УДИВИТЕЛЬНАЯ
СОЛНЕЧНАЯ
СИСТЕМА
Александр Громов
СОВРЕМЕННАЯ
НАУКА О МИРЕ
ВОКРУГ НАС

Александр Николаевич Громов

Удивительная Солнечная система

Серия «Популярная наука»

Текст предоставлен правообладателем
http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=3297765
Удивительная Солнечная система / Александр Громов.: Эксмо; Москва; 2012
ISBN 978-5-699-55311-2

Аннотация

Солнечная система – наш галактический дом. Она останется им до тех пор, пока человечество не выйдет к звездам. Но знаем ли мы свой дом? Его размеры, адрес, происхождение, перспективы на будущее и «где что лежит»?

Похоже, что мы знаем наш дом недостаточно. Иначе не будоражили бы умы открытия, сделанные в последние годы, открытия подчас удивительные и притом намекающие на то, какую прорву новых знаний мы должны обрести в дальнейшем. Уже в наше время каждая новая книга о Солнечной системе устаревает спустя считаные годы. Очень уж много информации приносят телескопы и межпланетные аппараты. Сплошь и рядом астрономические исследования и даже эксперименты кардинально меняют старые представления о том закоулке Галактики, где мы имеем удовольствие жить.

Цель этой книги – дать читателю современное представление о Солнечной системе как части Галактики.

Содержание

От автора 4
1. От истоков 7
2. Рождение Солнца 20
3. Рождение планет. Немного о Земле 31
4. Наша система и окрестности 43
Конец ознакомительного фрагмента. 53

Александр Громов
Удивительная Солнечная система

От автора

Несколько лет назад была издана книга «Вселенная. Вопросов больше, чем ответов»[1], написанная мною в соавторстве с астрофизиком и космологом А. Малиновским. Поскольку книга была тепло встречена читателями, уже тогда возникла мысль написать еще одну популярную книгу, посвященную не «астрономии вообще», а какому-либо ее разделу. Ведь втиснуть всю информацию о Вселенной в книгу конечного объема попросту невозможно, и тем более это немыслимо в рамках объема книги, пригодной для сложившейся книжной серии. Некогда теме «астрономии вообще» были посвящены замечательные, но, увы, устаревшие книги Фламмариона и Воронцова-Вельяминова – так вот, объем нашей книги поневоле оказался в два с лишним раза меньше, хотя объем астрономических знаний человечества вырос с той поры колоссально. При этом перед нами стояла задача рассказать о сложном просто и по возможности живым языком, что тоже требует места на страницах. Выход был только один: «рубить хвосты» и говорить о многом вкратце, а кое-что и вовсе опускать. Нам пришлось пожертвовать переменными и вспыхивающими звездами, экзопланетами, резонансными явлениями в Солнечной системе, развенчиванием некоторых лженаучных сенсаций и так далее. «Нельзя объять необъятное», – справедливо утверждал Козьма Прутков. Он же дал дельный совет насчет фонтана, и мы ему последовали.

Теперь попробуем разобраться с нашим космическим домом, понимая под ним не только Землю, но и всю Солнечную систему.

Должен сразу предупредить: автор этой книги не профессиональный астроном, а любитель астрономии, по основной же профессии – писатель-фантаст. Из этого не следует, что я намерен выдумывать небылицы, вместо того чтобы излагать реально имеющиеся сведения о Вселенной, – тут просто другой жанр. Поверьте, и фантасту иногда хочется отдохнуть от необходимости выдумывать странное, благо, в астрономии странных явлений навалом. Часто они обнаруживаются там, где никто их не ждет.

Ну вот и вся преамбула. Перейдем теперь к теме книги.

Солнечная система? А что, это так уж жгуче интересно?

Вопрос законный. Он наверняка возникнет у многих читателей, особенно тех, кто более или менее в курсе недавних открытий, сделанных в астрофизике и космологии и перевернувших старые представления о том глобальном мире, в котором нам выпало жить. Наша Вселенная странна и завораживает умы пытливых землян именно странностью. В течение всего двух-трех десятилетий выяснилось, что мы попросту не знаем глобальных законов Вселенной, законов, куда Общая теория относительности Эйнштейна входит лишь как частный случай – подобно тому как механика Ньютона годится лишь для описания процессов, протекающих при небольших скоростях и в достаточно слабых гравитационных полях. Еще не созданы разделы физики, позволяющие описать процессы, происходившие в первые мгновения после Большого взрыва; ничего нельзя сказать о породивших его причинах; сохраняется пока полная неясность относительно физической природы темной материи и темной энергии; не вполне понятны процессы внутри черных дыр; не установлено, сколько же все-таки пространственных измерений существует во Вселенной, верна ли теория суперсгрун и так далее. По сравнению с невообразимо грандиозными масштабами процессов,

[1] Издавалась также под названием «Вселенная. Полная биография». – *Примеч. авт.*

породивших нашу Вселенную и продолжающихся в ней по сей день, – ну что такое наша старая добрая Солнечная система? Казалось бы, мелочь, пустяк. В масштабах только нашей Вселенной (при том, что существуют, по-видимому, и другие вселенные, причем в количестве колоссальном) Солнце с окружающей его семьей планет, со всеми астероидами и кометами – даже не микроб на коже слона, а нечто неизмеримо более ничтожное. Как упомянутому микробу безразличны ландшафты вокруг слона и отношения в слоновьем стаде, так и нам в общем-то не жизненно важны космологические процессы – ведь они не проявляют себя грубо и зримо в ничтожных масштабах окрестностей заурядной желтой звездочки, чьей энергией имеет удовольствие пользоваться все живое на Земле. Вот и остается по сути лишь одно – зато существенное – соображение: Солнечная система – наш дом, и это достаточная причина для того, чтобы интересоваться его архитектурой, изучать закоулки и любопытствовать насчет его истории и перспектив.

Пусть так. Но существует еще одна проблема, грозящая отравить жизнь популяризатору: считается, что Солнечная система к настоящему времени довольно хорошо изучена и уже лишена сколько-нибудь серьезных тайн. И хотя я надеюсь показать, что это, мягко говоря, немного не так (а кое в чем совсем не так!), проблема остается: книга о Солнечной системе грозит превратиться в чисто описательный курс, унылый до зевоты. Притом «еще один», ибо сведений о том или ином космическом теле предостаточно как в учебниках и справочниках, так и в Интернете.

Незачем плодить то, чего и без того много, – эту установку автор данной книги принял и намерен ее придерживаться. Чересчур въедливую детальность без целостности картины я полагаю безусловным злом. Разумеется, нельзя обойтись вовсе без конкретики, но я постараюсь не злоупотреблять ею. Главная же цель этой книги – создать у читателя общее и по возможности целостное представление о нашем галактическом доме, Солнечной системе.

О галактическом доме сказано не для красного словца. Я глубоко убежден, что нельзя рассматривать Солнечную систему, так сказать, изолированно – вне связи с Галактикой и вообще Вселенной. Замкнуться внутри орбиты Плутона – примерно то же самое, что внимательно изучать в очень большой гостиной один лишь камин, принципиально игнорируя все остальное. К сожалению, именно этим грешат некоторые популярные книги по астрономии. А ведь Солнечная система не обнесена никаким забором – она открыта в Галактику. Из нее к нам приходят заряженные космические частицы, разогнанные до релятивистских скоростей, свет звезд и туманностей, нейтрино, межзвездные газ и пыль и, возможно, более крупные тела. Сквозь нее идут пока еще достоверно не обнаруженные, но несомненно существующие гравитационные волны, порождаемые катастрофическими процессами во Вселенной. В свою очередь, Солнечная система отдает вовне свет, порой «отпускает на волю» кометы, а также вносит свою скромную лепту в гравитационное и магнитное поле Галактики. Более того, уже несколько запущенных людьми космических аппаратов имеют такие скорости, что должны со временем выйти из преобладающего гравитационного влияния Солнца и продолжить вольный полет уже как самостоятельные галактические тела. Это ли не достаточная причина для того, чтобы не считать Солнечную систему чем-то замкнутым вроде устричной раковины?

Наконец, сами границы Солнечной системы точно не определены, их можно провести лишь условно, и они мало-помалу меняются в связи с движением Солнца в Галактике. Можно ли в таком случае рассматривать Солнце и находящиеся под его гравитационным воздействием тела как некую изолированную систему? То есть, разумеется, можно, но такой подход кажется автору устаревшим и малопродуктивным. Он приведет лишь к повторению сведений, уже опубликованных тысячи раз, и доля новых открытий не сделает погоды. В мою же задачу входит сделать книгу по возможности интересной.

Поверьте пока на слово: есть научная поэтика и в областях астрономии, прямо не связанных с квазарами, великими аттракторами и темной материей. Интересное есть везде, «имеющий глаза да увидит».

Говоря о предшествующей литературе, я, разумеется, имел в виду достойные книги, в какой-то мере отражающие установленные факты и предлагающие вниманию читателя разумные гипотезы, а не расплодившуюся в последние десятилетия лженаучную писанину а-ля «Земля налетит на небесную ось». Серьезные популяризаторы астрономии обычно брезгуют не только вступать в полемику с изобретателями глупых сенсаций, но и упоминать их выдумки. Я не побрезгую.

Почему?

Потому что надеюсь показать: развенчивание выдумок чьего-то воспаленного ума – тоже подчас увлекательная задача, притом, полагаю, небесполезная. Например, совершенно удручает количество людей, подчас неглупых, но далеких от науки, которые с подачи СМИ на полном серьезе рассуждают, например, о страшном катаклизме, грозящем нам, когда ось вращения Земли внезапно сместится на десятки градусов – или когда выдуманная планета Нибиру учинит на Земле еще какой-нибудь катаклизм. Понимаю, тяжело муравью сдвинуть гору (а глубокомысленное невежество – еще какая гора!), но вовсе отказаться от этой задачи я не намерен. Будем же понемногу толкать упомянутую гору – или разгребать авгиевы конюшни, кому какая аналогия больше нравится.

Я также не намерен детально останавливаться на космических программах и описывать, какая АМС (автоматическая межпланетная станция) несет какую аппаратуру. Это привело бы к загромождению книги материалом, не слишком необходимым для основной ее цели. Читатели, интересующиеся технической стороной вопроса, должны будут поискать иные источники информации на книжных полках или в Интернете.

Материал этой книги будет частично пересекаться с соответствующими главами книги «Вселенная. Вопросов больше, чем ответов». Это неизбежно. Однако о многом будет рассказано более подробно, и притом с привлечением сведений, добытых наукой лишь в самое последнее время.

Часть материала будет подана не в той последовательности, в какой она обычно излагается в научно-популярных книгах. Иногда это способствует лучшему пониманию.

Ну что ж, поле деятельности определено, методы работы намечены. Начали?

1. От истоков

Прежде чем начать рассказ об истории и предыстории Солнечной системы, полезно сказать несколько слов о развитии человеческих представлений о ней. Едва ли не для каждого народа древности понятие «Солнечная система» вообще отсутствовало как таковое за полной его ненадобностью. Существовала Земля – плоский или чуть выпуклый диск, окруженный прозрачной (чаще всего хрустальной) полусферой с нанесенными на ее поверхность небесными светилами, или системой из нескольких полусфер, вложенных друг в друга. Омывался ли диск Океаном, стоял ли на спинах слонов или иных животных – тут разные народы допускали всевозможные фантазии[2]. Для древних – скажем, времен Гомера – греков такая конструкция Вселенной, напоминающая тарелку, накрытую миской, казалась вполне достаточной. Земной диск считался большей и главнейшей частью Вселенной, остальное шло к нему приложением. Но каковы размеры диска и где его центр?

Западный край диска был известен: Геркулесовы Столпы, то есть Гибралтар. До финикийцев, совершивших по приказу фараона Нехо плавание вокруг Африки, до фокейских мореплавателей, достигших западного побережья Пиренейского полуострова, и уж тем более до знаменитого мореплавателя Пифея, добравшегося как минимум до Балтики и Скандинавии, еще оставалось несколько веков. Противоположным краем Земли считался Кавказ. Не зря Зевс приказал приковать строптивого титана Прометея именно к кавказской скале – подальше с глаз долой. О том, что Кавказ достаточно протяжен, греки, видимо, не очень задумывались.

Царь олимпийских богов Зевс не обладал всеведением и подчас был вынужден добывать сведения через эксперимент. Известен миф: однажды Зевс, томимый желанием узнать, где находится центр земного диска, приказал двум орлам лететь с противоположных его краев навстречу друг другу. С таким начальством, как Зевс, особо не поспоришь – орлам можно посочувствовать. Естественно, они должны были стартовать одновременно и выдерживать одинаковую скорость, но не это было главной проблемой. Откуда стартовать? Принять спущенные сверху «вводные» насчет Геркулесовых Столпов и Кавказа (вероятно, какой-либо его точки на побережье Каспия) – или попытаться открыть глаза на истинное положение вещей недалекому, но вспыльчивому громовержцу? В конце концов орлы поступили так, как часто и ныне поступают подчиненные, выполняя приказ могущественного, но некомпетентного босса, – сделали работу скрупулезно, а там хоть трава не расти. Встреча произошла над дельфийским святилищем Аполлона, и Зевс торжественно объявил, что центр Земли найден. Хихикали ли втихомолку орлы, о том миф умалчивает.

Уже во времена греко-персидских войн, а тем паче походов Александра Македонского эллинам пришлось свыкнуться с мыслью о том, что даже Ойкумена (под которой подразумевалась обитаемая часть мира) гораздо более обширна, чем представлялось прадедам. Вселенная, естественно, получалась еще больше. Общение некоторых греческих философов с египетскими жрецами привело к распространению идеи о шарообразности Земли. Существенно более древняя, нежели греческая, древнеегипетская цивилизация прилежно собирала и хранила знания, в том числе географические и астрономические, чему способствовали как многочисленность и ученость жреческой касты, так и многие столетия относительно спокойного развития страны. Наблюдения затмений Луны, а также принципиальная схожесть затмений солнечных и лунных неминуемо должны были подвигнуть внимательного наблюдателя (имеющего перед собой к тому же описания многих предшествующих аналогичных явлений) именно к представлению о том, что Земля – шар.

---

[2] В буддизме и индуизме существует весьма сложная космология, но не о ней сейчас речь. – *Примеч. авт.*

Великому географу Эратосфену Киренскому на рубеже III–II веков до н. э. удалось даже измерить его размеры. Как он это сделал? Слово автору интересной книги «Занимательная Греция» М.Л. Гаспарову:

«На юге Египта был город Сиена – ныне Асуан, где стоит большая нильская плотина. Сиена лежала как раз на северном тропике: раз в году, 22 июня, солнце в полдень стояло там в зените, и предметы не отбрасывали тени. (Путешественники нарочно приезжали в Сиену посмотреть на такую диковину.) Этим и воспользовался Эратосфен. Александрия была севернее, там от предметов и в этот день падали тени. Эратосфен измерил, под каким углом они падают, – получилось семь с лишним градусов, одна пятидесятая часть окружности. Следовательно, заключил Эратосфен, расстояние по суше между Сиеной и Александрией равняется одной пятидесятой части всей окружности земного шара. Расстояние это у египтян считалось равным 5 тысячам стадиев, то есть около 800 км (египетский стадий был немного короче обычного). Следовательно, окружность Земли была в 50 раз больше – около 40 тыс. км.

Точно это или неточно? Две тысячи лет спустя, накануне французской революции, французские астрономы сделали такое же измерение у себя во Франции и получили окружность Земли ровно в 40 тыс. км. (говорю «ровно», потому что именно от этого измерения пошла наша нынешняя единица «метр»: она равна «одной сорокамиллионной парижского меридиана».) Точность Эратосфенова измерения изумительна. Это одна из самых славных побед античной науки».

Трудно, впрочем, быть уверенным в том, что измерение земного шара, выполненное Эратосфеном, было хронологически первым. Скорее нет, чем да. Во всяком случае, великий астроном античности Евдокс Книдский в начале IV века до н. э. уже не сомневался в шарообразности Земли, а раз не сомневался, то, вероятно, пытался вычислить ее размеры тем или иным путем[3].

В сцене из «Тайс Афинской» И.А. Ефремова, где Лисипп рассказывает Тайс о Евдоксе и его вычислениях, куда больше реализма, чем фантастики. Также кажется правдоподобной сцена из романа «Фараон» Б. Пруса, где выдуманный автором жрец сообщает о шарообразности Земли выдуманному фараону. Персонажи-то вымышленные, зато в высоком (по тем временам) уровне их знаний нет ничего удивительного.

Тем не менее вплоть до Коперника во взглядах астрономов торжествовал наивный геоцентризм. Плоская или шарообразная, Земля все равно помещалась в центре Вселенной и была окружена некоторым количеством концентрических прозрачных сфер. Неизвестно, был ли Евдокс Книдский первым, кто предложил систему эпициклов для объяснения движения Солнца, Луны и планет, но идея прижилась. Суть ее проста. Какие бы зигзаги и петли ни выписывало какое-либо светило на небе, основное его (светила) движение все-таки круговое, а зигзаги и петли можно представить опять-таки как круговые движения, накладывающиеся на основное. Представим себе колесо, на ободе которого расположена ось другого, меньшего колеса, а на ободе этого меньшего колеса – светило. Колес может быть больше, к тому же в реальности это не колеса, а сферы – сути простейшей модели это не меняет. Для объяснения всех видимых движений Евдоксу понадобилось 27 сфер: одна для «неподвижных» звезд, по три для Солнца и Луны и по четыре для каждой из планет.

В целом получилось удовлетворительно – для первого раза. Калиппу, ученику Евдокса, для объяснения тех же самых движений понадобились уже 33 сферы, а Аристотелю – аж 56. Причем Аристотель считал сферы не фиктивными, как Евдокс и Калипп, а вполне реальными, сделанными из идеально прозрачного хрусталя. Так умозрительная модель, приду-

[3] К сожалению, этого нельзя утверждать наверняка, поскольку наши сведения о жизни и деятельности Евдокса Книдского весьма скудны. – *Примеч. авт.*

манная для удобства интерпретации, может обрести «вещественность», а позднее на многие столетия стать аксиомой, спорить с которой опасно.

К счастью для античной науки, служители разнообразных культов в то время не стремились к столь тотальному контролю над мировоззрением людей, каковой был характерен для Средневековья. Так, например, замечательный римский писатель Лукиан Самосатский (II век н. э.) отправлял своих героев на Луну и Венеру – такие же шарообразные тела, какова и наша Земля. Персонажам Лукиана не приходилось дырявить хрустальные сферы во время космических путешествий. Как видим, воззрения Аристотеля в дохристианском мире еще не считались обязательными для всех.

Большего античные мыслители, предпочитавшие изучать мир лишь с той «аппаратурой», которой человека снабдила природа, предложить, пожалуй, и не могли. А когда в какой бы то ни было области знания не наблюдается «вертикального прогресса», остается и даже интенсифицируется «горизонтальный прогресс», то есть античные ученые, не в силах совершить прорыв, принялись дотошно описывать то, что можно было исследовать доступными средствами – глазами и простейшими угломерными инструментами.

Фалес Милетский, переняв опыт египтян, в 585 году до н. э. предсказал солнечное затмение. Гиппарх составил первый звездный каталог, включив в него около 3000 звезд. Он же разделил звезды по блеску на 6 звездных величин, присвоив ярчайшим звездам первую величину, а еле-еле видимым невооруженным глазом – шестую. Евдокс определил угол наклона земной оси к эклиптике и (довольно неточно) максимальное угловое удаление Венеры от Солнца. Грекам, всегда тесно связанным с морем, требовались определенные астрономические знания хотя бы для морской навигации – и античные кормчие вполне сносно вычисляли географическую широту места (с долготой дело обстояло много хуже). Что до прочего, то домыслы в астрономии не просто допускались – они властвовали. Достаточно сказать, что великий Аристотель считал кометы не астрономическими объектами, а земными испарениями. Анаксагор же полагал Солнце сгустком огня, оторвавшимся от Земли вследствие ее вращения. Таковыми же он считал и звезды, а Луну полагал населенной живыми существами, за что был изгнан из Афин как безбожник и подрыватель основ.

В IV веке до н. э. Гераклид Понтийский заявил, что Земля вращается вокруг своей оси, а столетием позже Аристарх Самосский доказывал, что Солнце гораздо дальше от нас, чем Луна, и что оно больше Земли в 300 раз. А раз так, то вовсе не Земля, а Солнце является центром Вселенной, Земля же занимает подчиненное положение. Доказать это так, чтобы ни у кого не осталось сомнений, он не смог, но примечательно, что эти мысли высказывались за 1800 лет до Коперника. Большего античная наука предложить, видимо, и не могла, но отдельные взлеты мысли греческих ученых, право же, впечатляют.

Отдельная песня – «практическое применение» астрономии к бытовым нуждам людей, издревле известное под именем астрологии. Как только люди начали улавливать закономерности в движении небесных тел (29,5-суточный период обращения Луны, 2,1-летний цикл противостояний Марса, 12-летний цикл движения Юпитера по эклиптике и т. д.), у них возникло подозрение: за этими цифрами скрывается нечто большее и, вероятно, насущно важное. «Это «ж-ж-ж» неспроста», – примерно с таким же основанием утверждал Винни-Пух.

Уже упомянутый Лукиан Самосатский, писатель, весьма острый на язык, никогда не стеснявшийся морально уничтожать тех, кто, по его мнению, того заслуживал, в сочинении «Об астрологии» неожиданно отозвался о ней похвально и даже почти восторженно. Одно только «но»: он не разделял астрологию и астрономию. Предсказания, сделанные на основе анализа движения небесных тел, казались ему важными, но и «просто открытия» заслуживали, по Лукиану, всяческого внимания, а труд наблюдателей – уважения. Даже в том случае, если нет и в ближайшем будущем не предвидится практического применения этим открытиям. Почему? Да просто потому, что Лукиан понимал: лишнего знания не бывает.

Этого понимания был лишен император Тиберий, который изгнал из Рима астрологов, но простил тех из них, кто раскаивался и обещал оставить свое ремесло. Изгоняли астрологов и другие римские императоры: Клавдий, Вителлий и т. д. Конечно, изгнать жуликов, наживающихся на доверии простодушных обывателей, дело благое, но этак можно выплеснуть с водой и ребенка. В известном смысле астрономия выросла из астрологии, как прорастает крепенький шампиньон на навозном субстрате. Странно, что сам Тиберий верил пророчествам, гаданиям и гороскопам, но пусть мотивы поступков этого мрачного упыря исследуют историки – у нас другая тема[4].

И все же даже невеликий (по меркам нашей современности) уровень астрономических знаний античности был бы потерян в раннем Средневековье, если бы не Альмагест – под этим арабским именем известен 13-томный текст II века н. э., суммировавший астрономические знания прошлых веков и переведенный на арабский язык в IX веке. Слишком уж в те времена люди были заняты в Европе: варвары – грабежом и созданием раннефеодальных королевств, греки и римляне – попытками выжить, византийцы же тщились отвоевать утраченные империей территории, пока не истощились в этих попытках настолько, что в серьезный упадок пришла даже традиционно любимая учеными греко-римской цивилизации история, не то что астрономия.

Многие считают, что астрономия как наука до XIV–XV веков развивалась (если не считать Китая) практически только в мусульманском мире. Это не совсем так, хотя надо признать, что подавляющее большинство названий звезд – арабские, не говоря уже о звездных каталогах ас-Суфи, Абу Рейхана ал-Бируни и других ученых. Астрономия развивалась и в Индии, и в Армении, и даже в доколумбовой Америке. Хотя, говоря о Старом Свете, пожалуй, правильнее будет сказать, что она не столько развивалась, сколько поддерживалась на неком уровне, достигнутом еще в античности. Если прогресс и наблюдался, то был преимущественно «горизонтальным» – вширь, а не ввысь.

Но характерно, что в средневековую Европу, ученые которой были заняты чрезвычайно интересными и, главное, полезными спорами о том, например, сколько ангелов может поместиться на острие иглы, новые веяния пришли с Востока. На поверку они были довольно старыми – просто основательно забытыми в Европе. Скажем, Роджер Бэкон почерпнул идею о вечности и несотворимости материи у арабского философа Аверроэса, а никак не у античных авторов. По-настоящему же астрономические знания, сбереженные на Востоке, стали востребованными в Европе несколько позже – с началом Ренессанса и (особенно) Реформации. Отсюда лежит прямая дорога к осторожному Копернику, неистовому Джордано Бруно, любознательному Галилею, кропотливому Тихо Браге, гениальному Кеплеру, великому Ньютону и т. д. Рационализм европейцев оказался той благодатной почвой, на которой наконец-то взошли семена, посеянные еще в античности. Во многом умозрительные построения древних уступили место знаниям, полученным на основе точных наблюдений и измерений.

Так и хочется автоматически дописать «а также экспериментов». Увы, увы – с экспериментами в астрономии всегда было туго. Пожалуй, лишь метеориты можно было изучать экспериментально, но они были признаны гостями из космоса лишь в конце XVIII века. Только с наступлением космической эры астрономия понемногу начала превращаться в науку экспериментальную. Стукнуть ядро кометы специальным снарядом и посмотреть, что из этого получится, – типичный эксперимент. Предложить гипотетическим марсианским бактериям питательную среду для их бурного размножения – тоже эксперимент. Пока, правда, такие эксперименты немногочисленны и ограничены рамками Солнечной системы.

[4] Римский император Септимий Север (годы правления 193–211 н. э.) занимался астрологией лично, причем с большим рвением. – *Примеч. авт.*

Еще хуже с космологией – эта структурная часть астрономии в принципе ограничена в области методологии, так как имеет дело с одним объектом – Вселенной, в которой мы живем и часть которой наблюдаем. Да и нет пока у человечества возможностей экспериментировать даже с одним объектом этаких масштабов…

Как изменялись со временем взгляды европейских ученых на Вселенную – тема интереснейшая, но не для этой книги. Здесь мы ограничимся современным состоянием научных знаний, причем не обо всей Вселенной, а лишь о невообразимо крошечной ее части – Солнечной системе.

Начать, правда, придется с макроскопических явлений и протянуть нить от грандиозных процессов рождения Вселенной к нашей современности.

По современным представлениям наша Вселенная образовалась в результате Большого взрыва примерно 13–14 млрд лет назад. Мы ничего не знаем о причинах взрыва и о физике этого процесса в диапазоне времени от нуля до 10^{-43} с. Эта величина – так называемое планковское время – маркирует собой временного границу, после которой к расширяющейся Вселенной можно применять известные нам законы физики, но до этой границы лежит область действия квантовой гравитации – науки, пока еще не созданной. В крайне молодой и очень горячей расширяющейся Вселенной шли процессы, сколько-нибудь подробное описание которых увело бы нас слишком далеко от темы этой книги. Нас интересует только эра вещества.

До 10^{-36} с материи еще нет – есть лишь так называемое скалярное поле, и Вселенная расширяется экспоненциально. Температура ее в момент рождения вещества чудовищна – порядка 10^{29} К. На 10^{35} с происходит рождение барионной асимметрии Вселенной, то есть барионов (представленных в то время кварками) родилось чуть больше, чем антибарионов. «Чуть» означает примерно одну миллиардную долю, но этого оказалось достаточно, чтобы впоследствии, после аннигиляции частиц и античастиц, Вселенная оказалась состоящей из вещества, а не из антивещества.

Существуют, правда, теории «холодного бариогенезиса», в которых рождение привычной нам материи с возникновением барионной асимметрии произошло гораздо позже – вблизи 10^{-10} с. Легко понять, что для нас сейчас эти тонкости не имеют значения.

К 10^{-10} с температура Вселенной за счет расширения упала до 10^{16} К. Вещество Вселенной – плазма. Она расширялась уже гораздо медленнее – по степенному закону. На 10^{-10} с произошел «электрослабый фазовый переход», когда силы единого электрослабого взаимодействия разделились на силы слабого взаимодействия и силы электромагнитные. Приобрели массу все известные нам элементарные частицы, безмассовым остался только фотон. Однако при столь больших температурах и плотностях о «нормальном» веществе говорить еще не приходится – во Вселенной могли существовать лишь кварки, нейтрино и частицы-переносчики слабого взаимодействия. Вселенная представляла собой своеобразный «кварковый суп». Лишь к моменту времени 10^{-4} с от Большого взрыва при температуре 10^{12} К из «слипшихся» кварков смогли наконец образоваться протоны и нейтроны. Аннигиляция вещества и антивещества привела к появлению громадного количества фотонов. На каждую частицу материи ныне приходится около миллиарда фотонов.

К исходу первой секунды жизни Вселенной ее температура упала «всего» до 10 млрд К. Это как раз характерная температура звездных недр. Что происходит в звездных недрах? Правильно, там идут ядерные реакции. Шли они и в очень молодой (но уже состоявшей из вещества) Вселенной. Но реакции реакциям рознь. Что же могло образоваться из первичного горячего и плотного скопища протонов и нейтронов за весьма ограниченное время?

Во-первых, дейтерий. Во-вторых, гелий-3 и гелий-4. И, наконец, литий. Последнего образовалось немного – не более *1 %* от общей массы вещества во Вселенной. Дейтерия и

двух изотопов гелия – несколько больше. Но все же основная часть протонов и нейтронов не успела прореагировать в отпущенный ей малый отрезок времени. Что до более тяжелых, чем литий, элементов, вроде бериллия или бора, то до образования сколько-нибудь заметного их количества дело просто не дошло – уже к двухсотой секунде от момента Большого взрыва расширяющаяся Вселенная успела остыть настолько, что ядерные реакции в ней прекратились.

Первые 50 тыс. лет во Вселенной доминировало излучение: плотность его энергии превышала плотность энергии вещества. Но так как первая зависит от размеров Вселенной в четвертой степени, а вторая – лишь в кубе, то рано или поздно должен был наступить момент доминирования вещества. Он и наступил – пока, впрочем, лишь для темной материи[5], не взаимодействующей с излучением. Казалось бы, что нам за дело до нее? Но именно темная материя, стекая в первичные, случайно возникшие и пока еще незначительные, гравитационные «ямы», начала «углублять» последние, подготавливая их для барионной материи.

Лишь спустя 300 тыс. лет после Большого взрыва излучение «отклеилось» от барионного вещества и получило возможность распространяться свободно. Температура Вселенной упала до 3000 К, и ядра получили возможность захватывать электроны. Барионная материя начала «сползать» в подготовленные темной материей гравитационные «ямы», подготавливая рождение крупномасштабной структуры Вселенной. Надо сказать, что каждая такая «яма» дала начало скоплению, а то и сверхскоплению галактик.

Отчего в молодой расширяющейся Вселенной возникли неоднородности, превратившиеся в гравитационные «ямы»? Вопрос, думается, лишен смысла. Гораздо труднее представить себе полностью однородную расширяющуюся Вселенную, лишенную каких бы то ни было, даже самых малых, флюктуаций плотности и температуры и сохраняющую однородность по мере расширения в бесконечность. Таких чудес в природе не бывает. А коль скоро флюктуации существуют, то в дальнейшем они будут только усугубляться. Температура же вещества будет все время падать и не станет препятствием к появлению в гравитационных «ямах» огромных облаков материи.

Так оно и происходило в действительности. Каждое такое облако имело определенную массу, температуру и некий интегральный момент вращения. В нем также возникали гравитационные «ямы» меньших размеров, куда стекало вещество. Со временем каждое облако делилось на меньшие облака, связанные друг с другом гравитационным взаимодействием, а те, в свою очередь, на еще меньшие. Так образовались скопления и меньшие, чем скопления, группы галактик вроде нашей Местной системы[6] и отдельные галактики.

Есть похожие галактики, но нет двух одинаковых. В 20-х годах XX века Эдвин Хаббл разделил галактики на три основных типа: спиральные (S), эллиптические (E) и неправильные (Irr). В неправильные попали все галактики, которые не удалось причислить ни к спиральным, ни к эллиптическим.

Рассмотрим – в самом общем приближении – механизм формирования галактики. Мы увидим, что наша Галактика (часто называемая Млечным Путем) не зря относится к S-галактикам. Будь она E-галактикой, в ней вряд ли могли бы образоваться в достаточном количестве планеты земной группы, а следовательно, вероятность возникновения жизни, тем более разумной, была бы малой, чтобы не сказать ничтожной.

---

[5] По современным представлениям, около 20 % массы Вселенной заключено в темной материи, проявляющей себя только через гравитацию; обычная же материя составляет не более *4 %* массы Вселенной. – *Примеч. авт.*

[6] Местной системой называется группа галактик на дальней периферии большого скопления галактик в созвездии Девы, включающая в себя нашу Галактику с ее карликовыми галактиками-спутниками, Туманность Андромеды M31 с ее спутниками, Туманность Треугольника M33, несколько карликовых эллиптических и неправильных галактик и несколько не связанных с галактиками шаровых скоплений – всего около 50 объектов. – *Примеч. авт.*

Эллиптические галактики (рис. 1 на цветной вклейке) представляют собой более или менее сплюснутые сфероиды, состоящие из большого количества звезд – от десятков миллионов для карликовых E-галактик до триллиона для сверхгигантских E-галактик. Степень сжатия E-галактик характеризуется цифровым индексом за буквой E – от E_0 для сферических галактик до E_7 для сильно сжатых. Эллиптических галактик, более сжатых, чем E_7, не существует. Если галактика сжата сильнее, в ней уже образуются спиральные рукава, что выводит галактику из типа E. Само собой, речь идет о реальном сжатии, а не о кажущемся, вызванном положением наблюдателя относительно галактики. В целом E-галактики довольно невыразительны и в большинстве своем похожи друг на друга.

Спиральные галактики (рис. 2, 3 на цветной вклейке), напротив, демонстрируют разнообразие форм. Галактики подтипа Sa мало сплюснуты, их спиральные рукава не отходят далеко от обширного центрального *балджа* (окружающего галактическое ядро «вздутия», несколько напоминающего E-галактику), не фрагментированы и не имеют ответвлений, а темная полоса пыли вдоль галактического экватора (характернейшая деталь S-галактик) довольно узка. Галактики подтипа Sc иные – у них маленькое ядро и совсем маленький балдж, если он вообще есть, рукава отходят от ядра резко, они фрагментированы и изобилуют ответвлениями, а пылевая полоса по экватору таких галактик мощная и широкая. Промежуточное положение между Sa и Sc занимают галактики подтипа Sb. Например, широко известная Туманность Андромеды (M_{31}) относится к подтипу Sb, а Туманность Треугольника (M_{33}) – к Sc. Хороший пример галактики Sa – M_{104} («Сомбреро»), см. рис. 4 на цветной вклейке.

Спиральные галактики могут отличаться друг от друга также по количеству спиральных рукавов. Часто их два, но не обязательно. Один из рукавов может быть «редуцирован» и превратиться в этакий едва заметный рудимент, и тогда у галактики по сути остается всего один рукав. Бывает, что у галактики развиваются три, четыре и более рукавов. У M_{33} три основных рукава и с десяток мелких, обрывочных. У галактики M_{63}, известной под кличкой «Подсолнух», десятка два рукавов. У галактики M_{109} (рис. 5 на цветной вклейке), внешне похожей на нашу, четыре рукава, причем отходят они не от ядра, а от концов *бара* – перемычки, проходящей через ядро. Такие галактики с перемычками обозначаются как SBa, SBb и SBc.

Легко классифицировать галактики, глядя на них со стороны. Установить спиральную структуру нашего собственного Млечного Пути нам, находящимся внутри него, оказалось в высшей степени трудно. Теперь известно, что наша Галактика относится к подтипу SBb и имеет четыре основных спиральных рукава. Существуют и местные рукава – ответвления от основных. В одном из таких местных рукавов-ответвлений находится наша Солнечная система.

Казалось бы, к чему весь этот разговор об эволюции Вселенной и о галактиках, коль скоро тема книги – Солнечная система? Подождите немного, читатель, а пока поверьте на слово: это сделано не зря.

Во времена Хаббла считалось, что галактики в своем развитии проходят стадии от неупорядоченных Irr-галактик (рис. 6 на цветной вклейке) к Sc, Sb, Sa и далее к аккуратным (пусть и скучным) E-галактикам. Этакое превращение дремучего леса во французский регулярный парк. Существовала и диаметрально противоположная точка зрения: галактики-де рождаются эллиптическими, затем в них развивается вращательная неустойчивость, что приводит к образованию спиральных рукавов, после чего галактика мало-помалу теряет структуру и становится неправильной. Словом, обратная эволюция: от регулярного парка – к дремучему лесу с буреломами.

Прошло изрядное время, прежде чем была понята наивность подобных воззрений. Галактики рождаются либо как спиральные, либо как эллиптические, либо как неправильные и остаются таковыми на протяжении миллиардов лет, а если не произойдет тесного сближения (или столкновения) с другой галактикой, то и на протяжении всего существования галактики. Исключение здесь может быть только одно: некоторые карликовые неправильные галактики могут со временем превратиться в спиральные. Пример: Большое Магелланово Облако (БМО). В оптических лучах эта неправильная галактика демонстрирует нам некую барообразную структуру, но и только. Зато снимок в лучах нейтрального водорода выявляет заведомую спираль. Таким галактикам просто не хватило времени, прошедшего от рождения Вселенной, чтобы стать спиральными галактиками. У них еще все впереди.

Каким же образом некоторая масса материи, скопившаяся вокруг гравитационной «ямы», может «знать», в какого типа галактику ей превратиться?

Ответ: все дело в массе вещества и его моменте вращения.

Представим себе сферическое газовое облако определенной (галактической) массы, начисто лишенное момента вращения. Под действием собственного тяготения оно будет сжиматься. При идеальной сферичности и идеальной однородности облака (такого в природе не бывает, но вообразить-то мы можем) облако останется идеально сферическим во время всего сжатия и не будет фрагментировать на меньшие облака. Кончится это скверно. Пусть при достижении сжимающимся газом температуры в несколько миллионов кельвинов внутри облака начнутся ядерные реакции – при массе облака порядка миллиардов солнечных масс они не смогут остановить сжатие. Получится не галактика и не звезда чудовищной светимости, а сверхмассивная черная дыра.

Реализовывался ли подобный сценарий на практике, никому не известно. Но в меньших масштабах – реализовывался многократно. В центре практически каждой упорядоченной галактики находится «центральный монстр» – сверхмассивная черная дыра. Если в центре нашей Галактики она сравнительно мала – около 3 млн солнечных масс, – то масса «центрального монстра» Туманности Треугольника оценивается (впрочем, неуверенно) в 100 млн солнечных масс. Очень возможно, что в центрах крупных эллиптических галактик находятся еще более массивные черные дыры. Похоже на то, что самые центральные и плотные области протогалактического облака все-таки сжимаются по описанной схеме, а стекающий в образовавшуюся черную дыру газ дополнительно увеличивает массу «центрального монстра».

Другой сценарий – достаточная масса протогалактического облака и малый момент вращения. При этих «вводных» облако начнет сжиматься, причем на полюсах оно будет сжиматься сильнее, чем на экваторе, в результате чего примет форму сплюснутого сфероида[7]. Умозрительно понятно, что вращающееся тело приобретает некоторую сплюснутость, как, например, слегка сплюснут земной шар, но механизм сплющивания у газового облака иной. Представим себе две частицы, обращающиеся вокруг центра облака где-нибудь на его периферии, и примем из соображений простоты, что экваториальные составляющие их орбитальных скоростей равны, – меридиональные же составляющие также равны, но противоположны по направлению (рис. 7 на цветной вклейке). Что произойдет с частицами при соударении?

Если мы перейдем в систему координат, связанную с частицами, то поймем, что экваториальная составляющая их скорости не изменится. С меридиональной составляющей все будет иначе: ведь лишь при абсолютно упругом соударении частицы стукнутся друг о друга и разлетятся прочь, как резиновые мячики. Но атомы (а протогалактическое облако состоит

[7] Иногда такие фигуры называют эллипсоидами вращения, что неправильно: если фигура образована эллипсом, вращающимся вокруг малой, а не большой оси, то это сплюснутый сфероид, а не эллипсоид. – *Примеч. авт.*

из ионизованных или неионизованных атомов) ведут себя не как резиновые мячики. При ударе атомы могут перейти в возбужденное состояние, на что будет затрачена часть кинетической энергии частиц. Как следствие, разлет частиц прочь друг от друга будет происходить с меньшей скоростью, чем скорость их сближения до удара, а возбужденные атомы со временем избавятся от избытка энергии, спонтанно испустив кванты, и эти кванты скорее всего беспрепятственно покинут протогалактическое облако. Меридиональная составляющая скорости частиц уменьшится, а экваториальная не изменится.

На практике, конечно, столкновения между частицами во вращающемся облаке носят самый замысловатый характер, но наша простейшая модель помогает понять главное: облако будет сплющиваться, причем пресловутая центробежная сила тут решительно ни при чем. Дальнейшее зависит от плотности облака: если основная часть газа успеет превратиться в звезды до достижения облаком сплюснутости, характерной для галактик E_7, то родится эллиптическая галактика. Ведь механизм сплющивания перестанет действовать, поскольку газ будет собран в звездах, а столкновение звезд в галактике – явление настолько редкое, что его не стоит принимать во внимание.

Если же начальный момент вращения облака велик, то облако успеет сжаться до кондиций спиральной галактики еще до фазы активного звездообразования. Разовьется неустойчивость, в результате чего появятся спиральные рукава и, возможно, бар. Самая заметная часть излучающего вещества будет собрана в галактическом диске, а наиболее яркой его частью станет спиральный узор.

А почему, собственно говоря, он наиболее яркий? А потому, что в спиральных рукавах собраны молодые горячие звезды высокой светимости. Скажем, типичная звезда спектрального класса O_5[8] имеет массу порядка 30 масс Солнца и светимость порядка 200 тыс. солнечных. Старыми такие звезды не бывают, вернее, их старость и смерть наступают еще в детском возрасте. (Астрономы пользуются термином «инфантильные объекты».) Логично предположить, что коль скоро горячие звезды высокой светимости сконцентрированы преимущественно в спиральных рукавах, то они там и родились. Хуже того: там им суждено провести всю свою недолгую (зато какую яркую!) жизнь.

Доказано, что скорость движения звезд вокруг центра какой бы то ни было спиральной галактики и скорость вращения ее спирального узора – совсем не одно и то же. В самом деле, за время существования Вселенной галактики должны были совершить не один десяток оборотов, а спиральные рукава редко закручиваются более чем на один-два оборота. В чем дело? А в том, что рукава – это не какие-то материальные образования, а *волны* плотности, обращающиеся вокруг галактического центра практически как твердое тело. По силовым линиям галактического магнитного поля в рукава натекает ионизованный газ, сталкивается здесь с уже имеющимся газом, и образующаяся ударная волна запускает процесс звездообразования. Именно в спиральных рукавах и барах звездообразование идет интенсивнее всего. Именно поэтому там много горячих молодых ярких звезд. (Разумеется, там хватает и менее ярких звезд, но не они главным образом «ответственны» за спиральный узор.)

Центральный балдж, шаровые скопления и звезды галактического *гало* – иное дело. В отличие от плоской подсистемы звездного населения спиральной галактики, представленной галактическим диском с рукавами, они образуют сферическую подсистему. Ее вращение вокруг галактического центра происходит совершенно иначе (гораздо медленнее), а сплюснутость если и наблюдается, то невелика. Совершенно очевидно, что шаровые скопления и

[8] Звезды делятся на спектральные классы, образуя следующую основную последовательность, от горячих звезд к холодным: O, B, A, F, G, K, M. Подклассы обозначаются цифрами от о до 9. Например, звезда Fo горячее, чем Fl, но холоднее, чем A9. – *Примеч. авт.*

звезды балджа образовались из локальных уплотнений на самых ранних стадиях формирования галактики, когда она еще была более или менее сфероидальным облаком.

Итак, в каждой спиральной галактике (и в нашей тоже) существуют две подсистемы: сферическая и плоская. Раньше их называли звездным населением I и II типа соответственно, но эта терминология была не вполне точна: ведь в подсистемы входят не только звезды, но и газово-пылевая материя. В нашу эпоху крупные газово-пылевые облака не обнаруживают сколько-нибудь заметной концентрации к галактическому центру, зато уверенно концентрируются к галактическому экватору. Не зря по экватору всех спиральных галактик проходит полоса пыли.

Между прочим, Солнце обращается вокруг центра Галактики почти в плоскости галактического экватора, расстояние до которого от нас в нашу эпоху составляет всего-навсего 30 световых лет – и это при том, что толщина галактической «линзы» на данном удалении от центра Галактики никак не менее 1000 световых лет. Слой галактической пыли, внутри которого находится Солнце, сильно мешает астрономам наблюдать объекты, расположенные под малым углом зрения к галактическому диску, поскольку активно поглощает лучи видимого частотного диапазона. Например, слой пыли между Солнцем и центром Галактики ослабляет видимый свет на 27 звездных величин! Поскольку разница в одну звездную величину соответствует «в разах» 2,512, то нетрудно подсчитать, что ослабление на 27 звездных величин эквивалентно ослаблению примерно в 6 млн. раз. В оптическом диапазоне наблюдения центра Галактики, а тем более внегалактических объектов в направлении на него практически невозможны – приходится обходиться средствами инфракрасной и радиоастрономии.

Печально? Для астрономов – да. Но галактическая пыль – это чрезвычайно важно. И не только потому, что без нее не было бы планет земной группы, а следовательно, и нас с вами, – пыль, как мы увидим далее, играет заметную роль в процессе звездообразования. Нельзя рассказывать о рождении Солнца, не разобравшись с ролью межзвездной пыли.

Прежде всего: откуда она берется?

Мы помним, что после краткого периода ядерных реакций в очень молодой расширяющейся Вселенной вещество было представлено крайне убогим набором химических элементов: водород, гелий, немного лития – и только. Эти три элемента вместе с их изотопами совершенно не склонны слипаться в некие агрегаты, образуя пылинки. Молекулы водорода H_2, способные образовываться при небольших температурах и разрушающиеся при нагревании, – вот по сути и все, на что способна столь бедная смесь элементов. Можно считать, что химическая история Вселенной (и нашей Галактики, конечно) началась лишь в звездную эпоху.

Наша Галактика с ее четырьмястами миллиардами звезд считается как минимум гигантской; некоторые классификации относят ее даже к сверхгигантским. Таких галактик, как наша, одна на тысячу. Хвастаться тут, конечно, нечем (и не перед кем) – важно понять, что благодаря значительной массе газового облака, давшего начало Галактике, процесс ее формирования был довольно быстрым. Разумеется, сверхгигантские E-галактики вроде NGC6166, чья масса оценивается в 14 трлн солнечных масс, сформировались еще быстрее, но не в этом дело. Важно понять, что по сравнению с Солнечной системой Галактика довольно стара: ей никак не менее 12 млрд лет. За время, прошедшее от рождения первых звезд Млечного Пути до возникновения Солнечной системы, химическая история Галактики успела продвинуться далеко вперед.

Широко известен источник горения звезд: ядерные реакции превращения водорода в гелий. Они вроде бы ничего не добавляют к убогому первоначальному набору химических элементов, составляющих материю Вселенной. Правда, в боковой ветви протон-протонной реакции образуются бериллий и бор, но они же большей частью и тратятся в недрах звезды на образование того же гелия. Откуда берутся более тяжелые элементы?

В межзвездном пространстве ядерные реакции не идут – следовательно, тяжелые элементы рождаются опять-таки в звездах. Но не во всех. Водородное «горючее» звезды – ресурс принципиально исчерпаемый. Предположим, что в плотном и горячем ядре некой звезды, где как раз и шли ядерные реакции, водорода больше не осталось. Что произойдет? Звезда начнет понемногу остывать и со временем погаснет?

Да, если ее масса менее 0,35 массы Солнца. Нет – если масса звезды превышает указанный порог. В этом случае после исчерпания водородного «горючего» центральные области звезды сожмутся и разогреются, температура в центре звезды превысит 100 млн К (вместо 10–20 млн К для «нормальной» звезды), и «включится» другая ядерная реакция – тройной гелиевый процесс. Суть этой реакции в том, что при столь значительной температуре две альфа-частицы (ядра гелия) могут, преодолев кулоновский барьер отталкивания, слиться в ядро неустойчивого изотопа бериллия-8. Последнее скорее всего распадется обратно, но может так случиться, что в него врежется еще одна альфа-частица, обладающая высокой энергией. В этом случае образуется устойчивый изотоп углерода-12 и выделяется энергия. Светимость звезды увеличивается по сравнению с «нормальной» в десятки, если не сотни раз, ее внешние области сильно разбухают и охлаждаются до 2500–3500 К, и звезда становится красным гигантом. Подобные звезды широко известны, скажем, красный Альдебаран в созвездии Тельца – типичный красный гигант.

Если масса звезды достаточна, то ядерные реакции не прекращаются и после «выгорания» гелия в центральных областях. Температура звездных недр вновь повышается, и тогда становятся возможны (и действительно идут) реакции между углеродом и гелием с образованием кислорода и других элементов. Внутри звезды возникает слоистый источник энерговыделения: ближе к поверхности идут реакции на еще уцелевшем водороде, глубже – тройная гелиевая реакция, а еще глубже – самые разнообразные реакции между углеродом и гелием, а также между гелием и кислородом, азотом и т. д. Суть этих реакций – в последовательном присоединении альфа-частиц. Таким путем образуются все более тяжелые элементы – вплоть до «железного пика». Элементы тяжелее железа, никеля, кобальта в недрах «обычных» (пусть сверхгигантских по светимости) звезд не образуются. Нет, ядерные реакции, в результате которых могли бы образоваться и более тяжелые элементы, в принципе существуют, но они идут с поглощением энергии, а значит, как только они начинаются, температура недр звезды падает, и эти реакции прекращаются сами собой – типичный пример *отрицательной обратной связи,* стабилизирующей текущую ситуацию.

Но откуда во Вселенной взялись элементы тяжелее железа? Ведь на Земле существуют месторождения меди, свинца, ртути, золота, урана. И каким образом тяжелые элементы попадают из звездных недр в межзвездную среду? Неужели звезда выбрасывает их, подобно тому как Солнце выбрасывает поток частиц, известный под именем «солнечного ветра»?

Ни в коем случае. Солнце выбрасывает лишь электроны, протоны, ядра гелия, а доля более тяжелых элементов в «солнечном ветре» невелика. Правда, изредка встречаются «коптящие» звезды – массивные красные сверхгиганты высокой светимости с раздутыми холодными атмосферами, охваченными бурной конвекцией. Эти звезды действительно выбрасывают углерод, причем в виде пыли – отсюда и название. Но не так уж много того углерода. И как быть с остальными элементами?

Типичный красный гигант оканчивает свое существование превращением в белый карлик – крошечную звездочку низкой светимости. Внешние же области красного гиганта отделяются от него с небольшими (порядка десятков километров в секунду) скоростями и образуют так называемую планетарную туманность (рис. 8-10 на цветной вклейке), постепенно

рассеивающуюся в пространстве[9]. Однако и планетарные туманности не могут обеспечить наблюдаемое во Вселенной (и особенно на Земле) обилие элементов.

Взрывы сверхновых звезд – вот тот «плавильный тигель», где образуются элементы тяжелее железа, и одновременно способ их доставки в межзвездную среду. Нет необходимости в рамках этой книги описывать быстротекущие (порядка одной-двух секунд) процессы, происходящие во время взрыва звезды. Описание этих процессов, к тому же далеко еще не изученных, увело бы нас слишком далеко от темы. Важно запомнить: во время этих катастрофических процессов вблизи ядра звезды при колоссальных давлениях, создаваемых ударной волной, и температурах порядка триллиона кельвинов в быстротекущих ядерных реакциях создается все разнообразие тяжелых элементов. Взрыв приводит к выбросу газовой оболочки, обогащенной этими элементами, в межзвездное пространство со скоростями от 1000 до 10 000 км/с. На месте бывшего сверхгиганта остается весьма компактный объект – нейтронная звезда, а расширяющаяся газовая оболочка постепенно тормозится о межзвездную среду (обжимая ее локальные уплотнения и стимулируя тем самым звездообразование) и мало-помалу рассеивается.

Так межзвездная среда обогащается химическими элементами. Обилие тех или иных элементов определяется прежде всего вероятностью соответствующих ядерных реакций и наличием «сырья» для их протекания. В общем и целом наблюдается понятная закономерность: чем элемент тяжелее, тем меньше его во Вселенной, хотя и тут есть свои «пики» и «провалы». Например, в земной коре не так уж мало (относительно, конечно) урана-238, несмотря на то что этот изотоп нестабилен, с периодом полураспада 4,5 млрд лет, зато ничтожно мало (десятки миллиграммов) астата. Основную причину такой «несправедливости» следует искать в конкретных ядерных реакциях, идущих при взрывах сверхновых звезд.

Но общее количество тяжелых элементов, выбрасываемых при взрывах звезд, довольно велико, и эти элементы присутствуют в космосе преимущественно в виде пылинок, формирующихся по мере остывания расширяющегося облака продуктов взрыва. Так, например, известный радиоисточник Кассиопея А – самый мощный объект своего класса, являющийся остатком взрыва сверхновой, вспыхнувшей около 1680 года, содержит достаточно пыли для образования десяти тысяч таких планет, как Земля. И это еще самая скромная оценка. Выходит, что при взрыве звезды в космос было выброшено весьма значительное количество тяжелого вещества – не менее 3 % массы Солнца.

По современным представлениям, многократно подтвержденным наблюдениями, звезды рождаются из холодной газовопылевой материи. В очень молодой Галактике, лишенной тяжелых элементов, но с уже достаточно остывшей газовой средой, рождалось очень много массивных горячих звезд с ничтожным (по астрономическим меркам) сроком жизни. Взрываясь как сверхновые, эти звезды быстро обогатили межзвездную среду газом и пылью. Астрономам пока еще не удалось найти в Галактике звезду, полностью лишенную тяжелых элементов (а наличие их в звездных фотосферах запросто «ловится» спектроскопией). Пока что рекордсменом по химической бедности является одна слабая звездочка в галактическом гало – она в 100 тысяч раз беднее тяжелыми элементами, чем Солнце. Ясно, что говорить о наличии у этой звезды планет земного типа не приходится – им просто неоткуда взяться.

Отсюда понятно, что Солнце, коль скоро мы живем на поверхности его твердого спутника, никак не могло быть звездой «первого поколения» – оно образовалось значительно позже, когда обилие тяжелых элементов в газово-пылевой материи Галактики было уже близким к современному. Вообще считается, что любой атом Земли (и вашего тела, читатель) в прошлом трижды побывал в недрах звезды – в среднем, конечно. Иначе откуда бы

[9] К планетам эти туманности не имеют никакого отношения, они были названы так за сходство некоторых из них с атмосферами планет, и это неудачное название прижилось. – *Примеч. авт.*

взялось то обилие элементов, которое обеспечивает столь сложные химические процессы, какие протекают в живых организмах?

2. Рождение Солнца

Возраст Земли оценивается в 4,6 млрд лет. Поскольку считается (и не без оснований), что звезды и их планетные системы рождаются в рамках единого процесса, вряд ли Солнце намного старше Земли. Итак, к моменту рождения Солнца возраст Галактики уже превышал 7 млрд лет и диффузная материя в ней уже была обогащена тяжелыми элементами – почти до современного их количества. Среди тяжелых (я имею в виду: более тяжелых, чем водород и гелий) элементов важнейшее значение для звездообразования имеет углерод.

Именно его атомы имеют склонность слипаться в пылинки и, в частности, образовывать сложные структуры типа фуллеренов (последние найдены в космической пыли). Агрегат из сотни атомов – уже пылинка. Но для процесса звездообразования важно не то, что углерод в межзвездном облаке присутствует частично в виде пыли, а то, что он вообще там присутствует. Прочие атомы и молекулы (а в межзвездной материи спектроскопическими методами выявлено более 50 молекул, среди которых есть даже 13-атомная молекула цианодекапентина $HC_{11}N$) не играют столь серьезной роли.

Дело вот в чем. Углерод легко поглощает ультрафиолетовые кванты, излучая взамен инфракрасные. Для инфракрасных квантов не очень плотное газово-пылевое облако прозрачно, так что они беспрепятственно покидают его, унося энергию. За счет этого температура многих облаков межзвездной материи невелика. Углерод, как говорят, играет роль «холодильника», и это обстоятельство имеет важнейшее значение.

Всем известно, что звезды рождаются из газово-пылевой материи вследствие ее конденсации под действием собственной силы тяжести. О том же говорит и вся совокупность наблюдательных данных. Альтернативные гипотезы вроде рождения звездных скоплений по причине распада каких-то неведомых сверхплотных тел не нашли подтверждения. Известно также, что средняя плотность межзвездного газа в Галактике составляет в настоящее время примерно 1 атом на кубический сантиметр. Но гораздо раньше, чем была оценена средняя плотность межзвездного газа, стало ясно, что газ и пыль распределены по Галактике отнюдь не равномерно, а образуют облака, или туманности. Если между облаками плотность газа менее 0,1 атома на кубический сантиметр, то в облаках она обычно превышает 10 атомов на кубический сантиметр. Можно показать, что межзвездная среда, первоначально сравнительно однородная, обязательно будет делиться на облака диффузной материи и сравнительно пустое пространство между ними.

Некоторые из облаков малы, другие громадны. Есть темные и светлые туманности, холодные и нагретые излучением молодых горячих звезд, атомарные ионизованные, атомарные неионизованные и, наконец, молекулярные. Но какое облако будет сжиматься под действием собственной гравитации, а какое нет?

Прежде всего, сильно нагретые облака ионизованного газа сжиматься не будут. Бешеное излучение горячих ОВ-звезд, находящихся в этих облаках или вблизи них, нагревает облака настолько, что сила собственной гравитации облака полностью уравновешивается кинетической энергией атомов. Газ в таких облаках, известных как эмиссионные туманности, полностью ионизован и имеет температуру порядка нескольких тысяч кельвинов. Пылинки – и те разрушаются под действием мощного ультрафиолетового излучения горячих звезд. Хороший пример такой туманности – Большая туманность Ориона (рис. и на цветной вклейке).

Не будут сжиматься и неионизованные атомарные облака с температурой в несколько сотен кельвинов. Конденсация под действием собственной гравитации возможна лишь для холодных молекулярных облаков (они потому и молекулярные, что холодные) с температурой в несколько десятков кельвинов.

Но станет ли сжиматься, например, облако с массой газа, равной массе Солнца, температурой 20 К и поперечником в 1 парсек[10]? Нет, не будет по причинам, которые установил замечательный английский физик Джеймс Джинс еще в 1902 году. При определенной температуре и определенной плотности сферического (для простоты) облака существует критическое (джинсовское) значение его радиуса, при превышении которого облако начнет сжиматься. Из полученных Джинсом формул следует, что взятое мною для примера маломассивное облако сжиматься не будет, а вот облако той же плотности и температуры, но с поперечником в десятки парсеков – будет.

Дело в том, что тепловая энергия облака зависит от его радиуса в кубе, тогда как гравитационная энергия – от радиуса в пятой степени. Следовательно, при определенной плотности облака и определенной его температуре существует такой радиус облака, при превышении которого облако обязательно начнет сжиматься, и тем «охотнее», чем больше его размеры (при заданных значениях температуры и плотности).

Отсюда ясно, что прежде всего начнут конденсироваться громадные холодные облака молекулярного водорода, известные как газово-пылевые комплексы. Каждый такой комплекс может породить тысячи звезд.

Почему тысячи, а не одну суперсверхгигантскую – достаточно понятно. Во-первых, внутри газово-пылевого комплекса поперечником в десятки парсеков неизбежно содержится несколько тысяч звезд, разогревающих среду вокруг себя, несмотря ни на какие «старания» межзвездного углерода. Таким образом, газово-пылевая среда комплекса неоднородна изначально. Во-вторых, формы газово-пылевых комплексов далеки от сферических, и разные их части имеют свои хаотические скорости. При сжатии комплекс неизбежно будет фрагментирован на отдельные, уже более плотные, облака со скоростями относительно друг друга порядка десятков км/с. В свою очередь, эти облака, сжимаясь, разделятся на более мелкие облака. Из каждого такого облака в дальнейшем сформируется рассеянное звездное скопление. Наконец, достаточно маленькое и плотное облако, имеющее, однако, заметный момент вращения, также разделится надвое, а затем, глядишь, и начетверо. Получится четверная звездная система.

Если посмотреть в бинокль на звезду Эпсилон Лиры, то отчетливо видно, что эта звезда, кажущаяся одиночной невооруженному глазу, распадается на две звезды примерно равной яркости. Однако взгляд в телескоп с диаметром объектива от 100 мм при увеличении не менее 100–150 крат при ясном небе и отсутствии значительной турбуленции в атмосфере раскрывает истинную картину: каждая из двух звездочек также является двойной! То есть звезда Эпсилон Лиры – четверная, состоящая из двух пар, причем все четыре звезды имеют примерно одинаковый блеск. Расстояние между парами – значительное (почти 3,5 угловой минуты), тогда как расстояние между компонентами в парах значительно меньше – около 2 секунд дуги. Это означает, что сжимающееся облако, породившее четверную систему, имея некоторый начальный момент вращения, вращалось все быстрее (по закону сохранения момента количества движения), пока не разделилось на два почти равных по массе облака. Впоследствии каждое из этих облаков после еще более сильного сжатия, сопровождавшегося ускорением вращения, также разделилось примерно пополам.

Другой вариант – тройная система Альфа Центавра. Компонент А этой системы весьма похож на Солнце и принадлежит к тому же спектральному классу, компонент В – оранжевая звездочка класса Ki, а слабый компонент С – знаменитая Проксима Центавра – красный карлик 11-й звездной величины класса М5. Из-за близости к нам Проксима Центавра заметно удалена на звездном небе от компонент А и В, которые, «как порядочные», обраща-

[10] Парсек (пк) – внесистемная единица измерения межзвездных расстояний, принятая в астрономии. Это такое расстояние, с которого радиус земной орбиты равен одной угловой секунде. Один парсек равен 3,26 светового года. – *Примеч. авт.*

ются вокруг общего центра масс сравнительно недалеко друг от друга. У астрономов возникал даже вопрос: а принадлежит ли вообще Проксима Центавра системе Альфа Центавра? Ответ: скорее да, чем нет. Ведь в пространстве все три звезды движутся в одном направлении с примерно равными скоростями. По всей видимости, период обращения Проксимы Центавра вокруг общего центра масс тройной системы превышает миллион лет.

Как можно интерпретировать рождение подобной системы? Вероятно, на периферии протозвездного облака с самого начала существовало локальное уплотнение, которое в конце концов обособилось и породило компоненту С, чье расстояние от А и В составляет примерно 0,2 светового года. Основное же прото-звездное облако (точнее, его плотная центральная часть) разделилось уже гораздо позднее.

Еще более удивительная система – Кастор (Альфа Близнецов). В телескоп она разрешается на две компоненты с небольшой разницей в блеске. Вокруг этих двух звезд, обращающихся вокруг общего центра тяжести, движется по удаленной орбите спутник – слабая красная звездочка. И каждая из этих трех звезд является спектрально-двойной, то есть настолько тесной звездной парой, что ее двойственность выявляется лишь спектроскопическими методами. Здесь примерно та же ситуация, что и с системой Альфа Центавра, только каждое из трех протозвездных облаков успело до рождения звезды разделиться надвое, чему, несомненно, «помог» избыток момента вращения.

У любознательного читателя может возникнуть вопрос: а что будет, если сжимающееся протозвездное облако, имеющее массу, скажем, 10 тыс. масс Солнца, окажется сферическим и практически не вращающимся? «Этого не может быть», – ответит астроном. «Ну а все-таки если?..»

Неужели родится звезда чудовищной массы и совершенно невообразимой светимости?

Нет, не родится. Теоретические расчеты показывают, что предел массы для звезды – около 100 солнечных масс. Светимость ее при этом составит порядка миллиона солнечных. Характерный пример: переменная-сверхгигант Р Лебедя. Звезда большей массы и, естественно, еще большей светимости будет просто-напросто разрушена собственным излучением. Теоретические выкладки подтверждаются наблюдениями: звезды с массами более 100 солнечных во Вселенной не обнаружены. Астрономов долго интриговал объект R136a в Большом Магеллановом Облаке. Выглядя звездой, он имеет массу порядка 2000 солнечных, что резко противоречит теории. Так что же, теория неверна? Отнюдь. Просто данный объект оказался не звездой, а тесным скоплением из минимум 70 молодых горячих звезд. Выяснилось это лишь с помощью космического телескопа им. Хаббла…

«Большие неприятности» гарантированы звезде и в том случае, если ее масса превышает 70 солнечных масс. К примеру, звезда Эта Киля находится на грани устойчивости и погружена в туманность, состоящую из вещества, выброшенного звездой при вспышке. Как видим, чрезмерно массивная звезда пытается как-то подстроить свою структуру под «общий стандарт», избавляясь от излишков вещества. Кстати, Эта Киля – вероятный кандидат в сверхновые. Не исключено, что она взорвется в течение ближайших одной-двух тысяч лет.

Стоит подчеркнуть, что нарисованная выше картина рождения кратных звезд является предельно упрощенной, не учитывающей ни влияния магнитных полей, ни вихревых движений в сжимающемся облаке. Впрочем, главное для нашей задачи – понять в общих чертах, как возникла Солнечная система, поэтому такое упрощение, пожалуй, не является чрезмерным.

Важно следующее: звезды, как правило, рождаются не поодиночке, а кратными системами, чаще всего в составе молодого рассеянного скопления, которое, в свою очередь, входит в состав звездной ассоциации, содержащей сотни тысяч, если не миллионы звезд, а та, в свою очередь, нередко является частью звездного комплекса с характерным поперечником 600 пк. Почему мы говорим о рассеянных скоплениях вроде показанного на рис. 12 (см.

цветную вклейку)? Потому что в наше время в Галактике уже давно не образуются шаровые скопления, содержащие сотни тысяч звезд. Все шаровые скопления Галактики (рис. 13), а их известно более 130, – старые объекты, содержащие старые звезды. Шаровые скопления рождались на самых ранних этапах жизни Галактики, когда диффузная материя для их создания имелась в избытке. Теперь же в Галактике содержится слишком мало газа (не более 10 % от массы Галактики[11]). Сравнительно молодые шаровые скопления попадаются лишь в небольших неправильных галактиках, где скорость звездообразования вообще замедлена, но не у нас. В нашей Галактике в современную эпоху рождаются лишь рассеянные скопления, содержащие обычно несколько десятков или сотен звезд.

Рис. 13. Шаровое скопление M3

Сказанное не означает, что в Галактике невозможно рождение одиночных звезд. Астрономам давно известны *глобулы* – маленькие темные туманности с массами, не сильно отличающимися от массы Солнца, и значительными (для туманностей) плотностями. Согласно расчетам, некоторые из глобул в перспективе должны начать сжиматься (если уже не сжимаются). На практике же глобулы с «пограничным» значением радиуса, массы и температуры могут весьма долго пребывать в «подвешенном» состоянии, не сжимаясь и не рассеиваясь. Облаку могут помочь начать сжатие следующие факторы.

1. Втекание газово-пылевой материи в спиральный рукав. При этом втекающие облака газа сталкиваются с «застрявшим» в рукаве газом, благодаря чему происходит уплотнение среды.

2. Взрыв сверхновой звезды. Выброшенная взрывом газовая оболочка сверхновой расширяется в пространстве со скоростью от 1000 до 10 000 км/с (в зависимости от типа сверхновой). Ударная волна стимулирует звездообразование.

[11] Имеется в виду только масса обычной материи, а не «темной». – *Примеч. авт.*

3. Излучение молодых, очень горячих О-звезд высокой светимости. Давление света «обжимает» уже имеющиеся конденсации газа в окрестностях звезды, повышая их плотность и запуская процесс звездообразования. Если учесть огромную светимость 0-звезд, то понятие «окрестности» надо распространить на целые парсеки.

Эти факторы универсальны – они действуют не только на глобулы, но и на огромные молекулярные облака. В таких облаках часто наблюдается волна звездообразования, а нередко и несколько волн, инспирированных, например, несколькими вспыхнувшими сверхновыми. За прошедшей волной наблюдается градиент возрастов молодых звезд.

Подавляющее большинство звезд рождается группами, а не порознь. Не менее 50 % звезд нашей Галактики входит в состав кратных систем; если же взять только горячие звезды, то этот процент доходит до 70. Кроме того, обычно рождается целое рассеянное скопление, а не одиночная звезда.

Таким образом, наше Солнце хоть в чем-то звезда не совсем типичная, поскольку одиночная и не входящая в скопление. Хотя и таких звезд в Галактике хватает. Впрочем, рассеянные скопления – образования относительно (по космологическим меркам) недолговечные. Слабость взаимного притяжения звезд в рассеянном скоплении мало-помалу приводит к разрушению скопления за счет гравитационного влияния окружающих звезд. Является ли рассеянное скопление богатым, содержащим более тысячи звезд, или представляет собой убогую систему всего-навсего из полудюжины звезд, финал один – разрушение. Просто-напросто на гравитационное «растаскивание» богатого и компактного рассеянного скопления уйдет больше времени.

Хорошие примеры для сравнения – всем известные Плеяды (рис. 14 на цветной вклейке) и несколько менее известные Гиады. Семь звезд Плеяд хорошо видны невооруженным глазом, образуя фигуру в виде маленького ковшика. На самом деле там не менее 300 звезд, погруженных в отражательную туманность, не имеющую генетической связи со скоплением. Плеяды, имея возраст около 100 млн. лет, еще остаются довольно компактными. Иное дело – Гиады, окружающие красный Альдебаран в созвездии Тельца (Альдебаран не входит в Гиады, он расположен вдвое ближе к нам и просто случайно проецируется на скопление). Возраст Гиад – 1 млрд лет, и они широко разбросаны по небу. По сути это уже не рассеянное скопление, а просто группа звезд, движущихся по Галактике более-менее в одном направлении. Еще более разительный пример старого скопления – звезды созвездия Волосы Вероники, когда-то располагавшиеся гораздо теснее друг к другу. Их уже никто не называет скоплением, слишком уж далеко они разошлись в пространстве.

Вряд ли можно сейчас установить, родилось ли Солнце в составе рассеянного скопления или возникло в результате сжатия одиночной глобулы, – слишком уж много прошло времени. Без малого 5 млрд лет – срок совершенно запредельный для рассеянного скопления, столько времени они не живут. Зато одиночность Солнца оказалась благоприятным фактором для возникновения и развития жизни на Земле. В двойных звездных системах устойчивые планетные орбиты возможны либо вокруг одной из звезд (если пара широкая), либо (при тесной паре) вокруг центра масс всей системы. При этом вероятность попадания землеподобной планеты в область температур, благоприятных для развития жизни, гораздо ниже, чем в случае одиночной звезды. В нашей же системе орбиты планет оставались стабильными на протяжении миллиардов лет. Одной из планет повезло оказаться как раз на нужном удалении от Солнца, чтобы на ее поверхности развилась жизнь…

Как же из сжимающегося газово-пылевого облака рождаются звезды? К настоящему времени астрофизиками разработано довольно много моделей конденсации газово-пылевой туманности в звезду. Старая джинсовская модель, не учитывавшая ни движения межзвездной среды, ни магнитных полей, ни ударных волн, ни многого другого, подверглась многочисленным модификациям, но в целом устояла. Однако эта модель, доказывающая неиз-

бежность сжатия некоторых облаков межзвездной среды, ничего не говорит о конкретных процессах, сопровождающих сжатие.

Динамику сжатия протозвезды с массой, равной массе Солнца, впервые исследовали Ч. Хаяши и Т. Накано в 1965 году. Эта модель, ставшая классической, предполагает важные упрощения: предполагается, что протозвездное облако сферично и однородно по плотности и температуре. Таких чудес в природе не бывает, однако модель Хаяши – Накано вполне пригодна для описания общих закономерностей сжатия облака.

Этап первый: подготовительный процесс. Протозвездное облако с параметрами, допускающими сжатие, долго «раздумывает», сжиматься ему или нет. В ряде наблюдаемых объектов сжатие, возможно, уже идет, но настолько вяло, что обнаружить его не удается. И если не последует «толчка» со стороны вроде ударной волны, процесс «раздумья» может затянуться на многие миллионы лет.

Этап второй, напротив, скоротечен: быстрое (за время порядка 10 лет) сжатие облака. Причем чем дальше, тем выше скорость сжатия. Вопрос для школьников: что происходит при сжатии газа? Ответ: газ нагревается. Так вот: на данном этапе никакого нагрева облака не происходит. Выходит, школьные учебники врут? Нисколько: классические газовые законы имеют дело с идеальным газом, в котором происходят абсолютно упругие столкновения молекул без каких-либо иных взаимодействий между ними. В протозвездном облаке это не так. Вспомним о роли углерода. Поглощая высокоэнергичные фотоны, он затем испускает кванты излучения с энергиями, соответствующими инфракрасному диапазону, для которого облако пока еще прозрачно. Так что избыток энергии благополучно канализируется в окружающее пространство. Сжатие облака на данном этапе является изотермическим. Этот этап также называют этапом свободного падения.

Этап третий. Он наступает, когда вещество протозвездного облака, норовящее упасть на центр его массы и «схлопнуться» в точку, достигает такой плотности, что становится непрозрачным к собственному инфракрасному излучению. Для этого оно должно сжаться раз в сто по сравнению с первоначальным состоянием. С этого момента времени процесс сжатия облака хоть и продолжится, но будет сопровождаться нагревом. При этом недра облака станут горячее его поверхности, и разовьется конвекция. Горячие «пузыри» газа будут всплывать из глубин к поверхности, отдавать избыток тепла межзвездной среде и снова «нырять» обратно. Всплывая и попадая в область пониженного давления, газ расширяется адиабатически. Адиабатическим же становится распределение температуры, плотности и давления в облаке. Облако теряет однородность, его центральные области становятся плотнее и горячее периферии.

По так называемой теореме о вириале половина тепловой энергии облака уйдет в пространство, а вторая половина пойдет на нагрев газа, прежде всего в центральных областях. Нагреваясь, облако все-таки будет продолжать сжиматься, но уже гораздо медленнее, чем на этапе свободного падения. Надо заметить, что вещество периферии будет продолжать свободно падать на формирующееся ядро. Последнее будет иметь массу порядка 0,01 солнечной, радиус 6000 солнечных и температуру около 2100 К. Падая на ядро со скоростью около 1 км/с, газ резко тормозится, его кинетическая энергия переходит в тепло и разогревает ядро еще и снаружи. Масса ядра растет, что приводит к его сжатию и выделению тепла по всему объему. После достижения температуры 10 ООО К вещество начинает ионизовываться (диссоциация молекул и разрушение пылинок происходят гораздо раньше), и центральная часть ядра вновь резко сжимается. Образуется более плотное и горячее внутреннее ядро. После полной ионизации температура и давление во внутреннем ядре стабилизируются. Сжатие внутреннего ядра на время останавливается при массе опять-таки около 0,01 солнечной и радиусе порядка 1000 солнечных.

Как будет выглядеть такая звезда со стороны? Если в ядре пылинки давно разрушены, то на периферии – нет. Температура ядра протозвезды (теперь ее уже можно так назвать) превысит температуру фотосферы звезды спектрального класса А, однако никакого оптического источника мы не увидим – помешает пыль окружающего протозвезду газово-пылевого «кокона». Но мы увидим инфракрасный источник излучения и – возможно – космический мазер.

Что такое лазер, знают все; мазеры несколько менее известны. Мазер – это источник когерентного излучения с длиной волны, определяемой разницей соответствующих энергетических уровней молекул рабочего вещества. Поглощая жесткие кванты «накачки», рабочее вещество затем спонтанно излучает кванты совершенно определенной длины волны. В Галактике известно немало «точечных» мазерных источников излучения. «Рабочим веществом» некоторых из них является молекулярный водород H_2, других – гидроксил OH (в условиях межзвездной газово-пылевой среды могут подолгу существовать молекулы, нестабильные на Земле, и не только гидроксил), а «накачку» осуществляет излучение ядра протозвезды.

Может случиться так (особенно с маломассивными протозвездами), что окружающий протозвезду «кокон» довольно быстро станет прозрачным. В модели Хаяши-Накано газ, падающий на внутреннее ядро протозвезды, порождает ударную волну, распространяющуюся из глубины к периферии. Ударная волна разогревает наружные слои протозвезды, разрушая пылинки, и инфракрасный источник превращается в оптический. Таких волн может быть довольно много. Наблюдатель увидит периодические яркие вспышки молодой звезды.

И действительно, подобные объекты наблюдаются. Они известны как фуоры, получившие название от их характерного представителя в созвездии Ориона: FU Ori. В 1936–1937 годах эта звезда за 120 суток увеличила свой блеск на 6 звездных величин (в 250 раз!) и до сих пор не вернулась в исходное состояние, потускнев лишь на 4 звездные величины. Для возврата к первоначальной, «естественной» светимости должно пройти не менее 100 лет от времени вспышки. Время между вспышками неизвестно, но уж точно более 100 лет. Вообще внезапное увеличение блеска на 3–6 звездных величин и удержание нового значения блеска в течение длительного времени – характернейшая черта фуоров. Не менее характерно и то, что фуоры часто погружены в плотные пылевые облака, где как раз есть все основания подозревать процесс рождения звезд. Фуоры имеют спектр F и G сверхгигантов с признаками быстрого вращения и теряют вещество в виде звездного ветра, а некоторые выбрасывают тонкие длинные джеты (струи вещества) или объекты Хербига – Аро (небольшие эмиссионные туманности неправильной формы).

Астрономам известны также звезды типа Т Тельца, почти всегда встречающиеся группами и обычно погруженные в туманности. Эти звезды похожи на красные и оранжевые гиганты, то есть звезды на заключительной стадии эволюции, когда водород в их центральных областях уже выгорел. Но почему в таком случае они образуют группы? Ведь срок водородных реакций в звезде резко различен у звезд разной массы. Это что же, в каком-то рассеянном скоплении имелись лишь звезды одинаковой массы, эволюционировавшие синхронно, причем успевшие проэволюционировать за время существования рассеянного скопления?

Если бы на небе существовала лишь одна Т-ассоциация, еще ладно – каких только «уродцев» не бывает! В каждом «порядочном» правиле есть исключения. Но как быть, если Т-ассоциаций известно множество?

Вывод был однозначен: звезды типа Т Тельца – очень молодые объекты. Об этом помимо прочего свидетельствуют их переменность и погруженность в газово-пылевые облака. Теоретические модели говорят о том же самом. По сути звезды типа Т Тельца – еще не звезды, а протозвезды, светящие за счет чего угодно, но только не ядерных реакций на

водороде. Для этого их недра еще недостаточно разогреты. Существует хорошо обоснованное предположение, что фуоры – это те же звезды типа Т Тельца, только находящиеся в активной фазе.

Итак, наступает момент, когда протозвезда превращается сначала в инфракрасный, а затем и в оптический источник. Правда, по какой-то причине протозвезды сильно напоминают красные гиганты – или даже желтые сверхгиганты, каковы фуоры. А почему, собственно, если светимость звезды и ее спектральный класс вроде бы однозначно определяются ее массой?

Так-то оно так, но лишь для тех звезд, в недрах которых идут ядерные реакции на водороде. И здесь придется сделать отступление.

С давних времен астрономами предпринималось попытки не только классифицировать звезды (скажем, по спектральному классу), но и выявить какие-либо связи между параметрами звезд. Например, зависимость «масса – светимость» оказалась практически линейной (в логарифмическом масштабе) – разумеется, с разбросом, вызванным отчасти «странностями» некоторых звезд, которые ведь не сходят с одного конвейера, а отчасти и неуверенным определением абсолютной звездной величины звезды[12], так как расстояние до звезд определяется, понятное дело, с некоторой погрешностью. В 1911–1914 годах датский астроном Э. Герцшпрунг составил диаграмму «цвет – звездная величина» для скоплений Плеяды и Гиады. Примерно тем же независимо занимался американский астроном Г. Рессел. В дальнейшем после кропотливейшей работы была составлена знаменитая диаграмма «спектр-светимость» (называемая также диаграммой Герцшпрунга – Рессела), без которой теперь обходится редкая книга по астрономии (рис. 15). Каждая точка на диаграмме – звезда.

[12] Абсолютной звездной величиной звезды (или любого другого излучающего объекта) называется та светимость, которую бы имела звезда, наблюдаемая с расстояния в 10 пк. – *Примеч. авт.*

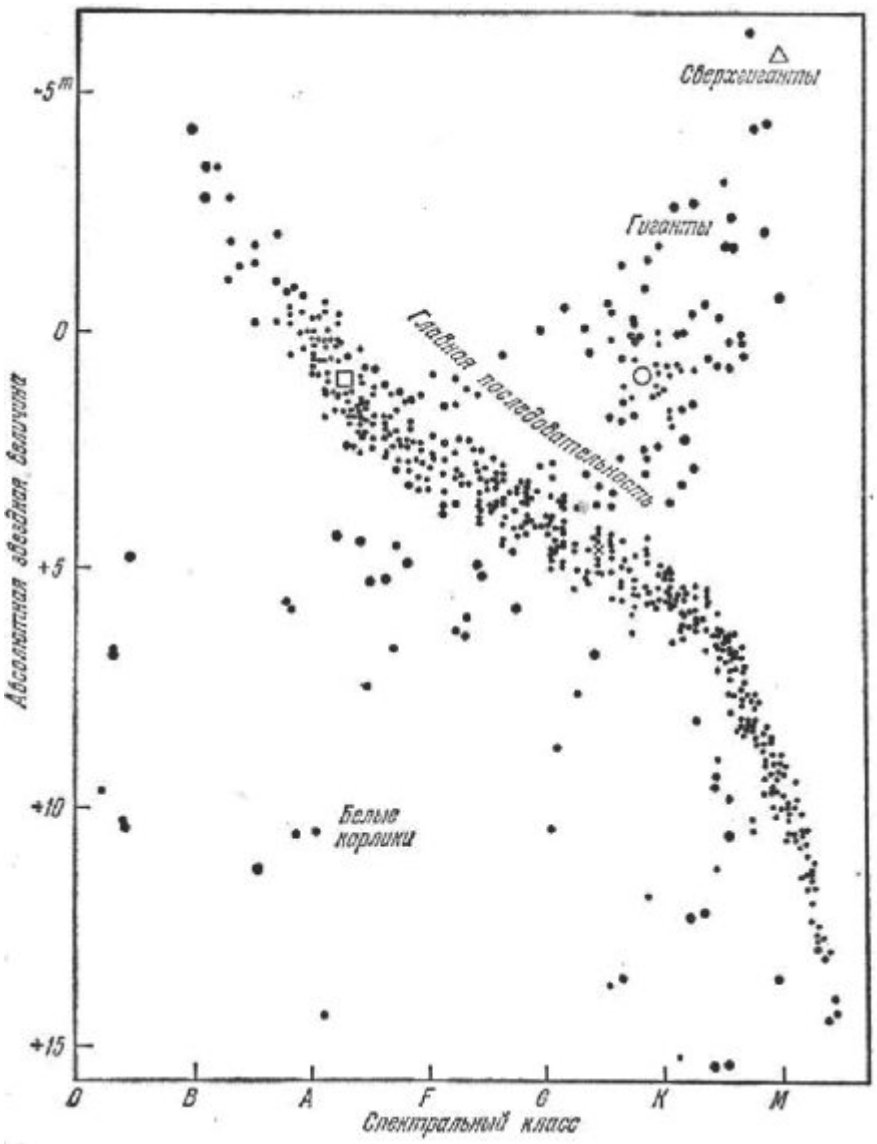

Рис. 15. Диаграмма Герцшпрунга – Рессела

Пусть читателя не вводит в заблуждение разница между понятиями «цвет» и «спектр». Никакой принципиальной разницы нет. И цвет, и спектр звезды определяется температурой ее излучающей поверхности, а указанная температура – прежде всего массой звезды. Кстати, показатель цвета звезды – вполне законная и легко измеряемая физическая величина. Так что если вам встретится диаграмма «цвет – светимость» или, что то же самое, «цвет – звездная величина», не смущайтесь – речь идет о той же самой диаграмме Герцшпрунга – Рессела, просто ось абсцисс проградуирована иначе.

При беглом взгляде на диаграмму бросается в глаза *главная последовательность* звезд на ней – изогнутая вроде человеческого позвоночника полоса из великого множества звезд. Оставляя в стороне подробности, скажу прямо: главная последовательность – обиталище звезд «второго поколения» (то есть обогащенных тяжелыми элементами), в которых идут ядерные реакции на водороде. Выше и правее положения Солнца на главной последовательности лежит область красных гигантов, в ядрах которых идут реакции на углероде. И сюда же, как ни странно, попадают звезды типа Т Тельца, то есть протозвезды. Впрочем, это происходит в полном соответствии с теоретическими моделями.

За счет чего светят протозвезды? Ведь их светимость порой в сотни раз выше, чем полагается при их массах?

Главным образом, за счет продолжающегося медленного сжатия. Потенциальная энергия слоев, лежащих выше, при их опускании просто-напросто переходит в тепловую энергию частиц. Но температура в ядре звезды типа Т Тельца еще недостаточна для «возгорания» водорода. Для протон-протонной реакции требуется температура хотя бы 4–5 млн К, а такой температуры в ядре еще нет. Правда, при меньших (порядка 1 млн К) температурах идут реакции на дейтерии и литии, но они не способны остановить сжатие. Дейтерия и лития просто мало. Типичный состав межзвездной среды, идущей на образование звезд, в нашу эпоху примерно таков: на 1000 атомов приходятся 900 атомов водорода, 90 атомов гелия и лишь 10 атомов других элементов. Где уж малочисленным атомам дейтерия и лития обеспечить энерговыделение, способное остановить сжатие протозвезды! Заметим в скобках, что лития в межзвездной среде в нашу эпоху гораздо меньше, чем было в догалактическую (но уже «вещественную») эру существования Вселенной. Мы помним, что вещество, из которого возникло Солнце (и, конечно, все звезды, формирующееся в наше время), имеет «вторичное происхождение», то есть в прошлом побывало (и не раз) в недрах звезд более ранних поколений. По этой причине лития в межзвездной среде в нашу эпоху очень мало. Дейтерия несколько больше, и именно он горит в ядре протозвезды, все равно, впрочем, не конкурируя по энерговыделению с процессом сжатия!

Между прочим, в середине XIX века великий Гельмгольц, не имевший, понятное дело, никакого представления о ядерных реакциях, предложил медленное сжатие как причину светимости Солнца. Гипотеза не прошла, так как предполагала чрезмерно большой (просто-напросто превышающий радиус орбиты Земли) радиус Солнца во вполне уже исследованные геологами эпохи, конкретно – в миоцене 18 млн лет назад. Понятно, что это не лезло ни в какие ворота. Однако для протозвезд теория Гельмгольца оказалась верной.

На рис. 16 показаны теоретические эволюционные треки для протозвезд разной массы. Звезды солнечной массы дрейфуют влево-вниз, пока не «наткнутся» на главную последовательность; массивные протозвезды дрейфуют влево, практически не меняя своей высокой светимости, а маломассивные протозвезды резко «ныряют» вниз, пока опять-таки не упрутся в главную последовательность и не займут на ней свое, определяемое прежде всего массой место.

Слово «резко» в отношении маломассивных протозвезд употреблено в том смысле, что их трек крутой, а не в том, что процесс превращения маломассивной протозвезды в красный карлик главной последовательности проходит быстро. Как раз наоборот: чем массивнее протозвезда, тем скорее она «садится» на главную последовательность, причем зависимость здесь резко нелинейная. Например, для протозвезды солнечной массы это время составляет около 50 млн лет, для протозвезды вдвое меньшей массы – уже 155 млн лет, а протозвезда с массой в 15 солнечных масс станет нормальной звездой всего-навсего за 60 тысяч лет.

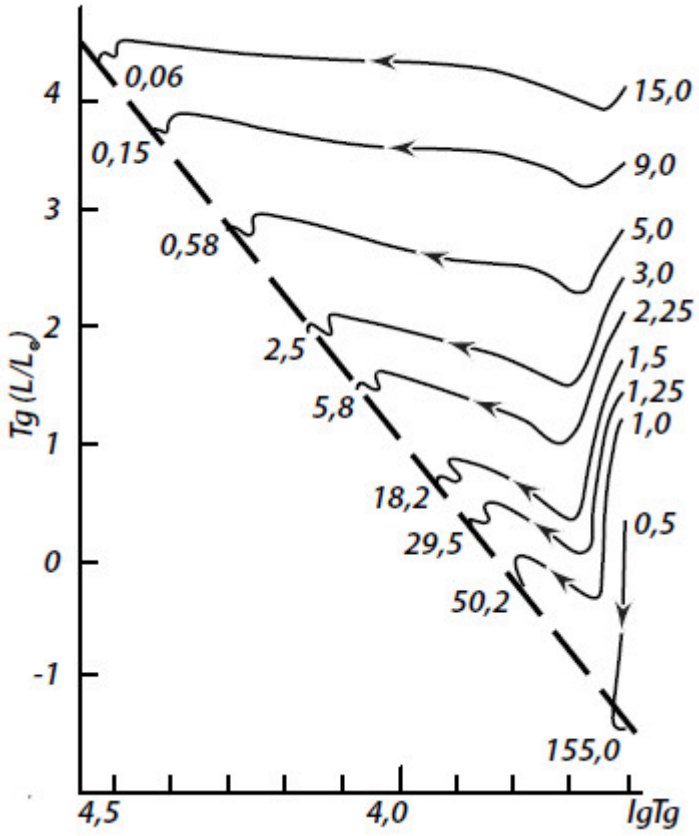

Рис. 16. Эволюционные треки протозвезд разной массы

Маломассивные протозвезды остаются полностью конвективными вплоть до главной последовательности; у звезд солнечной массы еще до достижения главной последовательности развивается лучистое ядро, причем это происходит тем раньше, чем протозвезда массивнее. Газ в лучистом ядре очень горяч, полностью ионизован и практически беспрепятственно пропускает излучение. Ядро Солнца остается лучистым и поныне.

Расчеты показывают, что протозвезда солнечной массы, недавно «севшая» на главную последовательность, будет несколько отличаться от привычного нам Солнца. Ее эффективная температура составит 5800 К (что близко к современному значению эффективной температуры Солнца), но светимость очень молодой звезды будет ниже: около 0,7 нынешней светимости Солнца. В дальнейшем по мере «выгорания» водорода звезда эволюционирует *поперек* главной последовательности (а не вдоль, как поначалу предполагали астрономы), очень медленно пробираясь от нижнего края полосы главной последовательности к верхнему, – пока наконец не покинет главную последовательность, устремившись в область красных гигантов, как раз туда, где прошло ее «детство». Радует то, что с Солнцем это произойдет еще очень не скоро…

3. Рождение планет. Немного о Земле

Звезда без «свиты» – просто звезда, и о какой бы то ни было системе здесь говорить не приходится. Систему для одиночной звезды образуют она сама и обращающиеся вокруг нее тела. Естественно, людей издревле интересовала прежде всего Земля: как и почему она появилась, как устроена и чего от нее ждать в будущем. В высшей степени примечательно то, что в большинстве религий Земля не существовала вечно (на худой конец, была «пуста и безвидна»), – вечным был лишь Хаос (по мнению древних греков – не беспорядочная путаница, а безграничная унылая пустота), из которого сознательным усилием того или иного бога и было построено все мироздание. Как ни хочется обрисовать здесь верования древних, вышутив их и проиллюстрировав, например, рисунками Жана Эффеля, я этого делать не стану, и вовсе не из какого-то повышенного уважения к адептам той или иной религии. Наоборот, уважения прежде всего достойна работа человеческой мысли, направленная на объекты, лежащие вне сферы материального благополучия, и создавшая первые, пусть наивные картины мира.

Никакая научно-популярная книга о космогонии (рождении Солнечной системы) не обходится без упоминания о космогонической гипотезе Канта – Лапласа. Строго говоря, немецкий философ Кант и французский астроном Лаплас независимо друг от друга выдвинули гипотезу о конденсации Солнца из межзвездной среды. Правда, предположения Канта и Лапласа расходились в некоторых «мелочах»: Кант считал исходную туманность пылевой и холодной, тогда как Лаплас – газовой и горячей, притом быстро вращающейся. (Как мы теперь знаем, неправы были оба.) По Лапласу, туманность, сжимаясь под действием собственной гравитации, вращалась все быстрее и быстрее, и в конце концов под действием центробежной силы от ее экватора начали отделяться кольца, каковые в конце концов сконденсировались в планеты. Таким образом, планеты образовались раньше Солнца (в гипотезе Канта – наоборот).

Несмотря на все различия, в обеих гипотезах есть фундаментальное сходство: Солнечная система возникла в результате закономерного развития туманности – потому эта концепция и называется гипотезой Канта – Лапласа.

Шаг вперед по сравнению с наивными представлениями древности? Конечно. Громадный шаг. Но уже через несколько десятилетий стало ясно, что эта гипотеза скорее всего «не проходит» и если верна, то лишь в самой основе. Дело в том, что основной момент количества движения в Солнечной системе сосредоточен в движении планет, чего никак не может быть при отделении колец от вращающегося облака. Солнце, надо сказать, вращается довольно медленно (особенно по сравнению с горячими звездами главной последовательности), имея экваториальную скорость вращения около 2 км/с, и его момент количества движения невелик. Если взять суммарный момент количества движения планет (включая Плутон, который уже не считается планетой, но об этом ниже), то выйдет, что 98 % момента количества движения сосредоточено в орбитальном движении планет, в первую очередь Юпитера и Сатурна, и лишь жалкие *2 %* приходятся на долю Солнца. И это при том, что масса Солнца составляет аж 99,87 % массы Солнечной системы! Если оставаться на позициях Лапласа, то такого распределения момента «не может быть, потому что этого не может быть никогда». Однако наблюдаемые факты и строгие расчеты – вещь упрямая, и с ними волей-неволей приходится считаться.

Разумеется, астрономами и физиками предпринимались всевозможные ухищрения, чтобы спасти гипотезу Канта – Лапласа, прежде всего – измышлялись новые сценарии рождения Солнечной системы и новые начальные условия. Так, например, космогоническая гипотеза О.Ю. Шмидта, предложенная им в 1944 году, постулировала следующее: уже сфор-

мировавшееся (может быть, давно) Солнце, проходя в своем движении по Галактике сквозь плотное газово-пылевое облако, захватило в «гравитационный плен» часть его материи, из которой впоследствии образовались планеты. Трудностей с моментом количества движения здесь не возникает, ведь первоначальный момент облака мог быть сколь угодно большим. Эта гипотеза продержалась свыше 20 лет и была доработана и улучшена английским космогонистом Литтлтоном.

Но есть в гипотезе Шмидта одно нехорошее качество: предполагается, что планетная система у звезды – скорее исключение, чем правило. Не каждой ведь звезде «повезло» в течение своей жизни пролететь сквозь подходящее облако. В этом смысле гипотеза Шмидта не так уж привлекательнее космогонической гипотезы Джинса.

Джеймс Джинс, замечательный английский физик, создавший, например, теорию газовых конденсаций (см. выше), предложил свою знаменитую космогоническую гипотезу, сильно будоражившую астрономов и физиков в первой трети XX века. В том, что само Солнце образовалось путем конденсации межзвездной материи, Джинс не сомневался, но планеты, согласно его гипотезе, образовались иначе – в результате тесного сближения (почти столкновения) Солнца с другой звездой. При этом на поверхности Солнца образовалась громадная приливная волна, которая под действием притяжения другой звезды превратилась в струю вещества, оторвавшуюся от Солнца, но не последовавшую за «чужой» звездой, а сконденсировавшуюся в планеты Солнечной системы. Гипотеза Джинса была «экзотической» с самого начала: ведь получалось, что планетные системы в Галактике можно буквально пересчитать по пальцам одной руки, так как случайные тесные сближения звезд вне галактического ядра – явление исключительно редкое. С другой стороны, гипотеза Джинса довольно непринужденно объясняла, почему наиболее массивные планеты – Юпитер и Сатурн – находятся не близко к Солнцу и не далеко, а где-то посередине. Струя вырванного из Солнца вещества, по мысли Джинса, имела веретенообразную форму, то есть была наиболее толстой посередине, утончаясь к краям. Следовательно, если где-то и могли возникнуть планеты-гиганты, то прежде всего посередине струи на средних расстояниях от Солнца. Просто и элегантно!

Увы. Сначала расчеты показали, что планеты, образовавшиеся таким образом, будут иметь очень эксцентричные (резко эллиптические) и притом близкие к Солнцу орбиты, чего не наблюдается. В дальнейшем было вычислено, что никаких планет из вырванной струи вообще не получится – они просто не смогут сконденсироваться. Кстати, гипотеза Джинса также оказалась не в состоянии объяснить, почему основная часть момента количества движения в Солнечной системе сосредоточена в планетах, а не в центральном светиле.

Предпринимались попытки модифицировать гипотезу Джинса, избавив ее от присущих ей недостатков. Например, предлагался сценарий тесного сближения Солнца не со звездой, а с протозвездой – рыхлым объектом небольшой (но звездной) массы. В этом случае струя вещества отрывалась уже от протозвезды и могла иметь весьма большой момент количества движения. По сути эта модификация – «мостик» между гипотезами Джинса и Шмидта.

Все равно, однако, оставалась одна, но существенная «неприятность»: выходило, что планетных систем в Галактике очень мало (одна на 100 тыс. звезд), в то время как данные наблюдений говорили скорее об обратном. Еще полвека назад американские астрономы Абт и Леви выполнили тщательное исследование 123 ближайших к нам звезд солнечного типа. Обнаружилось следующее: из 123 звезд 57 оказались двойными, и – тройными и 3 – четверными. С имеющейся на тот момент аппаратурой Абт и Леви не смогли выявить маломассивные компоненты кратных систем, каковыми компонентами могут быть тусклые красные карлики, коричневые карлики и… планеты. Кривые экстраполяции построенных графиков

не говорили прямо, но намекали: практически все звезды солнечного типа должны либо входить в состав кратных систем, либо иметь планеты, либо и то и другое.

Уже эти – по сути чисто предварительные – исследования заколотили очередной гвоздь в крышку гроба гипотезы Джинса.

А как вообще можно установить наличие невидимого спутника у какой-либо звезды?

Тремя методами. Первый, блистательно сработавший, например, при открытии спутника Сириуса, основан на точных измерениях движения звезды. Если окажется, что траектория звезды хотя бы слегка волнообразна, это означает, что вокруг звезды обращается спутник (или спутники). И хотя траектория движения Сириуса очень заметно волнообразна, поскольку его спутник – белый карлик нормальной звездной массы, а от притяжения планет следует ждать в сотни раз меньшего возмущения, метод остается актуальным и поныне.

Второй метод основан на периодическом доплеровском смещении спектральных линий звезды, возникающих из-за движения звезды вокруг общего с невидимым спутником центра масс. Радиальная составляющая скорости звезды при этом периодически меняется на весьма незначительную величину, которую в ряде случаев все-таки можно измерить. Именно так было открыто некоторое количество *экзопланет* (планет, обращающихся вокруг других звезд).

Суть третьего метода – наблюдать периодические, крайне незначительные уменьшения блеска звезды при прохождении планеты на его фоне. К сожалению, этот метод работает лишь в том случае, если плоскость орбиты планеты ориентирована так, мы можем наблюдать периодические «затмения» части звездного диска планетой. Однако и этот метод подходит для открытия экзопланет, что и подтверждает практика.

К настоящему времени открыты уже многие сотни экзопланет. Их открытие превратилось в своего рода спорт – кто больше? Как бы ни были интересны результаты «спортивных состязаний», оставим их в покое и вообще отложим пока разговор об экзопланетах. Сейчас для нас важно лишь одно: Солнечная система далеко (и очень далеко) не уникальна, планетные системы у звезд широко распространены, если не повсеместны.

В последнее время теоретиками разработано немало моделей формирования звезд с планетными системами; нет смысла подробно освещать их. Ясно лишь, что классическая модель Хаяши – Накано при всех ее достоинствах все же очень приблизительна: в ней не учитываются вращение звезды, вихревые движения, магнитные поля, изначальная неоднородность вещества протозвездного облака по плотности и температуре и т. д. Этого недостатка лишены более поздние теоретические конструкции. Например, в модели Ларсона (1969 год), построенной для изначально неоднородного протозвездного облака солнечной массы, очень быстро образуется непрозрачное для инфракрасного излучения ядро, а скорость падения на него вещества получается порядка 15 км/с, что гораздо выше, чем в модели Хаяши – Накано. Созданы модели гравитационного сжатия несферического облака (например, цилиндрического), в некоторых моделях учтено влияние магнитного поля и т. п.

Любопытно, что результат моделирования оказался сильно зависящим от принятого численного метода расчетов, так что теоретикам пришлось потратить немало времени на их сверку. Менее удивительно то, что результат оказался весьма сильно зависящим от принятых начальных условий. Скажем, при одних начальных условиях вокруг протозвезды образовывался газовопылевой диск, а при других – тор («бублик»). Это говорит о том, что и в реальности скорее всего реализуются самые разные сценарии.

Протопланетные диски (или нечто трактуемое как диски) действительно обнаружены у ряда молодых звезд. (Первый диск был обнаружен методами инфракрасной астрономии около Веги. В дальнейшем пылевой диск радиусом около 200 а.е. был обнаружен у Фомальгаута; нечто похожее также найдено у других звезд.) Вращающееся вокруг протозвезды вещество приобретает сплюснутую форму под действием тех же неупругих столк-

новений между частицами, о которых (столкновениях) говорилось в первой главе. Разница между сплющиванием вращающейся «заготовки» галактики и вращающегося протопланетного облака заключена лишь в масштабах. Первые же попытки трехмерного моделирования показали, что протопланетный диск (или тор, все равно) неизбежно будет фрагментировать. Между прочим, в пылевом диске Веги найден сгусток – возможно, формирующаяся планета-гигант.

Совсем не исключено и даже вероятно, что во вращающемся и постепенно сплющивающемся диске (ладно, пусть будет диск) возникнет нечто напоминающее спиральные рукава. Вряд ли их возникновению может помешать мощное излучение центрального светила – протозвезды. Скорее это излучение будет «обжимать» имеющиеся в диске неоднородности и ускорит фрагментирование. (В очень молодых галактиках по сути та же картина: мощнейшее излучение «центрального монстра», куда падает имеющееся в избытке диффузное вещество, подпитывая источник излучения, несомненно, вмешивается в процесс образования спиральных рукавов и их фрагментации.) И пусть нам пока не известны многие детали процессов, приводящих к образованию планет, зато понятно главное: процесс распада протопланетного диска на фрагменты есть процесс естественный и закономерный. Главное, чтобы протопланетный диск вообще имелся в наличии.

Похоже, что он есть в наличии всегда, несмотря на мощное излучение протозвезды и «звездный ветер», состоящий преимущественно из электронов и протонов. Какая-то часть около-звездного вещества непременно будет рассеяна действием этих факторов – но не вся. Но может ли случиться так, что все вещество протозвездной туманности сконцентрируется в протозвезде и на протопланетный диск просто не останется газа и пыли?

Теоретические модели, особенно учитывающие первичную неоднородность облака, однозначно говорят: не может. Протозвезда *всегда* загорается раньше, чем на нее упадет вещество с периферии. С особенной силой это касается массивных и сверх-массивных протозвезд. Как мы уже знаем, такие протозвезды всегда окружены плотными «коконами» газово-пылевой материи и потому не наблюдаемы как оптические источники. Чем массивнее звезда, тем раньше у нее образуется лучистое ядро, тем мощнее оно излучает и тем раньше излучение останавливает *аккрецию* (оседание) вещества на ядро. Расчеты показывают, что из протозвездного облака с массой 150 солнечных масс получится в лучшем случае звезда с массой в 65 солнечных, а остальное вещество останется в «коконе», который со временем будет рассеян в пространстве совместным действием излучения и «звездного ветра».

Но не весь! Возле протозвезды, массивная она или нет, останется протопланетный диск, и в нем одновременно с образованием «зародышей» планет (планетезималей) пойдут процессы дифференциации вещества. Легкие элементы будут вытолкнуты подальше от протозвезды, тяжелые останутся. Во всяком случае, необычно большая средняя плотность Меркурия и отсутствие на Венере воды могут быть объяснены именно действием излучения Протосолнца, минимум в сто раз более мощным, чем современное. Так же непринужденно объясняется тот факт, что тела дальней периферии Солнечной системы состоят преимущественно из льдов (вымороженных газов).

Так или иначе, еще до момента «посадки» Солнца на главную последовательность диаграммы Герцшпрунга – Рессела вокруг него уже обращалось некоторое (причем, по-видимому, довольно значительное) количество планетезималей. Их орбиты были расположены хаотично, что, естественно, приводило к столкновениям. При этом планетезимали росли по массе, уменьшаясь в числе. Материал, выброшенный при столкновениях, впоследствии захватывался той же или иной планетезималью. Прошло относительно немного (естественно, по космогоническим меркам) времени – и «остались сильнейшие»: образовалась семья планет с орбитами, исключающими возможность их столкновения друг с другом. (Кроме пояса астероидов, о нем речь пойдет ниже.)

Что такое «солнечный ветер», знают более или менее все. Полезно сказать еще раз: под его действием (совместно с давлением света) еще на допланетной стадии происходила дифференциация вещества в протопланетном диске. Надо учесть, что «протосолнечный ветер», а также излучение Протосолнца были гораздо сильнее, чем в наше время. Не следует удивляться тому, что средняя плотность планет в целом падает по мере удаления от Солнца. Наибольшая она у Меркурия: 5,43 г/см^3; наименьшая – у Сатурна: 0,70 г/см^3. Впрочем, газовые планеты – это отдельная песня. Лучше сравнивать твердые тела с твердыми телами. Так вот, средняя плотность Плутона составляет 1,1 г/см^3. Примерно такова же плотность трансплутоновых тел. Это означает, что они состоят из смеси каменных пород и льдов с преобладанием последних. Заметную долю составляет наш обычный водяной лед.

На Меркурии и Венере практически нет воды. На Земле ее много, на Марсе – заметно меньше, зато три из четырех галилеевых спутников Юпитера покрыты толстой ледяной корой, состоящей преимущественно из водяного льда; то же можно сказать и о спутниках Сатурна, Урана, Нептуна. Вообще чем дальше от Солнца, тем больше водяного льда. Может быть, в протосолнечную эпоху граница удержания воды проходила где-то между орбитами Земли и Венеры?

Так или иначе, начальное распределение плотности вещества в протопланетном диске и излучение (волновое и корпускулярное) Протосолнца привели к образованию двух классов планет: внутренних и внешних. Первые – твердые тела, окруженные сравнительно тонкими атмосферами. Вторые – пухлые газовые гиганты, имеющие, согласно расчетам, твердые ядра, но состоящие преимущественно из газа практически первичного состава. Орбиты планетезималей, по-видимому, с самого начала не были очень уж эксцентрическими – за исключением тех «невезучих» тел, чье существование давно оборвалось при столкновениях. В этой связи интересно поговорить о происхождении Луны.

Считается, что Луна младше Земли. Разница в их возрасте оценивается (довольно неуверенно) в 60 тысяч лет. Строго говоря, Протолуна, имея массу в десятки раз меньше массы Протоземли, а значит, будучи значительно менее глубокой гравитационной «ямой», и должна была эволюционировать медленнее, а потому гипотеза о раздельном возникновении Земли и ее естественного спутника не опровергнута. Однако в последнее время в научно-популярных книгах и фильмах пропагандируется другая гипотеза: Луна есть не что иное, как тело, сконденсировавшееся из вещества, выбитого из Земли ударом. В рамках этой гипотезы предполагается, что очень молодая Земля испытала столкновение с космическим телом размером примерно с Марс.

Строго говоря, ничего удивительного в таком столкновении быть не может. Скорее всего где-то около современной орбиты Земли первоначально возникло несколько планетезималей. Эти тела, состоящие из пыли, «сползшей» в гравитационные «ямы» первичных неоднородностей в протопланетном диске, должны были сталкиваться. При этом скорость соударения вряд ли была очень высокой, поскольку планетезимали двигались по близким орбитам. Во всяком случае, значительная часть вещества после соударения не выбрасывалась в пространство, а шла на наращивание массы протопланеты. Иное дело, когда вместо соударения тел с характерным поперечником 1000 км в молодую Землю, уже имевшую почти современную массу, врезается тело размером с Марс! При этом должно выброситься довольно много вещества, которое, однако, не приобретет параболической («второй космической») скорости и не покинет Землю навсегда. Расплавленное при ударе вещество останется на околоземной орбите и со временем соберется в единое тело – молодую Луну.

Первоначально ее орбита будет сравнительно низкой – что-нибудь около 20–30 тыс. км от Земли. Однако со временем под действием приливных сил Луна будет мало-помалу выходить на все более высокую орбиту (при этом вращение Земли будет замедляться), пока наконец не отдалится аж на современные 384 тыс. км.

Реалистичен ли такой сценарий? Вполне. Однако надо подчеркнуть: речь идет о *гипотезе,* не проверенной (да и проверяемой ли в принципе?) и пока не ставшей общепризнанной теорией. Как бы ни любили СМИ разнообразные сенсации, в том числе научные, разумному читателю/зрителю следует соблюдать осторожность. Мы еще поговорим о научных сенсациях, уже ставших в массовом сознании чем-то вроде непреложной истины, несмотря на скепсис ученых.

Читатель хочет *знать* – и это его право. Наука же, к сожалению, не может снабдить его исчерпывающими ответами на все вопросы, которых становится тем больше, чем активнее наука продвигается вперед. Это нормально. Таково уж свойство человеческого интеллекта, остающееся таким даже в нашу эпоху прогрессирующей деинтеллектуализации обывателя. Не винить же ту любопытную обезьяну, от которой произошел человек, в том, что свою любознательность она передала потомкам!

Приходится признать, что многого мы еще не знаем и, возможно, узнаем не скоро. Кому невтерпеж, тот может самостоятельно измыслить те или иные теоретические концепции (несть числа самодеятельным космогонистам и опровергателям теории относительности) или, допустим, поискать рациональное зерно в астрологии – пожалуйста! Но эта книга о другом.

Вернемся, однако, к Земле. Мы знаем ее достаточно хорошо, чтобы на ее основе понять закономерности процесса формирования и эволюции планет земной группы, – отличия же других планет от Земли будут носить характер поправок. Прежде всего: была ли Земля изначально холодной – или расплавленной?

Эта дилемма волновала ученых долгое время. Согласно теории Лапласа планеты формировались из холодного пылевого облака и были изначально холодными, согласно теории Джинса – наоборот. Температура земных недр составляет в настоящее время примерно 1200 °С; вулканическая лава и газы фумарол практически никогда не нагреты свыше 1100 °С. Из этого следует, что недра Земли находятся преимущественно в твердом состоянии. Но было ли так всегда?

Расчеты показывают: да, было. Разумеется, конденсация пыли в планетезималь неизбежно сопровождалась нагревом, да и столкновения между планетезималями неминуемо высвобождали массу тепловой энергии, однако в настоящее время считается, что Земля никогда не была полностью расплавленной. Не была она, впрочем, и «космически холодной» – просто по закону сохранения энергии. Земля никак не могла излучить в пространство всю тепловую энергию, выделявшуюся сначала при осаждении на нее космической пыли, а затем при начавшемся процессе гравитационной дифференциации вещества.

Гравитационная дифференциация – что это за зверь? По сути это вульгарное «тяжелое – тонет, легкое – всплывает», известное каждому на примере хотя бы воды и льда. Средняя плотность Земли составляет 5,515 г/см^3, тогда как средняя плотность земной коры – всего лишь около 2,5 г/см^3. Плотность вещества мантии несколько выше, порядка 3,5 г/см^3, но все равно далеко не достигает средней плотности Земли. Отсюда сразу следует высокая плотность земного ядра – не менее 8 г/см^3. Невозможно предположить, чтобы такая разница в плотностях внутренних и наружных слоев планеты существовала изначально. Следовательно, тяжелые породы опускались на глубину, а легкие – всплывали. Процесс этот продолжается и поныне.

Здесь придется сделать отступление. Как известно, во время Первой мировой войны немцы бомбили Лондон с цепеллинов. Последние, будучи наполнены водородом, сравнительно легко уничтожались даже такими примитивными средствами ПВО, какие существовали в то время. Но однажды случился удивительный казус: цепеллин, пробитый во многих

местах и теряющий высоту, упорно не желал гореть, как его предшественники. Впоследствии выяснилось: его баллоны были наполнены гелием.

По нынешним временам, гелий – банальность, но тогда это было не так. Впервые гелий был открыт на Солнце спектроскопическими методами. Считалось, что на Земле его столь мало, что не стоит и возиться с его добычей. Немцы, однако, показали, что это не так.

Откуда же берется земной гелий? В составе «солнечного ветра» содержатся – в виде ионов – гелий-3 и гелий-4. От того-то в лунном реголите немало гелия, нанесенного туда за миллиарды лет. На Земле, однако, этот механизм не работает, поскольку Земля имеет достаточно мощную магнитосферу, защищающую поверхность планеты от солнечных заряженных частиц. Лишь иногда при особо мощных солнечных выбросах некоторой части заряженных частиц, отклоненных магнитным полем Земли к полюсам, удается проникать в атмосферу и вызывать свечение атомов, известное как полярные сияния. В норме, однако, этого нет, и так невозможно объяснить существование земного гелия. Не может он иметь и первичное происхождение, так как весь первичный гелий давно *диссипировал* (улетучился) в космическое пространство. Следовательно, земной гелий образовался на месте.

Каким образом? В 1896 году А. Беккерель открыл радиоактивность. Смысл этого типа ядерных реакций состоит в перекомбинациях протонов и нейтронов в атомном ядре, в результате чего образуются новые элементы и выделяется большое количество тепла. В появлении земного гелия «повинен» главным образом торий. Его альфа-распад приводит к постепенному накоплению гелия. Выделяющееся при подобных реакциях тепло какое-то время считалось главной причиной высокой температуры земных недр. Немцы добыли гелий для своего несгораемого цепеллина, прокаливая монацитовый песок, который привозили из колоний на судах под видом балласта. Монацит – минерал класса фосфатов, содержащий торий. Под действием нагрева из микротрещин в песчинках выделялось какое-то количество гелия.

Но оставим в покое немцев и их цепеллины. Существуют ли на земле другие реакции с выделением тепла? Конечно. Например, оба изотопа урана, распространенные на Земле, нестабильны. Однако наибольшее тепловыделение происходит при бета-распаде калия-40 – просто потому, что на Земле гораздо больше калия, чем тория, урана и некоторых других нестабильных изотопов. Калий-40 спонтанно превращается в аргон-40, который остается в породе (на этом основан калий-аргоновый метод определения возраста породы). Но можно ли считать радиоактивный распад калия-40 главной причиной высокой температуры земных недр? Какое-то время считалось, что да, можно. Теперь ясно, что эта причина – второстепенная. Распад радиоактивных элементов в настоящее время обеспечивает лишь 15 % нагрева, а 85 % приходится на нагрев вследствие гравитационной дифференциации недр планеты. Лишь в архее и раннем протерозое распад калия-40 мог конкурировать по энерговыделению с гравитационной дифференциацией. Теперь же калия-40 в земных недрах осталось гораздо меньше, чем в те времена.

Не забудем о «железном пике». В состав вещества, формировавшего планеты Солнечной системы, входило немало железа. При плотности 7,8 г/см^3 железо, даже будучи окисленным, все равно имеет плотность, превосходящую среднюю плотность пород земной коры. Но первичная атмосфера Земли была *восстановительной,* а не окислительной, как сейчас. Следовательно, железо на очень молодой Земле присутствовало в металлическом виде и медленно «тонуло» в мантии, устремляясь к центру планеты и формируя земное ядро. Причина энерговыделения при этом процессе следует из школьной физики: потенциальная энергия превращается в тепловую.

Выше было сказано, что вещество значительной части Земли пребывает в твердом состоянии. Это так, однако при огромных давлениях земных недр оно ведет себя как чрезвычайно вязкая жидкость, что в полной мере проявляется лишь на больших промежутках вре-

мени. Можно привести аналогию (честное слово, не знаю, вполне ли корректную) с выплавкой меди в примитивных сыродутных печах. Процесс этот, освоенный на Ближнем Востоке на рубеже VII–VI тысячелетий до н. э., заключается в том, что великолепную местную руду, являвшуюся по сути почти чистым окислом меди, перекладывали слоями с дробленым углем в чреве простейшей печи, собранной из камней, скрепленных глиной. При небольших размерах поддувала и полном отсутствии дымовой трубы уголь окислялся не до углекислого, а лишь до угарного газа, являющегося мощным восстановителем. Но нас должен интересовать не примитивный (школьный) химизм реакции, а температура внутри печи.

Так вот: она находилась в пределах 800–900 °С, что и подтвердили современные опыты с реконструированными сыродутными печами. Но как же так? Ведь температура плавления меди равна 1083 °С! Выходит, медь в печи не доводилась до расплавленного состояния?

Так и выходит. Плавка и выплавка – это разные слова. Под действием восстановителя медь «отпотевала» из окисла, после чего, находясь в пастообразном состоянии, медленно, каплями, просачивалась на дно печи, где и накапливалась в глиняном поддоне.

Примерно так железо вместе растворенными в нем другими металлами опускалось в ядро планеты. Характерная скорость такого рода движения – несколько сантиметров в год – видна из движения материков.

Позвольте, но при чем тут материки? Опять-таки мне придется сделать некоторое отступление.

В 1912 году А. Вегенер, обратив внимание на сходство береговой линии Африки и Южной Америки, предложил теорию дрейфа континентов. Согласно ей, существовавший некогда единый гигантский материк Пангея раскололся на блоки – сначала на Гондвану и Лавразию, разделенные морем Тетис, а затем и на более мелкие блоки – современные материки. В те времена было, разумеется, невозможно измерить скорость движения материков непосредственно, и геофизики, привыкшие иметь дело с синклиналями, антиклиналями и медленными вертикальными движениями земной коры, приняли идею Вегенера в штыки.

Материки движутся, ползут? А почему, собственно? Как могут одни горные породы скользить по другим? Вы пробовали волочить бетонную плиту по асфальту? Получается примерно то же самое. Не видно вещества, готового сыграть роль «смазки», и не видно сил, способных обеспечить движение.

Позднее, однако, накопилось немало фактов, говорящих о единстве материков в прошлом (следы гондванского оледенения на юге Африки и в Индии, идентичность ископаемой флоры и фауны на материках, разделенных ныне океанами). Введением гипотетических сухопутных «мостов» (впоследствии затонувших) между материками задача не решалась. Пришлось все-таки измышлять способы скольжения материков по твердой подстилке, и задача, как легко понять, была далека от решения, поскольку невозможно решить задачу, которая решения не имеет. Позиции «фиксистов», отрицавших возможность дрейфа материков, оставались как бы не более прочными, чем позиции «мобилистов», постулировавших такой дрейф.

Спор в основном решился в 60-е годы XX века, когда было понято: материки не скользят по твердой поверхности, а движутся вместе с земной корой, нарастающей в области срединноокеанических хребтов и «ныряющей» в мантию в глубоководных желобах. Главное доказательство добыли морские геологи, открывшие на дне океанов полосовые магнитные аномалии. Что это такое?

Земля, как известно, намагничена. При этом магнитные полюса планеты через неравные промежутки времени меняются местами. Магнитное поле ослабевает, затем ненадолго исчезает совсем, после чего вновь усиливается, только северный магнитный полюс теперь становится южным, и наоборот. Горячая лава не имеет магнитных свойств, но, как только остывает ниже точки Кюри, сразу намагничивается геомагнитным полем. Исследуя намаг-

ниченность океанского дна (кстати, это можно делать с поверхности океана), ученые сразу же натолкнулись на чередующиеся полосы «правильной» (то есть соответствующей современной полярности геомагнитного поля) и обратной намагниченности горных пород океанского дна. А возраст донных пород, определенный калий-аргоновым методом, оказался наименьшим близ срединно-океанических хребтов и монотонно возрастающим по мере удаления от них. На дне океанов вообще нет коры более древней, чем юрская (порядка 180 млн лет).

Объяснить это можно только одним способом: материки действительно дрейфуют за счет разрастания морского дна в зонах срединно-океанических хребтов. В глубоководных желобах океаническая кора, напротив, «ныряет» в мантию, где производит глубокофокусные (с гипоцентром на глубинах до 600–700 км) землетрясения, весьма ощутимые на больших площадях (чего не скажешь о мелкофокусных землетрясениях, подчас разрушительных, но затрагивающих лишь небольшие участки земной коры). Причина глубокофокусных землетрясений – внезапный и резкий отлом части плиты, изогнутой при погружении.

Далее куски плиты, увлекаемые мантийной конвекцией к земному ядру, погружаются все глубже, мало-помалу размягчаясь, и в конце концов отдают ядру если не все содержащееся в них железо, то по меньшей мере его часть. Лишь материки относительно стабильны и сохраняют в себе железо, которого в них, впрочем, немного по сравнению с ядром – именно поэтому материки «легкие» и «плавают», а океаническая кора в зонах субдукции (погружения) «ныряет» под них, а не наоборот, что было бы весьма печально.

Окончательно убедить наиболее упорных «фиксистов» удалось лишь прямыми измерениями скорости дрейфа материков. В наше время это совсем не проблема. Оказалось, что обе Америки удаляются от Старого Света со скоростью в среднем 4 сантиметра в год (измерения в разных точках дают величины от 3 до 7 сантиметров в год). Активнее всего – порядка 12 см в год – нарастает морское дно вокруг подводного рифта, расположенного в Тихом океане несколько южнее экватора. Есть и «ленивые» рифты, разрастающиеся со скоростью не более 1 см в год.

Итак, основная причина высокой температуры земных недр и мантийной конвекции – гравитационная дифференциация вещества. Считается, что на Земле этот процесс в основном закончится примерно через 1,5 млрд лет, после чего наша планета успокоится – не будет ни мантийной конвекции вещества, ни землетрясений, ни вулканизма. Но можно ли утверждать, что гравитационная дифференциация вещества идет только на Земле?

Ни в коем случае. Вне всякого сомнения, то же самое происходит (либо происходило в прошлом) на всех планетах земной группы, а также на крупных спутниках планет. К сожалению, это пока нельзя измерить непосредственно. Однако шарообразность практически всех космических тел, чей поперечник превышает 250–300 км, есть факт, а как под действием сил собственного тяготения может возникнуть шарообразность тела, если не через нагрев и размягчение его недр?

Тех, кого не убедил этот аргумент, я приглашаю взглянуть на метеориты. В Минералогическом музее РАН в Москве есть очень неплохая их коллекция. Известно, что примерно три четверти всех найденных метеоритов имеют железный или железо-каменный состав. Среди железо-каменных метеоритов выделяются хондриты – железные «капли» в силикатной основе. Особенно красивыми бывают *палласиты,* названные так в честь характерного их представителя – метеорита «Палласово железо». В палласитах «капли» железа заключены в желтоватозеленый оливин. Как могли произойти такие метеориты?

Точно так же, как все метеориты вообще, – путем дробления крупного космического тела, в котором уже вовсю шли (но были еще далеко не закончены) процессы гравитационной дифференциации вещества. Если заглянуть в мантию Земли непросто, то исследовать мантийные фрагменты давно погибшего планетоида, выпавшие на Землю в виде метеори-

тов, можно очень легко. И вид их убеждает лучше любых слов: все планеты земной группы и крупные спутники достаточно горячи внутри и имеют железные ядра.

Чисто железные метеориты – как раз фрагменты этих ядер. На рис. 17 представлена фотография крупного железного метеорита Богуславка, расколовшегося при падении. Обращает на себя внимание то, что метеорит раскололся по спайности, то есть он представляет собой огромный – более метра в поперечнике – шестигранный кристалл железа. Таких чудес наша технологическая цивилизация породить не способна. Кристаллики железа в тех железных и стальных вещах, которыми мы пользуемся в быту и промышленности, крохотные, микронных и субмикронных размеров. В обыкновенном куске железа эти кристаллики соседствуют друг с другом, а пространство между ними заполнено аморфным железом. Для того чтобы вырос метровый железный монокристалл, требуется, чтобы температура расплава уменьшалась примерно на 1° за миллион лет. Где, спрашивается, могло быть обеспечено такое температурное постоянство, как не в недрах планетоида?

Рис. 17. Железный метеорит Богуславка – кристалл железа, расколовшийся по спайности

Словом, Земля не уникальна ни по своему генезису, ни по геологическому строению. Она лишь наиболее крупное тело из планет земной группы. Уникальной ее делают наличие гидросферы и атмосферный состав.

В настоящее время считается общепризнанным, что весь кислород земной атмосферы имеет биогенное происхождение. Подсчитано, что если на нашей планете вдруг исчезнет вся растительность, то нынешние 21 % кислорода сократятся до следовых количеств всего-

навсего за 10 тыс. лет! И это неудивительно, если вспомнить, каким активным окислителем является кислород. «Переплюнуть» его в этом могут только галогены. Это же астрономический нонсенс: пятая часть атмосферы состоит из немыслимо химически активного газа!

Легко понять, что в период «слипания» пылинок в протопланетный шар атмосфера Протоземли имела состав, типичный для космического облака: преимущественно водород и гелий. Оба эти газа, однако, слишком легкие, чтобы Земля могла удержать их, поэтому они быстро диссипировали в космическое пространство. Когда говорят о первичной атмосфере Земли, то о водороде и гелии, как правило, не вспоминают, а имеют в виду газы, выделившиеся из магмы при весьма активном первобытном вулканизме, и продукты химических реакций между ними.

В современную эпоху вулканические газы на три четверти состоят из паров воды, на 15 % – из углекислого газа, а 10 % приходятся на метан, аммиак, сернистые соединения, инертные газы (преимущественно аргон) и «кислые дымы» – галогеноводороды. Нет оснований считать, что газообразные продукты первичного вулканизма сколько-нибудь существенно отличались от продуктов дегазации современных лав. Водяной пар, конденсируясь, формировал гидросферу, в ней растворялись галогеновые кислоты и реагировали с минералами. Ни кислорода, ни, что интересно, азота в первичной атмосфере Земли практически не было.

Жизнь на Земле зародилась как минимум 3,8 млрд лет назад, а может быть, и раньше. Во всяком случае, в древнейших осадочных породах Земли изотопное соотношение углерода уже смещено, что говорит о существовании фотосинтеза (углерод-14 не принимает участия в процессе фотосинтеза, в отличие от углерода-12). Магматические породы, естественно, не содержат никаких следов жизни, и вот какая странная возникает картина: как только мы принципиально можем обнаружить на Земле следы древней жизни, так они и обнаруживаются на самом деле. Важно, что все древнейшие микроорганизмы были анаэробными, то есть прекрасно обходились без кислорода, которого в те времена на Земле практически не было и который является губительным ядом для анаэробов. Правда, очень небольшое количество кислорода в атмосфере присутствует всегда за счет фотолиза водяных паров, но со столь незначительным кислородным «загрязнением» анаэробы легко мирились. При этом одноклеточные фотосинтетики (типа сине-зеленых водорослей) непрерывно продуцировали кислород. Поначалу он в основном уходил на окисление всего, что может окислиться: закисного железа, сероводорода, аммиака и т. д. При окислении аммиака как раз и возник азот в атмосфере и благодаря своей химической инертности накапливался в ней.

Около 2 млрд лет назад количество свободного кислорода в атмосфере превысило 1 % от современного значения (точка Пастера) и грянул первый на Земле глобальный экологический кризис. С тех пор анаэробным микроорганизмам приходится существовать глубоко в почве, в болотах, в донных осадках – словом, там, где кислорода мало или вовсе нет. На передний план эволюции вышли аэробные, то есть дышащие кислородом, организмы, а содержание кислорода в атмосфере продолжало повышаться, достигая в некоторые периоды истории Земли 35 %!

В.И. Вернадский был совершенно прав, утверждая, что 99 % горных пород верхних слоев земной коры так или иначе сформировались при участии живых организмов. Например, громадные залежи железных руд вроде Курской магнитной аномалии сформированы древними железобактериями. Однако более наглядное представление о вопросе можно получить в том же Минералогическом музее. Сравните потрясающее богатство и красоту выставленных там минералов с метеоритной коллекцией. Контраст разителен. Да, среди метеоритов тоже встречаются симпатичные экземпляры, но чаще всего это скучные черные или серые камни, не идущие ни в какое сравнение с минеральной феерией Земли! А причина проста: на Земле уже миллиарды лет существует жизнь, прямо или косвенно меняющая ее

облик (в том числе минеральный), тогда как несчастные планетоиды, чьими обломками являются метеориты, были безжизненными.

В сказанном нет никакого преувеличения. Несведущему человеку может показаться странным, что красивый агат, например, обязан своему происхождению живым существам. Ну где в нем органика? Ведь агат – всего лишь полосатая разновидность халцедона, а халцедон – это скрытокристаллический кварц с примесями. Но халцедоны образуются в известняках, а все земные известняки имеют биогенное происхождение. Желтый кристалл серы? Почти наверняка он найден в вулканическом кратере и образовался вследствие окисления сероводорода, а откуда взялся потребный на окисление кислород, как не в результате фотосинтеза? В иных случаях сера – продукт жизнедеятельности серобактерий. Тяжелый кубик пирита? Пирит может образоваться даже в навозной куче. Графит? Это метаморфизированный уголь чисто биогенного происхождения.

И так далее.

4. Наша система и окрестности

Взглянем теперь на Солнечную систему, так сказать, со стороны. Поднявшись над северным полюсом Земли, мы обнаружим, что планета вращается против часовой стрелки. В том же направлении движется Луна. Опять-таки против часовой стрелки вращается Солнце и движутся по орбитам планеты. Видимый с Земли путь Солнца по небу называется эклиптикой, и, соответственно, плоскость земной орбиты часто называют плоскостью эклиптики. То, что орбиты планет суть кривые, лежащие примерно в одной плоскости, понял еще Николай Коперник; впоследствии Иоганн Кеплер заменил коперниковы орбиты-окружности орбитами-эллипсами, приведя расчетные положения планет на небе в значительно лучшее соответствие с наблюдаемыми положениями, чем прежде. Он же открыл три закона, которые и теперь называют кеплеровскими. Вот они.

1. Планеты движутся в плоскости, проходящей через Солнце, по эллипсам, причем Солнце находится в одном из двух фокусов эллипса.

2. При движении планеты вокруг Солнца прямая, соединяющая ее с Солнцем (радиус-вектор), описывает равные площади в равные промежутки времени (закон площадей).

3. Квадраты времен обращения двух планет вокруг Солнца пропорциональны кубам больших полуосей их орбит.

Все три закона Кеплера выводятся из закона всемирного тяготения (причем для третьего закона получается более строгое уравнение), но последний был открыт Ньютоном значительно позднее, так что на приоритет Кеплера никто не покушается. Закон всемирного тяготения назвал причину движения планет. Для Кеплера она так и осталась загадкой, и он постулировал существование у каждой планеты специального ангела, обеспечивающего ее движение. Тягловый ангел – это, конечно, курьез, поэтому вряд ли Кеплер относился всерьез к своей выдумке. История науки знает случаи, когда учеными в рамках мысленного эксперимента вводились мифологические персонажи с теми или иными свойствами (например, демоны Максвелла и Лапласа), и, видимо, кеплеровских ангелов надо ставить в тот же ряд.

Как известно, планеты в своем движении по небу описывают вытянутые петли и зигзаги. Уже из этого наблюдательного факта ясно, что плоскости планетных орбит наклонены к плоскости эклиптики на некоторый угол. Угол этот, как правило, очень небольшой. Максимальное наклонение имеет орбита Меркурия: чуть более 7°; минимальное – Уран (несколько менее 0,8°). Плутон с наклоном своей орбиты, превышающим 17°, теперь не считается планетой.

А что же *эксцентриситеты* орбит? Эксцентриситетом e называется степень вытянутости эллипса: для окружности $e = o$, а для параболы (частный случай эллипса с одним из фокусов, вынесенным в бесконечность) $e = 1$. Из закона всемирного тяготения также следует, что, вообще говоря, различные тела не обязательно должны обращаться вокруг Солнца по эллипсам. Теоретически возможны окружности, параболы и гиперболы (у гиперболы e > l). Ясно, однако, что тела с гиперболическими орбитами, проходящие вблизи Солнца только для того, чтобы затем навсегда уйти от него в глубины космоса, не являются планетами по определению, а окружность и парабола требуют столь точно «выверенного» эксцентриситета, что подобная математическая точность в природе просто не встречается. Итак, планетные орбиты – эллипсы.

Почти у всех планет эксцентриситеты орбит малы, так что их орбиты не очень отличаются от круговых. Наибольшей эксцентричностью отличается орбита Меркурия (e = 0,206), на втором месте по вытянутости орбиты стоит Марс (e = 0,093). У Венеры и Нептуна орбита почти точно круговая, у Земли – чуточку более вытянутая. Многим известно среднее расстояние от Солнца до Земли, равное примерно 149,6 млн км. Однако в перигелии (ближай-

шей к Солнцу точке орбиты) Земля подходит к Солнцу на 147,117 млн км, тогда как в афелии (наиболее удаленной точке орбиты) расстояние между Солнцем и Землей составляет 152,083 млн. км. Казалось бы, разница невелика, однако в настоящую эпоху Земля проходит через перигелий в начале января, а через афелий – в начале июля. Как следствие, в северном полушарии Земли лето несколько прохладнее, а зима несколько теплее, чем они были бы при круговой орбите. Южному полушарию повезло меньше: там и лето теплее, и зима холоднее, что и подтверждают метеорологи.

Впрочем, так будет не всегда. Линия, соединяющая перигелий земной орбиты с афелием и называемая *линией апсид,* медленно вращается в ту же сторону, куда движется Земля, смещаясь примерно на одну угловую минуту в год и делая полный оборот за 20 934 года. Следовательно, примерно, через 5 тыс. лет оба полушария Земли окажутся в равных условиях, а спустя еще 5 тыс. лет более мягкий климат установится уже не в северном, а в южном полушарии. Нет, увы, во Вселенной ничего вечного…

Точно таким же прецессионным движениям подвержены линии апсид орбит всех планет. Особенно активно поворачивается орбита Меркурия. Существуют математические выкладки, согласно которым орбита ближайшей к Солнцу планеты является в лучшем случае квазиустойчивой. В связи с этим уже давно возник вопрос: не является ли Меркурий «сбежавшим» спутником Венеры?

Ответа пока нет. Аргументом против такого предположения служит высокая средняя плотность Меркурия (5,43 г/см^3), превышающая среднюю плотность Венеры (5,24 г/см^3). Для сравнения: у Земли – 5,515, у Луны – всего-навсего 3,34. Быть может, Меркурий все-таки образовался ближе к Солнцу, чем Венера?

За Марсом кончается область планет земного типа. Между Марсом и Юпитером располагается Главный пояс астероидов, или малых планет. Далее следуют гигантский Юпитер, гигант поменьше – Сатурн, а еще далее Уран и Нептун, не известные древним. Уран был открыт великим английским астрономом Уильямом Гершелем в 1781 году, Нептун же был найден в 1846 году, причем вначале он был открыт «на кончике пера» независимо Джоном Адамсом и Урбеном Леверье и лишь потом обнаружен на небе. Наконец, Плутон был открыт в 1930 году молодым астрономом Клайдом Томбо.

Плутон оказался телом со странной орбитой. Мало того что ее наклон рекордный для планет (17,156°), так еще и перигелий оказался внутри орбиты Нептуна! Эксцентриситет орбиты Плутона (0,244) превышает эксцентриситет орбиты Меркурия, и при среднем расстоянии от Солнца 39 а.е. (у Нептуна 30 а.е.). Плутон в перигелии подходит ближе Нептуна к Солнцу. Впрочем, столкновения Плутона с Нептуном ожидать не следует: их орбитальные периоды синхронизированы так, что эти два тела никогда не подходят близко друг к другу.

Поначалу предполагалось, что размеры Плутона сопоставимы с размерами Земли. Такое умозаключение делалось на основе блеска планеты. Если считать, что *альбедо* (отражательная способность) Плутона примерно равно альбедо Земли, то Плутон оказывался вполне солидным небесным телом – если и меньше Земли, то не намного. Со временем, однако, выяснилось, что поверхность Плутона состоит преимущественно из разных льдов, имеющих, естественно, значительно более высокое альбедо. Следовательно, диаметр Плутона мал, мала и масса. В настоящее время диаметр Плутона оценивается в 2390 км, а масса – в 0,0025 массы Земли. Это и неудивительно, учитывая низкую среднюю плотность Плутона, равную всего 1,1 г/см^3. Да и можно ли ожидать высокой плотности от тела, состоящего не столько из минералов, сколько из льдов?

Закономерно возник вопрос: можно ли считать Плутон полноценной планетой? Можно ли его считать вообще планетой, пусть необычно маленькой и вдобавок с «неправильной» орбитой?

В 1978 году у Плутона был открыт крупный спутник Харон диаметром 1200 км. Харон находится на стационарной орбите, то есть период его обращения равен периоду вращения планеты вокруг оси. Поэтому Харон всегда висит над одной точкой поверхности Плутона, и оба тела движутся, как бы соединенные жестким стержнем. Отсюда делался логичный вывод о древности пары Плутон – Харон, ибо приливные силы, которые одни только и могут обеспечить подобную синхронность движений, работают крайне медленно. Позднее у Плутона были обнаружены еще два маленьких спутника – Никта и Гидра. Казалось бы, Плутон, несмотря на свою жалкую массу, все же планета – ну, пусть маленькая. Тогда еще не были известны ни спутники астероидов, ни другие, подобные Плутону тела. А их искали долго и тщательно. Увы – кропотливые поиски долгое время приносили лишь улов, состоящий из сотен ранее не известных астероидов Главного пояса, единичных комет и многих тысяч слабых, ранее не наблюдавшихся галактик. Астрономам не хватало наблюдательных мощностей, и не применялись еще методы, позволившие намного увеличить проницающую способность телескопов.

И все же выяснилось, что Плутон далеко не одинок. Еще при жизни Клайда Томбо за орбитой Нептуна были открыты другие, меньшие, чем Плутон, тела сходного состава. Первое из них, открытое в 1992 году, оказалось маленьким планетоидом с диаметром всего-навсего 280 км. Затем количество подобных открытий нарастало лавинообразно, и теперь известно более тысячи транснептуновых тел. Пояс транснептуновых тел был назван поясом Эджворса – Койпера (чаще встречается наименование просто «пояс Койпера»). Вот некоторые из этих тел.

Эрида. Открыта в 2003 году. Первоначально считалось, что размер этого тела составляет 2400 км, то есть Эрида чуточку крупнее (и, вероятно, массивнее) Плутона, так что были все основания считать ее десятой планетой Солнечной системы. Однако впоследствии астрономам пришлось принять несколько меньшее значение диаметра Эриды. 6 ноября 2010 года наблюдалось покрытие Эридой одной из звезд в созвездии Кита, и тень Эриды пробежала по Земле. Это позволило определить диаметр данного тела с точностью до 10 км. Теперь считается, что Эрида имеет в поперечнике не более 2340 км, то есть несколько уступает Плутону. Хотя – как сказать? Измерение, проведенное в 2007 году, дало меньший, чем ранее, диаметр Плутона: 2322 км. Несомненно, еще будут проведены уточняющие измерения; пока же Эрида не теряет шансов остаться (пока!) самым крупным транснептуновым телом. Притом Эрида, как и Плутон, имеет спутник. Он назван Дисномией. По орбите Дисномии (третий закон Кеплера) была вычислена масса Эриды. Она превышает массу Плутона на 27 %. Орбита Эриды лежит преимущественно за орбитой Плутона. Она сильно вытянута: перигелийное расстояние 37,8 а.е., афелийное – 97,6 а.е. Орбита имеет значительный наклон к эклиптике: 44°. Период обращения Эриды вокруг Солнца составляет 557 лет (у Плутона – почти 246 лет). Поверхность Эриды имеет высокое альбедо и, вероятно, покрыта метановым снегом.

Седна. Открыта все в том же 2003 году. В настоящее время диаметр оценивается в 1200–1600 км. Седна – тело с удивительной орбитой. Ее эксцентриситет составляет ни много ни мало 0,8606! Это значит, что при перигелийном расстоянии 76,1 а.е. в афелии Седна удаляется от Солнца аж на 942 а.е. и совершает полный оборот за 11487 лет – пока рекорд! Сейчас Седна приближается к нам и пройдет перигелий в 2076 году. Спутники не обнаружены. Седна имеет отчетливо красный цвет, она более красна, чем Плутон (также имеющий красноватый оттенок поверхности), и почти так же красна, как Марс. На сегодняшний день Седна – самый далекое обнаруженное тело в Солнечной системе.

Квавар. Открыт в 2002 году Это сравнительно (с Плутоном и Эридой) небольшое тело, его диаметр оценивается в 850-1100 км, а масса, как считается, составляет всего 19 % от массы Плутона. При этом плотность Квавара необычайно высока для транснептуновых

тел: от 2,5 до 3,5 г/см^3. На поверхности Квавара много камня; обнаружены и следы аморфного льда. Последнее удивительно: ведь аморфный лед образуется при температуре не ниже минус 160 °С, а поверхность Квавара гораздо холоднее. Что нагрело в прошлом Квавар – неясно. Возможно, «традиционная» гравитационная дифференциация вещества. Возможно также, что Квавар некогда имел гораздо более близкую к Солнцу орбиту и был выброшен на периферию гравитационным воздействием планет-гигантов. Но в таком случае почему Квавар имеет ныне почти круговую орбиту с удалением от Солнца в 42 а.е.? Вопросы остаются. В 2007 году был открыт Вейвот – спутник Квавара.

Орк. Открыт в 2004 году. Орбита этого тела поперечником 900-1000 км близка к орбите Плутона, но Орк всегда остается на противоположной по отношению к Плутону стороне орбиты, являясь неким Антиплутоном. Поверхность Орка – яркая. Возможно, это объясняется специфическим явлением криовулканизма. Об этом интересном явлении мы еще поговорим, а пока об Орке остается сказать лишь то, что в 2007 году у этой планетки был обнаружен спутник. Орк относится к *плутино* – классу тел с примерно такой же орбитой, как Плутон.

Макемаке. Как вы, вероятно, уже заметили, имена транснептуновым телам даются подчас странные и непривычные европейскому уху. Дело в том, что практически все мифологические персонажи древних греков и римлян давно уже были «истрачены» на планеты, их спутники и астероиды Главного пояса. Дефицит греко-римских мифологических персонажей (ну и толерантность, само собой) вынуждают присваивать транснептуновым телам имена богов самых разных народов – индейских, полинезийских и т. д. По счастью, народов на Земле предостаточно, и они напридумывали столько богов и мифологических героев, что хватит, пожалуй, правнукам сегодняшних астрономов.

Макемаке – тело поперечником 1360–1480 км, открытое в 2005 году. Спутники не обнаружены. Орбита достаточно традиционна: перигелий лежит в 38,6 а.е. от Солнца, афелий же удален на 53,1 а.е. Период обращения – 310 лет. Макемаке – типичный представитель *кьюбивано* — так называется класс транснептуновых тел, чьи орбиты достаточно удалены от Нептуна, чтобы оставаться устойчивыми на протяжении всего существования Солнечной системы. По яркости Макемаке находится на втором месте среди транснептуновых тел, уступая лишь Плутону. Естественно, ее поверхность очень светлая. Спектроскопия показала наличие метана в виде зерен диаметром не менее 1 см. Температура поверхности оценивается в 30 К. С Плутоном Макемаке роднит то, что в перигелии вокруг обоих тел образуется временная атмосфера, вновь вымерзающая в афелии.

Хаумеа. О, это удивительное тело! Открытое в 2005 году, оно довольно скоро удивило астрономов довольно быстрыми регулярными колебаниями блеска. Строго говоря, в этом явлении еще не было ничего удивительного – ведь и у Плутона наблюдаются подобные колебания, вызванные разницей альбедо различных участков поверхности. Но у Хаумеа причина колебаний блеска кроется в ином: это тело не сферическое. По-видимому, оно представляет собой трехосный эллипсоид размером 2000 × 1600 × 1000 км (рис. 18).

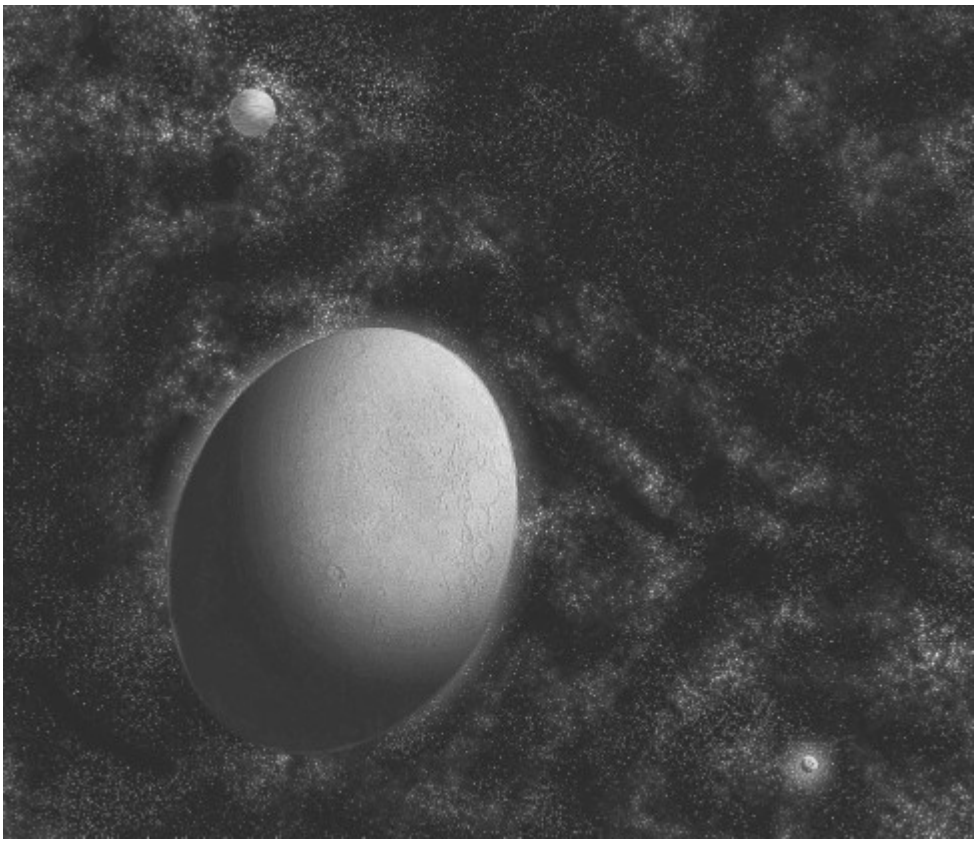

Рис. 18. Хаумеа со спутниками

Вокруг этого неестественно вытянутого тела обращаются два маленьких спутника – Хииака и Намака. По их орбитам удалось определить массу Хаумеа: 28 % массы системы Плутон – Харон.

Казалось бы, при таких размерах и такой массе космическое тело должно быть хотя бы приблизительно сферическим – но чего нет, того нет. Возможно, странная форма и спутники Хаумеа возникли в результате испытанного некогда (не очень давно по астрономическим меркам) соударения с другим, причем достаточно крупным, транснептуновым телом. В этом случае у Хаумеа еще достаточно времени впереди, чтобы мало-помалу вновь стать шаром. Поверхность Хаумеа покрыта водяным льдом, однако выделяется большое пятно красноватого цвета. Возможно, это след, оставленный ударом, а возможно, просто скопление минералов, не имеющее никакого отношения к соударению. Несколько странно, что орбита Хаумеа ничем не выделяется среди многих других тел: перигелий находится в 35,2 а.е. от Солнца, афелий – в 43,3 а.е., а орбитальный период составляет 285 лет.

Объект 20070R_{10}. Примерно такие предварительные наименования носят космические тела, не являющиеся кометами, до того как получат имя из богатейшего арсенала мифологических имен народов мира. Как следует из предварительного наименования, объект был открыт в 2007 году. Это тело размером, весьма приблизительно оцененным в 875-1400 км, и вытянутой орбитой с e = 0,50. Перигелийное расстояние равно 33,6 а.е., в афелии же объект уходит на расстояние в 101 а.е. от Солнца. Период обращения равен 552 годам. Подобно тому как орбита Плутона такова, что находится в орбитальном резонансе с Нептуном в соотношении 3:2, орбита объекта 20070R_{10} также синхронизирована с Нептуном, но уже в соотношении 10:3.

Разумеется, для беглого обзора я выбрал наиболее примечательные транснептуновые тела. Почти нет сомнений в том, что среди их огромного количества впоследствии могут обнаружиться не менее удивительные и притом более крупные тела, чем Плутон, Эрида и Хаумеа.

Естественным образом у астрономов возникло сомнение: а стоит ли оставлять Плутон в статусе планеты? Если да, то «по справедливости» следовало бы присвоить ранг планеты Эриде, Седне, Макемаке и т. д. Понятно, что различие между планетой и крупным астероидом скорее терминологическое, и самому небесному телу ни горячо, ни холодно от того, на какой классификационной «полочке» мы его разместим. И все же ощущалась потребность навести порядок – с одной стороны. С другой – никому не хотелось обижать Клайда Томбо, который до самой своей смерти в 1997 году весьма болезненно относился к идее «разжаловать» Плутон из планет в астероиды. Высказывались (и теперь еще высказываются) соображения, что Плутон следовало бы оставить планетой просто в силу традиции, а прочие транснептуновые тела, даже чуточку больших, чем Плутон, размеров, записывать в специфические астероиды.

В 2006 году Международный астрономический союз (МАС) наконец-то дал определение планеты. Нельзя сказать, что до того времени и так было понятно, что является планетой, а что нет. Как раз наоборот: сохранялась и усугублялась полная неясность в этом вопросе. Итак, по версии МАС, планета Солнечной системы должна удовлетворять трем условиям.

Во-первых, она должна обращаться вокруг Солнца. Таким образом, столь крупные спутники, как Титан или Ганимед, не являются планетами, хотя по размерам превосходят Меркурий. В данном МАС определении ничего не сказано о том, что обращающееся вокруг Солнца тело не должно являться звездой, – просто потому, что Солнце считается одиночной звездой, не имеющей звезды-спутника.

Во-вторых, объект должен быть достаточно массивным (рис. 19), чтобы под действием собственного тяготения принять форму гидростатического равновесия (более или менее сферическую). «Более или менее» – потому что строго сферических планет вообще говоря нет. Например, Земля не только сплюснута с полюсов, имея разницу между экваториальным и полярным радиусами в 21 км, но и сильнее вытянута в направлении северного полюса, тогда как южный полюс несколько вдавлен. Поэтому Земля, строго говоря, не шар и даже не сплюснутый сфероид, а совершенно специфическая фигура – *геоид.* Вообще же второе условие довольно легкое. Выше уже говорилось о том, что практически все тела Солнечной системы, чей поперечник превышает 250–300 км, более или менее сферичны, тогда как меньшие тела угловаты или, чаще, картофелеобразны.

Рис. 19. Сравнительные размеры Земли и крупнейших транснептуновых тел

Наконец, в-третьих, объект должен расчистить окрестности своей орбиты, то есть он должен быть гравитационной доминантой, не допускающей существования рядом с собой других тел сравнимого размера, кроме его собственных спутников и тел, находящихся под его гравитационным воздействием.

Легко видеть, что Плутон удовлетворяет первому и второму условиям. Менее очевидно то, что он не удовлетворяет третьему, однако это факт. Если масса Земли в 1,7 млн раз превышает суммарную массу всех других тел на ее орбите, то масса Плутона составляет лишь 7 % от массы всех других тел на его орбите. Так что, увы, Плутон не проходит в планеты.

Решением МАС Плутон был причислен к *плутоидам* – семейству транснептуновых астероидов. Термин «плутоиды» был введен в 2008 году. В качестве астероида Плутон получил номер 134 340, что выглядит вопиющей несправедливостью по отношению к столь крупному космическому телу – на сегодняшний день второму, а может быть, и первому по величине в Солнечной системе, если не считать планеты и их спутники. Однако астероиды нумеруются по мере их отождествления, и коль скоро Плутон был отождествлен как астероид лишь в 2006 году, то…

А впрочем, не надо обижаться за бывшую планету. Плутону в высшей степени безразлично, к какой категории космических тел причислят его мыслящие существа, обитающие очень далеко от него на близкой к Солнцу и, с его «точки зрения», нестерпимо горячей планете…

Но что же находится далеко за Плутоном? И где вообще пролегают границы Солнечной системы? Долгое время в умах большинства людей, далеких от астрономии, откладыва-

лась одна из многих фальшивых истин, столь характерных для мировосприятия обывателя: граница проходит примерно по орбите Плутона. Но уже орбита Седны говорит нам о том, что границы эти лежат гораздо дальше. Где же?

Там, где гравитационное притяжение Солнца уравновешивается гравитационным притяжением ближайших звезд, не ближе. От орбиты Плутона до дальней периферии Солнечной системы, до расстояния не менее 100–200 тыс. а.е.[13], где уже начинает сказываться притяжение соседних звезд, простирается облако Оорта, названного так в честь замечательного голландского астронома. Облако это состоит из миллиардов (вероятно, до 100 млрд) преимущественно ледяных тел, но общая его масса оценивается всего-навсего в 10 % массы Земли.

Пояс Койпера представляет собой просто внутреннюю часть облака Оорта.

Облако Оорта отнюдь не дискообразное, о чем говорят хотя бы орбиты плутоидов и приходящих с дальней периферии комет с почти параболическими орбитами и большими наклонами к эклиптике – а ведь ядра комет суть не что иное, как случайно залетевшие во внутренние области Солнечной системы тела облака Оорта. По-видимому, облако Оорта представляет собой несильно сплюснутый сфероид. Отсюда возникают интересные вопросы, касающиеся формирования этой прорвы ледяных тел. Существуют как гипотезы о том, что тела пояса Оорта сформировались из самых внешних частей газово-пылевой оболочки, в центре которой сформировалось Протосолнце и протопланетный диск, так и гипотезы, согласно которым эти тела формировались гораздо ближе к Солнцу, в самом протопланетном диске, и были выброшены из него гравитационным воздействием планет-гигантов. Однозначного ответа пока нет.

Расширим поле зрения до ближайших звезд. Ближайшая к нам звезда – упомянутая выше Проксима Центавра – слабый, невидимый невооруженным глазом красный карлик, входящий в тройную систему Альфа Центавра. До нее от нас 1,295 пк, или несколько более 4,2 светового года, или примерно 268 тысяч а.е. Второй по удаленности звездой является одиночный красный карлик, известный как Летящая звезда Барнарда. До нее 1,82 пк, или 5,9 светового года. Летящей эта звезда называется из-за рекордно быстрого собственного движения среди звезд – более 10 угловых секунд в год. Отнюдь не мала и радиальная составляющая скорости; достаточно сказать, что через 8000 лет ближайшей к Солнцу звездой станет именно звезда Барнарда, а не Проксима Центавра.

Вообще собственные движения звезд хоть и малы, но для ближайших звезд весьма заметны на больших промежутках времени. Например, нынешнее угловое склонение той же Альфы Центавра равно примерно минус 60°, то есть увидеть ее невозможно не только из средних, но и из субтропических северных широт. Однако древним египтянам эта звезда была хорошо знакома: в IV тысячелетии до н. э. она располагалась на небе всего в 30° южнее небесного экватора. Небесные объекты с таким склонением можно прекрасно наблюдать даже Крыму, не то что в Египте.

Чуть далее звезды Барнарда располагаются чрезвычайно слабый красный карлик Вольф 359 и еще один красный карлик, о котором практически нечего сказать, но следующая за ним по удаленности от Солнца звезда заслуживает всяческого внимания. Это Сириус, ярчайшая звезда нашего неба. Находясь в южном полушарии, он лишь в зимние месяцы невысоко поднимается над горизонтом в средних широтах; в северных же районах России и вовсе не виден. Но как бы низко над горизонтом Сириус ни висел, он сразу обращает на себя внимание. Глаз неастронома порой готов спутать Сириус с планетой – столь велик его блеск. Мы помним, что Гиппарх условно разделил звезды по блеску на 6 классов, отнеся к

[13] Астрономическая единица (а.е.) равна среднему расстоянию от Земли до Солнца, то есть 149,6 млн км. Внутри Солнечной системы это удобная в качестве стандарта расстояния величина – не слишком большая и не слишком маленькая. – *Примеч. авт.*

первому классу самые яркие звезды небосвода. Но Сириус настолько ярок, что не относится к первой звездной величине, не относится он и к нулевой. Его блеск -1,46^m, и он значительно опережает по блеску второй яркий «фонарь» звездного неба – Канопус (-0,72^m). Но что такое Сириус, сточки зрения астронома?

Ничего особенного: рядовая звезда главной последовательности, спектрального класса Ai, не очень массивная и не очень горячая. Менее яркая Вега куда массивнее и горячее. Просто-напросто Сириус находится куда ближе к нам, чем Вега, до него всего 8,6 светового года (до Веги – более 27). Ясно, что слабосильный фонарик на близком расстоянии даст более мощный световой поток, чем далекий прожектор. Хотя среди звезд, находящихся в радиусе 5 пк от Солнца, Сириус – первый по блеску. Второе место занимает желтоватый Процион (спектральный класс F5,11 световых лет), третье – компонент А системы Альфа Центавра. Солнце находится на почетном четвертом месте, а всего в радиусе 5 пк находятся более 50 звезд. Отсюда видно, что большую часть звездного населения Галактики (а мы не имеем никаких оснований думать, что тот участок Галактики, где находится Солнце, какой-то особенный) составляют оранжевые и красные карлики, что и неудивительно: ведь и в земной природе всякой мелочи куда больше, чем крупных объектов. Как правило, яркие звезды неба находятся от нас далеко и ярки вследствие своей высокой, а в некоторых случаях просто колоссальной светимости, а не близости к нам.

Для пущей наглядности посмотрим, как будет выглядеть звездное небо для гипотетического астронома, находящегося в системе Альфы Центавра. Из ярких звезд сильно изменят свое местоположение лишь Сириус и Процион. Вега и Арктур сместятся менее, приблизившись на центаврианском небе к крыльям Лебедя, а также произойдет смещение некоторого числа неярких звезд. Появится красная звездочка 5-й величины – Проксима. Ах, да, появится новая яркая звезда в созвездии Кассиопеи близ границы с Персеем – наше Солнце. На небе Альфы Центавра оно будет занимать вполне достойное восьмое место по блеску.

И только. В целом центаврианский астроном мог бы пользоваться нашими звездными картами, держа в уме некоторые поправки к ним. Расстояние до ближайших звезд весьма и весьма мало по сравнению даже с той сравнительно небольшой областью Галактики, которую мы наблюдаем в качестве Млечного Пути и россыпи звезд по обе стороны от него.

Галактика наша, как известно, спиральная и гигантская (даже сверхгигантская). Она имеет в поперечнике около 30 кпк, или 100 тысяч световых лет (обширная периферия, занятая темной материей, не в счет). Еще Галилей, направив свою весьма примитивную трубу на Млечный Путь, обнаружил, что он состоит из мириадов слабых звездочек. Уильям Гершель понял, что наша звездная система сплюснута – правда, он недооценил степень этой сплюснутости и решил почему-то, что Солнце находится близ центра системы. Однако простым глазом видно, что Млечный Путь гуще всего в созвездии Стрельца, а в противоположной точке неба он и у́же, и слабее. Значит, Солнце находится не в центре Галактики, а смещено к краю?

Так и есть. Еще лет 50 назад считалось, что расстояние от центра Галактики до Солнца составляет 10 кпк, то есть Солнце ближе к краю, чем к центру Галактики. Позднее произошел некоторый пересмотр, и теперь считается, что Солнце находится примерно в 8 кпк от центра Галактики. Впрочем, все равно получается, что Солнце несколько ближе к краю, чем к центру.

Но где находится Солнце по отношению к спиральным рукавам Галактики? Их четыре, и они отходят попарно от бара, имеющего протяженность порядка 7–8 кпк (более ранние оценки длины бара в 3–4 кпк оказались заниженными). В рукаве мы, вне рукава или вообще где?

В середине прошлого века считалось: однозначно вне рукава. Ведь в рукавах сосредоточены колоссальные по массе облака газа, там идет активное звездообразование, там много

молодых горячих бело-голубых звезд, своим мощнейшим ультрафиолетовым излучением ионизирующих газ на расстоянии в несколько парсеков или даже десятков парсеков от себя, там небо должно просто светиться от множества ярких звезд и эмиссионных туманностей! Нет, конечно же, мы находимся примерно посередине между двумя соседними рукавами в бедной звездами области Галактики. Ну разве велика плотность звезд, равная примерно 0,1 звезды на кубический парсек? Курам на смех! А ведь именно такая звездная плотность наблюдается в окрестностях Солнца…

Однако еще в 1879 году американский астроном Бенджамин Гулд обратил внимание на то, что яркие звезды на небе распределены не равномерно, а концентрируются к некой полосе или поясу. Если бы этот пояс, получивший название пояса Гулда, совпадал с полосой Млечного Пути, в этом не было бы ничего удивительного – однако между ними угол в 18°. Поначалу от явления отмахнулись, сочтя его обыкновенной флюктуацией, но прошло время – и выяснилось, что пояс Гулда существует на небе не «просто так».

Вспомним: звезды редко рождаются поодиночке, предпочитая появляться на свет группами – рассеянными скоплениями.

Но там, где происходит массовое звездообразование, рождается не одно рассеянное скопление, а несколько, образуя *звездную ассоциацию.* Ассоциации, в свою очередь, могут быть сгруппированы в *сверхассоциацию* или даже в *звездный комплекс* – образование с характерным поперечником в 600 пк, обычно содержащее одну-две сверхассоциации и несколько ассоциаций, а всего в комплекс входят миллионы звезд. Разумеется, не все эти звезды являются ровесниками звездного комплекса, многие из них гораздо старше и оказались внутри комплекса по чистой случайности – но «первую скрипку» в комплексе играют не они, а молодые звезды, родившиеся более-менее одновременно (с разницей, определяемой скоростью волн звездообразования, прошедших сквозь комплекс).

Так вот: то, что мы наблюдаем на небе как пояс Гулда, является типичным звездным комплексом, имеющим форму грубого сплюснутого сфероида. Его поперечник составляет 750 пк, а Солнце находится в 150 пк от его центра. Возраст комплекса оценивается в 30 млн лет. Разумеется, Солнце оказалось внутри комплекса случайно и не обязано своим рождением волнам плотности, некогда прокатывавшимся сквозь газово-пылевую материю комплекса. Однако факт есть факт: мы находимся в звездном комплексе. А где они располагаются?

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.