) и их должно быть очень много. Однако в отличие от изолированных электрических зарядов, которыми обладают электроны и протоны, изолированные магнитные заряды в природе не встречаются. Гипотеза «раздувающейся Вселенной» указывает на следующую возможность. В настоящее время монополи рождаться не могут (для этого необходимы не существующие сейчас колоссальные температуры). Но на стадии «раздувающейся Вселенной» температуры были вполне

подходящими и монополи могли рождаться в большом количестве. Сейчас эти частицы, возможно, существуют, но не поблизости от нас, а, скажем, ...на границах доменов.

Таким образом, представление о существовании множества вселенных, разделенных доменными стенками, приводит к представлению о том, что в масштабах, превосходящих размеры «инфляционной Вселенной», обнаруживается неоднородность Большой Вселенной. Получается следующая картина: в масштабах Солнечной системы и даже в масштабах Галактики наша Вселенная неоднородна; в масштабах сверхскоплений галактик она, скорее всего, однородна; в масштабах «инфляционной Вселенной» снова неоднородна (Большая Вселенная).

Физика и геометрия (в частности, размерность пространства) могут быть в разных мини-вселенных совершенно непохожими, а, следовательно, мини-вселенные различным образом пригодны для обитания. Впрочем, допуская возможность существования гипотетических вселенных, мы вправе допустить возможность существования и самых экзотических форм разума!

Таким образом, физика и геометрия нашего мира — один из множества вариантов набора фундаментальных констант. В других вселенных — другие наборы.

Существует и иная точка зрения. Конечно, можно вообразить, что из «пены» пространства-времени родилось множество различных «пузырьков», выросших до размеров мини-вселенных. Но почему бы не предположить, что даже наша Метагалактика на разных этапах своей эволюции способна существовать в совершенно разных «видах»? Представим себе, что эволюция нашей Метагалактики включает множество

циклов: расширение сменяется сжатием, потом снова коллапс сменяется антиколлапсом и т. д. В таком процессе (он возможен лишь при $\rho > \rho_{кр}$) может и не быть простого повторения циклов. И дело даже не в том, что различной окажется продолжительность циклов (они будут все более длительными и станут сопровождаться увеличением максимального радиуса Метагалактики), а в том, что при переходе через сингулярность будут изменяться фундаментальные свойства Метагалактики. В этом случае различные циклы Метагалактики будут характеризоваться различными наборами фундаментальных констант (а, может быть, и различными законами физики). Такова суть гипотезы циклической (или осциллирующей) модели Метагалактики. Эта гипотеза допускает возможность многократной сложнейшей перестройки всех свойств Метагалактики, включая свойства пространства и времени. Но, повторяем, пока это лишь одна из гипотез, у которой немало противников.

Дальнейшее развитие космологии и физики, несомненно, приведет к уточнению и конкретизации сегодняшних представлений о строении и эволюции Вселенной. Не исключено, что среди тех, кто сделает следующие шаги по пути раскрытия тайн мироздания, окажутся и читатели этой книги.

А закончить этот параграф автору хотелось бы замечательными словами Анри Пуанкаре (1854—1912), которые содержатся в его трактате «Астрономия» (книга «Ценность науки»): «Астрономия полезна, потому что она возвышает нас над нами самими; она полезна, потому что она величественна; она полезна, потому что прекрасна... Именно она является нам, как ничтожен человек телом и как велик духом, ибо ум его в состоянии объять сияющие бездны, где его тело является лишь темной точкой... Так приходим мы к сознанию своей мощи. Здесь никакая цена не может быть слишком дорогой, потому что это сознание делает нас сильнее».

§ 5. ВСЕЛЕННАЯ И ЖИЗНЬ

В заключительном параграфе хотелось бы прежде всего еще раз обобщить и осмыслить те многочисленные астрономические факты, теории и гипотезы, о которых шла речь в книге. Вероятно, когда-нибудь историки науки отметят следующие особенности, присущие науке конца XX века:

1. Представление о том, что силы гравитации безраздельно властвуют над эволюцией Метагалактики (от момента ее рождения до сегодняшнего дня), сменилось новым, согласно которому эволюция Метагалактики в самый начальный период ее существования зависела от всех

видов физического взаимодействия. Поэтому «космическая лаборатория», которой была по сути дела очень-очень ранняя Метагалактика, стала единственным «местом», где можно проверять новейшие достижения физики элементарных частиц, включая объединенную теорию взаимодействия.

2. Возникло и получило развитие представление о нашей Метагалактике как о наблюдаемой части Вселенной. Метагалактика — лишь малая часть материального мира (масса порядка 10^{60} г, радиус — 10^{28} см и время существования — 10^{10} лет). Это только часть сущего,

выделенная в процессе астрономических наблюдений, т. е. в процессе практической и познавательной деятельности человека. Что же касается Вселенной, то на самом деле это и есть весь материальный мир, все сущее, включающее, вероятно, бесконечное множество эволюционирующих метagalactic (вселенных) со своим набором фундаментальных констант.

3. Возникло новое представление и о вечности Вселенной: это трудно вообразимый процесс возможного бесконечного «перерождения» метagalactic, в ходе которого эволюция данной метagalactic порождает другую и т. д. Например, сжавшаяся до ничтожных размеров (10^{-10} см) Метagalactic будет содержать сверхплотную (вакуумобразную) материю, которая, раздуваясь, породит дочернюю Вселенную.

4. Проблема Человека оказалась в центре внимания не только общественных наук и практической деятельности людей, но и наук естественных, в которых в наше время заметно усилились гуманизация и гуманитаризация (от лат. *humanitas* — человеческая природа).

Людей издавна интересовали главные вопросы бытия: откуда мы? Кто мы? В чем наше предназначение? Куда мы идем? По-разному на них пытаются ответить религия и наука.

Еще до появления мировых религий мифы народов различных стран мира из поколения в поколение передавали сказочные истории о том, как стала обитаемой доступная древним та или иная часть Земли. А когда сформировались мировые религии, то в их священных книгах важное место заняли рассказы о сотворении мира и людей. Религиозная традиция мертва без

веры в сверхъестественное и чудесное, без святых и мистиков, без откровений и непосредственного восприятия святого, без комментариев и толкований текстов священных книг. Одной из первых таких книг были Веды (санскр. — знание) — Писания, содержащие множество гимнов и стихов, включенных в ряд знаменитых сборников (Ригведа, Самaveda и др.), появившихся в Древней Индии в конце II и начале I тысячелетия до н. э. Согласно Ведам, мир возник из хаоса и тьмы в результате ужасной битвы, в которой побеждал то один, то другой бог.

Известно, как в христианской Библии описаны сотворение мира и людей. Впрочем, главная мысль религиозных учений одна: все небесные светила, все живые существа, все существующие в мире связи и взаимодействия сотворены Богом, по его плану и замыслу. Принявшие эту идею получают целостное представление о мире, в котором есть ответы на важнейшие мировоззренческие вопросы, которые, правда, должны быть приняты на веру, без обоснования и доказательств.

В отличие от религиозной, научная картина мира основана на конкретных знаниях, фактах, теориях, а также включает в себя гипотезы и проблемы, пока еще далекие от решения. Все это мы видели, знакомясь с астрономической картиной мира — картиной строения и эволюции Вселенной. Как же вписываются в картину мироздания Жизнь и Разум, Человек и Человечество, наша и другие цивилизации?

Кое-что мы уже говорили об этом в связи с антропным принципом, связывающим свойства Вселенной с существованием живых организмов, представляющим собой своеобразное правило отбора физических теорий и концентри-

рующим внимание на человеке. И хотя у антропного принципа немало противников, он все-таки оказался полезным: не без него ученые стали искать ответ на вопрос, почему мир таков, каким мы его видим; антропный принцип напрямую связан и с научным подходом к проблеме множественности мини-вселенных (метагалактик). Исследуя уже известную нам неустойчивость структуры Метагалактики по отношению к численному изменению фундаментальных постоянных, советский ученый И. Л. Розенталь предложил такую формулировку антропного принципа: законы физики не только достаточны, но и необходимы для создания и длительного существования основных связанных и устойчивых состояний (атомных ядер, атомов, звезд, галактик). По существу это принцип целесообразности, базирующийся на изученных физических объектах и позволяющий сделать предсказания, касающиеся того, что было бы, если бы иными оказались те или иные фундаментальные константы. Напомним, что итог анализа таков: либо странная «подстройка» численного значения констант к структуре Метагалактики объясняется сверхъестественным образом (проще говоря, задумана богом), либо мы живем в одной из множества метагалактик, причем именно в такой, в какой жить можем. Материалисты, естественно, выбирают вторую возможность!

Читатели уже могли убедиться, что сложны проблемы не только космологии, но и космогонии: трудно понять и тем более детально разработать теорию возникновения звезд и планет, галактик и солнечных систем. А теорию возникновения живого из неживого? Разумного из неразумного? Сейчас мало кого устраивают бессодержательные ук-

лончивые ответы. Это пытаются учитывать и мировые религии (иудаизм, христианство, мусульманство), и такие новые самостоятельные религии, как, например, бахаизм — «религия единства», стремящаяся объединить всех людей планеты во всемирное общество.

К сожалению, и наука не может пока дать однозначных ответов на вопросы, касающиеся появления и распространения жизни и разума во Вселенной, хотя бы потому, что еще не открыты законы самоорганизации и саморазвития материи. Такие, пока гипотетические, законы помогут, возможно, нам понять, как из первородного хаоса возникали все более сложные, упорядоченные формы материи, а затем и жизнь — закономерный результат всех существовавших этапов развития материи. Не исключено даже, что из элементарных частиц, когда-то образовавшихся в нашей Метагалактике, могли развиваться лишь определенные структуры, в частности вполне конкретная (а не какая-нибудь другая) химия. Если подобное предположение, ныне обсуждаемое учеными, подтвердится, то окажется, что образование живых структур было «заложено» на ранних стадиях эволюции Метагалактики.

Естественно, обсуждаются и, казалось бы, возникающие при этом трудности со вторым началом термодинамики (если считать нашу Метагалактику замкнутой системой!). Напомним лишь, что в замкнутых физических системах энтропия возрастает, процессы развиваются от порядка к беспорядку, а возникновение сложных форм материи, появление жизни и разума представляют собой примеры антиэнтропийных процессов. Возникновение живого из неживого принято было

считать до последнего времени не только загадочным, но и маловероятным событием. Но в условиях неравновесной молодой Метагалактики вероятность самоорганизации материи могла быть не столь уж малой. Такое оптимистическое заключение позволяет сделать теория самоорганизации, изучающая образование порядка из хаоса. Один из основоположников термодинамики неравновесных процессов бельгийский физик и химик Илья Пригожин (лауреат Нобелевской премии, 1977 г.) утверждает, что неравновесный поток вещества (или энергии) может быть источником порядка. По его мнению, материя в состоянии равновесия «слепа», а в сильных неравновесных условиях она как бы обретает способность «учитывать», «воспринимать» появление во внешней среде таких факторов, как, например, различные физические поля. Благодаря этому возможно и возникновение порядка из хаоса (сильной неравновесности) в результате процесса самоорганизации. Если это так и если жизнь можно рассматривать как своеобразное средство «борьбы» материи против роста энтропии, то жизнь должна с необходимостью возникать во многих областях Метагалактики, а не только вблизи нашего Солнца (уникального, ведь практически не удается найти его двойников) и на нашей уникальной Земле (единственном обитаемом небесном теле Солнечной системы). Так, возможно, довольно неожиданно для читателей можно подойти к увлекательной проблеме существования внеземных цивилизаций (ВЦ).

Еще в первой половине нынешнего века о внеземных цивилизациях говорили и писали в основном фантасты, рассуждая о различных возможностях реализации идей фи-

лософов и астрономов прошлого, которые доказывали, что существует множество обитаемых миров. Но в последние несколько десятилетий комплексной проблемой ВЦ стали заниматься астрономы, радиоастрономы, специалисты в области космических исследований, философы. Из множества книг, брошюр и статей по проблеме ВЦ хотелось бы выделить книгу философов В. В. Рубцова и А. Д. Урсула «Проблема внеземных цивилизаций», которую в 1987 г. выпустило в свет молдавское издательство «Штиинца». В этой научной монографии могут разобраться многие наши читатели, интересующиеся проблемой ВЦ, а мы ограничимся изложением лишь некоторых наиболее важных фактов и идей.

Прежде всего странным и непонятным оказалось упорное молчание Космоса: ученые не обнаружили ни осмысленных сигналов внеземного разума, ни проявлений астроинженерной деятельности, ни следов пребывания пришельцев на Земле, ни инопланетных зондов в Солнечной системе. Этот результат (астросоциологический парадокс, АС) стал предметом острых научных дискуссий, в ходе которых ученые пытались выяснить, означает ли АС, что мы единственная (или редкая, уникальная) цивилизация в Галактике (как утверждал в своих последних работах И. С. Шкловский), или мы еще не успели найти братьев по разуму, или мы просто не умеем их искать, или мы их еще не умеем обнаруживать, распознавать и т. д. Ученые скептически относятся к новому всплеску интереса к НЛО, к потоку сообщений о появлении НЛО над разными странами, включая нашу. Подавляющее число НЛО получило исчерпывающее объяснение (необыч-

ные атмосферные или астрономические явления, шары-зонды, явления, сопровождающие космические эксперименты и т. п.). Оставшиеся необъясненными появления «тарелок» сторонники НЛО объясняют либо прилетом к нам гостей из космоса, либо существованием «параллельных миров», представители которых незримо существуют рядом с нами, среди нас и т. п. А тем временем непрерывно увеличивается число очевидцев, наблюдавших НЛО или даже якобы вступавших в контакт с гуманоидами.

Может показаться странным, что, несмотря на АС, ученые в наше трудное время не прекращают заниматься проблемой внеземных цивилизаций и их плановыми поисками. Такое недоумение — результат поверхностного представления о проблеме ВЦ (ведь и к сокращению расходов на космические исследования призывают люди, которые не понимают ни научную, ни практическую значимость космонавтики). В действительности же проблема ВЦ не оторвана от удовлетворения духовных и практических потребностей людей. И вообще она не самоцель. Прежде всего совершенно ясно, что проблема ВЦ вызывает у людей большой мировоззренческий интерес, который должен быть удовлетворен. Несомненно и то, что в процессе поиска ВЦ (они проводятся в основном радиоастрономическими методами) накапливается большой астрофизический материал при регулярных обзорах неба. Наконец, теоретическое исследование проблемы ВЦ позволяет нам лучше познать самих себя, рассматривая земную цивилизацию как цивилизацию космическую, что важно для прогнозирования и проектирования будущего нашей цивилизации.

Сейчас ясно не только то, что

жизнь, разум, человечество — неотъемлемая часть Вселенной, а Вселенная — среда обитания человечества, но и то, что земная цивилизация по уровню своего научно-технического и технологического развития становится космической цивилизацией. Логично предположить, что любая космическая цивилизация должна действовать, исходя из убеждения, что она не единственная в Галактике, во Вселенной и что когда-нибудь контакт в каком-то варианте произойдет. Но еще задолго до обнаружения ВЦ (или контакта с ней), т. е. задолго до того, как земляне в лучшем случае сумеют воспользоваться опытом более мудрых цивилизаций, людям придется приложить огромные усилия, чтобы приблизиться к решению своих актуальных (глобальных и общенаучных) проблем современности. И не случайно сейчас в теоретических исследованиях проблемы ВЦ преобладает именно «человеческое направление», выявление закономерностей и перспектив развития земного человечества, исследование процесса, в ходе которого земная цивилизация станет космической.

Начало космической эры в истории (запуск первого советского ИСЗ 4 октября 1957 г.) и пилотируемой космонавтики (исторический полет Ю. А. Гагарина 12 апреля 1961 г.) вызвали у огромной части человечества небывалый интерес к космосу, познанию и освоению Вселенной. Однако постепенно люди стали привыкать к космонавтике, космонавтам, фантастическим по замыслам и техническому осуществлению космическим экспериментам и вообще к событиям в космосе. Новый всплеск интереса к Космосу возник совсем недавно, но по причине совершенно иной, связанной с бумом всякого рода оккультных

наук, включая, конечно, астрологию. Многие современные экстрасенсы, колдуны и различные чудотворцы не устают повторять, что они черпают энергию для своих деяний непосредственно из Космоса. А астрологи, постоянно появляясь на экранах наших телевизоров и на страницах газет и журналов, издающихся миллионными тиражами, уверенно предсказывают судьбы людей и государств, дают рекомендации врачам и огородникам, педагогам и бизнесменам. Гадания по небесным светилам облечены в наукообразную форму, гипнотизирующую людей на протяжении тысячелетий. Со времен глубокой древности люди внимательно наблюдали явления, происходящие на небе, пытались обнаружить зависимость от них различных явлений своей жизни на Земле. Рассматривая небесные явления как знаки предупреждений и предзнаменований, астрологи стремились предугадать по ним будущее, и, конечно, иногда им удавалось кое-что угадать. Современные астрологи гордятся долговечностью своей науки, но пытаются отмежеваться от тех, кто их считают людьми, предсказывающими судьбу по расположению планет, Луны и Солнца среди звезд. Они подчеркивают, что главный объект их исследования — человек, а миром правят ритмы. Поэтому, например, согласно Ф. К. Величко (доктору химических наук, много лет серьезно занимающемуся астрологией), астрология изучает взаимосвязь ритмов человека и мира, выясняет законы гармонизации внутренних ритмов человека и ритмов окружающей среды — природы и общества.

Адресуя интересующихся к книгам и брошюрам по астрологии, заметим, что гармонией между чело-

веком и окружающей средой занималась не только астрология, но и религия, и наука. Религия объясняла согласованность многих явлений и процессов в мире «божественным промыслом», а наука ищет и находит материальные связи между человеком и Вселенной, стремится определить истинное положение человека в научной картине мира. Как уже говорилось, наука признает, что жизнь представляет собой космическое явление, возникающее на определенном этапе самоорганизации материи при определенных условиях. Единственный известный нам пример — жизнь на Земле — свидетельствует о том, что эти условия довольно жестки. Необходимая температура, вода в жидкой фазе, воздух (если бы в земной атмосфере было бы в два раза больше кислорода, чем сейчас, то, например, дерево горело даже под дождем, а следовательно, на Земле вряд ли сохранилась бы растительность). Существует немало сторонников гипотезы, согласно которой «семена жизни» попали на Землю из Космоса (гипотезы панспермии). Однако скорее всего «колыбелью» жизни и была Земля. Но, возникнув на Земле (первоначально в океане), жизнь сразу же включилась в активное взаимодействие с природой, стала влиять на эволюцию нашей планеты, на ее литосферу и атмосферу. Мощнейшие и пока еще таинственные эволюционные скачки — появление живого вещества и возникновение разума были необходимы для появления Человека как носителя Разума. Человек стал не только частью Природы, но и важным фактором ее развития.

Среди ученых, стоявших у истоков единой цельной картины мира, включающей в себя мир неживой материи, живого вещества и мир

Человека, особое место занимают наши великие соотечественники В. И. Вернадский и К. Э. Циолковский. С именем выдающегося геофизика В. И. Вернадского связано учение о ноосфере — особом состоянии биосферы, при котором ее развитие направляется разумом Человека в интересах будущего Человечества. И с именем основоположника теоретической космонавтики К. Э. Циолковского мы сегодня связываем создание философской системы, которую он сам назвал «космической философией». В трудах К. Э. Циолковского не используется понятие «ноосфера», но по сути дела именно это имеется в виду, когда ученый рассуждает о будущей сфере разума.

Основоположники учения о ноосфере верили, что Разум выведет человечество из тупиков, в том числе из тупиков экологических, уже сегодня ставших сравнимыми с ядерными катастрофами. Еще в начале нынешнего века В. И. Вернадский предупреждал о том, что воздействие Человека на Природу довольно скоро достигнет геолого-образующих масштабов и забота о сохранении Природы станет одной из важнейших забот Человечества. В. И. Вернадский считал, что, вступив в эпоху ноосферы, Человек должен будет обеспечить согласованное с Природой развитие общества. К. Э. Циолковский возлагал большие надежды на космонавтику, которая, по его мнению, позволит человечеству безгранично осваивать космическое пространство, обретая могущество, счастье, бессмертие.

Сегодня космонавтика стремится помочь людям решить экологические проблемы на Земле, но проблемы эти очень сложные, число их пока не уменьшается, а растет. Стре-

мительно надвигающийся экологический кризис требует решать проблемы не только с помощью различных современных технических средств, но и посредством перестройки нравственных основ общества, ограничения жизни и деятельности общества определенными рамками. Эти ограничения математик и физик академик Н. Н. Моисеев называет «нравственным императивом». По его мнению, будущность человечества и *Homo sapiens* как биологического вида во многом зависит от содержания и глубины понимания «нравственного императива». В этом Н. Н. Моисеев видит узловые проблемы гуманизма наших дней; в последующие десятилетия их осознание и разумное решение станет неотделимым от будущего человеческой цивилизации. Много, конечно, предстоит решать тем, кто сегодня еще учится в школе.

Но неужели социальные и тем более нравственные проблемы Человека имеют какое-нибудь отношение к основной теме книги — эволюции Вселенной? На этот вопрос можно сейчас с уверенностью дать утвердительный ответ. И не случайно в предисловии к книге цитировались слова Я. Б. Зельдовича о необходимости диалога на вечные вопросы, волнующие людей. В современном мире зреет, наконец, понимание того, что важнейшая причина экологического кризиса и кризиса в обществе связана с кризисом нравственности, утратой духовности. Как вновь обрести утраченную духовность? Большие надежды возлагаются на церковь, на возрождение веры в Бога, на религиозное воспитание, церковные обряды. Но есть и другой путь, который бы хотелось охарактеризовать непривычным сочетанием слов: нужно возродить научную духовность общества, вы-

рвать людей из цепких объятий оккультных «наук» и откровенного шарлатанства, к которому ежедневно старательно приобщают легковверных людей астрологи, колдуны, контактеры с гуманоидами. В этих условиях необходимо формировать космическое мышление, сочетающее в себе материалистическое понимание эволюции Вселенной с пониманием места и роли Человека Разумного, являющегося не только счастливым для нас результатом эволюционного процесса и активным фактором преобразования природы, но и Человеком, ответственным за сохранение и прогресс земной цивилизации. И последнее. Нас поражает величие человеческого разума, постигающего тайны строения Вселенной, проникающего к истокам рождения нашего Мира и способного исследовать, например, раздувание Вселенной, которое продолжалось всего 10^{-35} с и привело к гигантскому увеличению размеров. Однако наряду с этим каждый школьник то и дело слышит о нашем отставании от Запада, из-за чего, казалось бы, нелегко оптимистически смотреть в будущее и надеяться на успех собственной деятельности в области развития науки, техники, производства. И все-таки повод для оптимизма есть. Например, фундаментальные достижения отечественной науки в области космологии, добытые в труднейших условиях нашими учеными. В сложные для нашей страны годы (1922—1924 гг.) А. А. Фридман разработал теорию расширяющейся Метагалактики. Его ученик Г. А. Гамов (1904—1968) впервые сформулировал гипотезу о том, что Вселенная на ранней фазе должна была быть горячей, предсказал существование реликтового излучения и создал основы теорий рождения химических элементов (нуклеосинтеза).

Советский ученый, участник Отечественной войны, потерявший в боях руку, Л. Э. Гуревич в 1965 г. выдвинул идею о роли физического вакуума на начальной стадии эволюции Метагалактики. Важнейший результат, позволивший понять барионную асимметрию Вселенной на основе гипотезы о том, что протоны нестабильны и распадаются со временем, получил еще в 1967 г. выдающийся советский ученый, гуманист и патриот академик А. Д. Сахаров (1921—1989). Ему же принадлежат идеи о существовании вселенных со сложной геометрией пространства и об изменении «стрелы времени» при прохождении Вселенной через сингулярное состояние. Как уже известно читателям, достойное место в современной истории космологии заняла школа академика Я. Б. Зельдовича, ученики которого И. Д. Новиков, А. Г. Дорошкевич и др. и по сей день активно работают в научно-исследовательских институтах нашей страны. Этот список можно бы продолжить, назвав имена советских ученых нового поколения А. Д. Линде, А. А. Старобинского, которые в конце 70-х и в начале 80-х годов внесли исключительно важный вклад в развитие гипотезы раздувающейся Вселенной. Каждый из названных научных результатов приближает нас к новому видению Мира, к новой научной картине, к представлению о Мире как о Вечной Вселенной, в которой непрерывно рождались и будут рождаться мини-вселенные с самыми разнообразными характеристиками и свойствами. В новой картине мира процессы, происходящие в микромире, оказываются теснейшим образом связанными с процессами в мегамире, во Вселенной. Мир действительно един, мы действительно неразрывно связаны с Космосом.

Абсолютная звездная величина — звездная величина, которую имела бы данная звезда на расстоянии 10 пк (для Солнца $M \approx 4,85^m$).

Абсолютно черное тело — идеальный поглотитель излучения (поглощает падающее на него излучение всех длин волн), это же и идеальный излучатель (причем излучение определяется только его температурой).

Азимутальная монтировка (иначе альтазимутальная, горизонтальная) — монтировка телескопа, при которой одна ось расположена вертикально (ось азимута), а вторая — горизонтально (ось зенитных расстояний, или ось высот светил).

Аккреция — падение вещества на небесное тело из окружающего космического пространства (например, в двойных звездных системах аккреция возможна с обычной звезды на белый карлик, нейтронную звезду или черную дыру).

Анизотропия реликтового излучения — возможные небольшие различия интенсивности реликтового излучения, принимаемые от разных участков неба (дипольная анизотропия вызвана движением Солнечной системы относительно реликтового излучения; мелко-масштабная анизотропия может быть обусловлена неоднородностями в веществе, существовавшем до образования галактик).

Активные области (или центры активности) — места на Солнце, где резко увеличено магнитное поле по сравнению с небольшим общим магнитным полем и где наблюдаются солнечные пятна, факелы, флоккулы, солнечные вспышки, протуберанцы, корональ-

ные лучи и другие явления на различных уровнях атмосферы Солнца (от фотосферы до короны).

Барiony — «тяжелые» элементарные частицы (с массой не меньше массы протона и спином, равным $1/2$). К ним относятся, например, нуклоны (протоны и нейтроны), а также многие других частиц.

Бозоны — большой класс элементарных частиц с целочисленным спином (например, фотоны, спины которых равны 1). К этому классу принадлежат мезоны, промежуточные векторные бозоны и другие частицы.

Внегалактическая астрономия — раздел астрономии, изучающий находящиеся за пределами Галактики космические объекты (галактики, квазары) и их системы.

Всеволоновая астрономия — термин, характеризующий современную астрономию, в которой благодаря радиоастрономии и внеатмосферным (в основном космическим) методам наблюдений небесные тела исследуются в диапазонах всех длин волн.

Гамма-телескоп — инструмент для регистрации космического гамма-излучения, имеющий конструктивные особенности для диапазона низких энергий (0,2—12 МэВ) и высоких (50 МэВ — 5 ГэВ).

Глюоны — гипотетические элементарные частицы (спин равен 1, масса покоя равна 0), обеспечивающие взаимодействие между кварками.

Гравитационные волны — переменное гравитационное поле, которое, согласно общей теории относительности, излучают ускорен-

но движущиеся массы. Как и электромагнитные волны, гравитационные должны распространяться со скоростью света.

Гравитационный радиус — радиус сферы (в общей теории относительности), на которой сила тяготения вещества, находящегося внутри сферы, стремится к бесконечности.

Горизонт событий — граница, существование которой обусловлено расширением Метагалактики и которая отделяет область пространства, доступную для наблюдений в данный момент, от принципиально недоступной.

Закон планетных расстояний — эмпирические соотношения, позволяющие приближенно вычислять расстояния планет от Солнца (например, $r \approx 0,3 \cdot 2^n + 0,4$, где r — расстояние планеты от Солнца в а. е., для Меркурия $n = -\infty$, для Венеры — 0, для Земли — 1, для Марса — 2, для Юпитера — 4 и т. д.).

Кварки — гипотетические фундаментальные частицы, из которых (по современным представлениям) состоят барионы и мезоны.

Критическая плотность — минимальное значение плотности (в настоящее время), необходимое для того, чтобы расширение Метагалактики прекратилось и сменилось сжатием.

Кривизна пространства — характеристика пространства в неевклидовой геометрии, где в отличие от «плоского пространства» (кривизна равна 0) рассматривается «сферическое пространство» (с положительной кривизной) и «седлообразное» (с отрицательной кривизной).

Магнитосфера — область пространства вокруг вращающегося небесного тела, обладающего магнитным полем (например, магнитосфера Земли, Юпитера, нейтронной звезды).

Магнитотормозное излучение (в астрофизике чаще всего синхротронное излучение) — излучение, которое возникает при движении заряженных частиц со скоростями, сравнимыми со скоростью света, в сильных магнитных полях.

Мезоны — нестабильные элементарные частицы с массами, промежуточными между массами протона и электрона (спин равен 0).

Молекулярные облака (или **гигантские молекулярные облака** — ГМО) — газово-пылевые сгустки (протяженностью в десятки

св. лет), содержащие простые и сложные молекулы (включая молекулы формальдегида, этилового спирта и некоторых аминокислот).

Нейтринный телескоп — устройство, позволяющее регистрировать нейтрино от Солнца и коллапсирующих объектов в Галактике. Это могут быть, например, расположенные глубоко в шахтах большие баки со специально подобранными жидкостями или бетонные блоки, связанные с системой счетчиков и фотоумножителей, регистрирующих световой сигнал от прохождения быстрых частиц.

ПЗС-матрица — современные приемники оптического излучения, действие которых основано на использовании внутреннего фотоэффекта в полупроводниках (одна из разновидностей приборов с зарядовой связью).

Поляризация излучения — один из источников информации о природе излучения тех или иных космических объектов; поляризация (линейная или круговая) возникает при процессах отражения, поглощения и рассеяния электромагнитных волн всех диапазонов; поляризованным является также и синхротронное излучение.

Прецессионное движение — медленное периодическое движение оси вращающегося тела. Например, ось сферической Земли под действием притяжения Луны и Солнца описывает конус за 25 725 лет (через 13 500 лет у Земли Полярной звездой будет Вега).

Радиоинтерферометры — система радиотелескопов, состоящая из двух или нескольких антенн, связанных в единую систему.

Радиационные пояса — области в магнитосфере Земли (и некоторых других планет), содержащие захваченные магнитным полем частицы солнечного ветра.

Разрешающая способность телескопа — минимальное угловое расстояние между точечными объектами (звезды, детали на поверхности небесных тел), которые в данный телескоп могут быть видны раздельно.

Реликтовое излучение (или микроволновое излучение) — космическое излучение, отличающееся одинаковой интенсивностью излучения (изотропия) во всех направлениях и спектром, характерным для абсолютно чер-

Однородность и изотропность	—	Физический вакуум	119
Распространенность химических элементов	107	Фазовые переходы первого рода	122
Набор элементарных частиц	108	Сценарий «раздувающейся Вселенной»	—
Асимметрия вещества и антивещества	111	Что объясняет гипотеза «раздувающейся Вселенной»	125
Четыре типа физических взаимодействий	112	Подобная Афродите юная Вселенная	127
Притяжение и отталкивание	113	§ 3. Человек в эволюционирующей Вселенной	128
Свойства пространства	114	Уникальность нашей Вселенной	—
Асимметрия прошлого и будущего («стрела времени»)	115	Струны мега- и микромира	134
§ 2. «Раздувающаяся Вселенная»	116	Антропный принцип	135
Что объясняет и что не может объяснить теория «горячей Вселенной»	—	§ 4. Множественность вселенных и осциллирующая Метагалактика	139
Великое объединение физических взаимодействий	118	§ 5. Вселенная и жизнь	142
		Краткий словарь терминов	150
		Что читать дальше	153

ЧТО ЧИТАТЬ ДАЛЬШЕ

Учебная и справочная литература

Болсун А. И., Рапаинович Е. Н. Словарь физических и астрономических терминов.— Минск: Народная асвета, 1986.

Воронцов-Вельяминов Б. А. Астрономия.— М.: Просвещение, 1986.

Засов А. В., Кононович Э. В. Астрономия.— М.: Просвещение, 1986.

Левитан Е. П. Астрономия.— М.: Просвещение, 1985.

Порфирьев В. В. Астрономия.— М.: Просвещение, 1987.

Физика космоса. Маленькая энциклопедия.— М.: Советская энциклопедия, 1986.

Энциклопедический словарь юного астронома.— М.: Педагогика, 1986.

Научно-популярная литература

Агекян Г. А. Звезды. Галактика. Метагалактика.— М.: Наука, 1985.

Бронштэн В. А. Гипотезы о звездах и Вселенной.— М.: Наука, 1974.

Вайнберг С. Первые три минуты.— М.: Мир, 1981.

Воронцов-Вельяминов Б. А. Очерки о Вселенной.— М.: Наука, 1976.

Гинзбург В. А. О физике и астрофизике.— М.: Наука, 1985.

Гурштейн А. А. Извечные тайны неба.— М.: Просвещение, 1984.

Гуревич Л. Э., Чернин А. Д. Происхождение галактик и звезд.— М.: Наука, 1986.

Девнс П. Пространство и время в современной картине Вселенной.— М.: Мир, 1979.

Девнс П. Случайная Вселенная.— М.: Мир, 1985.

Еремеева А. И. Астрономическая картина мира и ее творцы.— М.: Наука, 1984.

Ефремов Ю. Н. В глубины Вселенной.— М.: Наука, 1984.

Климишин И. А. Астрономия наших дней.— М.: Наука, 1986.

Климишин И. А. Релятивистская астрономия.— М.: Наука, 1983.

Кононович Э. В. Солнце — дневная звезда.— М.: Просвещение, 1982.

Левитан Е. П. Физика Вселенной.— М.: Наука, 1976.

Левитан Е. П. Астрофизика — школьникам.— М.: Просвещение, 1977.

Маров М. Я. Планеты Солнечной системы.— М.: Наука, 1986.

Монсеев Н. Н. Человек и ноосфера.— М.: Молодая гвардия, 1990.

Нарликар Дж. Неистовая Вселенная.— М.: Мир, 1985.

Новиков И. Д. Как взорвалась Вселенная.— М.: Наука, 1988.

Новиков И. Д. Эволюция Вселенной.— М.: Наука, 1983.

Новиков И. Д. Черные дыры во Вселенной.— М.: Наука, 1985.

Прошлое и будущее Вселенной: Сб. статей.— М.: Наука, 1986.

Розенталь И. Л. Элементарные частицы и структура Вселенной.— М.: Наука, 1984.

Рубцов В. В., Урсул А. Д. Проблема внеземных цивилизаций. Кишинев: Штиинца, 1987.

Силк Дж. Большой взрыв.— М.: Мир, 1982.

Турсунов А. Человек и мироздание.— М.: Советская Россия, 1986.

Шкловский И. С. Проблемы современной астрофизики.— М.: Наука, 1982.

Научно-популярные брошюры издательства «Знание» (серии «Космонавтика, Астрономия»)

Ефремов Ю. Н. Новый взгляд на Галактику.— 1989.

Гинзбург В. Л., Птускин В. С. Астрофизика космических лучей.— 1982.

Засов А. В. Галактики.— 1976.

Кацова М. М., Лившиц М. А. Активность молодых звезд.— 1986.

Клыпин А. А., Сурдин В. Г. Крупномасштабная структура Вселенной.— 1981.

Комаров В. Н. Человек в мироздании.— 1990.

Ламзин С. А., Сурдин В. Г. Что такое протозвезда.— 1988.

Марочник Л. С., Насельский П. Д. Вселенная: вчера, сегодня, завтра.— 1983.

Псковский Ю. П. Соседи нашей Галактики.— 1983.

Розенталь И. Л. Вселенная и частицы.— 1990.

Розенталь И. Л. Проблемы начала и конца Метагалактики.— 1985.

Сурдин В. Г. Гигантские молекулярные облака.— 1990.

Сурдин В. Г. Приливные явления во Вселенной.— 1986.

Харитонов А. В. Энергетика Солнца и звезд.— 1984.

Чаругин В. М. Космология: теория и наблюдения.— 1979.

Эргма Э. В. Барстеры, Новые, Сверхновые — термоядерные взрывы в космосе.— 1986.

Научно-популярные статьи

Берис Джек. Гигантские структуры Вселенной//В мире науки.— 1986.— № 9.

Бисиоватый-Коган Г. С. Загадочный гамма-источник Геминга//Земля и Вселенная.— 1985.— № 6.

Гинзбург В. Л. Десять лет спустя...//Наука и жизнь.— 1982.— № 4—6.

Гинзбург В. Л. Общая теория относительности//Наука и жизнь.— 1987.— № 4.

Гут Алан, Стейнхардт Пол. Дж. Раздувающаяся Вселенная//В мире науки.— 1984.— № 7.

Джексон Дэвид Дж., Тигнер Мори, Войчицки Стэнли. Сверхпроводящий суперколлайдер//В мире науки.— 1986.— № 5.

Зельдович Я. Б. Микромир частиц

и Вселенная//Наука и жизнь.— 1986.— № 12.

Кардашев Н. С., Новиков И. Д., Штерн Б. Е. Центр Галактики//Земля и Вселенная.— 1984.— № 5.

Комберг Б. В. «Каниниализм» в мире галактик//Земля и Вселенная.— 1986.— № 4.

Курш В. Г. Асперон изучает рентгеновские пульсары//Земля и Вселенная.— 1990.— № 6.

Кутырев А. С. Современные приемники оптического излучения//Земля и Вселенная.— 1987.— № 3.

Липунов В. М. Странности Геркулеса X-1//Земля и Вселенная.— 1985.— № 2.

Линде А. Д. Раздувающаяся Вселенная//Наука и жизнь.— 1985.— № 8.

Логунов А. А. Релятивистская теория тяготения//Природа.— 1987.— № 1.

Логунов А. А. Новая теория гравитации//Наука и жизнь.— 1987.— № 1, 2.

Лютый В. М., Черепашук А. М. Оптические исследования рентгеновских двойных систем//Земля и Вселенная.— 1986.— № 5.

Назирова Р. Р., Попков О. В., Степаньянц В. А., Тихонов В. Ф. Уникальный эксперимент по небесной механике//Земля и Вселенная.— 1989.— № 6.

Нестеров В. В. и др. Астрометрический космический эксперимент «Ломоносов»//Земля и Вселенная.— 1990.— № 2.

Новиков И. Д., Переводчикова Т. Далекое будущее Вселенной//Наука и жизнь.— 1983.— № 4.

Слыш В. И. Химический состав и эволюция Галактики//Земля и Вселенная.— 1985.— № 1.

Черепашук А. М. SS 433: новые результаты, новые проблемы//Земля и Вселенная.— 1986.— № 1.

Черепашук А. М. Массивные тесные двойные//Земля и Вселенная.— 1985.— № 1.

Шакура Н. И. Ультратесные двойные звезды//Земля и Вселенная.— 1987.— № 3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

О чем же эта книга? .

Глава I. НЕОЖИДАННАЯ ВСЕЛЕННАЯ

§ 1. Инструментальный арсенал современной астрономии

Наземная и космическая астрономия .

Наземные оптические телескопы .

Наземные радиотелескопы .

Орбитальные телескопы .

§ 2. Солнечная система .

Планеты и их спутники .

Кометы

Наше обыкновенное и необыкновенное Солнце

§ 3. Многообразие мира звезд

«Спокойные» и взрывающиеся звезды

Радиопульсары и нейтронные звезды

«Обычные» черные дыры

Необыкновенные явления в «обыкновенных» двойных системах .

Рентгеновские пульсары .

Барстеры

Новые звезды .

Тайна Гемниги

Черные дыры в двойных системах .

Источник SS 433

§ 4. Активность нашей Галактики .

§ 5. Галактики, непохожие на нашу .

§ 6. Квазары

§ 7. За прозрачным занавесом со- звездий

§ 8. Даже небесные тела не вечны... .

Возраст планет и их спутников .

Возраст звезд и Солнца .

3 Возраст звездных скоплений и Галактики 64

§ 9. Расширение Метагалактики . 65

Красное смещение . —

Закон Хаббла 66

Постоянная Хаббла 67

— Границы применимости закона Хаббла 68

11 Природа красного смещения 69

13 Метагалактика — наша Вселенная 70

17 Характер расширения Метагалактики 71

— Темп и длительность расширения 73

Глава II. КАКОЙ БЫЛА И КАКОЙ БУДЕТ НАША ВСЕЛЕННАЯ 74

§ 1. Что такое космология —

§ 2. Космологические модели 78

§ 3. Можно ли доверять космологическим моделям? 81

§ 4. Сценарий далекого прошлого . 86

§ 5. А был ли Большой Взрыв? . 89

§ 6. Прошлое галактик и звезд 92

§ 7. Прошлое планет и малых тел Солнечной системы 97

§ 8. Сценарии далекого будущего . 102

Вечное расширение —

Сжатие, сменяющее расширение 103

Глава III. ПОЧЕМУ НАША ВСЕЛЕННАЯ ТАКАЯ 105

§ 1. Фундаментальные свойства Вселенной —

Расширение —

63 Средняя плотность вещества, близкая к критической 106

64 Крупномасштабная структура —

Однородность и изотропность	—	Физический вакуум	119
Распространенность химических элементов	107	Фазовые переходы первого рода	122
Набор элементарных частиц	108	Сценарий «раздувающейся Вселенной»	
Асимметрия вещества и антивещества	111	Что объясняет гипотеза «раздувающейся Вселенной»	125
Четыре типа физических взаимодействий	112	Подобная Афродите юная Вселенная	127
Притяжение и отталкивание	113	§ 3. Человек в эволюционирующей Вселенной	128
Свойства пространства	114	Уникальность нашей Вселенной	—
Асимметрия прошлого и будущего («стрела времени»)	115	Струны мега- и микромира	134
§ 2: «Раздувающаяся Вселенная»	116	Антропный принцип	135
Что объясняет и что не может объяснить теория «горячей Вселенной»	—	§ 4. Множественность вселенных и осциллирующая Метагалактика	139
Великое объединение физических взаимодействий	118	§ 5. Вселенная и жизнь	142
		Краткий словарь терминов	150
		Что читать дальше	153

Учебное издание

Левитан Ефрем Павлович

ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Зав. редакцией *В. А. Обмения*

Редактор *Л. Л. Величко*

Младший редактор *О. В. Агапова*

Художник *С. Ф. Лухин*

Художественный редактор *В. М. Прокофьев*

Технический редактор *Е. Н. Зелянина*

Корректор *М. Ю. Сергеева*

ИБ № 12385

Сдано в набор 11.05.90. Подписано к печати 09.07.91. Формат 70×90¹/₁₆. Бумага офсетная № 1. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,7+0,29 форз.+0,59 вкл. Усл. кр.-отт. 27,26. Уч.-изд. л. 11,64+0,39 форз.+0,58 вкл. Тираж 20 000 экз. Заказ 2525.

Орден Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Министерства печати и информации Российской Федерации. 127521, Москва, 3-й проезд Марьиной роши, 41.

Смоленский полиграфкомбинат Министерства печати и информации Российской Федерации. 214020, Смоленск, ул. Смольянинова, 1.

**В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ПРОСВЕЩЕНИЕ»
В 1991—1992 гг. ВЫЙДУТ
СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ
ПО ФИЗИКЕ И АСТРОНОМИИ:**

Гильберг Л. А. От самолета к орбитальному комплексу.

Прочитав книгу, читатель узнает о развитии отечественной авиации и космонавтики, о физических основах полетов в космос, о том, как работают наземные службы космонавтики и авиации — космодромы и аэродромы, как управляют полетами и как готовят космонавтов.

Мнеян М. Г. Сверхпроводники в современном мире.

В увлекательной форме автор рассказывает об истории открытия явления сверхпроводимости, объясняет его физическую природу. Рассматриваются принципы работы сверхпроводящих устройств и элементов, применяемых в энергетике, электронике, космосе.

Спиридонов О. П. Свет: физика, информация, жизнь.

В книге рассказывается о тайнах природы света, об информации, которую дает свет об окружающем нас мире — от атомов и молекул до Вселенной, о роли света в возникновении и поддержании жизни на Земле.

Фесенко Б. И. Астрономический калейдоскоп. Вопросы и ответы.

Книга написана в форме вопросов и ответов. Например, почему мерцают звезды? Как отличить яркую звезду от планеты? В какое время суток можно видеть ИСЗ? и др.

На вопросы автор дает ответы, отличающиеся научной строгостью, оригинальностью и занимательностью.

.

НОВАЯ ЦЕНА

46

р.

к

к

