Иосиф Самуилович Шкловский
(1916-1985)

ПРОБЛЕМЫ НАУКИ
И ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

И. С. Шкловский

ВСЕЛЕННАЯ
ЖИЗНЬ
РАЗУМ

ИЗДАНИЕ ШЕСТОЕ,
ДОПОЛНЕННОЕ

МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1987

ББК 22.63
Ш 66
УДК 524 (023)

Шкловский И. С.
Ш66 Вселенная, жизнь, разум/Под ред. Н. С. Кардашева и В. И. Мороза. — 6-е изд., доп.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987 (Пробл. науки и техн. прогресса). — 320 с. 2 р. 10 к., 132000 экз.

Посвящена проблеме возможности существования жизни, в том числе и разумной, на других планетных системах. Вместе с тем книга содержит достаточно полное и доступное изложение результатов современной астрофизики. Книга получила первую премию на конкурсе Общества «Знание» на лучшую научно-популярную книгу. Пятое издание было переработано в соответствии с новой точкой зрения автора. Шестое издание, подготовленное к публикации Н. С. Кардашевым и В. И. Морозом, дополнено тремя статьями И. С. Шкловского.
Для широкого круга читателей со средним образованием.

1705040000-115
053(02)-87

ББК 22.63

Иосиф Самуилович Шкловский
ВСЕЛЕННАЯ, ЖИЗНЬ, РАЗУМ

Редактор *И. Е. Рахлин*
Художественный редактор *Т. Н. Кольченко*
Технические редакторы *И. Ш. Аксельрод, В. Н. Кондакова*
Корректоры *Г. В. Подвольская, Т. С. Вайсберг*

ИБ № 32276

Сдано в набор 21.07.86. Подписано к печати 15.04.87. Т-11140. Формат 70 x 100/16. Бумага офсетная кн.-журнальная. Гарнитура тайме. Печать офсетная. Усл. печ. л. 26. Усл. кр.-отт, 49,4. Уч.-изд. л. 27,96. Тираж 132000 экз. Заказ № 496. Цена 2 р. 10 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы. 117071. Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский пр., 15.

© Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1976 с изменениями, 1987

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редакторов. *И. С. Шкловский о Вселенной, жизни, разуме* . . . 7
Предисловие к пятому изданию . . . 10
Введение . . . 11

Часть первая

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМЫ

1. Масштабы Вселенной и ее строение . . . 19
2. Основные характеристики звезд . . . 33
3. Межзвездная среда . . . 39
4. Эволюция звезд . . . 44
5. Сверхновые звезды, пульсары и черные дыры . . . 57
6. Об эволюции галактик . . . 77
7. Большая Вселенная . . . 88
8. Кратные звездные системы . . . 102
9. О происхождении Солнечной системы . . . 114
10. Вращение звезд и планетная космогония . . . 120

Часть вторая

ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

11. Условия, необходимые для возникновения и развития жизни на планетах 129
12. Об определении понятия «жизнь» . . . 136
13. О возникновении и развитии жизни на Земле . . . 143
14. От сине-зеленых водорослей до человека . . . 154
15. «Есть ли жизнь на Земле?» . . . 160
16. «Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе...» . . . 168
17. Возможность жизни на других телах Солнечной системы . . . 180

Часть третья

РАЗУМНАЯ ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

18. Общие замечания . . . 203
19. Освоение человечеством Солнечной системы . . . 210
20. Радиосвязь между цивилизациями, находящимися на различных планетных системах . . . 221

21. Возможность осуществления межзвездной связи оптическими методами . . . 238
22. Связь с инопланетными цивилизациями с помощью автоматических зондов 245
23. Теоретико-вероятностный анализ межзвездной радиосвязи. Характер сигналов 250
24. О возможности прямых контактов между инопланетными цивилизациями 266
25. Замечания о темпах и характере технологического развития человечества 273
26. Разумная жизнь как космический фактор 284
27. Где вы, братья по разуму? 294

ПРИЛОЖЕНИЕ

I. Поиски внеземных цивилизаций 302
II. Возможна ли связь с разумными существами других планет? 308
III. Существуют ли внеземные цивилизации? 317

ОТ РЕДАКТОРОВ

И. С. Шкловский о Вселенной, жизни, разуме

Автор книги Иосиф Самуилович Шкловский — выдающийся астрофизик, член-корреспондент Академии наук СССР, член многих зарубежных академий, оказавший заметное влияние на развитие астрофизики второй половины **XX** века. Он является создателем крупной школы всеволновой эволюционной астрофизики, автором современной теории солнечной короны, основополагающих работ по физике межзвездной среды на основе данных атомной и молекулярной радиоспектроскопии, о связи космических мазеров с областями образования звезд и планетных систем, об эволюции звезд от главной последовательности через стадию красных гигантов к планетарным туманностям и белым карликам, о развитии космических взрывов сверхновых звезд и ядер галактик, о реликтовом космологическом излучении и, наконец, о проблеме жизни во Вселенной.

И. С. Шкловский родился 1 июля 1916 г. на Украине, в городе Глухове. Окончив школу-семилетку, он работает десятником на строительстве Байкало-Амурской железной дороги, в 1933 г. поступает на физико-математический факультет Владивостокского университета и через два года переходит на физический факультет МГУ. В 1938 г. молодого физика-оптика принимают в аспирантуру на кафедру астрофизики в Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга при МГУ, с которым в дальнейшем он был связан всю свою жизнь. Далее начало войны, эвакуация в Ашхабад (из-за плохого зрения не взяли на фронт), возвращение в Москву, в ГАИШ, и многие годы на передних фронтах революции в астрономии, начавшейся в послевоенные годы. Непрерывно, со времени основания, он возглавлял отдел астрофизики в Институте космических исследований АН СССР и отдел радиоастрономии ГАИШ. Он умер в Москве 3 марта 1985 г. от неожиданно наступившего инсульта. Он всегда был искренним и добрым человеком с глубоким аналитическим умом, неиссякаемым юмором, живым и общительным характером. Большой талант его как ученого и философа, оригинальность мыслей и простота их изложения, темперамент оратора и благожелательность к жаждущим знаний, многочисленные выступления перед специалистами и широкой аудиторией снискали ему широчайшую известность как в научных кругах, так и среди учащейся молодежи, студентов, аспирантов. Наиболее характерными его чертами были беспредельный интерес к фактам, поиск главного, любовь к простоте в понимании явлений природы, стремление всегда быть на переднем крае.

Его интерес к проблеме жизни во Вселенной, по-видимому, начался с совместной с В. И. Красовским работы, связывавшей катастрофическую гибель рептилий с повышением коротковолнового излучения, обусловленного взрывом ближайшей сверхновой. Работа была доложена впервые в 1957 г. в ГАИШ и вызвала широкий резонанс. Затем И. С. Шкловский в 1958 г. увлекся гипотезой об искусственности

спутников Марса. Аномальное торможение Фобоса при движении по орбите заставляло предполагать очень малую его плотность или даже пустоту внутри. Для подтверждения гипотезы в ГАИШ был начат даже специальный проект, предполагающий измерить диаметр Фобоса с помощью первых межпланетных станций, направляемых к Марсу. Огромное влияние на развитие интереса к проблеме жизни во Вселенной оказало начало космических исследований и публикация в 1959 г. в журнале «Nature» статьи Дж. Коккони и Ф. Моррисона, предлагающей начать поиск искусственных сигналов на волне 21 см. Первая статья И. С. Шкловского в той же области опубликована в журнале «Природа» № 7 за 1960 г. Она приведена в приложении II. Первое издание книги «Вселенная, жизнь, разум» вышло в 1962 г. Книга оказала значительное влияние на самые широкие круги читателей в нашей стране и за рубежом. В приложении I к этому 6-му изданию мы приводим отрывки из воспоминаний И. С. Шкловского о том, как создавалась эта книга, и о первых годах становления проблемы поиска жизни во Вселенной. Читатель, конечно, заметит, что эти воспоминания написаны в стиле литературных записок и заметно отличаются от общего текста книги и двух статей. В приложении III приводится последняя его статья, вышедшая в журнале «Земля и Вселенная», когда Иосифа Самуиловича уже не стало. Весьма интересно сопоставление приложения II и приложения III, отражающее эволюцию взглядов Иосифа Самуиловича за 25 лет. Широко известна последняя концепция И. С. Шкловского о возможной уникальности жизни на Земле. Эта позиция связана, с одной стороны, с противоречием между беспредельностью научно-технических возможностей человечества и молчанием космоса, несмотря на огромные успехи астрофизических наблюдений в последние годы. С другой стороны, на позицию автора очень сильно повлиял дух первых успехов освоения космоса в 60-е годы и существенное осложнение международной обстановки, угроза всеобщего уничтожения, нависшие над миром в последние годы.

В целом к проблеме поиска жизни во Вселенной за последние годы по-прежнему растет интерес со стороны астрономов и работников самых различных специальностей. В 1982 г. Генеральная ассамблея Международного астрономического союза (МАС) утвердила создание постоянной комиссии «Биоастрономия». Комиссия на 1985 г. состояла из примерно 250 членов МАС. Результаты последних исследований докладывались на первом Международном симпозиуме этого союза, прошедшем в 1984 г. (США). Некоторые наиболее значительные работы описаны в этом издании.

Авторы настоящего предисловия не разделяют точки зрения о единственности жизни на Земле. Да и сам Иосиф Самуилович много раз говорил, что первым радовался бы, если бы признаки внеземных цивилизаций были обнаружены. По нашему мнению, главное обстоятельство, затрудняющее поиск, — исключительная трудность предсказать облик и поведение, если цивилизация на миллиарды, миллионы, тысячи или хотя бы на сотни лет старше нас (а ведь возраст Вселенной с ее современными формами астрономических объектов 10 — 20 миллиардов лет). Эту проблему Иосиф Самуилович много раз обсуждал со своими коллегами. Поиск форм человекоподобных сообществ, находящихся на близком к нам технологическом уровне, — наивное заблуждение, не сулящее никаких успехов. Серьезные программы, по-видимому, должны базироваться на поиске и исследованиях необычных областей космического пространства, которые можно было бы связать в дальнейшем с разумной целенаправленной деятельностью. Вполне вероятно обнаружение нового класса астрономических объектов, характеризующихся в первую очередь аномально большим количеством вещества в твердотельной форме. Их открытие может быть сделано с помощью астрономических наблюдений, в первую очередь в миллиметровом и инфракрасном диапазонах, где находится максимум теплового излучения такого вещества. Здесь особенно интересными представляют-

ся результаты наблюдений с помощью первого космического инфракрасного телескопа (IRAS, проект Великобритании, Нидерландов и США). Телескоп обнаружил около 200000 новых астрономических объектов, часть которых обладает спектром, сходным с ожидаемым от крупных астроинженерных конструкций. Даже в нашей Солнечной системе обнаружено около 10 000 новых объектов, по-видимому, астероидов. Так что при изучении этих объектов инфракрасную, субмиллиметровую и миллиметровую астрономию ожидают крупные открытия, возможно, и в области обнаружения внеземной жизни. Весьма вероятно и обнаружение специальных радиосигналов других цивилизаций. Как нам сейчас кажется, это должны быть телевизионные передачи, и наиболее перспективен их поиск в диапазоне миллиметровых волн.

Другая сторона исследований, вероятно, связана со становлением новой науки — науки о законах и формах развития цивилизаций на астрономических интервалах времени. Одно из предлагавшихся названий этой науки — космософия. Очевидно, что такая наука должна базироваться на закономерностях нашей цивилизации, обобщать их с учетом разнообразий условий во Вселенной, учитывать перспективы создания искусственного разума, бессмертия, освоения космического пространства... Во всех этих вопросах книга И. С. Шкловского открывает перед читателем захватывающие перспективы.

Редакторы стремились в максимально возможной степени сохранить оригинальный текст И. С. Шкловского. Сделанные редакторами дополнения выделены ромбиками (<>).

Н. С. Кардашев, В. И. Мороз

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЯТОМУ ИЗДАНИЮ

Первое издание этой книги было написано летом 1962 года. Выход книги в свет был приурочен к славному юбилею — пятилетию запуска первого советского искусственного спутника Земли — событию, которое по предложению тогдашнего президента АН СССР М. В. Келдыша должно было быть широко отмечено в нашей научной печати. Я никогда не забуду тот высокий накал страстей и чудесное волнение, постоянно испытываемое в то время нами — свидетелями и участниками Великого Предприятия — первых, тогда еще робких, шагов на длинном пути овладения человечеством Космоса. События развертывались с фантастической быстротой. Первые советские «Лунники», фантастическое ощущение от первых, весьма несовершенных снимков обратной стороны Луны, феерический полет Гагарина и первый выход в открытый Космос Леонова. И уже тогда — первые рабочие проработки дальних космических рейсов к Марсу и Венере. Увы, в наш век мы ко всему быстро привыкаем; выросло уже поколение людей, родившихся в начале космической эры. Они станут свидетелями еще более грандиозных и дерзновенных свершений. Но несомненно, что первый прорыв человечества в Космос навсегда останется крупнейшей вехой в его истории.

Я пишу это для того, чтобы читатели поняли ту атмосферу, в которой создавалась эта книга. Она в какой-то степени демонстрирует тот давно известный феномен, что мысль человека всегда опережает его реальные возможности и служит тем самым как бы путеводной звездой, указывающей на новые цели и проблемы. От первых «детских» шагов человечества в Космосе, свидетелями которых мы были, до грядущей перестройки Солнечной системы человечеством — дистанция огромного размера. Но так уж устроен человек, что ему необходимо иметь перспективу.

Предмет этой книги так же стар, как и человеческая культура. Но только в наше время впервые открылась возможность подлинно научного анализа проблемы множественности обитаемых миров. Сейчас уже очевидно, что эта проблема является комплексной, требующей к себе самого серьезного внимания широчайшего спектра научных профессий — кибернетиков, астрономов, радиофизиков, биологов, социологов и даже экономистов. Увы, эта проблема раньше нам представлялась намного более простой, чем она оказалась. От эпохи «подросткового оптимизма», недавно носившего тотальный характер («вот построим большой-большой радиотелескоп и установим контакт с инопланетянами»), исследователи приступают к более зрелому анализу этой труднейшей проблемы. И чем больше мы углубляемся в ее понимание, тем яснее становится, что разумная жизнь во Вселенной — феномен необыкновенно редкий, а может быть, даже уникальный. Тем большая ответственность ложится на человечество, чтобы эта искра сознания благодаря его неразумным действиям не погасла, а разгорелась бы в яркий костер, наблюдаемый даже с далеких окраин нашей Галактики.

ВВЕДЕНИЕ

Представления о том, что разумная жизнь существует не только на нашей планете Земле, но и широко распространена на множестве других миров, возникли в незапамятные времена, когда астрономия была еще в зачаточном состоянии. По-видимому, корни этих представлений восходят к временам первобытных культов, «оживляющих» окружавшие людей предметы и явления. Туманные идеи о множественности обитаемых миров содержатся в буддийской религии, где они связываются с идеалистической идеей переселения душ. Согласно этому религиозному учению Солнце, Луна и неподвижные звезды являются теми местами, куда переселяются души умерших людей, прежде чем они достигнут состояния Нирваны...

По мере развития астрономии идеи о множественности обитаемых миров становились более конкретными и научными. Большинство греческих философов, как материалистов, так и идеалистов, считали, что наша Земля никоим образом не является единственным обиталищем разумной жизни.

Приходится только удивляться гениальности догадок греческих философов, если учесть уровень развития науки тех времен. Так, например, основатель ионийской философской школы Фалес учил, что звезды состоят из такого же вещества, что и Земля. Анаксимандр утверждал, что миры возникают и разрушаются. Анаксагор, один из первых приверженцев гелиоцентрической системы, считал, что Луна обитаема. Согласно Анаксагору повсюду рассеяны невидимые «зародыши жизни», являющиеся причиной возникновения всего живого. На протяжении последующих веков вплоть до настоящего времени подобные идеи «панспермии» (извечность жизни) многократно высказывались различными учеными и философами. Идеи «зародышей жизни» были приняты христианской религией вскоре после ее возникновения.

Материалистическая философская школа Эпикура учила о множественности обитаемых миров, причем считала эти миры вполне подобными нашей Земле. Например, эпикуреец Митродор утверждал, что «считать Землю единственным населенным миром в беспредельном пространстве было бы такой же вопиющей нелепостью, как утверждать, что на громадном засеянном поле мог бы вырасти только один пшеничный колос». Интересно, что сторонники этого учения под «мирами» подразумевали не только планеты, но и множество других небесных тел, разбросанных в безграничных просторах Вселенной.

Замечательный римский философ-материалист Лукреций Кар был пламенным приверженцем идеи о множественности обитаемых миров и безграничности их числа. В своей знаменитой поэме «О природе вещей» он писал: «Весь этот видимый мир вовсе не единственный в природе, и мы должны верить, что в других областях пространства имеются другие земли с другими людьми и другими животными». Любопытно отметить, что Лукреций Кар совершенно не понимал природы звезд — он считал их светящимися земными испарениями... Поэтому свои миры,

населенные разумными существами, он помещал за пределами видимой Вселенной...

В течение последующих полутора тысяч лет господствовавшая христианская религия, опираясь на учение Птолемея, считала Землю средоточием Вселенной. В таких условиях ни о каком развитии представлений о множественности обитаемых миров не могло быть и речи. Крушение птолемеевой системы, связанное с именем гениального польского астронома Николая Коперника, впервые показало человечеству его истинное место во Вселенной. Коль скоро Земля была «низведена» до одной из рядовых планет, обращающихся вокруг Солнца, мысль о том, что и на других планетах также возможна жизнь, получила серьезное научное обоснование.

Первые телескопические наблюдения Галилея, открывшие новую эпоху в астрономии, поражали воображение современников. Стало ясно, что планеты — это небесные тела, во многих отношениях похожие на Землю. Естественно возникал вопрос: если на Луне есть горы и долины, почему бы не считать, что там есть и города, населенные разумными существами? И почему бы не считать, что наше Солнце не является единственным светилом, окруженным сонмом планет? Эти смелые идеи в ясной и недвусмысленной форме высказывал великий итальянский мыслитель шестнадцатого века Джордано Бруно. Он писал: «...Существуют бесчисленные солнца, бесчисленные земли, которые кружатся вокруг своих солнц, подобно тому как наши семь планет кружатся вокруг нашего Солнца... На этих мирах обитают живые существа».

Католическая церковь жестоко расправилась с Джордано Бруно. Судом святейшей инквизиции он был признан неисправимым еретиком и сожжен заживо в Риме на площади Цветов 17 февраля 1600 г. Это преступление церкви против науки было далеко не последним. Вплоть до конца XVII в. католическая (а также протестантская) церковь оказывала яростное сопротивление новой, гелиоцентрической системе мира. Постепенно, однако, безнадежность открытой борьбы церкви против нового мировоззрения становилась ясной даже самим церковникам. Они стали приспосабливаться к новым условиям. И сейчас богословы уже признают возможность существования мыслящих существ на других планетах, считая, что это не противоречит основным догмам религии...

Во второй половине XVII и в XVIII в. рядом ученых, философов и писателей было написано много книг, посвященных проблеме множественности обитаемых миров. Назовем имена Сирано де Бержерака, Фонтенеля, Гюйгенса, Вольтера. Эти сочинения, иногда блестящие по форме и содержащие глубокие мысли (особенно это относится к Вольтеру), были совершенно умозрительными.

Гениальный русский ученый М. В. Ломоносов был убежденным сторонником идеи о множественности обитаемых миров. Тех же взглядов придерживались такие великие философы и ученые, как Кант, Лаплас, Гершель. Можно сказать, что эта идея получила повсеместное распространение, и почти не было ученых или мыслителей, которые выступали бы против нее. Лишь отдельные голоса предостерегали против представления, что жизнь, в том числе разумная, распространена на всех планетах.

Укажем, например, на книгу английского ученого Уэйвелла, вышедшую в 1853 г. Уэйвелл довольно смело для того времени (как меняются времена!) высказал утверждение, что далеко не все планеты могут служить прибежищем жизни. Например, он указывает, что большие планеты Солнечной системы состоят из «воды, газов и паров» и поэтому непригодны для жизни. В равной степени непригодны для жизни планеты, слишком близко расположенные к Солнцу, «потому что благодаря большому количеству теплоты вода не может удержаться на их поверхности». Он доказывает, что на Луне не может быть никакой жизни — идея, которая весьма медленно входила в сознание людей.

Даже в конце XIX в. известный астроном В. Пикеринг убежденно доказывал, что на поверхности Луны наблюдаются массовые миграции насекомых, объясняющие наблюдаемую изменчивость отдельных деталей лунного ландшафта... Заметим, что в сравнительно недавнее время эта гипотеза применительно к Марсу возродилась снова...

До какой степени общеприняты были в XVIII в. и первой половине XIX в. представления о повсеместном распространении разумной жизни, видно, на следующем примере. Знаменитый английский астроном В. Гершель считал, что Солнце обитаемо, а солнечные пятна — это просветы в ослепительно ярких облаках, окутывающих темную поверхность нашего светила. Через эти «просветы» воображаемые жители Солнца могут любоваться звездным небом... Кстати, укажем, что великий Ньютон также считал Солнце обитаемым.

Во второй половине XIX в. большую популярность приобрела книга Фламмариона «О множественности обитаемых миров». Достаточно сказать, что за 20 лет она выдержала во Франции 30 изданий! Эта книга была переведена на ряд иностранных языков. В этом произведении, а также в других своих сочинениях Фламмарион стоит на идеалистических позициях, считая, что жизнь — цель образования планет. Книги Фламмариона, написанные очень темпераментно, живым, несколько вычурным языком, производили большое впечатление на современников. Очень странное ощущение возникает, когда их читаешь теперь, в наши дни. Поражает несоответствие между мизерным количеством знаний о природе небесных светил (что определялось тогдашним уровнем только начинавшей развиваться астрофизики) и категоричностью суждений о множественности обитаемых миров... Фламмарион больше апеллирует к эмоциям читателей, чем к их логическому мышлению.

В конце XIX в. и в XX в. большое распространение получили различные модификации старой гипотезы панспермии. Согласно этой концепции жизнь во Вселенной существует извечно. Живая субстанция не возникает каким-нибудь закономерным образом из неживой, а переносится тем или иным способом от одной планеты к другой.

Так, например, согласно Сванте Аррениусу частицы живого вещества — споры или бактерии, осевшие на малых пылинках, сидой светового давления переносятся с одной планеты на другую, сохраняя свою жизнеспособность. Если на какой-нибудь планете условия оказываются подходящими, попавшие туда споры прорастают и дают начало эволюции жизни на ней.

Хотя возможность переноса жизнеспособных спор с одной планеты на другую в принципе нельзя считать исключенной, трудно сейчас серьезно говорить о таком механизме переноса жизни от одной звездной системы к другой (см. гл. 16). Аррениус считал, например, что под влиянием светового давления пылинки могут двигаться с огромной скоростью. Однако наши современные знания о природе межзвездной среды скорее всего исключают такую возможность. Наконец, сам по себе вывод об извечности жизни во Вселенной решительно противоречит существующим сейчас представлениям об эволюции звезд и галактик. Согласно этим представлениям, достаточно надежно обоснованным большим количеством наблюдений, в прошлом Вселенная была чисто водородной или водородно-гелиевой плазмой. По мере эволюции Вселенной происходит непрерывное ее «обогащение» тяжелыми элементами (см. гл. 7), которые совершенно необходимы для всех мыслимых форм живой материи.

Далее, из наблюдаемого «реликтового» излучения Вселенной следует, что в прошлом (15—20 млрд лет назад) условия во Вселенной были таковы, что существование жизни было невозможно (см. гл. 6). Все это означает, что жизнь могла появиться в определенных, благоприятных для ее развития областях Вселенной лишь на некотором этапе эволюции последней. Тем самым основное предположение гипотезы панспермии оказывается неправильным.

Пламенным сторонником идеи о множественности миров, населенных разумными существами, был замечательный русский ученый, основатель астронавтики К. Э. Циолковский. Приведем только несколько его высказываний по этому вопросу: «Вероятно ли, чтобы Европа была населена, а другая часть света нет? Может ли быть один остров с жителями, а другие — без них...?» И далее: «...Все фазы развития живых существ можно видеть на разных планетах. Чем было человечество несколько тысяч лет тому назад и чем оно будет по истечении нескольких миллионов лет — все можно отыскать в планетном мире...» Если первая цитата Циолковского, по существу, повторяет высказывания античных философов, то во второй содержится новая важная мысль, получившая впоследствии развитие. Мыслители и писатели прошлых веков представляли себе цивилизации на других планетах в социальном и научно-техническом отношениях вполне подобными современной им земной цивилизации. Циолковский справедливо указал на огромную разницу уровней цивилизации на разных мирах. Все же следует заметить, что высказывания нашего замечательного ученого по этому вопросу не могли тогда еще (да и сейчас...) быть подкреплены выводами науки.

Развитие представлений о множественности обитаемых миров неразрывно связано с развитием космогонических гипотез. Так, например, в первой трети XX столетия, когда господствовала космогоническая гипотеза Джинса, согласно которой планетная система Солнца образовалась в результате маловероятной космической катастрофы («почти столкновение» двух звезд), большинство ученых считало, что жизнь во Вселенной — редчайшее явление. Представлялось крайне маловероятным, чтобы в нашей звездной системе — Галактике, насчитывающей свыше 150 млрд звезд, хотя бы у одной (помимо нашего Солнца) была семья планет. Крушение космогонической гипотезы Джинса в тридцатых годах этого столетия и бурное развитие астрофизики подвели нас вплотную к выводу, что планетных систем в Галактике огромное количество, а наша Солнечная система может быть не столько исключением, сколько правилом в мире звезд. Все же это весьма вероятное предположение пока еще строго не доказано (см. гл. 10).

Развитие звездной космогонии также имело и имеет решающее значение для проблемы возникновения и развития жизни во Вселенной. Уже теперь мы знаем, какие звезды молодые, какие старые, как долго звезды излучают на том почти постоянном уровне, который необходим для поддержания жизни на обращающихся вокруг них планетах. Наконец, звездная космогония дает далекий прогноз будущего нашего Солнца, что имеет, конечно, решающее значение для судеб жизни на Земле. Таким образом, достижения астрофизики за последние 20 — 30 лет сделали возможным научный подход к проблеме множественности обитаемых миров.

Другое важнейшее «направление атаки» этой поблемы — биологические и биохимические исследования. Проблема жизни — в значительной степени химическая проблема. Каким способом и при каких внешних условиях мог происходить синтез сложных органических соединений, итогом которого было появление на планете первых «крупиц» живого вещества? На протяжении последних десятилетий биохимики существенно продвинули вперед эту проблему. Здесь они прежде всего опираются на результаты лабораторных экспериментов. Все же, как представляется автору этой книги, только в последние годы появилась возможность подойти к вопросу о происхождении жизни на Земле, а следовательно, и на других планетах. Только сейчас начинает приоткрываться завеса над «святая святых» живой субстанции — наследственностью.

Выдающиеся успехи генетики и прежде всего выяснение «кибернетического смысла» дезоксирибонуклеиновой и рибонуклеиновой кислот настоятельно требуют нового определения самого основного понятия «жизнь». Все более ясным становится положение, что проблема происхождения жизни в значительной степени проблема генетическая. Огромные успехи молекулярной биологии позволяют наде-

яться, что эта важнейшая проблема естествознания будет решена в обозримом будущем.

Принципиально новый этап в развитии представлений о множественности обитаемых миров начался с запуска в нашей стране первого искусственного спутника Земли. За тридцать лет, истекших после памятного дня 4 октября 1957 г., были достигнуты поразительные успехи в овладении и изучении ближайших к нашей планете областей космического пространства. Апофеозом этих успехов были триумфальные полеты советских и американских космонавтов. Люди как-то вдруг «весомо, грубо, зримо» почувствовали, что они населяют очень маленькую планетку, окруженную безграничным космическим пространством. Конечно, всем им в школах преподавали (чаще всего довольно плохо) астрономию, и они «теоретически» знали место Земли в космосе. Однако в своей конкретной деятельности люди руководствовались, если так можно выразиться, «практическим геоцентризмом». Поэтому нельзя даже переоценить переворот в сознании людей, которым ознаменовалось начало новой эры в истории человечества — эры непосредственного изучения и, в перспективе, покорения космоса.

Вопрос о жизни на других мирах, бывший до недавнего времени чисто абстрактным, сейчас приобретает реальное практическое значение. В ближайшие годы он будет, если говорить о планетах Солнечной системы, окончательно решен экспериментально. Специальные приборы — индикаторы жизни — посылались и будут посылаться на поверхности планет и дадут уверенный ответ: есть ли там жизнь и если есть, то какая. Недалеко то время, когда астронавты высадятся на Марсе, а может быть, даже на загадочной негостеприимной Венере, и смогут изучать там жизнь (если она, конечно, есть) теми же методами, что и биологи на Земле. Скорее всего, однако, никаких, даже самых примитивных форм жизни они там не найдут, на что указывают результаты уже выполненных экспериментов.

Как выражение огромного интереса широких слоев народа к проблеме обитаемости других миров следует рассматривать появление в последние три десятилетия ряда работ крупных физиков и астрономов, в которых строго научно рассматривается проблема установления связи с разумными существами, населяющими другие планетные системы. Уже состоялся ряд научных конференций, посвященных внеземным цивилизациям,— в США и в нашей стране. При разработке этой увлекательной проблемы ученые не могут замыкаться в рамки своей специальности. С необходимостью надо строить те или иные гипотезы о путях развития цивилизаций в перспективе тысяч и миллионов лет. А это, право же, нелегкая и не совсем определенная задача... И тем не менее ее надо решать, так как она имеет совершенно конкретный смысл, а главное, правильность решения может быть в принципе проверена критерием практики.

Цель этой книги — ознакомить широкие круги читателей, интересующихся увлекательной проблемой жизни во Вселенной, с современным состоянием этой проблемы. Мы подчеркиваем — «с современным», так как развитие наших представлений о множественности обитаемых миров сейчас идет достаточно быстро. Кроме того, в отличие от других книг, посвященных этой проблеме (например, А. И. Опарин и В. Г. Фесенков «Жизнь во Вселенной» и Г. Спенсер Джонс «Жизнь на других мирах»), где преимущественно рассматривается вопрос о жизни только на планетах Солнечной системы — Марсе и Венере — на основе безнадежно устарелых данных, мы уделили достаточно много внимания другим планетным системам. Наконец, анализ возможностей разумной жизни во Вселенной и проблемы установления связи между цивилизациями, разделенными межзвездными расстояниями, насколько нам известно, ни в одной книге до 1962 г., когда было написано первое издание этой книги, не проводился.

Эта книга состоит из трех частей. Первая часть содержит астрономические сведения, необходимые для понимания современных представлений об эволюции га-

лактик, звезд и планетных систем. Во второй части рассматриваются условия возникновения жизни на какой-нибудь планете. Кроме того, здесь обсуждается вопрос об обитаемости Марса, Венеры и других планет Солнечной системы. В заключение этой части критически рассматриваются современные варианты гипотезы панспермии. Наконец, третья часть содержит анализ возможности разумной жизни в отдельных областях Вселенной. Особое внимание обращается на проблему установления контактов между цивилизациями разных планетных систем. По своему характеру третья часть книги отличается от первых двух, которые излагают конкретные итоги и результаты развития науки в соответствующих областях. По необходимости в этой части преобладает гипотетический элемент — ведь пока мы еще не установили контактов с инопланетными цивилизациями и, в сущности говоря, неизвестно, когда установим и установим ли вообще... Но это ни в коей степени не означает, что эта часть лишена научного содержания и является чистой фантастикой. Напротив, именно здесь анализируются, и притом по возможности строго, новейшие достижения науки и техники, которые в будущем могут привести к успеху. Вместе с тем эта часть книги позволяет дать некоторое реальное представление о мощи человеческого разума даже на современном этапе его развития. Ведь уже сейчас человечество своей активной деятельностью стало фактором космического значения. Чего же можно ожидать через несколько столетий?

Часть первая

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМЫ

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

Б. Пастернак

1. Масштабы Вселенной и ее строение

Если бы астрономы-профессионалы постоянно и ощутимо представляли себе чудовищную величину космических расстояний и интервалов времени эволюции небесных светил, вряд ли они могли успешно развивать науку, которой посвятили свою жизнь. Привычные нам с детства пространственно-временные масштабы настолько ничтожны по сравнению с космическими, что когда это доходит до сознания, то буквально захватывает дух. Занимаясь какой-нибудь проблемой космоса, астроном либо решает некую математическую задачу (это чаще всего делают специалисты по небесной механике и астрофизики-теоретики), либо занимается усовершенствованием приборов и методов наблюдений, либо же строит в своем воображении, сознательно или бессознательно, некоторую небольшую модель исследуемой космической системы. При этом основное значение имеет правильное понимание относительных размеров изучаемой системы (например, отношение размеров деталей данной космической системы, отношение размеров этой системы и других, похожих или непохожих на нее, и т. д.) и интервалов времени (например, отношение скорости протекания данного процесса к скорости протекания какого-либо другого).

Автор этой книги довольно много занимался, например, солнечной короной и Галактикой. И всегда они представлялись ему неправильной формы сфероидальными телами примерно одинаковых размеров — что-нибудь около 10 см... Почему 10 см? Этот образ возник подсознательно, просто потому, что слишком часто, раздумывая над тем или иным вопросом солнечной или галактической физики, автор чертил в обыкновенной тетради (в клеточку) очертания предметов своих размышлений. Чертил, стараясь придерживаться масштабов явлений. По одному очень любопытному вопросу, например, можно было провести интересную аналогию между солнечной короной и Галактикой (вернее, так называемой «галактической короной»). Конечно, автор этой книги очень хорошо, так сказать, «умом» знал, что размеры галактической короны в сотни миллиардов раз больше, чем размеры солнечной. Но он спокойно забывал об этом. А если в ряде случаев большие размеры галактической короны приобретали некоторое принципиальное значение (бывало и так), это учитывалось формально-математически. И все равно зрительно обе «короны» представлялись одинаково маленькими...

Если бы автор в процессе этой работы предавался философским размышлениям о чудовищности размеров Галактики, о невообразимой разреженности газа, из которого состоит галактическая корона, о ничтожности нашей малютки-планеты и собственного бытия и о прочих других не менее правильных предметах, работа над проблемами солнечной и галактической корон прекратилась бы автоматически...

Пусть простит мне читатель это «лирическое отступление». Я не сомневаюсь, что и у других астрономов возникали такие же мысли, когда они работали над своими проблемами. Мне кажется, что иногда полезно поближе познакомиться с «кухней» научной работы...

Если мы хотим на страницах этой книги обсуждать волнующие вопросы о возможности разумной жизни во Вселенной, то прежде всего нужно будет составить правильное представление о ее пространственно-временных масштабах. Еще сравнительно недавно земной шар представлялся человеку огромным. Свыше трех лет потребовалось отважным сподвижникам Магеллана, чтобы 465 лет тому назад ценой неимоверных лишений совершить первое кругосветное путешествие. Немногим более 100 лет прошло с того времени, когда находчивый герой фантастического романа Жюля Верна совершил, пользуясь последними достижениями техники того времени, путешествие вокруг света за 80 суток. И прошло

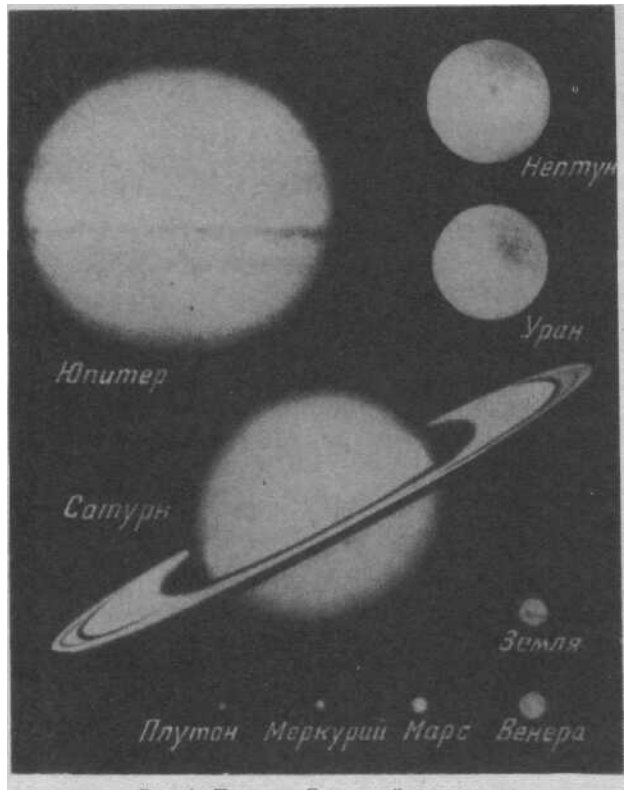

Рис. 1. Планеты Солнечной системы

всего лишь 26 лет с тех памятных для всего человечества дней, когда первый советский космонавт Гагарин облетел на легендарном космическом корабле «Восток» земной шар за 89 мин. И мысли людей невольно обратились к огромным пространствам космоса, в которых затерялась небольшая планета Земля...

Наша Земля — одна из планет Солнечной системы. По сравнению с другими планетами она расположена довольно близко к Солнцу, хотя и не является самой близкой. Среднее расстояние от Солнца до Плутона — самой далекой планеты Солнечной системы — в 40 раз больше среднего расстояния от Земли до Солнца. В настоящее время неизвестно, имеются ли в Солнечной системе планеты, еще более удаленные от Солнца, чем Плутон. Можно только утверждать, что если такие планеты и есть, то они сравнительно невелики. Условно размеры Солнечной системы можно принять равными 50—100 астрономическим единицам*), или около 10 млрд км. По нашим земным масштабам это очень большая величина, примерно в 1 миллион раз превосходящая диаметр Земли.

Мы можем более наглядно представить относительные масштабы Солнечной системы следующим образом. Пусть Солнце изображается биллиардным шаром диаметром 7 см. Тогда ближайшая к Солнцу планета — Меркурий находится от него в этом масштабе на расстоянии 280 см, Земля — на расстоянии 760 см, гигантская планета Юпитер удалена на расстояние около 40 м, а самая дальняя планета — во многих отношениях пока еще загадочный Плутон — на расстояние около 300 м. Размеры земного шара в этом масштабе несколько больше 0,5 мм, лунный диаметр — немногим больше 0,1 мм, а орбита Луны имеет диаметр около 3 см.

Даже самая близкая к нам звезда — Проксима Центавра удалена от нас на такое большое расстояние, что по сравнению с ним межпланетные расстояния в пределах Солнечной системы кажутся сущими пустяками. Читатели, конечно, знают, что для измерения межзвездных расстояний такой единицей длины, как километр, почти .никогда не пользуются **). Эта единица измерений (так же как сантиметр, дюйм и др.) возникла из потребностей практической деятельности человечества на

*) Астрономическая единица — среднее расстояние от Земли до Солнца, равное 149600 тыс. км.

**) Пожалуй, только скорости звезд и планет в астрономии выражаются в единицах «километр в секунду».

Земле. Она совершенно непригодна для оценки космических расстояний, слишком больших по сравнению с километром.

В популярной литературе, а иногда и в научной, для оценки межзвездных и межгалактических расстояний как единицу измерения употребляют «световой год». Это такое расстояние, которое свет, двигаясь со скоростью 300 тыс. км/с, проходит за год. Легко убедиться, что световой год равен $9{,}46 \cdot 10^{12}$ км, или около 10000 млрд км.

В научной литературе для измерения межзвездных и межгалактических расстояний обычно применяется особая единица, получившая название «парсек»; 1 парсек (пк) равен 3,26 светового года. Парсек определяется как такое расстояние, с которого радиус земной орбиты виден под углом в 1 сек. дуги. Это очень маленький угол. Достаточно сказать, что под таким углом монета в одну копейку видна с расстояния в 3 км.

Ни одна из звезд — ближайших соседок Солнечной системы — не находится к нам ближе, чем на 1 пк. Например, упомянутая Проксима Центавра удалена от нас на расстояние около 1,3 пк. В том масштабе, в котором мы изобразили

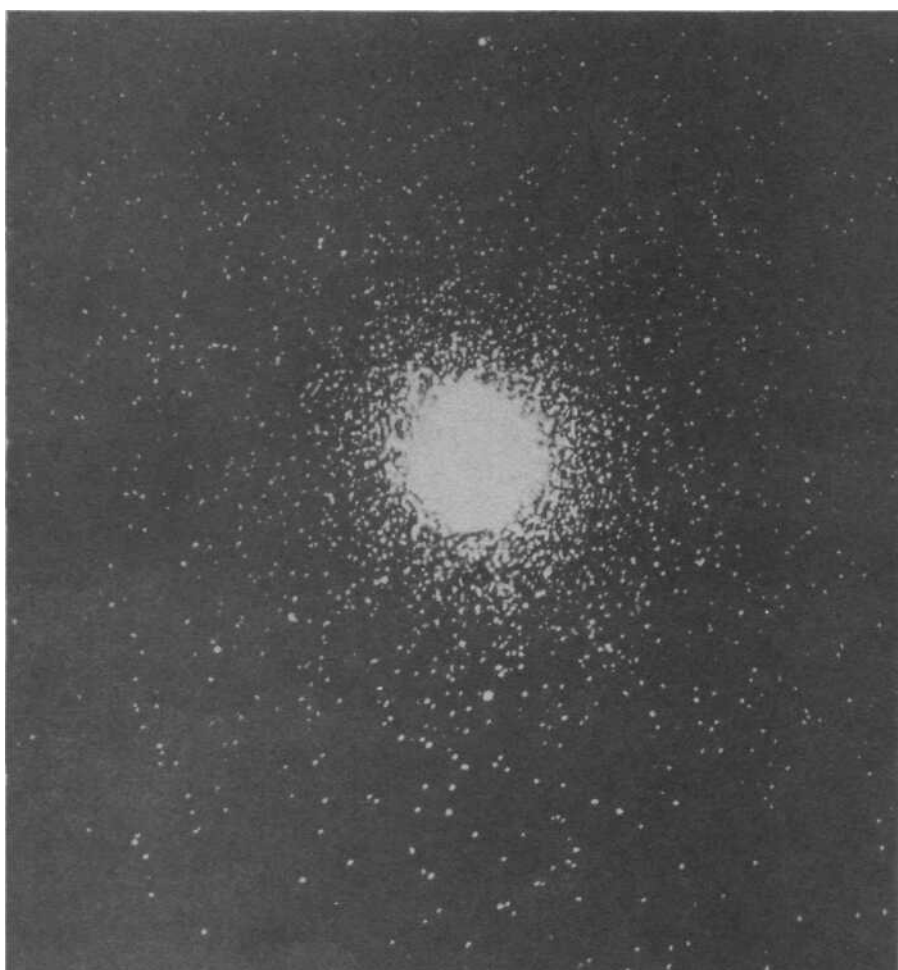

Рис. 2. Шаровое скопление 47 Тукана

Солнечную систему, это соответствует 2 тыс. км. Все это хорошо иллюстрирует большую изолированность нашей -Солнечной системы от окружающих звездных систем; некоторые из этих систем, возможно, имеют с ней много сходства.

Но окружающие Солнце звезды и само Солнце составляют лишь ничтожно малую часть гигантского коллектива звезд и туманностей, который называется «Галактикой». Это скопление звезд мы видим в ясные безлунные ночи как пересекающую небо полосу Млечного Пути. Галактика имеет довольно сложную структуру. В первом, самом грубом приближении мы можем считать, что звезды и туманности, из которых она состоит, заполняют объем, имеющий форму сильно сжатого эллипсоида вращения. Часто в популярной литературе форму Галактики сравнивают с двояковыпуклой линзой. На самом деле все обстоит значительно сложнее, и нарисованная картина является слишком грубой. В действительности оказывается, что разные типы звезд совершенно по-разному концентрируются к центру Галактики и к ее «экваториальной плоскости». Например, газовые туманности, а также очень горячие массивные звезды сильно концентрируются к экваториальной плоскости Галактики (на небе этой плоскости соответствует большой круг, проходящий через центральные части Млечного Пути). Вместе с тем они не обнаруживают значительной концентрации к галактическому центру. С другой стороны, некоторые типы звезд и звездных скоплений (так называемые «шаровые скопления», рис. 2) почти никакой концентрации к экваториальной плоскости Галактики не обнаруживают, но зато характеризуются огромной концентрацией по направлению к ее центру. Между этими двумя крайними типами пространственного распределения (которое астрономы называют «плоское» и «сферическое») находятся все промежуточные случаи. Все же оказывается, что основная часть звезд в Галактике находится в гигантском диске, диаметр которого около 100 тыс. световых лет, а толщина около 1500 световых лет. В этом диске насчитывается несколько больше 150 млрд звезд самых различных типов. Наше Солнце — одна из этих звезд, находящаяся на периферии Галактики вблизи от ее экваториальной плоскости (точнее, «всего лишь» на расстоянии около 30 световых лет — величина достаточно малая по сравнению с толщиной звездного диска).

Расстояние от Солнца до ядра Галактики (или ее центра) составляет около 30 тыс. световых лет. Звездная плотность в Галактике весьма неравномерна. Выше всего она в области галактического ядра, где, по. последним данным, достигает 2 тыс. звезд на кубический парсек, что почти в 20 тыс. раз больше средней звездной плотности в окрестностях Солнца *). Кроме того, звезды имеют тенденцию образовывать отдельные группы или скопления. Хорошим примером такого скопления являются Плеяды, которые видны на нашем зимнем небе (рис. 3).

В Галактике имеются и структурные детали гораздо больших масштабов. Исследованиями последних лет доказано, что туманности, а также горячие массивные звезды распределены вдоль ветвей спирали. Особенно хорошо спиральная структура видна у других звездных систем — галактик (с маленькой буквы, в отличие от нашей звездной системы — Галактики). Одна из таких галактик изображена на рис. 4. Установить спиральную структуру Галактики, в которой мы сами находимся, оказалось в высшей степени трудно.

Звезды и туманности в пределах Галактики движутся довольно сложным образом. Прежде всего, они участвуют во вращении Галактики вокруг оси, перпендикулярной к ее экваториальной плоскости. Это вращение не такое, как у твердого тела: различные участки Галактики имеют различные периоды вращения. Так, Солнце и окружающие его в огромной области размерами в несколько сотен световых лет звезды совершают полный оборот за время около 200 млн лет. Так как

*) В самом центре галактического ядра в области поперечником в 1 пк находится, по-видимому, несколько миллионов звезд.

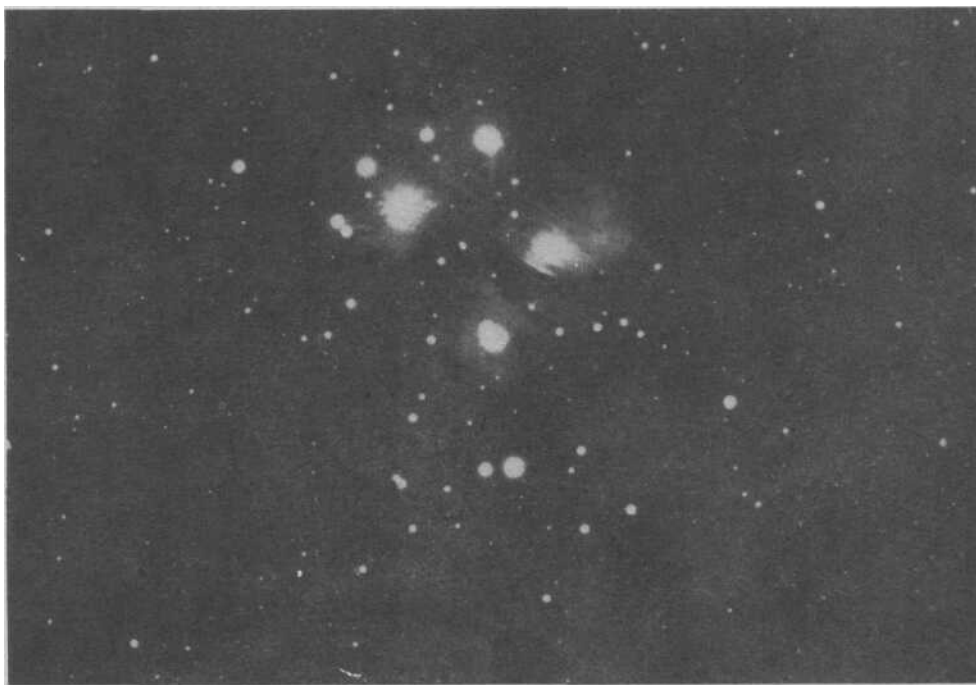

Рис. 3. Фотография звездного скопления Плеяд

Рис. 4. Спиральная галактика NGC 5364

Солнце вместе с семьей планет существует, по-видимому, около 5 млрд лет, то за время своей эволюции (от рождения из газовой туманности до нынешнего состояния) оно совершило примерно 25 оборотов вокруг оси вращения Галактики. Мы можем сказать, что возраст Солнца — всего лишь 25 «галактических лет», скажем прямо — вовраст цветущий...

Скорость движения Солнца и соседних с ним звезд по их почти круговым галактическим орбитам достигает 250 км/с *). На это регулярное движение вокруг галактического ядра накладываются хаотические, беспорядочные движения звезд. Скорости таких движений значительно меньше — порядка 10 — 50 км/с, причем у объектов разных типов они различны. Меньше всего скорости у горячих массивных звезд (6 — 8 км/с), у звезд солнечного типа они около 20 км/с. Чем меньше эти скорости, тем более «плоским» является распределение данного типа звезд.

В том масштабе, которым мы пользовались для наглядного представления Солнечной системы, размеры Галактики будут составлять 60 млн км — величина, уже довольно близкая к расстоянию от Земли до Солнца. Отсюда ясно, что по мере проникновения во все более удаленные области Вселенной этот масштаб уже не годится, так как теряет наглядность. Поэтому мы примем другой масштаб. Мысленно уменьшим земную орбиту до размеров самой внутренней орбиты атома водорода в классической модели Бора. Напомним, что радиус этой орбиты равен $0{,}53 \cdot 10^{-8}$ см. Тогда ближайшая звезда будет находиться на расстоянии приблизительно 0,014 мм, центр Галактики — на расстоянии около 10 см, а размеры нашей звездной системы будут около 35 см. Диаметр Солнца будет иметь микроскопические размеры: 0,0046 А (ангстрем — единица длины, равная 10^{-8} см).

Мы уже подчеркивали, что звезды удалены друг от друга на огромные расстояния, и тем самым практически изолированы. В частности, это означает, что звезды почти никогда не сталкиваются друг с другом, хотя движение каждой из них определяется полем силы тяготения, создаваемым всеми звездами в Галактике. Если мы будем рассматривать Галактику как некоторую область, наполненную газом, причем роль газовых молекул и атомов играют звезды, то мы должны считать этот газ крайне разреженным. В окрестностях Солнца среднее расстояние между звездами примерно в 10 млн раз больше, чем средний диаметр звезд. Между тем при нормальных условиях в обычном воздухе среднее расстояние между молекулами всего лишь в несколько десятков раз больше размеров последних. Чтобы достигнуть такой же степени относительного разрежения, плотность воздуха следовало бы уменьшить по крайней мере в 10^{18} раз! Заметим, однако, что в центральной области Галактики, где звездная плотность относительно высока, столкновения между звездами время от времени будут происходить. Здесь следует ожидать приблизительно одно столкновение каждый миллион лет, в то время как в «нормальных» областях Галактики за всю историю эволюции нашей звездной системы, насчитывающую, по крайней мере, 10 млрд лет, столкновений между звездами практически не было (см. гл. 9).

Мы кратко обрисовали масштаб и самую общую структуру той звездной системы, к которой принадлежит наше Солнце. При этом совершенно не рассматривались те методы, при помощи которых в течение многих лет несколько поколений астрономов шаг за шагом воссоздавали величественную картину строения Галактики. Этой важной проблеме посвящены другие книги, к которым мы отсылаем интересующихся читателей (например, Б. А. Воронцов-Вельяминов «Очерки о Вселенной», Ю. Н. Ефремов «В глубины Вселенной»). Наша задача — дать только самую общую картину строения и развития отдельных объектов Вселенной. Такая картина совершенно необходима для понимания этой книги.

*) Полезно запомнить простое правило: скорость в 1 пк за млн лет почти равна скорости в 1 км/с. Предоставляем читателю убедиться в этом.

Рис. 5. Туманность Андромеды со спутниками

Уже несколько десятилетий астрономы настойчиво изучают другие звездные системы, в той или иной степени сходные с нашей. Эта область исследований получила название «внегалактической астрономии». Она сейчас играет едва ли не ведущую роль в астрономии. В течение последних трех десятилетий внегалактическая астрономия добилась поразительных успехов. Понемногу стали вырисовываться

грандиозные контуры Метагалактики, в состав которой наша звездная система входит как малая частица. Мы еще далеко не все знаем о Метагалактике. Огромная удаленность объектов создает совершенно специфические трудности, которые разрешаются путем применения самых мощных средств наблюдения в сочетании с глубокими теоретическими исследованиями. Все же общая структура Метагалактики в последние годы в основном стала ясной.

Мы можем определить Метагалактику как совокупность звездных систем — галактик, движущихся в огромных пространствах наблюдаемой нами части Вселенной. Ближайшие к нашей звездной системе галактики — знаменитые Магеллановы Облака, хорошо видные на небе южного полушария как два больших пятна при мерно такой же поверхностной яркости, как и Млечный Путь. Расстояние до Магеллановых Облаков «всего лишь» около 200 тыс. световых лет, что вполне сравни мо с общей протяженностью нашей Галактики. Другая «близкая» к нам галактика — это туманность в созвездии Андромеды. Она видна невооруженным глазом как слабое световое пятнышко 5-й звездной величины*). На самом деле это огромный звездный мир, по количеству звезд и полной массе раза в три превышающей нашу Галактику, которая в свою очередь является гигантом среди галактик. Расстояние до туманности Андромеды, или, как ее называют астрономы, М31 (это означает, что в известном каталоге туманностей Мессье она занесена под № 31), около 1800 тыс. световых лет, что примерно в 20 раз превышает размеры Галактики. Туманность М 31 имеет явно выраженную спиральную структуру и по многим своим характеристикам весьма напоминает нашу Галактику. Рядом с ней находятся ее небольшие спутники эллипсоидальной формы (рис. 5). На рис. 6 приведены фотографии нескольких сравнительно близких к нам галактик. Обращает на себя внимание большое разнообразие их форм. Наряду со спиральными системам (такие галактики обозначаются символами Sa, Sb и Sc в зависимости от характер развития спиральной структуры; при наличии проходящей через ядро «перемычки (рис. 6а) после буквы S ставится буква В) встречаются сфероидальные и эллипсоидальные, лишенные всяких следов спиральной структуры, а также «неправильные галактики, хорошим примером которых могут служить Магеллановы Облака.

В большие телескопы наблюдается огромное количество галактик. Если галактик ярче видимой 12-й величины насчитывается около 250, то ярче 16-й — уже около 50 тыс. Самые слабые объекты, которые на пределе может сфотографиро вать телескоп-рефлектор с диаметром зеркала 5 м, имеют 24,5-ю величину. Оказывается, что среди миллиардов таких слабейших объектов большинство составляют галактики. Многие из них удалены от нас на расстояния, которые свет проходит за миллиарды лет. Это означает, что свет, вызвавший почернение пластинки, был излучен такой удаленной галактикой еще задолго до архейского периода геологической истории Земли!

Иногда среди галактик попадаются удивительные объекты, например «радиогалактики». Это такие звездные системы, которые излучают огромное количество энергии в радиодиапазоне. У некоторых радиогалактик поток радиоизлучения в несколько раз превышает поток оптического излучения, хотя в оптическом диапазоне их светимость очень велика — в несколько раз превосходит полную светимость нашей Галактики. Напомним, что последняя складывается из излучения сотен миллиардов звезд, многие из которых в свою очередь излучают значительно сильней Солнца. Классический пример такой радиогалактики — знаменитый объект Лебедь А. В оптическом диапазоне это два ничтожных световых пятнышка 17-й звездной величины (рис. 7). На самом деле их светимость очень велика, примерно в 10 раз

'*) Поток излучения от звезд измеряется так называемыми «звездными величинами». По определению, поток от звезды (т + 1)-й величины в 2,512 раза меньше, чем от звезды *т-й* величины. Звезды слабее 6-й величины невооруженным глазом не видны. Самые яркие звезды имеют отрицательную звездную величину (например, у Сириуса она равна -1,5).

Рис. 6а. Галактика типа «пересеченной спирали»

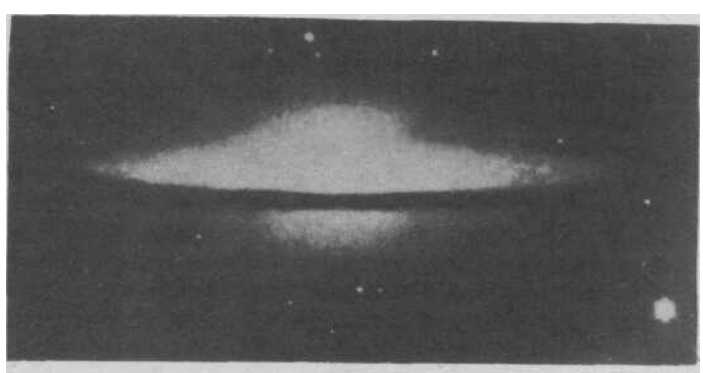

Рис. 6б. Галактика NGC 4594

Рис. 6в. Галактики Магеллановы Облака

больше, чем у нашей Галактики. Слабой эта система кажется потому, что она удалена от нас на огромное расстояние — 600 млн световых лет. Однако поток радиоизлучения от Лебедя А на метровых волнах настолько велик, что превышает даже поток радиоизлучения от Солнца (в периоды, когда на Солнце нет пятен). Но ведь Солнце очень близко — расстояние до него «всего лишь» 8 световых минут; 600 млн лет — и 8 мин! А ведь потоки излучения, как известно, обратно пропорциональны квадратам расстояний!

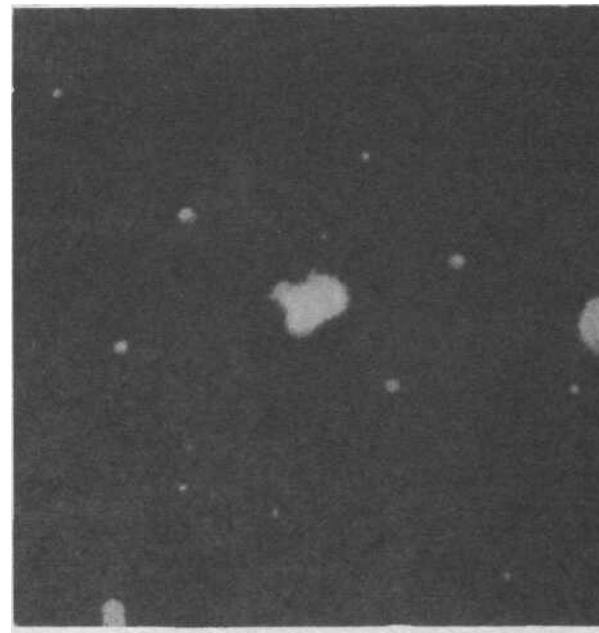

Рис. 7. Радиогалактика Лебедь А

Спектры большинства галактик напоминают солнечный; в обоих случаях наблюдаются отдельные темные линии поглощения на довольно ярком фоне. В этом нет ничего неожиданного, так как излучение галактик — это излучение миллиардов входящих в их состав звезд, более или менее похожих на Солнце. Внимательное изучение спектров галактик много лет назад позволило сделать одно открытие фундаментальной важности. Дело в том, что по характеру смещения длины волны какой-либо спектральной линии по отношению к лабораторному стандарту можно определить скорость движения излучающего источника по лучу зрения. Иными словами, можно установить, с какой скоростью источник приближается или удаляется.

Если источник света приближается, спектральные линии смещаются в сторону более коротких волн, если удаляется — в сторону более длинных. Это явление называется «эффектом Доплера». Оказалось, что у галактик (за исключением немногих, самых близких к нам) спектральные линии всегда смещены в длинноволновую часть спектра («красное смещение» линий), причем величина этого смещения тем больше, чем более удалена от нас галактика.

Это означает, что все галактики удаляются от нас, причем скорость «разлета» по мере удаления галактик растет. Она достигает огромных значений. Так, например, найденная по красному смещению скорость удаления радиогалактики Лебедь А близка к 17 тыс. км/с. Еще двадцать пять лет назад рекорд принадлежал очень слабой (в оптических лучах 20-й величины) радиогалактике 3С 295. В 1960 г. был получен ее спектр. Оказалось, что известная ультрафиолетовая спектральная линия, принадлежащая ионизованному кислороду, смещена в оранжевую область спектра! Отсюда легко найти, что скорость удаления этой удивительной звездной системы составляет 138 тыс. км/с, или почти половину скорости света! Радиогалактика 3С 295 удалена от нас на расстояние, которое свет проходит за 5 млрд лет. Таким образом, астрономы исследовали свет, который был излучен тогда, когда образовывались Солнце и планеты, а может быть, даже «немного» раньше... С тех пор открыты еще более удаленные объекты (гл. 6).

Причины расширения системы, состоящей из огромного количества галактик, мы здесь касаться не будем. Этот сложный вопрос является предметом современ-

ной космологии. Однако сам факт расширения Вселенной имеет большое значение для анализа развития жизни в ней (см. гл. 7).

На общее расширение системы галактик накладываются беспорядочные скорости отдельных галактик, обычно равные нескольким сотням километров в секунду. Именно поэтому ближайшие к нам галактики не обнаруживают систематического красного смещения. Ведь скорости беспорядочных (так называемых «пекулярных») движений для этих галактик больше регулярной скорости красного смещения. Последняя растет по мере удаления галактик приблизительно на 50 км/с, на каждый миллион парсек. Поэтому для галактик, расстояния до которых не превосходят нескольких миллионов парсек, беспорядочные скорости превышают скорость удаления, обусловленную красным смещением. Среди близких галактик наблюдаются и такие, которые приближаются к нам (например, туманность Андромеды М 31).

Галактики не распределены в метагалактическом пространстве равномерно, т. е. с постоянной плотностью. Они обнаруживают ярко выраженную тенденцию образовывать отдельные группы или скопления. В частности, группа из примерно 20 близких к нам галактик (включая нашу Галактику) образует так называемую «местную систему». В свою очередь местная система входит в большое скопление галактик, центр которого находится в той части неба, на которую проектируется созвездие Девы. Это скопление насчитывает несколько тысяч членов и принадлежит к числу самых больших. На рис. 8 приведена фотография известного скопления галактик в созвездии Северной Короны, насчитывающего сотни галактик. В пространстве между скоплениями плотность галактик в десятки раз меньше, чем внутри скоплений.

Обращает на себя внимание разница между скоплениями звезд, образующими галактики, и скоплениями галактик. В первом случае расстояния между членами скопления огромны по сравнению с размерами звезд, в то время как средние расстояния между галактиками в скоплениях галактик всего лишь в несколько раз больше, чем размеры галактик. С другой стороны, число галактик в скоплениях не идет ни в какое сравнение с числом звезд в галактиках. Если рассматривать совокупность галактик как некоторый газ, где роль молекул играют отдельные галактики, то мы должны считать эту среду чрезвычайно вязкой.

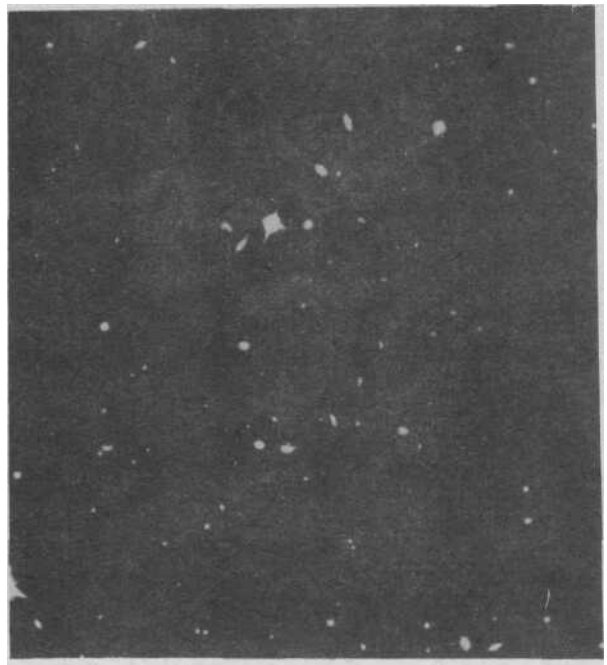

Рис. 8. Скопление галактик в созвездии Северной Короны

Как же выглядит Метагалактика в нашей модели, где земная орбита уменьшена до размеров первой орбиты атома Бора? В этом масштабе расстояние до туманности Андромеды будет несколько больше 6 м, расстояние до центральной части скопления галактик в Деве, куда входит и наша местная система галактик, будет порядка 120 м, причем такого же порядка будет размер самого скопления. Радиогалактика Лебедь А будет теперь удалена уже на вполне «приличное»

Таблица 1

Большой Взрыв	1 января 0ч 0м 0с
Образование галактик (z~10)	10 января
Образование Солнечной системы	9 сентября
Образование Земли	14 сентября
Возникновение жизни на Земле	25 сентября
Образование древнейших скал на Земле	2 октября
Появление бактерий и сине-зеленых водорослей	9 октября
Возникновение фотосинтеза	12 ноября
Первые клетки с ядром	15 ноября

Декабрь

Воскресенье	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
	1 Возникновение кислородной атмосферы на Земле	2	3	4	5 Мощная вулканическая деятельность на Марсе	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16 Первые черви	17	18 Океанский планктон Трилобиты	19 Ордовик Первые рыбы	20 Силур Растения колонизируют сушу
21 Мел Первые цветы	22 Первые амфибии и крылатые насекомые	23 Карбон Первые деревья Первые рептилии	24 Пермь Первые динозавры	25 Начало мезозоя	26 Триас Первые млекопитающиеся	27 Юра Первые птицы
28 Девон Первые насекомые Животные колонизируют сушу	29 Третичный период Первые приматы	30 Первые гоминиды	31 Четвертичный период Первые люди (~$22^{ч}30^{м}$)			

расстояние — 2,5 км, а расстояние до радиогалактики 3С 295 достигнет 25 км...

Мы познакомились в самом общем виде с основными структурными особенностями и с масштабами Вселенной. Это как бы застывший кадр ее развития. Не всегда она была такой, какой мы теперь ее наблюдаем. Все во Вселенной меняется: появляются, развиваются и «умирают» звезды и туманности, развивается закономерным образом Галактика, меняются сама структура и масштабы Метагалактики (хотя бы по причине красного смещения). Поэтому нарисованную статическую картину Вселенной необходимо дополнить динамической картиной эволюции отдельных космических объектов, из которых она образована, и всей Вселенной как целого.

Что касается эволюции отдельных звезд и туманностей, образующих галактики, то об этом речь будет в гл. 4. Здесь мы только скажем, что звезды рождаются из межзвездной газопылевой среды, некоторое время (в зависимости от массы) спокойно излучают, после чего более или менее драматическим образом «умирают».

Открытие в 1965 г. «реликтового» излучения (см. гл. 7) со всей наглядностью показало, что на самых ранних этапах эволюции Вселенная качественно отличалась от своего современного состояния. Главное — это то, что тогда не было ни звезд, ни галактик, ни тяжелых элементов. И, конечно, не было жизни. Мы наблюдаем грандиозный процесс эволюции Вселенной от простого к сложному. Такое же направление эволюции имеет и развитие жизни на Земле. Во Вселенной скорость эволюции вначале была значительно выше, чем в современную эпоху. Похоже, однако, что в развитии жизни на Земле наблюдается обратная картина. Это наглядно видно из модели «космической хронологии», представленной в таблице 1, предложенной американским планетологом Саганом. Выше мы довольно подробно развили пространственную модель Вселенной, основывающуюся на выборе того или иного линейного масштаба. В сущности говоря, тот же метод используется в табл. 1. Все время существования Вселенной (которое для определенности принимается равным 15 миллиардам реальных «земных» годов, причем здесь возможна ошибка в несколько десятков процентов) моделируется некоторым воображаемым «космическим годом». Нетрудно убедиться, что одна секунда «космического» года равна 500 вполне реальным годам. При таком масштабе каждой эпохе развития Вселенной ставится в соответствие определенная дата (и время «суток») «космического» года.

Легко видеть, что эта таблица в своей основной части сугубо «антропоцентрична»: даты и моменты космического календаря после «сентября» и, особенно, всего специально выделенного «декабря», отражают определенные этапы развития жизни на Земле. Этот календарь совершенно иначе выглядел бы для обитателей какой-нибудь планеты, обращающейся вокруг «своей» звезды в какой-нибудь удаленной галактике. Тем не менее само сопоставление темпа космической и земной эволюции в высшей степени впечатляюще.

2. Основные характеристики звезд

В результате огромной работы, проделанной астрономами ряда стран в течение последних десятилетий, мы многое узнали о различных характеристиках звезд, природе их излучения и даже эволюции. Как это ни покажется парадоксальным, сейчас мы гораздо лучше представляем образование и эволюцию многих типов звезд, чем собственной планетной системы. В какой-то степени это понятно: астрономы наблюдают огромное множество звезд, находящихся на различных стадиях эволюции, в то время как непосредственно наблюдать другие планетные системы мы пока не можем.

Мы упомянули о «характеристиках» звезд. Под этим понимаются такие их основные свойства, как масса, полное количество энергии, излучаемой звездой в единицу времени (эта величина называется «светимостью» и обычно обозначается буквой L), радиус и температура поверхностных слоев. Температура определяет цвет звезды и ее спектр. Так, например, если температура поверхностных слоев звезды 3—4 тыс. К, то ее цвет красноватый, 6—7 тыс. К — желтоватый. Очень горячие звезды с температурой свыше 10—12 тыс. К имеют белый и голубоватый цвет. В астрономии существуют вполне объективные методы измерения цвета звезд. Последний определяется так называемым «показателем цвета», равным разности фотографической и визуальной звездной величины*). Каждому значению показателя цвета соответствует определенный тип спектра. У холодных красных звезд спектры характеризуются линиями поглощения нейтральных атомов металлов и полосами некоторых простейших соединений (например, CN, CH, H_2O и др.). По мере увеличения температуры поверхности в спектрах звезд исчезают молекулярные полосы, слабеют многие линии нейтральных атомов, появляются линии ионизованных атомов, а также линии нейтрального гелия. Сам вид спектра радикально меняется. Например, у горячих звезд с температурой поверхностных слоев, превышающей 20 тыс. К, наблюдаются преимущественно линии нейтрального и ионизованного гелия, а непрерывный спектр очень интенсивен в ультрафиолетовой части. У звезд с температурой поверхностных слоев около 10 тыс. К наиболее интенсивны линии водорода, в то время как у звезд с температурой около 6 тыс. К — линии ионизованного кальция, расположенные на границе видимой и ультрафиолетовой частей спектра. Заметим, что такой вид имеет спектр нашего Солнца.

Последовательность спектров звезд, получающихся при непрерывном изменении температуры их поверхностных слоев, обозначается следующими буквами: O, B, A, F, G, K, M, от самых горячих к очень холодным. Каждая такая буква описывает спектральный класс. Спектры звезд настолько чувствительны к изменению температуры их поверхностных слоев, что оказалось целесообразным ввести в пределах каждого класса 10 подклассов. Например, если говорят, что звезда имеет спектр B9, то это означает, что он ближе к спектру A2, чем, например, к спектру B1.

Светимость звезды L часто выражается в единицах светимости Солнца. Последняя равна $4 \cdot 10^{33}$ эрг/с. По своей светимости звезды различаются в очень широких пределах. Есть звезды (их, правда, сравнительно немного), светимости которых превосходят светимость Солнца в десятки и даже сотни тысяч раз. Огромное большинство звезд составляют «карлики», светимости которых значительно меньше солнечной, зачастую в тысячи раз. Характеристикой светимости является так называемая «абсолютная величина» звезды. Видимая звездная величи-

*) Так как обычная несенсибилизированная фотографическая пластинка чувствительна к синему свету, а глаз — к желтому и зеленому, то фотографические и визуальные величины неодинаковы. Например, для красных звезд показатель цвета может достигать 1,5 звездной величины и даже больше, в то время как для голубоватых он бывает, отрицательным.

на зависит, с одной стороны, от ее светимости и цвета, с другой — от расстояния до нее. Если отнести какую-либо звезду на условное стандартное расстояние 10 пк, то ее величина будет называться «абсолютной». Поясним это примером. Если видимая звездная величина Солнца (определяемая потоком излучения от него) равна — 26,8, то на расстоянии 10 пк (которое приблизительно в 2 млн раз больше истинного расстояния от Земли до Солнца) его звездная величина будет около + 5. На таком расстоянии наше дневное светило казалось бы звездочкой, едва видимой невооруженным глазом (напомним, что самые слабые звезды, видимые невооруженным глазом, имеют величину +6). Звезды высокой светимости имеют отрицательные абсолютные величины, например -7, -5. Звезды низкой светимости характеризуются большими положительными значениями абсолютных величин, например + 10, +12 и т. д.

Важной характеристикой звезды является ее масса. В отличие от светимости массы звезд меняются в сравнительно узких пределах. Очень мало звезд, массы которых больше или меньше солнечной в 10 раз. Масса Солнца равна $2 \cdot 10^{33}$ г, что превышает массу Земли в 330 тыс. раз.

Еще одна существенная характеристика звезды — ее радиус. Радиусы звезд меняются в очень широких пределах. Есть звезды, по своим размерам не превышающие земной шар (так называемые «белые карлики»), есть огромные «пузыри», внутри которых могла бы свободно поместиться орбита Марса. Мы не случайно назвали такие гигантские звезды «пузырями». Из того факта, что по своим массам звезды отличаются сравнительно незначительно, следует, что при очень большом радиусе средняя плотность вещества должна быть ничтожно малой. Если средняя плотность солнечного вещества равна 1,4 г/см^3, то у таких «пузырей» он может быть в миллионы раз меньше, чем у воздуха. В то же время белые карлики имеют огромную среднюю плотность, достигающую десятков и даже сотен тысяч граммов на кубический сантиметр.

Большое значение имеет исследование химического состава звезд путем тщательного анализа их спектров. При этом необходимо учитывать температуру и давление в поверхностных слоях звезд, которые также получают из спектров. Вообще спектрографические наблюдения дают наиболее полную информацию об условиях, господствующих в звездных атмосферах.

По химическому составу звезды, как правило, представляют собой водородные и гелиевые плазмы *). Остальные элементы присутствуют в виде сравнительно незначительных «загрязнений». Средний химический состав наружных слоев звезды выглядит примерно следующим образом. На 10 тыс. атомов водорода приходится 1000 атомов гелия, 5 атомов кислорода, 2 атома азота, один атом углерода, 0,3 атома железа. Относительное содержание других элементов еще меньше. Хотя по числу атомов так называемые «тяжелые элементы» (т. е. элементы с атомной массой, большей, чем у гелия) занимают во Вселенной весьма скромное место, их роль очень велика. Прежде всего они в значительной степени определяют характер эволюции звезд, так как непрозрачность звездных недр для излучения существенно зависит от содержания тяжелых элементов. В то же время светимость звезды, как оказывается, тоже зависит от ее непрозрачности. Мы здесь на этих вопросах не имеем возможности остановиться. Об этом подробно написано в нашей книге «Звезды: их рождение, жизнь и смерть», к которой мы и отсылаем читателей.

Наличие во Вселенной (в частности, в звездах) тяжелых элементов имеет решающее значение для проблемы, которой посвящена эта книга. Совершенно очевидно, что живая субстанция может быть построена только при наличии тяжелых элементов и их соединений. Общеизвестна роль углерода в структуре живой мате-

*) Плазмой называется ионизованный газ, в каждом элементе объема которого находится одинаковое количество электронов и положительных ионов.

рии. Не менее важны и другие элементы, например железо, фосфор. Царство живого — это сложнейшие сцепления тяжелых элементов. Мы можем поэтому со всей определенностью сформулировать следующее положение: если бы не было тяжелых элементов, не было бы и жизни. Поэтому проблема химического состава космических объектов (звезд, туманностей, планет) имеет первостепенное значение для анализа условий возникновения жизни в тех или иных областях Вселенной. Всегда ли во Вселенной были тяжелые элементы? Ниже мы будем обсуждать этот важный вопрос. Оказывается, что в далеком прошлом во Вселенной тяжелых элементов было значительно меньше, чем сейчас. Может быть, их совсем не было. Поэтому крупнейшей научной проблемой является происхождение тяжелых элементов. Эта проблема столь же важна, как проблемы происхождения звезд, планет и даже жизни.

Спектроскопические исследования показали, что имеются удивительные различия в химическом составе звезд. Так, например, горячие массивные звезды, концентрирующиеся к галактической плоскости, сравнительно богаты тяжелыми элементами, между тем как у звезд, входящих в состав шаровых скоплений (см. рис. 2), относительное содержание тяжелых элементов в десятки раз меньше. Этот важный факт находит обоснование в современных теориях эволюции звезд и звездных систем, о которых речь будет идти ниже.

Исследования последних десятилетий позволили сделать вывод, что звезды вращаются вокруг своих осей. Выяснилось, что звезды различных спектральных классов вращаются с разной скоростью. Этому очень важному для космогонии вопросу будет посвящена гл. 10.

Наконец, стоит сказать несколько слов о магнетизме звезд. Тем же спектроскопическим методом было обнаружено наличие мощных магнитных полей в атмосферах некоторых звезд. Напряженность этих полей в отдельных случаях доходит до 10 тыс. Э (эрстед), т. е. в 20 тыс. раз больше, чем магнитное поле Земли. Заметим, что в солнечных пятнах напряженность магнитных полей доходит до 3—4 тыс. Э. Вообще магнитные явления, как выяснилось в последние годы, играют значительную роль в физических процессах, происходящих в солнечной атмосфере. Имеются все основания полагать, что то же самое справедливо и для звездных атмосфер. Казалось бы, к проблеме происхождения и развития жизни во Вселенной звездный магнетизм совершенно не имеет отношения. Но это только так кажется. В действительности причинная цепь явлений, приводящих в итоге к возникновению жизни на какой-нибудь планете, заброшенной в просторах Вселенной, необыкновенно сложна. В частности, существенным звеном в этой цепи должно быть само возникновение планет. И вот оказывается, что магнитные эффекты при образовании планетных систем могут иметь решающее значение. Об этом речь будет идти в гл. 10.

Мы перечислили основные характеристики звезд. Возникает вопрос: существует ли между этими характеристиками какая-нибудь связь? Такая связь, оказывается, существует. Она была обнаружена свыше 70 лет назад.

Будем изображать звезды точками на диаграмме Герцшпрунга — Рессела, где по оси абсцисс отложены спектральные классы (или соответствующие им показатели цвета), а по оси ординат — абсолютные величины, являющиеся мерой светимости соответствующих звезд (рис. 9). Из рисунка видно, что звезды лежат на этой диаграмме не беспорядочно, а образуют явно выраженные последовательности. Большинство звезд находится в пределах сравнительно узкой полосы, идущей от левого верхнего угла диаграммы к правому нижнему. Это так называемая «главная последовательность» звезд. В верхнем правом углу группируются звезды в виде довольно беспорядочной кучи. Их спектральные классы — G, K и M, а абсолютные величины находятся в пределах (+2) -- (—6). Они называются «красными гигантами», хотя среди них есть и желтые звезды. Наконец, в нижней левой части диаграммы мы видим небольшое количество звезд. Их абсолютные величины слабее

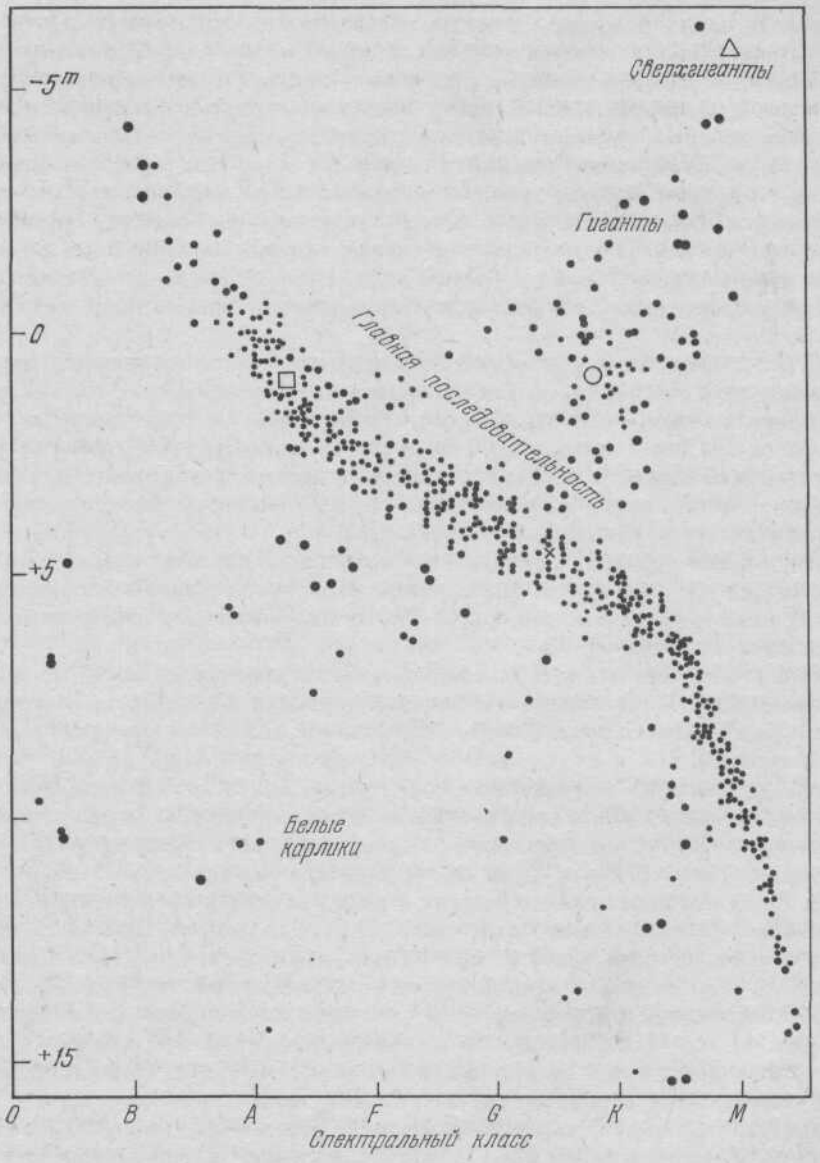

Рис. 9. Диаграмма Герцшпрунга – Рессела. По вертикальной оси – абсолютная звездная величина

+ 10, а спектральные классы лежат в пределах от B до F. Следовательно, это очень горячие звезды с низкой светимостью. Но низкая светимость при высокой поверхностной температуре может быть, очевидно, только тогда, когда радиусы звезд достаточно малы. Таким образом, в этой части диаграммы «спектр — светимость» находятся очень маленькие горячие звезды. Такие звезды называются «белыми карликами». Именно о них речь шла в начале этой главы.

Количество точек на диаграмме «спектр — светимость», приведенной на рис. 9, не дает правильного представления об относительном количестве звезд различных классов в Галактике. Так, например, звезд-гигантов с высокой светимостью на этой

диаграмме непропорционально много по сравнению с «карликами» низкой светимости. Это объясняется условиями наблюдений: благодаря высокой светимости гиганты видны с очень больших расстояний, между тем как значительно более многочисленные карлики на таких расстояниях очень трудно наблюдать (если говорить о спектральных наблюдениях).

Некоторое представление об относительном количестве звезд разных последовательностей можно получить, если откладывать на диаграмме «спектр — светимость» все без исключения звезды, находящиеся от Солнца на расстоянии, не превышающем 5 пк (16,3 светового года). Такая диаграмма приведена на рис. 10. Обращает на себя внимание отсутствие хотя бы одного гиганта. Зато нижняя правая часть главной последовательности очень отчетливо выражена. Мы видим, что в этом сферическом объеме радиусом 5 пк, (довольно типичном для Галактики) подавляющее большинство звезд слабее и холоднее Солнца. Это так называемые «красные карлики», лежащие на нижней правой части главной последовательности. На этой же диаграмме нанесено наше Солнце. Только три звезды (из примерно 50, находящихся в этом объеме) излучают сильнее Солнца. Это Сириус — самая яркая из звезд, видимых на небе, Альтаир и Процион. Зато на рис. 10 мы видим пять белых карликов. Из того простого факта, что в малом объеме радиусом 5 пк наблюдается столь заметное число белых карликов, следует, что число их во всей Галактике очень велико. Подсчеты показывают, что число белых карликов в нашей звездной системе по крайней мере равно нескольким миллиардам, а может быть, даже больше 10 млрд (напомним, что полное количество звезд всех типов во всей Галактике около 150 млрд). Число белых карликов в десятки тысяч раз больше, чем гигантов высокой светимости, столь обильно представленных на диаграмме, изображенной на рис. 9. Этот пример убедительно показывает, какую заметную роль в астрономии (так же как и в других науках о природе) играет наблюдательная селекция.

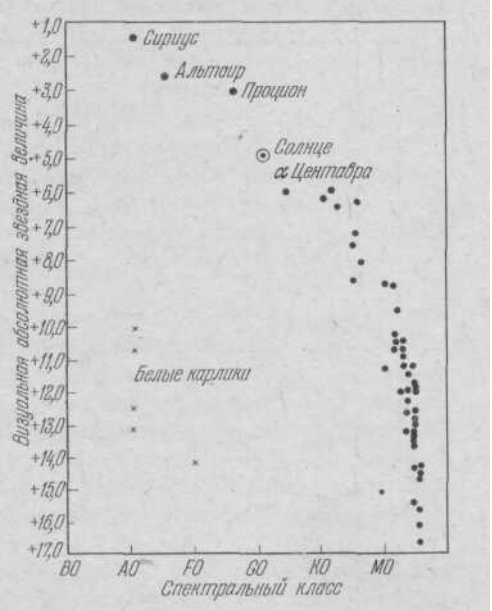

Рис. 10. Диаграмма Герцшпрунга — Рессела для близких звезд

На диаграмме «спектр — светимость» (или «цвет — светимость»), кроме отмеченных главной последовательности и группировок красных гигантов и белых карликов, существуют и некоторые другие последовательности. Уже на рис. 9 намечается последовательность звезд, расположенная несколько ниже главной. Это так называемые «субкарлики». Хотя в окрестностях Солнца эти звезды сравнительно малочисленны, в центральных областях Галактики, а также в шаровых скоплениях количество их огромно. Субкарлики довольно слабо концентрируются к галактической плоскости, но зато очень сильно — к центру нашей звездной системы. По-видимому, они — самый многочисленный тип звезд в Галактике. Субкарлики отличаются от звезд главной последовательности сравнительно низким содержанием тяжелых элементов. Разница в химическом составе является причиной различия в светимостях при одинаковой температуре поверхностных слоев*).

*) Радиусы звезд главной последовательности и последовательности субкарликов с одинаковой поверхностной температурой неодинаковы.

То, что диаграмма «спектр — светимость» теснейшим образом связана с проблемой эволюции звезд, интуитивно чувствовалось астрономами сразу же после открытия этой диаграммы. Сначала считалось, что звезды в основном эволюционируют вдоль главной последовательности. По этим наивным представлениям первоначально образовавшаяся звезда представляет собой красный гигант, который, сжимаясь, увеличивает температуру, пока не превратится в «голубой гигант», находящийся в верхнем левом углу диаграммы «спектр — светимость». Эволюционируя вдоль главной последовательности, она становится «холоднее» и излучает меньше. Отголоском этих представлений является существующая и поныне у астрономов терминология: спектральные классы O, B, A и частично F называются «ранними», а G, K, M — «поздними». Если идти вдоль главной последовательности от спектральных классов O—B до K—M, то массы звезд непрерывно уменьшаются. Например, у звезд класса O массы достигают нескольких десятков солнечной, у звезд B — около 10.

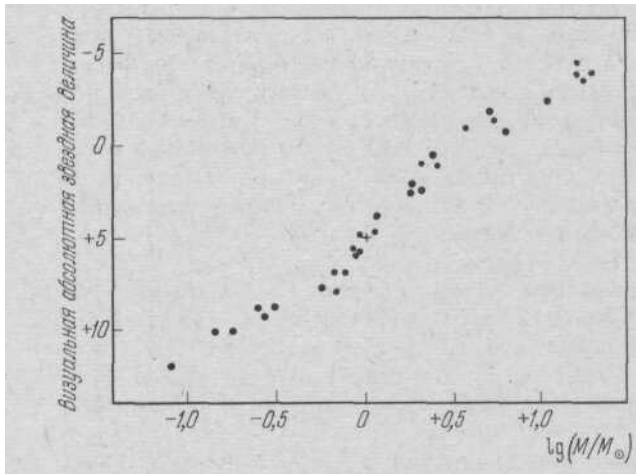

Рис. 11. Зависимость светимости звезд от их массы

Солнце имеет спектральный класс G2 (см. рис. 10). У звезд более поздних классов, чем Солнце, массы меньше солнечной. У карликов спектрального класса M массы примерно в 10 раз меньше, чем у Солнца. Так как вдоль главной последовательности и масса и светимость непрерывно меняются, между ними существует эмпирическое соотношение. На рис. 11 приведена зависимость между массой и светимостью для звезд главной последовательности.

Если считать, что звезды каким-то образом эволюционируют вдоль главной последовательности, то необходимо сделать вывод, что они непрерывно теряют значительную часть своей первоначальной массы. Такие представления сталкиваются с непреодолимыми трудностями. Хотя делались попытки построить теорию эволюции звезд вдоль главной последовательности на основе представлений о непрерывной потере ими массы, они оказались совершенно неудачными*). Правильная теория звездной эволюции, основанная на современных представлениях об источниках звездной энергии и на богатом наблюдательном материале, была развита в пятидесятых годах. Эта теория, успешно объяснившая диаграмму «спектр — светимость», будет обсуждаться в гл. 4.

*) Разумеется, в отдельных случаях наблюдается выбрасывание вещества из поверхностных слоев звезд (например, при вспышках новых и сверхновых, а также в виде спокойного истечения, так называемого «звездного ветра»). Речь идет о невозможности объяснения эволюции звезд вдоль главной последовательности таким способом.

3. Межзвездная среда

Согласно современным представлениям, звезды образуются путем конденсации весьма разреженной межзвездной газопылевой среды. Поэтому, прежде чем рассказать о путях эволюции звезд, нам придется остановиться на свойствах межзвездной среды. Этот вопрос имеет также самостоятельное значение для интересующей нас проблемы. В частности, решение вопроса об установлении различных типов связи между цивилизациями, находящимися на различных планетных системах, зависит от свойств среды, заполняющей межзвездное пространство, разделяющее эти цивилизации.

Межзвездный газ был обнаружен в самом начале текущего столетия благодаря поглощению в линиях ионизованного кальция, которое он производит в спектрах удаленных горячих звезд*). С тех пор методы изучения межзвездного газа непрерывно улучшались и достигли высокой степени совершенства. В итоге большой многолетней работы, проделанной астрономами, сейчас свойства межзвездного газа можно считать достаточно хорошо известными. Плотность межзвездной газовой среды ничтожна. В среднем в областях межзвездного пространства, расположенных недалеко от галактической плоскости, в 1 $см^3$ находится примерно 1 атом.

Напомним, что в таком же объеме воздуха находится $2{,}7 \cdot 10^{19}$ молекул. Даже в самых совершенных вакуумных камерах концентрация атомов не меньше чем 10^3 $см^{-3}$. И все же межзвездную среду нельзя рассматривать как вакуум! Дело в том, что вакуумом, как известно, называется такая система, в которой длина свободного пробега атомов или молекул превышает характерные размеры этой системы. Однако в межзвездном пространстве средняя длина свободного пробега атомов в сотни раз меньше, чем расстояния между звездами. Поэтому мы вправе рассматривать межзвездный газ как сплошную, сжимаемую среду и применять к этой среде законы газовой динамики. •

Химический состав межзвездного газа довольно хорошо исследован. Он сходен с химическим составом наружных слоев звезд главной последовательности. Преобладают атомы водорода и гелия, атомов металлов сравнительно немного. В довольно заметных количествах присутствуют простейшие молекулярные соединения (например, CO, CN). Возможно, что значительная часть межзвездного газа находится в форме молекулярного водорода. Развитие внеатмосферной астрономии открыло возможность наблюдения линий молекулярного водорода в далекой ультрафиолетовой части спектра.

Физические свойства межзвездного газа существенно зависят от того, находится ли он в сравнительной близости от горячих звезд или, напротив, достаточно удален от них. Дело в том, что ультрафиолетовое излучение горячих звезд, полностью ионизует водород на огромных расстояниях. Так, звезда класса O5 ионизует вокруг себя водород в гигантской области радиусом около 100 пк.

Температура межзвездного газа в таких областях (определяемая как характеристика беспорядочных тепловых движений частиц) достигает 10 тыс. K. При этих условиях межзвездная среда излучает отдельные линии в видимой части спектра, в частности красную водородную линию. Эти области межзвездной среды носят название «зоны HII». Однако большая часть межзвездной среды достаточно удалена от горячих звезд. Водород там не ионизован. Температура газа низкая, около 100 K или ниже. Именно здесь имеется значительное количество молекул водорода.

*) Собственные линии поглощения ионизованного кальция у таких звезд отсутствуют, так как температуры их поверхностных слоев слишком высоки.

Кроме газа, в состав межзвездной среды входит космическая пыль. Размеры таких пылинок составляют 10^{-4} — 10^{-5} см. Они являются причиной поглощения свкта в межзвездном пространстве, из-за которого мы не можем наблюдать объекты, находящиеся в галактической плоскости на расстояниях, больших 2 — 3 тыс. пк. К счастью, космическая пыль, так же как и связанный с ней межзвездный газ, сильно концентрируется к галактической плоскости. Толщина газопылевого слоя составляет всего лишь около 250 пк. Поэтому излучение от космических объектов, направления на которые составляют значительные углы с галактической плоскостью, поглощается незначительно.

Межзвездные газ и пыль перемешаны. Отношение средних плотностей газа и пыли в межзвездном пространстве равно приблизительно 100 : 1. Наблюдения показывают, что пространственная плотность газопылевой межзвездной среды меняется весьма нерегулярно. Для этой среды характерно резко выраженное «клочковатое» распределение. Она существует в виде облаков (в которых плотность раз в 10 больше средней), разделенных областями, где плотность ничтожно мала. Эти газопылевые облака сосредоточены преимущественно в спиральных ветвях Галактики и участвуют в галактическом вращении. Отдельные облака имеют скорости в 6—8 км/с, о чем уже говорилось. Наиболее плотные из таких облаков наблюдаются как темные или светлые туманности.

Значительное количество сведений о природе межзвездного газа было получено за последние три десятилетия благодаря весьма эффективному применению радиоастрономических методов. Особенно плодотворными были исследования межзвездного газа на волне 21 см. Что это за волна? Еще в сороковых годах теоретически было предсказано, что нейтральные атомы водорода в условиях межзвездного пространства должны излучать спектральную линию с длиной волны 21 см. Дело в том, что основное, самое «глубокое» квантовое состояние атома водорода состоит из двух очень близких уровней. Эти уровни различаются ориентациями магнитных моментов ядра атома водорода (протона) и вращающегося вокруг него электрона. Если моменты ориентированы параллельно, получается один уровень, если антипараллельно — другой. Энергия одного из этих уровней несколько больше другого (на величину, равную удвоенному значению энергии взаимодействия магнитных моментов электрона и протона). Согласно законам квантовой физики, время от времени должны самопроизвольно происходить переходы с уровня большей энергии на уровень меньшей энергии. При этом будет излучаться квант с частотой, пропорциональной разности энергий уровней. Так как последняя в нашем случае очень мала, то и частота излучения будет низкой. Соответствующая длина волны будет равна 21 см.

Расчеты показывают, что такие переходы между уровнями атома водорода происходят чрезвычайно редко: в среднем для одного атома имеет место один переход в 11 млн лет! Чтобы почувствовать ничтожную величину вероятности таких процессов, достаточно сказать, что при излучении спектральных линий в оптическом диапазоне переходы происходят каждую стомиллионную долю секунды. И все же оказывается, что эта линия, излучаемая межзвездными атомами, имеет вполне наблюдаемую интенсивность.

Так как межзвездные атомы имеют различные скорости по лучу зрения, то из-за эффекта Доплера излучение в линии 21 см будет «размазано» в некоторой полосе частот около 1420 МГц (эта частота соответствует длине волны 21 см). По распределению интенсивности в этой полосе (так называемому «профилю линии») можно изучить все движения, в которых участвуют межзвездные атомы водорода. Таким путем удалось исследовать особенности галактического вращения межзвездного газа, беспорядочные движения отдельных его облаков, а также его температуру. Кроме того, из этих наблюдений определяется количество атомов водорода в межзвездном пространстве. Мы видим, таким образом, что радиоастрономиче-

ские исследования на волне 21 см являются мощнейшим методом изучения межзвездной среды и динамики Галактики. В последние годы этим методом изучаются другие галактики, например туманность Андромеды. По мере увеличения размеров радиотелескопов будут открываться все новые возможности изучения более удаленных галактик при помощи радиолинии водорода.

В конце 1963 г. была обнаружена еще одна межзвездная радиолиния, принадлежащая молекулам гидроксила OH, с длиной волны 18 см. Существование этой линии было теоретически предсказано автором этой книги еще в 1949 г. В направлении на галактический центр интенсивность этой линии (которая наблюдается в поглощении) оказалась очень высокой *). Это подтверждает сделанный выше вывод, что в отдельных областях межзвездного пространства газ находится преимущественно в молекулярном состоянии.

В 1967 г. была открыта радиолиния воды H_2O с длиной волны 1,35 см. Исследования газовых туманностей в линиях OH и H_2O привели к открытию космических мазеров (см. следующую главу).

За последние 20 лет, протекшие после открытия межзвездной радиолинии OH, было открыто много других радиолиний межзвездного происхождения, принадлежащих различным молекулам. Полное число обнаруженных таким образом молекул уже превышает 50. Среди них особенно большое значение имеет молекула CO, радиолиния которой с длиной волны 2,64 мм наблюдается почти во всех областях межзвездной среды. Есть молекулы, радиолинии от которых наблюдаются исключительно в плотных, холодных облаках межзвездной среды. Довольно неожиданным было обнаружение в таких облаках радиолиний весьма сложных многоатомных молекул, например, CH_3HCO, CH_3CN и др. Это открытие, возможно, имеет отношение к волнующей нас проблеме происхождения жизни во Вселенной. Если открытия будут и дальше делаться в таком темпе, кто знает, не будут ли обнаружены нашими приборами межзвездные молекулы ДНК и РНК? (см. гл. 12).

Весьма полезным является то обстоятельство, что соответствующие радиолинии, принадлежащие различным изотопам одной и той же молекулы, имеют довольно заметно различающиеся длины волн. Это позволяет исследовать изотопный состав межзвездной среды, что имеет большое значение для изучения проблемы эволюции вещества во Вселенной. В частности, раздельно наблюдаются такие изотопные комбинации окиси углерода: $^{12}C^{16}O$, $^{13}C^{16}O$ и $^{12}C^{18}O$.

Области межзвездной среды, окружающей горячие звезды, где водород полностью ионизован («зоны HII»), весьма успешно исследуются при помощи так называемых «рекомбинационных» радиолиний, существование которых было теоретически предсказано еще до их открытия советским астрономом Н. С. Кардашевым, много занимавшимся также проблемой связи с внеземными цивилизациями (см. гл. 26). «Рекомбинационные» линии возникают при переходах между весьма высоко возбужденными атомами (например, между 108 и 107 уровнями атома водорода). Столь «высокие» уровни могут существовать в межзвездной среде только по причине ее чрезвычайно низкой плотности. Заметим, например, что в солнечной атмосфере могут существовать только первые 28 уровней атома водорода; более высокие уровни разрушаются благодаря взаимодействию с частицами окружающей плазмы.

Уже сравнительно давно астрономы получили ряд косвенных доказательств наличия межзвездных магнитных полей. Эти магнитные поля связаны с облаками межзвездного газа и движутся вместе с ними. Напряженность таких полей около

*) Линия OH состоит из четырех близких по частотам компонент (1612, 1665, 1667 и 1720 МГц).

10^{-5} Э, т. е. в 100 тыс. раз меньше напряженности земного магнитного поля на поверхности нашей планеты. Общее направление магнитных силовых линий совпадает с направлением ветвей спиральной структуры Галактики. Можно сказать, что сами спиральные ветви представляют собой гигантских размеров магнитные силовые трубки.

В конце 1962 г. факт существования межзвездных магнитных полей был установлен английскими радиоастрономами путем прямых наблюдений. С этой целью исследовались весьма тонкие поляризационные эффекты в радиолинии 21 см, наблюдаемой в поглощении в спектре мощного источника радиоизлучения — Крабовидной туманности (об этом источнике см. гл. 5)*). Если межзвездный газ находится в магнитном поле, можно ожидать расщепления линии 21 см на несколько компонент, отличающихся поляризацией. Так как величина магнитного поля очень мала, это расщепление будет совершенно ничтожным. Кроме того, ширина линии поглощения 21 см довольно значительна. Единственное, что можно ожидать в такой ситуации,—это небольшие систематические различия поляризации в пределах профиля линий поглощения. Поэтому уверенное обнаружение этого тонкого эффекта — замечательное достижение современной науки. Измеренное значение межзвездного магнитного поля оказалось в полном соответствии с теоретически ожидаемым согласно косвенным данным.

Для исследований межзвездных магнитных полей применяется и радиоастрономический метод, основанный на изучении вращения плоскости поляризации радиоизлучения внегалактических источников**) при его прохождении через «намагниченную» межзвездную среду («явление Фарадея»). Этим методом уже сейчас удалось получить ряд важных данных о структуре межзвездных магнитных полей. В последние годы в качестве источников поляризованного излучения для измерения межзвездного магнитного поля таким методом используются пульсары (см. гл. 5).

Межзвездные магнитные поля играют решающую роль при образовании плотных холодных газопылевых облаков межзвездной среды, из которых конденсируются звезды (см. гл. 4).

С межзвездными магнитными полями тесно связаны первичные космические лучи, заполняющие межзвездное пространство. Это частицы (протоны, ядра более тяжелых элементов, а также электроны), энергии которых превышают сотни миллионов электронвольт, доходя до 10^{20}—10^{21} эВ. Они движутся вдоль силовых линий магнитных полей по винтовым траекториям. Электроны первичных космических лучей, двигаясь в межзвездных магнитных полях, излучают радиоволны. Это излучение наблюдается нами как радиоизлучение Галактики (так называемое «синхротронное излучение»). Таким образом, радиоастрономия открыла возможность изучать космические лучи в глубинах Галактики и даже далеко за ее пределами. Она впервые поставила проблему происхождения космических лучей на прочный научный фундамент.

Исследователи, работавшие над проблемой происхождения жизни, до недавнего времени оставляли без внимания вопрос о первичных космических лучах. Между тем уровень жесткой радиации, вызывающей мутации, является, на наш взгляд, весьма существенным эволюционным фактором. Имеются все основания полагать, что ход эволюции жизни был бы совсем другим, если бы уровень жесткой радиации (когорый сейчас в значительной степени обусловлен первичными космическими

*) Линия поглощения 21 см, обусловленная межзвездным водородом, образуется в радиоспектре какого-либо источника совершенно таким же образом, как линии межзвездного кальция в спектрах удаленных горячих звезд.

**) Радиоизлучение от метагалактических источников линейно поляризовано, причем степень поляризации обычно порядка нескольких процентов. Поляризация этого радиоизлучения объясняется его синхротронной природой (см. ниже).

лучами) был бы в десятки раз выше современного значения. Отсюда возникает важный вопрос: остается ли постоянным уровень космической радиации на какой-нибудь планете, на которой развивается жизнь? Речь идет о сроках, исчисляемых многими сотнями миллионов лет. Мы увидим в следующих главах этой книги, как современная астрофизика и радиоастрономия отвечают на этот вопрос.

Масса межзвездного газа в нашей Галактике близка к миллиарду солнечных масс, что составляет немногим больше 1 % от полной массы Галактики, обусловленной в основном звездами. В других звездных системах относительное содержание межзвездного газа меняется в довольно широких пределах. У эллиптических галактик оно очень мало, около 10^{-4} и даже меньше, в то время как у неправильных звездных систем (типа Магеллановых Облаков) содержание межзвездного газа доходит до 20 и даже 50%. Это обстоятельство тесно связано с вопросом об эволюции звездных систем, о чем речь будет идти в гл. 6.

4. Эволюция звезд

Современная астрономия располагает большим количеством аргументов в пользу утверждения, что звезды образуются путем конденсации облаков газопылевой межзвездной среды. Процесс образования звезд из этой среды продолжается и в настоящее время. Выяснение этого обстоятельства является одним из крупнейших достижений современной астрономии. Еще сравнительно недавно считали, что все звезды образовались почти одновременно много миллиардов лет назад. Крушению этих метафизических представлений способствовал, прежде всего, прогресс наблюдательной астрономии и развитие теории строения и эволюции звезд. В результате стало ясно, что многие наблюдаемые звезды являются сравнительно молодыми объектами, а некоторые из них возникли тогда, когда на Земле уже был человек.

Важным аргументом в пользу вывода о том, что звезды образуются из межзвездной газопылевой среды, служит расположение групп заведомо молодых звезд (так называемых «ассоциаций») в спиральных ветвях Галактики. Дело в том, что согласно радиоастрономическим наблюдениям межзвездный газ, концентрируется преимущественно в спиральных рукавах галактик. В частности, это имеет место и в нашей Галактике, Более того, из детальных «радиоизображений» некоторых близких к нам галактик следует, что наибольшая плотность межзвездного газа наблюдается на внутренних (по отношению к центру соответствующей галактики) краях спирали, что находит естественное объяснение, на деталях которого мы здесь останавливаться не можем. Но именно в этих частях спиралей наблюдаются методами оптической астрономии «зоны HII», т. е. облака ионизованного межзвездного газа. В гл. 3 уже говорилось, что причиной ионизации таких облаков может быть только ультрафиолетовое излучение массивных горячих звезд — объектов заведомо молодых (см. ниже).

Центральным в проблеме эволюции звезд является вопрос об источниках их энергии. В самом деле, откуда, например, берется огромное количество энергии, необходимой для поддержания излучения Солнца примерно на наблюдаемом уровне в течение нескольких миллиардов лет? Ежесекундно Солнце излучает $4 \cdot 10^{33}$ эрг, а за 3 млрд лет оно излучило $4 \cdot 10^{50}$ эрг. Несомненно, что возраст Солнца около 5 млрд лет. Это следует хотя бы из современных оценок возраста Земли различными радиоактивными методами. Вряд ли Солнце «моложе» Земли.

В прошлом веке и в начале этого века предлагались различные гипотезы о природе источников энергии Солнца и звезд. Некоторые ученые, например, считали, что источником солнечной энергии является непрерывное выпадение на его поверхность метеорных тел, другие искали источник в непрерывном сжатии Солнца. Освобождающаяся при таком процессе потенциальная энергия могла бы, при некоторых условиях, перейти в излучение. Как мы увидим ниже, этот источник на раннем этапе эволюции звезды может быть довольно эффективным, но он никак не может обеспечить излучение Солнца в течение требуемого времени.

Успехи ядерной физики позволили решить проблему источников звездной энергии еще в конце тридцатых годов нашего столетия. Таким источником являются термоядерные реакции синтеза, происходящие в недрах звезд при господствующей там очень высокой температуре (порядка десяти миллионов Кельвинов).

В результате этих реакций, скорость которых сильно зависит от температуры, протоны превращаются в ядра гелия, а освобождающаяся энергия медленно «просачивается» сквозь недра звезд и в конце концов, значительно трансформированная, излучается в мировое пространство. Это исключительно мощный источник. Если предположить, что первоначально Солнце состояло только из водорода, который в результате термоядерных реакций целиком превратился в гелий, то выде-

Рис. 12. Глобулы в диффузной туманности

лившееся количество энергии составит примерно 10^{52} эрг. Таким образом, для поддержания излучения на наблюдаемом уровне в течение миллиардов лет достаточно, чтобы Солнце «израсходовало» не свыше 10% своего первоначального запаса водорода.

Теперь мы можем представить картину эволюции какой-нибудь звезды следующим образом. По некоторым причинам (их можно указать несколько) начало

конденсироваться облако межзвездной газопылевой среды. Довольно скоро (разумеется, по астрономическим масштабам!) под влиянием сил всемирного тяготения из этого облака образуется сравнительно плотный непрозрачный газовый шар. Строго говоря, этот шар еще нельзя назвать звездой, так как в его центральных областях температура недостаточна для того, чтобы начались термоядерные реакции. Давление газа внутри шара не в состоянии пока уравновесить силы притяжения отдельных его частей, поэтому он будет непрерывно сжиматься. Некоторые астрономы раньше считали, что такие «протозвезды» наблюдаются в отдельных туманностях в виде очень темных компактных образований, так называемых глобул (рис. 12). Успехи радиоастрономии, однако, заставили отказаться от такой довольно наивной точки зрения (см. ниже). Обычно одновременно образуется не одна протозвезда, а более или менее многочисленная группа их. В дальнейшем эти группы становятся звездными ассоциациями и скоплениями, хорошо известными астрономам. Весьма вероятно, что на этом самом раннем этапе эволюции звезды вокруг нее образуются сгустки с меньшей массой, которые затем постепенно превращаются в планеты (см. гл. 9).

При сжатии протозвезды температура ее повышается и значительная часть освобождающейся потенциальной энергии излучается в окружающее пространство. Так как размеры сжимающегося газового шара очень велики, то излучение с единицы его поверхности будет незначительным. Коль скоро поток излучения с единицы поверхности пропорционален четвертой степени температуры (закон Стефана — Больцмана), температура поверхностных слоев звезды сравнительно низка, между тем как ее светимость почти такая же, как у обычной звезды с 'той же массой. Поэтому на диаграмме «спектр — светимость» такие звезды расположатся вправо от главной последовательности, т. е. попадут в область красных гигантов или красных карликов, в зависимости от значений их первоначальных масс.

В дальнейшем протозвезда продолжает сжиматься. Ее размеры становятся меньше, а поверхностная температура растет, вследствие чего спектр становится все более '«ранним». Таким образом, двигаясь по диаграмме «спектр — светимость», протозвезда довольно быстро «сядет» на главную последовательность. В этот период температура звездных недр уже оказывается достаточной для того, чтобы там начались термоядерные реакции. При этом давление газа внутри будущей звезды уравновешивает притяжение и газовый шар перестает сжиматься. Протозвезда становится звездой.

Чтобы пройти эту самую раннюю стадию своей эволюции, протозвездам нужно сравнительно немного времени. Если, например, масса протозвезды больше солнечной, нужно всего лишь несколько миллионов лет, если меньше — несколько сот миллионов лет. Так как время эволюции прогозвезд сравнительно невелико, эту самую раннюю фазу развития звезды обнаружить трудно. Все же звезды в такой стадии, по-видимому, наблюдаются. Мы имеем в виду очень интересные звезды типа Т Тельца, обычно погруженные в темные туманности.

В 1966 г. совершенно неожиданно выявилась возможность наблюдать протозвезды на ранних стадиях их эволюции. Мы уже упоминали в третьей главе этой книги об открытии методом радиоастрономии ряда молекул в межзвездной среде, прежде всего гидроксила OH и паров воды H_2O. Велико же было удивление радиоастрономов, когда при обзоре неба на волне 18 см, соответствующей радиолинии OH, были обнаружены яркие, чрезвычайно компактные (т. е. имеющие малые угловые размеры) источники. Это было настолько неожиданно, что первое время отказывались даже верить, что столь яркие радиолинии могут принадлежать молекуле гидроксила. Была высказана гипотеза, что эти линии принадлежат какой-то неизвестной субстанции, которой сразу же дали «подходящее» имя «мистериум». Однако «мистериум» очень скоро разделил судьбу своих оптических «братьев» — «небулия» и «корония». Дело в том, что многие десятилетия яркие линии туманно-

стей и солнечной короны не поддавались отождествлению с какими бы то ни было известными спектральными линиями. Поэтому их приписывали неким, неизвестным на земле, гипотетическим элементам — «небулию» и «коронию». Не будем снисходительно улыбаться над невежеством астрономов начала нашего века: ведь теории атома тогда еще не было! Развитие физики не оставило в периодической системе Менделеева места для экзотических «небожителей»: в 1927 г. был развенчан «небулий», линии которого с полной надежностью были отождествлены с «запрещенными» линиями ионизованных кислорода и азота, а в 1939—1941 гг. было убедительно показано, что загадочные линии «корония» принадлежат многократно ионизованным атомам железа, никеля и кальция.

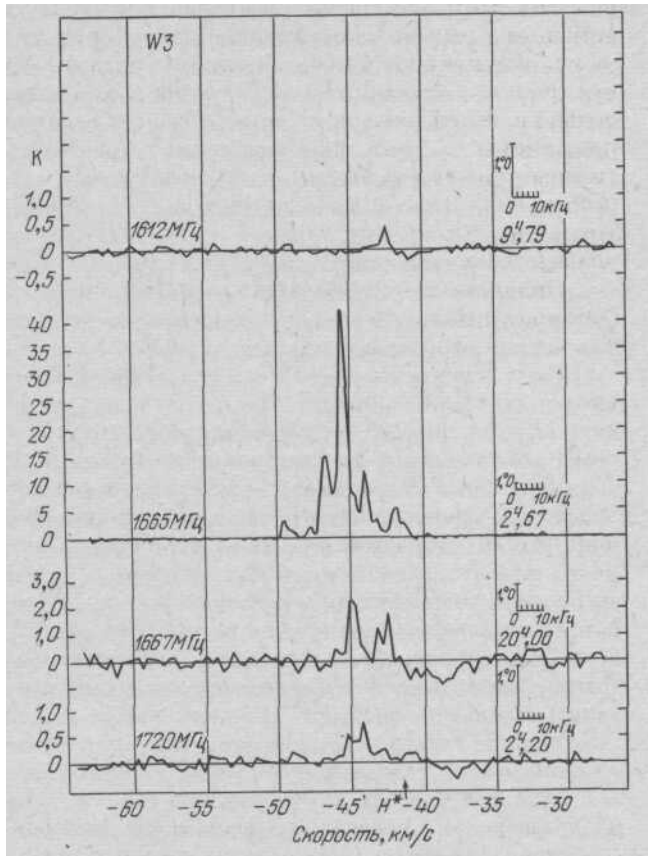

Рис. 13. Профили четырех компонент линии гидроксила, излучаемых источником W 3

Если для «развенчания» «небулия» и «корония» потребовались десятилетия, то уже через несколько недель после открытия стало ясно, что линии «мистериума» принадлежат обыкновенному гидроксилу, но только находящемуся в необыкновенных условиях.

Дальнейшие наблюдения, прежде всего, выявили, что источники «мистериума» имеют исключительно малые угловые размеры. Это было показано с помощью тогда еще нового, весьма эффективного метода исследований, получившего название «радиоинтерферометрия на сверхдлинных базах». Суть метода сводится к одновременным наблюдениям источников на двух радиотелескопах, удаленных друг от друга на расстояния в несколько тысяч км. Как оказывается, угловое разрешение при этом определяется отношением длины волны к расстоянию между радиотелескопами. В нашем случае эта величина может быть $\sim 3 \cdot 10^{-8}$ рад или несколько тысячных секунды дуги! Заметим, что в оптической астрономии такое угловое разрешение пока совершенно недостижимо.

Такие наблюдения показали, что существуют по крайней мере три класса источников «мистериума». Нас здесь будут интересовать источники 1 класса. Все они находятся внутри газовых ионизованных туманностей, например в знаменитой туманности Ориона. Как уже говорилось, их размеры чрезвычайно малы, во много тысяч раз меньше размеров туманности. Всего интереснее, что они обладают сложной пространственной структурой. Рассмотрим, например, источник, находящийся в туманности, получившей название W3.

На рис. 13 приведен профиль линии ОН, излучаемый этим источником. Как видим, он состоит из большого количества узких ярких линий. Каждой линии соответствует определенная скорость движения по лучу зрения излучающего эту линию облака. Величина этой скорости определяется эффектом Доплера. Различие скоростей (по лучу зрения) между различными облаками достигает ~10 км/с. Упомянутые выше интерферометрические наблюдения показали, что облака, излучающие каждую линию, пространственно не совпадают. Картина получается такая: внутри области размером приблизительно 1,5 секунды дуги движутся с разными скоростями около 10 компактных облаков. Каждое облако излучает одну определенную (по частоте) линию. Угловые размеры облаков очень малы, порядка нескольких тысячных секунды дуги. Так как расстояние до туманности W3 известно (около 2000 пк), то угловые размеры легко могут быть переведены в линейные. Оказывается, что линейные размеры области, в которой движутся облака, порядка 10^{-2} пк, а размеры каждого облака всего лишь на порядок величины больше расстояния от Земли до Солнца.

Возникают вопросы: что это за облака и почему они так сильно излучают в радиолиниях гидроксила? На второй вопрос ответ был получен довольно скоро. Оказалось, что механизм излучения вполне подобен тому, который наблюдался в лабораторных мазерах и лазерах.

Итак, источники «мистериума» — это гигантские, природные космические мазеры, работающие на волне линии гидроксила, длина которой 18 см. Именно в мазерах (а на оптических и инфракрасных частотах — в лазерах) достигается огромная яркость в линии, причем спектральная ширина ее мала. Как известно, усиление излучения в линиях благодаря такому эффекту возможно тогда, когда среда, в которой распространяется излучение, каким-либо способом «активирована». Это означает, что некоторый «сторонний» источник энергии (так называемая «накачка») делает концентрацию атомов или молекул на исходном (верхнем) уровне аномально высокой. Без постоянно действующей «накачки» мазер или лазер невозможны. Вопрос о природе механизма «накачки» космических мазеров пока еще окончательно не решен. Однако скорее всего «накачкой» служит достаточно мощное инфракрасное излучение. Другим возможным механизмом «накачки» могут быть некоторые химические реакции.

Стоит прервать наш рассказ о космических мазерах для того, чтобы подумать, с какими удивительными явлениями сталкиваются астрономы в космосе. Одно из величайших технических изобретений нашего бурного века, играющее немалую роль в переживаемой нами теперь научно-технической революции, запросто реализуется в естественных условиях и притом — в громадном масштабе!

Поток радиоизлучения от некоторых космических мазеров настолько велик, что мог бы быть обнаружен даже при техническом уровне радиоастрономии лет 35 тому назад, т.е. еще до изобретения мазеров и лазеров! Для-этого надо было «только» знать точную длину волны радиолинии ОН и заинтересоваться проблемой. Кстати, это не первый случай, когда в естественных условиях реализуются важнейшие научно-технические проблемы, стоящие перед человечеством. Термоядерные реакции, поддерживающие излучение Солнца и звезд (см. ниже), стимулировали разработку и осуществление проектов получения на Земле ядерного «горючего», которое в будущем должно решить все наши энергетические проблемы. Увы, мы пока еще далеки от решения этой важнейшей задачи, которую природа решила «запросто». Полтора века тому назад основатель волновой теории света Френель заметил (по другому поводу, конечно): «Природа смеется над нашими трудностями». Как видим, замечание Френеля еще более справедливо в наши дни.

Вернемся, однако, к космическим мазерам. Хотя механизм «накачки» этих мазеров пока еще не совсем ясен, все же можно составить себе грубое представление о физических условиях в облаках, излучающих мазерным механизмом линию

18 см. Прежде всего, оказывается, что эти облака довольно плотны: в кубическом сантиметре там имеется по крайней мере $10^8 - 10^9$ частиц, причем существенная (а может быть и большая) часть их — молекулы. Температура вряд ли превышает две тысячи кельвинов, скорее всего она порядка 1000 Кельвинов. Эти свойства резко отличны от свойств даже самых плотных облаков межзвездного газа. Учитывая еще сравнительно небольшие размеры облаков, мы невольно приходим к выводу, что они скорее напоминают протяженные, довольно холодные атмосферы звезд — сверхгигантов. Очень похоже, что эти облака есть не что иное, как ранняя стадия развития протозвезд, следующая сразу за их конденсацией из межзвездной среды. В пользу этого утверждения (которое автор этой книги высказал еще в 1966 г.) говорят и другие факты. В туманностях, где наблюдаются космические мазеры, видны молодые горячие звезды (см. ниже). Следовательно, там недавно закончился и, скорее всего, продолжается и в настоящее время, процесс звездообразования. Пожалуй, самое любопытное это то, что, как показывают радиоастрономические наблюдения, космические мазеры этого типа как бы «погружены» в небольшие, очень плотные облака ионизованного водорода. В этих облаках имеется много космической пыли, что делает их ненаблюдаемыми в оптическом диапазоне. Такие «коконы» ионизуются молодой, горячей звездой, находящейся внутри них. При исследовании процессов звездообразования весьма полезной оказалась инфракрасная астрономия. Ведь для инфракрасных лучей межзвездное поглощение света не так существенно.

Мы можем теперь представить следующую картину: из облака межзвездной среды, путем его конденсации, образуется несколько сгустков разной массы, эволюционирующих в протозвезды. Скорость эволюции различна: для более массивных сгустков она будет больше (см. дальше табл. 2). Поэтому раньше всего превратится в горячую звезду наиболее массивной сгусток, между тем как. остальные будут более или менее долго задерживаться на стадии протозвезды. Их-то мы и наблюдаем как источники мазерного излучения в непосредственной близости от «новорожденной» горячей звезды, ионизующей не сконденсировавший в сгустки водород «кокона». Разумеется, эта грубая схема будет в дальнейшем уточняться, причем, конечно, в нее будут внесены существенные изменения. Но факт остается фактом: неожиданно оказалось, что некоторое время (скорее всего — сравнительно короткое) новорожденные протозвезды, образно выражаясь, «кричат» о своем появлении на свет, пользуясь новейшими методами квантовой радиофизики (т. е. мазерами)...

Спустя 2 года после открытия космических мазеров на гидроксиле (линия 18 см)-было установлено, что те же источники одновременно излучают (также мазерным механизмом) линию водяных паров, длина волны которой 1,35 см. Интенсивность «водяного» мазера даже больше, чем «гидроксильного». Облака, излучающие линию H_2O, хотя и находятся в том же малом объеме, что и «гидроксильные» облака, движутся с другими скоростями и значительно более компактны. Нельзя исключать, что в близком будущем будут обнаружены и другие мазерные линии *). Таким образом, совершенно неожиданно радиоастрономия превратила классическую проблему звездообразования в ветвь наблюдательной астрономии**).

Оказавшись на главной последовательности и перестав сжиматься, звезда длительно излучает практически не меняя своего положения на диаграмме «спектр — светимость». Ее излучение поддерживается термоядерными реакциями, идущими в центральных областях. Таким образом, главная последовательность представляет

*) Недавно были обнаружены мазерные линии молекулы SiH.

**) Более подробно о звездообразовании см. книгу автора: «Звезды: их рождение, жизнь и смерть» (М.: Наука, 1984).

собой как бы геометрическое место точек на диаграмме «спектр — светимость», где звезда (в зависимости от ее массы) может длительно и устойчиво излучать благодаря термоядерным реакциям. Место звезды на главной последовательности определяется ее массой. Следует заметить, что имеется еще один параметр, определяющий положение равновесной излучающей звезды на диаграмме «спектр — светимость». Таким параметром является первоначальный химический состав звезды. Если относительное содержание тяжелых элементов уменьшится, звезда «ляжет» на диаграмме ниже. Именно этим обстоятельством объясняется наличие последовательности субкарликов. Как уже говорилось выше, относительное содержание тяжелых элементов у этих звезд в десятки раз меньше, чем у звезд главной последовательности.

Время пребывания звезды на главной последовательности определяется ее первоначальной массой. Если масса велика, излучение звезды имеет огромную мощность и она довольно быстро расходует запасы своего водородного «горючего». Так, например, звезды главной последовательности с массой, превышающей солнечную в несколько десятков раз (это горячие голубые гиганты спектрального класса О), могут устойчиво излучать, находясь на этой последовательности всего лишь несколько миллионов лет, в то время как звезды с массой, близкой к солнечной, находятся на главной последовательности 10—15 млрд лет. Ниже приводится табл. 2, дающая вычисленную продолжительность гравитационного сжатия и пребывания на главной последовательности для звезд разных спектральных классов. В этой же таблице приведены значения масс, радиусов и светимостей звезд в солнечных единицах.

Таблица 2

Спектральный класс	Масса	Радиус	Светимость	Время лет	
				гравитационного сжатия	пребывания на главной последовательности
B0	17,0	9,0	30000	$1,2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^6$
B5	6,3	4,2	1000	$1,1 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^7$
A0	3,2	2,8	100	$4,1 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^8$
A5	1,9	,5	12	$2,2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^9$
F0	1,5	,25	4,8	$4,2 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^9$
F5	1,3	,24	2,7	$5,6 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^9$
G0	1,02	,02	1,2	$9,4 \cdot 10^7$	$11 \cdot 10^9$
G2 (Солнце)	1,00	,00	1,0	$1,1 \cdot 10^8$	$13 \cdot 10^9$
G5	0,91	0,92	0,72	$1,1 \cdot 10^8$	$17 \cdot 10^9$
K0	0,74	0,74	0,32	$2,3 \cdot 10^8$	$28 \cdot 10^9$
K5	0,54	0,54	0,10	$6,0 \cdot 10^8$	$70 \cdot 10^9$

Из таблицы следует, что время пребывания на главной последовательности звезд, более «поздних», чем K0, значительно больше возраста Галактики, который по существующим оценкам близок к 15—20 млрд лет.

«Выгорание» водорода (т. е. превращение его в гелий при термоядерных реакциях) происходит только в центральных областях звезды. Это объясняется тем, что звездное вещество перемешивается лишь в центральных областях звезды, где идут ядерные реакции, в то время как наружные слои сохраняют относительное содержание водорода неизменным. Так как количество водорода в центральных областях звезды ограниченно, рано или поздно (в зависимости от массы звезды) он там практически весь «выгорит». Расчеты показывают, что масса и радиус центральной ее области, в которой идут ядерные реакции, постепенно уменьшаются, при этом звезда медленно перемещается, на диаграмме «спектр - светимость» вправо. Этот

процесс происходит значительно быстрее у сравнительно массивных звезд. Если представить себе группу одновременно образовавшихся эволюционирующих звезд, то с течением времени главная последовательность на диаграмме «спектр — светимость», построенная для этой группы, будет как бы загибаться вправо.

Что же произойдет со звездой, когда весь (или почти весь) водород в ее ядре «выгорит»? Так как выделение энергии в центральных областях звезды прекращается, температура и давление не могут поддерживаться там на уровне, необходимом для противодействия силе тяготения, сжимающей звезду. Ядро звезды начнет сжиматься, а температура его будет повышаться. Образуется очень плотная горячая область, состоящая из гелия (в который превратился водород) с небольшой примесью более тяжелых элементов. Газ в таком состоянии носит название «вырожденного». Он обладает рядом интересных свойств, на которых мы здесь останавливаться не можем. В этой плотной горячей области ядерные реакции происходить не будут, но они будут довольно интенсивно протекать на периферии ядра, в сравнительно тонком слое. Вычисления показывают, что светимость звезды и ее размеры начнут расти. Звезда как бы «разбухает», и начнет «сходить» с главной последовательности, переходя в области красных гигантов. Далее, оказывается, что звезды-гиганты с меньшим содержанием тяжелых элементов будут иметь при одинаковых размерах более высокую светимость.

На рис. 14 приведены теоретически рассчитанные эволюционные треки на диаграмме «светимость — температура поверхности» для звезд разной массы. При переходе звезды в стадию красного гиганта скорость ее эволюции значительно увеличивается.

Для проверки теории большое значение имеет построение диаграммы «спектр — светимость» для отдельных звездных скоплений. Дело в том, что звезды одного и того же скопления (например, Плеяды) имеют, очевидно, одинаковый возраст. Сравнивая диаграммы «спектр — светимость» для разных скоплений — «старых» и «молодых», можно выяснить, как эволюционируют звезды. На рис. 15 и 16 приведены диаграммы «показатель цвета — светимость» для двух различных звездных скоплении. Скопление NGC 2254 - сравнительно молодое образование.

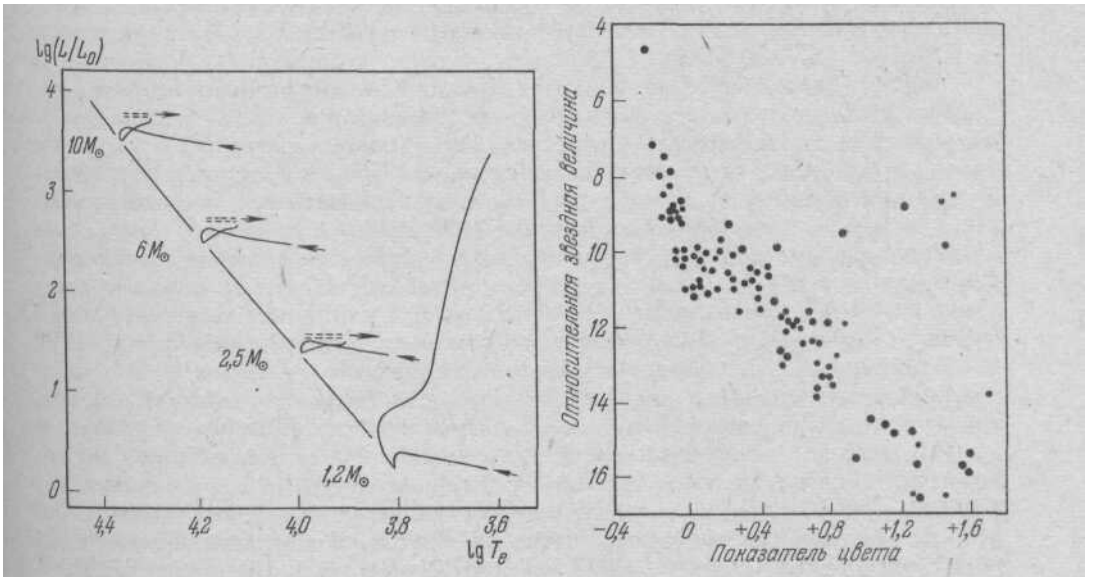

Рис. 14. Эволюционные треки для звезд разной массы на диаграмме «светимость — температура»

Рис. 15. Диаграмма Герцшпрунга — Рессела для звездного скопления NGC 2254

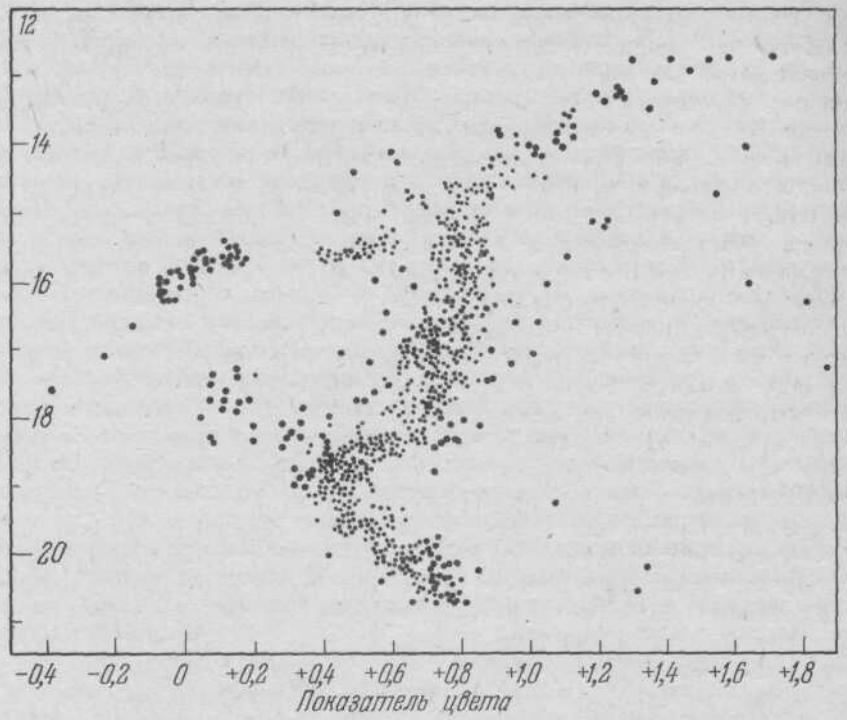

Рис. 16. Диаграмма Герцшпрунга – Рессела для шарового скопления М 3. По вертикальной оси – относительная звездная величина

На соответствующей диаграмме отчетливо видна вся главная последовательность, в том числе ее верхняя левая часть, где расположены горячие массивные звезды (показателю цвета — 0,2 соответствует температура 20 тыс. К, т. е. спектр класса В).

Шаровое скопление М 3 — «старый» объект. Ясно видно, что в верхней части главной последовательности диаграммы, построенной для этого скопления, звезд почти нет. Зато ветвь красных гигантов у М 3 представлена весьма богато, в то время как у NGC 2254 красных гигантов очень мало. Это и понятно: у старого скопления М 3 большое число звезд уже успело «сойти» с главной последовательности, в то время как у молодого скопления NGC 2254 это произошло только с небольшим числом сравнительно массивных, быстро эволюционирующих звезд. Обращает на себя внимание, что ветвь гигантов для М 3 идет довольно круто вверх, а у NGC 2254 она почти горизонтальна. G точки зрения теории это можно объяснить значительно более низким содержанием тяжелых элементов у М 3. И действительно, у звезд шаровых скоплений (так же как и у других звезд, концентрирующихся не столько к галактической плоскости, сколько к галактическому центру) относительное содержание тяжелых элементов незначительно.

На диаграмме «показатель цвета — светимость» для М 3 видна еще одна почти горизонтальная ветвь. Аналогичной ветви на диаграмме, построенной для **NGC** 2254, нет. Теория объясняет появление этой ветви следующим образом. После того как температура сжимающегося плотного гелиевого ядра звезды — красного гиганта — достигнет 100 — 150 млн К, там начнет идти новая ядерная рбакция. Эта реакция состоит в образовании ядра углерода из трех ядер гелия. Как только начнется эта реакция, сжатие ядра прекратится. В дальнейшем поверхностные слои

звезды увеличивают свою температуру и звезда на диаграмме «спектр — светимость» будет перемещаться влево. Именно из таких звезд образуется третья горизонтальная ветвь диаграммы для М 3.

На рис. 17 схематически приведена сводная диаграмма «цвет — светимость» для 11 скоплений, из которых два (М 3 и М 92) шаровые. Ясно видно, как «загибаются» вправо и вверх главные последовательности у разных скоплений в полном согласии с теоретическими представлениями, о которых уже шла речь. Из рис. 17 можно сразу определить, какие скопления являются молодыми и какие старыми. Например, «двойное» скопление *K,* и h Персея молодое. Оно «сохранило» значительную часть главной последовательности. Скопление М 41 старше, еще старше скопление Гиады и совсем старым является скопление М 67, диаграмма «цвет — светимость» для которого очень похожа на аналогичную диаграмму для шаровых скоплений М 3 и М 92. Только ветвь гигантов у шаровых скоплений находится выше в согласии с различиями в химическом составе, о которых говорилось раньше.

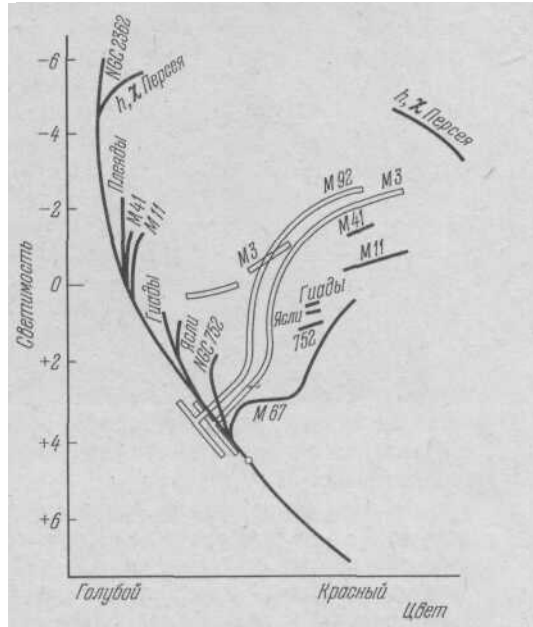

Рис. 17. Сводная диаграмма Герцшпрунга — Рессела для 11 звездных скоплений

Таким образом, данные наблюдений полностью подтверждают и обосновывают выводы теории. Казалось бы, трудно ожидать наблюдательной проверки теории процессов в звездных недрах, которые закрыты от нас огромной толщей звездного вещества. И все же теория и здесь постоянно контролируется практикой астрономических наблюдений. Нужно отметить, что составление большого количества диаграмм «цвет — светимость» потребовало огромного труда астрономов-наблюдателей и коренного усовершенствования методов наблюдений. С другой стороны, успехи теории внутреннего строения и эволюции звезд были бы невозможны без современной вычислительной техники, основанной на применении быстродействующих электронных счетных машин. Неоценимую услугу теории оказали также исследования в области ядерной физики, позволившие получить количественные характеристики тех ядерных реакций, которые протекают в звездных недрах. Без преувеличения можно сказать, что разработка теории строения и эволюции звезд является одним из крупнейших достижений астрономии второй половины **XX** столетия.

Развитие современной физики открывает возможность прямой наблюдательной проверки теории внутреннего строения звезд, и в частности Солнца. Речь идет о возможности обнаружения мощного потока нейтрино, который должно испускать Солнце, если в его недрах имеют место ядерные реакции. Хорошо известно, что нейтрино чрезвычайно слабо взаимодействует с другими элементарными частицами. Так, например, нейтрино может почти без поглощения пролететь через всю толщу Солнца, в то время как рентгеновское излучение может пройти без поглощения только через несколько миллиметров вещества солнечных недр. Если представить себе, что через Солнце проходит мощный пучок нейтрино с энергией каждой частицы в 10 млн эВ, то из нескольких десятков миллионов нейтрино поглотится только одно. Отсюда ясно, что обнаружить поток солнечных нейтрино

чрезвычайно трудно. Вместе с тем это представляется весьма заманчивым, так как обнаруженные каким-либо способом солнечные нейтрино приходят к нам непосредственно из его глубин. Следовательно, изучая эти нейтрино, можно получить достаточно подробную информацию о физических условиях в центральных областях Солнца.

Каков же ожидаемый поток нейтрино от Солнца? Если, например, в его недрах идет углеродно-азотная реакция, то, как оказывается при превращении четырех ядер водорода в одно ядро гелия образуются два нейтрино. При «протон-протонной» реакции выход нейтрино будет другой. Энергетический спектр солнечных нейтрино сильно зависит от температуры центральных областей Солнца. Ожидаемая величина потока энергии от Солнца в форме нейтрино составляет несколько процентов от всего потока солнечного излучения. Это очень много.

Как же обнаружить поток солнечных нейтрино? Идею такого эксперимента впервые предложил много лет тому назад академик Б. М. Понтекорво. Солнечное нейтрино, взаимодействуя с ядром изотопа хлора ^{37}Cl, захватывается последним. При этом изотоп хлора превращается в радиоактивный изотоп аргона ^{37}Ar и испускается электрон. По причине исключительно слабого взаимодействия нейтрино с веществом такие процессы будут происходить чрезвычайно редко. Поэтому установка для обнаружения солнечных нейтрино выглядит весьма необычно. Представьте себе большое количество специальных цистерн, наполненных прозрачной жидкостью перхлорэтиленом (C_2Cl_4). Количества этой жидкости достаточно, чтобы, например, заполнить большой бассейн для плавания. В таком гигантском количестве перхлорэтилена можно ожидать образования около десятка изотопов аргона ежедневно из-за захвата солнечных нейтрино ядрами ^{37}Cl, входящими в состав жидкости. Оказывается, что средства современной экспериментальной физики позволяют обнаружить это ничтожно малое количество вновь образовавшихся изотопов аргона.

Эту установку можно рассматривать как своеобразный гигантский термометр для измерения температуры центральных областей Солнца, ибо количество вновь образовавшихся изотопов аргона сильно зависит от энергетического спектра солнечных нейтрино, который, как уже упоминалось выше, чувствительно зависит от температуры солнечных недр. Приходится только удивляться возможностям человеческого разума. Такой эксперимент был выполнен в США. Оказывается, что солнечных нейтрино раз в десять меньше, чем можно было ожидать. Возможно, это объясняется несовершенством существующих моделей солнечных недр, хотя причины могут быть и более глубокими (см. книгу автора «Звезды:...»).

Вернемся, однако, к вопросу о дальнейшей эволюции звезд. Что с ними произойдет, когда реакция «гелий — углерод» в центральных областях исчерпает себя, так же как и водородная реакция в тонком слое, окружающем горячее плотное ядро? Какая стадия эволюции наступит вслед за стадией красного гиганта? Совокупность данных наблюдений, а также ряд теоретических соображений говорят о том, что на этом этапе эволюции звезды, масса которых меньше, чем 1,2 массы Солнца, существенную часть своей массы, образующую их наружную оболочку, «сбрасывают». Такой процесс мы наблюдаем, по-видимому, как образование так называемых «планетарных туманностей» (рис. 18). После того как от звезды отделится со сравнительно небольшой скоростью наружная оболочка, «обнажатся» ее внутренние, очень горячие слои. При этом отделившаяся оболочка будет расширяться, все дальше и дальше отходя от звезды.

Мощное ультрафиолетовое излучение звезды — ядра планетарной туманности — будет ионизовать атомы в оболочке, возбуждая их свечение. Через несколько десятков тысяч лет оболочка рассеется и останется только небольшая очень горячая плотная звезда. Постепенно, довольно медленно остывая, она превратится в белый карлик.

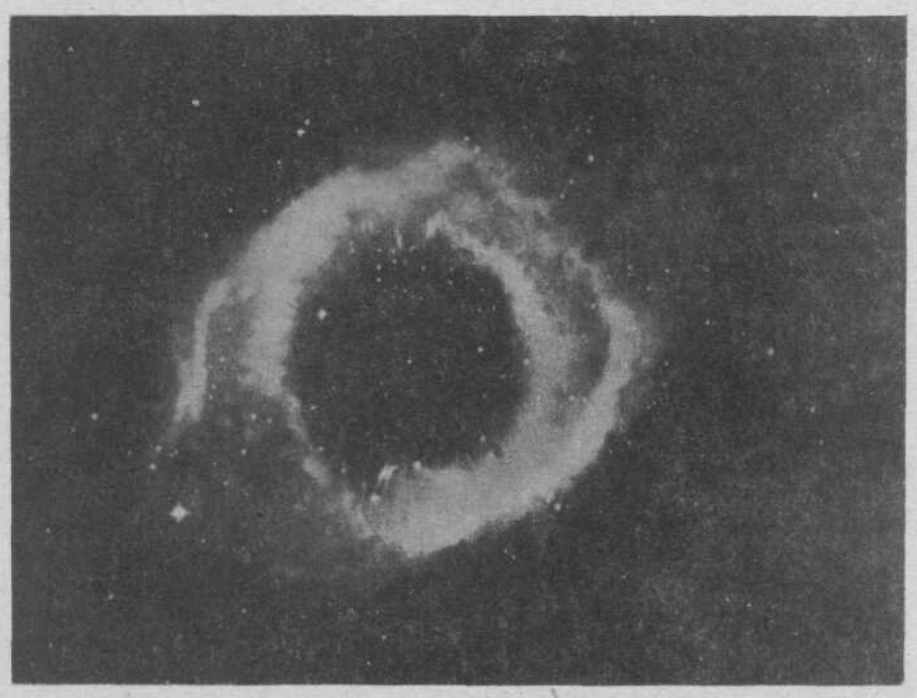

Рис. 18. Планетарная туманность NGC 7293

Таким образом, белые карлики как бы «вызревают» внутри звезд — красных гигантов — и «появляются на свет» после отделения наружных слоев гигантских звезд. В других случаях сбрасывание наружных слоев может происходить не путем образования планетарных туманностей, а путем постепенного истечения атомов. Так или иначе белые карлики, в которых весь водород «выгорел» и ядерные реакции прекратились, по-видимому, представляют собой заключительный этап эволюции большинства звезд. Логическим выводом отсюда является признание генетической связи между самыми поздними этапами эволюции звезд и белыми карликами. Постепенно остывая, они все меньше и меньше излучают, переходя в невидимые «черные» карлики. Это мертвые, холодные звезды очень большой плотности, в миллионы раз плотнее воды. Их размеры меньше размеров земного шара, хотя массы сравнимы с солнечной. Процесс остывания белых карликов длится много сотен миллионов лет. Так кончает свое существование большинство звезд. Однако финал жизни сравнительно массивных звезд может быть значительно более драматическим. Об этом будет идти речь в главе 5.

Мы неоднократно подчеркивали, что скорость эволюции звезд определяется их первоначальной массой. Так как по ряду признаков со времени образования нашей звездной системы — Галактики — прошло около 15—20 млрд лет, то за это конечное (хотя и огромное) время весь описанный эволюционный путь прошли только те звезды, массы которых превышают некоторую величину. По-видимому, эта «критическая» масса всего лишь на 10—12% превышает массу Солнца. С другой стороны, как уже подчеркивалось, процесс образования звезд из межзвездной газопылевой среды происходил в нашей Галактике непрерывно. Он происходит и сейчас. Именно поэтому мы наблюдаем горячие массивные звезды в верхней левой части главной последовательности. Но даже звезды, образовавшиеся в самом начале формирования Галактики, если масса их меньше чем 1,2 солнечной, еще не успели

сойти с главной последовательности. Заметим, кстати, что темп звездообразования в настоящее время значительно ниже, чем много миллиардов лет назад. Солнце образовалось около 5 млрд лет назад, когда Галактика уже давно сформировалась и в основных чертах была сходна с «современной». Вот уже по крайней мере 4,5 млрд лет оно «сидит» на главной последовательности, устойчиво излучая благодаря ядерным реакциям превращения водорода в гелий, протекающим в его центральных областях. Сколько еще времени это будет продолжаться? Расчеты показывают, что наше Солнце станет красным гигантом через 8 млрд лет. При этом его светимость увеличится в сотни раз, а радиус — в десятки. Эта стадия эволюции нашего светила займет несколько сот миллионов лет*). Наконец, тем или иным способом разбухшее Солнце сбросит свою оболочку и превратится в белый карлик. Вообще говоря, нам, конечно, небезразлична судьба Солнца, так как с нею тесно связано развитие жизни на Земле.

*) Удивительно, что такую эволюцию Солнца предсказал Уэллс задолго до возникновения теоретической астрофизики. Его путешественник по времени, как, может быть, помнит читатель, увидел в далеком будущем над пустынным океаном огромное красное Солнце... Правда, Уэллс не учел, что температура Земли при этом была бы очень высокой, порядка 300—500°С. Ведь светимость такого Солнца — красного гиганта, очень велика... Но не будем мелочно придираться к великому провидцу...

5. *Сверхновые звезды, пульсары и черные дыры*

В предыдущей главе была набросана картина эволюции «нормальной» звезды от момента ее зарождения в виде сгустка сжимающейся газопылевой туманности до глубокой «старости» — сверхплотного холодного «черного» карлика. Однако не все звезды проходят такой «спокойный» путь развития. Некоторые на заключительном этапе своей эволюции взрываются, вспыхивая могучим космическим фейерверком. В таких случаях говорят о вспышке «сверхновой» звезды. От «сверхновых» звезд следует отличать «обычные» новые звезды. Мощность вспышки у этих звезд в тысячи раз меньше, чем у сверхновых. Вспыхивают новые звезды сравнительно часто (в нашей Галактике — около ста вспышек в год). Для новых звезд характерна повторяемость вспышек. При каждой такой вспышке звезда выбрасывает с большой скоростью 10^{-3} — 10^{-5} своей массы. Доказано, что все новые звезды являются очень тесными двойными системами (см. гл. 8). Вспышки новых не приводят к существенному изменению структуры звезд. Напротив, вспышка сверхновой — это радикальное изменение, и даже частичное разрушение структуры звезды.

Пока нам еще не известны катастрофы, по своим масштабам более грандиозные, чем вспышки сверхновых*). За какие-нибудь несколько суток вспыхнувшая звезда увеличивает свою светимость иногда в сотни миллионов раз. Бывает так, что в течение короткого времени одна звезда излучает света больше, чем миллиарды звезд той галактики, в которой произошла вспышка.

В отличие от вспышек «обыкновенных» новых звезд, это явление принадлежит к числу весьма редких. В больших звездных системах, подобных нашей Галактике, вспышки сверхновых происходят в среднем раз в столетие или несколько чаще. Поэтому такие вспышки изредка наблюдаются в других галактиках (рис. 19). Если держать систематически «под наблюдением» несколько сот галактик, то можно с большой вероятностью утверждать, что в течение одного года хотя бы в одной из таких галактик вспыхнет сверхновая звезда. Во всяком случае, такой способ наблюдений гораздо более целесообразен, чем ожидание в собственной Галактике вспышки в течение нескольких столетий... Сейчас ежегодно открывают около 20 внегалактических сверхновых. Полное их число достигает почти 600.

Тем не менее история сохранила довольно значительное число хроник и даже научных трактатов, содержащих описание вспышек сверхновых в нашей Галактике. Так, например, сохранился ряд китайских хроник, в которых рассказывается о появлении на небе в июле 1054 г. «звезды-гостьи». Эта звезда была настолько ярка, что ее видели даже днем; по своему блеску она превосходила Венеру,— самое яркое светило неба после Солнца и Луны. Несколько месяцев звезда была видна невооруженным глазом, а потом постепенно погасла.

Через семь с половиной веков французский астроном Шарль Мессье, составляя знаменитый каталог туманностей, под № 1 поместил объект необычайной формы. Впоследствии этот объект получил название «Крабовидная туманность». Фотография этой туманности в красных лучах приведена на рис. 20 (вверху). Дальнейшие наблюдения показали, что Крабовидная туманность медленно расширяется, как бы «расползаясь» по небу. Так как расстояние до этой туманности равно 2000 пк, то заметное, хотя и медленное, увеличение ее размеров на небе означает, что скорость разлета образующих ее газов огромна. Эта скорость достигает 1500 км/с, т. е. больше, чем в сто раз превосходит скорости искусственных спутников Земли.

*) В последнее время, по-видимому, обнаружены удивительные объекты — взрывающиеся ядра галактик, явление несравненно более грандиозное, чем вспышка сверхновых (см. гл. 6).

Рис. 19. Вспышка сверхновой в далекой галактике. На правой фотографии, полученной в 1940 г. сверхновая видна, на левой, полученной в 1931 г.,— нет

Между тем скорость движения обычных газовых туманностей в Галактике редко превышает 20 — 30 км/с. Только гигантских масштабов взрыв мог сообщить такой большой массе газа столь высокую скорость.

Из наблюдаемой скорости расплывания Крабовидной туманности следует, что приблизительно 900 лет назад вся туманность была сосредоточена в очень малом объеме. В сочетании с тем, что Крабовидная туманность находится как раз в той области неба, где некогда вспыхнула удивительная «звезда-гостья», наблюдаемая скорость расширения доказывает, что эта туманность не что иное, как остаток грандиозной космической катастрофы — вспышки сверхновой, которая произошла в 1054 г.

В истории астрофизики последних двух десятилетий Крабовидная туманность сыграла особенно важную роль. И это не случайно. Ведь эта туманность — один из ближайших и поэтому лучше других исследовавшихся остатков взрыва звезды. Тут и там по небу разбросаны удивительные, характерной формы туманности — остатки некогда вспыхивавших в нашей звездной системе сверхновых. Две такие туманности приведены на рис. 21 и 22. Все они (за немногими исключениями) «старше» Крабовидной. Так, возраст туманностей на рис. 21 и 22 исчисляется несколькими десятками тысячелетий. Казалось бы, очень легко спутать такие объекты с обыкновенными газовыми, так называемыми «диффузными» туманностями, подобными приведенной на рис. 23. Есть, однако, два обстоятельства, которые безошибочно позволяют отличить туманности — остатки вспышек сверхновых звезд — от обыкновенных туманностей.

В 1949 г. было обнаружено, что Крабовидная туманность является мощным источником радиоизлучения. Вскоре удалось объяснить природу этого явления: излучают сверхэнергичные электроны, движущиеся в магнитных полях, находящихся в этой туманности. Раньше мы уже упоминали, что та же причина объясняет общее радиоизлучение Галактики. Таким образом, при вспышке сверхновой звезды каким-то способом (пока еще до конца не понятным) образуется огромное количество частиц сверхвысоких энергий — космических лучей. Применяя теорию «синхротронного» излучения релятивистских электронов, по измеренному потоку

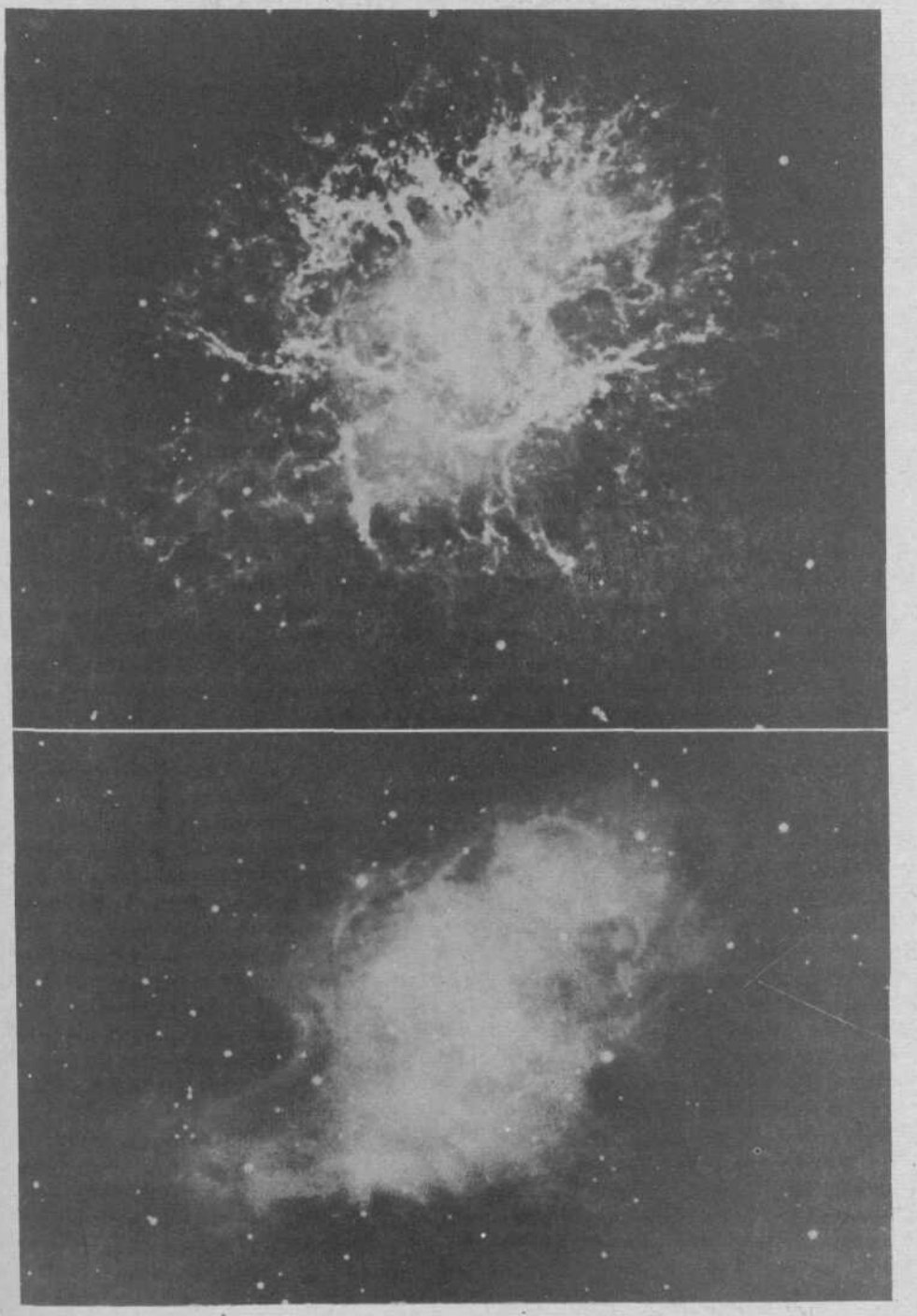

Рис. 20. Крабовидная туманность

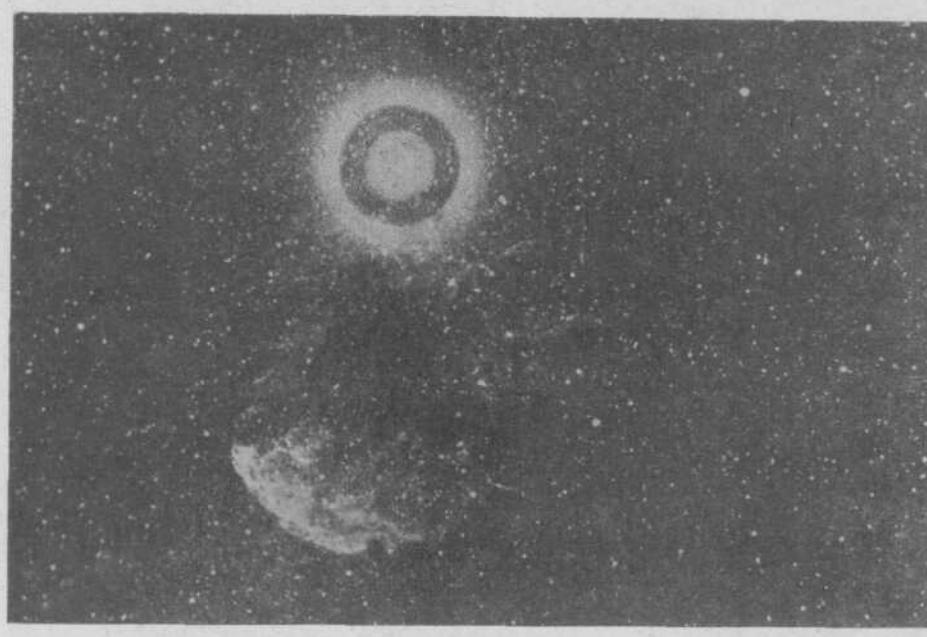

Рис. 21. Туманность IC 443

Рис. 22. Волокнистые туманности в созвездии Лебедя

Рис. 23. Диффузная туманность

радиоизлучения и известным расстояниям и размерам туманности удалось оценить полное количество находящихся в ней космических лучей. По мере расширения и рассеяния туманности заключенные в ней космические лучи выходят в межзвездное пространство. Если учесть, как часто вспыхивают сверхновые звезды в Галактике, то образующихся при этих вспышках космических лучей оказывается достаточно для заполнения ими всей Галактики с наблюдаемой плотностью.

Таким образом, впервые со всей очевидностью удалось доказать, что вспышки сверхновых звезд являются одним из основных источников пополнения Галактики космическими лучами; кроме того, они обогащают межзвездную среду тяжелыми элементами. Это имеет огромное значение для эволюции звезд и всей Галактики в целом.

Крабовидная туманность обладает еще одной удивительной особенностью. Как показал автор этой книги в 1953 г., ее оптическое излучение, по крайней мере на 95%, обусловлено также сверхэнергичными электронами, т. е. имеет «синхротронную» природу. Энергия электронов, излучающих в оптическом диапазоне длин волн, в сотни раз больше энергии электронов, излучающих радиоволны, она достигает 10^{11}—10^{12} эВ. На основе новой теории оптического излучения Крабовидной туманности удалось предсказать, что это излучение должно быть поляризованным. Советские и американские наблюдения полностью подтвердили этот вывод теории.

Тем самым все теоретические выводы, касающиеся природы радиоизлучения и оценок количества космических частиц, нашли полное подтверждение. В настоящее время синхротронное оптическое излучение обнаружено еще у нескольких объектов, преимущественно радиогалактик. Его исследование имеет очень большое значение для астрономии и физики.

В 1963 г. при помощи ракеты с установленными на ней приборами удалось обнаружить довольно мощное рентгеновское излучение от Крабовидной туманности. В следующем, 1964 г., во время покрытия этой туманности Луной удалось показать, что этот источник рентгеновского излучения протяженен, хотя его угловые размеры в 5 раз меньше угловых размеров «Краба». Следовательно, рентгеновское излучение испускает не звезда, некогда вспыхнувшая как сверхновая, а сама туманность. Было доказано, что рентгеновское излучение Крабовидной туманности имеет также синхротронную природу и обусловлено сверхэнергичными релятивистскими электронами с энергией порядка 10^{13}— 10^{14} эВ.

Дальнейшие наблюдения показали, что все без исключения туманности — остатки вспышек сверхновых звезд — оказываются более или менее мощными источниками радиоизлучения, имеющего ту же природу, что и у Крабовидной туманности. Особенно мощным источником радиоизлучения является туманность, находящаяся в созвездии Кассиопеи. На метровых волнах поток радиоизлучения от нее в 10 раз превышает поток от Крабовидной туманности, хотя она дальше последней. В оптических лучах эта быстро расширяющаяся туманность очень слаба. Как сейчас доказано, туманность в Кассиопее — остаток вспышки сверхновой, имевшей место около 300 лет назад. Не совсем ясно, почему вспыхнувшую звезду тогда не заметили. Ведь уровень развития астрономии в Европе был тогда довольно высок.

Туманности — остатки вспышек сверхновых звезд, случившихся даже десятки тысяч лет назад, выделяются среди других туманностей своим мощным радиоизлучением. В частности, источниками радиоизлучения, правда, раз в 10 менее мощными, чем Крабовидная туманность, являются туманности, показанные на рис. 21 и 22.

Другим отличительным признаком туманностей, — остатков вспышек сверхновых звезд,— является испускаемое ими рентгеновское излучение. Это излучение полностью поглощается земной атмосферой и может наблюдаться только с помощью аппаратуры, установленной на ракетах и спутника*. Особенно ценные результаты были получены в последние годы на специализированном спутнике «Эйнштейн», запущенном в ознаменование столетия со дня рождения великого ученого. На рис. 24 приведена схема структуры рентгеновского изображения сверхновой, которую наблюдал Тихо Браге в 1572 г. Рентгеновское излучение в таких туманностях вызвано нагревом межзвездного газа до температуры в несколько миллионов градусов движущимися через него с большими скоростями наружными слоями взорвавшейся звезды. Как в радио, так и в рентгеновских лучах структура таких источников носит «оболочечный» характер. В противоположность этому, Крабовидная туманность и несколько сходных с ней объектов в рентгеновских лучах не имеют оболочек (см. рис. 20).

До сих пор речь шла преимущественно о туманностях, образующихся при вспышках сверхновых звезд. Что же можно сказать о самих вспыхивающих звездах? Как уже упоминалось, данные наблюдений относятся к сверхновым, вспыхивающим в других звездных системах. В нашей Галактике последняя такая вспышка наблюдалась в 1604 г. Эту звезду, в частности, наблюдал Кеплер. Тогда еще не был изобретен телескоп, а спектральный анализ — этот мощнейший метод астрономических исследований — стал применяться только спустя два с половиной столетия...

По наблюдениям вспышек в других галактиках удалось установить, -что сверхновые бывают двух типов. Сверхновые I типа — это довольно старые звезды с мас-

сой, лишь немного превосходящей солнечную. Такие сверхновые-вспыхивают в эллиптических галактиках, а также в спиральных звездных системах. Мощность излучения у таких сверхновых особенно велика, хотя массы выброшенных газовых оболочек не превышают нескольких десятых массы Солнца.

Так называемые сверхновые II типа вспыхивают в спиральных галактиках. Они никогда не вспыхивают в эллиптических звездных системах. Сверхновые этого типа, как принято думать, массивные молодые звезды. Именно по этой причине они, как правило, наблюдаются в спиральных ветвях, где еще продолжает идти процесс

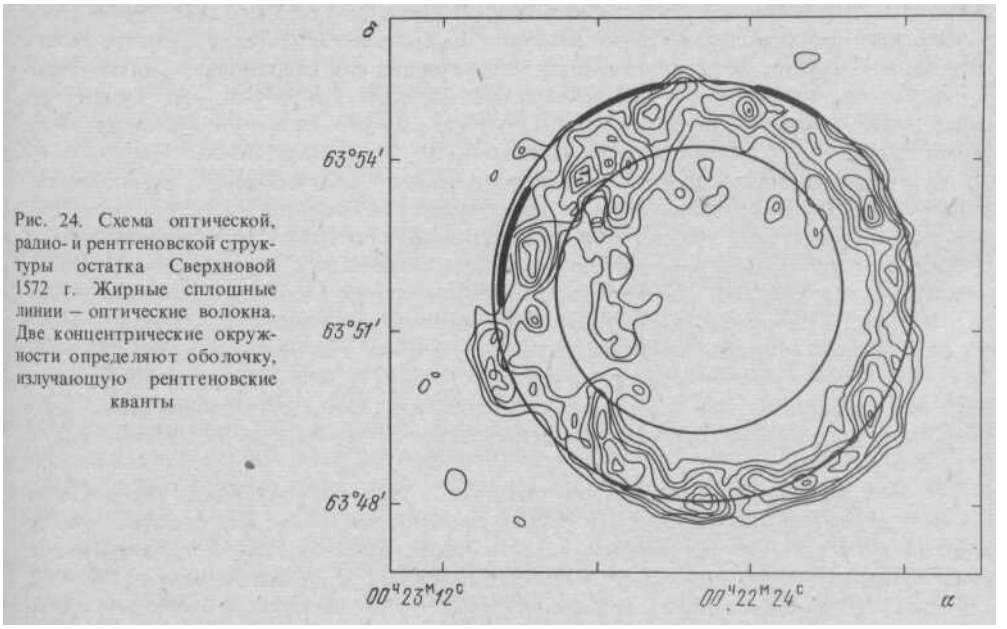

Рис. 24. Схема оптической, радио- и рентгеновской структуры остатка Сверхновой 1572 г. Жирные сплошные линии – оптические волокна. Две концентрические окружности определяют оболочку, излучающую рентгеновские кванты

звездообразования. Не исключено, что если не большая, то по крайней мере значительная часть горячих массивных звезд спектрального класса О кончает свое существование вспышкой сверхновой этого типа.

Существует несколько гипотез о причине взрывов звезд, наблюдаемых как сверхновые. Однако общепризнанной теории, основывающейся на известных фактах и могущей предсказать новые явления, пока нет. Можно, однако, не сомневаться, что такая теория будет создана в самом ближайшем времени. По всей вероятности, причиной взрыва является катастрофически быстрое выделение потенциальной энергии тяготения при «спаде» внутренних слоев звезды к ее центру.

Мы сейчас остановимся на этой важной для всей современной астрофизики проблеме более подробно. В предыдущей главе была нарисована общая картина образования звезд из межзвездной среды. Решающим фактором в этом процессе является сила всемирного тяготения, которая всегда стремится сблизить отдельные части вещества и тем самым образовать более компактные тела. Можно сразу же задать «детский» вопрос: «А есть ли предел уплотнения вещества под воздействием силы тяжести? Не может ли звезда в конце концов сжаться в точку?» Хорошо известно, что многие из так называемых «детских» вопросов самым глубоким образом затрагивают коренные проблемы мироздания и бытия. Может быть, именно поэтому они и называются детскими... Сформулированный выше вопрос как раз относится к этой категории.

Как же отвечает на него современная наука? Когда протозвезда сожмется до таких размеров, что температура в ее недрах станет достаточно высокой и пойдут

ядерные реакции, она перестанет сжиматься и будет долгое время находиться в равновесном состоянии. Это равновесие осуществляется в каждом элементе ее объема под действием двух равных и противоположно направленных сил: гравитации и разности газового давления. Первая сила стремится сжать звезду, вторая — расширить.

Звезда в таком равновесном состоянии находится на главной последовательности, о чем речь шла в предыдущей главе. Но равновесие не будет продолжаться вечно. Когда ядерное горючее — водород в недрах звезды — будет исчерпано, наступят радикальные и довольно быстрые перемены в ее жизни. В предыдущей главе мы писали, что после исчерпания водородного горючего из центральной части звезды образуется весьма горячее и плотное ядро, сама звезда превращается в красный гигант, а затем, после «сброса» оболочки — в белый карлик.

Но такой путь эволюции могут проделать только звезды, у которых массы, оставшиеся после сброса оболочки, не слишком велики, например не больше 1,2 солнечной массы. Звезды, у которых оставшаяся масса находилась в пределах 1,2 — 2,5 солнечных масс, как показывают надежные теоретические расчеты, не могут образовать устойчивую конфигурацию белого карлика. Они катастрофически быстро сжимаются до ничтожных размеров порядка 10 км, причем их средняя плотность достигает 10^{15} г/см^3, что превышает плотность атомного ядра. Как показывают специальные теоретические исследования, вещество таких звезд состоит из чрезвычайно плотно «упакованных» нейтронов, ибо свободные электроны как бы «вдавливаются» в протоны. Именно поэтому такие объекты получили название «нейтронных звезд». Расчеты показывают, что первоначальная температура поверхности у нейтронных звезд около миллиарда Кельвинов. В дальнейшем нейтронная звезда будет быстро остывать, а температура ее поверхности быстро падать.

Открытые теоретически «на кончике пера» нейтронные звезды должны были представлять собой объекты, чрезвычайно трудные для наблюдений. В самом деле, совершенно безнадежно обнаружить тепловое оптическое излучение такой звезды по причине ничтожно малой излучательной поверхности. Если, например, температура поверхности нейтронной звезды около 6000 К (т. е. такая же, как у Солнца), а радиус равен 6 км (т. е. примерно в 100000 раз меньше солнечного), то светимость ее будет в десять миллиардов раз меньше, чем у Солнца. Это означает, что ее абсолютная величина будет близка к 30. Если бы даже такая звезда находилась от нас на расстоянии всего лишь 1 пк (т. е. ближе любой другой звезды), ее блеск соответствовал бы объекту 25-й величины.

Высокая температура поверхности образовавшихся после взрыва сверхновых нейтронных звезд позволяла надеяться, что можно будет обнаружить их рентгеновское излучение.

В самом деле, если температура поверхности такой звезды миллиард кельвинов, то, согласно известному закону Стефана — Больцмана, поток излучения с единицы поверхности нагретого непрозрачного тела пропорционален четвертой степени его температуры; наша крохотная нейтронная звезда будет излучать ~ 10^{45} эрг/с, т. е. больше, чем вся наша Галактика. Однако совершенно очевидно, что такую огромную мощность нейтронная звезда будет излучать только очень короткий промежуток времени. Остывание будет происходить главным образом за счет излучения нейтрино, которые в больших количествах образуются во всем ее объеме при столь высокой температуре. Но даже если температура поверхности была бы «всего лишь» 10 млн Кельвинов, мощность ее рентгеновского излучения была бы ~ 10^{37} эрг/с, что в несколько тысяч раз больше мощности всего излучения Солнца.

Еще в 1963 г. в созвездии Скорпиона был открыт с помощью счетчика фотонов, установленного на борту ракеты, первый рентгеновский источник, находящийся за пределами Солнечной системы. Вскоре было открыто рентгеновское излучение от Крабовидной туманности (см. выше). В настоящее время известно уже

несколько сотен рентгеновских источников, причем многие из них отождествляются с туманностями — остатками вспышек сверхновых. Большая часть рентгеновских источников — звездообразные объекты. Сразу же после открытия в 1964—1965 гг. многие астрономы и физики решили, что наконец-то долгожданные нейтронные звезды обнаружены... Увы, их ликование, как это часто бывало в истории астрономии, оказалось преждевременным. Понадобилось еще 20 лет, чтобы обсерватория «Эйнштейн» обнаружила в некоторых остатках вспышек сверхновых точечные рентгеновские источники, которые можно интерпретировать как излучение поверхности нейтронной звезды. Теоретики подсчитали, что остывание нейтронных звезд происходит даже быстрее, чем считали раньше: всего лишь за несколько месяцев температура поверхности нейтронной звезды упадет значительно ниже десяти миллионов Кельвинов, а такой объект методами современной рентгеновской астрономии уже не сможет быть обнаружен. Столь быстрый срок остывания нейтронных звезд, во всяком случае за время, много меньшее, чем средний промежуток между вспышками сверхновых, как будто бы означает, что среди наблюдаемых космических рентгеновских источников нейтронных звезд быть не может*).

Таким образом, надежда обнаружить нейтронные звезды по их тепловому рентгеновскому излучению оказалась вроде бы преждевременной.

И вдруг, буквально «как гром среди ясного неба», было сделано открытие, превратившее таинственные нейтронные звезды в наблюдаемые объекты. Речь идет об открытии *пульсаров,* едва ли не самом впечатляющем открытии в астрономии за несколько последних десятилетий.

Мы слишком часто злоупотребляем словом «открытие», отчего оно постепенно «стирается». Между тем в истории науки количество подлинных открытий очень невелико...

Даже по самым строжайшим критериям обнаружение пульсаров действительно является подлинным открытием. Это открытие, как это всегда бывает с настоящим открытием, произошло случайно. Летом 1967 г. аспирантка известного английского радиоастронома Хьюиша мисс Бэлл неожиданно обнаружила на небе совершенно необычный радиоисточник. Этот источник излучал кратковременные радиоимпульсы, которые строго периодически, через каждые 1,33 секунды, повторялись. Вскоре были обнаружены еще три таких же источника с другими также «почти секундными» периодами.

Это открытие настолько ошеломило исследователей, что они, заподозрив, что эти сигналы имеют искусственное происхождение и посылаются некими «сверхцивилизациями» (см. часть 3 нашей книги), засекретили эти наблюдения и в течение почти полугода никто об этом не знал — случай беспрецедентный в истории астрономии... Только после того, как они убедились, что эти сигналы — не результат активности внеземных разумных цивилизаций, результаты наблюдений были опубликованы.

Не сразу было понято, что причиной строгой периодичности радиоимпульсов от этих новых источников (получивших название «пульсары») является быстрое вращение звездообразных объектов. Только вращение массивного тела может объяснить удивительное постоянство (с точностью до стомиллионной доли) периодов пульсаров. Более тщательные наблюдения показали, что на самом деле периоды не строго постоянны, а медленно растут. Представим себе, что излучение радиоволн не равномерно по всем направлениям, а сосредоточено внутри некоторого конуса, ось которого образует определенный угол с осью вращения. Теперь вообразим себе наблюдателя, который в какой-то момент времени находится на продолжении оси конуса. Ясно, что он сможет наблюдать радиоизлучение. Это

*) И все же оказалось, что рентгеновские звезды — это нейтронные звезды в двойных системах (см. гл. 8). Но это стало ясно только после 1970 г.

будет возможно в течение некоторого времени до тех пор, пока из-за вращения звезды ось конуса уйдет достаточно далеко. Однако через промежуток времени, равный периоду вращения звезды, радиоизлучение снова можно будет наблюдать. Эта простая модель пульсара изображена на рис. 25.

Что же это за звезды, быстрое вращение которых есть причина наблюдаемого явления пульсаров? В 1967 г. был открыт пульсар с рекордно коротким периодом в 0,033 с (об этом замечательном пульсаре речь пойдет дальше). Так быстро вращаться может только очень маленькое тело. Ведь линейная скорость вращения на экваторе определяется школьной формулой: $v = 2\pi R/T$, где R — радиус вращающегося тела, T — период его вращения. Из этой формулы следует, что при $T = 1/30$ с,

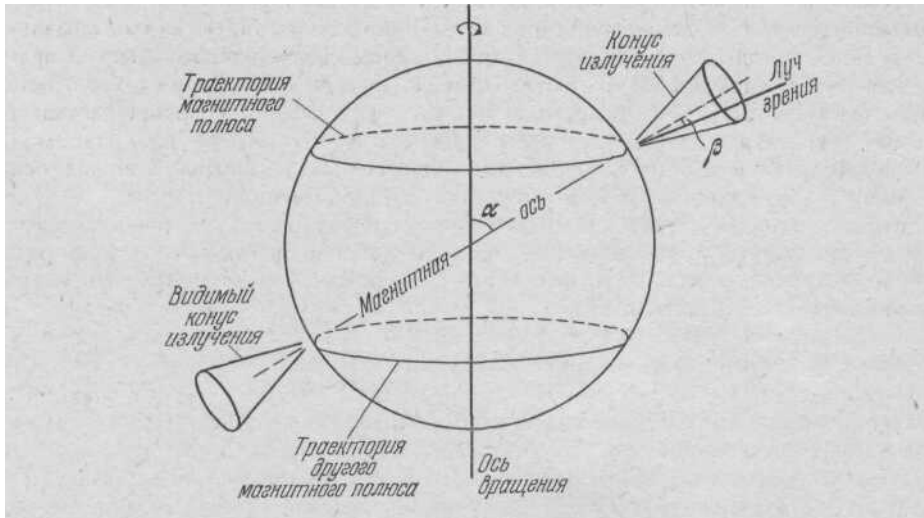

Рис. 25. Модель пульсара

учитывая, что скорость вращения никак не может превышать скорость света, радиус тела не превышает 1500 км, что в 4 раза меньше Земли. Но это является очень грубой оценкой верхней границы размеров вращающегося тела. Так как линейная экваториальная скорость вращения по простым причинам должна быть в десятки раз меньше скорости света, непосредственно ясно, что линейные размеры пульсаров не могут превышать несколько десятков километров. Но если это так, то пульсары — это не что иное, как нейтронные звезды!

Имеется и другое доказательство этого важнейшего вывода. Упомянутый выше рекордно-короткопериодический пульсар (получивший название NP 0532) расположен... в центре Крабовидной туманности! Другой пульсар, период которого всего лишь в три раза длиннее (0,089 с), также находится внутри туманности, являющейся более старым остатком вспышки сверхновой. Итак, пульсары находятся там, где положено находиться нейтронным звездам, которые должны образоваться при вспышках сверхновых! То обстоятельство, что не во всех остатках вспышек сверхновых наблюдаются пульсары и только малая часть пульсаров (их сейчас известно свыше трехсот) находится в, остатках сверхновых, не должно нас смущать. Дело в том, что пульсар может быть обнаружен только при «благоприятной» по отношению к нам ориентации его оси вращения. Это ясно из рис. 25. Если учесть это, оказывается, что едва ли 5 % всех пульсаров можно хотя бы в принципе наблюдать. Поразительно, что Крабовидная туманность, помимо тех замечательных особенностей, о которых говорилось выше, еще имеет и пульсар, «удачно» ориентированный по отношению к Земле...

С другой стороны, легко понять, почему большинство пульсаров не связано с туманностями — остатками вспышек сверхновых. Дело в том, что последние представляют собой подобно планетарным туманностям сравнительно короткоживущие образования. Благодаря расширению образующих их газовых волокон и находящихся там космических лучей они «расплываются» и через сотню тысяч лет перестают быть наблюдаемыми. Между тем возраст большинства пульсаров исчисляется миллионами и десятками миллионов лет. Это следует из наблюдаемого очень медленного замедления их вращения. Ясно, например, что если за год период какого-нибудь пульсара изменится на одну десятимиллионную долю, то его возраст должен быть близок к десяти миллионам лет. Итак, пульсары «переживают» туманности, в которые они были «погружены» при рождении.

На основании наблюдений пульсаров можно нарисовать такую картину развития нейтронной звезды. Она образуется при вспышке сверхновой как быстро вращающийся объект огромной плотности. Причину быстрого вращения понять легко: это следствие одного из основных законов механики — сохранение момента количества движения. Проиллюстрируем этот закон на примере воображаемой звезды, являющейся «двойником» нашего Солнца. Период ее вращения вокруг оси очень велик - около месяца (о вращении звезд подробнее см. гл. 10).

Допустим теперь, что по каким-то причинам эта звезда катастрофически сжалась, причем ее радиус R стал равным 10 км, т. е. уменьшился почти в 100000 раз. Если ее масса M при этом не изменилась, то из закона сохранения момента количества движения

$$vMR = \text{const}$$

следует, что экваториальная скорость увеличится в 100000 раз и составит почти половину скорости света! Период-же вращения уменьшится почти в десять миллиардов раз и будет меньше, чем тысячная доля секунды.

На самом деле, так как часть момента количества движения уносится- выброшенным во время вспышки сверхновой веществом, экваториальная скорость вращения образовавшейся при этой катастрофе нейтронной звезды будет немного меньше, а период вращения длинней, но суть дела от этого не меняется: только что образовавшаяся нейтронная звезда должна вращаться с огромной скоростью.

Теперь обратим наше внимание на другое обстоятельство. Как уже упоминалось в гл. 2, на звездах имеются магнитные поля. Допустим, что на поверхности звезды, которая должна вспыхнуть как сверхновая, магнитное поле невелико, скажем ~100 Э (это все же больше, чем на поверхности нашего Солнца). При катастрофическом сжатии звезды должен остаться неизменным поток магнитных силовых линий через ее поверхность, т. е.

$$H \cdot R^2 = \text{const},$$

и если радиус R уменьшается в 100000 раз, то магнитное поле H обязано увеличиться в 10 миллиардов раз, достигнув чудовищного значения 10^{12} Э! Чтобы почувствовать силу этого магнитного поля, приведем такой пример. Плотность магнитной энергии $IV_м$ связана с величиной магнитного поля формулой

$$W_м = H^2/8\pi.$$

При $H = 10^{12}$ Э $W_м$ будет равно $4 \cdot 10^{22}$ эрг/см^3. Величина $\rho_м = W_м/c^2$, согласно принципу эквивалентности массы и энергии, есть плотность вещества, соответствующего плотности энергии $W_м$. Оказывается, что $\rho_м \approx 50$ г/см^3, что плотнее всех известных на Земле веществ. Плотность же «обычного» вещества в атмосфере нейтронной звезды на много порядков меньше. Такая ситуация нигде в космосе не встречается.

Итак, нейтронная звезда не только быстро вращается, но и сильнейшим образом намагничена, причем ее магнитная ось не совпадает с осью вращения. Оказывается, что магнитная ось нейтронной звезды как раз и является осью того конуса, в пределах которого направлено радиоизлучение (см. рис. 25). Однако истинная причина столь мощного радиоизлучения давно уже остывшей и, казалось бы, мертвой нейтронной звезды пока остается неясной, хотя в разного рода остроумных гипотезах недостатка нет. Несомненно только одно: механизм радиоизлучения должен быть каким-то образом связан с магнетизмом и быстрым вращением нейтронных звезд. Именно высокая «активность» нейтронных звезд оказалась совершенно неожиданной и непредсказуемой. Только поэтому нейтронные звезды были обнаружены совсем не там, где их искали... Это и дает нам право называть обнаружение нейтронных звезд подлинным открытием.

Как уже говорилось выше, период вращения пульсаров — нейтронных звезд непрерывно растет. Так как кинетическая энергия вращающегося тела обратно пропорциональна квадрату периода, то налицо непрерывное уменьшение кинетической энергии вращения пульсаров, обусловленное их торможением. Каковы же причины торможения? По-видимому, основной причиной торможения является излучение этими сильно намагниченными вращающимися объектами сверхдлинных электромагнитных волн, частота которых равна частоте вращения пульсаров. Если, например, эта частота равна 1 «обратной секунде» («герцу») (типичное значение для пульсаров) длина волны будет 300000 км. Существуют и другие причины торможения, например выбрасывание из пульсаров струй вещества. Для очень молодых пульсаров, у которых период вращения меньше одной сотой секунды, основную роль в торможении может играть излучение так называемых «гравитационных волн» — процесс, являющийся следствием общей теории относительности Эйнштейна. Заметим, однако, что пока еще гравитационные волны прямыми наблюдениями не обнаружены, что объясняется огромными экспериментальными трудностями. Автор, однако, не будет удивлен, если первым космическим объектом, от которого будут обнаружены гравитационные волны, будет все та же Крабовидная туманность, вернее, находящийся там пульсар NP 0532.

Об этом замечательном пульсаре стоит еще сказать пару фраз отдельно. Это — самый молодой и быстрее всех вращающийся пульсар. Его период растет (относительно) значительно быстрее, чем у других пульсаров, что естественно объясняется его «молодостью». Но, пожалуй, его самым замечательным свойством является то, что он наряду с радиоимпульсами посылает к нам оптические и рентгеновские импульсы. На рис. 20 в центральной части Крабовидной туманности видна слабая звездочка 16-й величины. Это и есть пульсар, который излучает в оптических лучах короткими импульсами с периодом в 1/30 с. Выяснилось это в начале 1969 г. сразу же после открытия пульсара в Крабовидной туманности. Уже давно астрономы подозревали, что эта слабая звездочка должна быть как-то связана со «звездным» остатком вспышки Сверхновой 1054 г., приведшей к образованию Крабовидной туманности. Когда был открыт «радиопульсар», возникла смелая идея: а не является ли объект, который на протяжении почти 100 лет всеми считался обыкновенной звездочкой, совсем не тем, за кого его принимали? Проверка этого предположения была сделана с большим остроумием и предельной наглядностью. В телескоп был вставлен вращающийся непрозрачный диск, на периферии которого было просверлено восемь отверстий, причем расстояние между отверстиями равнялось их диаметрам. Если представить себе, что во время экспозиции какой-нибудь звезды диск вращается, то для получения негатива такой же плотности, что и без диска, нужно экспозицию примерно удвоить. Теперь представьте себе, что фотографируется не обыкновенная звезда, а импульсный источник света, причем импульсы периодически повторяются. Тогда, если период вращения диска равен периоду повторяемости световых импульсов от источника, можно, меняя фазу вращения ди-

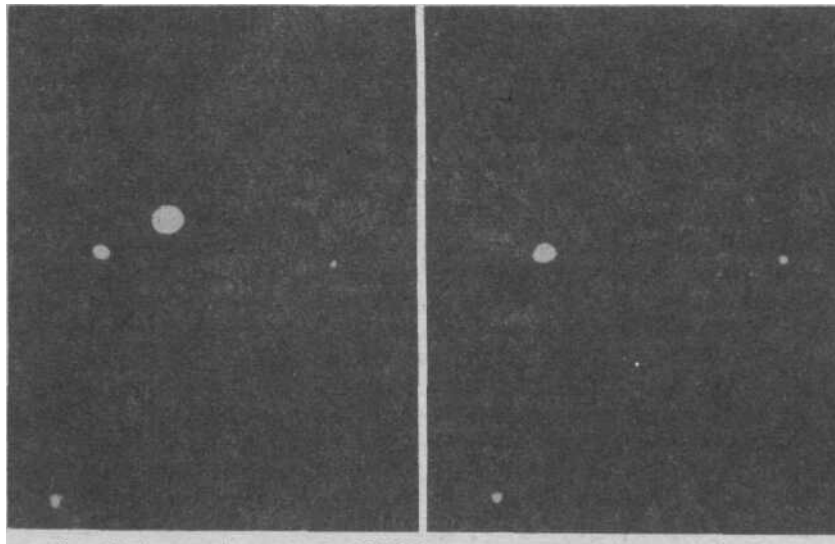

Рис. 26. Фотография пульсара NP 0532, полученная с помощью стробоскопа

ска, в одном случае добиться полного «погашения» источника, а в другом — полностью без потерь на' поглощение в диске, использовать излучение источника. Такое устройство сходно с детской игрушкой, называемой «стробоскоп».

Вблизи центральной звездочки в Крабовидной туманности находится другая, вполне заурядная, ничего общего с туманностью не имеющая и случайно на нее проектирующаяся. На рис. 26 приведены фотографии центральной части Крабовидной туманности, снятые через описанный выше вращающийся диск. Диск вращается со скоростью 30 оборотов в секунду (что соответствует периоду пульсара NP 0532), но с разными фазами. Снимок этот поразителен в своей наглядности: в одном случае яркость центральной звездочки гораздо больше, чем у «соседки» (нормальной звезды!), а во втором — центральная звезда совсем не видна. Заметим, что на обоих снимках нормальная звезда выглядит одинаково. Эти снимки с полной очевидностью демонстрируют, что давно известная центральная «звезда» Крабовидной туманности — это пульсар. На рис. 27 приведена «кривая блеска» этого пульсара, полученная обычным фотоэлектрическим методом.

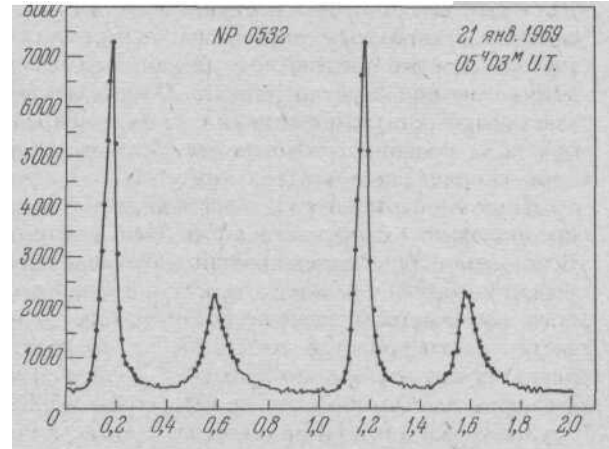

Рис. 27. «Кривая блеска» пульсара NP 0532

Оптическое излучение пульсара NP 0532 ни в коем случае не является тепловым — в противном случае он никогда бы не наблюдался. Автор этой книги показал, что это излучение является синхротронным, т. е. обусловлено релятивистскими электронами, движущимися в магнитном поле. Излучает,

конечно, не поверхность нейтронной звезды, а ее «атмосфера», вернее - «магнитосфера», размеры которой в сотню раз больше размеров нейтронной звезды.

Таким образом, в пульсарах имеет место ускорение заряженных частиц до огромных энергий. Похоже на то, что эти частицы попадают из магнитосферы пульсара в Крабовидную туманность и обеспечивают свечение последней.

Можно было бы еще много говорить о замечательных свойствах пульсаров. Например, изучая поляризацию их радиоизлучения, как оказывается, можно определить напряженность межзвездного магнитного поля. Это, пожалуй, лучший из существующих методов определения этой важнейшей характеристики межзвездной среды. Сложнейшие вопросы ставят пульсары и перед теоретиками. Так, внутренние слои пульсара должны находиться в сверхпроводящем и в сверхтекучем состоянии. Для двух самых молодых пульсаров, находящихся в оболочках сверхновых, наблюдались внезапные «сбои» в периодах, что неизбежно должно быть связано с изменением периода вращения. Эти так называемые «звездотрясения», по-видимому, связаны с какой-то перестройкой внутренней структуры пульсаров. Их природа, как и многое другое, касающееся пульсаров, пока неизвестна. Почему, например, оптические кванты излучает только самый молодой пульсар NP 0532, находящийся в «Крабе»? Похоже на то, что генерация заряженных частиц сверхвысоких энергий должна быстро затухать со временем, но почему? В гл. 8 мы немного коснемся еще одного интересного аспекта, связанного с пульсаром в Крабовидной туманности. О другом недавно появившемся методе изучения нейтронных звезд речь будет также идти в гл. 8. А теперь мы перейдем к другой, не менее волнующей проблеме.

Еще в конце тридцатых годов была доказана теорема, согласно которой давление газа в недрах звезды, лишенной источников энергии (например, внутри нейтронной звезды), не может уравновесить гравитационное притяжение наружных слоев звезды, если масса последней превышает некоторый предел. Этот предел не так уж велик и только немногим превышает 2,5 солнечной массы.

Но ведь масса первоначально образовавшейся из облака межзвездного газа протозвезды может значительно превосходить этот предел. Что же будет тогда? До последнего времени неявно принималось, что звезда в стадии красного гиганта «сбрасывает» излишек массы тем или иным способом (см. гл. 4). Но ведь это совершенно необязательно! Звезда не живое существо, и поэтому она не может точно «помнить», сколько же именно ей надо сбросить с себя вещества, чтобы не попасть в «неприятное положение»...

А положение такой звезды, выражаясь образно, мы вполне можем назвать незавидным. Так как перепад газового давления уже не может противодействовать силе притяжения, наступит катастрофа: звезда начнет с огромной скоростью сжиматься, одновременно уплотняясь. Она будет как бы раздавлена собственным весом. За каких-нибудь несколько секунд звезда может превратиться в сверхплотную «точку». Это явление, которое уже давно занимает умы теоретиков, получило название «гравитационный коллапс».

Но сожмется ли «коллапсирующая» звезда до точечных размеров? То, что будет написано ниже, неподготовленному читателю может показаться фантастикой. И тем не менее это актуальнейшая, строго научная задача современной физики и астрофизики. Итак, звезда будет быстро сжиматься, причем ее масса будет оставаться неизменной. Очевидно, что при этом так называемая «параболическая», или, как многие говорят в последние годы, «вторая космическая», скорость будет непрерывно расти по закону $V_{\text{пар}} \propto r^{-1/2}$, где r — радиус звезды. Для поверхности Солнца параболическая скорость примерно 700 км/с. Если бы наше Солнце сжалось до таких размеров, что его радиус стал равным 3 км (при этом его средняя плотность была бы около 10^{16} г/см^3, что в 10 раз превышает плотность атомного ядра), то

параболическая скорость стала бы равной скорости света *c*. Вот тут-то и начинаются чудеса! Вступают в действие законы общей теории относительности, причем в сильнейшей степени. Прежде всего, в очень сильном гравитационном поле, как известно, течение времени замедляется. Поэтому те несколько секунд, которые требуются для катастрофического спада звезды в точку, отсчитал бы воображаемый наблюдатель, находящийся на сжимающейся звезде. Между тем при подходе к упомянутому выше критическому радиусу, для которого $V_{\text{пар}} \approx c$ (этот радиус, пропорциональный массе тела, называется «шварцшильдовским»), время по часам «земного наблюдателя» будет протекать все медленнее и медленнее и, наконец, остановится, когда звезда сожмется до этого критического радиуса.

Поясним это важное обстоятельство следующим примером. Вообразим себе астронавта, который летит в глубинах Галактики на звездолете. Улетая в космос, он обязался каждую секунду посылать на Землю радиосигнал, который принимают его оставшиеся друзья. Теперь представим себе, что он подлетает к затерявшейся в просторах Галактики «спавшейся» звезде, радиус которой равен критическому шварцшильдовскому радиусу. Он уже совсем близок к этому телу, и земные наблюдатели с удивлением и страхом замечают, что радиосигналы следуют один за другим не через секунду, а реже. Вот уже между ними проходят минуты, затем часы, годы, века. Наконец, сигналы перестают поступать совсем... А между тем астронавт по своим часам аккуратно, каждую секунду посылал сигналы!

Из этого примера, в частности, следует, что посторонний (например, земной) наблюдатель никогда не увидит, что сжимающееся тело достигло своего шварцшильдовского радиуса. Из такого тела вообще не могут выходить ни излучение, ни какие-либо частицы. Оно взаимодействует с окружающим миром только через гравитационное притяжение. Очень образно академик Я. Б. Зельдович называл такую «сколлапсировавшуюся» звезду «гравитационной могилой». В последние годы такие объекты получили не менее образное название — «черные дыры».

Живая наука дает, как мы видим, сюжеты для фантастических романов, с которыми не может сравняться самая пылкая фантазия романиста. Например, пресловутая «железная звезда» из «Туманности Андромеды» И. А. Ефремова выглядит весьма наивно рядом с вполне реальной звездой, оказавшейся в «гравитационной могиле».

Интересную аналогию можно провести между переходом от жизни к смерти для каждого индивидуума и прохождением какого-либо объекта через шварцшильдовский радиус внутрь некоторой черной дыры. Подобно тому, как с точки зрения внешнего наблюдателя последнее событие никогда не произойдет, с точки зрения индивидуума, вернее сказать, его «я», собственная смерть непредставима и в этом смысле тоже никогда не произойдет. Следует отметить, что в этой аналогии понятия «внутренний» и «внешний» как бы меняются местами. Если в «астрономическом» случае мир с его пространственно-временными соотношениями определяется вне окружающих черные дыры шварцшильдовских сфер, то в «психобиологическом» реальное сознание индивидуума находится внутри него, будучи неразрывно связанным с его «я». Автор был бы рад, если бы философы-профессионалы развили эту аналогию с позиций диалектико-материалистического учения о единстве противоположностей. Может быть, это прояснило бы некоторые до сих пор нерешенные проблемы взаимоотношения индивидуума и окружающего мира, частью которого он является. А пока как не вспомнить стихи Сельвинского, написанные лет тридцать назад, в которых развивается близкая идея:

«... Подумайте: как это хорошо...
Нам только жить! Нигде и никогда
мы не увидим собственного трупа.
Мы умираем только для других,
но для себя мы умереть не можем —...»

Пока еще детальная теория гравитационного коллапса звезды не создана. Эта теория должна учитывать и такие важные факторы, как, например, вращение звезды и, наличие на ней магнитного поля. Это очень трудная задача, но уже сейчас, например, ясно, что вращение звезды вокруг своей оси при некоторых условиях может предупредить коллапс сжимающейся звезды. По причине сохранения вращательного момента экваториальная скорость будет быстро расти, а это может привести к сплющиванию сжимающейся звезды и разрыву ее (из-за действия центробежной силы) на отдельные куски до того, как она достигнет шварцшильдовского радиуса. Поэтому достигнуть критических размеров сжимающаяся звезда может только в том случае, если ее первоначальная вращательная скорость была малой.

В принципе гравитационный коллапс может произойти не только со звездой достаточно большой массы, но и с галактическими ядрами. Об этом речь будет идти в следующей главе.

Таким образом, финальная стадия эволюции звезд, которая наступает после «выгорания» в их центральных областях ядерного горючего, существенным образом зависит от их массы. Однако при этом необходимо учитывать неизбежную потерю массы в процессе эволюции, а также вращение звезд.

Если масса звезды меньше некоторого предельного значения (которое немного больше массы Солнца), конечным этапом эволюции будет образование белых карликов, превращающихся после остывания в «черные карлики». В действительности, однако, в белые карлики могут превратиться и звезды со значительной массой. Хорошим примером сказанному является знаменитый спутник Сириуса — исторически первый открытый белый карлик. Так как сам Сириус представляет собой довольно массивную звезду спектрального класса А, то его спутник, который успел сильно проэволюционировать, превратившись в белый карлик, должен был вначале обладать еще большей массой, по крайней мере в три раза превышающей массу Солнца. Ибо время пребывания на главной последовательности тем короче, чем больше масса звезды (см. табл. 2). Так как масса белого карлика — спутника Сириуса - равна 0,9 солнечной, это может означать только одно: прежде чем превратиться в белый карлик, спутник Сириуса потерял по крайней мере 70% своей массы.

Если первоначальная масса звезды находилась в пределах 1,2 — 2,5 солнечной массы, «чистая» теория утверждает, что конечным результатом эволюции должно быть образование нейтронной звезды. И здесь, однако, как, впрочем, и всегда, реальная действительность оказалась богаче «чистой» теории. Один из двух пульсаров, отождествляемых с остатками вспышек сверхновых, несомненно образовался после вспышки сверхновой II типа. Это видно по туманности, с которой он отождествляется. Но звезды, вспыхивающие как сверхновые II типа, имеют массу, значительно превышающую 2,5 солнечной! Как же быть? Похоже на то, что здесь решающую роль играет быстрое вращение вспыхнувшей звезды. По этой причине при катастрофическом сжатии только самые внутренние области звезды, линейная скорость вращения которых незначительна, превратились в нейтронную звезду, между тем как основная масса в конце концов была выброшена в межзвездное пространство.

Ну, а как быть с финальной стадией эволюции массивных звезд? Могут ли они действительно превратиться в черные дыры? Так ли уж обязательно образование нейтронных звезд после взрывов? Ведь при гравитационном коллапсе выделяется огромная энергия, которая вполне может быть израсходована на выбрасывание вещества с большой скоростью и на его нагрев? Другими словами, могут ли в результате вспышки сверхновых в некоторых случаях образовываться черные дыры? Общее количество пульсаров в нашей Галактике таково, что позволяет сделать вывод, что почти все вспышки сверхновых приводят к образованию нейтронных звезд. Тогда возникает вопрос: а как все-таки быть с черными дырами? Где их искать?

Белые карлики были обнаружены астрономами свыше полувека назад. Нейтронные звезды (пульсары) были обнаружены около 20 лет назад. На очереди — последняя и, может быть, важнейшая проблема заключительной стадии звездной эволюции — обнаружение черных дыр. Похоже на то, что черные дыры (по крайней мере одна) уже обнаружены (см. дальше, гл. 8).

Мы теперь перейдем к совершенно другому вопросу: может ли наше Солнце вспыхнуть как сверхновая звезда? Разумеется, для проблемы дальнейшего развития жизни на Земле этот вопрос имеет очень серьезное значение: ведь такая вспышка испарит все планеты земной группы. Как же отвечает на этот вопрос современная астрофизика? Прежде всего, Солнце не может вспыхнуть как сверхновая II типа: для этого у нее слишком мала масса. Речь может идти только о вспышке Солнца как сверхновой I типа. Однако и эта участь не грозит Солнцу. Надежные расчеты показывают, что для такого взрыва масса Солнца недостаточна.

Вспышки сверхновых — довольно редкое явление. Но Галактика существует так долго, что за время ее эволюции подобных вспышек было достаточно много. Возникает интересный вопрос: были ли в течение геологической истории Земли такие эпохи, когда сверхновая вспыхивала сравнительно близко, например на расстоянии ближайших к нам звезд? Другими словами, какова вероятность того, что одна из ближайших к Солнцу звезд вспыхнет как сверхновая? Чтобы ответить на этот вопрос, мы сейчас проделаем несложный расчет.

Примем, что одна сверхновая II типа вспыхивает где-нибудь в Галактике один раз в 100 лет. Как уже говорилось, сверхновые этого типа вспыхивают в довольно тонком слое около галактической плоскости. Толщина такого слоя не превышает сотни парсек. С другой стороны, галактическая орбита Солнца целиком находится (и в прошлом находилась) в пределах этого слоя. Введем в рассмотрение сферическую область радиуса R, окружающую Солнце. Отношение объема этой области к объему всего галактического пространства, где вспыхивают сверхновые II типа, составит

$$\frac{4\pi}{3}R^3 : \pi r^2 d,$$

где r - радиус галактического диска, в пределах которого происходят вспышки, d - его толщина. Это отношение объемов представляет собой вероятность того, что при случайной вспышке одной сверхновой Солнце окажется от нее на расстоянии, меньшем R, причем R должно быть меньше d.

Если одна вспышка сверхновой происходит в среднем за T лет, то следует ожидать «близкую» вспышку один раз в течение промежутка времени

$$t_1 = \frac{3r^2 d}{4R^3}T.$$

Полагая $г = 10$ тыс. пк, $d = 100$ пк, $R = 10$ пк и $T = 100$ лет, найдем, что $t_1 = 750$ млн лет. Время г, может быть и в несколько раз меньше, если учесть, что значительная часть галактической орбиты Солнца находится в пределах спиральных ветвей, где преимущественно вспыхивают сверхновые II типа. Проделанный только что расчет показывает, что за всю историю Земли, насчитывающую около 5 млрд лет, Солнце несколько раз находилось ближе, чем на расстоянии 10 пк, от вспыхнувшей сверхновой. Что же при этом* произойдет? Если бы в такие эпохи на Земле жили разумные существа, они прежде всего увидели бы на небе необыкновенно яркую звезду. Поток излучения от нее был бы в миллионы раз больше, чем от Сириуса — самой яркой из звезд. Все же он был бы в 10 тыс. раз меньше, чем поток излучения от Солнца. Тем не менее освещенность, созданная такой звездой ночью, была бы в сотню раз больше, чем от полной Луны, и эта звезда ярко освещала бы ночной ландшафт нашей планеты.

Следует, однако, заметить, что поток излучения от вспыхнувшей звезды в ультрафиолетовой области спектра в десятки раз превосходил бы солнечный. Это вызвало бы значительную ионизацию верхних слоев земной атмосферы, однако не привело бы к катастрофическим последствиям. Дело в том, что вся ультрафиолетовая радиация сверхновой была бы полностью поглощена земной атмосферой и до поверхности Земли не дошла бы. Такая необыкновенной яркости звезда горела бы на небе несколько месяцев, постепенно угасая. Вокруг звезды образовалась бы туманность, которая, расширяясь, со скоростью несколько тысяч километров в 1 с, захватила бы через несколько сот лет значительную часть неба. Ночное небо светилось бы в линиях спектра, характерных для таких туманностей. Впрочем, это свечение было бы довольно слабым, едва видимым невооруженным глазом. Через тысячелетия скорость расширения туманности значительно замедлилась бы из-за постепенного торможения ее межзвездной средой. Солнечной системы расширяющаяся туманность достигла бы примерно через 10 тыс. лет. После этого в течение нескольких десятков тысяч лет Солнце и окружающие его планеты находились бы внутри туманности — остатка вспышки сверхновой. Одна из таких туманностей в созвездии Близнецов показана на рис. 21.

Какие можно ожидать эффекты при «погружении» Солнечной системы на столь длительное время в «радиотуманность» — остаток вспышки сверхновой? Прежде всего, плотность первичных космических лучей в окрестностях Земли увеличится во много десятков раз, так как «радиотуманности» «начинены» сверхэнергичными частицами. Космические лучи в пределах радиотуманности распределены довольно неравномерно и в отдельные периоды, длящиеся столетия, плотность космических лучей в сотни раз будет превосходить современную.

К каким же последствиям может привести существенное увеличение плотности первичных космических лучей, длящееся десятки тысяч лет? Безусловно, такое изменение окружающих земной шар условий должно иметь серьезные биологические (точнее, генетические) последствия для ряда видов животных и растений, населяющих нашу планету. Как известно, эволюция видов регулируется естественным отбором под влиянием различных физических условий окружающей среды. Однако до сих пор при анализе такой эволюции совершенно не учитывались возможные изменения со временем уровня жесткой радиации. Между тем естественный уровень радиоактивности в приземном слое воздуха и в воде является одной из причин так называемых «спонтанных мутаций» — внезапных, скачкообразных изменений различных биологических характеристик данного вида, передающихся затем по наследству. Увеличение частоты таких мутаций хотя бы в два раза может повлечь за собой для некоторых видов животных и растений серьезные генетические последствия. Из радиационной биологии известно, что частота мутаций растет при облучении животных и растений жесткой радиацией. Однако различные виды по-разному реагируют на такое облучение. Так, например, для видов с коротким временем цикла размножения в ряде случаев для возрастания частоты мутации вдвое требуется увеличение дозы облучения в сотни и даже тысячи раз. Однако для долгоживущих форм удвоение частоты мутаций требует увеличения дозы лишь в 3— 10 раз.

Согласно существующим данным, средняя для Земли радиоактивность воздуха в приземном слое составляет 0,12 Р (рентген) в год. На две трети эта радиоактивность обусловлена «земными» факторами, прежде всего радиоактивностью земной коры. Однако 0,04 Р в год дают космические лучи.

Отсюда следует, что если, например, интенсивность космических лучей повысится раз в 30, то средний уровень ионизации в приземном слое увеличится приблизительно в 10 раз. А это уже может иметь серьезные генетические последствия для различных долгоживущих видов. Особенно уязвимы высокоорганизованные, сильно специализировавшиеся виды животных со сравнительно незначительным количе-

ством особей. Для таких видов длительное, продолжающееся десятки тысяч лет повышение уровня ионизации в окружающей среде в десятки раз может повлечь за собой катастрофические последствия.

В 1957 г. автор совместно с В. И. Красовским высказал гипотезу, объясняющую хорошо известное вымирание рептилий в конце мелового периода стойким увеличением уровня космических лучей в десятки, а может быть, и сотни раз. Это могло произойти, если «рядом», на расстоянии 5—10 пк от Солнца, какая-либо из звезд вспыхнула как сверхновая.

Позже мы рассмотрим другие гипотезы о причинах массового вымирания рептилий за Земле (см. конец гл. 14).

Не для всех видов живых существ длительное увеличение уровня жесткой радиации должно быть губительным. Вполне могло случиться, что такое облучение для ряда видов оказалось бы фактором, благоприятствующим эволюции. Высокий уровень радиоактивности, обусловленный попаданием Солнечной системы в радиотуманность — остаток достаточно близко вспыхнувшей сверхновой, мог быть мощным фактором, стимулирующим само возникновение жизни из неживой материи. Хотя изучение вопроса о происхождении жизни на Земле в последние годы значительно продвинулось, окончательного решения этой важнейшей и вместе с тем труднейшей проблемы пока еще нет. В такой обстановке привлечение новых идей и представлений может принести только пользу.

Представляется возможным, что вызванный космическими обстоятельствами высокий уровень радиоактивности, имевший место в эпоху, отделенную от нас несколькими миллиардами лет, мог стимулировать образование из простых органических соединений сложных комплексов, из которых могла развиться жизнь на Земле.

Таким образом, вспышки сверхновых звезд не только играют огромную роль для возникновения и эволюции жизни во Вселенной (образование тяжелых элементов, уровень жесткой радиации, обусловливающий мутации), но и могут быть первопричиной образования живой субстанции из мертвой. Приходится только удивляться, от какого сложнейшего сплетения различных независимых обстоятельств может зависеть возникновение и развитие жизни во Вселенной.

В связи с затронутым вопросом остановимся еще на одном любопытном обстоятельстве. Уже свыше 30 лет в наблюдаемой картине распределения по небу яркости космического радиоизлучения имеется одна пока необъяснимая деталь. Яркость неба в радиолучах имеет явно выраженную тенденцию концентрироваться к центральной линии Млечного Пути и к галактическому ядру (в созвездии Стрельца). Однако это правило нарушает огромный, яркий (в радиолучах, разумеется) «язык», тянущийся по небу почти перпендикулярно к Млечному Пути. Он начинается в области Млечного Пути, удаленной от галактического центра приблизительно на 30°, и простирается почти до северного галактического полюса. На рис. 28 схематически приведена карта неба, на которой нанесены кривые, соединяющие точки небосвода, где «радиояркость» одинакова. Такие кривые (называемые «изофотами») дают наглядное представление о распределении яркости радиоизлучения по небу.

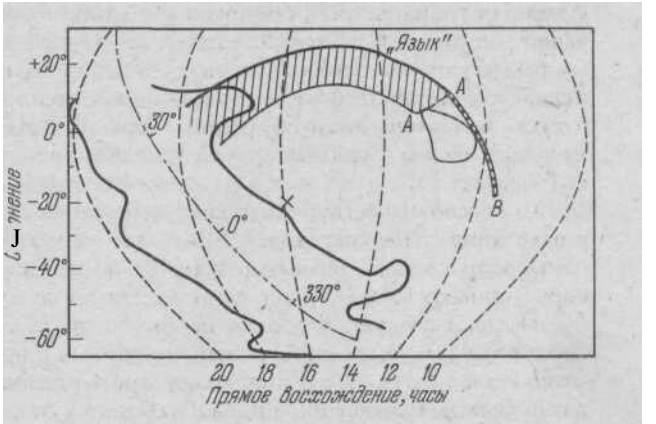

Рис. 28. Изофоты радиоизлучения Галактики (схема)

На рисунке отчетливо видна концентрация яркости к полосе Млечного Пути. В то же время видно, что левее галактического центра изофоты радиоизлучения круто поднимаются вверх. Это и есть описанный «язык».

Среди гипотез, которыми в разное время пытались объяснить природу этой аномалии в распределении яркости радиоизлучения, особого внимания заслуживает гипотеза видного английского • радиоастронома Брауна. Согласно этой гипотезе, «язык» — это радиоизлучающая оболочка сверхновой, вспыхнувшей очень близко от нас несколько десятков тысяч лет назад. Так как эта оболочка удалена на расстояние всего лишь 30 — 40 пк, то при ее линейных размерах 30—40 пк она должна занимать огромную часть небосклона. Сказанное поясняет схема, приведенная на рис. 29. Эта гипотеза сталкивается с трудностью: никаких следов оптически наблюдаемой туманности, которой должна быть расширяющаяся оболочка сверхновой, в этой части неба нет. Кроме того, недавно в южной части неба как будто бы была обнаружена деталь радиоизлучения Галактики, весьма напоминающая «язык». Присутствие в близких окрестностях Солнца нескольких остатков вспышек сверхновых, вспыхнувших за последние несколько десятков тысяч лет, представляется весьма маловероятным. Если, несмотря на все указанные выше трудности, дальнейшие исследования подтвердят гипотезу Брауна, то через несколько тысяч лет плотность космических лучей в пределах Солнечной системы увеличится раз в 10. Может быть, даже и нынешняя плотность космических лучей у Земли является аномально высокой, нетипичной для «средних» периодов эволюции жизни на Земле...

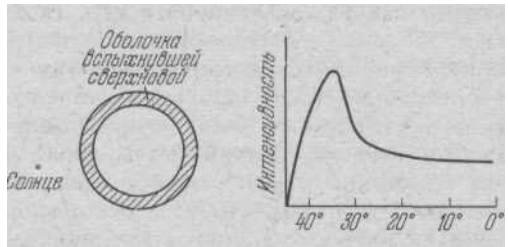

Рис. 29. Схема, поясняющая вспышку сверхновой звезды около Солнца. Справа дано распределение радиояркости оболочки в зависимости от углового расстояния до ее центра

Можно надеяться, что в ближайшем будущем эта увлекательная загадка космической физики будет решена методами рентгеновской, радио- и оптической астрономии *).

<> Частота вспышек сверхновых по соседству с данной звездой может заметно увеличиться, если звезда проходит через спиральный рукав Галактики. Спиральные рукава представляют собой области повышенной концентрации звезд и межзвездной среды. Они вращаются вокруг центра Галактики с постоянной угловой скоростью, не зависящей от расстояния до него. В то же время угловая скорость орбитального движения звезд в Галактике меняется *jc* расстоянием *R* от центра приблизительно обратно пропорционально *R*. В Галактике имеется коротационная окружность, на которой обе скорости равны. Интересно, что Солнце находится как раз на этой окружности. По-видимому, за время существования Галактики оно не более чем один раз прошло через спиральный рукав. Солнце, так же как и другие звезды, находящиеся вблизи коротационной окружности и расположенные вне спиральных рукавов, относительно более свободно от катастрофического воздействия вспышек сверхновых. Л. С. Марочник и Л. М. Мухин выдвинули гипотезу, что коротационная окружность может бытгь своего рода «поясом жизни» в нашей и других галактиках, в котором наиболее вероятно встретить обитаемые, планеты, похожие на нашу Землю <>.

*) Недавно было показано, что в области «языка» наблюдается мягкое рентгеновское излучение повышенной интенсивности. Так как такое излучение характерно для старых оболочек сверхновых звезд, то гипотеза Брауна тем самым получила серьезное обоснование.

6. Об эволюции галактик

В гл. 4 рассматривался вопрос об эволюции звезд. Там было рассказано, в частности, что красные гиганты «сбрасывают» свои наружные оболочки, постепенно рассеивающиеся в межзвездном пространстве. Остается очень плотная горячая звезда, которая, остывая, становится сначала белым, а в конце концов — «черным» карликом. Все же в процессе эволюции звезда «возвращает» в межзвездное пространство значительную часть своей массы. Из этого газа будут образовываться более молодые звезды, которые в свою очередь также будут эволюционировать описанным образом. Следует еще раз подчеркнуть, что за время существования Галактики только сравнительно массивные звезды успели пройти весь свой эволюционный путь.

При кругообороте вещества в Галактике (по схеме «межзвездный газ --> -->звезды --> звезды + межзвездный газ») значительная часть его остается в звездном состоянии в недрах «мертвых» белых карликов, нейтронных звезд и, возможно, черных дыр. Кроме того, из-за ограниченности возраста Галактики звезды, образовавшиеся даже в самую раннюю эпоху ее существования и имеющие массу меньше солнечной, еще не успели «сойти» с главной последовательности. Следовательно, они даже «частично» не успели вернуть в межзвездное пространство затраченное на их образование вещество. Из сказанного следует, что количество межзвездной среды в Галактике должно по мере ее развития убывать. Это важный вывод о направлении развития нашей Галактики. Та же тенденция в развитии должна быть и у остальных звездных систем.

В процессе кругооборота межзвездного газа непрерывно меняется его химический состав — он «обогащается» гелием и тяжелыми элементами. Прежде чем вернуться в межзвездную среду, газ длительное время находился в недрах звезд при достаточно высоких температуре и давлении. В нем происходили термоядерные реакции водородные и гелиевые. По этой причине химический состав его медленно менялся: водород постепенно «выгорал», количество гелия росло, возрастало также количество тяжелых элементов. Последние будут образовываться из-за реакции

$$3\,{}^{4}\mathrm{He} \rightarrow {}^{12}\mathrm{C},\quad {}^{12}\mathrm{C} + {}^{4}\mathrm{He} \rightarrow {}^{16}\mathrm{O}$$

и дальнейших реакций ${}^{12}\mathrm{C}$ и ${}^{16}\mathrm{O}$ с протонами и нейтронами. При таких реакциях будут преимущественно образовываться изотопы ${}^{13}\mathrm{C}$ и ${}^{17}\mathrm{O}$.

Однако необходимо подчеркнуть, что самые тяжелые элементы этим способом «постепенного наращивания» образоваться не могут. Дело в том, что по мере такого «роста» ядер путем присоединения к ним новых нуклонов они с неизбежностью должны стать неустойчивыми ядрами радиоактивных изотопов некоторых элементов. Эти ядра распадутся до того, как к ним будет присоединен очередной нуклон. Тем самым дальнейший процесс «утяжеления» ядра путем последовательного присоединения нуклонов будет остановлен.

Где же могут образовываться сверхтяжелые элементы? По современным представлениям «тиглем», в котором «варятся» эти элементы, могут быть вспышки сверхновых. По-видимому, при взрыве такой звезды происходят цепные реакции, сопровождающиеся образованием весьма большого количества нейтронов. Не исключено, что столь большое количество нейтронов обеспечит последующий захват ядрами двух и более нейтронов, так что промежуточные ядра не успевают распасться. После того как такие ядра быстро захватят очередной нейтрон, они станут устойчивыми, и дальнейший рост их будет уже идти без помех. Так могут образовываться элементы вплоть до трансурановых.

В результате вспышек сверхновых в межзвездное пространство непрерывно поступают тяжелые и сверхтяжелые элементы, которые постепенно перемешиваются

с межзвездным газом. Мы видели, что сверхновые II типа — это молодые массивные звезды. Так как скорость образования таких звезд из межзвездной среды сильно зависит от плотности последней (имеются некоторые основания полагать, что она пропорциональна кубу плотности), то мы приходим к следующему интересному выводу.

Раньше, когда в Галактике содержание межзвездного газа было значительно больше, чем сейчас, и скорость процесса образования звезд из него была много выше современной, сверхновые звезды вспыхивали гораздо чаще. Специально выполненные расчеты показывают, что когда возраст Галактики был меньше 1 млрд лет, частота вспышек сверхновых была примерно в 100 раз больше, чем сейчас.

Учитывая это обстоятельство, можно сделать вывод, что за всю историю развития Галактики в ней вспыхнуло примерно 1 млрд сверхновых звезд. Этого количества как будто бы достаточно для объяснения наблюдаемого содержания тяжелых и сверхтяжелых элементов в межзвездном газе и образовавшихся из него в разное время звезд «второго поколения». В то же время звезды, образовавшиеся в эпоху формирования Галактики (это субкарлики и звезды, входящие в состав шаровых скоплений, массы которых меньше одной солнечной), сохранили, по крайней мере в своих наружных слоях, «первоначальный» химический состав межзвездной среды, из которой они образовались. И действительно, у таких звезд «первого поколения» относительное содержание тяжелых элементов в десятки раз меньше, чем у Солнца, которое является звездой «второго поколения». Таким образом, наблюдаемые характерные различия в химическом составе звезд главной последовательности и субкарликов, о которых шла речь в гл. 2, находят естественное объяснение в рамках общей картины непрерывного обогащения вещества Галактики тяжелыми элементами.

До сих пор речь шла преимущественно о нашей звездной системе Галактике. Общие сведения о нашей Галактике, а также о других галактиках уже излагались в первой главе. Здесь мы остановимся на морфологических различиях между галактиками. Подобно тому как была в свое время разработана классификация звезд, основывающаяся на их спектрах и светимостях и нашедшая свое выражение в знаменитой диаграмме Герцшпрунга — Рессела (см. рис. 15—17) был классифицирован и мир галактик. Известно, что классификация — это первый шаг к познанию закономерностей природы. Вспомним, например, Линнеевскую классификацию животного и растительного мира. Последующее развитие науки приводит к более глубокому пониманию чисто эмпирической классификации. Например, только спустя ~40 лет был правильно понят эволюционный смысл диаграммы Герцшпрунга — Рессела.

Общепринятая классификация галактик была предложена великим американским астрономом Хабблом еще в 20-х годах нашего столетия. Он же немного позже открыл знаменитое «красное смещение» в спектрах галактик (см. гл. 1), вытекающее из развитой несколькими годами раньше космологической теории выдающегося советского математика А. А. Фридмана. Таким образом, не будет преувеличением сказать, что Хаббл открыл Метагалактику — вот уже действительно самое б о л ь ш о е открытие в истории науки...

Согласно Хабблу галактики делятся на три основных типа: а) эллиптические, б) спиральные, в) неправильные. Фотографии типичных представителей всех классов галактик приведены на рис. 6. Эллиптические галактики («Е-галактики») представляют собой сфероиды с разной степенью сплюснутости и с большой концентрацией яркости к центру. Как показали последующие спектроскопические исследования, Е-галактики состоят из огромного количества старых звезд малой массы с избыточным содержанием водорода. Такой же природы звезды, образующие сферическую составляющую нашей Галактики (см. гл. 1).

Спиральные галактики («S-галактики») наряду со сферической звездной составляющей характеризуются наличием нескольких спиральных рукавов неправильной, клочковатой структуры. Хотя суммарная масса этих рукавов в сотни раз меньше массы «сферической составляющей» соответствующей галактики, они резко выделяются из-за присутствия значительного количества молодых массивных звезд высокой светимости. Эти звезды непрерывно образуются из облаков межзвездной газопылевой среды, концентрирующейся к плоскости, в которой лежат спиральные рукава. Заметим, что у Е-галактик содержание межзвездного газа в сотни и тысячи раз меньше, чем у S-галактик. Поэтому процесс звездообразования в Е-галактиках практически давно уже прекратился.

Наконец, неправильные галактики характеризуются своей нерегулярной формой и сравнительно малой массой. Кстати, по своей массе (определяемой количеством находящихся в них звезд) галактики различаются в весьма широких пределах. Наша Галактика с ее массой в 10^{11} солнечных масс принадлежит к числу гигантов. Туманность Андромеды (М 31), как уже говорилось в гл. 1, имеет приблизительно в три раза большую массу. Пожалуй, самой большой из известных масс обладает знаменитая галактика М 87, находящаяся в центральной части скопления галактик в созвездии Девы. По-видимому, масса этой галактики в сотню раз превышает массу нашей Галактики. На другом полюсе находятся карликовые галактики, массы которой ~ 10^7 солнечной, что только в несколько десятков раз больше массы шаровых скоплений.

Наряду с массой важнейшей характеристикой галактики является мера ее осевого вращения — вращательный момент на единицу массы. Мера вращения у Е-галактик гораздо меньше, чем у S-галактик. Очень медленное вращение Е-галактик не может объяснить их наблюдаемую эллиптичность, т. е. сплюснутость, подобно, например, тому, как действием центробежной силы можно объяснить сплюснутость земного шара у полюсов. По-видимому, сплюснутость Е-галактик объясняется самим характером звездных движений в таких галактиках. В противоположность этому влияние центробежной силы у сравнительно быстро вращающихся рукавов S-галактик весьма существенно. Следует подчеркнуть, что различия между Е- и S-галактиками не являются эволюционным эффектом. Другими словами, галактики рождаются либо как S, либо как Е, и в процессе эволюции тип галактики сохраняется. Структура галактики определяется начальными условиями ее образования (например, характером вращения того сгустка газа, из которого она образовалась).

В настоящее время имеются уже довольно хорошо разработанные модели превращения огромного облака газа, сжимающегося в результате действия закона всемирного тяготения сперва в протогалактику, а потом в галактику. Построение таких моделей оказалось возможным только благодаря введению в практику исследований быстродействующих электронно-вычислительных машин (ЭВМ). В самом начале следует представить себе огромный газовый шар, сжимающийся по закону свободного падения к центру. Первоначальная температура этого газа могла быть достаточно высокой, быстро уменьшалась, причем из-за гравитационной неустойчивости образовывались больших размеров сгущения, эволюционировавшие в облака. Благодаря беспорядочным движениям, эти облака сталкивались, что вело к их дальнейшему уплотнению. На этом довольно раннем этапе из облаков стали образовываться звезды «первого поколения». Наиболее массивные из них успевали проэволюционировать задолго до того, как прекратилось сжатие протогалактик. Взрываясь как сверхновые, они обогащали межзвездную среду металлами. По этой причине звезды следующих поколений имели уже другой химический состав. Это привело, например, к тому, что звезды вблизи центра эллиптических галактик более богаты тяжелыми элементами, чем находящиеся на периферии, что как раз и наблюдается.

Обрисованная сейчас картина эволюции относится к Е-галактикам. В прото- S-галактиках звездообразование шло медленнее. Поэтому в них смог образоваться газовый диск довольно значительной массы. Этому способствовало также довольно быстрое вращение прото- S-галактик, препятствующее стеканию всего газа в область ядра и превращению его там в звезды. Другими словами, вращение протогалактик уменьшает скорость звездообразования.

Резюмируя, мы можем сказать, что разные типы галактик происходят от протооблаков с разными плотностями и разным разбросом скоростей внутренних движений. В частности, Е-галактики образовались из более плотных облаков газа, находящегося в состоянии довольно быстрого беспорядочного движения. Этим, в частности, объясняется, почему «богатые», сравнительно плотные скопления галактик содержат преимущественно Е-галактики, в то время как в «бедных» разреженных скоплениях наблюдаются преимущественно S-галактики. Когда же происходил важнейший процесс превращения огромных сжимающихся облаков газа сначала в протогалактики, а затем в галактики? Несомненно, это было очень давно — даже по астрономическим масштабам. Возраст галактик (во всяком случае, их подавляющего большинства) практически равен возрасту Вселенной. Это означает, что галактики образовались тогда, когда Вселенная была совсем еще юной. Ниже мы увидим, что величина красного смещения для наиболее удаленных из наблюдаемых объектов $\frac{\lambda}{\lambda_0} = 1 + z = 4{,}5$ (λ — измеренная длина волны какой-нибудь спектральнойлинии, λ_0 — ее лабораторное значение). С другой стороны, имеет место простое соотношение,

$$\frac{R}{R_0} = 1 + z,$$

где R_0 и R — характерные размеры расширяющейся Вселенной в эпоху, когда была излучена наблюдаемая спектральная линия, и-в современную эпоху. Мы видим, что в ту отдаленную от нас эпоху размеры расширяющейся Вселенной были приблизительно в пять раз меньше, чем сейчас. А ведь галактики образовались еще раньше. Когда же?

В следующей главе мы увидим, что при $z \sim 1000$ никаких галактик во Вселенной еще не было. Значит, скорее всего, они образовались где-то между $z = 10$ и $z = 100$. Средняя плотность Вселенной тогда была в $10^3 - 10^6$ раз больше современного значения. И вообще Вселенная была совсем непохожа на нынешнюю. И едва ли не величайшим достижением науки является то, что мы имеем сейчас реальнейшую возможность «заглянуть» в далекое прошлое Вселенной, когда она была совсем еще юной. Об этом будет идти речь в следующей главе.

Описанная схема эволюции звездных систем по мере дальнейшего развития астрономии будет уточняться и все более и более конкретизироваться. Многие вопросы, сюда относящиеся, еще далеко не ясны и ожидают своего решения. И прежде всего — это проблема галактических ядер. До сравнительно недавнего времени на эти самые центральные области спиральных и эллиптических звездных систем-галактик не обращалось должного внимания. Астрономы предполагали', что это — просто небольшие области с весьма высокой плотностью звезд. Пожалуй, первый, кто обратил внимание на нетривиальные, качественно своеобразные свойства галактических ядер, был академик В. А. Амбарцумян. В последние годы накопился огромный наблюдательный материал, касающийся галактических ядер, который действительно показывает, что они играют огромную роль в эволюции галактик. Самым удивительным результатом этих наблюдений, которые проводились во всем диапазоне шкалы электромагнитных волн — от радио до рентгеновских, явилось открытие активности ядер. Это открытие (как и всякое открытие) было неожиданным. Предполагалось всегда, что галактические ядра — это просто скопле-

ния сотен миллионов звезд, погруженных в межзвездную среду. При такой картине, конечно, не приходится ожидать, что мощность излучения ядра на какой-либо волне может заметно измениться за сколь угодно длинный промежуток времени наблюдений (например, сотню лет). Меняться может излучение какой-либо одной звезды, но усредненная по гигантскому количеству звезд мощность излучения должна, казалось бы, оставаться постоянной. И вот оказывается, что как оптическое, так и особенно радиоизлучение некоторых галактических ядер может заметно измениться за несколько месяцев и даже недель! Это означает, что в течение сравнительно короткого промежутка времени по каким-то причинам освобождается гигантское количество энергии, в сотни раз превышающее то, которое освобождается при вспышках сверхновых. Такие ядра получили название «активных», а совокупность процессов, по-видимому, взрывного характера, приводящая к освобождению столь огромного количества энергии, получила несколько неопределенное название «активность» ядер. По существу, природа активности ядер галактик еще не понята, хотя отдельные стороны этого грандиозного явления сейчас уже можно осмыслить. Следует подчеркнуть, что активность наблюдается только у весьма незначительной части ядер галактик. Подавляющее большинство их (в частности, ядро нашей Галактики) излучают строго постоянно и вполне заслужили название «спокойных». Наблюдения говорят, однако, о том, что это «спокойствие» не продолжается вечно. Вулканы на Земле в промежутки времени между извержениями тоже можно считать спокойными... Точно так же и галактические ядра после длительного периода «спокойствия» (исчисляемого, может быть, промежутками времени в десятки миллионов лет) испытывают сравнительно кратковременные, длительностью в тысячи и десятки тысяч лет, периоды активности. Таким образом, явление активности ядер носит «повторяющийся» характер. Однако следы кратких, но бурных периодов активности галактических ядер можно наблюдать длительное время после того, как активная «вспышка» закончилась.

Особенно впечатляюще активность ядер проявляет себя в радиодиапазоне. Еще в 1946 г. на заре радиоастрономии была открыта первая галактика, являющаяся исключительно мощным источником радиоизлучения. Это — знаменитый объект Лебедь А. В настоящее время число известных занесенных в каталог радиоисточников, находящихся в Метагалактике, превосходит уже 10000. Все они являются галактиками, по каким-то причинам сильно излучающими в радиодипазоне. Такие объекты получили название «радиогалактик». Наша Галактика также излучает радиоволны, но мощность этого излучения («радиосвегимость») у нее в десятки и сотни тысяч раз меньше, чем у радиогалактик. Вообще следует заметить, что все галактики излучают в той или иной степени радиоволны. У радиогалактик, однако, этот процесс выражен особенно сильно.

Как надежно установлено, непосредственной причиной радиоизлучения и «нормальных» галактик (вроде нашей), и «радиоглактик» является наличие там огромного количества космических лучей, которые движутся в более или менее сильных межзвездных магнитных полях. Центральным вопросом является происхождение этих космических лучей. Если в нашей Галактике они образуются при «расплывании» в межзвездной среде туманностей — остатков вспышек сверхновых (которые, как мы видели в предыдущей главе, «начинены» космическими лучами), то в случае радиогалактик дело обстоит иначе. Сверхновых звезд там явно не хватает для того, чтобы образовать очень уж большое количество космических лучей. Последние образуются при гораздо более мощных процессах взрывного характера, происходящих в ядрах в периоды их высокой активности. Обычно релятивистские частицы выбрасываются из ядер в виде двух огромных облаков, разлетающихся в разные стороны и сравнительно быстро (за «какие-нибудь» сотни тысяч лет) покидающих пределы галактики (см. рис. 33 в следующей главе). В конце концов они рассеиваются в межгалактическом пространстве. Наблюдаются случаи, когда около

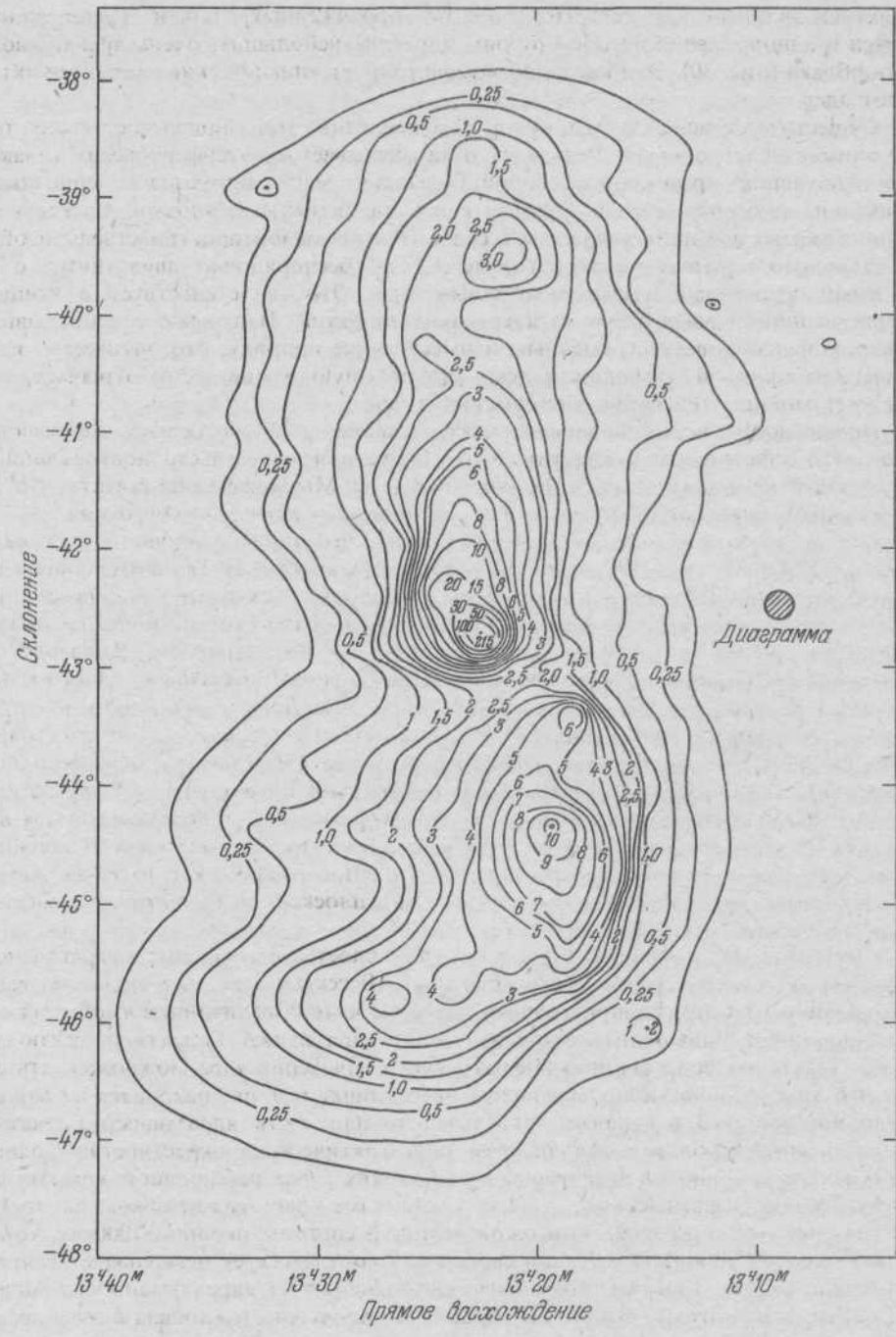

Рис. 30. «Радиоизображение» галактики NGC 5128

галактики видны два «старых», весьма протяженных, почти расплывшихся облака и одновременно по обе стороны ядра два небольших, очень ярких, «молодых» облака (рис. 30). Это наглядно демонстрирует «циклический» характер активности ядер.

Существует класс галактик, который в последние годы привлекает к себе особое внимание астрономов. Речь идет о так называемых «сейфертовских галактиках». Последние представляют собой более или менее нормальные спиральные галактики, но только с очень яркими и весьма активными ядрами. Спектры последних указывают на наличие там в сравнительно малой пространственной области довольно плотных облаков горячего газа, беспорядочно движущихся с огромными скоростями в несколько тысяч км/с. Это свидетельствует о мощном выбрасывании газовых струй из ядер таких галактик. Излучение с непрерывным спектром часто бывает переменным и имеет ту же природу, что оптическое излучение Крабовидной туманности (см. предыдущую главу). Это означает, что там идет мощная генерация космических лучей.

Примерно 1 % всех спиральных галактик является сейфертовским. Все говорит о том, что сейфертовские галактики — это более или менее часто повторяющийся этап в развитии нормальных спиральных галактик. Мы можем еще сказать, что это нормальные галактики, у которых ядра находятся в активном состоянии.

Вполне возможно и даже весьма вероятно, что много миллионов лет назад ядро нашей Галактики было «сейфертовским», т. е. активным. Так как Солнце и вся наша планетная система находятся очень близко от галактической плоскости, где много космической пыли, мы не можем методами оптической астрономии наблюдать ядро нашей Галактики. Однако в радио- и инфракрасном диапазоне это оказывается возможным. На рис. 31 приведено «радиоизображение» области галактического центра. Компактный источник размерами в 10 секунд дуги в центре рис. 31 и есть ядро нашей Галактики. Так как оно находится от нас на расстоянии около 30000 световых лет, его линейные размеры оказываются меньше одного парсека. Недавние радиоастрономические наблюдения показали, что в центре ядра имеется еще меньшее образование, размеры которого меньше нескольких тысячных парсека. По всем признакам в настоящее время ядро нашей Галактики «спокойно», хотя следы его довольно высокой активности в прошлом можно и сейчас наблюдать в виде газовых струй, поднимающихся над плоскостью Галактики на расстояние в несколько сотен парсек.

Интересно, что галактическое ядро также является источником инфракрасного излучения. Угловые размеры этого источника 10 секунд дуги, т. е. такие же, как и у совпадающего с ним радиоисточника. Из-за огромной величины поглощения света межзвездной пылью оптическое излучение ядра нашей Галактики наблюдать нельзя. Тем не менее из анализа инфракрасного излучения ядра можно сделать вывод, что там, в области поперечником всего лишь в 1 пк, находится несколько миллионов звезд. Это означает, что звездная плотность ядра нашей Галактики в десятки миллионов раз больше, чем в «галактических» окрестностях Солнца!

В центре туманности Андромеды в оптических лучах наблюдается компактный объект с угловыми размерами 1" x 1,5". Его видимая звездная величина около 12^m. Так как расстояние до этой гигантской звездной системы около 700000 пк, то линейные размеры ее ядра 3 x 5 пк, а светимость соответствует нескольким десяткам миллионов Солнц. Заметим, что оптические наблюдения ядра туманности Андромеды возможны потому, что ее экваториальная плоскость наклонена к лучу зрения под большим углом, так что протяженность поглощающего свет слоя межзвездной пыли сравнительно невелика. Между тем из-за того, что Солнце находится очень близко от галактической плоскости, к которой концентрируется межзвездная пыль, излучение от центра нашей Галактики проходит через огромную толщу поглощающего свет вещества.

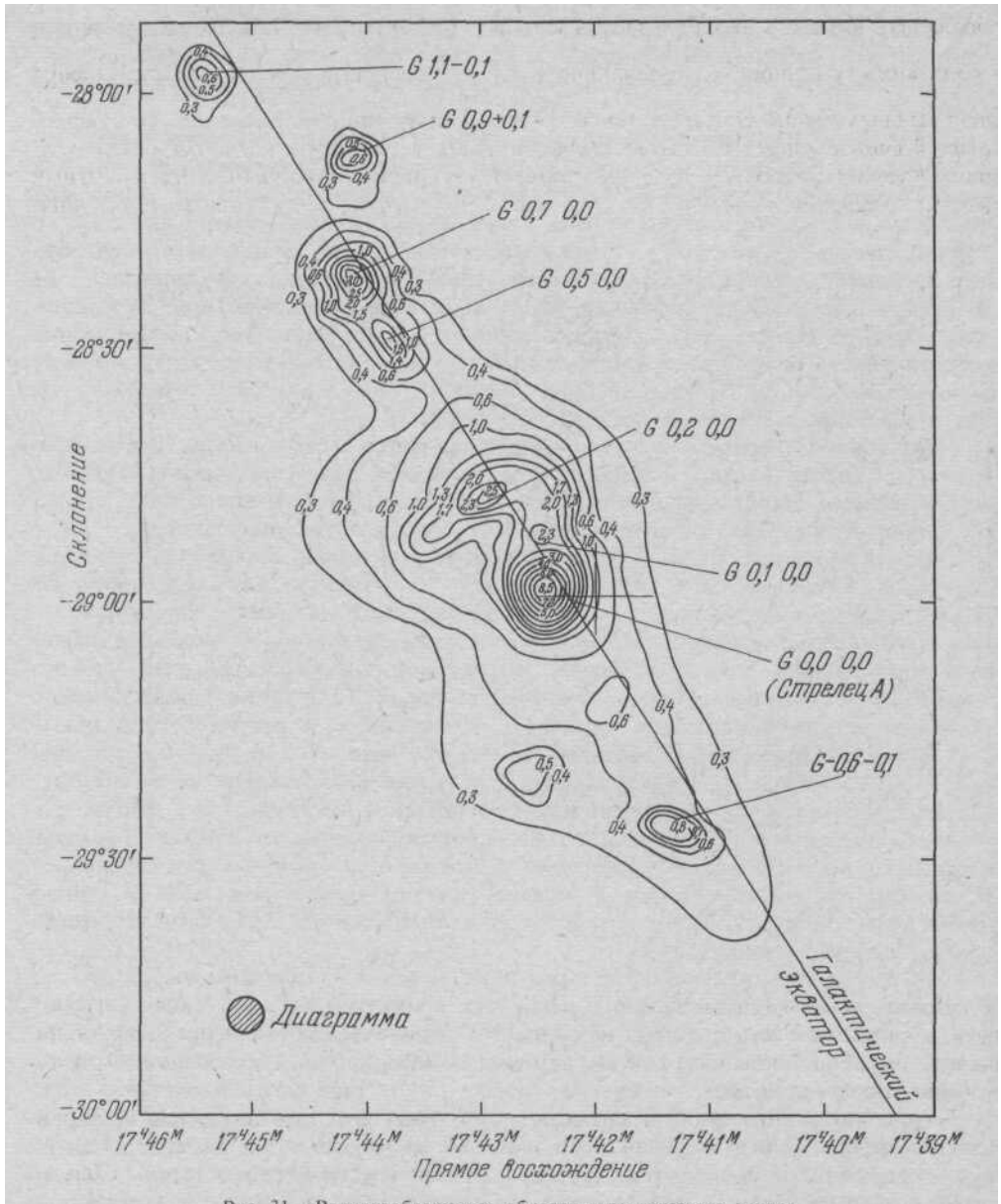

Рис. 31. «Радиоизображение» области галактического центра

В 1963 г. были обнаружены метагалактические (т. е. расположенные за пределами нашей Галактики) объекты нового типа. Это открытие было сделано голландским астрономом Маартеном Шмидтом, работающим в Калифорнии. Указанные объекты имеют звездообразный вид и некоторые из них еще раньше были отождествлены с радиоисточниками весьма малых угловых размеров. Спектр этих «квазизвездных объектов», или, как их сейчас повсеместно называют, «квазаров» состоит из ярких линий излучения на «непрерывном» фоне. Совершенно неожиданно Шмидт отождествил их с обычными линиями водорода, кислорода и магния, но только сильно смещенными по спектру в красную сторону. Если через $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$

обозначить разность наблюдаемой длины волны и измеренной в лаборатории или в «близких» туманностях, то величина $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ характеризует красное смещение спектральных линий. Она одинакова для всех линий данного источника. Для первого из исследованных Шмидтом квазаров z = 0,36. В дальнейшем было открыто много (несколько сотен) подобных объектов, причем наибольшее из известных красных смещений z = 4. Эта величина фантастически велика — ничего подобного

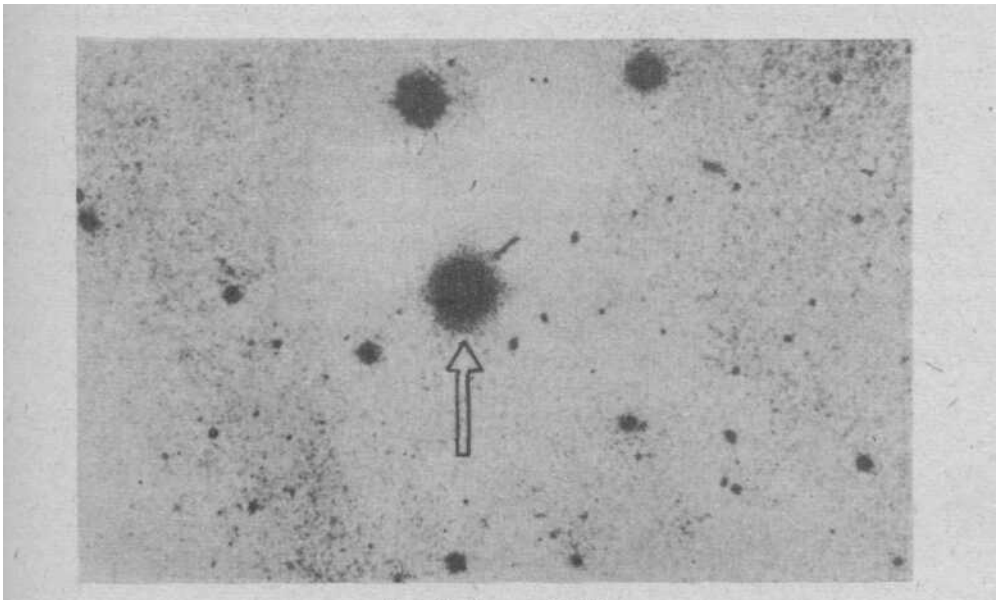

Рис. 32. Квазар 3С 273

до этого астрономы не обнаружили ни у одного небесного светила! Из определения z следует, что $\frac{\lambda}{\lambda_0} = 1 + z$. А это означает, что в спектрах квазаров наблюдаются далекие ультрафиолетовые линии, из-за огромного красного смещения «съехавшие» в видимую часть спектра. Если бы не такое красное смещение, эти линии никогда бы не наблюдались, так как земная атмосфера полностью поглощает ультрафиолетовое излучение.

Теперь уже мало кто сомневается, что причиной красного смещения квазаров является эффект Доплера. Следовательно, все квазары удаляются от нашей Галактики с огромными скоростями, вплоть до 290 тыс. км/с, т. е. вполне сравнимыми со скоростью света! Эти огромные скорости связаны с расширением Вселенной (см. следующую главу).

Так как скорость удаления какого-нибудь объекта, обусловленная красным смещением, тем больше, чем объект более удален, то из огромной величины красных смещений квазаров следует, что они от нас неимоверно удалены, значительно дальше, чем даже самые удаленные из наблюдаемых галактик. Если при таком удалении мы все же их можем наблюдать, то это означает, что их светимости во много десятков раз превосходят светимости даже самых больших галактик. Ведь мощные маяки видны с очень больших расстояний!

Всего удивительнее то, что яркость квазаров (в оптическом диапазоне) меняется. Это означает, что квазары не могут быть объектами, сходными с галактиками,

т. е. состоящими из сотен или тысяч миллиардов звезд. Скорее они родственны галактическим ядрам, мощность излучения которых, как мы видели, довольно быстро меняется. Есть, однако, разница в масштабе явления: мощность излучения квазаров превосходит мощность излучения сейфертовских ядер в тысячи раз! Из того факта, что за какую-нибудь неделю квазар заметно меняет свой блеск (за счет непрерывного спектра, так как интенсивность его линий излучения остается неизменной), следует простой, но очень важный вывод, что линейные размеры его излучающей области не превосходят нескольких световых недель, т. е. близки к сотой доле парсека, между тем как размеры галактик исчисляются многими тысячами парсек. И такой ничтожный по астрономическим масштабам объем излучает энергию в сотни раз больше, чем какая-нибудь гигантская звездная система типа нашей Галактики! Это указывает на грандиозность тех физических процессов, которые там происходят.

Сейчас в общем ясно, что имеется непрерывная последовательность компактных объектов, идущая от ядер нормальных галактик, через ядра сейфертовских галактик, радиогалактик к квазарам, где действуют какие-то сходные, а скорее всего — одинаковые физические процессы, отличающиеся лишь масштабом энерговыделения. Кстати заметим, что, если отвлечься от красного смещения, спектры квазаров удивительно похожи на спектры сейфертовских ядер. И там, и тут мы имеем дело с быстрыми движениями облаков горячего газа. Однако в квазарах масса этого газа достигаЪг миллионов солнечных масс, что в тысячи раз больше, чем у сейфертовских ядер. Имеются и другие общие черты. Как некоторые квазары, так и некоторые сейфертовские ядра характеризуются меняющимся со временем довольно мощным радиоизлучением *). Из характера изменений со временем на разных частотах радиодиапазона можно сделать вывод, что в обоих случаях наблюдаются выбрасывания облаков космических лучей, которые довольно быстро расширяются.

Итак, квазары — это что-то похожее (или даже тождественное) на «сверхмощные» галактические ядра. Хотя в настоящее время мы еще очень далеки от понимания их природы, кое-какие соображения по этому поводу можно уже высказать.

Прежде всего обращают на себя внимание крайне малые размеры области, где сосредоточена первопричина самого феномена ядра галактики. Так, например, у нашей Галактики размеры самого центрального источника радиоизлучения не превосходят нескольких тысячных парсека. Возможно, что эти размеры не превышают радиус орбиты Юпитера, т. е. 10^{14} см. Несомненно, что наблюдаемое радиоизлучение вызывается потоками электронов очень высоких энергий, движущихся в магнитном поле. Из наблюдаемой мощности этого излучения следует, что ежесекундно в этой малой области выделяется до 10^{40} эргов энергии в форме космических лучей. Это в миллион раз больше мощности солнечного излучения! Откуда же берется эта энергия, что это за могучий ускоритель там работает?

Нельзя исключить, что ядро нашей Галактики — это одна черная дыра с огромной массой, в миллионы раз превышающей массу Солнца, либо множество менее массивных черных дыр, движущихся в этой малой области. Заметим, кстати, что если в центре нашей Галактики находится одна черная дыра с массой в миллион солнечных масс, ее размеры будут больше радиуса Солнца лишь в 4 раза.

На гигантскую центральную черную дыру непрерывно натекает межзвездный газ. Совершенно так же, как в случае звездной черной дыры Лебедь X-1 (см. гл. 8) газ образует быстро вращающийся диск и постепенно падает в «дыру», выделяя при этом огромное количество энергии.

*) Так же как и ядра галактик, далеко не все квазары активны, т. е. меняют свои свойства со временем.

Черная дыра в центре нашей Галактики — сравнительно скромное образование. У других галактик и квазаров массы черных дыр могут быть в десятки тысяч раз больше.

Наблюдаемая активность галактических ядер связана с неравномерностью выпадания на соответствующие «черные дыры» окружающего газа.

Следует подчеркнуть, что пока еще «черно-дырная» теория галактических ядер является только гипотезой, правда, весьма правдоподобной. Будем надеяться, что скоро эта важнейшая проблема астрономии будет решена.

Многое, может быть, очень важное, остается пока загадочным и непонятным. Давно уже, например, удивляет тот факт, что квазары определенно избегают скоплений галактик, между тем как по крайней мере 90% всех галактик сосредоточены в скоплениях. Имеются и другие проблемы, еще ждущие своего решения.

В заключение этой главы заметим, что для проблемы распространенности жизни во Вселенной феномен активных взрывающихся ядер представляет определенный интерес. Если такие взрывы достаточно мощны и происходят не так уже редко (скажем, раз в несколько десятков миллионов лет), вряд ли из-за высокого уровня жесткой радиации там где-нибудь может развиваться жизнь. С другой стороны, можно представить себе такую ситуацию, когда не катастрофически высокий уровень такой радиации является благоприятным фактором для возникновения и развития жизни. Для этого процесса взрывы ядер галактик могут иметь даже большее значение, чем вспышки близких сверхновых. Следует, однако, подчеркнуть, что мощность взрывов в нашей Галактике, по-видимому, всегда была незначительной и серьезного влияния на развитие жизни в ней они не оказали.

7. *Большая Вселенная*

Человеческое мышление не терпит ограничений. Несомненно, у читателей возник вопрос: откуда взялось то первоначальное достаточно разреженное газовое облако, из которого в дальнейшем образовались скопления галактик и галактики? Здесь мы сталкиваемся, пожалуй, с самой грандиозной проблемой современного естествознания. Речь идет о так называемой «космологической проблеме». Космология занимается исследованием структуры и развития всей наблюдаемой нами части Вселенной. Конечна или бесконечна Вселенная, какая у нее геометрия, в чем причина разбегания галактик, вызывающего наблюдаемое красное смещение,— вот вопросы, которыми занимается космология.

Эти вопросы связаны с общей проблемой эволюции Вселенной, в частности с ее наблюдаемым расширением. Если, как это считают в настоящее время, скорость «разлета» галактик увеличивается на 50 км/с на каждый миллион парсек, то экстраполяция к прошлому приводит к удивительному результату: примерно 20 млрд лет назад вся Вселенная была сосредоточена в очень маленькой области. Многие ученые считают, что в то время плотность Вселенной была около 10^{14} 10^{15} г/см^3, т. е. такая же, как и у атомного ядра. А еще раньше, когда возраст Вселенной исчислялся ничтожными долями секунды, ее плотность была значительно выше ядерной. Проще говоря, Вселенная тогда представляла собой одну гигантскую «частицу» сверхъядерной плотности. -По каким-то причинам эта «частица» пришла в неустойчивое состояние и взорвалась. Последствия этого взрыва мы и наблюдаем сейчас как разлет системы галактик.

Возникает естественный вопрос: не означает ли (в предположении, что изложенная гипотеза справедлива), что около 20 млрд лет назад было «начало света»? Отсюда один шаг до представления, что 20 млрд лет назад был сотворен мир... Надо сказать, что церковники широко использовали и используют описанное одно из возможных следствий наблюдаемого разлета галактик для религиозной пропаганды. На этом примере видно, как церковь пытается использовать выводы современной науки, предварительно исказив и извратив их.

Следует, однако, иметь в виду, что если вывод о том, что 20 млрд лет назад вся Вселенная представляла собой сверхплотную «ядерную» каплю, является правильным (а это, по-видимому, так), всякие рассуждения о «начале» и тем более «сотворении» мира являются ненаучными. Вообще само понятие «время» при таких огромных плотностях может потерять всякий наглядный смысл. Столь же бессмысленно говорить в таких условиях о каком-то «начале времени». Здесь должны были действовать законы квантовой теории тяготения — науки, которая пока еще не создана. Излишне подчеркивать, что в условиях такой Вселенной — сверхплотной «частицы» — никакая жизнь невозможна.

Нужно, однако, заметить следующее: нельзя заранее исключить, что наблюдаемая нами сейчас картина разлета галактик происходила с одинаковой скоростью и в сколь угодно далеком прошлом. Ведь можно считать, что в прошлом скорость разлета галактик была другой и, в частности, меньшей. Некоторые космологи полагали, что Вселенная не расширялась «от точки» с постоянной скоростью, а как бы пульсировала между конечными пределами ее средней плотности. Это означало бы, что в прошлом скорость разлета галактик была меньше, чем сейчас, а еще раньше система галактик, может быть даже *сжималась*, т.е. галактики *приближались* друг к другу с тем большей скоростью, чем большее расстояние их разделяло. И в будущем наблюдаемая нами сейчас эпоха красного смещения постепенно может смениться эпохой фиолетового смещения.

Необходимо, однако, заметить следующее. Если бы даже гипотеза «пульсирующей Вселенной» оказалась правильной, она не стала бы альтернативой гипотезе

«сверхплотной частицы» как начального состояния Вселенной. Дело в том, что нельзя себе представить неограниченно большое число пульсаций между пределами средней плотности, которые ниже ядерной.

В самом деле, во Вселенной идет необратимый процесс — превращение водорода в гелий при термоядерных реакциях в недрах звезд. В наблюдаемой нами (довольно значительной) части Вселенной уже несколько десятков процентов атомов водорода превратилось в атомы гелия. На этот процесс могло уйти самое большее несколько десятков миллиардов лет. Если бы Вселенная в том примерно виде, в каком мы ее наблюдаем сейчас, существовала свыше сотни миллиардов лет, она была бы «почти гелиевая». Весь водород уже давно «выгорел» бы, светимости звезд, образующих галактики, были бы малы. Но этого заведомо нет. Другими словами, наблюдаемая нами Вселенная термодинамически достаточно молода. Так как пульсации Вселенной между не слишком большими пределами плотности не могут изменить темп эволюции звезд, можно сделать вывод, что если пульсации Вселенной в прошлом и имели место, число их можно пересчитать по пальцам одной руки...

Можно себе представить (по крайней мере, математически) неограниченно большое число пульсаций, при которых, однако, в каждом цикле Вселенная сжимается по крайней мере до ядерных плотностей. Ядра гелия (так же как и других элементов) при этом распадаются на нуклоны и как бы «обезличиваются». А потом все опять начинается сначала... В этой модели Вселенная вполне может быть уподоблена легендарной птице Феникс...

Вряд ли, однако, это так. Простое повторение циклов по существу исключает развитие Вселенной в целом, что философски совершенно неприемлемо. И уже если Вселенная когда-то «взрывалась» и стала расширяться — не проще ли считать, что это было один раз*)...

Развитие астрофизики, и особенно радиоастрономии, в последние годы показало полную несостоятельность концепции пульсирующей между конечными пределами плотности Вселенной (см. ниже).

По настоящему альтернативой концепции эволюционирующей от «сверхплотной частицы» Вселенной является гипотеза «не меняющейся», сохраняющей свои характеристики Вселенной, которой придерживался известный английский астрофизик Хойл и некоторые другие ученые. Неизменность Вселенной (несмотря на ее расширение) в этой гипотезе достигается допущением, что имеет место непрерывное «творение» материи из... ничего. Эта странная идея физически ничем не была обоснована.

О Лишь в 1986 г. советский астрофизик А. Д. Линде выдвинул гипотезу, подкрепляющую модель. Он предположил, что «творение» материи происходит из вакуума, обладающего в большей части объема Вселенной сверхвысокой плотностью. Этот процесс происходит в виде рождения расширяющихся пузырей обычного вещества, в одном из которых мы и живем. О

Окончательно решить вопрос — эволюционирует ли Вселенная или остается неизменной — смогли только астрономические наблюдения. Эти же наблюдения должны решить вопрос об общих свойствах Вселенной (например, вопрос об ее конечности, характере метрики и пр.).

Наиболее эффективными для решения космологической проблемы являются радиоастрономические методы исследования. Современные большие радиотелескопы позволяют изучать радиогалактики и квазары (см. гл. 1,6), удаленные на такие огромные расстояния, при которых уже начинают сказываться релятивистские эффекты.

*) Можно, правда, полагать, что в предыдущие циклы образования (алактик и звезд не происходило. Однако это предположение выглядит довольно искусственным.

Вопрос о замкнутости пространства в принципе может быть решен измерением угловых расстояний между компонентами двойных радиогалактик*). До недавнего времени считалось, что расстояния между этими компонентами меняются в сравнительно небольших пределах**) и составляют около 100 тыс. пк. Если бы пространство было евклидовым, то угол между компонентами неограниченно уменьшался по мере увеличения расстояния до радиогалактик. Если же пространство неевклидово, то, как оказывается, этот угол будет уменьшаться только до определенного предела (около 20") и при дальнейшем увеличении расстояния останется постоянным или даже начнет расти.

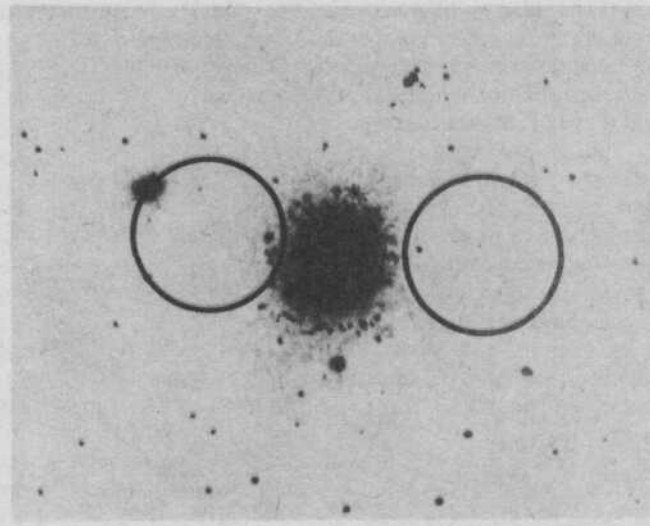

Рис. 33. Радиогалактика 3С 270. Кружками показаны области, из которых исходит излучение. Эти области не совпадают с самой галактикой, а расположены симметрично по обе стороны от нее

Пока таких наблюдений, которые должны быть очень многочисленны, чтобы исключить случайные эффекты, нет. Однако в перспективе ближайшего десятилетия они вполне могут быть выполнены.

Прежде всего, радиоастрономические наблюдения позволяют уверенно исключить гипотезу «неизменной» Вселенной. Найдено, что пространственная плотность радиогалактик и квазаров, удаленных от нас на расстояние в несколько миллиардов световых лет, значительно больше, чем в сравнительной «близости» от нас***). Это означает, что в более ранние эпохи эволюции Вселенной отношение числа радиогалактик к числу всех галактик было значительно больше, чем сейчас. Причиной этого явления может быть, например, значительно большая плотность межгалактического газа. Следовательно, приток этого газа в области галактических ядер был тогда значительно более интенсивен, чем в нашу эпоху расширения Вселенной. Если взрывы в галактических ядрах, являющиеся причиной образования радиогалактик, связаны, как полагает автор, с притоком межгалактического газа, то, очевидно, наблюдаемый радиоастрономами эволюционный эффект будет объяснен. Впрочем,

*) Установлено, что двойственность весьма распространена среди радиогалактик (см., например, рис. 33).

**) Сейчас выяснилось, что расстояния между компонентами двойных радиогалактик меняются в довольно широких пределах, что осложняет задачу, но не делает ее безнадежной.

***) Разумеется, «близость» в этом случае следует понимать относительно: речь идет об объектах, находящихся от нас не дальше, чем, например, миллиард световых лет.

возможны и другие объяснения. Но, так или иначе, радиоастрономические наблюдения говорят о том, что миллиарды лет назад Вселенная была другая, чем сейчас, т. е. она эволюционирует.

Однако самый выдающийся вклад в космологию радиоастрономия сделала в 1965 г., когда при испытании новой, весьма чувствительной приемной радиоаппаратуры в лаборатории Бэлла (США) на волне около 7 см был обнаружен совершенно новый тип космического радиоизлучения, интенсивность которого со всех направлений на небе была одинаковой. На более длинных волнах это излучение наблюдать затруднительно, так как оно «маскируется» более интенсивным радиоизлучением Галактики и Метагалактики. Дело в том, что, как показали дальнейшие наблюдения на других волнах сантиметрового диапазона, интенсивность этого излучения растет с ростом частоты пропорционально квадрату последней, между «тем как интенсивность галактического и метагалактического синхротронного радиоизлучения довольно быстро падает с ростом частоты (рис. 34). Спектр и интенсивность вновь открытого «изотропного» радиоизлучения соответствует черному телу, нагретому до температуры около 3 К. Это излучение заполняет всю Метагалактику, так как никакой концентрации к Млечному Пути не обнаруживает (оно ведь «изотропно»!). Простой расчет показывает, что плотность энергии нового типа излучения составляет приблизительно 10^{-12} эрг/см^3. Это значительно больше плотности всех видов энергии в Метагалактике, например, энергии оптического излучения от галактик, кинетической энергии движения материи и пр. Только плотность энергии покоя, равная $\bar{\rho}c^2$, где $\bar{\rho}$ — средняя (или, как говорят, «размазанная») плотность метагалактического вещества, превышает плотность энергии открытого в 1965 г. нового вида излучения.

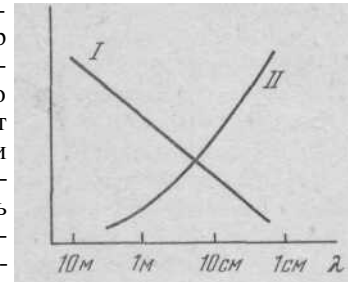

Рис. 34. Спектр галактического (*I*) и изотропного «трехградусного» (*II*) излучения

Объяснение этого таинственного «трехградусного» излучения, наполняющего всю Вселенную, было дано быстро. Еще в 1948 г. известный физик Г. А. Гамов (тот самый, который за двадцать лет до этого объяснил α-распад радиоактивных ядер на основе представлений квантовой механики) разработал теорию первоначально очень горячей расширяющейся Вселенной. Речь идет о самых ранних этапах ее эволюции, когда не было ни звезд, ни галактик, ни даже тяжелых элементов, (ведь последние образуются только в недрах звезд; см. гл. 6). По мере расширения этого чрезвычайно горячего «огненного шара» его температура должна быстро падать (по той же причине, по которой охлаждается расширяющийся в пустоту газ). Наконец, когда температура газа упадет приблизительно до 4000 К (как показывают расчеты, это было тогда, когда «возраст» Вселенной был около 500 тыс. лет, а размеры примерно в 1000 раз меньше современных), водород перестанет быть ионизованным. После этого заполняющее Вселенную излучение (которое в ту эпоху соответствовало нагретому до 4000 К телу) перестанет взаимодействовать с веществом и в дальнейшем будет менять свою интенсивность и спектральный состав не так, как расширяющаяся материя. Расчеты показывают, что по мере расширения Вселенной это излучение будет все время сохранять свой «равновесный» характер (т. е. описываться известной формулой Планка), а его температура будет убывать обратно пропорционально размерам Вселенной. Между тем газ будет охлаждаться значительно быстрее обратно пропорционально квадрату «размеров» Вселенной *). Так как после «отклейки» излучения от вещества Вселенная увеличила

*) Под «размерами» расширяющейся Вселенной здесь понимается расстояние между двумя какими-нибудь точками, которое в процессе расширения непрерывно растет.

свои размеры более чем в 1000 раз, то сейчас температура заполняющего Вселенную излучения должна быть около 3 К; именно это излучение и было обнаружено сотрудниками лаборатории Бэлла. Таким образом, это излучение не генерируется какими-либо телами «современной» Вселенной, а отражает ее состояние на раннем этапе эволюции. По этой причине автор книги назвал его «реликтовым» и сейчас этот термин получил всеобщее распространение. Подобно тому, как некоторые виды животных и растений являют собой анахронизм и оказываются «застывшими» остатками той жизни, которая была на Земле в прошедшие геологические эпохи (например, сумчатые млекопитающие, некоторые виды рыб и т. д.), трехградусное излучение есть как бы «реликт» давно прошедшего этапа в эволюции мира.

Обнаружение «реликтового» излучения, наряду с открытием Хабблом «разбегания» галактик, является крупнейшим достижением наблюдательной космологии. Оно резко сокращает количество возможных гипотез об эволюции Вселенной. Например, оно наверняка закрывает гипотезу «стационарной», не меняющейся со временем Вселенной, о которой речь шла выше, по крайней мере в ее первоначальном виде. Оно делает также несостоятельной гипотезу пульсирующей между конечными значениями средней плотности Вселенной.

Теперь можно считать полностью доказанным основное положение: Вселенная эволюционирует, и притом сильнейшим образом. Вместе с тем открытие «реликтового» излучения и его объяснение демонстрирует поистине безграничные возможности познания объективно существующего, реального мира. Стоит немного задуматься: до 1963 г. максимальное наблюдаемое значение красного смещения было $z = 0{,}47$ (для радиогалактики 3С 295 — см. предыдущую главу). В этом случае наблюдаемый объект излучал тогда, когда размеры Вселенной были в полтора раза меньше, чем сейчас, и она была моложе в два раза. Всего лишь 20 лет назад это считалось большим достижением. Открытие квазаров резко увеличило возможности астрономов «заглядывать» в прошлое Вселенной: • квазар с $z \sim 4$ (а такие объекты наблюдаются, см. гл. 6) соответствует размерам Вселенной, уже примерно в 5 раз меньшим, чем сейчас, и возрасту, в 10 раз меньшему! Это, конечно, гигантское продвижение «назад». И вот всего лишь через 2 года после обнаружения квазаров открывается реликтовое излучение, позволяющее наблюдать Вселенную, когда ее размеры были примерно в 1000 раз меньше современных, а возраст — в десятки тысяч раз меньше. И мы «непосредственно» видим, что в столь отдаленную эпоху еще никаких галактик и звезд не было и в помине, а Вселенная представляла собой просто расширяющееся, довольно горячее облако водородно-гелиевой плазмы с плотностью в несколько тысяч частиц на кубический сантиметр. Это - простейшая астрофизическая плазма, сходная с плазмой планетарных туманностей, но только «попроще» — ведь тяжелых элементов, присутствующих в планетарных туманностях, тогда еще не было. Есть, однако, одно существенное различие: в то время как плотность излучения в планетарных туманностях сравнительно невелика, наш «огненный шар» наполнен равновесным планковским излучением, плотность энергии которого на много порядков больше, чем плотность тепловой энергии плазмы *). И вот надо представить, что закономерное развитие этого простейшего плазменного облака, наполненного равновесным излучением, привело к той невероятно богатой картине Вселенной, которую мы сейчас наблюдаем. Огромное разнообразие звезд, включая сюда и нейтронные звезды, планеты, кометы, живую материю с ее невероятной сложностью и много еще такого, о чем мы сейчас не имеем даже понятия, — все в конце концов развилось из этого примитивного плазменного облака. Невольно напрашивается аналогия с каким-то гигантским геном, в котором была закодирована вся будущая, невероятно сложная история материи

*) При этом на каждый протон вещества Вселенной приходится несколько десятков миллионов квантов. Важно отметить, что это отношение сохранится в течение всей дальнейшей эволюции Вселенной..

во Вселенной... Конечно, это весьма поверхностная аналогия, но чувство безмерного удивления остается, по крайней мере у автора этой книги...

Кто может поручиться за то, что успехи науки в ближайшие несколько лет или десятилетий не позволят «заглянуть» в еще более ранние эпохи эволюции Вселенной? Заглянуть не глазами теоретиков (которым в известных пределах «все позволено»), а найти экспериментально нечто похожее на «реликтовые» кванты, но дающие информацию о гораздо более молодой Вселенной. Какой же она была до того, как излучение «отклеилось» от вещества? Ясно одно: она была еще меньшей, более горячей и более плотной. Никаких квантов излучения от той далекой эпохи сохраниться во Вселенной не могло. Похоже на то, что, в принципе конечно, сохраниться могли только нейтрино, для которых чудовищной плотности слои вещества — не преграда. Возможно, что когда-нибудь удастся наблюдать во Вселенной нейгрино, сохранившиеся во Вселенной от тех времен, когда ее возраст был меньше тысячных долей секунды, плотность превышала ядерную, а температура была выше, чем десятки миллиардов Кельвинов, т. е. она была той самой «ядерной сверхчастицей», о которой речь шла в начале этой главы. Сейчас нейтринная астрономия делает свои первые, совсем еще робкие шаги. Ее развитие будет неизбежно сопряжено с огромными трудностями. Но высочайшая цель — найти во Вселенной реальные (т. е. материальные) следы первых мгновений жизни Вселенной — должна оправдать все усилия на трудном пути развития нейтринной астрономии. Похоже на то, что первые следы уже найдены. Мы уже неоднократно говорили о химической эволюции Вселенной, о ее непрерывном обогащении тяжелыми элементами, возникающими путем нуклеосинтеза в недрах звезд — стационарных и взрывающихся. В частности, в течение многих миллиардов лет происходил процесс обогащения космического вещества гелием за счет водорода. Возникает, однако, вопрос: можно ли таким образом объяснить происхождение всего космического гелия? Оказывается, нет. В противном случае яркость удаленных галактик была бы значительно больше наблюдаемой. Это означает, что большая часть космического гелия (так же как и дейтерия) образовалась на дозвездной стадии эволюции Вселенной. Расчеты показывают, что это было тогда, когда плотность Вселенной была близка к ядерной, а температура исчислялась многими миллиардами Кельвинов. Но это означает, что возраст Вселенной исчислялся немногими минутами! Таким образом, хотя и косвенным путем, но, опираясь на реальные астрономические наблюдения галактик, мы можем заглянуть в эпоху, когда она была еще в сотни тысяч раз моложе, чем в эпоху «отклейки» реликтового излучения!

Вернемся, однако, к эпохе эволюции Вселенной, когда произошла «отклейка» излучения от вещества и возникли «реликтовые» кванты, улавливаемые современными радиотелескопами. Впереди еще гигантский эволюционный путь до современного состояния Вселенной. Плазма довольно быстро становится нейтральным водородно-гелиевым атомарным газом. Этот газ, расширяясь, быстро охлаждается, гораздо быстрее, чем излучение. Можно показать, что молекулы водорода образоваться не успеют — слишком мала скорость соответствующей химической реакции. Когда размеры Вселенной увеличатся в несколько десятков раз, а температура газа опустится ниже 5 К, наступит следующий очень важный период ее развития. Первоначально почти однородная газовая среда разобьется на отдельные сгустки. В чем причина такой «фрагментации»? Ведь первоначально такие сгустки представляли собой просто области Метагалактики, где плотность вещества только незначительно превышает среднюю плотность. Как же возникли эти области с избыточной плотностью в почти однородном, да еще к тому же быстро расширяющемся веществе Вселенной? На этот, казалось бы, такой простой вопрос современная наука не дает еще однозначного ответа. С достоверностью можно только сказать, что «зародыши» неоднородности Вселенной в ней присутствовали всегда, если угодно — изначала. Вселенная никогда не была строго однородной,

она была почти однородной даже в первые мгновения своего существования. И надо ясно понимать, если бы не эти «зародыши» неоднородности, история ее развития была бы совсем другой и, прежде всего убийственно скучной, лишенной какого бы то ни было многообразия форм и, конечно, жизни. Может быть, эти «зародыши неоднородности» и есть тот «сверх-ген», о котором речь шла выше...

Итак, из «зародышей» неоднородности Вселенной (о происхождении и природе которых мы пока не знаем ничего достоверного) вполне закономерным, теоретически осмысленным путем при $z \sim 10-100$ возникли гигантские газовые сгустки. Из этих сгустков, являющихся «протоскоплениями» галактик, путем дальнейшей фрагментации образовались меньшие сгустки. Каждый такой сгусток, характеризовавшийся определенной массой и вращательным моментом, постепенно эволюционировал в галактику. После этого расширение Вселенной сводилось к разлету галактик (т. е. к непрерывному увеличению расстояния между галактиками), между тем как сами галактики практически не расширялись.

Таким образом,- нарисованная картина показывает, что галактики, а потом звезды образовались на сравнительно позднем этапе эволюции Вселенной, когда размеры последней были примерно в 10— 100 раз меньше, чем сейчас. На ранних этапах своей эволюции галактики, по-видимому, были значительно более «активны», чем в наши дни (об активности галактик, точнее их ядер, см. предыдущую главу). Именно поэтому количество радиогалактик и квазаров в ту довольно отдаленную от нас эпоху было значительно больше, чем сейчас, о чем речь шла выше.

Далеко не весь газ Вселенной сконденсировался в галактики. Некоторая часть газа осталась в межгалактическом пространстве. Ультрафиолетовое и рентгеновское излучение образовавшихся к тому времени звезд и галактических ядер будет ионизировать и нагревать межгалактический газ. Температура его подымется до многих десятков миллионов Кельвинов*). Таким образом, ожидаемая довольно высокая температура межгалактического газа в современной Вселенной есть результат его «вторичного» разогрева — ведь к моменту образования скоплений галактик он был очень холодный. Межгалактическое пространство заполнилось также сверхэнергичными заряжёнными частицами — космическими лучами, которые образовались в результате активности ядер галактик и взрывов сверхновых звезд. До образования галактик во Вселенной не было космических лучей так же, как и тяжелых элементов. Постепенно Вселенная стала принимать те черты, которые мы сейчас наблюдаем.

Итак, Вселенная эволюционировала и эволюционирует. Эта эволюция, являющаяся ее основной особенностью, наблюдается на всех уровнях. Мы сейчас обрисовали картину эволюции Вселенной в целом от примитивной водородно-гелиевой плазмы до того грандиозного по своему многообразию феномена, который мы наблюдаем сейчас. В свою очередь эволюционируют галактики от простейших облаков до сложных спиральных звездных систем с огромным разнообразием популяций. Об эволюции звезд мы уже говорили в гл. 4. В гл. 9 речь будет идти об эволюции планетных систем. И, конечно, огромную эволюцию претерпела жизнь на Земле и, как можно полагать, на других планетах.

Современная наука о Вселенной — астрономия — вся насквозь эволюционна. Не всегда так было. Только развитие нашей науки, потребовавшее огромных усилий от ее творцов, привело к эволюционному взгляду на Вселенную, причем не в плане умозрительных заключений, а на основе строгого анализа фактов. В XVIII, XIX и даже первой половине **XX** столетия астрономия была статичной, застывшей. Изучались с большой точностью движения планет и комет, модели звездных атмосфер, их химический состав. И это, конечно, было очень важно. Но истинная

*) Недавно было обнаружено рентгеновское излучение от межгалактического газа в скоплениях галактик; согласно этим наблюдениям температура межгалактического газа около 10^8 Кельвинов, а плотность $\sim 10^{-4}$ частицы на кубический сантиметр или $\sim 10^{-28}$ г/см^3.

картина меняющейся, поражающей многообразием явлений, богатой «скачками» и взрывами Вселенной стала ясной астрономам только в последнюю четверть века. Этот период «бури и натиска» по справедливости может быть назван «революцией в астрономии». В первую треть нашего века аналогичную революцию пережила физика. Сейчас мы являемся свидетелями революционного взрыва в биологии. Вместе с последней астрономия в наши дни находится в авангарде наук о природе.

Однако вернемся к космологии. Для решения общих вопросов о геометрии и метрике Вселенной очень важно оценить среднюю плотность вещества в ней. Эта оценка имела бы большое значение для выбора модели Вселенной, т. е. для вопроса о ее конечности или бесконечности. Оказывается, что «размазанная» плотность галактик дает величину, меньшую чем 10^{-30} г/см^3.

Пока еще, однако, не совсем ясен вопрос, какая доля вещества во Вселенной находится в форме межгалактического газа. Можно только полагать, что этот газ должен быть очень горячим и достаточно разреженным. Если, например, окажется, что средняя плотность межгалактического вещества не больше размазанной плотности галактик, Вселенная не будет замкнута (так называемая «открытая модель»). Имеются основания полагать, что важнейший вопрос о плотности межгалактической среды будет в близком будущем окончательно решен методами рентгеновской астрономии.

Для того чтобы Вселенная была замкнута, нужно, чтобы средняя плотность межгалактического газа была примерно в 30 раз больше «размазанной» плотности галактик. Вряд ли это так. Если же все-таки окажется, что Вселенная замкнута, следует иметь в виду, что это является некоторой характеристикой четырехмерного пространственно-временного многообразия. Непонимание этого обстоятельства часто находит свое выражение в недоумевающем вопросе: если Вселенная замкнута, то что же находится за ее пределами? Конечно, можно было бы представить и другие Вселенные, более или менее сходные с нашей, если бы Мир (или «Сверхвселенная») был многообразием пяти или большего количества измерений. Нет, однако, никаких серьезных оснований в пользу этого произвольного предположения (см., впрочем, конец этой главы).

Приходится также слышать мнение, что вывод о замкнутости Вселенной якобы несовместим с философией диалектического материализма. Это, конечно, заблуждение. Основным атрибутом Вселенной с точки зрения философии диалектического материализма является ее объективное существование и познаваемость. Нелепо связывать судьбу этой философии с каким-нибудь конкретным свойством Вселенной, например свойством конечности или бесконечности. Закономерности Вселенной потому и называются объективными, что не зависят от предвзятых взглядов отдельных людей, плохо понимающих дух философии диалектического материализма.

Для проблемы происхождения и развития жизни во Вселенной ее расширение имеет очень большое значение. Как легко показать математически, плотность поля излучения в бесконечной Вселенной, равномерно заполненной излучающими объектами, должна быть очень большой. Так как в этом случае звезды должны экранировать друг друга, то поверхностная яркость неба должна быть такой же, как у звезд или Солнца. Иными словами, небо было бы ослепительно ярко, а температура вещества во всей Вселенной была бы около 5—10 тыс. К. Тот факт, что яркость неба, обусловленная излучением всех объектов Вселенной, все-таки незначительна, хотя Вселенная может быть и бесконечной, требует объяснения. Эта проблема известна астрономам уже свыше полутора столетий. Она получила название «фотометрический парадокс».

Еще в XIX столетии делались попытки устранить фотометрический парадокс при помощи тех или иных гипотез о характере распределения излучающих объектов во Вселенной. Эти попытки, однако, носили весьма искусственный характер

и оказались неудачными. Столь же неудачны были попытки устранения фотометрического парадокса путем введения поглощающей материи, распределенной по всей Вселенной. Анализ показал, что наличие такой поглощающей свет материи только усилило бы парадокс.

Развитие современной космологии, основывающейся на теории относительности и подтвержденной наблюдениями реликтового излучения, устранило фотометрический парадокс. Решающим обстоятельством является наличие красного смещения в спектрах галактик. Благодаря этому явлению кванты света — фотоны, излученные очень далекими галактиками и дошедшие до нас, как бы «деградируют» или «тощают»: соответствующие им длины волн станорятся все больше и больше, а энергии уменьшаются. Излучение самых удаленных от нас частей Вселенной благодаря явлению красного смещения уходит в длинноволновую, невидимую область спектра, и его интенсивность сильно падает. Можно сказать, что красное смещение как бы «срезает» излучение далеких областей Вселенной, тем самым устраняя фотометрический парадокс.

Необходимо подчеркнуть, что явление красного смещения, вызванного расширением, разлетом галактик, благоприятствует возникновению и развитию жизни в тех или иных уголках Вселенной. Если бы Вселенная не расширялась и была бы бесконечной, температура в ней была бы настолько высокой, что даже простейшие молекулярные соединения вряд ли могли образоваться. Конечно, нарисованная в этой главе картина развития и эволюции Вселенной является самой общей и по мере развития науки должна конкретизироваться и уточняться. Не исключено, разумеется, что отдельные важные детали этой картины претерпят существенное изменение. Но основной вывод, к которому подводит нас развитие космологии и астрофизики во второй половине XX столетия, вряд ли будет поколеблен: в истории развития Вселенной, рассматриваемой как целое, были (и, вероятно, будут) эпохи, весьма затрудняющие, если не исключающие, возникновение и развитие жизни. Жизнь есть закономерный этап развития материи во Вселенной. Тем более это относится к разумной жизни.

После того как современная астрофизика восстановила далекое прошлое Вселенной и были освещены все этапы ее удивительного развития, начиная от сверхгорячего и сверхплотного состояния, имеет смысл обсудить ее будущее развитие. В самом деле, более чем уместно поставить вопрос: а как будет выглядеть Вселенная в далеком будущем? Мы уже знаем, что в далеком прошлом она качественно отличалась от современного своего состояния. Можно ли ожидать качественного отличия состояния будущей Вселенной от современного?

Для ответа на этот вопрос надо прежде всего знать, замкнута Вселенная или, напротив, открыта. Другими словами, будет ли Вселенная сколь угодно долго расширяться («открытая» модель Вселенной) или когда-нибудь ее расширение сменится сжатием*). Выше мы уже подчеркивали, что окончательный выбор между этими двумя моделями сделать пока нельзя. Это будет возможно тогда, когда с полной надежностью будет определена средняя («размазанная») плотность вещества во Вселенной.

Заметим, что размазанная плотность галактик в несколько десятков раз меньше критической. Существует, однако, косвенный метод определения средней плотности вещества во Вселенной. Выше мы заметили, что дейтерий во Вселенной мог образоваться только в первые минуты после Большого Взрыва, когда плотность

*) Характер поведения Вселенной вполне аналогичен поведению камня, брошенного вверх в поле земного тяготения. Если его первоначальная скорость достаточно велика, он преодолеет тяготение и будет все время удаляться от Земли (аналог «открытой» модели). Если же скорость недостаточна, тяготение остановит его и он упадет обратно (аналог «закрытой» модели).

и температура были достаточно велики. Зная количество дейтерия в межзвездной среде (в 50000 раз меньше, чем водорода) и тогдашнюю температуру Вселенной, можно найти ее плотность. Этот метод дает значение плотности в сотню раз меньшую, чем критическая. В настоящее время это один из главных аргументов в пользу открытой модели.

Сравнительно просто предсказать будущее Вселенной для «закрытой» модели. Уж если Вселенная начнет сжиматься, то этот процесс ничто не остановит и она, в конце концов, пройдя через компактную, сверхплотную горячую фазу, сожмется в точку. В этом случае Вселенная как бы повторит историю «в обратном порядке». Весь цикл «расширение -»остановка -» сжатие» должен занять время порядка 100 миллиардов лет. Так как со времени начала расширения прошло «только» 15 — 20 миллиардов лет, то мы (в случае «закрытой» модели) находились бы в начале цикла. Начнет ли Вселенная после своего сжатия в точку новый цикл расширения? Будут ли новые циклы полным подобием предыдущего (т. е. нашего, в котором мы живем)? Однозначных ответов на эти вопросы пока нет, хотя вряд ли можно ожидать тождества разных циклов. Например, при каждом новом цикле могут образовываться совершенно разные элементарные частицы, что, конечно, радикально отразится на характере его протекания.

В случае «открытой» модели, которой придерживается сейчас большинство космологов и специалистов по внегалактической астрономии, при своем неограниченном расширении Вселенная и материя, из которой она состоит, в невообразимо далеком будущем претерпят ряд качественных изменений. Необходимо подчеркнуть, что речь идет о чудовищно огромных интервалах времени, по сравнению с которыми 15 — 20 миллиардов лет, прошедших после первоначального взрыва Вселенной, кажутся мгновением. Что и говорить — в случае открытой модели «у нас в запасе вечность», хотя эту категорию постичь нашими жалкими чувствами, мягко выражаясь, затруднительно. В этой связи следует заметить, что как огромные, так и ничтожно малые величины, мы воспринимаем условно, всегда примеряя к ним свой весьма ограниченный жизненный опыт. Именно это мы имели в виду, когда в гл. 1 рассказывали о пространственных и временных масштабах Вселенной. Добавим к этому, что физики, занимающиеся элементарными частицами, ничтожный интервал времени 10^{-23} с (время жизни самых нестабильных частиц, так называемых «резонансов») отождествляют со временем, за которое частица, движущаяся со скоростью с, пробегает отрезок, равный размеру ядра (10^{-13} см).

Вернемся, однако, к открытой модели Вселенной. Что ее ожидает в столь необозримо удаленном от нас будущем?

Прежде всего, через 10^{14} лет (что во много тысяч раз превышает возраст современной Вселенной) «остынут», исчерпав свое ядерное горючее, все карликовые звезды с массой, превышающей несколько сотых долей солнечной массы. Эти звезды превратятся в белые карлики, которые, остывая, станут холодными «черными» карликами с размерами порядка Земли и с очень большой плотностью. Несмотря на то, что взаимные случайные сближения звезд в галактиках будут происходить редко, через 10^{15} лет по этой причине практически все планеты будут оторваны от своих материнских звезд. По этой же причине (случайные сближения звезд) спустя $\sim 10^{19}$ лет по крайней мере 90% всех звезд покинут свои галактики, а центральные области последних сожмутся, образуя весьма массивные ($M \sim 10^{9} M_{\odot}$) черные дыры. Итак, наступит эпоха, когда галактики прекратят свое существование (от них останутся только массивные черные дыры), а из звезд останутся только холодные белые карлики. При этом отдельные звезды будут участвовать в расширении Вселенной.

До этой эпохи разлетались только галактики, размеры которых сравнительно мало менялись, так что расстояния между звездами были такими же, как в нашу эпоху, т. е. несколько световых лет. Теперь же расстояния между соседними звезда-

ми будут в начале этой эпохи превышать много мегапарсек и дальше будут неограниченно расти. Расстояния между соседними звездами станут превосходить нынешние расстояния до квазаров, исчисляемые миллиардами парсек. Если учесть, что к тому времени все звезды будут белыми карликами весьма низкой светимости, то на воображаемом небосклоне какого-нибудь ничтожного такого карлика никаких светил ни в какой телескоп обнаружить будет нельзя. До чего же эти звезды будут изолированы — страшно даже представить. И какая там будет царить черная ночь...

Переходя к неизмеримо более удаленному будущему, мы должны учитывать качественно новые изменения в самой структуре материи. Прежде всего, нельзя исключить возможность того, что с материей могут произойти «крупные неприятности». Дело в том, что нельзя гарантировать стабильность протонов — основных «кирпичей», из которых построена вся материя. Существующие экспериментальные данные гарантируют, что период радиоактивного распада протона во всяком случае превышает 10^{30} лет. Но где гарантия, что протон останется стабильным в течение неизмеримо больших промежутков времени? Существуют, например, теории, согласно которым протоны самопроизвольно распадаются на у-кванты и нейтрино за время $\sim 10^{32}$ лет. Сейчас уже планируются эксперименты, имеющие целью обнаружить самопроизвольный распад протонов. Если эти эксперименты дадут положительный результат, то Вселенная через $\sim 10^{32}$ лет будет представлять совокупность разлетающихся квантов и нейтрино с непрерывно убывающей (по мере расширения Вселенной) энергией. Хочется, однако, верить (сейчас речь может идти только о вере), что протон абсолютно стабильная частица и такой мало интересный финал нашей Вселенной не угрожает...

Имеется еще одна серьезная проблема: где гарантия того, что законы природы, действующие во Вселенной в современную эпоху, будут действовать в чудовищно отдаленном будущем? Гарантий, конечно, нет, но обнадеживающее обстоятельство все же имеется. Одним из удивительнейших открытий последних десятилетий является обнаружение естественного уранового реактора в Габоне (Западная Африка). По причине высокого уровня выделения нейтронов за последние пару миллиардов лет изотопный состав в окрестных минералах там сильно изменен. И вот оказывается, что из анализа относительного содержания изотопов самария следует, что в этих ядрах баланс электромагнитных и ядерных сил поддерживается на постоянном уровне по крайней мере миллиарды лет! Это и доказывает неизменность законов природы по крайней мере в течение миллиардов лет!

Итак, для дальнейшего анализа мы будем придерживаться гипотез об абсолютной стабильности протонов и неизменности законов природы. В таком случае следует считаться с тем, что через $\sim 10^{65}$ лет любое твердое тело становится даже при абсолютном нуле жидким. Значит, все остывшие белые карлики, некогда бывшие звездами — «хорошими и разными», станут сферическими жидкими каплями! Еще через чудовищный промежуток времени $\sim 10^{1500}$(!) лет любое вещество становится радиоактивным. Дело в том, что за такие промежутки времени легкие ядра будут «сливаться» в более тяжелые, а тяжелые станут делиться. В результате этих процессов все жидкие капли — бывшие звезды — станут железными.

Но что произойдет с другой компонентой Вселенной — бывшими массивными звездами и ядрами галактик, ставшими черными дырами? Для дальнейшего анализа очень существен вывод, полученный несколько лет тому назад выдающимся английским теоретиком Хокингом. Он показал, что черные дыры отнюдь не являются «вечными образованиями» (как это считалось раньше). Через промежутки времени, пропорциональные кубам их масс, они «испаряются», излучая электромагнитные волны с длиной порядка размеров черной дыры. Например, черная дыра с массой, равной 10 солнечным массам (что близко к массе подозреваемой черной дыры Лебедь Х-1) «испарится» через 10^{67} лет, излучая радиоволны дли-

ной около 30 км. А сверхмассивная черная дыра ($M \approx 10^9 \ M_\odot$ — бывшее ядро какой-нибудь галактики) испарится через 10^{91} лет, излучая сверхдлинные волны длиной порядка десяти астрономических единиц. Итак, все черные дыры — «звездные» и «ядерно-галактические» в конце концов превратятся в сверхдлинноволновое электромагнитное излучение. Останутся от Вселенной только плотные, жидкие, -холодные железные капли. Но это еще не все! Оказывается, что когда истечет больше, чем 10^{1026} (!!!) лет, эти железные капли превратятся либо в нейтронные звезды (которые потом превратятся в черные дыры), либо прямо в черные дыры. Последние же, практически мгновенно (всего за «какие-нибудь» 10^{67} лет), испарятся.

Итак, в открытой модели, при всех вариантах (даже если протон нестабилен!) в конечном итоге Вселенная превратится в совокупность разлетающихся сверхдлинноволновых квантов, а также нейтрино малых энергий. Остается только утешаться тем, что это будет, мягко выражаясь, ох, как не скоро! Имеется огромное количество проблем, неизмеримо более актуальных, от решения которых зависит будущее человечества и его отдельных представителей. Все же согласитесь, любопытно знать, что будет со Вселенной в необозримо далеком будущем. Такова уж природа человека...

В заключение этой главы остановимся на очень интересном и, по-видимому, важном вопросе о соотношениях между «мировыми константами» макро и микромиров. Мы увидим, что для интересующей нас проблемы жизни во Вселенной эти соотношения играют решающую роль.

Из современной физики известно, что все закономерности мира управляются четырьмя типами взаимодействий: 1) электромагнитными, 2) гравитационными, 3) слабыми и 4) сильными. Первый тип взаимодействия определяет структуру атомов, а следовательно, описывает всю картину явлений в химии и физике (за исключением ядерных процессов). Он характеризуется «константой взаимодействия» — зарядом электрона *e,* связанной с известной безразмерной постоянной тонкой структуры $\alpha = \frac{e^2}{hc} \approx \frac{1}{137}$ ($h = \frac{h}{2\pi}$ — постоянная Планка, *c* — скорость света). Гравитационное взаимодействие достаточно массивных тел имеет решающее значение для планетной, галактической и метагалактической астрономии. Оно может характеризоваться своей константой взаимодействия — гравитационной постоянной G и связанной с ней безразмерной $\alpha_G = \frac{Gm_p^2}{hc} \approx 5 \cdot 10^{-39}$. Сильные взаимодействия доминируют в области атомных ядер и элементарных частиц, в то время как слабые описывают такие процессы, как β-радиоактивность. Для сильных и слабых взаимодействий также можно ввести свои константы взаимодействия, по смыслу аналогичные α. Они обозначаются как α_s и α_w и имеют определенные значения.

Несомненно, приведенная выше классификация взаимодействий отражает современный уровень физической науки. Вполне возможно, что в будущем (может быть, и недалеком) взаимодействия будут либо полностью объединены, либо их останется меньше. (Это означает, что между константами взаимодействия может быть какая-то связь.) Но это обстоятельство не должно уменьшить наше удивление тому факту, что между константами взаимодействия и характеристиками Вселенной существует какая-то странная зависимость. Например, $R_b \approx ct_0 \approx \left(\frac{\alpha}{\alpha_G}\right) a_0$, где R_b и t_0 - радиус и возраст Вселенной, $a = \frac{\hbar}{m_0 c^2} = 0{,}53 \cdot 10^{-8}$ см - радиус первой орбиты боровской модели водородного атома. Другими словами, отношение радиуса Вселенной ($R_b \sim 10^{28}$ см, так как возраст Вселенной $t_0 \sim 10^{10}$ лет = 3- 10^{17} секунд) к размерам атома равно отношению электромагнитных и гравитационных сил, действующих между элементарными частицами!

Для объяснения этого удивительного обстоятельства знаменитый английский физик Дирак еще в 1937 г. предложил гипотезу, что гравитационная постоянная G меняется обратно пропорционально возрасту Вселенной t, в то время как остальные константы $(c, \hbar, e)$ остаются неизменными. Однако современные наблюдения метагалактических объектов исключают такую возможность.

Совершенно другую гипотезу развил в 1961 г. выдающийся американский физик и астроном Дике. Эту гипотезу по праву можно назвать «антропной». Суть ее состоит в следующем. Для того чтобы где-нибудь во Вселенной возникла жизнь, необходимо, чтобы были тяжелые элементы, которые образуются при вспышках сверхновых. Об этом мы уже говорили раньше (см. гл. 5). Но отсюда следует, что возраст познаваемой разумными наблюдателями Вселенной должен быть не меньше возраста звезд, вспыхивающих как сверхновые. Если масса последних ~ 1,5 солнечной (что соответствует сверхновой I типа — см. гл. 5), то этот возраст t порядка нескольких миллиардов лет. Из теории внутреннего строения и эволюции звезд можно получить соотношение: $t_1 \approx \alpha_G^{-1} t_p$, где $t_p \approx \frac{r_p}{c} \approx 10^{-23}$ с, $r_p = \frac{\hbar}{m_p c} \approx$ $\approx 10^{-13}$ см — радиус протона. С другой стороны, возраст Вселенной t_0 не может быть много больше t_1, так как в этом случае почти все звезды превратились бы в белые карлики и нейтронные звезды, о чем речь уже шла выше. Поскольку мы такой Вселенной не наблюдаем, то $t_0 \sim t_1 \approx \alpha_G^{-1} \cdot t_p$. $ct_0 \approx \alpha_G^{-1} \cdot r_p = \left(\frac{\alpha}{\alpha_G}\right) a_0$.

Таким образом, соотношение между размерами Вселенной и атома есть простое следствие из условия наблюдаемости Вселенной разумными существами!

Между константами гравитационного и слабого взаимодействий имеется соотношение: $\alpha_G \approx \alpha_w^4$, где $\alpha_w = \frac{g m_e^2}{\hbar^3}$. Возможно, что это соотношение также выражает «антропный» принцип. Как оказывается, это соотношение объясняет, почему во время первичного синтеза ядер, когда возраст Вселенной исчислялся немногими минутами, 25 % всех образовавшихся ядер (по массе) были гелиевыми. Если бы a_w, было чуточку меньше, все образовавшиеся ядра были бы гелиевыми. В такой «гелиевой» Вселенной жизнь, конечно, невозможна (например, не было бы воды). С другой стороны, если бы α_w было бы чуточку больше, гелия во Вселенной не было бы совсем и эволюция звезд шла бы совсем по-другому. Небезынтересно также отметить, что если бы α_w даже незначительно отличалось от своего наблюдаемого значения, не было бы вспышек сверхновых, так как условия взаимодействия нейтрино с веществом были бы совершенно другими.

Остановимся теперь на другом обстоятельстве. Выше мы уже отмечали, что во Вселенной на каждые $S \approx 10^8$ фотонов приходится один протон. Ни физика, ни космология не дают объяснения этому надежно установленному факту. И вот выясняется, что «антропный» принцип ограничивает значение S. Оказывается, это предельное значение $S \approx \alpha_G^{-1/4} \approx 10^9$. В противном случае ни галактики, ни звезды не могли бы образоваться путем конденсации газа под действием силы тяготения.

Для возникновения где-нибудь во Вселенной жизни, как оказывается, решающее значение имеют соотношения между массами элементарных частиц. Отношения масс элементарных частиц удивительным образом связаны с константами сильного и электромагнитного взаимодействий. Например, $f^2 = \frac{2m_p}{m_n}$, $\alpha = \frac{m_n - m_p}{m_n}$, где $f^2 = 15$, m_n и m_p — массы нейтронов и π-мезонов. Если бы эти соотношения не выполнялись, в процессе нуклеосинтеза элементы, необходимые для жизни, не образовывались бы. Следовательно, эти соотношения могут также иметь «антропный» смысл. Заметим в этой связи, что условие $m_e \ll m_p$ необходимо для образования сложных многоатомных молекул, являющихся основой жизни.

Мы видим, таким образом, что наша реальная Вселенная поразительно приспособлена для возникновения и развития в ней жизни. Если бы, например, первичный набор масс элементарных частиц, формировавшийся в первые секунды после «Большого Взрыва», был бы 'другой (а это, в принципе, в тех условиях вполне было возможно!), Вселенная была бы совсем другой и уже во всяком случае безжизненной. Точно так же решающее значение имеет и первичная удельная энтропия вещества Вселенной, определяемая величиной S (см. выше).

Вопрос о том, существуют ли другие Вселенные, представляется отнюдь не праздным. Современная наука не в состоянии даже подойти к этой проблеме. Пока сделаны только первые попытки к первому шагу в этом фантастически трансцендентном направлении. Мы имеем в виду чисто абстрактные конструкции американцев Уиллера и Эверетта. Последний пытался связать этот вопрос с фундаментальной для квантовой механики проблемой измерений. Согласно Эверетту при каждом таком измерении Вселенная «разветвляется» на ряд параллельных Вселенных, каждая из которых соответствует определенному результату измерений. Пока это, конечно, игра ума. Но — кто знает, чем такая игра кончится? Не является ли идея Эверетта «безумной» в высоком «Боровском» смысле этого слова? Придется, увы, подождать, по крайней мере до XXI века... А пока, вместе с Вольтеровским Панглосом мы имеем все основания считать, что живем в лучшем из миров, так как практически все «Вселенные Эверетта» должны быть «мертворожденными». Как же мог Вольтер предвидеть такую ситуацию?..

Необходимо подчеркнуть следующее обстоятельство. До последнего времени молчаливо принималось, что возникновение и развитие жизни на Земле есть строго л о к а л ь н ы й феномен. Другими словами, в возникновении и эволюции жизни на Земле Галактика и Метагалактика никакой роли не играют*). Считалось, что если бы ничего, кроме Солнечной системы, во Вселенной не было, жизнь развивалась так, как мы это знаем. Предполагалось, что Солнечная система и з о л и р о в а н а. Теперь ясно, что это не так. Вся эволюция Вселенной от момента ее возникновения при «Большом Взрыве» как бы п о д г о т о в и л а возникновение в отдельных ее малых частях очагов жизни. Нельзя понять возникновение и эволюцию жизни на Земле без понимания процесса возникновения и развития всей Вселенной.

*) Если, конечно, не говорить о гипотезе панспермии.

8. Кратные звездные системы

В гл. 2 мы рассматривали некоторые основные характеристики звезд: диаметр, светимость, цвет и др. К этим характеристикам следует добавить еще одну — кратность. Значительное число звезд (от 30 до 50%) образует двойные, тройные и другие кратные системы. Явление кратности, очевидно, является фундаментальным свойством огромного количества звезд.

Наблюдается большое разнообразие свойств кратных систем. В ряде случаев звезды, образующие систему (или, как говорят астрономы, «компоненты системы»), находятся на довольно большом расстоянии (рис. 35). Систематические наблюдения позволяют установить орбитальное движение таких звезд друг относительно друга.

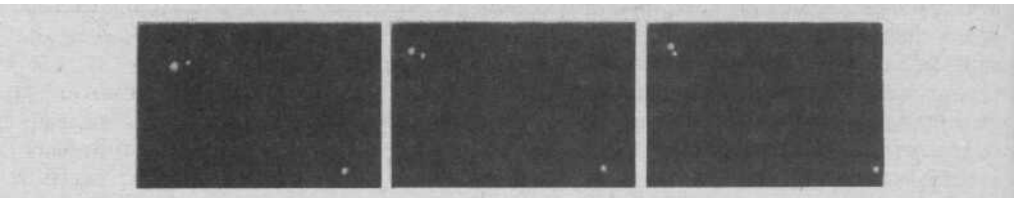

Рис. 35. Фотографии двойной звезды (получены в разные эпохи), указывающие на заметное орбитальное движение

На рис. 36 приведены последовательные положения одной из компонент двойной системы ξ Большой Медведицы относительно другой. Периоды обращения в отдельных случаях меняются от нескольких лет до тысячелетий. Применение известных законов небесной механики позволяет делать оценки масс звезд.

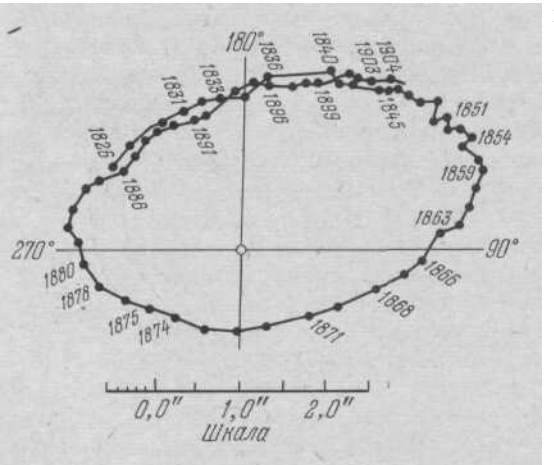

Рис. 36. Последовательные относительные положения компоненты двойной звезды на орбите

В большом числе случаев, однако, компоненты двойных систем расположены настолько близко, что их нельзя наблюдать раздельно; при таком положении двойственность системы доказывается спектральными наблюдениями. Благодаря орбитальному движению звезд друг относительно друга их скорости по лучу зрения неодинаковы. Например, одна звезда может в данный момент к нам приближаться, другая — удаляться. Из-за эффекта Доплера это приведет к небольшому сдвигу спектральных линий одной звезды относительно соответствующих линий другой. Так как из-за орбитального движения скорости по лучу зрения периодически меняются *), то и смещение соответствующих линий тоже будет периодически меняться. Систематически наблюдая такое смещение и установив его зависимость от времени, можно совершенно надежно вычислить основные характеристики орбиты и получить некоторое представление о массах компонент тесной двойной системы. Такие тесные двойные системы называются астрономами «спектрально-двойными».

*) Очевидно, период изменения скоростей равен периоду обращения одной звезды относительно другой.

В тех сравнительно редких случаях, когда плоскость орбиты тесной пары звезд образует небольшой угол с лучом зрения, можно наблюдать как бы «затмение» одной звезды другой. Так как обе компоненты такой системы раздельно не видны ни в один даже самый мощный телескоп, то во время такого «затмения» можно наблюдать только уменьшение блеска звезды. Когда затмение кончается (обычно оно длится несколько часов), звезда восстанавливает свой первоначальный блеск. Построив по возможности точную зависимость блеска звезды от времени (так называемую «кривую блеска» звезды), можно совершенно уверенно определить не только основные параметры орбиты, но и диаметры звезд и даже установить, как спадает яркость их дисков от центра к краю. Схема орбиты затменной переменной звезды Алголь и соответствующая ей кривая блеска приведены на рис. 37.

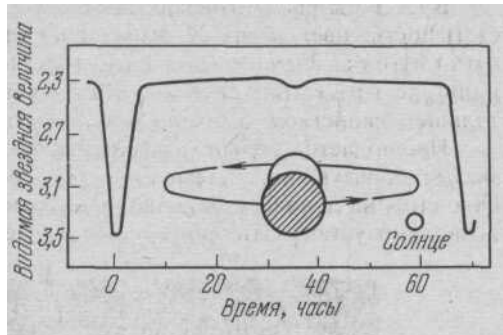

Рис. 37. Схема затменной двойной звезды

Компоненты спектрально-двойных и затменных переменных звезд бывают расположены очень близко друг к другу — иногда они почти соприкасаются своими поверхностями. В таких случаях наблюдаются интересные и сложные явления вытекания материи из звезд, вызванные мощными приливными силами. Часто такие звезды погружены в общую протяженную, сильно разреженную газовую оболочку. Схема одной такой тесной пары приведена на рис. 38. Следует напомнить, что вся картина явления получается только из анализа спектров и блеска звезд. Разумеется, в телескопы изображения, подобные приведенному на рис. 38, никогда не наблюдаются; для этого недостаточна разрешающая способность даже самых крупных инструментов.

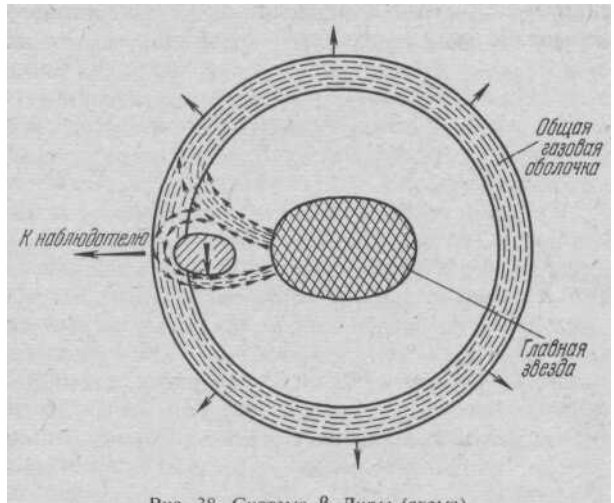

Рис. 38. Система β Лиры (схема)

Периоды обращения тесных пар, как это следует из известного закона Кеплера и непосредственно подтверждается наблюдениями, очень малы. Самый короткий из известных периодов принадлежит затменной переменной AM Гончих Псов. Он близок к 18 мин.

Как уже упоминалось в гл. 5, весьма вероятно, что все так называемые «новые» звезды представляют собой очень тесные двойные системы. Несколько таких звезд, согласно наблюдениям, являются затменными переменными. Оказывается, наличие «звезды-соседки», расположенной слишком близко, «мешает» нормальной эволюции звезды, в частности, переходу ее в стадию красного гиганта (см. ниже). При этом может возникнуть некоторая неустойчивость, приводящая к регулярно повторяющимся (через сотни и тысячи лет) вспышкам. Во время таких вспышек светимость новых хотя и велика, но в тысячи раз меньше, чем у сверхновых. Масса газа, выбрасываемого при каждой вспышке, составляет 10^{-3} — 10^{-5} массы Солнца.

Массы компонент двойной системы (в тех случаях, когда их можно найти порознь, а это возможно далеко не всегда) обычно меняются не в очень широких пределах. Часто массы их почти одинаковы или, во всяком случае, близки. Бывает, однако, и так, что масса одной компоненты в 10 раз меньше другой, а светимости отличаются в тысячи раз и более. Среди компонент двойных систем наблюдаются белые карлики. Примером может служить спутник Сириуса. Для интересующей нас проблемы особое значение имеет тот факт, что некоторые компоненты кратных систем обладают настолько малой массой, что их светимость совершенно ничтожна. Их нельзя наблюдать ни в какие телескопы, хотя они иногда находятся на довольно значительном расстоянии от «главной» массивной и яркой звезды. В таких случаях говорят о «невидимых спутниках» звезд. Классическим примером такой системы является одна из ближайших к нам звезд 61 Лебедя, особенно тщательно исследовавшаяся пулковским астрономом А. Н. Дейчем. Факт двойственности у этих звезд устанавливается путем изучения ничтожно малых периодических колебаний в движении главной звезды. Излишне подчеркивать, что такие наблюдения требуют большой точности и тщательности. В настоящее время известно уже несколько «невидимых» спутников. Их массы очень малы, приблизительно 0,01 солнечной массы, что'всего лишь в 10 раз превышает массу планеты-гиганта Юпитера! И все же такие небесные тела являются з в е з д а м и, т. е. самосветящимися газовыми шарами, а не холодными планетами, светящими (в видимой части спектра) отраженными лучами звезды.

Впрочем, следует подчеркнуть, что разница между планетами-гигантами и невидимыми спутниками звезд не принципиальна. Во-первых, химический состав у них должен быть сходен; как те, так и другие состоят в основном из водорода и гелия. В последние годы на орбитальных станциях обнаружено много «рентгеновских звезд», оказавшихся тесными двойными системами (см. ниже). Если бы масса Юпитера была раз в 10 больше, температура в его центральных частях повысилась бы настолько, что он стал бы излучать (хотя и слабо) в видимой части спектра. Юпитер стал бы весьма слабой звездой — красным карликом с температурой поверхности 1—2 тыс. К.

Обращает на себя внимание большая распространенность невидимых спутников звезд. Так как условия их наблюдений очень трудны, они могут быть обнаружены только у очень близких к нам звезд. И вот оказывается, что в сфере радиусом в 10 пк, окружающей Солнце, из 53 звезд 5 имеют невидимые спутники! Вполне естественно возникает вопрос: не имеются ли у некоторых звезд еще меньших размеров спутники, которые в силу своей относительно ничтожно малой массы не вызывают заметных колебаний в движении этих звезд? Но такие «ультраневидимые» спутники уже не отличаются практически от больших планет типа Юпитера и Сатурна. Тем самым мы подходим к основному вопросу: имеются ли основания полагать, что у многих звезд существуют планетные системы, в той или иной степени напоминающие нашу?

К этой центральной проблеме мы вернемся в следующей главе. Здесь же мы рассмотрим более узкий вопрос: можно ли в настоящее время средствами современной наблюдательной астрономии доказать наличие планет у ближайших к нам звезд? Ограничим рассмотрение только большими планетами-гигантами. Ясно, что если, например, в настоящее время не существует возможности наблюдать даже около самых близких к нам звезд большие планеты, то не может быть и речи о непосредственных наблюдениях, особенно интересных для нас планет типа Земли или Марса.

Допустим, что на расстоянии 10 пк от нас (около 33 световых лет) находится звезда, похожая на Солнце. Вокруг этой звезды на таком же расстоянии, что и Юпитер от Солнца (в 5,2 большем, чем расстояние от Солнца до Земли), обращается планета-гигант. Пусть эта планета будет «двойником» Юпитера, т. е. имеет

такие же размеры и массу. Предположим еще, что мы находимся почти точно в плоскости орбиты этой планеты. В принципе обнаружить наличие такой планеты около звезды можно тремя способами (рис. 39). Первый из них заключается в следующем. Очень медленное прямолинейное перемещение звезды по небу *), обусловленное ее движением относительно Солнца, должно дополняться «волновыми» колебаниям. Период «волны» будет, очевидно, равен периоду движения планеты,

Рис. 39. Три способа обнаружения планет около звезд

т. е. в нашем случае 11,9 года. Такое «волновое» движение объясняется тем, что звезда из-за притяжения планетой движется по эллиптической орбите вокруг общего центра тяжести звезды и планеты. Это орбитальное движение складывается с пространственным движением. Так как масса звезды в 1000 раз больше, чем масса планеты, центр масс системы находится близко от центра звезды. Поэтому амплитуда «волны» в собственном движении звезды очень невелика.

Расчеты, выполненные в свое время известным американским астрономом О. Л. Струве, показывают, что отклонение собственного движения от прямолинейного не превышает 0,0005 сек. дуги в год, т. е. ничтожно мало и находится за пределами точности современных астрономических наблюдений. Заметим, что, если бы масса спутника звезды была в 10 — 20 раз больше, чем у Юпитера, такие колебания в собственном движении уже можно было бы (правда, с трудом) обнаружить. Именно этим способом были открыты и изучаются невидимые спутники некоторых близких звезд, о которых шла речь.

Другой способ — спектроскопический. Движение звезды по орбите вокруг центра масс системы «звезда — планета» должно вызывать периодические колебания составляющей скорости звезды по лучу зрения. В самом деле, легко убедиться, что будут такие промежутки времени, когда орбитальная скорость направлена к нам и от нас. Период колебаний лучевых скоростей должен быть равен периоду обращения планеты. Однако этот эффект ничтожно мал. Расчет О. Л. Струве показывает, что периодические изменения лучевой скорости звезды не превышают 10 м/с, что составляет примерно тысячную долю полной лучевой скорости звезды. Скорости 10 м/с соответствует смещение длины волны спектральной линии примерно на 0,0001Å (напомним, что 1Å = 10^{-8} см, а длина волны видимого света лежит в пределах 4 — 7 тыс. Å). Такие ничтожно малые изменения длины волны измерить невозможно, особенно если учесть, что спектральные линии не бесконечно узки, а имеют конечную ширину порядка десятых долей ангстрема и больше.

Третий способ — фотометрический, т. е. сводится к систематическому, по возможности точному, измерению блеска звезды. Так как по условию земной наблю-

*) Такое перемещение называется «собственным движением» звезды. Для близких звезд оно достигает нескольких секунд дуги в год.

датель находится в плоскости орбиты планеты, то периодически каждые 11,9 года планета будет проектироваться на диск звезды. Подобное явление наблюдается и в Солнечной системе. Мы имеем в виду прохождение планет Венеры и Меркурия по диску Солнца. Так как планета — темное, не самосветящееся тело, то в случае, когда она проектируется на звезду, некоторая (малая) часть диска последней будет закрыта. Поэтому блеск звезды будет несколько уменьшен. Это аналогично явлению затменных переменных звезд (см. рис. 37).

Расчеты показывают, что при прохождении планеты размером с Юпитер через диск звезды, подобной Солнцу, ее блеск уменьшится на 0,01 звездной величины. Интересно отметить, что такие малые изменения потока излучения от звезд современная электрофотометрия зарегистрировать уже может. Вспомним, однако, что мы рассматривали очень маловероятный случай, когда направление «Солнце - звезда» лежит в плоскости орбиты планеты. Достаточно отклониться этому направлению всего лишь на 2 — 3 мин. дуги, как уже планета ни при каком положении не будет проходить через диск. Таким образом, и этот возможный способ наблюдения планет, обращающихся вокруг звезд, оказывается практически нереальным.

Напомним, что речь шла о возможности наблюдений очень большой планеты, обращающейся по орбите вокруг достаточно близкой к нам звезды. Из сказанного следует, что современная астрономия прямыми наблюдениями пока не в состоянии обнаружить присутствия планет у звезд, удаленных от нас на расстояние более 10 пк. Впрочем, необходимо заметить, что недалеко то время, когда такие наблюдения смогут быть проведены. Если на космической научной станции, установленной на искусственном спутнике Земли, будет крупный телескоп с объективом диаметром 2 м или больше, то появится возможность непосредственных наблюдений планет-гигантов, обращающихся вокруг близких к нам звезд. Дело в том, что возможности больших телескопов, расположенных на Земле, используются далеко не полностью. Из-за преломления света на мелких, беспорядочно движущихся струях и неоднородностях атмосферы даже точечный источник света (например, звезда) размазывается в диск размерами 0,5 — 2 сек. дуги. Между тем если планета-гигант удалена от своей звезды на расстояние, равное расстоянию от Земли до Солнца («астрономическая единица»), а сама звезда удалена от нас на 10 пк, то угловое расстояние между планетой и звездой никогда не будет превышать 0,1 сек. дуги. Это означает, что телескоп любых размеров, если он установлен на Земле, не разделит изображения планеты и звезды. Кроме того, ввиду рассеяния света в земной атмосфере, вокруг сравнительно яркой звезды всегда будет светящийся ореол, в котором полностью «утонет» ничтожно слабая по своей яркости планета.

Другое дело, если такой телескоп помещен на космической станции. Атмосферные помехи, о которых шла речь, уже не будут мешать наблюдениям. Это, конечно, не означает, что можно будет раздельно наблюдать (например, фотографировать) сколь угодно близкие друг к другу звезды. Существует и здесь предел, обусловленный волновой природой света. Ввиду дифракции на оправе объектива телескопа каждая звезда в фокальной плоскости последнего даст систему колец конечной толщины. По этой причине предельное угловое «разрешение» телескопа пропорционально отношению длины волны света к диаметру объектива. Например, для синих лучей при диаметре объектива 1 м предельное угловое расстояние между звездами, при которых их еще можно наблюдать раздельно, будет меньше 0,1 сек. дуги. Применение специальных приборов — интерферометров — позволяет измерять углы даже в 0,01 сек. дуги.

Звездная величина большой планеты, сходной с Юпитером, находящейся на расстоянии одной астрономической единицы от звезды, похожей на Солнце и удаленной от нас на расстояние 10 пк, будет около 24.

<> На рис. 40 показана мощность излучения Солнца и Юпитера в разных диапазонах спектра. В оптическом диапазоне различие в миллиард раз, в инфракрасном около волны 30 мкм — всего в 10 тысяч раз. В США заканчивается подготовка к запуску телескопа с зеркалом 2,4 м, с помощью которого, вероятно, удастся обнаружить планеты около ближайших звезд. Космический инфракрасный телескоп с раскрывающимся рефлектором диаметром около 15 м способен обнаружить юпитероподобные планеты в пределах десятка световых лет от нас <>

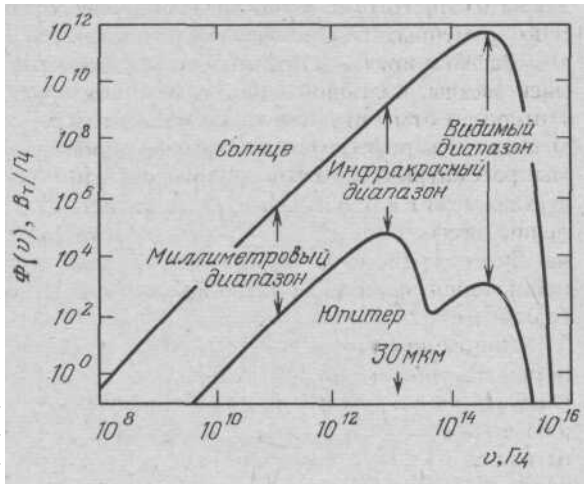

Рис. 40. Кривые зависимости мощности излучения в единичном частотном интервале от частоты для Солнца и Юпитера в идеализированном предположении о чернотельном механизме излучения

Приведенные выше соображения относятся к оценке возможности наблюдать планетные системы на расстояниях 10 пк и больше. Ну, а если планетная система находится «совсем близко», на расстоянии 1,5 — 2 пк? На таком расстоянии от нас находится столь малое число звезд, что их можно буквально пересчитать по пальцам. Казалось бы, вероятность обнаружения планетных систем у наших ближайших соседей должна быть весьма незначительной. Тем большее значение имеет исключительно важное исследование известного американского астронома ван де Кампа, касающееся одной из наиболее близких к нам звезд — знаменитой «летящей звезды Барнарда».

Эта замечательная звезда находится в созвездии Змееносца и отличается самым большим собственным движением среди всех известных звезд. По этой причине она и получила свое необычное название. Хорошо известно, что звезды только в первом приближении можно называть «неподвижными», т. е. не меняющими своего положения друг относительно друга. В действительности из-за того, что они движутся в пространстве с относительными скоростями порядка десятков километров в секунду, их взаимное расположение очень медленно меняется. Однако по причине огромной величины межзвездных расстояний угловое перемещение по небесной сфере за год (а это и есть «собственное движение») даже для самых близких звезд очень редко превышает 1 с. Для звезды Барнарда эта величина равна 10,3 с в год. Это означает, что за 180 лет она переместится по небу на величину лунного диаметра, который, как известно, близок к $^1/_2$ градуса. Столь большое собственное движение этой звезды объясняется, прежде всего, тем, что после тройной системы а Центавра звезда Барнарда является нашей ближайшей соседкой. Расстояние до нее всего лишь 1,8 пк. Это очень слабый красный карлик спектрального класса М5, радиус которого в 6 раз меньше солнечного, а масса составляет 15% солнечной массы.

Многолетние наблюдения ван де Кампа привели к открытию у этой звездочки невидимого спутника рекордно малой массы. На протяжении 25 лет американский астроном получил около 2000 фотографий этой звезды. Годичному собственному движению исследуемого объекта соответствовало смещение положения изображения на фотографии на 0,546 мм. Тщательные измерения «траектории» звезды Барнарда по отношению к соседним звездам позволили обнаружить волнообразный характер движения.

На рис. 41 приведены осредненные результаты этих измерений по двум небесным координатам — прямому восхождению и склонению. Из этого рисунка отчетливо видны периодические колебания собственного движения звезды Барнарда, причем период близок к 24 годам. Для того чтобы почувствовать малость измеряемого эффекта, на рис. 41 в верхнем правом углу приведен масштаб, равный 0,01". Такие периодические изменения собственного движения могут быть объяснены наличием «легкого» невидимого спутника. Зная массу звезды и период обращения, можно определить из третьего закона Кеплера большую полуось орбиты спутника, которая оказывается равной 4,4 астрономической единицы. На таком расстоянии полуось орбиты была бы видна под углом 2,4". Сама звезда движется с тем же периодом вокруг центра масс системы, причем максимум ее углового смещения должен быть во столько раз меньше 2,4", во сколько раз ее масса больше. Отсюда

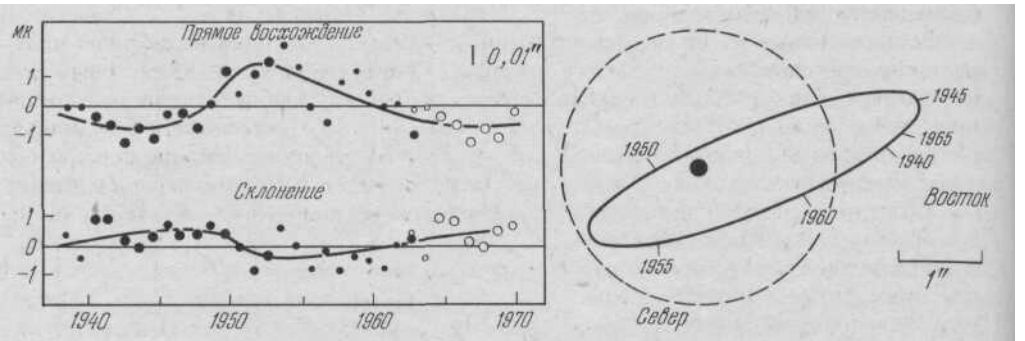

Рис. 41. Отклонения в собственном движении звезды Барнарда за 24 года

Рис. 42. Орбита спутника звезды Барнарда. Штриховая окружность показывает размеры фотографического изображения этой звезды при средних условиях наблюдений

следует, что масса невидимого спутника должна быть почти в 100 раз меньше, чем масса самой звезды Барнарда. Это значит, что его масса составляет 0,0015 солнечной массы и всего лишь в 1,5 раза больше массы Юпитера! Увы! Этот увлекательный результат сейчас оспаривается. Не исключено, что он обусловлен какой-нибудь периодической ошибкой винтов измерительного инструмента. Во всяком случае другие исследователи пока не подтвердили открытие ван де Кампа.

Если это открытие подтвердится, то, скорее всего, невидимый спутник звезды Барнарда — это большая планета, очень похожая на Юпитер. Она не может быть самосветящимся объектом, а светит только отраженным светом своего маленького красного «солнца». При таких условиях его видимая звездная величина составляет около 30, в то время как видимая величина самой звезды Барнарда равна 9,5. Нет никакой надежды при помощи современных методов астрономии непосредственно наблюдать спутник звезды Барнарда. На рис. 42 приведена орбита спутника этой звезды. Окружность (штриховая линия) соответствует величине изображения звезды Барнарда при средних условиях наблюдений.

Если бы открытие ван де Кампа подтвердилось, оно доказывало бы огромную распространенность планетных систем во Вселенной, ибо даже у самой близкой к нам звезды имеется планетная система. Правда, налицо одно существенное различие между нашей планетной системой и системой звезды Барнарда: спутник последней движется по резко эллиптической орбите, между тем как большие планеты Солнечной системы движутся по почти круговым орбитам. Пока неясно, является ли это различие принципиальным. Еще раз, однако, подчеркнем, что открытие ван де Кампа пока не подтверждено.

Вполне естественно считать, что кратность звезд и наличие планетных систем суть одно и то же явление. В этой связи отметим, что согласно исследованиям аме-

риканского астронома Койпера среднее расстояние между компонентами двойных звезд около 20 астрономических единиц, что близко к размерам Солнечной системы.

В пользу вывода о том, что кратные звездные системы и планетные системы это, по существу, одно и то же явление, говорит статистический анализ проблемы. В начале этой главы мы писали, что по разным оценкам от 30 до 50 % всех звезд входят в состав кратных систем. Эти оценки, однако, страдают одним существенным дефектом: они не полны и отягощены наблюдательной селекцией. Главная ошибка при таких подсчетах — трудность наблюдения пары, у которой масса одной компоненты значительно больше, чем второй. Об этом уже шла речь выше, при анализе проблемы невидимых спутников звезд. Недавно американские астрономы Абт и Леви выполнили тщательное исследование кратности у 123 ближайших к нам звезд солнечного типа.

Все эти звезды, видимые невооруженным глазом, находятся в северном полушарии неба и удалены от Солнца на расстояния, не превышающие 85 световых лет, так что речь идет о наших ближайших соседях. Так как выбранные звезды достаточно ярки, их можно было самым тщательным образом исследовать с помощью спектрографа с высокой дисперсией на 2,1-метровом рефлекторе Национальной обсерватории Китт Пик (Аризона). В результате этих исследований оказалось, что из 123 выбранных звезд 57 оказались двойными, 11 — тройными и 3 — четверными. Таким образом, около 60% всех звезд солнечного типа оказались кратными. Но в действительности этот процент должен быть выше, ибо, как это уже подчеркивалось, по причинам чисто наблюдательным, мало массивные компоненты непосредственно наблюдать было невозможно. Чтобы учесть системы с мало массивными компонентами, Абт и Леви на основе полученного ими наблюдательного материала построили зависимость числа пар от отношения масс компонент. Эта зависимость строилась для разных периодов обращения звезд — см. рис. 43. Из этого рисунка видно, прежде всего, что для длинных (> 100 лет) и коротких периодов эта зависимость получается разной. В то время как для коротких периодов число пар по мере уменьшения отношения масс главной звезды и ее спутника медленно убывает, для длинных периодов получается обратная картина. Таким образом, имеются как бы два типа кратных звездных систем. Не вдаваясь в обсуждение этого явления (что будет сделано в гл. 9), обратим здесь внимание только на то, что кривые для малых периодов допускают экстраполяцию вплоть до самых малых, пока еще не наблюдаемых, отношений масс компонент. И вот оказывается, что если экстраполировать кривые до значения этого отношения M_2/M_1 = 1/100, го можно ожидать еще 20 пар, а если экстраполировать до M_2/M_1 = 0, то добавится еще 25. Следовательно, полное количество двойных систем будет почти точно равно 123! Другими словами, если учитывать достаточно малые значения отношения M_2/M_1, то получится, что практически все звезды солнечного типа либо кратные, либо окру-

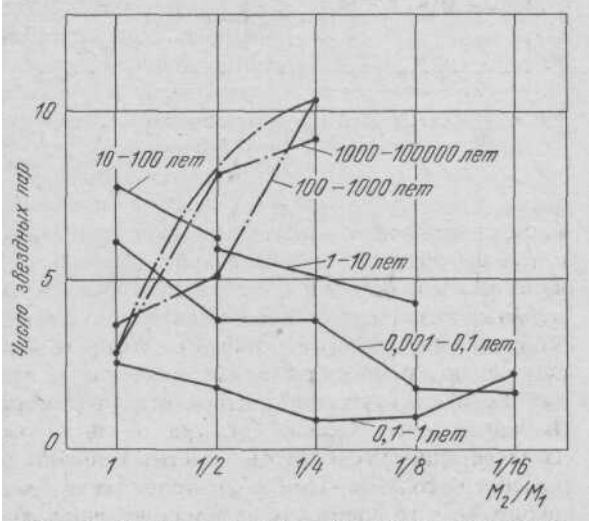

Рис. 43. Результаты анализа 123 близких звезд солнечного типа. Числа у линий указывают интервалы периодов обращения

жены семьей планет. Если условно положить, что наибольшая масса планеты равна $10^{-3}\ M_{\odot}$ (Юпитер!), то получится, что $\sim 10\%$ всех звезд типа Солнца имеют планетные системы. По нашему мнению, несмотря на сравнительную бедность использовавшегося статистического материала, исследования Абта и Леви являются лучшим из всех существующих обоснованием множественности планетных систем для звезд солнечного типа.

Рассмотрим теперь вопрос о происхождении кратных звездных систем. В свое время большое распространение имела гипотеза деления одной первоначальной звезды на две компоненты. Причиной деления могло быть очень быстрое вращение звезды. Под действием центробежной силы поверхность быстро вращающейся звезды перестает быть сферической. Расчеты показывают, что при некоторых идеализированных условиях быстро вращающееся тело приобретает характерную грушевидную форму, а при еще более быстром вращении оно может потерять устойчивость и распасться на две части.

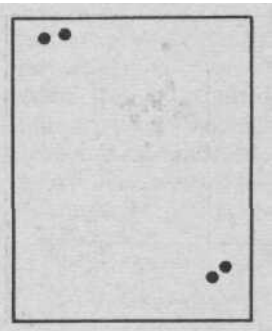

Рис. 44. Четверная система звезд (схема)

Однако гипотеза деления оказалась неспособной объяснить результаты наблюдения и должна была быть поэтому оставлена. Некоторые ученые (например, О. Ю. Шмидт) выдвигали гипотезу «захвата», согласно которой при определенных условиях две звезды, до этого двигавшиеся в пространстве независимо, сближаясь, могут образовать двойную систему. Хотя математически такой процесс возможен (например, при случайном сближении трех звезд одновременно), вероятность его ничтожно мала. Кроме того, он противоречит наблюдениям. Никак нельзя объяснить, например, почему четверные системы всегда бывают такие, как это схематически изображено на рис. 44. Вся совокупность фактов, накопленных астрономией за последние два десятилетия, говорит о том, что кратные системы образовались совместно из некоторой первоначальной газопылевой межзвездной среды.

В процессе звездообразования возникают, как правило, целые группы звезд - ассоциации, скопления и кратные системы. Отсюда следует важный вывод: компоненты кратной системы должны иметь одинаковый возраст. Современные представления об эволюции звезд, о которых было рассказано в гл. 4, позволяют понять некоторые характерные особенности кратных систем. Эти особенности были установлены чисто эмпирически уже давно и представлялись совершенно непонятными.

Например, очень часто встречается такая комбинация, когда обе компоненты кратной системы являются горячими звездами спектральных классов О или ранних подклассов В. Современные представления об эволюции звезд вполне объясняют этот факт: из первичной туманности образовались одновременно две звезды с очень близкими массами, которые, естественно, находятся на одинаковых стадиях эволюции.

В случае, когда эволюционирует тесная двойная система, с периодом обращения меньше недели и с расстоянием между компонентами меньше 0,1 астрономической единицы, факт двойственности существенно определяет характер эволюции. Вначале, пока обе звезды находились на главной последовательности, их эволюция протекала так же, как и в случае, когда они были бы изолированы. Но затем более массивная звезда после «выгорания» водорода в ее ядре начнет «разбухать», переходя в стадию красного гиганта; она достигнет такого критического радиуса, при котором дальнейшее его увеличение становится невозможным, ибо вещество в поверхностных слоях эволюционирующей звезды начнет перетекать на вторую компоненту. За «каких-нибудь» несколько десятков тысяч лет, существенная часть массы эволюционирующей звезды перетечет на вторую компоненту, которая ста-

нет более массивной, между тем как светимость эволюционирующей, но уже менее массивной компоненты, будет более высокой, хотя и не такой высокой, как у гигантов. Такие звезды называются «субгигантами» и их можно видеть на диаграмме Герцшпрунга — Рессела (см. рис. 9). Все это время от эволюционирующей звезды на вторую компоненту будут течь струи газа, а сама двойная система будет как бы погружена в газовое облако (см. рис. 38). Ввиду огромной распространенности явления кратности среди звезд нашей Галактики особый характер эволюции звезд в таких системах имеет принципиальное значение.

Лет двадцать назад к этой коллекции фактов, касающихся характеристик компонент двойных систем, присоединился новый, не менее интересный. Как известно, массивные горячие молодые звезды имеют сравнительно малые хаотические скорости пространственных движений, как правило, меньше 10 км/с. Именно поэтому они очень сильно концентрируются к галактической плоскости (см. гл. 1). Но из этого правила имеются уже давно известные исключения. Небольшое количество горячих массивных звезд движется с необыкновенно большими пространственными скоростями, достигающими 100 км/с. Оказывается, что такие звезды некоторое время назад «вылетели» из тех или иных звездных ассоциаций — групп молодых горячих звезд (см. гл. 4). Это хорошо видно на рис. 45, где звездочками изображены три такие «быстрые» горячие звезды. Пунктирные прямые — направления их движений по небу. Три прямые почти пересекаются в области созвездия Ориона, где находится большая ассоциация горячих звезд. Так как расстояние до ассоциации Ориона известно, то по найденным скоростям звезд можно установить, что «беглецы» покинули ассоциацию совсем «недавно» — от 2 до 5 млн лет назад.

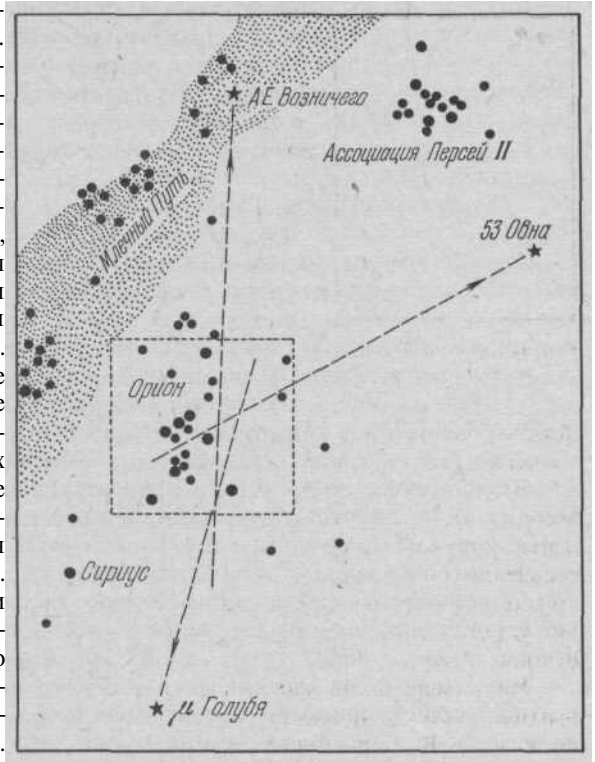

Рис. 45. Горячие звезды, вылетающие из созвездия Ориона

По какой же причине выбрасываются такие звезды из ассоциации? Голландский астроном Блаау обратил внимание на то, что звезды-«беглецы» всегда являются одиночками. Между тем кратность среди массивных, горячих звезд особенно распространена — почти половина их образует кратные системы. Чтобы объяснить этот удивительный факт, голландский астроном выдвинул предположение о том, что раньше звезды-беглецы были компонентами двойных систем. Вторая компонента — более массивная горячая звезда того же спектрального класса О — взорвалась как сверхновая II типа (см. гл. 5).

Что произойдет, если более массивная звезда в двойной системе вдруг как бы исчезнет, пропадет? Сила притяжения не будет больше удерживать оставшуюся звезду на ее эллиптической орбите. Она уйдет по касательной к своей орбите, сохранив при этом орбитальную скорость. В действительности, конечно,

масса взорвавшейся звезды не может бесследно исчезнуть. Если расширяющаяся туманность — остаток взрыва сверхновой — находится внутри орбиты оставшейся звезды, сила притяжения почти не изменится и звезда никогда «не убежит». Если же звезда окажется внутри туманности, последняя почти не будет ее притягивать. Чтобы описанный «эффект пращи» (иначе его трудно назвать) имел место, необходимо, чтобы газы — продукты взрыва сверхновой — ушли за орбиту оставшейся звезды за время, значительно меньшее, чем период обращения. Это условие будет выполняться для двойной системы, компоненты которой удалены одна от другой достаточно далеко, например на 10 — 20 астрономических единиц. При этом периоды обращения должны быть порядка нескольких лет, а орбитальные скорости (при достаточно массивных звездах) — около 100 км/с.

Наличие среди компонент кратных систем белых карликов (например, в системе Сириуса) легко объясняется тем, что более массивная компонента закончила свой эволюционный путь, став маленькой, очень плотной звездой (см. гл. 4). Напротив, нельзя представить двойную систему, у которой одна компонента — горячая, массивная звезда спектрального класса О, а вторая — обыкновенный красный гигант с массой в 1,5 — 2 раза больше солнечной. Ведь для того, чтобы звезда такой массы сошла с главной последовательности и стала красным гигантом, нужно соответственно 4 и 2 млрд лет (см. табл. 2), в то время как горячая звезда класса О не может существовать свыше 10 млн лет. И действительно, подобные двойные системы неизвестны.

В гл. 5 мы уже говорили, что «звездные» рентгеновские источники никак не могут быть «молодыми», еще не успевшими остыть нейтронными звездами, так как последние слишком быстро остывают. И все же совершенно неожиданно выяснилось, что эти космические рентгеновские источники являются нейтронными звездами. Наблюдения, выполненные на специализированном американском рентгеновском спутнике «Ухуру» привели к удивительному открытию: поток излучения от довольно большого количества источников меняется со временем строго периодически, причем периоды составляют несколько дней. У двух источников были обнаружены, кроме того, короткопериодические изменения потока с периодами 1,25 и 4,88 секунды. Эти короткие периоды в свою очередь плавно менялись с указанным выше длинным периодом, причем амплитуды изменений малых периодов хотя и малы, но вполне измеримы *).

Объяснение этим удивительным фактам весьма простое и даже очевидное. Рентгеновский источник — это маленькая, компактная звезда, вращающаяся вокруг второй, «нормальной», звезды, причем луч зрения почти «скользит» вдоль плоскости орбиты. Минимум потока рентгеновского излучения наблюдается тогда, когда рентгеновская компонента заходит за оптическую. Другими словами, мы наблюдаем затменную двойную систему.

Наличие секундных периодов означает, что наблюдаемые источники представляют собой «рентгеновские пульсары», т. е. очень быстро вращающиеся маленькие звезды. Так как минимальный период такого осевого вращения лишь немногим больше секунды, то это не могут быть белые карлики. Только нейтронные звезды могут иметь такие короткие периоды вращения. Изменение величины периода коротких рентгеновских импульсов, обусловленных осевым вращением, в течение орбитального периода очевидным образом объясняется эффектом Доплера. Из амплитуды этих изменений непосредственно определяется орбитальная скорость рентгеновской звезды.

В ряде случаев по изменениям положения линий поглощения в спектре оптической компоненты такой двойной системы был определен орбитальный период, ко-

*) В настоящее время уже известно около 20 рентгеновских источников с аналогичными периодическими изменениями потока излучения.

торый оказался в точности равным периоду, полученному из рентгеновских наблюдений.

Во всех случаях нейтронные звезды, излучающие рентгеновские кванты, входят в состав тесных двойных систем. В таких системах при достаточно большом радиусе оптической компоненты с части ее поверхности, обращенной ко второй компоненте, непрерывно будет истекать струя газа. По этой причине вокруг нейтронной звезды образуется быстро вращающийся газовый диск, вещество которого будет падать на поверхность нейтронной звезды. Так как скорость подобного падения газа довольно близка к скорости света, при таком процессе (называемом «аккрецией») будет выделяться огромное количество энергии, которая нагреет газ в диске до температуры в несколько десятков миллионов Кельвинов, сделав его мощным источником рентгеновского излучения. Сходные процессы будут иметь место и тогда, когда компонентой «оптической» звезды будет черная дыра. Отличить черную дыру от нейтронной звезды можно тогда, когда известна масса рентгеновской компоненты из наблюдений двойной системы, в которой она находится. Напомним, что если масса «компактной», «проэволюционировавшей» рентгеновской компоненты больше 2,5 солнечных масс, она должна быть черной дырой (см. гл. 5). Похоже на то, что одна черная дыра уже наблюдается — это знаменитый рентгеновский источник Лебедь X-1.

Таким образом, нейтронные звезды «сами по себе» не являются рентгеновскими источниками. Только тогда, когда они окажутся в тесной двойной системе, при определенных условиях начнет действовать «машина», весьма эффективно вырабатывающая рентгеновское излучение с помощью глубокой «потенциальной ямы» в окрестностях нейтронной звезды, куда падает газовая струя, поставляемая оптической компонентой. То же самое относится, конечно, и к черным дырам.

Все изложенные факты доказывают, что компоненты кратных систем образовались совместно. Коль скоро имеются основания предполагать, что планетные системы в принципе не отличаются от кратных звездных систем, планеты, скорее всего, должны образоваться параллельно с формированием соответствующих звезд.

9. О происхождении Солнечной системы

Вот уже два века проблема происхождения Солнечной системы волнует выдающихся мыслителей нашей планеты. Этой проблемой занималась, начиная от философа Канта и математика Лапласа, плеяда астрономов и физиков XIX и XX столетий. Ей отдал дань наш замечательный соотечественник, человек разносторонне талантливый, Отто Юльевич Шмидт. И все же мы еще очень далеки от ее решения. Какие только тайны не были вырваны у природы за эти два столетия! За последние три десятилетия существенно прояснился вопрос о путях эволюции звезд. И хотя детали удивительного процесса рождения звезды из газопылевой туманности еще далеко не ясны, мы теперь четко представляем, что с ней происходит на протяжении миллиардов лет дальнейшей эволюции. Об этом довольно подробно шла речь в гл. 4. Увы, вопрос о происхождении и эволюции планетной системы, окружающей наше Солнце, далеко не так ясен.

На первый взгляд кажется странным и даже парадоксальным, что астрономы смогли узнать о космических объектах, весьма удаленных и наблюдаемых с большими трудностями, гораздо больше, чем о планетах и Солнце, которые (по астрономическим масштабам, разумеется) находятся у нас «под боком». Однако в этом нет ничего удивительного. Дело в том, что астрономы наблюдают огромное количество звезд, находящихся на разных стадиях эволюции. Изучая звезды в скоплениях, они могут чисто эмпирически установить, как зависит темп эволюции звезд от начальных условий, например массы. Если бы не было этого обширного эмпирического материала (прежде всего рассматривавшейся нами выше диаграммы «цвет — светимость» для большого числа скоплений), вопрос об эволюции звезд был бы предметом более или менее бесплодных спекуляций, как это и было примерно до 1950 г.

В совершенно другом положении находятся исследователи происхождения и эволюции нашей планетной системы. Ведь мы пока не мо^кем непосредственно наблюдать такие системы даже около самых близких звезд (см. гл. 8). Если бы это удалось .и мы имели реальное представление, как выглядят планетные системы на разных этапах своей эволюции или хотя бы как сильно отличаются одни планетные системы от других, эта волнующая проблема была бы, несомненно, решена в сравнительно короткие сроки. Но пока мы наблюдаем планетную систему, так сказать, «в единственном экземпляре». Более того, необходимо еще доказать, что около других звезд имеются планетные системы. Ниже мы попытаемся это сделать, пользуясь наблюдаемыми характеристиками звезд.

Значит ли это, что мы еще решительно ничего не можем сказать о происхождении Солнечной системы, кроме тривиального утверждения, что она как-то образовалась не позже чем 5 млрд лет назад, потому что таков приблизительно возраст Солнца? Такая «пессимистическая» точка зрения так же мало обоснована, как и излишний оптимизм адептов той или иной космогонической гипотезы. Можно сказать, что кое-что о происхождении семьи планет, обращающихся вокруг Солнца, мы уже знаем. Во всяком случае, круг возможных гипотез о происхождении Солнечной системы сейчас значительно сузился.

Переходя к изложению (по необходимости весьма краткому) различных космогонических гипотез, сменявших одна другую на протяжении последних двух столетий, мы начнем с гипотезы, впервые высказанной великим немецким философом Кантом и спустя несколько десятилетий независимо предложенной замечательным французским математиком Лапласом. Из дальнейшего будет видно, что существенные предпосылки этой классической гипотезы выдержали испытание временем, и сейчас в самых «модернистских» космогонических гипотезах мы легко можем найти основные идеи гипотезы Канта — Лапласа.

Точки зрения Канта и Лапласа в ряде важных вопросов резко отличались. Кант, например, исходил из эволюционного развития холодной пылевой туманности, в ходе которого сперва возникло центральное массивное тело — будущее Солнце, а потом уже планеты, в то время как Лаплас считал первоначальную туманность газовой и очень горячей, находящейся в состоянии быстрого вращения. Сжимаясь под действием силы всемирного тяготения, туманность, вследствие закона сохранения момента количества движения, вращалась все быстрее и быстрее (об этом подробнее речь будет идти ниже). Из-за больших центробежных сил, возникающих при быстром вращении в экваториальном поясе, от него последовательно отделялись кольца. В дальнейшем эти кольца конденсировались, образуя планеты (схема, иллюстрирующая эту гипотезу, приведена па рис. 46).

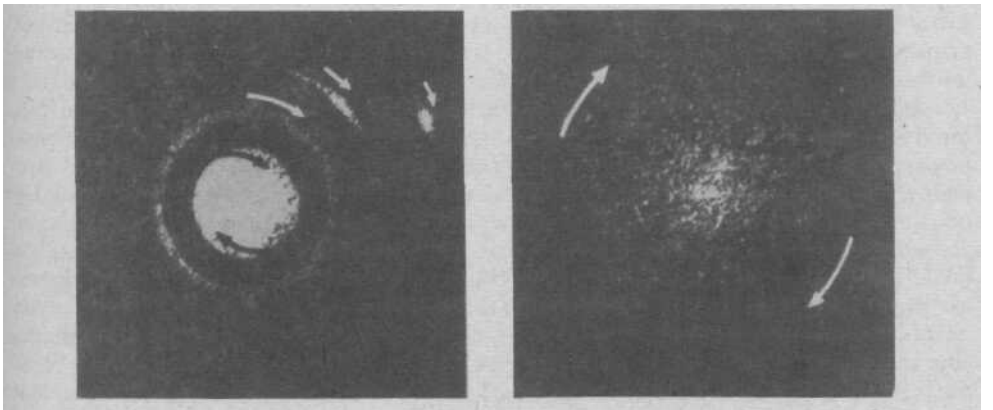

Рис. 46. Схема, поясняющая космогоническую систему Лапласа

Таким образом, согласно гипотезе Лапласа, планеты образовались раньше Солнца. Однако, несмотря на такое резкое различие между двумя гипотезами, общей их важнейшей особенностью является представление, что Солнечная система возникла в результате закономерного развития туманности. Поэтому и принято называть эту концепцию «гипотезой Канта — Лапласа».

Уже в середине XIX столетия стало ясно, что эта гипотеза сталкивается с фундаментальной трудностью. Дело в том, что наша планетная система, состоящая из девяти планет весьма разных размеров и массы, обладает одной замечательной особенностью. Речь идет о необычном распределении момента количества движения Солнечной системы между центральным телом — Солнцем и планетами.

Момент количества движения есть одна из важнейших характеристик всякой изолированной от внешнего мира механической системы. Именно как такую систему мы можем рассматривать Солнце и окружающую его семью планет. Момент количества движения может быть определен как «запас вращения» системы. Это вращение складывается из орбитального движения планет и вращения вокруг своих осей Солнца и планет.

Математически «орбитальный» момент количества движения планеты относительно центра масс системы (весьма близкого к центру Солнца) определяется как произведение массы планеты на ее скорость и на расстояние до центра вращения, т. е. Солнца. В случае вращающегося сферического тела, которое мы будем считать твердым, момент количества движения относительно оси, проходящей через его центр, равен 0,4 MvR, где M — масса тела, v — его экваториальная скорость, R - радиус. Хотя суммарная масса всех планет составляет всего лишь 1/700 солнечной, учитывая, с одной стороны, большие расстояния от Солнца до планет и

с другой — малую скорость вращения Солнца *), мы получим путем простых вычислений, что 98 % всего момента Солнечной системы связано с орбитальным движением планет и только 2% — с вращением Солнца вокруг оси. Момент количества движения, связанный с вращением планет вокруг своих осей, оказывается пренебрежимо малым из-за сравнительно малых масс планет и их радиусов.

На рис. 47 схематически представлено распределение момента количества движения между Солнцем и планетами. Значения моментов даны в системе единиц CGS. Найдем, например, момент количества движения Юпитера /. Масса Юпитера равна $M = 2 \cdot 10^{30}$ г (т. е. 10^{-3} массы Солнца), расстояние от Юпитера до Солнца г = $7{,}8 \cdot 10^{13}$ см (или 5,2 астрономической единицы), а орбитальная скорость $v = 1{,}3 \cdot 10^{6}$ см/с (около 13 км/с). Отсюда

$$/ = Mvr = 190 \cdot 10^{48}.$$

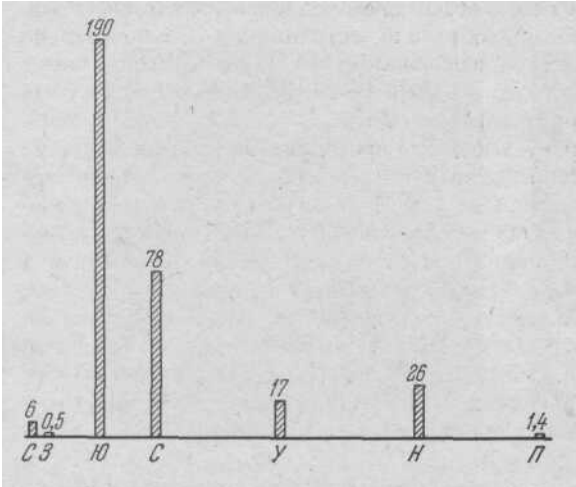

Рис. 47. Распределение вращательного момента в Солнечной системе (в единицах 10^{48} CGS)

В этих единицах Момент количества движения вращающегося Солнца равен всего лишь $6 \cdot 10^{48}$. Из рисунка видно, что все планеты земной группы - Меркурий, Венера, Земля и Марс — имеют суммарный момент в 380 раз меньший, чем Юпитер. Львиная доля момента количества движения Солнечной системы сосредоточена в орбитальном движении планет-гигантов Юпитера и Сатурна.

С точки зрения гипотезы Лапласа, это совершенно непонятно. В самом деле, в эпоху, когда от первоначальной, быстро вращающейся туманности отделялось кольцо, слои туманности, из которых впоследствии сконденсировалось Солнце, имели (на единицу массы) примерно такой же момент, как вещество отделившегося кольца**). Так как масса последнего была значительно меньше массы основной части туманности («протосолнца»), то полный момент количества движения у кольца должен быть много меньше, чем у «протосолнца». В гипотезе Лапласа отсутствует какой бы то ни было механизм передачи момента от «протосолнца» к кольцу. Поэтому в течение всей дальнейшей эволюции момент количества движения «протосолнца», а затем и Солнца должен быть значительно больше, чем у колец и образовавшихся из них планет. Но этот вывод находится в разительном противоречии с фактическим распределением момента количества движения между Солнцем и планетами!

Для гипотезы Лапласа эта трудность оказалась непреодолимой. На смену ей стали выдвигаться другие гипотезы. Мы не будем их здесь даже перечислять — сейчас они представляют только исторический интерес. Остановимся лишь на гипотезе Джинса, получившей-повсеместное распространение в первой трети текущего столетия. Эта гипотеза во всех отношениях представляет собой полную противоположность гипотезе Канта — Лапласа. Если последняя рисует образование планетных систем (в том числе и нашей Солнечной) как единый закономерный процесс эволюции от простого к сложному, то в гипотезе Джинса образование таких систем есть дело случая и представляет редчайшее, исключительное явление.

*) Скорость вращения Солнца на его экваторе составляет всего лишь 2 км/с, что в 15 раз меньше скорости Земли на орбите.

**) Так как угловые скорости кольца и оставшихся частей были почти одинаковы.

Согласно гипотезе Джинса, исходная материя, из которой в дальнейшем образовались планеты, была выброшена из Солнца (которое к тому времени было уже Достаточно «старым» и похожим на нынешнее) при случайном прохождении вблизи него некоторой звезды. Это прохождение было настолько близким, что практически его можно рассматривать как столкновение. При таком очень близком прохождении благодаря приливным силам, действовавшим со стороны налетевшей на Солнце звезды, из поверхностных слоев Солнца была выброшена струя газа. Эта струя останется в сфере притяжения Солнца и после того, как звезда уйдет от Солнца. В дальнейшем струя сконденсируется и даст начало планетам.

Что можно сказать сейчас по поводу этой гипотезы, владевшей умами астрономов в течение трех десятилетий? Прежде всего, она предполагает, что образование планетных систем, подобных нашей Солнечной, есть процесс исключительно маловероятный. В самом деле, как уже подчеркивалось в гл. 1, столкновения звезд, а также их близкие взаимные прохождения в нашей Галактике могут происходить чрезвычайно редко. Поясним это конкретным расчетом.

Известно, что наше Солнце по отношению к ближайшим звездам движется со скоростью около 20 км/с. Даже самая близкая к нам звезда — Проксима Центавра находится от нас на расстоянии 4,2 светового года. Чтобь) преодолеть это расстояние, Солнце, двигаясь с указанной скоростью, должно потратить приблизительно 100 тыс. лет. Будем считать (что в данном случае правильно) движение Солнца прямолинейным. Тогда вероятность близкого прохождения (скажем, на расстоянии трех радиусов звезды) будет, очевидно, равна отношению телесного угла, под которым виден с Земли увеличенный в 3 раза диск звезды, к 4я. Можно убедиться, что данное отношение составляет около 10^{-15}. Это означает, что за 5 млрд лет своей жизни Солнце имело один шанс из десятков миллиардов столкнуться или очень сблизиться с какой-либо звездой. Так как в Галактике насчитывается всего около 150 млрд звезд, то полное количество таких близких прохождений во всей нашей звездной системе должно быть порядка 10 за последние 5 млрд лет, о чем уже речь шла в гл. 2.

Отсюда следует, что, если бы гипотеза Джинса была правильной, число планетных систем, образовавшихся в Галактике за 10 млрд лет ее эволюции, можно было пересчитать буквально по пальцам. Так как это, по-видимому, не соответствует действительности и число планетных систем в Галактике достаточно велико (см. ниже, а также гл. 8), гипотеза Джинса оказывается несостоятельной.

Несостоятельность этой гипотезы следует также и из других соображений. Прежде всего, она страдает тем же фатальным недостатком, что и гипотеза Канта-Лапласа: гипотеза Джинса не в состоянии объяснить, почему подавляющая часть момента количества движения Солнечной системы сосредоточена в орбитальном движении планет. Математические расчеты, выполненные в свое время Н. Н. Парийским, показали, что при всех случаях в рамках гипотезы Джинса образуются планеты с очень маленькими орбитами. Еще раньше на эту классическую космогоническую трудность применительно к гипотезе Джинса указал американец Рессел.

Наконец, ниоткуда не следует, что выброшенная из Солнца струя горячего газа может сконденсироваться в планеты. Наоборот, расчеты ряда известных астрофизиков, в частности, Лаймана Спитцера, показали, что вещество струи рассеется в окружающем пространстве и конденсации не будет. Таким образом, космогоническая гипотеза Джинса оказалась полностью несостоятельной. Это стало очевидным уже «в конце тридцатых годов текущего столетия.

Тем более удивительным представляется возрождение идеи Джинса на новой основе, которое произошло в последние годы. Если в первоначальном варианте гипотезы Джинса планеты образовались из газового сгустка, выброшенного из Солнца приливными силами при близком прохождении мимо него звезды, то новейший

вариант, развиваемый Вулфсоном, предполагает, что газовая струя, из которой образовались планеты, была выброшена из проходившего мимо Солнца космического объекта. В качестве последнего принимается уже не звезда, а протозвезда — «рыхлый» объект огромных размеров (в 10 раз превышающий радиус нынешней земной орбиты) и сравнительно небольшой массы $\sim 0{,}25\ M_{\odot}$. На рис. 48 приведена схема такого «столкновения», основанная на точных расчетах. Положение протозвезды на гиперболической орбите вокруг Солнца приведено для разных моментов времени, которое выражается в секундах. Все явление близкого прохождения протозвезды, схематически изображенное на рис. 48, занимает около 30 лет. Из рисунка видно, как деформируется поверхность протозвезды под влиянием приливных сил. На этом рисунке приведены также различные орбиты захваченных Солнцем отдельных «кусков» протозвездного сгустка. Для каждой такой орбиты указаны кратчайшее расстояние до Солнца и эксцентриситет. Непосредственно видно, что некоторые орбиты так же удалены от Солнца, как орбита Юпитера и даже дальше,—как показывают расчеты,—до 30 астрономических единиц. Таким образом, новейшая модификация гипотезы Джинса снимает основную трудность, с которой столкнулся ее первоначальный вариант — объяснение аномально большого вращательного момента планеты. В схеме Вулфсона это достигается предположением о больших размерах «сталкивающегося» с Солнцем объекта и его сравнительно небольшой массе. Из рис. 48 видно, что первоначальные орбиты сгустков были весьма эксцентричны. Так как заведомо не весь захваченный Солнцем газ смог конденсироваться в планеты, вокруг движущихся сгустков должна была образоваться некоторая газовая среда, которая тормозила бы их движение. При этом, как известно, первоначально эксцентричные орбиты постепенно будут становиться круговыми. На это потребуется сравнительно мало времени — порядка нескольких миллионов лет. Каждый такой сгусток будет довольно быстро эволюционировать в протопланету. Вращение протопланет может быть обусловлено действием приливных сил, исходящих от Солнца. В рамках этой модели можно также понять происхождение спутников планет. Последние отделяются от протопланет при сжатии из-за их несимметричной фигуры. Следует заметить, что эта гипотеза сравнительно легко объясняет происхождение больших планет и их спутников. Для объяснения планет земной группы необходимо привлечь новые представления.

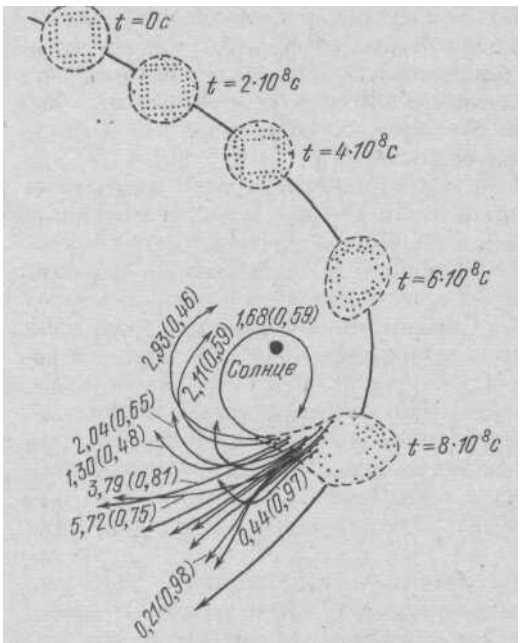

Рис. 48. Модель столкновения протосолнца с протозвездой. Орбиты захваченных сгустков характеризуются значениями большой полуоси (в единицах 10^{14} см) и (в скобках) эксцентриситета. Буквой t обозначены моменты времени, выраженные в секундах

Гипотеза Джинса в модификации Вулфсона заслуживает внимания. Она, по существу, связывает образование планет с образованием звезд. Последние образуются из межзвездной газопылевой среды группами в так называемых «звездных ассоциациях» (см. гл. 4). В таких группах, как показывают наблюдения, сперва образуются сравнительно массивные звезды, а потом всякая "звездная мелочь". ко-

торая эволюционирует в карлики. Это хорошо согласуется с гипотезой Джинса — Вулфсона. Расчеты показывают, однако, что если этот механизм был бы единственной причиной образования планетных систем, то их количество в Галактике было бы весьма мало (одна планетная система, примерно, на 100000 звезд), хотя и не так катастрофически мало, как в первоначальной гипотезе Джинса. По существу, это является единственным уязвимым пунктом современной модификации гипотезы Джинса. Если с достоверностью будет доказано, что около хотя бы некоторых ближайших к нам звезд имеются планетные системы, эта гипотеза будет окончательно похоронена. Похоже на то, что в настоящее время такое доказательство уже имеется (см. предыдущую главу).

Выше мы уже упоминали, что выдающийся советский ученый и общественный деятель О. Ю. Шмидт в 1944 г. предложил свою теорию происхождения Солнечной системы. Согласно О. Ю. Шмидту наша планетная система образовалась из вещества, захваченного из газопылевой туманности, через которую некогда проходило Солнце, уже тогда имевшее почти «современный» вид. При этом никаких трудностей с вращательным моментом планет не возникает, так как первоначальный момент вещества облака может быть сколь угодно большим. Начиная с 1961 г. эту гипотезу развивал английский космогонист Литтлтон, который внес в нее существенные улучшения. Нетрудно видеть, что блок-схема «аккреционной» гипотезы Шмидта — Литтлтона совпадает с блок-схемой «гипотезы захвата» Джинса — Вулфсона. В обоих случаях «почти современное» Солнце сталкивается с более или менее «рыхлым» космическим объектом, захватывая части его вещества. Следует, впрочем, заметить, что для того, чтобы Солнце захватило достаточно много вещества, его скорость по отношению к туманности должна быть очень маленькой, порядка ста метров в секунду. Если учесть, что скорость внутренних движений элементов облака должна быть не меньше, то, по существу, речь идет о «застрявшем» в облаке Солнце, которое, скорее всего, должно иметь общее с облаком происхождение. Тем самым образование планет связывается с процессом звездообразования. В следующей главе мы рассмотрим гипотезы, в которых планеты и Солнце образовались из единой «солнечной» туманности. По существу, речь пойдет о дальнейшем развитии гипотезы Канта — Лапласа.

10. Вращение звезд и планетная космогония

Прежде чем перейти к изложению современных гипотез, являющихся развитием идей Канта и Лапласа, необходимо остановиться на важной характеристике звезд — их вращении вокруг своих осей. Еще в 1877 г. почти забытый сейчас английский астроном Эбни предложил совершенно правильную идею определения скорости вращения звезд путем спектрографических наблюдений. В самом деле, представим себе звезду, достаточно быстро вращающуюся вокруг оси, составляющей некоторый угол с лучом зрения. Тогда, очевидно, часть поверхности звезды будет двигаться от наблюдателя, часть — к наблюдателю. Вследствие эффекта Доплера все линии в спектре этой звезды будут расширены, так как этот спектр обусловлен излучением всей звезды в целом.

В те времена астроспектроскопия была еще в зачаточном состоянии, и блестящая идея Эбни не могла быть реализована. Положение осложнялось еще тем, что, как показали дальнейшие наблюдения, в спектре одной и той же звезды могут быть как узкие, так и широкие линии. Потребовалось несколько десятилетий, прежде чем астрономы смогли разобраться в многочисленных причинах, приводящих к расширению линий звездных спектров. Оказалось, что ряд явлений в атмосферах звезд (где образуются спектральные линии), не имеющих ничего общего с вращением звезды как целого, по-разному расширяют различные линии. В частности, линии, принадлежащие достаточно распространенным элементам, при соответствующих физических условиях в атмосферах звезд могут быть очень широкими, независимо от вращения звезды.

Рис. 49. Спектры трех горячих звезд, доказывающие их вращение

Только в 1928 г. американский астроном О. Л. Струве и советский астроном Г. А. Шайн решили эту проблему. На рис. 49 приведены участки спектров трех горячих звезд: ι Геркулеса, η Большой Медведицы и звезды, обозначаемой как HR 2142. Три самые интенсивные линии в этих спектрах принадлежат водороду (крайняя левая) и гелию. Сравнение верхней и средней спектрограмм показывает, что в то время как водородная линия H_γ выглядит почти одинаково, гелиевые линии на средней спектрограмме заметно шире и не так контрастны, как на верхней. На нижней спектрограмме все линии очень широки и размыты, что делает их почти невидимыми. Истолкование этих спектров простое: на верхней спектрограмме составляющая скорости вращения по лучу зрения близка к нулю (т. е. звезда почти не вращается или же вращается вокруг оси, практически совпадающей с лучом зрения), между тем как средняя спектрограмма указывает на скорость вращения 210 км/с. Так как ширина водородной линии (объясняемая разными причинами, ничего общего с вращением звезды не имеющими) очень велика, то вращение звезды еще не оказывает на нее заметного влияния. Иное дело звезда, спектр которой приведен в нижней части рис. 49. Здесь скорость вращения настолько велика (450 км/с), что все линии в спектре, в том числе и H_γ, оказываются сильно расширенными и «замытыми».

Подобным методом к настоящему времени исследовано вращение большого количества звезд. Анализ этого обширного наблюдательного материала показал, что скорости вращения звезд вокруг своих осей весьма неодинаковы. Мы видели, что, например, экваториальная скорость вращения Солнца вокруг своей оси всего лишь около 2 км/с, в то время как скорости вращения некоторых звезд превосходят солнечную в 200 раз! Оказалось, что скорости вращения закономерно связаны со спектральным классом звезд. Быстрее всего вращаются массивные звезды классов O и B, практически не вращаются желтые и красные карлики. В табл. 3 приведены данные о скоростях вращения звезд различных спектральных классов.

Таблица 3*)

Скорость вращения, км/с	Процент звезд, скорость вращения которых находится в заданных пределах					
	Oe, Be	O, B	A	F0 – F2	F5 – F8	G, K, M
0 – 50	0	21	22	30	80	100
50 – 100	0	51	24	50	20	0
100 – 150	0	20	22	15	0	0
150 – 200	1	6	22	4	0	0
200 – 250	3	2	9	1	0	0
250 – 300	18	0	1	0	0	0
300 – 500	78	0	0	0	0	0

*) Во втором столбце обозначения Oe, Be относятся к горячим, массивным звездам, в спектрах которых имеются линии излучения.

Обращает на себя внимание следующее обстоятельство: где-то вблизи спектрального класса F5 (температура поверхности звезд этого класса около 6 тыс. K) скорость вращения резко, почти скачком уменьшается. В то время как звезды более «ранних» спектральных классов вращаются с экваториальной скоростью, как правило, превышающей 100 км/с, карлики спектральных классов G, K, M практически не вращаются. Последнее обстоятельство доказано самыми тщательными спектрографическими наблюдениями.

Возникает основной вопрос: почему такая характеристика звезд, как вращение, изменяется не плавно вдоль главной последовательности звезд, а скачком, вблизи спектрального класса F5? Ведь другие основные характеристики, как, например, спектральный класс, светимость, температура поверхности, меняются вдоль главной последовательности звезд непрерывно. Чтобы попытаться ответить на этот важный вопрос, рассмотрим следующий мысленный эксперимент. Что было бы, если бы все планеты Солнечной системы слились с Солнцем? Так как в изолированной системе момент количества движения должен сохраниться, а масса всех планет ничтожно мала по сравнению с массой Солнца, то Солнце с необходимостью должно было бы вращаться с экваториальной скоростью, в 50 раз большей, чем сейчас (так как его вращательный момент должен был бы увеличиться с 2 до 100% полного момента количества движения Солнечной системы). Следовательно, экваториальная скорость вращения Солнца стала бы близкой к 100 км/с. Но это как раз нормальная скорость вращения звезд, более массивных и горячих, чем F5. Напрашивается важный вывод: скорость вращения Солнца, которая когда-то была довольно высокой, резко уменьшается (в 50 раз) благодаря тому, что основная часть момента количества движения была передана планетам.

Мы можем считать, что не горячие звезды аномально быстро вращаются, а наоборот, холодные карликовые звезды почему-то очень медленно вращаются. По аналогии с Солнцем следует как бы напрашивающийся вывод: причина медленного вращения звезд главной последовательности, начиная со спектрального класса F5 и более поздних, — наличие вокруг них планетных систем, по какой-то пока неизвестной причине «вобравших» в себя большую часть первоначального момента того сгустка вещества, из которого сформировались звезды и планеты.

Мыслимы по крайней мере два механизма «перекачки» момента от центральной звезды к планетам. Первый такой механизм был предложен известным шведским физиком и астрономом Альвеном, который обратил внимание на то, что роль «передаточного ремня» может выполнять магнитное поле. Развитие идеи Альвена содержится в космогонической гипотезе английского астрофизика Хойла, выдвинутой в 1958 г.

Следуя классической традиции, Хойл считает, что планеты образовались из некоторой газопылевой туманности. В первоначальную эпоху плотность вещества в этой туманности была очень низка. Отдельные «куски» туманности двигались друг относительно друга с беспорядочными скоростями. Величина таких скоростей, как следует из наблюдений «диффузных» туманностей, около 1 км/с.

По этой причине первичная гуманность должна обладать некоторым моментом количества движения, причем он оказывается очень большим (главным образом из-за больших размеров туманности — порядка нескольких световых лет). Если бы в процессе конденсации момент количества движения сохранялся, то экваториальная скорость «новорожденной» звезды была бы почти равна скорости света. Поскольку, однако, это заведомо не так, необходимо допустить, что по крайней мере 99 % момента количества движения было потеряно туманностью до того, как образовалась звезда. Такая «утечка» момента, согласно Хойлу, может быть обусловлена межзвездным магнитным полем. Так как силовые линии этого поля, «приклеенные» к конденсирующемуся облаку, уходят в бесконечность, то, как оказывается, вдоль них, как По гибким струнам, может «перекачиваться» момент от облака к окружающей его межзвездной среде. Однако такой процесс «перекачки» по причине, на которой мы не можем здесь останавливаться, будет идти только до тех пор, пока плотность облака не станет достаточно высокой. Начиная с этого времени эффективная передача момента от облака к окружающей среде прекратится.

Этот результат имеет большое значение, так как он не позволяет объяснять очень медленное вращение сравнительно холодных звезд (в том числе Солнца) передачей момента сжимающейся туманностью окружающей межзвездной среде. Как показывают расчеты, выполненные Хойлом, оставшийся момент, если бы он был сосредоточен только в сконденсировавшейся звезде, соответствовал бы экваториальной скорости вращения последней в несколько сот километров в секунду. Именно такие скорости вращения наблюдаются у сравнительно горячих звезд. Коль скоро более холодные звезды вращаются очень медленно, необходимо допустить, что они потеряли свой момент только после того, как первичная туманность сжалась до небольших размеров, например до размеров Солнечной системы.

Остается объяснить два факта:

а) почему звезды, спектральные классы которых более поздние, чем F5, потеряли почти весь свой вращательный момент?

б) почему это не произошло у более горячих звезд?

Чтобы ответить на эти вопросы, обратим внимание на то, что по мере сжатия туманность (мы можем теперь называть ее «протозвездой») будет вращаться вокруг своей оси все быстрее и быстрее. Можно показать, что при массе протозвезды, равной солнечной, и при радиусе, превышающем солнечный в 40 раз, центробежная сила на экваторе будет уравновешивать силу притяжения. Наступает состояние неустойчивости, и вещество отделяется от звезды, образуя экваториальный диск. Пока это еще соответствует схеме Лапласа.

Однако в формирующейся звезде можно ожидать наличия общего магнитного поля. Если силовые линии этого поля проходят через отделившийся диск (а в процессе отделения диска они не могли «порваться»), вращение оставшейся основной массы протозвезды будет закручивать их. В результате существования такой «магнитной» связи между отделившимся от протозвезды диском и ее основной массой из-за натяжения силовых линий вращение протозвезды будет тормозиться, а диск начнет удаляться от поверхности протозвезды, причем каждая его точка будет уходить наружу по спирали. С течением времени диск вследствие трения «размажется», и часть его вещества превратится в планеты, которые таким образом «унесут» с собой значительную долю момента.

Почему же такой процесс происходит у сравнительно холодных протозвезд, а у более горячих нет? Ответ на этот важный вопрос состоит в следующем. Масса

отделившегося от протозвезды диска не очень велика, поэтому диск не может «намотать» на себя большое количество витков силовых линий магнитного поля. В противном случае упругость силовых линий разорвала бы его и дальнейший процесс «наматывания» прекратился. Единственное место, где могут находиться наматываемые витки силовых линий, — это внешние слои протозвезды. В процессе такого наматывания силовые линии должны погружаться в сравнительно глубокие слои протозвезды. Оказывается, что благоприятные условия для такого «погружения» силовых линий имеются только у сравнительно холодных звезд. Именно у таких звезд под поверхностью находится довольно толстый слой вещества, охваченный бурными, беспорядочными движениями вверх и вниз. Первопричиной образования таких слоев является то, что ввиду падения температуры по мере приближения к поверхности звезды водород, до этого ионизованный, становится нейтральным. Из-за этого нарушается тепловой режим, теряется механическая устойчивость и возникают конвективные потоки газа. При этих условиях магнитные силовые линии, как бы «приклеенные» к движущимся потокам газа, могут погружаться на значительные глубины под поверхностью протозвезды.

Если же протозвезда достаточно горяча, водород в ней ионизован вплоть до самых поверхностных слоев и «конвективной зоны» не образуется. Поэтому силовые линии магнитного поля не могут уходить вглубь. Они будут наматываться только в самых поверхностных слоях, причем очень недолго. Довольно скоро вследствие малой плотности вещества в этих слоях упругость силовых линий приведет к сбрасыванию нового газового диска, в то время как старый еще не успеет получить сколько-нибудь значительного момента количества движения.

Таковы в общих чертах основные результаты космогонической гипотезы Хойла. Она довольно непринужденно объясняет резкость обрыва вращения звезд в районе спектрального класса F5. Эта резкость вызвана в конечном итоге сильной зависимостью ионизации атомов водорода от температуры. Уже у звезд класса FO, температуры поверхностей которых всего лишь на 2000 К выше, чем у F5, конвективная зона начинается так близко от поверхности, что эффективное наматывание силовых линий почти исключается. Приходится только удивляться сложности взаимосвязей явлений, приводящих к такому «жизненно необходимому» для возникновения и развития жизни во Вселенной процессу, как образование планет...

Гипотеза Хойла, однако, имеет ряд трудностей и противоречий. Например, нелегко представить, как могли «отсортироваться» избыточный водород и гелий в первоначальном газовом диске, из которого образовались планеты.

Однако главной трудностью гипотезы Хойла является требование слишком сильного магнитного поля у «протосолнца», резко противоречащее современным астрофизическим представлениям.

В 1962 г. французский астрофизик Шацман обратил внимание на то, что наличие магнитных полей на звездах открывает возможность эффективной потери вращательного момента без образования планет. Известно, что наше Солнце является источником потоков заряженных частиц — корпускул, выбрасываемых из его атмосферы (солнечный ветер)., Отдельные сгустки горячего ионизованного газа как бы «выстреливаются» из областей, окружающих солнечные пятна, и движутся от Солнца со скоростями в несколько сот и даже тысяч км/с. Так как ионизованное вещество таких сгустков является хорошим проводником электричества, то их движение должно происходить по силовым линиям солнечных магнитных полей. На больших расстояниях от солнечных пятен магнитные поля имеют почти радиальное направление. Двигаясь радиально вдоль силовых линий, сгустки могут уходить на значительные расстояния от поверхности Солнца, исчисляемые десятками его радиусов.

Теперь необходимо отметить, что силовые линии магнитного поля Солнца, концы которых уходят в его глубокие слои, вращаются вокруг оси с той же угло-

вой скоростью, что и поверхностные слои. Наглядное представление об этом дает проволочный каркас, прикрепленный к вращающемуся шару. Отсюда следует, что выброшенный из Солнца сгусток по мере его движения вдоль силовых линий наружу будет непрерывно увеличивать свой вращательный момент. Если в конце концов он «сорвется» с силовых линий солнечного магнитного поля (которое на больших расстояниях уже значительно ослабеет и не сможет больше определять движение сгустка), то унесет с собой довольно значительный момент.

Представим, например, что такие «срывы» происходят на расстоянии 30 радиусов Солнца от его центра. Тогда, чтобы потерять почти весь свой вращательный момент, Солнце должно выбросить приблизительно 0,001 часть своей массы. Такая сравнительно малая потеря массы за миллиарды лет эволюции вполне возможна. Следует, правда, заметить, что в настоящее время эффективное торможение Солнца этим способом не происходит — его «корпускулярное излучение» слишком мало. Но в прошлом это могло быть и не так... Можно представить, что такой механизм потери вращательного момента действует на всех (или почти всех) звездах, где имеются связанные с активными областями на их поверхностях магнитные поля. Так как такие образования обусловлены наличием у звезд «конвективных зон», то открывается возможность понять, почему наблюдается резкий «обрыв» вращения около спектрального класса F5.

Работа Шацмана имела целью объяснить медленное вращение звезд поздних спектральных классов. Но вместе с тем она поставила под сомнение веру в правильность аргумента, что медленное вращение мало массивных звезд есть аргумент в пользу наличия около них планетных систем. Однако недавно было доказано путем наблюдений, что мало массивные протозвезды вращаются медленно. Тем самым доказано, что механизм Шацмана не объясняет медленное вращение мало массивных звезд.

Наиболее последовательным сторонником гипотезы образования Солнечной системы из первичной «солнечной» туманности является американский астроном Камерон. Он связывает в единый процесс образование звезд и планетных систем. Современная наблюдательная астрономия практически доказала, что звезды образуются путем конденсации облаков межзвездной среды в результате их гравитационной неустойчивости (см. гл. 4). Первоначально такая конденсация происходит с облаками, масса которых во много тысяч раз превосходит, солнечную. Следует подчеркнуть, что в определенную эпоху только малая часть таких облаков находится в стадии гравитационного сжатия, в то время как подавляющее большинство их имеют плотности, недостаточные для этого. Важно подчеркнуть, что время от времени сторонние причины увеличивают плотность облаков, после чего последние начинают сжиматься. Такими причинами могут быть взрывы сверхновых неподалеку от облаков. Образовавшаяся после такого взрыва в межзвездной среде сильная ударная волна сжимает газ в близлежащем облаке, создавая тем самым условия для его дальнейшего сжатия уже под влиянием внутренней силы тяготения. Таким образом, вспышки сверхновых могут служить как бы «триггерами», «стимуляторами» процесса звездообразования. Эта идея, высказанная четверть века назад замечательным эстонским астрономом Эпиком, сейчас подтверждается наблюдениями.

То, что «у колыбели» нашей Солнечной системы стояла взорвавшаяся звезда, Камерон обосновывает аномальным изотопным составом метеоритов, являющихся частью вещества Солнечной системы. В частности, из подобного анализа следует, что в первичном веществе Солнечной системы должен был присутствовать радиоактивный изотоп алюминия ^{26}Al, период полураспада которого меньше миллиона лет.

По мере сжатия массивного облака оно разбивалось на более мелкие сгустки, один из которых и был «солнечной» туманностью. Первоначально газ, образовавший эту туманность, находился в состоянии быстрого, беспорядочного движения

и по этой причине обладал значительным вращательным моментом. Это обстоятельство мешало ему сразу же сконденсироваться в одно компактное тело — протозвезду. Вместо этого образовался довольно уплощенный диск с радиусом в несколько десятков астрономических единиц.

Теоретический анализ дальнейшей эволюции такого диска с учетом вязкости образующего его газа позволяет сделать вывод о возникновении в нем неустойчивости, которая приводит к образованию нескольких (2—3) газовых колец. Заметим, что это должно произойти на ранней стадии эволюции диска, когда центральное тело (т. е. будущее Солнце) еще не сформировалось. Дальнейшие теоретические расчеты показывают, что каждое такое кольцо довольно быстро превратится в огромный газовый сгусток. Такие сгустки Камерон называет «гигантскими газовыми протопланетами». Заметим, что размеры этих сгустков должны быть порядка астрономической единицы. Образование таких протопланет в ситуации, когда протосолнце еще не образовалось, имело весьма существенное значение для дальнейшей эволюции Солнечной системы. В частности, этот вариант гипотезы «солнечной туманности», по-видимому, решает классическую проблему распределения вращательного момента Солнечной системы.

Камерон рассматривает дальнейшую эволюцию гигантских газовых протопланет. При этих расчетах принималось, что масса протопланеты равна массе Юпитера. В процессе эволюции протопланеты сжимаются, причем температура в их центральных областях достигает 3—4 тыс. Кельвинов. При такой температуре и соответствующем давлении все твердые фракции становятся жидкими. Большую роль в эволюции протопланет должна была играть конвекция, приводящая к перемешиванию вещества. Во внутренних частях Солнечной системы благодаря приливным возмущениям оболочки протопланет как бы «обдирались» и входящее в них вещество попадало обратно в межпланетную среду, обогащая ее включениями кусочков твердых фракций, которые прошли через стадию расплавления во внутренних частях гигантских протопланет. На более поздней стадии эволюции солнечной туманности, когда она уже потеряла большую часть газа, истраченного на образование Солнца или диссипировавшего, входящие в нее твердые частицы образуют тонкий слой в экваториальной плоскости диска. В дальнейшем по причине все той же гравитационной неустойчивости из этого слоя образуются астероиды.

<> Другой сценарий эволюции «солнечной туманности» предполагает, что не только астероиды, но и все планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс) сформировались из этого слоя в результате столкновения твердых частиц, их слипания, образования и роста планетных зародышей — планетезималей. В. С. Сафронов, детально изучивший этот вариант, показал, что для «сборки» Земли потребовалось бы около 100 миллионов лет.

Многие метеориты содержат загадочные стекловидные включения — хондры. Их структура показывает, что вещество хондр по крайней мере один раз было в расплавленном состоянии. В гипотезе Камерона это естественно объясняется, если предположить, что вещество хондр прошло через недра протопланет. Однако расплавление и даже испарение могло произойти и непосредственно в газопылевой среде, если ее потоки проходили через ближайшие окрестности рождающегося Солнца О.

Итак, мы разобрали основные современные гипотезы об образовании Солнечной системы. Хотя автор старался быть беспристрастным, его симпатии всегда были на стороне гипотезы «солнечной туманности». По нашему мнению, основным достоинством этой продолжающей и развивающей классическую космогоническую традицию гипотезы является ее неразрывная связь с фундаментальной проблемой происхождения звезд из межзвездной газопылевой среды. Как мы уже неоднократно подчеркивали, эта проблема в последние годы стала предметом изучения наблюдательной астрономии. В гл. 8 было показано, что статистика кратных

звездных систем непосредстве?шо подводит нас к представлению, что образование планетных систем неразрывно связано с образованием звезд.

В чем коренная причина кратности звезд? В конце концов,— в законе сохранения вращательного момента сжимающегося под действием собственного притяжения межзвездного газового облака. Обладающее значительным вращательным моментом облако на основании законов механики просто не может превратиться в одиночную медленно вращающуюся звезду (вроде Солнца, но без планет). Вернее сказать, если бы такая звезда образовалась — это было бы большой редкостью. Ведь для этого надо приписать первичному сжимающемуся облаку вращательный момент, в сотни раз меньший, чем у «нормальных» сжимающихся облаков, число которых составляет во всяком случае больше 90% всех таких облаков! Сразу же видно, что такие облака будут встречаться чрезвычайно редко. Почти наверняка практически все звезды типа Солнца, которых пока считают одиночными, имеют невидимые спутники с достаточно малой массой и светимостью. И среди них можно ожидать звезды, окруженные семьей планет. Вопрос, однако, состоит в следующем: как часто среди систем этого типа попадаются (наряду с карликовыми звездами и большими планетами) планеты земного типа? В «оптимистическом» случае доля таких систем по отношению ко всем звездам солнечного типа будет 10%, как это следует из статистического анализа Абта и Леви (см. гл. 8), в «пессимистическом» — неопределенно меньше. То обстоятельство, что Солнце представляет собой заурядней шую звезду спектрального класса G, лишенную каких бы то ни было особенностей, есть некоторый аргумент в пользу «оптимистического» варианта. В этом случае полное число галактических планетных систем, в состав которых входят планеты земного типа, может быть порядка нескольких десятков миллионов, а если прибавить еще звезды спектрального класса K, то это число $\sim 10^8$. В этом «оптимистическом» случае расстояние до ближайших к нам планетных систем будет ~50 световых лет. Заметим, однако, что эти оценки носят сугубо ориентировочный характер.

В последнее время появился дополнительный, очень важный аргумент в пользу гипотезы солнечной туманности как первоосновы происхождения Солнечной системы. В гл. 4 мы уже говорили о космических мазерах и связали их с проблемой звездообразования. Накопившийся большой наблюдательный материал по «гидроксильным» и, особенно, «водяным» мазерам, позволил недавно построить их модель. Оказалось, что лучше всего данные наблюдений объясняются моделью массивною газового диска, в общих чертах напоминающего камероновскую солнечную туманность. Это направление радиоастрономии сейчас быстро развивается и можно ожидать, что в самом близком будущем начальные стадии эволюции планетных систем будут поняты и уточнены. Заметим, что первая попытка связать космические мазеры с протопланетами была сделана советскими учеными В. С. Стрельницким и Р. А. Сюняевым. Экстраполяция данных наблюдений Абта и Леви (см. рис. 43) вплоть до малых значений отношений масс M_1/M_2 приводит к выводу, что все 123 близкие звезды класса G входят в состав кратных звезд; 67% вторичных компонент — нормальные звезды, 15% — невидимые слабые звезды («черные» карлики) и 20%,, по-видимому, имеют планетные системы. Естественно считать, что короткопериодические системы образовались из одного газового сгустка, который в процессе образования диска распадается на две конденсации с примерно одинаковыми массами. Между тем долгопериодические системы с самого начала конденсировались в двух центрах, гравитационное взаимодействие которых было незначительным. При этом вращательный момент сжимающегося облака оказался сосредоточенным в орбитальном движении этих сгустков.

Таким образом, развитие современной наблюдательной астрономии естественно приводит к выводу о множественности планетных систем во Вселенной.

Часть вторая

ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

На далекой звезде Венере
Солнце пламенней и золотистей,
На Венере, ах, на Венере
У деревьев синие листья...

Н.Гумилев

11. Условия, необходимые для возникновения и развития жизни на планетах

Для эволюции живых организмов от простейших форм (вирусы, бактерии) к разумным существам необходимы огромные интервалы времени, так как «движущей силой» такой эволюции являются мутации и естественный отбор — процессы, носящие случайный, статистический характер. Именно через большое количество случайных процессов реализуется закономерное развитие от низших форм жизни к высшим. На примере нашей планеты Земли мы знаем, что этот интервал времени, по-видимому, превосходит 3,5 миллиарда лет. Поэтому только на планетах, обращающихся вокруг достаточно старых звезд, мы можем ожидать присутствия высокоорганизованных живых существ. Отсюда сразу же следует естественный вывод, что высокоорганизованная (в частности, разумная) жизнь может быть только на планетах, обращающихся вокруг звезд, спектральный класс которых более «поздний», чем F0 (см. табл. 2). С другой стороны, довольно ненадёжные аргументы, основанные на анализе особенностей вращения звезд вокруг своих осей и статистике кратных звездных систем, говорят о том, что только у звезд более «поздних» классов, чем F5, можно ожидать планетных систем. Здесь мы еще раз должны подчеркнуть, что при современном состоянии астрономии можно говорить только об аргументах в пользу гипотезы множественности планетных систем. Строгим доказательством этого важнейшего утверждения астрономия пока не располагает (см. гл. 10).

С этой весьма существенной оговоркой мы будем в дальнейшем считать, что некоторое, пока еще не известное нам количество звезд главной последовательности, спектральные классы которых более «поздние», чем F5, имеют планетные системы.

С другой стороны, имеются основания полагать, что у звезд «первого поколения» (субкарликов) планет типа Земли быть не может, так как среда, из которой они образовались, была весьма бедна тяжелыми элементами. На это обстоятельство обратил внимание Э. А. Дибай.

Для возникновения и развития жизни на планете необходимо, чтобы выполнялся ряд условий весьма общего характера. Совершенно очевидно, что далеко не на всякой планете может возникнуть жизнь. Хорошим примером является Луна, практически лишенная атмосферы и полностью лишенная водной оболочки — гидросферы. Конечно, при таких условиях говорить о какой бы то ни было жизни на Луне не приходится.

Жизнедеятельность любого организма есть прежде всего совокупность различных согласованных между собой сложных химических процессов. Жизнь может возникнуть только тогда, когда на планете уже имеются достаточно сложные молекулярные соединения. Само образование таких соединений, химические реакции между ними, в конечном итоге давшие начало живому веществу, и жизнедеятельность образовавшихся на планете организмов требуют, в частности, подходящих температурных условий. Слишком высокие и слишком низкие температуры исключают возможность возникновения и развития жизни. В равной степени губительны для возникновения и развития жизни очень резкие колебания температуры.

Мы можем представить себе вокруг каждой звезды, имеющей планетную систему, область или зону, где температурные условия на планетах не исключают возникновения и развития жизни. Ясно, что в достаточной близости от звезды температуры планет будут слишком высокими для возникновения жизни. Хорошей иллюстрацией сказанному является Меркурий, температура обращенной к Солнцу части которого выше температуры плавления свинца. На достаточно

большом удалении от звезды температура планет будет слишком низкой. Нелегко себе представить, например, жизнь на Уране и Нептуне, температура поверхностей которых — 200 °С. Нельзя, однако, недооценивать огромную приспособляемость («адаптацию») живых организмов к неблагоприятным условиям внешней среды. Следует еще заметить, что для жизнедеятельности организмов значительно «опаснее» очень высокие температуры, чем низкие, так как простейшие виды вирусов и бактерий могут, как известно, находиться в состоянии анабиоза при температуре, близкой к абсолютному нулю.

Температура планеты определяется прежде всего количеством излучения от звезды, падающим на единицу площади ее поверхности за единицу времени. По этой причине размеры «зон обитаемости» для разных звезд различны. Они тем больше, чем выше светимость звезды, т. е, чем более «ранним» является ее спектральный класс.

У красных карликов спектрального класса М, а также поздних подклассов К внешний радиус «зоны обитаемости» становится очень маленьким, меньше, например, радиуса орбиты «нашего» Меркурия. Поэтому вероятность того, что хотя бы одна из планет, обращающихся вокруг таких карликов красных звезд, находится в пределах «зоны обитаемости», как можно думать, невелика. Следует, однако, заметить, что планетные системы, окружающие звезды, могут по своим характеристикам значительно отличаться от единственной планетной системы, которую мы пока знаем,— нашей Солнечной системы. В частности, не исключено, что вокруг красных карликовых звезд планеты могут обращаться по сравнительно небольшим орбитам.

Если сделать весьма «оптимистическое» предположение, что планеты, на которых возможна жизнь, имеются у всех звезд главной последовательности, спектральные классы которых более «поздние», чем F5, и более «ранние», чем К5, то окажется, что лишь 1—2% всех звезд в Галактике могут быть «обитаемы». Учитывая, что число всех звезд в нашей звездной системе около 150 млрд, мы приходим к довольно «утешительному» выводу: по крайней мере у миллиарда звезд нашей Галактики могут быть планетные системы, на которых в принципе возможна жизнь.

Нужно, впрочем, считаться с еще одним обстоятельством. Как известно, около половины всех звезд входит в состав кратных систем. Представим себе планету в системе двойной звезды. Вообще говоря, ее орбита будет довольно сложной незамкнутой кривой. Вычисление характеристик такой орбиты представляет достаточно трудную математическую задачу. Это так называемая «ограниченная» задача трех тел. По сравнению с общей задачей о движении трех тел, взаимно притя!ивающихся по закону Ньютона, «ограниченная» задача проще, так как масса планеты ничтожна по сравнению со звездами и не оказывает влияния на движение звезд.

Двигаясь по своей сложной орбите, планета временами может приближаться к одной из звезд на небольшие расстояния, а временами удаляться от звезд очень далеко. В соответствии с этим температура поверхности планеты будет меняться в недопустимых для возникновения и развития жизни пределах. Поэтому вначале считали, что около кратных звезд не могут быть обитаемые планеты. Но свыше 30 лет назад Су Шухуанг пересмотрел этот вопрос и показал, что в отдельных случаях может быть такое движение планет по периодическим орбитам, при котором температура их поверхностей меняется в допустимых для развития жизни пределах. Для этого нужно, чтобы относительные орбиты звезд были близки к круговым. На рис. 50 приведены сечения плоскостью некоторых «критических поверхностей» в ограниченной задаче трех тел. Периодические орбиты планет, допускающие развитие жизни, лежат либо внутри поверхности, проходящей через L_1; либо снаружи поверхности, проходящей через L_2. Если массы обеих звезд одина-

ковы, то внутри поверхности, проходящей через L_1, орбиты, подходящие для развития жизни, будут существовать при условии, что расстояние между звездами $a > 2l^{1/2}$ (а выражено в астрономических единицах), где l — светимость каждой из звезд (в единицах светимости Солнца). Когда a станет больше $13l^{1/2}$, каждую из компонент двойной системы можно рассматривать для интересующей нас задачи как одиночную звезду.

Заметим, что у многих двойных систем расстояние между компонентами превосходит это «критическое» значение. Следовательно, в принципе вокруг достаточно удаленных друг от друга компонент двойной системы, движущихся по почти круговой орбите, возможно наличие обитаемых планет. В случае, когда компоненты двойной системы достаточно близки друг к другу, подходящие периодические орбиты могут быть вне поверхности, проходящей через L_2 (рис. 50). Как показывают вычисления Су Шухуанга, при равных массах компонент двойной системы орбиты, подходящие для возникновения и развития жизни, могут быть при условии, что $a < 0{,}4l^{1/2}$. Таким образом, в области значений $2l^{1/2} > a > 0{,}4l^{1/2}$ исключается возможность существования обитаемых планет.

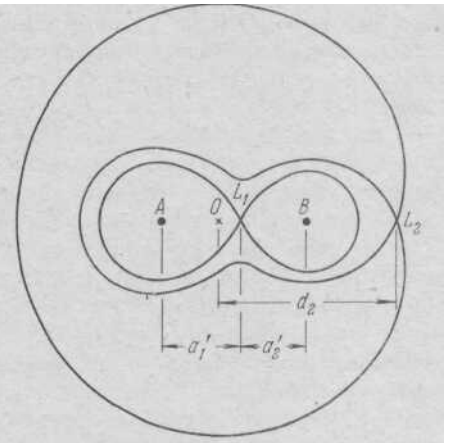

Рис. 50. Область «благоприятных» планетных орбит в двойной системе

Аналогичные результаты можно получить путем вычисления и для более общего случая, когда массы компонент двойной системы не равны. Таким образом, мы должны сделать вывод, что и в кратных звездных системах, в принципе могут быть планеты, температурные условия на которых не исключают возможности возникновения и развития жизни. Следует, однако, отметить, что вероятность существования таких планет около одиночных звезд значительно выше. Впрочем, возможно, что образование кратных звезд и планет суть процессы, взаимно исключающие друг друга.

Для оценки количества звезд в Галактике, вокруг которых, как можно полагать, обращаются обитаемые планеты, учет кратных звезд не имеет, конечно, серьезного значения, так как мы едва можем грубо оценить только порядок этой величины. При таких расчетах коэффициент 1,5 — 2 не играет роли. Другое дело, когда речь идет о вероятности существования обитаемых планет в какой-нибудь совершенно определенной кратной системе, по тем или иным причинам представляющей для нас интерес. Например, одна из ближайших звезд — а Центавра — кратная система. Естественно, что вопрос о возможном наличии в этой системе обитаемых планет представляет для нас особый интерес.

а Центавра является тройной системой. Относительная орбита двух наиболее массивных компонент этой системы — эллипс с большой полуосью, равной 23,4 астрономической единицы, и с довольно значительным эксцентриситетом: 0,52. Таким образом, расстояние между двумя главными компонентами достаточно велико, чтобы вокруг каждой из них могли существовать подходящие планетные периодические орбиты (см. выше). Однако большая величина эксцентриситета звездных орбит требует для этого случая специального рассмотрения (напомним, что приведенные результаты вычислений Су Шухуанга относятся к случаю круговых орбит компонент двойной системы). Нужно, впрочем, заметить, что система а Центавра, по-видимому, сравнительно молодая. Входящие в нее звезды, возможно, еще не «сели» на главную последовательность. Поэтому маловероятно, что там могут быть планеты даже с примитивными формами жизни.

На рис. 51 приведена фотография пространственной модели ближайших окрестностей Солнечной системы. В соответствующем масштабе изображена сфера радиусом в 5 пк (16,3 светового года), причем Солнце находится в ее центре. Каждый темный шарик этой сферы представляет собой звезду. Относительное пространственное расположение звезд соответствует действительному. Сфера выполнена из плексигласа и имеет диаметр около 130 см, так что в этом масштабе один световой год равен 4 см. Размеры шариков, сделанных из дерева, приблизительно

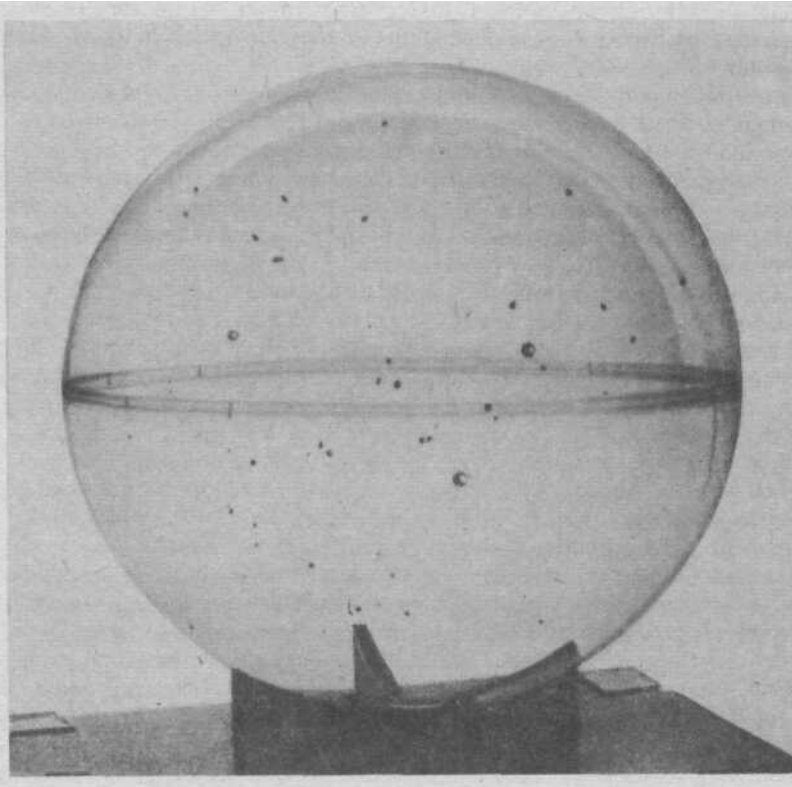

Рис. 51. Пространственное распределение ближайших к Солнцу звезд

соответствуют светимостям соответствующих звезд. Всего внутри этой сферы находятся 53 звезды (считая звезды, входящие в состав кратных систем). Справа внизу от Солнца находится самая яркая звезда на небе — Сириус. Рядом с ним виден его крохотный спутник — белый карлик. Справа вверху от Солнца видна другая яркая звезда — Процион. У нее спутник — также белый карлик. Яркая звезда слева от центра — Альтаир. Все эти звезды имеют спектральные классы, более ранние, чем F5. Поэтому, согласно нашей основной гипотезе, вокруг них нельзя ожидать обитаемых планетных систем. Большинство звезд внутри этой сферы — красные карлики низкой светимости. Не считая нашего Солнца, только три звезды из 53 удовлетворяют сформулированным условиям (т.е. они имеют спектральные классы между F5 и K5 и являются одиночными). Это звезды e Эридана, t Кита и e Индейца.

Проведенный сейчас анализ модели, изображенной на рис. 51, наглядно демонстрирует, что только несколько процентов звезд могут иметь (но, конечно, отнюдь не обязательно должны иметь) обитаемые планеты. Следует, однако, еще раз подчеркнуть, что в настоящее время мы не можем исключить красные

карликовые звезды (которые составляют подавляющее большинство всех звезд) из числа возможных очагов жизни во Вселенной (см. выше) *).

Как уже подчеркивалось, для развития жизни на какой-нибудь планете необходимо, чтобы температура последней находилась в определенных допустимых пределах. Этим требованием определяются размеры и само наличие «зон обитаемости». Кроме того, необходимо, чтобы излучение звезды на протяжении многих сот миллионов и даже миллиардов лет оставалось приблизительно постоянным. Например, обширный класс переменных звезд, светимости которых сильно меняются со временем (часто периодически), должен быть исключен из рассмотрения.

Однако подавляющее большинство звезд главной последовательности излучает с удивительным постоянством. Например, согласно геологическим данным, светимость нашего Солнца за последние несколько миллиардов лет оставалась постоянной с точностью до нескольких десятков процентов. По-видимому, такое постоянство светимости есть общее свойство большинства звезд главной последовательности. Таким образом, важное условие постоянства светимости звезды — центра планетной системы — почти во всех случаях удовлетворяется, во всяком случае, если речь идет о звездах с массой, близкой к солнечной.

Мы довольно подробно рассмотрели температурные условия, при которых возможно возникновение и развитие жизни на той или иной планете, но эти условия, конечно, не единственные. Очень важное значение для рассматриваемой нами проблемы имеют масса образовавшейся каким-либо способом планеты и химический состав ее атмосферы. По-видимому, эти две первоначальные характеристики планеты не являются независимыми. Рассмотрим сперва случай, когда масса образовавшейся планеты невелика. Молекулы и атомы в верхних слоях атомсферы, где ее плотность низка, двигаются с различными скоростями. Часть из них имеет скорость, превышающую «вторую космическую скорость» (астрономы называют эту скорость «параболической»), и будет беспрепятственно уходить за пределы планеты. Этот процесс, до некоторой степени напоминающий испарение, называется «диссипацией». Очевидно, эффективная диссипация может происходить там, где плотность атмосферы настолько низка, что «ускользающие» атомы уже не испытывают столкновений с другими атомами. Если бы такие столкновения имели место, то они могли бы изменить величину и направление скорости ускользающих атомов, что препятствовало бы диссипации.

Диссипация планетных атмосфер происходит непрерывно, так как всегда найдется некоторое количество молекул (атомов), которые при данной температуре атмосферы имеют скорости, направленные «вверх» и превосходящие параболическую. Однако для разных газов доля диссипирующих частиц будет различной. Больше всего она для легких газов — водорода и гелия. Само собой разумеется, что количество диссипирующих частиц зависит, и притом очень чувствительно, от температуры атмосферы на тех высотах,- где происходит диссипация.

Математическая теория диссипации планетных атмосфер впервые была развита в начале этого века английским астрономом Джинсом (автором известной космологической гипотезы, см. гл. 9). В дальнейшем она была усовершенствована трудами ряда ученых, в частности, американским астрофизиком Лайманом Спитцером и автором этой книги. Количество атомов, ускользающих из атмосферы за 1 с, дается следующей формулой:

$$L=\frac{4\pi R_0^2}{\sqrt{6\pi}}\sqrt{\frac{3kT}{m}}\,\frac{GmM}{kTR_0}\,e^{\frac{-GmM}{kTR_0}}\,n_{c},$$

*) Следует, однако, отметить, что огромное большинство красных карликов обладают высокой активностью (это так называемые «звезды типа UV Кита») что исключает, по-видимому, возможность развития жизни в их окрестностях.

где R_0 — радиус планеты, $G = 6.1 \cdot 10^{8}$ — известная постоянная в законе всемирного тяготения, T— температура атмосферы на уровне, где диссипация становится существенной, m — масса атома, M — масса планеты, $e = 2{,}718...$ — основание натуральных Логарифмов, k — постоянная Больцмана, n_c — плотность на уровне убегания.

Из этой формулы следует, что весь водород, находящийся в настоящее время в земной атмосфере, должен «ускользнуть» в межпланетное пространство за очень малое время — порядка нескольких лет *). Если бы не постоянное поступление водорода в атмосферу, главным образом из-за испарения мирового океана, водорода в атмосфере нашей планеты не было бы совсем.

Из формулы видно, что скорость диссипации сильно зависит от массы планеты. Это и понятно. Ведь при малой массе параболическая скорость будет невелика, поэтому значительная часть атомов и молекул будет иметь скорость, превышающую параболическую. Например, у Луны, масса которой в 81 раз меньше земной, а радиус близок к 1700 км, параболическая скорость составляет всего лишь 2,4 км/с. Поэтому даже сравнительно тяжелые газы Луна на протяжении своей «космической» истории удержать не могла. Это объясняет отсутствие атмосферы на нашем спутнике. Меркурий также лишен сколько-нибудь плотной атмосферы.

<> Впрочем, недавно при наблюдениях спектра Меркурия с высоким разрежением обнаружили, что он имеет чрезвычайно разреженную атмосферу, состоящую главным образом из атомов натрия. <>

Таким образом, чтобы на планете могла возникнуть и развиваться жизнь, ее масса не должна быть слишком маленькой. С другой стороны, слишком большая масса планеты также является неблагоприятным фактором. Планеты, массы которых достаточно велики (например, близки к массам планет-гигантов Юпитера и Сатурна), полностью удерживают свою первоначальную атмосферу. Эта «первобытная» атмосфера должна быть очень богата водородом, так как первоначальная среда, из которой образовались планеты, имела примерно тот же химический состав, что и звезды, которые в основном состоят из водорода и гелия. Если планета сохранила «первоначальный» состав среды, из которой она образовалась, ее водородно-гелиевая атмосфера должна быть очень плотной. Исключительно плотной водородно-гелиевой атмосферой обладают планеты-гиганты Юпитер и Сатурн. Мы уже подчеркивали в гл. 8, что если бы массы планет были в 5— 10 раз больше, чем у Юпитера, они уже принципиально не отличались бы от карликовых звезд. Ряд авторов (например, академик В. Г. Фесенков) считали, что при большом обилии водорода образовавшиеся на его основе химические соединения: аммиак, метан и другие — исключают возможность образования живой субстанции, так как это довольно ядовитые газы. Впрочем, такое утверждение не является бесспорным, и в настоящее время возможность существования примитивных форм жизни на больших планетах Солнечной системы, в принципе нельзя полностью исключать (см. гл. 17). Так или иначе, для того чтобы на планетах могла возникнуть и развиваться жизнь, их массы должны быть ограничены как сверху, так и снизу. По-видимому, нижняя граница возможной массы такой планеты близка к нескольким сотым массы Земли, а верхняя в десятки раз превосходит земную. Как видим, пределы возможных масс планет, пригодных для жизни, достаточно широки.

Те вопросы, которые мы сейчас затронули, тесно переплетаются с основными проблемами планетной космогонии и прежде всего с пониманием самого раннего периода Земли и планет. Мы уже подчеркивали в гл. 10, что пока состояние планетной космогонии таково, что еще не существует определенных ответов на все возникающие важные вопросы. Можно высказать только несколько замечаний самого общего характера. Нельзя считать, что первоначальный сгусток материи, удержи-

*) При этом учитывается, что температура земной атмосферы на высоте уровня диссипации (~ 500 км) около 1500 К.

ваемый силой взаимного тяготения составляющих его атомов и молекул, из которого впоследствии образовалась Земля, имел химический состав такой же, как Солнце и звезды, т. е. был так же богат водородом и гелием. Можно показать, что никакая диссипация не в состоянии «отсортировать» из такого сгустка водород и гелий. Коль скоро это так, мы должны сделать вывод, что Земля, так же как и другие «внутренние» планеты, образовалась из вещества, бедного водородом и гелием. Таким веществом могли быть пылинки и молекулярные агрегаты, образовавшиеся в первоначальной туманности. Вместе с тем на сравнительно больших расстояниях от Солнца условия были благоприятны для образования довольно массивных водородно-гелиевых конденсаций, которые впоследствии превратились в большие планеты. Для этой схемы трудностью является объяснение химического состава Урана и Нептуна, которые сравнительно бедны водородом и гелием. Об этом мы уже говорили в гл. 10.

Во всяком случае, по-видимому, не случайна сравнительная близость к Солнцу планет земной группы и значительная удаленность от него больших планет. Отсюда мы можем сделать важный вывод: то обстоятельство, что планеты, атмосферы которых в принципе пригодны для возникновения и развития жизни, находятся в сравнительной близости от Солнца, т. е. в «зоне обитаемости», является закономерным следствием процесса, приводящего к формированию планетных систем. Это, конечно, повышает вероятность того, что на некоторых планетах данной планетной системы может возникнуть и развиваться жизнь. Итак, разные условия (положение планеты в «зоне обитаемости», подходящая масса ее и «благоприятный» химический состав атмосферы) могут выполняться одновременно, т. е. не являются независимыми.

В этой главе мы рассмотрели некоторые условия, необходимые для возникновения и развития жизни на планетах. Они носят самый общий характер и являются, если можно так выразиться, «астрономическими». Разумеется, чтобы на какой-нибудь планете возникла жизнь, необходимо выполнение ряда других условий. Так, например, очень важно, чтобы на поверхности планеты образовалась жидкая оболочка — гидросфера. Имеются все основания полагать, что первоначальные формы жизни скорее всего могли возникнуть в воде. Но для образования на планете достаточно мощной гидросферы нужно, чтобы существенная часть водорода, находящегося в том первоначальном материале, из которого образовалась планета, не успела диссипировать, а соединилась с кислородом. Это, конечно, накладывает дополнительное, и притом довольно жесткое, условие на массу планеты, ее радиус и расстояние от планеты до звезды. На другом важном условии (уровень жесткой радиации) мы немного остановимся в гл. 13.

12. Об определении понятия «жизнь»

Мы прдошли теперь к самому важному и вместе с тем самому грудному вопросу: каким образом и при каких условиях из неживого вещества возникло живое? Автор этой книги — астроном, а не биолог или химик. Поэтому для него это особенно трудный вопрос. В порядке .«утешения» можно только сказать, что вообще эта важнейшая проблема современного естествознания .пока еще не решена. Имеются отдельные, часто весьма остроумные, гипотезы, подкрепленные различными химическими и биохимическими лабораторными экспериментами. Нет, однако, никакой уверенности, что соответствующие реакции, некогда происходившие на нашей планете, именно и привели к возникновению жизни. Слишком сложна и трудна эта проблема, а условия на «молодой» Земле известны нам далеко не с полной достоверностью.

Конечно, при таком положении вещей можно было бы просто обойти этот вопрос молчанием. Мы могли бы принять правдоподобную гипотезу, что при подходящих условиях (о которых речь шла в предыдущей главе) в определенные периоды развития планет на них каким-то неизвестным нам образом возникает жизнь. Пройдя достаточно долгий эволюционный путь, эта жизнь может стать разумной. Тогда возникает комплекс интересных вопросов, которым будет посвящена часть 3 этой книги. Мы, однако, так не поступим и постараемся, хотя бы в самой общей форме, дать представление о современных взглядах на происхождение жизни. Это тем более важно сделать, что развитие биохимии, биофизики и генетики сейчас идет такими темпами, что делает вполне возможным решение «проблемы №1» в близком будущем.

Прежде всего, мы должны определить понятие «живое вещество». Заметим, что этот вопрос является далеко не простым. Многие авторы, например, определяют живое вещество как сложные молекулярные агрегаты — белковые тела, обладающие упорядоченным обменом веществ. В частности, такой точки зрения придерживается академик А. И. Опарин, много занимавшийся проблемой происхождения жизни на Земле.

Конечно, обмен веществ есть существеннейший атрибут жизни. Однако вопрос о том, можно ли сводить сущность жизни прежде всего к обмену веществ, является спорным. Ведь и в мире неживого, например, у некоторых растворов, наблюдается обмен веществ в его простейших формах.

В основе жизнедеятельности всех организмов, начиная от простейших, лежит очень сложная система взаимно связанных химических реакций — как окислительных, так и восстановительных. В этих реакциях участвуют молекулы белков и нуклеиновых кислот, являющихся «материальными носителями» жизни. Существенно, что несмотря на обусловленное химическими реакциями непрерывное разрушение всех структур в организме, они должны непрерывно воспроизводиться. В основе такого воспроизводства лежит синтез белков. Этот синтез происходит в клетках организма при помощи нуклеиновых кислот ДНК и РНК («дезоксирибонуклеиновая» и «рибонуклеиновая» кислоты). Белки представляют собой очень сложные макромолекулы (атомная масса до 10^7). Структурными элементами белков являются аминокислоты. Хотя полное количество известных органической химии аминокислот достигает ~ 100, белки, образующие все организмы, «используют» только 20 аминокислот. Белки, естественно, обладают очень сложной структурой. Основой структуры белка является последовательность образующих его аминокислот.

Значительно более простой структурой обладают нуклеиновые кислоты. Они образуют длинные полимерные цепи, элементами которых являются нуклеотиды — соединения азотистого основания, сахара и остатка фосфорной кислоты.

У молекулы ДНК азотистые основания (пурины — аденин, гуанин и пиримидины — тинин, цитозин) присоединяются к сахару по одному в разной последовательности.

В 1953 г. англичанин Ф. Крик и американец Д. Уотсон с помощью рентгеноструктурного анализа нашли строение молекулы ДНК. Оказалось, что каждая такая молекула представляет собой две спаренные нити, закрученные в спирали (см. рис. 52). Каждая из этих нитей соединяется с другой водородными связями, причем каждая из таких связей попарно соединяет либо аденин одной цепи с тимином другой, либо гуанин с цитозином. Открытие Крика и Уотсона, бесспорно, следует отнести к величайшим научным достижениям нашего века, ибо это открытие стало фундаментом молекулярной биологии.

Как показали дальнейшие исследования, основной функцией ДНК является передача по наследству генетической информации, что является основой жизни. При этом молекулы ДНК играют роль кода, по «указанию» которого происходят все синтезы белковых молекул в клетках организма. Это основное значение двойной спирали ДНК впервые понял в 1954 г. Г. А. Гамов — тот самый ученый, который в 1928 г. дал первую теорию а-радиоактивности,а в 1948 г. предложил модель «горячей Вселенной» и предсказал открытое в 1965 г. «реликтовое излучение» (см. гл. 7).

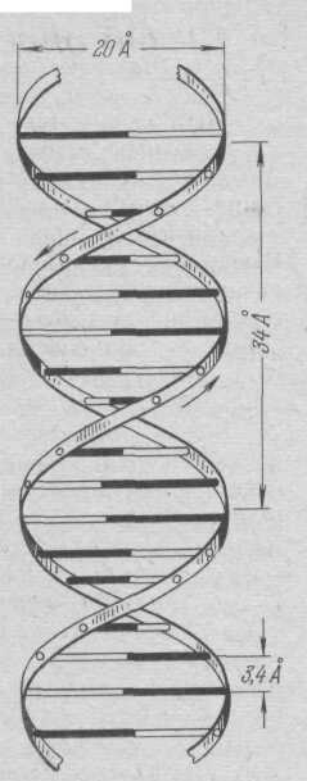

Рис. 52. Схема ДНК
ДНК представляет собой двойную спираль диаметром 18—20 А. Шаг этой спирали равен 34 А. Сахаро-фосфатные нити ДНК включают в себя также остатки фосфорной кислоты и молекулы сахара. К молекулам сахара прикреплены молекулы двух пуриновых (аденин и гуанин) и двух пиримидиновых (тимин и цитозин) оснований, представленных на схеме *в виде «мостов», связывающих* нити ДНК. Все многообразие наследственных признаков определяется различными *комбинациями этих* «мостов»

Выше мы уже обратили внимание на то, что в цепи ДНК азотистые основания присоединяются к сахарам в самой различной последовательности. В этом кажущемся беспорядке пытливый ум Г. А. Гамова усмотрел «шифр», «код». Ход его рассуждений был таким. Как уже говорилось выше, белки состоят из комбинаций 20 аминокислот, а в ДНК чередуются четыре азотистых основания. Если предположить, что каждой аминокислоте соответствует определенная комбинация (т. е. определенный порядок чередования) азотистых оснований, то сразу же видно, что каждой аминокислоте не может соответствовать сочетание из двух таких соединений, ибо число сочетаний из четырех элементов по два равно 16, между тем, как число аминокислот 20. Следовательно, минимальное число таких сочетаний должно быть три азотистых основания из четырех. Это дает число возможных комбинаций 64, что значительно больше числа используемых в живых белках аминокислот.

Гипотеза Г. А. Гамова получила блестящее подтверждение в 1961 г. после тонких экспериментов американских биохимиков Ниренберга и Матте. В итоге последовавшей за этими экспериментами большой работы был найден код для всех 20 аминокислот. Например, аминокислоте фенилаланин соответствует «триплет» из трех урацилов. Однако самым поразительным оказалось то, что все без исключений организмы, начиная от простейших сине-зеленых водорослей до человека в своей жизнедеятельности используют абсолютно одинаковый генетический код!

Как превращается закодированная в виде последовательности азотистых оснований в ДНК генетическая информация в строго чередующуюся последовательность биохимических процессов — это уже проблема чисто биологическая. Ее сколько-нибудь подробное рассмотрение выходит за рамки нашей книги *).

<> Интересно отметить недавнее открытие, что текст в ДНК подобен мозаике, на которой смысловые куски отделены друг от друга «бессмысленными», не несущими информации фрагментами. Когда с ДНК снимается копия в виде информационной РНК, лишние кусочки вырезаются. Зачем природе нужна мозаичность генетического текста, как она возникла — пока неизвестно <>.

Мы только кратко обрисуем основные узлы этой великолепно работающей по программному устройству сложнейшей фабрики, по сравнению с которой наши автоматизированные, самые передовые предприятия кажутся неуклюжими и даже «старомодными». В процессе превращения закодированной в ДНК информации в строго определенную последовательность биохимических процессов решающая роль принадлежит рибонуклеиновым кислотам (РНК), отличающимся от ДНК по составу сахаров и одному азотистому основанию. Молекулярная масса РНК $\sim 10^6$, т. е. на порядок меньше, чем у гигантской молекулы ДНК. Синтез белков происходит в особых областях клетки, так называемых «рибосомах», которые можно назвать «фабриками белка». Существуют три типа РНК: высокомолекулярная РНК, локализованная в рибосомах, информационная РНК, образующаяся в ядре клетки «под контролем» ДНК и «транспортная», сравнительно низкополярная (молекулярная масса А 20000) РНК. Синтезируемая в ядре клетки информационная РНК полностью повторяет в своей структуре последовательность азотистых оснований ДНК, участвующей в ее синтезе. Проще говоря, генетический код «переписывается» с молекулы ДНК на молекулу информационной РНК. Эти молекулы затем из ядра клетки поступают в рибосомы и передают туда информацию о последовательности и характере синтеза белка. Перенос и присоединение отдельных аминокислот к месту синтеза осуществляется транспортной РНК. Присоединившаяся к этой молекуле аминокислота доставляется к строящейся молекуле белка и точно присоединяется к нужному участку. При таком присоединении «фишками» является последовательность азотистых оснований, определяющая генетический код. Идет самая настоящая программированная сборка сложнейшей конструкции!

Это, конечно, очень грубая и схематичная картина работы внутриклеточной фабрики белков. Действительность, как всегда, гораздо сложнее и богаче. Например, в клетке имеется по крайней мере 20 типов транспортной РНК, соответствующих числу аминокислот. Все же эта грубая схема дает некоторое представление о работе сложнейшей автоматической «фабрики жизни».

Поразительное свойство «тождественного воспроизводства» при помощи такого кибернетического устройства, как ДНК,— несомненно, существенный атрибут жизни. В то же время чрезвычайно важно следующее обстоятельство.

Под влиянием внешних факторов (например, жесткой радиации) могут происходить отдельные нарушения в системе кода наследственности. Такие нарушения будут приводить к появлению у потомков совершенно новых признаков, которые будут передаваться дальше по наследству. Эти явления называются «мутациями». Не все мутации «полезны» для данного вида. Дарвиновский естественный отбор со временем производит очень жесткую селекцию. В результате остаются («выживают») те организмы, у которых мутации оказались полезными, нужными данному виду в его борьбе за существование. Этот процесс, согласно современному дарвинизму, и является движущей силой эволюции живых существ на Земле.

*) Читателя, интересующегося этой проблемой, мы отсылаем к книге: Уотсон Д. Двойная спираль.— М: Мир, 1969.

Очевидно, что без широкого применения результатов и идей современной генетики — «генетики на молекулярном уровне»— нельзя решить вопрос о происхождении жизни на Земле и на других планетах. Существенным недостатком старых гипотез о возникновении жизни на Земле, и, в частности, гипотезы академика А. И. Опарина, является то, что они не опираются на современную молекулярную биологию. Впрочем, это вполне естественно, так как механизм передачи наследственных признаков и, в частности роль ДНК, стал в известной степени ясным только сравнительно недавно.

Разумеется, мы не отрицаем большую роль старых гипотез в анализе тех предварительных химических процессов, на основе которых впоследствии возникло живое вещество. Например, для возникновения жизни большое значение может иметь концентрация сложных молекул в коацерватных каплях. Но на коренные вопросы, что такое жизнь и как она возникла, эти гипотезы ответа не дают.

Вопрос об определении понятия «жизнь» стоит очень остро, когда мы обсуждаем возможность жизни на других планетных системах, что является главным предметом нашей книги. На это обстоятельство особенное внимание обращал академик А. Н. Колмогоров — выдающийся математик и крупнейший специалист по кибернетике. Он подчеркивал, что биологические науки до последнего времеди занимались исследованием живых существ, населяющих Землю и имеющих общую историю возникновения и развития. Естественно, что понятие «жизнь» отождествлялось при этом с конкретным ее воплощением в конкретных условиях нашей планеты. Но в наш век астронавтики открывается принципиальная возможность обнаружить в Космосе такие формы движения материи, которые обладают практически всеми атрибутами живых, а может быть, даже мыслящих существ. Однако мы ничего не можем заранее сказать о конкретных проявлениях этих форм движения материи. Поэтому сейчас возникает настоятельная потребность дать такое определение понятия «жизнь», которое не было бы связано с гипотезами о конкретных физических процессах, лежащих в ее основе. Следовательно, возникает потребность в чисто функциональном определении понятия «жизнь».

Эта задача далеко не простая, и вполне удовлетворительного функционального определения основного понятия «жизни» пока не существует. Однако первые, и притом, как нам представляется, достаточно успешные, шаги в этом направлении уже сделаны. Мы имеем в виду исследования А. А. Ляпунова, на основных идеях которого мы сейчас остановимся *).

При изучении процессов, лежащих в основе жизнедеятельности всех организмов, от простейших до самых сложных, А. А. Ляпунов исходит из представлений кибернетики. Внимательный анализ показывает, что любое проявление жизни можно перевести на язык науки об управляющих процессах. Характерной особенностью управляющих процессов является то, что передача по определенным каналам небольших количеств энергии или вещества влечет за собой действия, заключающиеся в преобразовании значительно больших количеств энергии или вещества. Но кибернетика как раз и занимается изучением процессов управления и строением управляющих систем. Поэтому вполне естественно и даже необходимо при анализе процессов жизнедеятельности исходить из представления кибернетики.

Заметим еще, что такие биологические понятия, как наследственность, раздражимость и т. д., представляют собой не что иное, как конкретизацию таких общих кибернетических понятий, как накопление и хранение информации, управляющая система, обратная связь, канал связи и др.

А. А. Ляпунов считает, что управление, понимаемое в широком, кибернетическом смысле, является самым характерным свойством жизни безотносительно к ее

*) См. доклад А. А. Ляпунова «Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов».—М., 1962.

конкретным формам. Тем самым он делает попытку дать функциональное определение понятия «жизнь».

Согласно этой концепции, «живое вещество» определяется следующим образом. Состояние всякого вещества описывается набором целого ряда физико-химических характеристик: массой, химическим составом, энергией, электрическими и магнитными свойствами и др. Вообще говоря, эти характристики будут с течением времени меняться. Вещества, у которых усредненные за подходящий интервал времени значения характеристик меняются мало по сравнению с другими веществами, обладающими примерно такими же значениями характеристик, Ляпунов называет «относительно устойчивыми». Причиной устойчивости могут быть либо особенно благоприятные внешние условия (например, постоянная температура внешней среды), либо внутренние реакции вещества на внешние воздействия, направленные на сохранение его состояния. Реакции такого типа Ляпунов называет «сохраняющими». Именно последний тип устойчивости и лежит в основе жизнедеятельности всех организмов. В самом деле, для жизни характерна огромная «приспособляемость», «адаптация» к внешним условиям и их изменениям. В ряде случаев живые организмы активно преобразуют окружающую их среду, создавая подходящие условия для своей жизнедеятельности. Так, например, отдельные виды микроорганизмов могут «локально» повышать температуру окружающей их среды. Вся эта «адаптация» жизни достигается живой материей путем огромного количества сохраняющих реакций.

На языке кибернетики сохраняющие реакции можно описать так: вещество воспринимает информацию о внешних воздействиях в виде некоторых кодированных сигналов, перерабатывает ее и по определенным каналам связи посылает также в виде «сигналов» новую информацию. Последняя вызывает такую внутреннюю перестройку самого вещества, которая способствует сохранению его характеристик.

Сигналы должны носить «дискретный» характер, т. е. каждый из них может иметь конечное число возможных значений, причем число сигналов конечно. «Материальным воплощением» такого сигнала может быть, например, некоторый физический процесс. При переработке информации происходит изменение «материального воплощения» сигналов.

Устройство, в котором происходит переработка информации, может быть названо «управляющей системой». Эта система имеет дискретную природу и состоит из некоторого, вообще говоря, очень большого количества «входных» и «выходных» элементов, связанных «каналами связи», по которым могут передаваться сигналы. Материальная система, служащая для хранения информации, называется «запоминающим устройством» или «памятью». Такая система может, например, состоять из отдельных элементов, каждый из которых будет находиться в одном из нескольких устойчивых состояний, причем состояния элементов меняются под действием поступающих сигналов. Когда некоторое количество таких элементов находится в каких-то определенных состояниях, можно говорить, что «информация записана в памяти». Дело обстоит так, как будто бы информация записана в виде текста конечной длины при помощи алфавита с конечным числом знаков.

При выработке «ответов», обеспечивающих сохраняющие реакции тела на внешние воздействия, управляющая система воспринимает информацию об этих воздействиях, «расчленяет» ее на более мелкие части и «сопоставляет» с информацией, которая в ней уже «записана». В результате и в зависимости от такого сопоставления формируется «ответная информация». Отсюда следует, что управляющая система будет тем более «гибкой», чем больше информации в ней записано, т. е. чем больше объем ее «памяти».

Важным свойством сохраняющих реакций является их быстрота. Последняя должна быть хорошо согласована со скоростью внешних воздействий на тело,

которые, вообще говоря, могут меняться в довольно широких пределах. Это требует достаточно большого объема памяти в управляющей системе.

Ряд соображений, на которых мы здесь останавливаться не будем, приводит к требованию, чтобы размеры материальных носителей информации были очень маленькими. С другой стороны, необходимо, чтобы хранение информации в памяти управляющей системы было надежным (иначе не будет обеспечена устойчивость тела). Это означает требование высокой стабильности состояний элементов, из которых складывается память. Отсюда Ляпунов делает, на наш взгляд, совершенно правильный вывод, что устойчивыми материальными носителями информации могут быть отдельные молекулы, состоящие из достаточно большого количества атомов. Такие молекулы представляют собой квантованные системы. Для изменения состояния подобной молекулы требуется, чтобы она поглотила достаточно большую порцию энергии (например, больше 0,1 эВ). Поэтому, например, беспорядочные тепловые движения, энергия которых значительно меньше, не могут изменить состояния такой молекулы.

Ляпунов характеризует жизнь как «высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул».

Чтобы сохраняющие реакции были возможны, необходимо, очевидно, чтобы организм обладал некоторым запасом энергии, причем этот запас должен устойчиво сохраняться. С другой стороны, благодаря действию законов термодинамики во всякой замкнутой системе энергетические уровни (определяемые, например, температурой) должны выравниваться. Следовательно, организм должен противодействовать термодинамическим процессам, что требует непрерывной затраты энергии. Таким образом, для устойчивого поддержания своего состояния всякий организм должен получать энергию извне.

Важной термодинамической характеристикой всякого тела является его энтропия. Если бы живое вещество представляло собой замкнутую (т. е. термодинамически изолированную) систему, в нем непрерывно увеличивалось бы содержание энтропии. Это повлекло бы за собой такое изменение его физических и химических характристик, которое в конце концов прекратило бы всякую жизнедеятельность. Следовательно, живой организм должен систематически удалять накапливающуюся энтропию. Поэтому живое вещество должно непрерывно обмениваться с окружающей средой энергией и энтропией, что достигается при помощи обмена веществ. Сам обмен веществ регулируется управляющими системами специального назначения, использующими для этого запасы информации.

При таком понимании обмена веществ как способа поддержания жизнедеятельности организма становится довольно ясной несостоятельность старых представлений, фактически отождествляющих жизнь с обменом веществ. Такое отождествление, на наш взгляд, решительно ничего не дает для понимания сущности жизни.

Характернейшей особенностью живого вещества является то, что оно состоит из отдельных структурных единиц — организмов. Каждый такой организм как в информационном, так и в энергетическом смысле представляет собой в значительной степени обособленную единицу и вместе с тем имеет свою собственную структуру. Ляпунов связывает это с «дискретной структурированностью» управления. Под этим он понимает «иерархическую» систему подчинения управляющих систем. Функционирование систем более «высокого» уровня изменяет состояние или «настраивает» системы более «низкого» уровня.

Расчленение живой материи на клетки, органы, организмы, популяции, виды и т. д. соответствует иерархии управляющих систем. Каждая из этих структурных единиц живой материи управляется своей «автономной» системой, «энергично воз-

действующей на все, что подчинено, и в свою очередь подчиняющейся медленно действующей управляющей системе высшей иерархической единицы».

Следует различать системы управления в отдельных организмах и в совокупности организмов (популяции, виды). В первом случае сложная управляющая система состоит из частей, в свою очередь являющихся управляющими системами «низшего яруса». Во втором случае мы имеем очень большое количество более или менее независимых, статистически равноправных систем, взаимодействующих при случайных встречах и коллективных действиях. Такой способ управления, называемый Ляпуновым «статистическим», не является быстродействующим, в отличие от первого, «структурного» способа управления отдельными организмами. Как следствие развитых представлений получается, что «надорганизменные» образования (например, виды) значительно более устойчивы, чем отдельные организмы (которые более или менее быстро погибают). Но высокая устойчивость «надорганизменных» образований возможна лишь при условии появления новых организмов, приходящих на смену старым, т. е. при условии р а з м н о ж е н и я.

Чтобы каждый возникший таким образом организм был устойчив, он должен иметь запас информации, для обеспечения сохраняющих реакций. Совершенно невероятно, чтобы этот запас информации возник в организме самопроизвольно. Новый организм должен получать необходимый для его жизнедеятельности запас информации, а также первоначальную управляющую систему, так сказать, в «готовом виде». Откуда? Только от других подобных организмов, являющихся его «родителями». Отсюда следует важнейший вывод: размножение живых организмов сопровождается «самовоспроизведением» информации, передачей от «родителей» к «потомству».

В этом пункте кибернетический подход к проблеме жизни, развиваемый Ляпуновым, непосредственно смыкается с достижениями молекулярной генетики, выявившими определяющую роль ДНК в передаче наследственных признаков. Огромное многообразие комбинаций четырех оснований молекулы ДНК и представляет собой тот запас информации, который передается от «родителей» к «потомкам».

Из кибернетики (и не только кибернетики) хорошо известно, что всякая передача информации происходит на фоне помех, частично ее искажающих. Не составляет исключения и передача наследственной информации. В этом случае искажения в передаче информации носят название «мутаций». Под влиянием таких «искажений при передаче» действие управляющей системы может измениться. Это повлечет за собой изменение сохраняющих реакций, что в свою очередь приведет к изменению характера взаимодействия организма с окружающей средой. Такие изменения могут радикально изменить как в ту, так и в другую сторону вероятность сохранения данного индивидуума в борьбе за существование. Последнее обстоятельство является движущей силой естественного отбора. Таким образом, с точки зрения кибернетики можно самым общим образом и с единой точки зрения понять основные биологические категории наследственности, наследственной изменчивости и естественного отбора. В перспективе вырисовываются контуры стройной математической теории дарвиновской эволюции. Идеи Ляпунова, по нашему мнению, следует рассматривать как первый, многообещающий набросок этой теории.

Имеются все основания полагать, что в будущем синтез развитых кибернетических и био-физико-химических представлений приведет к полному пониманию сущности жизни. Пока же мы от этого еще далеки, как это хорошо понимал и сам Ляпунов. Тем не менее для анализа проблемы происхождения жизни на Земле и вероятного многообразия проявлений жизни (в том числе и разумной) во Вселенной уже сейчас идеи Ляпунова, а также примыкающие к ним идеи Колмогорова (к обсуждению которых мы вернемся в конце этой книги) имеют большое значение.

13. О возникновении и развитии жизни на Земле

На основании того, что было сказано в предыдущей главе, мы можем с достаточной для наших целей строгостью и точностью определить «живое вещество» как такой сложный молекулярный агрегат, в котором имеется «управляющая система», включающая в себя механизм передачи наследственной информации, обеспечивающей сохраняющие реакции следующим поколениям. Тем самым благодаря неизбежным «помехам» при передаче такой информации наш молекулярный комплекс («организм») способен к мутациям, а следовательно, к эволюции.

Возникновению живого вещества на Земле (и, как можно судить по аналогии, на других планетах) предшествовала довольно длительная и сложная эволюция химического состава атмосферы, в конечном итоге приведшая к образованию органических молекул. Эти молекулы впоследствии послужили как бы «кирпичами» для образования живого вещества.

Коль скоро, согласно всем существующим космогоническим гипотезам, планеты образуются из первичной газопылевой субстанции, химический состав которой аналогичен химическому составу Солнца и звезд, первоначальная их атмосфера состояла в основном из простейших соединений водорода — наиболее обильного элемента в космосе. Больше всего было молекул H_2, H_2O, CO_2, NH_3 и CH_4. Кроме того, первичная атмосфера должна была быть богата инертными газами, прежде всего гелием и неоном. Тот простой факт, что в настоящее время обилие благородных газов на Земле по сравнению с Солнцем ничтожно мало*), означает, что они в свое время диссипировали в межпланетное пространство.

Для понимания эволюции планетных атмосфер особенное значение имеет анализ содержания благородных газов и их изотопов в атмосферах планет земной группы. Это следует из химической инертности этих газов в сочетании с тем, что тяготение планеты должно их удержать в атмосфере в течение всего времени эволюции атмосферы (за исключением легкого гелия). Выполненный советскими учеными во время полета «Венеры-11» и «Венеры-12» изотопный анализ атмосферы нашей космической соседки дает для этого богатый материал. В табл. 4 приведено относительное содержание разных изотопов благородных газов в атмосферах планет земной группы.

Таблица 4

Планета	^{36}A (см^3/г)	$\frac{^{40}A}{^{36}A}$	^{40}A (см^3/г)	$\frac{^{36}A}{^{38}A}$	^{20}Ne (см^3/г)	^{84}Кг (см^3/г)	^{132}Хе(см^3/г)	$\frac{^{36}A}{^{84}Кг}$
Венера	$2{,}2 \cdot 10^{-6}$	1,2	$2{,}6 \cdot 10^{-6}$	5,0	$5{,}3 \cdot 10^{-7}$	$2{,}6 \cdot 10^{-8}$		120
Земля	$2{,}1 \cdot 10^{-8}$	296	$6{,}2 \cdot 10^{-6}$	5,0	$1{,}1 \cdot 10^{-8}$	$4{,}3 \cdot 10^{-10}$	$1{,}6 \cdot 10^{-11}$	49
Марс	$1{,}0 \cdot 10^{-10}$	3000	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$	—	$8{,}0 \cdot 10^{-11}$	$5{,}0 \cdot 10^{-12}$	$7{,}5 \cdot 10^{-13}$	32

Обращает на себя внимание, что абсолютное содержание изотопа аргона ^{40}A в атмосферах Земли и Венеры довольно близко. Так и должно быть, так как этот изотоп непрерывно образуется из изотопа калия, довольно обильного в коре обеих планет. Также понятно, почему в атмосфере Марса количество ^{40}A на порядок меньше, чем в атмосферах Земли и Венеры — ведь масса Марса меньше. Совершенно неожиданно, однако, что «нерадиогенный» изотоп ^{36}A в атмосфере Венеры так же обилен, как и радиогенный изотоп ^{40}A. Между тем в атмосферах Земли и Марса обилие изотопа ^{36}A в сотни раз меньше, чем ^{40}A. Столь разительное различие

*) В земной атмосфере имеется довольно значительное количество (около 1 %) аргона. Однако атмосферный аргон образовался позже в результате радиоактивного распада калия и никакого отношения к первоначальной атмосфере не имеет.

должно иметь глубокий космогонический смысл, г. е. оно должно отражать условия образования планет солнечной системы и их атмосфер. М. Н. Изаков из наблюдаемого изотопного состава атмосфер «внутренних» планет делает весьма радикальный вывод, что атмосфера Венеры была «захвачена» из протопланетного облака, между тем как на Земле и особенно на Марсе основная часть атмосферы имеет вторичное происхождение и обусловлена «дегазацией» пород, образующих кору этих планет. Этот важный вывод нуждается, однако, в подтверждении.

Необходимо сразу же подчеркнуть, что современная атмосфера нашей Земли совершенно уникальна. Сейчас уже благодаря выдающимся успехам космонавтики, мы надежно знаем состав атмосфер всех планет земной группы. Подробно об этом речь будет идти в гл. 16. Сейчас мы только подчеркнем, что основным газом в современных атмосферах Марса и Венеры является углекислота (свыше 95%). Между тем свободного кислорода в чрезвычайно разреженной атмосфере Марса всего лишь 0,2%, а на Венере и того меньше.

В земной атмосфере углекислота составляет совершенно ничтожную долю — 0,032 %*). В то же время вулканическая деятельность нашей планеты (так же как Венеры и Марса) щедро поставляет в атмосферу CO_2. Куда же исчез углекислый газ? Почему в атмосферах наших «соседей» по Солнечной системе он постепенно накопился, а у нас «исчез»? Углекислый газ удаляется из атмосферы Земли двумя процессами. Первый (более мощный) — это химические реакции с горными породами, в которых участвует жидкая вода. Второй — жизнедеятельность покрывающих всю нашу планету растений, которые, используя солнечную энергию с помощью хлорофилла, из нескольких молекул CO_2 и H_2O синтезируют глюкозу. Освободившиеся молекулы кислорода при этом непрерывно поступают в атмосферу. Таким образом, в течение долгой истории Земли благодаря растениям земная атмосфера была практически «очищена» от CO_2 и насыщена молекулами O_2.

Кислород в земной атмосфере находится в состоянии динамического равновесия. Если бы не жизнедеятельность растений (они поставляют в атмосферу ежегодно $10^{й}$ тонн кислорода), исключительно активные молекулы этого элемента вступили бы в различные химические реакции и исчезли бы из нашей атмосферы за какие-нибудь 10000 лет!**).

С точки зрения планетолога современная атмосфера Земли представляет собой «астрономический нонсенс» или, проще говоря, чудо. Это надо же — 21 % атмосферы состоит из немыслимо химически активного газа. И все это — результат развития жизни на нашей планете! Этот пример со всей наглядностью показывает как развитие жизни на планете приводит к космическим последствиям. В дальнейшем, в частности, при анализе проблемы разумной жизни во Вселенной, мы будем возвращаться к этому вопросу неоднократно.

Сколько же времени на Земле существовала первичная атмосфера? Имеются довольно надежные геологические и геохимические данные, указывающие на то, что уже 3,5 млрд лет назад земная атмосфера была довольно богата кислородом. Жизнь должна была возникнуть на Земле задолго до того, как атмосфера стала богата кислородом, так как последний является продуктом жизнедеятельности растений.

Эта оценка следует из того, что самые древние из известных на Земле организмов — сине-зеленые водоросли имеют возраст вероятно 3,5 — 3,8 млрд лет. Так как эти

*) К сожалению, этот процент растет благодаря неконтролируемому промышленному развитию.

**) Человечество варварски относится к сохранению этого чуда — насыщенной кислородом земной атмосферы. Сплошная вырубка лесов (особенно в Бразильской сельве), а также хаотическое промышленное развитие уже сейчас нарушили кислородный баланс нашей планеты. Можно, конечно, утешаться, что на несколько тысяч лет кислорода еще хватит. Однако существ, исповедывающих такую «философию» («после нас — хоть потоп»), вряд ли следует причислять к виду «Homo Sapiens».

организмы довольно сложны, ясно, что от момента зарождения жизни на Земле до их возникновения прошло немало времени. Другими словами, уже на ранних фазах эволюции Земли на ней возникала жизнь.

Схематически путь эволюции органического вещества на Земле можно представить в виде следующей таблицы:

Таблица 5

I	II	III	IV	V
Образование Земли	Возникновение живых систем. Клетка	Эволюция одноклеточных. Возникновение клеточной дифференциации	Эволюция многоклеточных	Человек

О Развитие жизни на Земле можно приурочить к следующим эпохам:

1) жизнь появилась на очень раннем этапе истории нашей планеты (первые сотни миллионов лет);

2) биологическая эволюция от примитивных бактерий до развитой цивилизации продолжалась беспрецедентно долго (более 4 млрд лет);

3) в процессе эволюции жизни атмосфера планеты из бескислородной стала кислородной.

По современным данным возраст Вселенной около 15 млрд лет, Земли — 4,5; фотосинтез и кислородная атмосфера возникли 3,5 — 3,8 млрд лет назад, тогда же появились эукариотные организмы (т. е. состоящие из клеток с ядром), первые многоклеточные (без скелета, желеподобные) - 1 млрд лет назад, первые организмы со скелетом — 600 млн лет назад, выход жизни из моря — 400, первые млекопитающие — 65, обезьяны — 35, автралопитек — 3,5 млн лет назад, кроманьонский человек - 40 тысяч лет назад. На рис. 53 показано, как шло усложнение организмов на Земле и некоторые предположения о будущем развитии земной цивилизации О-

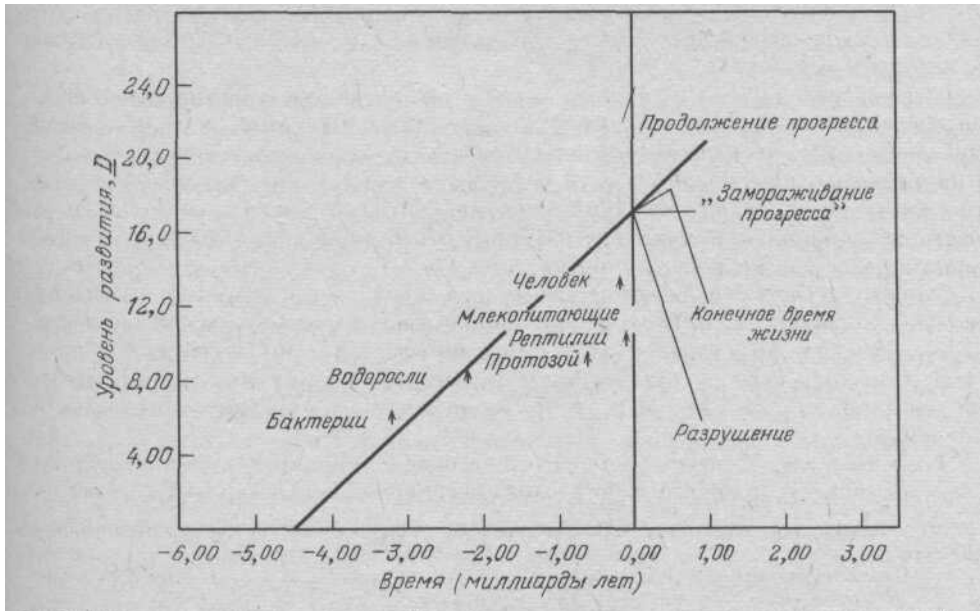

Рис. 53. Зависимость «уровня развития» D (приближенно), представленного десятичным логарифмом общей биологической информации в битах (ось ординат), от геологического времени в миллиардах лет до настоящего времени (ось абсцисс). Крестиками отмечены некоторые значительные события в истории Земли. Будущее представлено четырьмя возможными сценариями

Рассмотрим теперь более подробно начальные этапы этой эволюции. По-видимому, наибольшие загадки ставит перед нами переход от первой фазы- эволюции ко второй.

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал, иллюстрирующий, каким образом такие простые вещества, как вода, метан, аммиак, окись углерода, аммонийные и фосфатные соединения и др., превращаются в высокоорганизованные структуры, являющиеся основными строительными блоками клетки — единицы живого. Эти опыты, начатые впервые американскими учеными Кельвином, Миллером и Юри, положили начало новому научному направлению, получившему впоследствии название «пребиологической химии».

Так, например, опытами Миллера доказано, что при прохождении электрических разрядов через смесь метана (CH_4), молекулярного водорода (H_2), аммиака (NH_3) и паров воды (эта смесь довольно хорошо моделирует первичную атмосферу Земли) возникали глицин, аланин и другие аминокислоты, а также ряд органических соединений. Точно так же экспериментально доказано, что в такой смеси образование органических соединений (в частности, аминокислот) может происходить под воздействием ультрафиолетовой радиации. Можно полагать, что в условиях неокисленной земной атмосферы, когда ультрафиолетовое излучение Солнца беспрепятственно могло достигать земной поверхности *), важная роль в образовании первых органических соединений принадлежала этому источнику энергии. В то же время серьезное значение могли иметь и другие источники энергии. Следует подчеркнуть, что уже первые попытки экспериментального изучения проблемы возникновения жизни на молекулярном уровне продемонстрировали возможность многочисленных «вариантов», которые могли иметь место в течение первого миллиарда лет истории Земли.

Таким образом, можно считать доказанным, что под воздействием различных форм энергии на примитивной Земле возникали достаточно сложно организованные органические молекулы.

В синтезе органики наиболее существенную роль должны были играть электрические разряды, ударные волны, ультрафиолетовое излучение Солнца, вулканическое тепло, радиоактивный распад ^{40}K.

Из табл. 6 видно, что основной вклад в процессы абиогенного синтеза вносит ультрафиолетовое излучение Солнца. Однако вопрос об относительной эффективности различных видов энергии не так прост, как это кажется на первый взгляд. В экспериментах по абиогенному синтезу были использованы все источники энергии, перечисленные в табл. 6. При этом выяснилось, что определяющим моментом является не общее количество энергии, а «к. п. д.» той или иной модели образования органических веществ.

Таблица 6

Источник	Средняя 'энергия на всю поверхность Земли (в единицах 10^{20} кал/год)
Распад ^{40}K (в настоящее время)	0,3
Распад $^{4°}K$ (2,6-10» лет назад)	1,2
Ультрафиолетовое излучение Солнца ($\lambda < 1500$ A)	0,08
» » » ($\lambda < 2000$ A)	4,5
Вулканизм (лава 1000°C)	0,04
Удары метеоритов	0,05
Молнии	0,05

*) В настоящее время близкая ультрафиолетовая часть солнечного спектра поглощается озоном O_3, а более далекая — молекулами кислорода O_2 и азота N_2.

Полезно рассмотреть следующие этапы в эволюции органического вещества на примитивной Земле:

1. Эволюция малых молекул.
2. Образование полимеров.
3. Возникновение каталитических функций.
4. Самосборка молекул.
5. Возникновение мембран и доклеточная организация.
6. Возникновение механизма наследственности.
7. Возникновение клетки.

Необходимо отметить, что в настоящее время не представляется возможным искусственно воспроизвести в лабораторных условиях возникновение механизма матричного копирования, реализуемого в живой клетке нуклеиновыми кислотами. Между тем, по-видимому, в этом состоит суть проблемы возникновения жизни на Земле.

Наиболее изученным этапом в пребиологической химии является эволюция малых молекул. Было экспериментально изучено воздействие всех вышеперечисленных видов энергии на смеси различных газов: водород, метан, аммиак, окись углерода, двуокись углерода, азот, вода, кислород, сероводород. При этом было установлено, что если смесь не была окислительной, то всегда образовывались аминокислоты и другие биологически активные соединения.

Определяющими промежуточными продуктами в синтезе аминокислот, оснований нуклеиновых кислот, Сахаров и порфиринов являются формальдегид и цианистый водород. Образование этих простых продуктов происходит и в газовой, и в водной фазе. Образование же более сложных молекул (аминокислот) происходит главным образом в водной среде.

Среди возможных механизмов образования аминокислот можно указать на синтез Штрекера, как конечный этап превращения аминонитрилов и циангидринов

$$NH_3 + KCHO + HCN \quad NH_2CH(K)CN + H_2O \text{ (аминонитрил)},$$

$$KCH(NH_2)CN + 2H_2O \quad KCH(NH_2)COOH + NH_3 \text{ (циангидрин)}.$$

Что касается синтеза оснований нуклеиновых кислот, то здесь также, как выяснилось, центральную роль играет цианистый водород. Так, при синтезе аденина «суммарную» реакцию образования этого соединения можно записать следующим образом:

$$5HCN \quad \text{аденин}.$$

При образовании Сахаров в условиях, моделирующих примитивную Землю, происходит щелочная конденсация формальдегида. Протекание этой реакции катализируется гидроокисями щелочно-земельных металлов.

В экспериментах, проведенных Гейбелом и Поннамперумой, водные растворы формальдегида в различных концентрациях нагревались в присутствии каолинита, который используется в качестве природного катализатора. В числе продуктов реакции были отождествлены триозы, тетрозы, пентозы, гексозы. Была отождествлена также рибоза.

Чрезвычайно важной группой соединений, присутствующих в большинстве живых организмов, являются порфирины. Порфириновая структура лежит в основе хлорофилла. Целый ряд важнейших ферментов, таких как каталаза, пероксидаза и др., также имеют порфириновую структуру. В экспериментах по абиогенному синтезу порфирин был идентифицирован как один из продуктов реакции в смеси метан — аммиак — вода — водород под действием электрического разряда.

Наиболее существенным достижением в области пребиологической химии можно считать абиогенный синтез нуклеотидов и полинуклеотидов, осущест-

вленный впервые Шраммом из углеводов и гетероциклических оснований с помощью метафосфорных эфиров (МФЭ). В процессе синтеза образовывались продукты различной молекулярной массы и структуры, причем нуклеотиды в полинуклеотидной цепи располагались случайно, не образуя какой-либо определенной последовательности.

Значительный интерес представляют также эксперименты Фокса по термической полимеризации аминокислот.

Таким образом, многочисленные эксперименты по абиогенному синтезу продемонстрировали возможность образования основных классов биологических активных соединений небиологическим путем в условиях, моделирующих природные условия, существовавшие на примитивной Земле.

Однако образование самых сложных молекул не решает вопроса об отборе и сохранении определенных типов молекулярных соединений. На определенной стадии усложнения структуры молекул возникает такое принципиально новое свойство их, как возвратный катализ. Образовавшиеся довольно сложные молекулы должны разрушаться (диссоциировать) при поглощении более длинноволнового излучения, чем то, которое стимулировало их образование. Так как поток солнечного излучения в области более длинных волн значительно превосходит поток ультрафиолетового излучения, стимулирующего синтез первичных органических соединений, последние будут разрушаться, и какого-либо накопления их происходить не должно. Заметим, что эта трудность является общей для всех механизмов образования первичных органических соединений, так как неокисленная атмосфера планеты должна быть прозрачной для ультрафиолетовых лучей Солнца. Сейчас намечается несколько путей преодоления этой трудности. Например, можно предположить, что после сформирования гидросферы образовавшиеся в ее поверхностных слоях органические соединения путем конвекции переносились на достаточную глубину, куда уже «разрушительное» излучение не доходило.

Зная поток ультрафиолетового излучения Солнца, стимулирующего образование органических веществ, и считая, что вновь образовавшиеся вещества не разрушаются, а постепенно накапливаются, можно оценить количество образующегося таким способом органического вещества на Земле. Такие вычисления произвел Саган, который в предположении, что этот процесс длился 1 млрд лет, нашел, что над каждым квадратным сантиметром земной поверхности могло образоваться несколько килограммов органических соединений. Эта величина представляется достаточно большой. Например, если бы все эти образовавшиеся в раннюю эпоху развития нашей планеты органические вещества растворить в мировом океане, концентрация такого раствора была бы приблизительно 1 %.

Так как есть основания полагать, что объем мирового океана за геологическую историю Земли почти не менялся, можно сделать вывод, что первобытный океан представлял собой 1 %-ный раствор различных органических соединений. Довольно крепкий питательный бульон! Эта среда была весьма благоприятна для образования новых, более сложных органических соединений. В частности, из аминокислот могли синтезироваться различные белковые соединения.

До сих пор предполагалось, что жизнь как-то возникла на всей «осредненной» поверхности первобытной Земли, для чего потребовались сотни миллионов лет. Но, конечно, это могло быть и наверняка было не так. В отдельных местах земной поверхности условия для эволюции сложных молекул в первые примитивные формы жизни могли быть особенно благоприятны. Идеи «локального» возникновения жизни на Земле и притом в сравнительно короткие сроки высказывались неоднократно. Л. М. Мухин предложил интересную гипотезу, что жизнь могла возникнуть в области подводных вулканов.

По всей видимости, именно подводный вулканизм мог играть известную роль в образовании предшественников сложных органических молекул. Действующий

вулкан можно рассматривать не только как источник тепла, но и как источник простых соединений, таких как CO, CH_4, NH_3, CO_2, H_2O, H_2, H_2S и пр., необходимых для синтеза органического вещества. Реакции, происходящие между этими газами в условиях повышенных температур и давлений, должны приводить к образованию предшественников сложных органических соединений, цианистого водорода и формальдегида. Гидросфера (океан) используется в данной модели как фактор, обеспечивающий стабильность образовавшихся продуктов вследствие больших перепадов температуры в зоне действия подводного вулкана. Кроме того, в области подводного вулкана имеется широкий диапазон давлений, что весьма существенно, так как высокие давления необходимы для повышения выхода продукта в ряде реакций. Наконец, наличие в области подводного извержения зон с температурой 50-100 С обеспечивает прохождение ряда реакций, приводящих к синтезу более сложных органических соединений. Механизмы этих реакций освещены в работах Оро и Поннамперумы.

Образование в процессе извержения твердых частиц обусловливает наличие катализаторов и может способствовать в дальнейшем процессам концентрирования и полимеризации органики.

Л. М. Мухин указывает на некоторые реакции, которые могут иметь место в зоне подводных извержений:

1) $$CH_4 + NH_3 \xrightarrow{\text{катализаторы}} HCN + 3H_2,$$

2) $$2CO + NH_3 \xrightarrow{\text{катализаторы}} HCN + CO_2 + H_2,$$

3) $CO + H_2$ -> альдегиды и другие кислородосодержащие соединения, углеводороды.

Таким образом, вследствие возможного образования в зоне действия подводного вулкана HCN и CH_2O, подводные вулканические процессы можно рассматривать как источник небиологического синтеза сложных органических соединений.

Рассмотрим теперь некоторые численные значения, которые носят характер ориентировочных оценок. Масса газа, выброшенного при сильном извержении, имеет порядок величины 10^{12} г. Если принять, что в течение истории развития Земли такие извержения были ежегодно, то при благоприятных условиях могло образоваться до 10^{17} г органических соединений.

«Вулканический» механизм образования сложных молекул может иметь принципиальное значение в условиях, где по ряду причин воздействием ультрафиолетовою излучения на исходные материалы можно пренебречь.

Предложенный Мухиным механизм образования сложных молекул не требует наличия метано-аммиачной атмосферы. Было бы интересно проверить этот механизм экспериментально в зоне действия какого-либо подводного вулкана.

Много лет тому назад Бернал высказывался в том смысле, что жизнь могла зародиться в иле небольших лагун. В таких условиях полимеризация молекул может протекать гораздо быстрее, гак как микроскопические частицы ила могут выступать в роли своеобразных катализаторов. Это предположение Бернала было подтверждено экспериментально. Любопытно отметить, что некоторые сложные органические молекулы лучше «сопротивляются» разрушительному воздействию ультрафиолетовых лучей, а также нагреву, чем простые. Поэтому следует ожидать, что с течением времени должны «выживать» более сложные молекулы, в то время как простые должны разрушаться. Довольно любопытный пример «естественного отбора» у неживой материи!..

Наряду с описанным «естественным отбором», приводящим к преимущественному образованию сложных органических соединений, будут происходить, и притом довольно эффективно, «сливания» таких молекул в целые молекулярные

агрегаты, насчитывающие сотни тысяч и миллионы молекул. Такие образования называются «коацерватными каплями». Они неоднократно исследовались экспериментально. На рис. 54 приведена фотография таких капель, сделанная через микроскоп при увеличении в 320 раз. В итоге образования коацерватных капель в них могут быть сконцентрированы все белковые молекулы, присутствующие в мировом океане - растворе. В окружающей воде будут растворены только сравнительно простые, низкомолекулярные соединения.

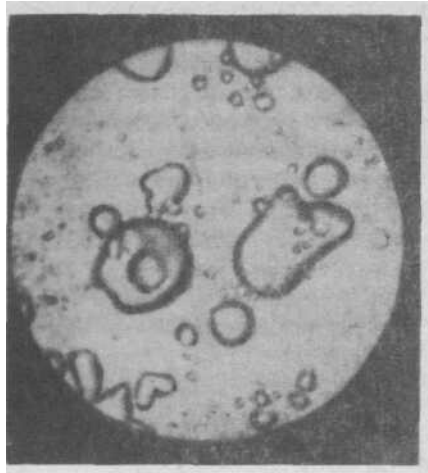

Рис. 54. Коацерватные капли (увеличено в 320 раз)

Академик А. И. Опарин считает, что именно эти коацерватные капли при определенных условиях могли дать начало образованию первичных живых систем. Об этом свидетельствует ряд интересных свойств коацерватных капель, ставших известными в результате лабораторных исследований. В частности, эти капли обладают свойством улавливать и впитывать в свою структуру некоторые вещества из окружающего их низкомолекулярного раствора. В этом А. И. Опарин усматривает зачаточные формы процесса обмена веществ - важнейшего, по его мнению, атрибута жизни. Он подчеркивает, что в мире коацерватов имеют место полные аналоги процесса естественного отбора. По этому поводу он пишет: «Образовавшиеся в земной гидросфере коацерватные капли находились погруженными не проста в воде, а в растворе разнообразных органических веществ и неорганических солей. Эти вещества и соли адсорбировались коацерватными каплями и затем вступали в химическое взаимодействие с веществом самого коацервата. Происходили процессы синтеза. Но параллельно с ними шли и процессы распада. Скорость как тех. так и других процессов зависела от внутренней организации каждой данной капли. Более или менее длительно существовать могли только капли, обладавшие известной динамической устойчивостью, в которых при данных условиях внешней среды скорости синтетических процессов преобладали над скоростями разложения. В обратном случае капли были обречены на исчезновение. Индивидуальная история таких капель быстро обрывалась, и поэтому такие «плохо организованные капли» уже не играли никакой роли в ходе дальнейшей эволюции органической материи» *).

С гипотезой А. И. Опарина в настоящее время трудно согласиться. Наличие аналогов обмена веществ и «естественного отбора» у коацерватов еще не есть доказательство того, что они могли привести к образованию первых примитивных живых организмов. Основными свойствами всякого живого организма, помимо обмена веществ, являются наличие «копировальной системы», «кода», передающего по наследству все характерные признаки данной особи. Между тем у коацерватов ничего подобного нет. Изобилие на первобытной земле всевозможных, в том числе и достаточно сложных, «строительных блоков», из которых построено все живое, еще не объясняет, как возникла и стала функционировать живая субстанция, представляющая собой даже в самых простых формах весьма сложную машину, а если говорить точнее, великолепно работающую современнейшую фабрику-автомат.

*) Опарин А. И., Фесенков В. Г. Жизнь во Вселенной.—М.: Изд-во АН СССР 1956.

«Управляющая система» этой фабрики сосредоточена в одномерной структуре ДНК, хранящей информацию, записанную на языке, состоящем из четырех букв (оснований). Система осуществляет перевод этого языка на язык строящихся по ее командам белков, состоящий из 20 букв (аминокислот).

Как произошел качественный скачок от неживого к живому, гипотеза А. И. Опарина совершенно не объясняет. Только привлечение основных представлений современной молекулярной биологии, а также кибернетики, может помочь решению этой важнейшей, основной проблемы. Впрочем, пока не ясно, есть ли такое решение вообще.

Итак, центральной проблемой происхождения жизни на Земле является реконструкция эволюции механизма наследственности. Жизнь возникла только тогда, когда начал действовать механизм репликации. Ведь любая сколь угодно сложная комбинация аминокислот и других сложных органических соединений — это еще не живой организм. Можно, конечно, предположить, что при каких-то исключительно благоприятных обстоятельствах где-то на Земле возникла некая «праДНК», которая и послужила началом всему живому на Земле. Вряд ли, однако, это так, если гипотетическая «праДНК» была вполне подобна современной. Дело в том, что современная ДНК сама по себе совершенно беспомощна. Она может функционировать только при наличии белков-ферментов. Думать, что чисто случайно, путем «перетряхивания» отдельных блоков — многоатомных молекул, могла возникнуть такая сложнейшая машина, как «праДНК» и нужный для ее функционирования комплекс белков-ферментов,—это значит верить в чудеса. Куда, например, более вероятно предположить, что какая-нибудь мартышка, беспорядочно барабаня по клавиатуре пишущей машинки, случайно напечатает 66-й сонет Шекспира... Выход из этого затруднительного положения может состоять в том, что сам репликационный механизм за первые сотни миллионов лет развития «пражизни» претерпел огромную эволюцию от простого к сложному. К сожалению, успехи в этой важнейшей области пока незначительны.

Рич, однако, указал на значительное сходство строения молекул ДНК и РНК, которые тем не менее выполняют в клетке совершенно различные функции. ДНК является носителем генетической информации, РНК служит для превращения этой информации в реальные молекулы белка, т. е. для непосредственного синтеза видовоспецифическогобелка.

Особого внимания заслуживает открытие у вируса табачной мозаики и у некоторых других вирусов не двух, а только одной нуклеиновой кислоты, более простой.— РНК. Эта РНК оказалась способной осуществлять функции обеих нуклеиновых кислот — передачи наследственной информации и синтеза белка.

Можно допустить, что обе нуклеиновые кислоты произошли от одной общей более примитивной молекулы. Усложняясь и специализируясь в процессе эволюции, эта «прануклеиновая» кислота превратилась в функционально различные типы молекул ДНК и РНК. Возможно, что этой первичной нуклеиновой кислотой могла быть молекула, близкая к более простой РНК. Подобно РНК вируса табачной мозаики она обладала способностью к передаче наследственной информации и к синтезу белка. Возможно также, что вирусы, содержащие только одну РНК (филогенетически более раннее образование), следует рассматривать как современные модификации древней, примитивной формы жизни.

Все это может пролить некоторый свет на пути возникновения и развития живых существ от более простых форм управления и примитивной жизни к более сложным формам. Если небелковая («неживая») молекула РНК в подходящей среде образует живые системы, то не на этом ли пути можно обнаружить «мостик» между неживой и живой природой? Решающее слово в этом важнейшем вопросе принадлежит различным будущим биохимическим и генетическим исследованиям.

Для образовавшихся на планете первых примитивных организмов высокие дозы жесткой радиации могут представлять смертельную опасность, так как мутации будут происходить так быстро, что естественный отбор не поспеет за ними.

Мы уже упоминали в гл. 5, что примерно один раз в сотни миллионов лет около Солнца вспыхивает сверхновая звезда, и в нашей планетной системе уровень космических лучей увеличивается в десятки и сотни раз. Однако для сравнительно короткоживущих примитивных жизненных форм такое увеличение уровня жесткой радиации не представляет серьезной опасности. Кроме того, длительность периодов повышенной интенсивности космических лучей сравнительно невелика (десятки тысяч лет). Другим возможным источником губительной жесткой радиации мог быть повышенный уровень радиоактивности на первобытной Земле. Однако расчеты показывают, что этот уровень вряд ли превышал современный более чем в 10 раз. Солнечное рентгеновское излучение в те времена, так же как и сейчас, не проникало через толщу атмосферы. И только один вид жесткой радиации имел высокую интенсивность — ультрафиолетовое излучение Солнца в области длин волн 0,29 — 0,24 мкм, для которого первобытная атмосфера Земли, в отличие от современной, была прозрачной.

Так как Солнце в те времена излучало примерно так же, как и сейчас, мы можем оценить поток его излучения на Земле в указанной спектральной области. Этот поток оказывается равным 5- 10^3 эрг/(см^2-с), т. е. примерно в 300 раз меньше полного потока солнечного излучения. Смертельная доза такой радиации для большинства современных микроорганизмов составляет 10^5—10^6 эрг/см^2. Радиационная опасность отсутствует в том случае, когда за время жизни одного поколения живых организмов доза радиации меньше приведенной величины. Имеются некоторые основания полагать, что время жизни первобытных примитивных организмов было достаточно велико, например, несколько недель. Если считать, что для них доза в 10^3 эрг/см- была опасной, то поток ультрафиолетовой радиации должен быть не больше 10^{-3} зрг/(см^2-с), т.е. в 5 млн раз меньше реального потока солнечного излучения. Отсюда следует важный вывод, что первичные живые организмы могли образоваться и развиваться только на достаточно большой глубине под водой. Слой воды в несколько десятков метров уменьшает поток ультрафиолетового излучения в десятки миллионов раз и тем самым обеспечивает необходимую для развития живых организмов «броню». Это является еще одним важным аргументом в пользу утверждения, что жизнь на нашей планете возникла и развивалась первоначально в воде, причем на достаточно большой глубине.

Мы остановились только на некоторых основных вопросах возникновения жизни на Земле и по аналогии — на других планетах. В этой проблеме еще очень много неясного. Например, все белковые соединения, входящие в состав живого вещества, имеют «левую асимметрию». Что это означает? Дело в том, что большое количество органических соединений может существовать в двух формах. Эти формы отличаются одна от другой противоположной ориентацией отдельных группировок атомов — некоторая группировка атомов в одной форме является зеркальным изображением соответствующей группировки в другой.

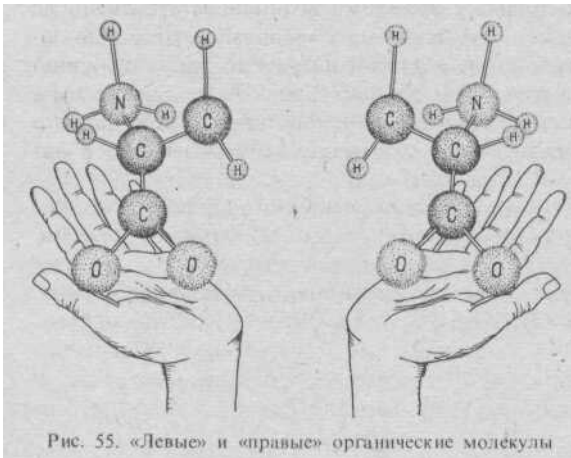

Рис. 55. «Левые» и «правые» органические молекулы

Когда происходит лабораторный синтез такого соединения,

всегда «правые» и «левые» формы присутствуют в одинаковом количестве, так как «наращивание» молекул путем присоединения атомов и атомных группировок происходит случайным образом. Почему же в «живых» органических соединениях всегда присутствуют только «левые» формы?

Еще Пастер указал, что «асимметричный синтез» может происходить при наличии какого-нибудь природного асимметричного фактора. И действительно, если в лабораторных условиях синтезировать некоторые органические соединения под воздействием поляризованного по кругу света, то в зависимости от направления вращения светового вектора получаются преимущественно «правые» или «левые» формы синтезируемых веществ. К сожалению, таким способом трудно объяснить асимметрию «живых» молекул, так как в солнечном излучении отсутствует сколько-нибудь значительная составляющая, поляризованная по кругу. Впрочем, нельзя исключать того, что после прохождения значительной толщи первобытного океана, вода которого, быть может, обладала соответствующими оптическими свойствами, такая составляющая и возникала. Этот вопрос требует специального исследования.

Другой возможный путь асимметричного синтеза был указан Берналом. При синтезе некоторых органических веществ на поверхности оптически активных кристаллов (например, кварца) могут возникать формы определенной симметрии. Следует, однако, отметить, что в природе распространены как «правые», так и «левые» кристаллы. Поэтому не совсем ясно, каким образом в живом веществе молекулы имеют асимметрию только одного знака и вряд ли асимметричный синтез в естественных условиях первобытной Земли мог происходить таким способом. Так или иначе, вопрос о причине асимметрии живой субстанции пока остается открытым.

Заслуживает внимания еще такой вопрос: почему жизнь на Земле не возникает из неживого вещества в настоящее время? И вообще — жизнь на Земле возникла однократно или многократно? Против возможностей повторного зарождения жизни на нашей планете из неживой субстанции можно выдвинуть такой серьезный аргумент: ранее возникшая жизнь не даст возможность новому зарождению жизни. Микроорганизмы и вирусы буквально съедят уже первые ростки новой жизни. Другим аргументом против «повторного» зарождения жизни является ничтожно малая вероятность этою процесса. Ведь нельзя исключить возможность того, что жизнь на Земле возникла случайно (см. ниже).

Существует еще одно обстоятельство, на которое, может быть, стоит обратить внимание. Хорошо известно, что все «живые» белки состоят из 20 аминокислот, между тем как всего аминокислот известно свыше 100. Не совсем понятно, чем отличаются эти 20 аминокислот от остальных своих «собратьев»*). Нет ли какой-то глубокой связи между происхождением жизни и этим удивительным явлением? Мы еще раз должны подчеркнуть, что центральная проблема возникновения жизни на Земле — объяснение качественного скачка от «неживого» к «живому» — все еще далека от ясности. Недаром один из основоположников современной молекулярной биологии проф. Крик на Бюраканском симпозиуме в сентябре 1971 г. сказал: «Мы не видим пути от первичного бульона до естественного отбора. Можно прийти к выводу, что происхождение жизни — чудо, но это свидетельствует только о нашем незнании».

Все же не будем отчаиваться — и эта твердыня непознанного будет взята; порукой этому является гигантский прогресс современной молекулярной биологии.

*) Впрочем, некоторые количества других аминокислот имеются у низших организмов. Следует, однако, заметить, что у этих организмов ДНК отличаются от обычных.

14. От сине-зеленых водорослей до человека

Выше мы уже говорили, что жизнь на Земле возникла еще тогда, когда ее возраст исчислялся всего лишь сотнями миллионов лет. Носителями жизни в ту отдаленную эпоху были одноклеточные, лишенные клеточных ядер организмы - бактерии и сине-зеленые водоросли. Первые клетки с ядрами появились около 3,5 миллиардов лет тому назад (ср. «Космический календарь» — см. с. 278). Потребовалась половина времени эволюции Земли, чтобы это произошло — хорошая иллюстрация медленности процесса эволюции жизни на Земле. Примерно к этому же времени относится и появление многоклеточных организмов, по-видимому, возникших из колоний одноклеточных с прогрессивно дифференцирующимися функциями клеток. С этого времени дальнейшая эволюция характеризовалась огромным многообразием форм.

Существующая периодизация развития жизни на Земле дана в табл. 7, где указаны также эпохи начала соответствующих периодов.

Таблица 7

Эра	Период	Возраст (начало периода) 10^6 лет
Кайнозойская	Четвертичный	1
	Третичный	65
Мезозойская	Меловой	140
	Юрский	190
	Триасовый	225
Палеозойская	Пермский	250
	Каменноугольный	280
	Девонский	350
	Силурийский	400
	Кембрийский	550
Протерозойская	Верхний протерозой	1600
	Нижний протерозой	2600
Архейская		4000

В протерозойскую эпоху жизнь на Земле начала становиться космическим фактором. К этому времени относится начало формирования биосферы Земли, полностью преобразившей наружные слои поверхности нашей планеты и ее атмосферу. Жизнедеятельность организмов привела к накоплению в атмосфере Земли свободного кислорода (фотосинтез!) и извлечению из нее углекислоты. До этого организмы развивались в лишенной кислорода среде. Фотосинтез начался около 3,5 миллиарда лет назад.

Первоначально жизнь на Земле развивалась только в ее гидросфере. Выход жизни на сушу — важнейший этап в ее развитии. Это произошло в Кембрийском периоде около 500 миллионов лет назад, когда возраст Земли был только на 10% меньше нынешнего! До чего же медленно шла эволюция жизни на Земле! Могучей движущей силой этой эволюции был дарвиновский естественный отбор, сочетающийся со способностью организмов к мутациям. В свою очередь отбор определялся ограниченностью ресурсов сформировавшейся и развивавшейся биосферы, противодействующей чудовищной потенциальной способности жизни к неограниченной экспансии. Жесткий естественный отбор невероятно развивал способность' видов к адаптации в условиях изменяющейся окружающей среды. Например, обусловленное жизнедеятельностью организмов изменение состава атмосферы в сторону насыщения ее кислородом оказалось гибельным для большинства анаэробных форм. Ведь свободный кислород с его огромной химической активностью — смер-

тельный яд для таких организмов. И только немногие формы смогли не только приспособиться к изменившимся атмосферным условиям, но и использовать их для своего дальнейшего развития. Так жизнь стала «аэробной».

Бурное развитие жизни началось в палеозойскую эру. Мы уже упоминали, что в Кембрийский период началась колонизация суши. По-видимому, это происходило в мелководных лагунах, где на окаймляющей их прибрежной кромке появились пленки водорослей. В этот период море кишело уже довольно высокоорганизованными животными — трилобитами, которых насчитывалось свыше тысячи видов. Это были предки нынешних членистоногих. У трилобитов уже развился орган зрения. Отдельные особи достигали размеров порядка метра. Наряду с трилобитами (ныне полностью вымершими) кембрийские моря кишели иглокожими, моллюсками и плеченогими. Появились первые раковины.

В силурийском периоде растения покоряют сушу. Этот процесс получил особенное развитие в Девоне. Растительный мир обогатился папоротниками, хвощами. В морях появились первые рыбы. Первые животные вышли на сушу. В следующем каменноугольном периоде произошел небывалый расцвет растительного Царства, чему, возможно, способствовала увеличившаяся вулканическая активность Земли, сопровождающаяся значительным выделением углекислоты. Это было царство амфибий, уже освоивших размножение на суше. В это же время появились первые пресмыкающиеся. Воздух, наполнился летающими насекомыми.. После пермского периода, сопровождавшегося значительными климатическими изменениями и обусловленными ими значительными изменениями растительного и животного мира, наступила мезозойская эра. Это было царство рептилий, достигших небывалого разнообразия форм. Но уже в начале мезозоя появились первые млекопитающие. Катастрофически быстрое повсеместное вымирание динозавров уже давно привлекает к себе всеобщее внимание. Было выдвинуто много гипотез, объясняющих причину этой настоящей катастрофы, постигшей жизнь на Земле (см. с. 75 и конец этой главы).

Наступившая новая кайнозойская эра ознаменовалась очередной перестройкой биосферы. Строение земной поверхности приблизилось к современному. Наступило царство млекопитающих. И вот пришла эра человека. Это случилось, по-видимому, около 15 миллионов лет назад, когда появился наш самый отдаленный предок - полуобезьяна — получеловек рамапитек, ископаемые остатки которого обнаружены в Индии. Время появления человека 2,7 млн лет назад получается на основании расчетов скорости изменений в генной структуре человека.

Поражает чудовищное богатство процесса видообразования в течение эволюции жизни на Земле. Создается впечатление о какой-то фантастической расточительности и даже «избыточности» формообразования в живой природе. В самом деле, оценки палеонтологов приводят к значению ~500 миллионов видов, существовавших за все время эволюции жизни на Земле! Заметим, что в настоящее время насчитывается около 2 миллионов видов (из которых ~75% — насекомые). Любопытно, что число видов современных млекопитающих достигает 3500, из которых 2500 видов грызунов.

Как уже неоднократно подчеркивалось, развитие жизни на Земле привело к коренной перестройке поверхностных слоев земли и ее атмосферы. В этой связи любопытно привести данные о суммарной массе живого вещества на Земле. Соответствующие данные, полученные по оценке советских авторов, приведены в табл. 8 (с. 156).

Из этой таблицы видно, что основная масса живого вещества сосредоточена в зеленых растениях. Обращает на себя внимание относительная бедность мирового океана живым веществом. Любопытно еще отметить, что суммарная масса всего живущего человечества около 100 миллионов тонн — величина не "такая уже малая!

Таблица 8

	Континенты			Океан		
	растения	животные + микроорганизмы	итого	растения	животные + микроорганизмы	итого
Миллиарды тонн	2400	20	2420	0,2	3	3,2
Проценты	99,2	0,8	100	6,3	93,7	100

В нашу задачу, конечно, не может входить сколько-нибудь подробное описание эволюции жизни на Земле и связанная с этим эволюция биосферы. Это отдельная и большая тема *). Но мы должны обратить внимание на то, что эта эволюция представляет собой неразрывную последовательность процессов, причем каждый элемент этой последовательности реализовывался путем огромного количества случайных событий. В процессе этой эволюции природа как бы «пробовала» очень много вариантов, из которых большинство приводило к тупикам. Но подобно тому, как ручеек воды причудливо прокладывает свое русло через пересеченную местность, общее направление эволюции от примитивных сине-зеленых водорослей к человеку прослеживается вполне уверенно. В этом общем направлении ни одно из звеньев эволюционного процесса не может быть выброшено.

Рассмотрим в виде примера пресмыкающихся, которые стали бурно размножаться на суше в середине каменноугольного периода. Это им принадлежит великое «изобретение» — откладывание заключенных в плотную скорлупу яиц, из которых вылуплялось потомство. Один знаток рептилий в этой связи очень точно заметил: «... уже в первом яйце, отложенном первой рептилией на суше, заключалось и пение птиц, и человеческая мысль»**). И мы имеем все основания сказать, что отдаленными предками человека являются рептилии. Ну, а что было бы, если бы не случилось великое вымирание динозавров в конце мелового периода, вымирание, обусловленное какой-то случайной, скорее всего,— космической причиной? Совершенно очевидно, что эволюция жизни на Земле пошла бы как-то иначе. Во всяком случае млекопитающие йе получили бы такого фантастического развития, тсак это случилось после освобождения ниш биосферы, до этого занятых рептилиями. И очень могло быть, что их эволюция зашла бы в тупик.

Мы неоднократно подчеркивали, что движущей силой эволюции жизни на Земле является дарвиновский естественный отбор в комбинации с непрерывно происходящими мутациями. Но является ли это единственным фактором эволюции? До сих пор этот вопрос служит предметом оживленных и даже ожесточенных дискуссий в эволюционной биологии. Среди накопившегося огромного количества фактов о развитии жизни на Земле есть и такие, которые явно противоречат концепции естественного отбора, во всяком случае, в его упрощенной форме, к сожалению, весьма распространенной у биологов. Известны, например, опыты, когда группе крыс предоставляли неограниченные возможности питания. Сперва они быстро размножались, но потом без всякой видимой причины размножение прекратилось и крысы стали вырождаться. Похоже на то, что им как-то вдруг стало «скучно жить». А всем известные эпидемии массовых самоубийств мелких грызунов леммингов — как их уложить в простую схему естественного отбора?

Не все благополучно и во взаимоотношениях эмбриологии с эволюционной теорией. Почему, например, у некоторых зародышей на какой-то стадии их развития появляются признаки, соответствующие эволюционно более поздним ста-

*) См., например, очень содержательную и интересную книгу Камшилов М. М. Эволюция биосферы. — М.: Наука, 1979.

**) См. Карр А. Рептилии.-М.: Мир, 1975.

дням развития? Этот список недоразумений можно было бы приумножить. Создается впечатление, что наряду с естественным отбором в эволюции жизни на Земле действуют еще какие-то факторы, роль которых пока еще окончательно не выяснена. Или, во всяком случае, естественный отбор есть процесс неизмеримо более сложный, чем это обычно полагают.

Все это еще более усложняет и без того невероятно сложный процесс эволюции жизни и делает его еще более неповторимым, и, если можно так выразиться, «капризным». Если даже где-то на какой-нибудь подходящей планете и возникла когда-то жизнь, ее развитие, обусловленное чудовищно длинной цепью *других* случайных обстоятельств, практически *никогда* не повторит развитие жизни на Земле. Не может быть и речи о «тиражировании» эволюции жизни во Вселенной*). Вероятность такого «тиражирования» неизмеримо меньше, чем выигрыш автомобиля в спортлото. Ситуацию совершенно не меняет то обстоятельство, что очагов жизни во Вселенной может быть очень много. Например, в Галактике число таких очагов может быть $\sim 10^8$, если сделать «сверх-оптимистическое» предположение, что почти на каждой планете *обязательно* возникает жизнь. Дело в том, что вероятность реализации той же самой последовательности случайных событий, которая на Земле привела к появлению человека, невообразимо меньше, чем 10^{-n8}.

Единственное, что мы можем сказать,— это то, что однажды возникшая жизнь будет эволюционировать в сторону усложнения и повышения ее адаптации к меняющимся условиям внешней среды. Однако никаких более конкретных соображений о характере, этапах и конечных результатах такой эволюции сказать нельзя.

Остановимся, наконец, на некоторых моментах, связанных с заключительным этапом эволюции жизни на Земле, который привел к появлению человека — носителя *разумной жизни*. Несомненно, что возникновение разумной жизни ознаменовало собой новый важный этап в развитии материи во Вселенной (неживая материя — жизнь — разумная жизнь). Современная палеонтология прослеживает отдаленных предков человека до полуобезьян рамапитека и кениатека (15 миллионов лет). Заметим, что по мере развития палеонтологии эпоха существования предков человека все более отодвигается назад. Давно ли было время, когда древнейшим предком человека считали питекантропа, возраст которого всего лишь порядка сотни тысяч лет? Как же произошло выделение человека как ветви от ствола приматов? Когда и при каких обстоятельствах?

Конечно, огромную и даже решающую роль в этом процессе сыграл труд. Но все же — почему был выделен один (а может быть, и не один) вид приматов? По какому признаку и по каким причинам? На этой самой ранней заре развития труд, рассматриваемый как сознательная коллективная деятельность, еще не мог играть своей решающей роли. Имеется множество гипотез, пытающихся объяснить, чем же отличались эти первые обезьяны, через миллионы лет превратившиеся в людей, от своих четвероруких сородичей. Автор этой книги, например, несколько лет назад с удивлением узнал, что причиной могли быть... паразиты, одолевавшие некий вид обезьян. Последние вынуждены были много чесаться, что сперва освободило, а потом и развило их передние конечности. И пусть читатель не подумает, что это какая-то шутка или мистификация — речь идет об оригинальной гипотезе, во всяком случае не худшей, чем другие. Очень может быть, что в становлении человека не малую, а может быть, и решающую роль сыграл его величество случай.

Думать, что возникновение мыслящих существ есть фатально неизбежный заключительный этап эволюции жизни на Земле — значит, стоять на чисто идеалистических позициях. Ибо это означало бы веру, что вся Вселенная имела конечной целью своего развития появление мыслящих существ. Но Вселенная существует *объективно*, вне сознания и воли человека. Вспомним пушкинское: «... и *рав-*

*) Очень удачный термин «тиражирование» предложен Я. И. Фурманом.

нодушная природа...». Александр Сергеевич хорошо понимал то, что не могут или не желают понять некоторые не в меру оптимистически настроенные адепты повсеместной распространенности разумной жизни во Вселенной. Вывод из приведенных выше рассуждений прост, хотя, может быть, и печален: совершенно необязательно, чтобы однажды возникшая на какой-нибудь планете жизнь на некотором этапе своей эволюции стала разумной. На Земле это случилось по каким-то пока неясным, скорее всего, случайным (как и все в конкретном процессе эволюции жизни) причинам после четырех миллиардов лет развития. И мы не можем сделать оценку вероятности того, что однажды возникшая на какой-то планете жизнь когда-нибудь станет разумной. Очень может быть, что эта вероятность исчезающе мала.

Не следует забывать, что разум человека обладает огромной избыточностью. Это означает, что для сохранения вида и для обеспечения своего существования в конкретной борьбе с другими животными более чем достаточно разума неандертальца, не говоря уже о кроманьонце. И невольно вспоминается чудовищно гипертрофированные защитные средства гигантских хищных рептилий мезозоя. Эти средства были неправдоподобно избыточны. Природа эволюционного процесса приводит иногда к большой расточительности. И все же может статься, что мозг человека, рога трицератопса и резцы саблезубого тигра имеют одинаковую эволюционную природу...

Так или иначе, но развив свой мозг, человек скачком вышел из равновесия с окружающей средой-биосферой, которая сформировалась за несколько миллиардов лет и частью которой он являлся. Этому процессу особенно способствовало наступление технологической эры, происшедшее всего каких-то 350 лет назад. За этот ничтожный срок развитие человечества приняло подлинно взрывной характер. Об этом речь будет идти в следующей части нашей книги. Сейчас мы только подчеркнем, что в итоге этого взрывного процесса человек стал реальной угрозой самому существованию биосферы. Его неконтролируемая деятельность уже привела к ряду необратимых последствий в экологии. Например, практически исчезли крупные хищники, радикально изменились условия взаимосвязи между различными экологическими нишами, наконец, человечество стоит перед реальной угрозой ядерного самоуничтожения. Под угрозу поставлены атмосфера и гидросфера Земли! И только вера в то, что человек есть действительно разумное существо, позволяет нам надеяться, что при лучшей организации общества человечество придет в уже новое состояние равновесия с окружающей средой.

Мы невольно отвлеклись от нашей темы, но, как говорится, «у кого что болит». Заметим только в заключение, что возникновение современной технологической эры вряд ли было фатально неизбежным. Ведь существовали же тысячелетия высококультурные народы (например, майя) без современной технологии. Все дело, по-видимому, в идеологии и философии, которые исповедует данное общество. Но это уже другой вопрос.

<> Вернемся еще раз к проблеме катастрофического вымирания видов. Оказалось, что эпоха гибели динозавров была не единственной катастрофой такого типа. Работы по статистическому анализу палеонтологических данных, относящихся к морским животным, показали, что в течение последних 250 млн лет подобные события повторялись многократно и, что самое любопытное, периодически, с интервалом около 26 млн лет. Последнее такое событие произошло около 13,5 млн лет назад. Эпоха вымирания динозавров (65 млн лет назад) четко совпадает с одним из пиков, причем с наиболее мощным.

Геологические отложения, относящиеся к этой эпохе, замечательны тем, что они сильно обогащены иридием. Его содержание в тысячу раз больше нормы. При этом обогащенный слой очень тонкий — всего около 1 см. Было выдвинуто предположение, что иридий попал на Землю в результате падения астероида диаметром

в несколько километров. Мощность взрыва, имевшего место при падении, оценивается в 10^7 мегатонн. Он должен был сопровождаться сильным запылением атмосферы, понижением средней температуры на несколько десятков Кельвинов, ураганными ветрами, всем, что предсказывается в хорошо известных прогнозах последствий глобальной ядерной войны. Однако столкновение с астероидом — дело случайное, откуда же периодичность? Остроумная гипотеза была выдвинута американскими учеными Мюллером, Дэвисом и Хатом. Они предположили, что Солнце является двойной звездой. Его компаньон — холодная невидимая звезда с массой примерно в десять раз меньше солнечной, движется по эллиптической орбите, причем наибольшее удаление от Солнца составляет 150000 а. е., а наименьшее — около 30000 а. е. Период обращения этой гипотетической звезды-спутника, получившей звучное имя «Немезида» (древнегреческая богиня возмездия), составляет 26 млн лег. В эпоху максимального сближения с Солнцем Немезида вторгается в облако Оорта — самую внешнюю часть Солнечной системы, в которой медленно (со скоростями всего лишь около 1 см/с) ползут по круговым орбитам миллионы комет. В спокойное время, когда Немезида находится далеко, лишь редкие случайные возмущения вырывают из облака Оорта отдельные кометы, посылают их в сторону Солнца, и они становятся наблюдаемыми. Однако, когда возвращается Немезида, облако Оорта приходит в состояние, можно сказать, дикого бешенства. Кометы его покидают в огромном числе, и тысячи их устремляются к Солнцу. Некоторое количество кометных ядер (а это тело размером в несколько километров, отличающееся от астероидов главным образом присутствием большого количества льда) падает на Землю в эти эпохи и вызывает катастрофические изменения климата, вымирание обширных групп живых организмов.

Серьезным аргументом в пользу гипотезы о Немезиде могла бы быть статистика времен образования астроблем — геологических форм, представляющих собой остатки древних кратеров, возникших при падении крупных космических тел, таких как астероиды или кометные ядра. Однако количество известных образований такого рода мало — менее 100. и хотя период получается близкий (около '8 млн лет), нет убедительного совпадения по фазе. Мощный иридиевый слой найден только один, хотя имеются указания и на существование других.

Ясно, что периодичность в вымирании видов исключает гипотезу о вспышках сверхновых как о главной причине явления, хотя они тем не менее могли играть роль в биологической эволюции. Гипотеза о Немезиде является не единственно возможным объяснением периодического характера вымирания. Рампино и Слотерс (США) обратили внимание на то, что Солнце совершает осцилляции относительно плоскости Галактики с периодом около 30 млн лет. При прохождении через галактическую плоскость возможна в принципе встреча с мощными облаками межзвездной пыли, достаточно плотными, чтобы заметно уменьшить солнечную энергию, достигающую земной поверхности.

Очевидно, что самым лучшим аргументом в пользу гипотезы о Немезиде было бы прямое наблюдение. Надо искать холодную звезду с малой светимостью и необычно большим собственным движением. Дело это трудное, но не безнадежное, и в случае успеха оно приведет к одному из величайших открытий за всю историю пауки, сравнимому разве что с созданием системы Коперника <>.

75. «Есть ли жизнь на Земле?»

Волнующий вопрос о жизни на других планетах занимает умы астрономов (и не только астрономов) вот уже несколько столетий. Возможность самого существования планетных систем у других звезд только сейчас, как мы видели в гл. 9, становится предметом серьезных научных исследований. Раньше же вопрос о жизни на других планетах был областью чисто умозрительных заключений. Между тем Марс, Венера и другие планеты Солнечной системы уже давно были известны как несамосветящиеся твердые небесные тела, окруженные атмосферами. Давно стало ясно, что в общих чертах они напоминают Землю, а если так, почему бы на них не быть жизни, даже высокоорганизованной и, кто знает, разумной?

Однако существует большая дистанция между догадками и реальным знанием. Нет сейчас смысла останавливаться на огромном количестве гипотез и литературных произведений, посвященных этой увлекательной проблеме. Наша задача - попытаться кратко изложить ее современное состояние.

Вполне естественно считать, что физические условия, господствовавшие на «только что» образовавшихся из первоначальной газопылевой среды планетах земной группы (в эту группу, как известно, входят Меркурий, Венера, Земля и Марс), были очень сходными, в частности их первоначальные атмосферы были одинаковы, Поэтому, вообще говоря, можно ожидать, что условия для возникновения живой материи на этих планетах были если не одинаковыми, то похожими.

В предыдущей главе мы определили живую материю как сложный молекулярный агрегат, способный к «печатанию» себе подобных систем и подверженный мутациям. Безусловно, такой агрегат мог возникнуть на основе определенных химических реакций, протекающих в определенных условиях. Поэтому проблема возникновения жизни есть в значительной степени проблема химическая.

Основными атомами, входящими в состав тех молекулярных комплексов, щ которых образовалось живое вещество, являются водород, кислород, азот и углерод. Роль последнего особенно важна. Углерод — четырехвалентный элемент, способный образовьшать с другими атомами кратные связи и соединяться одинаково легко с водородом и кислородом. Поэтому только углеродистые соединения приводят it образованию длинных молекулярных цепей с богатыми и изменчивыми боковыми ответвлениями. Именно к такому типу принадлежат различные белковые молекулы.

В популярной литературе часто приходится читать, что на других планетах жизнь может возникнуть не обязательно на углеродной основе. «Заменителем» углерода обычно называют кремний. Кремний довольно обилен в космосе. В атмосферах звезд и туманностях его содержание (по числу атомов) всего лишь в 5-6 раз меньше, чем углерода, т. е. достаточно велико. Вряд ли, однако, кремний может играть роль «краеугольного камня» жизни. По некоторым причинам его соединения не могут обеспечить такой богатый «ассортимент» боковых ответвлений в сложных молекулярных цепочках, как у углеродных соединений. Между тем богатство и сложность таких боковых ответвлений именно и обеспечивают огромное разнообразие свойств белковых соединений, а также исключительную «информативность» ДНК, что совершенно необходимо для возникновения и развития жизни.

Как мы видели в предыдущей главе, важнейшим условием для возникновения и развития жизни на планете является наличие на ее поверхности достаточно большого количества жидкой среды. В такой среде находятся в растворенном состоянии органические соединения и могут создаваться благоприятные условия для синтеза на их основе сложных молекулярных комплексов. Кроме того, жидкая среда необходима только что возникшим примитивным живым организмам для защиты от

губительных ультрафиолетовых лучей, которые в те времена могли свободно проникать до поверхности недавно сформировавшейся планеты.

Из самых общих соображений следует ожидать, что такой жидкой оболочкой может быть только вода и жидкий аммиак. Образование последнего требует сравнительно низкой температуры поверхности планеты. Вообще значение температуры первоначальной планеты для возникновения на ней жизни весьма велико. Если температура достаточно высока, например выше 100°С, а давление атмосферы не очень велико, на ее поверхности не может образоваться водная оболочка, не говоря уже об аммиачной. В таких условиях говорить о возможности возникновения жизни на планете, конечно, не приходится.

Исходя из сказанного, мы можем ожидать, что условия для возникновения в отдаленном прошлом жизни на Марсе и Венере могли быть, вообще говоря, благоприятными. Вряд ли они были благоприятными на Меркурии, так как его температура относительно высока, а масса мала, что способствует быстрой диссипации газов, и прежде всего водорода,. необходимых для возникновения на его поверхности водной оболочки. На рис. 56 приведена фотография Меркурия, полученная с расстояния 200000 км с борта американской автоматической межпланетной станции «Маринер-10». Поражает сходство рельефа поверхности Меркурия и Луны. Жидкой оболочкой на Венере и Марсе могла быть только вода, а не аммиак, что следует из анализа физических условий на этих планетах в эпоху их формирования. Но возможность еще не означает действительность. Вопрос о том, есть ли (или оыла) жизнь на Марсе и Венере, должен быть, прежде всего, решен астрономическими наблюдениями и исследованиями при помощи космических аппаратов.

Рис. 56. Фотография Меркурия, полученная АМС «Маринер-10» 29 марта 1974 г.

Очень трудно получить путем астрономических наблюдений явные указания на наличие жизни на той или другой планете. Не следует забывать, что даже в самые хорошие телескопы при наиболее благоприятных условиях минимальные размеры деталей, еще различимых на поверхности Марса, равны 100 км.

Земная атмосфера, вернее ее неспокойствие, является основной помехой, не позволяющей наблюдать на поверхностях планет детали меньших размеров. Кореи-

ное изменение этой ситуации произошло только после того, как американская автоматическая станция «Маринер-4» получила первые фотографии поверхности Марса с близкого расстояния (см. гл. 16).

Чтобы положение, в котором находятся астрономы, стало более понятным, вообразим себе оснащенную самыми Лучшими современными астрономическими инструментами большую обсерваторию, расположенную на Марсе. Могут ли воображаемые марсианские астрономы, работающие на этой первоклассной обсерватории, доказать наличие жизни на Земле? С марсианского небосклона Земля казалась бы им очень яркой звездой, лишь немного уступающей по блеску Венере, наблюдаемой с Земли. Подобно Венере, она наблюдалась бы в разных фазах. Так как Земля более удалена от Солнца, чем Венера, условия ее наблюдений с Марса были бы более благоприятны, чем условия наблюдений Венеры с Земли. И все же воображаемым марсианским астрономам было бы очень трудно установить факт наличия на Земле жизни.

Несомненно, они наблюдали бы сезонные изменения цветов отдельных больших пространств на Земле, например массивов наших пахотных земель и лесистых стран умеренного пояса. Марсианские теоретики, однако, наверняка, придумали бы ряд гипотез, объясняющих такие изменения, и среди них была бы гипотеза о возможности жизни на Земле... Вряд ли они пришли бы на основе только таких наблюдений к выводу о наличии жизни на нашей планете, тем более — разумной жизни.

Регулярно наблюдая Землю в течение нескольких десятилетий, они несомненно заметили бы большие изменения на ее поверхности. Например, систематическое истребление лесов вряд ли осталось бы незамеченным. Однако определенных выводов они не смогли бы сделать. Ведь и на Марсе мы наблюдаем систематические и довольно большие изменения. Например, с поверхности этой планеты почти совсем исчезло известное образование, называемое Озером Солнца. Знаменитый Скиапарелли, открывший пресловутые «каналы Марса», наблюдал Озеро Солнца как резкое пятно почти круглой формы, однако через 3—4 десятилетия вместо резкого пятна можно было наблюдать довольно вытянутую группу темных пятен. Имеются и многочисленные свидетельства других изменений на поверхности красной планеты. Сами по себе такие изменения весьма интересны, но служить неопровержимыми доказательствами наличия жизни на планете они, конечно, не могут. Заметим, кстати, что на поверхности Луны, почти наверняка лишенной жизни, наблюдался ряд изменений, впрочем, значительно меньшего масштаба.

Можно ли с нашей воображаемой марсианской обсерватории наблюдать следы человеческой деятельности, например всякого рода искусственные сооружения - города, водоемы, плотины? Вряд ли, если учесть, что разрешающая способность телескопов такова, что деталей размерами меньше 100 км обнаружить нельзя. Ведь размеры искусственных сооружений меньше. Ночное освещение земных городов-гигантов: Нью-Йорка, Москвы, Токио, Парижа, Лондона, Чикаго — на пределе чувствительности аппаратуры, по-видимому, можно было бы обнаружить. Представим себе, что городская освещенность в 10 раз больше, чем от полной Луны, причем такая освещенность имеет место в области размером в 10 км. Тогда марсианские астрономы на темной стороне Земли (напомним еще раз, что Земля с Марса, подобно Луне с Земли, наблюдалась бы в разных фазах) могли бы наблюдать звездочку 16-й величины. Однако вследствие рассеяния света от освещенной Солнцем части Земли вряд ли они смогли бы ее обнаружить.

Карл Саган подверг более подробному рассмотрению вопрос о возможности наблюдать из космоса следы человеческой деятельности на Земле. Земля многократно фотографировалась из ближнего космического пространства с помощью фотографических камер, установленных на американских и советских спутниках. Например, специальная программа такого рода была выполнена на серии амери-

канских метеорологических спутников «Тирос» и «Нимбус». Для своего анализа американский ученый использовал результаты этих исследований. Иногда на таких фотографиях причудливые сочетания облаков (которыми покрыта большая часть Земли) создают иллюзию искусственных сооружений (рис. 57). Через разрывы облаков иногда удается наблюдать значительные участки суши. Например, на рис. 58 через такой большой разрыв виден восточный угол США, а на рис. 59 — южная оконечность Индостана и остров Цейлон. Куски суши, полученные на этих фотографиях, принадлежат к числу наиболее густо населенных областей земного шара, а на рис. 58 видна одна из наиболее развитых в технологическом отношении стран. И все же никаких следов деятельности человека, даже при самом тщательном анализе таких фотографий, обнаружить не удается. Заметим, что на этих фотографиях разрешаются детали в несколько километров.

Из сотен тысяч таких фотографий, полученных на спутниках серии «Тирос» с разрешением около 1 км, только одна выдает присутствие жизни на Земле (рис. 60). На этой фотографии виден кусок Канадской территории в штате Онтарио. В нижнем левом углу снимка отчетливо видна система широких параллельных полос. Это следы лесозаготовок, запорошенные снегом, что увеличило контраст фотографии. Но разве эта совершенно уникальная (одна из сотен тысяч!) фотография могла дать повод для радикального вывода о жизни на Земле! Ведь марсианские астрономы легко могли бы придумать куда более естественные причины для объяснения регулярных деталей, видимых на этой фотографии (например, геологические причины).

Анализируя фотографии, полученные на этих спутниках, с еще более высоким разрешением (например, несколько сотен метров), Саган смог обнаружить несколько деталей, имеющих вид прямых линий. Хорошо, что он заранее знал, что одна такая деталь — это автострада в штате Теннесси. Ведь точно такая же деталь на другом снимке была получена от вполне естественного образования — узкой, прямой песчаной косы в Марокко... Итак, даже такое разрешение недостаточно для бесспорного обнаружения следов разумной деятельности человека на Земле.

Саган обращает также внимание на важный фактор, делающий наши гигантские города невидимыми из космоса: это грязная, непрозрачная атмосфера над такими городами — увы, продукт высокоразвитой цивилизации... Например, американские космонавты ни разу не могли наблюдать из космоса город-гигант Лос-Анджелес! Как говорится, тут комментарии излишни...

Заметим, однако, что существуют спутники специального назначения, позволяющие различать на поверхности Земли детали в несколько метров! Конечно, от таких спутников скрыть следы разумной жизни на Земле уже невозможно.

.Такие явления, как ядерные взрывы в нижней атмосфере, которые — увы! — иногда происходят на Земле, безусловно были бы видны с Марса, как кратковременные очень яркие вспышки света. Все же, учитывая относительную редкость ядерных испытаний и быстроту протекания процесса взрыва, вероятность их обнаружения была бы крайне малой. Впрочем, создание специальной весьма оперативной «службы Земли» (подобно существующей у нас «службы Солнца») могло бы привести к успеху. Однако и в этом случае цивилизованные марсианские астрономы вряд ли сочли бы эти кратковременные вспышки света признаками жизни, тем более разумной. Даже мы, живя на Земле, никак не можем такие варварские эксперименты, имеющие конечной целью уничтожение всего живого на нашей прекрасной планете, считать проявлением какого бы то ни было разума...

Итак, очень непросто обнаружить прямые и явные признаки жизни даже на самой ближайшей планете. Впрочем, мы сейчас укажем на один способ такого обнаружения, логически бесспорный. Представим, что наша воображаемая марсианская обсерватория оснащена современными радиотелескопами — устройствами, позволяющими обнаружить и измерить радиоизлучение различных небесных тел.

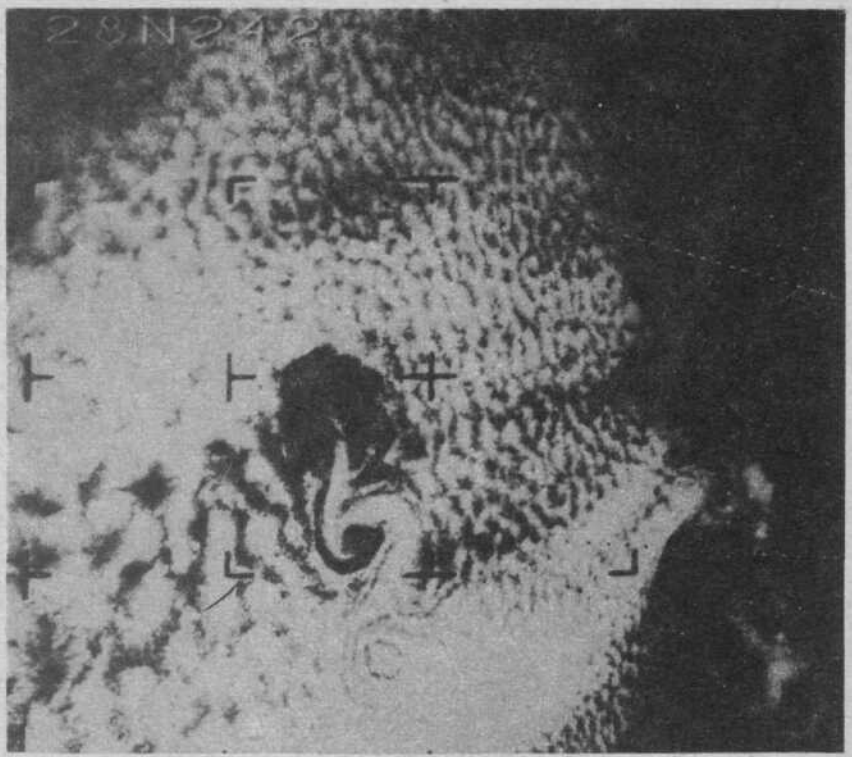

Рис. 57. Облачный покров над Калифорнией. Фотография получена со спутника «Нимбус-1»

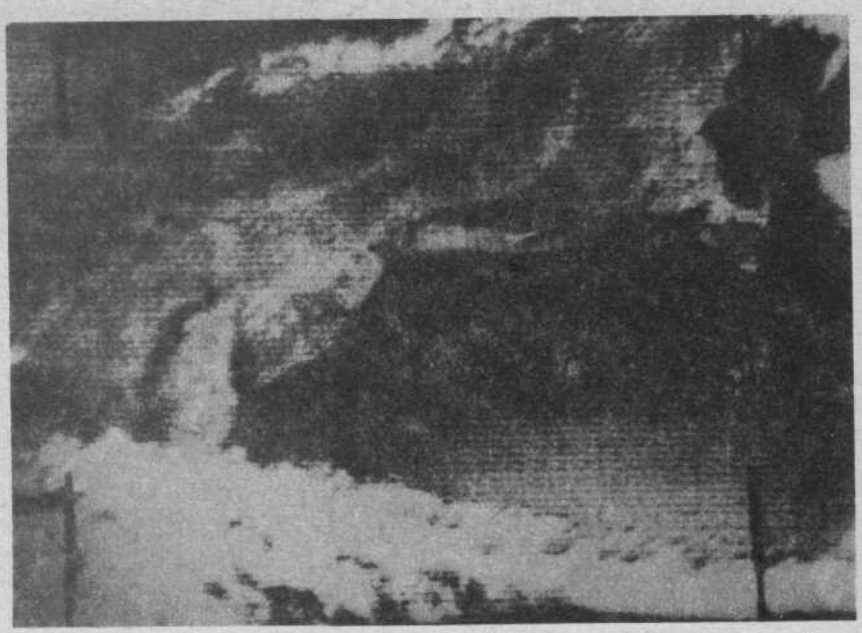

Рис. 58. Фотография восточных районов США. Получена со спутника «Тирос-7»

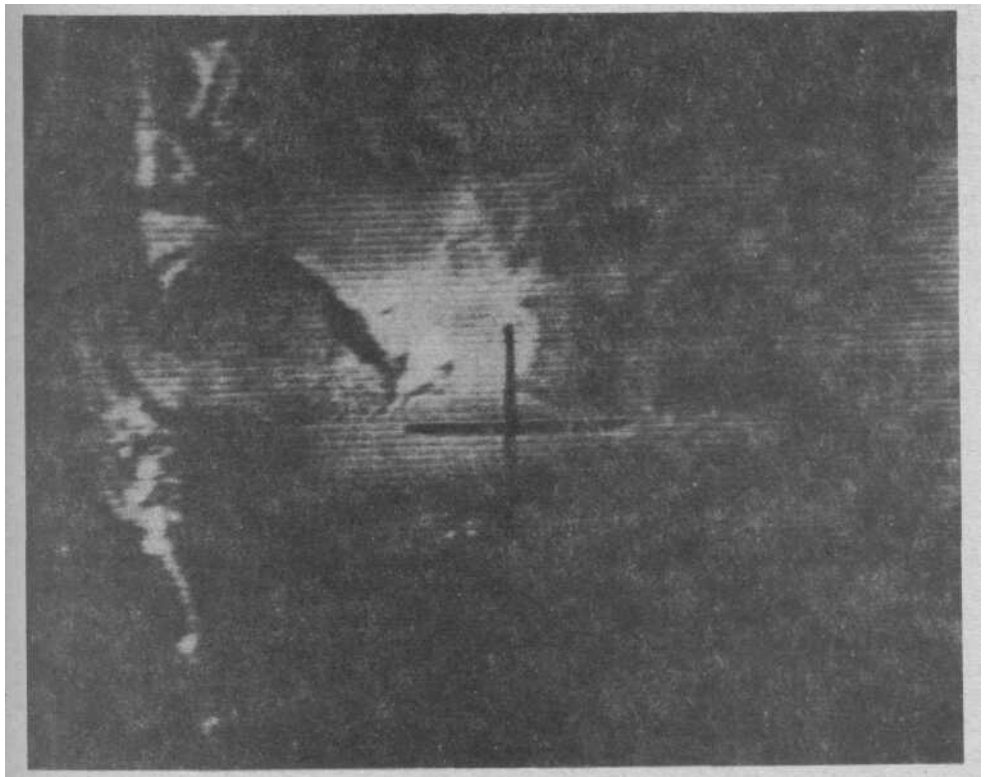

Рис. 59. Южная оконечность Индостана. Фотография получена со спутника «Тирос-5»

Рис. 60. Часть территории Канады (штат Онтарио). Фотография получена со спутника «Тирос-2»

Марсианские астрономы, подобно земным, исследовали бы радиоизлучение планет. И тут они сделали бы одно потрясающее открытие: на метровом диапазоне волн наша скромная планета Земля посылает в пространство почти такой же мощности поток радиоизлучения, как и Солнце, в периоды, когда на нем нет пятен! Земля на этом диапазоне излучает в миллионы раз больше, чем Венера или Меркурий. Открытие это можно было бы сделать, применяя довольно «скромные» радиотелескопы. Дальнейшие исследования несомненно показали бы, что различные участки поверхности нашей планеты излучают неодинаково, так как была бы найдена периодическая зависимость радиоизлучения Земли от времени, вызванная ее вращением вокруг своей оси. Например, когда к Марсу были бы обращены Африка, Южная и Центральная Азия, уровень радиоизлучения падал бы, а когда Европа и Северная Америка — сильно возрастал. Однако, по-видимому, больше всего марсианских радиоастрономов удивило бы то обстоятельство, что несколько десятков лет назад Земля на метровых волнах излучала в миллион раз слабее. Анализируя все эти факты, умные марсиане поняли бы, правда далеко не сразу, что это радиоизлучение нельзя объяснить действием естественных сил природы, что оно может иметь только искусственный характер. Значит, на Земле есть разумная жизнь! Что и говорить, это было бы замечательным открытием!

В чем же дело? В чем причина столь мощного радиоизлучения Земли? И не мистификация ли это вообще? Нет, мы далеки от попыток шутить на столь серьезную тему. Все описанное вполне соответствует действительности. На Земле имеется несколько тысяч телевизионных передатчиков. Если учесть среднюю мощность каждого такого передатчика (около 20 кВт), ширину полосы частот, в которых происходит излучение, среднюю длительность работы каждого такого передатчика (скажем, 6 часов в сутки), а главное, что все волны телевизионного диапазона (1,5—6 м) совершенно беспрепятственно проходят через земную (так же, как и марсианскую) атмосферу, то мы получим именно ту картину, которую должны были бы наблюдать воображаемые марсианские астрономы.

Автор этой книги произвел соответствующий количественный расчет, на основе которого и была нарисована описанная выше картина марсианских радиоастрономических наблюдений *). Для специалистов, может быть, небезынтересно будет знать, что так называемая «яркостная температура» Земли на метровых волнах, обусловленная работой телевидения, близка к нескольким сотням миллионов градусов, что в сотни раз выше «радиояркости» Солнца на этих волнах в периоды, когда на его поверхности нет или почти нет пятен. Заметим еще, что, кроме телепередатчиков, на Земле есть огромное число радиостанций и прочих устройств, мощно излучающих в ультракоротковолновом диапазоне.

На этом примере мы впервые столкнулись с «космическим» характером жизнедеятельности разумных существ. Эта деятельность привела к тому, что по такой важной характеристике, как мощность и характер радиоизлучения, Земля стала разительно отличаться от всех остальных планет Солнечной системы. Несомненно, что космический характер деятельности есть существенный атрибут развития разумной жизни. В следующих главах этой книги мы уделим этому очень важному и интересному вопросу достаточно много места.

Но означает ли само по себе отсутствие мощного радиоизлучения на метровых волнах от Марса отсутствие там высокоразвитой разумной жизни? Вообще говоря, нет, потому что, несомненно, потери энергии, связанные с телевидением, рано или поздно будут сокращены. Ведь это же варварство, что подавляющая часть энергии, излученной телепередатчиками, бесполезно уходит в мировое пространство! Несомненно, что прогресс науки и техники приведет к тому, что электромагнитные

*) Усредненная мощность земного радиоизлучения в метровом диапазоне, как можно подсчитать, близка к 1 Вт/Гц.

волны будут идти по определенным каналам без ненужного рассеяния. Некоторые шаги в этом направлении уже делаются. Естественно предположить, что высокоразвитые разумные существа будут расходовать электромагнитную энергию не так расточительно, как мы сейчас.

Таким образом, непосредственно обнаружить с достоверностью следы жизни на Земле наблюдениями с Марса весьма непросто. Можно, однако, для этого применить косвенные методы. Дело в том, что развитая жизнь на какой-нибудь планете является могучим фактором, преобразующим ее атмосферу и кору. Не случайно наружные слои нашей планеты, включающие также мировой океан и атмосферу, получили название «биосфера». Согласно исследованиям академика В. И. Вернадского (который ввел в науку само понятие «биосфера»), последняя начинается с глубины 3 км под поверхностью Земли и охватывает почти всю гидросферу и атмосферу. Он пришел к выводу, что все наружные слои земной коры переработаны жизнедеятельностью различных организмов на 99%. Как мы видели в предыдущей главе, практически весь кислород в земной атмосфере есть продукт фотосинтеза растений. Благодаря своей огромной химической активности атмосферный кислород непрерывно вступает в соединения с различными элементами земной коры. Если бы не непрерывное возобновление кислорода, обусловленное жизнедеятельностью растений, он исчез бы из атмосферы всего лишь за несколько тысяч лет. Можно сделать вывод, что наличие свободного кислорода в атмосфере планеты является признаком того, что на ней имеется жизнь, создавшая биосферу.

Биосфера не только создает кислород в атмосфере планеты. Живые организмы, особенно бактерии, за сотни миллионов лет своей «кипучей деятельности» преобразили лицо нашей Земли. Они могут разлагать даже самые стойкие химические соединения, входящие в состав алюмосиликатов и гранитов, составляющих большую часть земной коры. Так постепенно образовалась почва. Причина деятельности живых организмов, преобразующей лицо планеты, кроется в процессах обмена веществ, являющихся неотъемлемым атрибутом жизни. Эти процессы представляют собой химические реакции весьма большого количества типов. Все это приводит к потенциально огромной способности живых существ к размножению. Основная тенденция развивающейся жизни — переработать как можно больше «неживого» вещества, чтобы этот «строительный» материал использовать для построения новых особей.

Если бы этот процесс не сталкивался с суровыми ограничениями, накладываемыми самой природой, прежде всего ограниченностью «строительных ресурсов», за какие-нибудь сутки масса живого вещества превзошла бы массу планеты. Количество живого вещества в земной коре согласно подсчетам В. И. Вернадского, составляет примерно 10^{14}— 10^{15} т. Это в несколько миллионов раз меньше массы земного шара и только в несколько тысяч раз меньше массы земной коры.

Коль скоро наши воображаемые марсианские наблюдатели обнаружили бы вокруг Земли мощную кислородную атмосферу, они должны были бы с необходимостью сделать вывод о наличии на Земле жизни. Если бы количество свободного кислорода в атмосфере было ничтожно мало, так что его можно было обнаружить только на пределе чувствительности приборов, еще можно было бы выдвигать различные гипотезы о «небиогенном» происхождении земного кислорода. Впрочем, эти гипотезы были бы довольно сомнительны. Но такое огромное количество кислорода, которое наблюдается на Земле, можно объяснить только жизнедеятельностью организмов. Итак, химический состав земной атмосферы позволил бы наблюдателям марсианской обсерватории сделать со всей определенностью вывод, что жизнь на Земле существует. Означает ли, однако, отсутствие в спектре планеты линий и полос, указывающих на наличие в ее атмосфере кислорода, что планета безжизненна? Строго говоря, нет. Именно с таким случаем мы встречаемся при исследовании вопроса о возможности жизни на Марсе.

16. «Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе...»

После того как мы в предыдущей главе имели возможность убедиться, что обнаружить признаки жизни на какой-нибудь планете с расстояния, исчисляемого десятками миллионов километров,— задача далеко не простая, можно проанализировать существующие наблюдательные данные о планетах Солнечной системы для выяснения вопроса о возможной их обитаемости. В первую очередь мы остановимся на самой «перспективной» в этом отношении планете — Марсе.

Нет нужды приводить основные астрономические сведения о Марсе — они достаточно часто приводились в научно-популярной литературе. Интересующихся большими подробностями мы отсылаем к монографии В. И. Мороза «Физика планеты Марс» (М.: Наука, 1978).

Прежде всего рассмотрим, что представляет собой марсианская атмосфера. Прямые спектроскопические наблюдения указывают, что в атмосфере присутствует углекислота CO_2 в количестве, примерно в 30 раз большем, чем в земной атмосфере, хотя марсианская атмосфера в 150 раз более разрежена, чем земная на уровне моря.

Каков же химический состав марсианской атмосферы?

Углекислый газ является основной составляющей марсианской атмосферы - примерно 95%. Измерения, проведенные на американских космических аппаратах «Викинг-1» и «Викинг-2» показали, что остальные 5 % — это аргон и азот. Аргон, или, точнее, его изотоп с атомным весом 40, составляет, как известно, около 1 % земной атмосферы. Он образуется непрерывно в результате радиоактивного распада изотопа ^{40}K, находящегося в земной коре. Так как Марс и Земля по своим основным планетарным характеристикам (размеры, состав коры, плотность и т. д.) являются «родственниками», следует ожидать, что этот же процесс должен приводить к появлению аргона и на Марсе. Поскольку кислорода в марсианской атмосфере очень мало, то аргон наряду с азотом оказывается одной из главных компонент марсианской атмосферы.

До последнего времени не существовало сколько-нибудь надежных спектроскопических данных, указывающих на наличие в атмосфере Марса водяных паров. Однако в 1963 г. американские ученые Спинрад, Мюнх и Каплан уверенно обнаружили в спектре Марса очень слабые полосы водяного пара. Из этих наблюдений следует, что количество водяных паров в атмосфере Марса составляет около одной тысячной от CO_2. Отсюда можно сделать вывод, что его атмосфера отличается исключительной сухостью. В незначительных количествах в ней содержится CO (0,06%) и озон O_3 (10^{-3}%).

Еще недавно большинство астрономов считали, что так называемые «полярные шапки» Марса суть не что иное, как иней, покрывающий большие области около полюсов планеты. Однако в настоящее время вся совокупность данных наблюдений говорит о том, что сезонные «полярные шапки» — это, главным образом, сухой лед, т. е. затвердевшая углекислота CO_2. Так как ось вращения Марса наклонена к плоскости его орбиты почти на такой же угол, что и Земля, там наблюдается смена времен года. Вообще говоря, климат Марса отличается большой суровостью. Средняя температура поверхности этой планеты приблизительно на 40 К ниже, чем на Земле. В течение суток температура почвы колеблется на 60—80 К. Амплитуда годичных колебаний в полярных областях достигает 100—120 К, в то время как в экваториальных она равна 30 К. Температура полярных областей достигает зимой — 120 °С.

Следует иметь в виду, что в отдельных областях поверхности Марса микроклимат может существенно отличаться в лучшую сторону от описанных выше весь-

ма суровых «средних» условий. Например, благодаря вулканической активности там могут быть области с более высокой температурой и сравнительно большим содержанием водяных паров. В таких областях условия для развития жизни могут быть, конечно, более благоприятными.

В 1964 г. Синтон и Стронг опубликовали результаты наблюдений Марса в инфракрасных лучах (длины волн 7 — 13 мкм). На этих волнах наблюдается в основном тепловое излучение поверхности планеты, в то время как на более коротких волнах Марс светит преимущественно отраженным солнечным излучением.

Таблица 9

Широта, градусы	Часы марсианского времени						Широта, градусы	Часы марсианского времени					
	7	8	11	12	13	14		7	8	11	12	13	14
+14	—78	—91	+10	+16	+14	+8	—2	—64	—16	+16	+22	+22	+7
+10	—64	—19	+13	+26	+28	+15	—8	—55	—10	+19	+22	+20	+14
+8	—54	—11	+18	+26	+23	+20	—12	—42	—6	+18	+18	+18	+8

Наблюдения Синтона и Стронга производились при помощи большого телескопа обсерватории Маунт Паломар с зеркалом диаметром в 5 м. Это дало возможность исследовать инфракрасное излучение от отдельных участков поверхности планеты. По интенсивности инфракрасного излучения можно было вычислить температуру соответствующих областей в разное время марсианских суток. Температуры поверхности Марса (°С) для разных широт и моментов марсианских суток приведены в табл. 9, из которой видна огромная разница между утренней и дневной температурами. Интересно, что около местного марсианского полдня температура поверхности планеты достигает + 28 °С. В то же время температура воздуха на Марсе, даже у самой его поверхности, очень низка и всегда ниже нуля. Уже на высоте около 15 км температура падает даже в экваториальных областях до — 100 °С.

Новую эру в исследованиях Марса открыли американские и советские автоматические межпланетные станции «Маринер» и «Марс» (рис. 61), которые, начиная с 1962 г., планомерно посылались к Марсу. Впервые автоматическая станция «Маринер-4» передала на Землю фотографии поверхности этой планеты, полученные со сравнительно близкого расстояния (~ 10000 км). Эти фотографии выявили на поверхности Марса огромное количество кратеров самых различных размеров. Любопытно отметить, что только один астроном на Земле довольно давно предсказал, что поверхность Марса должна быть покрыта кратерами. Это был выдающийся эстонский астроном Эпик, работавший в Ирландии. Однако на это предсказание не

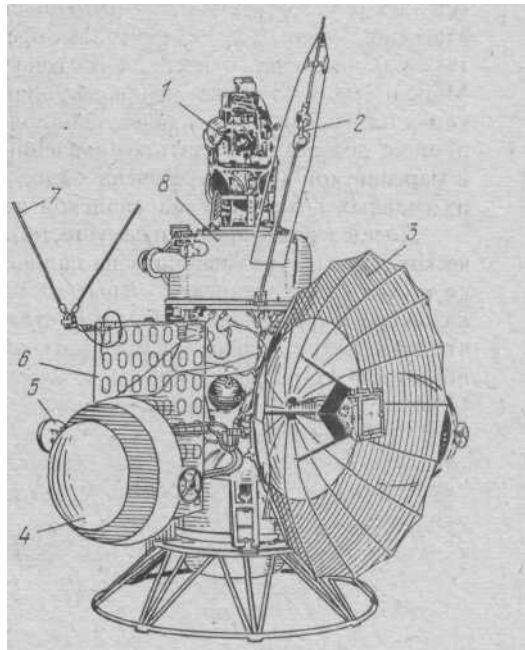

Рис. 61. Автоматическая межпланетная станция «Марс-1»

1 — корректирующая двигательная установка; 2 — штырь магнитометра; 3 — остронаправленная антенна; 4 — радиатор системы терморегулирования; 5 — малонаправленная антенна; 6 — панели солнечных батарей; 7 — всенаправленная антенна; 8 — орбитальный отсек.

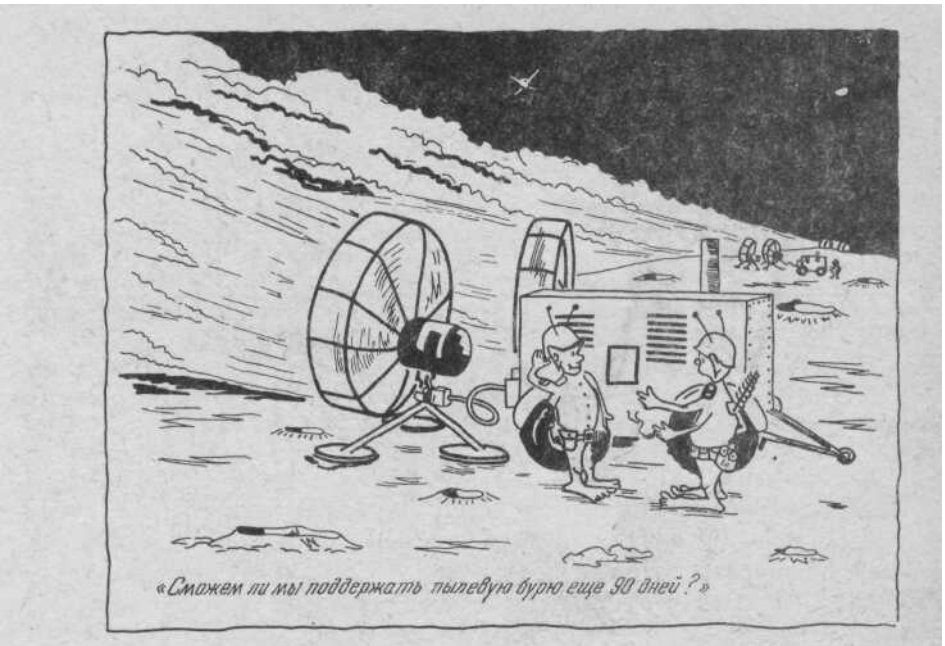

Рис. 62. Шуточная картинка по поводу пылевой бури на Марсе

было обращено должного внимания. Для всего «астрономического мира» открытие кратеров на поверхности Марса было полной неожиданностью...

Важные результаты в съемках поверхности Марса были достигнуты в конце 1971 г. американской автоматической станцией «Маринер-9». Поначалу съемкам сильно мешала огромной силы пылевая буря, на много недель закрывшая непроницаемой мглой поверхность планеты. Это дало повод организаторам полета «Маринер-9» для веселых шуток (рис. 62).

Когда буря утихла. «Маринер-9» выполнил высококачественную «космофотосъемку» поверхности Марса, охватывающую всю его поверхность. Некоторые из переданных на Землю фотографий поверхности Марса приведены на рис. 63 а—в.

<> Практически одновременно с «Маринером-9» работал «Марс-3» — советский искусственный спутник планеты Марс. На нем проводились фотометрические исследования поверхности и атмосферы в разных диапазонах <>

В 1974 г. четыре советские автоматические межпланетные станции — «Марс-4», «Марс-5», «Марс-6» и «Марс-7» — продолжили программу изучения Марса. В результате этих исследований природа марсианской атмосферы значительно прояснилась. Приводим основные результаты этих измерений, не останавливаясь на технических подробностях. Мы сюда включили также результаты наземных наблюдений, выполненные самыми совершенными методами на крупнейших телескопах.

Установленные на советских автоматических станциях «Марс-3» и «Марс-5» «индикаторы влажности» — особая аппаратура, чувствительная к инфракрасным лучам, поглощаемым водяными парами,—позволили надежно найти распределение паров N_2O над поверхностью Марса. Выяснилось, что это распределение весьма неравномерно, колеблясь от неизмеримо малого значения до 100 мкм осажденной воды.

Среднее значение полного давления марсианской атмосферы близко к 0,006 земного атмосферного давления (около 5 мм рт. ст.). Эта величина оказалась значительно ниже принимавшегося раньше значения. Вообще следует заметить, что на

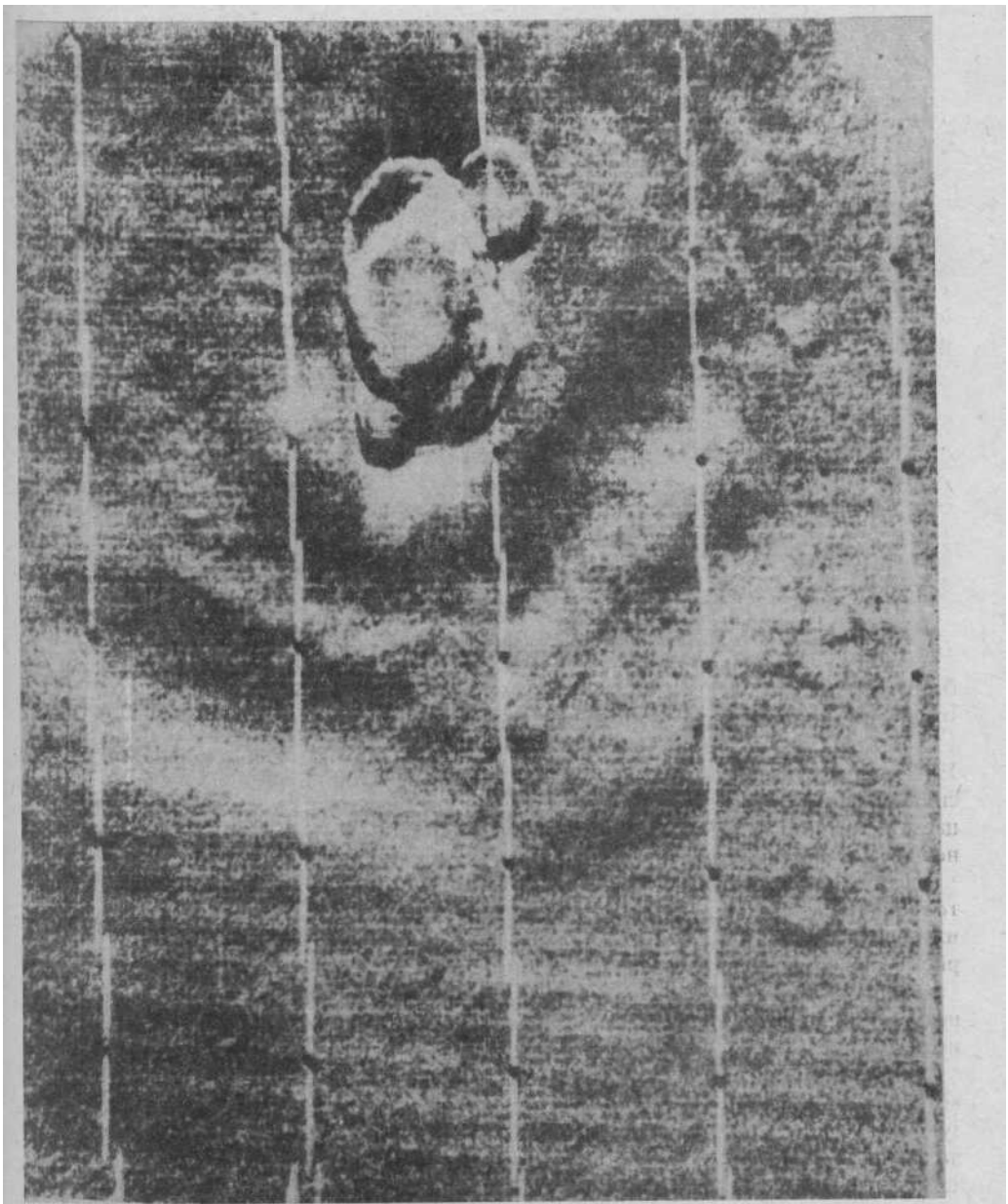

Рис. 63а. Фотография области на Марсе, полученная АМС «Маринер-9»

протяжении последних двух десятилетий наблюдалась тенденция к непрерывному снижению давления марсианской атмосферы. Так, например, известный исследователь Марса де Вокулер около 30 лет назад вывел значение для давления атмосферы Марса 65 мм рт. ст. По наблюдениям, выполненным во время противостояния Марса в 1963 г., было найдено, что давление на Марсе составляет только 20 мм рт. ст. И вот сейчас оно принимается еще в 4 раза меньшим! Такое низкое давление достигается на Земле только на высоте 30 км над уровнем моря.

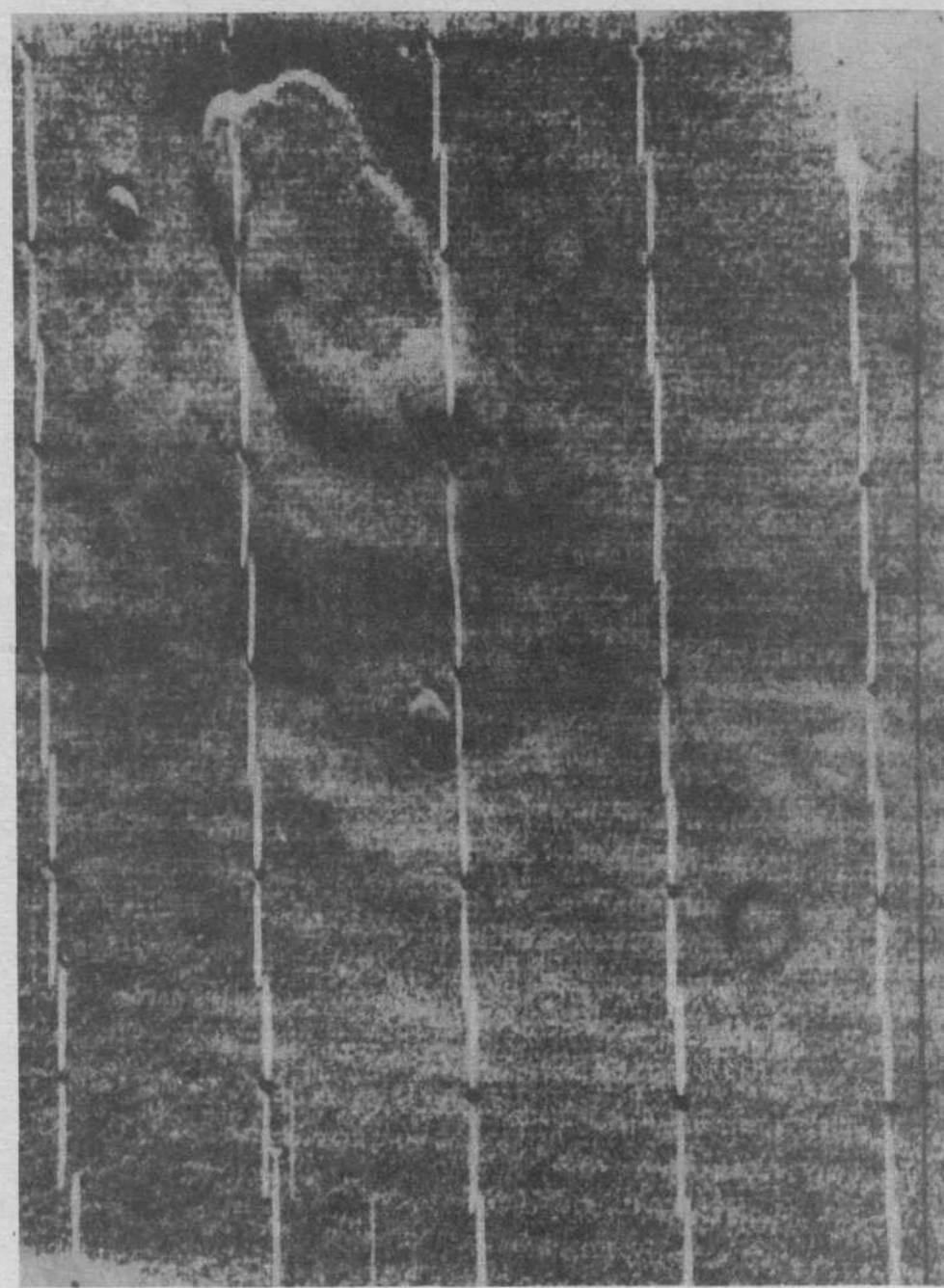

Рис. 63б. Фотография области на Марсе, полученная АМС «Маринер-9»

Рис. 63в. Фотография области на Марсе, полученная АМС «Маринер-9»

Следует, однако, заметить, что на поверхности Марса наблюдаются огромные перепады высот, до 25 км. По этой причине атмосферное давление на поверхности Марса сильно зависит от высоты того или иного участка. Есть места (впадины), где атмосферное давление почти вдвое больше среднего, есть и такие высокогорные области, где давление вдвое меньше среднего. Конечно, удивительного в этом нет ничего. Вообразим себе, что у нас на Земле исчез мировой океан. Тогда разность высот между океанскими впадинами и высокогорными плато была бы 7—10 км. Конечно, разница в высоте между вершинами Гималаев и отдельными узкими провалами в океане типа Филиппинской или Марианской впадин составляет около 20 км. Но это, так сказать, «экстремальные» значения перепадов высот. Очень возможно, что на Марсе будут найдены разные малые области с еще большей разностью высот. Но в целом степень «изрытости» поверхности Марса (в смысле отклонения от идеальной сфероидальной формы) значительно больше, чем на Земле, что, по-видимому, объясняется меньшим значением силы тяжести на этой планете.

Специальный интерес представляет строение верхней атмосферы Марса. На высоте около 300 км основной составляющей атмосферы является атомарный кислород. Несомненно, это объясняется фотодиссоциацией углекислого газа (плотность второго и более тяжелого ее продукта, CO, падает быстрее с высотой, чем плотность O). Начиная с высоты около 400 км преобладающей компонентой марсианской атмосферы становится атомарный водород H. На этой высоте в каждом кубическом сантиметре содержится около 10000 атомов водорода. Следует ожидать, что здесь содержится примерно такое же количество гелия, однако на расстояниях в несколько тысяч километров атмосфера должна уже состоять практически из чистого водорода. Чисто водородная внешняя атмосфера Марса прослеживается вплоть до огромных расстояний в 20000 км, образуя своего рода «корону». Аналогичная водородная «корона» окружает Землю, а также Венеру. Водородная корона Марса была исследована на американских и советских автоматических станциях с помощью специальных приемников, чувствительных к излучению в резонансной линии водорода «Лайман альфа». Это излучение возникает при рассеянии солнечных ультрафиолетовых квантов атомами водорода, находящимися в верхней атмосфере Марса. По той же причине эту линию излучают атомы водорода в верхней атмосфере Земли и Венеры.

Так же, как и в случае верхней атмосферы Земли, атомы водорода в верхней атмосфере Марса должны «улетучиваться» (или, как говорят, «диссипировать») в межпланетное пространство. Поэтому должен быть непрерывно действующий источник их пополнений.

Таким источником может быть только диссоциация водяных паров в более глубоких слоях марсианской атмосферы. Оказывается, что даже того скромного количества паров H_2O, которое там имеется, вполне достаточно для этой цели.

Таким образом, климат Марса и его атмосфера не очень-то благоприятствуют развитию жизни на нем, хотя, конечно, не исключают ее возможности. Уместно в этой связи напомнить, что в Антарктиде люди живут при температурах марсианских полярных областей. Там зарегистрирована самая низкая температура на Земле 82 °C. Конечно, человек в Антарктиде создает свою искусственную биосферу. Все же возможности приспособлений организмов к суровым природным условиям весьма велики. Следовательно, сама по себе суровость климатических условий на Марсе не исключает возможности наличия на нем жизни.

Кроме того, в последние годы серьезно обсуждается возможность резких колебаний климатических условий на Марсе в течение его «геологической» (лучше сказать, «ареологической») истории.

Когда протяженная «сезонная» полярная шапка, состоящая из углекислоты, весной исчезает, в центре ее остается яркое пятно диаметром в несколько сотен ки-

лометров, сохраняющееся в течение всего лета. Это скопление льда H_2O. В прошлом ледяные шапки могли таять, существенно меняя условия на поверхности «красной планеты». Оценочные расчеты показывают, что атмосферное давление могло быть тогда в десятки раз больше. Эту эпоху связывают с периодом высокой вулканической активности. Высокая концентрация водяного пара могла способствовать образованию на поверхности Марса более или менее значительных открытых водоемов.

На рис. 64 приведена фотография участка Марса, полученная советской АМС «Марс-5». На ней отчетливо видна извивающаяся линия, очень похожая на русло

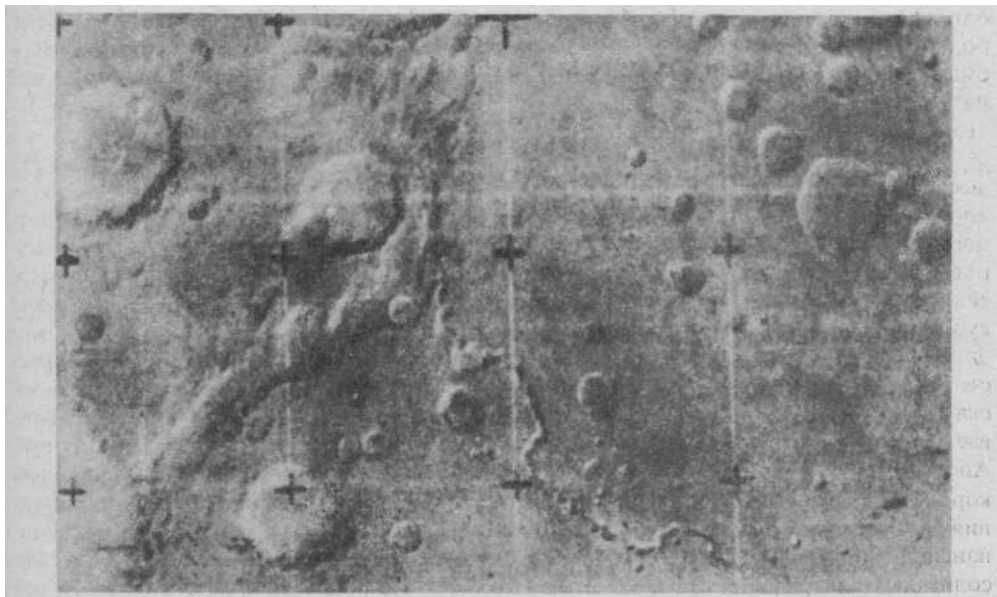

Рис. 64. «Высохшее русло реки» на поверхности Марса. Фотография получена АМС «Марс-5»

реки. Такие образования найдены на Марсе в значительном количестве. Характерная структура, форма, наличие «притоков», «наносов» и т. д.,— все указывает на то, что мы имеем здесь дело с настоящими сухими руслами. Трудно оценить их возраст, скорее всего, он достигает многих сотен миллионов лет и даже миллиардов лет. Наличие «сухих русел» является аргументом в пользу того, что на Марсе в прошлые геологические эпохи была более плотная атмосфера и более мягкий климат, пригодный даже для земных форм жизни.

На поверхности Марса видны отдельные темные пятна — так называемые «моря», хотя ничего общего с земными морями они не имеют. В этом отношении эти образования вполне подобны лунным морям. Как показывают тщательные телескопические наблюдения, у марсианских морей имеются в большом количестве отдельные структурные детали и пятна различной окраски. Эти пятна отличаются большой изменчивостью. Преобладающие тона окраски марсианских морей — оливковые, зеленоватые и даже синеватые. Более обширные пространства на поверхности Марса, окружающие моря, имеют серовато-красноватый цвет. Они получили название «пустынь». Возможно, что это название в какой-то степени отражает их природу.

Когда в каком-нибудь из полушарий Марса наступает весна, полярная шапка начинает довольно быстро уменьшаться в размерах (рис. 65). На ее краях появляет-

ся темная кайма шириной в несколько сотен километров. Волна «потемнения» распространяется в сторону более низких марсианских широт. При этом отдельные детали морей заметно темнеют. С наступлением осени волна потемнения начинает перемещаться в обратном направлении. На первый взгляд естественно связать описанные только что сезонные изменения деталей на поверхности Марса с увлажнением его почвы.

Систематические сезонные изменения цвета морей Марса от сероватых к зеленоватым тонам раньше многие исследователи связывали с сезонными изменениями окраски марсианской растительности. С другой стороны, ряд авторов считает, что сезонные изменения окраски морей вызваны изменениями цветов заключенных в почве Марса солей при повышении влажности почвы. Таким образом, сами по себе сезонные изменения цвета отдельных деталей на поверхности Марса еще не

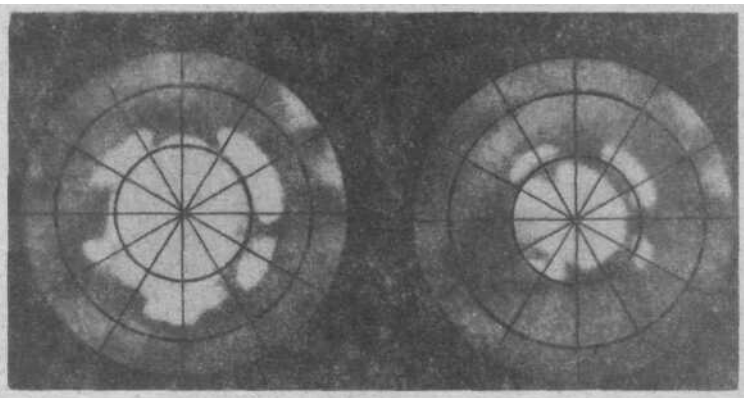

Рис. 65. Таяние полярной шапки Марса

говорят о наличии там растительного покрова. Точно так же отсутствие или наличие слабого провала в спектре около длины волны 0,5 мкм, которое может быть обусловлено хлорофиллом, решительно ничего не говорят о наличии или отсутствии жизни на Марсе. Такого провала в спектре Марса не обнаружено. Но еще Г. А. Тихов — большой энтузиаст идеи обитаемости Марса — показал, что под влиянием суровых природных условий полоса поглощения хлорофилла может сильно измениться. Даже небольших вариаций в структуре боковых ветвей молекулы хлорофилла (которые вполне возможны) достаточно, чтобы сильно изменить его спектрально-отраженные свойства.

Большинство астрономов вообще считают, что никакой жизни на Марсе в настоящее время нет. В частности, такой радикальной точки зрения держался американский астроном Мак Лофлин. Согласно его гипотезе темные моря Марса - результат вулканической активности этой планеты. Моря, по Мак Лофлину,—отложения вулканического пепла на больших участках поверхности планеты. Он нашел, что очертания этих морей хорошо согласуются с направлениями ветрев в атмосфере Марса. Гипотеза Мак Лофлина довольно хорошо объясняет вековую (т. е. не сезонную) изменчивость деталей на поверхности планеты. Точно так же непринужденно объясняется темная окраска морей химическими процессами, происходящими в неокисленной, слабо увлажненной атмосфере Марса. Сезонные изменения окраски морей объясняются изменениями в направлении ветров, а также изменениями влажности и температуры. До недавнего времени серьезным возражением против гипотезы Мак Лофлина считалась предполагаемая им сильная вулканическая деятельность на Марсе. Однако само по себе возражение, конечно, нельзя считать решающим. Мы слишком мало еще знаем о природе тектонической активно-

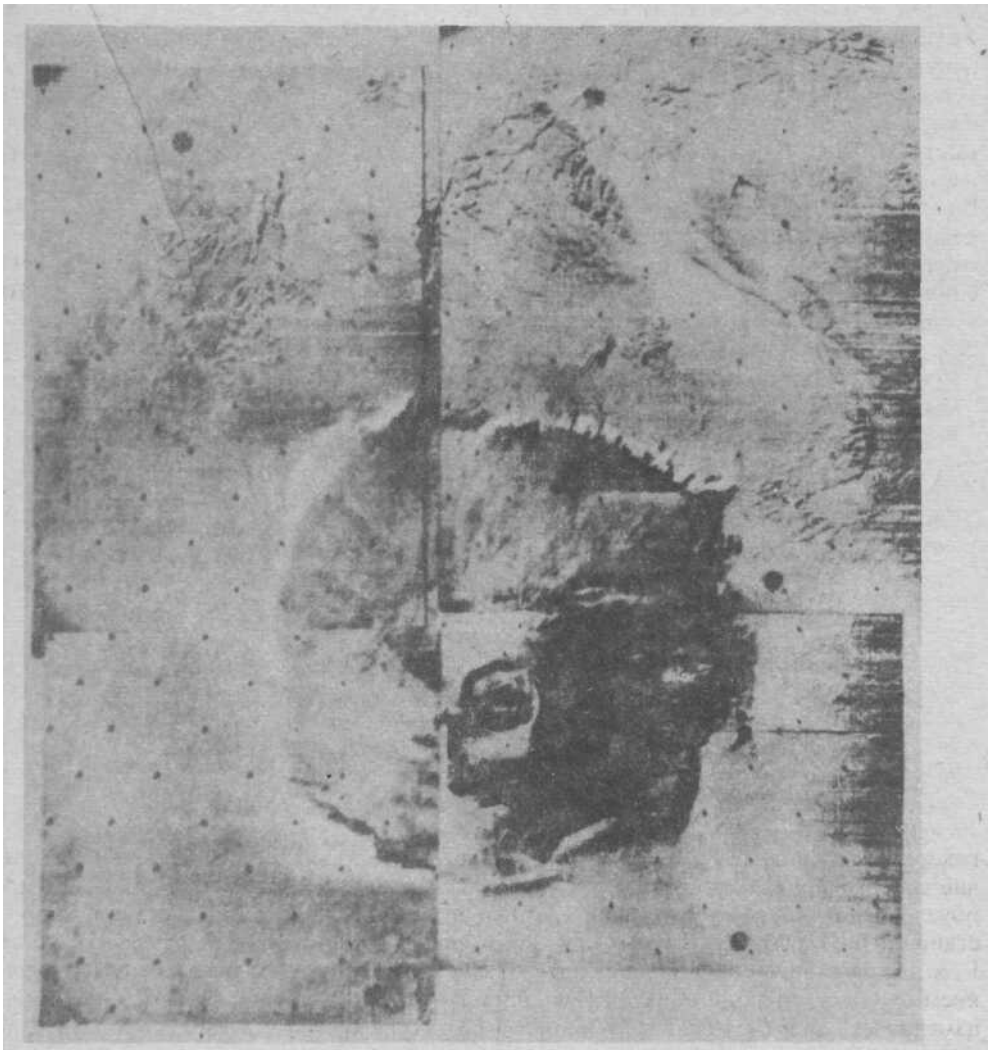

Рис. 66. Фотография гигантского кратера на Марсе

сти планет, в частности Марса, чтобы только на этом основании оспаривать справедливость той или иной гипотезы.

• Вулканическая деятельность на Марсе в активной форме пока не обнаружена, однако конические горы вулканического происхождения найдены. Одна из них так велика, что в виде яркой точки видна с Земли («Nix Olimpica» — «снега Олимпа»). Фотографии, полученные с орбиты «Маринера-9», показали, что эта скромная яркая точка представляет собой конус диаметром около 500 км и высотой 20 км, увенчанный огромным кратером. Это самый большой вулкан в Солнечной системе (рис. 66).

Имеется, однако, другой любопытный тип сезонных изменений на поверхности Марса, о котором мы еще пока не говорили. Согласно наблюдениям французского астронома Дольфюса, поляризация света, отраженного от темных марсианских морей, зависит характерным образом от времени года. Интересно, что у марсианских

пустынь этого не наблюдается. Эти изменения поляризации можно попытаться объяснить, предположив, что имеет место рассеяние солнечного света частицами диаметром около 0,1 мм, причем эти частицы периодически меняют свои размеры или поглощательную способность.

Напрашивается объяснение поляризационных изменений марсианских морей, состоящее в том, что там имеются огромные колонии быстро размножающихся организмов (например, бактерий). К сожалению, это объяснение не единственно возможное. Пожалуй, более вероятно предположение, что поверхность Марса покрыта мелкими твердыми песчинками, увеличивающимися в своих размерах при повышении влажности атмосферы. Пока неясно, как можно объяснить поляризационные измерения Дольфюса в рамках гипотезы Мак Лофлина.

В свое время много шума произвел другой метод для решения вопроса о возможности существования жизни на Марсе. В инфракрасном спектре Марса Синтон как будто обнаружил полосу поглощения в области 3,4 — 3,7 мкм. Очень интересно, что эта полоса наблюдается только в спектре темных морей и совершенно отсутствует в спектрах пустынь. Известно, что такие полосы поглощения характерны для многих органических соединений. В дальнейшем, однако, выяснилось, что наблюдения Синтона были ошибочны. Но если даже считать, что обнаруженные в спектре Марса полосы в области длин волн 3,4 — 3,7 мкм действительно принадлежат некоторым органическим молекулам, то отсюда еще нельзя сделать вывод, что на Марсе обнаружена жизнь.

Как мы видели в гл. 13, органические молекулы, пусть даже сложные,—это еще не жизнь. Вполне возможно, что на поверхности Марса имеются органические соединения. Такие соединения могли образоваться, когда на Марсе еще была первобытная атмосфера. Если предположить, что жизнь на Марсе по каким-либо причинам не смогла возникнуть, то это будет означать, что в его атмосфере никогда не было достаточного количества кислорода. Следовательно, не было процессов окисления образовавшихся органических молекул и они могли оставаться как бы в «законсервированном состоянии» до настоящего времени. Правда, такая «консервация» вряд ли была бы возможна, если бы до поверхности Марса доходили губительные ультрафиолетовые лучи Солнца. Имеются все основания полагать, что для ультрафиолетовых лучей марсианская атмосфера значительно прозрачнее земной. Попутно заметим, что при беспрепятственном падении на поверхность Марса ультрафиолетовой радиации *) становится довольно проблематичной сама возможность существования там жизни.

Таким образом, известная сентенция нашего популярного киноактера Филиппова: «Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе — это пока науке неизвестно» — оказывается не такой уж далекой от истины. Правда, вся совокупность изложенных фактов заставляет считать существование живых организмов на этой интереснейшей планете маловероятным. Важнейшее значение имеют, однако, прямые эксперименты на межпланетных автоматических станциях.

В 1976 г. на поверхность Марса были посажены две автоматические лаборатории «Викинг-1» и «Викинг-2». Главной задачей этого выдающегося космического эксперимента было дать ответ на все тот же сакраментальный вопрос: «Есть ли жизнь на Марсе»? С помощью автоматических химических лабораторий был выполнен анализ грунта с целью найти указания на присутствие там микроорганизмов. В частности, важно было узнать, идут ли там процессы фотосинтеза, обмена веществ и усвоения углекислоты — привычные для нас атрибуты жизни. Результаты этих весьма дорогостоящих и широко разрекламированных экспериментов оказались несколько неопределенными. Тем не менее, скорее всего, никаких достоверно

*) В марсианской атмосфере практически отсутствует кислород, а следовательно и озон, который экранирует ультрафиолетовое излучение в области 2000-3000 А.

установленных признаков жизни в грунте Марса обнаружено не было. Особенно обескураживающими были результаты хроматографического анализа. Этот анализ не обнаружил никаких следов органических соединений — продуктов жизнедеятельности гипотетических микроорганизмов марсианского грунта. Заметим, что такой же прибор при пробах антарктического грунта нашел там значительное количество, ископаемых органических соединений. Даже эти обескураживающие результаты не смогли убедить энтузиастов жизни на Марсе. Они уже договариваются до того, что мол, если в местах посадки «Викингов» никаких следов жизни не обнаружено, то где гарантия, что в других областях Марса ее нет? Против такого «аргумента», однако, можно привести довод чисто экономического характера. Каждый из «Викингов» обошелся в сотни миллионов долларов (стоимость современного радиотелескопа с диаметром зеркала 100 м и со всем дополнительным оборудованием ~ 15 миллионов долларов). Не слишком ли дорогое удовольствие посылать десятки и сотни таких экспедиций?

17. Возможность жизни на других телах Солнечной системы

Нам остается обсудить вопрос о возможности жизни на Венере, а также на некоторых других планетах Солнечной системы. Долгое время Венера рассматривалась астрономами, а больше — литераторами как идеальная обитель жизни.

Казалось бы, все необходимые условия для развития жизни на этой планете имеются. Ее размеры, масса, сила тяжести почти такие же, как и на Земле. Она покрыта пеленой облаков (из-за которых никогда не видна ее поверхность) и окружена мощной (по выражению М. В. Ломоносова, «знатной») атмосферой. Венера купается в лучах Солнца. Ведь поток солнечного излучения через единицу ее поверхности почти в два раза больше, чем на Земле.

Увы, чем больше мы изучаем нашу космическую соседку, тем менее вероятны предположения о наличии там каких бы то ни было форм жизни. Как это ни покажется парадоксальным, исключительно суровые природные условия на поверхности Марса значительно более благоприятствуют развитию там жизни, чем на заведомо теплой (к сожалению, слишком теплой) Венере.

Прежде всего, в последние годы было показано, что Венера вращается вокруг своей оси значительно медленнее Земли и Марса. Проблемой определения периода вращения Венеры астрономы занимаются уже много десятилетий.

Вращение планеты должно вследствие эффекта Доплера приводить к смещению фраунгоферовых линий в спектре отраженного солнечного света. Его величина соответствует периоду вращения около 4 суток. Другой способ сводится к определению скорости перемещения слабых деталей, видимых на ультрафиолетовых фотографиях планеты. Он также дает период около 4 суток. Однако все эти наблюдения относятся к довольно высоким областям атмосферы, около 70 км над поверхностью, и на самом деле дают не скорость вращения твердого тела планеты, а просто среднюю скорость ветра, перемещающего венерианские облака по линиям, приблизительно параллельным экватору. Картина этих движений была довольно детально изучена в результате фотографирования Венеры с близкого расстояния, проведенного на американском космическом аппарате «Маринер-10».

Истинную скорость вращения планеты позволяет определить только радиолокационный метод. Общеизвестно, что таким методом по времени запаздывания отраженного от планеты радиоимпульса можно с большой точностью определить расстояние до нее.

Изучая, однако, характер отраженного сигнала, можно получить еще дополнительную информацию о свойствах планеты. Если посылаемый на Венеру радиоимпульс сосредоточен в очень узком интервале частот (или, как говорят в радиотехнике, является «узкополосным»), то у отраженного сигнала интервал частот, вообще говоря, увеличивается. В самом деле, благодаря вращению планеты примерно половина излучения будет отражаться от той ее стороны, которая в данный момент движется от наблюдателя, а половина — от той стороны, которая движется к наблюдателю. Из-за явления Доплера это приведет к соответствующему уменьшению и увеличению частот отраженного сигнала. Так как мы можем анализировать только полный импульс, отраженный от всей поверхности планеты (а не, скажем, от ее правой части), то, очевидно, интервал частот, в котором сосредоточено отраженное излучение, будет больше, чем у посылаемого радиоимпульса. Он будет тем больше, чем больше скорость вращения планеты.

Именно такие эксперименты были поставлены, начиная с 1961 г., в СССР и США, но первая попытка не привела к однозначным результатам. Было установлено, однако, что период вращения Венеры не менее 10 дней и есть большая ве-

роятность, что этот нижний предел следует поднять до 190 дней. Так как период обращения этой планеты вокруг Солнца равен 225 дням, то можно было ожидать, что.периоды вращения вокруг ее оси и обращения вокруг Солнца одинаковы. Именно это наблюдается, например, у Луны. Однако действительность оказалась более «богатой». Тщательные американские и советские радиолокационные наблюдения привели к удивительному результату: направление вращения Венеры обратное (по сравнению с направлением вращения других планет, в частности Земли), а период вращения — 243 дня, причем ось вращения перпендикулярна к плоскости ее орбиты. По этой причине воображаемый наблюдатель, находящийся в каком-нибудь пункте поверхности Венеры, видел бы восход и заход Солнца всего лишь два раза в году (разумеется, венерианском). Ясно, что это не благоприятствует развитию жизни на планете, хотя, конечно, не исключает полностью такую возможность. Любопытно, что во время нижнего соединения (т. е. когда расстояние между Венерой и Землей минимально) Венера повернута к Земле всегда одной и той же стороной.

Любопытно также, что, как сравнительно недавно выяснилось, такой же особенностью обладает и Меркурий. Радиолокационным методом был определен период вращения этой планеты, оказавшийся в точности равным $^2/_3$ периода его обращения вокруг Солнца.

По-видимому, факт медленного вращения обеих планет имеет глубокое космогоническое значение, т. е. его причина связана с условиями образования и последующей эволюции планет земной группы. Среди прочих гипотез, пытающихся объяснить это необычное явление, обращает на себя внимание одна, высказанная разными авторами. Эта гипотеза частично подкреплена математическими расчетами и, на наш взгляд, заслуживает самого серьезного внимания. Прежде всего требует объяснения чрезвычайно малый период осевого вращения Венеры. Если медленное вращение Меркурия еще можно объяснить действием солнечных приливов, то такое же объяснение для Венеры сталкивается со значительными трудностями. И тут выдвигается гипотеза, что Венеру затормозил... Меркурий, некогда бывший ее спутником!

Наша Земля обладает относительно очень крупным спутником - Луной. По существу, в этом случае можно даже говорить о двойной планете. За миллиарды лет система «Земля — Луна» под влиянием приливов претерпела значительную эволюцию. Было, например, время, когда обе планеты были весьма близки и период вращения Земли исчислялся немногими часами *). Можно полагать, что еще более значительную эволюцию претерпела двойная система «Венера — Меркурий». Так же, как и в случае системы «Земля — Луна» вначале нынешние две внутренние планеты образовали очень тесную пару с быстрым осевым вращением. Изтза приливов расстояние между планетами увеличивалось, а осевое вращение замедлялось. Когда большая полуось орбиты достигла ~500 тыс. км, эта пара «разорвалась», т. е. планеты перестали быть гравитационно связанными. Заметим, что разрыв пары «Земля — Луна» не произошел по причине сравнительно малой массы Луны и большего расстояния до Солнца. Как след этих давно минувших событий, остался значительный эксцентриситет орбиты Меркурия и общность ориентации Венеры и Меркурия в нижнем соединении. Эта гипотеза также объясняет отсутствие спутников у Венеры и Меркурия и сложный рельеф поверхности Венеры, который можно объяснить деформацией ее коры мощными приливными силами от довольно массивного Меркурия.

Недавно с помощью наземных оптических наблюдений было обнаружено, что самая удаленная от Солнца планета Плутон является двойной. Его спутник в пять

*) Любопытно, что анализ срезов кораллов приводит к выводу, что в Девонском периоде в году было ~450 суток.

раз меньше Плутона в поперечнике и удален от него на 35000 км, причем период обращения равен семи часам. Не является ли двойственность общим свойством небольших планет, обусловленным условиями их образования? Как же тогда быть с Марсом? И не был ли его спутником гипотетический Фаэтон, якобы оставивший после себя пояс астероидов? Впрочем, мы увлеклись и нам пора вернуться к планете Венере.

Большое значение для проблемы обитаемости Венеры имеет вопрос о температуре ее поверхности. До последнего времени астрономическими методами можно было определить температуру только вершины облачного слоя, сплошной пеленой окутывающего поверхность планеты. Эта температура оказалась довольно низкой: около -40 °С. Однако очевидно, что никаких выводов о температуре поверхности Венеры отсюда нельзя сделать. Даже высота облачного слоя над поверхностью планеты была неизвестна.

Крупнейшим достижением радиоастрономии было измерение температуры поверхности Венеры. Такое измерение оказалось возможным потому, что для радиоволн облака этой планеты почти прозрачны. Поверхность планеты, как всякое нагретое тело, излучает электромагнитные волны, в частности радиоволны. Из физики известно, что мощность теплового излучения нагретого тела совершенно определенным образом зависит от его температуры. Поэтому, измерив поток радиоизлучения от планеты, можно в принципе путем простых вычислений найти температуру ее излучающей поверхности. Правда, на практике задача оказывается значительно более сложной. Ведь существуют и другие физические процессы, которые могут привести к довольно мощному радиоизлучению, например грозовые разряды в атмосфере планеты. Но, производя наблюдения на разных волнах радиодиапазона, можно доказать, что радиоизлучение действительно является тепловым. Это будет верно в том случае, если на всех волнах эквивалентная температура (определяемая по потоку радиоизлучения на соответствующей волне) окажется одинаковой.

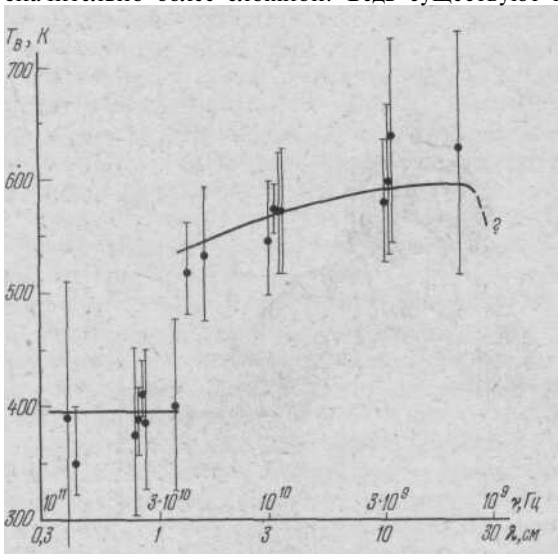

Рис. 67. Радиоспектр Венеры. Вертикальные черточки — погрешности наблюдений

На рис. 67 приведены результаты измерений эквивалентной радиотемпературы Венеры на разных волнах. Вертикальные черточки, как обычно, указывают на вероятные погрешности измерений. Кроме того, измерялась зависимость эквивалентной температуры от фазы планеты. Выводы из радиоастрономических наблюдений Венеры можно сформулировать следующим образом: 1) в очень широком диапазоне длин волн от 1,3 до 20 см эквивалентная радиотемпература Венеры находится в пределах 550 — 600 К; 2) на миллиметровых волнах эквивалентная температура значительно ниже и близка к 400 К. Переход от одной температуры к другой происходит где-то около длины волны 1,3 см.

Наиболее вероятное объяснение радиоастрономических данных состоит в следующем. На волнах более 1,3 см атмосфера Венеры прозрачна. Поэтому измеренная радиотемпература есть температура поверхности планеты, которая, как оказывается, необыкновенно высока. Уменьшение эквивалентной температуры Венеры

на волнах миллиметрового диапазона объясняется поглощением углекислого газа CO_2.

Изучение зависимости эквивалентной температуры Венеры от фазы планеты позволило сделать вывод, что разница ночных и дневных температур сравнительно невелика.

Эти результаты оказались для астрономов довольно неожиданными. Однако ничего сверхъестественного в столь высокой температуре Венеры нет. Представим себе, что в атмосфере Венеры содержится газ, сравнительно прозрачный для видимого излучения Солнца и почти непрозрачный для инфракрасного теплового излучения планеты. В этом случае отвод тепла от поверхности планеты будет сильно затрудняться, и даже та относительно небольшая доля солнечных лучей, которая проникает сквозь облачный слой, сможет нагреть поверхность до высокой температуры. Это явление часто называют «парниковым эффектом», хотя этот термин не совсем точно отражает суть дела.

Парниковый эффект создается в результате поглощения в полосах углекислого газа и некоторых других молекул, таких как H_2O, которые в атмосфере Венеры

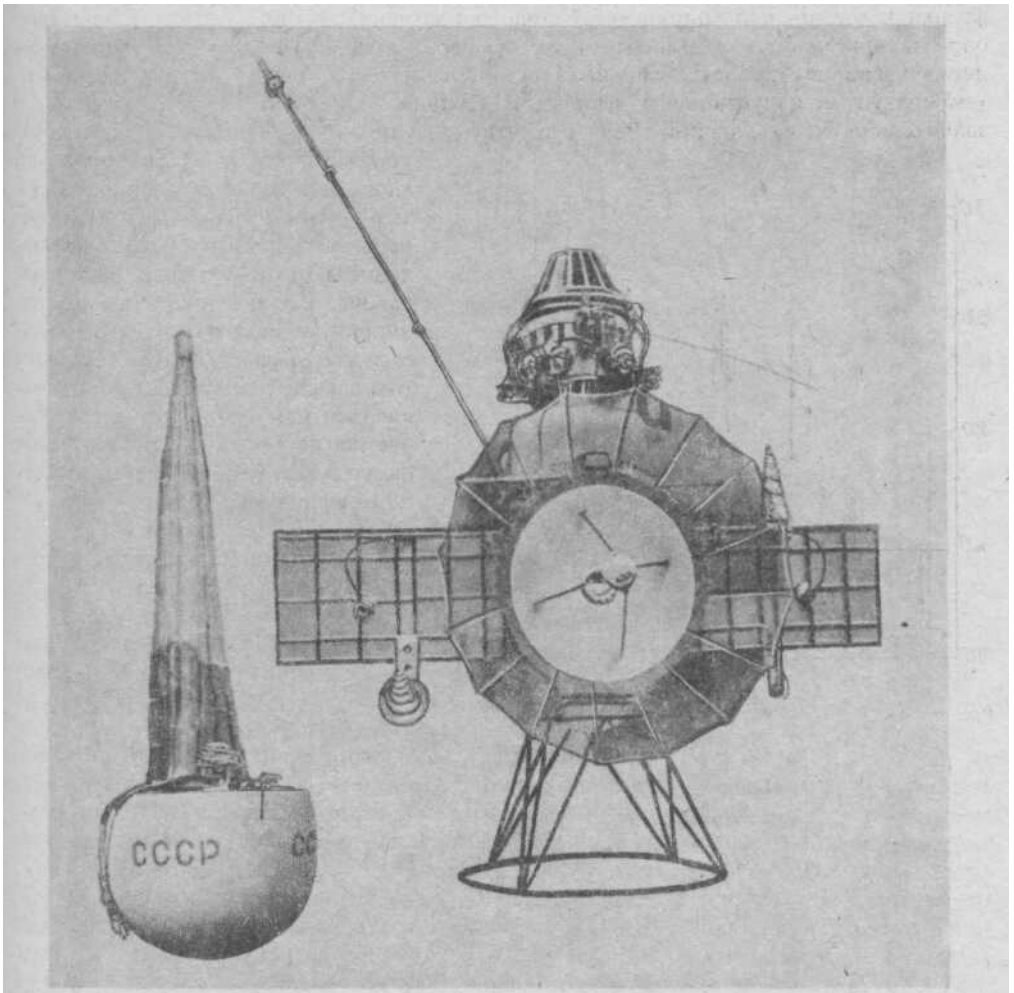

Рис. 68. Автоматическая межпланетная станция «Венера-4». Слева – спускаемый аппарат

присутствуют в сравнительно небольшом количестве, но сильно поглощают инфракрасное излучение.

Выдающиеся результаты были получены на советских автоматических станциях «Венера-4» (рис. 68), «Венера-5» и «Венера-6». Историческое значение имеет мягкая посадка спускаемого аппарата на поверхность Венеры, выполненная во время полета автоматических станций «Венера-7» и «Венера-8». Учитывая очень трудные условия, при которых был осуществлен этот блестящий эксперимент (огромная величина атмосферного давления на Венере, высокая температура), его следует отнести к числу крупнейших достижений современной космонавтики. В процессе мягкой посадки производились прямые измерения основных характеристик венерианской атмосферы — температуры и давления, которые по телеметрическому каналу передавались на Землю. Таким образом удалось получить «разрез» атмосферы этой планеты, что имеет выдающееся научное значение. Американцы также продолжали исследования Венеры с помощью автоматических станций.

В результате мы сейчас достаточно хорошо знаем физические условия в атмосфере и на поверхности этой планеты, бывшей до сравнительно недавнего времени едва ли не самым загадочным членом Солнечной системы. Кратко изложим теперь основные результаты этих исследований.

Атмосфера Венеры на 97 % состоит из молекул углекислого газа CO_2.Обнаружено некоторое количество водяных паров (около 0,05 % по атмосфере в среднем).

Кроме того, как это следует из последних наземных наблюдений, в атмосфере Венеры обнаружены сравнительно незначительные примеси газов CO (0,01 %), HC1 ($6 \cdot 10^{-5}$%), NF ($5 \cdot 10^{-7}$%). Очень важным является результат, полученный на советских автоматических станциях: количество молекулярного азота плюс благородные газы не превышает 5 %. Таким образом, эти компоненты атмосферы, столь существенные на Земле, в атмосфере Венеры играют заведомо второстепенную роль.

Давление у поверхности планеты достигает гигантского значения около 100 атмосфер! Измерения на станции «Венера-7» показали, что температура атмосферы у поверхности Венеры около 480 °С. Интересно, что высота тропопаузы и верхней границы облачного слоя Венеры составляет около 70 км. Фотометр, установленный на «Венере-8», показал, что облачный слой хорошо пропускает рассеянное солнечное излучение — освещенность на поверхности всего лишь в несколько десятков раз меньше, чем над облаками.

По-прежнему большой интерес представляет вопрос о составе частиц облачного слоя Венеры. Следует заметить, что, несмотря на все успехи в исследованиях этой планеты, нам пока еще не известно, из чего состоят ее облака. Соблазнительная возможность считать, что частицами, образующими облака Венеры, являются льдинки (так же, как в случае земных облаков), не проходит. Этому противоречат спектральные и поляризационные наблюдения. Было отмечено, что этим наблюдениям удовлетворяет предположение, по которому венерианские облака состоят из сферических частиц, образуемых водным раствором серной кислоты.

1975 год ознаменовался новым выдающимся достижением советской космонавтики. Автоматические межпланетные станции «Венера-9» и «Венера-10» были выведены на орбиту вокруг Венеры и стали искусственными спутниками этой планеты. Спускаемые аппараты этих станций совершили мягкую посадку на поверхность Венеры. Пожалуй, самым впечатляющим результатом этих экспериментов является получение панорамных фотографий поверхности Венеры, отличающихся удивительной отчетливостью. Впоследствии были запущены к Венере и другие советские космические аппараты.

<> В марте 1986 г. завершился проект «Вега» («Венера — Галлей») - самый сложный и результативный в истории советских исследований Солнечной системы

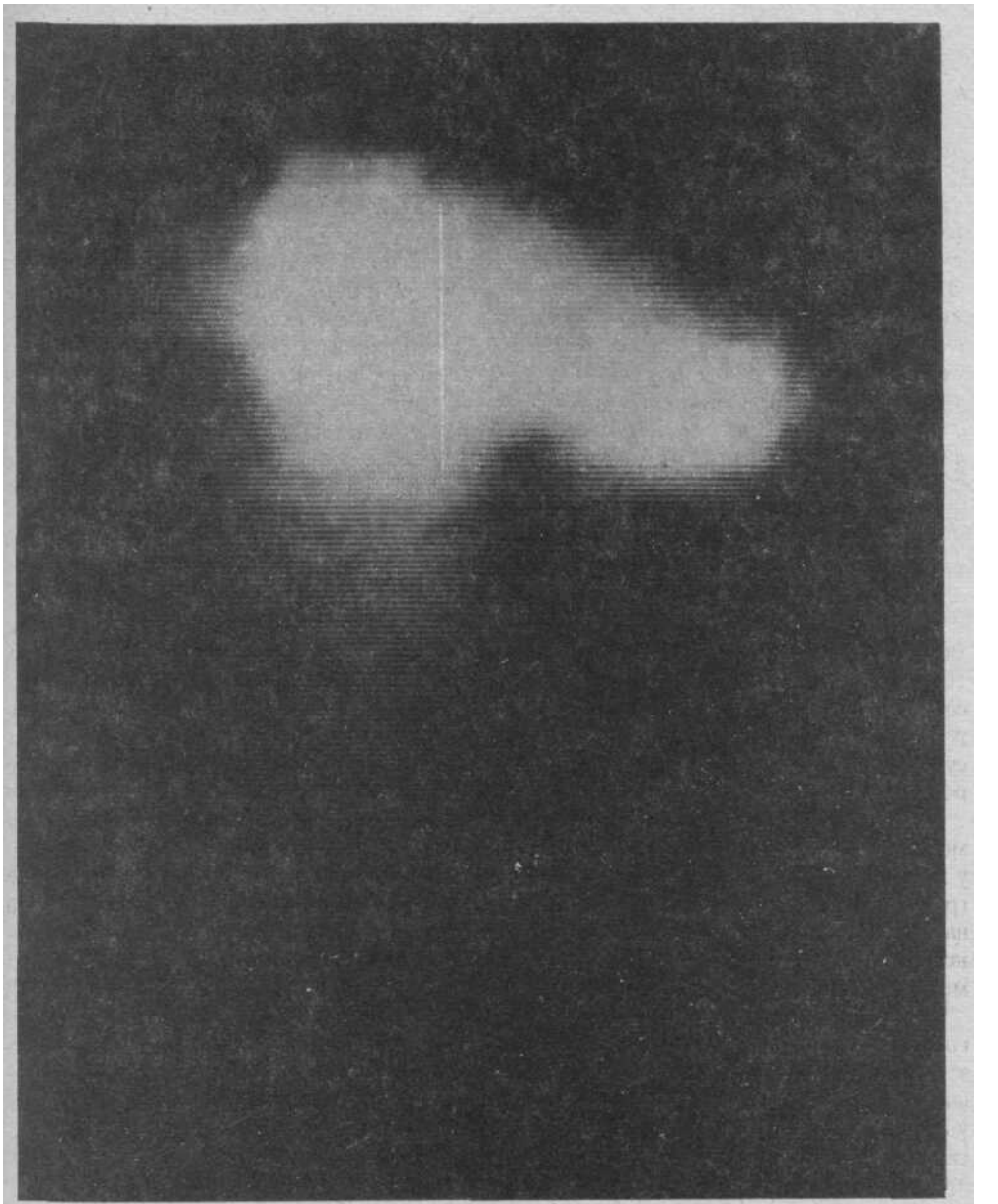

Рис. 69. Изображение ядра кометы Галлея, полученное станцией «Вега-2» с расстояния около 8000 км. Угол фазы (Солнце – объект – аппарат) около 30°. Размер кадра примерно 30 × 30 км. Скорость пролета относительно ядра была 78 км/с. Мощные пылевые выбросы несколько маскируют поверхность ядра, но детальная фотометрическая обработка позволила определить его форму, размеры, альбедо

при помощи космических аппаратов. Он состоял из трех частей: изучение атмосферы и поверхности Венеры при помощи посадочных аппаратов; изучение динамики атмосферы Венеры посредством аэростатных зондов (аэростаты были впервые в мире запущены в атмосферу другой планеты); пролет через газопылёвую атмосферу (кому) кометы Галлея и детальное изучение ее ядра. Научный руководитель

проекта «Вега» — академик Р. З. Сагдеев. Станция «Вега-1» совершила пролет через кому 6 марта 1986 г., а станция «Вега-2» — 9 марта.

Научные организации многих стран (СССР, Австралии, НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, Франции, ФРГ) участвовали в разработке научных приборов для «Веги», а также систем обеспечения научных экспериментов на борту и на Земле. Впервые в наших космических проектах возможности международной кооперации были использованы столь широко.

По каждому из трех направлений, о которых говорилось выше, были получены интереснейшие результаты. Самое любопытное среди них — это физические характеристики ядра кометы Галлея. Ядра комет — их центральные тела — наблюдались до сих пор с Земли только как звездообразные объекты на большом расстоянии от Солнца (~ 10 а. е.), когда активность кометы отсутствовала, да и таких наблюдений было очень мало. Во время пролета аппаратов «Вега-1» и «Вега-2» впервые ядро кометы исследовалось как пространственно-разрешенный объект; были определены его структура, размеры, инфракрасная температура. С помощью этих аппаратов были произведены оценки состава ядра и характеристики поверхностного слоя. Ядро кометы Галлея — это монолитное тело неправильной формы: его большая ось равна 14 км, а малая — около 7 км (рис. 69). Ядро покидает около 10^{30} молекул воды в секунду. Это означает, что испарение идет по всей поверхности, следовательно, состоит оно изо льда. Вместе с тем поверхность черная (альбедо около 5 %) и горячая (яркостная температура более 375 К). Эта, казалось бы, противоречивая картина укладывается в простую модель — так называемую модель «мартовского сугроба»: лед отделен от внешнего пространства слоем черного пористого вещества с низкой теплопроводностью. Этот слой принимает солнечное излучение, часть его переизлучает в инфракрасном диапазоне, часть передает еще и ледяному конгломерату. Молекулы H_2O, образующиеся в результате испарения последнего, диффундируют вверх и покидают комету. При этом они отрывают отдельные частицы от поверхностного слоя, и к потоку газа добавляется поток пыли. Поверхностный слой в отдельных местах поверхности время от времени взламывается (если слой становится слишком толстым и поры закупориваются); тогда образуется активная область с мощным истечением вещества. Толщина пористого слоя невелика (~1 см), он очень быстро обновляется — верхний слой «сдирается», а снизу налипают новые частицы. Характерное время полного обновления слоя — около суток.

Исследование кометы Галлея, проведенное на аппаратах «Вега», позволило сделать выбор среди нескольких обсуждавшихся ранее моделей кометного ядра - монолит, группа нескольких крупных тел, рой частиц — в пользу первой из них и существенно ее уточнить. Грубая схема приобрела черты живого природного явления. Оказалось, например, что в состав кометного ядра входят органические соединения. В принципе это не так уж удивительно, если вспомнить, что радиоастрономы нашли множество органических молекул в межзвездной среде <>.

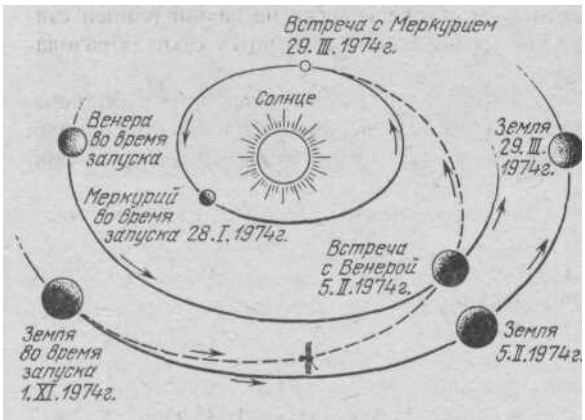

Рис. 70. Схема полета к Венере и Меркурию АМС «Маринер-10»

Большой вклад в изучение ближайших к Солнцу планет - Венеры и Меркурия — был сделан запущенной в 1973 г. американской автоматической станцией

«Маринер-10». Очень интересна орбита этого объекта. Аппарат был выведен на орбиту полета к Венере и пролетел от нее на расстоянии около 6000 км. При этом притяжение Венеры снизило орбитальную скорость «Маринера-10», в результате чего он попал на орбиту Меркурия (рис. 70). С тех пор он три раза проходил вблизи Меркурия, причем зимой 1974—1975 гг. на рекордно малом расстоянии около 200 км. Впервые были получены и переданы на Землю сотни изображений поверхности планеты исключительно высокого качества (см. рис. 70).

Первое впечатление от этих фотографий такое, будто на них изображена Луна. Поверхность Меркурия испещрена кратерами. Изучение кратеров Луны, Марса и Меркурия позволяет сделать вывод, что все они образовались примерно в одну эпоху, удаленную от нас на 4,5 миллиарда лет. Отсюда вытекают важные для планетной космогонии следствия. Например, можно сделать вывод, что на Меркурии никогда не было достаточно плотной атмосферы, способной сгладить рельеф его поверхности. Не было и мощных тектонических процессов, действующих в том же направлении. Поражают перепады температуры Меркурия: на ночной стороне она составляет —175 °С, на дневной +275 °С. Впрочем, этот факт астрономам был известен уже давно по наблюдениям с поверхности Земли.

Весьма интересные фотографии облачного слоя Венеры в ультрафиолетовых лучах были получены «Маринером-10» во время его сближения с Венерой. Кроме подтверждения периода движения этих облаков в 4 суток (см. выше), был обнаружен совершенно новый феномен, получивший название «Око Венеры». Эта деталь всегда находится вокруг точки поверхности планеты, лежащей на прямой, соединяющей ее центр и Солнце. На фотографии это «око» видно как темное пятно. «Око» состоит из мощных потоков атмосферы, которые создают огромную зону высокого давления. Можно полагать, что энергия потоков атмосферы (берущаяся, в конечном итоге, из солнечной энергии) через «око» распределяется путем циркуляции по всей планете. Если это так, то причиной высокой температуры поверхности планеты может быть не «парниковый эффект», а «венерианская метеорология», неизмеримо более мощная, чем земная. Интересно, что в самых глубоких слоях атмосферы Венеры скорость движения воздушных масс очень мала. Именно по этой причине гористый рельеф Венеры (установленный методами радиолокации) до сих пор не «сглажен». Таким образом, причина высокой температуры поверхности Венеры пока еще не совсем ясна.

Похоже, что описанные только что природные условия на поверхности нашей космической соседки исключают возможность существования там каких бы то ни было форм жизни. Например, никакие белковые соединения при таких условиях существовать не могут. Наконец, отсутствие гидросферы даже на самой ранней стадии формирования планеты должно было чрезвычайно затруднить само образование первых примитивных живых существ.

Как это ни может показаться парадоксальным, в настоящее время большие планеты и особенно их спутники можно считать значительно более подходящими для жизни, чем Венера. В частности, такого мнения придерживается американский планетолог Саган.

Простые органические соединения могли синтезироваться в атмосферах больших планет, во многих отношениях напоминающих первичную атмосферу Земли. В качестве внешнего «стимулятора» для такого синтеза можно предположить либо электрические разряды, либо ультрафиолетовое излучение Солнца. Радиоастрономические наблюдения дают некоторые указания на наличие мощных электрических разрядов в атмосфере Юпитера.

Довольно часто на сравнительно длинных волнах (15 — 20 м) гигантская планета дает мощные «вспышки» радиоизлучения длительностью в несколько секунд. Возможно (хотя это и не доказано), что такое излучение связано с грозовыми разрядами огромной мощности. Атмосфера Юпитера охвачена бурными конвективны-

ми движениями. Образующиеся органические молекулы могут опускаться поэтому на довольно значительную глубину. Возможно, что температурные условия там более подходящие для синтеза сложных органических соединений, чем на более высоких уровнях атмосферы, в частности над плотным облачным слоем, образующим видимую поверхность Юпитера. Очевидно, что на некоторой глубине температура атмосферы должна лежать в пределах 0 ÷ +50°С, т. е. быть примерно такой же, как на Земле.

До недавнего времени Марс и его система спутников являлись самыми удалепными от Солнца объектами, которые исследовались «прямыми» методами при помощи космической техники. Но вот в начале марта 1972 г. с американского космодрома имени Кеннеди была запущена автоматическая межпланетная станция «Пионер-10». Пролетев за 21 месяц свыше миллиарда километров, эта станция 4 декабря 1973 г. прошла на минимальном расстоянии 130000 км от Поверхности Юпитера (вернее, от густого слоя облаков, закрывающих поверхность этой гигантской планеты). При осуществлении этого полета пришлось преодолевать значительные трудности. Например, из-за того, что Юпитер удален от Солнца в 5,2 раза больше яем Земля, поток солнечного излучения там в 27 раз меньше. Это заставило организаторов полета отказаться от.солнечных батарей — основного источника энергии на борту «марсианских» и «венерианских» автоматических межпланетных станций. Вместо этих батарей на борту «Пионера-10» были установлены два радиоизотопных термоэлектрических генератора мощностью 140 Вт, которые непрерывно и безотказно работали.

Одним из важнейших результатов полета «Пионера-10» было преодоление разного рода опасностей, связанных с некоторыми неприятными областями околосолнечного космоса. Прежде всего определенное беспокойство вызывало прохождение этого аппарата-через пояс астероидов, где частота метеорных ударов могла быть угрожающе высока. Но все обошлось благополучно, и космонавты будущего это, конечно, учтут. Учёные также выражали сомнения, смогут ли приборы «Пионера-10» выдержать ожидаемую огромную интенсивность радиационных поясов гигантской планеты. Эти опасения были не напрасны. Уже на расстоянии 700000 км от планеты установленные на борту «Пионера-10» приборы стали указывать на весьма быстрый рост уровня радиации, который удваивался через каждые десять часов. Уровень жесткой радиации почти достиг предельно допустимого значения, но все же приборы не вышли из строя.

Существование мощных радиационных поясов Юпитера установлено было свыше 15 лет назад из анализа радиоастрономических наблюдений этой гигантской планеты. Полет «Пионера-10» позволил существенно уточнить характеристики этих поясов, несравненно более мощных, чем околоземные. Приборы, установленные на этом аппарате, позволили измерить магнитное поле Юпитера, среднее значение которого 4 Э. Очень интересна структура этого поля. На самом деле там имеются два магнитных поля: одно типа земного («дипольное»), но только несимметричное по отношению к телу планеты, и второе, связанное с его мощными радиационными поясами. Взаимодействие быстро вращающейся магнитосферы Юпитера с солнечным ветром приводит к ускорению заряженных частиц до весьма высоких энергий. Эти частицы могут попадать даже во внутренние области Солнечной системы.

Хотя специальных телевизионных камер на борту «Пионера-10» не было, с помощью особого сканирующего радиолокационного устройства по телеметрическому каналу была передана информация, позволившая с исключительной четкостью получать цветные изображения облачного слоя, покрывающего Юпитер. Качество этих изображений несравненно лучше полученных на лучших земных телескопах. С большой детальностью было получено изображение знаменитого «красного пятна», было открыто несколько меньших «красных пятен», а также масса других деталей, которые весьма быстро меняются со временем. Вообще, весь

облачный слой Юпитера охвачен бурными движениями, связанными с переносом большого количества энергии.

Установленный на «Пионере-10» ультрафиолетовый спектрометр позволил по измеренным спектральным линиям определить химический состав атмосферы гигантской планеты. Оказалось, что на 82 процента (по числу атомов) она состоит из водорода, на 17 процентов из гелия и только 1 % дают все остальные элементы вместе взятые, которые входят в состав разных химических соединений. Химический состав атмосферы Юпитера до удивления похож на солнечный и резко отличается от земного. Сходство со звездой — Солнцем — еще более усиливается по Следующей причине. Несколько лет назад было установлено, что в далекой инфракрасной области спектра Юпитер излучает в 2,5 раза больше энергии, чем получает от Солнца во всем спектре, в том числе и в видимой его части. Следовательно, в отличие от остальных планет, Юпитер есть «самосветящееся» космическое тело. Источником энергии излучения Юпитера скорее всего является его непрерывное сжатие. Подсчеты показывают, что для этого достаточно сжиматься на 1 миллиметр в год. Таким образом, строго говоря, Юпитер является не планетой, а маленькой протозвездой (см. гл. 4).

Подобно Земле, Марсу и Венере Юпитер окружен водородной «короной», простирающейся вплоть до орбиты его ближайшего большого («галилеевского») спутника Ио. Этот спутник, так же как и другой, называемый Ганимедом, имеет атмос-

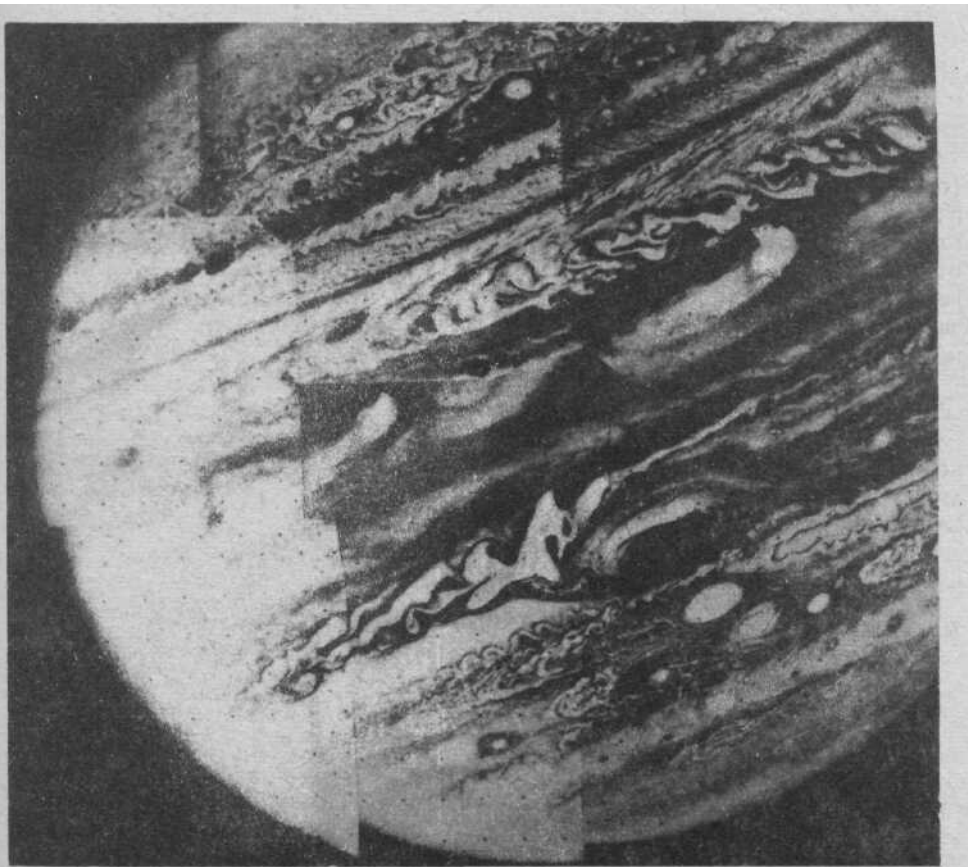

Рис. 71. Фотография Юпитера, полученная АМС «Вояджер-2»

Рис. 72. Кольцо Юпитера (фотография получена АМС «Вояджер-2»)

феру, плотность которой в миллион раз меньше земной. Спутник Ио замечателен еще тем, что сильно влияет на мощность всплесков длинноволнового радиоизлучения Юпитера (см. выше). Он как бы выполняет функции «космического громоотвода». Наблюдения с борта «Пионера-10» позволили уточнить массу Ио, которая составляет 1,22 массы Луны.

Через год после «Пионера-10» был запущен «Пионер-11» с той же научной программой, которая была успешно выполнена после сближения его с Юпитером в декабре 1974 г. В отличие от «Пионера-10», который силой юпитерова притяжения будет выброшен за пределы Солнечной системы и в 1987 г. пересечет орбиту Плутона (см. гл. 19), «Пионер-11» осенью 1979 г. прошел через систему Сатурна, между поверхностью этой планеты и ее знаменитым кольцом. Об этом будет сказано немного дальше.

Выдающиеся результаты были получены в 1979 г. на двух межпланетных автоматических станциях «Вояджер». Поражают воображение великолепные фотографий Юпитера, в том числе его знаменитого Красного пятна (рис. 71). Сенсационным было открытие кольца вокруг Юпитера (рис. 72), состоящего, как и кольцо Сатурна, из огромного количества мелких твердых частиц. В этой связи

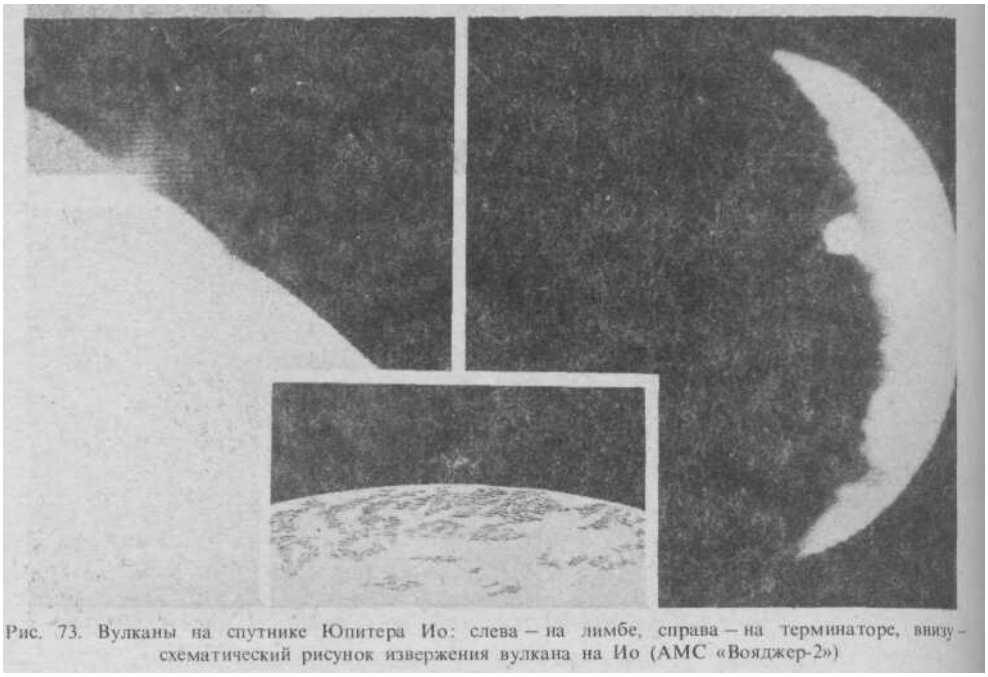

Рис. 73. Вулканы на спутнике Юпитера Ио: слева – на лимбе, справа – на терминаторе, внизу – схематический рисунок извержения вулкана на Ио (АМС «Вояджер-2»)

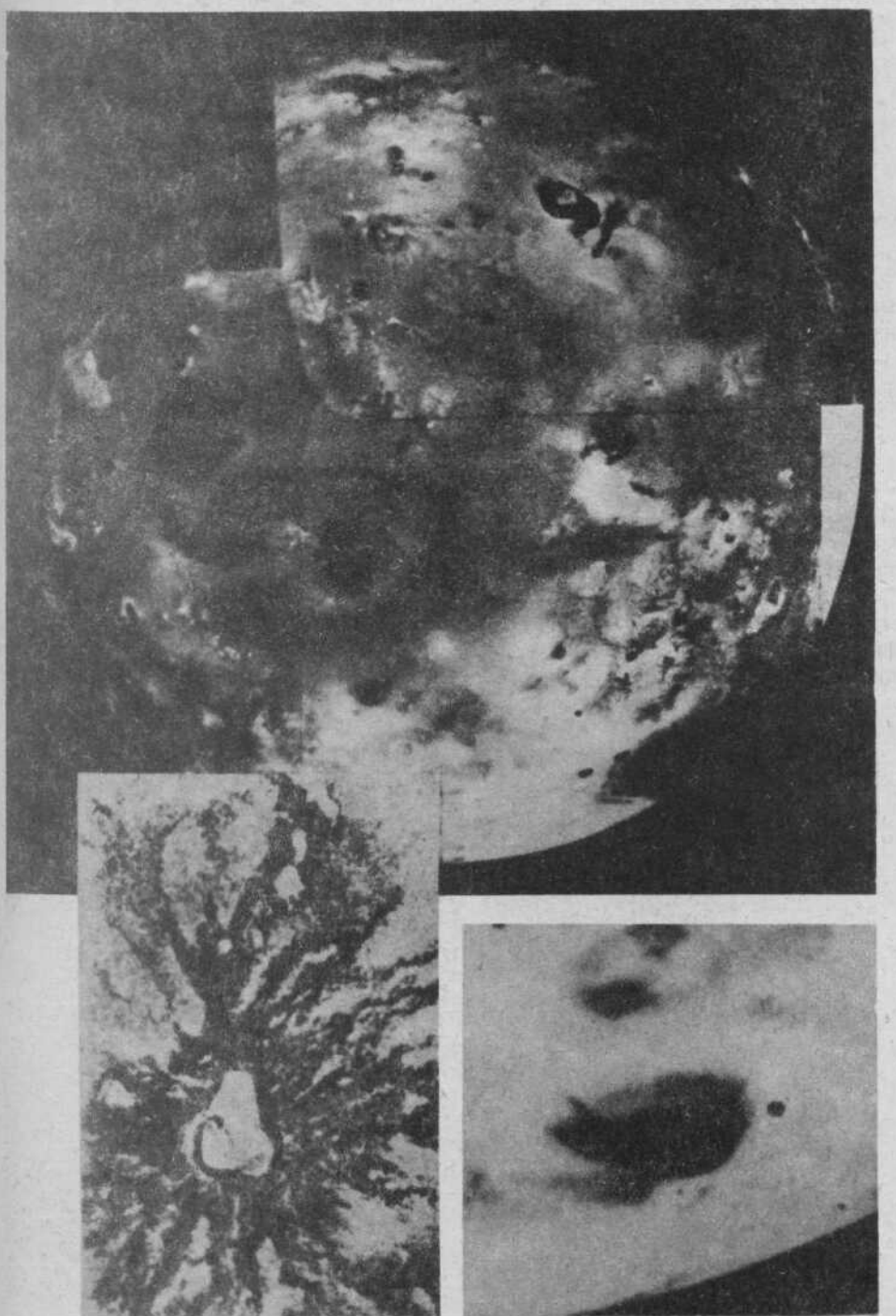

Рис. 74. Фотография спутника Юпитера Ио и деталей его поверхности (АМС «Вояджер-2»)

заметим, что существование кольца вокруг Юпитера несколько лет назад было предсказано советским астрономом С. К. Всехсвятским. К этому выводу он пришел, анализируя старые фотографии Юпитера, на которых одна экваториальная полоса (меняющаяся со временем) была истолкована им как тень от кольца. Никто, однако, к этой работе серьезно не отнесся...

Но, пожалуй, самым выдающимся результатом, полученным на «Вояджерах», является обнаружение действующих вулканов на Ио — самом внутреннем из галактических спутников Юпитера (рис. 73 и 74). Этот спутник обращается вокруг гигантской планеты в ее мощной магнитосфере, что и определяет целый ряд его особенностей. На «Вояджере-2» были получены великолепные фотографии и других галилеевых спутников (рис. 75, 76 и 77).

В начале сентября 1979 г. после 6 1/2 лет полета через систему Сатурна прошла знаменитая автоматическая межпланетная станция «Пионер-11», о которой речь шла выше. На этой станции были получены уникальные фотографии колец Сатурна, в частности, была открыта новая система колец. Выяснилось, наконец,

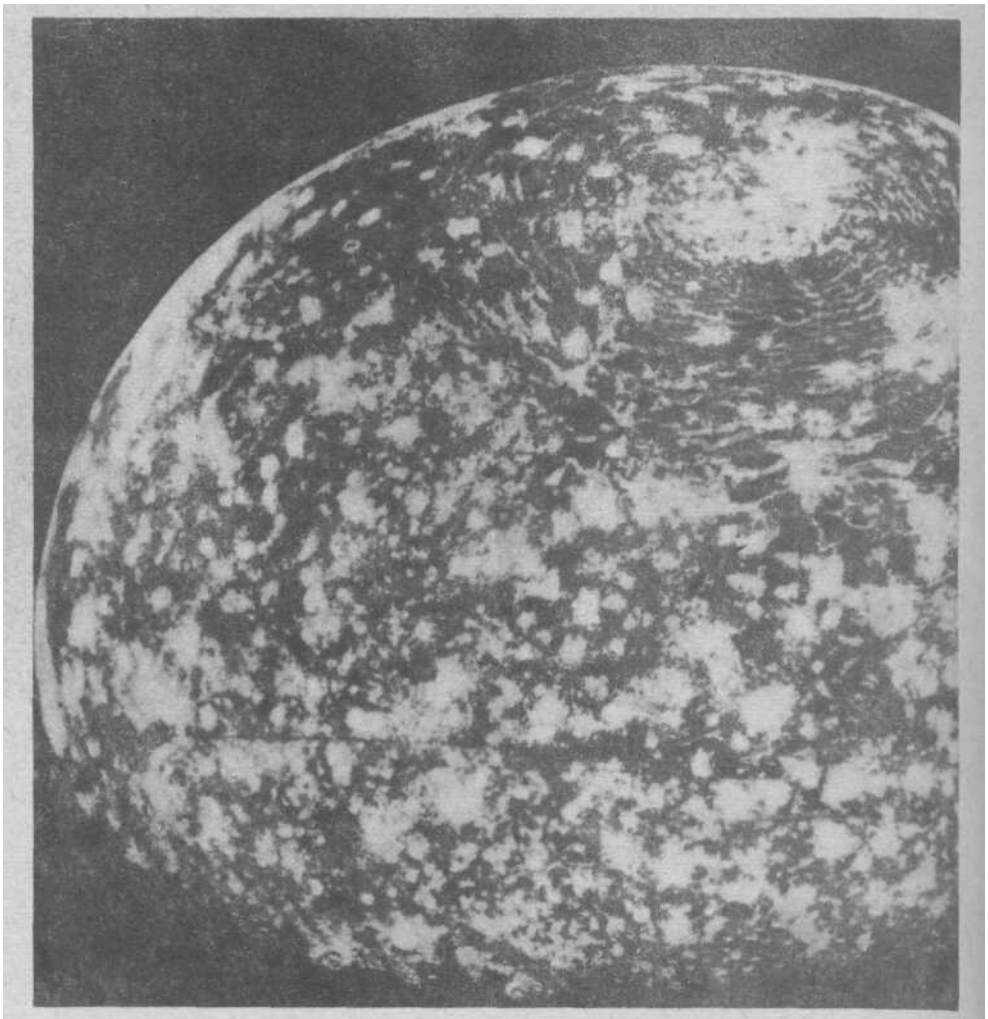

Рис. 75. Фотография спутника Юпитера Каллисто (АМС «Вояджер-2»)

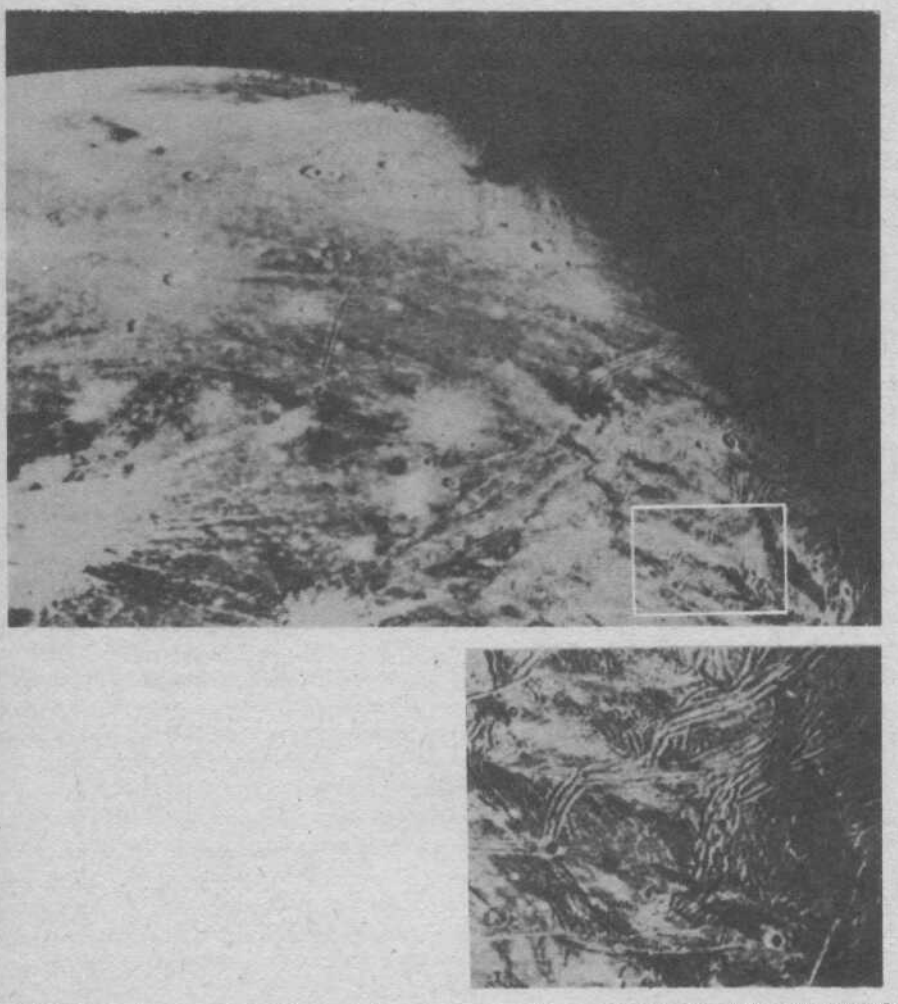

Рис. 76. Фотография спутника Юпитера Ганимед и деталей его поверхности (АМС «Вояджер-2»)

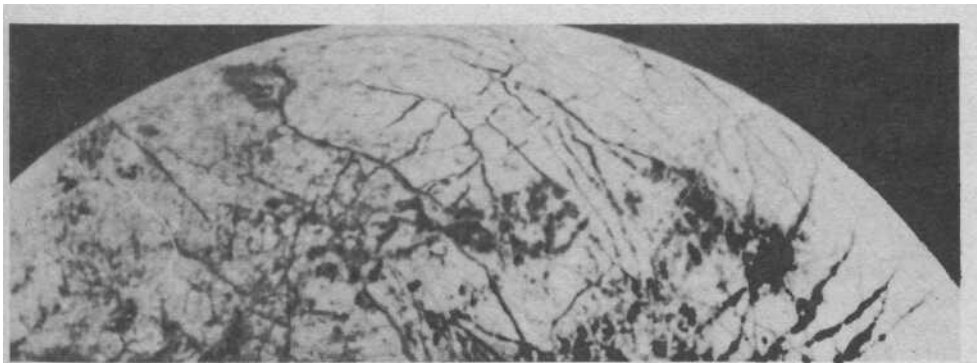

Рис. 77. Фотография спутника Юпитера Европа (АМС «Вояджер-2»)

что кольца Сатурна состоят из мелких кусочков льда размерами ~1 см. Еще был открыт новый маленький спутник. Особый интерес представляет проведенное на «Пионере-11» исследование атмосферы крупного спутника Сатурна — Титана. Наконец, было, доказано, что Сатурн подобно Юпитеру излучает в инфракрасных лучах примерно в два раза больше энергии, чем получает от Солнца. Это означает, что Сатурн имеет свой внутренний источник энергии, который, несомненно, связан с непрерывным сжатием этой гигантской планеты. «Пионер-11», честно поработав для науки, уходит из нашей Солнечной системы в межзвездное пространство, неся на себе весточку о нашей цивилизации (см. гл.19).

Не исключено, что образующиеся в атмосфере Юпитера (а также других больших планет) органические соединения должны растворяться в аммиачных или водяных капельках, из которых состоят нижние ярусы облаков.

Представляет определенный интерес обсуждение возможности жизни на аммиачной основе. Оказывается, что можно провести далеко идущую аналогию между процессами растворения в аммиаке и воде, а также между «аммиачными» органическими соединениями и «обычными», являющимися основой живого вещества на Земле, где «жизненной средой» была вода. Температура плавления аммиака достаточно высокая. То же следует сказать и о температуре кипения. У аммиака высокая удельная теплоемкость и достаточно большая (хотя и меньшая чем у воды) диэлектрическая постоянная. Он является очень хорошим растворителем. Все перечисленные свойства жидкого аммиака делают его потенциально способным при некоторых условиях сыграть роль «жизненной среды», подобно воде на заре возникновения жизни на нашей планете.

Можно установить полное соответствие между «обычными» солями и органическими соединениями, с одной стороны, а «аммиачными» — с другой. Оказывается, что для этого надо заменить ион $O^{=}$ на аминовую группу $NH^{=}$, а ион гидроксила $OH^{=}$ на амин $NH^{=}_2$. При такой замене, например, муравьиной кислоте HCOOH будет соответствовать соединение $HCNHNH_2$, а метиловому эфиру CH_3OCH_3 — соединение $CH_3\,NHCH_3$. На аммиачной основе таким способом можно построить аналоги «обычных» аминокислот, а затем сколь угодно сложные аналоги всевозможных белковых соединений. Вполне допустимы аммиачные аналоги нуклеиновых кислот, пуринов и пиридинов. Наконец, можно представить аналоги ДНК и РНК с их кодом наследственности.

Аналогом окисления при такой «аммиачной» жизни является присоединение ионов $NH^{=}$ или $N^{=}$, в го время как конечным продуктом жизнедеятельности вместо воды и углекислого газа будет аммиак и циан. Таким образом, можно сказать, что гипотетические аммиачные организмы «пьют» аммиак и «дышат» азотом, в то время как земные «водные» организмы пьют воду и дышат кислородом...

Не будем фантазировать, как могут выглядеть аммиачные организмы. Это во всяком случае преждевременно. В результате спектроскопических исследований Юпитера был обнаружен водяной пар в его атмосфере, так что необходимость в подобных фантазиях может быть не столь уж велика. Мы хотели бы только подчеркнуть, что современной науке не противоречит гипотеза о возможном существовании примитивных организмов на больших планетах, хотя, по мнению автора, вероятность того, что эта гипотеза справедлива, весьма мала, если не равна нулю.

В заключение этой главы нужно сказать хотя бы несколько слов об открытии сложных органических соединений внутри некоторых метеоритов. Среди каменных метеоритов иногда наблюдаются так называемые «углистые хондриты». Они составляют примерно 1 % от всех каменных метеоритов. У этих метеоритов отмечаются повышенное содержание углерода (до 3 %). Кроме того, углистые хондриты богаты серой, водой и некоторыми другими сравнительно легко испаряющимися веществами. Именно в таких хондритах еще в первой половине XIX в. бы-

ли обнаружены органические вещества. В настоящее время в составе некоторых углистых хондритов обнаружены довольно сложные органические соединения: высокомолекулярные парафиновые углеводороды и жирные кислоты. В 1960 г. из одного метеорита было выделено весьма сложное органическое соединение, подобное цитозину. Известно, что цитозин входит в состав молекулы ДНК. Большой интерес вызвал тонкий химический анализ метеорита, упавшего в Австралии в 1969 г. Среди углеводородных соединений, обнаруженных внутри этого «космического гостя», следует отметить 16 видов аминокислот. Из них пять относятся к числу тех 20 видов, из которых «конструируются» живые белки, а 11 — из числа тех 80, которые в состав земных белков не входят. Очень существенно, что среди обнаруженных аминокислот одна половина имеет «левую» асимметрию, а другая — «правую» (см. гл. 13). Так как все «живые» молекулы аминокислот на нашей планете имеют «левую» асимметрию, ясно, что их «космические сестры», обнаруженные в австралийском метеорите, имеют небиологическое происхождение. Вместе с тем это очевидное доказательство того, что обнаруженные в метеорите аминокислоты действительно синтезировались в космосе, а не являются результатом загрязнения космического гостя земным веществом, так как в последнем случае наблюдалась бы только «левая» асимметрия.

Неоднократно появлялись сообщения об обнаружении в углистых хондритах включений овальной формы, имеющих внешнее сходство со спорами водорослей. При облучении ультрафиолетовым цветом эти включения люминесцировали. Кроме того, при применении особых реактивов, используемых для выявления веществ «биологического» происхождения, они окрашивались.

По этим признакам некоторые исследователи считали (и считают) эти включения окаменевшими остатками микроорганизмов. Появились даже гипотезы, объясняющие их происхождение. Бернал, например, считал, что мыслимы две гипотезы, объясняющие это явление.

Согласно первой гипотезе, метеорит некогда был выброшен с поверхности планеты, на которой была жизнь. Не совсем тривиальна вторая гипотеза. Некогда, полагал Бернал, вместе с земной пылью при вулканическом извержении в межпланетное пространство могли быть выброшены микроорганизмы и споры. Блуждая в Солнечной системе, такие пылинки могли «прилипнуть» к какому-нибудь метеориту и вместе с ним вернуться на свою «родину» — Землю.

Что можно сказать по поводу изложенного? Прежде всего, никак нельзя считать доказанным, что обнаруженные в некоторых углистых метеоритах маленькие включения действительно являются отпечатками микроорганизмов. Одно только морфологическое сходство, конечно, не может быть основанием для такого вывода. Вполне возможно, что эти включения представляют собой минералы или высокомолекулярные углеводороды абиогенного происхождения. Нельзя также полностью исключить возможность «загрязнения» метеоритов после их падения земными микроорганизмами. Такие загрязнения могут возникнуть в процессе микробиологического исследования метеоритов.

В последние годы как в американской, так и в советской печати появилось несколько сенсационных сообщений об «открытии» в углистых метеоритах живых микроорганизмов. Так, например, Банриев и Мамедов «обнаружили» в железном Сихотэ-Алинском метеорите особую разновидность живых бактерий. Однако скоро выяснилось, что это «открытие» является недоразумением и что эксперименты были поставлены исследователями неграмотно. Всегда следует помнить, что в истории науки известно много случаев, когда желаемое принималось за действительное. Не случайно старая китайская пословица гласит: «Если ты очень ждешь друга — не принимай стук своего сердца за топот копыт его коня»...

Впрочем, история науки знает и другое. Например, долгие десятилетия официальная наука не признавала, что с неба могут падать камни. Но, во всяком

случае, тщательное изучение и скрупулезная проверка фактов при всех условиях совершенно необходимы.

Допустим теперь (хотя это и представляется нам крайне маловероятным), что отпечатки микроорганизмов в метеоритах действительно имеют космическое происхождение. Мы не будем обсуждать здесь первую гипотезу Бернала, которая нам кажется столь же маловероятной, как и тривиальной. Значительно больший интерес представляет вторая его гипотеза.

Можно ли представить выбрасывание из Земли в космическое пространство отдельных зародышей жизни? Совершенно очевидно, что этот вопрос имеет самое прямое отношение к гипотезе панспермии. Поэтому мы коротко коснемся современного состояния этой гипотезы.

Как известно, еще в 1907 г. известный шведский химик Сванте Аррениус высказал предположение, что жизнь на Земле не возникла из неживой субстанции, а была занесена в виде спор микроорганизмов из других миров. Такие споры могут как угодно долго выносить холод космического пространства. Для них не страшен господствующий там высокий вакуум. Под воздействием светового давления споры могут совершать грандиозные космические путешествия — от планеты к планете и от звезды к звезде. Попадая при благоприятных условиях на какую-нибудь подходящую планету, они оживают и дают начало жизни на ней.

Против гипотезы панспермии в том виде, в каком она была сформулирована, выдвигался ряд возражений преимущественно философского характера. Между тем сама по себе эта идея никоим образом не противоречит философии материализма. Почему обязательно надо считать, что жизнь на Земле возникла из неживой субстанции, а не была занесена в виде спор? Более того, исходя из представления о множественности обитаемых миров, вполне логично исследовать вопрос об обмене живыми организмами между планетами, об «опылении» одной планеты другой. Только научный анализ этой проблемы с привлечением новейших результатов, полученных в астрономии, биологии и сопредельных с ними науках, позволит отмести или «утвердить в правах гражданства» гипотезу панспермии.

Попытка такого анализа была сделана Саганом. Он считает, что отдельные микроорганизмы могут быть выброшены за пределы планеты электрическими силами. В случае, если размеры микроорганизмов находятся в пределах 0,2—0,6 мкм (т. е. близки к длинам волн видимого света), давление излучения звезды выбросит их за пределы данной планетной системы. Такие малые размеры имеют споры и вирусы. Световое давление от звезды не сможет «выталкивать» организмы как больших, так и меньших размеров. В конечном итоге, из-за совместного действия гравитационного притяжения и светового давления звезды такие организмы выпадут на ее поверхность (это известное «явление Пойнтинга — Робертсона» *).

Согласно вычислениям Сагана, выброшенные из Земли споры могут достигнуть орбиты Марса уже через несколько недель, орбиты Нептуна — через несколько лет, а до ближайших к нам звезд они долетят за несколько десятков тысяч лет. Чтобы пересечь Галактику, им потребуется несколько сотен миллионов лет. Мы полагаем, однако, что в последнем случае сроки будут значительно больше вычисленных Саганом. Он исходит из того, что споры в межзвездном пространстве движутся почти прямолинейно со средней скоростью в несколько десятков километров в секунду. В действительности споры должны двигаться так же, как и частицы межзвездной пыли, к которым они близки по размерам и массе.

*) Вследствие аберрации света сила светового давления на движущееся тело будет иметь составляющую, направленную против движения, что приведет к непрерывному торможению сил. Это и есть эффект Пойнтинга — Робертсона. По этой причине, например, обращающиеся вокруг Солнца пылинки, размеры которых больше 0,5 мкм, будут непрерывно выпадать на Солнце. Для частиц, размеры которых меньше 0,5 мкм (но больше 0,2 мкм), сила светового давления превышает силу гравитационного притяжения. Такие частицы будут выталкиваться за пределы Солнечной системы.

Межзвездные пылинки движутся вместе с межзвездным газом, плотность которого примерно в 100 раз больше, чем пыли. Движение же облаков межзвездного газа носит беспорядочный, нерегулярный характер. Такие облака, продвинувшись, на расстояние в несколько десятков световых лет, могут резко изменить направление своего движения и даже слиться с другими облаками. В таких условиях движение спор (так же как и межзвездных пылинок) будет похоже на беспорядочное движение малых частиц в некоторых растворах (так называемое «броуновское движение»). Вычисления показывают, что для того, чтобы переместиться на расстояние 1000 световых лет (это примерно 1/20 размеров Галактики), споре потребуется несколько сотен миллионов лет, а для перемещения через всю Галактику — сотни миллиардов лет, что в ~10 раз превышает возраст нашей звездной системы.

Спорам, путешествующим по межпланетным и межзвездным пространствам, грозят большие опасности. Аррениус не учитывал, например, радиационную опасность, что вполне естественно для его времени. Между тем этот вопрос для всей концепции панспермии может иметь решающее значение. В пределах планетных систем основной опасностью является ультрафиолетовое излучение центральной звезды, длина волны которого меньше 0,3 мкм. Такое излучение губительно для микроорганизмов. Подсчеты, аналогичные выполненным в гл. 13, показывают, что микроорганизмы получат смертельную дозу излучения еще задолго до того, как они достигнут орбиты Марса. Исходя из этих соображений, Саган приходит к любопытному выводу, что обмен живыми микроорганизмами может быть только между планетами, достаточно удаленными от их солнца. Например, в нашей Солнечной системе живые споры могут переноситься от Урана к Нептуну.

Что касается выбрасывания спор за пределы планетных систем, то разные звезды в этом отношении имеют весьма различную эффективность. Например, у карликовых сравнительно холодных звезд световое давление совершенно недостаточно для того, чтобы выбросить микроорганизмы в межзвездное пространство. С другой стороны, имеются основания полагать (см. гл. 10). что около сравнительно горячих массивных звезд планетных систем нет. Таким образом, «активные» звезды заключены в довольно узких спектральных пределах — приблизительно от F2 до G5.

Из-за губительного ультрафиолетового излучения Солнца в настоящее время живые споры космического происхождения не могут, по-видимому, выпадать на Землю*). Можно, однако, предположить, что в первоначальный период существования нашей планеты ультрафиолетовое излучение Солнца имело значительно меньшую интенсивность, чем сейчас. Выдвинув такую гипотезу, Саган получил интересный результат. Чтобы в течение первого миллиарда лет своей истории Земля получила только одну спору из космоса, нужно считать, что каждая из звезд Галактики (а их примерно 10") имеет обитаемую планету и что за миллиард лет каждая планета выбрасывает в космос 1 т спор. Разумеется, эти числа можно варьировать. Например, если обитаемых планет во Вселенной 10^8, то каждая из них должна выбрасывать в космос за 1 млрд лет 1000 т спор.

Сейчас совершенно ничего нельзя сказать о том, сколько может выбрасывать в космос спор такая обитаемая планета, как наша Земля. Поэтому, полагает Саган, в настоящее время гипотезу панспермии нельзя считать заведомо ошибочной, хотя аргументов в ее пользу также нет. По его мнению, наиболее вероятно найти следы живой субстанции на спутниках внешних планет, особенно на довольно крупном спутнике Нептуна — Тритоне.

Можно, однако, выдвинуть несколько возражений против выводов Сагана. Во-первых, ультрафиолетовое излучение Солнца в течение первых сотен миллионов

*) Следует заметить, однако, что если спора попадет в какую-нибудь расщелину на пылинке, она будет надежно «забронирована» от губительного воздействия ультрафиолетовых лучей. Такую естественную возможность всегда надо учитывать.

лет существования нашей планеты было примерно таким же, как и сейчас. Даже в начале этого периода, когда Солнце было еще сжимающейся звездой, его температура не очень сильно отличалась от современной. Это следует хотя бы из рассмотрения рис. 14, где приведены эволюционные треки звезд на диаграмме «спектр — светимость». Во-вторых, Саган почему-то забывает, что споры из межзвездного пространства будут выталкиваться давлением солнечного света за пределы Солнечной системы. Ведь с самого начала предполагается, что такие споры выталкиваются световым давлением за пределы тех планетных систем, где они зародились. Наконец, за сотни миллионов лет блужданий в межзвездной среде они могут получить смертельную дозу радиации, которая присутствует в форме космических лучей. Ведь поток первичных космических лучей там практически такой же, как и на Земле. За это время через такую спору размером в 10 мкм пройдет примерно 10 млрд частиц сверхвысоких энергий, из которых добрая сотня тысяч будет поглощена веществом споры. Это соответствует дозе излучения в несколько миллиардов рентген. Последствия такой «бомбардировки» могут быть только летальными *).

Большую опасность для спор, блуждающих в межзвездном пространстве, могут представлять горячие звезды, которые на огромные расстояния, исчисляемые сотнями световых лет, ионизуют и сильно нагревают межзвездный газ. В таких обширных областях межзвездной среды, окружающих горячие звезды, космические пылинки, в том числе и споры, могут быть полностью разрушены.

Крик и Оргелл приводят два чисто биологических аргумента в пользу гипотезы «направленной панспермии». Они полагают, что химический состав живых организмов в какой-то степени должен отражать химический состав среды, в которой проходила их эволюция. Поэтому присутствие в составе организмов элементов, исключительно редких на Земле, может служить «намеком» на то, что жизнь зародилась далеко за пределами нашей планеты, где химический состав среды совсем иной. Почему, например, довольно важное место в жизнедеятельности клеток занимает молибден, в то время как гораздо более обильные и химически сходные с ним хром и никель заметной роли в биохимических процессах не играют? Между тем известны очень редкие звезды с аномально высоким содержанием молибдена. Может быть, они окружены богатыми молибденом планетами?

Другим аргументом в пользу этой гипотезы является универсальность генетического кода (см. гл. 12). В самом деле, почему все живущие организмы — от простейших до человека — используют совершенно одинаковый генетический код? Ведь мыслимо множество модификаций такого кода. Панспермия непринужденно объясняет эту удивительную особенность; хотя, конечно, это можно объяснить «борьбой за существование» организмов с разными генетическими кодами.

В общем, доводы Крика и Оргелла нельзя считать очень серьезными, но внимания они заслуживают. В высшей степени неожиданную и беспрецедентно смелую гипотезу выдвинули Хойл и Викрамасинг. Довольно давно известную широкую полосу поглощения, наблюдаемую в спектрах инфракрасных галактических источников и обычно приписываемую межзвездным частицам льда, они предложили считать обусловленной находящимися в межзвездной среде бактериями, сходными со спорами! Единственным основанием для столь смелой гипотезы является значительно лучшее совпадение профилей полосы поглощения, обусловленной бактериями, чем при поглощении межзвездными льдинками подходящих размеров (рис. 78). Такой аргумент, однако, представляется совершенно недостаточным. Например, можно подобрать такое распределение размеров льдинок, которое даст лучшее со-

*) Необходимо заметить, что споры некоторых микроорганизмов и вирусы не гибнут даже при дозах жесткого излучения, достигающих 1 млн рентген. Все же, как показывают оценки, дозы радиации, полученные вирусами и спорами при «межзвездных путешествиях», значительно больше.

впадение наблюдаемого и теоретического профилей. Наконец, любое «загрязнение» межзвездного льда, ожидать которое вполне естественно, может изменить профиль полосы поглощения. Похоже на то, что эта гипотеза пробует подвести «научную базу» под знаменитый фантастический роман «Черное облако», написанный одним из авторов этой экстравагантной гипотезы — профессором Хойлом...

<> Карим, Хойл и Викрамасинг нашли большое сходство спектра ультрафиолетового излучения шести звезд со спектром, возникающим при поглощении света бактериями. Более поздние детальные исследования, однако, не подтвердили этого открытия. Они исключают отождествление деталей спектра с поглощением или рассеянием в ультрафиолетовой, видимой или инфракрасной области спектра с триптофаном (гетероциклическая аминокислота, используемая клетками организмов для биосинтеза), протеинами, вирусами, диатомовыми водорослями или другими живыми или высушенными земноподобными биологическими клетками <>

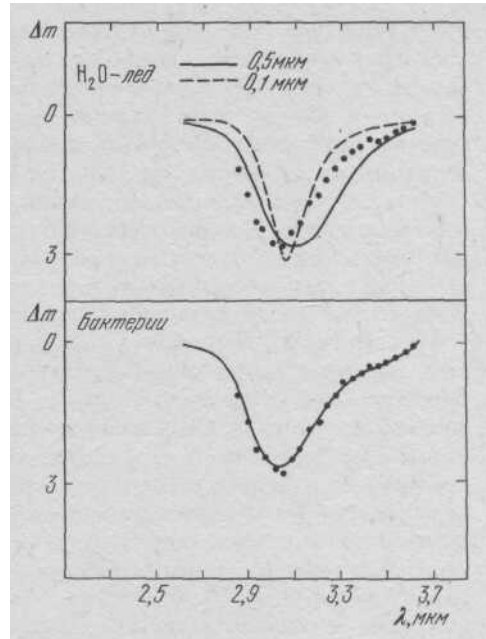

Рис. 78. Вверху: сплошная линия – теоретический профиль полосы поглощения льда при размере частиц 0,5 мкм, пунктир – то же для размеров 0,1 мкм; внизу – теоретический профиль поглощения, обусловленного бактериями; точки – данные наблюдений

Возвратимся теперь к вопросу о природе отпечатков водорослей, найденных в некоторых метеоритах. Разумеется, трудно согласиться с гипотезой Бернала в том виде, как она сформулирована, так как нельзя себе представить, что при вулканическом взрыве веществу сообщается вторая космическая скорость. Может быть, что отдельные микроорганизмы выбрасываются за пределы Земли другими силами, например электрическими. Двигаясь в межпланетном пространстве, они могли «прилипнуть» к какому-нибудь малому космическому телу, которое потом выпало на Землю как метеорит. Однако эта гипотеза встречается с большими трудностями, и было бы важно исследовать этот вопрос во всех деталях. Но прежде всего нужно доказать космическое происхождение метеорных отпечатков микроорганизмов. Существующие пока «доказательства» в высшей степени сомнительны.

До сих пор мы обсуждали возможность существования жизни на различных планетах, в том числе и таких, где физические условия резко отличаются от земных. В связи с этим любопытно заметить, что на Бюраканском симпозиуме 1971 г., посвященном различным аспектам проблемы связи между внеземными цивилизациями, вполне серьезно обсуждался вопрос о возможности возникновения и развитии жизни в... атмосферах очень холодных звезд. Тем самым была пробита первая брешь в «планетном шовинизме» *), характерном для проблемы внеземной жизни. Дискуссия показала, что хотя жизнь (если она есть) на холодных звездах в принципе и возможна, ее развитие встречается там с огромными трудностями, прежде всего энергетическими. Забавно, что можно было наблюдать своеобразный возврат к старинным, бесконечно наивным воззрениям знаменитого английского астронома Гершеля. Последний вполне серьезно считал, что Солнце — обитаемо,

*) «Планетный шовинизм» - это представление о том, что жизнь во Вселенной может возникнуть и развиваться только на планетах.

его поверхность довольно холодна и только плавающие над ней облака очень горячи... Об этом уже речь шла во введении к этой книге. Развитие физики и астрофизики объяснило в XX в. природу Солнца и звезд и камня на камне не оставило от взглядов Гершеля. Новое возрождение концепции «звездной жизни» произошло, конечно, на совершенно другой основе. Автору этой книги, однако, идеи возникновения жизни на звездах представляются бесперспективными.

На том же Бюраканском симпозиуме известный физик Дайсон (о его идеях по проблеме внеземных цивилизаций будет рассказано в последней части этой книги) выступил с исключительно смелым утверждением, что основным обиталищем жизни в Галактике могут быть не планеты, а... кометы! Дело в том, что число комет в нашей Галактике должно на много порядков превышать число звезд и планет.

Существенно, что жизнь, по существу, есть «поверхностный» феномен. Например, биосфера Земли может быть рассматриваема как тонкий шаровой слой, радиус которого равен радиусу Земли (т. е. 6370 км), а толщина -- всего лишь несколько километров. Оказывается, что хотя массы комет ничтожно малы по сравнению с массами планет, суммарная поверхность всех комет в Галактике на много порядков больше, чем суммарная поверхность планет. Центральные области комет могут быть богаты сложными органическими соединениями и там в принципе возможна пребиологическая эволюция вещества. Все же мы весьма скептически относимся к возможности возникновения и развития жизни на кометах. Там нет сколько-нибудь заметной силы тяжести; там в огромных пределах меняется температура — ибо большинство комет движутся по сильно вытянутым орбитам. Под воздействием всякого рода возмущений кометы вблизи Солнца распадаются на метеорные потоки — это происходит буквально на наших глазах. Все это делает кометы в высшей степени неподходящим местом для возникновения и развития жизни.

И, наконец, еще одно замечание. Предметом этой книги является, если можно так выразиться, «астрономический шовинизм». Это означает, что до сих пор всегда обсуждалась проблема возникновения и развития жизни на тех или иных астрономических объектах (планеты, звезды, кометы). Но ведь жизнь в принципе может быть и на совершенно другом уровне! Лет 10 назад итальянский физик-теоретик Коккони выдвинул необычайно смелую гипотезу. Суть этой гипотезы сводится к следующему. Уже сейчас известно свыше 200 элементарных частиц, большая часть которых нестабильна вне ядер атомов. Можно себе представить, рассуждает Коккони, что где-то на субъядерном уровне элементарные частицы находятся в весьма сложных и пока еще не познанных взаимоотношениях. Здесь в принципе возможна некая «химия» на ядерном уровне и — кто знает — могут возникнуть исключительно сложные, способные к репликации системы. Жизнь на ядерном уровне! Разумеется, пока еще мы ничего больше по этому увлекательному сюжету сказать не можем. Пусть это будет — пока — иллюстрацией безмерных возможностей полета мысли. Но кто знает, как эта проблема будет выглядеть через несколько веков!

Наконец, стоит сказать об идее нашего выдающегося физика-теоретика М. А. Маркова, рассматривавшего «почти замкнутые» (в космологическом смысле) миры, которые для «внешнего» наблюдателя могут выглядеть как очень маленькие, может быть, даже элементарные заряженные частицы. Такие гипотетические объекты Марков называет «фридмонами» в честь замечательного советского космолога А. А. Фридмана. В принципе, конечно, возможно, что внутри некоторых «фридмонов» и существуют какие-то живые и даже разумные существа... Самое любопытное — удивительная идея Маркова совершенно не противоречит фундаментальным законам физики! Все же не следует забывать, что пока нет никаких указаний на возможность реализации этой красивой идеи «на самом деле».

Часть третья

РАЗУМНАЯ ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Жить на такой планете —
зря время терять!

И. Ильф, «Записные книжки»

18. Общие замечания

В первой части этой книги мы рассказывали о строении Вселенной и об эволюции составляющих ее различных космических объектов. Задачей этой части было установление самых общих условий, при которых во Вселенной может (но не обязательно должна) возникнуть жизнь. Было показано, что такая «деликатная» форма движения материи, как жизнь, зависит от большого числа совершенно не связанных между собой явлений. Так, например, явление «красного смещения» в спектрах далеких галактик оказывается, по-видимому, обязательным условием для возникновения и развития жизни на какой-нибудь планете. Так же необходимы для этого вспышки сверхновых звезд, в процессе которых образуются тяжелые элементы, без которых немыслима живая субстанция. Кроме того, образующиеся после такой вспышки ударные волны в межзвездной среде могут стимулировать процесс образования звезд (см. гл. 4). Наконец, необходимо, чтобы в достаточно большом количестве образовывались «подходящие» планеты. Этому вопросу в первой части было уделено особое внимание. Вся первая часть построена на основе надежно установленных фактов и вполне обоснованных теорий и гипотез.

Значительно сложнее обстоит с центральной проблемой возникновения живой субстанции из неживой, которой посвящена вторая часть книги. Эта проблема решается совместными усилиями молекулярной биологии, кибернетики и космогонии. «Штурм» этой твердыни непознанного, по существу, начинается только сейчас. Тем не менее уже в настоящее время намечаются пути решения этой проблемы. Во второй части проведен также анализ возможности жизни на соседних с нами планетах Солнечной системы. Увы, выдающиеся успехи космонавтики позволили получить данные о планетах, практически исключающие возможность каких бы то ни было форм жизни на них. Между тем планеты около других звезд пока еще недоступны для наших исследований.

Переходя к обсуждению вопросов, связанных с возможностью тех или иных проявлений разумной жизни во Вселенной, мы сталкиваемся с очень большими трудностями.

Жизнь на какой-нибудь планете должна проделать огромную эволюцию, прежде чем стать разумной. Движущая сила этой эволюции — способность организмов к мутациям и естественный отбор. В процессе такой эволюции организмы все более и более усложняются, а их части — специализируются. Усложнение организмов идет как в качественном, так и в количественном направлении. Например, у червя имеется всего лишь около 1000 нервных клеток, а у человека около десяти миллиардов. Развитие нервной системы существенно увеличивает способности организмов к адаптации, их пластичность. Эти свойства высокоразвитых организмов являются необходимыми, но, конечно, недостаточными для возникновения разума. Последний можно определить как адаптацию организмов для их сложного социального поведения.

На протяжении этой части книги мы неоднократно будем применять термин «разумная жизнь», считая его элементарным, т. е. не требующим специального определения. Между тем это далеко не так. В самом деле, что такое «разумное существо»? На этот вопрос можно попытаться ответить так: разумным мы называем такое существо, которое обладает способностью к мышлению. Ну, а что такое мышление? Здесь мы сталкиваемся с теми же трудностями в определении этого понятия, что и в случае определения понятия «жизнь». Ведь единственно известной нам формой мышления является мышление человека. Определение понятий «мышление» и «разумная жизнь» неявно всегда сводилось к описанию конкретных особенностей человеческого мышления, представляющего собой специфическую деятельность мозга.

Но, как подчеркивал А. Н. Колмогоров, в настоящее время такое определение уже не является удовлетворительным по двум причинам. Во-первых, в наше время интенсивного развертывания космических исследований имеется принципиальная возможность встречи с такими формами существования высокоорганизованной материи, которые обладают всеми основными свойствами не только живых, но и мыслящих существ и которые могут существенно отличаться от земных форм. Во-вторых, бурное развитие кибернетики открыло в принципе ничем не ограниченную возможность моделирования любых, сколь угодно сложных материальных систем.

По этим двум причинам в настоящее время имеется острая необходимость дать такое определение понятия «мышление» , которое было бы связано с какими бы то ни было конкретными представлениями о физической природе процессов, лежащих в основе мышления. Следовательно, так же как и в случае понятия «жизнь», необходимо функциональное определение понятия «мышление».

Последовательное развитие «функциональной» точки зрения на жизнь и мышление приводит к удивительному выводу, имеющему, на наш взгляд, исключительно большое значение для проблемы развития разумной жизни во Вселенной. Как указывает А. Н. Колмогоров, «...моделирование способа организации материальной системы не может заключаться ни в чем ином, как в создании из других материальных элементов новой системы, обладающей в существенных чертах той же организацией, что и система моделируемая. Поэтому достаточно полная модель живого существа по справедливости должна называться живым существом, модель мыслящего существа — мыслящим существом» *). Таким образом, кибернетика обосновывает принципиальную возможность создания искусственных живых и даже мыслящих существ.

Этот вопрос настолько важен, что мы на нем остановимся немного подробнее. Лучше всего будет, если мы процитируем соответствующие высказывания А. Н. Колмогорова:

«Общеизвестен интерес к вопросам:

Могут ли машины воспроизводить себе подобных и может ли в процессе такого самовоспроизведения происходить прогрессивная эволюция, приводящая к созданию машин, существенно более совершенных, чем исходные?

Могут ли машины испытывать эмоции? Могут ли машины хотеть чего-либо и сами ставить перед собой новые задачи, не поставленные перед ними их конструкторами?

Иногда пытаются обосновать отрицательный ответ на подобные вопросы при помощи:

а) ограничительного определения понятия «машина»,

б) идеалистического толкования понятия «мышление», при котором легко доказывается неспособность к мышлению не только машин, но и человека...

...Однако важно отчетливо понимать, что в рамках материалистического мировоззрения не существует никаких состоятельных принципиальных аргументов против положительного ответа на наши вопросы. Этот положительный ответ является современной формой положения о естественном возникновении жизни и материальной основе создания...

Принципиальная возможность полноценных живых существ, построенных полностью на дискретных (цифровых) механизмах переработки информации и управления, не противоречит принципам материалистической диалектики. Противоположное мнение может возникнуть у специалистов по философии математики лишь потому, что они привыкли видеть диалектику лишь там, где появляется бесконеч-

*) Колмогоров А. Н. Жизнь и мышление с точки зрения кибернетики.— М., 1961. Все дальнейшие цитаты приводятся из этого источника.

ное. При анализе явлений жизни существенна не диалектика бесконечного, а диалектика большого (чисто арифметическая комбинация большого числа элементов создает и непрерывность и новые качества)».

Мы привели эту длинную цитату из работы выдающегося математика только потому, что, на наш взгляд, нельзя лучше выразить суть дела. Вместе с тем А. Н. Колмогоров предупреждает против упрощенческих трактовок принципиальной проблемы возможности создания искусственных разумных существ. Пока еще кибернетика осмыслила лишь малую часть деятельности человеческого сознания. В какой-то степени поняты лишь механизм условных рефлексов и механизм формально-логического мышления. Предстоит еще огромная работа по объективному изучению в «терминах кибернетики» всех тонких видов творческой деятельности человека и других аспектов высшей нервной деятельности, пока еще во многих отношениях загадочной. А. Н. Колмогоров указывает, что «...серьезное объективное изучение высшей нервной деятельности человека во всей ее полноте представляется необходимым звеном в утверждении материалистического гуманизма. Развитие науки многократно приводило к разрушению привычных для человека иллюзий, начиная с утешительной веры в личное бессмертие. На стадии полузнания и полупонимания эти разрушительные выводы науки становятся аргументами против самой науки, в пользу иррационализма и идеализма. Дарвиновская теория происхождения видов и павловское объективное изучение высшей нервной деятельности неоднократно изображались как принижающие высшие стремления человека к созданию моральных и эстетических идеалов. Аналогично, в наше время страх перед тем, как бы человек не оказался ничем не лучше «бездушных автоматов», делается психологическим аргументом в пользу витализма и иррационализма».

Итак, принципиально возможно создание искусственных мыслящих существ, способных к самоусовершенствованию. Современная фантастическая литература изобилует образами механических искусственных людей — роботов. Обычно их изображают в виде карикатурно сходной по внешнему виду с человеком совокупности шарниров, электронных ламп и прочих «индустриальных» атрибутов. Однако еще замечательный чешский писатель Карел Чапек, придумавший само слово «робот» в пьесе «Рур», изображал их вполне человекоподобными существами, изготовленными из белков... Очень вероятно, что, когда человечество до конца разгадает тайны сложного химического производства — синтеза белков из аминокислот при помощи и «под управлением» нуклеиновых кислот ДНК и РНК, живые искусственные организмы (в том числе и разумные) будут иметь вполне «естественный» внешний вид...

Впрочем пока еще преждевременно гадать, как они будут выглядеть. Нужно ясно понимать, что современная нам наука и техника пока еще не могут синтезировать даже сравнительно простые живые организмы. Однако мы сейчас находимся на пороге этого важнейшего этапа в развитии биологии. Следует также помнить, что принципиальная возможность создания живого мыслящего существа — это еще не есть реальная, практическая возможность. На этом пути несомненно встретятся огромные трудности. Некоторые из таких трудностей намечаются уже сейчас. В частности, А. Н. Колмогоров, хотя и считает, что для моделирования работы человеческого мозга, связанной непосредственно с проявлениями высшей человеческой культуры (науки, искусства, социальных чувств), достаточно оперировать со сравнительно небольшим количеством информации порядка 10^7—10^9 двоичных единиц (в то время как обычно считают, что число таких единиц должно быть порядка 10^{12}-10^{15}), однако указывает на одну фундаментальную трудность. Эта трудность будет состоять в большой сложности той программы, которая должна привести в действие автомат, моделирующий человеческий мозг. Конечно, в принципе сложную программу, которая обеспечивает достаточно быстрое решение неко-

торой задачи автоматом, можно получить при помощи другого автомата, куда будет вводиться простая программа.

Однако такой автомат будет вычислять сложную программу очень долго. Пока неясны пути преодоления этой, а также и других трудностей, возникающих в проблеме создания искусственной разумной жизни.

Имеются, однако, основания полагать, что бурное развитие кибернетики в гармоническом сочетании с развитием молекулярной биологии и наук о высшей нервной деятельности в конечном итоге позволит создать искусственные разумные существа, принципиально не отличающиеся от естественных, но значительно более совершенные, чем они, и способные к дальнейшему самоусовершенствованию. Очень, например, вероятно, что такие существа будут значительно более долгоживущими, чем естественные. Ведь старение организмов вызвано, по-видимому, постепенным накоплением различного рода нарушений в «печатающей» схеме ДНК клеток. Эта «схема» с течением времени как бы «стирается». Но вполне вероятно, что искусственные «матрицы» ДНК можно сделать гораздо более «прочными» и «стабильными».

Искусственный разум как новый, фундаментальной важности космический фактор был предметом обсуждения на Бюраканском симпозиуме по внеземным цивилизациям. Автор этой книги подчеркивал, что возникновение искусственного разума, по-видимому, является высшим этапом развития материи .во Вселенной. Основные этапы этого развития можно представить в виде последовательности: неживая эволюционирующая материя -> живая материя -> естественные разумные существа -» искусственные разумные существа. Похоже, что эра естественных разумных существ может быть сравнительно кратковременным, переходным этапом в развитии материи во Вселенной. Например, уже сейчас очевидно, что они малопригодны (или, точнее, совсем непригодны) для серьезной колонизации космоса и весьма длительных космических полетов. «Нормальная» эволюция жизни на Земле такие ситуации, конечно, не могла предусмотреть. Ничего «обидного» для живых мыслящих организмов в этом факте мы не усматриваем.

Нашу точку зрения полностью поддерживал известный американский кибернетик Минский. Он подчеркнул, что за прошедшие 15 лет «разум» наших электронных вычислительных машин улучшился в миллион раз (под «разумом» понимается некоторая комбинация объема памяти и быстродействия). В течение нескольких последующих десятилетий следует ожидать увеличения характеристики «разума» машин еще по крайней мере в несколько десятков тысяч раз. «Разум» таких машин по основным параметрам будет заведомо превосходить разум человека.

Минский особенно подчеркивал тот момент, что искусственные разумные существа (машины) могут быть очень маленькими и компактными. Они могут длительно существовать в космическом пространстве, эффективно осваивая и преобразуя его. Вернемся, однако, к проблемам естественного разума.

Возникновение разума должно быть теснейшим образом связано с коренным улучшением и усовершенствованием способов обмена информацией между отдельными особями. Поэтому для истории возникновения разумной жизни на Земле возникновение языка имело решающее значение. Язык стал средством регулирования социального поведения внутри сообщества индивидуумов, что имело огромное значение для социальной эволюции и последующей истории человеческого общества.

Можем ли мы, однако, такой процесс считать универсальным для эволюции жизни во всех уголках Вселенной? Скорее всего — нет! Ведь в принципе при совершенно других условиях средством информации между особями могли бы стать не продольные колебания атмосферы (или, скажем, гидросферы), в которой живут эти особи, а нечто совершенно другое. Почему бы не представить себе способ обмена информации, основанный не на акустических эффектах, а, скажем, на оптических

или магнитных? И вообще — так ли уж обязательно, чтобы жизнь на какой-нибудь планете в процессе ее эволюции стала разумной? В гл. 14 мы уже приводили возражения против «тиражирования» жизни во Вселенной. Тем больше возражений существует против «тиражирования» разумной жизни.

Между тем эта тема с незапамятных времен волновала человечество. Говоря о жизни во Вселенной, всегда, прежде всего, имели в виду разумную жизнь. Одиноки ли мы в безграничных просторах космоса? Как уже рассказывалось во введении к этой книге, философы и ученые с античных времен всегда были убеждены, что имеется множество миров, где существует разумная жизнь. Никаких научно обоснованных аргументов в пользу этого утверждения не приводилось. Рассуждения, по существу, велись по следующей схеме: если на Земле — одной из планет Солнечной системы — есть разумная жизнь, то почему бы ей не быть на других планетах? Ниже мы увидим, однако, что такой простой метод рассуждения, если его логически развить, не так уж плох.

Только в наше время под впечатлением запуска первых искусственных спутников Земли и космических ракет появились серьезные исследования, посвященные научному анализу этой увлекательнейшей проблемы, остававшейся до этого только сюжетом научно-фантастических произведений. Само собой разумеется, что доказательств существования разумной жизни на других мирах пока еще нет. Вряд ли они так скоро появятся — слишком трудна проблема. Нельзя, наконец, исключить неутешительную возможность того, что разумная жизнь во Вселенной — редчайшее (хотя, по-видимому, не уникальное) явление. Может быть, например, что наша .планета как обитель разумной жизни единственная в Галактике, причем далеко не во всех галактиках имеется разумная жизнь. Так, например, в радиогалактиках типа Лебедь А вряд ли может быть высокоорганизованная жизнь (см. гл. 6). С другой стороны, можно полагать, что проявления разумной жизни (из-за некоторых свойств последней, о которых будет идти речь в этой части книги) могут быть довольно широко распространены во Вселенной.Сейчас мы еще не можем сделать выбор между этими крайними случаями. Казалось бы, при таком, мягко выражаясь, неопределенном положении стоит ли заниматься сейчас этой проблемой, тем более посвящать ей целую часть в книге? Можно ли вообще называть работы о разумной жизни во Вселенной научными? Автор этой книги глубоко убежден, что заниматься этой проблемой нужно и даже необходимо и что уже сейчас это можно делать на достаточно высоком научном уровне.

При таком анализе необходимо, естественно, выдвинуть гипотезу, что наша человеческая цивилизация — одна из очень многих и не представляет собой уникального явления во Вселенной. Более того, можно в первом приближении считать, что наша земная цивилизация — довольно типичное проявление разумной жизни во Вселенной.

Выше мы обратили внимание на то, что это основная гипотеза, вообще говоря, может быть неверной. Нельзя исключить возможности того, что разумная жизнь во Вселенной — явление очень редкое, как это, в частности, полагает автор настоящей книги (см. гл. 14) *). Таким образом, сформулированная основная гипотеза носит вероятностный характер. В естествознании, однако, можно привести ряд примеров, когда такой метод исследований был очень плодотворным.

Мощность такого метода была остроумно продемонстрирована на одном примере немецким астрономом фон Хорнером. Хорошо известно, что древние греки не имели правильного представления ни о размерах Солнечной системы, ни о расстояниях до звезд, природа которых была им не известна. Но если бы они пользова-

*) Такую возможность исключить нельзя, особенно если будет выяснено, что возникновение жизни на Земле есть процесс случайный (см. гл. 13). Страшно даже представить, что из 10^{20}—10^{21} планетных систем во Вселенной, в области радиусом в десяток миллиардов световых лет разум существует только на нашей крохотной планете и, может быть, еще на некоторых немногих.

лись гипотезой, аналогичной сформулированной, то составили бы себе правильное представление о масштабах Вселенной. Применительно к этой задаче гипотезу можно формулировать следующим образом: Земля — типичная «средняя» планета, а Солнце — типичная «средняя» звезда. Далее они должны были рассуждать так. Коль скоро Земля — «средняя» планета, ее диаметр, расстояние до Солнца и способность отражать солнечные лучи (так называемое «альбедо») также являются «средними». Сравнение видимой яркости пяти известных в то время планет с видимой яркостью Солнца позволило бы им оценить расстояние от Земли до Солнца, выраженное в долях земного диаметра. Так как древние греки уже имели правильное представление о размерах земного шара (знаменитое измерение длины дуги части меридиана, выполненное Эратосфеном), то расстояние от Земли до Солнца было бы им известно и в линейных единицах. Оказывается, что значение астрономической единицы, полученной таким методом, превышает истинное всего лишь в два раза, хотя метод, конечно, очень груб. Вспомним, например, что истинные размеры планет значительно отличаются друг от друга, а расстояния их от Солнца меняются в довольно широких пределах. Сравнение видимой яркости Солнца с яркостью 10 ярчайших звезд на небе позволило бы уже в античное время оценить среднее расстояние между звездами. Для этого нужно было бы знать расстояние от Земли до Солнца, которое могло быть определено описанным выше методом, и считать, что Солнце — это «средняя» звезда. Полученное таким методом среднее расстояние между ближайшими к Солнцу звездами всего лишь на 10% меньше истинного.

Конечно, по тем временам при отсутствии других методов такие оценки могли иметь только вероятностный-характер. Дальнейшее развитие науки лишь подтвердило бы их правильность и тем самым продемонстрировало бы мощность метода *).

Следует обратить внимание на философскую и историко-социологическую сторону вопроса, рассматриваемого в 3-й части этой книги. Если предполагается, что во Вселенной могут находиться цивилизации на самых различных уровнях развития, необходимо иметь хотя бы самое общее представление о путях развития общества разумных существ. Учитывая, что наша цивилизация, безусловно, является очень молодой и что разумная жизнь на Земле еще не вышла из младенческого возраста, следует считаться с тем, что большинство гипотетических внеземных цивилизаций продвинулось на пути социального, научного и технического прогресса неизмеримо дальше нас. Казалось бы, дать прогноз развитию общества на сроки, исчисляемые по крайней мере тысячелетиями,— безнадежная трудность. История вообще никогда никаких прогнозов не делает... Все же о некоторых тенденциях и основных закономерностях развития цивилизаций говорить, по нашему мнению, можно.

Например, вполне может обсуждаться такой вопрос: будет ли общество разумных существ развиваться в течение космогонических сроков (порядка миллиардов лет) или шкала времени его существования много меньше? Такой бесспорный и решающий для рассматриваемой проблемы фактор, как неограниченная и все нарастающая «экспансия» разумной жизни в окружающее космическое пространство, может сыграть определяющую роль в оценке возможностей обнаружить проявление разумной жизни. Сюда же следует несомненно отнести важнейшую особенность этой экспансии: стремление к активному воздействию на Космос. Уже сейчас, на заре космической эры, человек активно воздействует на космос, делает первые, пусть пока робкие, шаги по перестройке Солнечной системы. Миллиарды лет Земля имела только одного спутника — Луну. Сколько же их сейчас? Они, ко-

*) В рассуждении фон Хорнера, однако, имеется существенный дефект: древние греки не имели ни малейшего представления о том, во сколько раз. яркость Солнца превосходит яркость звезд. Сказанное, конечно, не умаляет ценности этого рассуждения.

нечно, малы, но все же, по-видимому, больше, чем маленькие спутники Сатурна, образующие его знаменитое кольцо. В конце концов, устроить искусственное кольцо вокруг Земли — задача, которая может быть решена современными техническими средствами. Технически обоснованные проекты этого грандиозного предприятия уже имеются сейчас. Если такое кольцо нужно будет создать (пока неясно, так ли это), оно вполне может быть создано в течение ближайших десятилетий.

В гл. 15 мы уже обратили внимание на то, что благодаря деятельности человека такая основная характеристика планеты Земли, как яркостная температура в диапазоне метровых волн, увеличилась за последние два-три десятилетия в миллионы раз. Разумные существа сделали маленькую планету — Землю третьим по мощности источником радиоизлучения в Солнечной системе. Вполне возможно, что в ближайшие десятилетия наша планета как источник радиоизлучения по мощности превзойдет Солнце (в периоды, когда на нем почти нет пятен).

Ниже будет показано, что аналогичную ситуацию в принципе можно создать и в оптическом диапазоне частот. Применение квантовых генераторов оптического излучения — лазеров — открывает возможность посылки направленных пучков света в очень узком спектральном интервале на огромные космические расстояния, причем в этом спектральном интервале и в данном направлении интенсивность пучка значительно превысит солнечное излучение.

Описанные примеры (число которых можно было бы при желании увеличить) — это только первые, робкие попытки «космического» проявления разумной жизни. Что же будет дальше? Конечно, конкретные пути активного воздействия разумной жизни на космос сейчас представить нелегко, но тенденция развития совершенно очевидна.

К сожалению, при прогнозе самых общих аспектов развития общества разумных существ на «астрономические» или, вернее, «почти астрономические» сроки мы не могли опираться на исследования философов. Это объясняется, конечно, некоторым отставанием философской науки, не всегда справляющейся с задачами, представляющими значительно больший практический интерес, чем наша. Хочется надеяться, что философы, опираясь на великое учение Маркса, Энгельса и Ленина, заинтересуются этой частью проблемы и существенно продвинут ее вперед своими исследованиями. Но, поскольку таких исследований пока еще нет, автор, не будучи специалистом, вынужден касаться в третьей части книги отдельных проблем философского характера. Он заранее просит извинения за те ошибки, которые при этом могут быть им допущены. Может быть, анализ этих ошибок положит начало плодотворной философской дискуссии, которая будет весьма полезна.

Круг проблем, которые будут затронуты в третьей части книги, довольно обширен. Он касается, во-первых, анализа возможностей перестройки космоса разумными существами. В качестве воображаемого примера такой перестройки рассматривается гипотеза Дайсона. Большое внимание мы уделим анализу всех возможностей установления контактов (связей) между разумными существами, населяющими различные планетные системы. Здесь мы имеем конкретные, строго научные расчеты. В заключение мы рассмотрим несколько вопросов общего характера.

Заметим еще, что отдельные главы третьей части содержат некоторые математические и физические расчеты. Это может затруднить их чтение для мало подготовленного читателя. Однако такое усложнение текста, по нашему мнению, необходимо. В противном случае выводы, содержащиеся в этой части, представлялись бы голословными. С другой стороны, содержащийся в этих главах материал является новым и в некоторой степени оригинальным. Поэтому он может представлять интерес и для специалистов. Изложение построено таким образом, что без ущерба для понимания математические выкладки могут быть пропущены.

19. Освоение человечеством Солнечной системы

В предыдущей главе мы уже упомянули о важнейшей для нашей проблемы особенности разумной жизни на Земле — ее экспансии в окружающее космическое пространство. Нам очень повезло — этот процесс начался буквально на наших глазах около 30 лет назад, когда был запущен первый советский искусственный спутник Земли. Сейчас спустя 30 лет приходится только поражаться грандиозности достигнутых успехов. Возникла космическая индустрия, охватывающая огромные комплексы специализированных предприятий. Уже сейчас ближний космос исправно служит человечеству, помогая ему в его практической деятельности. Упомянем хотя бы о ретрансляции телевизионных передач через специализированные спутники связи. Система ретрансляции телевидения через спутники типа «Молния» позволяет смотреть московские телепередачи в самых отдаленных уголках нашей страны. Правда, достойно сожаления, что художественное качество этих передач не всегда соответствует высокому уровню космической техники... Но это уже не имеет прямого отношения к экспансии человечества в космос. Другим аспектом использования ближнего космического пространства для практических нужд народного хозяйства является система непрерывно патрулирующих метеорологических спутников. Метеорологическая служба сейчас действительно стала глобальной. Открывается, например, возможность детально прогнозировать развитие циклонов, тайфунов и других грандиозных пертурбаций земной атмосферы, еще так недавно считавшимися стихийными, не подвластными людям. Без преувеличения можно сказать, что наконец-то метеорология поставлена на прочную экспериментальную основу.

Весьма многообещающим является применение космической техники для детального прогнозирования урожая на огромных площадях, определения зараженности вредителями труднодоступных участков тайги, рыболовства и других не менее конкретных и актуальных проблем народного хозяйства. Итак, ближний космос уже сейчас поставлен на службу человеческой практики.

Но экспансия человечества в космосе этим не ограничивается. После того как первая советская беспилотная автоматическая станция совершила мягкую посадку на поверхности Луны и передала незабываемое изображение кусочка лунной поверхности, усеянного камнями (рис. 80), наш вечный спутник стал объектом настоящей атаки со стороны исследователей. Важным шагом этой волнующей эпопеи была высадка американских астронавтов Армстронга и Олдрина на поверхности Луны в районе моря Спокойствия 20 июля 1969 г., а затем и других экипажей «Аполлонов» (рис. 81 и 82). Известная фраза Армстронга «Это маленький шаг для одного человека, но гигантский шаг для всего человечества» хорошо выражает сущность неодолимого процесса экспансии разума в космическое пространство. Сама по себе высадка астронавтов на Луне, их многочасовая работа там по установке научной (в частности, сейсмической) аппаратуры, сбор образцов пород, старт с Луны, стыковка на окололунной орбите с орбитальным отсеком, который все время патрулировал, и наконец, благополучное возвращение на Землю и приводнение в заданном месте — это ли не чудо современной техники, это ли не демонстрация тех возможностей, которые заложены в человеке!

Вряд ли скоро сгладится в памяти людей эпопея «Аполлона-13», потерпевшего аварию и, благодаря великолепному мастерству астронавтов, благополучно вернувшегося на Землю буквально «на одном крыле». Этот эпизод наглядно показал, что освоение космоса — не туристская прогулка, а предприятие, полное опасности и риска. Ибо трудно исключить возможность того, что какая-нибудь деталь системы,

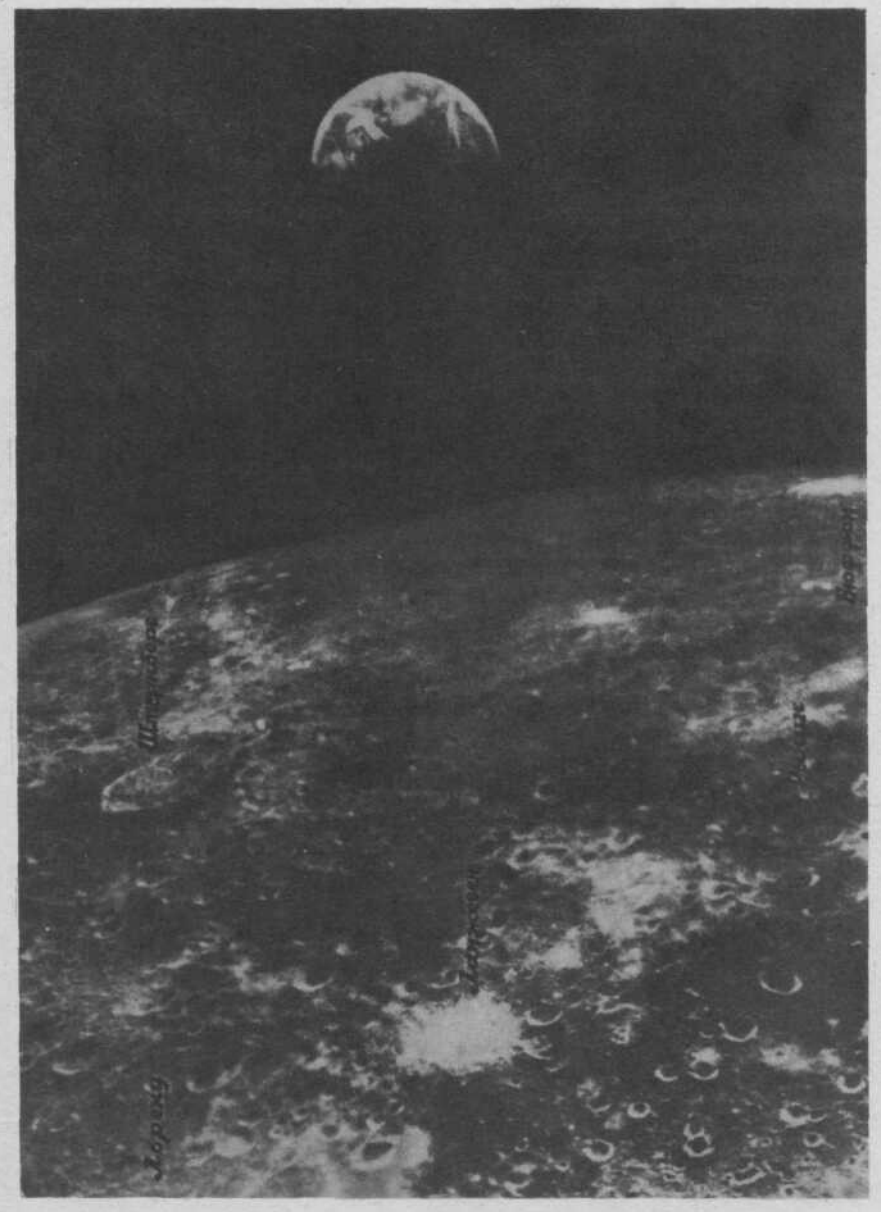

Рис. 79. Снимок, доставленный на Землю автоматической станцией «Зонд-6»

одна из десятков тысяч, не сработает. Так же, как были жертвы (и немалые!) в эпоху Великих географических открытий, так же они будут и при освоении космоса — дело это необычно трудное и новое. Однако задача состоит в том, чтобы эти жертвы были сведены к минимуму.

В нашей стране освоение Луны шло по линии спуска на ее поверхность автоматических беспилотных станций. Великолепным достижением является длительная работа на поверхности нашего естественного спутника подвижного аппарата

Рис. 80. Фрагмент панорамы, переданной автоматической станцией «Луна-13»

«Луноход-1» (рис. 83). Этот космический вездеход проработал на Луне 10½ «лунных суток», перенес несколько томительно-длинных лунных ночей, с их непомерным холодом, когда температура падала до — 150 °С. «Луноход» прошел по каменистой, сложного профиля поверхности Луны свыше 10 километров. Еще более далекое путешествие совершил по лунной поверхности аппарат «Луноход-2», прошедший за 5 лунных дней расстояние в 37 км. Советские автоматические капсулы осуществляли бурение лунного грунта и доставили на Землю образцы лунных пород.

Не за горами то время, когда на Луне будет сооружена постоянно действующая автоматическая обсерватория. Она может время от времени посещаться космонавтами-учеными, которые будут забирать накопившиеся научные материалы (например, фотопленки). Разумеется, часть информации автоматическая обсерватория будет посылать на Землю по телеметрическим каналам. Уже давно астрономы поняли, что Луна является превосходной платформой для астрономических наблюдений. Недаром знаменитый американский астроном Саймон Ньюкомб еще в прошлом веке шутливо заметил, что после смерти души настоящих астрономов должны попадать на Луну, где условия для наблюдений должны быть идеальны...

Правда, в настоящее время далеко не ясно, какой тип космической обсерватории лучше — установленный на Луне или на большом искусственном спутнике с весьма вытянутой орбитой, большая полуось которой близка к радиусу лунной орбиты. Несомненно, есть такие астрономические наблюдения, для которых последний вариант является предпочтительным. Например, радиоинтерферометрия со сверхдлинными «космическими» базами. Известно, что применение таких интерферометров, антенны которых разделены на межконтинентальные расстояния порядка многих тысяч километров, позволило достигнуть в радиоастрономии разрешающей способности (определяемой формулой $\varphi \approx \frac{\lambda}{d}$, где λ — длина волны, d — рас-

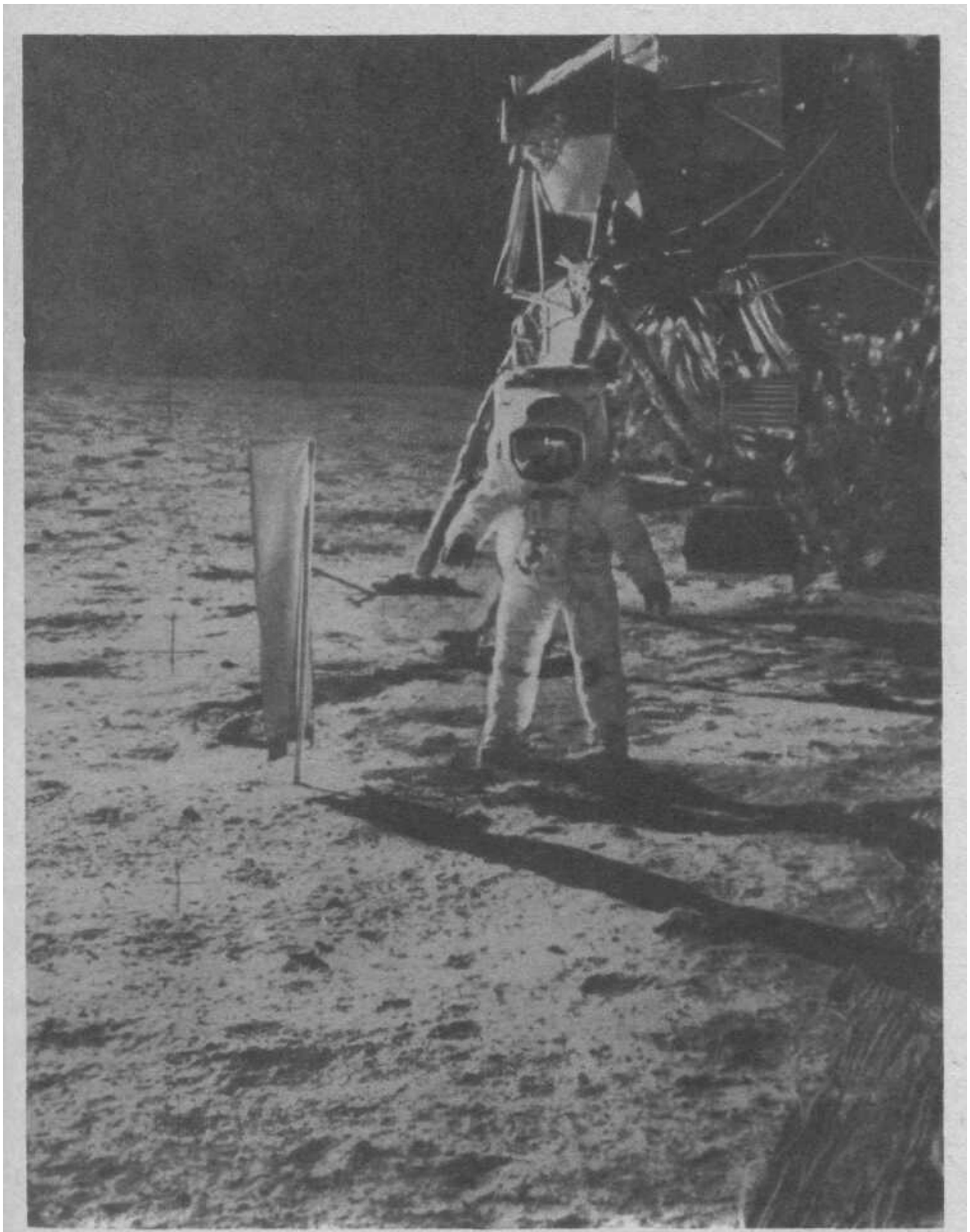

Рис. 81. Экипаж «Аполлона-11» на Луне

стояние между антеннами) около 10^{-3} секунды дуги, что в сотни раз лучше, чем в оптической астрономии. Именно этим методом удалось получить основную информацию о «космических мазерах» на волнах 18 и 1,35 см, о чем речь шла в гл. 4. Однако дальнейшему повышению разрешающей способности таких радиоинтерферометров мешают... ограниченные размеры земного шара! И тогда естественно возникает проект: надо удалить две антенны такого интерферометра на космическое расстояние. Одна большая антенна будет находиться на Земле, в то время как

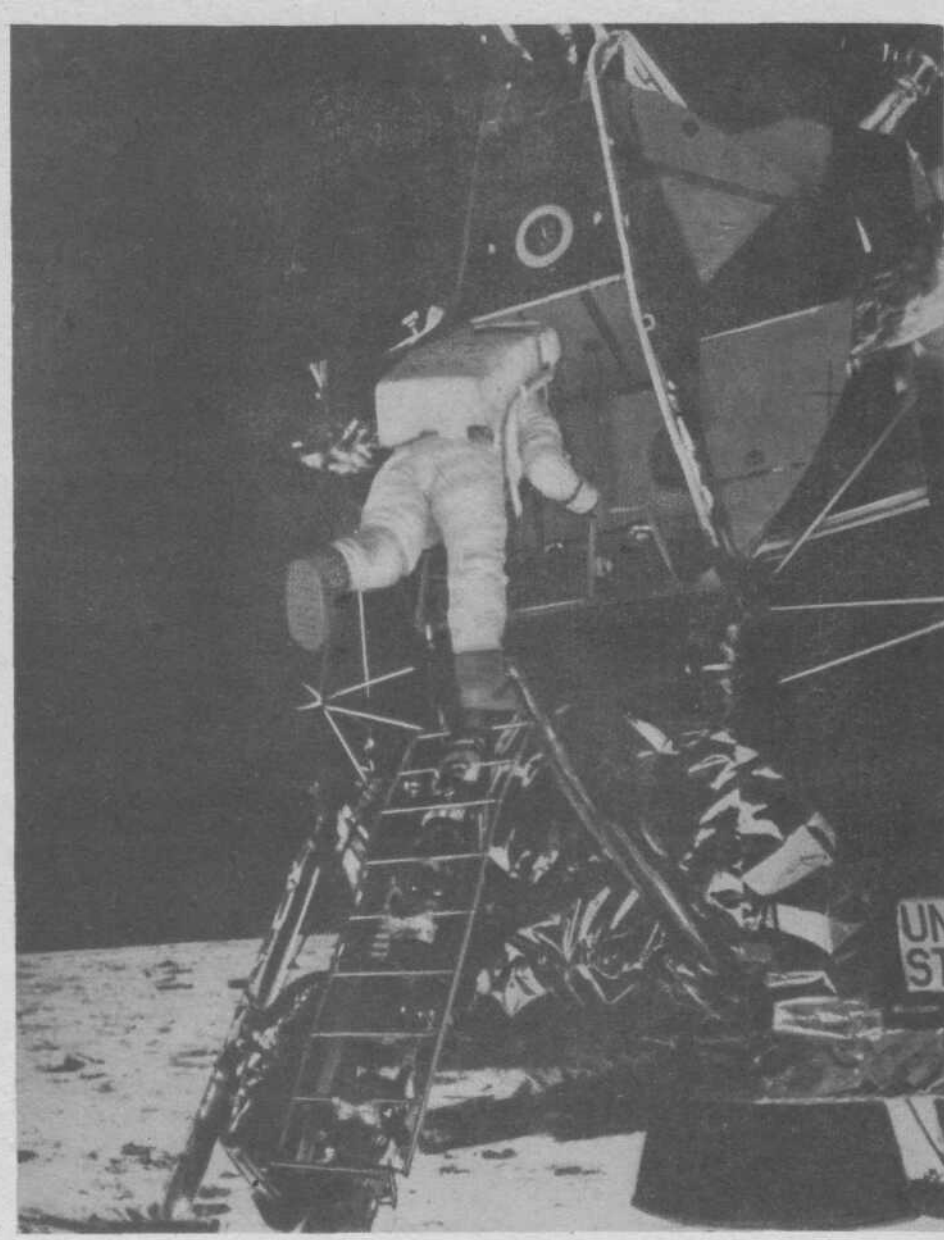

Рис. 82. Экипаж «Аполлона-11» на Луне

другая более скромных размеров должна быть установлена на борту искусственного спутника с вытянутой орбитой. Таким образом, расстояние между антеннами (или, как принято говорить в радиоастрономии, «база») будет не только большим, но и переменным. Последнее обстоятельство особенно важно, так как оно в принципе позволяет определить угловые размеры и даже форму источника. Мы довольно подробно остановились на этой актуальной проблеме современной радиоастрономии еще и потому, что в будущем она может иметь серьезное значение для

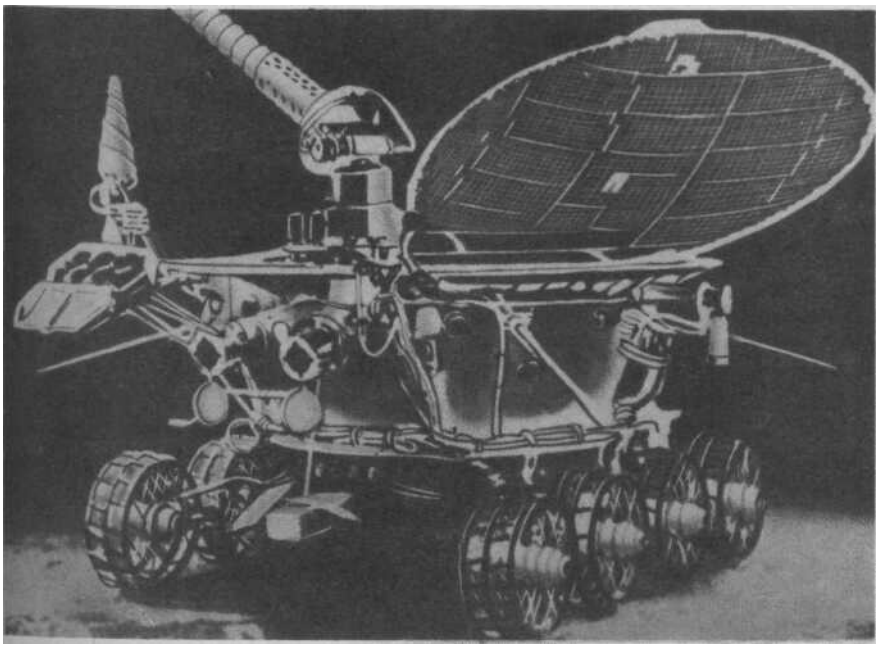

Рис. 83. «Луноход-1»

нашей основной проблемы — обнаружения удаленных цивилизаций и установления контакта с ними. В 1979 г. на пилотируемом космическом корабле «Салют» был установлен и впервые испытан космический радиотелескоп с диаметром зеркала 10 м. Схема компоновки орбитальной станции «Салют-6» с установленным на ней космическим радиотелескопом КРТ-10 приведена на рис. 84.

Вернемся теперь к Луне как вероятной платформе для большой современной автоматической обсерватории. Если для радиоинтерференционных наблюдений наш естественный спутник не совсем удобен (так как база такого интерферометра меняется лишь в незначительных пределах), то для такой очень важной области современной науки, как рентгеновская астрономия, Луна, по-видимому, является весьма удобной платформой.

Помимо чисто астрономических наблюдений на такой обсерватории могут проводиться и специфические «селено-физические» наблюдения, например, сейсмические, метеорные, корпускулярные и многие другие. Таким образом, есть круг научных проблем, который должен решаться на стационарной лунной обсерватории, в то время как другие проблемы целесообразно решать на специализированных спутниках.

Необходимо подчеркнуть, что речь идет о совершенно реальных, ближайших задачах науки, которые будут решаться в восьмидесятых годах нашего столетия.

Однако начавшееся исследование околоземного космического пространства и Луны - это лишь первый шаг в освоении человечеством Солнечной системы. И уже сейчас мы являемся свидетелями следующего этапа. Речь идет о впечатляющих полетах советских и американских автоматических космических станций на Венеру, Марс и в самое последнее время к Юпитеру, Сатурну и Урану. В гл. 16 и 17 мы уже использовали основные научные результаты, полученные во время этих выдающихся полетов. Стоит еще раз остановиться на двух выдающихся достижениях космонавтики. Речь идет о мягкой посадке космических аппаратов на поверхности Венеры и Марса. Эти великолепные достижения имеют принципиальное значение: ведь впервые со времени существования Солнечной системы предметы

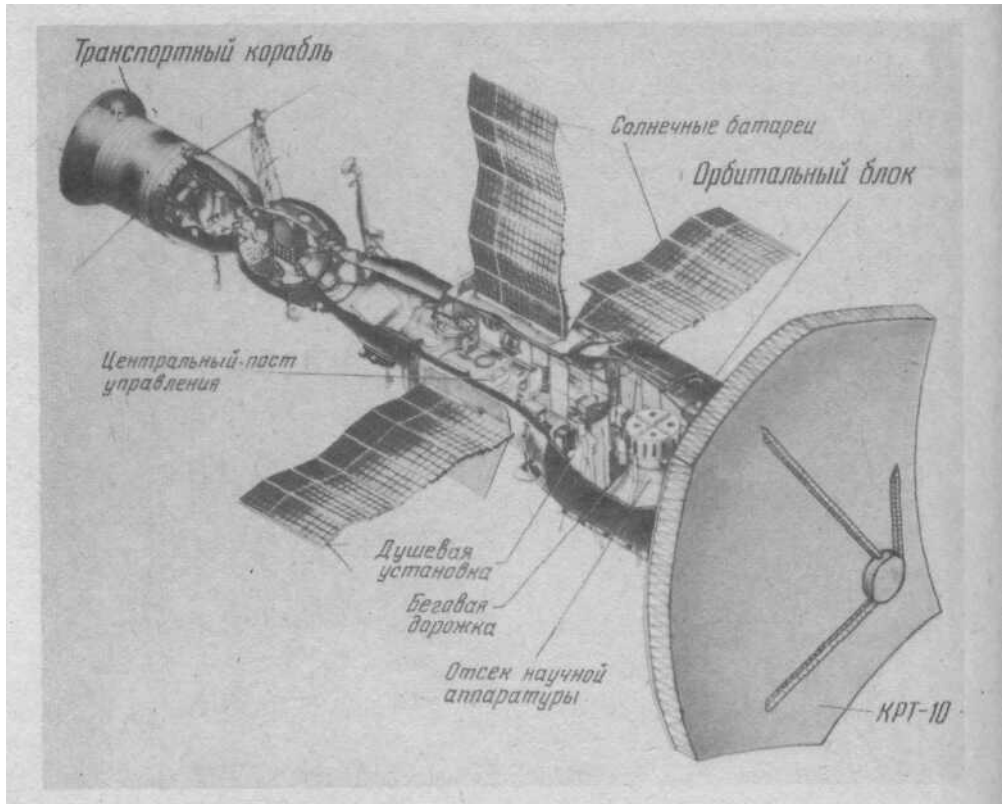

Рис. 84. Космический радиотелескоп КРТ-10 на станции «Салют-6»

с одной планеты переместились на другие! Но здесь речь идет не просто о предметах — эти совершенные создания человеческого разума волею людей как бы изменили генеральный план Солнечной системы. Пока — ничтожно мало, но, как говорится, «лиха беда начало»... Для посадки на Венеру советским посадочным аппаратам пришлось преодолеть серьезные трудности, связанные с огромным давлением на поверхности этой планеты, а также с весьма высокой температурой. Была получена бесценная информация о температуре, давлении, химическом составе атмосферы, сведения об облаках и химическом составе поверхности, получены ее фотографии. Посадочный аппарат на Венере не может долго работать. На Марсе же такой аппарат сохраняет свою активность в течение длительного времени. Американские посадочные аппараты «Викинг-1» и «Викинг-2» несколько лет передавали с Марса изображения мест посадки и метеорологические данные.

Заметим, что до космической эры астрономы понятия не имели о том, как выглядит поверхность Марса. Даже лучшие фотографии планеты не могли разрешить детали поверхности, размеры которых меньше нескольких сотен километров. Только полет «Маринера-4» выявил наличие на поверхности Марса кратеров (см. рис. 63).

Еще в 1962 г. мы предложили исследовать спутники Марса путем их фотографирования с борта автоматической станции, вышедшей на орбиту вокруг Марса. Следует подчеркнуть, что такое фотографирование есть задача далеко не простая. Требуется высокая точность наведения автоматической станции на цель и безупречная работа всех систем. В частности, должна быть обеспечена автоматическая наводка фотографической камеры на спутники.

Эта задача была решена американской автоматической станцией «Маринер-9» в самом конце 1971 г. Фотография, приведенная на рис. 85, дает изображение Фобоса, полученное с расстояния 5540 км. Этот спутник представляет собой огромную каменистую глыбу, наибольший размер которой достигает 21 км. В общем, он имеет овалоидную форму, но поверхность его сильно разрушена. Вверху слева край Фобоса имеет явно «поврежденный» вид: значительный его кусок, по-видимому, откололся в далеком прошлом, когда произошло какое-то сильное столкновение с другим космическим телом.

Вообще поверхность Фобоса вся изрыта кратерами — следами столкновений с какими-то космическими телами, скорее всего — астероидами. На другом снимке,

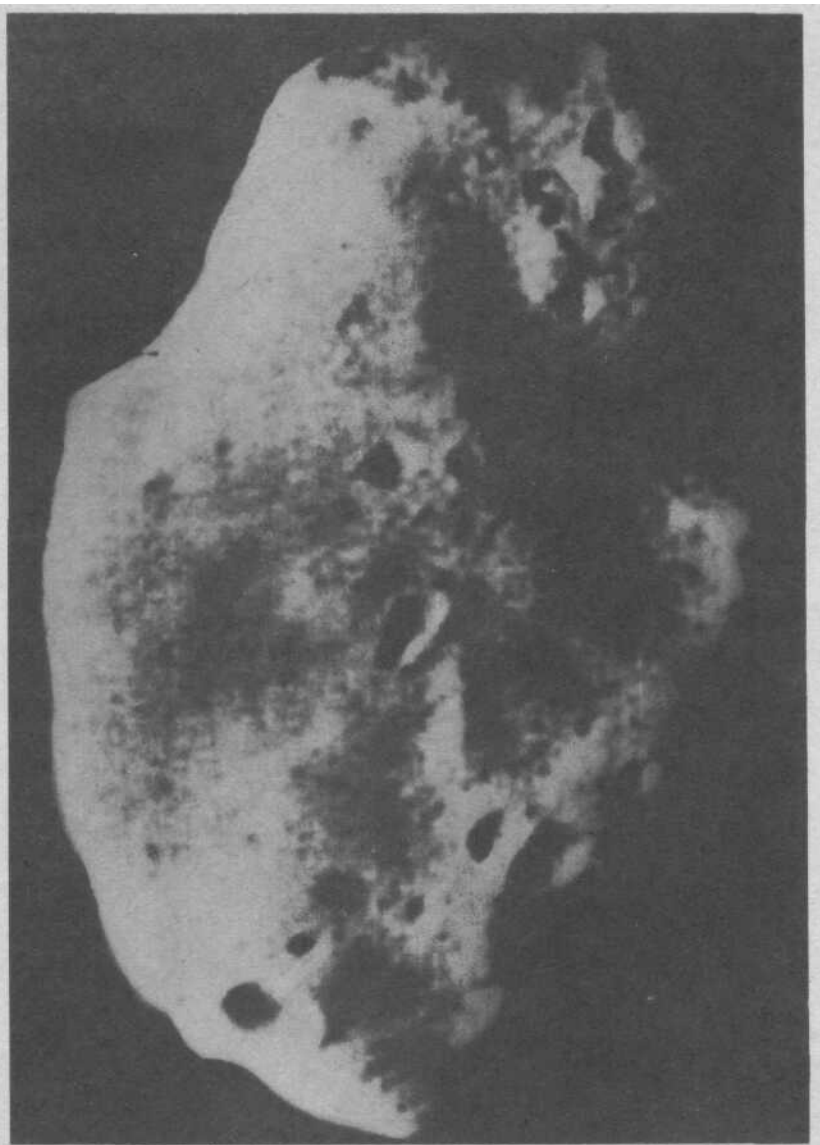

Рис. 85. Фотография Фобоса, полученная АМС «Маринер-9»

Рис. 86. Фотография Деймоса, полученная АМС «Маринер-9»

снятом при изменившихся условиях освещенности Фобоса Солнцем, вверху виден огромный кратер с диаметром около 7 км, что составляет примерно одну треть размеров спутника. Этот кратер, скорее всего, образовался при столкновении Фобоса с небольшим астероидом. На обеих фотографиях обращает на себя внимание большая нерегулярность линии терминатора, отделяющей освещенную часть спутника от неосвещенной. Это говорит о большой «изрытости» поверхности. Полученная на «Маринере-9» фотография другого спутника Марса — Деймоса, приведена на рис. 86. На этом снимке вблизи терминатора хорошо видны два довольно больших кратера поперечником около 1,5 км.

Деймос также имеет овалоидную форму с размерами 12 х 13,5 км. Размеры спутников Марса оказались приблизительно в 1,5 раза больше, чем это принималось раньше. Это объясняется тем, что отражательная способность их поверхностей значительно меньше, чем у Марса, и близка к отражательной способности Луны.

Несомненно, что спутники Марса очень стары, скорее всего, их возраст близок к возрасту Марса и вообще всей Солнечной системы. Это следует из структуры их поверхности, носящей следы интенсивных бомбардировок большим количеством метеоритов. Такая плотность метеоритного вещества могла быть только на ранних этапах эволюции Солнечной системы. Пока еще не ясно, как в процессе эволюции орбиты спутников Марса стали почти круговыми, лежащими почти точно в экваториальной плоскости Марса. Может быть, такие орбиты есть результат воздействия приливов?

В дополнение к двум естественным спутникам сейчас вокруг красной планеты обращаются несколько искусственных спутников. Они, конечно, маленькие и вряд ли окажутся долговечными — из-за возмущения Солнца они в конце концов врежутся в поверхность Марса. Но что будет через несколько десятилетий? Несомненно, количество и размеры земных искусственных спутников, обращающихся вокруг

Марса, станут больше. Кто знает — не будут ли сооружены автоматические обсерватории на Фобосе или Деймосе? Сооружение таких обсерваторий имело бы, в частности, серьезное значение для систематической службы Солнца.

В главе 16 уже шла речь о замечательном полете американской автоматической межпланетной станции «Пионер-10». Весьма примечательно, что после выполнения программы наблюдения Юпитера «Пионер-10» покинет пределы Солнечной системы и навсегда уйдет в глубину межзвездного пространства. Это произойдет из-за возмущения его движения вокруг Солнца притяжением Юпитера. Ему выпадет редкая доля — блуждать в невообразимо огромных просгранствах Галактики многие миллиарды лет. Вероятность его столкновений с каким-либо космическим гелом заметной массы, например, с астероидом, невообразимо мала. Непрерывная бомбардировка его поверхности межзвездными атомами водорода через миллиарды лет приведет к образованию на его поверхности своеобразной «окалины». Но общий вид творения рук человеческих не изменится сколько-нибудь существенным образом. Полет «Пионера-10» — это первый прорыв человечества в Галактику.

Есть, конечно, ничтожная, невообразимо малая вероятность того, что когда-нибудь, через многие миллионы лет, неведомые нам высоко цивилизованные инопланетные существа обнаружат «Пионер-10» и встретят его как посланца чужого, неведомого им, мира... На этот случай внутри «Пионера-10» заложена стальная пластинка с выгравированными на ней рисунком и символами, которые дают минимальную информацию о нашей земной цивилизации (рис. 87). Что же там изображено? Прежде всего, вполне реалистическое изображение представителей человеческой расы. Вверху слева два кружочка символизируют протон и электрон, образующие атом водорода. Горизонтальная линия между ними символизирует знаменитую водородную линию 21 см, одновременно являющуюся масштабом

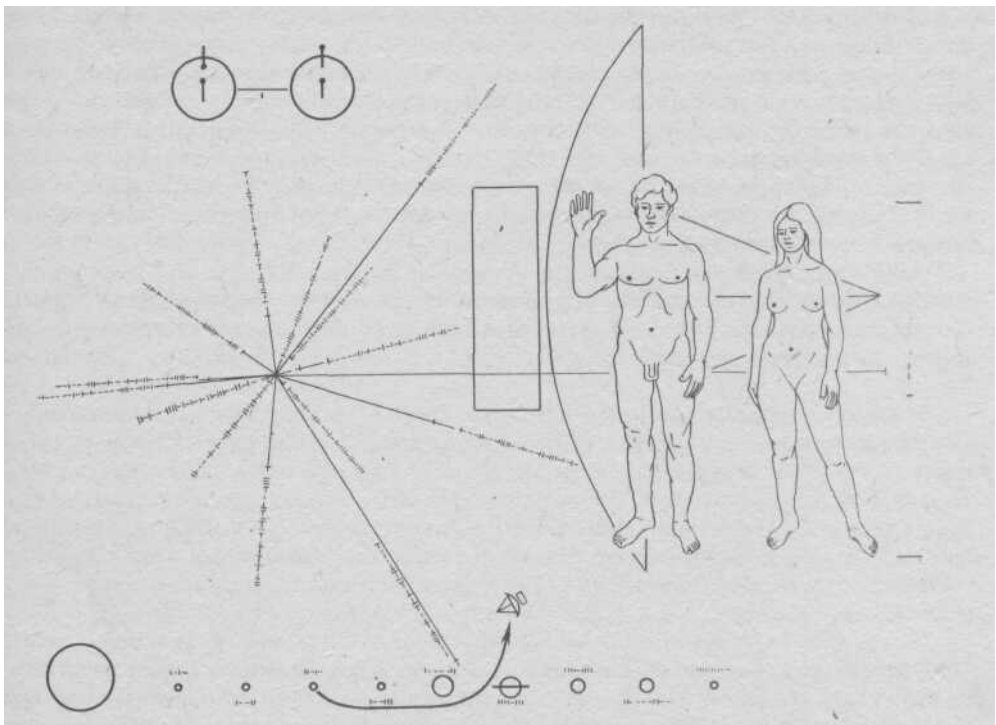

Рис. 87. Стальная пластинка с рисунками и символами станции «Пионер-10»

длины и времени. Отсюда, сравнивая эту метку с размерами изображения человеческих существ, разумные «внеземляне» получат представление о росте людей. Легко убедиться, что рост мужчины около 180 см, женщины — 164 см...

Внизу дана схема нашей Солнечной системы, откуда была послана пластинка. Большой кружок слева символизирует Солнце. Справа от него в одну линию выстроились 9 планет. Они расположены в порядке растущих расстояний от Солнца. Последние выражены над и под символами соответствующих планет в двоичной системе, причем единицей длины является длина волны линии 21 см. От третьей по порядку удаленности от Солнца планеты (Земли) линия идет к шестой (Юпитеру) и кончается стрелкой, над которой схематически представлено изображение автоматической межзвездной станции «Пионер-10». В большем масштабе это схематическое изображение выгравировано за .человеческими фигурами. Заметим, кстати, что конструктивно «Пионер-10» выполнен очень просто: он представляет собой параболическую антенну, сзади которой находится коробка. Особенно любопытна звездообразная фигура в левой части рисунка. Она должна помочь «инопланетчикам» найти то место в Галактике, откуда была запущена межпланетная станция, и время запуска. Каждый луч дает направление от Солнца на пульсар, причем длина луча пропорциональна расстоянию между Солнцем и пульсаром. Периоды соответствующих пульсаров выражены в двоичной системе на каждом отрезке. Они выражены в принятых «натуральных» единицах через частоту, соответствующую линии 21 см (1420 МГц). Самый длинный горизонтальный луч дает расстояние от Солнца до центра Галактики.

Надо ясно понимать, что двигаясь по отношению к ближайшим звездам со скоростью 10—20 км/с, «Пионер-10» достигнет ближайших звезд только через сотни тысяч лет. А за миллионы и десятки миллионов лет периоды пульсаров сильно изменятся — ведь они непрерывно увеличиваются, причем по-разному для разных пульсаров (см. гл. 5). Кроме того, за это время их положение по отношению к Солнцу также изменится. «Инопланетчикам» придется решать не простую задачу: в каком месте Галактики и когда реализовалась ситуация, схематически представленная в виде звезды в левой части рис. 87. Но ведь они, наверное, очень умные, знают все пульсары в Галактике наперечет (а их должно быть больше 100000) и знают, по какому закону меняется каждый период...

Страшновато, правда, подумать, что через многие миллиарды лет, когда, может быть, эта пластинка будет изучаться инопланетными разумными существами, земной цивилизации уже, вероятно, не будет. Ну, что же — космическая археология — тоже наука...

Если же говорить серьезно, то для инопланетной цивилизации (если она, конечно, есть) несравненно более вероятно высадиться на Землю, чем найти ее ничтожно малый «осколок» — «Пионер-10».

20. Радиосвязь между цивилизациями, находящимися на различных планетных системах

В первой части книги были приведены достаточно серьезные аргументы в пользу утверждения, что в Галактике может быть по крайней мере несколько сот миллионов планетных систем. Если считать, что при выполнении самых общих условий, обсуждавшихся в гл. 11, на планетах возникает жизнь, число обитаемых миров в Галактике должно быть такого же порядка. На некоторых планетах развитие жизни могло зайти так далеко, что появились разумные существа, которые создали цивилизации, вооруженные всеми достижениями науки и техники.

Мы, однако, должны повторить замечание, которое уже сделали в гл. 14. Ниоткуда не следует, что в итоге миллиардов лет развития жизни на какой-нибудь планете там с необходимостью должны появиться разумные, овладевшие наукой и техникой, существа. Стать на противоположную точку зрения — значит в действительности считать, что конечной целью образования звезд и планет является возникновение мыслящих существ. Такая точка зрения нам представляется идеалистической. Разумная жизнь на какой-нибудь планете может возникнуть на определенном этапе ее развития, но может и не возникнуть. Не следует забывать, что миллиарды лет Земля существовала без разумных существ и только ничтожный срок, порядка миллиона лет, ее населяют люди. Повторяем, ниоткуда не следует, что появление разумных существ на нашей планете есть закономерный результат и итог развития жизни на ней. С другой стороны, возникновение разумной жизни где-нибудь во Вселенной, на некотором, пусть небольшом, количестве планет, обращающихся вокруг своих солнц, по-видимому, есть процесс закономерный.

Трудность проблемы состоит в том, что мы сейчас совершенно ничего не можем сказать, какова вероятность того, что на какой-нибудь планете, где уже возникла жизнь, она когда-нибудь станет разумной. Эта вероятность в самом «оптимистическом» случае может быть близка к единице, но она может быть и очень малой — например, одной миллионной и даже одной миллиардной. Эта проблема была предметом весьма оживленной дискуссии на Бюраканском симпозиуме. Участники дискуссии блистали остроумием, тонкостью и глубиной анализа. К сожалению, это не приблизило нас к пониманию удивительнейшего феномена: каким образом возникшая на планете жизнь становится разумной? В самом «пессимистическом» варианте Земля есть единственная колыбель разумной жизни в Галактике, причем эта разумная жизнь возникла «только что» (разумеется, в космических масштабах времени).

Более естественно, однако, предположить (это предположение, конечно, не доказано), что в Галактике имеется некоторое, хотя бы даже и небольшое, количество цивилизаций, существенно продвинувшихся вперед по пути технического и научного прогресса. В таком случае возникает интересный вопрос: можно ли и каким образом установить между ними связь? Не лриходится доказывать огромное значение этого вопроса. Трудно даже представить, какой импульс получило бы человеческое общество в своем развитии, если бы удалось установить связь с какой-нибудь инопланетной цивилизацией, существенно обогнавшей нас по пути научного и технического прогресса.

Вопрос о возможностях связи с другими мирами впервые анализировался Коккони и Моррисоном в 1959 г. Они пришли к выводу, что наиболее естественный и практически осуществимый канал связи между двумя какими-нибудь цивилизациями, разделенными межзвездными расстояниями, может быть установлен с по-

мощью электромагнитных волн. Очевидное преимущество такого типа связи — распространение сигнала с максимально возможной в природе скоростью, равной скорости распространения электромагнитных волн, и концентрация энергии в пределах сравнительно небольших телесных углов без сколько-нибудь значительного рассеяния.

Требование, чтобы электромагнитные волны не испытывали заметного поглощения при распространении как в межзвездной среде, так и в атмосферах планет, сразу же ограничивает возможный диапазон длин волн. Прежде всего, длина волны, на которой осуществляется межзвездная связь, не должна быть слишком большой. В противном случае излучение будет поглощаться межзвездной средой. Коккони и Моррисон считали, что предельная длина волны должна быть около 300 м, что соответствует частоте 1 МГц. Однако такое длинноволновое излучение не будет проходить через атмосферы планет. Оно поглотится в верхних слоях их атмосфер, где газ должен быть частично ионизован. Не приходится сомневаться, что все планеты должны иметь ионосферы. Через такие ионосферы беспрепятственно будет проходить только излучение, длина волны которого меньше 10—15 м. Ограничение со стороны коротких волн обусловлено поглощением, которое вызывается различными молекулами, входящими в состав планетных атмосфер. Уже начиная с длины волны 3 см электромагнитные волны могут поглощаться молекулами водяных паров.

Таким образом, согласно Коккони и Моррисону межзвездная связь может в принципе осуществляться только на волнах короче 300 м и длиннее 3 см. Учет поглощения в планетных атмосферах снижает верхнюю границу этого интервала длин волн до 10—15 м. Необходимо, однако, отметить, что если приемная и передающая аппаратура для межзвездной связи будет вынесена за пределы планетных атмосфер (например, помещена на искусственных спутниках), то диапазон частот, на которых возможно осуществление межзвездной связи, будет значительно расширен.

Следует отметить, что условия распространения электромагнитных волн в межзвездной среде и в планетных атмосферах не являются единственным обстоятельством, определяющим возможные значения длин волн, на которых может осуществляться межзвездная связь. Не меньшее значение имеет уровень помех. Ведь из-за огромных расстояний, разделяющих инопланетные цивилизации, мощности принимаемых сигналов должны быть очень малы. Но сама Вселенная по причинам естественного порядка излучает в той или иной степени на всех диапазонах волн. Если говорить о радиодиапазоне (который, собственно говоря, только и рассматривался Коккони и Моррисоном), то радиоизлучение Галактики и Метагалактики является серьезной помехой для обнаружения слабых сигналов искусственного происхождения. Космическое радиоизлучение имеет непрерывный спектр, причем интенсивность его, рассчитанная на единичный интервал частот, растет с уменьшением частоты.

К числу помех для межзвездной радиосвязи следует отнести также тепловое радиоизлучение планетных атмосфер. Оно особенно существенно на волнах сантиметрового, миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Наконец, на высоких частотах основными помехами являются квантовые шумы, неизбежные даже для идеальных приемников излучения. Эти шумы есть следствие дискретной «фотонной» природы потоков излучения; их «температурным эквивалентом» является величина $h\nu/k$, где h — постоянная Планка, k — постоянная Больцмана, ν — частота. На рис. 88 приведена зависимость «температуры шумов» от частоты (пунктирная кривая). Сплошная кривая — шумы, обусловленные излучением молекул атмосферы. Из этого рисунка видно, что минимальный уровень помех (с учетом излучения атмосферы) имеет место для интервала частот 10^3—10^4 МГц, что соответствует интервалу длин волн 30—3 см.

Теперь представим себе, что на какой-нибудь планете, обращающейся вокруг некоторой звезды, имеется высокоразвитая цивилизация, которая желает известить о своем существовании. Для этого она посылает в некотором направлении (например, в направлении на звезду, около которой можно ожидать наличие разумной жизни) радиосигнал. Сразу же эта цивилизация столкнется с такой трудностью: звезда, вокруг которой обращается планета — обитель разумной жизни, является довольно мощным источником радиоизлучения, спектр которого непрерывен. Чтобы искусственный сигнал не «потонул» в радиоизлучении этой звезды, необходимо, чтобы его мощность была по крайней мере сравнима с мощностью радиоизлучения звезды в соответствующем диапазоне.

Будем считать, что звезда излучает в радиодиапазоне, подобно нашему Солнцу, когда на нем нет пятен (так называемое «радиоизлучение спокойного Солнца»). Для определенности будем рассматривать волну 10 см. Известно, что на этой волне спокойное Солнце излучает как нагретое тело с температурой поверхности около

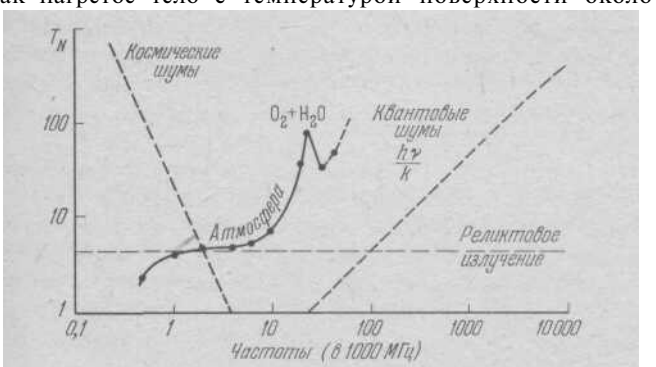

Рис. 88. Спектр шумов в радиодиапазоне

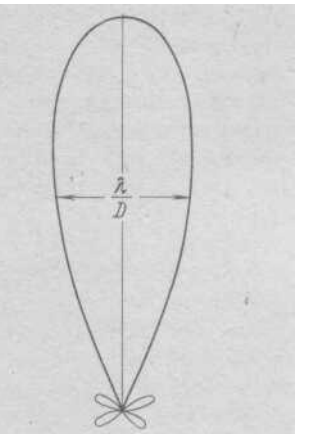

Рис. 89. Диаграмма направленности антенны (схема)

50 тыс. К. Мощность радиоизлучения Солнца $W_\odot$, рассчитанную на единичный интервал частот, можно определить, если воспользоваться формулой Рэлея — Джинса

$$W_\odot = \frac{2\pi k T_b}{\lambda^2} 4\pi R_\odot^2,$$

где λ=10 см — длина волны; k = 1,38 · 10 $^{-16}$ эрг/град — постоянная Больцмана; $R_\odot$ = 7 · 10^{10} см — радиус Солнца; T_b = 50 тыс. К — яркостная температура спокойного Солнца на волне 10 см. Выполнив вычисления, получим

$$W_\odot = 2{,}6 \cdot 10^{10} \text{ эрг/(с} \cdot \text{Гц)} = 2{,}6 \cdot 10^3 \text{ Вт/Гц}.$$

Следует иметь в виду, что Солнце излучает на всех частотах, поэтому полная мощность радиоизлучения спокойного Солнца очень велика, порядка десятков миллиардов киловатт. Но искусственный сигнал может иметь очень узкую спектральную полосу, например несколько тысяч или даже несколько сотен герц. Кроме того, Солнце излучает одинаково по всем направлениям, в то время как, пользуясь достаточно большой антенной, можно почти всю мощность искусственного сигнала сосредоточить в пределах узкого конуса, угол раствора которого близок к $\frac{\lambda}{D}$ (λ - длина волны, D — диаметр зеркала антенны). Этот конус определяет «главный лепесток» антенны (рис. 89). Если, например, пользоваться антенной диаметром 300 м (такие антенны у радиоастрономов имеются), то на волне 10 см обусло-

вленный направленным действием антенны «выигрыш» будет равен

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2},$$

где A — эффективная площадь антенны, близкая к ее геометрической площади. В нашем случае $G \approx 10^8$. Это означает, что в направлении, перпендикулярном к поверхности зеркала, антенна излучает в 100 млн раз больше, чем Солнце, при условии, что полная мощность, излучаемая ею по всем направлениям, такая же, как у Солнца.

Следовательно, даже если мощность передатчика будет всего лишь около 10^{-5} Вт/Гц, сигнал от него в направлении главного лепестка будет примерно такой же, как от Солнца.

Таким образом, собственное радиоизлучение звезд, около которых находятся высокоразвитые цивилизации, практически не может быть помехой для межзвездной радиосвязи. Гораздо более существенной помехой является фон космического радиоизлучения, из которого должен быть выделен сигнал искусственного происхождения. Величина последнего в радиоастрономии определяется так называемой антенной температурой T_A:

$$T_A = \frac{1}{k}\frac{W}{R^2}\frac{\pi^2}{16}\frac{d_1^2 d_2^2}{\lambda^2},$$

где d_1 — диаметр приемной антенны, d_2 — диамегр передающей антенны, R — расстояние до передатчика, W— мощность передатчика, рассчитанная на 1 Гц. С другой стороны, разумно наложить условие, чтобы антенная температура, создаваемая искусственным источником радиоизлучения, была не меньше яркостной температуры неба на соответствующей частоте T_b. Теперь мы можем сформулировать «условие обнаружимости» сигнала

$$T_A \geqslant T_b.$$

Следует, однако, отметить, что в ряде случаев «полезный сигнал» может быть обнаружен и тогда, когда $T_A < T_b$, например $T_A = 0{,}1T_b$. Однако мы сейчас будем пользоваться критерием $T_A \geqslant T_b$.

Полагая $d_1 = d_2 = 100$ м, $W = 100$ Вт/Гц, $\lambda = 10$ см, из условия $T_A = T_b$ найдем, ч т $R \approx 10^{19}$, т. е. около 10 световых лет; это соответствует расстоянию до ближайших звезд. Тем самым доказано, что уровень современной земной радиотехники вполне позволяет осуществить радиосвязь на межзвездных расстояниях.

Этот удивительный результат стоит как-то осмыслить. На памяти старшего поколения наших современников произошло установление трансатлантической радиосвязи. В 1945 г. впервые посланный на Луну сигнал, отразившись от нее, был принят на Земле. Через 14 лет, в 1959 г. была осуществлена радиолокация Венеры. Это значительно более трудная задача, чем радиолокация Луны, потому что, как известно, мощность радиолокационного передатчика должна быть пропорциональна четвертой степени расстояния до цели.

В 1961 г. советская космическая ракета стартовала в сторону Венеры, причем на некотором участке ее траектории с ней поддерживалась радиосвязь. В настоящее время можно уже говорить о вполне уверенной и надежной радиосвязи с космическимиракетамин арасстояниисвышемиллиардакилометров(вспомним« П и о н

При этом следует иметь в виду, что бортовая радиоаппаратура, установленная на космических ракетах, по ряду причин должна быть малогабаритной и маломощной. Между тем при осуществлении связи на межзвездных расстояниях будут использоваться самые большие из существующих стационарных радиотелескопов. На рис. 90, а также 91 и 92 приведены фотографии некоторых таких антенн. Пока рекордной является гигантская антенна (диаметр зеркала 300 м), построенная

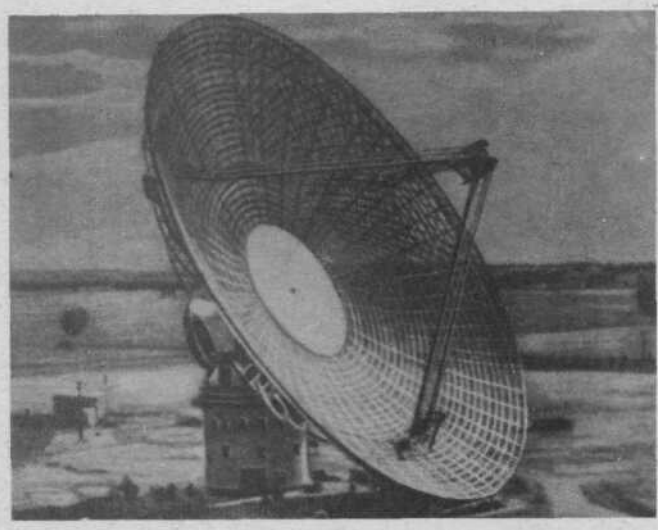

Рис. 90. Большой австралийский радиотелескоп (диаметр зеркала 64 м)

Рис. 91. Серпуховский радиотелескоп Физического института Академии наук СССР (диаметр зеркала 22 м)

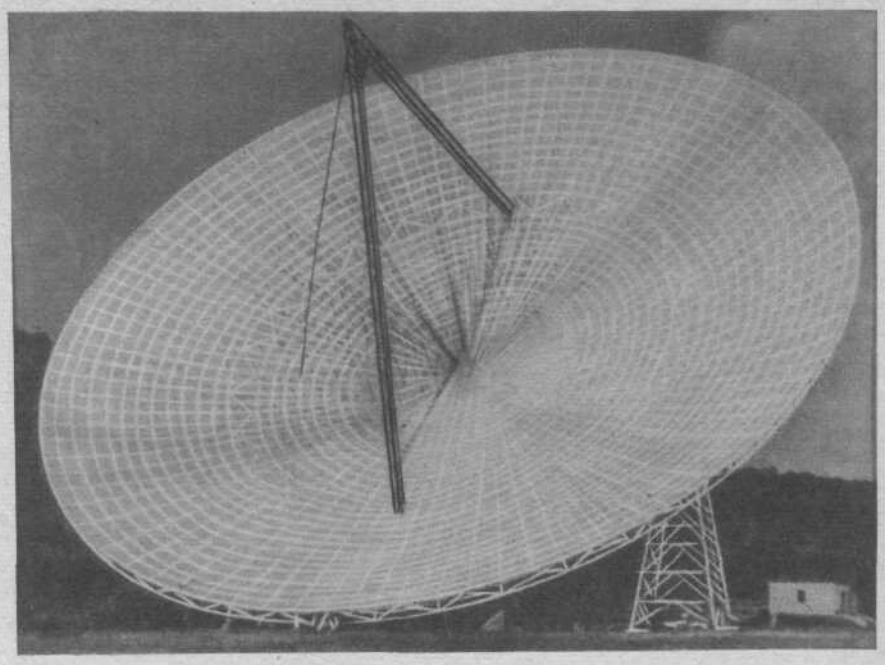

Рис. 92. Полуподвижной радиотелескоп США (диаметр зеркала 94 м)

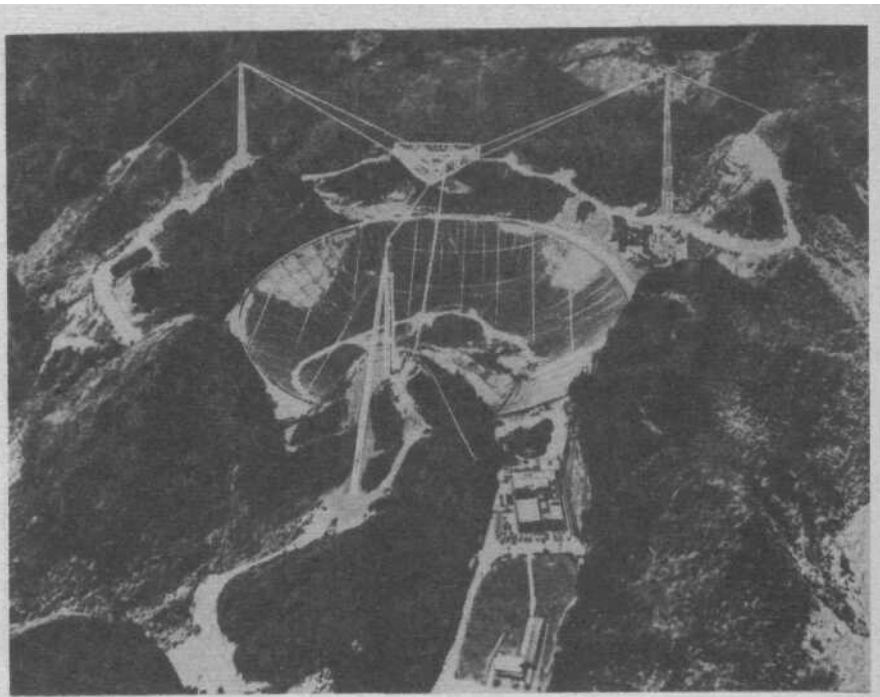

Рис. 93. Общий вид гигантского радиотелескопа в Пуэрто-Рико (диаметр зеркала 300 м)

в Пуэрто-Рико (рис. 93). Наряду с ростом размеров антенн в последние годы резко увеличилась чувствительность приемной аппаратуры на сантиметровом и дециметровом диапазонах. Это достигнуто благодаря широкому применению квантовых усилителей — «мазеров». Такая аппаратура в сочетании с огромными, достаточно точно изготовленными антеннами позволяет обнаружить сигнал от «точечного» источника (каков, в частности, искусственный сигнал космического происхождения) даже если T_A значительно меньше T_b.

Рассмотрим этот вопрос более подробно. Если антенна в сочетании с приемником принимает сигнал от источника строго постоянной интенсивности, то, как оказывается, показания измерительного прибора, стоящего на выходе приемника (например осциллографа), не будут постоянны. По ряду причин одно независимое показание прибора будет более или менее значительно отличаться от другого. Эти флуктуации показаний прибора можно уменьшить, но полностью устранить их нельзя, так как они являются неизбежным следствием основных принципов работы приемника.

На рис. 94 приведена типичная запись регистрирующего прибора, показывающая такие флуктуации. Существует формула, дающая «среднее квадратичное» значение таких флуктуации в зависимости от некоторых характеристик приемника. Эта формула имеет вид

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{\sqrt{\tau \Delta f}},$$

где Г — измеряемая «температура шумов» (пропорциональная «поглощенной» антенной мощности космического радиоизлучения плюс мощности шумов, возникающих в приемной аппаратуре), ΔT — флуктуации измеряемой «шумовой» температуры, о которых речь шла выше, т — время, в течение которого регистрирующий прибор на выходе приемника (осциллограф) «накапливает» поступающую в него после детектирования мощность, Δf — ширина полосы частот, усиливаемых приемником («ширина полосы пропускания приемника»).

Условие обнаружения какого-нибудь слабого сигнала состоит в том, что антенная температура, обусловленная этим сигналом, должна быть не меньше, чем флуктуации ΔT. Запишем это условие:

$$T_A \geqslant \Delta T = \frac{T}{\sqrt{\tau \Delta f}}.$$

Для волн сантиметрового диапазона яркостная температура неба около 10 К. Между тем температура собственных шумов современных приемников на этом диапазоне может быть $50-100\,^\circ\mathrm{C}$ (если пользоваться квантовыми усилителями). Поэтому уровень, вокруг которого происходят флуктуации, определяется только шумами аппаратуры и «шумовую» температуру в написанных выше формулах можно положить равной $T = 50\,^\circ\mathrm{C}$. Теперь перепишем наше неравенство:

$$\frac{1}{k}\frac{W}{R^2}\frac{\pi^2}{16}\frac{d_1^2 d_2^2}{\lambda^2} \geqslant T(\tau \Delta f)^{-1/2},$$

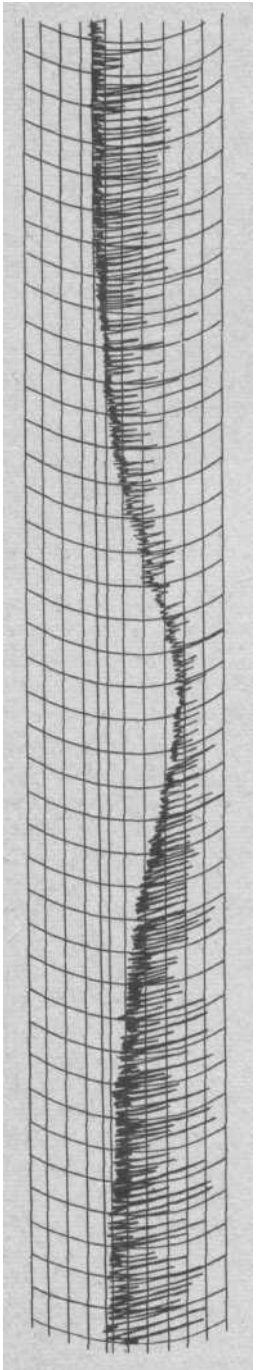

Рис. 94. Типичная запись космического радиоизлучения

откуда

$$R \leqslant \frac{W^{1/2}}{k^{1/2}} \frac{\pi}{4} \frac{d_1 d_2}{\lambda} \frac{(\tau \Delta f)^{1/4}}{T^{1/2}}.$$

Последняя формула позволяет определить дальность межзвездной радиосвязи в зависимости от мощности передатчика, размеров передающих антенн и характеристик приемника. Пусть $d_1 = d_2 = 100$ м, $\tau = 100$ с, $\Delta f = 10^4$ Гц. Какой должна быть мощность передатчика, чтобы осуществить связь на расстоянии 10 пк или 30 световых лет? Из нашей формулы после несложных вычислений следует, что необходимая мощность передатчика должна быть равна 10 кВт — величина с точки зрения современной радиотехники очень скромная. По астрономическим понятиям эта мощность совершенно ничтожна. Например, мощность радиоизлучения спокойного Солнца на дециметровом диапазоне порядка 10^9 кВт. Между тем нет никакой надежды обнаружить его излучение с расстояния ближайшей звезды. Это объясняется тем, что Солнце излучает одинаково сильно по всем направлениям (изотропно) и в широкой спектральной области, тогда как пучок радиоволн искусственного происхождения достаточно узок и монохроматичен.

Выше было показано, что наиболее целесообразно осуществлять межзвездную радиосвязь на частотах в интервале 1 — 10 тыс. МГц. Однако этот интервал все-таки очень широк, и при узкой полосе частот сигнала последний почти невозможно будет обнаружить, если заранее не знать его частоту более точно. Коккони и Моррисон предложили очень изящную идею, указав частоту, на которой искусственные сигналы следует искать в первую очередь. Дело в том, что сама природа дает стандартный эталон частоты, который находится в интересующем нас диапазоне. Речь идет о частоте радиолинии водорода 21 см (см. гл. 3). Эта частота равна 1420 МГц. Можно не сомневаться, что высокоорганизованная цивилизация на определенном (довольно раннем) этапе своего развития должна открыть эту линию в спектре космического радиоизлучения. Исследования Вселенной на волне 21 см являются мощнейшим методом познания ее природы. Именно на этой волне следует ожидать наличия самой чувствительной и совершенной аппаратуры. Кроме того, водород — самый распространенный элемент во Вселенной, а частота 1420 МГц как бы его «основная частота». Логически неизбежен вывод, что язык самой природы должен быть понятен и универсален для всех разумных существ Вселенной, как бы сильно они ни отличались друг от друга. Законы природы объективны и поэтому одинаковы для всех разумных существ. В этом глубокая материалистическая сущность блестящей идеи Коккони и Моррисона.

Нельзя однако, исключить, что частота сигнала будет равна некоторому целому кратному от основной «водородной» частоты. Дело в том, что фон неба на волне 21 см все-таки довольно высок. Ведь на этой волне излучают межзвездные атомы водорода. В направлениях, составляющих сравнительно небольшой угол с галактической плоскостью, яркостная температура неба может достигать 50 и даже 100°С. Между тем на удвоенной частоте 2840 МГц фон неба меньше 10 К. Кроме того, при связи на расстоянии свыше 3 тыс. световых лет (это для нас пока еще недоступно, но для высокоорганизованной цивилизации может быть вполне реальным) сигнал может сильно поглощаться межзвездными атомами водорода. (В том случае, когда сигнал распространяется под небольшим углом к галактической плоскости.)

<> Интересна идея Н. С. Кардашева, предложившего в качестве стандартной волны, на которой должна осуществляться межзвездная радиосвязь, использовать 1,5 мм. Оказывается, что именно в этом диапазоне из всего спектра электромагнитного излучения (от у излучения до длинных радиоволн) достигается наименьшее значение яркостной температуры неба. Эквивалентная температура космологического фонового излучения 2,7 К (— 270 °С) — основная компонента излу-

чения фона в диапазоне миллиметровых волн. Кроме того, в этом диапазоне находится знаменитая радиолиния сверхлегкого элемента позитрония — атома, образованного рекомбинацией электрона и позитрона. Эта линия и может служить выбранным природой стандартом частоты, около которой целесообразно проводить поиск искусственных радиосигналов. Миллиметровый диапазон — наиболее экономичный диапазон связи на сверхдальние расстояния. Оптимальность достигается при взаимной направленности передающей и принимающей антенн. Кроме того это та длина волны, на которую приходится максимум реликтового излучения (и минимум галактического радиоизлучения). Для огромной области Метагалактики, где красное смещение еще не слишком велико, эта длина волны действительно должна быть стандартной, поскольку реликтовое излучение как важнейший космический феномен должно быть объектом тщательных исследований всех технологических развитых цивилизаций во Вселенной <>.

Теперь мы должны перейти к следующему, довольно важному вопросу. Как распознать искусственную природу сигнала? Прежде всего, следует ожидать, что мощность такого сигнала должна регулярно меняться со временем. Другими словами, сигнал должен быть модулирован. Он может состоять, например, из регулярной последовательности сравнительно коротких импульсов, причем одна последовательность может быть отделена от другой более или менее значительным промежутком времени. Число импульсов в каждой последовательности может, например, изображать натуральный ряд чисел — понятие, по-видимому, общее для всех цивилизаций. В то же время длительность каждого импульса не должна быть слишком малой — иначе нельзя будет использовать при приеме таких сигналов достаточно большого «времени накопления» т, что нужно для увеличения дальности связи. Можно полагать, что длительность каждого импульса не меньше нескольких часов. Сигнал может содержать сколь угодно сложную информацию. Но на первых порах он, по-видимому, должен быть достаточно простым *). После того как сигнал будет принят (если, конечно, это случится), между цивилизациями будет установлена двусторонняя радиосвязь, и тогда можно начать обмен более сложной информацией. Конечно, не следует при этом забывать, что ответы могут быть получены не раньше, чем через несколько десятков или даже сотен лет... Однако исключительная важность и ценность таких переговоров безусловно должна компенсировать их медленность.

Даже если не удастся по тем или иным причинам установить регулярные изменения мощности сигналов со временем, их искусственный характер довольно скоро выявится при систематических наблюдениях. Дело в том, что лучевая скорость передатчика по отношению к приемнику будет периодически меняться вследствие обращения планеты, на которой находится передатчик, вокруг звезды. Из-за эффекта Доплера это приведет к периодическому изменению частоты сигнала. Орбитальные скорости планет должны быть порядка нескольких десятков километров в секунду. Поэтому амплитуда периодических изменений частоты может достигать сотни килогерц, что в десятки раз больше ширины полосы частот, в которой может находиться сигнал. Период таких изменений должен быть от нескольких месяцев до нескольких лет (вероятные значения периода обращения планеты вокруг звезды). Анализ такого сигнала сразу же позволит получить важную информацию о продолжительности года на далекой планете, посылающей сигнал.

Следует также ожидать периодических изменений частоты сигнала из-за суточного вращения планеты, на которой находится передатчик. Так как скорость вращения планеты вокруг своей оси, скорее всего, меньше ее орбитальной скорости, такие периодические изменения частоты должны иметь сравнительно небольшую амплитуду, не выходящую, например, за пределы полосы частот сигнала. Однако тща-

*) Более подробно о природе сигналов см. гл. 23.

тельные наблюдения смогут их выявить. Таким образом, станет известной другая важнейшая характеристика посылающей искусственный сигнал планеты — продолжительность суток на ней.

Дополнительный анализ сигналов позволит извлечь из них ряд других важных сведений о природе планеты. Так, например, после того, как удастся отождествить звезду, вокруг которой обращается планета, можно будет по ее спектральному классу довольно уверенно определить ее массу (ведь это же, скорее всего, звезда главной последовательности, см. гл. 2). Зная период обращения планеты (из наблюдений доплеровского смещения сигнала), при помощи третьего закона Кеплера можно найти расстояние между планетой и звездой. Тем самым можно будет сделать грубую оценку физических условий на планете, прежде всего средней температуры ее поверхности.

Зная скорость вращения планеты вокруг ее оси и продолжительность суток на ней, по измеренной амплитуде и периоду «суточных» изменений частоты сигнала можно, очевидно, определить радиус планеты. Более подробный анализ позволит даже определить широту того места планеты, где установлен передатчик, а также, возможно, и другие характеристики. И все эти сведения могут быть получены только из систематических тщательных наблюдений изменений частоты сигнала.

Хотя идея Коккони—Моррисона на первый взгляд кажется совершенно необычной и даже фантастической, приходится только удивляться тому, как быстро она стала реализоваться. В 1960 г. американский радиоастроном Дрэйк на Национальной радиоастрономической обсерватории в Грин Бэнк (Западная Виргиния) разработал специальную приемную аппаратуру для наблюдений искусственных инопланетных сигналов в диапазоне 21 см. Этот вполне серьезный проект получил название «ОЗМА». На рис. 95 приведена блок-схема приемника Дрэйка.

Мы не можем здесь детально останавливаться на технических подробностях описания этой схемы. Те из читателей, которые разбираются в радиотехнике, поймут ее сами. Мы ограничимся только приближенным рассмотрением. Приемник, схема которого изображена на рис. 95, представляет собой очень стабильно работающий узкополосный (так как ожидаемый сигнал должен быть узкополосным) супергетеродин. В фокусе большой 27-метровой антенны находятся два рупора, схематически изображенных в левом верхнем углу рис. 95. В один из рупоров поступает излучение от небольшой области неба около исследуемой звезды, вокруг которой, как можно ожидать, обращается планета с передатчиком. В другой рупор поступает излучение от соседней области неба, откуда искусственных сигналов ожидать не приходится. Оба рупора при помощи электронного устройства попеременно подключаются к входу приемника. Таким образом, радиотелескоп попеременно как бы «смотрит», то на звезду, то на соседний участок неба. По этой причине «полезный» сигнал периодически прерывается с той частотой, с которой подключаются рупоры ко входу приемника. Следовательно, в цепи приемника сигнал имеет вид коротких импульсов, регулярно повторяющихся с частотой переключения через совершенно определенные промежутки времени. Синхронный детектор, установленный перед выходом приемника, выделяет эту переменную составляющую тока. Такая схема с теми или иными видоизменениями, широко используемая в радиоастрономии, называется «модуляционной». Она позволяет выделить полезный сигнал даже в тех случаях, когда он значительно слабее аппаратурных шумов. Однако сколь угодно слабый сигнал таким способом нельзя обнаружить, так как неизбежные флуктуации показаний регистрирующего прибора накладывают естественное ограничение на величину принимаемого сигнала (см. выше). Но модуляционная схема в ряде случаев позволяет получить чувствительность, близкую к предельно возможной, которая дается формулой

$$\Delta T = T(\tau \Delta f)^{-1/2}.$$

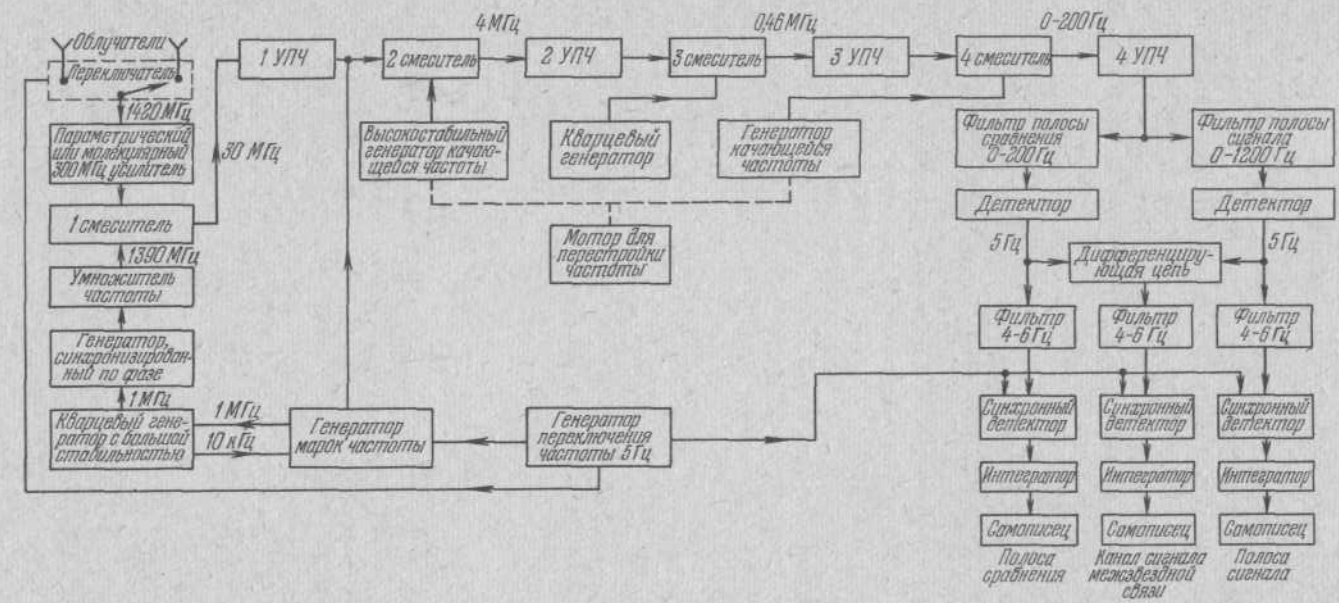

Рис. 95. Блок-схема приемника Дрэйка

Как видно из схемы, приведенной на рис. 95 в приемнике последовательно происходят четыре преобразования частоты сигнала. Это необходимо было сделать потому, что «окончательная» промежуточная частота приемника должна быть низкой, так как ожидаемый сигнал узкополосный. Преобразования частоты осуществляются (как это обычно в супергетеродиновых приемниках) при помощи смесителей. У соответствующих генераторов должна быть очень высокая стабильность частоты. Последняя не должна меняться больше чем на 1 Гц за 100 с. Особенно высокая стабильность требуется от первого генератора, так как его частота очень высока - 1390 МГц.

После четырех усилителей по промежуточной частоте сигнал разветвляется на два, затем проходит через фильтры. Один фильтр широкополосный (в нем содержатся все сигналы), другой узкополосный (в нем сигнал межзвездной связи не ожидается). Эти фильтры и последующая дифференцирующая цепь устроены таким образом, что, когда через них проходит широкополосный сигнал, отклик на выходе сигнала межзвездной связи равен нулю.

Однако если через широкополосный фильтр проходит узкополосный сигнал, то отклик на выходе уже не будет равен нулю. Следовательно, рассматриваемый приемник чувствителен только к узкополосным сигналам. Ширина полосы пропускания узкого фильтра может меняться, причем связанная с этим перестройка приемника занимает мало времени. Как видно из схемы, фильтры стоят перед синхронными детекторами, которые пропускают только частоту переключения 5 Гц.

На выходе среднего синхронного детектора сигнал будет зарегистрирован только в том случае, когда в приемник поступает узкополосный сигнал, левый регистрирует сигналы в полосе сравнения шириной 200 Гц, правый — все сигналы в полосе 1200 Гц. На рис. 96 приведена фотография некоторых блоков этого приемника, а на рис. 97 — фотография 27-метрового радиотелескопа, снятая во время наблюдений по проекту «ОЗМА».

В качестве первых объектов, откуда можно ожидать сигналов радиоизлучения искусственного происхождения, Дрэйк выбрал две близкие к нам звезды — е Эридана и т Кита, которые удалены от Солнца на расстояние около 11 световых лет. Об этих звездах, как о возможных источниках жизни на обращающихся вокруг них планетах, речь шла в гл. 11. Наблюдения начались осенью 1960 г. и с большой

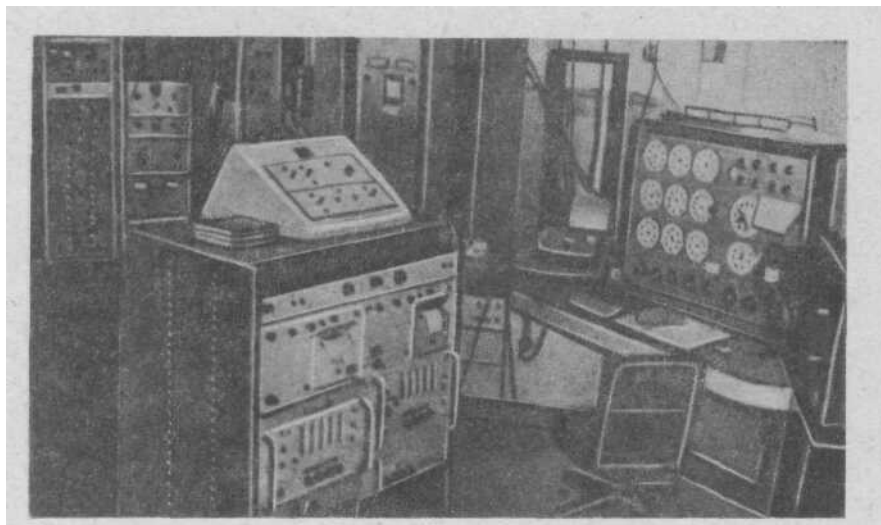

Рис. 96. Приемная аппаратура «ОЗМА»

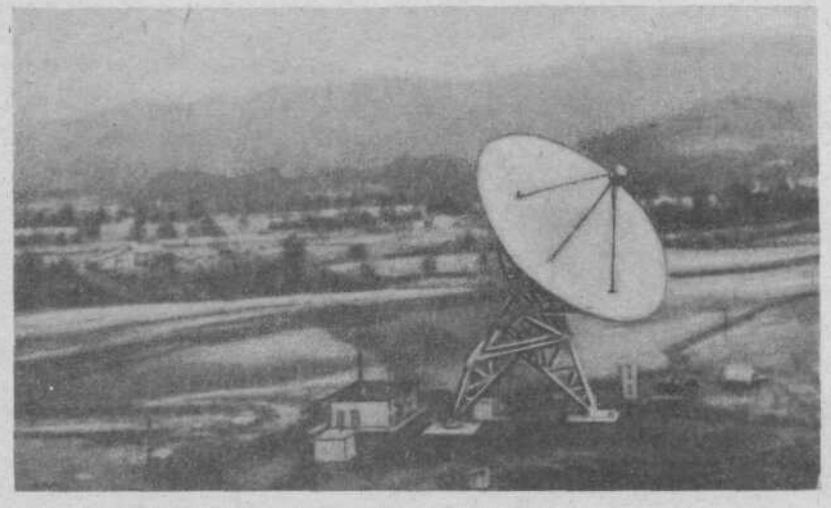

Рис. 97. Радиотелескоп Грин Бэнк (диаметр зеркала 27 м) во время наблюдений по проекту «ОЗМА»

тщательностью проводились в течение нескольких месяцев. Увы, искусственные сигналы обнаружены не были...

Начиная с 1971 г. аналогичные наблюдения проводились на 100- и 45-метровом радиотелескопах Национальной радиоастрономической обсерватории США. Объектами наблюдений были несколько десятков ближайших к нам звезд, преимущественно красных карликов. Из отрицательного результата этих наблюдений следует, что около исследовавшихся звезд не работали передатчики, которые бы в узкой полосе (7 КГц) со 100-метровой антенной излучали бы мощность, превышающую несколько мегаватт. Заметим, что таких передатчиков на Земле много. Надо ясно понимать, что шансы на успех таких наблюдений невелики. По нашему мнению, гораздо более вероятно, что ближайшие цивилизации, если они вообще есть, находятся от нас на значительно большем расстоянии, чем звезды, исследовавшиеся Дрэйком и его последователями.

Если, например, ближайшая такая цивилизация находится на расстоянии 100 световых лет, в высшей степени затруднительно решить, какую из десятка тысяч звезд, удаленных на такое расстояние, нужно тщательно исследовать методом Дрэйка. Исследовать же подряд десятки тысяч звезд представляется слишком сложным и дорогим занятием, по крайней мере сейчас для нашей цивилизации.

Спустя 11 лет после первых попыток установления радиоконтактов с внеземными цивилизациями в рамках проекта «ОЗМА», на Бюраканском симпозиуме выступил с обобщающим по этой проблеме докладом сам автор проекта Дрэйк. Оценивая возможности гигантского радиотелескопа Аресибо (см. рис. 93), он пришел к заключению, что при мощности передатчика $P = 1000$ кВт, коэффициенте направленности антенны радиотелескопа $G = 10^6$, шумовой температуре приемника $T = 120°$, ширине полосы $B = 100$ МГц и времени накопления сигнала $\tau = 100$ с сигнал может быть обнаружен от объектов, удаленных от нас на расстояния до 6000 световых лет! Проблема, однако, состоит в том, чтобы знать, хотя бы ориентировочно, класс объектов, от которых можно такой сигнал ожидать. В противном случае задача становится неопределенно трудной.

На этом симпозиуме известный советский радиоастроном В. С. Троицкий доложил о новых попытках найти искусственные радиосигналы от ближайших планетных систем. Это были первые после проекта «ОЗМА» реальные наблюдения возможных сигналов. В. С. Троицкий и его сотрудники, так же как и Дрэйк, искали

Рис. 98. На Бюраканском симпозиуме. Ф. Дайсон и Н. С. Кардашев

Рис. 99. На Бюраканском симпозиуме (справа налево: М. Минский, Ч. Таунс, Ф. Моррисон, К. Саган и Ф. Крик)

Рис. 100. На Бюраканском симпозиуме. Группа участников [второй слева – автор этой книги, четвертый – Т. Голд (США), шестой – К. Саган]

сигналы на волне 21 см. Ими систематически исследовались 12 звезд, в основном спектрального класса G, удаленных от нас на расстояния 10 — 60 световых лет. Всего было проведено 65 сеансов (по 5 сеансов на каждую звезду). Длительность каждого сеанса составляла 15 мин. Общее время наблюдений было 16 час. Заметим, что чувствительность приемной аппаратуры была довольно низка — около $2 \cdot 10^{-22}$ Вт/(м^2·Гц) (такой поток радиоизлучения на метровых волнах дает самый яркий космический источник радиоизлучения — Кассиопея А). Результаты этих наблюдений были отрицательны. В последующие годы В. С. Троицкий провел новые наблюдения со значительно более высокой чувствительностью. Результаты этих наблюдений были также отрицательны.

В США работы по поискам внеземных цивилизаций проводились также по программе «Циклоп». Об этом доложил на Бюраканском симпозиуме проф. Оливер. Для приема ожидаемых сигналов от внеземных цивилизаций использовалась, без особых переделок, наличная радиоприемная техника. Наблюдения, носящие любительский характер, проводились на сантиметровых волнах и не дали положительных результатов. Проф. Оливер, однако, разработал проект гигантского радиотелескопа, специально предназначенного для поиска радиосигналов от внеземных цивилизаций. Стоимость этого проекта достигает миллиардов долларов. Для научного прибора эта величина может показаться фантастически большой. Но не следует забывать, что американское правительство ежегодно расходовало на варварскую войну во Вьетнаме гораздо большие суммы...

Советский радиоастроном Ю. Н. Парийский на Бюраканском симпозиуме предложил другой путь реализации проекта установления радиоконтакта с внеземными цивилизациями. Это — создание «глобального радиотелескопа», сводящееся к объединению всех существующих на Земле крупных радиотелескопов в единую систему. В сочетании с радиотелескопами, вынесенными в космос, мы можем иметь

исключительно эффективное устройство для поисков радиосигналов от внеземных цивилизаций.

Таким образом, недостатка в проектах нет... Однако реальных наблюдений проводилось пока очень мало. Да и сами наблюдения не были должным образом обеспечены. Они носили, по существу, «рекогносцировочный» характер. Есть, однако, основания полагать, что в близком будущем положение может коренным образом измениться к лучшему.

<> За 25 лет с момента начала исследований было выполнено около 50 наблюдательных работ главным образом в радиодиапазоне. Участвовали Австралия, Нидерланды, Канада, СССР, США, Франция, ФРГ и Япония. Всего было около 120000 часов наблюдений, из них около 100000 часов — по специально предназначенным программам. Радиообсерватории Огайского университета и Гарвард - Смитсонианская работают по этой программе 24 часа в сутки. Техника приема и анализа сигналов первоначально была самой примитивной, но постоянно совершенствуется.

Салливан и Ноулесс провели исследование отраженных от Луны радиосигналов Земли с целью установить, каков радиоспектр Земли, если нас наблюдают из далекого космоса. Наблюдения проведены с помощью 300-метровой антенны в Аресибо в диапазоне 150 — 500 МГц. На рис. 101 показаны спектры Земли в различные моменты по всемирному времени в диапазоне, связанном с наземными телевизионными станциями. В результате этой работы ученые обнаружили самый мощный радар США, работающий на частоте 217 МГц и излучающий импульсы мощностью 14 млрд ватт в полосе 0,12 Гц. Такие импульсы могут быть обнаружены другой цивилизацией с такой же, как в Аресибо, антенной с расстояния около 20 световых лет. Сильнейшие телевизионные станции могут быть обнаружены с расстояния около 3 световых лет.

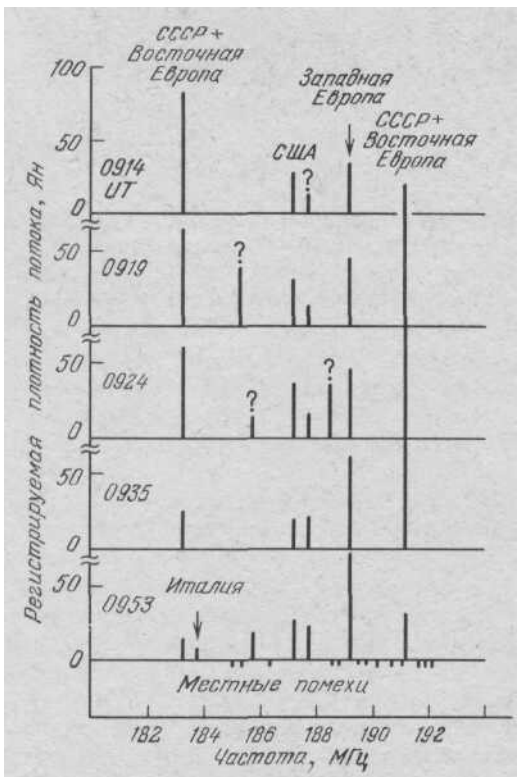

Рис. 101. Спектр излучения Земли (разрешение 30 кГц), полученный в процессе наблюдения отраженных от Луны радиосигналов в одном из ультракоротковолновых диапазонов, предназначенных для телевизионного вещания. Возможное отождествление базировалось на данных о частотах крупных международных телевизионных центров

Необходимо иметь в виду, что поиск радиосигналов от внеземных цивилизаций — задача с очень многими неизвестными, хотя их количество и небесконечно: положение источника на небе, частота, интенсивность сигнала, полоса, поляризация, модуляция, длительность передач и пауз. Многие ожидают, что искомые сигналы должны быть очень узкополосными, и поэтому для их обнаружения необходимы многоканальные спектроанализаторы (МКСА). В настоящее время в США ведутся наблюдения с МКСА на 65 536 каналах с разрешением 0,03 Гц и заканчивается создание системы на 8,25 миллиона каналов, которая будет установлена на радиотелескопе с диаметром зеркала 64 м Центра дальней космической связи в Голдстоуне. К 1990 г. этот спектроанализатор

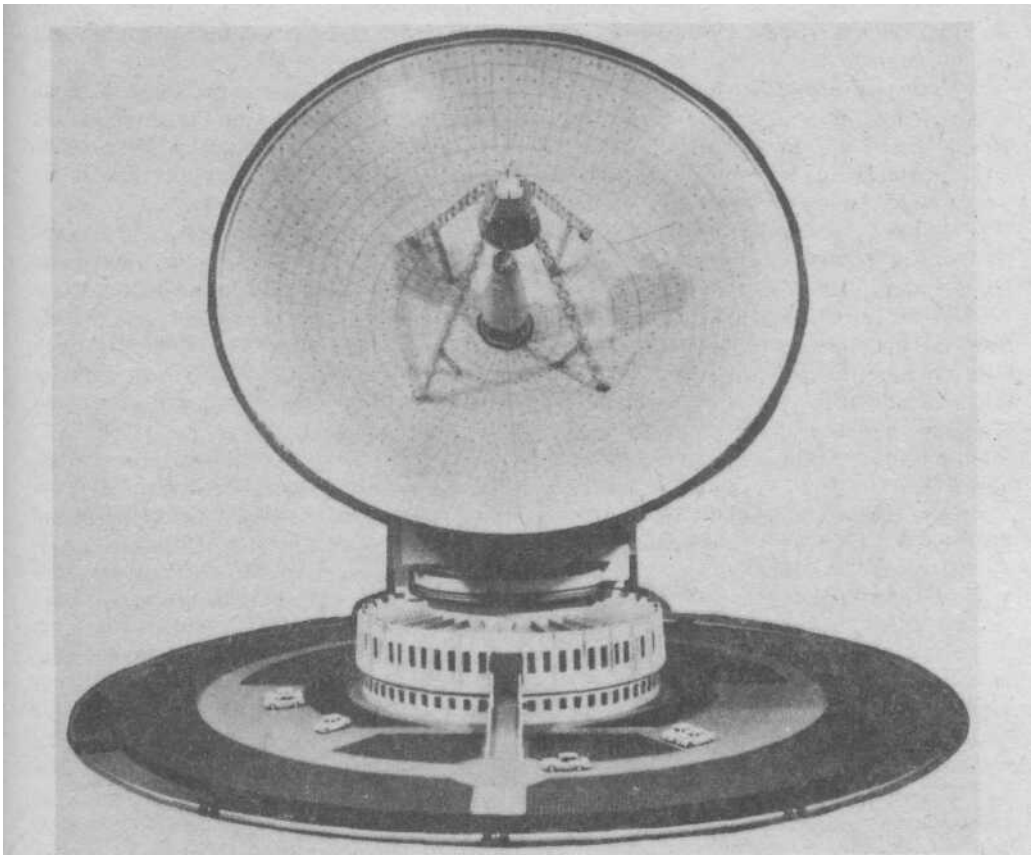

Рис. 102. Макет 70-метрового радиотелескопа РТ-70 Института космических исследований АН СССР

сможет исследовать любую полосу шириной 8 МГц с разрешением 1 Гц. НАСА предполагает провести к концу этого столетия программы «Обзор неба» (наблюдение всей небесной сферы в диапазоне от 3 до 30 см со спектральным разрешением 32 Гц) и программу «Направленный поиск» (исследование 1000 избранных объектов в диапазоне 18 — 21 см, так называемое «водяное окно» между линиями гидроксила и атомарного водорода, с разрешением 1 Гц); в программу входят 773 звезды классов Г, G и K, похожие на Солнце и находящиеся на расстояниях до 80 световых лег от нас.

В Советском Союзе программа поиска связывается с сооружением в горном районе Узбекистана крупнейшего радиотелескопа с зеркалом диаметром 70 м, работающего как раз в оптимальном для поиска диапазоне миллиметровых радиоволн (см. ранее с. 228).

На рис. 102 приведено фото макета ридиотелескопа. С помощью этого инструмента предполагается провести программу направленного поиска и исследования подозреваемых объектов. Напомним, что миллиметровый диапазон является оптимальным как для поиска радиосигналов искусственного происхождения, так и для обнаружения огромных астроинженерных конструкций, находящихся при очень низкой температуре. <>

Пока сделаны только первые шаги в направлении «подслушиваний» межзвездных переговоров. Может быть, недалеко то время, когда мы начнем «возвещать» о своем существовании путем посылки радиосигнала в космосе.

21. Возможность осуществления межзвездной связи оптическими методами

В предыдущей главе мы довольно подробно обсуждали возможности радиосвязи между инопланетными цивилизациями. Является ли, однако, радиосвязь единственно возможным видом связи на межзвездных расстояниях? Несомненно, радиоволны для такой задачи обладают рядом ценных преимуществ. Основные преимущества — сравнительно малая мощность передатчика, посылающего сигналы на расстояния в десятки световых лет и дальше, возможность легко отделить искусственный сигнал от теплового радиоизлучения звезды и высокая разрешающая способность по частоте у приемной аппаратуры. Последнее свойство после детального изучения сигнала позволяет получить ряд важных сведений об излучающей его планетной системе, а также информацию о разумных существах, ее населяющих.

Несмотря на все очевидные преимущества радиосвязи между удаленными на межзвездные расстояния цивилизациями, необходимо все же обсудить другие возможные типы связи. В первую очередь мы рассмотрим интересный вопрос о возможности такой связи на очень высоких частотах оптического и примыкающих к нему диапазонов.

Казалось бы, посылка от одной планеты к другой по возможности узкого светового пучка — очевидное, принципиально простое, средство связи. Однако на пути осуществления такого «межзвездного прожектора» встречаются очень большие трудности. Дело в том, что прожекторы обычного типа, даже самые совершенные, посылают не параллельный пучок света, а слегка расходящийся, что объясняется невозможностью создать точечный источник света в фокусе. Вот в этом-то «слегка» и заложена вся трудность проблемы. Если на обычных, «земных» расстояниях расхождение пучка из-за его непараллельности сравнительно невелико, то на межпланетных, не говоря уже о межзвездных, расстояниях оно становится уже недопустимым. Пусть, например, угол раствора конуса, в котором сосредоточен поток излучения, посылаемый прожектором равен 30 мин. дуги, как у лучших из современных прожекторов. Тогда на расстоянии 50 км диаметр сечения луча прожектора будет около 450 м и поток энергии через единицу поверхности (определяющий освещенность предмета, на который направлен прожектор) будет еще достаточно велик. Например, если мощность излучения прожектора равна 10 кВт, поток энергии через 1 см^2 на расстоянии 50 км от нашего прожектора будет $5 \cdot 10^{-6}$ Вт. Хотя эта величина в несколько десятков тысяч раз меньше потока солнечного излучения, в ночных условиях предмет будет отсвещен и вполне заметен.

Теперь представим себе, что такой прожектор посылает луч на Луну, чтобы, например, осветить ее темную часть. Так как среднее расстояние до Луны 380 тыс. км, диаметр пятна будет уже около 3 тыс. км. При этом освещенность поверхности Луны будет в 100 млрд раз меньше, чем от Солнца, и в 10 млн раз меньше, чем освещенность, создаваемая на темной стороне Луны светом, отраженным от Земли («пепельный свет» Луны).

Совершенно ясно, что какого-либо светлого пятна на поверхности Луны от такого прожектора мы не обнаружим. Следует, однако, заметить, что с Луны такой прожектор был бы виден как звезда приблизительно 3-й величины и даже на ярком фоне освещенной Солнцем Земли был бы заметен. Но уже с расстояния порядка 100 млн км (что соответствует расстоянию до Марса или Венеры) наш прожектор был бы виден как слабая звездочка 15-й величины, т. е. примерно такая же, как

спутники Марса, если их наблюдать с Земли. Ясно, что, если прожектор установлен на поверхности Земли, его никак нельзя будет наблюдать. Только в том случае, если он будет помещен на искусственном спутнике Земли, достаточно удаленном от ее поверхности, он может быть обнаружен с Марса или Венеры. Разумеется, при этом необходимо, чтобы луч прожектора был направлен с большой точностью на эти планеты.

Что же касается межзвездных расстояний, то и без всяких вычислений видно, что попытка обнаружить прожектор была бы совершенно безнадежной. Кроме того, в этом случае мы столкнулись бы с новой трудностью решающего характера: излучение Солнца в направлении оси прожектора на много порядков больше излучения самого прожектора. Таким образом, даже самые лучшие из современных прожекторов совершенно не в состоянии послать обнаружимый сигнал на межзвездные расстояния.

Положение, однако, коренным образом изменилось в последние годы в связи с усиленной разработкой квантовых усилителей и генераторов излучения. В радиодиапазоне это привело к изготовлению приемников сверхвысокой чувствительности, так называемых мазеров, о чем речь шла в предыдущей главе. Те же принципы, будучи примененными к оптическому и инфракрасному диапазону частот, привели к осуществлению исключительно важных и особенно перспективных приборов, получивших название «лазеров». Здесь нас не интересуют возможности использования лазеров как весьма эффективных усилителей света. Для нашей проблемы особый интерес представляют лазеры — генераторы пучков видимого и инфракрасного излучения.

Нас бы очень далеко завело обсуждение физических принципов работы лазеров. Желающих ознакомиться с этим вопросом мы отсылаем к книге Б. Лендьела «Лазеры».—М.: Мир, 1964. Мы здесь интересуемся лазерами с «потребительской» точки зрения, что для наших целей совершенно достаточно.

Основой современных лазеров (так же, как и мазеров) является некоторое «рабочее вещество», которое может быть и твердым и газообразным. На заре развития лазерной техники в качестве такого вещества использовался преимущественно синтетический рубиновый кристалл. В последние годы «твердотельным» рабочим веществом лазеров является стекло, активированное неодимом. Такие лазеры работают на волне 1,06 мкм. Наряду с этим в последнее время большое распространение получили газовые лазеры, где рабочим веществом является углекислый газ CO_2. Благодаря специфическим свойствам «рабочего вещества» при определенных условиях с его поверхности в направлении нормали выходит почти параллельный и в высокой степени монохроматический пучок излучения. Современные лазеры могут работать в двух разных режимах. В одном случае лазер может посылать очень короткие импульсы излучения, длительностью до 10^{-12} с. У современных «твердотельных» лазеров энергия, излученная в каждом из таких ультракоротких импульсов, может доходить до 10 Дж. Длительность импульсов может быть значительно больше, и тогда энергия, содержащаяся в импульсе, естественно, увеличивается. Например, в режиме «свободной генерации» длительность импульса порядка тысячной доли секунды, а энергия в каждом импульсе может доходить до нескольких тысяч джоулей.

Газовые лазеры, использующие CO_2 в качестве «рабочего вещества», могут работать в режиме непрерывной генерации, излучая мощность в несколько десятков киловатт. Так как излучение лазера синфазно по всей его поверхности, то, как известно из оптики, угловая ширина посылаемого им пучка будет равна $\frac{\lambda}{D}$, где λ — длина волны света, D — размеры блока «рабочего вещества». Отсюда следует, что даже у современных лазеров размером всего лишь в 1 см угол раствора светового пучка равен приблизительно $5 \cdot 10^{-5}$ рад или 10 с дуги. Если таким пучком

осветить Луну, размеры пятна будут около 20 км. Заметим, что угловые размеры пучка могут быть сделаны значительно меньше, если лазер сочетать с некоторой оптической системой типа телескопа.

Пусть мы имеем высококачественную линзу, диаметр которой равен *d,* причем фокусное расстояние также равно *d.* Если такую линзу поместить в пучок света, излучаемый лазером, то в ее фокальной плоскости действительное изображение пучка будет иметь размеры λ. Пусть это изображение совпадает с фокусом другой линзы (или зеркала) значительно большего диаметра *A,* причем фокусное расстояние большой линзы больше или равно *A.* В таком случае, как легко убедиться, пучок, выходящий из большого зеркала, будет иметь угол расхождения, равный $\frac{\lambda}{A}$. Хотя такие системы еще не изготовлены, в принципе это вполне возможно. Трудности здесь будут хотя и серьезные, но чисто технического характера. Например, необходимо будет разработать системы автоматического контроля и коррекции поверхности большого зеркала, компенсирующие деформации из-за нагревания его поверхности мощным пучком излучения.

Кроме исключительно высокой направленности, другим важным преимуществом пучка излучения, генерируемого лазером, является высокая монохроматичность. Так, например, у современных лазеров, работающих в непрерывном режиме, ширина полосы частот бывает до 10 кГц, что в десятки миллиардов раз меньше частоты излучения. Как мы увидим ниже, высокая степень монохроматичности пучка — весьма ценное качество для межзвездной связи.

В настоящее время усовершенствованию лазеров уделяется огромное внимание. Так, в США над этой проблемой работают тысячи фирм. Расходы на исследования в данной области достигают многих сотен миллионов долларов в год. Интерес к этой проблематике не случаен. Осуществление лазеров большой мощности будет означать появление нового типа оружия совершенно исключительной разрушающей способности. По существу, это будет знаменитый «тепловой луч» уэллсовских марсиан или, еще точнее, «гиперболоид инженера Гарина», созданный лет 60 назад фантазией Алексея Толстого. Лазеры большой мощности, вероятно, можно будет использовать как эффективное противоракетное оружие.

Нужно, однако, надеяться, что колоссальные потенциальные возможности лазеров будут использоваться только в мирных целях. Развитие этой новой техники может оказать решающее влияние на ряд областей деятельности человечества, в частности на космическую связь.

Первыми, кто обратил серьезное внимание на возможность применения лазеров для космической связи, были американские ученые Таунс (один из основоположников квантовой электроники, лауреат Нобелевской премии) и Шварц. Их работа появилась в одном из апрельских номеров журнала «Нейчур» за 1961 г. В качестве основной аппаратуры они рассматривают две системы лазеров, которые пока еще не разработаны, но в принципе могут быть изготовлены в ближайшие годы.

Система «а» характеризуется мощностью 10 кВт в непрерывном режиме излучения, имеет длину волны света около 0,5 мкм, ширину полосы частот в пучке около 1 МГц, диаметр дополнительного большого зеркала 500 см и соответствующий этому зеркалу угол раствора пучка $\varphi = 10^{-7}$ рад или 0,02".

Система «б» представляет собой «батарею» из 25 таких же лазеров, как и в системе «а», но для каждого из них $A = 10$ см, и, следовательно, угол раствора пучка равен 1". С такой точностью вся батарея лазеров может быть ориентирована в одном направлении.

Следует заметить, что если система «а» будет установлена на поверхности Земли, то из-за неспокойствия атмосферы угол раствора пучка будет значительно больше теоретически ожидаемого, достигая 1" или даже больше. Поэтому такую

систему целесообразно поместить на искусственном спутнике за пределами атмосферы. Что касается системы «б», то она может работать с поверхности планеты без существенныхискажений.

Таунс и Шварц формулируют два естественных условия обнаружимости сигналов, посланных с других миров с помощью лазеров.

Первое условие: пучок должен быть достаточно интенсивным, чтобы быть обнаруженным с помощью подходящего телескопа.

Второе условие: необходимо, чтобы каким-либо способом можно было отделить сигнал от излучения звезды. В радиодиапазоне второе условие выполняется почти автоматически, но в оптическом отделение сигнала от излучения звезды, как мы увидим ниже,— довольно сложная проблема.

Предположим, что сигнал посылается системой «а», вынесенной за пределы атмосферы планеты. Пусть расстояние R от планеты до Земли 10 световых лет, или 10^{19} см. Тогда поток излучения у Земли будет $F = W/R^2\Omega$ Вт/см^2, где $W =$ $= 10$кВт - мощность передатчика, $\Omega = 10^{-14}$ - телесный угол пучка. Следовательно, F = 10^{-20} Вт/см^2, в то время как поток от Солнца равен 0,14 Вт/см^2. Зная отношение^потоков излучения лазера и Солнца, легко можно вычислить звездную величину лазера, наблюдаемого с Земли. Для этого воспользуемся известной формулой астрономии, которая представляет собой определение понятия «звездная величина»:

$$m_1 - m_2 = 2{,}5 \lg \frac{F_2}{F_1}.$$

Видимая звездная величина Солнца $m_2 = -26{,}8$, откуда звездная величина лазера $m_1 = +21{,}2$. Это означает, что с расстояния 10 световых лет такой лазер будет наблюдаться как одна из самых слабых звезд, едва доступная для больших телескопов. Поэтому для обеспечения надежной связи мощность передатчика должна быть повышена в несколько десятков раз по сравнению с принятой Таунсом и Шварцем.

Что касается системы «б», то поток от нее получается в 100 раз меньшим, чем от системы «а». Поэтому, вопреки утверждению Таунса и Шварца, для межзвездной связи она непригодна.

Теперь мы обсудим вопрос о возможности отделения сигнала лазера от излучения звезды, около которой он находится. Единственный способ такого отделения состоит в использовании свойства высокой монохроматичности излучения лазеров. Пусть эта звезда излучает вблизи волны 0,5 мкм так же, как и наше Солнце (заметим, что вблизи этой волны находится максимум в распределении солнечного излучения по спектру). Тогда интенсивность излучения, рассчитанная на единичный интервал частоты и единичный телесный угол, будет равна $4 \cdot 10^{10}$ Вт/(Гц-ср), в то время как у лазера интенсивность (равная потоку излучения, деленному на телесный угол пучка) будет

$$\frac{10^4}{10^{-14} \cdot 10^6} = 10^{12} \text{ Вт/(Гц} \cdot \text{ср)}.$$

Мы учли то обстоятельство, что у лазера все излучение сосредоточено в очень узкой полосе частот в 1 МГц. Таким образом, «спектральная интенсивность» у такого лазера в 25 раз больше, чем у Солнца. Если бы этот лазер работал в ультрафиолетовой или инфракрасной областях спектра, его спектральная интенсивность еще больше превосходила бы солнечную. Дело в том, что в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектральная интенсивность Солнца значительно меньше, чем в зеленой области около длины волны 0,5 мкм. Так, спектральная интенсивность для волн, больших 1,5 мкм и меньших 0,25 мкм по крайней мере в 10 раз меньше, чем для 0,5 мкм, а для волн, больших 4 мкм или меньших 0,2 мкм — в

сотни раз. Кроме того, нужно иметь в виду, что в солнечном спектре имеется много линий поглощения. В области этих линий (ширины которых значительно превосходят полосу частот лазера) спектральная интенсивность Солнца падает в десятки раз).

Перечисленные обстоятельства открывают возможности в сотни и даже тысячи раз увеличить «контрастность» спектральных интенсивностей лазера и Солнца. Если лазер вынесен за пределы земной атмосферы (которая полностью поглощает ультрафиолетовое излучение с длиной волны, меньшей 0,29 мкм, и существенную часть инфракрасного излучения), то в принципе, работая в области $X = 0{,}15$ мкм «на дне» линии поглощения, можно получить для лазера спектральную интенсивность, в десятки тысяч раз большую, чем у Солнца. Следует, однако, иметь в виду, что при этом могут встретиться большие технические трудности как при изготовлении лазера в указанной спектральной области, так и вследствие резкого уменьшения отражательной способности зеркал в ультрафиолетовых лучах. Если лазер будет работать в инфракрасной области спектра, это повлечет за собой другую неприятность: пучок станет более расходящимся, так как длина волны будет больше. В общем создается впечатление, что выгоднее всего лазеру работать в видимом диапазоне частот «на дне» какой-нибудь сильной линии поглощения в спектре Солнца, например известных линий «Н» и «К», принадлежащих ионизованному кальцию. В этом случае спектральная интенсивность лазера в узкой полосе частот шириной в 1 МГц будет в 300 раз больше, чем у Солнца.

Если теперь наблюдать звезду с достаточно узкополосным светофильтром, излучение лазера может быть обнаружено на фоне излучения звезды. То же самое можно сформулировать иначе: если будет получен очень хороший спектр звезды, в нем может быть обнаружена весьма узкая линия *излучения*, принадлежащая лазеру. Однако практически трудно изготовить очень узкополосные хорошие фильтры. Точно так же разрешающая способность спектрографов ограничена.

Какая же должна быть у спектрографа разрешающая способность, чтобы в спектре звезды обнаружить линию излучения от лазера? Такая линия вполне может быть обнаружена, если ее интенсивность хотя бы на 10% превышает интенсивность непрерывного спектра. Существенно, однако, что интенсивность линий сильно «размазывается» разрешающей способностью спектрографа. Если, например, последняя составляет 1 А, или, в единицах частоты, 10^{11} Гц, то усредненная по этому интервалу частот интенсивность очень узкой линии лазера будет уже в 300 раз *меньше* интенсивности соседних участков спектра звезды. Отсюда следует, что для получения 10% контраста линии лазера над фоном разрешающая способность спектрографа должна быть 0,03 А. Это очень высокая разрешающая способность. Но применение хороших спектрографов в сочетании с интерференционными приборами, по-видимому, позволило бы обнаружить в спектрах близких звезд слабую линию излучения искусственного происхождения. Такие наблюдения, конечно, следовало бы проводить на самых сильных телескопах. Если же мощность передатчика увеличить в несколько десятков раз (см. выше), то обнаружение такой линии не будет слишком трудной задачей даже для телескопов умеренных размеров в сочетании с хорошими спектрографами.

При таких наблюдениях может, однако, возникнуть еще одна трудность. Из-за непрерывного изменения скорости передатчика по лучу зрения, обусловленного эффектом Доплера, частота сигнала будет непрерывно меняться. Для обнаружения сигнала, очевидно, нужно, чтобы за время фотографирования спектра звезд (скажем, час) частота сигнала не вышла бы за пределы полосы частот, определяемой разрешающей способностью спектрографа. Быстрее всего доплеровское смещение сигнала меняется из-за суточного вращения планеты, так как в этом случае период колебаний лучевых скоростей сравнительно невелик. Все же простой расчет показы-

вает, что за время порядка 1 часа полоса частот лазера не уйдет за пределы, определяемые разрешающей способностью спектрографа.

Таким образом, мы убедились, что лазеры при условии их дальнейшего усовершенствования вполне могут быть пригодны для межзвездной связи. При мощности лазера 10 кВт осуществление такой связи оказывается на пределе возможностей современной техники. Имеются, однако, серьезные основания полагать, что в перспективе ближайших нескольких десятилетий мощность лазеров вырастет в огромной степени. Например, применение лазеров для военных нужд может потребовать увеличения их мощности до миллионов киловатт и даже больше.

Как же можно распознать линию искусственного происхождения в спектре какой-нибудь звезды? Во-первых, эта линия излучения должна быть чрезвычайно узкой; во-вторых, ее, по-видимому, нельзя будет отождествить с какой-либо из известных спектральных линий, и, наконец, интенсивность этой линии может регулярно меняться во времени. В этом случае информация может передаваться так же, как при пользовании «световым телеграфом». Коль скоро будет обнаружено присутствие линии излучения искусственного происхождения в спектре звезды, дальнейшее ее изучение можно будет проводить детально посредством специально для этого разработанной аппаратуры. При этом широкое применение может получить фотоэлектрический метод наблюдения, который позволяет свести «время накопления» сигнала (аналогичное «времени экспозиции» при фотографических наблюдениях) до нескольких минут и даже меньше. Это весьма желательно для расшифровки модулировного светового сигнала.

Все наши расчеты условий обнаружений оптических сигналов, посланных с других планетных систем при помощи лазеров, предполагают, что инопланетная посылает очень узкий пучок света на Землю. Точность посылки сигнала должна быть очень высокой. Угол 10^{-7} рад, или 0,02 с дуги (а это угловая ширина пучка),— величина очень маленькая. Именно с такой точностью должно выдерживаться направление посылки сигнала. Эта точность находится на пределе возможностей современной астрономии. Если смотреть с ближайших звезд, угловой диаметр земной орбиты будет около 1 с дуги. Так как расстояние между Землей и Солнцем разумным инопланетным существам заранее не известно, они должны своим лучом «шарить» в пределах Солнечной системы, регулярно меняя его направление в пределах нескольких секунд дуги. Ведь диаметр пучка света в пределах Солнечной системы «всего лишь» около 10 млн км, что в 15 раз меньше расстояния от Земли до Солнца. По этой причине Земля будет только изредка, более или менее случайно, освещаться инопланетным лазером. Это, конечно, в высшей степени осложняет возможность его обнаружения земными наблюдателями. Последнее, на наш взгляд весьма важное, соображение Таунс и Шварц совершенно не учитывали. Между тем оно существенно снижает эффективность лазеров как средства межзвездной связи. Чтобы обойти эту трудность, нужно допустить, что диаметр пучка в пределах Солнечной системы в несколько раз больше расстояния между Солнцем и Землей. Тогда значительная часть Солнечной системы была бы «покрыта» одним пучком света. Но в таком случае при всех предположениях о расстоянии до облучающего нас лазера его мощность должна быть в несколько тысяч раз больше принятой нами.

Разумеется, это обстоятельство не может рассматриваться как решающий аргумент против возможности использования лазеров для межзвездной связи, так как мощность последних, как уже говорилось, может быть существенно большей, чем мы принимаем. Все же бесспорен тот факт, что осуществление связи между инопланетными цивилизациями с помощью радиоволн (например, на волне 21 см) значительно экономичнее, чем при помощи лазеров. Но мы не можем знать, являются ли наши критерии «экономичности» столь важными для этих цивилизаций. И никогда не следует забывать при этом, что мы судим о технических и экономических

возможностях межзвездной связи исходя из современных условий. Но ведь в будущем условия могут сильно измениться и то, что сегодня кажется малоперспективным, приобретет решающее значение.

В заключение этой главы мы остановимся на перспективах связи при помощи лазеров в пределах Солнечной системы. Если пучок света от системы «а» направить на Марс в эпоху его противостояния, когда расстояние до этой планеты сокращается до 50 млн км, на его поверхности образуется освещенное пятно диаметром 5 — 7 км. Из области этого пятна вспышка света от лазера будет видна как исключительно яркая звезда — 7-й величины, т. е. примерно в 10 раз ярче, чем Венера на небосклоне Земли. Совершенно очевидно, что такой ярчайший источник можно как угодно модулировать и передавать таким образом с Земли на малую область Марса любую информацию. Такой же пучок, направленный на неосвещенную сторону Луны, даст пятно диаметром в 40 м, причем освещенность там будет всего лишь в 100 раз меньше, чем от прямых солнечных лучей. Из приведенных примеров следует, что перспективы связи на лазерах в пределах Солнечной системы очень благоприятны *).

В США и СССР уже давно проводятся удачные опыты по освещению Луны лазером.

22. Связь с инопланетными цивилизациями с помощью автоматических зондов

При обсуждении возможности связи с инопланетными цивилизациями с помощью электромагнитных волн радио- и оптического диапазонов очень большое значение имеет вопрос о расстояниях до ближайших таких цивилизаций. Он важен не только для правильной оценки мощности передатчиков, необходимых для осуществления межзвездной связи. Чтобы яснее стали трудности, возникающие при попытках осуществления такой связи, мы рассмотрим два случая.

I. Среднее расстояние до ближайших инопланетных цивилизаций около 10 световых лет. Именно этот случай, по существу, рассматривался в проектах Коккони—Моррисона и Таунса—Шварца, которые мы подробно обсуждали в предыдущих главах.

II. Среднее расстояние до ближайших инопланетных цивилизаций превосходит 100 световых лет.

Между этими двумя случаями имеется принципиальная разница. В случае I число подходящих звезд, около которых можно ожидать разумной жизни, всего лишь три. Это е Эридана, т Кита и е Индейца. В случае II число подходящих звезд может быть несколько тысяч. Если в случае I сравнительно легко установить, посылают ли звезды в направлении Солнца искусственные радио- или оптические сигналы, то в случае II задача становится в высшей степени затруднительной, а главное — неопределенной. Ведь в течение очень длительного времени нужно непрерывно, и притом очень тщательно, следить за многими тысячами, если не десятками тысяч звезд. По существу, должна быть организована непрерывно работающая грандиозных масштабов «служба неба». При этом необходимо еще считаться с возможностью, что весьма удаленные от нас разумные инопланетные существа по каким-либо причинам не посылают радио- или оптические импульсы в сторону Солнца. Они, например, могут исключить наше Солнце из числа звезд, вокруг которых возможна разумная жизнь. Ведь для них Солнце — только одна из многих тысяч или десятков тысяч звезд, более или менее подходящих для поддержания жизни...

Обнаружение искусственных сигналов от одной из таких звезд — весьма трудное дело. Но несоизмеримо труднее в течение многих столетий и даже тысячелетий непрерывно и с большой точностью держать в пучке электромагнитных волн десятки тысяч звезд и терпеливо, скорее всего тщетно, дожидаться ответа от одной из них...

Между тем имеются серьезные основания полагать, что общества разумных существ в Галактике разделены расстояниями, значительно превышающими 10 световых лет. Это означает, что скорее всего реализуется случай II.

В самом деле, допустим даже, что на каждой из нескольких миллиардов потенциально подходящих для развития жизни планет в нашей Галактике должна на каком-то этапе эволюции возникнуть разумная жизнь (что, вообще говоря, необязательно). Но для проблемы межзвездной радиосвязи основное значение имеет вопрос о существовании разумной жизни в эпоху, когда посылаются сигналы. Другими словами, существенное значение имеет расстояние до инопланетных цивилизаций, современных нашей.

Если бы разумная жизнь, однажды возникнув на какой-нибудь планете, существовала там миллиарды лет, т. е. примерно столько же, сколько находится на главной последовательности «питающая» эту цивилизацию звезда, то при сделанном предположении количество разумных цивилизаций в Галактике было бы также порядка миллиарда. Положение радикально изменится, если мы учтем, что

длительность разумной жизни на планетах может быть существенно меньше времени эволюции звезд.

На это обстоятельство одновременно обратили внимание в 1960 г. австралийский радиоастроном Брэйсуэлл и автор этой книги. Здесь мы не будем обсуждать столько-нибудь подробно вопрос о времени существования разумной жизни на планетах. Это будет сделано в гл. 23 и 24. Для нас пока достаточно, что возможная сравнительно небольшая длительность «технологической эры» (мы имеем в виду эру технически развитой цивилизации) на планетах может существенно уменьшить число цивилизаций, одновременно существующих в Галактике, и соответственно увеличить расстояния до ближайших из них.

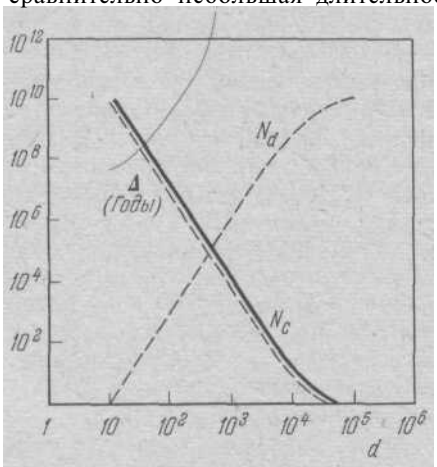

Рис. 103. Графики Брэйсуэлла
По оси абсцисс откладывается среднее расстояние между инопланетными цивилизациями в световых годах, по оси ординат отложены: N_c – число одновременно существующих в Галактике цивилизаций, N_d – число звезд на расстоянии d от данной звезды, около которой имеется цивилизация, Δ – средняя продолжительность технологической эры

На рис. 103. приведены построенные Брэйсуэлломграфики,поясняющиесказанное. При построении этих графиков сделано предположение, что на каждой из нескольких миллиардов галактических планетных систем на некотором этапе их развития возникла разумная жизнь. Последняя, прогрессируя, достигает высокого уровня научного и технического развития и по истечении некоторого промежутка времени угасает. Например, если длительность «технологической эры» равна 10 тыс. лет, расстояние до ближайшей цивилизации будет около 1 тыс. световых лет, причем на этом расстоянии будет находиться около 50 тыс. звезд. Можно представить, как трудно в этом случае осуществить связь с помощью электромагнитных волн между ближайшими цивилизациями. Ведь заранее совершенно не известно, около какой из 50 тыс. звезд может существовать разумная жизнь. Безотносительно к вопросу о возможной ограниченности «технологических эр», графики Брэйсуэлла позволяют быстро оценить расстояния до ближайших цивилизаций в зависимости от их полного количества в Галактике, а также число одновременно существующих в Галактике цивилизаций.

Итак, если расстояния до ближайших цивилизаций превышают 100 световых лет, то будет в высшей степени затруднительным установить связь с помощью электромагнитных волн с разумными существами около одной из многих тысяч, если не десятков тысяч, ничем не отличающихся друг от друга звезд. При такой ситуации Брэйсуэлл предлагает другой путь установления связи, который он считает значительно более практичным, а потому и перспективным. В случае инопланетных технологически развитых цивилизаций следует ожидать исключительного прогресса ракетной техники, неизбежно связанной с выходом каждой из таких цивилизаций за пределы своей планеты, в космическое пространство. Через довольно короткий промежуток времени цивилизация сможет посылать сравнительно небольшие автоматические ракеты-зонды в сторону ближайших звезд. Высокая техника автоматического управления сделает возможным «посадку» такого зонда на почти круговую орбиту вокруг заранее намеченной звезды. Техника такой «посадки» разработана уже сейчас.

Следовательно, вполне можно представить, что в будущем, может быть и не таком уже далеком, автоматические ракеты-зонды полетят к ближайшим звездам и там на заранее определенном расстоянии станут их искусственными спутниками.

Высокоорганизованная и технически развитая цивилизация сможет таким способом «навязать» своих искусственных спутников нескольким тысячам ближайших к ней звезд. Скорость движения таких автоматических ракет-зондов может достигать 100—200 тыс. км/с. Такая скорость достаточно велика. В то же время осложняющие полет эффекты теории относительности, возникающие при скоростях, довольно близких к скорости света, будут не существенны. Следовательно, потребуется всего лишь нисколько столетий, чтобы вокруг всех звезд на расстоянии 100 световых лет от данной цивилизации, подозреваемых как возможные очаги разумной жизни, стали обращаться искусственные спутники.

Такие зонды, конечно, должны обладать надежной защитой от разрушающей их поверхность метеорной бомбардировки и иметь достаточно мощную и долгоживущую приемную и передающую радиоаппаратуру, питаемую либо энергией звезды, спутником которой они стали, либо источником ядерной энергии на борту. Если вокруг этой звезды имеются планеты, населенные разумными существами, радиопередачи от такого зонда должны быть обнаружены.

Преимущества связи этого типа очевидны. Во-первых, радиосигнал, посылаемый зондом за счет энергии звезды, спутником которой он стал, будет гораздо более мощным, чем в случае, когда он прямо посылается с планеты, ищущей разумных соседей по космосу. Ведь сигнал от зонда до предполагаемых разумных существ пройдет расстояние, в миллионы раз меньшее, чем если бы он прямо посылался с планеты. В проекте Брэйсуэлла не предполагается, что инопланетные разумные существа ведут длительную и непрерывную «службу неба» в поисках (возможно, тщетных) радиосигналов от «подходящих» звезд. Это, конечно, большое достоинство «метода зондов». Наконец, этот метод установления связи не зависит от конкретного выбора длины волн (например, 21 см), что также составляет известное преимущество.

Выведенный на орбиту вокруг исследуемой звезды автоматический зонд может работать, например, по следующей программе. Прежде всего, зонд начнет исследовать, имеются ли в пространстве, где он летает, монохроматические радиосигналы. Такой автоматический «поиск» может происходить в широком диапазоне частот. Если сигналы будут обнаружены, зонд сможет тотчас же отправлять их без изменений обратно. Коль скоро данная процедура будет повторяться много раз, это несомненно привлечет внимание инопланетных разумных существ. В результате будет достигнута первая, очень важная цель: инопланетные разумные существа узнают о присутствии в их системе вестника далекой цивилизации.

По этой причине Брэйсуэлл считает важным тщательное изучение всех радиосигналов космического происхождения. Ведь нельзя исключить возможность того, что такие зонды уже давно летают в нашей Солнечной системе... Они могут быть посланцами одной или нескольких ближайших к нам инопланетных цивилизаций. В этой связи Брэйсуэлл обращает внимание на некоторые давно известные, но до сих пор не нашедшие разумного объяснения явления. Так, например, около 60 лет назад Штермер и ван дер Поль обнаружили несколько случаев «радиоэхо», причем время запаздывания отраженного сигнала достигало несколько секунд и даже минут. Это может означать, что сигнал отражался от некоторого объекта, удаленного от Земли на расстояние свыше 1 млн км. Не является ли причиной таких странных отражений радиосигналов какой-нибудь «кибернетический гость» из далеких миров? С другой стороны, то, что космические радиосигналы даже большой мощности можно «прозевать», доказывает пример радиоизлучения Юпитера на частотах в десятки мегагерц. За последние несколько десятилетий его много раз обнаруживали, но не придавали этому значения. Хотя мощность излучения Юпитера здесь достигает 1000 Вт/Гц, оно не было отождествлено до 1954 г.

После того как зонд установит двустороннюю связь с инопланетными разумными существами, он может начать по заранее разработанной программе

передачудостаточносложнойинформации. Вэтомотношениибольшиевозможности открывает использование телевидения. Например, зонд может передать на планету телевизионное изображение созвездия, выделив в нем каким-нибудь способом ту звезду, откуда он прилетел. Для этого посылающие зонд разумные существа должны, конечно, заранее знать, как выглядит их звезда на небосклоне другого мира. Заметим, что эта задача очень простая. В дальнейшем будет передаваться и более сложная информация.

С другой стороны, коль скоро аборигены другого мира узнали о присутствии разумных существ около совершенно определенной звезды, последняя станет предметом особенно тщательных исследований. В сторону этой звезды будут отправлены мощные модулированные оптические и радиопучки, а также автоматические зонды. Таким образом, можно рассчитывать, что в течение 'нескольких столетий между двумя цивилизациями, разделенными десятками световых лет, установится оживленная двусторонняя связь.

В принципе объем информации, заложенной в зонде, может быть настолько велик, что даже простая односторонняя связь будет очень ценной. Наконец, можно представить себе систему ретрансляции искусственных сигналов, обнаруженных каким-либо из посланных зондов, через «промежуточные станции» обратно на «материнскую планету». В качестве «промежуточных станций» могут быть использованы межзвездные ракеты, систематически посылаемые в космос по специальной программе.

Можно полагать, что Методом зондов исследуются только относительно близкие друг к другу цивилизации. Разумно далее предположить, что исследование Вселенной высокоразвитыми цивилизациями происходит планомерно, без нежелательного «дублирования».

В конечном итоге можно постулировать существование Великого Кольца разумных цивилизаций в масштабе Галактики, так красочно описанного в научно-фантастическом, романе И. А. Ефремова «Туманность Андромеды»...

Если согласно Брэйсуэллу тщательные поиски в течение ряда лет не приведут к обнаружению в пределах нашей Солнечной системы источника искусственных радиосигналов, можно будет сделать «малоутешительный» вывод: ближайшая к нам технологически развитая цивилизация находится настолько далеко, что не в состоянии установить с нами какой-либо контакт.

Этот вывод станет, может быть, более наглядным, если мы обратимся к рис. 103. Если, например, полное число разумных цивилизаций в Галактике $N_c = 10^7$, то средняя «продолжительность жизни» каждой из цивилизаций $\Delta \approx 10^7$ лет, в то время как среднее расстояние между цивилизациями будет около 100 световых лет. Можно полагать, что за 5 млн лет своего существования достигшая высокого уровня технического развития цивилизация сможет исследовать несколько тысяч соседних звезд, среди которых по крайней мере одна должна быть населена разумными существами.

Положение, согласно Брэйсуэллу, станет совершенно другим, если $N_c = 10^3$. Тогда $N_d = 10^7$, $d = 2000$ световых лет, а $\Delta \approx 1000$ лет. Ясно, что за 1000 лет эры технического развития цивилизация не сможет установить контакты со своими разумными соседями, удаленными от нее по крайней, мере на расстоянии 2000 световых лет. Впрочем, и в этом, самом неблагоприятном, случае Брэйсуэлл не исключает возможности установления контактов между отдельными цивилизациями. Может так случиться, что весьма небольшое количество технологически развитых цивилизаций (из числа постоянно возникающих в нашей звездной системе) найдет способ победить причины, приводящие к их быстрой гибели. И тогда они, гармонически развиваясь длительное время, достигнут постепенно исключительно высокого уровня технического развития. Более подробно об этом будет говориться в гл. 25.

Даже весьма отдаленные области Галактики могут быть предметом непосредственного исследования таких «сверхцивилизаций». Сейчас мы, конечно, ничего не можем сказать о методах этих исследований — слишком отличны должны быть уровни технического развития этих гипотетических цивилизаций от нашего уровня. Вполне может быть, что такие «эмбриональные» цивилизации, какой им кажется наша, не будут представлять для них интереса. Для них может и не быть никакой нужды исследовать все такие примитивные цивилизации, подобно мотылькам рождающиеся и гибнущие где-нибудь в нашей Галактике ежегодно в среднем два раза...

Любопытные расчеты Брэйсуэлла представляют, однако, чисто теоретический интерес. *Слишком много в них совершенно произвольных предположений* — даже для такой тематики как наша... И все же обсуждать нужно все возможности.

23. Теоретико-вероятностный анализ межзвездной радиосвязи. Характер сигналов

Мы сейчас остановимся на математическом анализе проблемы связи между инопланетными цивилизациями, выполненном немецким астрономом фон Хорнером. Анализ этот во многих отношениях является спорным. Однако он безусловно представляет методический интерес и хорошо иллюстрирует возможности и ограничения подобных исследований. Весь анализ фон Хорнера носит исключительно теоретико-вероятностный характер. Впрочем, необходимо уточнить, что мы понимаем под словом «вероятность» в нашем случае. Ведь на основании только одной-единственной известной нам цивилизации делать какие-либо вероятностные оценки затруднительно. Надежность таких оценок весьма неопределенна. Тем не менее какие-то оценки, хотя бы самые ориентировочные, производить необходимо. Такие вероятностные оценки на Бюраканском симпозиуме по внеземным цивилизациям получили название «субъективная вероятность». Последнее понятие вполне подобно практикующейся в США оценке распределения субсидий на научные исследования по степени их важности. Хотя эти оценки носят «личный» характер и весьма субъективны, их нельзя считать произвольными, так как они делаются весьма компетентными специалистами.

В частном разговоре с автором этой книги известный американский астроном проф. Голд дал следующее шутливое пояснение понятию «субъективная вероятность». В средние века богословский факультет Парижского университета распространил среди ведущих мыслителей тогдашней Европы анкету (мы пользуемся современным термином) со следующим, не совсем обычным вопросом: каков рост китайского императора? В те далекие времена представления о Китае были самые фантастические и ведущие умы Европы не имели решительно никакого представления о росте китайского императора... Поэтому ответы на, анкету были самыми разнообразными. Но в среднем ответ получился более или менее правильным... Добавим к этому, что средневековые схоласты не сомневались, что в Китае есть император, между тем как подобного категорического утверждения в отношении внеземных цивилизаций мы сделать пока не можем...

Прежде всего, рассматривается вопрос о вероятных расстояниях между цивилизациями различных планетных систем. Обозначим через ν_0 долю всех звезд, вокруг которых имеются планеты, где могла развиваться разумная жизнь. Пусть далее T_0 — время, прошедшее от образования данной планетной системы до появления на ней технически развитой цивилизации, f — время существования технически развитой цивилизации, T — возраст наиболее старых звезд, а ν — доля звезд, вокруг которых в настоящее время имеются технически развитые цивилизации. Считая, что скорость процесса звездообразования оставалась постоянной в течение времени T, получим

$$\nu = \frac{\nu_0(T - T_0)}{T}, \quad \text{если } t \geqslant T - T_0,$$

$$\nu = \nu_0 \frac{t}{T}, \quad \text{если } t \leqslant T - T_0.$$

Пусть d_0 — среднее расстояние между соседними звездами. Тогда среднее расстояние между соседними технически развитыми цивилизациями будет

$$d = d_0 \nu^{-1/3}.$$

Основную величину t фон Хорнер определяет, исходя из довольно произвольных предпосылок. Он рассматривает следующие пять причин, по его мнению, могущих ограничить длительность существования технически развитой стадии цивилизации:

1) полное уничтожение всякой жизни на планете;
2) уничтожение только высокоорганизованных существ;
3) физическое или духовное вырождение и вымирание;
4) потеря интереса к науке и технике;
5) T неограниченно велико.

Последнюю возможность фон Хорнер считает совершенно невероятной. Далее, он считает, что во втором и третьем случаях на той же самой планете может развиться еще одна цивилизация на основе (или на обломках) старой, причем время такого «возобновления» мало по сравнению с T_0. Обозначим через t_1, t_2, t_3, t_4 и t_5 средние времена жизни, соответствующие перечисленным пяти гипотезам, а через p_1, p_2, p_3, p_4, и p_5 — «вероятности реализации» этих гипотез. Тогда будем иметь

$$\nu = \frac{\nu_0}{T}[p_1t_1 + p_2t_2 + p_3t_3 + p_4t_4 + p_5(T - T_0)]\frac{1}{1-(p_2+p_3)},$$

где множитель $Q = \frac{1}{1-(p_2+p_3)}$ учитывает возможность «возобновления» цивилизации. Так как $t = p_1t_1 + p_2t_2 + p_3t_3 + p_4t_4 + p_5(T - T_0)$ — средняя длительность технически развитой стадии цивилизации, то можно написать

$$\nu = Q\frac{t\nu_0}{T}.$$

Интересен вопрос о вероятном возрасте первой же инопланетной цивилизации, с которой мы можем столкнуться. Простые расчеты, которые мы здесь приводить не будем, дают

$$t_b = \frac{p_1t_1^2 + p_2^2t_2 + p_3t_3^2 + p_4t_4^2 + p_5t_5^2}{2t}.$$

Для вероятности того, что перед данной цивилизацией на данной планете имелись еще другие цивилизации, получим

$$p_2 = \frac{Q-1}{Q}.$$

Чтобы от этих общих формул перейти к конкретным количественным оценкам, необходимо задать значения величин t_i и p_i. Оценки фон Хорнера, конечно, крайне субъективны. Однако, так как t *в* выражение для среднего расстояния между инопланетными цивилизациями $d = d_0\left(\frac{\nu_0 Q t}{T}\right)^{-1/3}$ входит в степени $-1/3$, неопределенность в оценке t не так уж сильно будет влиять на оценку d.

Все же любопытно, как фон Хорнер представляет себе длительность времени жизни технически развитой цивилизации при сформулированных пяти предположениях о характере их конца, а также вероятности этих предположений (табл. 10).

Сама по себе идея, что время существования технически развитой цивилизации ограниченно, представляется автору этой книги вполне разумной. Однако всякие попытки конкретизации этого обстоятельства и связанные с ними оценки вероятности являются весьма субъективными и поэтому могут привести к нелепым выводам.

При значениях t_i и p_i, приведенных в табл. 10, средняя длительность технологической эры t = 6500 лет, а «фактор возобновления» $Q = 4$. Далее, полагая $T = 10^{10}$

Таблица 10

Гипотеза	Возможный интервал значений г,, лет	Принятое значение г,, лет	Вероятность гипотезы *PJ*	*tfi*-лет
Полное разрушение	0 — 200	100	0,05	5
Уничтожение высшей жизни	0 — 50	30	0,60	18
Вырождение	10^4— 10^5	$3 \cdot 10^4$	0,15	4500
Потеря интереса	10^3 --10^5	10^4	0,20	2000
Отсутствие ограничения	—	—	0,00	0

лет, $v_0 = 0{,}06$, $d_0 = 2{,}3$ пк (среднее расстояние от Солнца до ближайших к нему звезд), найдем, что $v = 2{,}6 \cdot 10^{-7}$. Это означает, что в рамках предположения фон Хорнера только около одной из 3 млн звезд в настоящее время существует разумная жизнь. Среднее расстояние между инопланетными цивилизациями будет $d = 360$ пк или немного больше 1000 световых лет. Наиболее вероятный технологический возраст» цивилизации, с которой впервые будет установлена связь, $t_b =$ $= 12000$ лет. Далее, с вероятностью 75% можно будет утверждать, что эта цивилизация является «наследницей» старой цивилизации, до этого бывшей на планете, с которой установлен контакт. Любопытно, что расчеты указывают на очень маленькую вероятность встретить цивилизацию в той же самой фазе развития, что и современная наша земная цивилизация. Эта вероятность оказывается равной всего лишь около 0,5 %. Само собой разумеется, что все числовые оценки, которые были приведены, справедливы постольку, поскольку справедливы исходные значения для t_t и p_i, которые, как подчеркивалось выше, являются произвольными.

Важным выводом из приведенных оценок является бесперспективность попыток обнаружить сигналы от отдельных звезд, подобно тому как это делалось в проекте «ОЗМА» (см. гл. 20). Ведь если до ближайшей цивилизации не меньше 1000 световых лет, то явно бесмысленно среди нескольких миллионов звезд искать ту, которая посылает сигнал точно в направлении на Солнце. Ни одна цивилизация, конечно, не будет посылать «запросов» в направлении Солнца, которое для нее ничем не выделяется среди миллионов других примерно таких же звезд. Более естественно ожидать, что сигналы посылаются по всем направлениям и носят характер «позывных».

Другим, впрочем, довольно тривиальным, выводом является то, что цивилизации, которые будут тем или иным способом обнаружены, окажутся много «старше» нашей, а следовательно, они будут технологически более развиты. Наконец, значение $d = 1000$ световых лет, естественно, означает, что время ожидания «космического ответа» на «космический запрос» t_0 должно быть свыше 2000 лет! Что и говорить, торопиться при таких «переговорах» вряд ли имеет смысл. Так как длительность технологической эры не так уж велика, то за все время существования цивилизации можно будет провести всего лишь, например, около 10 двусторонних переговоров...*) Следовательно, обмен информацией.в межзвездном масштабе оказывается весьма затрудненным.

Необходимо, однако, заметить, что возможное появление искусственных разумных существ должно ознаменовать новый, качественно отличный от предыдущих, этап развития материи. В частности, нельзя исключить возможность, что цивилизации искусственных высокоорганизованных разумных существ будут весьма долгоживущими. Можно представить даже, что отдельные искусственные разумные существа могут жить много тысяч лет и даже дольше. Следовательно, для них не

*) Впрочем, для искусственных разумных существ, отличающихся огромным долголетием, это ограничение несущественно.

существует специфической трудности, характерной для межзвездной радиосвязи, заключающейся в крайней «медленности» таких «переговоров». Это, конечно, может значительно повысить интерес у этих существ к установлению и поддержанию межзвездной радиосвязи. Кроме того, долголетие астронавтов сделает совершенно необязательными полеты межзвездных ракет с почти" световыми скоростями (по крайней мере, если говорить о прямых контактах между сравнительно близкими инопланетными цивилизациями). Наконец, нельзя исключить и того, что для таких полетов будут «изготовляться» высокоспециализированные разумные существа, способные, с одной стороны, сравнительно легко переносить трудности полета, с другой — лучше всего выполнять поставленную перед ними задачу. Естественно, что при таком положении провести четкие грани между специализированным автоматом и искусственным живым, разумным существом уже нельзя. Может быть, даже шкала времени их технологического развития будет близка к космогонической.

Следовательно, анализируя проблемы связи между инопланетными цивилизациями, необходимо учесть, что сама разумная жизнь в масштабе Вселенной может в процессе своего развития претерпеть качественные изменения. Это не учитывает, в частности, фон Хорнер, который существенным образом исходит в своих теоретико-вероятностных расчетах из представления, что земная разумная жизнь — типичное явление.

Оценки времени существования высокоразвитых цивилизаций, таким образом, имеют кардинальное значение для прогнозирования «межзвездной» связи. Неудивительно поэтому, что на Бюраканском симпозиуме по проблемам внеземных цивилизаций они были предметом оживленной дискуссии. В частности, этому вопросу был посвящен обстоятельный доклад Плятта (США). Естественно, что такие оценки могут быть сделаны только на основе анализа главных тенденций в развитии нашей земной цивилизации. К сожалению, такой анализ неизбежно отличается субъективностью, и, следовательно, результаты его должны приниматься с осторожностью. Последнее обстоятельство мы подчеркивали раньше, при изложении взглядов на этот вопрос фон Хорнера.

Прежде всего Плятт обращает внимание на «взрывчатый» характер развития нашей цивилизации за последнее столетие. За этот сравнительно небольшой промежуток времени основные технологические параметры, характеризующие развитие нашей цивилизации, гигантски увеличились. Представление о росте технологического потенциала дает приведенная Пляттом таблица (табл. 11). Из этой впечатляющей таблицы видно, что некоторые важные параметры развития нашей цивилизации уже довольно близки к физическим пределам.

Таблица 11

Параметр	Увеличение за 100 лет	Физические пределы
Скорость общения	в 10^7 раз	Скорость света
Скорость передвижения	10^2	Орбитальная скорость
Мощность источников энергии	10^3	Изменение климата
Мощность оружия	10^6	Уничтожение человечества
Скорость анализирования данных	10^6	Скорость света

В табл. 10 уже приводились значения величин t_i и p_i для разных вариантов кризисных ситуаций. Плятт рассматривает ряд таких ситуаций, угрожающих существованию человечества. Ожидаемые и возможные катастрофы, грозящие человечеству согласно Плятту:

а) ядерная катастрофа,

б) загрязнение среды и связанные с ней отрицательные изменения в биосфере.

в) экономические катастрофы,

г) неконтролируемый рост народонаселения,

д) истощение естественных ресурсов.

По оценкам, выполненным американским футурологом А. Раппортом при экстраполяции, естественных тенденций в развитии технологических цивилизаций, эти катастрофы должны реализоваться не позже 2030 года. Эта дата и по другим соображениям является критической (см. гл. 25). Следовательно, заключает Плятт, чтобы «выжить», человечеству необходимо научиться анализировать кризисные ситуации и переходить на более высокий уровень оценки действий и регулирования взаимоотношений внутри цивилизации. Плятт, конечно, очень далек от идей коммунистического преобразования общества, которое снимет саму возможность перечисленных выше кризисных ситуаций.

Однако, замечает Плятт, если даже сама возможность перечисленных выше кризисных ситуаций будет устранена, перед высокоразвитыми внеземными цивилизациями может возникнуть проблема потери интереса к общению между цивилизациями. Основные интересы таких цивилизаций могут стать локальными. Плятт метко называет такую ситуацию стратегией «здесь и сейчас». На возможность такой потери интереса указывал еще фон Хорнер. В зависимости от концепций, которыми руководствуются внеземные цивилизации, Плятт оценивает временные интервалы их существования в весьма широких пределах, от 10^2 до 10^9 лет.

Другой участник Бюраканского симпозиума, видный американский ученый Стент, опасается появления новой тенденции у развивающейся внеземной цивилизации — исчезновения творческого начала, появления нового, благоразумного «золотого века». Он проанализировал две основные тенденции, которыми на протяжении всей истории руководствовалось человечество. Первая тенденция — это достижение власти над природой путем активного познания ее законов, безудержный, ничем не ограниченный технологический прогресс, борьба за существование. Эту тенденцию Стент считает характерной для того, что он называет «западным типом цивилизаций», хотя пример. Японии указывает, что это понятие отнюдь не является географическим.

Другая тенденция в развитии цивилизации — это стремление к слиянию с природой и «растворению» в ней. Типичным представителем этой тенденции является буддизм. Стент обращает внимание на то, что в современной Америке имеются представители этой тенденции развития (например, хиппи). В предельном случае такое развитие может привести к установлению некоего «райского уголка» или «золотого века», как это было, по мнению Стента, на островах южных морей до появления там европейцев. Итак, полагает американский ученый, высокоразвитые внеземные цивилизации могут установить у себя некую «внутреннюю Полинезию» с отрицанием необходимости контакта с другими цивилизациями.

Несомненно, что соображения Плятта и Стента заслуживают самого серьезного внимания, хотя бы потому, что они отражают кризис буржуазной идеологии в передовых, высокоразвитых капиталистических странах. Можно и нужно спорить с отдельными конкретными положениями американских ученых. Например, вряд ли на островах южных морей царил некий идеальный «золотой век». Ожесточенные племенные войны и каннибализм, по нашему мнению, никак не являются атрибутами идеального и гармоничного «земного рая», столь красочно обрисованного американским профессором. Точно так же полинезийцев никак нельзя упрекнуть в недостатке предприимчивости и пытливости. Стоит вспомнить, хотя бы, их замечательные плавания на утлых пирогах через огромные, очень страшные просторы Тихого океана, колонизацию и освоение новых островов. А ведь по тем временам эти подвиги и связанные с ними трудности были вполне эквивалентны нашим современным проблемам, связанным с освоением космоса. И не так уже «замкнуты на себя» были великие азиатские цивилизации, исповедовавшие буддизм.

Но не будем придирчивы — зерно истины в концепциях Плятта, Стента, а также фон Хорнера, конечно есть. И есть вполне реальная возможность потери интереса к контактам у тех или иных внеземных цивилизаций. Ну и что же? Ведь не все цивилизации обязаны идти по такому пути. Ни Плятт, ни Стент никогда не утверждали, что потеря интереса — закономерный итог развития цивилизации. А фон Хорнер, правда, достаточно произвольно оценивает вероятность такой ситуации в 20% (см. табл. 10). Смешно определять количество высокоразвитых, способных к контактам внеземных цивилизаций в Галактике с точностью в 20 и 50 процентов... Ведь другие факторы, определяющие это количество (например, вероятность возникновения жизни), известны с несравненно меньшей точностью! Таким образом, следует признать, что хотя соображения Стента и Плятта любопытны, они практически никакого отношения к проблеме установления контактов с внеземными цивилизациями не имеют.

Ситуация с оценкой количества цивилизаций в Галактике может коренным образом измениться, если учесть то, что фон Хорнер называет «эффектом обратной связи». Качественно этот эффект (на который обратил внимание также Брэйсуэлл — см. выше) состоит в следующем. Если «время ожидания» t_0 значительно больше времени жизни технически развитой цивилизации t, ответы на запросы никогда не будут получены и интерес к поискам космических разумных соседей будет рано или поздно потерян. Но если t_0 значительно меньше *t,* то вполне возможен весьма плодотворный и эффективный обмен информацией. При такой ситуации отдельные цивилизации, разбросанные в пространстве Галактики, будут помогать друг другу, что безусловно повлечет за собой увеличение (и, может быть, даже значительное) величины f. Такую ситуацию «Великого Кольца» фон Хорнер и называет «эффектом обратной связи». Мы, однако, полагаем, что, даже если $t_0 > t$ и переговоры носят «односторонний» характер, «эффект обратной связи» может (и должен) иметь место, так как «бескорыстная» посылка информации в космос, будучи случайно «перехваченной», может существенно помочь уловившей сигналы цивилизации в преодолении трудностей, стоящих на пути ее развития, и тем самым может удлинить *t.*

Для проблемы «обратной связи» (в смысле фон Хорнера, т. е. при $t_0 > t$) большое значение имеет величина $K = \frac{L}{t_0'}$, где L— среднее время жизни наиболее часто встречающейся цивилизации, $t_0' = \frac{2d}{c}$ (*c* — скорость света).

Принимая наиболее вероятные значения *t* и *d* по данным табл. 10, можно найти, что $K = 10$. В общем виде величину *K* можно записать так:

$$K = \left(\frac{L}{L_0}\right)^{4/3},$$

где $L_0 = (8\ d_0 T/c^3 \nu_0 Q)^{1/4}$. Если положить $d_0 = 2{,}3$ пк, $T = 10^{10}$ лет, $\nu = 0{,}06$, $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с, $6 = 4$, то $L = 4500$ лет. При $K > 1$ может осуществиться «эффект обратной связи». Следовательно, все дело в том, будет ли «неискаженное» эффектом обратной связи время технологической эры L больше или меньше $L_0 \approx 5000$ лет. Заметим, что L_0 определяется довольно уверенно, так как все величины, от которых оно зависит, входят в степени 1/4. Поэтому даже очень большие ошибки в оценках d_0, ν_0 и *Q* не могут внести существенную погрешность в оценке L_0. Если L значительно больше 5000 лет, то из-за «эффекта обратной связи» оно может существенно увеличиться. Трудно, а может быть пока и невозможно, говорить, до какого значения по этой причине может увеличиться L. Сам фон Хорнер полагает маловероятным, чтобы L увеличилось, например, до миллиона лет. Скорее всего, L будет

значительно меньше. Впрочем, как уже подчеркивалось раньше, его оценки весьма субъективны.

Для эффекта обратной связи могут быть весьма существенны флуктуации в пространственно-временном распределении инопланетных цивилизаций даже в случае, когда $t'_0 > t$. Если в какой-нибудь пространственно-временной области благодаря таким флуктуациям обратная связь привела к существенному увеличению t, то это может иметь большое значение для многих технически развитых цивилизаций. Вполне может случиться, что для них L начнет расти, и этот процесс распространится на всю Галактику. Аналогом этому явлению может служить быстрое размножение живых организмов в подходящей среде.

Представляется довольно очевидным, что «эффект обратной связи» может иметь решающее значение для проблемы разумной жизни во Вселенной. В конечном итоге он может быть основным способом развития мыслящей материи в масштабе Галактики и даже Метагалактики. К этому вопросу мы еще вернемся в гл. 27.

Как уже отмечалось, очень важным результатом теоретико-вероятностного рассмотрения интересующей нас проблемы является вывод о том, что инопланетные цивилизации разделены огромными расстояниями порядка 1000 пк, что весьма осложняет межзвездную связь. В такой обстановке представляет интерес обсуждение характера ожидаемых радиосигналов. Согласно фон Хорнеру природа сигналов в конечном итоге определяется целью, для которой они служат. Кроме того, способ их передачи должен быть наиболее экономичным. Можно ожидать трех типов радиосигналов. Во-первых, радиоизлучение от различных планет, обусловленное наличием на них телевидения и других индустриальных факторов. Во-вторых, направленная радиосвязь между различными цивилизациями типа той, о которой речь шла в гл. 20. Наконец, логически следует ожидать сигналов, направленных на привлечение внимания «партнеров», с которыми связь еще не установлена. Эти три типа сигналов фон Хорнер называет соответственно «местным радиовещанием», «дальним вызовом» и «сигналом для установления контакта».

Что касается «местного радиовещания», то фактически 6 нем уже шла речь в гл. 15. Там было показано, что благодаря деятельности человечества мощность радиоизлучения Земли на метровом диапазоне составляет около 1 Вт/Гц, а яркостная температура Земли на том же диапазоне уже сейчас порядка сотен миллионов кельвинов, что составляет заметную долю от радиоизлучения спокойного Солнца на этом диапазоне. Если бы воображаемый наблюдатель находился на расстоянии 10 световых лет от Земли, где находятся ближайшие к нам звезды, поток радиоизлучения от Земли на метровом диапазоне был бы около 10^{-35} Вт/(м^2-Гц) — величина совершенно ничтожная. Чтобы излучение при современных средствах наблюдения можно было обнаружить, мощность «индустриального» радиоизлучения должна быть увеличена в сотни миллионов раз. Такую возможность в будущем исключить нельзя. Тем не менее сигналы «местного радиовещания», как можно полагать, будут очень слабыми.

Сигналы типа «дальних вызовов» могут быть обнаружены только случайно, если Земля будет находиться в направленном радиолуче, связывающем две какие-нибудь цивилизации. Фон Хорнер оценил вероятность такого «перехвата», которая равна

$$P = \left(\frac{\pi}{120}\right) q^3 \beta^2 n^2,$$

где β — ширина диаграмм направленности антенн (предполагаемых одинаковыми), на которых поддерживается межзвездная радиосвязь, q — отношение дальности, на которой сигнал еще можно обнаружить, к дальности, на которой он уверенно расшифровывается; q всегда больше единицы, так как обнаружить сигнал, конеч-

но, проще, чем его расшифровать. Сделано предположение, что каждая цивилизация поддерживает связь с n соседними. Любопытно, что «вероятность перехвата» P совершенно не зависит от L и $c/$.

Полагая, что Р достаточно велико, чтобы имело смысл организовать «службу перехвата» (например, Р = ½), $q = 5$, $\beta = 1$ мин. дуги, что соответствует диаграмме направленности больших современных радиотелескопов, нужно предположить, что $n = 1300$. Другими словами сигналы могут быть перехвачены только тогда, когда каждая цивилизация одновременно «разговаривает» с 1300 соседями. Похоже, что это маловероятно. Сохраняя требование Р = ½ и полагая $n = 50$, надо принять, что $q = 10$ и Р = 10 мин. дуги, что также довольно маловероятно. В общем следует сказать, что вероятность «перехватить» чужие каналы межзвездной радиосвязи невелика.

Очень большой интерес представляет анализ проблемы природы сигналов, цель которых — установить контакт с инопланетными цивилизациями. Прежде всего, такие сигналы должны привлечь к себе внимание. В то же время естественно предположить, что метод посылки этих сигналов должен быть достаточно «экономичным». Это означает, что затрата усилий, энергии и пр. должна быть по возможности минимальной, а «радиус воздействия» их — максимальным. Остановимся на этом вопросе несколько более подробно. Пусть имеется несколько методов посылки «сигналов контактов» для привлечения внимания неизвестных инопланетных цивилизаций. Для каждого метода можно оценить некоторый эквивалент «стоимости» С, которую надо «затратить», чтобы вероятность P_d обнаружить сигнал на расстоянии d за время t_d была достаточно большой. Можно принять, например, что $P_d = ½$, $d = 1000$ световых лет, а t_d — порядка нескольких сотен лет. Тот из предложенных методов, для которого величина C наименьшая, и следует выбрать. Заметим, однако, что сам по себе критерий «экономичности» остается достаточно неопределенным. Как уже указывалось раньше, наши современные критерии экономичности могут весьма отличаться от аналогичных критериев у высокоорганизованных цивилизаций.

Фон Хорнер полагает, что величина C будет наименьшей, если вся мощность посылается в достаточно узком пучке, и притом на некоторой определенной частоте, которую неизвестные партнеры во Вселенной смогут заранее угадать. В гл. 20 мы уже подробно рассматривали идею Коккони—Моррисона, согласно которой частота сигнала должна быть равна универсальному природному эталону — частоте радиолинии водорода.

Очень большое значение для величины С имеет выбор правильного плана посылки «сигналов». Это означает, что должна быть хорошо продумана система распределения передаваемой энергии в пространстве и времени. Кроме того, план может предусматривать некоторые регулярные изменения частоты посылаемых сигналов. Он должен быть достаточно простым и логичным, чтобы его заранее могли понять неизвестные партнеры. Так как длительность посылки сигналов достаточно велика, соображения «экономичности» требуют, чтобы в этих сигналах содержалась некоторая информация. Информация может содержаться либо в самом сигнале, например, путем его модуляции, либо путем указания на специальную частоту, на которой эта информация посылается.

Такое указание может быть сделано, например, следующим образом. «Сигнал привлечения внимания» должен состоять из большого количества сигналов, посылаемых на разных фиксированных частотах, симметричных по отношению к некоторой центральной частоте. По мере приближения к этой центральной частоте интервалы частот между соседними (по спектру) сигналами становятся все более и более узкими, а сами сигналы — все более узкополосными. Тем самым дается «указание», что центральная частота имеет какой-то смысл и, следовательно, к ней привлекается внимание. На этой частоте через определенные промежутки времени

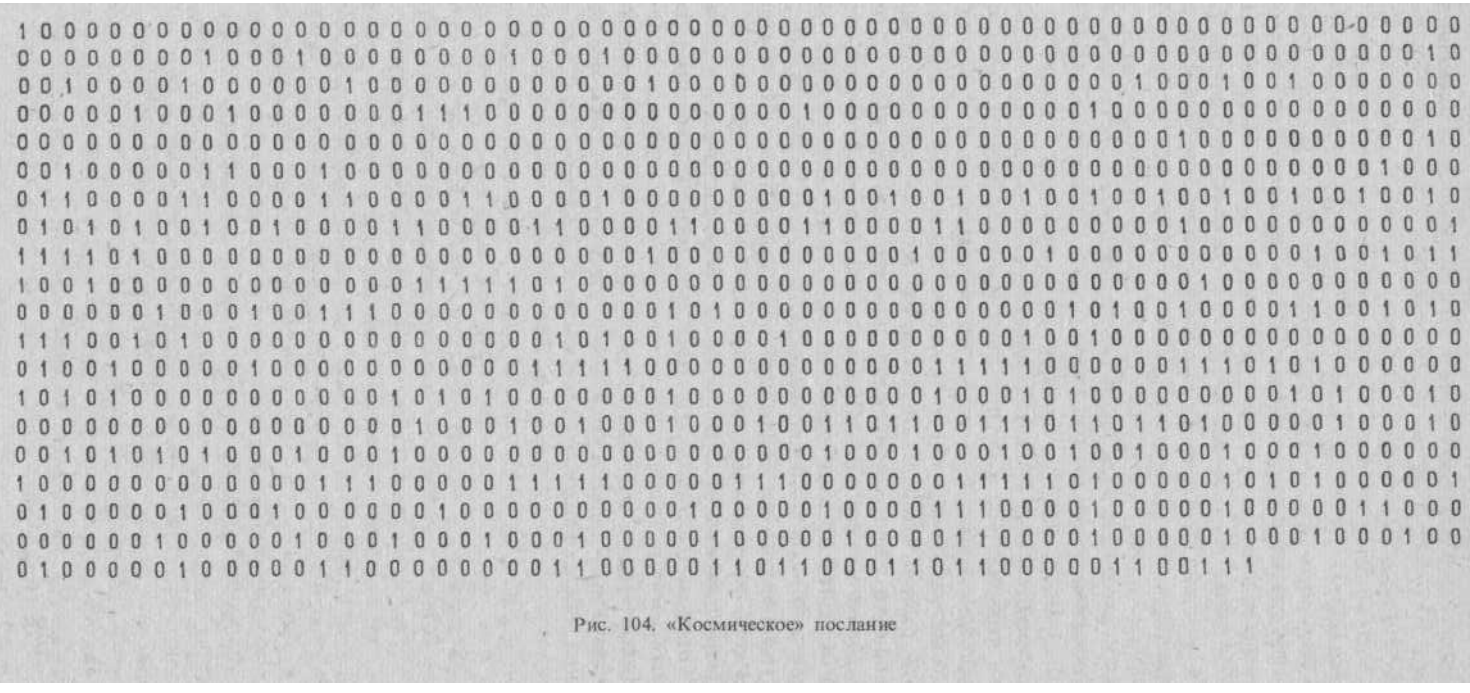

Рис. 104. «Космическое» послание

(может быть, один раз в несколько лет, хотя эти промежутки времени, конечно, не могут быть кратными земным годам, месяцам или суткам) передается информация. Последняя может, например, сперва содержать «лингвистическое введение».

Разумеется, этот пример имеет число иллюстративное значение.

Однако, пожалуй самым эффективным методом установления контакта между инопланетными цивилизациями является передача и з о б р а ж е н и я . При этом предполагается, что все разумные существа, населяющие разнообразные планеты, должны быть з р я ч и м и . Такое предположение выглядит весьма правдоподобно. Ведь у нас на Земле зрением обладает огромное количество видов живых существ, от низших до самых высших. Зрение является мощнейшим способом получения живыми существами информации от внешнего мира, обеспечивающим огромное количество сохраняющих реакций (см. гл. 12).

Эффективность метода передачи информации посредством изображения была остроумно продемонстрирована Дрэйком на радиоастрономической конференции в Грин Бэнк (США). Допустим, сообщил он, что от некоторой звезды регулярно получаются радиоимпульсы малой длительности, разделенные интервалами, кратными длительности импульса. На первый взгляд, эти интервалы разбросаны беспорядочно. Через определенный промежуток времени та же последовательность импульсов повторяется. Это должно явно указывать на их искусственное происхождение. Если изобразить каждый импульс единицей, а «пустой» промежуток времени, по длительности равный длительности импульса,— нулем, то получится запись, представленная на рис. 104. Дрэйк предложил участникам конференции расшифровать этот сигнал. Самое удивительное то, что очень скоро значительное число участников с этой задачей справилось.

Ход их рассуждения был такой. Всего в записи содержится 1271 знак (единиц и нулей). Число 1271 есть произведение двух простых сомножителей 41 x 31. Естественно возникает предположение, что сигнал представляет собой кадр телевизионного изображения, в котором 31 строка и 41 элемент в строке (может быть, конечно, наоборот, но от этого изображение повернется на 90°, что не существенно). Так как большинство знаков — нули, изображение контурное. Развернем это изображение по строкам, причем вместо единиц будем ставить черные кружки. Тогда получится забавная картинка, представленная на рис. 105.

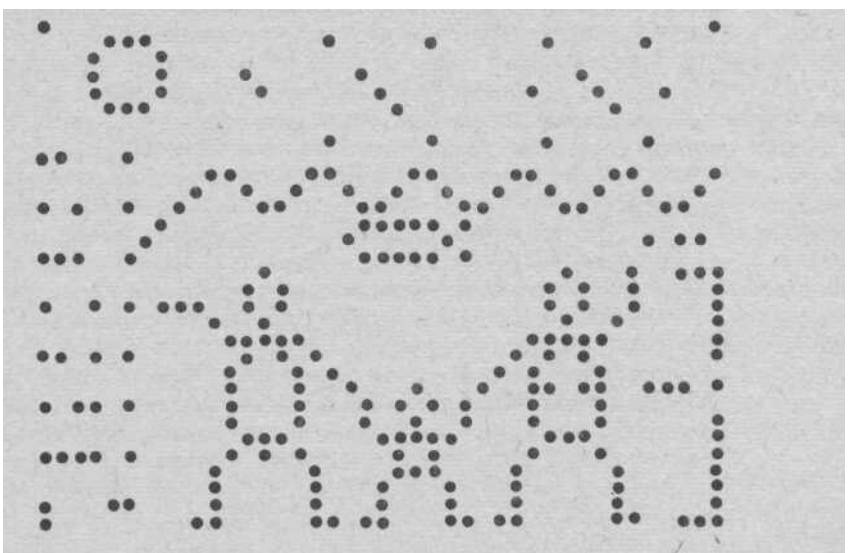

Рис. 105. Дешифровка «космического» послания

Эта картинка содержит довольно богатую информацию. Прежде всего видно, что разумные существа, населяющие планету, антропоморфны и размножаются таким же способом, как их коллеги по разуму, населяющие Землю. У них есть такая важная общественная ячейка, как семья. Грубая окружность в левом верхнем углу картинки должна изображать их Солнце, а ряд точек, расположенных вдоль левого края изображения сверху вниз,— его планетную семью. Против каждой из таких точек в двоичной системе счисления изображен порядковый номер планеты*). Левая фигура указывает рукой на четвертую (по порядку удаления от их Солнца) планету. Именно на этой планете имеется разумная жизнь.

От третьей сверху планеты горизонтально идет волнистая линия. Это можно истолковать таким образом: поверхность третьей планеты покрыта жидкостью (вероятно, водой). Под волнистой линией схематически изображено некоторое рыбообразное существо — представитель фауны этой планеты... Следовательно, можно сделать важный вывод: аборигены далекого мира могут совершать межпланетные перелеты. Жизнь на планете основывается на тех же примерно химических процессах, что и у нас на Земле, ибо в верхней части изображения схематически представлены (слева направо) атомы водорода, углерода и кислорода. Изображение содержит также информацию о размерах разумных существ, населяющих этот чужой мир. Справа от фигур находится «метка роста», посредине которой изображено число 11. Значит, рост взрослых особей —11 единиц некоторого масштаба. Что это за масштаб? Так как передача изображения велась на волне 21 см, естественно считать длину волны межзвездной радиолинии единицей масштаба. Значит, наши «братья по разуму» заметно выше нас: их рост достигает 231 см... Наконец, над вытянутой рукой правой фигуры изображено число 6. Похоже на то, что эти существа шестипалые, что делает весьма вероятным предположение, что они пользуются двенадцатиричной системой счисления...

Приходится только удивляться, какое большое количество информации мы получили из простого анализа 1271 элемента. Этот пример наглядно иллюстрирует возможности обмена информацией методом передачи изображения. В принципе такое ничтожно малое количество элементов может быть передано в очень узкой полосе частот за весьма малый промежуток времени.

Если полоса частот достаточно широка и передача носит длительный характер, количество информации, которая может быть передана, существенно превзойдет всю сумму знаний человечества. Чтобы «почувствовать», так ли это, приведем следующий пример. Известно, что за всю историю человеческой культуры было написано около 100 млн книг и рукописей. Будем считать (условно), что средний объем одной книги — 10 авторских листов. Так как в одном авторском листе содержится, по существующим стандартам, 40 тыс. печатных знаков, то полное количество таких знаков в 100 млн книг будет $40 \cdot 10^{13}$. Если каждый знак кодировать в двоичной системе и передаче информации предпослать сколь угодно обширное лингвистическое введение, полное число знаков двоичного кода, которое должно быть передано, будет порядка $(1 - 2) \cdot 10^{14}$. Если теперь полоса частот передающегося сигнала будет 1000 МГц (что легко достижимо в диапазоне 21 см), то потребуется 10^5с или всего лишь немногим более суток, чтобы передать содержание всего, что когда-либо было написано людьми! Разумеется, такие сложные передачи должны следовать за более простыми «сигналами» типа картинки, изображенной на рис. 105.

Конечно, передавать подряд содержание 100 млн книг есть варварский способ установления контактов между инопланетными цивилизациями. Все это можно сде-

*) В двоичной системе каждое число представляется суммой степеней 2: $n = a_0 2^0 + a_1 2^1 + a_2 2^2 + \ldots$, где a_i принимают значения либо 1, либо 0. В первом случае ставится точка, во втором делается пропуск. Например, число 11 можно представить как $1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 2^0$ или... На рис. 105 слева от изображения каждого числа дополнительно ставится еще точка, как это делается, например, при телеграфировании.

лать несравненно более экономично. Наиболее эффективные методы установления таких контактов должны разрабатываться совместными усилиями специалистов по кибернетике, математической логике, радиоэлектронике.

Вырисовываются контуры совершенно новой науки. Назовут ли ее «космической лингвистикой» или как-нибудь иначе — вопрос второстепенный. Ясно только то, что такая наука обязательно будет развиваться.

Уже сейчас первые шаги в этом направлении сделаны в Нидерландах. Мы имеем в виду разработанный доктором Фройденталем проект универсального языка для связи с инопланетными цивилизациями. Этот язык даже получил название — «линкос». Речь идет о создании чисто логического языка, полностью «очищенного» от таких ненужных нагромождений, как всякого рода исключения из правил, синонимы и пр. Это чисто «семантический» язык, освобожденный от какого бы то ни было фонетического звучания. Слова этого языка никогда и никем во Вселенной произноситься не будут. Закодированные в какой-нибудь системе (например, двоичной, хотя и это совершенно не обязательно), они будут передаваться в космос радиопередатчиком подходящей мощности.

Для «линкоса» большое значение имеет четкая и логически безупречная система классификации и нумерации отдельных частей «космического послания» — глав, параграфов и т. д. Без этого послание нелегко будет расшифровать. Напротив, четкое разграничение отдельных частей его позволит при дешифровке легко переходить, скажем от «математической» главы к «биологической» или еще какой-нибудь, представляющей специальный интерес для «космического корреспондента».

Передачи «линкос» должны начинаться с самых элементарных понятий математики и логики. Они должны состоять из небольших частей - параграфов, которым предшествуют заголовки («шапки»). Рассмотрим пример вводной передачи: «Курс — элементарный, раздел науки — математика, глава 1, параграф 1. Заголовок: Ряд натуральных чисел...». Урок состоит из серии простых (т. е. не кодированных) импульсов. Сначала передается один такой импульс, потом два и т. д. Смысл такой передачи должен быть совершенно очевидным для космических корреспондентов. Следующая передача: «Параграф 2. Заголовок: Код чисел: - = 1, - = 2, - =3...». Из этой передачи корреспондент усвоит понятие «равняется» и обозначение соответствующих чисел в системе «линкос». Читатель может выразить естественное сомнение: правильно ли поймет такую передачу космический корреспондент? На такое сомнение мы ответим так: если корреспондент не разберется в таком универсальном послании, нельзя предполагать, что у него могут быть мощные радиотелескопы для приема таких сигналов... Даже если у корреспондента и останутся кое-какие сомнения, следующая, третья, часть послания их устранит: «Параграф 3. Заголовок: Сложение: $1+2 = 3$, $1 + 3 = 4$, $2 + 3 = 5$...».

Далее таким же образом будут переданы уроки «вычитание», «умножение», «деление», а затем, постепенно, более сложные разделы математики (число л, натуральные логарифмы, алгебра, анализ). Для обучения геометрии могут быть полезны передачи изображений в сочетании со словами «линкоса».

Пройдя таким образом, курс математики, космический корреспондент овладеет большим количеством важных понятий, как-то: «подобно этому», «больше», «меньше», «отлично от», «верно», «неверно», «примерно», «максимум — минимум», «растет», «убывает» — и даже пресловутым «легко показать, что...». Все эти понятия, логический смысл которых совершенно бесспорен, пригодятся корреспонденту при последующей дешифровке.

По мысли Фройденталя, «линкосом» могут быть переданы и значительно более трудные понятия «гуманитарного» характера, такие как «трусость», «гнев», «сообразительность», «альтруизм». Это достигается разыгрыванием небольших сцен между воображаемыми персонажами. Сперва такие сцены будут носить только математический характер.

Поясним это примером. «Курс — элементарный, область науки — поведение. Тема беседы — способность к мышлению». Человек *A* говорит человеку *B* (обозначим это символом *A-->B):* сколько будет 2 + 3?

B -->A: 2+3 = 5.

A -->B: верно.

Далее ряд аналогичных сцен. Затем появляется персонаж С.

A -->B: сколько будет 15*15?

B -->A: 15*15 = 220.

A -->B: неверно.

A -->C: сколько будет 15*15?

C -->A: 15*15 = 225.

A -->C: верно. *C* более разумный, чем *B.*

После этой передачи следует ряд аналогичных сцен нарастающей трудности. Рано или поздно корреспондент поймет, что в этих передачах речь идет не о математике (это уже было, да и примеры нарочито наивны). Это — театр, представление. А раз так, возникают понятия эмоций, чувств, поступков.

Выше уже говорилось, что лингвистические передачи разумно чередовать с передачей изображений. Такие передачи могут содержать уже богатую научную информацию (см. рис. 87). Не представляет труда передавать изображения и схемы устройства различных животных, веществ, структур, сопровождая их пояснениями на «линкосе». Так, например, периодическая система элементов Менделеева может быть передана простым изображением (построенным по принципу рис. 106). По оси абсцисс откладывается число протонов в ядре соответствующего элемента, по оси ординат — число нейтронов. Из этого изображения легко понять, сколько устойчивых изотопов соответствует каждому элементу. (Следует представить, что три полосы на рис. 106 в действительности образуют одну полосу, идущую слева вверх направо. Приведенная на рис. 106 форма изображения обусловлена соображениями экономии места.)

Не представляют принципиальных затруднений передачи физических, астрономических или химических постоянных. Можно принять и объяснить корреспонденту единицу длины, например 21 см, и через нее выразить все линейные единицы; единица массы может быть связана, например, с массой электрона, а единица времени определяется из скорости света и принятого эталона длины. В конечном итоге таким способом можно экономично передавать любую сколь угодно сложную научную информацию.

Не следует, однако, закрывать глаза на те гигантские трудности, с которыми может столкнуться проблема дешифровки сигналов. Хорошо известно, что письменность значительного количества исчезнувших с поверхности Земли цивилизаций, несмотря на большие усилия нескольких поколений ученых, все еще не расшифрована. А ведь создавали эту письменность люди, т. е. существа с системой мышления, с системой отражения в своем сознании внешнего мира, вполне тождественной нашей! К тому же соответствующие цивилизации были на гораздо более низком научном и технологическом уровне, чем наша современная цивилизация. Что же можно ожидать от «космического послания», составленного хотя и высокоинтеллектуальными, но совершенно другими существами? Ведь внешний мир в их сознании может отражаться совершенно иначе, чем в нашем.

Вполне естественно поэтому, что на Бюраканском симпозиуме по внеземным цивилизациям многие высказывания по этому поводу носили довольно пессимистический характер. Так, например, Моррисон высказал опасение, что скорость получения сигналов может оказаться больше нашей способности к их пониманию. Даже если дешифровка сигналов не станет проблемой, может, как полагает Моррисон, возникнуть специфическая трудность. Он оценивает весь объем опыта всего человечества в 10^{21} - 10^{22} бит. Как видим, эта величина гораздо больше, чем информа-

ция, содержащаяся во всех когда-либо написанных книгах и рукописях (см. выше). По мнению Моррисона, большая часть человеческого опыта не выражена — она относится к внутренним переживаниям отдельных индивидуумов. С другой стороны, если когда-нибудь будет получен космический сигнал искусственного происхождения, то скорость прироста информации будет около 10^{10}— 10^{11} бит в секунду. Эта

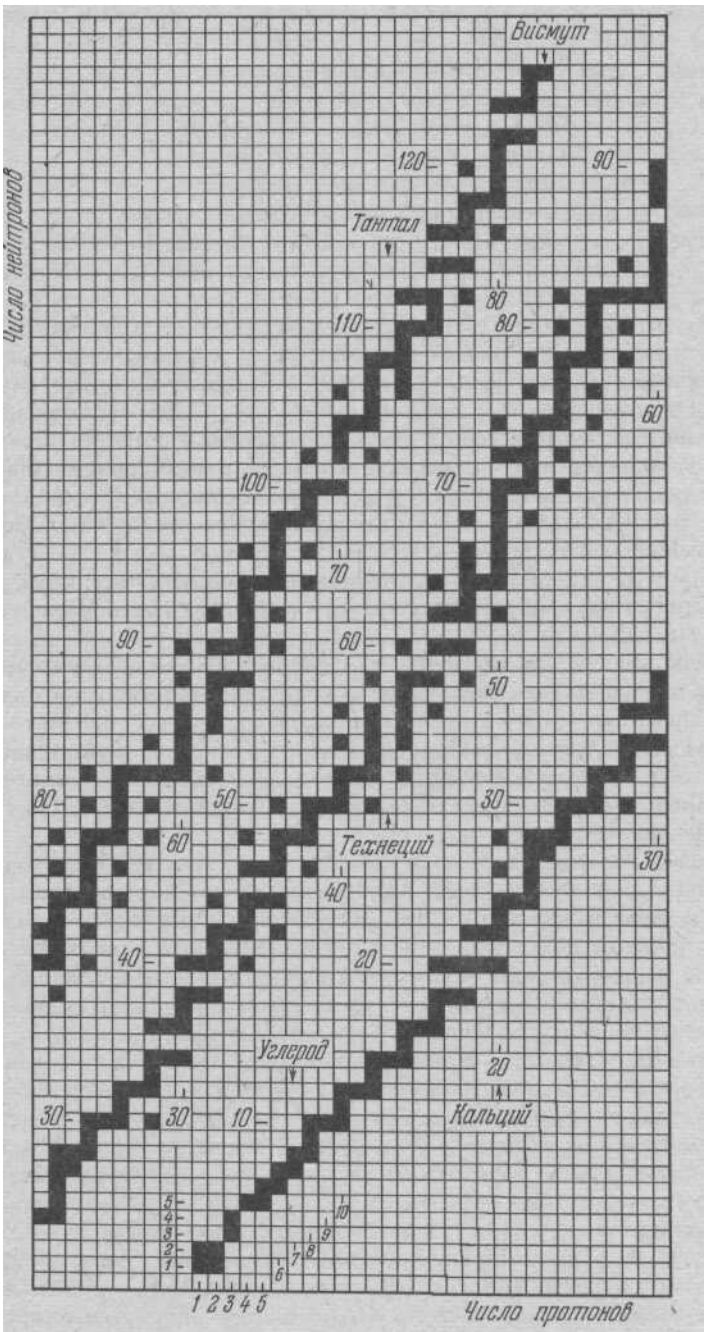

Рис. 106. «Космическая» информация: таблица Менделеева

скорость определится шириной полосы частот радиоканала, которая вряд ли превысит 10^{10}—10^{11} Гц. Отсюда, заключает Моррисон, потребуется много тысяч лет для удвоения объема информации, которым располагает человечество. Следовательно, пессимистически заключает Моррисон, прием сигнала от внеземных цивилизаций, кроме самого факта приема, ничего не изменит в человеческом опыте.

Гораздо проще добавочную информацию накопить самим... Однако большинство участников Бюраканского симпозиума никак не могло согласиться с этим софизмом. Например, Дрэйк очень спокойно спросил у Моррисона: «Как Вы думаете, сколько бит информации содержится в формуле Эйнштейна $E = mc^2$?» Вопрос Дрэйка попал, что называется, в точку. Ведь учет только количества информации является совершенно неправомерным формальным приемом. Для оценки информации необходимо пользоваться какими-то другими критериями, учитывающими не только количество, но и качество информации.

По основной проблеме дешифровки сигналов крайне пессимистическая точка зрения была высказана на Бюраканском симпозиуме советским радиоастрономом Б. Н. Пановкиным. Он подчеркнул, что материальные предметы не являются непосредственным содержанием нашего знания. Процесс познания имеет дело с образами, в которых как бы «сливаются» объективные свойства предметов и субъективные характеристики мышления отдельных индивидуумов. Поэтому, заключает Пановкин, для понимания сообщения необходима идентичность исторического пути развития обоих «корреспондентов». Понимание сообщения возможно или при «догадке» о его структуре, или при мощном кибернетическом анализе. В частности, Пановкин считает невозможным обмен информацией при помощи космических языков типа «линкос».

Соображения Б. Н. Пановкина заслуживают серьезного рассмотрения. Мы, однако, не разделяем его пессимизма. Конечно, проблема дешифровки сигнала очень трудна. Однако Пановкин явно недооценивает интеллектуальные возможности получателей сигнала. Ведь в принципе можно осуществить вероятностное моделирование мышления передающих сигнал «корреспондентов», хотя это и нелегкая задача.

Короче говоря, мы полагаем, что были бы сигналы, точнее, цивилизации, их посылающие, а уж расшифровать их сумеют, как бы это ни было трудно...

На Бюраканском симпозиуме по внеземным цивилизациям довольно оживленно обсуждался и другой немаловажный вопрос: полезно или вредно будет установление контактов с «небожителями». По этому поводу высказывались самые разные предположения. Ряд американских участников симпозиума высказал определенные опасения. Так, например, видный американский историк Мак Нейл подчеркивал, что на Земле сильная (т. е. более развитая) культура всегда доминировала над более слабой, вне зависимости от политического подчинения. Он полагает, что при установлении контакта с внеземными цивилизациями, уровень которых значительно выше нашего, возможно «угнетение» нашей цивилизации, вплоть до ее растворения в более высокой цивилизации.

Внеземные цивилизации в принципе могут посылать информацию «разлагающего» характера — например, передать структуру какого-нибудь супергалюцигенного препарата невиданной силы. Может быть, для внеземной цивилизации применение таких препаратов — норма существования, между тем как для нашей — оно смертельно.

Еще раз подчеркнем, что прежде чем будет налажен оживленный обмен информацией между инопланетными цивилизациями, должны быть установлены более простые контакты между ними. Мы полагаем, например, что для сигналов «привлечения внимания» лучше всего использовать по возможности мощный изотропный (т. е. излучающий равномерно во все стороны) источник радиоизлу-

чения. При этом сигнал должен уже содержать богатую информацию. В гл. 27 мы рассмотрим очень интересную идею посылки космических сигналов, высказанную Н. С. Кардашевым.

Возвращаясь к теоретико-вероятностным расчетам фон Хорнера, содержание которых излагалось в начале этой главы, мы считаем необходимым высказать одно критическое замечание. При всем остроумии этих расчетов они исходят из технических возможностей нашей современной, «земной» цивилизации. Между тем необходимо считаться с тем фактом, что уровень развития разумной жизни, по крайней мере у некоторых инопланетных цивилизаций, может (и должен) быть существенно выше. Поэтому нельзя не считаться с тем, что оценки фон Хорнера могут быть самым коренным образом изменены. Чтобы сделать правильный прогноз в этом направлении, очень важно суметь выявить существенные тенденции в развитии разумной жизни на Земле. Нам представляется, что исключительно широкие перспективы развития автоматики, кибернетики и молекулярной биологии могут коренным образом изменить оценки фон Хорнера. Об этом будет идти речь в гл. 27 нашей книги.

24. О возможности прямых контактов между инопланетными цивилизациями

В предыдущих главах мы разобрали несколько мыслимых методов установления контактов между инопланетными цивилизациями. Довольно подробно были рассмотрены вопросы межзвездной радиосвязи, оптической сигнализации с помощью лазеров, а также возможности применения для этой цели автоматических ракет-зондов. А между тем остался не рассмотренным один, если можно так выразиться, «тривиальный» способ связи — непосредственные контакты между разумными обитателями различных планетных систем. Совершенно очевидно, что такой тип установления контактов между инопланетными цивилизациями предполагает возможность межзвездных перелетов разумных существ на соответствующих летательных аппаратах.

Имеется огромное количество фантастической и полуфантастической литературы, в которой такие межзвездные перелеты астронавтов описывались с большим количеством захватывающих подробностей. Меньше всего нам хотелось бы повторять эти наивные, большей частью банальные и нередко смешные повествования. Но, с другой стороны, наша книга была бы недостаточно полной, если бы в ней не была отражена возможность прямых контактов между различными разумными обитателями космоса.

Такой способ контактов имеет в принципе ряд преимуществ перед другими, например основанными на посылке электромагнитных сигналов. Прежде всего, межзвездная связь на электромагнитных волнах осуществляется слишком уж медленно. По меньшей мере несколько тысяч лет должно пройти, прежде чем наладится двусторонний разговор — срок, расхолаживающе большой. Далее, все-таки нет 100%-ной гарантии, что выбранная длина волны (например, 21 см) является универсальным для всех инопланетных цивилизаций каналом связи. Если же будет разнобой в стандарте длины волны, межгалактическая связь окажется довольно затруднительной. Разумеется, все эти обстоятельства не являются сколько-нибудь решающим возражением против метода контактов с помощью электромагнитных волн. Скорее, они указывают на трудности такой связи. Но и без этого ясно, что установление межзвездной радиосвязи — дело далеко не простое...

Мы сейчас приведем аргумент в пользу метода непосредственных контактов между цивилизациями, носящий принципиальный характер. Дело в том, что «электромагнитный» метод установления связи между цивилизациями совершенно исключает два типа контактов: а) контакты между технологически развитыми и технологически неразвитыми цивилизациями, б) обмен материальными предмегами между различными инопланетными цивилизациями *). Контакты типа а) могут представлять большой познавательный интерес для высокоразвитых цивилизаций. Следует еще учесть, что возможная длительность «дотехнической» стадии у многих цивилизаций может быть весьма значительной. Поэтому количество цивилизаций такого типа может намного превосходить количество технически развитых цивилизаций. Потребность в контактах типа б) может возникнуть, например, после установления между высокоразвитыми цивилизациями электромагнитного канала связи. Далее очевидно, что контакты типа а) могут быть неразрывно связаны с контактом типа б).

*) Впрочем, имеется принципиальная возможность передать по радио самую исчерпывающую информацию о материальном предмете любой сколь угодно высокой степени организации (например, о разумном существе). На основе этой информации инопланетная цивилизация из своих материальных ресурсов сможет изготовить такой предмет.

Таким образом, у высокоразвитых цивилизаций безусловно возникнет потребность в установлении непосредственных контактов со своими «братьями по разуму». Осуществлять такие контакты могут либо живые существа, либо автоматические кибернетические устройства. В принципе, однако, нельзя провести резкую границу между обоими этими случаями.

Проблема установления прямых контактов есть, прежде всего, проблема осуществления межзвездных перелетов. Уже давно известна одна замечательная особенность таких перелетов. Если скорость движения летательного аппарата достаточно близка к скорости света *c,* время для «пассажиров» этого аппарата течет заметно медленнее по сравнению с течением времени на оставленной ими планете. Мы здесь не будем пояснять этот общеизвестный вывод теории относительности. Таким образом, для пассажиров летательного аппарата открывается принципиальная возможность совершить перелет на огромные расстояния, исчисляемые сотнями и тысячами световых лет, и остаться при этом в живых, только немного постарев.

Поясним сказанное на конкретных примерах. Пусть летательный аппарат движется с постоянным ускорением *a* и затем на полпути до цели полета начнет тормозиться с тем же ускорением. На основании расчетов Пешека и Зенгера, опубликованных соответственно в 1956 и 1957 гг., Саган дает следующее выражение для времени полета t, отсчитанного «по часам» пассажиров летательного аппарата:

$$t = \left(\frac{2c}{a}\right) \operatorname{arcch}\left(1 + \frac{aS}{2c^2}\right),$$

где S — длина межзвездной трассы, ch — гиперболический косинус. Вычисления показывают, что при таком характере полета и при $a=g$ (ускорение силы тяжести Земли) наш аппарат долетит до ближайших звезд за несколько лет, до галактического ядра, удаленного от нас на расстояние около 30 тыс. световых лет,— за 21 год, а до ближайших галактик (например, до туманности Андромеды) — за 28 лет (по часам его пассажиров!). Заметим, что а может быть равно *2g* и даже *3g* — ускорение, «привычное» для разумных обитателей больших планет (если таковые, конечно, есть). В этих случаях значение *t* может быть уменьшено почти в два раза. С другой стороны, пока летательный аппарат совершит свой полет в оба конца, на планете, которую покинули космонавты, пройдет время, гораздо большее, чем t. Это время приблизительно равно удвоенному расстоянию до цели полета, выраженному в световых годах (время разгона до релятивистской скорости при движении с постоянным ускорением *д* будет около одного года — значение, для «дальних рейсов» ничтожно малое). Например, по календарю «материнской» планеты пройдет свыше 3 млн лет, пока астронавты совершат полет к туманности Андромеды и обратно, а до скопления галактик в созвездии Волос Вероники — несколько сот миллионов лет. При полетах на достаточно большие (например, трансгалактические) расстояния формула для *t* немного упрощается и принимает вид

$$t = \frac{2c}{a} \ln\left(\frac{aS}{c^2}\right),$$

откуда при $S = 2\text{-}10^{26}$ см (расстояние до скопления галактик в Волосах Вероники) t = 38 лет.

Неоднократно указывалось, что полет с почти световой скоростью сопряжен с исключительными трудностями. Так как ускорение и замедление ракеты требуют огромных ресурсов энергии, специфические трудности, которые при этом возникают, вряд ли даже в принципе преодолимы. Дело в том, что при сколько-нибудь

приемлемом отношении полной начальной массы ракеты (обозначим ее через M_i) к массе, оставшейся после выгорания горючего (M_0), скорость ракеты после выгорания горючего *(V)* составит лишь малую часть скорости света (с). Это будет иметь место даже, тогда, когда в качестве источника энергии будут использоваться ядерные реакции как распада (уран), так и синтеза (термоядерная реакция). В самом деле, напишем основную формулу теории реактивного движения

$$\frac{V}{W} = \ln\left(\frac{M_i}{M_0}\right),$$

где *W*— скорость выброса рабочего вещества ракеты. Максимально возможная величина W при урановой реакции будет около 13000 км/с. Для термоядерной реакции *W* немного больше. Следовательно, для того чтобы скорость ракеты после выгорания горючего *V* была порядка скорости света *c,* надо, чтобы M_i было в сотни миллионов раз больше, чем M_0, что явно неприемлемо. Отсюда можно сделать вывод, что только фотонная ракета (если бы, конечно, ее удалось когда-нибудь построить), для которой $W = c$, может обеспечить межзвездный полет со скоростью, достаточно близкой к скорости света. При этом, однако, возникают новые трудности.

Из теории реактивного движения следует, что ускорение ракеты *b* определяется простой формулой

$$b = \frac{2P}{W},$$

где *P* — отношение мощности двигателей ракеты к ее полной массе. В случае фотонной ракеты эта формула принимает еще более простой вид

$$b = \frac{P}{c}.$$

Из этой формулы сразу же следует, что если мы хотим, чтобы ускорение ракеты b равнялось привычной для нас величине земного ускорения g, нужно, чтобы $P = 3$ млн Вт/г. Эта величина является чудовищно большой. Чтобы почувствовать, что это такое, приведем пример.

Современная американская подводная лодка с атомным двигателем мощностью в 15 млн Вт имеет вес 800 т. Следовательно, для нее $P = 0{,}02$ Вт/г. Это в 150 млн раз меньше той «удельной мощности», которая требуется для того, чтобы наша гипотетическая фотонная ракета двигалась с ускорением $b = g$. Если бы для такого межзвездного корабля был построен двигатель мощностью в 15 млн Вт (что достаточно для удовлетворения потребности в энергии небольшого города), он весил бы ...5 граммов! Заметим, что в этот вес входят (в случае двигателя фотонной ракеты) масса горючего, масса гигантских рефлекторов (необходимых для обеспечения работы фотонной ракеты) и масса аппаратуры.

Из этого расчета с достаточной очевидностью следует, что трудности «количественного» характера настолько велики, что явно перерастают в качественные. Если мы попытаемся сколько-нибудь значительно уменьшить P, пропорционально уменьшится ускорение *b* и ракета уже не сможет за приемлемое время достигнуть релятивистской скорости.

Таким образом, вопреки мнению писателей-фантастов, межзвездные фотонные ракеты, движущиеся с релятивистской скоростью, вероятнее всего, никогда не будут построены. Каждой эпохе свойственно переоценивать свои технические возможности. Вспомним в этой связи, что в XIX столетии серьезно обсуждались проекты полета на Луну… с помощью парового двигателя. Еще раньше некоторые писатели-фантасты надеялись совершить такое путешествие … на воздушном шаре. В наши дни мы являемся свидетелями явной переоценки возможностей реактивной техники.

Эта техника является идеальной при полетах на межпланетные расстояния и при грядущем преобразовании Солнечной системы человеком (см. гл. 26). Более того, ракеты могут быть мощным средством постепенной экспансии цивилизации от одной планетной системы к другой, находящейся в непосредственной близости. В гл. 22 мы уже рассматривали такую возможность в связи с проектом Брэйсуэлла. Существенно, однако, что при такой «экспансии» (или «диффузии») цивилизации движение ракет будет происходить с нерелятивистской скоростью. Но для непосредственного контакта между разумными существами, разделенными межзвездными расстояниями (а для этого нужны фотонные ракеты, движущиеся с релятивистской скоростью), реактивная техника из-за указанных выше трудностей, по-видимому, непригодна.

Имеется, однако, принципиальная возможность совершенно по-новому подойти к проблеме межзвездных и трансгалактических перелетов с почти световыми скоростями. В последние годы эту новую идею выдвигал ряд авторов, но наиболее полное рассмотрение принадлежит Бюссару. Речь идет о возможности использования межзвездной среды, с одной стороны, как термоядерного горючего, с другой — как рабочего вещества ракеты. Так как межзвездный газ состоит преимущественно из водорода, на ракете должно быть установлено термоядерное устройство, синтезирующее из ядер водорода ядра дейтерия. Сооружению такого устройства не препятствует ни один из известных законов физики. Поэтому можно полагать, что когда-нибудь такой термоядерный реактор будет построен.

Особенность такого летательного аппарата реактивного действия состоит в том, что поверхность, через которую должен всасываться межзвездный газ, должна быть очень большой. Расчеты показывают, что «поверхностная плотность» ракеты этого типа должна быть 10^{-8} г/см^2 при условии, что в окружающем пространстве в 1 см^3 имеется один атом водорода. В общем случае поверхностная плотность ракеты обратно пропорциональна концентрации межзвездного газа $n_н$. Если масса ракеты равна, например, 100 т, а $n_н = 1$ см$^{-3}$, поверхность, через которую должен всасываться межзвездный газ, равна 10^{15} см^2. Это означает, что радиус такой поверхности должен быть около 700 км. В метагалактическом пространстве, где $n_н <= 10^{-5}$ см$^{-3}$, «радиус всасывания» должен быть еще в сотни раз больше. Конечно, это большая трудность. Но кто же может поручиться, что в перспективе нескольких столетий (а может быть, и быстрее) эта трудность не будет преодолена?

Если когда-нибудь этот способ передвижения в космосе будет освоен, наши потомки станут свидетелями удивительного «возврата» принципов космического полета от ракеты к... самолету, для полета которого, как известно, необходима материальная среда.

Имеется еще одна фундаментальная трудность, возникающая при движении летательного аппарата с почти световой скоростью. Столкновение такого аппарата с межзвездными атомами и особенно пылинками может иметь губительные последствия для экипажа звездолета. В самом деле, максимальная скорость ракеты при ее полете по описанной выше программе, как показывают вычисления, будет равна

$$v = c\left[1 - \left(1 + \frac{aS}{2c^2}\right)^{-2}\right]^{1/2}.$$

Если, например, S = 30 тыс. световых лет (что соответствует расстоянию до ядра Галактики), то v отличается от c только на одну миллионную часть процента. При такой скорости каждый столкнувшийся с ракетой атом межзвездного водорода будет подобен частице космических лучей с энергией 10^{13} эВ. Если в межзвездном пространстве на 1 см^3 приходится один атом водорода, то поток энергии в форме

космических лучей через переднюю поверхность ракеты будет $3 \cdot 10^{23}$ эВ/см^2 или $2 \cdot 10^{11}$ эрг/см^2.

Это, конечно, чудовищная величина. Уровень губительной жесткой радиации будет при такой бомбардировке недопустимо высок даже при полетах к ближайшим звездам. Вряд ли экранировка аппарата каким бы то ни было веществом будет эффективной, особенно если учесть очень малое значение отношения полезной массы к массе топлива в случае ракет «обычного» типа и пропорциональность поверхности всасывания межзвездной среды массе летательного аппарата — в случае ракеты, использующей для движения межзвездную среду. Мы не рассмотрели последствия столкновений с пылевыми частицами межзвездной среды, которые при таких скоростях могут быть просто катастрофическими.

Все же перечисленные трудности не дают оснований сделать вывод (как это сделал фон Хорнер), что осуществление межзвездных полетов с почти световой скоростью невозможно даже в ближайшие столетия. Ведь перспектива полета человека на аппарате тяжелее воздуха еще 100 лет назад казалась совершенно неясной. Опыт развития науки и техники учит нас, что, если есть некоторая общественная потребность в изобретении, осуществлению которого принципы науки не препятствуют, оно обязательно рано или поздно будет сделано. А темпы развития науки и техники растут из десятилетия в десятилетие.

Уже в наши дни появляются некоторые идеи, позволяющие в принципе преодолеть трудности, стоящие перед межзвездными полетами. Например, можно представить, что «встречные» межзвездные атомы будут ионизоваться с помощью некоторого агрегата, стоящего на борту ракеты, после чего ионизованные частицы будут отклоняться в сторону сильным магнитным полем.

Таким образом, принципиальных возражений против возможности полетов летательных аппаратов реактивного действия со скоростью, близкой к скорости света, не существует. Коль скоро это так, мы, рассматривая все варианты установления контактов между инопланетными цивилизациями, не можем исключить возможности прямых контактов путем межзвездных перелетов на специальных летательных аппаратах.

При этом возникает волнующий вопрос: не посещалась ли наша планета в прошлом (не обязательно весьма отдаленном) инопланетными астронавтами?

Это — классический сюжет фантастических произведений многих авторов, начиная от Герберта Уэллса и кончая Станиславом Лемом. М. М. Агресту принадлежит заслуга постановки этой проблемы на научную основу.

Основная идея М. М. Агреста, сформулированная им в 1959 г., состоит в следующем. Предположим, что инопланетные астронавты некогда посетили нашу Землю и встретились с людьми. В этом случае столь необыкновенное событие должно было найти свое отражение в легендах и мифах. Для примитивных аборигенов Земли астронавты должны были представляться как существа божественной природы, наделенные сверхъестественным могуществом. Особое значение в таких мифах должно было отводиться небесам, откуда прилетели эти загадочные существа и куда они потом, по всей вероятности, «вознеслись». Эти «небожители» в принципе могли обучать землян полезным для них ремеслам и даже основам наук, что также должно было найти отражение в легендах и мифах.

Сама постановка вопроса М. М. Агрестом нам представляется вполне разумной и заслуживающей тщательного анализа. Хорошо известно, что мифы и легенды, рождавшиеся у народов, еще не знавших письменности, имеют большую историческую ценность. Так, исгория не имевших письменности народов Черной Африки доколониального периода сейчас реставрируется в значительной степени по их фольклору, основой которого служат легенды и мифы.

Карл Саган привел в этой связи весьма любопытный пример. В 1786 г. знаменитый французский мореплаватель Лаперуз посетил индейцев северо-западной

Америки. Спустя столетие анализ легенд и мифов об этом посещении позволил с большой точностью восстановить даже внешний вид кораблей Лаперуза. Этот пример вполне адекватен, так как первобытными народами первые посещения их европейцами воспринимались примерно так же, как если бы с небес спустились астронавты. На канву фактов из поколения в поколение нанизывается цепь более или менее фантастических вымыслов, но основа все же остается, тем более что и фантастические наслоения на истинный рассказ происходят по определенным правилам, по-видимому, известным этнографическим и лингвистическим наукам.

М. М. Агрест смело считает, что совокупность многих удивительных событий, описанных в Библии, имеет в качестве своей первоосновы посещение Земли инопланетными астронавтами. Так, например, обстоятельства разрушения городов Содома и Гоморры весьма напоминают ядерный взрыв в описании малокультурных наблюдателей... Всякого рода «вознесения на небеса» жителей Земли (например, вознесение Еноха) можно, по Агресту, объяснить взятием астронавтами («ангелами») кого-нибудь из жителей Земли на борт космического корабля. Таких возможностей интерпретации библейских легенд М. М. Агрест приводит довольно большое количество.

Развивая свои идеи, М. М. Агрест в порядке постановки вопроса выдвигает такую гипотезу: не могут ли те или иные памятники материальной культуры прошлого быть связанными с «визитом» инопланетных космонавтов? В этой части, однако, высказывания М. М. Агреста по меньшей мере спорны. Например, известным советским журналистом Г. Н. Остроумовым было доказано, что пресловутого «стального параллелепипеда», якобы хранящегося в музее Зальцбурга, никогда не существовало в природе. Знаменитая стальная нержавеющая колонна в Индии является выдающимся достижением порошковой металлургии древности и никак не связана с космическими пришельцами... Наконец, наделавшее много шума изображение «марсианского бога» в скафандре на фресках сахарских скал представляет собой изображение человека в ритуальной маске и балахоне. Вообще вокруг таких вопросов широкая пресса как в нашей стране, так и за рубежом слишком часто поднимает сенсационную шумиху. Это, конечно, вполне естественно, если учесть огромный интерес к проблемам внеземной разумной жизни со стороны самых широких слоев населения. Тем больше осторожности требуется при анализе появляющихся иногда в печати сообщений о различных удивительных находках.

Пока еще ни один материальный памятник культуры прошлых веков не может с какой-то степенью достоверности связываться с мыслящими пришельцами из космоса. Это, конечно, не означает, что всякие попытки найти такие памятники вздорны и антинаучны. Нужно только с большой критичностью относиться к исследуемому материалу и всегда помнить старую, мудрую китайскую пословицу, которая уже приводилась в гл. 17...

Возвращаясь к концепции М. М. Агреста о возможности в мифах и легендах различных времен найти указания на прилет инопланетных космонавтов, мы еще раз хотим подчеркнуть, что она весьма интересна и заслуживает всяческого внимания. Очень изящной нам представляется также мысль Агреста, что инопланетные астронавты могли оставить материальные следы своего посещения на... обратной стороне Луны. В самом деле, логично допустить, что они опасались оставлять такие «заявочные» столбы на Земле, так как низкий уровень цивилизации аборигенов нашей планеты с несомненностью привел бы к их разрушению и расхищению... Они могли рассчитывать, что когда человечество освоит обратную сторону Луны, оно тем самым выдержит экзамен на право называть себя разумным и цивилизованным...

В 1962 г. гипотезу, анологичную предложенной Агрестом, высказал Саган. Прежде всего, Саган находит частоту непосредственных контактов между инопланетными цивилизациями. Он исходит из своих довольно произвольных оценок

количества таких цивилизаций в нашей звездной системе. Согласно его оценкам, в Галактике одновременно существует около 10^6 технически развитых цивилизаций. Вряд ли стоит подробно анализировать все предпосылки, которые легли в основу такой оценки. Укажем только, что время существования технически развитой цивилизации (а этой величине, очевидно, пропорционально полное количество таких цивилизаций) у Сагана принимается порядка 10^7 лет, что, пожалуй, является слишком оптимистической оценкой. Принимается, что эти цивилизации планомерно, без «дублирования» исследуют космос. Если каждая такая цивилизация ежегодно (имеется в виду «земной» год) посылает один межзвездный корабль для подобных исследований (такое допущение, конечно, совершенно произвольное), то средний интервал между двумя последовательными «посещениями» окрестностей какой-нибудь «обычной» звезды, как показывает простой расчет, будет равен 10^5 лет.

Средний интервал времени между посещениями планетных систем, на которых имеется разумная жизнь (а такие посещения, естественно, будут в связи с их особой перспективностью более частыми), можно в рамках исходных предположений принять равным нескольким тысячам лет.

Следовательно, имеется отличная от нуля вероятность, что на Земле такие посещения могли быть в историческую эпоху. Подобно Агресту, Саган сосредоточивает свое внимание на различных легендах и мифах. Из всех легенд и мифов он выделяет шумерийский эпос, в котором повествуется о систематическом появлении в водах Персидского залива удивительных существ, обучавших аборигенов основам наук и ремесел. Возможно, что эти события происходили вблизи древнейшего шумерийского города Эриду в первой половине четвертого тысячелетия до нашей эры. Вообще, согласно Сагану, представляется поразительным почти скачкообразный переход шумерийской культуры от долгих тысячелетий варварства и застоя к пышному расцвету городов, построению сложной ирригационной системы и расцвету наук, в частности астрономии и математики.

На наш взгляд гипотезы Агреста и Сагана в их «конкретном» оформлении не противоречат друг другу. Библейские легенды, как известно, имеют достаточно разветвленные вавилонские корни. Нельзя исключить, что тексты Библии и мифы Вавилона являются отголосками одних и тех же событий. Конечно, ни гипотеза Агреста, ни вариант ее, развитый Саганом, пока не имеют достаточно серьезных научных оснований. Тем не менее они представляют большой интерес и заслуживают внимания.

Любопытно, что, если верить оценкам Сагана (по нашему мнению, повторяем — произвольным), в сравнительно близком будущем можно ожидать очередного прилета на Землю инопланетных астронавтов... Эти астронавты будут весьма удивлены теми «сдвигами», которые произошли у земной цивилизации «за отчетные 5500 лет»...

Ну, а если говорить серьезно, то современная наука не располагает ни одним фактом, указывающим на возможное посещение инопланетянами Земли. Между тем имеется огромный поток «свидетельств очевидцев» о наблюдениях неких «неопознанных летающих объектов» («НЛО»), получивших распространенное название «летающих тарелок». Во всех случаях, однако, когда эти «наблюдения» подвергали серьезному научному анализу, они находили вполне естественное объяснение. В наше время в атмосфере и в ближнем космосе проводится очень много всяческих экспериментов, сопровождаемых оптическими явлениями, и неискушенные наблюдатели, к тому же являющиеся жертвами массового психоза, зачастую принимают это за проявления деятельности космических пришельцев.

25. Замечания о темпах и характере технологического развития человечества

Прежде чем остановиться на увлекательной проблеме грядущего переустройства человечеством Солнечной системы (а может быть, и более удаленных областей Галактики), целесообразно хотя бы вкратце обсудить темпы развития человечества и проанализировать перспективы на сравнительно близкое будущее.

Прежде всего, как быстро увеличивалось население нашей планеты за последние столетия? Воспользуемся данными, показывающими динамику роста народонаселения земного шара, которые приведены в журнале «Коммунист» № 3 за 1964 г.

Эти данные охватывают период с 1000 г. н. э. Мы представим эти данные в виде графика, который приведен на рис. 107 (по вертикальной оси принят логарифмический масштаб). На этом графике нанесена также точка, соответствующая 2000 г. н. э., когда население Земли, по данным ЮНЕСКО, превысит 6 млрд человек.

Приведенная на рис. 107 кривая весьма примечательна. Прежде всего, она не может быть представлена экспонентой $N = N_0 e^{at}$. В масштабе рис. 107 экспонента выглядела бы как прямая линия, чего заведомо нет. Лучше всего кривая роста народонаселения Земли может быть представлена гиперболическим законом:

$$N = \frac{c}{t_0 - t}.$$

Доказательством этого утверждения является линейная зависимость обратной

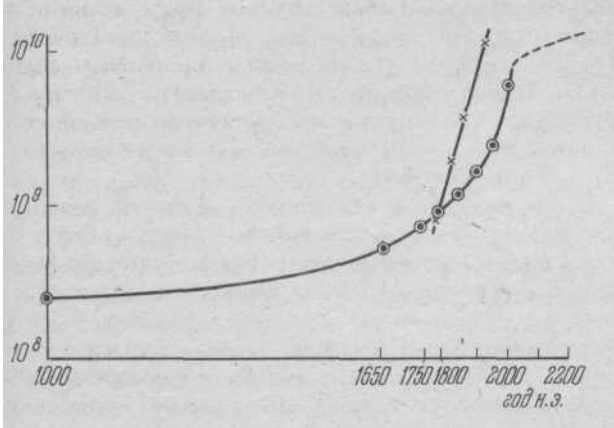

Рис. 107. Рост населения земного шара за последнюю тысячу лет

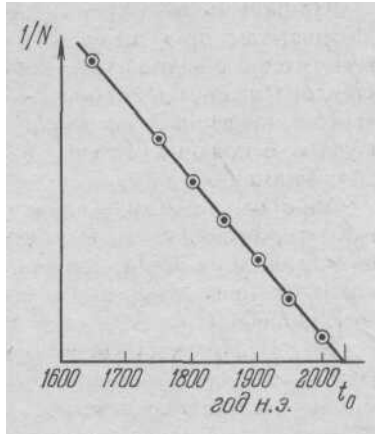

Рис. 108. Доказательство гиперболического характера закона увеличения народонаселения Земли

N величины от времени (рис. 108). Точки на этой кривой (вернее, прямой) пропорциональны значениям $t_0 - t$, полученным для разных дат (величины $1/N$ можно получить из кривой на рис. 107). Из рис. 108 с большой точностью получается величина $t_0 = 2030 \pm 5$ лет. Если бы рост населения следовал гиперболическому закону и дальше, то около 2030 г. население земного шара стало бы бесконечно большим. Этот вывод, очевидно, абсурден, что следует хотя бы из того, что в 2000 г. население Земли будет «всего лишь» 6,2 млрд и, в силу ограниченности

биологических возможностей человека, через 30 лет после этого оно никак не может стать бесконечно большим...

Какой же отсюда следует вывод? Только один: в течение ближайших нескольких десятилетий сам закон роста народонаселения должен претерпеть радикальные изменения.

Естественным законом увеличения народонаселения является экспоненциальный закон. Последний получается из простого условия, что ежегодный прирост народонаселения пропорционален величине народонаселения. Математически это запишется так:

$$dN/dt = \alpha N.$$

Нынешний гиперболический закон увеличения народонаселения всего земного шара (который действует по крайней мере несколько сот лет) обусловлен не столько биологическими, сколько социальными факторами. Согласно этому закону, ежегодный прирост народонаселения определяется уравнением

$$dN/dt = \beta N^2.$$

Преодолев социальные кризисы, человечество может обеспечить «нормальный» экспоненциальный рост народонаселения, разумным образом подобрав величину а. При таком законе катастрофическое перенаселение (следующее из гиперболического закона) человечеству угрожать никогда не будет. На рис. 107 пунктирная линия изображает характер увеличения народонаселения Земли в будущем.

Возникает основной вопрос: опережает ли развитие производительных сил человечества рост народонаселения или отстает от него? Хорошим индексом производительных сил человечества является производство энергии всех видов. Соответствующие данные, охватывающие период от конца XVIII в. до наших дней, содержатся, например, в книге Роуза «Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции». Оказывается, что рост производства энергии за это время очень хорошо следовал экспоненциальному закону, который представлен на том же рис. 107. В масштабе этого рисунка годичное производство энергии на душу населения земного шара определяется разностью кривых роста производства энергии и роста народонаселения. Мы видим, что эта разность, вплоть до настоящего времени росла. Заметим, однако, что в будущем, и притом довольно близком, ситуация может радикально измениться к худшему (см. ниже). Следует подчеркнуть, что увеличение населения всего земного шара в течение последнего периода определялось в основном развивающимися странами.

Коль скоро человечество преодолеет нынешний кризис, вызванный наличием на нашей планете двух антагонистических систем — социализма и капитализма, единственным фактором, лимитирующим неуклонный экспоненциальный рост производительных сил общества, будет ограниченность материальных ресурсов, которая обусловлена конечными (хотя и относительно большими) размерами нашей планеты, а также катастрофическое загрязнение Окружающей среды. То, что эти факторы могут стать существенными довольно скоро, мы покажем на следующем простом примере.

В наши дни человечество ежегодно производит энергию, соответствующую производству ~5 млрд т антрацита. Ежесекундное производство составляет около $6 \cdot 10^{19}$ эрг, причем каждые 20 лет эта величина удваивается (см. соответствующую кривую на рис. 107). Эта тенденция довольно устойчива и держится уже около 200 лет. При таких темпах через 200 лет производство энергии вырастет в тысячу раз и достигнет $3 \cdot 10^{22}$ эрг/с. Вполне вероятно, что это наступит даже раньше, так как ресурсы угля и нефти сравнительно невелики и в ближайшие десятилетия следует ожидать революции в энергетике, связанной с массовым производством ядерной энергии. $3 \cdot 10^{22}$ эрг/с составляют уже около 1 % потока солнечной энергии, не-

прерывно падающей на Землю. Дальнейшее увеличение производства энергии с неизбежностью повлечет за собой изменение теплового режима Земли, что может привести к весьма неприятным последствиям. Разумеется, до этого начнется широкое использование солнечной энергии, но здесь есть предел: вероятнее всего, можно будет использовать не более 1 % от всего потока энергии излучения Солнца.

Не подлежит сомнению, что неограниченно растущий технологический потенциал развивающегося общества за сравнительно короткое время должен вступить в противоречие с ограниченностью естественных ресурсов Земли. Уже в наше время все большее и большее внимание уделяется угрожающему нарушению равновесия между человечеством и окружающей его экологической средой — биосферой. Проблема загрязнения атмосферы, мирового океана и внутренних водоемов, почвы и растений становится весьма острой. Бесконтрольное стихийное развитие производительных сил может привести человечество к катастрофе (см. ниже).

Если представить себе некий воображаемый космический корабль, экипаж которого улетел в далекий звездный рейс, рассчитанный на многие годы, то каждый поймет, что члены этого экипажа должны с величайшей бережливостью и благоразумием относиться к своим крайне ограниченным ресурсам кислорода, питания, топлива и пр. Сознание мыслящих людей должно все больше и больше проникаться мыслью, что наша Земля — очень большой космический корабль, который почти пять миллиардов лет путешествует в глубинах крайне «негостеприимной» для жизни Вселенной. Этот «космический корабль» весьма удобно вышел на стационарную, почти круговую орбиту вокруг устойчиво излучающего желтого карлика и использует его энергию... Но как бы ни были велики ресурсы этого огромного космического корабля — они все же ограничены. И его экипаж (т. е. мы, земляне) должны об этом постоянно помнить.

А между тем, по-видимому, уже сейчас бесконтрольное развитие производительных сил привело к ряду необратимых и весьма неприятных последствий. Мы не будем говорить здесь о вымирании огромного количества видов животных, многие из которых являются важными звеньями в экологической цепи, выкованной Природой за миллиарды лет естественного отбора. Обратим только внимание на одно немаловажное обстоятельство. Мы уже упомянули, что основным «поставщиком» свободного кислорода в атмосферу Земли является планктон. По крайней мере несколько десятков процентов кислорода поставляется в атмосферу нашей планеты благодаря жизнедеятельности растений в тропических лесах. Сейчас, в конце XX столетия, в связи с хищнической вырубкой практически сведены тропические леса Африки и Южной Азии. Они остались только в бассейне Амазонки и, похоже, через несколько десятилетий будут и там уничтожены. Значит, бездумная деятельность экипажа космического корабля, называемого «Земля», уже теперь привела к нарушению кислородного баланса атмосферы.

Приведем другой пример. Как уже упоминалось выше, сейчас ежегодно добывается топливо, соответствующее примерно 5 млрд тонн каменного угля. Это топливо сжигается, т. е. соединяется с атмосферным кислородом. В результате получается углекислый газ плюс энергия, которая и утилизируется. Следовательно, этот варварский способ получения энергии сопровождается изъятием из земной атмосферы около 20 миллиардов тонн кислорода ежедневно. Много ли это или мало? Чтобы ответить на этот вопрос, оценим полное количество кислорода в земной атмосфере. Это очень легко сделать. Над каждым квадратным сантиметром земной поверхности имеется около 200 г кислорода. Так как поверхность земного шара приблизительно равна 500 миллионов км^2 или $5 \cdot 10^{18}$ см^2, полное количество кислорода в земной атмосфере около 10^{21} г или 10^{15} т. Это означает, что для «поддержания» горения добываемого на Земле топлива земной атмосферы хватит на 50000 лет. Подчеркнем, что на Земле действуют и другие естественные причины, приводящие к связыванию свободного кислорода ее атмосферы. Как оказывается, сжигание

топлива сейчас составляет несколько процентов от действия естественных факторов, приводящих к связыванию кислорода земной атмосферы. В итоге существенная часть кислорода свяжется через несколько тысяч лет. Только жизнедеятельность растений непрерывно пополняет эту убыль кислорода из атмосферы. И вот неразумное вмешательство людей в этот миллионами лет устоявшийся кислородный баланс Земли привело к тому, что он нарушается как бы «с двух концов»: уничтожая леса, мы уменьшили «поставку» кислорода в атмосферу по крайней мере на 10%, а сжигая его с топливом, увеличили скорость его ухода из атмосферы на несколько процентов. Если бы в атмосфере кислорода было сравнительно немного — последствия сказались бы очень скоро. Но так как кислорода в земной атмосфере запасено очень много — последствия скажутся только через несколько тысяч лет — характерное время установления динамического равновесия кислорода в атмосфере. Через этот промежуток времени, благодаря деятельности людей за последние несколько десятилетий, равновесное количество кислорода в земной атмосфере уменьшится примерно на 15—20%.

Но ведь сейчас темп добычи ископаемого горючего и его сжигания продолжает расти! Если так будет продолжаться, то через сотню лет добыча угля и нефти увеличится в несколько десятков раз. А это приведет к катастрофическому уменьшению кислорода в земной атмосфере за какие-нибудь несколько сот лет! Заметим, что мировых ресурсов угля и нефти, особенно еще не разведанных, вполне достаточно для этого самоубийственного дела: не забудем, что каменный уголь — это бывшие растения! Такая «деятельность», с позволения сказать, «разумных» существ приводит к непрерывному увеличению содержания углекислого газа $C0_2$, что, помимо других вредных последствий, резко нарушает тепловой баланс Земли, о чем речь уже шла раньше.

Приведем теперь другой пример. Недавно было обращено серьезное внимание на угрозу разрушения озонного слоя Земли некоторыми газообразными промышленными отходами. Наиболее опасными разрушителями этого слоя являются молекулы, входящие в разные сорта фреона, — вещества, заполняющего все холодильники. Эти молекулы содержат хлор и фтор. В настоящее время ежегодно около 10 миллионов тонн испарившегося фреона поступает в атмосферу. Там молекулы фреона перемешиваются с ее основными компонентами и заносятся при этом на высоты 20—30 км, где жадно вступают в химические соединения с молекулами озона. При последующих реакциях с молекулами кислорода фреон опять восстанавливается и, таким образом, он постепенно накапливается в верхних слоях атмосферы. В настоящее время мировое производство фреона растет примерно на 20% в год. Если в ближайшие годы это безобразие не прекратить, то, как показывают расчеты, через несколько десятилетий толщина озонного слоя в атмосфере начнет ощутимо уменьшаться. Но ведь хорошо известно, что слой озона — это броня, защищающая биосферу от губительных ультрафиолетовых лучей Солнца в диапазоне длин волн 0,24—0,29 мкм. Неразумное и даже самоубийственное поведение человечества вполне можно уподобить поведению сошедшего с ума экипажа космического корабля, буравящего его стенки, что неизбежно приведет к разгерметизации.

Вдумаемся, что происходит: миллиарды лет создавался удивительно тонкий и сложный баланс биосферы Земли. И вот появляется, казалось бы, самый совершенный продукт эволюции биосферы — человек, называющий себя разумным, и варварски разрушает то, что привело к его появлению и без чего невозможно его дальнейшее развитие и совершенствование. Только принятие самых радикальных мер в течение ближайших 2—3 десятилетий может предотвратить самоубийство человечества. Какие это меры? Прежде всего — революция в энергетике, переход на использование атомной и солнечной энергии. Это избавит человечество от кошмара загрязнения атмосферы и обеднения ее кислородом, но может породить новые

проблемы, не менее острые. Но так или иначе, мы всегда должны помнить, что находимся на космическом корабле с конечными ресурсами, с которыми обращаться следует с величайшей осторожностью. Ниже мы остановимся на пределах роста нашей цивилизации более подробно. Теперь же обсудим некоторые перспективы дальнейшего прогресса науки и техники.

Неоднократно отмечалось, что технологическое развитие нашей цивилизации за последние сотни лет носит катастрофически быстрый, почти взрывной характер. Наглядной иллюстрацией к сказанному является табл. 12, составленная известным английским ученым и писателем-фантастом Кларком.

Левая половина таблицы дает краткую хронологическую сводку основных технических достижений человечества в различных областях его деятельности с 1800 г. и до наших дней. Правая половина этой таблицы дает соответствующий прогноз на довольно близкое будущее. Сама по себе попытка построить такую таблицу является в такой же степени смелой, как и увлекательной. Конечно, можно не соглашаться с Кларком по поводу отдельных деталей левой половины этой таблицы. Так, например, трудно согласиться с тем, что Кларк придает «одинаковый» вес технологии извлечения магния из морской воды (кстати сказать, пока еще далекой от совершенства) и открытию эффективных методов получения атомной энергии. По нашему мнению, нельзя ставить также «на одну доску» открытие «языка» пчел и антибиотиков. Последнее для прогресса человечества имело, конечно, неизмеримо большее значение. В основном же, на наш взгляд, левая половина таблицы Кларка неплохо отражает основные вехи технологического развития человечества за последние полтора — два столетия.

Что же можно сказать о правой половине таблицы Кларка? Хотя «грядущие годы таятся во мгле», перспективы, открывающиеся перед человечеством на протяжении ближайших 13 десятилетий, невольно поражают. Конечно, эта часть таблицы Кларка является весьма спорной, отдельные предсказанные открытия не обязательно будут совпадать с соответствующими датами. Забавно, например, что согласно Кларку легче колонизировать планеты, чем научиться управлять погодой.... Что поделаешь — может быть, он и прав. Любопытно отметить, что Кларк почти точно предсказал время высадки астронавтов на Луне.

Если верить этой таблице, радиоконтакт с внеземными цивилизациями будет установлен между 2030 и 2040 гг. Иными словами, дети наших молодых читателей доживут до этого времени. Что же, им можно только позавидовать...

С нашей точки зрения, очень трудно предвидеть фундаментальные открытия в области физики. Весьма туманным, например, представляется «разрушение пространства — времени», планируемое через столетие... Автор этой книги также вряд ли согласится с тем, что около 2100 г. состоится волнующая встреча с разумными существами, обитающими на других планетных системах. Вопрос сводится к тому, кто кого найдет? Если они нас, то это, очевидно, может произойти когда угодно — либо через 10 лет, либо через тысячелетия. Некоторые оптимисты считают, что такая встреча уже состоялась, причем в историческое время (см. предыдущую главу). Если же как «активный фактор» выступят земляне, то срок такой встречи будет зависеть не столько от уровня нашего технологического развития, сколько от удаленности от нас ближайших планетных систем, населенных разумными существами. Если Кларк считает, что в 2080 г. будет запущен первый звездолет, а в 2100 г. состоится встреча с разумными аборигенами других планет, то это означает, что последние удалены от нас на расстояние, не превышающее 20 световых лет. Тем самым он становится на ту весьма оптимистическую точку зрения, что практически каждая планетная система населена разумными существами — нашими современниками.

В гл. 22 и 23 были приведены, на наш взгляд, достаточно серьезные аргументы против такой оптимистической концепции. Скорее всего, ближайшие планетные

Таблица 12

ПРОШЛОЕ

Год	Транспорт	Связь, информация	Технология	Биология, химия	Физика
1800	Локомотив Пароход	Телеграф	Паровой двигатель	Неорганическая химия Синтез мочевины	Атомная теория
1850	Автомобиль	Телефон Фонограф	Механические станки Электричество	Органическая химия Красители	Спектроскопия Сохранение энергии Электромагнетизм
1900	Самолет	Вакуумная трубка	Дизельные двигатели Газолиновые двигатели Массовое производство	Генетика Витамины	Рентгеновы лучи Электрон Радиоактивность Специальная теория относительности
1910		Радио		Пластики	Изотопы
1920				Хромосомы Гены	Общая теория относительности Строение атома Волновая механика
1930		Телевидение		Язык пчел Гормоны	Нейтроны
1940	Ракеты Вертолет	Радиолокация Магнитная запись Электроника Электронно-вычислительные машины Кибернетика	Магний из моря Атомная энергия	Антибиотики Кремний	Деление урана Ускорители Радиоастрономия
1950	Спутники	Транзисторы Мазер Лазер	Автоматика, водородная бомба	Успокаивающие средства	МГГ Несохранение четности
1960	Космические корабли	-		Структура белка	

БУДУЩЕЕ

Год	Транспорт	Связь, информация	Технология	Биология, химия	Физика
1970	Космическая лаборатория, посадка на Луну		Электрические аккумуляторы	Китовый язык	
	Ядерная ракета	Машинный перевод			
1980	Посадка на планеты				Гравитационные волны
		Персональное радио		Экзобиология, искусственный организм	
			Термоядерный синтез		
1990		Искусственный разум	Передача энергии по радио	Увеличение восприятия	Внутриядерная структура
2000	Колонизация планет	Всемирная библиотека	Освоение моря		
2010	Путешествие к центру Земли	Телепатические устройства	Контроль погоды		
		Логический язык		Контроль наследственности	Ядерный катализ
2020	Межзвездный зонд	Робот	Космическая геология		
2030		Контакт с внеземными цивилизациями		Биоинженерия	
				Разумные животные*	
2040				Обесчувствление	
2050	Контроль над гравитацией				
		Запасная память	Планетная инженерия		
2060				Искусственная жизнь	Разрушение пространства-времени
2070	Околосветовые скорости		Контроль над климатом		
2080	Межзвездный полет				
2090	Передача материалов	Мировой мозг	Астроинженерия	Бессмертие	
2100	Встреча с инопланетными существами				

системы, населенные разумными существами, удалены от нас на расстояния, превышающие многие сотни, если не тысячи световых лет. Это объективно существующее обстоятельство, конечно, значительно удалит дату встречи с нашими космическими братьями по разуму.

Волнующим является вопрос о принципиальной возможности бессмертия для каждого индивидуума человеческого общества. В отличие от Кларка, мы понимаем под этим не способность данного индивидуума жить вечно (что явно бессмысленно), а существенное продление его жизни, скажем, в десятки и даже сотни раз. Такая перспектива, особенно в связи с возможностью создания искусственных разумных существ, нам представляется вполне реальной. Об этом, в частности, речь будет идти в предпоследней главе нашей книги.

В целом таблица Кларка при ее внимательном изучении производит сильное впечатление. Из нее непосредственно, например, следует, что к 2100 г. возможности человечества существенно перерастут скромные земные ресурсы. В этом же и состоит вся сущность проблемы дальнейшего развития нашей цивилизации. Неограниченный экспоненциальный и даже «сверхэкспоненциальный» рост всех показателей развития за последние 3—4 столетия есть сугубо неравновесный процесс. Человечество, возникшее как часть биосферы, вышло из состояния равновесия с этой оболочкой Земли, что неизбежно должно привести его к критической ситуации, к необходимости сделать выбор и коренным образом изменить стратегию своего поведения. От этого будет зависить вся предстоящая история человечества. Как же будет выглядеть развитие человечества в будущем?

Всестороннее математическое исследование этой проблемы в последние годы проводилось группой весьма компетентных специалистов, известных под названием «Римский клуб». Сложность задачи состоит в том, что параметры развития человечества (например, промышленное производство на душу населения, загрязнение среды обитания и пр.) являются взаимно связанными. Надо еще иметь в виду, что все глобальные процессы (рост производства и народонаселения, загрязнение среды обитания и пр.) имеют инерцию. Математически задача сводится к решению системы из многих тысяч совместных дифференциальных уравнений, что можно было сделать только с помощью современной вычислительной техники. Соответствующая этой задаче область науки известна как системный анализ.

Прежде всего тщательно оценивались все ресурсы Земли, которые необратимо расходуются в процессе технологического прогресса человечества. Далее, используя все данные экономики и статистики, находят рост производства этих ресурсов и зависимость этого роста от времени, а затем оценивают «время исчерпания» соответствующего вещества. Некоторые результаты этого анализа приведены в табл. 13.

Таблица 13

Вещество	Глобальные запасы, т	% роста в год	т, годы	Вещество	Глобальные запасы, т	% роста в год	т, годы
Алюминий	$1{,}2\text{-}10^{9}$	6,4	55	Железо	$1{,}0\text{-}10^{11}$	1,8	173
Хром	$1{,}7\text{-}10^{8}$	2,6	154	Свинец	10^{8}	2,0	64
Уголь	$5\text{-}10^{12}$	4,1	150	Нефть	$4.5\text{-}\ 10^{11}$	4,0	50
Медь	$3\text{-}\ 10^{8}$	4,6	48	Природный газ	$3\text{-}\ 10^{13}$ м^3	4,7	49

Время исчерпания ресурсов вычислено в предположении, что в течение будущих десятилетий разведанные ресурсы вырастут в пять раз по сравнению с данными, приводимыми в этой таблице. Конечность ресурсов Земли и их грядущее исчерпание в сочетании с прогрессирующим загрязнением среды обитания является решающим фактором в будущей истории нашей цивилизации.

Участники «Римского клуба» особенно тщательно исследовали вопрос о загрязнении окружающей среды деятельностью человека. Поучителен рис. 109, дающий уменьшение кислорода в воде около дна Балтийского моря, которое, по

существу, стало мертвым. Важно, что очистка отходов — очень дорогое дело, если мы хотим получить достаточно чистые отходы, а именно это и нужно (рис. 110).

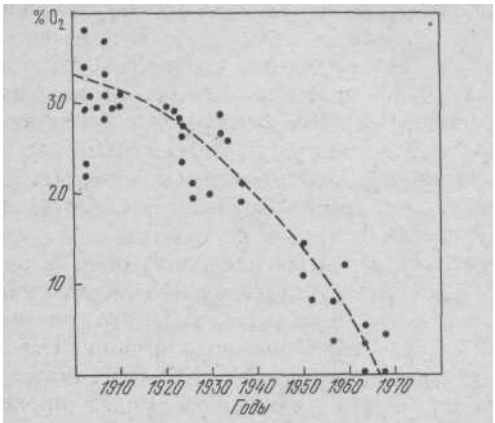

Рис. 109. Процент кислорода в воде Балтийского моря

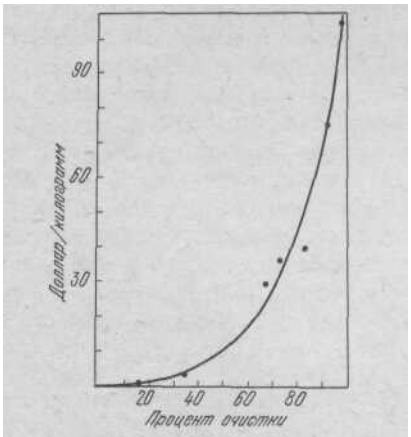

Рис. 110. Стоимость очистки единицы массы продукции

Авторы этого исследования рассчитывают несколько моделей дальнейшего развития человеческого общества. Прежде всего, рассчитывается «стандартная» модель, описывающая дальнейшее развитие так, как оно происходило в прошлом. Соответствующие графики основных параметров развития приведены на рис. 111,

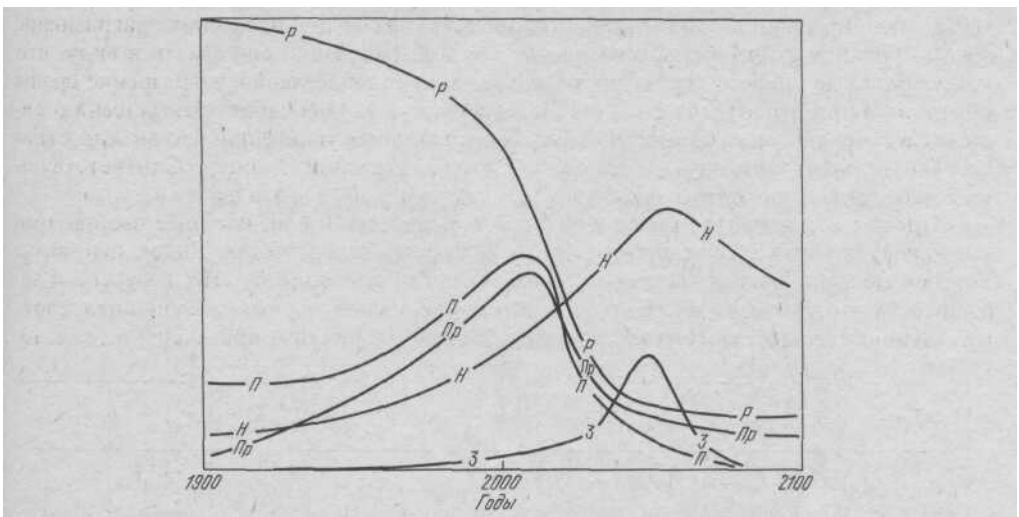

Рис. 111. Стандартная модель мирового развития: *Р* — ресурсы, *П* — количество пищи на человека в год, *Н* — население земного шара, *Пр* — промышленное производство, рассчитанное на одного человека, *З* — загрязнение окружающей среды

который можно озаглавить: «Что произойдет, если ничего не предпринимать». Анализ этих кривых производит устрашающее впечатление. Вплоть до начала следующего, XXI века будет происходить тот же рост, что и приведенный на рис. 107. Однако после 2030 г. очень быстро наступит катастрофическая ситуация. Численность населения, а также промышленная продукция начнут резко снижаться, а загрязнение среды — расти. Цивилизация прекратит свое существование («коллапс») и вместе с нею исчезнет и загрязнение. Увы, нас это не должно уже радовать!

Любопытна модель развития цивилизации, которая получается при неограниченном увеличении ресурсов (рис. 112 и 113). В этом случае причиной коллапса будет катастрофическое загрязнение среды. В поисках выхода из положения авторы из «Римского клуба» предлагают установить жесткий контроль рождаемости при остановке роста промышленности. На рис. 114 приведена соответствующая модель, где рост населения прекращается с 1975 г., рост промышленной продукции прекращается с 1985 г. (эти сроки уже прошли...). Хотя ситуация и смягчается, но все равно коллапс цивилизации только отодвигается на 2 — 3 столетия.

Следует подчеркнуть, что авторы описанных выше расчетов рассматривают идеализированную модель. Совершенно не учитывается крайняя неравномерность развития, наличие двух антагонистичных систем, острые проблемы развивающихся стран. Не учитывается и возможность возникновения войн,, которая реально существует в разделенном на лагери мире. Все эти факторы должны действовать

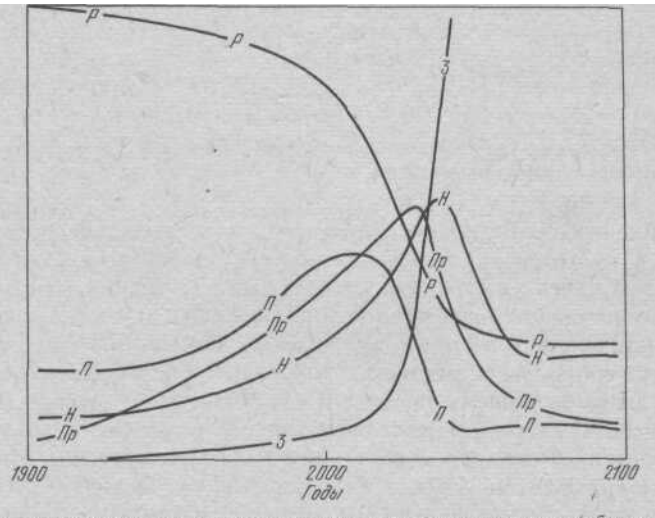

Рис. 112. Модель, соответствующая неограниченному увеличению ресурсов (обозначения те же, что и на рис. 111)

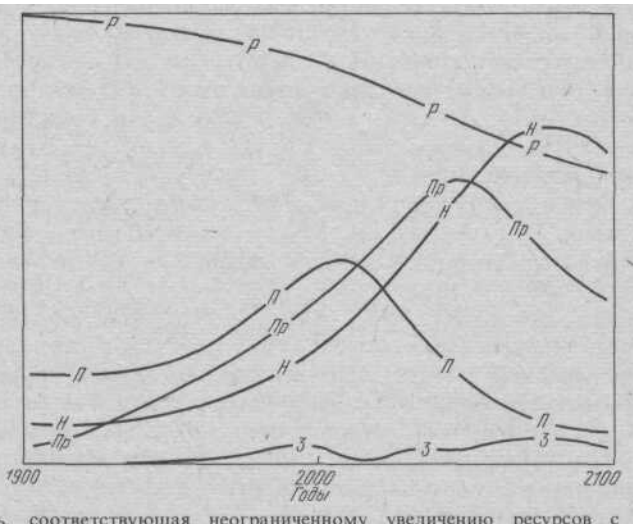

Рис. 113. Модель, соответствующая неограниченному увеличению ресурсов с учетом контроля загрязнения среды (обозначения те же, что и на рис. 111)

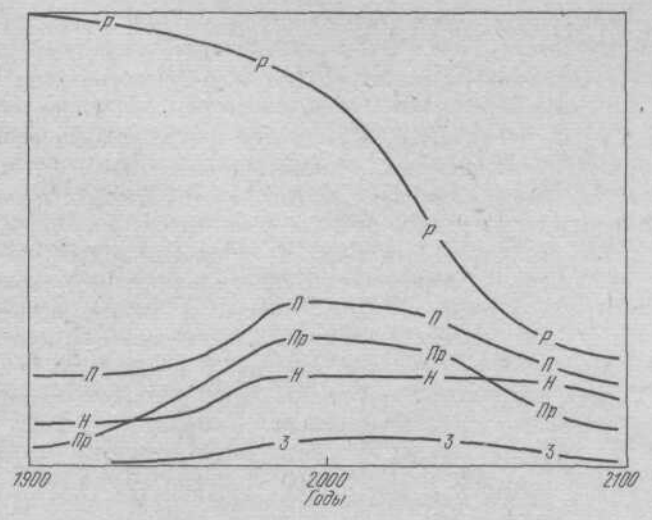

Рис. 114. Модель, предполагавшая прекращение роста населения с 1975 г. и прекращение роста промышленности с 1985 г. при существующих ресурсах (обозначения те же, что и на рис. 111)

в одном, крайне нежелательном направлении. В качестве панацеи от ожидаемой человечеством в будущем катастрофы авторы «Римского клуба» предлагают коренным образом изменить стратегию поведения цивилизации. Вместо стратегии неограниченного роста — полная остановка роста производительных сил и их точная регулировка (концепция «равновесной» цивилизации).

Разработка вопросов, касающихся глобальных динамических моделей развития человечества, была выполнена двумя группами советских авторов (В. А. Геловани с коллегами и В. А. Егоров). Прежде всего они математически доказали, что предлагаемое авторами «Римского клуба» «глобальное равновесие» отнюдь не может предотвратить кризис — оно только отодвигает его на сотню — другую лет. И вообще модели, рассматривавшиеся западными авторами, не допускают «нетривиальных» стационарных решений. А «тривиальное» решение, если говорить не на математическом языке, означает смерть (точнее, равенство нулю всех параметров глобальной модели, как-то: уровня производства, населения, загрязнения среды и пр.). В качестве альтернативы советские авторы выдвинули и рассчитали модель, в которой «коллапс» устраняется не остановкой роста, а разумным управлением инвестициями капитала. Для этого, однако, надо большую часть этих инвестиций направить на борьбу с загрязнением, восстановлением ресурсов и ликвидацию эрозии обрабатываемой земли. Как это делать, однако, пока не ясно. По существу, эта модель, допускающая «нетривиальное» стационарное состояние, означает установление на нашей планете режима космического корабля, следующего вместе с космонавтами в неопределенно длительный рейс: каждый грамм вещества на учете и все должно регенерироваться.

Мы, однако, сомневаемся в том, что модель советских авторов снимает проблему «коллапса». Только остановка роста производства и жесткая регламентация в использовании ресурсов и их регенерации, сочетающаяся с тратой львиной доли национального продукта на борьбу с загрязнением среды, как мы надеемся, может решить проблему. Впрочем, надо торопиться, — осталось не так уж много времени (см. рис. 111 — 114), а «эффекты задержки» исчисляются десятилетиями.

Все приведенные рассуждения рассматривают развитие человечества *на* изолированной маленькой планете с ограниченными ресурсами. Но справедливо ли такое рассмотрение? Об* этом речь будет идти в следующей главе.

26. Разумная жизнь как космический фактор

Уже неоднократно в этой книге шла речь об одной важнейшей тенденции развития разумной жизни — ее активном воздействий на космос. Так, деятельность человека изменила такую существенную характеристику Земли как космического тела, какой является радиоизлучение планеты. Уже сейчас человек начинает менять «генеральный план» Солнечной системы. У Венеры и Марса появились искусственные спутники. А ведь естественных спутников достаточных размеров у Венеры не было в течение миллиардов лет! Вокруг Земли по самым различным орбитам теперь движутся многие тысячи сделанных руками людей спутников. Человек умеет сейчас вызвать такие грандиозные явления природы космического характера, как полярные сияния и магнитные бури. Для этого достаточно взорвать водородную бомбу высоко над поверхностью Земли. К сожалению, поразительная мощность человеческого разума далеко не всегда используется на благо человечества. И как раз ядерные взрывы на больших высотах являются хорошим тому примером...

Но ведь мы наблюдаем только самое начало вступления человечества в космическую эру. Ведь прошло только тридцать лет после события, возвестившего о наступлении этой эры. Что же будет дальше?

Очень трудно сейчас даже представить, какие изменения сможет внести человек в Солнечную систему. Например, Саган предложил радикальную идею «переделки» атмосферы Венеры. Для этого нужно забросить в эту атмосферу некоторое количество одного из видов водоросли хлореллы. Бурно размножаясь в венерианской атмосфере, хлорелла довольно быстро разложит имеющиеся там в большом обилии молекулы CO_2. В результате жизнедеятельности этих водорослей атмосфера Венеры начнет обогащаться кислородом. Изменение химического состава атмосферы повлечет за собой значительное уменьшение «парникового эффекта», отчего температура поверхности Венеры понизится. В конце концов, «негостеприимная» планета станет пригодной для обитания*)...

Но почему, собственно говоря, мы должны ограничивать деятельность человечества Солнечной системой? И невольно возникает вопрос: не приведет ли в будущем (пусть далеком) деятельность человека к таким радикальным изменениям в Солнечной системе, что они могут быть наблюдаемы со звездных расстояний? В гл. 10 было показано, что никакими из известных современной астрономии методов нельзя обнаружить наличия планет типа Земли даже у ближайших к нам звезд. Но не может ли деятельность разумных существ достигнуть такого масштаба, что этот вывод станет уже неверным? Если это так, то открывается увлекательная возможность по некоторым наблюдаемым характеристикам какой-нибудь звезды сделать вывод, что около нее есть планета, населенная высокоразвитыми разумными существами.

Идеи о грядущей перестройке человеком Солнечной системы неоднократно высказывал К. Э. Циолковский. Например, в книге «Грезы о Земле и небе», изданной в 1895 г., он обращает внимание на несуразность такого положения, когда Земля «перехватывает» только одну двухмиллиардную часть потока солнечного излучения. Он считал, что рано или поздно человечество должно будет овладеть «всем солнечным теплом и светом» и начать расселяться в просторах Солнечной сис-

*) Забавно, что сразу же появились возражения против этого остроумного проекта. Так, например, некоторые авторы считают вообще недопустимым «загрязнение» Венеры земными формами жизни... Это «возражение» применительно к Венере представляется смешным, однако вопрос о тщательной стерилизации космических кораблей достаточно серьезен.

темы. Этот длительный процесс «колонизации» всего околосолнечного пространства человеком, по мысли Циолковского, должен состоять из нескольких этапов. Первый этап — преобразование пояса астероидов. В «Грезах о Земле и небе» разумные существа управляют движением малых планет так, «как мы управляем лошадьми». Энергия, необходимая для поддержания жизни людей на преобразованных астероидах, извлекается с помощью «Солнечных моторов». Лет 90 назад гений Циолковского предсказал появление солнечных батарей — основы энергетики бортовой аппаратуры современных космических ракет!

Преобразованные деятельностью человечества астероиды образуют, по Циолковскому, «цепь эфирных городов». Для создания этих «городов» строительный материал берется вначале из астероидов, «масса которых разбирается до дна». Из этого материала люди будут «лепить» искусственные космические тела с наиболее выгодной формой поверхности. Затем, когда материал астероидов будет исчерпан, в «дело» пойдет Луна (на перестройку Луны Циолковский «кладет» несколько сотен лет).

Наступит очередь Земли, а затем больших планет. По Циолковскому, процесс преобразования околосолнечного пространства займет сотни тысяч и даже миллионы лет. Перестроенная Солнечная система сможет обеспечить теплом и светом жизнь «$3 \cdot 10^{23}$ существ, подобных человеку... Это число в $15 \cdot 10^{13}$ раз больше числа жителей на земном шаре, полагая их равным $2 \cdot 10^{9}$...».

Циолковский был глубоко убежден в ничем не ограниченных возможностях человеческого разума. Так, в книге «Воля Вселенной. Неизвестные разумные силы», изданной в Калуге в 1928 г., он написал следующие вдохновенные строки: «...Что могущественней разума? Ему — власть, сила и господство над всем космосом. Последний сам рождает в себе силу, которая им управляет. Она могущественнее всех остальных сил природы...». Это подлинный гимн мощи человеческого разума!

Гениальные и дерзновенные мысли К. Э. Циолковского в начале нашего века казались тем немногим его современникам, которые о них знали, смешным чудачеством провинциального школьного учителя. Как изменились времена! Ведь не так уж давно потрясенный мир, затаив дыхание, смотрел по телевидению первый выход человека — советского космонавта А. А. Леонова — в свободное космическое пространство (рис. 115). Со всей очевидностью была продемонстрирована способность человека работать в межпланетном пространстве. А выдающиеся достижения экипажей «Салютов», проводивших разнообразную работу в космосе! А достижения экипажей американских «Аполлонов», проделавших большую работу на поверхности Луны! Это все первая материализация грез Циолковского о перестройке Солнечной системы волей, руками человека. Насколько далеко Циолковский смотрел вперед, видно хотя бы из того, что в 1960 г. его основные идеи, которые мы сформулировали, были, по существу, повторены крупным английским физиком-теоретиком Дайсоном, который, вероятно, не знал ничего о книге Циолковского. Конечно, работа Дайсона написана на основе достижений физики второй половины **XX** столетия, между тем как высказывания К. Э. Циолковского не имели под собой такого прочного фундамента. Тем более достойна удивления та прозорливость, с которой основоположник астронавтики сумел правильно оценить существенную тенденцию в развитии разумной жизни на нашей планете — необходимость ее экспансии в космос.

Мы сейчас более подробно остановимся на работе Дайсона, потому что она содержит попытку количественного анализа проблемы перестройки будущим человечеством Солнечной системы. Прежде всего, исследователь обращает внимание на поразительно высокие темпы научного и технического развития, характерного для общества разумных существ в «технологическую эру». «Шкала времени» такого развития очень коротка по сравнению с астрономическими и

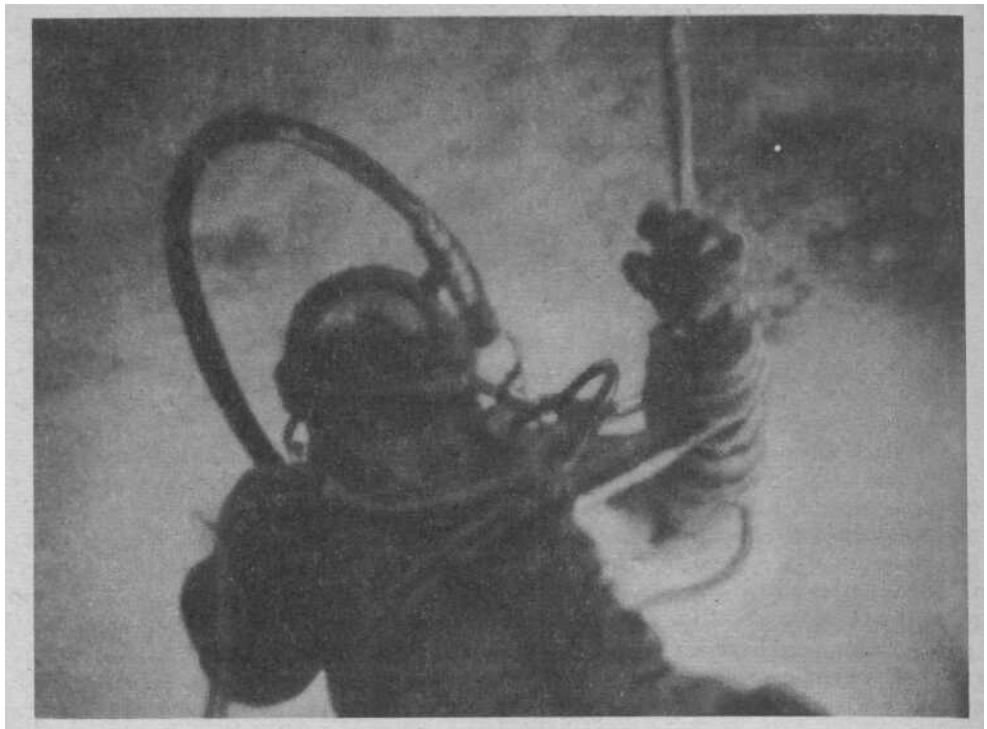

Рис. 115. Советский космонавт А. А. Леонов в открытом космическом пространстве

геологическими интервалами времени. В гл. 22 мы уже подчеркивали это применительно к прогрессу радиофизики за последние полвека.

Однако имеется один важный материальный фактор, ограничивающий в конечном итоге научное и техническое развитие общества. Дело в том, что ресурсы вещества, необходимые для такого развития, не являются неисчерпаемыми. Об этом уже шла речь в предыдущей главе. В настоящее время ресурсы вещества, которые используются человечеством в его практической деятельности, ограничиваются биосферой Земли, масса которой порядка $5 \cdot 10^{19}$ г, т. е. около одной стомиллионной массы земного шара. Количество энергии, ежесекундно потребляемой человечеством, приблизительно равно $6 \cdot 10^{19}$ эрг (см. предыдущую главу). Не приходится сомневаться, что ресурсы каменного угля, нефти и других горючих ископаемых будут исчерпаны в течение ближайшей сотни лет (см. предыдущую главу).

С наступлением эры освоения космоса проблема ресурсов цивилизации в принципе меняется самым радикальным образом.

Вполне естественно, что на определенном, достаточно высоком, этапе развития общества с необходимостью возникает тенденция использовать ресурсы вещества и энергии, находящиеся вне Земли, но в пределах Солнечной системы. Каковы же эти ресурсы? Если говорить о ресурсах энергии, то, прежде всего, следует иметь в виду излучение Солнца. Ежесекундно оно излучает $4 \cdot 10^{33}$ эрг. Что касается ресурсов вещества, то здесь основным источником могут быть массы больших планет. Масса планеты гиганта Юпитера составляет, например, $2 \cdot 10^{30}$ г. Чтобы полностью «распылить» массу Юпитера, необходимо затратить энергию порядка 10^{44} эрг, что равно энергии, излученной Солнцем за 800 лет.

Наиболее рациональным способом использования массы Юпитера согласно Дайсону будет сооружение гигантской сферы радиусом около одной астрономиче-

ской единицы (т. е. 150 млн км), в центре которой будет находиться Солнце. При этом, как легко можно подсчитать, толщина сферы была бы такой, что над каждым квадратным сантиметром ее поверхности находилось бы около 200 г вещества. Оболочка такой толщины вполне могла бы быть обитаемой. Вспомним, что масса атмосферы над каждым квадратным сантиметром земной поверхности близка к 1 кг. Человек, как известно, фактически является «двумерным» существом, так как он освоил только поверхность земного шара. Поэтому вполне допустимо считать, что человек в перспективе 2,5 — 3 тыс. лет создаст «искусственную биосферу» на внутренней поверхности «сферы Дайсона». После реализации этого грандиозного проекта человечество сможет использовать всю энергию, излучаемую его «материнской звездой» — Солнцем. Необходимые для утилизации солнечной энергии машины могут быть размещены на поверхности сферы Дайсона или где-нибудь внутри ее. Поверхность этой сферы будет примерно в 1 млрд раз больше поверхности земного шара. Сообразно с этим население сферы вполне может достигнуть предсказанной 90 лет назад Циолковским величины...

Дайсон обращает внимание на одно интересное обстоятельство: ряд совершенно независимых величин — массы больших планет, толщина искусственной биосферы, общая энергия солнечного излучения, время существенно технологического развития общества и время, нужное для распыления масс больших планет, — оказывается очень хорошо согласованным. «Поэтому,— заключает Дайсон,.— если исключить возможность случайной катастрофы, вполне закономерно ожидать, что разумные существа в конце концов будут вынуждены прибегнуть к подобной форме эксплуатации доступных им ресурсов. Следует ожидать, что в пределах нескольких тысяч лет после вступления в стадию технического развития любой мыслящий вид займет искусственную биосферу, полностью окружающую его материнскую звезду».

До этого пункта исследование Дайсона, по существу, было повторением идеи Циолковского, но, конечно, на уровне науки второй половины **XX** столетия. Далее, однако, Дайсон делает принципиально новый шаг. Он ставит вопрос, как будет «выглядеть со стороны» цивилизация, распространившаяся по внутренней поверхности сферы, окружающей звезду. Так как излучение «центральной звезды» не пройдет сквозь непрозрачную сферу Дайсона, то в межзвездное пространство будет излучать только наружная поверхность этой сферы. Температура последней должна быть примерно такой же, как и средняя температура Земли, т. е. около 300 К. При такой температуре, согласно хорошо известным из физики законам излучения нагретых тел, сфера будет испускать преимущественно инфракрасные (тепловые) лучи с длиной волны от 10 до 20 мкм. Полная мощность излучения сферы Дайсона в инфракрасной области спектра должна быть такой же, как и у центральной звезды в «видимой» области. В противном случае излучение звезды внутри сферы «накапливалось» бы, что привело бы к катастрофическому нагреву искусственной биосферы.

Таким образом, инопланетная цивилизация, .развивающаяся в описанном направлении, должна «со стороны» наблюдаться как очень мощный источник инфракрасного излучения. Атмосфера Земли прозрачна для излучения с длиной волны от 10 до 20 мкм. Следовательно, инфракрасное излучение от подобных объектов (если они, конечно, существуют) будет свободно проходить через это «окно прозрачности» в земной атмосфере и вполне может быть наблюдаемо с помощью больших современных телескопов. Чувствительность современной приемной аппаратуры позволяет зарегистрировать такое излучение, если звездная величина «материнской» звезды ярче 8-й, что соответствует расстояниям порядка 100 световых лет (если звезды более или менее похожи на наше Солнце). В ближайшие десятилетия можно ожидать значительного увеличения чувствительности приемной аппаратуры в диапазоне 10 до 20 мкм. Это даст возможность обследовать все объекты до 10—12-й

звездной величины. Соответствующие звезды могут быть удалены от нас на расстояния в несколько сотен световых лет. Поэтому Дайсон преЛлагает для обнаружения инопланетных цивилизаций предпринять систематические .поиски «точечных» источниковлинфракрасного излучения внеземного происхождения.

В принципе возможно, что такое избыточное инфракрасное излучение существует у некоторых звезд, давно уже наблюдаемых оптическими методами. Это может быть либо в том случае, когда инопланетная цивилизация из-за нехватки «строительного материала» — вещества больших планет — не смогла использовать всю энергию излучения от центральной звезды, либо когда она располагается вокруг одной из звезд кратной системы. Мы знаем, согласно исследованиям Су Шухуанга, что жизнь может развиваться и около компонент двойных звезд (см. гл. 11). Первоочередной задачей Дайсон поэтому считает планомерное обследование ближайших к нам звезд, особенно обладающих «невидимыми» спутниками.

<> Важные результаты в этом направлении были получены с помощью инфракрасного космического телескопа (ИРАС). Телескоп имел зеркало диаметром 57 см, которое для обеспечения подавления собственного инфракрасного излучения охлаждалось до температуры 10 К (всего на 10 Кельвинов выше абсолютного нуля). Инфракрасные детекторы в фокусе зеркала охлаждались до 3 К. Телескоп работал в четырех диапазонах: 8 — 15, 20 — 30, 40 — 80 и 80—120 мкм. Спутник был выведен на почти полярную орбиту (угол наклона плоскости орбиты к плоскости земного экватора 99°) так, что он двигался постоянно над границей день — ночь над Землей, что удобно для проведения картографирования всего неба при постоянных условиях освещенности Солнцем. Работа телескопа продолжалась непрерывно в течение 1983 г. и была закончена в результате израсходования ресурса жидкого гелия. За время работы было исследовано 98% всей небесной сферы и было открыто около 200000 инфракрасных астрономических объектов. Обработка каталога этих объектов продолжается до настоящего времени.

Для обсуждаемой здесь проблемы результаты ИРАС интересны в нескольких направлениях.

Во-первых, были обнаружены оболочки из твердых частиц около молодых звезд, возможно, указывающие на продолжающийся процесс образования планет. Такие оболочки обнаружены около звезды Вега (а Лиры, расстояние 25 световых лет), Фомальгаут (а Южной Рыбы, 23 световых года), е Эридана (11 световых лет) и Р Живописца (50 световых лет). Вскоре после этого открытия Смит и Терил с помощью наземного телескопа с коронографом и мозаичного приемника света подтвердили, что оболочка около Р Живописца представляет собой искривленный протопланетный диск. Затем протопланетные диски были обнаружены с помощью наземных телескопов около некоторых молодых звезд типа Т Тельца (например, около HL Тельца), возраст которых 0,1—1 миллион лет. Очень интересно, что сходные диски были обнаружены и у некоторых солнцеподобных звезд, которые, как оказалось, обладают аномальным инфракрасным излучением. Для одного из таких источников IRS 1551 диск был открыт по аномальному радиоизлучению в миллиметровом диапазоне с помощью 45-метрового радиотелескопа в Японии.

Оуман и Жиллет считают, что по данным ИРАС из 335 звезд в пределах 80 световых лет от нас 68 звезд (т. е. около 20%) показывают избыточное инфракрасное излучение, в особенности это относится к звездам классов А и F. Таким образом, около половины А звезд имеют пылевые оболочки, и они сохраняются примерно половину жизни этих звезд — 100 миллионов лет, что как раз совпадает со временем, необходимым для образования больших планет. Это, возможно, указывает и на то, что для более старых звезд типа Солнца планетных систем столько же, сколько и звезд. Но это, конечно, только косвенное указание.

Среди объектов, обнаруженных ИРАС, имеется большое количество таких, которые излучают только в инфракрасном диапазоне и потому не отождествляются

ни с какими другими астрономическими объектами. Эти объекты напоминают по характеру спектра излучение от сфер Дайсона. Однако примерно такими же характеристиками должны обладать звезды, относящиеся к классу красных гигантов — класс звезд с массами, близкими к солнечной, но в своей эволюции зашедшими дальше. В ядре звезды ядерные реакции прекращаются и оно становится более компактным, а атмосфера звезды расширяется до радиуса в несколько астрономических единиц. На периферии атмосферы возникает опять плотная пылевая оболочка.

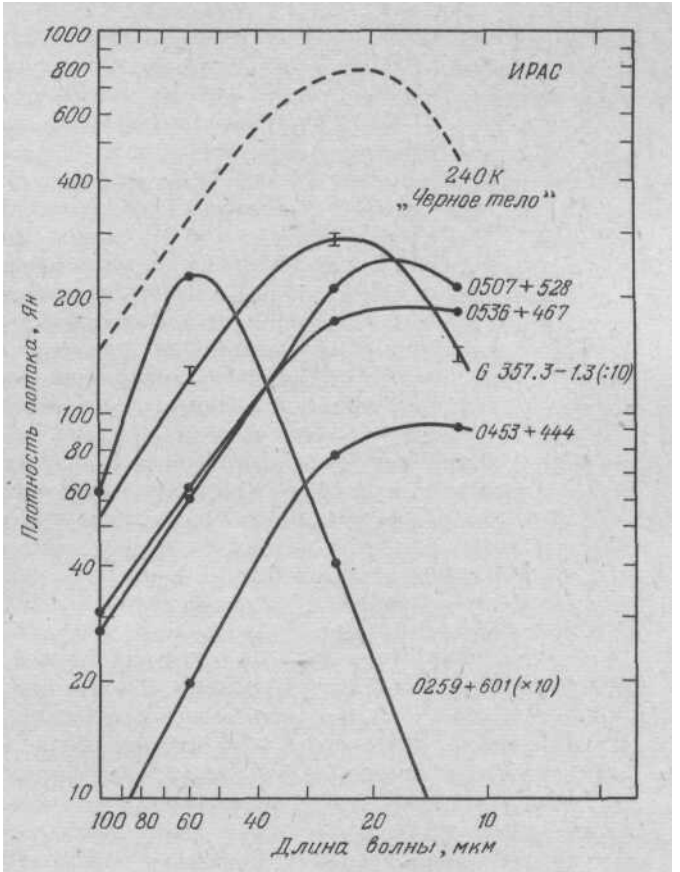

Рис. 116. Источники с максимумом в спектре из каталога спутника ИРАС. Плотность потока скорректирована к чернотельному спектру в соответствии с процедурой калибровки ИРАС (Нейгебауэр и др., 1984)

В. И. Слыш выделил из каталога ИРАС пять наиболее интенсивных объектов (рис. 116), спектр которых наиболее близок к спектру черного тела, не отождествленных с известными астрономическими объектами. Среди них источник G 357,3 — 1,3 — сильнейший объект каталога ИРАС. По форме спектра температура соответствует — 53°С. Если предположить, что это излучение исходит от сферы Дайсона и его мощность примерно равна светимости Солнца, то расстояние до объекта всего 20 световых лет. Никаких объектов в оптическом или радиодиапазонах в этой части неба не обнаружено.

Другие объекты, выделенные В. И. Слышом:

0507 + 528 PO5, спектр соответствует температуре +17°С, однако в направлении источника видна звезда — красный гигант, расстояние до которого составляет 2500 световых лет. Если предположить, что это сфера Дайсона, как и выше, то расстояние оказалось бы равным всего 70 световым годам. Отличительной особенностью красных гигантов с пылевыми оболочками является также генерация излучения в радиолинии молекулы гидроксила на волне 18 см.

0453 + 444 PO3, температура + 67 °С — вероятно, объект похож на предыдущий. В диапазоне 3 мкм обнаружена спектральная деталь, характерная для полосы поглощения льда.

0536 + 467 PO5, температура +17°С —если этот объект соответствует сфере Дайсона, то расстояние до него около 70 световых лет. Детальных наземных наблюдений не проводилось.

0259 + 601 PO2 — холодный объект, температура которого -188°С; если это сфера Дайсона, то расстояние до нее 400 световых лет.

Более тщательный анализ данных ИРАС показывает, что в направлении на центр Галактики имеется большое скопление подобных объектов. В радиусе 5° вокруг центра обнаружено около 2500 источников, температуры которых находятся в интервале -23 -- +177°С. По-видимому, большая часть из них — это погруженные в пыль сверхгигантские звезды со светимостями, в две-три тысячи раз превышающими светимость Солнца, если они находятся на расстоянии 30000 световых лет (расстояние да центра Галактики). Однако важным выводом из наблюдений ИРАС является и то, что теперь есть кандидаты для более детального изучения, как возможные гигантские астроинженерные конструкции <>.

Идея Дайсона примечательна тем, что дает некоторый конкретный пример такого преобразования планетной системы, которое вполне может быть наблюдаемо с межзвездных расстояний. Является ли, однако, сооружение сферы Дайсона единственно возможным путем развития цивилизации, желающей в максимально возможной степени использовать энергетические ресурсы своей планетной системы? По-видимому, нет. Мы сейчас укажем на другой мыслимый источник энергии, может быть, даже более эффективный, чем 100 %-ное использование энергии излучения центральной звезды. Речь идет о принципиальной возможности использования масс больших планет в качестве ядерного горючего для реакции синтеза. Как известно, большие планеты состоят преимущественно из водорода. При массе Юпитера $2 \cdot 10^{30}$ г запас ядерной энергии в нем, которая может быть освобождена при синтезе ядер водорода в ядра гелия, составляет около 10^{49} эрг. Это чудовищно большое количество энергии такого же порядка, как и энергия взрыва сверхновой звезды (см. гл. 5). Ядерную энергию можно будет освобождать постепенно, в течение длительного промежутка времени. Если, например, ежесекундно освобождать $4 \cdot 10^{33}$ эрг (что равно мощности солнечного излучения), то запаса ядерной энергии Юпитера хватит почти на 300 млн лет. Этот срок, вероятно, превосходит длительность «шкалы времени» любой развивающейся цивилизации.

Наконец, почему бы не представить, что высокоорганизованная цивилизация может «перестраивать» свою звезду, около которой она когда-то возникла? Например, без «большого ущерба» для ее светимости можно «позаимствовать» у этой звезды несколько процентов ее массы. Право, мы не можем предложить сейчас рецепт, как осуществить такую перестройку. Похоже, однако, что это надо будет делать очень медленно. Во всяком случае, резерв массы порядка $5 \cdot 10^{31}$ г (что в 25 раз больше массы Юпитера) развивающаяся высокоразвитая цивилизация может получить именно таким способом. Энергетический эквивалент этой водородной массы будет уже $3 \cdot 10^{50}$ эрг, а этого может хватить на несколько миллиардов лет. Перестройка звезды может носить и более радикальный характер. Может быть, даже время излучения звезды будет «согласовано» со «шкалой времени» цивилизации. Не излучать же ей «зря», после того как цивилизация прекратит свое существование! Нельзя также исключить, что спектральный состав излучения звезды будет меняться в желательном направлении. Конечно, очень странно представить, что высокоорганизованные разумные существа поступают со своим светилом примерно так же, как туристы с костром...

При разумном использовании этого огромного количества энергии совершенно не будет необходимости сооружать вокруг Солнца сферу. Можно предположить, что, например, половина массы больших планет пойдет на сооружение искусственных планет («эфирных городов», по терминологии Циолковского), причем эти сооружения будут двигаться во всем околосолнечном пространстве. На каждом таком спутнике будут мощные термоядерные установки, в которых «горючим» будет все то же вещество больших планет... В целом эта картина развития цивилизации сходна с той, которую набросал К. Э. Циолковский в «Грезах о Земле и небе». Однако в дополнение к «солнечным моторам» источником энергии в «эфирных городах» будут управляемые термоядерные реакции синтеза.

От области безудержной фантазии перейдем теперь к более реалистическим оценкам возможностей высокоразвитой цивилизации, вышедшей за пределы своей планеты и приступившей к освоению планетной системы. Выше мы рассказывали уже о гипотезе Дайсона — Циолковского. Приходится только удивляться тому, как развитие науки и техники в наше время делает, казалось бы, самые фантастические проекты объектом конкретного исследования.

Остановимся в качестве примера на проекте Принстонской группы физиков и инженеров, работающих под руководством О'Нейла. Эта группа детальнейшим образом, на уровне технического проектирования, разработала план сооружения огромных космических колоний. Первая очередь проекта предусматривает сооружение в области так называемой «либрацйонной точки» системы Земля — Луна (т. е. одной из двух точек, находящихся на лунной орбите и равноудаленных от центров Земли и Луны) космической станции с диаметром 1,5 км. Вращение этой станции обеспечит на ней искусственную силу тяжести, равную земной. Внутри ее будут выращиваться овощи и фрукты, будет даже развитое животноводство. Там же будут размещены промышленные предприятия. Когда сооружение станции будет закончено, она будет самообеспечивающейся системой. На ней можно будет разместить до 10 тысяч человек персонала, для которых будет создан уровень комфорта более высокий, чем на Земле. Выбор места сооружения (точки либрации) диктуется соображениями небесной механики: любое тело около таких точек может там находиться неопределенно долго, двигаясь вокруг Земли по лунной орбите.

Следует подчеркнуть, что этот проект является первым шагом по пути реализации «эфирных городов», о которых когда-то мечтал К. Э. Циолковский. Однако проект, как уже подчеркивалось, доведен до строгого инженерного расчета, опирающегося только на уровень современной технологии. В частности, существенным моментом в этом проекте является широкое использование при сооружении станции так называемых «челноков», т. е. космических кораблей многократного использования, что значительно удешевляет космическое строительство. Примечательно, что большую часть строительных материалов для сооружения этой космической колонии целесообразно получать с Луны (рис. 117) — обстоятельство, которое прозорливо предвидел К. Э. Циолковский.

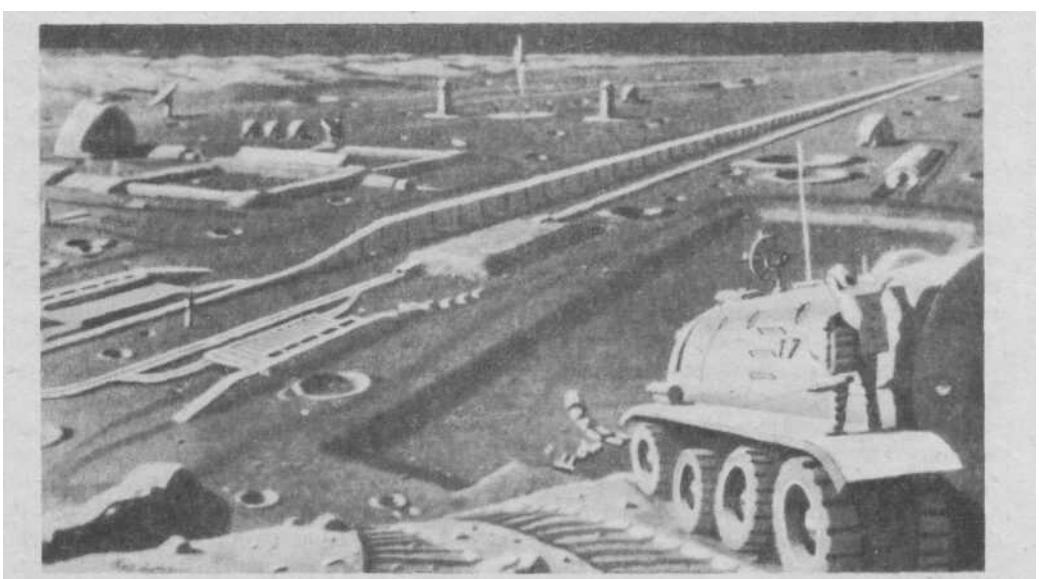

Рис. 117. Лунная база для добычи вещества, идущего на строительство космической колонии (проект)

Стоимость сооружения такой колонии оценивается в 100 млрд долларов, срок сооружения— 15—20 лет. Для сравнения укажем, что американский проект «Аполлон», успешно решивший задачу высадки человека на Луне, обошелся почти в 30 млрд долларов. К этому добавим, что позорная вьетнамская война за 8 лет обошлась американскому народу в 130 млрд долларов, не считая 50000 убитых.

Между тем сооружение описанной выше космической колонии сулит огромные выгоды. Не говоря уже об уникальных возможностях исследований в области фундаментальных наук о природе, результаты которых просто невозможно оценить, такая станция станет существенным источником энергоснабжения Земли. Перехваченная системой зеркал, окружающих космическую станцию, солнечная энергия будет преобразована в микроволновое радиоизлучение и через посредство специальных рефлекторов передана на Землю. Оказывается, что коэффициент полезного действия такой системы чрезвычайно высок: ~70%. Мощность передаваемого по такому тракту потока энергии будет превосходить мощность от потока нефти через проектируемый гигантский нефтепровод Аляска — США.

На базе описанной выше станции, как показывают расчеты, можно будет приступить к строительству значительно более грандиозных сооружений в космосе. Речь идет об объектах, на каждом из которых можно будет разместить в весьма комфортабельных условиях 40 — 50 миллионов человек. Сооружение таких объектов потребует многих десятков лет.

Таким образом, мы являемся свидетелями возникновения новой важнейшей области техники — космической инженерии. Уже сейчас вырисовываются контуры и будущей космической архитектуры.

Пока нельзя сказать, примет ли конгресс США решение приступить к этому грандиозному строительству в ближайшие годы (разумеется, речь может идти только пока о первой очереди проекта Принстонской группы). Известно только, что НАСА внимательно изучает этот проект. Однако безотносительно к решениям о конкретных сроках начала строительства первой космической колонии этот проект имеет, как мы увидим ниже, принципиальное значение для обсуждаемой проблемы, ибо он обосновывает абсолютную реальность выхода не отдельных героев-космонавтов, а человечества за пределы Земли для активной созидательной работы, которая в перспективе позволит избежать надвигающихся кризисных ситуаций. Заметим, что уровень технической проработки этого проекта сейчас неизмеримо выше, чем, скажем, проекта многоступенчатой ракеты Циолковского в начале нашего века. Сочетание этого обстоятельства с очевидной общественной потребностью есть гарантия того, что описанный выше проект начнет реализовываться, во всяком случае, в ближайшие 2—3 десятилетия. Осуществление проекта О'Нейла будет, по существу, началом сооружения сферы Дайсона.

Очень важно теперь оценить временную шкалу такого развития, которое, как легко понять, обязано быть экспоненциальным. Полагая «инкремент» экспоненты (характеризуемый временем удвоения численного значения параметров) 15 лет, что равно характерному времени реализации Принстонского проекта, можно считать, что для сооружения в космосе колоний с населением 10 миллиардов человек потребуется около 250 лет. Подчеркнем еще раз, что этот срок по крайней мере в два раза превосходит время, отделяющее нас от наступления кризисной ситуации, как его определяют некоторые авторы (см. предыдущую главу).

Время освоения всех материальных ресурсов Солнечной системы при таком экспоненциальном росте около 500 лет. Даже если учесть возможные задержки в развитии, связанные с освоением новой технологии, и принять очень «медленную» характеристику роста — 1 % в год, то все равно характерное время освоения нашей цивилизацией Солнечной системы будет 2500 лет.

Сейчас, конечно, нельзя, да и не нужно, говорить об условиях жизни на такой «супербиосфере». Представляется, однако, очевидным, что цивилизация такого ро-

да будет качественно отличаться от нашей современной. Важно отметить, что примерно через 1000 лет развития перед такой «цивилизацией II типа» станет, в сущности говоря, та же проблема, что в наши дни стоит перед земной цивилизацией «I типа»*): ограниченность ресурсов конечной системы при экспоненциальном росте параметров ее развития. Преодоление этого противоречия с неизбежностью толкнет цивилизацию II типа с ее огромным технологическим потенциалом на освоение ресурсов сначала ближайших областей Галактики, а потом и всей нашей звездной системы. Наступит процесс «диффузии» цивилизации II типа в Галактику, сопровождаемый преобразованием на разумной основе звезд и особенно межзвездной среды. Впрочем, этот процесс было бы более правильно назвать не «диффузией», а распространением «сильной ударной волны» разума по неживой материи.

Хорошей моделью такого процесса является известное построение Гюйгенса, описывающее распространение сферической световой волны. Каждая точка пространства, до которой дошло возмущение, становится центром вторичных сферических волн. В нашем случае роль такой «точки» играет подходящая звезда, вокруг которой с помощью местных ресурсов прилетевшие колонисты построят искусственную биосферу — сферу Дайсона. Скорость распространения возмущения будет порядка $v = R/t_2$ где $t_2 \approx 1000$ лет — характерное время сооружения сферы Дайсона, а $R \approx 10$ световых лет — среднее расстояние до подходящих звезд (например, звезд спектрального класса G). Отсюда следует, что $v \approx 3000$ км/с, т. е. 1 % от скорости света *c*. В таком случае, учитывая максимальные размеры Галактики (около 100 тысяч световых лет), время колонизации и преобразования всей звездной системы будет всего лишь 10 миллионов лет. Эта величина близка к длительности эволюции человека на Земле и весьма мала по сравнению с наименьшими характерными временами в Галактике. Заметим, что на этой фазе развития характеристики цивилизации будут расти со временем *t* уже не по экспоненциальному закону (чему мешает конечность скорости света), а по степенному закону, сперва как *I**, а потом и более медленно, как t^2 — обстоятельство, которое нетрудно доказать.

Со всей определенностью следует подчеркнуть, что современное развитие естественных наук, а также накопленный за 30 лет космической эры опыт исключают возможность существования естественных причин, которые сделали бы такое развитие принципиально невозможным. Описанная выше картина (в частности, межзвездные перелеты автоматических станций с «замороженными» естественными или специализированными искусственными разумными существами) не противоречит ни одному из известных законов природы. Напротив, она логически вытекает из них! Это, конечно, не означает, что любая цивилизация должна развиваться согласно описанной выше схеме. Однако для некоторой части цивилизаций, возникавших в нашей Галактике в течение миллиардов лет ее эволюции, такое развитие логически должно было происходить.

Еще К. Э. Циолковский в начале нашего века прозорливо подчеркивал неограниченные «космические» возможности разума. Реальная оценка возможностей и перспектив развития современной науки и технологии полностью обосновывает эту идею нашего выдающегося мыслителя, быть может, самую величественную из когда бы то ни было высказывавшихся человеком.

Итак, имеются основания считать, что по крайней мере некоторая часть цивилизаций в процессе их неограниченного развития должна стать фактором космического характера, охватив своей преобразующей деятельностью отдельные планетные системы, галактики и даже Метагалактику. Но в таком случае следовало бы ожидать наблюдаемые проявления этой разумной космической деятельности. В свое время (1962 г.) мы такой феномен назвали «космическим чудом». В гл. 27 мы на этом остановимся более подробно.

*) Мы следуем классификации цивилизации, предложенной в 1964 г. Н. С. Кардашевым (см. следующую главу).

27. Где вы, братья по разуму?

В предыдущей главе мы сформулировали понятие «космическое чудо» как наблюдаемое проявление деятельности высокоразвитой галактической или метагалактической цивилизации. Мы подходим к основному вопросу: наблюдаем ли мы во Вселенной такие «сверхъестественные» (т. е. не подчиняющиеся законам движения неживой материи) явления?

На этот вопрос пока однозначно ответить нельзя. Тем более важно его поставить. Если окажется, что во всей наблюдаемой нами Вселенной никаких «чудес», могущих быть связанными с проявлениями разумной жизни в космическом масштабе, нет, это с большой вероятностью может означать, что нигде разумная жизнь не достигает достаточно высокого уровня развития. А между тем не видно причин, почему бы, неограниченно развиваясь, разумная жизнь не стала проявлять себя в общегалактическом масштабе.

Как пример такого ожидаемого «чуда», мы рассмотрим сейчас интересную идею Н. С. Кардашева. Предположим, что высокоразвитая цивилизация, освоившая все межпланетное пространство (либо путем построения сферы Дайсона, либо путем сооружения огромного количества «эфирных городов», снабжаемых термоядерной энергией с использованием вещества больших планет), решила посылать сигналы связи к неизвестным ей инопланетным цивилизациям. Как мы уже подчеркивали в гл. 23 наиболее эффективным для этой цели был бы изотропный сигнал. В исследовании Дайсона предполагалось, что таким сигналом может быть инфракрасное излучение сферы, окружающей центральную звезду. Однако такой способ сигнализации далеко не самый экономичный. При данной мощности передатчика для посылки сигналов наиболее целесообразно использовать радиоволны. Они существенно увеличивают дальность связи по сравнению с инфракрасным излучением сферы Дайсона. В то же время они легко поддаются модуляции, что открывает почти неограниченные возможности передачи информации.

Пусть цивилизация некоторую часть своих энергетических ресурсов решила использовать для установления контактов с инопланетными разумными существами. Предположим, что передаваемое излучение является почти изотропным. Заметим, что технически создать такой очень мощный и в то же время достаточно изотропный излучатель не просто. По-видимому, естественнее всего распределить огромное количество сравнительно небольших излучателей по всей планетной системе.

Н. С. Кардашев, исходя из огромных расстояний, разделяющих инопланетные цивилизации, считает, что радиопередачи должны быть безответны. Такое «альтруистическое» поведение «сверхцивилизации» представляется ему вполне естественным, и с этим нельзя не согласиться. Ведь очень вероятно, что каждая из этих «сверхцивилизаций» в свое время «безвозмездно» получила ценнейшую информацию от своих более развитых космических соседей и тем самым взяла на себя, так сказать, «моральные обязательства» перед своими «младшими братьями» во Вселенной...

Кардашев далее считает, что сигнал должен быть широкополосным и сразу же нести в себе огромное количество информации. Спектральная характеристика сигнала должна быть близка к спектральной характеристике космических и квантовых шумов (см. рис. 88), взятых с обратным знаком. При этом условии обеспечивается максимальная информативность сигнала. На рис. 118 приведен вероятный спектр такого искусственного источника. В соответствии с тем, что спектр естественных шумов имеет глубокий минимум в области дециметровых и сантиметровых волн, основная энергия искусственного сигнала должна быть именно в этом диапазоне.

Характерной особенностью спектра искусственного радиосигнала должно быть, согласно Кардашеву, линейное уменьшение спектральной плотности потока с ростом частоты в области высоких частот. Далее Кардашев полагает, что указанием на искусственный характер сигнала может служить его спектр. Например, около 21 см там может быть необычной (например, «прямоугольной») формы линия поглощения.

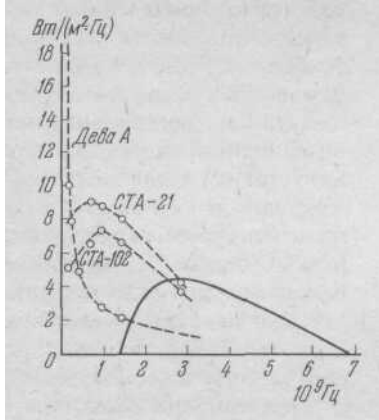

Рис. 118. Ожидаемый спектр космического искусственного радиосигнала согласно Н. С. Кардашеву (сплошная линия) и радиоспектры некоторых известных космических источников радиоизлучения (штриховые линии)

По уровню своего технологического развития цивилизации согласно Кардашеву можно разделить на три типа.

I. Технологический уровень близок к тому, который уже сейчас достигнут на Земле. Ежесекундное потребление энергии порядка 10^{20} эрг.

II. Цивилизация овладела энергией, излучаемой своей звездой (скажем, построила сферу Дайсона, см. выше). Ежесекундное потребление энергии около 10^{33} эрг.

III. Цивилизация овладела энергией в масштабе всей своей галактики. Потребление энергии порядка 10^{44} эрг.

Простые расчеты, выполненные Кардашевым, показывают, что при достигнутом в наши дни уровне радиотехники изотропные сигналы от цивилизации II типа могут быть обнаружены даже тогда, когда она удалена от нас на расстояние около 10 млн световых лет. В этом случае цивилизация такого типа может находиться в любом месте местного скопления галактик (см. гл. 1). При этом, однако, ширина полосы приема не должна превышать нескольких сотен килогерц, что делает сигнал сравнительно малоинформативным (так как за секунду можно при этом передать только несколько сот тысяч двоичных единиц информации, см. гл. 23). Что касается цивилизации III типа, то даже в том случае, когда расстояние до нее около 10 млрд световых лет,— величина, превосходящая расстояния до самых удаленных из известных объектов в Метагалактике, сигнал от нее будет обнаружен и притом в достаточно широкой полосе частот (десятки тысяч мегагерц).

Выше, в порядке чистой фантазии, мы говорили о том, что некоторые радиогалактики, вообще говоря, могут иметь искусственное происхождение. Н. С. Кардашев идет дальше и считает вполне вероятным, что среди известных радиогалактик могут быть цивилизации III типа. Задача состоит в том, чтобы выработать надежные критерии, по которым можно различить искусственные радиосигналы от естественных. По мысли Кардашева, критериями искусственности могут служить:

1) специфический спектр радиоизлучения (линейное уменьшение спектральной плотности потока с ростом частоты);

2) очень маленькие угловые размеры (по крайней мере для сверхцивилизаций II типа). Можно ожидать, что эти угловые размеры должны быть порядка угловых размеров планетных систем, удаленных на сотни и тысячи световых лет, т. е. 0,01"-0,001";

3) возможная поляризация по кругу, которая воспрепятствует искажению информации благодаря вращению плоскости поляризации в межзвездной среде (эффект Фарадея, см. гл. 3);

4) переменность во времени;

5) наконец, некоторые бросающиеся в глаза особенности в спектре, например «вырез» прямоугольной полосы около длины волны 21 см, о чем уже говорилось выше.

Только систематическое исследование всех источников, заподозренных в «искусственности», может привести к успеху.

Если сверхцивилизация II типа желает, например, отправить сигнал к туманности Андромеды, она может использовать значительно меньшую мощность. Угловые размеры этой звездной системы составляют около 2°. Поэтому целесообразно использовать систему передающих антенн с угловыми размерами «главных лепестков» около 2°. Для такой направленной антенны выигрыш в мощности (по сравнению с изотропным излучателем) будет около 10 тыс. Для более удаленных галактик можно применить еще более направленные передающие антенны.

В случае межгалактической радиосвязи имеется одна существенная особенность, резко отличающая ее от межзвездной. Ведь сигнал посылается сразу нескольким сотням миллиардов звезд. Следовательно, если хотя бы вокруг одной из этих звезд имеется высокоразвитая цивилизация, он будет обнаружен. В действительности таких цивилизаций в «зондируемой» галактике может быть много. Поэтому, посылая направленные экстрагалактические сигналы, передающая их цивилизация действует «наверняка». Между тем при посылке направленного сигнала в сторону какой-нибудь звезды имеется ничтожно малая вероятность, что там есть цивилизация или даже вообще жизнь.

Имеется еще один принципиально возможный метод обнаружения сверхцивилизаций II и III типа с огромных расстояний. Речь идет о получении их радиоизображений с помощью космических интерферометров. Об изготовлении таких интерферометров, как ближайшей перспективе использования космического пространства для нужд науки, уже шла речь в гл. 20. Цивилизация II типа должна иметь характерный размер порядка 1 астрономической единицы или 10^{13} см. Если база космического интерферометра порядка расстояния от Земли до Луны, т. е. $d \approx 4 \cdot 10^{10}$ см, а длина волны, на которой ведутся наблюдения, равна ~ 1 см, то разрешающая способность интерферометра $\lambda/d \approx 2{,}5 \cdot 10^{11}$ рад или $5 \cdot 10^{-6}$ сек. дуги. С другой стороны, угловые размеры цивилизации II типа, если она находится даже на противоположном конце Галактики, будут ~ $3 \cdot 10^{-10}$ рад. Это означает, что «лунный» интерферометр позволит получить хотя и грубое, но все же достаточно надежное изображение цивилизации II типа, если, конечно, она посылает изотропные радиосигналы. При такой ситуации передатчики могут быть расположены каким-либо причудливым, явно искусственно выглядящим способом (например, в виде двух параллельных или перпендикулярных линий, системы концентрических окружностей и пр.).

Если длина базиса космического интерферометра существенно больше, например порядка одной астрономической единицы, то теоретическая разрешающая способность его будет еще выше, что-нибудь около 10^{-8} сек. дуги. Заметим, что, вообще говоря, из-за всевозможных эффектов рассеяния (например, в межзвездной среде) теоретическая разрешающая способность может быть не достигнута. Например, на волнах 20 — 30 см предельная разрешающая способность, определяемая рассеянием в межзвездной среде, будет около 10^{-4} сек. дуги. Однако на волнах более коротких, чем 1 см, влияние рассеяния в межзвездной среде будет незначительно и при базах порядка 1 астрономической единицы разрешающая способность будет близка к теоретической, т. е. при $\lambda \approx 1$ см составит 10^{-8} сек. дуги. При такой чудовищной разрешающей способности можно будет получить изображение любой, посылающей радиосигналы, цивилизации II типа, если она находится в какой-нибудь галактике в пределах нескольких десятков мегапарсек. Например, любая такая цивилизация, находящаяся в пределах скопления галактик в Деве (в состав которого входит, в частности, наша Галактика, см. гл. 7), может быть таким образом обнаружена и исследована.

В связи с вопросом о цивилизациях II типа остановимся на следующем основном моменте: подтверждают ли современные радиоастрономические наблюдения

возможность их существования? Известно, что в ближайшей к нам гигантской спиральной галактике М 31 (туманность Андромеды) число звезд даже больше, чем в нашей Галактике. Резонно предположить, что если среди сотен миллиардов звезд М 31 вокруг некоторых имеются цивилизации II типа, то они «держат в радиолепестке» нашу Галактику в надежде, что вокруг какой-нибудь из ее звезд имеются разумные существа. В таком случае мы наблюдали бы в туманности Андромеды точечный источник радиоизлучения с необычными свойствами. Однако наблюдения показывают, что в М 31 вообще нет изотропно излучающих радиоисточников, мощность которых была бы больше чем $^1/_{10}$ мощности галактического источника Кассиопея А. Отсюда следует, что если там и есть сверхцивилизации II типа, то мощность их радиоизлучения в сантиметровом диапазоне, направленного на нашу Галактику, по крайней мере в 1000 раз меньше мощности Солнца,—не так уж много для цивилизации II типа...

Верхний предел для мощности радиоизлучения от таких сверхцивилизаций можно еще более уменьшить. Допустим, что в нашей Галактике есть такой объект. Тогда, вместо того чтобы согласно Н. С. Кардашеву посылать изотропный сигнал, они могут применить систему «маяка», луч которого за короткое время совершает полный оборот в плоскости Галактики: Мы наблюдали бы этот феномен как некий пульсар с совершенно удивительными свойствами (например, закономерные огромные скачки в величине периода). Диаграмма направленности такого искусственного пульсара должна быть «ножевая», что-нибудь $5° \times 0{,}1°$, вытянутая по галактической широте. Это, как легко сообразить, нужно для того, чтобы существенная часть звезд галактики попадала бы в лепесток. Период мог бы быть, например, порядка нескольких суток. Тогда для того, чтобы на расстоянии в 10 килопарсек поток от пульсара на сантиметровом диапазоне был бы равен 10^{-26} Вт/(м^2 • Гц) (предел полноты обзора источников), нужно, чтобы его мощность была бы в миллион раз меньше мощности солнечного излучения. Развитие радиоастрономии в ближайшие годы еще снизит этот предел в десятки раз.

Много надежд энтузиасты «космических чудес» возлагали и возлагают на быстро развивающуюся в течение последних лет инфракрасную астрономию. Следует заметить, что для этого имеются некоторые логические основания. В самом деле, цивилизация II типа, построившая вокруг своей центральной звезды искусственную биосферу, неизбежно будет излучать инфракрасную радиацию, соответствующую ее температуре, которая должна быть близка к средней температуре поверхности Земли, т. е. ~ 27 °С. Поэтому такая цивилизация должна наблюдаться астрономами как точечный источник инфракрасного излучения (см. с. 288).

Хотя в настоящее время обнаружено довольно много инфракрасных источников, все они, несомненно, имеют самое что ни на есть естественное происхождение. Можно, конечно, предположить, что с увеличением чувствительности инфракрасных приемников количество наблюдаемых источников значительно возрастет и, — кто знает, — среди них могут быть искусственные. Автор этой книги, однако, полагает, что из простого факта наличия избыточного инфракрасного излучения у какой-нибудь на первый взгляд более или менее нормальной звезды решительно ничего нельзя сказать о возможном наличии «искусственного» феномена. Окончательным критерием истины в астрономии является *практика астрономических наблюдений* и, прежде всего, — возможность на основе правильной теории предсказать новые наблюдательные результаты, подчас совершенно неожиданные. Только такая практика гарантирует нормальное развитие нашей науки и оберегает ее от всякого рода заблуждений, в которые неизбежно впадает далеко не совершенное человеческое мышление. Именно наблюдениями, например, была доказана «естественная» природа пульсаров, оказавшихся намагниченными, быстро вращающимися нейтронными звездами. Автор этой книги не сомневается, что то же самое рано или поздно произойдет и с галактическими ядрами или какими-ни-

будь другими космическими «квазичудесами». «Презумпция естественности» любого космического сигнала, предложенная автором на Бюраканском симпозиуме, должна выполняться неукоснительно.

Приходная, таким образом, констатировать, что цивилизаций II типа ни в нашей Галактике, ни в М 31, просто нет.

Что касается цивилизаций III типа, то они могли бы быть уже сейчас в принципе обнаружены существующими наземными радиоинтерферометрами с межконтинентальными базами. Кто знает, может быть какой-нибудь из внегалактических источников, занесенных в существующие каталоги, в действительности является цивилизацией III типа? Только длительные специальные интерферометрические исследования смогут решить эту проблему. Трудность проблемы в этом случае состоит в выборе для специальных исследований каких-либо «подозрительных» объектов из многих тысяч известных метагалактических источников. В свое время (1963 — 1964) такими подозрительными источниками Н. С. Кардашев считал объекты СТА 102 и СТА 21. Вскоре, однако, выяснилось, что эти объекты являются квазарами.

О Одним из важных аргументов против колонизации всего космоса является предположение о том, что цивилизации III типа должны быть очень компактными объектами. Только в этом случае может быть обеспечен быстрый обмен информацией между отдельными частями. Увеличение объема кибернетически невыгодно. Если это правильно, то, наоборот, более молодые цивилизации будут стремиться объединиться с более старыми и более развитыми и это может привести к тому, что полное количество цивилизаций очень невелико. Зато каждая из них располагает очень большой величиной массы, гигантским энергетическим потенциалом и бес-

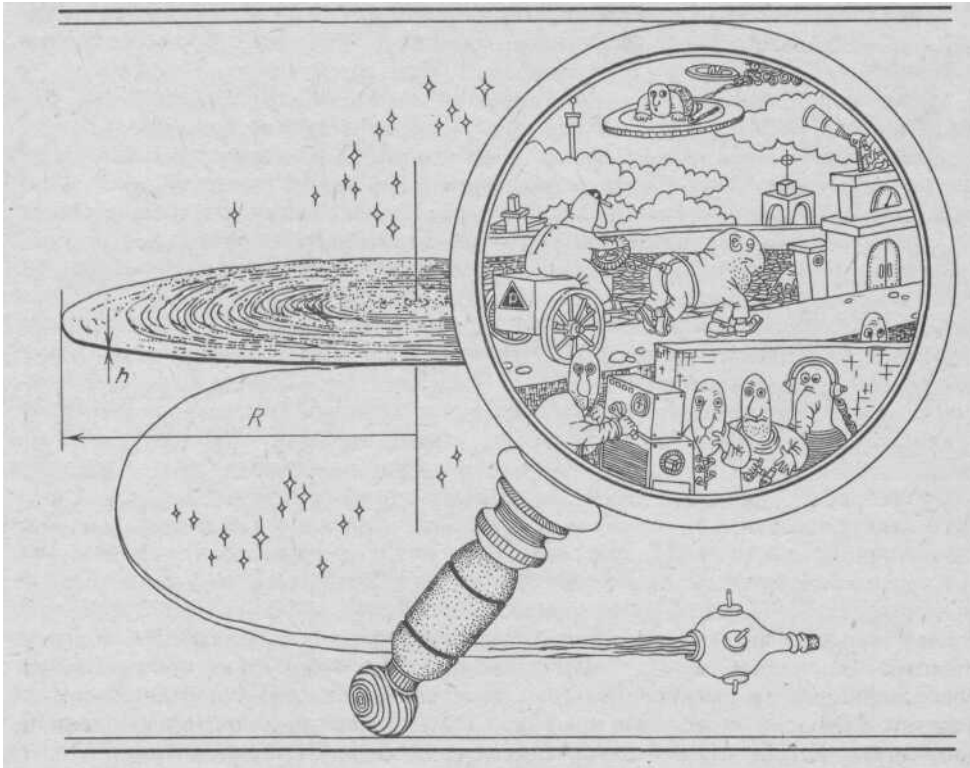

Рис. 119. Общий вид сверхцивилизации III типа (карикатура И. А. Максимова)

прецедентным объемом информации. Конечно, не обязательно представлять себе цивилизацию типа III в виде сферы Дайсона, что характерно для II типа. Как пример возможных конструкций в космосе, можно представить огромный вращающийся диск с массой 10^{12} масс Солнца, толщиной $h = h_0\sqrt{1 - r^2/R^2}$ (где толщина в центре h_0 около 1 км) и внешним радиусом R = 40 световых лет; средняя плотность около плотности стали. Такой диск может вращаться как твердое тело с периодом 2600 лет. Если энерговыделение всех средств в диске 10^{12} светимостей Солнца, то его средняя температура будет 300 К. Тепловое излучение такой конструкции должно иметь максимум около 20 мкм и давать поток около 1 янского с расстояния в 3 миллиарда световых лет. По-видимому, все подобные объекты уже могли бы быть зарегистрированы в каталоге ИРАС (см. с. 288). На рис. 119 карикатурно изображена подобного вида цивилизация III типа (рисунок сделан И. Максимовым). В табл. 14 приведены (согласно Н. С. Кардашеву) возможные сценарии развития внеземных цивилизаций. О

Таблица 14

№	Эволюционный сценарий и уровень урбанизации	Субъективная вероятность реализации сценария	Объекты для исследования и метод поиска	Сценарий эволюции нашей цивилизации после контакта
I	Унификация цивилизаций в масштабах 1—10 млрд световых лет с концентрацией в один компактный объект	60%	Наиболее мощные квазары и галактики. Поиск новых объектов с мощностью излучения более $10^{}$ эрг/с в диапазоне 10 мкм — 1 см, а также в других диапазонах. Поиск астроинженерных сооружений, искусственных сигналов на волнах 1,5 мм и 21 см	Быстрое развитие во всех областях деятельности. Крупные социальные и экономические изменения и подготовка к объединению со сверхцивилизацией. Организация этнографического музея на Земле
II	Унификация в масштабе больших скоплений галактик	20%	Исследование ядра ближайшего скопления галактик Девы (исследование необычной радиогалактики М 87?) и других скоплений. Методы те же, что и I	То же, что I
III	Унификация в масштабе больших галактик	10%	Исследования ядра нашей Галактики и ядер ближайших больших галактик (М 31, М 33 и т. д.). Те же методы, что I	То же, что I
IV	Полная колонизация пространства	1%	«Они» должны быть на Земле, но мы не имеем никаких данных об этом	То же, что I
V	Самоуничтожение цивилизаций до контакта	8%	Остатки цивилизаций могут быть найдены в окрестностях ближайших звезд	Нет развития по определению
VI	Мы первые, и потому пока одни	1%	Успехи связаны с развитием биологии. На развитие от первых микроорганизмов до настоящего времени потребовалось более 4 миллиардов лет	Контакт возможен в будущем по любому из приведенных выше сценариев

Сооружение гигантских космических радиоинтерферометров с базисом порядка астрономической единицы открывает возможность эффективного использования нового, принципиально важного метода для обнаружения и исследования сверхцивилизаций. Речь идет о «радиоголографии» — получении трехмерных изображений радиоисточников. На эту возможность впервые указали Н. С. Кардашев, Ю. Н. Парийский. Не подлежит сомнению, что трехмерное изображение какого-либо

«подозрительного» радиоисточника однозначно позволит решить вопрос об его искусственном или естественном происхождении. При всей кажущейся фантастичности этого проекта он может быть реализован в течение ближайших нескольких десятилетий.

<> Рассказывают, что вопрос «Где Они?» задал знаменитый итальянский физик Энрико Ферми во время ленча со своими коллегами в атомной лаборатории в Лос-Аламосе летом 1950 г. Вопрос относился к отсутствию конкретных свидетельств посещения Земли в течение всей ее истории (4,5 миллиарда лет). Ответ — потому, что мы одни во всей Галактике — парадоксален и нарушает общепринятый со времен Коперника принцип среднего: наше Солнце и Земля ничем не выделены среди сотен миллиардов солнечных систем нашей Галактики. Более детально этот вопрос обсуждался Хартом и Типлером с позиций отсутствия жизни во Вселенной, а сама проблема отсутствия посещений Земли получила условное название парадокса Ферми. Возможные объяснения парадокса:

1) межзвездные перелеты не проводятся, так как они очень дороги для переселения, а автоматические станции используются только для научных исследований;

2) межзвездные перелеты реализуются, но волна колонизации еще не достигла Земли (либо мала скорость распространения колонизации, либо процесс колонизации начался на поздней истории Галактики, либо он начался одновременно во всей Галактике, но мы находимся на необитаемой границе между двумя зонами влияния);

3) вся Галактика, включая Солнечную систему, была колонизована много лет назад, но Они не проявляют свое присутствие по каким-то причинам, чтобы не повлиять на нашу примитивную жизнь — галактическая этика требует предоставлять молодым цивилизациям возможность самим решать свои кризисы перенаселения, ядерной войны и т. д. — это так называемая зоогипотеза или гипотеза галактического карантина.

Кроме отсутствия данных о посещении когда-либо Земли по мере накопления наблюдений, обеспечивающихся колоссальной революцией в технике и методах современной всеволновой астрономии, возникает и новая проблема. <>

Если отвлечься от фантазии, вся совокупность фактов, известных современной астрономии, говорит о том, что никаких космических чудес мы не наблюдаем. Отсюда следует простой, но неутешительный для «безудержных оптимистов» вывод, что цивилизаций II и III типа, по крайней мере в Местной системе галактик, нет.

Так как некоторая часть более примитивных цивилизаций земного типа, преодолев многочисленные кризисные ситуации, должна стать на путь неограниченной экспансии, то мы с логической неизбежностью должны сделать вывод, что цивилизации «земного» типа в Местной системе либо чрезвычайно редки, либо, скорее всего, отсутствуют. Более определенный ответ можно было бы дать, если бы было известно, какая часть примитивных цивилизаций, преодолев «трудности роста», становится на путь неограниченной космической экспансии. Хотя пока никакой количественной оценки сделать нельзя, вряд ли эта часть должна быть очень маленькой. Противоположное утверждение означало бы либо признание фатальной неизбежности гибели почти каждой цивилизации на своей планете еще до выхода ее в космос, либо принятие всеми цивилизациями «равновесной» стратегии «золотого века» с полной потерей интереса к космосу. Но последняя возможность практически эквивалентна нашему одиночеству в космосе. Точнее, разум во Вселенной представлял бы собой как бы «многосвязное многообразие», т. е. был бы совокупностью отдельных, совершенно изолированных очагов.

Казалось бы, серьезным возражением против развитых выше соображений о большой вероятности нашего одиночества в значительной части Вселенной является недопустимая экстраполяция наших современных представлений о цивилизации, науке, технологии, стратегии и пр. на такие неизмеримо более сложные

системы, какими являются сверхцивилизации. Насколько опасны такие экстраполяции, можно проиллюстрировать на следующем любопытном примере. Один из величайших физиков XVII в., Гюйгенс, как сын (хотя и передовой) своего века, верил в астрологию. Комбинируя астрономический факт наличия у Юпитера четырех (галилеевых) спутников (лун) и астрологический предрассудок, что Луна является покровительницей моряков, великий голландский физик пришел к «выводу», что поверхность Юпитера должна быть засеяна... коноплей, из которой делается пенька, столь необходимая для тогдашней технологии парусного флота.

Существует, однако, принципиальная разница между временами Гюйгенса и концом XX в. Тогда наука, познание окружающего мира только начинали свой триумфальный путь. Ныне фундаментальные законы природы, регулирующие поведение материи на «микроскопическом», атомарном и в значительной степени ядерном уровнях, представляются достаточно хорошо известными. В этой связи не лишено интереса заметить, что познание фундаментальных законов природы отнюдь не следует экспоненциальному закону. Экспоненциально же растут «только» параметры практической деятельности цивилизации и сложность изучаемых и осваиваемых ею систем.

XIX век дал науке никак не меньше, чем наш XX век. И, конечно, каждый серьезный физик знает, что первая треть XX в. изобиловала значительно большим числом фундаментальных открытий, чем последующие сорок лет. Мы полагаем, что это отнюдь не случайность, а выражение познаваемости конечного числа объективно существующих фундаментальных законов природы.

Познаваемая нами картина объективно существующей, подчиняющейся своим закономерностям Вселенной исключает наличие в ней некоторой разумной деятельности космического масштаба. Ибо не может разум так преобразовать космические объекты, чтобы его деятельность «не была видна» нам. Существенно, что уровень техники современной наблюдательной астрономии достаточен для обнаружения проявлений космического разума.

Итак, как нам представляется, вывод о том, что мы одиноки, если не во всей Вселенной, то во всяком случае в нашей Галактике или даже в Местной системе галактик, в настоящее время обосновывается не *хуже*, а значительно *лучше*, чем традиционная концепция множественности обитаемых миров. Мы полагаем, что этот вывод (или даже возможность такого вывода!) имеет исключительно большое значение для философии. Кстати, заметим, что даже по распространенным сейчас «оптимистическим» представлениям, согласно которым ближайшие внеземные цивилизации удалены от нас на 200 — 300 пк, мы должны считать себя практически одинокими. Ибо в области Галактики с радиусом в 300 пк находится около 10 миллионов звезд, что наглядно демонстрирует редкость феномена разумной жизни во Вселенной.

Нам представляется, что вывод о нашем одиночестве во Вселенной (если не абсолютном, то практическом) имеет большое морально-этическое значение для человечества. Неизмеримо вырастает ценность наших технологических и особенно гуманистических достижений. Знание того, что мы есть как бы «авангард» материи, если не во всей, то в огромной части Вселенной, должно быть могучим стимулом для творческой деятельности каждого индивидуума и всего человечества. В огромной степени вырастает ответственность человечества в связи с исключительностью стоящих перед ним задач. Предельно ясной становится недопустимость атавистических социальных институтов, бессмысленных и варварских войн, самоубийственного разрушения окружающей среды.

Твердое сознание того, что никто нам не будет давать «ценных указаний», как овладевать космосом и какой стратегии должна придерживаться наша уникальная цивилизация, должно воспитывать чувство ответственности за поступки отдельных личностей и всего человечества. Выбор должны делать только мы сами.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

Поиски внеземных цивилизаций

Дело происходило в первый октябрьский день 1961 г. Мы — пара десятков завсегдатаев памятного кабинета Келдыша в здании Института прикладной математики, что на Миусской площади, собрались в очередной раз для обсуждения какого-то космического проекта. За четыре года до . этого был запущен первый советский спутник, и энтузиазм, вызванный этим памятным событием, не остывал. Тогда наши космические дела были на крутом подъеме. Только что мир стал свидетелем феерического полета Гагарина. Не прошел еще восторг, вызванный зрелищем обратной стороны Луны. Неизгладимое впечатление произвел наш первый успешный полет к Венере. Постоянно во мне жило ощущение, что я являюсь участником грандиозных по своей значимости исторических событий. Гордость и восторг переполняли меня. И хотя я уже перевалил за сорокалетний рубеж, чувствовал себя как впервые полюбивший юноша. И такое состояние длилось свыше пяти лет.

Вместе со своими молодыми сотрудниками я с головой окунулся в новое увлекательное дело. В критические моменты меня неизменно поддерживал ректор МГУ Иван Георгиевич Петровский — умница и прекрасный человек. Для наблюдения межпланетных станций я предложил довольно простой, но весьма эффектный метод «искусственной кометы». Суть метода состояла в испарении на борту спутника небольшого количества (порядка двух-трех килограммов) натрия. Образующееся облако будет очень интенсивно рассеивать желтые лучи Солнца (это явление известно как «резонансная флуоресценция»). Вот это яркое облачко и должно наблюдаться наземными оптическими средствами. Следует заметить, что в те далекие годы подходящих радиосредств для достаточно точных наблюдений спутников у нас не было, и космическое руководство — в первую очередь Сергей Павлович Королев — решительно поддержало мое предложение.

Я настолько был увлечен реализацией этого проекта, что частенько оставлял мою смертельно больную мать одну, в жалкой комнатенке с глухонемыми соседями, что до конца дней своих не прощу себе. Решающее испытание «искусственной кометы» было проведено на знаменитом космодроме Капустин Яр. Глубокой ночью была запущена ракета. Было по-осеннему холодно. Я и мои ребята стояли примерно в километре от стартовой площадки. Теперь, конечно, никого не удивить зрелищем старта ракеты — с некоторых пор это стали показывать по телевизору. Но тогда, да еще в непосредственной близости, да еще с сознанием большой ответственности (ведь пуск был сделан специально для нашей «кометы»), это было незабываемым событием. Прошло несколько минут после старта. Уже погасло адское пламя, хлещущее из ракетных дюз. Уже сама ракета превратилась в еле видимую слабую световую точку — а на агатово черном небе решительно ничего не происходило! Время как бы остановилось. Светящаяся точка — ракета перестала быть видимой. Неужели катастрофическая неудача? И вдруг, прямо в зените, блеснула яркая искра. А потом по небу, как чернила на скатерти, стало расползаться ослепительно красивое, ярчайшее пятно апельсинового цвета. Оно расплывалось медленно, и через полчаса его протяженность достигла 20 градусов. И только потом оно стало постепенно гаснуть.

Эффективность предложенного метода была продемонстрирована с полной наглядностью. Вскоре «комета» отлично сработала в «боевой обстановке» на нашей лунной ракете, на полпути между Землей и Луной. Увы, этот метод не получил

в дальнейшем должного развития. Правда, мой сотрудник Дима Курт, сделав серию фотографий, через несколько месяцев защитил кандидатскую диссертацию: по скорости диффузии атомов натрия удалось очень уверенно определить плотность земной атмосферы на высоте 550 км. Помню, как в разгар этой цветовой феерии я сказал Диме: «Полюбуйтесь, как сияет на небе ваша диссертация». *Я* потом предложил развитие метода «искусственной кометы» — использовать в качестве «рабочего вещества» вместо натрия литий. Такой же оптический эффект можно было получить, испаряя в десятки раз меньше вещества. А цвет литиевой «кометы» должен был быть багрово-красный. Космические корабли стали бы похожи на трассирующие пули! Ничего из этого не вышло — никто этим серьезно не заинтересовался. Тогда же я предложил в качестве «рабочего вещества» стронций и барий, подчеркнув богатые возможности этого метода для исследования земной магнитосферы. Через много лет в ФРГ были весьма успешно осуществлены эти эксперименты.

Вернемся, однако, к тому октябрьскому дню 1961 г., когда на очередном сборе космических деятелей Келдыш с обычно не свойственным ему пафосом обратился к нам со следующей речью: «В будущем году исполнится пять лет со дня запуска первого советского спутника. Эту замечательную дату надо отметить должным образом. В частности, нужно подготовить несколько монографий, отображающих всемирно-историческое значение этого события». И тут же мне в голову пришла хорошая идея. Я поднялся и сказал, что за оставшееся до срока время (рукописи надо было сдать к июлю будущего 1962 г.) я смогу написать уже начатую(?) мною монографию, посвященную весьма необычному сюжету: о возможности существования разумной жизни во Вселенной. Келдыш мою инициативу тут же одобрил.

Мой расчет был точен. Я был уверен, что никто из моих коллег в столь сжатые сроки не то что монографии — приличной статьи не напишет. Да и заняты были очень «космической суетой». Не оглянешься, как пролетят эти месяцы, а редакционный портфель будет пустой. И только моя рукопись будет представлена в срок. А юбилей никуда не перенесешь — 4 октября 1962 г. как раз и исполняется пять лет! В такой авральной обстановке моей рукописи будет дана зеленая улица.

Я не мог все время посвятить работе над книгой — слишком много было других обязанностей. Работал урывками — делал «большие выходы», обычно дня на три-четыре. Запомнилось, как в начале июня (самое любимое мое время года) я забрался на дачу брата в Вельяминове с целью написать молекулярно-биологическую, очень трудную для меня главу. Погода сыграла со мной злую шутку. Температура упала почти до нуля, изредка шел снежок, а чаще ледяной дождь с ветром. Я забрался на кухню — единственно отапливающееся помещение на даче, и героически пытался писать. От холода сводило руки, а писать надо было вдохновенно — иначе это было бы все напрасной затеей. Четыре дня терпел эту пытку — кое-как написал главу (причем все пришлось переделать) и убежал с дачи.

Наконец, труд был окончен — где-то в самом начале августа. Остались мелочи: название книги и оформление суперобложки. Последний вопрос решился быстро. В кабинете Келдыша на Миуссах (там, где проходили все наши космические бдения) висела картина малоизвестного тогда художника Соколова, изображавшая некий фантастический космический пейзаж. Мне она всегда нравилась, а самое главное — напоминала о месте, где была «заявлена» книга. Из этой картины действительно получилась прекрасная суперобложка. А вот с названием книги пришлось изрядно помучиться. Выбрал в конце концов простое название «Вселенная, жизнь, разум». Может быть, где-то в подкорке мозга осело название жутко ученой книги Вейля «Пространство, время, материя». Но это я потом уже доискался. А тогда я просто вздохнул с облегчением.

Были еще проблемы. Надо было оснастить главы книги стихотворными эпиграфами. К общеастрономической главе хороший эпиграф дал мне знакомый лите-

ратурный критик Бен Сарнов («И страшным, страшным креном к другим каким-нибудь неведомым Вселенным повернут Млечный Путь» — это из Пастернака). Сложнее получилось с эпиграфом к футурологической главе, где я предавался мечтам в духе модернизированного Циолковского. Незадолго до этого я получил письмо от своего ныне покойного старого друга, товарища по Дальневосточному университету С. Д. Соловьева. Между прочим, в этом письме были такие строки: «... На днях перечитал новые стихи Асеева. К старости он стал писать лучше. Вот почитай слегка подправленные мною строфы:

А любопытно, черт возьми,
Что будет после нас с людьми —
Ведь вот ведь дело в чем!
Какие платья будут шить?
Кому в ладоши будут бить?
К каким планетам плыть? ...»

Но ведь это и есть тот самый эпиграф, который мне так нужен! И только в корректуре я вспомнил приписку Соловьева насчет «слегка подправленных строф». Значит, эти понравившиеся мне строчки — не подлинный Асеев? Может получиться скандал! Тем более, как я узнал, у маститого поэта довольно резкий характер. С большим трудом нашел книжку Асеева, где напечатаны эти строки. Худшие мои опасения оправдались: у Асеева после «Кому в ладоши будут бить?» стояло звукоподражание «тим-там, тим-там, тим-там!» А ведь весь смысл был для меня в соловьевской строчке «К каким планетам плыть?» Пришлось выбросить эту концовку и обрубить строки на «ладошках», в которые «будут бить» наши потомки. Но зато в следующих изданиях, уже после смерти Асеева, я концовку Соловьева восстановил... Да простят меня ревнители неприкосновенности поэтического замысла и священности авторского права. Но чем я хуже всякого рода режиссеров и инсценировщиков, бессовестно кромсающих авторский текст и замысел классиков?

Мой расчет оказался точным. Холодным декабрьским деньком 1962 г. я вместе с моей сотрудницей Надей Слепцовой получил в издательстве свои 25 авторских экземпляров и испытал редкое ощущение счастья. Книга вышла! Шум поднялся довольно большой. Бурно выражал свое негодование А. И. Опарин. Я ему послал очень вежливое письмо — оно вернулось в конверте, будучи разорванным на мелкие части! А еще говорят, что нынешней науке не хватает страстности! А в общем, ничего страшного не случилось. Книга разошлась за несколько часов, хотя тираж был не малый — 50000 экземпляров! Она выдержала пять изданий и переводилась на многие иностранные языки. Я особенно горжусь, что книга вышла в издании для слепых — шрифтом Брайля! Четыре толстенных тома, сделанные на бумаге, похожей на картон, производят странное впечатление. Любопытна история американского перевода, который взялся реализовать тогда молодой и малоизвестный, а ныне очень знаменитый планетовед Карл Саган, работающий в Корнельском университете. По образованию он биолог, поэтому я попросил его в американском издании сделать, по его желанию, добавления, ибо, как я уже писал, биология — не моя стихия. Саган понял мою просьбу весьма «расширительно», и по прошествии довольно долгого времени, уже в 1966 г., я получил роскошно изданный толстенный том, озаглавленный «Intelligent Life in the Universe». Объем моей книги удвоился, зато на обложке были вытеснены имена двух авторов: Шкловский и Саган. Надо сказать, что некую честность Карлуша все-таки проявил: он оставил неизменным мой текст, выделив свой особыми звездочками. Часто это приводило к смешным недоразумениям. Например, я пишу: «...согласно философии диалектического материализма...» И сразу же после этого абзаца отмеченный звездочками текст Сагана: «Однако позитивистская философия Канта учит...» Совсем как в гофмановских «Записках Кота Мура»!

Выход в свет моей книги взбудоражил умы отечественных молодых астрономов. Приблизительно в это время Коля Кардашев опубликовал работу, в которой содержалась его знаменитая классификация космических цивилизаций по уровню технологического развития, характеризуемого величиной перерабатываемых энергетических ресурсов. Высшая форма цивилизации — использование ресурсов всей звездной системы, преобразованной силой разума. Это — цивилизация III типа. Очень скоро был найден на небе подходящий «кандидат» на такую суперцивилизацию. Это был явно внегалактический источник радиоизлучения СТА 102, у которого сотрудник моего отдела Гена Шоломицкий обнаружил переменность. Шум поднялся большой. Никогда не забуду пресс-конференцию в ГАИШе, посвященную столь выдающемуся открытию. Весь двор института был забит роскошными заграничными машинами: прибыло сотни полторы аккредитованных в Москве ведущих корреспондентов. Я представлял консервативно-скептическое начало. Шоломицкий был крайне сдержан. Очень скоро, впрочем, стало ясно, что СТА-102 — обыкновенный квазар с довольно большим (хотя и не рекордным) красным смещением.

В начале 1963 г. у Коли Кардашева возникла идея созвать Всесоюзную конференцию по проблеме внеземных цивилизаций.

По двум пунктам у меня с Колей была сразу достигнута полная договоренность: а) никакой прессы, иначе вместо конференции будет балаган, б) место конференции — Бюракан. Именно там, на фоне древних камней Армении, свидетелей ушедших цивилизаций, на виду у ослепительной красоты снежной вершины Арарата, надо было провести столь необычную конференцию.

Подготовка к созыву Бюраканской конференции отняла немало времени и сил. Прежде всего надо было договориться с хозяином Бюраканской обсерватории В. А. Амбарцумяном, для чего пришлось ловить этого нелегко уловимого человека в самых неожиданных местах. Помню, как мы с Колей ходили к нему в санаторий ЦК в Нижнюю Ореанду, что на Южном берегу Крыма. Самый решительный разговор, однако, произошел в Бюракане, куда мы прибыли специально для этой цели из Баку. Следует сказать, что Виктор Амазаспович с большим пониманием и даже энтузиазмом отнесся к нашему предложению.

Мне почему-то особенно запомнилась эта поездка в Бюракан из Баку. Нас никто не встречал в ереванском аэропорту. Пришлось добираться до Бюракана «своим ходом». Прибыли туда поздно, был субботний вечер, и на обсерватории никого не было. Мы были очень голодны и так, голодные и очень усталые, легли спать в отведенной нам комнате в обсерваторской гостинице. Проснулся я, как обычно, на рассвете и подошел к своему любимому месту у южных каменных ворот обсерватории. С этого места лучше всего по утрам любоваться Араратом. Сколько я ни бывал в Бюракане, всегда наслаждался этим неописуемой красоты зрелищем. Еще вся долина погружена в синюю предрассветную мглу. Не видно ни единого огня какого-либо жилья — после резни 1915 г. долина все еще безлюдна. И высоко в небе полоса нежнейшего розового света — это снежная вершина Большого Арарата. Быстро светает, и на иссиня-голубом небе удивительно нежной акварелью вырисовывается вся эта изумительной красоты панорама.

Налюбовавшись досыта удивительной горой, я пошел в наш номер, двери которого, так же как и всех других номеров, выходили на крытую террасу. У двери я обнаружил... кулек с грецкими орехами — трогательный дар самого Амбарцумяна. Это было как нельзя более кстати — со вчерашнего дня мы ничего не ели. Насытившись орехами, мы пошли бродить по живописнейшему селению Бюракан.

Недалеко стояла антенна, смотревшая куда-то в совершенно непонятном направлении. Позже здешние радиоастрономы вполне серьезно объяснили нам, что они наблюдают Кассиопею А через... задний лепесток. Мы немало подивились такому способу познания космических объектов.

В октябре 1964 г. первая Всесоюзная Бюраканская конференция по внеземным цивилизациям состоялась и прошла весьма успешно. В ней принимало участие немало выдающихся отечественных ученых. Интерес к этой проблеме резко поднялся.

Сразу же после конференции возникла идея организовать Международную конференцию по тому же сюжету. И здесь главным заводилой был Коля. К этому времени мы установили контакт, правда, не с внеземными цивилизациями, а с чешским энтузиастом этого дела доктором Пешеком. Последний предложил место для подобной конференции: один из средневековых чешских замков. Роскошная идея! И мы рьяно взялись за ее реализацию. Вопрос был значительно продвинут во время Международного астрономического съезда в Праге в августе 1967 г., где мы встретились с Пешеком. К сожалению, собраться в Чехословакии не удалось. Когда это стало ясно, решено было устроить конференцию опять в Бюракане. Окончательно об этом договорился Коля с Саганом во время командировки в США.

Вторая Бюраканская конференция, по существу, была советско-американской. Упирая на комплексный характер предмета конференции, я настаивал на приглашении не одних астрономов и радиофизиков, но и широкого круга гуманитариев. Именно так подошли к проблеме американцы. Организация такой беспрецедентной советско-американской конференции потребовала большого напряжения сил от всех сотрудников Бюраканской обсерватории. Ведь надо было комфортабельно устроить не менее 25 американцев. Не забудем, что это не город, а удаленная обсерватория. Конечно, без Амбарцумяна ничего не было бы сделано.

И вот, 4 сентября 1971 г., конференция открылась. Думаю, что давно не было более представительного ученого собрания. *Я,* во всяком случае, ни до, ни после ничего похожего не видел. Среди двух дюжин приехавших американцев было два лауреата Нобелевской премии, в том числе Чарлз Таунс, выдающийся физик и астрофизик, вместе с нашими Прохоровым и Басовым разделивший славу открытия лазеров и мазеров. Накануне приезда в Бюракан он сделал необыкновенно важное и эффектное открытие — космические мазеры на водяных парах (длина волны 1,35 см), сопутствующие образованию звезд из межзвездной среды. Приехали Саган, Моррисон, Дрэйк, широко известные своими пионерскими работами по проблеме внеземных цивилизаций. Были там знаменитые историки (О'Нил), кибернетики (Минский) и даже этнограф профессор Ли. На нем, пожалуй, стоит остановиться немного подробнее. Этот маленький щуплый человечек, дед которого был выходец из российской черты оседлости и носил фамилию Либерман, был, по существу, пионером новой науки, которую с полным правом можно назвать экспериментальной антропологией. Я знаю по меньшей мере два его научных подвига. Полгода он провел в пустыне Калахари (Намиб) в орде бушменов. Он вел себя как бушмен, питался теми же ящерицами и прочей гадостью, мерз холодными ночами и в совершенстве выучил язык и обычаи этих древнейших аборигенов Африки. Еще более впечатляет другой подвиг внука шепетовского «человека воздуха». Несколько месяцев он провел в стае свирепых обезьян-бабуинов. «Главное — это не смотреть матерым самцам в глаза», — сказал мне этот бесстрашный человек.

Среди американцев обращал на себя внимание рослый, грузный, казавшийся старше своих лет Оливер. Это самый настоящий миллионер, вице-президент известнейшей фирмы по электронно-вычислительной технике Хьюлетт-Паккард. С ним приключилась трагикомическая история: по пути из Америки в Ереван, кажется, в Лондоне, у него пропал чемодан. Лишенный своего багажа, где у него, естественно, находилось все необходимое, мистер Оливер оказался в сложном положении: у бедняги-миллионера не оказалось даже смены белья. Иностранцев поселили, конечно, в роскошной «Армении» — знаменитой интуристской гостинице в Ереване, т. е. в 45 километрах от Бюраканской обсерватории. Советских же участников конференции поселили в Бюракане. Два раза в день — утром и вечером — иностранцам приходилось трястись по горной дороге, что, конечно, не вы-

зывало у них восторга. Как-то раз, после окончания вечернего заседания, иностранные гости, продолжая оживленную дискуссию, нехотя рассаживались в уже ожидавшие их автобусы. В толпе я увидел Ли, стоявшего несколько в стороне и делавшего мне какие-то знаки. Я подошел к нему и узнал, что он тайно решил остаться на обсерватории и заночевать здесь — тут ему очень нравится, а утром можно будет полюбоваться Араратом. Я растерянно стал бормотать, что, мол, мест нет и пр. Он выразительно посмотрел на меня, и я понял нелепость моих отговорок: для человека, ночевавшего со стаей бабуинов, переночевать на кустиках колючей бюраканской травы рядом с куполом башни — раз плюнуть... Утром я пришел проведать сильно помятого ученого. Тот попросил у меня зубной пасты, утверждая, что ночь провел превосходно...

Тем временем в Бюраканской обсерватории (точнее, в ее конференц-зале и примыкающих к нему открытых галереях) кипели научные страсти. Один удивительный доклад сменял другой, еще более впечатляющий. Спорадически вспыхивали жаркие дискуссии. В перерывах и за обедом (который происходил тут же, рядом — как это трудно было организовать, да еще на таком высоком уровне!) ученые баталии не утихали. Молодой, щеголеватый Саган пустил в ход эффективный термин «субъективная вероятность» — речь шла о вероятностных оценках распространенности разумной жизни во Вселенной на основе знаменитой формулы Дрэйка.

Вспоминаю живой, увлекательный доклад одного из основоположников CETI (что расшифровывается как «Communication Extraterrestrial Intelligence») профессора Моррисона. Предмет доклада: как можно по радио передать всю мудрость какой-нибудь (в частности, земной) цивилизации. Оказывается, можно, и не так уж это много займет времени! Аналогичные расчеты я выполнил еще до Моррисона в моей книге «Вселенная, жизнь, разум». С большим запасом делается оценка, что все, написанное людьми, когда-либо жившими на Земле (а это, преимущественно, всякого рода пустопорожние бумаги, расписки и др.), можно выразить в двоичном коде 10^{15} знаками. Радиопередатчик с шириной полосы 100 мегагерц, непрерывно работая, может излучить всю эту «разумную» продукцию (включая содержание всех книг, когда-либо напечатанных на каком-нибудь языке) за несколько месяцев. Этот впечатляющий, хотя довольно простой результат Моррисона был несколько «подмочен» невинным вопросом спокойно-флегматичного Дрэйка: «Как Вы думаете, сколько бит информации содержит формула Эйнштейна $E = mc^2$?» Обычно очень находчивый Моррисон несколько растерялся, а собрание разразилось взрывом хохота.

Я уже говорил, что конференция была удачно организована. Своим вкладом в успешную работу конференции я, в частности, считаю приглашение в качестве главного синхронного переводчика Боба Белецкого. Никто, никогда, ни мы, ни американцы, такого синхронного перевода не слыхали. Он еще молниеносно и притом — «на оба конца» улучшал текст вопросов и ответов! Можно не сомневаться, что без Боба у нас возникла бы ситуация вавилонского столпотворения. Еще поражала воображение участников конференции, особенно советских, американская стенотипистка, мисс Свенсон. Глядя на ее фантастическую по быстроте и точности работу, мы поняли, что и в секретарском деле может быть высокая поэзия. Итог работы американки был более чем весом: она подготовила стенограмму трудов конференции, когда конференция еще не кончилась. Это обеспечило выход тома трудов конференции с непостижимой для нас быстротой.

В положенное время конференция закончилась, и всем стало очень грустно. Не хотелось уезжать из Бюракана, еще не обо всем договорились, еще не доспорили и даже не доругались. Горечь от конца этого великолепного мероприятия была смягчена только перспективой прощального банкета, который должен был произойти на знаменитом озере Севан.

И вот мы все сидели за огромными банкетными столами. За широкой верандой — красивейшая панорама знаменитого, увы, сильно обмелевшего озера. Совсем близко, на бывшем острове, ставшем теперь полуостровом, виден древний купол монастыря святого Карапета. Среди американских участников заметно оживление: нашелся чемодан Оливера, по этой причине сам Оливер отсутствует — поехал в Ереванский аэропорт выручать свою ручную кладь. Тамадой единодушно избирают Амбарцумяна, а вице-тамадой — меня. Полагаю, что это была самая высокая должность, на которую я когда-либо избирался! Это были мои звездные часы: фактическим тамадой этого уникального сборища был все-таки я — Амбарцумян только изредка шевелил головой. Справа от меня сидел лауреат Нобелевской премии сэр Френсис Крик (тот самый, который открыл структуру ДНК), слева — сам тамада. Кажется, я был в ударе. Приведу два примера. Во-первых, следуя кавказскому обычаю, я вызвал на тост профессора Ли, потребовав от него, чтобы тост был произнесен... на бушменском языке! И тут окрестный величественный пейзаж огласился ни на что не похожими щелкающими и свистящими звуками — как пояснил антрополог, он пропел сверхдревний первобытный гимн, сопровождающий ритуал коллективного поедания какой-то деликатесной, остро-дефицитной живности. Впечатление от этого тоста было очень сильным.

В конце банкета я обратился к собравшимся со следующим спичем: «Господа и товарищи! На протяжении всех этих незабываемых дней мы много толковали о субъективной вероятности. Но если бы еще вчера я поставил перед Вами вопрос: какова субъективная вероятность, что потерянный чемодан мистера Оливера вернется к своему владельцу, Вы хором ответили бы мне: «Нуль». И что же? Сегодня достойный вице-президент фирмы Хьюлетт-Паккард получает свой чемодан и вместе с ним столь необходимые в этой восточной республике шорты и, кажется, перчатки! Это радостное событие вселяет в нас уверенность, что справедлива субъективная вероятность того, что где-то, далеко за пределами «созвездия Тау Кита», столь выразительно воспетого замечательным русским поэтом Высоцким, идет банкет, аналогичный нашему. Во всяком случае, субъективная вероятность столь радостного события не так уж мала. Поэтому — давайте выпьем. Рекомендую «три звездочки» местного разлива!»

Хочется верить, что этот спич заметно увеличил процент любителей «оптимистического» подхода к проблеме CETI. Увы, в наши дни голоса «пессимистов» становятся слышны все более и более. Но это уже другая история.

Приложение II

Возможна ли связь с разумными существами других планет?)*

Само название этой статьи, несомненно, покажется читателям «Природы» совершенно фантастическим. Можно ли вообще на страницах серьезного журнала обсуждать такую, по меньшей мере необычную проблему? Уж не мистификация ли это вообще? Эти вопросы, сразу же возникающие у читателей, разумеется, вполне естественны. И все же попробуем показать, что постановка этой проблемы в наше время исключительно бурного научного и технического прогресса вполне закономерна. Более того, в самое последнее время сделаны первые шаги на пути решения этой грандиозной проблемы, стоящей перед человечеством.

*) Первая статья И. С. Шкловского, посвященная проблеме внеземных цивилизаций («Природа», №7,1960), послужившая основой первого издания книги «Вселенная, жизнь, разум».

Существуют ли другие планетные системы?

Прежде всего возникает вопрос: в какой степени обосновано утверждение, что в Галактике имеется определенное число звезд, окруженных системами планет, наподобие нашей Солнечной системы? До сравнительно недавнего времени в астрономии и космогонии господствовало представление, что планетные системы во Вселенной — величайшая редкость. Согласно космогонической гипотезе английского астронома Джинса, господствовавшей до середины 30-х годов XX в., Солнечная система образовалась в результате катастрофического сближения, почти столкновения двух звезд. Учитывая чрезвычайно малую вероятность звездных столкновений в Галактике (величина межзвездных расстояний огромна по сравнению с размерами звезд), можно было прийти к выводу, что наша Солнечная система должна быть чуть ли не уникальным явлением в Галактике.

Крушение гипотезы Джинса

В тридцатых годах постепенно становилась ясной несостоятельность гипотезы Джинса. Именно в это время знаменитый американский астроном, ныне покойный Г. Н. Рассел, доказал в принципе (качественно), что эта гипотеза не в состоянии объяснить одну из основных особенностей Солнечной системы — сосредоточение 98% ее момента количества движения в орбитальном движении планет. Окончательный удар по гипотезе Джинса нанесли расчеты советского астронома Н. Н. Парийского, полностью подтвердившие вывод Рассела. Было показано, что орбиты планет, образовавшихся при катастрофическом сближении двух звезд, имеют слишком малые размеры, следовательно, момент количества движения планет получается совершенно недостаточным.

После краха космогонической гипотезы Джинса рядом исследователей были развиты новые взгляды. Большое значение имела космогоническая гипотеза О. Ю. Шмидта и развивающие ее работы А. И. Лебединского и Л. Э. Гуревича. Эти исследования приблизили нас к пониманию процесса постепенного формирования планет из некоторого первоначального газопылевого облака, окружавшего Солнце, которое уже тогда было довольно похоже на современное. Однако гипотеза Шмидта не смогла дать достаточно обоснованного ответа на главный вопрос о происхождении первоначального газопылевого облака. Различные варианты с захватом Солнцем газопылевой межзвездной среды, выдвигавшиеся О. Ю. Шмидтом и другими авторами, встречались с большими трудностями.

В настоящее время становится все более ясным, что планеты и Солнце образовались совместно из одной общей, диффузной «материнской» туманности. Таким образом, космогония сейчас в значительной степени возвращается к классическим представлениям Канта и Лапласа.

Однако теперь эти представления стоят на несравненно более высоком уровне, чем полтора века тому назад. С тех пор наши сведения о Вселенной неизмеримо выросли, исследователи широко используют выдающиеся достижения теоретической физики. Если гипотеза Канта и Лапласа носила чисто механистический характер (что для того времени было, конечно, вполне закономерно), то сейчас, при разработке современных космогонических гипотез, широко используются результаты космической электродинамики и атомной физики.

Как правило, из первоначальной газопылевой туманности образуются двойные и вообще — кратные звезды. Около 50% всех известных звезд — кратные. Массы звезд, входящих в систему кратной звезды, могут сильно отличаться друг от друга. Существует довольно много звезд, спутники которых имеют незначительные массы, а следовательно, очень малые светимости. Такие звезды-спутники нельзя наблюдать даже в самые мощные телескопы. Их существование проявляется в

ничтожных периодических изменениях положений главной звезды, обусловленных притяжением невидимого спутника. Классическим примером такого небесного тела является звезда 61 Лебедя, одна из ближайших к Солнцу звезд, подробно исследованная советским астрономом А. Н. Дейчем. Масса невидимого спутника этой звезды всего лишь в десять раз больше массы Юпитера. Таким способом, однако, можно установить существование невидимых спутников только для самых близких звезд и только тогда, когда массы спутников по крайней мере на порядок больше массы планет-гигантов. Никакими астрономическими наблюдениями нельзя обнаружить даже у ближайших звезд существование планетных систем, сходных с нашей.

Известный американский астроном О. Л. Струве следующим образом иллюстрирует это положение. Представим себе воображаемого наблюдателя, отдаленного от Солнца на расстояние 10 парсек (немного больше 30 световых лет) и находящегося в плоскости орбиты Юпитера. Мог ли бы он, располагая средствами современной наблюдательной астрономии, обнаружить около Солнца планету-гигант Юпитер? Как показывают подсчеты Струве, для решения этой задачи методами астрономии наблюдатель должен был бы уметь измерять углы на небе с точностью 0,0005", а если бы воображаемый наблюдатель применял спектроскопический метод, ему надо было бы уметь измерять лучевые скорости с точностью 10 м в секунду! Такие точности измерения современной астрономии недоступны. Заметим, однако, что приблизительно один раз в 11 лет он наблюдал бы прохождение Юпитера через диск Солнца. При этом видимая звездная величина Солнца ослабела бы на 0,01 звездной величины.

Такое измерение для современной электрофотометрии на пределе еще доступно. Следует помнить, что если направление «наблюдатель — Солнце» будет составлять всего лишь несколько угловых минут с плоскостью орбиты Юпитера, то покрытие Юпитером Солнца уже нельзя будет наблюдать. Таким образом, прямыми астрономическими наблюдениями обнаружить большие планеты даже у ближайших к нам звезд практически невозможно.

Но это, конечно, не означает, что в процессе образования звезд из туманности не могут одновременно с массивной звездой создаваться космические тела достаточно малой массы, типа планет. Китайский астроном Су Шухуанг, работающий в США, анализируя эту проблему, пришел к выводу, что должна существовать непрерывная последовательность масс космических тел, образующихся из туманностей, идущая от обычных звездных масс через массы невидимых звезд типа спутника 61 Лебедя до планетных масс типа Земли, Марса, Меркурия. Отсюда непосредственно следует, что планетные системы типа Солнечной должны быть весьма распространены в Галактике. К этому же выводу можно прийти из совершенно других соображений.

О чем говорит вращение звезд

Большое значение для современной планетной космогонии имеет анализ вращения звезд различных типов. Вращение звезд было открыто спектроскопическим методом свыше тридцати лет тому назад О. Л. Струве и советским астрономом, ныне покойным Г. А. Шайном.

Оказывается, что сравнительно массивные горячие звезды характеризуются очень быстрым вращением. Самые горячие звезды (спектральные классы Ое, Ве), массы которых в десятки раз больше солнечной, вращаются с экваториальной скоростью 300 — 500 км/с. Менее горячие и массивные, очень часто встречающиеся в Галактике звезды спектрального класса А вращаются обычно со скоростью, несколько меньшей ~ 100 — 200 км/с. Вплоть до спектрального класса F5 главной последовательности скорости вращения превышают несколько десятков километров

в секунду. Однако скорость вращения звезд около спектрального класса F5 резко, скачком обрывается. Для звезд-карликов классов G, K, M, температура поверхности которых меньше 6500°, а масса меньше 1,2 солнечной массы, экваториальные скорости вращения очень малы — порядка немногих километров в секунду. К этой части главной последовательности звезд принадлежит и Солнце.

Мы сталкиваемся здесь с чрезвычайно интересным и важным явлением: в то время как основные характеристики звезд (температура поверхности, светимость, масса) меняются вдоль главной последовательности непрерывно, такая важная характеристика, как скорость вращения, по какой-то неизвестной причине, почему-то в районе спектрального класса F5 резко, скачком меняется. Малая скорость вращения у звезд поздних спектральных классов означает, что их момент количества движения в десятки раз меньше, чем у звезд, более ранних, чем F5. Но массы последних сравнительно незначительно отличаются от масс карликов класса G. Между тем следует иметь в виду, что массы образующихся звезд определяются массами «материнских» туманностей, а их моменты количества движения — беспорядочными скоростями газовых масс в этих туманностях. Очень трудно, если не невозможно, представить себе, что при достаточно близких массах внутренние движения в туманностях, из которых образуются карлики класса G, должны качественно отличаться от внутренних движений в туманностях, порождающих звезды класса F5. Скорее всего, причиной аномально малого момента количества движения у карликовых звезд поздних спектральных классов служат движущиеся вокруг них невидимые маломассивные космические тела, орбитальный момент количества движения которых в десятки раз превосходит момент количества движения самой звезды, связанный с ее вращением. В этой связи укажем, что если бы весь момент количества движения Солнечной системы был сосредоточен в Солнце, экваториальная скорость его вращения достигла бы 100 км/с и стала бы такой же, как у большинства звезд спектральных классов A — F5.

Множественность планетных систем

В самое последнее время видный английский астроном В. Мак-Кри развил космогоническую теорию, в которой вышеизложенные качественные соображения даны количественно. По мысли Мак-Кри, первоначальная туманность в процессе ее конденсации разбивалась на большое число сгустков. В результате взаимодействия этих сгустков в конечном итоге образовалось массивное центральное тело — Солнце и некоторое количество планет, причем, согласно его расчетам, 96% момента количества движения системы сосредоточено в орбитальном движении планет. Это находится в превосходном согласии с наблюдаемым распределением момента количества движения в Солнечной системе.

Хотя расчеты Мак-Кри, разумеется, еще нельзя считать строгим доказательством, все же они подтверждают вывод, к которому астрофизика пришла в последние годы чисто эмпирически, т. е. с большой степенью вероятности можно утверждать, что большинство звезд-карликов спектральных классов G, K, M должны быть окружены семействами планет. Но это означает, что по крайней мере несколько миллиардов звезд в Галактике могут (или, вернее, должны) обладать планетными системами. Напомним, что всего в Галактике насчитывается свыше 150 миллиардов звезд всех типов. Как известно, наше Солнце расположено вблизи плоскости галактического экватора, около одного из спиральных рукавов. В сфере радиусом в 100 световых лет насчитывается около 10000 звезд, причем значительная часть их, если не большинство, — карлики спектральных классов G, K, M.

Где может возникнуть жизнь?

Вполне естественно предположить, что при благоприятных обстоятельствах на планетах, окружающих эти звезды, должна возникнуть и развиваться жизнь. Проблема возникновения жизни на Земле есть одна из основных проблем естествознания. В 1957 г. в Москве впервые состоялся Международный конгресс, на котором эта проблема подверглась всестороннему обсуждению. Рядом виднейших специалистов было показано, что образование сложных органических молекул — «кирпичей жизни» — с необходимостью должно иметь место на сравнительно раннем этапе эволюции планеты.

На протяжении дальнейшей эволюции жизни, насчитывающей сотни миллионов и миллиарда лет, организмы постепенно развивались, достигая высокой степени совершенства, причем одни виды непрерывно сменяли другие. На достаточно позднем этапе эволюции на Земле появилось разумное существо - человек.

Коль скоро есть все основания предполагать, что планетных систем, сходных с Солнечной, в Галактике насчитывается несколько миллиардов, вполне естественно принять, что процесс зарождения жизни и ее эволюции там в общих чертах по своему характеру сходен с тем, что было на Земле. Разумеется, не на каждой планете возможно зарождение и развитие жизни.

1. Планеты, на которых возможно зарождение и развитие жизни, не могут обращаться вокруг звезды слишком близко или слишком далеко. Необходимо, чтобы температуры их поверхностей были благоприятны для развития жизни. Учитывая, однако, что одновременно с звездой должно образоваться сравнительно большое число планет (скажем, ~ 10), с большой вероятностью можно ожидать, что хотя бы одна или две планеты будут обращаться на расстоянии, при котором температура лежит в нужных пределах.

Заметим еще, что по мере перехода от сравнительно горячих звезд главной последовательности к более холодным зона расстояний планет от звезды, при которых температурные условия благоприятствуют развитию жизни, непрерывно уменьшается и приближается к поверхности звезды. Поэтому красные карлики спектрального класса М и даже поздние подклассы К вряд ли можно рассматривать как очаги, поддерживающие на своих планетах жизнь, так как энергия их излучения для этого недостаточна.

2. Массы образовавшихся планет не должны быть ни слишком большими, ни слишком маленькими. Это обстоятельство в свое время подчеркивал В. Г. Фесенков. В первом случае гигантские атмосферы этих планет, богатые водородом и его соединениями, исключают возможность развития жизни. Во втором случае за время эволюции атмосферы будут рассеиваться (тому пример Меркурий). Однако, учитывая сравнительно большое число образующихся планет, можно ожидать, что некоторое, пусть малое количество их, будет обладать нужной массой. При этом необходимо, чтобы такие планеты одновременно удовлетворяли первому условию.

Заметим, что первое и второе условия не являются независимыми. Ведь не случайно планеты Солнечной системы со сравнительно малой массой (так называемые планеты земной группы) находятся относительно близко от Солнца, а планеты-гиганты с атмосферами, богатыми водородными соединениями, находятся сравнительно далеко от Солнца. Поэтому мы можем считать, что по крайней мере значительная часть образовавшихся планет с подходящей для развития жизни массой в то же время находится и на подходящем расстоянии от звезды.

3. Высокоорганизованная жизнь может быть только на планетах, обращающихся вокруг достаточно старых звезд, возраст которых насчитывает несколько миллиардов лет. Ибо для того, чтобы в процессе эволюции такая жизнь возникла, необходимы огромные промежутки времени. Заметим, что третьему условию удовлетворяют почти все звезды-карлики интересующих нас спектральных классов.

4. Звезда в течение нескольких миллиардов лет не должна существенно менять своей светимости. И этому условию удовлетворяет подавляющее большинство интересующих нас звезд.

Звезда не должна быть кратной, ибо в противном случае орбитальное движение планет было бы существенно отлично от кругового, и резкие, если не катастрофические, изменения температуры поверхности планеты исключили бы возможность развития на ней жизни.

Сколько планет может быть колыбелью разумных существ?

Если даже учесть все изложенные выше ограничения, мы можем считать, что в Галактике существует по крайней мере миллиард планет, обращающихся вокруг карликовых звезд, подобных нашему Солнцу, или несколько более холодных, на которых возможна высокоорганизованная, а может быть, и разумная жизнь.

Необходимо, однако, сейчас обратить внимание на одно важное обстоятельство. Известно, что человек как биологический вид появился на Земле всего несколько сот тысяч лет назад. Можно ли утверждать, что человечество, непрерывно развиваясь, будет существовать сколь угодно долго, скажем, миллиарды лет?

Как нам представляется, вера в вечность человеческого рода на Земле (ибо речь может идти только о вере) столь же нелепа и бессмысленна, как и вера в личное бессмертие индивидуума. Все что возникло — с неизбежностью должно рано или поздно погибнуть. И разумная жизнь на какой-нибудь планете не может составлять исключения.

Какова длительность в различных мирах психозойских эр, т. е. тех периодов, в которые начала развиваться жизнь мыслящих существ? На такой вопрос очень трудно ответить. Это могут быть сотни тысяч и даже многие миллионы лет.

Ограниченность психозойской эры во времени на различных планетах существенно уменьшает количество миров, где одновременно с нами обитают разумные существа. Так, например, если среднюю длительность такой эры принять за миллион лет, то в современную эпоху в Галактике может быть только несколько миллионов планет, населенных разумными существами с достаточно высоким уровнем цивилизации. В этом случае, в сфере радиусом 100 световых лет, окружающей Солнце, могут быть только одна-две такие планетные системы. Разумеется, сделанная нами только что поправка на ограниченность психозойских эр носит довольно произвольный характер. Однако, на наш взгляд, она совершенно необходима, ибо в противном случае оценка количества обитаемых миров во Вселенной получается грубо преувеличенной. Конечно, нельзя считать полностью исключенным, что миров, обитаемых разумными существами, значительно больше, чем мы предполагаем. Однако все же более вероятно, что их должно быть меньше.

Таким образом, наука второй половины двадцатого столетия приходит к обоснованию гениальных идей великого итальянского мыслителя Джордано Бруно о множественности обитаемых миров. Возникает естественный вопрос: каковы же перспективы установления контакта с разумными обитателями планетных систем?

Межзвездная связь

Для высокоорганизованных цивилизаций, обитающих на некоторых планетах, наше Солнце должно представляться как звезда, вокруг которой могут обращаться планеты, где возможна разумная жизнь. Вполне естественно, что, располагая мощными техническими средствами, они должны стремиться установить какую-то связь с разумными существами, обитающими на какой-нибудь из планет Солнечной системы. Представим себе, что они уже давно, может быть, много тысяч лет тому назад, установили какой-то канал связи и терпеливо ожидают ответа...

Какова же природа этого канала связи?

Этой необычной проблеме была посвящена статья Д. Коккони и Ф. Моррисона в одном'из сентябрьских номеров «Nature» за 1959 г. Проведенный этими авторами анализ показывает, что такую связь можно установить только при помощи электромагнитных волн. Необходимо еще иметь в виду, что эти волны не должны существенно ослабляться при прохождении через межзвездное пространство и планетные атмосферы. Кроме того, мощности передатчиков должны быть по возможности незначительными, а используемая техника — простой и надежной. Это сразу же ограничивает возможный диапазон электромагнитных волн радиодиапазоном с интервалом частот $10—10^4$ МГц (что соответствует длинам волн от 30 м до ~3 см).

Мощные помехи космических источников радиоизлучения исключают возможность использования достаточно длинных волн, скажем, $\lambda > 50$ см. С другой стороны, тепловое радиоизлучение атмосфер планет исключает возможность использования очень коротких волн. Заметим, что при помощи находящихся за пределами атмосферы планеты искусственных спутников можно расширить диапазон в сторону более высоких частот.

Далеко ли дойдет сигнал?

Сразу же возникает вопрос: на каких же расстояниях можно уже сейчас установить прямую радиосвязь? Здесь необходимо подчеркнуть поразительно быстрый прогресс радиофизики за последние полвека.

На памяти нашего старшего поколения произошло важное для того времени событие: установление трансатлантической радиосвязи. В 1945 г. впервые посланный на Луну сигнал, отразившись от нее, был принят на Земле. В прошлом, 1959 г. была осуществлена радиолокация Венеры. Это гораздо более трудная задача, чем локация Луны, ибо, как известно, при радиолокации необходима мощность передатчика, пропорциональная четвертой степени расстояния до лоцируемого объекта. Как следует из сообщения нашей печати, а также печати США, сейчас обсуждается возможность посылки космических ракет в направлении к Марсу и Венере. Это потребует осуществления надежной радиосвязи на расстояниях порядка 100 млн км. При этом следует иметь в виду, что бортовая радиоаппаратура по ряду естественных причин будет малогабаритной и маломощной.

Между тем уже в настоящее время размеры зеркал радиотелескопов достигают 75 м, а чувствительность приемной аппаратуры на сантиметровом и дециметровом диапазонах, благодаря применению новых типов усилителей (например, молекулярных), резко выросла. Отсюда следует (как этр будет показано ниже), что уже сейчас вполне возможно, используя самые большие из существующих антенн и самую чувствительную приемную аппаратуру, осуществлять радиосвязь на расстоянии ~ 10 световых лет.

Как преодолеть помехи

При расчете линии радиосвязи между двумя мирами нужно учитывать уровень помех. Следует иметь в виду два типа помех. Во-первых, радиоизлучение звезды, вокруг которой обращается населенная разумными существами планета; во-вторых, интенсивность радиопередатчика должна быть такой, чтобы его сигнал надежно выделялся на фоне неизбежных помех космического радиоизлучения. Прежде всего ясно, что мощность передатчика в нужном направлении (т. е. в направлении на звезду, с которой пытаются установить связь) в некотором интервале частот должна быть больше теплового радиоизлучения звезды. Можно убедиться,

что это условие реализуется легко. Поток радиоизлучения от передатчика, как показывают подсчеты, будет больше потока теплового излучения звезды даже при незначительной мощности передатчика*).

Значительно более существенны помехи от фона космического радиоизлучения. Здесь следует уточнить возможную область частот, на которых можно пытаться установить интересующую нас радиосвязь.

Моррисон и Коккони выдвинули весьма изящную идею, что такого рода связь, вероятнее всего, будут пытаться установить на волне 21 см. Хорошо известно, что это длина волны радиолинии водорода. Разумные существа, находящиеся на высоком уровне развития, должны проводить интенсивные исследования космоса именно на этой волне. Подобные исследования уже сейчас обогатили астрономическую науку рядом открытий первостепенного научного значения. Особенно следует подчеркнуть, что они будут неограниченно развиваться в дальнейшем, ибо успех таких исследований неразрывно связан с общим прогрессом радиофизики. Таким образом, особенно чувствительная приемная аппаратура должна быть именно на этой волне. Кроме того, на этой волне должны проводиться длительные и систематические исследования различных объектов на небе, что значительно увеличивает вероятность обнаружения сигнала. Наконец, водород — самый распространенный элемент во Вселенной, и поэтому его радиолиния является как бы природным эталоном частоты, эталоном, к которому с неизбежностью должна прийти всякая развивающаяся цивилизация.

В каком направлении производить поиск

Для сравнительно больших угловых расстояний от полосы Млечного Пути, составляющих примерно $^2/_3$ небосвода, интенсивность I_ν межзвездной радиолинии не превосходит интенсивности непрерывного радиоизлучения Галактики в этом же спектральном участке, которая равна $10^{-21,5}$ Вт/(м^2• ср• Гц). В полосе Млечного Пути интенсивность радиолинии водорода в несколько десятков раз больше этой величины.

Поэтому выгоднее пытаться установить радиосвязь с объектами, находящимися в сравнительно высоких галактических широтах, где уровень помех (определяемый фоном космического радиоизлучения) много меньше.

Расчеты**) показывают, что установление радиосвязи между цивилизациями, разделенными межзвездными пространствами, находится в пределах возможности техники сегодняшнего дня.

*) В самом деле, поток теплового радиоизлучения от Солнца на расстоянии R, выраженном в метрах, равен $10^{-15} f^2/R^2$ Вт/м^2-Гц (где f — частота), а от передатчика $W \cdot G/R^2$, где W — мощность передатчика, а G — коэффициент направленного действия передающей антенны, определяемый ее диаметром: $G = 4\pi d^2/\lambda^2$

Таким образом, при $d \approx 100$ м для волн дециметрового диапазона $G \approx .10^5$ Отсюда следует, что при $f = 10^3$ МГц поток радиоизлучения от передатчика будет больше потока теплового излучения от звезды при $W > 10^{-2}$ Вт/Гц.

**) Если в качестве передатчика используется зеркало диаметра d_1, то мощность, которую следует излучать в соответствующем направлении (например, в направлении нашей Солнечной системы), при условии, чтобы на приемной станции с диаметром зеркала d_2 сигнал превысил космический фон, должна быть

$$W \geqslant I_\nu \left(\frac{\pi}{d_1}\right)^2 \left(\frac{\lambda}{d_2}\right)^2 R^2 = 10^{-24,2} \frac{R^2}{d_1^2 d_2^2} \text{ Вт/Гц.}$$

Отсюда следует, что при $d_1 = d_2 = 80$ м и при R = 10 световых лет W = 100 Вт/Гц, что технически осуществимо уже сейчас.

Заметим, однако, что размеры передающих антенн и мощность передатчиков у высокоорганизованных цивилизаций могут быть, конечно, значительно больше принятых нами.

Можно предположить, что на каких-нибудь планетах обитающие там высокоорганизованные разумные существа непрерывно в течение огромных промежутков времени «держат» в главных лепестках своих гигантских антенн в ожидании ответного сигнала некоторое число (скажем, ~ 100) сравнительно близких к ним звезд, где, по их предположениям, возможна разумная жизнь. Для высокоорганизованного общества такая своеобразная, длящаяся многие тысячелетия «служба космической радиосвязи» вполне «по средствам». И не исключено, что мы уже очень давно находимся в пучке электромагнитной радиации, непрерывно посылаемой к нам разумными существами, населяющими окрестности какой-нибудь хорошо нам знакомой звезды, отдаленной от нас на расстояние в несколько десятков световых лет.

Посылаемые сигналы должны иметь некоторые свойства, резко отличающие их от естественных космических радиошумов. Они могут представлять простейший код, например, первые несколько цифр натурального ряда в непрерывно повторяющейся последовательности или такие числа, как л или е. Полоса частот, использованная для космической радиосвязи, должна быть сравнительно узкой. Орбитальное движение планеты, на которой установлен передатчик, вокруг звезды будет приводить к строго периодическим изменениям частоты (из-за эффекта Доплера). Если приблизительно считать, что ожидаемые относительные скорости при таком движении меняются в пределах ± 100 км/с, то вариация частоты сигнала может быть в пределах ± 300 кГц от основной частоты радиолинии водорода, равной 1420,3 МГц.

Конечно, не так уж много шансов установить радиосвязь с другими мирами, особенно за сколько-нибудь обозримый промежуток времени. Но, как совершенно справедливо замечают Моррисон и Коккони, если не делать никаких попыток в этом направлении, то шансы будут нулевые.

Идея о возможности установления радиосвязи с другими мирами уже на современном уровне радиофизики недавно стала реализоваться на Национальной радиоастрономической обсерватории в США. Известный американский радиоастроном Ф. Дрэйк разработал проект аппаратуры, способной решить поставленную задачу. Подробное описание этой схемы можно найти в статье Дрэйка, опубликованной в январском номере журнала «Sky and Telescope» за 1960 г. Уже изготовлены блоки этого приемника. Антенной у него будет параболическое зеркало диаметром 25,5 м. Наблюдения предполагается начать уже с 1960 г. Первыми объектами исследования будут две близкие, довольно похожие на Солнце звезды т Кита и г Эридана, находящиеся на расстоянии 11 световых лет. В дальнейшем эту аппаратуру предполагается перенести на строящийся радиотелескоп с диаметром зеркала 45 м.

Мы живем в эпоху поразительных научных открытий и великих свершений. Самые невероятные фантазии неожиданно быстро реализуются. С давних пор люди мечтали о связи с разумными существами, обитающими на разбросанных в беспредельных просторах Галактики планетных системах. Приходится только поражаться, как быстро наука подтвердила принципиальную возможность осуществления идеи такой связи и сделала первые шаги на пути ее реализации. Однако надо себе ясно представить огромную величину этого пути и те колоссальные трудности, с которыми предстоит встретиться.

Будем же надеяться, что эта мечта когда-нибудь станет реальностью.

Приложение III

Существуют ли внеземные цивилизации?)*

Не приходится доказывать то давно известное обстоятельство, что наука не может получить достаточно полное представление об изучаемом объекте, если он известен в одном-единственном экземпляре. Изучение природы всегда начинается с классификации, систематики. Приведу два примера.

В настоящее время, несмотря на огромные успехи науки в исследовании планет (прежде всего — прямыми методами космонавтики) и Солнца, вопрос о происхождении нашей Солнечной системы весьма далек от ясности. Напротив, происхождение и эволюция звезд, несравненно более удаленных и потому недоступных исследованиям прямыми методами, стали известны достаточно хорошо. В этой области знания успехи просто поражают воображение. В чем причина такой парадоксальной ситуации? Она очевидна: планетная система нам пока известна в одном экземпляре, между тем как астрономы с помощью мощных инструментальных средств уже давно наблюдают гигантское количество звезд, находящихся на разных стадиях эволюции**).

Совершенно неясен и полностью запутан вопрос о происхождении жизни на Земле. Дело доходит до того, что один из ведущих биологов современности Ф. Крик сравнительно недавно пытался возродить вариант старинной гипотезы панспермии (корни которой восходят еще к учению отцов церкви о «зародышах жизни»). Неприемлемость гипотезы панспермии видна хотя бы из того, что жизнь есть категория историческая, а отнюдь не вечная, как считал С. Аррениус. Ее не могло быть на ранних этапах эволюции Вселенной, когда не существовало ни звезд, ни галактик, ни даже тяжелых элементов. Поэтому не уйти от ответа на вопрос: как же живое произошло от неживого? Нелепо для этого искать вместо первобытной Земли какие-то другие космические объекты с совершенно неясными физическими условиями. Столь плачевное состояние этой проблемы объясняется тем простым обстоятельством, что других форм жизни во Вселенной (кроме земной) мы не знаем. Поэтому возникает важный вопрос о распространенности жизни во Вселенной. Не следует, однако, впадать в черный пессимизм. Мы, астрономы, возлагаем большие надежды на орбитальный оптический телескоп с диаметром зеркала 2,4 м, который начнет работать через год. Есть основания полагать, что с его помощью удастся обнаружить ближайшие к Солнцу планетные системы. Что касается внеземной жизни, то есть надежда обнаружить ее по тем преобразованиям, которые она в процессе своей эволюции осуществляет в атмосферах материнских планет (вспомним происхождение кислорода в земной атмосфере).

А пока мы можем только строить более или менее обоснованные гипотезы о распространенности жизни во Вселенной и возможных путях ее развития. При этом следует опираться на огромное количество фактов, уже известных нам о Вселенной, и, конечно, на биофизику, биохимию, генетику и эволюционную биологию. Так как материальными носителями жизни являются сложные и сверхсложные молекулы, в структуре которых решающую роль играют тяжелые элементы ***), то возникновение жизни во Вселенной следует отнести к эпохе, когда химический состав значительного количества звезд (но, разумеется, не всех) был уже близок к совре-

*) Последняя статья И. С. Шкловского по проблеме внеземных цивилизаций («Земля и Вселенная», № 3, 1985) была написана на основе доклада на Всемирном геологическом конгрессе в Москве и вышла в свет после кончины автора.

**) Недавние наблюдения на специализированном спутнике IRAS, оснащенном инфракрасными телескопами, привели к обнаружению вокруг Веги и некоторых других близких звезд пылевых дисков или колец, возможно, являющихся ранней фазой образования планетных систем. Таким образом, эта важнейшая проблема сдвинулась с мертво,й точки.

***) Элементы, атомы которых тяжелее гелия.

менному. Грубая оценка дает значение параметра красного смещения для этой эпохи $z_1 \approx 4-5$, откуда тогдашний возраст Вселенной $T = T_0(1+z_1)^{-1/2} \approx 10^9$ лет, где T_0 ж 16 млрд лет — наиболее вероятное значение современного возраста Вселенной. МожнЪ полагать, что с тех пор благоприятные условия для возникновения жизни время от времени возникали в разных галактиках. В нашей Солнечной системе, на одной из ее планет — Земле, такие условия появились довольно скоро после ее образования 4,6 млрд. лет назад*). Не следует при этом забывать, что сам процесс образования Солнечной системы был растянут на добрую сотню миллионов лет. Так как процесс образования звезд и планетных систем идет во Вселенной непрерывно, можно утверждать, что отдельные очаги жизни в ней могут иметь возраст (а следовательно, и время для своей эволюции) примерно от 15 млрд до немногих сотен миллионов лет. Следовательно, наша земная жизнь принадлежит к числу довольно древних.

Мы, однако, в настоящее время решительно ничего не можем сказать о вероятности возникновения жизни на какой-нибудь молодой планете. Пример, нашей Солнечной системы, в которой имеется только одна обитаемая планета — Земля, наглядно демонстрирует, что жизнь возникает далеко не на каждой планете. Сейчас нельзя исключить утверждение, что доля обитаемых планет может быть неопределенно малой. И пока мы не откроем за пределами Солнечной системы планет, атмосферы которых преобразованы жизнью, ощутимого продвижения в решении этой увлекательной проблемы, по-видимому, не будет.

К решению этой проблемы, казалось бы, можно подойти с биохимической стороны, экспериментально синтезировав простейшее живое вещество «в пробирке». Вряд ли, впрочем, подобный эксперимент решит вопрос о механизме возникновения жизни на первобытной Земле, ибо мы слишком плохо, весьма «общо» представляем себе господствовавшие на ней физические и химические условия. Специфика проблемы жизни во Вселенной состоит в том, что эта проблема очень четко и ясно может быть сформулирована, но не может в обозримый промежуток времени быть решена научными, т. е. прежде всего — экспериментальным и наблюдательным, методами. В этом отношении она значительно труднее, чем такие острые проблемы современной физики, как, например, вопрос о конечной массе покоя нейтрино, спонтанном распаде протонов, Великом объединении взаимодействий и даже вопрос о других вселенных.

Особо стоит вопрос о разумной жизни за пределами Земли. Излишне подчеркивать, что с давних времен он волнует человечество больше всего, во всяком случае, больше, чем вопрос о «простой», неразумной жизни во Вселенной. Что же можно сказать по этому поводу? Конечно, если во Вселенной способны существовать отдельные очаги жизни, то почему бы и не быть очагам разумной жизни? Эволюция жизни от простейших форм к самым сложным — очень длительный и весьма сложный процесс. Основные движущие силы этого процесса — дарвиновский естественный отбор и мутации. Можно полагать, что это справедливо не только для земной, но и для внеземной жизни, ибо ресурсы питания и обеспечения жизнедеятельности организмов, где бы они ни развивались, всегда ограничены. В процессе эволюции по причине суровой необходимости возникали те или иные важнейшие, зачастую очень сложные «изобретения», обеспечивавшие выживание видов живых существ. К числу таких «изобретений» следует отнести, например, фотосинтез, «камерное» зрение и многое другое. Мы можем рассматривать разум как одно из подобных «изобретений». Как и другие «изобретения», возникшие в ходе эволюционного процесса, он дает соответствующему виду сначала небольшие, а потом все возрастающие преимущества в борьбе за существование.

*) Проведенные недавно немецким геохимиком Шидловским исследования изотопного отношения $^{12}C/^{13}C$ для древних пород доказали, что жизнь на Земле возникла по крайней мере 3,8 млрд лет назад, т. е. не позже, чем спустя 0,8 млрд лет после ее образования.

Отличительная особенность разума — необычайно короткая временная шкала его развития. У вида Homo Sapiens эта шкала исчислялась вначале сотнями и десятками тысяч лет. Однако с наступлением технологической эры темп развития катастрофически ускорился. Вид, наделенный разумом, выходит из равновесия с биосферой и вступает в фазу взрывной экспансии. На этой фазе развития разум перестает быть одним из средств, обеспечивающих выживание вида. Он становится могучим самостоятельным фактором. Это хорошо заметно на примере эволюции человечества. Ведь для обеспечения существования вида Homo Sapiens было бы вполне достаточно мозга неандертальца. Разумному виду становится «тесно» на материнской планете. Начинается экспансия в космос с последующим его преобразованием. Этот процесс экспансии может быть уподоблен ударной волне. В сферу деятельности разумного вида вовлекаются все более значительные ресурсы вещества и энергии. Вполне надежные, научно обоснованные оценки показывают, что в принципе для овладения материальными и энергетическими ресурсами материнской планетной системы достаточно какой-нибудь тысячи лет. Если, например, нынешняя скорость переработки энергии примерно 10^{20} эрг/с, то через тысячелетие она может достигнуть порядка 10^{30} эрг/с при расселении человечества во всей Солнечной системе, которую разумные существа способны преобразовать в искусственную биосферу с ресурсами, в миллиарды раз большими, чем естественные, «материнские». Одновременно высочайшего уровня достигнет искусственный разум, который, в сущности, уже нельзя будет отделить от носителей «естественного» разума. На такой путь развития много лет назад указал К. Э. Циолковский, а в недавнее время — Ф. Дайсон.

Но этим прогресс (если это можно назвать прогрессом) не ограничится. С неизбежностью «ударная» волна разума начнет распространяться на всю Галактику, на что впервые обратил внимание Н. С. Кардашев. Для овладения ресурсами звездной системы и полного ее преобразования, по самым консервативным оценкам, потребуется только несколько миллионов лет. Этот срок совершенно ничтожен по сравнению с 10—15-миллиардолетней историей эволюции Галактики или даже с 200-миллионолетним периодом ее вращения!

Может показаться, что речь идет не о научной проблеме, а о каком-то фантастическом комиксе на модную еще недавно космическую тему. Увы, это не так. Речь идет о реальном анализе перспектив развития человечества на достаточно долгий срок. Отсюда следует, что проблема внеземных цивилизаций — проблема не только астрономическая, техническая и биологическая, но и социологическая, вернее, футурологическая. Мы имеем дело со сложнейшей комплексной проблемой.

Можно, конечно, предположить, что разумные существа, поняв гибельность неограниченной экспансии, стали на путь жесткого ограничения с прекращением количественного роста основных показателей своих цивилизаций. Вряд ли, однако, допустимо считать такую стратегию развития одинаковой для всех цивилизаций. Это нереально. Кроме того, развитие «только вглубь» скорее всего — иллюзия.

Неизбежен вывод, что хотя бы малая часть возникших во Вселенной, в частности в Галактике, цивилизаций должна стать на путь неограниченной экспансии. Но в таком случае мы наблюдали бы космические проявления разумной жизни, т. е, своего рода «космические чудеса». И здесь мы подходим к основному пункту: несмотря на неимоверно возросшую эффективность наших телескопов и приемников радиации во всем диапазоне электромагнитных волн, никаких «космических чудес» обнаружить не удалось. А ведь современная астрономия стала всеволновой! Не видно на небе никаких «сфер Дайсона», не слышно позывных наших предполагаемых «братьев по разуму», не наблюдаются следы космической строительной деятельности, никто, никогда не посещал нашу старушку Землю (а, казалось бы,— должны, уж очень симпатичная и комфортабельная планета!). И это при огромном желании землян встретиться с упомянутыми братьями, отражением чего является

массовый психоз с «Неопознанными Летающими Объектами». Молчит Вселенная, не обнаруживая даже признаков разумной жизни. А могла бы! Ведь должны же быть, например, у сверхцивилизаций мощные радиомаяки. Можно утверждать, однако, что в соседней галактике М 31, насчитывающей несколько сот миллиардов звезд, ничего подобного нет.

«Молчание» космоса представляет собой важнейший научный факт. Он требует объяснения, так как находится в очевидном противоречии с концепцией неограниченно развивающихся могучих сверхцивилизаций. Таким образом, проблема «внеземных цивилизаций» оказалась как бы «перевернутой». Представлялось, что мы имеем дело с задачей о «поиске иголки в стоге сена». В действительности дело сводится к задаче о «шиле в мешке». Самое простое, можно сказать, тривиальное объяснение феномена «молчащей Вселенной»: сверхвысокоразвитых внеземных цивилизаций в ближайших окрестностях Большой Вселенной (например, в Местной системе галактик) просто нет. Даже при широкой распространенности феномена жизни во Вселенной это вполне возможно. Нужно только сделать естественное предположение, что в процессе эволюции жизни искомые сверхцивилизации либо не реализуются совсем, либо в силу внутренних причин своего развития (например, неизбежного разрушения породившей их биосферы) имеют очень малое время существования.

Если мы придерживаемся вполне единственного взгляда, что разум есть одно из «изобретений» эволюционного процесса, то не следует забывать, что не все «изобретения» в конечном счете являются полезными для данного вида. Природа слепа, она действует «ощупью», методом «проб и ошибок». И вот оказывается, что огромная часть «изобретений» не нужна и даже вредна для процветания вида. Так возникают «тупиковые ветви» на стволе дерева эволюции. Количество таких ветвей неимоверно велико. По существу, история эволюции жизни на Земле — это кладбище видов. Характерным признаком эволюционного тупика у некоторого вида служит гипертрофия какой-нибудь функции, приводящая к прогрессивно растущему нарушению гармонии. Вспомним чудовищно гипертрофированные средства защиты и нападения (рога, панцири и пр.) у рептилий мезозоя. Или, например, неправдоподобно развитые клыки саблезубого тигра. И невольно напрашивается аналогия: а не являются ли современные гипертрофированные в высшей степени противоречивые «применения» разума у вида Homo Sapiens указанием на грядущий эволюционный тупик этого вида? Другими словами, не является ли самоубийственная деятельность человечества (чудовищное накопление ядерного оружия, уничтожение окружающей среды) такой же гипертрофией его развития, как рога и панцирь какого-нибудь трицератопса или клыки саблезубого тигра? Наконец, не является ли тупик возможным финалом эволюции разумных видов во Вселенной, что естественно объяснило бы ее молчание?

Став на точку зрения, что разум — это только одно из бесчисленных «изобретений» эволюционного процесса, да к тому же не исключено, приводящее вид, награжденный им, к эволюционному тупику, мы, во-первых, лучше поймем место человека во Вселенной и, во-вторых, объясним, почему не наблюдаются космические чудеса. А это совсем не мало...

Альтернативой набросанной выше отнюдь не «оптимистической» концепции выступает идея, что разум есть проявление некоего внематериального, трансцендентного начала. Это — старая идея бога и божественной природы человеческого разума. Далеким (и не всегда далеким) от науки индивидам эта концепция представляется куда более оптимистической и даже нравственной. Трудно, однако, в наше время стоять на позиции, ничего общего с наукой не имеющей. Забвение того основополагающего факта, что мы — часть объективно существующего, познаваемого материального мира, никому ничего хорошего не сулит, даже если и создает лжеоптимистические иллюзии.