

The background of the cover is a deep space scene. In the upper right, a thin, curved horizon of a planet with a blue atmosphere is visible against a black sky filled with distant stars. Dominating the lower half is a large, edge-on spiral galaxy, showing intricate patterns of dust and glowing star clusters in shades of orange, yellow, and brown. The overall composition suggests a vast, cosmic scale.

И.С. ШКЛОВСКИЙ

ВСЕЛЕННАЯ ЖИЗНЬ РАЗУМ

Иосиф Самуилович Шкловский

Вселенная, жизнь, разум

Текст предоставлен правообладателем

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=9473241

Вселенная, жизнь, разум/Под ред. В.Г. Сурдина, Н.С. Кардашева, Л.М.

Гиндилиса: АНО «Журнал «Экология и жизнь»; Москва; 2006

ISBN 5-94702-029-7

Аннотация

К 90-летию со дня рождения радиоастронома № 1 И.С. Шкловского вновь издается его самая известная и, пожалуй, самая знаменитая из всех научно-популярных книг. Она посвящена проблеме возможности существования жизни, в том числе и разумной, на других планетных системах. Вместе с тем в книге содержится и достаточно полное и доступное массовому читателю изложение результатов современной астрофизики.

Юбилейное издание включает также материалы об авторе – незаурядной личности и большом таланте во многих областях деятельности.

Содержание

От научных редакторов	6
Предисловие к пятому изданию	14
Введение	17
Часть первая	32
1. Масштабы Вселенной и ее строение	32
2. Основные характеристики звезд	54
3. Межзвездная среда	69
4. Эволюция звезд	81
Конец ознакомительного фрагмента.	88

Иосиф Шкловский

Вселенная, жизнь, разум

*К 90-летию со дня рождения Иосифа
Самуиловича Шкловского*

Издано при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России»



Иосиф Самуилович Шкловский (1916–1985)

От научных редакторов

Уважаемый читатель, у Вас в руках книга, выдержавшая до сего времени шесть изданий тиражом более полумиллиона экземпляров: 1962 г. – 30 тыс. экземпляров, 1965 г. – 50 тыс., 1973 г. – 60 тыс., 1976 г. – 200 тыс., 1980 г. – 100 тыс., 1987 г. – 132 тыс. экземпляров. И это только на русском языке! А еще были многочисленные переводы на иностранные языки, а также издание рельефным шрифтом Брайля. Для научно-популярной книги второй половины XX века, насколько нам известно, такая «долгоживучесть» и многотиражность – факт уникальный.

В чем же секрет столь высокой востребованности этой книги? Мы видим три основные причины.

Во-первых, уникален сам автор книги. Иосиф Самуилович Шкловский (1916–1985) – выдающийся астрофизик второй половины XX века. Среди многих научных проблем, в изучение которых он внес значительный вклад, достойное место занимает и проблема поиска жизни и разума во Вселенной. Именно он привлек к этой проблеме широкое общественное внимание. Ведь Шкловский был не только выдающимся астрофизиком мирового уровня, но и яркой личностью, прекрасным лектором и талантливым писателем – как популяризатором науки, так и беллетристом. Все это привлекало к нему коллег и учеников; это и теперь продолжа-

ет притягивать читателей к его книгам. Обладая высочайшим авторитетом в науке (И.С. Шкловский – член нескольких престижных академий наук, включая Российскую), он мог позволить себе увлечься романтическими идеями, подняв их при этом на уровень серьезного научного исследования. Как популяризатор науки, Иосиф Самуилович обладал редким даром сочетать сочный, эмоциональный язык прирожденного рассказчика, с одной стороны, и точность в изложении идей и фактов – с другой. Его книги стали образцовыми в отечественной научно-популярной литературе.

Во-вторых, уникальна тема книги. Впервые проблеме жизни и разума во Вселенной оказалась посвящена не фантастическая повесть, не бульварная история о летающих тарелках, не философское эссе, а серьезная (и при этом доступная широкому читателю!) научная работа, вобравшая в себя самые последние результаты астрономии, биологии, радиофизики и практики межпланетных полетов. Книга Шкловского охватила весь диапазон проблем в этой области: от последних достижений в астрономии и генетике, до реальных попыток межзвездной связи. После нее были книги по отдельным направлениям этой проблемы. Но и до сих пор она остается наиболее энциклопедичной, удовлетворяющей самому широкому диапазону интересов – как работников науки, так и увлеченных научными достижениями читателей.

В третьих, уникальна эпоха появления этой книги. 1960-е годы были временем триумфа космонавтики. Каждый год

приносил с собой новый прорыв в исследовании Солнечной системы: автоматические аппараты достигли Венеры и Марса, человек вступил на Луну... Столь же впечатляющими были открытия в дальнем космосе – квазары, пульсары, реликтовое излучение... Подростки 1960-х навсегда сохранили интерес к исследованиям космоса и предчувствие встречи с обитателями иных миров.

В 1962 г. вышла книга И.С. Шкловского «Вселенная, жизнь, разум», которая вызвала живейший интерес научной общественности и широких кругов читателей. По своему влиянию на умы людей ее можно сравнить разве что с книгой К. Фламмарiona «О множественности обитаемых миров», которой зачитывалась вся образованная Европа во второй половине XIX века. Любопытно, что первое издание ее появилось в 1862 г., т. е. ровно за 100 лет до выхода книги Шкловского. Однако книга Фламмарiona, как и предшествующие ей блестящие произведения Фонтенеля, Сирано де Бержерака и других известных писателей и ученых, носила чисто умозрительный характер. К середине XX века ситуация коренным образом изменилась. Проблема получила серьезное естественнонаучное обоснование. На повестку дня был поставлен вопрос о поиске внеземных цивилизаций. Книга И.С. Шкловского оказала серьезное влияние на развитие во всем мире исследований по проблеме жизни и разума во Вселенной и поиску внеземных цивилизаций.

Прошли годы. Закончилась эпоха бури и натиска в кос-

монавтике, как заканчивается любая революционная эпоха. Несмотря на многочисленные попытки обнаружить сигналы внеземных цивилизаций, сделать этого не удалось. Ученые осознали, что надежды на успех в этой области связаны с созданием новых, более крупных радио- и оптических телескопов.

Разработка новой наблюдательной техники привела к тому, что с середины 1990-х годов и по сей день практически ежегодно в астрономии совершаются как долгожданные, так и неожиданные открытия: обнаружены планеты у иных звезд, найдены новые небольшие планеты на периферии Солнечной системы в поясе Койпера. Обнаружена вода на Марсе, открылась возможность для поиска жизни в океанах Европы и Энцелада. Начались прямые исследования спутников планет (Титан), ядер комет и астероидов. Возобновились полеты зондов к Луне и уже готовятся новые пилотируемые экспедиции. Астрофизики с помощью гигантских нейтринных телескопов заглянули в недра Солнца и окончательно выяснили источник энергии звезд (попутно открыв новые фундаментальные факты относительно самого нейтрино!). Начали наблюдения гравитационно-волновые телескопы, открыв тем самым новый канал информации для межзвездной связи.

Можно было бы перечислить и другие сенсационные открытия или намеки на открытия последнего десятилетия: ускорение расширения Вселенной, антигравитация как

свойство вакуума, сверхмассивные черные дыры в ядрах галактик, многомерные теории гравитации и возможность многосвязности Вселенной. Но в контексте книги Шкловского, основная нить которой – поиск внеземного разума, – более важным, на наш взгляд, является другое.

В последние годы не только восстановлена и даже поднята на новый уровень уникальная особенность астрономии – доступность научных исследований неба для всех, кто увлечен наукой. Объекты астрономического исследования всегда были открыты всем желающим – небо одно на всех! Но развитие телескопостроения на некоторое время отодвинуло любителей науки от переднего края научного поиска. Трудно стало состязаться владельцу самодельного телескопа с возможностями крупных научных центров. Если исключить некоторые исследования переменных звезд, то единственное, что могли делать любители астрономии прошлых десятилетий, это следить по публикациям в научно-популярных журналах за достижениями профессиональных астрономов, имеющих счастье проводить наблюдения с гигантскими телескопами и чувствительными приемниками света, пользоваться мощными вычислительными системами и уникальными фотоархивами и каталогами.

Но появление персональных компьютеров и Интернета разрушило эту монополию профессиональных ученых: теперь для каждого желающего стали доступны научные журналы и электронные препринты, любые каталоги и мно-

гие фотоархивы (не все, поскольку оцифровка фотоархивов неба, накопленных астрономами за прошедший век, еще не окончена). Материалы наблюдений со многих мощнейших телескопов – наземных и космических – теперь выкладываются в Сеть и становятся доступными практически одновременно как профессионалам, так и любителям. Теперь не важно, где ты живешь и где работаешь; главное – есть ли у тебя желание и талант для научных исследований.

С появлением всемирной компьютерной сети особенно сильно преобразилась деятельность по поиску сигналов внеземных цивилизаций и по их посылке «в иные миры». До недавних пор это было доступно только немногим профессионалам, работающим, как правило, на крупнейших радиотелескопах. Но теперь это стало доступно всем. Анализ принятых из космоса сигналов проводится с помощью сотен тысяч персональных компьютеров, принадлежащих энтузиастам поиска. Их лозунг: «С помощью всемирной сети мы решим проблему SETI». Некоторые из них участвуют в подготовке посланий братьям по разуму. И это не игра, а настоящий научный поиск, результаты которого сулят нам открыть новую страницу в эволюции человечества.

Именно поэтому обзор проблемы поиска жизни и разума во Вселенной, сделанный одним из «отцов» этого направления – И.С. Шкловским, вновь стал актуальным. Может быть задан законный вопрос – не устарел ли этот обзор? Безусловно, нет! Каждое новое издание книги пересматривалось ее

автором и приводилось в соответствие с последними достижениями науки. После смерти автора это делали его коллеги и ученики, стараясь не нарушать яркость языка и цельность книги. Нынешнее издание осуществляется с такой же целью. Оно базируется на предыдущем, шестом издании (М., Наука, 1987), подготовленном Н.С. Кардашевым и В.И. Морозом, и включает в себя все сделанными ими примечания (они выделены ромбиками).

Мы не сочли возможным лишить читателя удовольствия уловить в тексте признаки эпохи рождения книги. Это касается написания имен астрономических объектов (сегодня мы чаще говорим «альфа Кентавра», а не «альфа Центавра»), употребления единиц измерений (например, в астрофизике тех лет повсеместно употребляли не ватты, а эрги в секунду; $1 \text{ Вт} = 10^7 \text{ эрг/с}$) и некоторых других непринципиальных вещей.

Разумеется, в результате повседневной работы астрономов многие характеристики галактик, звезд и планет постоянно уточняются. Поэтому с момента последнего издания этой книги некоторые численные значения претерпели изменения. Но чтобы не перегружать интересную книгу мелочными вставками и примечаниями, мы оставили без исправления те числа, которые изменились не очень сильно, и сделали в примечаниях уточнения лишь в тех случаях, когда новые факты перевернули наши старые представления, как это произошло, например, с открытием новых свойств ваку-

ума и нейтрино, с обнаружением планет-гигантов за пределом Солнечной системы и мини-планет в поясе Койпера. В общем, мы отметили такие важные открытия в астрономии последних лет, которые всегда служили источником вдохновения для нашего друга и учителя. Кратко о последних открытиях сказано в подстрочных примечаниях, а более полно – в нескольких дополнениях.

Н.С. Кардашев, академик РАН (Астрокосмический центр ФИАН)

Л.М. Гиндилис, канд. физ. – мат. наук (ГАИШ)

В.Г. Сурдин, канд. физ. – мат. наук (ГАИШ).

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 разворачивались 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 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 степе-

ни 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 переходят 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 неразум-

ным 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 веще-

ства, 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, эпикурец 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 XVI в. 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 приспособливаться 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 вв. 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 содержа-

щие 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 наблюдае-

мую 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... Фламарион 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, силой 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 представлени-

ям 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 Циол-

ковского, 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 30-х 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 столь-

ко исключением, сколько правилом в мире звезд. Все же это весьма вероятное предположение пока еще строго не доказано.¹

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 проблемы – 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 «крупниц» 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,

¹ В 1995 г. были открыты первые планетные системы у звезд, подобных Солнцу. К 2006 г. их обнаружено уже около 200! (См. Дополнение 1, с. 317) – *Прим. ред.*

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 надеяться, 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 30 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 высадутся 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 устаревших данных, мы уделили достаточно много внимания другим планетным системам. Наконец, анализ возможностей разумной жизни во Вселенной и проблемы установления связи между цивилизациями, разделенными межзвездными рас-

стояниями, 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 галактик, 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 ощути-мо 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 небес-

ной 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 це-

ной невероятных лишений совершить первое кругосветное путешествие. Немногим более 100 лет прошло с того времени, когда находчивый герой фантастического романа Жюль Верна совершил, пользуясь последними достижениями техники того времени, путешествие вокруг света за 80 суток. И прошло 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 минут. И мысли людей невольно обратились к огромным пространствам космоса, в которых затерялась небольшая планета Земля...

Наша Земля – одна из планет Солнечной системы (фото 1-1)². 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.³ Условно размеры Солнечной системы можно принять рав-

² В данном издании фотоиллюстрации вынесены на цветные вкладки, страницы которой имеют свою сплошную (римскую) нумерацию. Таким образом, римская цифра в номере указывает страницу цветной вкладки. – *Прим. ред.*

³ Теперь уже известно, что такие планеты есть – это объекты пояса Койпера, среди которых обнаружены тела крупнее Плутона. (См. Дополнение 2, с. 319. – *Прим. ред.*

ными 50—100 астрономическим единицам⁴, или около 10 млрд км. По нашим земным масштабам это очень большая величина, примерно в 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 пользуются⁵. Эта единица измерений (так же как сантиметр, дюйм

⁴ Астрономическая единица (а. е.) – среднее расстояние от Земли до Солнца, равное 149 600 тыс. км.

⁵ Пожалуй, только скорости звезд и планет в астрономии выражаются в единицах «километр в секунду».

и др.) возникла из потребностей практической деятельности человечества на 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 $9,46 \times 10^{12}$ км, или около 10 000 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 с 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 соседей Солнечной системы – не находится к нам ближе, чем на 1 пак. Например, упомянутая Проксима Центавра удалена от нас на расстояние около 1,3 пак. В том масштабе, в котором мы изобразили 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 (фото 2-II) 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. Всё 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.⁶ Кроме того, звезды имеют тенденцию образовывать отдельные группы или скопления. Хорошим примером такого скопления являются Плеяды, которые видны на нашем зимнем небе (фото 3-II).

В Галактике имеются и структурные детали гораздо больших масштабов. Исследованиями последних лет доказано, что туманности, а также горячие массивные звезды распре-

⁶ В самом центре галактического ядра, в области поперечником в 1 пк, находится, по-видимому, несколько миллионов звезд.

делены 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 фото 4-II. 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 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 – возраст цветущий...

Скорость движения Солнца и соседних с ним звезд по их почти круговым галактическим орбитам достигает 250 км/с.⁷ На это регулярное движение вокруг галактического

⁷ Полезно запомнить простое правило: скорость в 1 пк за 1 млн лет почти равна скорости в 1 км/с. Предоставляем читателю убедиться в этом.

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 всё 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 $0,53 \times 10^{-8}$ 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 каж-

дой 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 про-

блеме 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.

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 Магелла-

новы Облака, хорошо видные на небе южного полушария как два больших пятна примерно такой же поверхностной яркости, как и Млечный Путь. Расстояние до Магеллановых Облаков «всего лишь» около 200 тыс. световых лет, что вполне сравнимо 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.⁸ 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 номером 31), около 1800 тыс. световых лет, что примерно в 20 раз превышает размеры Галактики. Туманность М31 имеет явно выраженную спиральную структуру и по многим своим характеристикам весьма напоминает нашу Галактику. Рядом с ней находятся ее небольшие спутники эллипсоидальной формы (фото 5-II). На фото 6-II–III приведены фотографии нескольких сравнительно близких к нам галактик. Обращает на себя внимание большое разнообразие их форм. Наряду со спиральными систе-

⁸ Поток излучения от звезд измеряется так называемыми звездными величинами. По определению, поток от звезды $(t + 1)$ -й величины в 2,512 раза меньше, чем от звезды t -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).

мами (такие галактики обозначаются символами Sa, Sb и Sc в зависимости от характера развития спиральной структуры; при наличии проходящей через ядро «перемычки» (фото ба-II) после буквы S ставится буква B) встречаются сфероидалные 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 сфотографировать 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 сильнее Солнца. Классический пример такой радиогалактики – знаменитый объект Лебедь А. В оптическом диапазоне это два ничтожных световых пятнышка 17-й звездной величины (фото 7-III). На самом деле их светимость очень велика, примерно в 10 раз 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!

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 ла-

бораторному 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 25 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, астроно-

мы 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 современной 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 М31).

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 группу. В свою очередь Местная группа 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 фото 8-IV запечатлено известное скопление 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.

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» 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. Всё 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.

Таблица 1. «Космический календарь»

Большой взрыв				1 января 0° 0' 0"		
Образование галактик ($z \sim 10$)				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 синезеленых 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				5 Мощная вулканическая деятельность на Марсе	
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 млекопитающие	27 Юра Первые птицы
28 Девон Первые насекомые Животные колонизируют сушу	29 Третичный период Первые приматы	31 Четвертичный период Первые люди (-22°30')				

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 *направле-*

ние 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 табл. 1, предложенной американским планетологом К. 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 млрд 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 космиче-

ской 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 Z), 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.⁹ 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, H₂O 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

⁹ 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.

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 4×10^{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 величина 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 2×10^{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 называли 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 $1,4 \text{ г/см}^3$, 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 санти-

метр.

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.¹⁰ Остальные элементы присутствуют в виде сравнительно незначительных «загрязнений». Средний химический состав наружных слоев звезды выглядит примерно следующим образом. На 10 000 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.

¹⁰ Плазмой называется ионизованный газ, в каждом элементе объема которого находится одинаковое количество электронов и положительных ионов.

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 материи. 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 имеют-

сы 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. фото 2-II), 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 – Рассела, где по оси абсцисс отложены спектральные классы (или соответствующие им показатели цвета), а по оси ординат – абсолютные величины, являющиеся мерой светимости соответствующих звезд (рис. 1). 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 +10, а спектральные классы лежат в пределах от В 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. 1, 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. 2. Обращает на себя внимание отсутствие хотя бы одного гиганта. Зато нижняя правая часть главной последовательности очень отчетливо выражена.

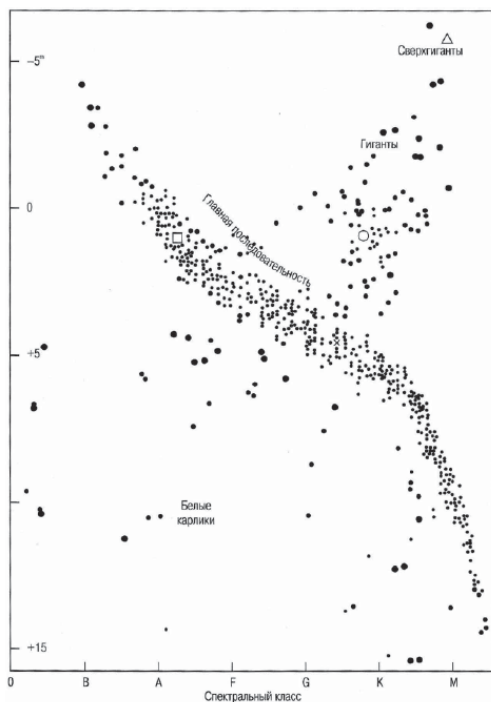


Рис. 1. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела. По вертикальной оси – абсолютная звездная величина

Мы видим, что в этом сферическом объеме радиусом 5 пк, (довольно типичном для Галактики) подавляющее большинство звезд слабее и холоднее Солнца. Это 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. 2 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. 1. Этот пример убедительно показывает, какую заметную роль в астрономии (так же, как и в других науках о природе) играет наблюдательная селекция.

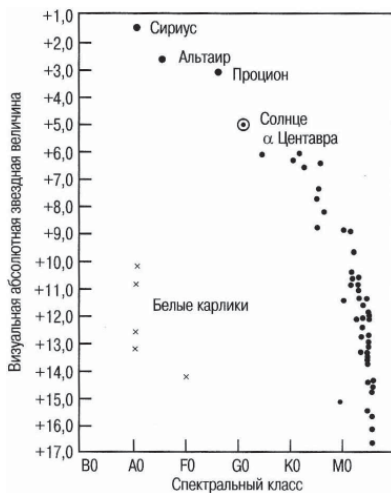


Рис. 2. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела для близких звезд

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. 1 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.¹¹

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 О, В, А и частично F называются ранними, а G, К, М – поздними. Если идти вдоль главной последовательности от спектральных классов О – В до К – М, то массы звезд непрерывно уменьшаются.

¹¹ Радиусы звезд главной последовательности и последовательности субкарликов с одинаковой поверхностной температурой неодинаковы.

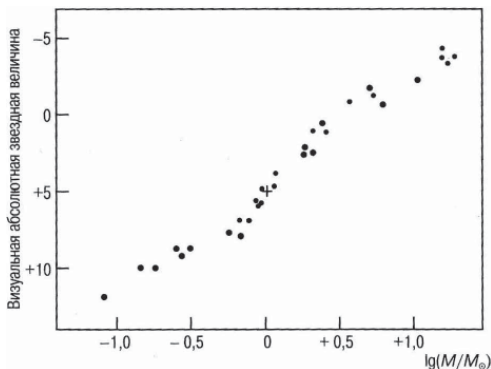


Рис. 3. Зависимость светимости звезд от их массы

Например, у звезд класса О массы достигают нескольких десятков солнечной, у звезд В – около 10.

Солнце имеет спектральный класс G2 (см. рис. 2).

У звезд более поздних классов, чем Солнце, массы меньше солнечной. У карликов спектрального класса М 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. 3 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.¹² Правильная теория звездной эволюции, основанная на современных представлениях об источниках звездной энергии и на богатом наблюдательном материале, была развита в 1950-х годах. Эта теория, успешно объяснившая диаграмму «спектр – светимость», будет обсуждаться в гл. 4.

¹² 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 XX столетия благодаря поглощению в линиях ионизованного кальция, которое он производит в спектрах удаленных горячих звезд.¹³ 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.

¹³ Собственные линии поглощения ионизованного кальция у таких звезд отсутствуют, так как температуры их поверхностных слоев слишком высоки.

Напомним, что в таком же объеме воздуха находится $2,7 \times 10^{19}$ 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. К. При этих условиях межзвездная среда излучает отдельные линии в видимой части спектра, в частности красную водородную линию. Эти области межзвездной среды носят название зоны HI. Однако большая часть межзвездной среды достаточно удалена от горячих звезд. Водород там не ионизован. Температура газа низкая, около 100 К или ниже. Именно здесь имеется значительное количество молекул водорода.

Кроме газа, в состав межзвездной среды входит космическая пыль. Размеры таких пылинок составляют 10^{-4} — 10^{-5} см. Они являются причиной поглощения света 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 1940-х 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 ори-

ентированы 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 ко-

торых 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 радиоастрономические 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.¹⁴ 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

¹⁴ Линия OH состоит из четырех близких по частотам компонент (1612, 1665, 1667 и 1720 МГц).

ОН и H_2O привели к открытию космических мазеров (см. следующую главу).

За 20 лет, протекавшие после открытия межзвездной радиолинии ОН, 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 СО, 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, $\text{CH}_3\text{НСО}$, 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?¹⁵

Весьма полезным является то обстоятельство, что соответствующие радиолинии, принадлежащие различным изотопам одной и той же молекулы, имеют довольно заметно

¹⁵ К настоящему времени открыто более 100 типов межзвездных молекул. Некоторые из них весьма сложные и содержат до 13 атомов. Но молекул ДНК и РНК пока не обнаружено. Не подтверждено даже обнаружение в межзвездной среде элементарных составляющих белка – аминокислот. – *Прим. ред.*

различающиеся длины волн. Это позволяет исследовать *изотопный состав* межзвездной среды, что имеет большое значение для изучения проблемы эволюции вещества во Вселенной. В частности, отдельно наблюдаются такие изотопные комбинации окиси углерода: $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ и $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$.

Области межзвездной среды, окружающей горячие звезды, где водород полностью ионизован (зоны НИ), 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-м и 107-м 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 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).¹⁶ 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, со-

¹⁶ 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.

гласно косвенным данным.

Для исследований межзвездных магнитных полей применяется и радиоастрономический метод, основанный на изучении вращения плоскости поляризации радиоизлучения внегалактических источников¹⁷ 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, излуча-

¹⁷ Радиоизлучение от метагалактических источников линейно поляризовано, причем степень поляризации обычно порядка нескольких процентов. Поляризация этого радиоизлучения объясняется его синхротронной природой (см. ниже).

ют 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 (который сейчас в значительной степени обусловлен первичными космическими 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 основ-

ном 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 наи-

большая 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 НИ, 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 4×10^{33} эрг, а за 3 млрд лет оно излучило 4×10^{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 XIX веке и в начале XX 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 про-

цессе 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 1930-х годов. Таким источником являются термоядерные реакции синтеза, происходящие в недрах звезд при господствующей там очень высокой температуре (порядка 10 млн К).

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 выделившееся 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 конденсиро-

ваться 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 (фото 9-IV). 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 ско-

ро 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 уравнивает 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 протозвезд сравнительно невелико, эту самую раннюю фазу развития звезды обнаружить трудно. Всё 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 туманностей 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 XX века, ведь теории атома тогда еще не было! Развитие физики не остави-

ло 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.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.