

The background of the entire poster is a vibrant space scene. At the top, a large, textured planet (likely Mars) is partially visible on the left, and a smaller, darker planet is in the center. A bright sun is positioned in the upper right, casting a golden glow. The middle section features a large, bright sun with rays emanating from it, partially obscured by the silhouette of a planet. The bottom section shows a large planet on the left and a bright sun on the right, with a starry field and a nebula-like structure in the background.

УДИВИТЕЛЬНАЯ

СОЛНЕЧНАЯ

СИСТЕМА

Александр Громов

СОВРЕМЕННАЯ
НАУКА О МИРЕ
ВОКРУГ НАС



Вы смогли скачать эту книгу бесплатно на законных основаниях благодаря проекту **«Дигитека»**. [Дигитека](#) — это цифровая коллекция лучших научно-популярных книг по самым важным темам — о том, как устроены мы сами и окружающий нас мир. Дигитека создается командой научно-просветительской программы [«Всенаука»](#). Чтобы сделать умные книги доступными для всех и при этом достойно вознаградить авторов и издателей, «Всенаука» организовала всенародный сбор средств.

Мы от всего сердца благодарим всех, кто помог освободить лучшие научно-популярные книги из оков рынка! Наша особая благодарность — тем, кто сделал самые значительные пожертвования (имена указаны в порядке поступления вкладов):

Дмитрий Зимин
Алексей Сейкин
Николай Кочкин
Роман Гольд
Максим Кузьмич
Арсений Лозбень
Михаил Бурцев
Ислам Курсаев
Вадим Мельников
Павел Дорожкин
Артем Шевченко
Валерий Окулов
Евгений Шевелев
Александр Анисимов
Роман Мойсеев
Евдоким Шевелев

Мы также от имени всех читателей благодарим за финансовую и организационную помощь:

Российскую государственную библиотеку
Компанию «Яндекс»
Фонд поддержки культурных и образовательных проектов «Русский глобус».

Этот экземпляр книги предназначен только для вашего личного использования. Его распространение, в том числе для извлечения коммерческой выгоды, не допускается.

Популярная наука

Александр Громов

Удивительная Солнечная система

«ЭКСМО»

2012

Громов А. Н.

Удивительная Солнечная система / А. Н. Громов — «Эксмо», 2012 — (Популярная наука)

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 считанные 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.

© Громов А. Н., 2012

© Эксмо, 2012

Содержание

От автора	5
1. От истоков	8
2. Рождение Солнца	20
3. Рождение планет. Немного о Земле	31
4. Наша система и окрестности	43
5. Летим, но куда?	54
6. Солнце	62
7. Земная группа	80
8. Гиганты	100
9. Свита «больших господ»: спутники	115
10. Вместо одной – множество. Каменные полчища	142
11. Метеориты и космическая минералогия	165
12. Кометы и метеорные потоки	179
13. Планетные системы у других звезд	205
14. Перспективы близкие и далекие	214
Литература	220
Цветные иллюстрации	221

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 Фламариона 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 суперструн и так далее. По сравнению с невообразимо грандиозными масштабами процессов, породивших нашу Вселенную и продолжающихся

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

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 брезгают 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 разгрести 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 сказано 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 ненужностью. 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 фантазии². 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 недалеко, но вспылчивому громовежцу? 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 путем³.

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 обод которого расположена ось другого, меньшего колеса, а на обод 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, придуманная для

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

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.

Большого 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. Большого 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 тема⁴.

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 тшились 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 некоем 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 таких 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 временную 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 материи⁵, 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, флуктуаций плотности и температуры и сохраняющую однородность по мере расширения в бесконечность. Таких чудес в природе не бывает. А коль скоро флуктуации 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 системы⁶ 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.

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 сжа-

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.*

тия E-галактик характеризуется цифровым индексом за буквой E – от E₀ для сферических галактик до E₇ для сильно сжатых. Эллиптических галактик, более сжатых, чем E₇, 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 (M₃₁) относится к подтипу Sb, а Туманность Треугольника (M₃₃) – к Sc. Хороший пример галактики Sa – M₁₀₄ («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 M₃₃ три основных рукава и с десятков мелких, обрывочных. У галактики M₆₃, известной под кличкой «Подсолнух», десятка два рукавов. У галактики M₁₀₉ (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 Iгг-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 барообраз-

ную 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 сфероида⁷. 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 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

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.*

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 E7, 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 O₅⁸ 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 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.

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 0 до 9. Например, звезда F₀ горячее, чем F₁, но холоднее, чем A₉. – Примеч. авт.

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 раз» 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 «копящие» 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 пространстве⁹. 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

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.*

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 газопылевой 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 газовой-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 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 уравнивается 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 парсек¹⁰? 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 газопопылевые комплексы. Каждый такой комплекс может породить тысячи звезд.

Почему тысячи, а не одну суперсверхгигантскую – достаточно понятно. Во-первых, внутри газопопылевого комплекса поперечником в десятки парсеков неизбежно содержится несколько тысяч звезд, разогревающих среду вокруг себя, несмотря ни на какие «старания» межзвездного углерода. Таким образом, газопопылевая среда комплекса неоднородна изначально. Во-вторых, формы газопопылевых 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 К1, 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», обращаются вокруг общего центра масс сравнительно недалеко друг от друга. У астрономов возникал даже вопрос:

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.*

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 Лебеда. 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. Выгляда 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 Галактики¹¹). Сравнительно молодые шаровые скопления попадают 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.

3. Излучение молодых, очень горячих O-звезд высокой светимости. Давление света «обжимает» уже имеющиеся конденсации газа в окрестностях звезды, повышая их плотность

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

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 неизбежность 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 удастся. 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 10 000 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 газовой-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 газовой-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 звезды¹², 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.*

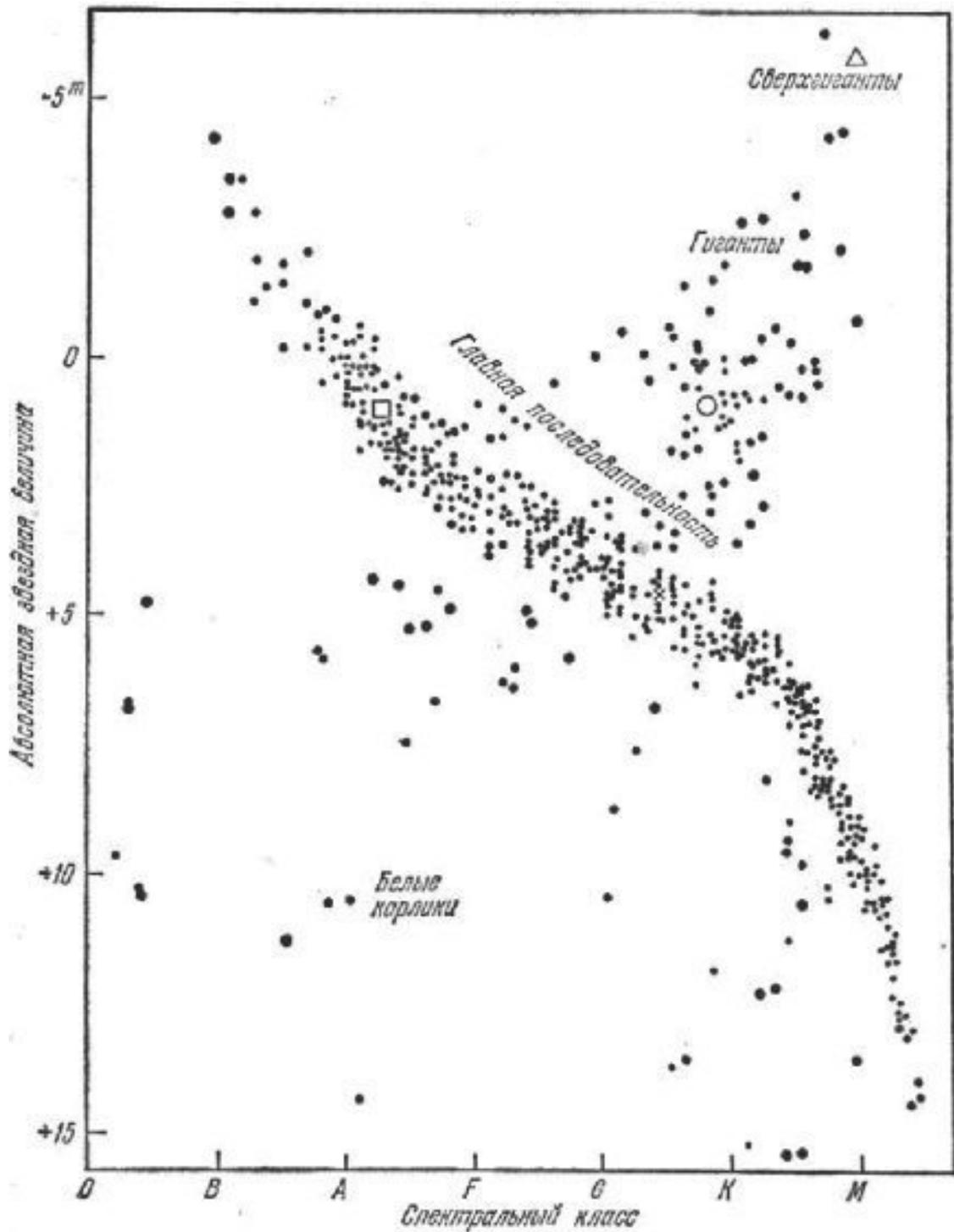


Рис. 15. Диаграмма Герцшпрунга – Рассела

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 – Рассела, 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 приходится 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.

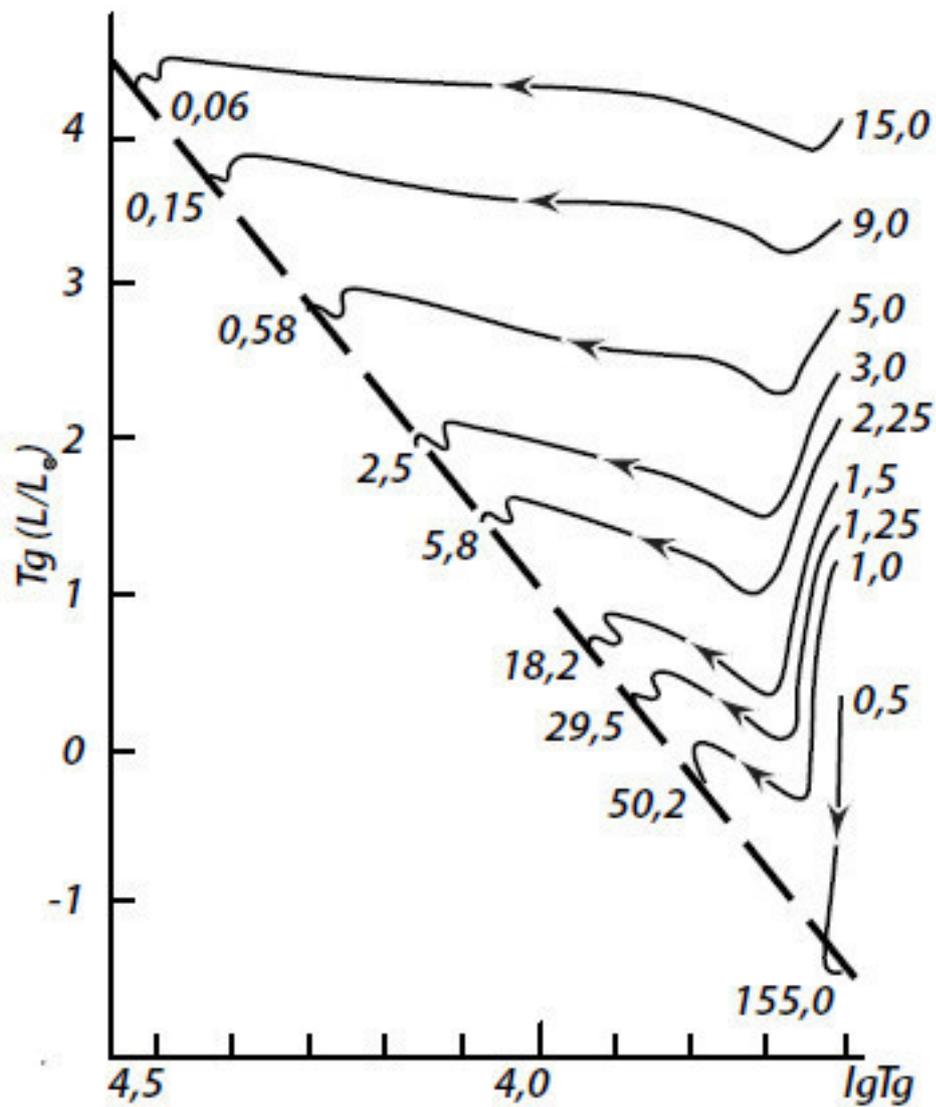


Рис. 16. Эволюционные треки протозвезд разной массы

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 сформировавшееся (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 приближительна: 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 изначальной 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 столкновений 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» газовой пыли 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 – Рассела 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, исключаяющими 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: $5,43 \text{ г/см}^3$; наименьшая – у Сатурна: $0,70 \text{ г/см}^3$. Впрочем, газовые планеты

– это отдельная песня. Лучше сравнивать твердые тела с твердыми телами. Так вот, средняя плотность Плутона составляет $1,1 \text{ г/см}^3$. 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 «небезучих» 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, врежется 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 невтерпех, тот может самостоятельно измыслить те или иные теоретические концепции (несть числа самодельным космогонистам и опровергателям теории относительности) или, допустим, поискать рациональное зерно в астрологии – пожалуйте! 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 планетезимальями 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, выделяющуюся 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/см³, тогда как средняя плотность земной коры – всего лишь около 2,5 г/см³. Плотность вещества мантии несколько выше, порядка 3,5 г/см³, но все равно далеко не достигает средней плотности Земли. Отсюда сразу следует высокая плотность земного ядра – не менее 8 г/см³. 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 цеппелинов. Последние, будучи наполнены водородом, сравнительно легко уничтожались даже такими примитивными средствами ПВО, какие существовали в то время. Но однажды случился удивительный казус: цеппелин, 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 целеллина, 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 целеллины. 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 $7,8 \text{ г/см}^3$ 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 времени. 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 дробленным 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. Позитивные «фиксистов», отрицавшие возможность дрейфа материков, оставались как бы не более прочными, чем позитивные «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 срединно-океанических 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 намагниченность 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 глубоководные (с гипо-

центром 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 материка относительно стабильны и сохраняют в себе железо, которого в них, впрочем, немного по сравнению с ядром – именно поэтому материка «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 желтовато-зеленый 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 метеоритов, 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 вырост

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 не удивительно, 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 % приходится 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 мирятся. 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 эклиптической, 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 $0,8^\circ$). Плутон с наклоном своей орбиты, превышающим 17° , теперь не считается планетой.

А что же *эксцентриситеты* орбит? Эксцентриситетом e называется степень вытянутости эллипса: для окружности $e = 0$, 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 $e > 1$). 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 эксцентricностью 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 (ближайшей 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?

Ответ пока нет. Аргументом против такого предположения служит высокая средняя плотность Меркурия ($5,43 \text{ г/см}^3$), превышающая среднюю плотность Венеры ($5,24 \text{ г/см}^3$). 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 ($17,156^\circ$), 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 *альbedo* (отражательная способность) Плутона примерно равно альbedo 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 альbedo. 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 $1,1 \text{ г/см}^3$. 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 проникающую 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 альbedo 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 – самое далекое обнаруженное тело в Солнечной системе.

Кварвар. 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 Кварвара необычайно высока для транснептуновых тел: от 2,5 до 3,5 г/см³. На поверхности Кварвара много камня; обнаружены и следы аморфного льда. Последнее удивительно: ведь аморфный лед образуется при температуре не ниже минус 160 °С, а поверхность Кварвара гораздо холоднее. Что нагрело в прошлом Кварвар – неясно. Возможно, «традиционная» гравитационная дифференциация вещества. Возможно также, что Кварвар некогда имел гораздо более близкую к Солнцу орбиту и был выброшен на периферию гравитационным воздействием планет-гигантов. Но в таком случае почему Кварвар 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 *плутиню* – 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 *кьюбиано* — 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 Плутонем 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).

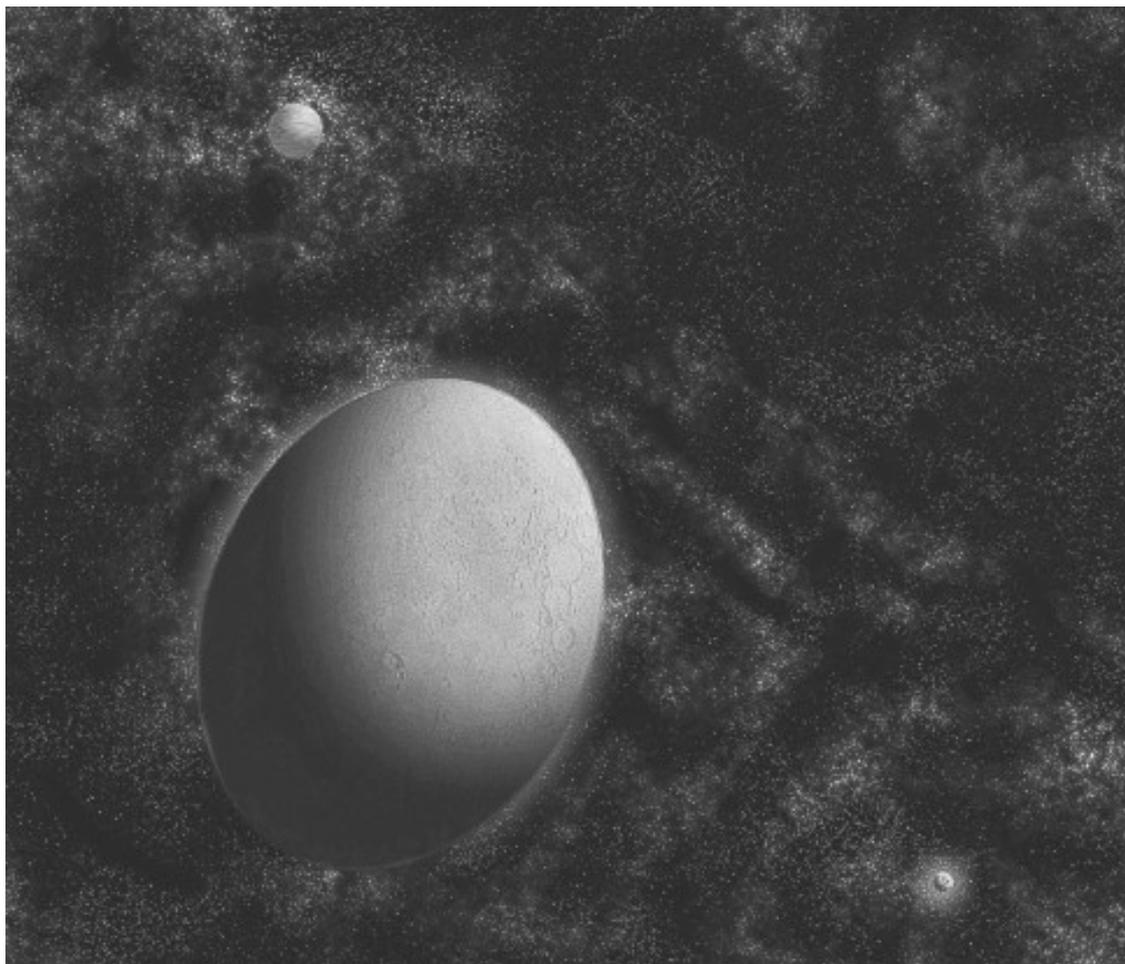


Рис. 18. Хаумеа со спутниками

Вокруг этого неестественно вытянутого тела обращаются два маленьких спутника – Хиика 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 20070R₁₀. Примерно такие предварительные наименования носят космические тела, не являющиеся кометами, до того как получают 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 2007OR₁₀ 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. И так, 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. Плутому 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, откладывалась

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 газовой-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 первому классу самые яркие звезды небосвода. Но Сириус настолько ярък, что не относится к первой звездной величине,

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.*

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 A_1 , 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 $F_5,11$ 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 пушей 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 Лебеда, 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 уже, 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 некоей 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 флуктуацией, 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?

Наблюдения показывают ясно: в спиральных галактиках звездные комплексы находятся в спиральных рукавах. Звездные комплексы просто-напросто нанизаны на рукава, как бусины на нить. Наблюдающаяся (особенно в галактиках типа Sc) фрагментированность рукавов это подтверждает. Каждый фрагмент – это звездный комплекс.

Что же выходит – раз звездные комплексы расположены в спиральных рукавах и в некотором роде формируют их, то и Солнце находится в спиральном рукаве?

И да, и нет. Солнце действительно находится между *основными* спиральными рукавами Галактики, но вспомним, что рукава галактик типа Sb (или SBb) имеют ответвления – не столь резкие, как у галактик Sc, но все-таки. В одном из таких ответвлений, получившем название местного рукава Ориона – Лебеда, и находится «наш» звездный комплекс вместе с Солнцем.

Любопытно, что два соседних рукава (Персея и Киля – Стрельца) имеют угол закрутки в $10-12^\circ$, что нормально для галактики типа Sb. Рукав же Ориона – Лебеда имеет угол закрутки в 20° , что дополнительно подтверждает: этот рукав является лишь отрогом, ответвлением рукава Киля – Стрельца. (Кстати, именно рукав Киля – Стрельца мы по сути и видим, наблюдая прозрачной безлунной ночью Млечный Путь.) Большой угол закрутки нашего местного рукава вполне естествен: ведь при том же угле закрутки, что у основных рукавов, никаких ответвлений не было бы вообще...

Так что мы все-таки находимся не в скучной относительной пустоте между рукавами – мы в рукаве, пусть местном и второстепенном. Хорошо это или плохо?

Трудный вопрос. Конечно, находясь в поясе Гулда, а не вне его и, следовательно, в каком-никаком рукаве, мы можем любоваться гораздо более красочным звездным небом, чем располагаясь в межрукавье. С другой стороны, в рукавах чаще вспыхивают сверхновые, а близкий

взрыв звезды ничего хорошего нам не принесет. Как всегда, нет ни худа без добра, ни добра без худа.

5. Летим, но куда?

В этой главе нам придется вернуться на Землю, чтобы затем вновь устремиться в глубины дальнего космоса. Мы рассмотрели наше звездное окружение, но куда и как движемся мы сами? Как движется Земля? Как, почему и куда движется Солнце, волоча за собой выводок планет и тьму мелких космических тел? Почему движение происходит так, а не иначе?

Начнем с Земли. Как всем известно со времен Коперника, наша планета вращается вокруг своей оси. Полный оборот она делает за 23 часа 56 минут 4,1 секунды. Казалось бы, эта величина далековата от привычных 24 часов – не хватает почти четырех минут! Но за сутки планета успевает пройти по орбите почти целый угловой градус, поэтому для того, чтобы вновь повернуться к Солнцу точно тем же боком, ей требуется еще немного времени. Так что указанная величина есть не что иное, как звездные сутки, а не средние солнечные сутки (средние – потому что вследствие эллиптичности орбиты Земля движется вокруг Солнца с непостоянной скоростью). Но точно ли «выдерживаются» звездные сутки?

Нет, не точно. Вам, наверное, случалось узнавать из СМИ, что служба времени перевела стрелки часов на одну секунду вследствие того, что Земля стала вращаться несколько медленнее? Такие сообщения поступают редко, но они все же поступают. И действительно, вращение нашей планеты понемногу замедляется. Но по какой причине? Любой раскрученный предмет на Земле, будь то детский волчок или велосипедное колесо, постепенно перестает вращаться из-за трения – но трение Земли о межпланетную космическую среду настолько мало, что о нем смешно и говорить. Так в чем же дело?

В Луне. Удаляясь от Земли примерно на 3 см в год, она тормозит вращение Земли. «Из физики» совершенно ясно, что суммарная механическая энергия системы «Земля – Луна» должна оставаться постоянной. Переходя на более высокую орбиту, Луна увеличивает свою потенциальную энергию, а за счет чего? За счет увеличения орбитальной скорости. Ведь и конструкторам ракетно-космической техники приходится обеспечивать ракете-носителю большую скорость, если они хотят вывести спутник на более высокую орбиту. Экипажи космических станций используют для повышения орбиты разгонный импульс, а никак не тормозной. Увеличение орбитальной скорости любого объекта приводит к повышению его орбиты (где, кстати, скорость объекта сразу падает по законам Кеплера). Но за счет чего разгоняется Луна?

За счет приливов. Сила тяготения Луны вызывает не только морские приливы; под ее действием вся Земля вытягивается наподобие яйца, пусть и на совсем небольшую величину, измеряемую десятками сантиметров. Такое перестроение в вязком теле не может быть мгновенным, а движение Луны сильно отстает от вращения Земли. Как следствие, приливной горб на земной поверхности не направлен точно к Луне, а опережает ее примерно на 3 ч. Сила тяготения, вызванная приливным горбом, разумеется, крайне мала, но зато действует она постоянно, передавая Луне чрезвычайно слабую, но все же заметную на больших интервалах времени силу, направленную в сторону ее движения. «Противосила» же тормозит вращение Земли, и так же неспешно. Например, на рубеже палеозоя – мезозоя, когда еще и динозавров-то не было, в земных сутках было 22 ч., а не 24, как сейчас. Постепенное замедление вращения Земли было доказано изучением линий роста палеозойских кораллов. Можно предположить, что в самый ранний период истории Земли сутки продолжались лишь 4 ч. В нашу эпоху продолжительность суток увеличивается в среднем на 0,0017 с за столетие.

На скорость вращения Земли оказывает влияние не только Луна. Существуют и более слабые солнечные приливы, также тормозящие вращение нашей планеты. Есть и чисто земные причины, влияющие на вращение Земли.

Гравитационная дифференциация недр – одна из них. При опускании тяжелых элементов в земное ядро по закону сохранения момента количества движения должно происходить уско-

рение вращения – однако оно с большой лихвой компенсируется влиянием Луны и Солнца. Хотя, впрочем, явления типа отламывания больших кусков океанических плит при их погружении под материковые плиты, сопровождающиеся глубокофокусными землетрясениями, сопровождаются также скачкообразным изменением длительности суток, которое легко можно измерить.

Кстати, теория дает несколько большее значение векового замедления: 0,0023 с за столетие. Есть предположение, что разницу в 6 мс за столетие следует отнести за счет перераспределения масс внутри Земли в меридиональном направлении, однако для проверки этой гипотезы необходимы длительные исследования.

Скорость вращения Земли испытывает также периодические и нерегулярные колебания. Причина периодических колебаний, вызванных космическими причинами, в целом понятна: и Земля, и Луна движутся по эллиптическим орбитам, вследствие чего приливные силы то немного ослабевают, то вновь усиливаются. Так, например, существуют колебания с периодом 27,3 суток (период обращения Луны) и 13,7 суток (полумесячные колебания). То же и с системой «Земля – Солнце», только с меньшей амплитудой. Землетрясения, нарушения привычной картины морских течений (вроде квазипериодической активности течения Эль-Ниньо) и даже сезонные перемещения воздушных масс и изменения снежного покрова приводят к небольшим, но вполне поддающимся измерению вариациям скорости вращения нашей планеты.

Иногда, правда, случаются и необъяснимые скачкообразные изменения скорости вращения Земли, но всегда на очень маленькую величину. С чем они связаны, покажут будущие исследования.

Ну а что же с осью вращения? Автору не раз приходилось с изумлением узнавать из «научно-популярных» телепередач о возможности (и даже чуть ли не неизбежности) резкого – на десятки градусов – изменения положения географических полюсов планеты. Земля вдруг ни с того ни с сего начнет вращаться вокруг иной оси – и всем живущим на нашей планете придется весьма несладко. Самое странное то, что этот болезненный бред подчас повторяется людьми, изучавшими физику не только в школе, но и в вузе.

Так и хочется повторить вслед за чеховским персонажем: «Этого не может быть, потому что этого не может быть никогда». Лишь масштабная космическая катастрофа вроде столкновения Земли с телом сравнимых размеров может резко сдвинуть ось вращения планеты, но при такой катастрофе сдвиг оси – это последнее, от чего может погибнуть человеческая цивилизация. Она погибнет от других причин. Но главное – в обозримом космосе нет достаточно крупных тел, способных столкнуться с Землей и натворить подобных бед. А если такие тела где-нибудь и существуют (например, в поясе Койпера), то они не имеют вредной привычки нарочно искать столкновения с Землей. Ось вращения Земли не менялась рывком никогда, исключая, может быть, гипотетическое столкновение с планетоидом, породившее Луну, и не изменится.

А вот медленный дрейф земной оси действительно происходит. Никакими жуткими катаклизмами он нам не грозит, ибо все живые существа, начиная с примитивных простейших архея и кончая нами, преспокойно живут с этим дрейфом, совершенно не замечая его. Речь идет о *прецессии* и *нутации*.

Вам случалось в детстве запускать волчок, причем не тот, что прикреплен осью к основанию, а тот, который свободно бегаёт по полу? Если да, то вы наверняка заметили, что ось вращения волчка испытывает движения по окружности, гораздо более медленные, чем вращение самого волчка. Такое вращение оси называется прецессией. Формулы, описывающие прецессию, довольно громоздки, но можно объяснить и «на пальцах»: прецессия тем сильнее, чем менее симметрично вращающееся тело или чем значительнее какая-либо сила, действующая на тело со стороны. Поскольку абсолютно строгой симметрии не существует, как не существует вообще ничего абсолютного, все вращающиеся тела, даже гироскопы, изготавли-

вающиеся особо тщательно, испытывают прецессию. Земля несколько асимметрична как по форме, так и по распределению плотности в ее недрах. Вдобавок она в целом представляет собой сплюснутый сфероид, а ее ось наклонена к эклиптике. Луна своим притяжением стремится развернуть Землю «экватором к себе». То же самое, только слабее, делает Солнце. В сумме эти причины более чем достаточны для прецессии оси вращения Земли.

В результате ось вращения Земли описывает конус, вершина которого находится в центре Земли, а ось перпендикулярна эклиптике. При этом угол наклона земной оси к эклиптике остается постоянным и равен $63^{\circ} 34''$. Сейчас северный полюс мира находится вблизи Полярной звезды, но не точно совпадает с ней, что хорошо знают любители астрономии, вынужденные «выставлять на полюс» полярные оси своих монтировок. Для противоположного полушария роль «полярной» может играть невзрачная звезда Сигма Октанта. 3000 лет назад северный полюс мира находился близ «ковша» Малой Медведицы (а не близ крайней звезды «ручки», как сейчас), а спустя 12 тыс. лет роль Полярной звезды с успехом сможет выполнить Вега (Альфа Лиры). Вообще же полный оборот ось вращения Земли совершает примерно за 26 тыс. лет.

Помимо прецессии имеют место мелкие – порядка нескольких угловых секунд – колебания оси вращения Земли около среднего положения. Такие колебания называются нутацией и вызываются тем, что прецессионные силы все время меняются как по величине, так и по направлению. Они уменьшаются, когда Солнце и Луна находятся близ плоскости земного экватора, и вновь увеличиваются, когда склонения этих небесных тел имеют наибольшую величину.

И это еще не все: имеют место блуждающие движения земных полюсов, вызванные тем, что само тело Земли смещается относительно оси вращения. Движения эти ничтожны по величине и не идут ни в какое сравнение с выдуманными «резкими изменениями наклона земной оси». Оба полюса Земли плавно перемещаются, описывая грубые окружности того или иного радиуса, но никогда не покидая условного квадрата со сторонами около 30 м. В квазипериодическом характере движения полюсов выделяются 12-месячный и 14-месячный периоды.

Следующее движение, в котором участвует Земля, это движение вокруг общего центра масс с Луной. Строго говоря, неверно утверждать, что Луна обращается вокруг Земли, – корректнее говорить, что оба тела обращаются вокруг общего центра масс, делая полный оборот за 27,32 суток. Поскольку Земля массивнее Луны примерно в 81 раз, центр масс системы «Земля – Луна» находится под земной поверхностью на расстоянии 4672 км от центра Земли по направлению к Луне. В своем движении по орбите вокруг Солнца Земля описывает отчетливо волнообразную кривую, хотя, конечно, эта волнообразность имеет гораздо меньшую амплитуду, чем у Луны.

Как указывалось ранее, Земля движется вокруг Солнца по эллиптической орбите, делая полный оборот за 365,256363 суток (звездный год) и имея среднюю орбитальную скорость 29,79 км/с. Естественно, и это движение происходит не вокруг центра Солнца, а вокруг общего центра масс Солнечной системы. Несмотря на то что Солнце в 750 раз массивнее всех остальных тел Солнечной системы, вместе взятых, можно показать, что центр массы Солнечной системы нередко выходит за границы Солнца. Естественно, наибольшее смещение центра масс относительно положения Солнца происходит при так называемом параде планет, когда большинство планет выстраивается по одну сторону от Солнца. Само собой, наиболее сильно «перетягивают на себя одеяло» планеты-гиганты Юпитер и Сатурн.

Как следствие, Земля, даже если вычесть влияние тяготения Луны, все равно движется не по строго эллиптической орбите, а совершает сложные волнообразные движения вокруг кеплеровского эллипса. Существуют гипотезы и даже теории (например, теория Миланковича) о периодических изменениях земной орбиты, связанных с увеличением или уменьшением среднего расстояния от Земли до Солнца. Как бы ни были незначительны эти изменения, ими в

принципе можно попытаться объяснить ледниковые периоды в истории Земли; более подробно углубляться в эти теории мы не будем. Отмечу лишь, что в таких движениях орбиты Земли в принципе нет ничего невозможного.

Звезды движутся, и Солнце, являясь звездой, тоже должно двигаться. Движение «неподвижных», как казалось ранее, звезд обнаружил в 1718 году Эдмунд Галлей, сравнив современные ему положения нескольких звезд с их координатами в каталоге Птолемея и учтя прецессию. Обнаружились «разночтения». Если бы они имели характер общей поправки, можно было бы предположить, что не учтено еще одно, пока неизвестное, движение земной оси, – но смещения звезд относительно их положений в каталоге Птолемея имели разновеличинный и разнонаправленный характер, следовательно, могли быть объяснены лишь собственными движениями звезд. В те времена наивные представления о «хрустальном своде небес», куда звезды приколочены наподобие гвоздиков, давно уже ушли в прошлое, и Галлей был не слишком удивлен своим открытием. В течение последующих десятилетий были измерены собственные движения многих звезд. В большинстве своем они малы, однако известно более 100 звезд с годичным движением более двух секунд дуги. Рекордсменом, как указывалось ранее, является Летящая звезда Барнарда с годичным смещением, превышающим 10 угловых секунд.

Но как определить, куда и с какой скоростью движется Солнце? Если предположить, что звезды движутся достаточно хаотично, то собственное движение Солнца (и нас вместе с ним) должно приводить к тому, что звезды должны как бы разбегаться прочь от *апекса* Солнца (так называется точка на небосводе, куда направлено движение нашего светила) и, напротив, стремиться к противоположной точке небосвода. Разумеется, положение апекса Солнца определится этим методом тем точнее, чем больше движущихся звезд будет учтено.

Однако Уильям Гершель, проделавший эту работу в 1783 году, вывел апекс Солнца из собственных движений всего-навсего 13 звезд и получил результат, близкий к современному. Сыграла ли свою роль интуиция гениального англичанина или просто повезло – трудно сказать. Хотя везение – штука такая, что не любит доставаться кому попало. Принятое в наше время положение апекса Солнца – в созвездии Геркулеса недалеко от границы с созвездием Лиры. Относительно ближайших звезд Солнце движется от Голубя к Геркулесу со скоростью 19,5 км/с.

Надо особо отметить, что это движение возникло лишь вследствие отличия движения Солнца и ближайших звезд вокруг центра Галактики от кругового и разными углами наклона их орбит. Так, например, если переместить орбиту Марса на то же среднее расстояние от Солнца, что у Земли, и пренебречь взаимным тяготением двух планет, то сразу же выяснится, что планеты имеют заметные скорости относительно друг друга, хотя обе обращаются вокруг Солнца. То же самое, только в гораздо больших масштабах расстояний, наблюдается в звездном окружении Солнца. Увлекая за собой планеты, наше главное светило движется вокруг галактического центра, во-первых, не по окружности и даже не по эллипсу, а по сложной траектории, а во-вторых, плоскость орбиты Солнца (если тут вообще можно говорить о плоскости) наклонена относительно галактического диска.

Здесь необходимо пояснение. Звезды в Галактике движутся преимущественно не по кеплеровским законам, предписывающим меньшие орбитальные скорости на больших расстояниях. Картина движений звезд в Галактике гораздо более сложная, обусловленная, во-первых, тем, к какой подсистеме – плоской или сферической – принадлежит звезда. Измерив в свое время лучевые скорости шаровых скоплений, астрономы были удивлены: оказалось, что эти «звездные колобки» движутся относительно нас со скоростями порядка 200–250 км/с, причем в одну сторону. Что-то тут было не так. Вскоре пришла догадка: это мы движемся с такой скоростью относительно сравнительно малоскоростных шаровых скоплений. А в чем состоит принципиальная разница между звездным населением в окрестностях Солнца и шаровым скоплением? Прежде всего – в принадлежности к разным подсистемам. Солнце – звезда

второго поколения – родилось и движется в галактическом диске, тогда как шаровые скопления концентрируются к центру Галактики и в пределах диска могут оказаться только случайно. Следовательно, «плоская» подсистема вращается значительно быстрее «сферической» подсистемы.

Многочисленные исследования полностью подтвердили этот тезис. Но и внутри галактического диска звезды обращаются вокруг центра Галактики с неодинаковыми и чаще всего не кеплеровскими скоростями. Лишь в самых центральных областях галактического ядра, где преобладает тяготение «центрального монстра», звезды движутся по орбитам, в первом приближении похожим на кеплеровские. Но чем дальше от центра, тем меньшее влияние оказывает «центральный монстр» (напомним: в нашей Галактике его масса оценивается в 3 млн масс Солнца) и тем сильнее влияет на всякий движущийся объект тяготение галактического диска.

Открывший вращение Галактики голландский астроном Оорт (тот самый, чьим именем названо облако ледяных тел на дальней периферии Солнечной системы) вывел простую и красивую формулу скорости тела, движущегося в галактическом диске, как функцию его удаленности от центра Галактики. Из формулы Оорта следует, что до некоторого (довольно значительного) расстояния от центра Галактики скорости звезд будут *возрастать* линейно, но затем функция испытывает перегиб, и на краю галактического диска скорости звезд уже будут падать с расстоянием от центра, причем чем дальше, тем больше это будет похоже на кеплеровское распределение скоростей. Оно и понятно: если орбита звезды пролегает на краю галактического диска, то основная масса галактики сосредоточена внутри орбиты и может быть в первом приближении сведена в точку; влиянием же масс, находящихся снаружи орбиты, можно и пренебречь.

На практике оказалось, что на больших расстояниях от центра звёзды в спиральных галактиках ни в какую не хотят подчиняться формуле Оорта: их орбитальные скорости уменьшаются с расстоянием значительно медленнее, чем предписывает им формула. Объясняется это влиянием «темного вещества», проявляющего себя только через гравитацию. Доля «темного вещества» в общей массе галактик просто-напросто преобладает, причем «темное вещество» занимает гораздо больший объем, нежели обычное галактическое вещество. Галактики (возможно, не все, но многие) погружены в обширные гало, состоящие из невидимого «темного вещества»... Но это к слову; мы говорим сейчас о другом.

Солнце, находясь немного ближе к краю галактического диска, нежели к центру, попадает в тот отрезок, где орбитальные скорости звезд все еще растут с увеличением расстояния от галактического центра. Орбитальная скорость Солнца принимается равной 220 км/с. Полный оборот вокруг Галактики Солнце делает за 220–230 млн лет.

У астрономов давно уже возник очень не праздный вопрос: а какова скорость движения Солнца относительно спиральных рукавов? Еще полвека назад такой вопрос показался бы странным – но, с другой стороны, не менее странным было то обстоятельство, что рукава спиральных галактик редко оборачиваются вокруг галактических балджей больше двух раз, чаще даже не более одного, тогда как возраст Вселенной и скорости вращения галактик, легко находимые по доплеровскому сдвигу, четко говорят о том, что практически все галактики с момента рождения успели сделать десятки оборотов. Противоречие было необходимо разрешить.

В 1964 году астрономы китайского происхождения из США Ц. Лин и Ф. Шу, развивая идеи шведского астронома Линдблада, выступили с теорией, согласно которой спиральные рукава представляют собой не некие постоянные материальные образования, а волны плотности вещества, выделяющиеся своей яркостью на общем фоне галактического диска прежде всего потому, что в них идет активное звездообразование. Звезды диска в своем орбитальном движении входят в рукав, несколько задерживаются в нем, поскольку рукав все-таки обладает повышенной гравитацией, и затем покидают его. Если орбита звезды лежит внутри определен-

ного радиуса, то звезда догоняет рукав, входит в него с тыловой, вогнутой стороны и выходит с внешней, выпуклой стороны. Если же орбита звезды лежит за этим радиусом, то все наоборот: рукав догоняет звезду, включает ее на некоторое время в свой состав, а затем обгоняет. Но массивные звезды спектральных классов О и В, бешено транжирящие ядерное «горючее» на поддержание своего колоссального излучения, не успевают покинуть рукав и кончают в нем свою короткую, но яркую жизнь, обычно завершающуюся взрывом сверхновой.

Любопытно, что Солнце находится где-то поблизости от указанного радиуса, то есть в зоне *коротации*, где скорость обращения вокруг центра Галактики приблизительно равна скорости вращения галактического узора. И это не может не навести на размышления.

Случайность ли? Или необходимое условие существования высшей жизни на Земле? Ведь, по мнению многих, пролет вблизи оболочки вспыхнувшей сверхновой не сулит обитателям Земли ничего хорошего.

В нашей Галактике сверхновые вспыхивают с частотой примерно одна в сто лет. Впрочем, слой пыли в галактическом диске, где находится Солнце, сильно мешает наблюдать далекие сверхновые, вспыхивающие в плоскости диска, так что оценка, пожалуй, занижена. Многие вспышки могли быть просто пропущены, ибо поглощение света в плоскости галактического диска колоссально. Возможно, правы те астрономы, кто считает, что в столь большой галактике, как наша, вспышки сверхновых должны происходить в среднем раз в тридцать лет.

Сверхновые делятся на два типа и ряд подтипов. Сверхновые I типа вспыхивают где угодно – это старые звезды с массами, лишь немного превышающими солнечную. Сверхновые II типа вспыхивают только в спиральных рукавах внутри слоя толщиной 100 пк. Это массивные звезды, родившиеся в рукаве и успевшие проэволюционировать, не покидая его пределов.

Еще в 1957 году И.С. Шкловским и В.И. Красовским была высказана гипотеза, объясняющая вымирание динозавров на мел-палеогеновой границе стойким увеличением уровня космических лучей в десятки, если не сотни раз. Прикидочный расчет, проведенный И.С. Шкловским (см. его замечательную книгу «Вселенная, жизнь, разум»), показал, что за время своего существования Солнце не менее десяти раз оказывалось ближе 10 пк от вспыхнувшей сверхновой. При этом достигший Земли поток ультрафиолетового излучения в десятки раз превосходил солнечный, что, естественно, не способствовало процветанию жизни. При попадании Солнца внутрь расширяющейся оболочки сверхновой плотность первичных космических лучей (высокоэнергичных частиц) также увеличивалась в десятки раз. Подобные явления были особо неприятными для существ с длительным сроком жизни (короткоживущие биологические формы менее подвержены мутациям), к числу которых относятся гигантские рептилии мезозоя.

В этой связи любопытно исследование, проделанное американскими учеными Э. Лейчем и Г. Вазиштом. Сопоставив движение Солнца по Галактике с перемещением спиральных рукавов, они заметили, что во время массовых вымираний (мел-палеогеновое, пермско-триасовое) Солнце находилось либо внутри рукавов, либо в непосредственной близости от них. Согласно расчетам этих ученых, следующее прохождение Солнца сквозь основной рукав произойдет лишь через «утешительные» 140 млн лет.

СМИ с удовольствием раздувают эти и другие «научные сенсации», преподнося гипотезы ученых чуть ли не как истину в последней инстанции. Но наука для того и существует, чтобы порождать гипотезы, проверять их, отбрасывать ложные и двигаться дальше. Нормальный ученый просто обязан генерировать гипотезы, а уж какие из них будут приняты, а какие отброшены, заранее никому не известно. Даже и принятая научным сообществом гипотеза, удовлетворяющая строгим научным критериям (объяснительная сила, принципиальная проверяемость), еще не гарантирует ее истинности. Если скорость движения Солнца относительно спиральных рукавов известна настолько неточно, что не вполне ясно, есть ли она вообще, то о каких проходах сквозь рукава и тем более о вымираниях можно говорить? Сами по себе

массовые вымирания земной биоты – не аргумент. Они легко могут быть объяснены (и объясняются) чисто земными экосистемными кризисами, не имеющими никакой связи с космосом, и объяснения эти подчас более убедительны, чем привлечение космических сил.

С другой стороны, если Солнце находится на таком расстоянии от галактического центра, что его орбитальная скорость в точности равна скорости вращения спиральных рукавов, это как-то обидно. Тогда возникает страшное подозрение, что для успешного развития высшей жизни и превращения ее в жизнь разумную необходимо строжайшее условие точно определенного расстояния до центра галактики – иначе ничего не выйдет? Думаю, многим тут захочется «включить» антропный принцип: мы являемся свидетелями процессов определенного рода, поскольку процессы иного рода проходят без свидетелей. То есть если бы Солнце имело орбиту, вынуждающую его время от времени проходить сквозь спиральные рукава, то читать эту книгу было бы некому, поскольку короткоживущие формы (скажем, мыши) не имеют шанса стать разумными и тем более грамотными.

Мне думается, страхи несколько преувеличены. Не исключен и даже вероятен «компромиссный вариант»: Солнце все-таки иногда проходит сквозь спиральные рукава, но, во-первых, ниоткуда не следует, что за время прохождения поблизости от нас взорвется звезда – это дело вероятностное, а во-вторых, между пролетами Солнца сквозь рукава (если такие пролеты имеют место в действительности) протекают сотни миллионов лет. Биологическая история Земли свидетельствует о том, что за это время жизнь имеет хорошие шансы развиться до уровня, предполагающего мыслительную деятельность. А коли так, то неужели мы не отыщем способов избежать пагубных последствий облучения, если сверхновая вспыхнет на опасном для нас расстоянии? Конечно, придется строить убежища, налаживать защиту всей инфраструктуры и не выходить без острой нужды на вольный воздух, но кто сказал, что в будущем у человечества не станет проблем? В наше время трудно найти благодушных утопистов...

Пока же наиболее вероятными кандидатами в сверхновые считаются красный сверхгигант Бетельгейзе (Альфа Тельца) и сверхмассивная звезда Эта Киля. Расстояние до обеих звезд весьма почтенное, и взрыв их ничем особенным нам не грозит. На какое-то время, исчисляемое неделями, на небе возникнет яркое светило, возможно, сопоставимое по яркости с Луной, затем светило поблекнет, а на его месте возникнет яркая расширяющаяся туманность – и только. Взрыва же ближайших к нам звезд (например, Сириуса) в обозримое время ожидать не следует.

Между прочим, в глубоководных осадочных породах в слое возрастом 5 млн лет содержится повышенное содержание редкого изотопа железа-60. Объяснить происхождение этого железа земными источниками не удастся. Есть предположение, что около 5 млн лет назад Земля прошла сквозь оболочку сверхновой, вспыхнувшей в 100 световых годах от Солнца. И что же произошло с земной биотой 5 млн лет назад? Да в общем-то ничего экстраординарного...

По поводу орбитального движения Солнца в Галактике осталось сказать лишь то, что вызванное им наше движение среди звезд направлено в настоящую эпоху к созвездию Лиры.

Ну а что же сама Галактика? Она также движется, участвуя, во-первых, в общем расширении Вселенной, а во-вторых, в движениях, вызванных тяготением великого множества галактик, расположенных от нас на расстояниях до 300–500 Мпк.

Иногда спрашивают: если разлет галактик есть следствие Большого взрыва, то где же он произошел, в какой точке пространства? Ответ: ни в какой. В нашем трехмерном пространстве такого места просто нет. Хорошую иллюстрацию к сказанному иногда демонстрируют вузовские преподаватели, надувая воздушный шарик с нанесенными на него фломастером точками. Каждая точка – аналог галактики. Если представить себя на месте двумерных существ, не имеющих толщины и обитающих на поверхности шарика, то, с их точки зрения, расстояния между точками-галактиками будут все время увеличиваться по мере надувания шарика – но где будет

расположена точка, из которой сформировалась их двумерная вселенная? В центре шарика, то есть вне границ их вселенной. Существа эти могут сколь угодно остроумно аргументировать свои построения математическими выкладками, но представить себе трехмерную вселенную для двумерного существа будет очень трудно: его мозг «заточен» эволюцией под другое, трехмерная вселенная лежит вне его бытовых представлений. Точно так же и мы способны в принципе понять, что четвертое пространственное измерение существовать может, но представить его себе – для этого нужны какие-то особые мозги, которыми люди в массе своей не обладают. Так что будет правильным считать, что галактики удаляются не от какой-то точки, а просто друг от друга, причем тем быстрее, чем дальше друг от друга они находятся (на измерениях лучевой скорости по красному смещению основан метод определения расстояний до галактик). Чтобы лучше это понять, важно запомнить: не галактики разлетаются в пространстве, а расширяется само пространство – совсем как поверхность воздушного шарика, надуваемого преподавателем перед студентами.

Впрочем, близко расположенные галактики, связанные узами взаимного тяготения, могут и приближаться друг к другу. Например, Туманность Андромеды, находящаяся от нас на расстоянии 2,2 млн световых лет, приближается к нам со скоростью около 130 км/с и через несколько миллиардов лет пройдет рядом с нашей Галактикой, а может быть, и столкнется с ней по касательной. Никакого катаклизма, однако, не произойдет – лишь несколько нарушится спиральный узор, чтобы затем постепенно выправиться, да из звездно-газового «хвоста», который, возможно, протянется между расходящимися в пространстве галактиками, могут образоваться одна или несколько карликовых галактик. Подобные процессы при взаимодействии галактик действительно наблюдаются.

Наша Галактика, Туманность Андромеды, Туманность Треугольника, а также несколько мелких галактик и шаровых скоплений, не принадлежащих никакой галактике, образуют так называемую Местную группу. Она, как и ряд других подобных групп, находится на дальней периферии богатого скопления галактик в Деве. Судя по расстоянию до центра скопления (18 Мпк), мы должны удаляться от него со скоростью 1000 км/с, на деле же эта скорость на 290 км/с меньше, что легко объясняется тяготением скопления. Подобные же гравитационные эффекты обеспечивают нам Великая Стена и Великий Аттрактор – элементы крупномасштабной структуры Вселенной, расположенные от нас на расстоянии в сотни мегапарсеков и состоящие из большого числа скоплений галактик.

А впрочем, для нас на бытовом уровне расширение Вселенной примерно то же самое, что движение планет для инфузории, шустрящей в капле прудовой воды... Оставим же эту тему, вернемся в Солнечную систему и рассмотрим ее подробнее, начав, естественно, с главного ее тела.

6. Солнце

Заурядная звезда главной последовательности, каких миллиарды только в нашей Галактике, – вот что такое Солнце, если взглянуть на него объективно. Но разве большинству людей есть хоть какое-то дело до объективности, когда речь идет о главном светиле нашей системы, свет которого согревает нас и служит источником пищи через фотосинтез растений и плоть питающихся ими животных? Когда холодным росистым утром над горизонтом встает огненный шар и ласкает нас, озябших, своими лучами, любой человек, пустившийся в рассуждения о заурядном месте Солнца среди звезд, рискует нажать репутацию зануды. Солнцу мы обязаны самым феноменом жизни – и этим, казалось бы, все сказано. Недаром в честь Солнца люди исстари слагали стихи, молились ему, а нередко и приносили человеческие жертвы. Среди «солнечных» богов особой «любовью к людям», приносимым ему в качестве жертв, отличался ацтекский Кукулькан. Пытались не отстать и иные «солнечные» боги, имя им легион. Вряд ли на Земле был такой народ, который так или иначе не поклонялся Солнцу.

И разве надо объяснять, почему фараон-революционер Эхнатон выбрал в качестве единого божества не кого-нибудь, а Атона – бога солнечного диска?

То, что Солнце, какие бы антропоморфные или звериные обличья оно ни принимало в глазах наших простодушных предков, представляет собой нечто огненное, не сомневался никто. Это как раз тот случай, когда человек мог довериться своим органам чувств и в первом приближении не ошибиться. Правда, Солнце очень долго считалось спутником Земли, много меньшим земного диска (или даже шара), а великое прозрение Аристарха Самосского в III веке до н. э. насчет истинных размеров Солнца по отношению к Земле осталось лишь гласом чудака-одиночки вплоть до издания в 1515 году «Малого комментария» Николая

Коперника с первым изложением гелиоцентрической системы мира и указанием относительных расстояний планет до Солнца. Но параллакс Солнца был измерен лишь в 1671–1672 годах. Из него уже элементарно получалось точное расстояние до Солнца и его диаметр. Массу Солнца удалось оценить после открытия Кеплером законов движения небесных тел.

Вот современные цифры: масса Солнца равна $1,989 \times 10^{30}$ кг, что примерно в 750 раз больше суммарной массы всех прочих тел Солнечной системы и в 333 тыс. раз больше массы Земли; диаметр Солнца равен 1,392 млн км, что в 109 раз больше диаметра Земли. Из этого следует средняя плотность $1,409 \text{ г/см}^3$. Как видим, Аристарх Самосский несколько преувеличил размеры Солнца (конечно, если он имел в виду диаметр, а не объем или массу), но угадал порядок.

Но если с размерами и массой Солнца астрономам удалось разобраться, то причины его светимости оставались неясными вплоть до начала прошлого века. Предположение, что Солнце светит просто за счет тепловой инерции, как светится в темноте только что вынутая из горна железная заготовка на наковальне кузнеца, было сразу же отброшено как несерьезное. Простые расчеты показывали, что Солнце, не имеющее собственного источника энергии, остынет достаточно быстро – за вполне историческое время. Быть может, в Солнце идет горение какого-нибудь топлива вроде угля? Увы – несложные расчеты показали, что при наблюдаемой светимости угольное Солнышко прогорит в шлак всего за несколько тысяч лет.

Выход вроде бы нашел Г. Гельмгольц в середине XIX века: он предположил, что Солнце светит за счет медленного сжатия. Высвобождающаяся при этом энергия должна куда-то деваться, вот она и идет на поддержание высокой температуры и светимости Солнца. Правда, расчеты показали, что всего лишь несколько десятков миллионов лет назад радиус Солнца должен был превосходить радиус земной орбиты, и это сильно раздражало геологов, уже в те годы убежденных в том, что Земле минимум несколько сотен миллионов лет, но астрономов

до поры до времени устраивало. Скорее всего – из-за отсутствия более приемлемых гипотез. Не принимать же всерьез гипотезу о светимости Солнца за счет непрерывного выпадения на его поверхность метеоров! А ведь была и такая.

С открытием А. Беккерелем явления радиоактивности появилось новое поле для выдвижения гипотез, и довольно скоро астрофизики пришли к выводу: причина светимости Солнца – ядерные реакции в его недрах. Какие именно реакции – было пока неизвестно, высказывалась даже гипотеза о том, что это радиоактивный распад (скажем, радия), но очень скоро была отвергнута. Радиоактивность – явление спонтанное, а было ясно, что внутри Солнца существует некая «отрицательная обратная связь», при помощи которой Солнце сохраняет свои характеристики на протяжении весьма значительного времени. Лишь в 30-е годы XX века было доказано, что внутри Солнца идут ядерные реакции синтеза.

Впрочем, основателя теории внутреннего строения звезд А. Эддингтона это не особенного волновало. Он исходил из двух постулатов: а) в центре звезды есть постоянно действующий источник энергии, причем его «физика» не имеет значения; б) вещество звезды подчиняется основным газовым законам. В обоих предположениях Эддингтон оказался прав: ядерные реакции действительно идут в центральной области Солнца, а его вещество в первом приближении ведет себя как идеальный газ. Сам же спектр солнечного излучения, как ни странно, напоминает спектр абсолютно черного тела, нагретого до 5779 кельвинов.

Газовый шар, находящийся в состоянии равновесия, – вот что такое звезда по Эддингтону. Равновесие это обеспечивается равенством двух противоположно направленных сил: силы тяготения, стремящейся сжать звезду в точку, и силы давления газа, стремящейся рассеять вещество звезды в пространстве. В зависимости от физических условий вещество звезды может пребывать либо в устойчивом состоянии, когда любое местное нарушение плотности, температуры и давления газа немедленно самоустранивается, либо в состоянии конвекции, которая заставляет вещество звезды буквально кипеть. На практике обе ситуации обычно реализуются в разных глубинных зонах одной и той же звезды.

Солнце не исключение. Его можно условно разделить на три вложенные друг в друга части, примерно равные по радиусу (рис. 20 на цветной вклейке). Во внутренней трети идут ядерные реакции на водороде, это зона энерговыделения. Промежуточная зона – область лучистого переноса энергии. Вещество Солнца здесь уже нагрето недостаточно для ядерных реакций, но еще имеет довольно высокую температуру, обеспечивающую газу прозрачность. Это не значит, что тут вообще не происходит перемешивания вещества, однако за транспортировку энергии отвечает главным образом лучистый перенос.

И наконец, третья, внешняя зона – это зона конвекции. Вещество в ней уже достаточно холодное, чтобы стать непрозрачным. Здесь слой солнечного вещества толщиной всего 1 мм практически полностью поглощает фотоны. Естественно, при этом происходит возбуждение атомов, которое потом «сбрасывается» за счет излучения атомами фотонов тех же или меньших энергий, но это – спонтанный процесс, его нельзя сделать сколь угодно быстрым. В результате энергия задерживается в веществе, и вещество оказывается в состоянии тепловой неустойчивости. Естественный и неизбежный выход в такой ситуации – перенос энергии из глубинных слоев к поверхности с помощью конвекции.

Какие же ядерные реакции идут в центральных областях Солнца?

Естественно, это термоядерные реакции превращения водорода в гелий. Их известно две: прямая протон-протонная реакция и углеродно-азотный цикл Бете – Вайцзеккера. Каждая из них идет в несколько этапов. Рассмотрим обе.

Протон-протонная реакция начинается с того, что ядро атома водорода (протон) соединяется с другим таким же протоном, образуя ядро дейтерия. Это самый вялотекущий этап протон-протонной реакции. Почему? Чтобы понять это, рассмотрим состояние вещества в центре Солнца.

Естественно, мы не можем заглянуть туда. Лишь солнечные нейтрино, беспрепятственно пронзающие толщу солнечного вещества, доносят до нас кое-какую информацию. Но в целом о том, что делается в недрах Солнца, ученым известно лишь из численных моделей. При этом некоторые параметры остаются неизвестными. Трудно сказать, сколько водорода в центре Солнца успело превратиться в гелий за время существования нашего светила. Трудно сказать, идет ли там перемешивание вещества, а если идет, то с какой интенсивностью. Приходится строить модели с разными «вводными». К счастью, в основе они не очень сильно отличаются друг от друга.

Температура вещества в центре Солнца достигает 14–15 млн К. Плотность газа составляет 140–180 г/см³. При этом вещество в центре Солнца остается газом, причем не вырожденным, как в белых карликах, а наоборот, близким к идеальному газу. Следовательно, к нему могут применяться классические газовые законы.

Сказанное может повергнуть в легкую оторопь: вещество с плотностью, на порядок превышающей плотность тяжелых металлов, и давлением в 340 млрд атмосфер – газ, да еще идеальный? И тем не менее это так. Почти. Вспомним, что такое идеальный газ. Это газ, в котором столкновения частиц сводятся к абсолютно упругим соударениям без какого бы то ни было иного взаимодействия между ними. Сейчас мы поймем, что в недрах Солнца почти так и есть.

Чтобы преодолеть кулоновские силы отталкивания и слипнуться в ядро дейтерия, хотя бы одному из двух протонов надо иметь энергию порядка 1000 кэВ. Распределение энергий частиц в газе, как мы знаем из школьного курса физики, максвелловское, то есть количество высокоэнергичных частиц падает по гиперболическому закону. Если подсчитать среднюю энергию протона в центре Солнца, то она составит всего-навсего 1 кэВ. Частиц с энергией 1000 кэВ просто не будет. С точки зрения классической физики, звезды типа нашего Солнца и менее массивные, чьи недра нагреты слабее, излучать за счет ядерных реакций не могут.

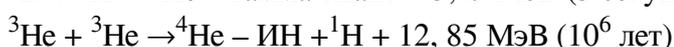
Но звезды все же излучают, а значит, природа нашла выход из положения. Согласно законам квантовой механики, протоны, имеющие энергию значительно меньше требуемой, скажем, 20 кэВ, все-таки могут с вероятностью, отличной от нуля, реагировать друг с другом. И протоны с такими энергиями в центре Солнца уже есть.

Их мало, конечно. И невелика вероятность реакции между двумя протонами с энергиями всего-навсего в десятки килоэлектронвольт, причем с уменьшением энергии частиц вероятность реакции между ними резко падает. (Именно поэтому главная последовательность диаграммы Герцшпрунга – Рассела идет круто вниз в области красных карликов.) Подсчитано, что в условиях солнечных недр любой случайно выбранный протон вступит в реакцию со своим собратом в среднем через 10 млрд лет.

Казалось бы, чудовищный срок. Однако это именно то, что надо для обеспечения современной светимости Солнца. Вероятность реакции между протонами крайне низка, зато протонов очень много, так что в результате мы на Земле не особенно мерзнем. А кто жалуется на холод, тот пусть спросит бедуина в аравийской пустыне, холодно ли ему днем. Вопросающему повезет, если ему попадетсся бедуин, наделенный чувством юмора.

Следующий этап протон-протонной реакции, напротив, идет очень быстро, в среднем за 5 с. Столько времени нужно, чтобы ядро дейтерия поглотило еще один протон и превратилось в ядро гелия-3. И наконец, на третьем этапе два ядра гелия-3 сливаются, образуя ядро гелия-4 и два протона. На это в среднем уходит «всего» миллион лет.

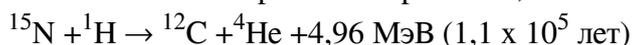
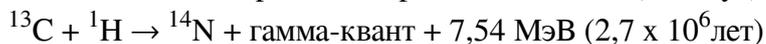
Запишем этапы реакции:



Не вся высвободившаяся в результате этой цепи реакций энергия передается звезде – часть ее уносят нейтрино. Все же при образовании одного ядра гелия звезда получает 26,2 МэВ, или $4,2 \times 10^{-5}$ эрг.

Существует – причем не только в теории, но и в реальности – и другая ветвь той же реакции. Ядро гелия-3 может прореагировать с ядром обычного гелия-4, после чего образуется ядро бериллия-7. Это ядро может захватить протон и превратиться в ядро бора-8 или захватить электрон и превратиться в ядро лития. В первом случае ядро бора-8 претерпевает бета-распад, превращаясь в ядро бериллия-8 с попутным образованием позитрона и нейтрино. (Именно эти солнечные нейтрино были впервые обнаружены на перхлорэтиленовом детекторе; об этом ниже.) Бериллий-8 весьма неустойчив и быстро распадается на два ядра гелия-4. Во втором случае, когда образуется ядро лития-7, оно захватывает протон и опять-таки превращается в бериллий-8, который охотно распадается на две альфа-частицы (ядра гелия-4). Словом, на какие бы ухищрения природа здесь ни шла, какие бы варианты реакций ни предлагала, в результате водород все равно превращается в гелий, выделяя при этом энергию.

Углеродно-азотный цикл состоит из шести реакций:



В этом цикле ядерных реакций на одно получившееся ядро гелия выделяется (без учета нейтрино) 25 МэВ энергии.

Как видим, цикл состоит из четырех актов присоединения протона и двух бета-распадов. Углерод, участвующий в цикле, в конце его восстанавливается и не тратится, являясь, таким образом, «катализатором» реакции. Без углерода этот цикл просто не пойдет, как не шел он в самых первых звездах Вселенной, где углерода еще просто не было (напомню: он вырабатывается в «тройной гелиевой реакции» из ядер гелия в недрах красных гигантов и сверхгигантов при температурах свыше 100 млн К). Внутри Солнца, образовавшегося из космического вещества, уже обогащенного тяжелыми элементами, углерод, естественно, присутствовал с самого начала.

Обе эти группы реакций весьма чувствительным образом зависят от температуры. Скорость протон-протонной реакции в диапазоне температур 11–16 млн К зависит от температуры в четвертой степени, и это еще куда ни шло. Скорость же углеродно-азотного цикла зависит от температуры куда более сильно: степени этак в пятнадцатой. Поэтому в маломассивных красных карликах реакции углеродно-азотного цикла вообще не идут. И наоборот: в массивных горячих звездах главной последовательности идут, конечно, оба типа реакций, но главенствует углеродно-азотный цикл, а протон-протонная реакция идет к нему несущественным «довеском».

А как же Солнце? Лет 60 назад считалось, что единственным источником его излучения служит углеродно-азотный цикл. Теперь стало ясно, что он играет подчиненную роль, а основное энерговыделение в центре Солнца обеспечивает все же протон-протонная реакция. Для того чтобы углеродно-азотный цикл «развернулся вовсю», внутри Солнца просто не хватает температуры.

И это отрадно: в противном случае жизнь в Солнечной системе могла бы и не возникнуть вовсе, а если бы и возникла, то не на Земле, а подальше от чересчур мощного центрального светила, скажем, на Марсе, куда менее приспособленном для биологической эволюции...

В результате ядерных реакций энергия выделяется в виде гамма-квантов. Теперь даже дети знают, что гамма-излучение губительно для всего живого. И тем не менее мы живем не в подземных убежищах, а на воздух выходим чаще днем, чем ночью, и притом без свинцовых зонтиков. Дело в том, что по пути из глубины Солнца к поверхности кванты «худеют» – так, во всяком случае, сказано в некоторых научно-популярных книжках. Автор не знает, что такое «худой» или «толстый» квант, и категорически отказывается принимать эту метафору. Лучше сказать, что вместо одного высокоэнергичного кванта до поверхности Солнца доходит целая уйма гораздо менее энергичных квантов. Ведь какой-нибудь атом солнечного вещества, поглотив высокоэнергичный квант и перейдя в сильно возбужденное состояние, чаще всего избавляется от него не сразу, а постепенно, излучая менее энергичные кванты в соответствии с «нарезкой» своих квантовых уровней и мало-помалу возвращаясь в исходное состояние. Естественно, на этом теряется время. Не взаимодействующие с веществом нейтрино вырвутся из глубин Солнца на поверхность за какие-нибудь две секунды, а гамма-квант (имеется в виду не фотон, а именно порция энергии) будет долго «просачиваться» к поверхности Солнца, чтобы быть излученным в пространство в виде многих квантов оптического, инфракрасного, ультрафиолетового и мягкого рентгеновского диапазонов. Максимум излучения приходится на желтый участок видимого диапазона, что мы и наблюдаем. Время «просачивания» измеряется миллионами лет.

Но вот наконец кванты добрались до поверхности Солнца и были излучены. Правда, что такое поверхность Солнца – не вполне ясно. То, что мы видим, наблюдая Солнце сквозь темные очки, закопченное стекло или какой-нибудь фильтр, называется *фотосферой*. Это весьма условная граница собственно Солнца, над которой находятся слои солнечной атмосферы. Толщину фотосферы можно принять равной 100–200 км. Именно в фотосфере заканчивается конвективное движение солнечного вещества, здесь оно «сбрасывает» вовне избыток энергии в виде излучения, которым мы на Земле с удовольствием и пользуемся.

Вся поверхность фотосферы покрыта *гранулами* – нестойкими светлыми образованиями в целом округлых очертаний и *флоккулами* – волокнами разнообразной формы. Если смотреть на Солнце в телескоп сквозь фильтр, видно, что в промежутках между гранулами лежит более темный фон. Это значит, что гранулы ярче основного фона солнечной поверхности. Оно и понятно: ведь гранулы суть не что иное, как верхушки конвективных ячеек. Горячее вещество, всплывающее к поверхности, образует гранулу, в ее центре вещество поднимается и, достигнув поверхности, растекается к краям. Излучив энергию и охладившись, вещество вновь ныряет в глубину в промежутках между гранулами. Самая обыкновенная конвекция; нечто похожее можно наблюдать в кастрюле с поспевающей кашей или киселем. Разница лишь в масштабах: поперечник гранул составляет 400–1500 км, а их температура градусов на 200 выше средней по фотосфере.

Между прочим, в научно-популярных фильмах о Солнце под видом «кипения» солнечной поверхности нередко показывают кипящую рисовую кашу. Сходство весьма значительное. И не случайное.

Как минимум со времен Галилея известно, что на Солнце есть пятна (рис. 21 на цветной вклейке). «Как минимум» – потому что некоторые особенно крупные пятна, появляющиеся в годы максимумов солнечной активности, могут быть заметны и невооруженному глазу. Автору этой книжки случалось наблюдать такие пятна сквозь поглощающий фильтр, роль которого исполняла обыкновенная компьютерная дискета. Можно также использовать стопку фотонегативов или традиционное закопченное стекло. А иногда, особенно на восходе и закате, когда лучи Солнца падают очень наклонно и вынуждены пробираться сквозь значительную толщу воздуха, ослабляясь при этом, большое пятно на солнечном диске можно увидеть и невооруженным глазом. Если же вы хотите посмотреть на Солнце в телескоп, бинокль, подзорную трубу или какой-нибудь иной оптический прибор, собирающий свет в зрачок, то не делайте

этого иначе, чем с апертурным (не окулярным!) фильтром. Старая жестокая шутка гласит, что в телескоп на Солнце можно посмотреть только дважды – один раз правым глазом и один раз левым. В этой шутке очень много правды: зрение после столь варварского эксперимента удастся восстановить далеко не всегда.

Что такое солнечные пятна?

Движение заряженных частиц, естественно, создает магнитное поле. В Солнце полным-полно заряженных частиц, и они движутся. Во-первых, имеет место конвективное движение. Во-вторых, Солнце вращается вокруг своей оси, причем не как твердое тело, а зонально: скорость вращения на солнечном экваторе выше, чем в высоких солнечных широтах. Следовательно, Солнце должно иметь магнитное поле просто по определению. Так оно и есть, хотя его напряженность по сравнению с рядом более активно вращающихся звезд невелика: около 1 Э (эрстед). Из-за сложной картины движения заряженных частиц магнитное поле Солнца тоже сложное и мало похоже на простое дипольное магнитное поле Земли. Магнитные силовые линии выходят на поверхность Солнца в самых неожиданных и притом дрейфующих местах.

В таких местах и наблюдаются пятна (рис. 22 на цветной вклейке). В них напряженность магнитного поля в 8-10 раз выше средней. Сильное магнитное поле в пятнах проявляется в эффекте Зеемана – расщеплении спектральных линий на три компонента. Показательно, что солнечные пятна часто наблюдаются парами, между которыми протянут пучок силовых магнитных линий, выходящий из поверхности Солнца в одном пятне, образующий арку над солнечной поверхностью и скрывающийся в другом – почти таком же на вид – пятне (рис. 23 на цветной вклейке).

Пятна примерно на тысячу градусов холоднее окружающих их областей¹⁴ и заметно вдавлены, что хорошо заметно визуально, если проследить за пятном, дрейфующим от центра к краю солнечного диска. Воронкообразная форма пятен была обнаружена еще в 1774 году шотландским астрономом А. Вилсоном. Пятна обрамлены флоккулами, которые близ края диска выглядят как *факелы*. Температура факелов, напротив, выше средней по фотосфере.

Факелы лучше видны близ края диска из-за эффекта потемнения солнечного диска к краю. Объяснение этого явления состоит в том, что в направлении на центр Солнца (перпендикулярно к поверхности) взор наблюдателя проникает глубже и видит более горячие слои, чем в направлении на край, где луч света, прежде чем попасть в глаз наблюдателя, проходит значительную толщину верхних, не таких горячих, слоев фотосферы.

Всем известен 11-летний (точнее, и, 1-летний) цикл солнечной активности. Открыл его в XIX веке немецкий астроном-любитель, аптекарь по профессии, Г. Швабе, потративший 43 года на поиски планеты, расположенной ближе к Солнцу, чем Меркурий, и заранее нареченной Вулканом. Поскольку даже наблюдения Меркурия не очень просты из-за близости планеты к Солнцу, так что Меркурий всегда виден низко над горизонтом в лучах вечерней либо утренней зари, Швабе здраво рассудил, что поиски Вулкана на небе сразу после захода (либо перед самым восходом) Солнца вряд ли приведут к успеху. Однако планета, чья орбита почти наверняка лежит недалеко от плоскости эклиптики, и вдобавок ближайшая к Солнцу, должна время от времени проходить по солнечному диску, как проходят по нему иногда Меркурий и Венера. И вот Швабе 43 года занимался наблюдением солнечных пятен, надеясь, что какое-нибудь из них окажется не пятном, а диском неизвестной планеты. Как сейчас заведомо известно, внутри орбиты Меркурия планет нет, и вообще там нет постоянно находящихся тел, чей диаметр превышал бы 5 км, так что поиски Швабе... так и хочется написать «ни к чему не привели». Но нет – они привели к открытию 11-летнего цикла, так что если неутомимый аптекарь надеялся оставить след в астрономии, то он своего добился даже без открытия Вулкана.

¹⁴ Однажды наблюдалось пятно с температурой всего 3680 К. – *Примеч. авт.*

Правда, как это часто бывает, выяснилось, что Швабе «изобрел велосипед» и «открыл Америку». Оказалось, что на цикличность появления солнечных пятен обратил внимание датский астроном Горребов еще в 70-е годы XVIII века, но авторитеты того времени отрицательно оценили полученный им результат, да и сами материалы впоследствии погибли при обстреле Копенгагена эскадрой адмирала Нельсона, как легко догадаться, мало озабоченного вопросами солнечной астрономии. Так что 43-летние труды Швабе были не напрасны.

Эстафету подхватил швейцарский астроном Рудольф Вольф. Он подтвердил цикличность появления пятен, предложил специальный индекс солнечной активности, впоследствии названный в его честь, выдвинул идею об организации Службы наблюдения Солнца и восстановил по сохранившимся наблюдениям предшественников среднегодовые значения W начиная с 1700 года, а начиная с 1749 года – и среднемесячные. Позднее эта «летопись» была дополнена еще более ранними, но, к сожалению, отрывочными наблюдениями.

Наблюдения Горребова и Швабе блистательно подтвердились: действительно, в среднем каждые и лет количество пятен на Солнце увеличивается, чтобы затем уменьшиться, снова увеличиться через 11 лет, и так без конца. Менее известны другие циклы, как более короткие (2-летний), так и более длинные, вековые (например, 180-летний) и сверхвековые. Прежде всего: чем они вызываются?

Первопричина лежит в зональном вращении Солнца. На экваторе солнечное вещество делает полный оборот за 25,38 земных суток (что соответствует линейной скорости 2 км/с), близ полюсов же – примерно за 33 суток. И на эту разницу накладывается еще конвекция в толстом верхнем слое Солнца! Нет ничего удивительного в периодичности – или, говоря точнее, квазипериодичности – явлений на поверхности Солнца. Ведь конвекционные движения вещества нередко лишь кажутся хаотическими, на самом же деле они часто обладают известной степенью упорядоченности. Циклическая (а не случайная) активность Солнца – одно из проявлений такой упорядоченности в неупорядоченных с виду системах.

Магнитное поле Солнца переполосовывается каждый 11-летний период, что говорит об изменении направления движения больших масс вещества; таким образом, полный период изменений солнечной активности составляет 22 года (магнитный цикл, он же *цикл Хейла*). В каждом новом цикле солнечные пятна имеют определенную магнитную полярность. Например, в северном полушарии в каждой паре пятен впереди (то есть по ходу вращения Солнца) располагается пятно с северным магнетизмом, а позади – с южным. В южном же полушарии в этот период – прямо наоборот. При переполосовке все меняется. Можно сказать, что Солнце – магнитно-переменная звезда.

В минимуме активности пятен не только мало, но, что для нас важнее, они находятся далеко от солнечного экватора, группируясь примерно к 35-й широте (северной и южной), а иногда заходят и за 50-ю широту. Ближе к максимуму активности пятна смещаются ближе к экватору (закон Шперера) и их становится больше. С середины XIX столетия уровень активности определяется числом Вольфа (W), равным сумме числа отдельных пятен и удесятеренного числа групп пятен. Числом Вольфа астрономы порой пользуются и ныне, хотя оно несколько субъективно, да и дискретно. Физически более обоснованным является другой важный индекс солнечной активности, а именно поток солнечного радиоизлучения на волне 10,7 см. Его регистрация ведется с 1948 года. Величина этого индекса просто-напросто представляет собой среднюю температуру теплового излучения, связанного с активными областями на Солнце. Однако немаловажно то, что этот вполне объективный индекс хорошо коррелирует с числом Вольфа.

Итак, во время максимумов солнечной активности на Солнце больше пятен и выше уровень радиоизлучения от него. А что же оптическое излучение? Измерения показали, что при среднем количестве солнечной энергии, приходящейся на единицу перпендикулярной солнечным лучам поверхности на среднем расстоянии от Земли до Солнца, называемой *солнечной*

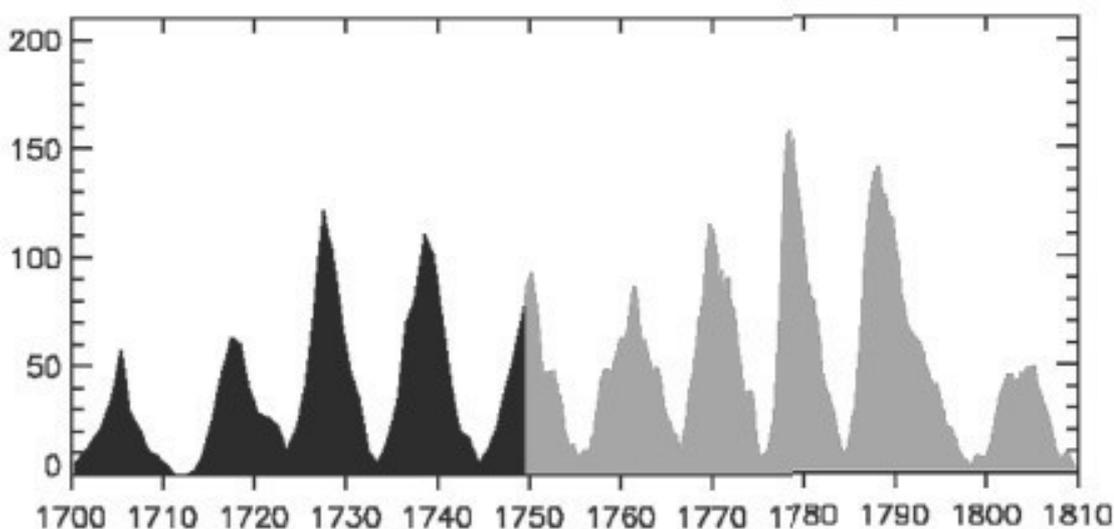
постоянной и составляющей 1369 Вт/м^2 , вариации все же происходят. В годы максимумов эта величина возрастает на $0,2\text{--}0,3 \%$ по сравнению с годами минимума. Как видим, Солнце не только магнитнопеременная, но и реально переменная звезда. Астрономы не переводят ее в разряд переменных, во-первых, из-за малости колебаний светового потока, а во-вторых, потому что если учитывать столь малые изменения, то к разряду переменных придется отнести едва ли не все звезды.

Внимательный читатель может заподозрить некоторое противоречие: поток идущей от Солнца энергии в годы максимумов активности возрастает, в то время как пятен на Солнце становится больше, они занимают большую площадь, и они холоднее, а значит, поток солнечной энергии по идее должен уменьшаться, а не увеличиваться. Но нет, он все-таки увеличивается. Объясняется это тем, что факелы и целые факельные поля, обрамляющие пятна, не просто компенсируют падение излучения в пятнах, но компенсируют его даже с некоторой лихвой.

Пятна бывают как маленькими, так и громадными – больше поперечника Земли. В 1995 году автоматической солнечной обсерваторией SOHO, выведенной на меридиональную гелиоцентрическую орбиту в целях изучения Солнца, было зафиксировано рекордное пятно с поперечником в 100 тыс. км, что в семь с лишним раз больше земного диаметра. В минимуме цикла число Вольфа может сократиться почти до нуля (в редких случаях – просто до нуля без «почти»), зато в максимуме оно обычно превосходит 100, а на пике максимума может превышать и 200. Тут надо оговориться, что минимум цикла и максимум цикла – понятия в некоторой мере условные, так как число Вольфа изменяется во времени отнюдь не по строгой синусоиде (рис. 24) и вообще пятна, соответствующие новому циклу, могут появиться в высоких широтах еще до того, как закончится предыдущий цикл.

Для нас «на бытовом уровне» важно то, что в максимуме цикла пятна расположены вблизи солнечного экватора, а наклон плоскости земной орбиты к солнечному экватору составляет всего $7,25^\circ$ – не так уж много. Иначе говоря, если оттуда что «выстрелит», то запросто может задеть и Землю. Что и происходит время от времени.

В активных областях Солнца (то есть там же, где расположены и пятна) время от времени происходят вспышки, иногда очень мощные. Солнечный ветер (поток заряженных частиц – преимущественно электронов и протонов) существует всегда, но во время вспышки он усиливается многократно – к счастью, не во всех направлениях.



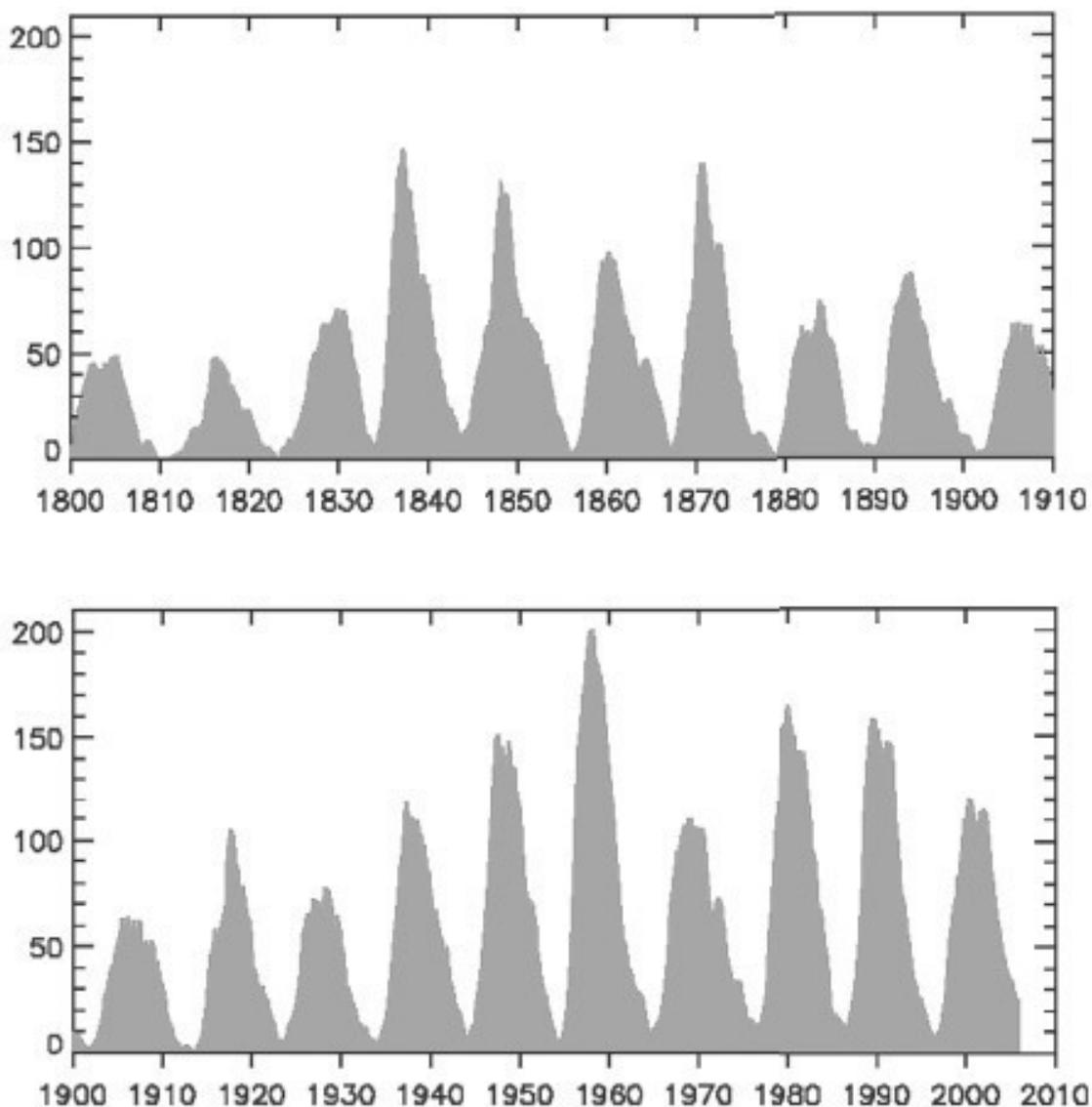


Рис. 24. Годовые числа Вольфа с 1750 года

При вспышке из активной области выстреливается довольно узкий пучок частиц, летящих со скоростью порядка 2000 км/с, что вдвое выше скорости нормального солнечного ветра. Что происходит на Земле, когда она проходит сквозь такой пучок, хорошо известно. Это магнитные бури. Поток заряженных частиц сильно деформирует магнитное поле Земли, что чувствуют на себе не только люди, склонные к мигрени, но иногда и население довольно обширных регионов, оставшееся без электричества и телефонной связи. Ведь меняющееся магнитное поле наводит в проводниках (линиях электропередач) довольно значительные токи, вполне способные вызвать аварийное отключение какой-либо подстанции, а вслед за ней – веерное отключение значительной части всей энергосистемы того или иного региона. Кроме того, – и это, пожалуй, единственное приятное свойство солнечных вспышек – они вызывают полярные сияния.

Красивейшее зрелище! Слабые полярные сияния бесцветны, зато сильные переливаются всеми красками с преобладанием красного и зеленого цветов (рис. 25 на цветной вклейке). Цвета обусловлены возбуждением тех или иных атомов атмосферы (кислород, азот), которые при возвращении в невозбужденное состояние испускают фотоны соответствующих энер-

гий. Возбуждение же атомов происходит из-за того, что часть летящих от Солнца заряженных частиц все же проникает под магнитную «броню» Земли и отклоняется ее магнитным полем к полюсам. Из-за этого полярные сияния чаще всего наблюдаются в высоких широтах обоих полушарий.

Не надо только думать, что так происходит всегда! Обитатели средних и даже тропических широт тоже имеют отличный от нуля шанс увидеть полярное сияние. Довольно свежий пример: 28 октября 2004 года полярное сияние наблюдалось в Москве и было настолько сильным, что его заметили даже близ центра мегаполиса, залитого ночными огнями настолько, что и ярчайшие звезды были заметны с трудом. Автор наблюдал это сияние в Подмоскowie и получил огромное удовольствие.

В годы особенно активного Солнца полярные сияния наблюдались в Крыму и даже гораздо южнее: на Кубе, а один раз и в Сингапуре, лежащем почти на экваторе! Само собой, столь мощные сияния – большая редкость, и все же жителям южных районов нашей страны я бы посоветовал хоть иногда поднимать взгляд к северному горизонту во время магнитных бурь, то есть спустя сутки-двое после мощных солнечных вспышек, о которых сообщают СМИ. Вдруг повезет?

Но оставим на время в покое Землю и вернемся к Солнцу. Выше фотосферы, как мы уже знаем, располагаются слои солнечной атмосферы. Их условно делят на *обращающий слой*, *хромосферу* и *корону*. Обращающий слой толщиной всего 500 км содержит атомы многих химических элементов, причем они далеко не полностью ионизованы. Как следствие, здесь происходит поглощение, рассеяние и переизлучение энергии во всех направлениях. Поглощение приводит к появлению в солнечном спектре многочисленных темных *фраунгоферовых линий*, часто называемых просто линиями поглощения. В последнее время термин «обращающий слой» постепенно выходит из употребления, а вместо него говорят просто о верхних слоях фотосферы.

Линий поглощения – великое множество (26 тыс. в диапазоне от 300 до 1360 нм). Спектральным путем на Солнце выявлено присутствие 72 химических элементов и ряд простых двухатомных молекул. Если учесть, что некоторые элементы дают в видимой области спектра сотни и даже тысячи линий поглощения, картина становится понятной. Однако в солнечном спектре еще остаются слабые неотожествленные линии.

Хромосфера расположена выше, ее толщина составляет примерно 12 тыс. км. Ее спектр (полученный во время солнечных затмений) состоит из одних лишь ярких линий, так как темные линии спектра обращаются в хромосфере в яркие, а непрерывный спектр почти гаснет. Значительная часть излучения приходится на красную эмиссионную линию водорода, поэтому цвет хромосферы – ярко-красный. Также интенсивны линии ионизованного гелия, кальция и магния. Любопытно, что температура хромосферы быстро растет с высотой, в то время как плотность вещества столь же быстро падает. Если температура нижних слоев хромосферы держится на уровне 5000–6000 К, то в верхних ее слоях, где хромосфера уже переходит в корону, температура возрастает почти до миллиона кельвинов! Понятно, почему атомы в хромосфере перестают поглощать – они же при такой температуре полностью ионизованы!

Хромосфера «в разрезе» далеко не однородна. Она состоит из великого множества тонких волокон, напоминающих горящие травинки. Самые большие из них, высотой в несколько тысяч километров и шириной основания до тысячи километров, называются *спикулами*. Время их существования невелико: до 3–5 минут. Спикул больше у полюсов Солнца, чем близ экватора. По сути спикулы – это выбросы вещества со скоростью в несколько десятков км/с.

Помимо спикул – мелких в сравнении с размером Солнца образований – на краю Солнца часто наблюдаются *протуберанцы*. Это громадные объемы вещества, выбрасываемые нашим светилом и вновь оседающие на его поверхность. Спокойные (облакообразные) протуберанцы могут существовать неделями и даже месяцами; активные же протуберанцы отличаются быст-

рыми движениями потоков вещества от протуберанца к фотосфере и от одного протуберанца к другому. Наконец, эруптивные (изверженные) протуберанцы (рис. 26 на цветной вклейке) напоминают огромные фонтаны, достигающие 1,7 млн км в высоту (обычно все же гораздо меньше). Движение вещества в них также происходит очень быстро, со скоростями до нескольких сотен км/с. Такие протуберанцы порой быстро меняют свою форму. Однако практически все эти грандиозные фонтаны заканчивают одинаково: «выдыхаются» и либо «втягиваются» обратно в Солнце, как дождевые черви, высунувшиеся из почвы и понявшие, что им не очень нравится жизнь на вольном воздухе, либо распадаются на отдельные облака, также падающие на Солнце по траекториям, напоминающим (и не случайно) силовые линии магнитного поля. Если бы не оно, то некоторая часть вещества очень быстрых (до 700 км/с) протуберанцев навсегда покидала бы Солнце, имеющее «вторую космическую» скорость у поверхности – 617,7 км/с.

В наше время солнечные протуберанцы (также и пятна) может сколько угодно наблюдать любой, кто купит в магазине астрономических товаров 40– или 70-миллиметровую трубку «Коронадо» на штативе. Это обычная увеличительная трубка с внутренним фильтром, пропускающим крайне узкую (порядка 1 А) полосу частот. Можно видеть, как насыщенно-красные активные протуберанцы развиваются в высоту, чтобы опасть и исчезнуть спустя час-другой, а то и раньше. Это зрелище не лишено известного очарования.

А из чего же состоит корона, являющаяся самым внешним и самым протяженным слоем солнечной атмосферы и простирающаяся до 30–40 радиусов Солнца, а в годы активности еще дальше? Естественно, тоже из солнечного вещества, только еще сильнее нагретого (до 2 млн К), то есть полностью или почти полностью ионизованного и еще более разреженного, причем плотность и яркость короны быстро падают по мере удаления от Солнца. Долгое время спектральные линии короны представляли собой загадку, предполагалось даже наличие там неизвестного элемента «корония», пока наконец эти линии не были отождествлены с линиями многократно ионизованного железа, аргона, никеля, кальция и некоторых других элементов.

Что является причиной столь высокой температуры короны – до сих пор загадка, хотя предложено несколько вполне солидных гипотез для объяснения данного феномена. Согласно одной из них, корону нагревают ударные акустические волны, порожденные подфотосферной турбуленцией и распространяющиеся от поверхности Солнца. Другая винит пересоединения («короткие замыкания») магнитных силовых линий, направленных в противоположные стороны. Из-за этих «коротких замыканий» в корональной плазме начинают течь сильные токи, вполне способные разогреть плазму до 1 млн К. Тем не менее окончательного ответа пока нет. Есть лишь факт – и открытая проблема.

Корону в «Коронадо» и уж тем более сквозь закопченное стекло не увидишь – слишком уж мала ее яркость, примерно в миллион раз меньше яркости фотосферы. Корона видна невооруженным глазом лишь при полном солнечном затмении, а иначе – только с помощью специального прибора, внезатменного коронографа. Но если не воочию, то с помощью Интернета любой может увидеть свежие фото короны, сделанные космической солнечной обсерваторией SOHO.

Оговорка насчет *полных* солнечных затмений сделана не зря – солнечные затмения бывают полными и кольцеобразными (частные затмения, когда Луна затмевает лишь часть солнечного диска, рассматривать здесь не будем). Вся прелесть эпохи, в которую мы живем, заключается в том, что угловые размеры Луны и Солнца на земном небе практически равны между собой. Из-за эллиптичности земной и лунной орбит иногда бывает, что угловой диаметр Луны несколько больше углового диаметра Солнца, и тогда происходят (разумеется, лишь при строго линейном расположении Солнца, Луны и Земли) полные солнечные затмения, а иногда угловой диаметр Солнца превосходит лунный, и тогда могут быть лишь кольцеобразные

солнечные затмения, когда Луна окружена ярким солнечным ободом, из-за которого никакой короны увидеть не удастся. Естественно, наиболее интересны полные солнечные затмения.

Поскольку излучение Солнца идет со всего видимого диска, а не только из его геометрического центра, зона полного солнечного затмения сужается за Луной и на Земле не превышает нескольких сотен или даже десятков километров. Узкая полоса полной фазы затмения быстро бежит по поверхности Земли, предоставляя возможность наблюдать полную фазу лишь в течение нескольких минут или даже менее. Теоретически возможный максимум – семь с половиной минут, но и пять минут наблюдения полной фазы – очень хорошие условия, да и всего минута – уже повод для того, чтобы предпринять путешествие и насладиться редким зрелищем. Разумеется, в гораздо более выгодном положении по сравнению с земными наблюдателями находятся наблюдатели на борту специально нанятого самолета, летящего так, чтобы все время оставаться в зоне полной фазы. Увы, такое удовольствие доступно очень уж немногим. Кроме того, к великому сожалению, в ближайшие годы полные солнечные затмения будут происходить преимущественно в южном полушарии. Природа как бы компенсирует ему то обидное для наших антиподов обстоятельство, что в северном полушарии сравнительно недавно наблюдалось несколько очень хороших затмений...¹⁵

Это действительно замечательное зрелище. Незадолго до наступления полной фазы, когда Солнце выглядит узеньким серпиком, природа как бы замирает в недоумении и испуге. Нередко проносится холодный ветер, вызывая смутную тревогу даже у подготовленных людей, а у животных – неадекватное поведение. В последние секунды перед наступлением полной фазы освещенность предметов убывает очень быстро – и вот последний краешек Солнца скрывается за лунным диском. Тут обычно раздается дружный вопль наблюдающих за затмением людей. Свидетельствую: не издать при этом никаких звуков довольно трудно. Картина потрясающая! Вокруг темного лунного диска сияет корона (рис. 27) – маленькая и аккуратная в годы минимума солнечной активности и большая, почти бесструктурная в годы максимума. В первые секунды после наступления полной фазы и за несколько секунд до ее окончания видно «бриллиантовое кольцо» – это свет Солнца пробивается к нам по распадкам лунных гор. Словом – красота.

Сфотографировать солнечную корону просто; получить изображение ее отдаленных от Солнца частей – гораздо труднее. Ведь уже на расстоянии, равном солнечному диаметру, яркость короны падает примерно в тысячу раз. Выход лишь один: снять серию кадров с различными выдержками и подвергнуть их компьютерной обработке. При этом может несколько пострадать правдоподобие изображения, зато выявится тонкая структура короны (рис. 28).

О солнечной атмосфере еще стоит сказать, что именно в ней генерируется большая часть радиоизлучения Солнца.

¹⁵ В порядке издевки могу сообщить, что 16 октября 2126 года полоса полного солнечного затмения пройдет через Петербург, Новгород, Тверь и Москву. Желая всем дожить! – *Примеч. авт.*

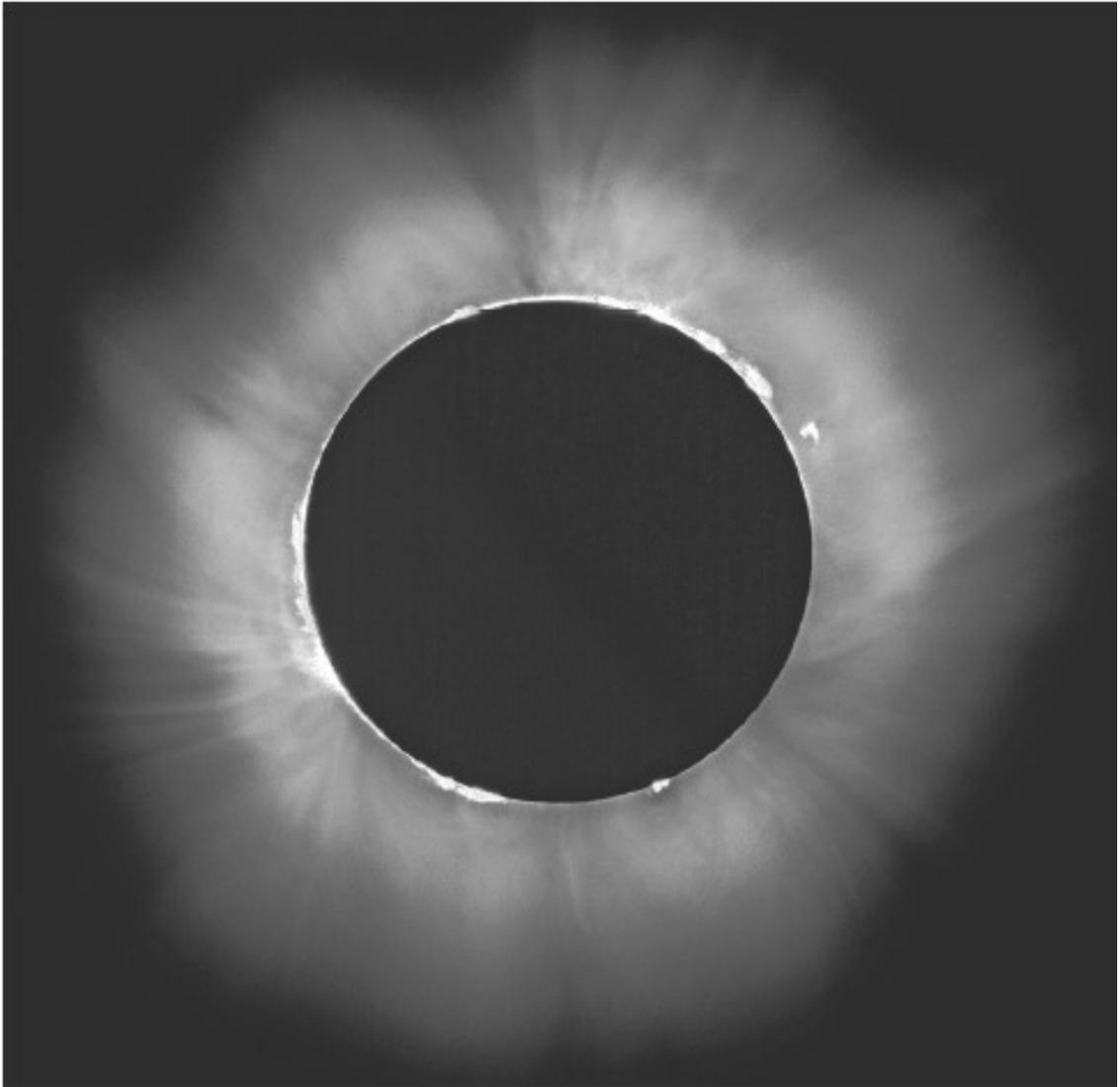


Рис. 27. Солнечная корона

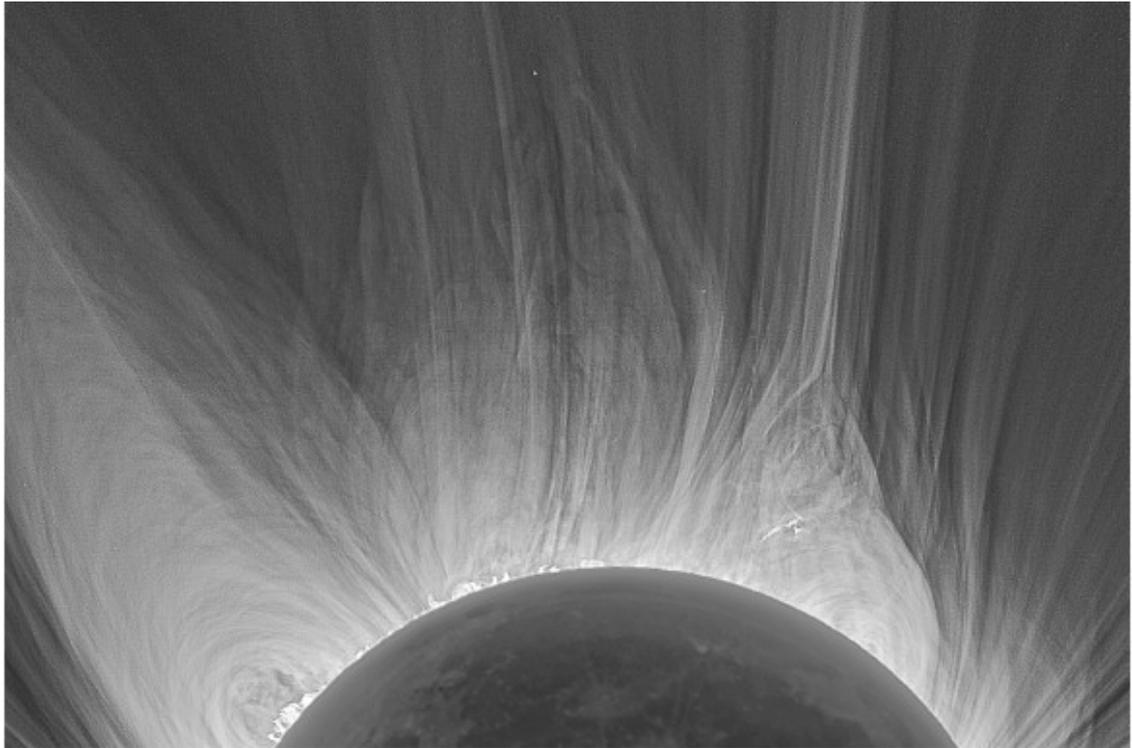


Рис. 28. Тонкая структура солнечной короны

А вот где атмосфера кончается, сказать невозможно. Можно лишь провести какую-то условную границу, причем она будет все время варьировать в зависимости от солнечной активности. На практике корона на больших (свыше $15\text{--}20^\circ$) угловых расстояниях от Солнца фактически сливается с зодиакальным светом, что говорит о преимущественно пылевой природе внешней короны.

Если подумать, то так и должно быть. Пылинки, образующие зодиакальный свет (об этом ниже), по идее должны быть распределены более или менее равномерно, но вблизи Солнца они разрушаются горячей плазмой короны. На больших же расстояниях от Солнца плазма слишком разрежена, чтобы повредить пылинкам, и они остаются в целостности и даже формируют внешнюю корону, хотя генетически не связаны с Солнцем.

Отдельного разговора достойны солнечные нейтрино. Эта частица, вынужденно и не очень уверенно введенная в 1930 году Вольфгангом Паули для выполнения законов сохранения энергии и импульса при бета-распаде, обладает поразительным свойством проникать сквозь громадные толщи вещества, никак не взаимодействуя с ним. Количество нейтрино, образующихся в ядерных реакциях в центре Солнца, чудовищно громадно. У нас на Земле через каждый квадратный сантиметр поверхности каждую секунду проходит 60 млрд только солнечных нейтрино, не беспокоя нас ни в малейшей степени. Что не реагирует, то и не разрушает, так что пронесшийся сквозь нас поток нейтрино ни в малейшей степени не сокращает наши дни. Что до выдумок создателей фильма «2012» насчет того, что Солнце начало генерировать какие-то особые нейтрино, поглощаемые земным ядром и разогревающие его, то хотелось бы напомнить, что в фильмах еще и не то бывает. Автора этой книги радует хотя бы то, что голливудская в частности и киношная вообще публика хоть что-то слыхала о нейтрино. Это уже прогресс.

Обнаружение нейтрино – задача крайне трудная, но в принципе решаемая. Идея эксперимента по «вылавливанию» этой частицы была предложена еще в 1946 году советским физиком Б.М. Понтекорво. Смысл его идеи состоял в том, что в реакции, известной как обратный

бета-распад, ядро устойчивого изотопа хлора-37, поглотив нейтрино, может превратиться в радиоактивный изотоп аргона-37 и электрон. Количество же получившегося аргона-37, пусть даже имеющегося в количестве всего нескольких десятков ядер, можно найти методами радиохимии, а зная вероятность реакции, уже совсем просто вычислить поток солнечных нейтрино.

Идея Б.М. Понтекорво была позднее реализована в США в виде 400-тысячелитрового резервуара с перхлорэтиленом, довольно дешевым веществом, использующимся как моющая жидкость и несравненно менее опасным, чем газообразный или сжиженный хлор. И сразу же начались проблемы.

Поток солнечных нейтрино оказался в 3-10 раз ниже, чем получалось из разных моделей Солнца. Правда, перхлорэтиленовый детектор «ловил» преимущественно те нейтрино, которые образуются в боковой ветви протон-протонной реакции, но это обстоятельство, разумеется, учтено в расчетах ожидаемого потока. Позднее были созданы гигантские нейтринные детекторы на основе колоссальных резервуаров воды, и результат был в общем-то тот же: наблюдался серьезный – в разы – дефицит солнечных нейтрино.

Предпринимались попытки как-то подкорректировать солнечные модели, чтобы изменить энергетический спектр покидающих Солнце нейтрино, а следовательно, и вероятность их взаимодействия с рабочим веществом детектора, но они не имели особого успеха. Очень интересную гипотезу выдвинул в 1972 году Фаулер. Суть ее – в автоколебательном процессе в недрах Солнца. Согласно этой гипотезе, развитой впоследствии Эзером и Камероном, вещество в глубинных слоях Солнца из-за развития вращательной неустойчивости периодически – примерно раз в сто миллионов лет – бурно перемешивается. Из-за этого в центральные, горячие области Солнца поступает с периферии гелий-3 и тут же реагирует с большим энерговыделением. Нагреваясь, центральные области расширяются, что, естественно, приводит к понижению температуры и замедлению ядерных реакций. В начале перемешивания должна наблюдаться нейтринная вспышка, а затем падение количества фиксируемых нейтрино примерно на порядок. Если сейчас как раз такой момент, то находит и объяснение дефицит солнечных нейтрино. Расчеты Эзера и Камерона показали, что длительность периода дефицита нейтрино должна составлять около 10 млн лет.

Между прочим, расширение центральных областей Солнца должно приводить и к уменьшению его фотонной светимости! Ее теоретическая зависимость от времени несколько иная, чем у нейтрино (хотя бы потому, что фотонам требуется значительное время, чтобы выбраться наружу), но общий характер тот же: быстрый спад, затем медленный рост до нормального уровня. И это, по мысли авторов гипотезы, непринужденно объясняет причину ледниковых периодов в геологической истории Земли.

Гипотез, пытающихся объяснить те или иные аспекты прошлого Земли (скажем, массовые вымирания) с чисто астрономических позиций, вообще придумано множество, и практически все они не выдерживают испытания на прочность. Подвергнуть такому испытанию гипотезу Эзера и Камерона тем более легко, что ледниковые периоды вплоть до протерозоя известны, что называется, наперечет.

Хочу подчеркнуть: климаты далекого прошлого – это не гадание на кофейной гуще, а строгая наука. Палеотемпературы впервые измерил американец Юри еще в 1950 году, пользуясь методом, основанным на соотношении изотопов кислорода ^{18}O и ^{16}O . Наличие либо отсутствие в соответствующих слоях следов той или иной биоты тоже помогает делу. Например, если найдены отпечатки кораллов, это значит, что море, в котором они жили, было теплым. Наконец, давно известны прямые свидетельства оледенений в виде скал с характерными бороздами и царапинами, оставленными замороженными в ползущий ледник валунами. Есть и другие признаки, по которым можно довольно точно судить о климате, их много, и не стоит на них останавливаться в астрономической книжке.

Сейчас как раз ледниковый период. Он начался в плейстоцене примерно 1,5 млн лет назад и вроде пока не собирается заканчиваться. Тем очевидным фактом, что на месте Ботнического залива в нашу эпоху нет трехкилометровой толщи льда, а языки ледника не доходят до Киева и Самары, мы обязаны современному межледниковью, начавшемуся около 13 тыс. лет назад. Во время плейстоценового оледенения уже было несколько таких межледниковий, так что нынешний климатический режим на Земле можно с оговорками назвать «штатным». Ну а раньше?

Весь мезозой и начало кайнозоя на Земле держалась *термоэра* – в отличие от нынешней *криоэры*. В термоэрах климат на Земле был выровненным, и в атмосфере существовала единственная конвективная ячейка, переносящая тепло из экваториальной зоны к полюсам. На экваторе расстились сухие пустыни, а в более высоких широтах господствовал субтропический и теплоумеренный климат (лишь вблизи полюсов – умеренный, однако и там умудрялись выживать некоторые виды динозавров). Иными словами, не существовало ни тропического, ни арктического климата. Оледенений в мезозое не было вообще. Предшествующее же нашему оледенение, когда климат был похож на современный, то есть чересчур жаркий в тропиках и чересчур холодный в высоких широтах, случилось в каменноугольном периоде около 300 млн лет назад (Гондванское, оно же карбоновое, оледенение).

Это уже не 100 млн лет, как следовало бы из гипотезы Фаулера – Эзера – Камерона. Но пусть. В конце концов, главное, чтобы была периодичность, верно?

Пойдем дальше в глубь геологических веков. Еще одно оледенение, оставившее следы в слоях, соответствующих ордовикскому периоду (495–445 млн лет назад), не было очень масштабным, и мы его учитывать не будем. А что раньше?

А раньше – вблизи границы венда и кембрия – имело место сразу несколько оледенений, мощнейшее из которых – Лапландское – было совершенно грандиозным. Датировка – примерно 600 млн лет. Выходит, периодичность все-таки существует, пусть и имеет втрое больший период, чем было вычислено?

Как бы ни хотелось простых объяснений – увы, не получается. Датировка весьма крупных оледенений перед Лапландским: 710, 820 и 850 млн лет. Ну и где же тут периодичность? Примечательно, что многие сторонники солярной гипотезы как причины оледенений отбрасывают ее, чуть только глубже вникнут в тему. Остаются лишь немногочисленные фанатики, раз за разом тщетно пытающиеся сложить этот пазл из датировок...

Проблема дефицита нейтрино была в конце концов разрешена способом, который не так давно казался весьма экзотическим. Объяснение предложил Б.М. Понтекорво еще в 1969 году, но лишь относительно недавно его удалось проверить в эксперименте. Суть в том, что нейтрино бывают трех видов: электронные, мюонные и тау-лептонные (таонные). Идея Понтекорво состояла в том, что электронные нейтрино (которые «ловятся» детекторами) могут спонтанно превращаться в мюонные и таонные, а также обратно. Это явление называется *нейтринными осцилляциями*. Таким образом, лишь треть времени солнечные нейтрино проводят в виде, пригодном для их обнаружения. А значит, реально их втрое больше, и для объяснения такого потока уже годятся давно существующие модели Солнца.

Правда, до сих пор есть сомневающиеся – но они всегда есть, это нормально. Тем интереснее, если из их сомнений выйдет какой-то толк.

В 1997 году появилось сообщение об открытии пульсаций потока солнечных нейтрино с периодом в 28,4 дня. Возможно, эти пульсации являются следствием реальных колебаний эффективности термоядерных реакций, но есть и другое объяснение: период колебаний потока нейтрино равен периоду вращения энерговыделяющего ядра Солнца, причем искажения в поток нейтрино вносятся в областях ядра с повышенной напряженностью магнитного поля. Традиционно считается, что нейтрино никак не взаимодействуют с магнитным полем, однако давно уже высказывались подозрения, что это не совсем так. В любом случае

Солнце делает нам большое одолжение, не только посылая непрерывный поток нейтрино, но еще и создавая условия для «натурного эксперимента», создать которые на Земле в лучшем случае очень дорого, а в худшем – пока невозможно.

Ну хорошо, а что же все-таки вызывает оледенения, если не Солнце? Я имею в виду не локальные оледенения в рамках одного ледникового периода, а сами ледниковые периоды? Есть хорошо обоснованная теория, выводящая неизбежность ледниковых периодов из дрейфа континентов. Расчеты показывают, что классическая термоэра с выровненным по всей Земле климатом наступает тогда, когда материки находятся не на полюсах, но и не на экваторе и когда они развернуты меридионально. В этом случае в океане возникает мощная экваториальная циркуляция воды, а от нее вдоль материков отходят течения к северу и югу; в полярных же бассейнах вода не застаивается в течениях типа нынешнего циркумантарктического. В мезозое ситуация с материками была если не оптимальна, то близка к таковой. В середине кайнозоя она ухудшилась (олигоценый климатический хаос), а в плейстоцене пришла к тому, что мы сейчас имеем. Радует уже то, что история цивилизации пришлось все-таки на межледниковье...

Существуют теории, пытающиеся объяснить межледниковья и сменяющие их оледенения астрономическими факторами, – например, упомянутая выше теория Миланковича, предполагающая, что Земля время от времени переходит на несколько более длинную орбиту. Есть, однако, основания полагать, что смена оледенений и межледниковий в рамках одного ледникового периода есть автоколебательный процесс, для объяснения которого нет нужды привлекать космические факторы.

За что Солнце, по всей видимости, может отвечать, так это за небольшие колебания температуры в рамках межледниковья. Многим известен так называемый малый ледниковый период, продолжавшийся примерно с 1400 по 1900 годы. Ему предшествовал период атлантического оптимума (900-1300 годы), когда в Англии вызревал виноград, а Гренландия не зря была названа «зеленой страной». Астрономы не располагают данными об активности Солнца во время атлантического оптимума, зато располагают этими данными по крайней мере за вторую половину малого ледникового периода и позднее.

Период с 1645 по 1716 год получил название маундеровского минимума (в честь английского исследователя солнечной активности Э. Маундера). За весь этот период на Солнце наблюдалось крайне мало пятен, и были годы, когда их не наблюдалось вовсе.

Как следствие, полярные сияния в то время являлись редкостью. Героям фильма «Россия молодая», наблюдавшим «сплохи» в Архангельске как раз в период маундеровского минимума, сильно повезло. Прожив там несколько лет, они могли бы так ни разу и не увидеть ничего похожего на полярное сияние.

Отчетливо видно, что маундеровский минимум находится вблизи середины «малого ледникового периода». Случайно ли это?

По всей видимости, нет, если вспомнить зависимость солнечной постоянной от числа пятен. Вполне вероятно, что уменьшение потока солнечного излучения всего на 0,2–0,3 % может вызвать понижение средней температуры на Земле на 1,5°, как это произошло на самом деле. Казалось бы, совсем небольшая величина, однако это не так. Для Северной и Центральной Европы понижение среднегодовой температуры всего на градус эквивалентно уменьшению продолжительности «сельскохозяйственного года» на целый месяц. Вспомним, что четыре из неполных шести лет правления Бориса Годунова были не просто неурожайными из-за губительных летних заморозков, но неурожайными катастрофически. Недостача каких-то пятнышек на Солнце привела к ужасающим народным бедствиям и в конце концов сгубила очень толкового правителя.

С конца XIX века положение начало меняться. Количество пятен увеличилось, максимумы активности стали выше, а длительность циклов уменьшилась. Ведь 11-летний цикл является 11-летним лишь в среднем. В периоды спокойствия и малого числа пятен он может дости-

гать 12 лет, а в периоды большого числа пятен он становится короче (скажем, 10-летним). Как результат, мы получили потепление, отступление границы льдов Северного Ледовитого океана и уменьшение их толщины, увеличение «сельскохозяйственного года», расширение ареала теплолюбивых видов животных и растений к северу. Антропогенный фактор в те времена был еще крайне мал и наверняка не мог быть причиной потепления. А сейчас?

С 70-х годов XX века началось то, что было названо глобальным потеплением, хотя это всего лишь продолжение потепления, начавшегося за сто лет до того. Примечательно, что как раз в то время мировое производство переживало спад из-за энергетического кризиса, – и тем не менее этот «второй виток» общепланетного потепления климата был мгновенно объявлен результатом хозяйственной деятельности человека, в первую очередь из-за выбросов CO₂, который наряду с водяным паром и метаном является парниковым газом. Но если это так, то почему в последнее десятилетие средняя температура на Земле не увеличивается, а медленно уменьшается?

Вокруг вопроса о глобальном потеплении накручено столько вздора, столько людей выходят на манифестации по принципу «слышал звон, да не знает, где он», столько ученых «бодаются» друг с другом на научных конференциях, что нормальному человеку разобраться во всем этом крайне сложно. Надо еще отметить, что «кто платит, тот и заказывает музыку», а науки в классическом смысле, не зависящей от частных материальных вливаний, сейчас практически не существует, а если и существует, то голос ее слаб. Грант на исследования в области климата может быть дан как нефтяным консорциумом, так и «зеленой» организацией, и наивно считать, что результаты исследований не окажутся в зависимости от того, кто их оплатил. Причем можно не сомневаться, что в обоих случаях будут построены очередные сложнейшие компьютерные модели, чрезвычайно убедительные для тех, кто забыл: даже самый «умный» компьютер – все равно дурак и годен лишь как инструмент.

«Позвольте, но разве нельзя построить беспристрастную компьютерную модель, учитывающую все факторы, влияющие на климат?» – вправе спросить читатель. Вот именно: пока нельзя. Количество факторов, влияющих на климат, чудовищно громадно, и не все связи между ними изучены, и неясно, какие «весовые коэффициенты» им придать. Есть подозрение – пока, увы, всего лишь подозрение, – что хозяйственная деятельность человека играет все-таки второстепенную роль в потеплении, а главное – активность Солнца. Что до углекислого газа, то вулканы ежегодно выбрасывают его в разы больше, чем промышленность всех стран мира, вместе взятых. Возможно, в XX веке произошло всего-навсего наложение нескольких длительных (вековых и сверхвековых) циклов, и со временем все вернется на круги своя. Между прочим, в двух последних циклах число Вольфа было далеко не рекордным, а циклы стали несколько длиннее...

Совсем не смешно, когда из-за аномальной летней жары в городах повышается смертность среди пожилых людей и сердечников. Зато очень смешно видеть с телеэкрана, как поседевшие от холода демонстранты, осыпаемые снежной крупой с неба, требуют уменьшения техногенных выбросов углекислоты, поскольку из-за потепления им жизнь не в жизнь. И все же вопрос об основной причине потепления для миллионов людей остается вопросом веры, а не точного знания. Лишать человека веры – занятие неблагодарное. До тех пор пока наука по-прежнему будет не в состоянии дать точный ответ, можно предложить образ действий сколь убого-примитивный, столь же и житейски мудрый: подождать и посмотреть, что будет с климатом.

Можно назвать такую позицию страусиной, а можно здраво рассудить, что при недостатке информации лучше сохранять спокойствие, чем бестолково метаться.

7. Земная группа

Шустрый Меркурий, не отдаляющийся далеко от Солнца, яркая «утренняя звезда» Венера, наша родная Земля и красноватый Марс – этими четырьмя космическими телами и ограничивается класс твердых планет нашей системы после того, как Плутон был лишен статуса планеты. Придется пока обойтись рассмотрением того, что есть, поскольку крупные спутники планет и астероиды – тема отдельного разговора.

Итак, их четыре – планеты внутренней части Солнечной системы, образовавшиеся примерно там же, где они сейчас находятся, похожие друг на друга и все же такие разные. Что их объединяет?

Во-первых, преимущественно минеральный (а не газовый) состав. Во-вторых, размеры и масса. Мы знаем, что Земля – просто кроха в сравнении с Юпитером, но среди планет земной группы она самая массивная. В-третьих, сходство внутреннего строения. У всех четырех планет есть железное ядро, мантия и кора. А дальше начинаются различия.

Начнем с Меркурия. Ближайшую к Солнцу планету (среднее расстояние всего 57,93 млн км) наблюдать с Земли трудно. У планет, находящихся ближе Земли к Солнцу, чередуются вечерние и утренние периоды видимости. Но в любом из них Меркурий никогда не отходит на небе далеко от Солнца – в самом лучшем случае всего на $27,8^\circ$. Следствие из этого факта печально: планету можно наблюдать только на фоне вечерней либо утренней зари низко над горизонтом. Для этого необходимы открытый горизонт, отсутствие облаков и дымки и, конечно, подходящее время наблюдения, когда Меркурий наиболее удален на небе от Солнца (такое его положение носит название западной и восточной *элонгаций*). И даже при соблюдении всех этих условий планету все равно трудно заметить на небе невооруженным глазом. Удобно наблюдать Меркурий без всякой оптики во время полного солнечного затмения – неудобно только сидеть и ждать, когда же оно произойдет. Утверждают, будто сам Коперник ни разу в жизни не видел Меркурия.

Однако Меркурий был известен людям с глубокой древности, причем и египтянам, и грекам, и германцам, и т. д. Наверняка он был известен и доисторическим охотникам, чья зоркость и наблюдательность служили факторами, необходимыми для выживания. И все же Меркурий долгое время оставался наименее изученной планетой Солнечной системы, да и теперь еще, пожалуй, остается ею, хотя «разрыв» несколько сократился. Что тут поделать – очень уж неудобно наблюдать эту планету с Земли! Вблизи горизонта земная атмосфера часто ведет себя просто хамским образом. Автор этих строк, «поймав» однажды Меркурий в искатель телескопа, вздумал применить хотя бы средние увеличения – и был обескуражен, когда планета попросту «размазалась» в спектр!

Можно было вычислить орбиту Меркурия и открыть ее прецессию, найти диаметр планеты и оценить ее массу, но уже определение скорости вращения вокруг оси оказалось весьма крепким орешком. В наше время она легко получается из данных радиолокации, но что было делать астрономам сто и более лет назад, когда о радиолокации никто и не помышлял? Только пытаться составить хотя бы крайне грубую карту планеты, пусть даже отметить на его серпике одну-единственную область, отличающуюся от фона и способную послужить ориентиром, – и следить за ее перемещением... В конце XIX века этим занимался Скиапарелли (тот самый, что «открыл» марсианские каналы), а в начале XX века – Антониади. Пристально вглядываясь в едва заметные пятна на поверхности Меркурия, они пытались составить его карту и уточнить период вращения. Успех был более чем скромным.

Еще в середине XX века многие ученые поддерживали вывод Скиапарелли о том, что Меркурий все время обращен к Солнцу одной своей стороной – совсем как Луна по отношению к Земле. Соответственно, на освещенной стороне должна была вечно царить ужасающая жара,

а на противоположной – жуткий холод. Но правы оказались те фантасты, которые душещипательно описывали, как некие астронавты, дабы не изжариться, чуть ли не ползком удирают от медленно наступающего меркурианского рассвета. Позднейшие радиолокационные наблюдения, выполненные на гигантском неподвижном радиотелескопе в Аресибо (1965), показали, что Скиапарелли был не прав: Меркурий все-таки вращается вокруг оси, хотя и медленно, делая один оборот за 58,65 земных суток. При этом период обращения планеты вокруг Солнца равен 87,97 земных суток, то есть эти числа соотносятся друг с другом в точности как 2:3. На Меркурии же солнечные сутки (период между двумя восходами Солнца) делятся 176 земных суток.

Как следствие – все-таки жара на освещенной части (до 500 °С в перигелии) и холод на неосвещенной (-210 °С), но планета медленно поворачивается, так что совсем неподжаренных участков на Меркурии нет, если не считать дна глубоких кратеров в полярных областях, где – чисто теоретически, и то вряд ли – может существовать водяной лед. Очень интригует крайне малый угол наклона экватора планеты к орбите: всего 0,01°. Из-за этого на Меркурии в принципе отсутствуют такие понятия, как полярный день и полярная ночь.

Однако вытянутость меркурианской орбиты вкупе с его малым периодом обращения и низкой скоростью вращения играет с видимым путем Солнца на небе забавные шутки, просмотренные фантастами. Правда, происходит это лишь в области долгот, близких к 90 и 270°. Там можно наблюдать не один, а два восхода (и два захода) Солнца за одни сутки! С полным основанием и не без некоторого остроумия это явление названо «эффектом Иисуса Навина» по имени библейского персонажа, обладавшего аномальной способностью влиять на движение Солнца. На нулевом же и на 180-градусном меридианах Солнце восходит и заходит лишь раз в сутки, зато вблизи зенита какое-то время пятится.

Космические наблюдения, свободные от ужасно мешающего влияния земной атмосферы, позволили начать составлять карту меркурианской поверхности, а 29 марта 1974 года американский аппарат «Маринер-10» передал на Землю ряд снимков Меркурия с расстояния 720 км. Впоследствии аппарат еще дважды сближался с Меркурием и 16 марта 1975 года прошел на наименьшем удалении от него: 327 км. Всего было отснято 45 % поверхности (рис. 29). Лишь в 2008 году вблизи Меркурия оказался другой – тоже американский – аппарат MESSENGER и отснял множество кадров, в том числе и тех областей, которые раньше оставались неизвестными (рис. 30).



Рис. 29. Поверхность Меркурия. Снимок, сделанный «Маринером-10»

В целом – в целом! – поверхность Меркурия похожа на лунную. Те же кратеры (с радиальными лучами и цепочками вторичных кратеров вокруг крупнейших из них), те же разломы и сбросы, те же горы (до 4 км высотой) и узкие долины. Есть аналог лунных «морей» – почти столь же обширные равнины, названные бассейнами. Крупнейший бассейн носит название Калорис, или равнина Жары. Это ударная структура, она образовалась 3,9 млрд. лет назад в результате падения весьма крупного тела. Есть «эскарпы» (рис. 31) – выступы высотой 2–3 км, разделяющие два района поверхности и образовавшиеся, по-видимому, в результате сдвигов и напользания друг на друга участков коры при ее сжатии в период формирования. На Меркурии больше скал, чем на Луне, а внешний вид меркурианских кратеров несколько отличен от лунных, что объясняется разным составом пород и силой тяжести. Почему-то в южном полушарии Меркурия гораздо больше ударных кратеров, чем в северном.



Рис. 30. Поверхность Меркурия. Снимок с борта АМС MESSENGER

Словом, отличия «физиономии» Меркурия от лунной есть, хотя их и не назовешь радикальными. Но внутреннее строение Меркурия совсем не похоже на лунное! Прежде всего, Меркурий ближе к Солнцу и поэтому состоит из более тяжелых элементов (легкие были выметены еще в период формирования Солнечной системы). Пусть читателя не смущает меньшая, чем у Земли, средняя плотность Меркурия: $5,43 \text{ г/см}^3$ против $5,515 \text{ г/см}^3$. Да, Меркурий в среднем менее плотен, и все-таки он состоит в среднем из более тяжелых элементов, чем Земля. При диаметре Меркурия, равном 4879 км, его масса составляет всего 0,055 земной. Если бы Меркурий был равен Земле по массе, то сжатие вещества вследствие тяготения сделало бы свое дело, и Меркурий стал бы самым плотным телом Солнечной системы.



Рис. 31. Меркурий. Эскарп пересекает кратер

И неувидительно! Считается, что железное ядро Меркурия имеет радиус 1800 км, а это как-никак 3/4 радиуса планеты! Толщина коры может составлять 50-100 км, а остальное (700 км) приходится на мантию. Эта картина резко отличается от Земли, где большую часть радиуса занимает мантия. Поскольку Меркурий имеет магнитное поле, хотя и значительно (раз в 150) более слабое, чем Земля, нет особых сомнений, что внутри жидкого железного ядра Меркурия находится твердое железное ядро. Как и на Земле, магнитное поле вырабатывается «динамо-машиной» при несовпадении скоростей вращения жидкого и твердого ядра. Имеется, однако, и особенность: магнитное поле Меркурия оказалось сложным. Кроме заурядного дипольного, в магнитосфере планеты присутствуют еще поля с четырьмя и восемью полюсами. Дипольная составляющая все же преобладает. Со стороны Солнца магнитосфера Меркурия сильно сжата солнечным ветром, что и понятно: с любой намагниченной планетой на столь малом расстоянии от Солнца происходило бы то же самое. Любопытно, что наклон оси диполя к оси вращения Меркурия почти такой же, как на Земле: 12°.

Но магнитосфера Меркурия все же слаба, чтобы не пропустить к поверхности ливень частиц солнечного ветра! Зонд MESSENGER, пролетевший около Меркурия 14 января 2008 года, не обнаружил никаких признаков радиационных поясов, в которых могли бы накапливаться заряженные частицы, хотя по идее должен был пройти сквозь них. В результате частицы солнечного ветра достаточно интенсивно бомбардируют поверхность планеты и создают крайне разреженную атмосферу (давление у поверхности 2×10^{11} атм.), состоящую из гелия и водорода солнечного происхождения, а также кислорода, неона, натрия и калия. Часть

этих атомов выделяется поверхностью планеты просто вследствие ее высокой температуры, а часть – при помощи бомбардировки солнечными частицами.

Разумеется, небо на Меркурии черное. Из-за близости к Солнцу, малой скорости убегания (4,3 км/с у поверхности) и слабости магнитного поля Меркурий не в состоянии обзавестись более плотной атмосферой. Он и свою-то ничтожную атмосферу потерял бы в смешные по космогоническим меркам сроки, если бы она постоянно не возобновлялась. Подсчитано, что атом гелия, захваченный Меркурием, находится в его атмосфере в среднем всего-навсего 200 дней. Конечно, гелий – легкий элемент, и даже Земля его не удерживает, но все же 200 суток – это мало, очень мало. Само собой разумеется, что при такой атмосфере и таких перепадах температуры, как на Меркурии, никто всерьез не рассматривал и не рассматривает возможность существования там жизни, хотя бы и простейшей.

Гипотеза о том, что Меркурий – «сбежавший» спутник Венеры, была выдвинута еще в XIX веке. В 1976 году американские ученые выполнили математический расчет, показавший, что эта гипотеза в принципе способна объяснить потерю вращательного момента у Меркурия и Венеры, большой эксцентриситет орбиты Меркурия и его резонансный характер движения вокруг Солнца. «Убегание» могло произойти около 500 млн лет назад и сопровождаться огромным выделением энергии, разогревавшим и Венеру, и Меркурий. Правда, в рамках этой гипотезы трудно объяснить крайне малый наклон меркурианского экватора к плоскости его орбиты. Если это совпадение, то крайне настораживающее. Во всяком случае, эта гипотеза до сих пор проходит по разряду «экзотики». И опять-таки приходится признать: мы пока еще очень мало знаем о Меркурии. Будем надеяться, что когда-нибудь узнаем больше. О «неактуальности» этой планеты пусть говорят те, кто не понимает, что лишнего знания не бывает.

Венера при наблюдении с Земли – прямая противоположность трудноуловимому Меркурию. Ярчайшее (не считая Солнца и Луны) светило нашего неба порой отходит от Солнца почти на 48° , и в эти периоды Солнце совершенно не мешает его наблюдениям. «Утренней звездой» Венеру назвал какой-то поэтически настроенный человек, забыв (или не зная) о том, что периоды утренней и вечерней видимости Венеры чередуются. В максимальном сближении видимый с Земли угловой диаметр Венеры достигает 65 угловых секунд, то есть примерно равен разрешающей способности человеческого глаза. Видимо, не зря люди с особо острым зрением утверждают, что не раз видели Венеру в виде серпика – хотя более вероятно, что они видели лишь кажущийся серпик, обусловленный искажениями изображения в атмосфере и внутри глаза. Но все может быть! Между прочим, в наибольшем приближении к Земле Венера не видна, так как находится в соединении с Солнцем. Наибольшей яркости ($-4,4''$) Венера достигает вблизи квадратуры, то есть когда она находится в вершине прямого угла прямоугольного треугольника, образованного Землей, Венерой и Солнцем. При этом угловой диаметр Венеры составляет всего 40 секунд дуги.

И тем не менее все может быть! Изредка встречаются люди с фантастически острым зрением. Таким обладал, например, Аристотель, описывавший столь детальные подробности строения насекомых, которые видны только в микроскоп. Считается, что на это способен один человек из миллиона. Правда, до нас не дошли сведения о том, насколько пристально великий грек приглядывался к Венере. Но утверждают, что мать Кеплера, которой сын показал Венеру в телескоп, первым делом спросила, почему «рога» у нее повернуты не в ту сторону. Телескоп Кеплера, в отличие от трубы Галилея, давал перевернутое изображение...

Словом, попробуйте. Вдруг получится? Впрочем, и без того яркий «фонарь» Венеры очень красив на вечернем либо утреннем небе. Иной раз он даже пугает несведущих в астрономии людей, заподозривших в столь ярком светиле приближающийся к Земле астероид или какой иной предвестник катаклизма. Свет Венеры подчас даже мешает астрономам исследовать слабые туманные объекты.

Долгое время эта планета интриговала людей гораздо сильнее Меркурия и примерно так же сильно, как Марс. Шутка ли – почти двойник Земли! Почти равные диаметры (12 103 км у Венеры против 12 756 км у Земли), близкие средние плотности (5,24 и 5)515 г/см³ соответственно), наличие у Венеры открытой Ломоносовым «знатной» атмосферы... В XVIII веке у Венеры «открыли» даже спутник, оказавшийся, правда, оптической иллюзией. Но разве в спутнике дело?

Куда летят советские космонавты в фантастике 50-х годов прошлого века? Естественно, на Венеру. Куда же еще? Она ближе к нам, чем Марс, она более похожа на Землю, она окружена атмосферой... Почему бы на ней не могла развиваться жизнь?

Какая? Естественно, примитивная, соответствующая, скажем, земному мезозою. Эти весьма популярные воззрения были отголоском тех времен, когда считалось, что светимость Солнца постепенно уменьшается со временем. А значит, десятки или сотни миллионов лет назад для развития жизни лучше всего подходил Марс, теперь Земля, а в будущем – Венера. Пока же на ней жарковато и влажновато – словом, мезозой, если не палеозой.

Штампы массового сознания не имеют ничего общего с наукой. И климат Земли в ее геологическом прошлом не был таким уж однозначным, и на Венере оказалось не просто «жарковато», а даже очень жарко. Но какое до этого дело массовому читателю или зрителю? Он желал чудес, пусть выдуманных, но «в принципе возможных», и он их получал.

Особенно интриговала плотная облачность, начисто закрывающая поверхность Венеры. Марс – трудный объект для земного наблюдателя с телескопом, но все же позволяющий художественно изучать крупные объекты его рельефа. Венера – нет. В прошлом астрономы много раз пытались разглядеть хоть что-нибудь на ее поверхности «в разрывах облаков», но не обнаружили никаких разрывов, а обнаружили лишь перемещающиеся темные пятна в сплошном облачном покрове. Был известен (в основном из смещения фраунгоферовых линий в спектре) лишь период вращения планеты – около 4 суток, что, правда, относилось лишь к высоким слоям атмосферы. Более надежные результаты дала в начале 60-х годов радиолокация, в частности, было установлено, что период вращения Венеры во всяком случае превосходит 10 земных суток, а скорее всего, он гораздо больше. Несколько позднее – и опять методами радиолокации – обнаружили, что Венера вращается весьма странно: во-первых, угол наклона ее экватора к плоскости орбиты составляет 177,36°, то есть направление вращения планеты – обратное, противоположное орбитальному движению, а во-вторых, период вращения чудовищно велик: 243 земных суток. Все это чуточку охладило пыл сторонников мнения об обитаемости «утренней звезды»...

Но охладило именно «чуточку». Да, параметры вращения Венеры вроде бы не способствуют благоденствию земных форм жизни. Но кто сказал, что химизм венерианской биоты – тот же, что и наш? И почему бы даже земные жизненные формы не смогли бы приспособиться к венерианским условиям? Ведь плотная атмосфера, вполне вероятно, обеспечивает парниковый эффект, а значит, температурный градиент на планете, возможно, не так уж велик. Так что... почему бы и нет?

«Почему нет» – на это ответили опять-таки радиоастрономы, сумевшие измерить температуру поверхности Венеры. Она оказалась чрезвычайно высокой: порядка 600 К или даже выше. Парниковый эффект Венеры оказался не из тех, что спасает, а из тех, что убивает быстро и надежно. Но полностью погасили веру энтузиастов венерианской жизни лишь полеты серии советских автоматических станций «Венера». Уже первый спускаемый аппарат, отделившийся от «Венеры-7», опускался на парашюте чрезвычайно медленно, что дало наглядное представление о плотности венерианской атмосферы. Давление в 92 атмосфер при температуре 730 К (457 °С) у поверхности – это не те условия, в которых может зародиться жизнь, и не те, в которых может долго работать спускаемый аппарат. Несколько часов, в лучшем случае несколько

суток – таково время «жизни», отпущенное зондам на поверхности Венеры. В расплавленном свинце им было бы комфортнее.

Впоследствии советские и американские аппараты отправлялись к Венере еще не раз. Старшее поколение прекрасно помнит замечательные панорамные снимки, сделанные спускаемым аппаратом «Венеры-14» (рис. 32). Аппаратами «Венера-15» и «Венера-16» было проведено орбитальное радиолокационное картографирование поверхности Венеры. В настоящее время рельеф планеты и физические условия на ней можно считать неплохо изученными.

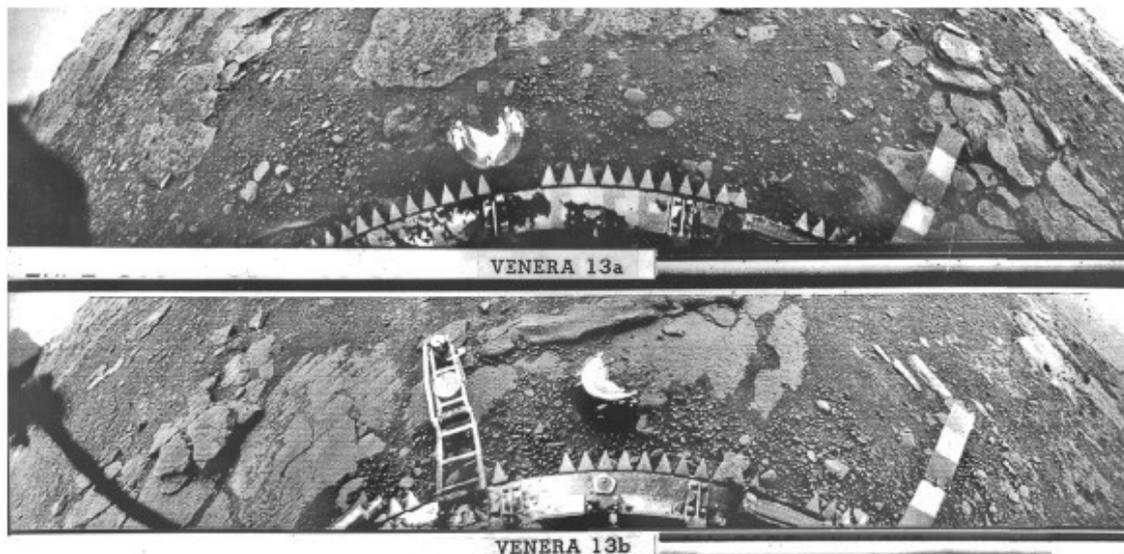


Рис. 32. Поверхность Венеры. Снимок сделан спускаемым аппаратом АМС «Венера-13»

Что удивляет, так это меньшая по сравнению с Землей средняя плотность Венеры и отсутствие у нее сколько-нибудь серьезного магнитного поля. Наблюдается весьма слабое многополюсное поле – и только. Конечно, можно попытаться представить себе, что распределение элементов в протопланетном диске от тяжелых вблизи Протосолнца до легких на периферии могло иметь местную флюктуацию, но все равно Венера должна иметь не только жидкое железное внешнее ядро, но и твердое железное ядро внутреннее. Пусть эти ядра меньше земных, но быть-то они должны! А если так, то магнитное поле (дипольное, конечно же) просто обязано появиться. Быть может, дело в том, что магнитное поле Венеры, как и Земли, время от времени испытывает переполюсовку и сейчас как раз такой момент? Для справки: инверсии магнитного поля Земли происходят через неравные промежутки времени, в среднем составляющие полмиллиона лет (предыдущая инверсия имела место 700 тыс. лет назад, а когда произойдет следующая, никто не знает). Во время инверсий магнитное поле планеты практически исчезает на срок порядка 5 тыс. лет. Ничего хорошего в этот период нас не ждет. Но если такой период как раз сейчас имеет место на Венере...

Стало быть, еще одно явление, которое можно рассматривать как вторую флюктуацию? Не много ли флюктуаций?

К сожалению, нам не с чем сравнить – разве что с другими планетами земной группы. У нас нет «под руками» второй Солнечной системы с планетой, более-менее эквивалентной Венере.

Зато рельеф поверхности этой планеты известен хорошо. Значительная его часть снята радиолокационными методами с борта советских АМС. В нем преобладают равнинные (слегка всхолмленные) участки, а горы занимают значительно меньшую площадь. Зато какие это горы! Горы Максвелла, находящиеся на Земле Иштар (так называют венерианские горные районы, считая их эквивалентами наших континентов), забираются в небо на 11 км! Обнаружено

немало кратеров от 10 до 80 км диаметром – что странно, учитывая невероятную плотность венерианской атмосферы. Возможно, не все они имеют метеоритное происхождение.

При всем том Венера, покрытая типично вулканическими породами, в наше время тектонически пассивна. По-видимому, последние мощные сдвиги коры и вулканические извержения произошли на ней сотни миллионов лет назад. К сожалению, нет возможности оставить на ее поверхности «долгоиграющий» космический зонд с сейсмографом и наверняка убедиться в этом. Существует гипотеза, что Венера представляет собой нечто вроде «вулканической пароварки»: она долго накапливает в своих глубинах давление, временами вырывающееся наружу в форме катаклизмов, перекраивающих весь рельеф планеты. Последняя катастрофа такого рода произошла, по-видимому, 700–900 млн лет назад.

Но самая большая загадка Венеры – это, конечно, ее атмосфера. Ведь это же надо – при меньшем ускорении свободного падения на поверхности и меньшей скорости убегания, чем у Земли, масса венерианской атмосферы сопоставима с массой всех земных океанов! Все наши стандартные представления о природе протестуют против того, что планета земного типа может удержать столь массивную и притом горячую атмосферу с ее энергичными молекулами. Вдобавок Венера ближе к Солнцу и не имеет магнитосферы, а значит, верхние слои ее атмосферы должны «сдуваться» прочь «солнечным ветром».

И это действительно так: утечка молекул из верхних слоев венерианской атмосферы действительно наблюдается, но она менее сильна, чем могла бы быть. Дело в том, что межпланетное магнитное поле, переносимое «солнечным ветром», образует вокруг Венеры некое подобие «конверта» и не дает потоку летящих от Солнца частиц проникать глубоко в атмосферу. Картина взаимодействия атмосферы Венеры с «солнечным ветром» была изучена с помощью аппарата Venus Express, она достаточно сложна и притом меняется в зависимости от активности Солнца.

Второй аргумент: состав газа. Атмосфера Венеры на целых 96,5 % состоит из углекислого газа, более тяжелого, чем преобладающие в земной атмосфере азот и кислород, а следовательно, менее склонного улетучиваться в пространство. Есть, наконец, и не очень уверенные соображения насчет того, что венерианская атмосфера не всегда была такой, а является следствием предыдущего грандиозного катаклизма и с тех пор медленно (очень медленно!) приходит в норму.

Пока же ситуация по меньшей мере удручающая: условия на поверхности Венеры категорически исключают возможности существования какой бы то ни было жизни, включая и астронавтов-исследователей. И если давно уже идут разговоры о посылке обитаемого космического корабля на Марс, то о Венере в этом смысле и речи нет. Смелые гипотезы ученых прошлого времени и вдохновенные выдумки фантастов пришлось, увы, сдать в архив.

Вторым по распространенности газом на Венере является азот (более 3 %). Имеется и водяной пар, но его крайне мало для такой планеты. Если выровнять рельеф Венеры и конденсировать весь атмосферный водяной пар, то планета покроется всего-навсего 3-сантиметровым слоем воды. Для сравнения: Земля – 3-километровым. Разница в сто тысяч раз!

Похоже на то, что вода всегда была на Венере в жестком дефиците, – и это аргумент против появившейся сравнительно недавно популярной, но крайне странной гипотезы о том, что воду на Землю доставили кометы. Орбиты комет таковы, что, если бы за «обводнение» планет действительно отвечали кометы, то Венере досталось бы немногим меньше воды, чем Земле.

Правда, в шлейфе потерянного Венерой газа помимо нанесенного солнечным ветром гелия обнаружены водород и кислород, причем как раз в таком соотношении, которое непременно объясняется фотодиссоциацией молекул воды, так что у сторонников гипотезы комет-водовозов есть зацепка: возможно, вода когда-то присутствовала на Венере в значительном количестве, но затем, поднимаясь в высокие слои атмосферы (поскольку молекула

воды легче молекулы углекислого газа), диссоциировала и улетучивались, пока воды на планете практически не осталось. Вряд ли, однако, это так. Более вероятен изначальный дефицит воды в той части протопланетного диска, из которого образовалась Венера. По всей видимости, молекулы воды были по большей части вытолкнуты излучением Протосолнца на расстояние, превышающее радиус орбиты Венеры.

Интересно было бы взять пробу венерианских вулканических газов: какой процент в них приходится на долю водяного пара? К сожалению, пока это желание – из области пустых мечтаний.

Атмосфера Венеры содержит еще одну «изюминку», правда, вряд ли очень сладкую: облака из мелких капелек концентрированной серной кислоты, висящие над планетой толстым слоем на высотах от 40 до 60 км. Феномен, конечно, уникальный, такого больше нет нигде в Солнечной системе, но он как-то не радует ни разработчиков спускаемых аппаратов, ни астрономов, лишенных из-за этих облаков решительно всякой возможности наблюдать поверхность Венеры в оптическом диапазоне. Но как феномен сернокислотные облака, конечно, тоже интересны. Верхняя их часть вовлечена в мощный вихрь, охватывающий всю планету. Скорость ветра в нем достигает 100 м/с. Молнии в венерианских облаках сверкают вдвое чаще, чем в земных, что дало повод говорить об «электрическом драконе Венеры». Ниже слоя облаков атмосфера практически безоблачна, а выше, до 100 км, находится мезосфера. Облаков в ней тоже нет, но имеется легкая дымка из аэрозолей той же серной кислоты и ее гидратов. Мезосфера Венеры изучена пока плохо.

Еще выше находятся слои атмосферы, чью динамику определяет приток солнечной радиации. Нагреваясь и разбухая на дневной стороне планеты, эти газовые слои вновь остывают на ночной стороне и опускаются к верхней кромке облаков. Однако на ночной стороне Венеры в высоких слоях атмосферы обнаружены участки температурной инверсии, нагретые до 70 °С. Аппарат Venus Express исследовал подобные образования и на дневной стороне. Их характерный поперечник составляет 20–30 км, и вряд ли они могут быть чем-то иным, кроме как верхушками конвективных ячеек. Что ж, и неудивительно! Столь плотная и горячая атмосфера, лишенная вследствие парникового эффекта возможности сбрасывать тепловую энергию излучением, просто обязана «кипеть» подобно тому, как «кипят» наружные слои Солнца, – разница лишь в масштабах явления.

А что же на дне окутывающего Венеру воздушного океана? Там практически нет ветра. Там горячий мертвый покой под оранжевым небом. По закону Рэлея рассеяние света в воздушной среде пропорционально четвертой степени частоты волны – поэтому в земной атмосфере синие лучи рассеиваются гораздо сильнее красных, что и определяет голубой фон неба. Но при той плотности атмосферы, что имеется на Венере, эффективно рассеиваться будет и более длинноволновая часть спектра – зеленая, желтая и красная. В сумме это и приведет к оранжевому небу.

Романтично? Спорный вопрос. Ясно только, что человек еще очень долго не увидит своими глазами оранжевого венерианского небосвода.

Но перейдем к последней планете земной группы (не считая собственно Земли) – Марсу. Это как раз та планета, о которой известно больше, чем о какой-либо другой (не считая опять-таки Земли), причем чем больше о ней известно, тем больше вопросов она задает. К слову, это характерно для любой развивающейся области знаний.

Еще древним было известно, что Марс не «привязан» на небе к Солнцу и может находиться даже в прямо противоположной Солнцу точке небосвода. В таком положении, называемом противостоянием, Марс особенно ярок и может поспорить даже с Юпитером. И неудивительно: в противостоянии Марс ближе всего к Земле и притом его диск освещен полностью. Поскольку, в отличие от Венеры с ее практически круговой орбитой, орбита Марса имеет заметный эксцентриситет (0,093), расстояние между Землей и Марсом в противостояниях

бывает разное. Наибольшее сближение планет – великое противостояние, когда расстояние между планетами сокращается до 0,37 а.е., – наблюдается раз в 15 или 17 лет. Предыдущее великое противостояние было в 2003 году. В периоды великих противостояний угловой размер Марса достигает 25,7” – в два с лишним раза меньше, чем диск Венеры, но все-таки не так уж мало.

Само собой разумеется, Марс никогда не проходит по диску Солнца, как это иногда случается с Меркурием и Венерой. Внешняя (по отношению к Земле) планета – этим уже многое сказано.

За отчетливо красноватый цвет Марс издавна отождествлялся с богом войны. Нет ничего удивительного в том, что два маленьких спутника Марса, открытые лишь в 1877 году, получили название по имени сыновей и спутников бога войны – Фобос (Страх) и Деймос (Ужас). Словом, жизнерадостная подобралась компания.

Нечего и говорить о том, что все кому не лень, от серьезных ученых до писателей, населяли Марс, как правило, высокоразумными существами, далеко не всегда добрыми по отношению к землянам, а подчас и весьма агрессивными, с вожделием поглядывающими сквозь миллионы километров «космической пустоты» на нашу более комфортную планету. Эти представления вытекали опять-таки из убеждения: Солнце понемногу остывает. А раз так, то высокоорганизованные марсиане должны, чтобы не погибнуть, переселиться на Землю, причем люди со всей их техникой вряд ли сумеют помешать данному предприятию и будут походя сметены – или, может быть, понадобятся марсианам в гастрономических целях, как в «Войне миров» Уэлса.

Отдельная – и какая! – интрига была связана с так называемыми каналами на Марсе. «Открыл» их в 1877 году Джованни Скиапарелли при визуальных наблюдениях планеты как паутину тонких линий, покрывающую всю поверхность планеты. Возникло естественное предположение, что это именно ирригационные каналы (дороги или трубопроводы вряд ли могли быть достаточно широки, чтобы их получилось разглядеть с Земли в телескоп), построенные разумными существами и необходимые им для ведения развитого хозяйства в засушливых условиях Марса. «Потому что без воды и ни туды, и ни сюды», так сказать. Сенсация была велика. Правда, далеко не все наблюдатели, набросившиеся на Марс после вызванной Скиапарелли сенсации, подтвердили существование «каналов», но это как раз было в порядке вещей. То, что увидит наблюдатель в телескоп, зависит не только от размера и качества инструмента, не только от капризов погоды, но и от остроты зрения и квалификации самого наблюдателя. Ныне всякому любителю астрономии, кроме самых начинающих, известно, что опытный наблюдатель увидит на небе больше, чем неопытный, а в пределах одного небесного объекта разглядит такие подробности, которые останутся незамеченными для его менее искусственных коллег. Скиапарелли заслуженно считался одним из лучших наблюдателей, и ему верили. Более того, многим другим астрономам тоже стало казаться, что они видят марсианские каналы. То, что они не получались на фотографиях, не особо смущало – на рубеже XIX–XX веков астрофотография делала лишь первые шаги: и качество фотоэмульсий оставляло желать много лучшего, и механика, позволяющая точно «вести» телескоп по небу, не была сверхточной. А ведь достаточно совсем небольшого смещения объекта в поле снимка за время экспозиции, чтобы малоконтрастные тонкие детали размылись и перестали быть различимыми. Даже в наше время еще сохранились отдельные ситуации, когда визуальные наблюдения небесных объектов предпочтительнее фотографирования, – но сейчас этот факт хотя бы удивляет, а сто лет назад он не удивлял никого. Острый глаз наблюдателя ценился куда более, чем сейчас.

Вся беда в том, что человеческий глаз «заточен» природой под наблюдения земных объектов, а никак не небесных. Как астрономический прибор он несовершенен даже в комплекте с хорошим телескопом. Хуже того: сам человек с его психикой ни в коем случае не является точ-

ным прибором, в частности, ему свойственно иммунизировать (подгонять) данные под ожидаемый результат, причем в ряде случаев это происходит невольно, а вовсе не из низменных побуждений. Наверное, со всяким наблюдателем (автор этой книги – не исключение) хоть раз да случался такой казус. Персиваль Ловелл, известный астроном-самоучка и щедрый меценат, построивший Ловелловскую обсерваторию (именно на ней Клайд Томбо позднее открыл Плутон), был настолько вдохновлен наблюдениями Скиапарелли, что посвятил Марсу немалую часть своей жизни и также утверждал, что видел каналы.

Тем наблюдателям, кто упорно не видел их, было как-то неловко признаться в этом. Каналы считались реальными объектами марсианского рельефа минимум до середины XX века и попали во множество научно-популярных и беллетристических книг. К примеру, герои одного из ранних романов известнейшего американского фантаста Роберта Хайнлайна передвигаются по замерзшим марсианским каналам на коньках и, само собой разумеется, встречаются с могущественными аборигенами. Но и помимо каналов многое говорило в пользу существования на Марсе если не высокоразвитой цивилизации, то хотя бы жизни. Сезонные изменения окраски обширных районов Марса трактовались либо как результат сельскохозяйственной деятельности марсиан, либо – в худшем случае – как внешние признаки жизнедеятельности дикорастущих марсианских растений. А ведь из самых общих соображений следует, что жизнь на планете не может возникнуть и развиваться либо только в растительной, либо только в животной форме. Должна существовать экосистема, где одни организмы питаются другими, в частности, растительность должна поедаться животными. Стало быть, на Марсе должны быть и животные!

В 1900 году миллионер Гузман учредил премию в 100 тыс. франков за установление связи с любой внеземной цивилизацией, кроме марсианской. По мнению Гузмана, это было бы слишком просто. Как легко догадаться, сия премия не получена и поныне. Любопытна в этой истории лишь наивная вера людей: марсиане существуют! Кто же прорыл каналы, если не они?

Позднее, когда успехи космических исследований доказали, что пресловутые каналы – лишь оптический обман (вероятно, Скиапарелли, Ловелл и другие видели не реальную паутину каналов, а сеточку кровеносных сосудов на собственном глазном дне, что может случиться, когда глаз наблюдателя очень утомлен), энтузиазма у тех, кто ожидал найти «братьев по разуму» столь близко, сильно поубавилось. Впрочем, хоть в какую-нибудь жизнь на Марсе, пусть не разумную, но во всяком случае макроскопическую, по-прежнему хотелось верить. Было жаль, конечно, что нет на Марсе ни Тускуба, ни Аэлиты, ни других туземных принцесс, но хоть какая-то жизнь должна же быть! Человечество очень неохотно расстается с былыми иллюзиями. Стараниями советского ученого Г.А. Тихова появилась даже новая и, увы, недолговечная наука – астроботаника. Буйная растительность в научно-популярном фильме «Марс» Клушанцева и «летающие пиявки» в ранних произведениях братьев Стругацких – это не только «оживляж», но и в какой-то степени символ веры в то, что Марс не так уныл, как предрекают пессимисты.

Современные исследователи скажут: Марс вовсе не уныл, он чрезвычайно интересен – но интересен не так, как представляли себе наивные мечтатели...

Прежде всего: что он такое? Четвертая планета от Солнца, находящаяся от него на среднем расстоянии более полутора астрономических единиц (1,524 а.е., или 227,9 млн км) и получающая, соответственно, в два с лишним раза меньше солнечной энергии на единицу поверхности, чем Земля, причем планета маленькая, чуть сплюснутая, подобно Земле, с экваториальным диаметром 6794, а полярным – 6752 км. Есть и немалое сходство с Землей: наклон марсианского экватора к орбите составляет 25,19° (против 23,44 у Земли), а марсианские сутки лишь на 37 минут длиннее земных. Средняя плотность Марса меньше земной: всего 3,34 г/см³, что укладывается в концепцию постепенного уменьшения плотности космических тел по мере увеличения их расстояния от Солнца и что должно внушить надежду на слабую сейсмическую

активность. Днем на экваторе Солнце прогревает почву до 20 и более градусов по Цельсию. Казалось бы, на Марсе все-таки могут существовать условия, способные сделать его второй в нашей системе планетой с собственной биосферой.

Однако есть существеннейшее «но»: атмосфера. Никто не ожидает, что на поверхности лишенного атмосферы тела (скажем, астероида) может возникнуть жизнь. Марс в этом отношении далеко ушел от астероидов, но вовсе не приблизился к Земле: его атмосфера у поверхности в 170 раз менее плотна, чем на Земле. Даже если бы она состояла из чистого кислорода, человек в ней погиб бы в считанные минуты, поскольку такая плотность характерна для земной атмосферы на высоте примерно 40 км. Но и кислорода в воздушной оболочке Марса крайне мало – можно считать, что его там практически нет. Содержание углекислого газа достигает 95 %, на долю азота приходится 2,7 %, на долю аргона – 1,6 %, имеются также следы окиси углерода (угарного газа), водяных паров, кислорода и озона. Следы! Нет сомнений в том, что весь марсианский кислород (как и озон) является продуктом фотодиссоциации молекул воды. Совершенно очевидно, что аэробная (кислорододышащая) жизнь на поверхности Марса невозможна.

Разобраться в причинах столь плачевной ситуации поможет внутреннее строение Марса. При малой средней плотности и небольших размерах Марс, очевидно, не имеет внутреннего твердого железного ядра, окруженного жидким ядром, и его внутренняя «динамо-машина» не работает за отсутствием важнейшей детали. Магнитное поле Марса настолько слабо, что его можно смело считать отсутствующим. Следствия из этого неприятны: отсутствующая магнитосфера не препятствует солнечному ветру уносить прочь молекулы атмосферы. Считается, что 2 млрд лет назад и более Марс вполне мог иметь (и почти наверняка имел) значительно более плотную атмосферу, но с течением времени растерял ее. Обладая Марс магнитным полем, вполне вероятно, что его нынешняя слабенькая атмосфера была бы гораздо серьезнее, несмотря на сравнительно малую массу планеты. Ведь Марс дальше нас от Солнца, следовательно, кинетические скорости молекул его атмосферы были бы ниже, чем в атмосфере Земли.

Нет достаточно плотной атмосферы – нет и относительного постоянства температуры у поверхности. В ночное время температура на Марсе вполне антарктическая. Само по себе это не исключает возможности существования жизни, но проблем у такой биоты (если она существует) будет предостаточно.

Однако, как бы ни была разрежена атмосфера Марса, и в ней наблюдаются «погодные изменения». Временами подолгу дуют сильные ветры, вызывающие пылевые бури, имеется тонкий слой перистых облаков, порой заметный с Земли в телескоп, и, наконец, в высоких широтах наблюдается сезонное выпадение инея, а возможно, и снега. Полярные шапки Марса хорошо заметны даже в скромный любительский телескоп (в период противостояний, естественно). Особенно велика и потому заметна южная полярная шапка. Надо заметить, что марсианские полярные шапки отличаются от сезонного снегового покрова на Земле как толщиной, так и составом. Толщина полярных шапок на Марсе – сантиметры, больше не «выдоить» инея из сухой атмосферы. Зимой поверх инея нормального «водяного» состава ложится слой замерзшей углекислоты. Он же первым улетучивается марсианской весной. Летом полярная шапка быстро тает, съезжаясь к полюсу, и в конце концов сходит на нет. Скорость отодвигания границы снегового покрова примерно равна скорости бегущего человека.

Не надо удивляться этому. У нас на Земле эта скорость была бы еще выше, если бы не три обстоятельства: большая и притом неравномерная толщина снегового покрова, перенос тепла циклонами и антициклонами и меньшая продолжительность года. Весной на Земле возможны повторные снегопады на обширных площадях – на Марсе этого нет. Лишь пылевые бури способны внести разнообразие в размеренный процесс наращивания и стаивания полярных шапок, определяемый по сути лишь наклоном экватора Марса к его орбите...

Обратимся теперь к рельефу Марса. Значительную часть его поверхности занимают пустыни, песчаные либо каменистые. Красноватый цвет марсианских песков банально объясняется присутствием окислов железа – всем известной ржавчины. Песчаные пустыни покрыты дюнами, напоминающими земные. Имеется множество кратеров метеоритного происхождения. Благодаря слабости эрозионных процессов на Марсе расположены высочайшие горы в Солнечной системе. Особенно выделяются вулканы Олимп и Арсия, возвышающиеся над поверхностью на 25 км. Это щитовые вулканы, подобные вулканам Гавайских островов, где происходят мощные излияния жидкой базальтовой лавы при совсем небольшом количестве пепла и вулканических бомб. Естественно, такая лава стремится растечься и, застывая, образует очень пологий конус с углом наклона не более нескольких градусов. Разница между марсианскими и земными щитовыми вулканами – в масштабах. Крупнейший на Земле щитовой вулкан Мауна-Лоа имеет высоту около 9 км (если считать от его подножия на дне океана) и поперечник основания 20 км – что очень немного для щитового вулкана, но надо учесть быстрое затвердение лавы в воде. Можно сказать, что по сравнению с марсианским Олимпом с его 25-километровой высотой и 500-километровым основанием Мауна-Лоа не вулкан, а просто прыщик.

Марсианские вулканы не активны. По-видимому, процессы гравитационной дифференциации в недрах Марса в основном закончились, сделав Марс тектонически пассивной планетой – во всяком случае, по сравнению с Землей. Малая плотность и сухость марсианской атмосферы не способствуют чрезмерно активной эрозии, а малая сила тяжести (0,38 земной) делает эффект «расползания» горных вершин под собственной тяжестью гораздо более медленным, чем на Земле. Как следствие, высочайшие вершины Марса простоят еще очень долго без каких-либо существенных изменений.

Иное дело эрозия на равнинах. Пылевые бури просто не могут не шлифовать любое препятствие на пути песка – скалы, холмы, камни и т. д. В связи с этим порой возникают курьезные недоразумения.

Не так уж давно СМИ ошарашили весь мир сообщением о сфотографированном с борта американского аппарата «Викинг-1» геологическом образовании, моментально окрещенном «марсианским сфинксом» (рис. 33). То ли те, кто его так обозвал, изрядно подзабыли древнегреческую мифологию, в которой сфинкс – существо с телом льва, то ли решили, что «волосы», обрамляющие человеческое лицо, вполне «тянут» на львиную гриву, – это неважно. Пусть будет «сфинкс», дело ведь не в названиях. Тут же воскресли старые мечты о высокоразвитой марсианской цивилизации, ныне исчезнувшей, но оставившей иным цивилизациям послание, видимое только из космоса (аналогия: громадные рисунки индейцев в пустыне Наска). Случайно возникшее сходство природного объекта с человеческим лицом казалось неправдоподобным. Особенно интриговала «слеза», выкатившаяся из правого глаза «сфинкса». Из самых общих соображений каждому было ясно, что сфинксы без причины не плачут. Может быть, «слеза» символизировала печальную участь марсианской цивилизации или – того хуже – намекала на аналогичные перспективы земной цивилизации?



Рис. 33. Марсианский «сфинкс»

Интрига сохранялась до тех пор, пока американской аппарат «Марс Глобал Сервейер» не сфотографировал тот же участок поверхности с разрешением 4 метра – вдесятеро выше, чем «Викинг» (рис. 34). И «сфинкса» не стало. Выяснилось, что это всего лишь сильно разрушенный ветровой эрозией холм, очертаниями напоминающий рыцарский щит и нимало не похожий на человеческое лицо. Так рушатся легенды. Не романтично, но что ж поделать. Может быть, человеку разумному приличествует разрушать старые легенды и не создавать новых, поскольку и без них интересно?



Рис. 34. Тот же «сфинкс», сфотографированный с разрешением 4 м

Но если древней цивилизации на Марсе никогда не было, то вероятность обнаружения на нем жизни хотя бы в далеком геологическом прошлом все-таки нельзя считать нулевой. Ведь когда-то Марс, по-видимому, имел магнитное поле, а его атмосфера благодаря действующим вулканам была более плотной. Поскольку состав марсианских вулканических газов если и отличался от газов земных вулканов, то лишь большим количеством водяного пара, можно предположить, что на Марсе были водоемы значительных размеров и, конечно, реки. Целый ряд деталей на поверхности Марса вообще трудно трактовать иначе, чем высохшие русла рек (рис. 35).



Рис. 35. «Русло марсианской реки»

Совершенно непонятно, как могли образоваться эти узкие извилистые долины без активного участия текучей воды. И если некоторые другие детали ландшафта, как, например, сделанные водой промоины на краях оврагов (рис. 36), в принципе могут быть объяснены как действием водных потоков, так и «сухой» эрозией, то с долинами и каньонами это не проходит. Причем текучая жидкость в условиях Марса должна была быть именно водой, а не чем-то иным (скажем, жидким аммиаком).



Рис. 36. Некоторые детали марсианских ландшафтов могут быть объяснены действием текущей воды

Вода на Марсе существует и сегодня – правда, большей частью в атмосфере и полярных шапках. Ее мало. Как и на Венере, водяной пар гораздо активнее диссипирует в космос, чем гораздо более тяжелый углекислый газ. В геологическом прошлом Марса в его атмосферу в большом количестве поступали не только углекислый газ, но и водяные пары, и сернистый ангидрид. Последний годится на роль «парникового газа». Поскольку атмосфера древнего Марса, по-видимому, почти не содержала кислорода, как и ныне, сернистый ангидрид не окислялся до серного ангидрида и не удалялся из атмосферы водой, как это происходит на Земле. Возможно, именно сернистый ангидрид SO_2 , а не углекислый газ играл на Марсе основную «парниковую» роль – эта гипотеза способна объяснить, почему на Марсе много соединений серы и мало карбонатов. Но как бы то ни было, древняя атмосфера почти наверняка позволяла воде на Марсе не только существовать, но и образовывать солидные водоемы. Обнаруженные вблизи экватора Марса осадочные породы, формирующиеся только на дне водоемов, достаточно убедительно подтверждают это.

В последнее время усилия исследователей Марса направлены на обнаружение на нем значительных скоплений подпочвенного льда – этакой «вечной мерзлоты». В явном виде скопления подпочвенного льда пока не найдены, но некоторые детали рельефа трактуются как русла небольших временных водотоков, которые, возможно, и в нашу эпоху протекают по марсианскому грунту в летний период. Хотя эти образования могут быть просто осыпями своеобразной формы. Полной ясности в этом вопросе нет, и ее пока не внесли ни марсоходы, ни прочие аппараты, работающие на Марсе.

Наиболее жгучий вопрос: есть ли на Марсе жизнь хотя бы в виде анаэробных бактерий? Ответа все еще нет, хотя скептики ухмыляются: конечно же, на Марсе есть жизнь – та жизнь, которую мы занесли туда сами в своих космических аппаратах! Действительно, стерилизация космических аппаратов перед запуском не является абсолютной и не может быть таковой, так что какое-то количество земных микроорганизмов всегда улетает в космос при каждом успешном запуске. (Лишь «Викинги» стерилизовались особо тщательно.) Насколько эти микроорганизмы способны выдержать долгое (месяцы или даже годы) пребывание в космосе, не совсем ясно. Пожалуй, часть этих бактерий может и уцелеть на пути к Марсу. Некоторые земные бактерии обладают поразительной жизнестойкостью. Но могут ли они размножиться на Марсе и освоить эту планету? Вопрос пока открытый...

Но речь главным образом идет о марсианских микроорганизмах. Имеются ли они сейчас в жизнеспособном состоянии? Имелись ли в прошлом? Попытка добиться размножения марсианских бактерий в контейнерах с питательными растворами, доставленных на планету аппаратами «Викинг-1» и «Викинг-2», не дала однозначных результатов. Было объявлено, что бактерий на Марсе нет, однако позднее пришлось признать, что эксперимент поставлен не совсем корректно. Вдобавок где гарантия, что марсианским бактериям придется по вкусу те же самые питательные растворы, в которых благоденствуют земные бактерии, причем далеко не все из них?

Есть другой способ – и столь же неоднозначный – решить эту проблему: исследовать образцы метеоритов, отколотых некогда от Марса ударами астероидов. Таких «марсиан» найдено около трех десятков – преимущественно в Антарктиде, где метеорит может спокойно пролежать во льду миллионы лет, не подвергшись эрозионным воздействиям и не загрязнившись (ну почти) земными бактериями. В общем количестве найденных метеоритов «марсиане» составляют ничтожнейшее меньшинство, что и неудивительно. Ведь осколок, выбитый из Марса ударом астероида или крупного метеорита, должен не просто обладать скоростью, превышающей скорость убегания (5 км/с для Марса), но и быть довольно точно «нацеленным», чтобы Земля захватила его своим притяжением. В течение миллионов лет эти осколки обращаются вокруг Земли, чтобы под действием давления света и солнечного ветра в конце концов выпасть на Землю.

Следует добавить в скобках, что можно выбить осколки из поверхности Марса так, чтобы они навсегда покинули планету, но никакой астероидный удар не сможет проделать то же самое с Землей. Казалось бы, школьная физика должна говорить об обратном – однако школьные опыты по механике не имеют дела с большими скоростями. Вся соль в том, что с какой бы скоростью астероид ни врезался в земную поверхность, выбитые им осколки будут разлетаться со скоростями, не превышающими скорость распространения продольной ударной волны в горных породах.

В наиболее плотных породах на поверхности Земли – базальтах – эта скорость составляет чуть менее 11 км/с, то есть меньше скорости убегания у поверхности Земли (11,2 км/с). Учтем тормозящее действие атмосферы и поймем, что даже выход на околоземную орбиту для осколков Земли очень проблематичен.

В образцах «марсианских» метеоритов были найдены весьма мелкие гранулы округлой формы, в целом напоминающие окаменевшие колонии земных бактерий. Разница в том, что

марсианские гранулы куда меньше размером – впрочем, это различие не кажется принципиальным. Куда существеннее другой вопрос: имеют ли марсианские микрогранулы хоть какое-то отношение к жизни или они образовались небиологическим путем? А если речь все-таки идет об окаменевших бактериях, то где гарантия того, что это бактерии с Марса? Антарктида, конечно, довольно чистый (в смысле биологических загрязнений) континент, но все же не стерильный, а что до некоторого морфологического различия между окаменелостями в метеоритах и существующими ныне земными бактериями, то далеко не все земные бактерии уже открыты и описаны, ученые то и дело открывают новые их виды.

Словом, воз и ныне там. Научные конференции, где различные группы ученых обмениваются результатами своих исследований и соображениями, пока не привели научный мир к консенсусу в этом вопросе. Некоторые ученые, в том числе весьма уважаемые, убеждены в том, что марсианские микрогранулы – заведомо остатки простейших, причем не только прокариотных (то есть безъядерных, вроде наших бактерий и синезеленых водорослей), но и эукариотных (имеющих ядро). Другие придерживаются прямо противоположных убеждений, предлагая высокотемпературные механизмы образования микрогранул, напрочь исключаящие их биологическое происхождение, третьи занимают осторожную выжидательную позицию – и она кажется мне наиболее разумной для того, кто не биолог и не может внести серьезную лепту в разрешение этого вопроса. Верить, конечно, никому не возбраняется (а равно и не верить), но куда лучше знать. Очень может быть, что нам не придется долго ждать разгадки.

8. Гиганты

Если бы мы были небелковыми существами, живущими в атмосфере Юпитера или Сатурна, то наверняка назвали бы область на расстоянии от 5 до 10 а.е. от Солнца «золотой серединой». Для жизни нам был бы нужен газ, очень много газа, а во внутренних областях Солнечной системы его мало – он был вытеснен оттуда излучением Протосолнца. С другой стороны, этот газ не мог быть вытеснен на самые дальние границы Солнечной системы – для этого просто не хватило мощности излучения центрального светила. Получилось следующее: далеко за орбитой Марса в протопланетном диске газ резко преобладал над пылью, причем наибольшая плотность газа была достигнута как раз на расстоянии 5-10 а.е. от Солнца.

Как следствие, самые большие планеты образовались именно там. Как следствие номер два, это – газовые планеты.

Конечно, в них присутствует и твердое вещество, но главный компонент – все же газ. Их вещество – по сути первичное, поскольку влияние Солнца на таких расстояниях сказывается уже слабо, а о ядерных реакциях в недрах газовых планет можно забыть сразу – для них требуются куда более значительные температуры, чем те, что могут «предложить» планеты.

Можно считать, что в первом приближении процесс формирования больших планет подобен процессу формирования звезд, особенно тех небольших звезд, которые являются спутниками более массивных соседей. Точно так же происходит конденсация вещества вокруг случайной флуктуации плотности, вот только таких центров конденсации в протопланетном диске первоначально может быть несколько, причем на пересекающихся орбитах, из-за чего конденсации сливаются, наращивая массу. Строго говоря, нет четкой границы между маломассивными звездами и большими планетами. Казалось бы, звезда отличается от планеты тем, что в ее недрах идут ядерные реакции. Но несколько десятилетий назад были открыты тусклые звезды, названные коричневыми карликами. Уже из того факта, что несколько коричневых карликов обнаружены в сравнительной близости от Солнца, следует, что это весьма распространенный класс звезд. Их массы меньше предела Кумара (0,075 массы Солнца), ниже которого невозможны ядерные реакции на водороде. И действительно, при температуре, скажем, 2 млн К протон-протонная реакция просто не пойдет, не говоря уже об углеродно-азотном цикле и тем более тройной гелиевой реакции. Возможны лишь реакции на легких ядрах (дейтерий, литий), но этих ядер мало, и они могут обеспечить собственную светимость объекта лишь на каком-то этапе, после чего закончатся. Что же обеспечивает светимость коричневого карлика?

Сжатие. То самое медленное сжатие, которое предлагал Гельмгольц в качестве объяснения причины светимости Солнца. И если насчет Солнца он ошибся, то коричневые карлики полностью «ложатся» в его теорию. Для маломассивных и крайне слабых коричневых карликов процесс сжатия, конечно, крайне медлителен и совершенно незаметен, но он есть. И тут возникает терминологическая путаница: считать ли коричневые карлики звездами? С одной стороны, звездами мы называем тела, светящие в оптическом диапазоне собственным, а не отраженным светом. С другой стороны, ядерные-то реакции в таких звездах не идут. Как быть?

Астрономам пришлось принимать «волевое решение». Звездами были «назначены» те красные карлики, чьи массы превышают 0,013 масс Солнца, а менее массивные объекты были причислены к планетам. Граница эта, конечно, чисто условна, как условна та граница количества предметов, с которой начинается куча. Как договорились, так и будет – до тех пор, пока проведенная граница не перестанет удовлетворять слишком многих. Но пока удовлетворяет.

Юпитер имеет массу в тысячу раз меньше массы Солнца, а значит, он очень сильно – в 13 раз – легче той границы масс, за которой объект считается звездой (хотя и «неполноценной»). Однако это все же в 317,8 раз больше массы Земли. Юпитер, конечно, планета. Кто-нибудь может сказать: стоило, мол, огород городить, чтобы доказать то, что и так всем известно? Не

будем, однако, поспешны. Да, Юпитер не излучает собственный свет в видимом диапазоне, света лишь отраженным светом. Но в дальней инфракрасной области ситуация иная: там Юпитер излучает в два с половиной раза больше энергии, чем получает от Солнца. И причина этого излучения – то самое гелимгольцевское сжатие планеты. По расчетам, оно составляет около 1 мм в год, и, конечно, измерить его существующими методами в принципе невозможно. Уверенность в том, что за инфракрасное излучение Юпитера отвечает именно сжатие, дает метод исключения: никакими иными механизмами это явление не объяснить.

Юпитер – самая яркая планета на небе после Венеры. Его видимый поперечник достигает (в противостоянии) 50 секунд дуги. Кроме того, он, как всякая внешняя по отношению к Земле планета, может отходить от Солнца на любое угловое расстояние и довольно медленно перемещается по небу. Это и неудивительно, учитывая период обращения планеты вокруг Солнца: 11,87 года. (Поскольку зодиакальных созвездий как раз 12, можно считать, что каждый год Юпитер переходит в следующее созвездие, что очень удобно для астрологов.) Диск планеты заметно сплюснут с полюсов (1:15), что объясняется высокой скоростью вращения планеты. Как и на Солнце, вращение зональное. Внешние слои атмосферы делают один оборот за 9 ч 50,5 мин., высокоширотные – за 9 ч 55,7 мин. Естественно, газовый шар, вращающийся с такой скоростью, будет сплюснутым.

На 82 % Юпитер состоит из водорода, на 17 % из гелия, а на долю всех оставшихся элементов приходится жалкой 1%. Ничего общего с составом Земли, зато очень похоже на Солнце! Присутствуют метан, этан, аммиак, кристаллики водяного льда, бисульфида аммония и т. д. Наружные слои атмосферы состоят преимущественно из водорода в молекулярном состоянии. Присутствуют и примеси. Первое, что бросается в глаза при взгляде в телескоп на Юпитер: он полосатый. Само собой, полосы параллельны экватору. Особенно ярко выражены две широкие полосы в «тропических» широтах гигантской планеты. И эти, и другие полосы маркируют собой зоны с различными скоростями вращения. На границах зон возникают завихрения, легко различимые даже в сравнительно небольшой телескоп в виде округлых пятен или фестонов (рис. 37 на цветной вклейке). И неудивительно: скорости движения газа в двух соседних зонах могут отличаться на 300 км/с. Ну как тут не возникнуть завихрениям?

Один вихрь получил всемирную известность: это Большое Красное Пятно (рис. 38 на цветной вклейке) размером 48 на 12 тыс. км (для масштаба: экваториальный радиус планеты 71 492 км). Сколько времени оно существует, сказать трудно. Астрономам оно известно с XVII века. Правда, в последние десятилетия яркость Красного Пятна ослабла, и очень похоже на то, что оно понемногу сойдет на нет. Что ж, рано или поздно возникнет новое! Хотя, конечно, Большое Красное Пятно – образование во всех отношениях выдающееся. Меньшие же по размеру вихри возникают на Юпитере достаточно регулярно. Некоторые из них живут всего-то несколько недель или месяцев, другие остаются на годы. Вихри возникают, сливаются друг с другом, исчезают – словом, ведут себя примерно так же, как циклоны и ураганы на Земле. Например, в марте 2007 года были зафиксированы два атмосферных шторма размером по 4000 км. Нет особых сомнений в том, что причина этих и других гигантских вихрей кроется в собственном энерговыделении планеты и неизбежной конвекции. Согласно результатам моделирования, оба шторма образованы струями нагретого водорода, вырывающимися из-под облачного слоя с глубины в несколько десятков километров, куда не проникают лучи Солнца. Нагреть этот водород мог только сам Юпитер. Частички водяного и аммиачного льда, подхваченные вихрями с порядочной глубины, придали им белый цвет и сформировали нечто вроде «наковальни» грозных облаков, формирующихся над Землей. Такие образования на Юпитере называются *плюмами*. Основная разница здесь в масштабах явления: полная высота юпитерианского шторма от подножия до верхушки плюма достигает 120 км – вдесятеро больше, чем на Земле.

Сравнение с земными грозами не случайно: в атмосфере Юпитера молнии не просто замечены, а представляют собой самое обычное явление. Причем длина юпитерианских молний может достигать 1000 км! (На Земле не зафиксированы молнии длиннее 50 км.)

В 1995 году от АМС «Галилео» отделился зонд Galileo Probe и проник под облачный покров планеты. Зонд перестал работать на глубине 140 км, где давление юпитерианской атмосферы составляет примерно 1 бар, что соответствует атмосферному давлению на Земле на уровне моря. Конечно, хотелось бы большего, и к тому же спуск зонда проходил в безоблачном регионе Юпитера, поэтому многие детали облачного покрова планеты не были изучены непосредственно. Вспоминаются перипетии космолета «Тахмасиб» из повести «Путь на Амальтею» братьев Стругацких, провалившегося в Юпитер на большую глубину и сумевшего выбраться. Естественно, никто не пошлет пилотируемый космический корабль внутрь газовой планеты уже потому, что он не батискаф, однако крайне жаль, что миссия Galileo Probe не была повторена другим, более защищенным аппаратом. Возможно, эти исследования не считаются очень уж актуальными (поскольку строение наружных слоев Юпитера более-менее понятно, а в более глубокие слои, где царят высокие давления и температуры, не заберется никакой работоспособный аппарат), и все же остаются сожаление и чувство неудовлетворенности. Хотя вряд ли когда-нибудь будет создан зонд, способный проникнуть в такие глубокие слои Юпитера, где давление газа превышает давление в центра Земли, а температура выше, чем на поверхности Солнца.

Приходится довольствоваться моделированием. Считается, что до глубины примерно 1000 км вещество Юпитера – газ. Глубже происходит то, чего мы никогда не видим на Земле: с увеличением глубины и повышением давления газ постепенно становится жидкостью. Мы привыкли к тому, что газ – это газ, а жидкость – это жидкость, но мы не сталкиваемся с давлениями той силы, что царят в глубинах Юпитера. Четкой границы между газообразным и жидким водородом в недрах Юпитера не существует. А еще глубже, на глубине порядка четверти радиуса планеты, жидкий водород становится металлическим, оставаясь, судя по всему, жидкостью. Его температура при этом достигает 6500 К, а плотность при переходе в металлическое состояние скачком удваивается, составляя $0,8 \text{ г/см}^3$. Недурная плотность для самого легкого газа, хотя, конечно, ее не сравнить с плотностью того же водорода в недрах Солнца.

Что находится еще глубже, можно сказать лишь с некоторой долей неуверенности. По видимому, в самом центре планеты расположено твердое ядро радиусом до 12 тыс. км, массой 10–20 масс Земли, температурой порядка 20 тыс. К и давлением 40–50 Мбар, каковое давление и удерживает ядро в твердом состоянии. Оно каменное, но с большим содержанием железа и никеля, его плотность оценивается в г/см^3 . Вокруг ядра, возможно, находится слой льда, состоящего из воды, аммиака и метана. Вопрос о наличии твердого водорода остается открытым.

Так или иначе, бесспорно одно: Юпитер имеет твердое ядро, окруженное жидкостью, и взаимодействие между ними включает «динамо-машину», генерирующую магнитное поле. И какое! Радиационный пояс Юпитера в 40 тыс. раз мощнее земного и простирается как минимум до 400 тыс. км. Магнитное поле гигантской планеты чрезвычайно сильное, его напряженность у экватора равна 4,2 Гс, что почти вдесятеро больше, чем у Земли. Полярность его обратная по сравнению с магнитным полем Земли, что не имеет серьезного значения: ведь мы знаем, что магнитное поле Земли многократно испытывало «переполно-совку». Возможно, такое же явление характерно и для Юпитера. Строго говоря, у Юпитера два магнитных поля. Одно из них обычное дипольное, но несимметричное по отношению к телу планеты. Второе связано с мощными радиационными поясами. Силу магнитного поля Юпитера первым испытал на себе аппарат «Пионер-10». Угрожающе быстрый рост радиации начал наблюдаться еще за 700 тыс. км до планеты и почти достиг предельного значения, но все-таки приборы выдержали.

Магнитосфера Юпитера вращается вместе с планетой, то есть так же быстро. Взаимодействие ее с заряженными частицами солнечного ветра приводит к разгону этих частиц до весьма высоких энергий. И если когда-нибудь к Юпитеру полетят обитаемые космические аппараты, их конструкторам придется очень серьезно подумать о защите экипажа, ибо при отсутствии таковой у космонавтов просто не будет шанса вернуться на Землю живыми. Юпитер – серьезная планета, и как бы банально ни звучало это утверждение, повторять банальности иногда стоит.

Все газовые планеты Солнечной системы окольцованы. Кольцо Юпитера открыл в 1979 году «Вояджер-1», хотя правильнее будет сказать не «открыл», а «подтвердил», так как на возможное существование кольца еще в 1960 году указывал советский астроном С.К. Всехсвятский, а в 1976 году и с большей определенностью – американские физики М. Экуна и Н. Несс, проанализировавшие распределение около Юпитера заряженных частиц, измеренное аппаратом «Пионер-11». Строго говоря, это кольцо является системой колец. Полученные от АМС «Галилео» данные говорят о том, что кольца Юпитера состоят из пыли, выбитой из внутренних спутников при ударах метеоритов. Внутренними называют спутники, обращающиеся вокруг планеты на меньшем расстоянии, чем ближайший галилеев спутник – Ио. Таких спутников четыре: Метида, Адрастея, Амальтея, Теба. Крупнейший из них – Амальтея – маловат для того, чтобы принять форму гидростатического равновесия, и представляет собой глыбу неправильной формы размером 262 на 134 км удивительно малой плотности, приблизительно равной плотности воды. Возможно, Амальтея не единое тело, а непрочно скрепленный конгломерат меньших тел, «попытавшийся» принять сферическую форму и не преуспевший в этом из-за малой массы. Меньшие спутники и подавно не являются шарами. Эти спутники находятся близ внешнего резкого края системы пылевых колец – каждый из них близ края «своего» кольца. Объяснение существования колец ударами метеоритов о мелкие спутники кажется правдоподобным: ведь такие удары действительно изредка случаются, а пылевые кольца Юпитера разрежены и темны (альbedo 0,015), так что небольшое количество их вещества и его низкая отражательная способность находят простейшее и довольно естественное объяснение.

О других спутниках мы поговорим ниже, а пока перейдем к Сатурну (рис. 39 на цветной вклейке). Вот уж у кого кольца так кольца! Их открыл еще Галилей в свою крайне несовершенную трубу с апертурой 4,5 см и увеличением 30 крат. Правда, неизбежно сильная при однолинзовом объективе хроматическая аберрация и посредственное качество самих линз не позволили великому итальянцу понять, что же все-таки такое он увидел. Галилей сумел разглядеть лишь какие-то «придатки» по краям диска Сатурна. Это явно не были спутники, но что это было такое? В те времена, как и ныне, ученые заботились о приоритете, и если совершалось открытие, но требовалось подтверждение, они, не теряя времени, составляли анаграммы – перемешивали буквы в краткой формуле открытия, иногда еще добавляя лишние буквы, чтобы труднее было догадаться. Составил такую анаграмму и Галилей. Ее попытался расшифровать Кеплер – и расшифровал неправильно, решив в итоге, что Галилей открыл два спутника Марса. Однако до открытия Фобоса и Деймоса оставалось еще более двух столетий, а на самом деле анаграмма Галилея расшифровывалась так: «Высочайшую планету тройною наблюдал».

В наше время автору такого открытия, вероятно, посоветовали бы лучше закусывать, но тогда были иные времена. Прошло несколько лет, и Галилей перестал видеть в свой телескоп упомянутые «придатки». Произошло это из-за того, что время от времени Сатурн поворачивается к нам так, что его кольцо становится невидимым. Но Галилей решил, что «придатки» ему померещились, и больше не возвращался к ним. По-настоящему кольцо – пока еще кольцо, а не кольца! – Сатурна открыл Христиан Гюйгенс и по обычаю составил анаграмму, расшифровывающуюся так: «Кольцом окружен тонким, плоским, нигде не прикасающимся, к эклиптике наклоненным». И это правда: кольца Сатурна лежат в плоскости экватора планеты, наклоненной к эклиптике под углом $26,73^\circ$. Соответственно, бывают периоды, когда кольца видны нам

в максимальном раскрытии, а случается, что либо луч зрения лежит как раз в плоскости колец, либо они строго параллельны солнечным лучам – и тогда с Земли не увидит никаких колец. Предыдущий период невидимости колец пришелся на лето 2009 года, и сейчас кольцо постепенно раскрывается все сильнее, чтобы максимально раскрыться в 2016 году. В течение 15 лет 9 месяцев Солнце освещает северную поверхность колец, а 13 лет 8 месяцев – южную. Кольца имеют толщину не более 1–2 км, поэтому их невозможно разглядеть с Земли, когда они стоят к нам ребром. За несколько дней до периода невидимости и в течение нескольких дней после него кольца видны как тонкая игла, пронзающая диск планеты.

Любой человек, впервые взглянувший на Сатурн в телескоп, конечно же, первым делом любуется кольцами (рис. 40). Самой планете достается меньше внимания, наблюдатель лишь отмечает, что она тоже сплюснута, причем даже чуть сильнее, чем Юпитер (1: 10,2), а полосы на ней гораздо более широки, менее контрастны, но более четко ограничены. Любоваться там в общем-то нечем. Нет ничего похожего на Красное Пятно, не видно и фестонов на краях полос. Право слово, если бы не роскошные кольца, Сатурн казался бы нам младшим и каким-то плохо удавшимся братом Юпитера.

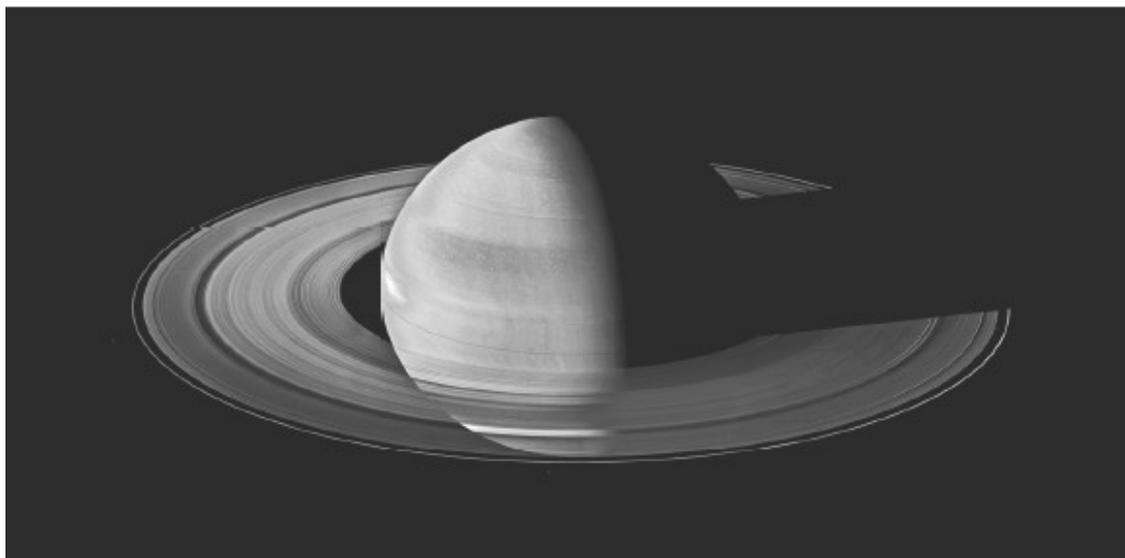


Рис. 40. Сатурн. Игры теней. Видна относительная прозрачность колец

В общем-то древние греки, а за ними и римляне не зря дали «высочайшей планете» имя бога времени, старости и дряхлости – и притом бога, свергнутого Зевсом (Юпитером), а потому второстепенного. С Земли Сатурн, конечно, замечен хорошо, имея наибольшую звездную величину – 0,9, но все же уступая по блеску даже Меркурию. Одно хорошо: Сатурн со своим 30-летним (точнее, 29,67-летним) периодом обращения вокруг Солнца движется среди созвездий еще медленнее Юпитера, и уж если его положение на небе удобно для наблюдений, то это надолго.

Кроме того, Сатурн, будучи меньше Юпитера и дальше от нас, все же достаточно велик, чтобы быть приятным объектом для наблюдения в небольшой телескоп. При апертуре от 80–90 мм можно уверенно обнаружить деление Кассини в, казалось бы, сплошном кольце планеты, а при апертуре от 250–300 мм – и более узкое деление Энке, разумеется, при достаточном раскрытии кольца. Угловой экваториальный диаметр самой планеты достигает в противостоянии 20,8", что лишь немногим меньше углового диаметра Марса в противостоянии. Казалось бы, Сатурн должен был дать богатейший материал и при чисто наземных средствах его наблюдения.

Что ж, с помощью наземных средств астрономы сделали все, что смогли. Был определен период вращения Сатурна (10 часов 12 минут на экваторе и более и часов в приполярных областях), был определен спектроскопически газовый состав планеты, оказавшийся схожим с составом Юпитера, но с несколько меньшим содержанием водорода (если не считать атмосферы, где все наоборот), была определена масса планеты. Она оказалась равной 95,16 массы Земли, что составляет менее 30 % массы Юпитера. Как следствие, Сатурн имеет меньшую плотность: всего $0,70 \text{ г/см}^3$, что составляет всего 13 % плотности Земли и 52,6 % плотности Юпитера. Он просто недостаточно массивен, чтобы давление газа сильно сжало его внутренние слои. Однако и Сатурн излучает в тепловом диапазоне вдвое больше тепла, чем получает от Солнца, – правда, надо учесть, что получает он гораздо меньше Юпитера, поскольку и расположен значительно дальше, и сам несколько меньше (экваториальный радиус равен 60 268 км, что все-таки на порядок превышает радиус Земли). Нет ни малейших сомнений в том, что механизм тепловыделения Сатурна точно такой же, как у Юпитера и коричневых карликов, – медленное сжатие, еще более медленное, чем у Юпитера. Соответственно, и конвективные процессы в атмосфере Сатурна выражены гораздо слабее. Иногда на поверхности планеты появляются белые пятна, некоторое время спустя растягивающиеся в полосы. По всей видимости, эти пятна образуются вследствие извержений нагретого вещества из глубины, однако они вовсе не настроены принимать вид устойчивых атмосферных вихрей, как на Юпитере. Все говорит за то, что конвекция в атмосфере Сатурна носит более упорядоченный характер, что при относительно малом тепловыделении и не удивительно.

Как и Юпитер, Сатурн обладает собственным магнитным полем и радиационными поясами. Это значит, что внутри планеты имеется твердое ядро, окруженное жидким металлическим водородом. В отличие от Юпитера, магнитное поле Сатурна чисто дипольное, почти точно совпадающее с осью вращения планеты. Само собой разумеется, напряженность магнитного поля Сатурна слабее, чем у его более массивного соседа, – ничего иного и не следовало ожидать. Годы, предшествовавшие началу исследования Сатурна космическими аппаратами, принесли мало новой информации собственно о планете. Открывались новые спутники, были замечены «спицы» в кольцах, но и только.

Лишь с началом исследования Сатурна американскими АМС на астрономов обрушился вал новой информации. Опять-таки он больше касался колец и спутников, но и планета преподнесла некоторые сюрпризы. Сенсацией оказалось обнаружение в высоких южных широтах «горячей» области и шестиугольной (а не кольцеобразной) полосы вокруг него (рис. 41).

Конечно, «горячей» эту область можно назвать лишь с большой натяжкой – просто ее температура на несколько градусов выше средней температуры атмосферы планеты, составляющей около 95 К. Поначалу астрономы объясняли этот феномен энергией, получаемой Сатурном от Солнца, так как на момент обнаружения планета была повернута к Солнцу южным полушарием, но позднее инфракрасный спектрометр зонда «Кассини» обнаружил зону локального разогрева и на северном полюсе Сатурна. Более того, вокруг северного полюса Сатурна расположен такой же шестиугольный вихрь. Собственно говоря, самопроизвольное появление упорядоченных структур в таком, казалось бы, хаотичном процессе, как конвекция, был известен и ранее (например, так называемая неустойчивость Бенара¹⁶), так что сама по себе шестиугольная структура нашла если не объяснение, то во всяком случае земные аналоги. Сложнее оказалось с объяснением отвода тепла через полюса. Какие конкретно процессы в атмосфере планеты отвечают за этот феномен, пока неясно¹⁷.

¹⁶ Появление шестиугольных ячеек в слое вязкой жидкости, нагреваемой снизу. – *Примеч. авт.*

¹⁷ По данным наземных наблюдений, зону разогрева вблизи южного полюса имеет и Нептун. – *Примеч. авт.*

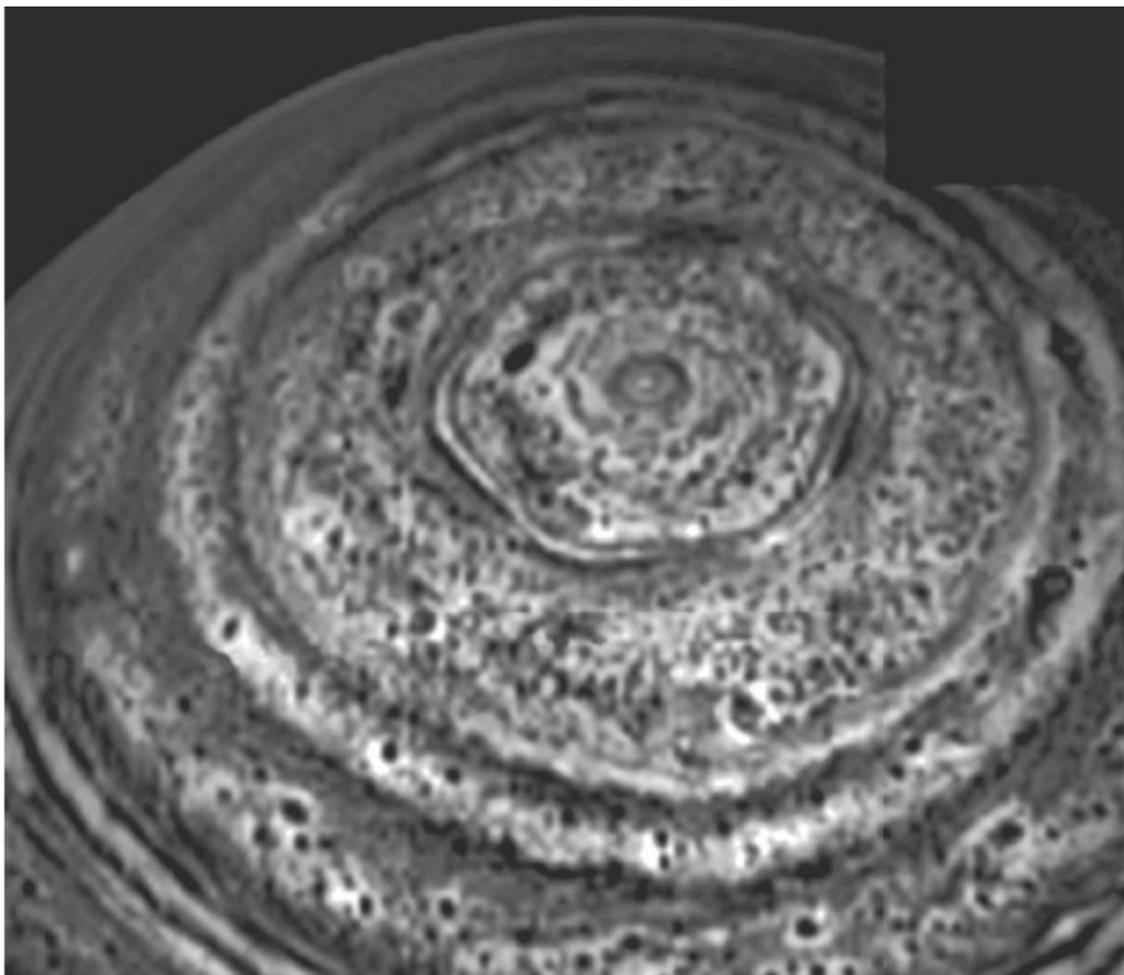


Рис. 41. «Шестиугольный шторм» вокруг южного полюса Сатурна

И все же мир ахнул не от этих неожиданных чудес, а от тонкой структуры колец Сатурна (рис. 42), чье изображение впервые передал «Пионер-11».

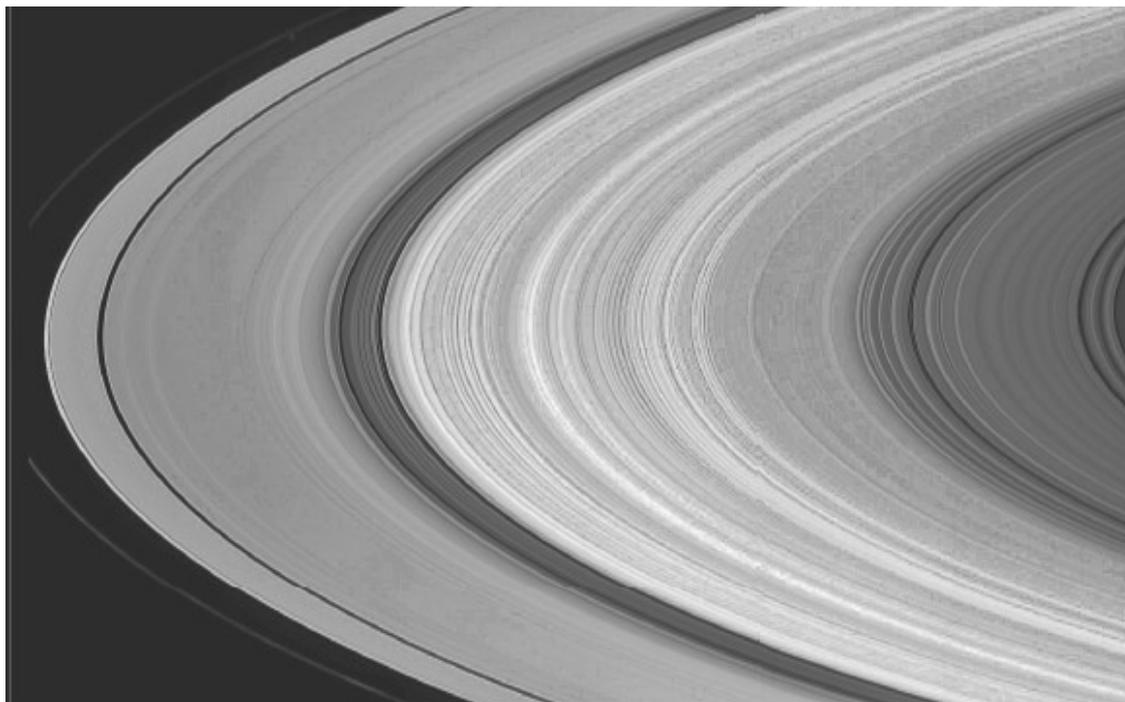


Рис. 42. Тонкая структура колец Сатурна

До этого считалось, что у Сатурна лишь несколько колец, впрочем, очень ярких и оказывающих влияние на блеск планеты при наблюдениях с Земли. Выделялись 3 основных кольца: А (внешнее), В (среднее) и С (внутреннее, оно же креповое). Среди них кольцо В – самое яркое, а кольцо С – очень слабое, трудно наблюдаемое. Позднее были добавлены кольцо Е (самое внешнее, размытое), G (очень узкое кольцо между кольцами F и E), D (внутри кольца С) и F (очень узкое кольцо с внешней стороны кольца А); их яркость совсем мала. Давно уже не было никаких сомнений в том, что кольца Сатурна состоят из мелких частиц, так что кадры из некоторых художественных фильмов, где кольца состоят из *сплошного* камня, являются болезненным бредом недоучки-режиссера. То, что кольца не могут быть сплошными, доказал французский астроном Э. Рош еще в 1848 году, что и подтвердилось на практике. Минимальное расстояние до планеты, ближе которого крупный спутник не может сохранить устойчивую форму и будет разорван приливными силами на мелкие фрагменты, определяется выведенной Рошем формулой. Суть доказательства: кольца Сатурна находятся внутри «полости Роша» и уже по этой причине не могут быть сплошными. Частицы, составляющие кольца, имеют высокое альbedo, а их инфракрасный спектр похож на спектр обыкновенного земного инея. Яркость колец удивительно велика и заметно влияет на общий блеск планеты.

Все газовые планеты Солнечной системы окольцованы, и причина возникновения колец во всех случаях одна: дробление какого-то близко расположенного к планете тела (или тел). В случае Сатурна это было довольно крупное и притом ледяное тело. Было ли оно настолько крупным, чтобы разорваться на мелкие части под действием приливных сил, или ледяному спутнику «помог» расколоться удар какого-нибудь постороннего космического тела – о том мы теперь можем лишь гадать. Ясно лишь, что это событие произошло очень давно, в противном случае осколки не успели бы собраться в чрезвычайно тонкий диск. Исследования с борта «Пионера-11» показали, что наиболее яркое кольцо В представляет собой монослой глыб с характерным поперечником 15 м, погруженный в более толстый слой более мелких обломков размером порядка 10 см. Механизм уплощения диска точно таков же, каков он для протога-

лактического облака или для протопланетного диска, и причиной его служат неупругие столкновения между частицами, будь то атомы или куски льда.

Впрочем, разреженное внешнее кольцо E, простирающееся от 3 до 8 радиусов Сатурна (считая от центра планеты), гораздо более «растрепано», чем чрезвычайно тонкие внутренние кольца. Толщина кольца E достигает целых 6000 км на внутреннем крае и до 15 тыс. км на внешнем. Любопытно, что пик яркости этого кольца наблюдается около орбиты спутника Сатурна Энцелада. Возможно, Энцелад, из трещин на поверхности которого наблюдаются выбросы ледяного крошева, постоянно «подпитывает» кольцо «E». Кроме того, любая космическая пылинки, летящая со значительной скоростью, выбивает из поверхности спутников крошечные осколки, имеющие достаточные скорости, чтобы покинуть зону притяжения спутника. По всей видимости, в этом, а также в возмущающем действии других крупных спутников, находящихся в пределах кольца E, кроется причина значительной ширины этого кольца. Нечего и говорить, что кольцо E далеко выходит за границы полости Роша, достигая почти 1 млн км в диаметре. Кольцо E можно рассматривать как внешнее «гало» системы колец.

Характерный размер пылинок в нем около 1 мкм. Построив математическую модель движения пылинки, выброшенной с поверхности Энцелада, и учтя по возможности все действующие на нее силы (световое давление, влияние прецессии и др.), астрономы пришли к выводу, что наиболее «долгоживущими» будут пылинки именно микронного размера, что и наблюдается.

Снимки с борта АМС показали, что у Сатурна не три и не семь колец, а сотни. Или можно сказать так: основных колец немного, но структура их тонковолокнистая. Иногда она не совсем правильная: сфотографированы узкие кольца, как бы обвившиеся друг вокруг друга. Еще «Вояджер-1» в 1980 году обнаружил, что некоторые из орбит частиц, образующих кольца, отчетливо эллиптические. Возможно, так проявляется резонансное воздействие спутников Сатурна, причем не только крупных, но и мелких. Эта же причина «отвечает» за разрывы в кольцах, известные как деления Кассини и Энке.

Кольца Сатурна хранят еще немало загадок. Не вполне понятно повышенное рассеяние света в области деления Кассини. Не все данные наблюдений удается согласовать в рамках чисто ледяной модели, так что не исключено присутствие в кольцах мелких минеральных и металлических частиц. По-прежнему интригуют астрономов радиальные темные или светлые лучи – «спицы», – довольно быстро перемещающиеся по кольцам (рис. 43–44). Возможно, этот явно волновой процесс обусловлен влиянием мелких спутников, находящихся на внешней границе кольца A и вблизи кольца F, а также в делениях Энке и Кассини. Некоторые из этих спутников находятся внутри полости Роша, но они слишком мелки, чтобы быть разорванными приливными силами.

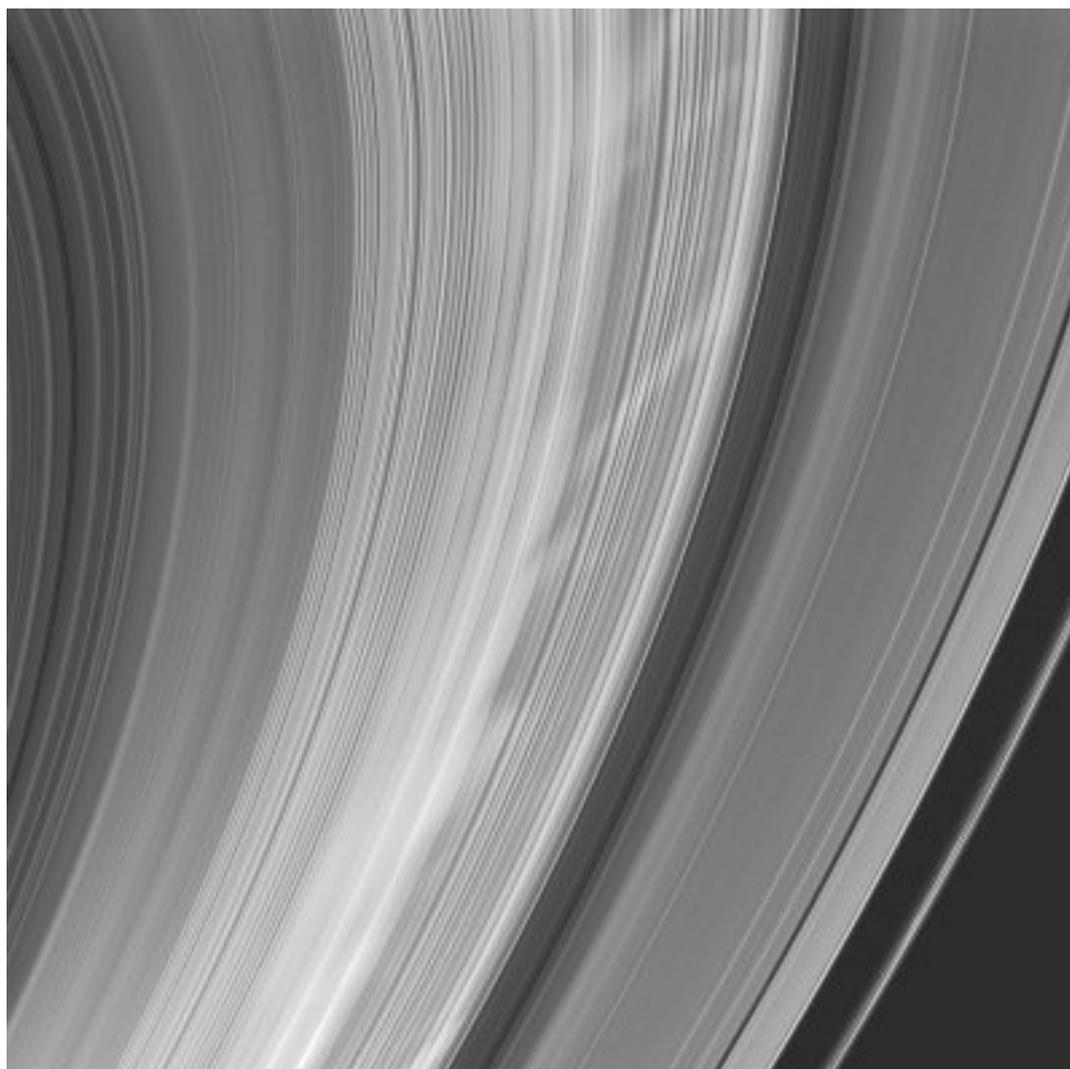


Рис. 43. Светлые «спицы» в кольцах Сатурна...

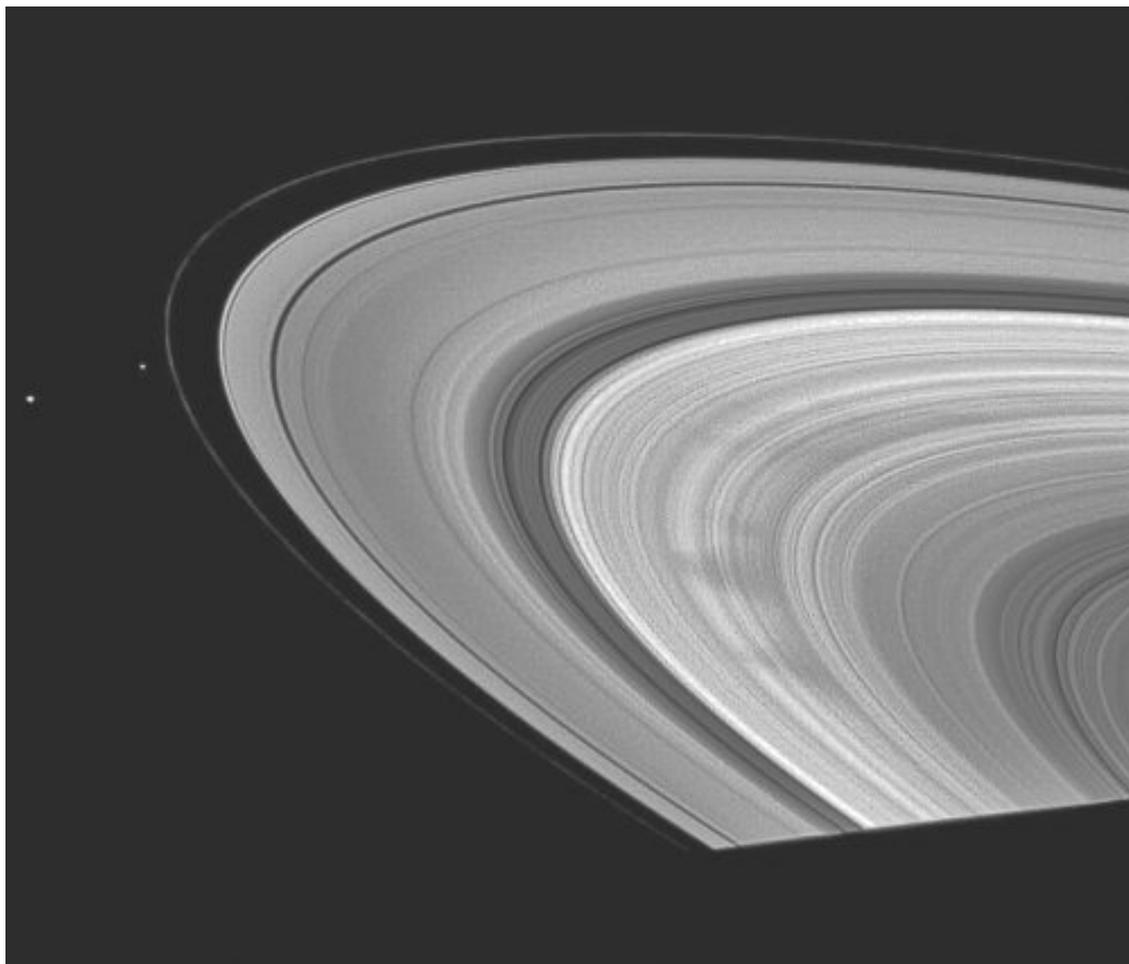


Рис. 44. ...и темные «спицы»

Спутники Сатурна (как и Юпитера) – интереснейшая тема, но мы пока оставим ее «в тылу» и перейдем к двум оставшимся газовым гигантам – Урану и Нептуну.

Открытый Уильямом Гершелем в 1781 году Уран в принципе мог быть открыт и ранее. Его видимая звездная величина колеблется в пределах от 5,67 до 5,9, то есть при хорошем небе он виден невооруженным глазом как слабая звездочка, различимая с некоторым трудом, но все же различимая. В горах же, где предельная звездная величина «точечного» светила, видимого невооруженным глазом, достигает 7, он виден уверенно.

После открытия Гершеля выяснилось, что Уран наблюдался ранее не менее 20 раз и впервые (впервые ли?) был замечен еще в 1690 году, но не отождествлен. Причина проста: новую планету не искали, поскольку не предполагали ее существования. Кто бы обратил сугубое внимание на слабую звездочку, каких на небе несколько тысяч, и специально стал разглядывать ее в телескоп, применив большие увеличения, при которых стал бы различим диск планеты? Что до звездных карт, то они в те времена были еще несовершенными и неполными – хотя небесные координаты Урана на тот момент были-таки измерены. И опять-таки следовало заметить, что одна из слабых звезд, отмеченных на карте, спустя некоторое время «убежала» со своего места! Словом, чтобы найти, желательно искать, иначе открытие состоится с большим опозданием и случайно. Ведь и Гершель не искал новую планету!

Однако нашел, хотя поначалу думал, что открыл комету. Скоро выяснилось, что орбита нового тела – чисто планетная, со средним расстоянием от Солнца 19,187 а.е. и периодом обращения 84,048 года.

С Нептуном получилось еще интереснее. Нельзя сказать, что эту планету уже искали целенаправленно, основываясь на том предположении, что Уран, возможно, не самая дальняя планета. Стимулом к началу поиска стали неправильности в движении Урана.

В конце XVIII и начале XIX века Уран «торопился» – непрерывно убегал вперед в своем движении по орбите, вычисленной в 1784 году. Эта орбита оказалась, естественно, эллиптической с эксцентриситетом 0,046 и малым углом наклона плоскости орбиты к эклиптике: всего $0,772^\circ$. Казалось бы, типичная, чуть ли не образцовая планетная орбита. И тем не менее «убегание» вперед Урана было просто катастрофическим.

Поначалу, естественно, предположили, что вычисленная орбита ошибочна, и попытались подобрать другую. Попытка провалилась: выяснилось, что эллиптической орбиты, полностью удовлетворяющей движению Урана, попросту не существует.

Пришлось сделать следующий логический шаг: учесть возмущения со стороны Юпитера и Сатурна. Влияние внутренних планет, более далеких и гораздо менее массивных, было справедливо признано пренебрежимо малым. Масса Урана была вычислена из наблюдений за орбитальным движением его спутников Титании и Оберона, открытых опять-таки Гершелем в 1787 году. Масса оказалась равной 14,5 массы Земли. И вот появились новые таблицы движения Урана, созданные сначала Деламбром (1790 год), а затем пересчитанные и исправленные Буваром (1820 год).

Толку не вышло. В 1832 году стало окончательно ясно, что эти таблицы никуда не годятся. Теперь Уран отставал от вычисленного положения на небе на 30 угловых секунд, и это отставание увеличивалось на 6–7 секунд в год. Нонсенс! Пришлось вздохнуть и признать, что на Уран, по-видимому, действует еще какая-то сила, не учтенная в расчетах.

Но какая? Возможных объяснений виделось пять: сопротивление газовой-пылевой среды, влияние не открытого еще спутника, столкновение с кометой незадолго до открытия Урана Гершелем, поправки к закону тяготения, которые надо вносить, если расстояние между телами велико, – и, наконец, существование еще одной планеты.

Все эти возможные причины, кроме двух последних, были отброшены одна за другой. Казалось бы, в справедливости ньютонова закона всемирного тяготения в тех случаях, когда поправками общей теории относительности можно спокойно пренебречь, может усомниться только психически нездоровый человек, – ан нет: сомнения в этом вопросе возникали и в конце XX века, и возникнут снова, когда встанет очередная задача, вроде бы не имеющая иных решений. Если утопающий хватается за соломинку, то упершийся в глухой тупик склонен ломать и ниспровергать. Но все же был другой выход, последний: поискать еще одну планету.

Она должна была находиться еще дальше от Солнца, чем Уран, и выглядеть гораздо более слабой звездочкой. Таких звездочек на небе уже не тысячи, а десятки тысяч, и даже если ограничиться 10-градусной полосой вокруг эклиптики, все равно это потребовало бы от квалифицированных наблюдателей колоссального количества человеко-часов.

Проще было теоретически вычислить, в какой части неба находится неизвестная планета, и уже там искать ее. Эту работу – тоже весьма громоздкую – мог выполнить один теоретик. Первым за вычисления взялся немецкий астроном Фридрих Бессель, но он умер, не успев закончить работу. Вслед за ним открыть планету «на кончике пера» независимо друг от друга попытались двое: молодой английский математик Джон Адамс и уже известный к тому времени французский теоретик Урбен Леверье.

Успех сопутствовал обоим. Адамс закончил вычисления на год раньше, но расчеты Леверье оказались более основательными и убедительными. Адамс не сумел уговорить английских астрономов заняться поисками новой планеты, зато Леверье тотчас после опубликования своих результатов (1846 год) обратился к немецким астрономам, имевшим лучшие на то время карты звездного неба. Ведь самый простой способ найти новую планету состоял не в том, чтобы долго и нудно измерять координаты множества звезд в вычисленном «теоретическом квадрате», при-

чем делать это дважды, сравнивая положение звезд на небе, и не в том, чтобы искать планету по видимому диску, а в том, чтобы просто-напросто сличить участок звездной карты с реальным участком звездного неба. Крик студента-астронома д'Арре: «Этой звезды нет на карте!» – вошел в историю. Так ассистент Берлинской обсерватории Галле и помогавший ему д'Арре нашли новую планету всего в одном градусе от расчетной точки, потратив едва полчаса на поиски. Триумф небесной механики был велик.

Новую планету после некоторых споров и интриг назвали Нептуном. Леверье, вначале сам предложивший назвать планету Нептуном, в скором времени пожелал, чтобы теоретически открытое им светило носило его имя, в чем нашел поддержку некоторых видных астрономов того времени. Что ж, тщеславие – универсальный порок, оно равно поражает и великих, и ничтожных. Однако предложение не было принято: ведь тогда по справедливости Уран следовало бы назвать Гершелем и переименовать все известные к тому времени малые планеты. Так что восьмая планета Солнечной системы стала называться все-таки Нептуном, а не Леверье.

В том же году у Нептуна был открыт крупный спутник Тритон, из параметров движения которого легко вычислялась масса планеты. Она оказалась равной 17,204 массы Земли, то есть Нептун несколько массивнее Урана. Как ни странно, и средняя плотность у него выше: 1,76 г/см³ против 1,30 г/см³ у Урана. Орбита Нептуна практически круговая ($e = 0,0113$) – из всех планетных орбит лишь орбита Венеры имеет меньший эксцентриситет. Полный оборот вокруг Солнца планета совершает за 164,491 года.

При взгляде в не слишком крупный телескоп Уран и Нептун – просто близнецы-братья, отличающиеся лишь видимым размером и немного цветом, но все же оба они голубовато-зеленые. Впрочем, особо зоркие наблюдатели отмечают на Уране полосы, похожие на полосы Сатурна и также параллельные экватору планеты. Поскольку Уран иногда повернут к нам северным или южным полюсом, полосы в такие моменты времени становятся кольцами.

Уран уникален тем, что угол между плоскостью его экватора и плоскостью орбиты составляет 97,77°, то есть планета вращается практически «лежа на боку», подставляя нам в своем движении вокруг Солнца то экваториальные области, то один из полюсов. При этом Уран, как и Венера, вращается в сторону, противоположную вращению остальных планет. Какой древний космический катаклизм заставил планету вращаться столь необычным образом, остается только гадать.

Нептун в этом отношении гораздо более «добропорядочен», имея нормальное направление вращения и угол наклона экватора к орбите 28,32°. Зато периоды вращения вокруг оси у обеих планет близки: 17 часов 14 минут у Урана и 16 часов 7 минут у Нептуна. Обе планеты имеют спутники и кольца.

В 1977 году Уран покрыл своим диском слабую звезду SAO 158 687. Незадолго до покрытия звезда пять раз ненадолго ослабла в блеске, и то же явление зеркально повторилось, когда диск Урана «слез» со звезды. Ничем иным, кроме как системой колец – причем темных колец, – объяснить это явление было нельзя. Годом позже было открыто еще 4 кольца, так что всего их у Урана стало 9. Кольца Урана очень узкие (от 0,6 до 100 км) и очень темные, с низким (менее 5 %) альбедо. Можно считать, что по отражательной способности вещество колец Урана подобно саже. Наверняка кольца Урана не состоят из льда, но зато могут состоять из вещества, выбитого с поверхности Титании и Оберона – не покрытых льдом спутников Урана. Любопытно, что кольца эти эллиптические, а их плоскость не совсем совпадает с плоскостью экватора планеты.

Но даже «Вояджер-2», пролетевший в 1986 году вблизи Урана, не заметил два внешних, опять-таки узких кольца и два новых спутника. Эти объекты были открыты с использованием Космического телескопа им. Хаббла. Кольца получили обозначение U₁ и U₂, причем орбита одного из новых спутников совпадает с орбитой самого внешнего кольца U₁. По всей видимости, этот спутник, получивший имя Мэб, подпитывает кольцо пылью и осколками, выбрасывае-

мыми с его поверхности вследствие метеоритной бомбардировки. Надо думать, бомбардировка носила «разовый», случайный характер – об этом прежде всего говорят орбиты других спутников, не связанные с кольцами. Немаловажно и то, что пространственная плотность метеоритов на орбите Урана должна быть гораздо ниже, чем, скажем, в Главном поясе астероидов, так что при достаточном количестве «мишеней» для бомбардировки не хватает «снарядов».

Есть кольца и у Нептуна. Их наличие подозревалось давно, но открыты они были лишь при пролете вблизи планеты АМС «Вояджер-2». Было обнаружено четыре очень узких кольца. Все это типично для газовых планет. Нетипично другое: почему-то крупный спутник Нептуна Тритон (диаметр 2710 км) движется по орбите в обратном направлении. Предпринимались попытки объяснить такое его движение тем, что некогда спутником Нептуна был и Плутон, но взаимные возмущения этих тел выбросили Плутон прочь, а Тритон заставили обращаться вокруг Нептуна в противоположном направлении. Существует и другая гипотеза, согласно которой Тритон некогда был самостоятельным телом пояса Койпера и стал спутником планеты после тесного сближения с ней. Моделирование показало, что для этого Тритон должен был иметь крупный спутник, выброшенный впоследствии в самые дальние области Солнечной системы. Трудно сказать, было так на самом деле, но так быть могло. Спутники же у плутоидов – самое обычное дело.

Как Уран, так и Нептун окружены «знатными» атмосферами, в них наблюдаются светлые и темные пятна – следы местных циклонов. Измеренные скорости ветра на Нептуне превосходят все, что мы знаем, и могут достигать 1120 км/с, причем образования, подобные земным перистым облакам, перемещаются с огромной скоростью из одних широт в другие. Моделирование, однако, показало, что атмосферы Урана и Нептуна гораздо менее толсты, чем у Юпитера или Сатурна. В них заметно меньше водорода и больше соединений типа аммиака, метана и др. Высказывалась гипотеза, что если Солнце родилось не как одиночная звезда, а в составе довольно тесного скопления (за это говорит теория вероятностей), то мощное излучение соседних звезд или протозвезд могло вымести часть водорода и гелия из пухлых оболочек формирующихся периферийных планет, тогда как Сатурн и Юпитер убереглись от подобной участи, будучи экранированными пылью околосолнечного газово-пылевого диска, в котором образовались спиральные волны плотности – почти как в галактике. Что ж, спиральный рукав – очень неплохой «защитный экран». В эту гипотезу хорошо ложится и большая, чем у Урана, плотность Нептуна, который был ближе к периферии газово-пылевого диска и потерял больше легких элементов. К сожалению, эту гипотезу трудно проверить иначе, чем моделированием, а такая проверка, конечно же, не может считаться полноценной (посчитать-то можно что угодно, вопрос лишь в том, какое отношение все это имеет к реальности).

По всей видимости, в относительно тонкой, не превышающей, скажем, радиуса Земли атмосфере Урана и Нептуна газ с увеличением глубины довольно быстро становится жидкостью, чему немало способствуют низкие температуры. Ниже располагается толстая ледяная мантия, состоящая преимущественно из метана и аммиака в твердой фазе, а в центре находится ядро из горных пород, несколько большее Земли по размерам. В центре Урана держится температура порядка 10–12 тыс. К при давлении 5,5–6 Мбар; в центре Нептуна – 12–14 тыс. К и 7–8 Мбар.

Как видим, называть Уран и Нептун газовыми планетами мы можем лишь с изрядной долей условности. Правильнее было бы назвать их каменно-ледяными, поскольку очень заметная часть их массы пребывает не в газовой фазе. И возникает вопрос: если бы по каким-то причинам из первичных рыхлых планетоидов, притягивающих к себе вещество газово-пылевого протопланетного диска, образовались бы не Уран и Нептун, а несколько десятков или сотен тел помельче, то на что бы они были похожи?

Ответ ясен: на тела пояса Койпера. В таком случае пояс Койпера начинался бы не от орбиты Нептуна, а гораздо ближе к Солнцу. Конечно, из-за инсоляции состав льдов у ближайших к Солнцу тел был бы несколько иным, но это уже частности.

9. Свита «больших господ»: спутники

Начнем с Луны. Изучая распределение пыли возле других звезд, некоторые астрономы пришли к выводу, что наличие крупного спутника у землеподобной планеты – большая редкость во Вселенной. Так это или нет, установить пока трудно, поэтому мы просто будем опираться на факт: у нас есть Луна. Выше о ней уже было сказано несколько слов, в том числе о ее движении, объяснение которого оказалось труднейшей задачей небесной механики. На движение Луны оказывают влияние Земля и земные приливы, Солнце и солнечные приливы, планеты и даже эффекты общей теории относительности. Последние приводят к «гулянию» Луны по орбите с амплитудой порядка метра – величина, конечно, ничтожная, но вполне измеримая (и измеренная).

Среднее расстояние от центра Земли до центра Луны равно 384 400 км и меняется вследствие эллиптичности лунной орбиты от 356 410 до 406 700 км. Эллиптичность лунной орбиты долгие столетия была на руку астрономам, так как Луна была бы обращена к Земле строго одной стороной лишь при абсолютно круговой орбите. Реальная, эллиптическая орбита Луна заставляет наш естественный спутник как бы «покачиваться», слегка поворачиваясь к нам то одним, то другим боком. Это явление называется *либрациями* Луны. Либрация может достигать почти 8° по экватору и почти 7° по меридиану. Из-за либраций мы можем наблюдать с Земли не 50 % лунной поверхности, а около 60 %, но, разумеется, не одновременно.

Приливные силы приводят к крайне медленному удалению Луны от Земли. Когда остановится это движение? Ответ ясен: когда Луна и Земля будут находиться в полном резонансе, то есть когда Луна не только будет повернута к Земле одной стороной, как уже сейчас, но и период обращения Луны вокруг Земли станет в точности равен земным суткам. Иными словами, Луна когда-нибудь мертво зависнет над одной точкой земной поверхности, будучи по-прежнему повернута к Земле одной стороной. Произойдет это еще нескоро, спустя как минимум два-три миллиарда лет. Расстояние от Земли до Луны составит тогда примерно 650 тыс. км, а вращение Земли затормозится настолько, что сутки будут длиться более 2 месяцев.

И наступит строгая резонансная упорядоченность? Ничуть не бывало: просто земные приливы перестанут действовать на Луну. Но останутся приливы солнечные, более слабые, чем земные, но все же заметные на больших промежутках времени, когда нет других возмущающих сил. Под действием солнечных приливов Луна начнет понемногу *приближаться* к Земле, и остановить ее движение, которое будет длиться опять-таки миллиарды лет, не сможет уже ничто. Кончится тем, что Луна упадет на Землю, – хотя весьма вероятно, что к тому времени Солнце, превратившись в красный гигант, избавит нашу планету от этой проблемы.

Однако перейдем к более тесному знакомству с Луной как космическим телом. Диаметр (средний экваториальный) Луны равен 3478,8 км, что составляет 27,24 % диаметра Земли. При этом Земля в 81,3 раза массивнее, что сразу указывает нам на меньшую среднюю плотность Луны по сравнению с Землей. И действительно, средняя плотность Луны составляет всего $3,34 \text{ г/см}^3$. Если принять гипотезу о формировании Луны из обломков молодой Земли, выброшенных на орбиту вследствие столкновения с крупным планетоидом, то малая плотность Луны легко объяснима: гравитационная дифференциация вещества Земли началась уже на этапе «слипания» первичных планетезималей и успела несколько продвинуться за те 60 млн лет, что прошли (согласно оценкам) между началом существования Земли как планеты и столкновением с планетоидом. Безусловно, процесс гравитационной дифференциации вещества Земли был еще весьма далек от завершения – он и сейчас еще не завершен, – однако очень молодая Земля к моменту удара, по-видимому, уже не была однородной, а имела градиент плотности по радиусу, проще говоря, плотность вещества

Земли увеличивалась с глубиной. Удар выбил вещество преимущественно из мантии, не затронув формирующегося ядра. Разумеется, это мантийное вещество все-таки было обогащено железом. Некоторое представление об этом веществе могут дать современные метеориты из класса хондритов – силикаты, напшигованные железными «каплями». Этого железа хватило, чтобы у Луны с течением времени сформировалось собственное железное ядро.

(Впрочем, необходимо еще раз подчеркнуть: гипотеза о формировании Луны вследствие соударения Земли с крупным планетоидом – все-таки лишь гипотеза. Альтернативную гипотезу о самостоятельном формировании Луны из вещества протопланетного диска пока ни в коем случае не следует считать отброшенной.)

Так или иначе, Луне досталось меньше элементов группы железа, чем Земле. Соответственно, ее железное ядро относительно меньше и легче, чем ядро Земли. И масса, общая масса и размеры Луны! Конечно, движение мантийного вещества происходило на Луне медленнее, чем на Земле, но ведь и сама Луна меньше! Итог: процессы гравитационной дифференциации вещества на Луне уже фактически закончились, и сегодняшняя Луна считается тектонически пассивным космическим телом. Правда, при этом обычно забывают добавить: «По сравнению с Землей». Ведь даже если гравитационная дифференциация ныне уже не идет, то ведь существует еще радиоактивный распад некоторых элементов, а он, будучи спонтанным процессом, разумеется, не подстраивает свою скорость под массу космического тела. Так что выделение некоторого количества тепла в недрах Луны еще продолжается. На лунной поверхности обнаружено более 400 «теплых пятен», причем некоторые из них на 50° теплее окружающей местности. Не раз на поверхности Луны наблюдались кратковременные явления (темные пятна, дымки, свечения), некоторые из них можно трактовать как выбросы вулканических газов. Правда, с Земли зафиксировать такое явление удалось лишь однажды, в 1958 году.

Иное дело – космические аппараты. Прибор для измерения концентрации лунной атмосферы¹⁸, оставленный на поверхности Луны экспедицией «Аполлон-14», спустя около двух недель после отлета астронавтов зафиксировал четыре загадочных газовых облака. По скорости роста концентрации атмосферы специалистам удалось оценить расстояние до ближайшего источника выделения газа (несколько километров) и массу выброшенного вещества (10 кг). Масса как будто ничтожная, но она есть! А значит, геологически Луна все-таки не вполне пассивна – правда, она гораздо спокойнее Земли, но все же еще не до конца успокоилась. Зафиксированные лунотрясения только подтверждают такой вывод. Правда, большинство лунотрясений носит приливной характер и наблюдается во время прохождения Луной апогея и перигея своей орбиты.

Из чего же состоит Луна?

В разрезе это примерно такой же «слоеный колобок», как Земля, но, разумеется, с иными числовыми данными. Лунная кора толще земной: 60 км на видимой стороне Луны и свыше 100 км на обратной. Глубже располагается верхняя мантия мощностью 800 км, где фиксируются глубокофокусные лунотрясения, под ней до глубины 1400–1500 км лежит частично расплавленная нижняя мантия, а еще глубже – ядро, состоящее из железа с примесью других металлов.

Ядро Луны, в отличие от земного ядра, не делится на внешнее и внутреннее. Оно едино и находится в твердой фазе. Как следствие, у Луны нет глобального магнитного поля, аналогич-

¹⁸ Говорить об атмосферах малых небесных тел довольно странно с непривычки. Однако если вокруг тела имеется газовая оболочка с плотностью молекул, превышающей плотность молекул в окружающем космическом пространстве, то как же назвать такую оболочку? Конечно, атмосферой, пусть даже ее плотность в 10^{13} раз меньше плотности атмосферы Земли на уровне моря. – *Примеч. авт.* Впрочем, существуют и альтернативные теории происхождения спутников Марса; по одной из них, Фобос и Деймос состоят из сравнительно слабо аккумулированных выбросов вещества марсианской поверхности вследствие астероидных ударов. – *Примеч. авт.* Заметим, что сам термин «спутники планет» был введен в обиход Иоганном Кеплером в 1618 году. – *Примеч. авт.*

ного земному. Оно существовало у Луны 3,6–3,9 млрд лет назад, но сейчас магнитные свойства нашего естественного спутника связаны лишь с остаточной намагниченностью лунных горных пород. Правда, считается, что ядро Луны должно было остыть до затвердения свыше 4 млрд лет назад. В качестве объяснения такого несоответствия предлагается гипотеза повторного разогрева лунного ядра радиоактивным распадом урана и тория, которые в большом количестве входили в 200-километровое «одеяло» из тяжелых горных пород, окружившее ядро. Однако через несколько сотен миллионов лет разогрев «одеяла» привел к повышению его плавучести, и «одеяло» было сорвано с ядра, что дало тому возможность наконец-то отвердеть. Так это или нет, пока не вполне ясно, но факт есть факт: у Луны нет жидкого ядра, которое могло бы продуцировать магнитное поле, зато есть слой расплавленной мантии, которая не дает сейсмическим волнам свободно проходить сквозь глубинные слои Луны.

Почти наверняка крайне медленные конвективные движения вещества лунной мантии еще продолжают, но в целом – в целом! – Луна дает нам понять, какой будет Земля спустя примерно 2 млрд лет, когда процесс гравитационной дифференциации мантийного вещества в основном закончится. Материки практически замрут, вулканизм тоже понемногу зачахнет, и катастрофические землетрясения уже не будут уносить сотни тысяч жизней... Что ж, не так уж и плохо! Правда, никто не скажет, сохранятся ли на Земле спустя столь долгий срок разумные существа, а если да, то какими они будут...

Понятно, что все выводы, сделанные учеными о внутреннем строении Луны, получены из данных лунной сейсмологии, поскольку максимальная глубина, с которой были взяты образцы лунной породы, составляет смехотворные 2,5 м. (Впрочем, и примерно 10-километровая глубина, с которой были подняты глубинные породы Земли, точно так же смехотворна по сравнению с радиусом нашей планеты.) Никто не спорит с тем, что всегда лучше «пощупать руками», но если можно хотя бы измерить (скажем, скорость ударной волны в породах на разной глубине), то это уже много.

Поверхность Луны, лишенная ветровой и водной эрозии, сохранила весьма наглядные свидетельства бурного геологического прошлого нашего спутника. Даже невооруженным глазом прекрасно видны темные пятна на ее поверхности – так называемые лунные моря: Море Дождей, Море Ясности, Море Спокойствия, Море Изобилия, Море Кризисов, Море Нектара и др. Особенно крупными размерами выделяется Океан Бурь. Три лунных «морья» – Паров, Облаков и Влажности – являются его обширными «заливами». Само собой, слова «морья» и «заливы» приходится брать в кавычки, так как воды там нет. Но жидкость была! Ведь базальтовая лава основного и ультраосновного состава – жидкость с малой вязкостью, способная быстро течь. На Земле такие лавы выбрасываются из гавайских вулканов (например, Килауэа) и текут к океану быстрыми огненными реками. На Луне базальтовые лавы, излившиеся в промежутке от 3 до 4 млрд лет назад, образовали «морья», которые правильнее называть *ударными бассейнами*. Самые крупные из них находятся на видимой стороне Луны. Всего на Луне имеется более 40 ударных бассейнов. Темные – лавовые – области занимают 17 % лунной поверхности.

Между ними тянутся горные хребты, получившие имена земных горных систем: Альпы, Апеннины, Кавказ, Пиренеи и др. Высота отдельных горных вершин достигает 5,5 км. Но первое, что бросается в глаза при взгляде на Луну даже в самый скромный телескоп, – это, конечно, многочисленные кратеры. Почти все они названы именами ученых и общественных деятелей Земли. Наибольший кратер Байе имеет диаметр 300 км.

Давно уже нет никаких сомнений в том, что лунные кратеры (во всяком случае, подавляющее большинство их) носят ударный характер, но еще 100 и даже 50 лет назад во взглядах ученых на происхождение кратеров не было единодушия. Отголоски этих споров попали в замечательную детскую книжку Н. Носова «Незнайка на Луне». Там Знайка развенчивал теории «вулканистов» тем очевидным фактом, что лунные кратеры не похожи на кратеры земных вулканов, а теории «метеоритчиков» – тем, что наклонно упавший метеорит должен де-

был оставить овальный кратер, а не круглый, между тем как лунные кратеры по преимуществу круглые, а не овальные.

Но поверхность космического тела – не картонная мишень, в которой пуля оставляет дырку небольшого размера. Кратер, выбитый в поверхности Луны (или Земли, не важно это!) метеоритом, имеющим космическую скорость, минимум на порядок превосходит размерами поперечник врезавшегося в поверхность тела. Вероятно, тело, выбившее кратер Байе, имело поперечник от 10 до 30 км (тут конкретика зависит от скорости и состава тела), то есть было типичным небольшим астероидом. Моделирование, как математическое, так и натурное, четко проясняет два обстоятельства: во-первых, под каким бы углом тело ни столкнулось с поверхностью, в результате всегда появляется более или менее круглый кратер – низина, окруженная валом, и, во-вторых, в геометрическом центре кратера часто образуется горка. Если лунный кратер лишен центральной горки, то почти всегда его дно состоит из застывшей лавы, то есть удар космического тела состоялся еще в те времена, когда лунная кора была тонка, а верхняя мантия находилась в полурасплавленном состоянии. Без этих «входящих» энергия удара космического тела о лунную поверхность оказалась бы недостаточна для плавления огромной массы базальта, заполнившего чашу кратера. Ведь энергия удара уходит главным образом на перемещение колоссального количества горных пород, порой на значительные расстояния.

Уже в сильный бинокль или подзорную трубу в нижней части лунного диска видны светлые лучи, расходящиеся веером от кратера Тихо. Эти лучи суть не что иное, как выброшенная при ударе порода и небольшие вторичные кратеры, образованные падающими обломками. При большем увеличении заметны лучи, расходящиеся и от других больших кратеров: Коперник, Кеплер, Аристарх, Анаксагор. На обратной стороне Луны ярко выраженными лучами окружены кратеры Ом и Джордано Бруно. На крупные круговые ударные образования приходятся и основные гравитационные аномалии.

На Луне насчитываются десятки кратеров диаметром более 100 км и почти полторы тысячи кратеров поперечником свыше 10 км. Сколько всего мелких и мельчайших кратеров на Луне, подсчитать невозможно: ведь всякий дрянной небесный камешек, который сгорел бы в земной атмосфере, достигает лунной поверхности беспрепятственно, неизбежно оставляя хоть малюсенький, да кратер. Даже метеорные тела, массой в граммы и доли грамма, сталкиваясь с Луной, выбивают микрократеры. Вести их учет можно лишь с лунной орбиты, а с Земли – невозможно, да и незачем. Ну что нового о Луне откроет нам еще одна ударная ямка на ее поверхности? Практически ничего.

В этой связи хочется развеять популярный миф о всемогуществе наблюдательной астрономии. Автору многократно приходилось слышать от «сведущих» людей: мол, даже в самый крупный телескоп никто не видел на Луне оставленного американцами флага (а значит, американские астронавты упражнялись в прыжках по «лунному» реголиту в специальном павильоне перед телекамерой, а не на Луне). Вздорность этих высказываний ясна всякому, кто дал себе труд узнать, чему равна максимально возможная разрешающая способность телескопа. При наблюдении двойной звезды с одинаковым блеском обеих компонент разрешающая способность равна (в угловых секундах) $140/D$, где D – апертура телескопа в миллиметрах. И это, прошу заметить, при идеальном состоянии атмосферы, чего не бывает практически никогда! Если же речь идет о разделении звездной пары с разным блеском компонент или о выделении малоконтрастных деталей на диске планеты или спутника, то разрешающая способность телескопа много ниже. Впрочем, любой желающий может закрыть на это глаза и, взяв формулу $140/D$, приняв D равным 10 м, а расстояние до Луны равным 400 тыс. км, грубо оценить минимальный линейный размер области, которую в принципе может выделить на Луне крупнейший из наземных телескопов. Поверьте, этот размер куда больше размера флага. В крупнейшие инструменты могут наблюдаться (и действительно наблюдаются) лишь крошеч-

ные светлые области (поперечник порядка 100 м) – следы работы дюз спускаемых аппаратов. Понятно, ракетная струя сдула верхний, темный слой лунного реголита.

Между прочим, по отражающей способности участков лунной поверхности можно судить о ее возрасте в данном месте: чем темнее, тем старше. Виновник потемнения – солнечный ветер, действующий в течение миллиардов лет. Темный цвет лунных «морей» и чаш крупных кратеров уже сам по себе говорит о сугубой древности той эпохи, когда Луна была геологически много активнее, чем сейчас, и вдобавок подвергалась астероидной бомбардировке. Эта эпоха кончилась 3 млрд лет назад, и теперь на «опасных» орбитах осталось слишком мало астероидов, чтобы время от времени обновлять лик старушки Луны.

Что такое лунный реголит? Это тонкий верхний слой Луны – пыль, мелкообломочный материал и шлакоподобные породы вторичного происхождения, то есть та же слежавшаяся пыль. Так и хочется по аналогии с Землей назвать лунный реголит корой выветривания, но какой же ветер может быть на Луне? Хотя эрозия на ее поверхности все-таки есть, и за нее ответственны два фактора: перепады температуры и метеоритная бомбардировка. Не всякому куску породы понравятся 300-градусные суточные перепады температуры (до +130 °С на освещенной стороне и до -170 °С на тенивой). Вопрос растрескивания его и превращения в пыль – это лишь вопрос времени, а этого ресурса у природы хватает. Метеоритная бомбардировка ускоряет дело. Когда вам на глаза попадет прочертивший небо метеор, вызванный сгорающей в атмосфере песчинкой, подумайте о том, что миллионы таких песчинок ежедневно бомбардируют Луну.

И все же лунная эрозия на несколько порядков слабее земной. Если бы не это обстоятельство (и не слабая тектоническая активность) Луны, вряд ли до нашего времени уцелели бы такие древние образования, как лавовые купола, в целом напоминающие земные несостоявшиеся вулканы – лакколиты, или Прямая Стена – 300-метровый уступ в Море Облаков, явный сброс длиной 125 км. На Земле эти свидетельства очень древнего и очень бурного геологического прошлого давным-давно были бы уничтожены эрозией.

Кто не помнит «Лунную пыль» Артура Кларка! Написанная в 1961 году повесть рассказывает о том, как группа туристов в некоем транспортном средстве а-ля глассер провалилась в толщу лунной пыли на глубину нескольких метров и как их потом оттуда доставали. Очень скоро к Луне полетели первые космические аппараты и возник вопрос: как конструировать лунные зонды, предназначенные для мягкой посадки? Ведь посадка на скалы – это почти гарантированная гибель аппарата, но будет ли лучше, если спускаемый аппарат, севший на равнину, попросту утонет «с головой» в лунной пыли? После многих споров, где высказывались резко полярные мнения о свойствах лунной поверхности, С.П. Королев написал краткую резолюцию: «Луна твердая» – и расписался. Генеральный конструктор понимал главное: тверда ли поверхность Луны, сыпуча ли до текучести, как сухой цемент, – этого все равно не узнаешь наверняка, пока не опустишь на Луну аппарат. А значит, надо его опустить, для чего в первую голову необходимо заткнуть рты критикам и заставить сомневающихся отбросить сомнения. Время подтвердило: С.П. Королев оказался прав, а толщина слоя лунной пыли не превышает нескольких сантиметров. Колеса советских «луноходов» и ботинки американских астронавтов оставили в лунной пыли отчетливые следы, но пыль не мешала движению.

В последние десятилетия были осознаны ценные свойства лунного реголита: в нем немало окислов железа и изотопа гелия-3, нанесенного туда солнечным ветром. Понятно, что для будущих лунных построек куда лучше использовать местные ресурсы, чем вытаскивать стройматериалы из земной гравитационной «ямы», а гелий-3 – превосходное и безопасное «топливо» для будущей термоядерной энергетики Луны и, возможно, даже Земли. Вопрос по сути лишь в том, какая держава, когда и с какой целью начнет работу по подлинному освоению Луны, не имеющему ничего общего с вопросами престижа, как раньше. Полагаю, всем очевидно, что это будет не Россия в ее сегодняшнем виде...

Луна в общем-то большей частью интересна не сама по себе, а как удобный форпост для освоения Солнечной системы. Ведь критическая (вторая космическая) скорость у поверхности Луны, равная всего-навсего 2,38 км/с, плюс отсутствие атмосферы, плюс принципиальная возможность подолгу работать в условиях Луны – это как раз то, что надо. Основная проблема заключена в воде: если нет шансов добыть ее непосредственно на Луне, то транспортировка воды с Земли сразу поставит под сомнение пригодность нашего естественного спутника к роли «передового форпоста». Шанс найти воду есть прежде всего вблизи южного полюса Луны. Исследования, проведенные в 1994 году американским аппаратом «Клементина», выведенным на меридиональную окололунную орбиту, показали, что в ближайших окрестностях южного полюса могут находиться залежи водяного льда – увы, не в виде настоящей полярной шапки, а в виде 1 %-ной примеси мелких водяных кристалликов к веществу лунного реголита. Однако радиоастрономические исследования лунных полюсов в 2003 году показали отсутствие там следов льда.

Вопрос до сих пор остается открытым. Но если на Луне есть хоть сколько-нибудь воды, пусть даже связанной в горных породах, то перспектива вновь увидеть человека на Луне становится вполне реальной.

Говоря о Луне, трудно обойти вниманием предположения некоторых ученых о том, что в свое время Луна сильно помогла процессам зарождения жизни на нашей планете – благодаря, естественно, приливам, куда более сильным в раннем архее, чем ныне. Строгое постоянство физических условий – не тот фактор, который помог бы самоорганизации химических реакций между простыми органическими соединениями в гиперциклы и добиологической конкуренции между ними, благодаря чему и возникли первые живые организмы. Не должно быть и слишком резкой смены физических условий. А вот периодическое затопление приливами береговой полосы, возможно, оказалось именно тем оптимумом, в котором только и могла возникнуть самоорганизация «первичного бульона». Конечно, речь идет только о гипотезе, проверить которую затруднительно: ведь поставленный природой «эксперимент» мы наблюдаем как эксперимент единичный, без «контрольной группы». Само собой, если будут достоверно обнаружены следы существования в прошлом марсианской жизни, гипотеза станет уже проверяемой – и будет отброшена, поскольку Марс не имеет крупного спутника, а приливные воздействия на планету со стороны Фобоса и Деймоса настолько ничтожны, что их можно не брать в расчет.

Итак, мы покидаем Землю и Луну, чтобы поговорить о спутниках других планет. Бегло рассмотрим ситуацию с Марсом. Еще в XVII веке многие астрономы были почти уверены в том, что у Марса есть спутники, причем именно два. Логика была следующая: Меркурий и Венера не имеют спутников, у Земли есть один, а у Юпитера в то время было известно всего четыре спутника, открытых Галилеем. Согласно этой логике, а также геометрической прогрессии, у Марса должно быть два спутника. Когда Галилей составил анаграмму, касающуюся наблюдаемых им «придатков» вокруг Сатурна, Кеплер попытался ее расшифровать и расшифровал так: «Привет вам, близнецы, Марса порождение». Великий астроном, увлеченный «гармонией сфер», не сомневался в том, что Галилей обнаружил спутники Марса, причем в количестве двух. Таково уж свойство человеческой психологии, что большинству мыслящих людей хочется, ну просто очень хочется, чтобы Вселенная управлялась простыми, наглядными и красивыми законами. Мечтать, как говорится, не вредно.

Неуемная фантазия Джонатана Свифта побудила его приписать астрономам Лапуты открытие двух – именно двух! – спутников Марса, причем впоследствии выяснилось, что реальная орбита Деймоса близка к выдуманной Свифтом. Не нужно никаких конспирологических теорий – время от времени фантастам удаются точные предсказания просто по закону больших чисел.

Как ни странно, у Марса действительно оказалось два спутника, но они нисколько не похожи ни на Луну, ни на галилеевы спутники Юпитера. Прежде всего, они очень малы, потому и были открыты очень поздно – лишь в 1877 году. Довольно быстро стало ясно, что Фобос и Деймос не имеют генетической связи с Марсом, а представляют собой типичные астероиды, некогда захваченные притяжением красной планеты¹⁹. Как все небольшие астероиды, Фобос и Деймос имеют неправильную форму и в общем напоминают картофелины. Размеры Фобоса равны 27 на 21,6 на 18,8 км, а Деймоса – 15 на 12,2 на и км. Фобос более чем вчетверо массивнее Деймоса и обращается очень близко к Марсу – всего лишь на расстоянии 9378 км, то есть от поверхности Марса его отделяют лишь какие-то жалкие 6000 км. Орбитальная скорость Фобоса превосходит скорость вращения Марса, поэтому приливные силы приводят не к повышению, а к понижению его орбиты. Второй неблагоприятный для Фобоса фактор – столь же медленное, но неуклонное торможение его о чрезвычайно разреженную, но все же существующую на такой высоте марсианскую атмосферу. Кончится плохо: приблизительно через 50 млн лет – весьма незначительный отрезок времени по сравнению с возрастом Солнечной системы – Фобос либо упадет на Марс, либо будет разрушен приливными силами и образует кольцо вокруг красной планеты.

Немного жаль, что мы не увидим Марс окольцованным. С другой стороны, будь Марс окружен кольцом, мы бы гадали о том, каков же был спутник, давший начало кольцу, и жалели бы, что не имеем возможности изучить его. Хотелось бы, тяжело вздохнув, сказать, что иногда нам приходится выбирать что-то одно, – но в данном случае, как и во многих других, Вселенная уже выбрала за нас.

Второму спутнику – Деймосу – не грозит печальная участь, поскольку он находится дальше (23 459 км от центра планеты), обращается медленнее вращения Марса и не тормозится ни приливными силами, ни атмосферой.

Как и Луна, Фобос всегда повернут к Марсу одной стороной. Его поверхность изрыта кратерами, сглаженными слоем реголита. Наиболее интересные образования на Фобосе – глубокие борозды (рис. 45), появившиеся как следствие образования огромного (10 км в поперечнике) кратера Стикни, расположенного на той стороне Фобоса, которая в нашу эпоху всегда обращена к Марсу. По-видимому, энергии удара небольшого астероида, выбившего этот кратер, совсем немного не хватило для того, чтобы Фобос раскололся на несколько меньших тел.

¹⁹ Впрочем, существуют и альтернативные теории происхождения спутников Марса; по одной из них, Фобос и Деймос состоят из сравнительно слабо аккумулярованных выбросов вещества марсианской поверхности вследствие астероидных ударов. – *Примеч. авт.*



Рис. 45. Фобос. Кратер Стикни и борозды

Но довольно о Фобосе и Деймосе – речь об астероидах пойдет ниже. Перейдем теперь к спутникам «царя планет» – великолепного Юпитера.

Крупных спутников у него четыре: Ио, Европа, Ганимед, Каллисто. Они были открыты еще Галилеем, а имена им дал немецкий астроном Симон Мариус, безуспешно оспаривавший у Галилея приоритет их открытия²⁰. Наблюдать их может каждый, кто наведет на Юпитер хотя бы бинокль. В телескоп галилеевы спутники видны как горошины. Из-за того что они обращаются вокруг Юпитера почти точно в экваториальной плоскости, а экватор Юпитера наклонен к эклиптике всего-то на 3°, периодически наблюдается явление прохождения галилеевых спутников по диску гигантской планеты. Разумеется, чаще всего это происходит с ближайшим из них – Ио. При большом увеличении прекрасно видно, как ползет по диску планеты горошина спутника, отбрасывая аккуратную круглую тень на облачные вихри Юпитера. Это зрелище стоит того, чтобы хоть раз его увидеть!

Три из четырех галилеевых спутников поистине замечательны. На Ио – бурный вулканизм, Ганимед – самый большой спутник планеты в Солнечной системе, а подо льдом Европы, вероятно, скрывается океан – не колыбель ли внеземной жизни? Лишь Каллисто, самый дальний от Юпитера галилеев спутник, выглядит какой-то Золушкой, хотя и это небесное тело по своему интересно.

Ближе Ио к Юпитеру лежат лишь орбиты «внутренних» спутников: Метиды, Адрастеи, Амальтеи, Тебы. Это, как указывалось выше, сравнительно небольшие несферические тела, и они, очевидно, не испытывают вследствие своей малости таких мощных приливных воздействий со стороны Юпитера, как Ио (рис. 46 на цветной вклейке). Этот планетоид – уникал. Имея всего 3640 км в диаметре, то есть будучи лишь чуть больше (и чуточку массивнее) Луны,

²⁰ Заметим, что сам термин «спутники планет» был введен в обиход Иоганном Кеплером в 1618 году. – *Примеч. авт.*

Ио «держит» свои недра в расплавленном состоянии. Впрочем, правильнее будет сказать, что за жидкофазное состояние недр Ио отвечает Юпитер: без его мощных приливных воздействий не наблюдалось бы ничего подобного. Ведь Ио находится близко к планете-гиганту, делая один оборот примерно за 42 ч. В итоге мощность выделяемого недрами Ио тепла составляет 2 Вт с каждого квадратного метра, что в 30 раз выше, чем на Земле. Неплохо для столь небольшого тела! Само собой, это тепло не может выделяться равномерно: все-таки поверхность любого космического тела мало похожа на чугунную сковородку. И действительно, поверхность Ио испещрена горячими точками и действующими вулканами, через которые избыток тепла и канализируется в космическое пространство. Только один пример: в 1979 году приборы «Вояджера-1» зафиксировали одновременное извержение как минимум шести вулканов на Ио.

Вулканы Ио своеобразны: они выбрасывают огромное количество серы (поэтому цвет Ио – желто-оранжевый). Сера – довольно распространенный элемент в Солнечной системе, сернистые соединения – типичные включения в метеоритах, да и у нас на Земле широко распространены сульфиды и сульфаты. Минералы пирит FeS_2 , галенит (свинцовый блеск) PbS , халькопирит CuFeS_2 , англезит PbSO_4 и ряд других не только весьма известны, но и имеют промышленное значение. Наконец, вулканы Земли выбрасывают немало сероводорода H_2S , который реагирует в атмосфере с кислородом, образуя водяной пар и серу, откладывающуюся на стенках вулканических кратеров. Существуют и не связанные с вулканами месторождения серы. Короче говоря, сера – не диво дивное, а элемент, которого много. Но чтобы вулканы фонтанировали жидкой серой – такое можно увидеть только на Ио. Естественно, сера, легко загорающаяся в кислородной среде, не горит на Ио, поскольку количество кислорода в атмосфере этого спутника ничтожно мало. Поэтому выброшенная из вулканов сера накапливается на поверхности, причем некоторые районы меняют свой облик буквально на глазах наблюдателей.

Но атмосфера у Ио есть! При непрекращающемся вулканизме она просто неизбежна. Есть у Ио и собственное магнитное поле – следствие жидких недр, – и оно создает «пузырь» внутри мощной магнитосферы Юпитера. Интенсивность магнитного поля Юпитера в «пузыре» падает на 30 %. Верхняя часть атмосферы Ио является ионосферой. На фотографиях Ио, сделанных в 1998 году АМС «Галилео» в тени Юпитера, отчетливо видны полярные сияния, вызванные возбуждением атомов ионосферы высокоэнергичными космическими частицами, разогнанными мощным магнитным полем Юпитера.

Ионосфера Ио разделяет попавшие в нее положительные и отрицательные заряженные частицы, отбрасывая их в противоположные стороны. Электрический потенциал между ними не назовешь слабым: 400 кВ!

В конце 1995 года «Галилео», еще не выведенный на около-юпитерианскую орбиту, пролетел всего в 900 км от Ио и под влиянием гравитации этого спутника несколько изменил траекторию. По степени этого изменения можно судить о распределении масс внутри притягивающего объекта. Вычисления показали, что внутри Ио находится ядро из чистого и сернистого железа, причем радиус ядра составляет почти 900 км, а масса – от 20 до 27 % массы всего спутника. (Массовая доля железного ядра Луны значительно меньше.) Ядро окружено частично расплавленной, но и частично твердой каменной породой, образующей сразу и мантию, и кору. Весьма оригинально: крупный спутник не имеет отдельной коры, словно какой-нибудь мелкий астероид! Слишком уж активны недра Ио, чтобы на поверхности могла сформироваться постоянная кора, – судя по всему, не успев толком сформироваться, она сразу вовлекается в очень активное конвективное движение и прекращает свое существование, погрузившись в глубины Ио.

Не правда ли, очень хорошо, что наша Земля бредет по орбите лишь в компании Луны, а не является близким спутником гигантской планеты?

Европа несколько меньше Ио (3138 км) и расположена дальше от Юпитера. Соответственно, приливные воздействия на нее не столь сильны, недра выделяют меньше тепла, а до Солнца далеко, и в результате вся поверхность этого спутника покрыта льдом (рис. 47 на цветной вклейке). Толщина льда, по разным оценкам, составляет от 3 до более чем 20 км. Светлая окраска Европы давно наводила ученых на мысль о ледяной коре, но лишь снимки, сделанные космическими аппаратами, полностью убедили скептиков: да, это лед, причем водяной лед. Но переданные «Галилео» детальные снимки все же озадачили: ледяная поверхность Европы оказалась испещрена великим множеством глубоких и протяженных замерзших трещин (рис. 48 на цветной вклейке), а многие участки выглядят как торосистый лед. Как могли образоваться такие формации? Приливные воздействия со стороны Юпитера на твердую поверхность спутника не могут быть столь велики, чтобы наблюдаемые трещины и торосение удалось объяснить только ими. По всей видимости, подо льдом Европы находится достаточно толстый слой жидкой воды – настоящий океан. Лишь приливные силы и (в гораздо меньшей степени) внутреннее тепло Европы, вызванное радиоактивным распадом некоторых элементов, не дают ему промерзнуть до дна. На примере нашей Земли мы прекрасно знаем, что приливы в гидросфере гораздо выше приливов в литосфере, и то же самое происходит на Европе. Приливы то и дело ломают и крошат слой льда, но вода, проникшая в трещины, очень быстро замерзает. Пожалуй, только так и можно объяснить все странности поверхности Европы.

Жидкий океан Европы, наличие которого сейчас по сути никем уже не оспаривается, сразу же взбудоражил энтузиастов, надеющихся найти внеземную жизнь если не на Марсе, то хоть где-нибудь. Спектральный анализ солнечного света, отраженного Европой, показал, что во льду Европы содержится немало органических веществ и солей, что также подогрело надежды. Было, однако, сразу ясно, что в условиях подледного океана Европы может существовать только простейшая жизнь, какие-нибудь анаэробные одноклеточные-прокариоты вроде бактерий-хемо-синтетиков. Сильно неравновесные условия среды, необходимые для развития жизни, там вроде бы есть: тепло поступает из глубин планеты, подводные вулканы (а они существуют почти наверняка) поставляют в океан целый комплекс разнообразных веществ. Правда, инсоляции под толстенным слоем льда нет никакой, а значит, нет и фотосинтетиков, но, может быть, гипотетические экосистемы Европы как-нибудь могут без них обойтись? Конечно, все это не более чем поверхностные теоретические измышления. Мы не знаем, существует ли в океане Европы жизнь, и похоже на то, что мы не узнаем этого по меньшей мере в течение нескольких ближайших десятилетий, поскольку отправить на поверхность Европы спускаемый аппарат – уже само по себе непростая задача, а уж пробиться сквозь слой льда к океану – задача куда более трудная, и неясно даже, как ее решить. Но здесь возникает любопытный философский вопрос: всякая ли жизнь, однажды возникнув, непременно станет со временем высокоорганизованной?

Возможный ответ: да, когда-нибудь станет; вопрос лишь в том, сколько времени понадобится гипотетическим бактериям Европы, существующим в крайне скудных условиях, чтобы эволюционировать хотя бы в эукариотных простейших, не говоря уже о многоклеточных организмах. Похоже на то, что звезды типа Солнца столько не живут...

В пользу того, что слой льда на Европе во всяком случае толще 3 км, говорит изучение метеоритных кратеров. Мелкие кратеры Европы похожи на кратеры Ганимеда и Каллисто – это характерные круглые впадины с центральной горкой. Однако начиная с диаметра 8 км в кратерах Европы и других космических тел начинает проявляться разительное несходство. Крупные (30 км и более) кратеры Европы и на кратеры-то не похожи – это концентрические кольцевые структуры из торосов, отчасти напоминающие годовые кольца на древесном пне (рис. 49 на цветной вклейке). Никакой впадины и центральной горки при этом нет. Ясно, что столкнувшиеся с Европой космические тела, образовавшие кратеры такого вида, проббили слой льда,

и ясно, что эти тела были достаточно крупными. Отсюда вычисляется необходимая толщина льда: порядка 20 км, а может быть, и несколько больше.

Лишь по количеству ударных образований можно попытаться хотя бы приблизительно оценить возраст ледяной поверхности Европы. Тут прежде всего неясна вероятность столкновения, отсюда и весьма полярные оценки, сделанные разными учеными: от нескольких миллионов до миллиарда лет.

Несколько лучше известны глубинные слои. Анализ движения «Галилео» в гравитационном поле Европы позволил сделать вывод о том, что металлическое ядро этого спутника так же велико, как у Ио, его радиус может достигать половины радиуса

Европы. Что до водно-ледяной оболочки, то ее мощность оценивается в 80-170 км, причем наиболее вероятная величина – 100 км.

Европа имеет магнитное поле, напряженность которого относительно невелика, и весьма разреженную атмосферу с ионосферой. Атмосфера образуется вследствие выбивания из льда молекул воды заряженными частицами, разогнанными магнитным полем Юпитера. Плотность ионосферы Европы во много раз меньше средней плотности юпитерианской ионосферы.

Третий галилеев спутник – Ганимед (рис. 50 на цветной вклейке) – крупнее Европы, Ио, Луны и т. д. Это вообще самый крупный спутник в Солнечной системе. По диаметру (5262 км) он больше Меркурия, но, имея среднюю плотность всего $1,93 \text{ г/см}^3$, уступает ему по массе более чем вдвое. Между прочим, среди галилеевых спутников Юпитера наблюдается та же закономерность, что и среди планет: чем дальше от центрального «светила», тем ниже их средняя плотность. Это не так-то просто объяснить, если не предположить, что при формировании планет Солнечной системы внутри протопланетного диска вокруг Юпитера образовался свой локальный «протоспутниковый» диск с теми же основными свойствами, но в вопросе, как он взаимодействовал с большим протопланетным диском и почему не рассеялся, пока сохраняется много неясностей. Мы видим лишь конечный результат: четыре спутника с монотонно понижающейся плотностью ($3,35$; $3,04$; $1,93$ и $1,83 \text{ г/см}^3$).

Так же, как и Европа, Ганимед покрыт слоем льда – куда менее чистого, смешанного с минералами, – под которым, возможно, находится соленый океан. Разница в том, что слой льда на Ганимеди толще, чем на Европе, а океан, если он вообще есть, представляет собой сравнительно тонкую жидкую прослойку между скальными породами и льдом. Ледяной покров Ганимед а гораздо темнее льдов Европы, что вызвано своеобразной вулканической деятельностью: время от времени на поверхность выбрасывается грязе-ледяная «лава». Ничего удивительного: если бы над любым из действующих вулканов Земли существовал слой льда мощностью в сотню километров, на поверхность выбрасывалась бы примерно та же смесь. Похоже на то, что примерно половина поверхности Ганимеда, некогда усеянная древними кратерами, впоследствии была покрыта этой грязной «лавой». Происхождение некоторых деталей поверхности вызывает споры, но в целом ясно, что разломы, сбросы и сдвиги имеют ту же причину, что на Земле, а некоторые детали объясняются вытеканием своеобразной ганимедской «лавы». Ко всему этому надо добавить метеоритные кратеры с центральными горками и без оных. Известны три длинные цепочки кратеров, образовавшиеся, видимо, вследствие падения обломков астероида или, скорее, кометы, разрушенной мощными приливными силами Юпитера, как это совсем недавно произошло с кометой Шумейкеров – Леви (об этом ниже).

Ганимед оказался первым спутником планеты, у которого было выявлено существование собственной магнитосферы. Причина магнитного поля кроется скорее всего в железном ядре, окруженном расплавленными породами, хотя выдвигались предположения о том, что причиной является движение слоя электропроводной воды под мощными льдами Ганимеда. Первая гипотеза кажется более предпочтительной: ведь приливные силы со стороны Юпитера действуют и на Ганимед (хотя, конечно, слабее, чем на Европу и тем более Ио), так что недра

этого спутника или часть их вполне могут пребывать в расплавленном состоянии. О том же говорит и своеобразный вулканизм Ганимеда.

Любопытно, что весьма разреженная атмосфера Ганимеда, по-видимому, способна на то, что мы называем атмосферными явлениями. Во всяком случае, ряд областей Ганимеда покрыт инеем, правда, неясно каким – водяным или углекислотным? Но, так или иначе, иней выпадает на поверхность только из атмосферы.

Самый дальний из галилеевых спутников – Каллисто (рис. 51 на цветной вклейке) – выглядит скромнее всех. Это тело диаметром 4806 км – довольно холодный и сравнительно статичный мир. Приливное воздействие Юпитера ощущается и на нем, но еще слабее, чем на Ганимеде. Соответственно, недра Каллисто разогреты гораздо слабее. Долгое время считалось, что Каллисто состоит из недифференцированной смеси горных пород и льдов, но после миссии «Галилео» выяснилось, что это не так. Собранные данные говорят о том, что процентов на 60 Каллисто состоит из довольно равномерно перемешанных каменных пород, железа и сернистого железа, а остальные 40 % – плотно спрессованный лед. Частично эти «фракции» перемешаны. Судя по всему, геологическая история Каллисто была спокойной, без резких потрясений. В условиях холода геологическая эволюция не слишком массивного планетоида идет медленно, так что чисто железное ядро у Каллисто, похоже, так и не появилось. Считается, что ядро радиусом не более 25 % радиуса спутника состоит из смеси металлов с камнями, чисто ледяная кора имеет толщину максимум 350 км, а между ними лежит толстый слой камней со льдом. Нет особых оснований думать, что под слоем льда на Каллисто находится хотя бы тонкий слой воды.

Как следствие отсутствия металлического ядра, у Каллисто нет магнитосферы, во всяком случае, приборы «Галилео» ее не обнаружили. Вот что значит удаленность от «хозяина» – Юпитера: холодно, скучно, и даже своего магнитного поля нет! Зато поверхность сильнее изрыта кратерами. Вряд ли дело в том, что метеориты чаще падают на Каллисто, чем на другие галилеевы спутники, – скорее всего это не так. Просто поверхность Каллисто очень уж статична: ни торошения, как на Европе, ни грязевого вулканизма, как на Ганимеде. Соответственно, кратеры на Каллисто «живут» дольше.

О внешних спутниках Юпитера известно не так уж много. По всей видимости, это астероиды, некогда захваченные притяжением Юпитера. Они разбиваются на несколько групп по удаленности от планеты-гиганта. Леда, Гималия, Лиситея и Элара обращаются на расстоянии свыше и млн км от Юпитера; наклонение их орбит значительное; орбиты же Ананке, Карме, Пасифе, Синопе и других мелких спутников наклонены еще сильнее (так что движение у них обратное) и лежат еще дальше, на расстоянии свыше 20 млн км от Юпитера. (Между прочим, это половина расстояния от Земли до Венеры при их наибольшем сближении!) Наиболее крупное из этих тел – Гималия, его поперечник оценивается в 170 км, тогда как поперечник Ананке всего 20 км, а Леды – 10 км. Всего же к настоящему времени у Юпитера открыто около 60 спутников.

Примерно столько же спутников и у Сатурна. Эта меньшая, чем Юпитер, планета обзавелась столь же пышной свитой, хотя ее спутники большей частью меньше галилеевых спутников Юпитера. Но Титан! Единственный спутник, обладающий плотной атмосферой! С этого уникума и начнем.

По размерам Титан с его диаметром 5150 км является вторым по размерам (после Ганимеда) спутником планеты Солнечной системы. Он также крупнее Меркурия, но, имея плотность $1,9 \text{ г/см}^3$, уступает по массе и Меркурию, и Ганимеду. Сила тяжести на Титане в 7 раз меньше земной, однако масса атмосферы Титана раз в 10 превышает массу атмосферы Земли. Атмосфера Титана в полтора раза плотнее земной и простирается намного выше над поверхностью.

Казалось бы, нонсенс. Как может тело сравнительно небольшой массы удержать такую атмосферу? Ответ довольно банален: атмосфера Титана очень холодна, а значит, кинетическая энергия молекул низка, их скорости просто недостаточны для того, чтобы покинуть планету. В прошлом выдвигались гипотезы, преисполненные надежды: а вдруг метан (парниковый газ все-таки!) обеспечивает атмосфере Титана настолько сильный парниковый эффект, что поверхность этого спутника нагрета почти до земных температурных кондиций? А если так, то на Титане, возможно, есть жизнь! Правда, сторонникам этой гипотезы приходилось идти на теоретические измышления, чтобы объяснить, как у тела с параметрами Титана вообще может существовать теплая и притом плотная атмосфера.

Зонд «Гюйгенс», отделившийся от АМС «Кассини» и совершивший посадку на Титан 14 января 2005 года, послал на Землю большой объем информации и принес разочарование оптимистам. Замеренная температура атмосферы Титана составила 70,5 К в верхних слоях и 93,8 К на поверхности. Титан оказался очень холодным миром. Минус 180 °С – явно не те условия, в которых может процветать белковая жизнь. По основному химсоставу атмосфера Титана – смесь метана с азотом, причем доля метана возрастает от тропосферы до поверхности. На высоте 20 км держится метановая облачность. Вблизи поверхности условия таковы, что допускают существование метана во всех трех фазах: твердой, жидкой и газообразной. На снимках поверхности Титана (рис. 52 на цветной вклейке), сделанных «Гюйгенсом», видна довольно унылая равнина, усыпанная камнями или ледяными блоками, несущими на себе следы эрозии, вероятно, вызванной потоками жидкости, так как скорость ветра у поверхности мала. Сама поверхность по большей части состоит из ледяной смеси воды и замерзших углеводов. Водяной лед играет роль одной из горных пород. В месте посадки грунт напоминает рыхлый песок, что, вероятно, связано с вымыванием жидким метаном вещества, цементирующего песчинки.

Позднее было проведено радиолокационное картографирование 60 % поверхности Титана. Выяснилось, что метановые (может быть, метаново-этановые) озера занимают 14 % изученной площади. Найдены русла потоков, прорезающих горные хребты и впадающих в обширные «водоемы» (рис. 53). Снимки поверхности, сделанные «Гюйгенсом» со значительной высоты, в общем напоминают некоторые районы нашей Земли, но увы – Титан далеко не Земля.

О внутреннем строении Титана можно сказать немного. Предполагается, что оно имеет сходство с Ганимедом, но приливные воздействия на Ганимед со стороны Юпитера сильнее приливных воздействий на Титан со стороны Сатурна. Как следствие, Титан несколько «спокойнее». Однако и на нем отмечен криовулканизм: найдены вулканические кратеры, из которых периодически изливается смесь водяного льда и раствора аммиака. Некоторые участки таких «лав» покрыты слоем простых органических соединений, возможно, твердого пропана.

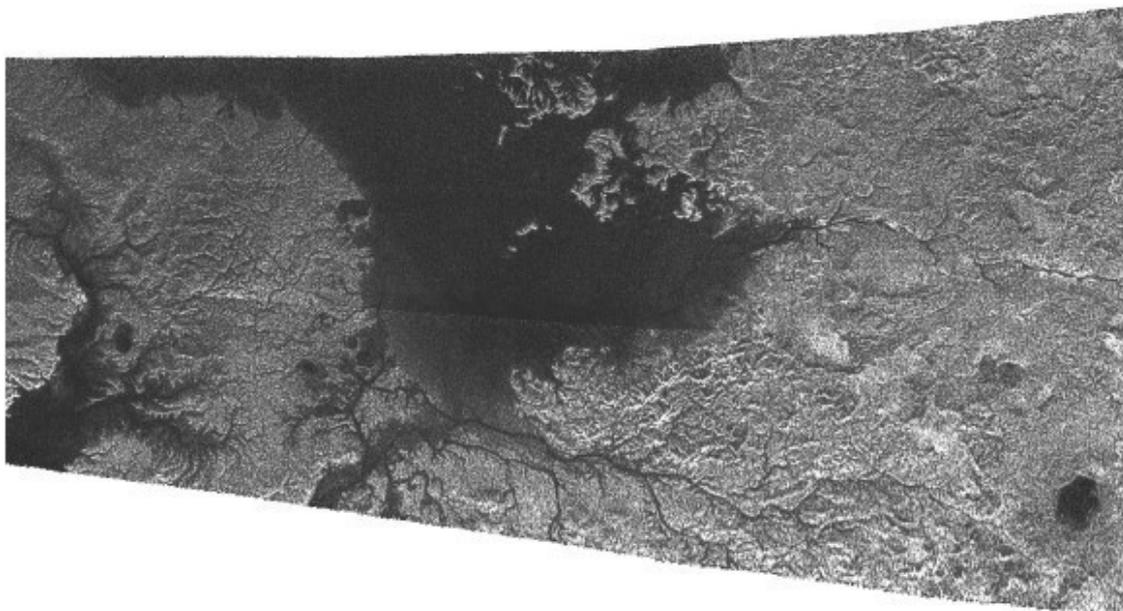


Рис. 53. Руслу рек на Титане

Согласно расчетам, Титан имеет твердое ядро диаметром 3400 км, состоящее из силикатных пород и окруженное минимум двумя слоями льда. Нижний слой – сильно сжатый водяной лед, а верхний слой состоит из водяного льда и гидрата метана. Между слоями возможна прослойка из жидкой воды.

Это на большой глубине. Однако существует гипотеза о наличии на Титане глобального подповерхностного океана. Пока это лишь гипотеза, но сравнение снимков, сделанных «Кассини» в 2005 и 2007 годах, показало, что детали ландшафта сместились на 30 км. Если весь рельеф планеты не «плавает» и если речь не идет об ошибке, то с чего бы взяться такому смещению?

Прочие известные спутники Сатурна не так крупны, их диаметры заключены в пределах от 220 (Феба) до 1528 км (Рея). Меньшие спутники не имеют шарообразной формы: например, довольно крупный спутник Янус (194 на 154 км) все же недостаточно велик, чтобы стать шаром под действием собственного тяготения. Но если посмотреть на Юпитер и Сатурн в небольшой (скажем, 150-миллиметровый) телескоп, то вблизи Юпитера мы увидим лишь четыре растянувшихся цепочкой спутника, а вблизи Сатурна – целых шесть: Энцелад, Тетиду, Диону, Рею, Титан и Япет. В несколько более крупный телескоп внимательный наблюдатель заметит Мимас. Правда, скорее всего, эти спутники не будут вытянуты в одну линию, так как подобное событие случается лишь дважды за долгий сатурнианский год, а будут представлять собой неорганизованную кучку мелких звездочек вокруг окольцованной планеты, – но это уже пустяки. Наблюдая галилеевы спутники Юпитера, неискушенный человек тоже не сразу поймет, где какой спутник. Пожалуй, будет разумно указать последовательность крупных спутников Сатурна по мере увеличения их орбит: Мимас, Энцелад, Тетидя, Диона, Рея, Титан, Гиперион, Япет, Феба. У всех них низкая плотность, что говорит о высоком содержании льда.

Каждое из этих тел замечательно по-своему.

Небольшой (398 км) Мимас (рис. 54) несет на себе огромный – почти в треть диаметра планеты – ударный кратер Гершель. Странно, что Мимас не раскололся после такого удара. Кратер назван в честь У. Гершеля, открывшего Мимас в 1789 году.

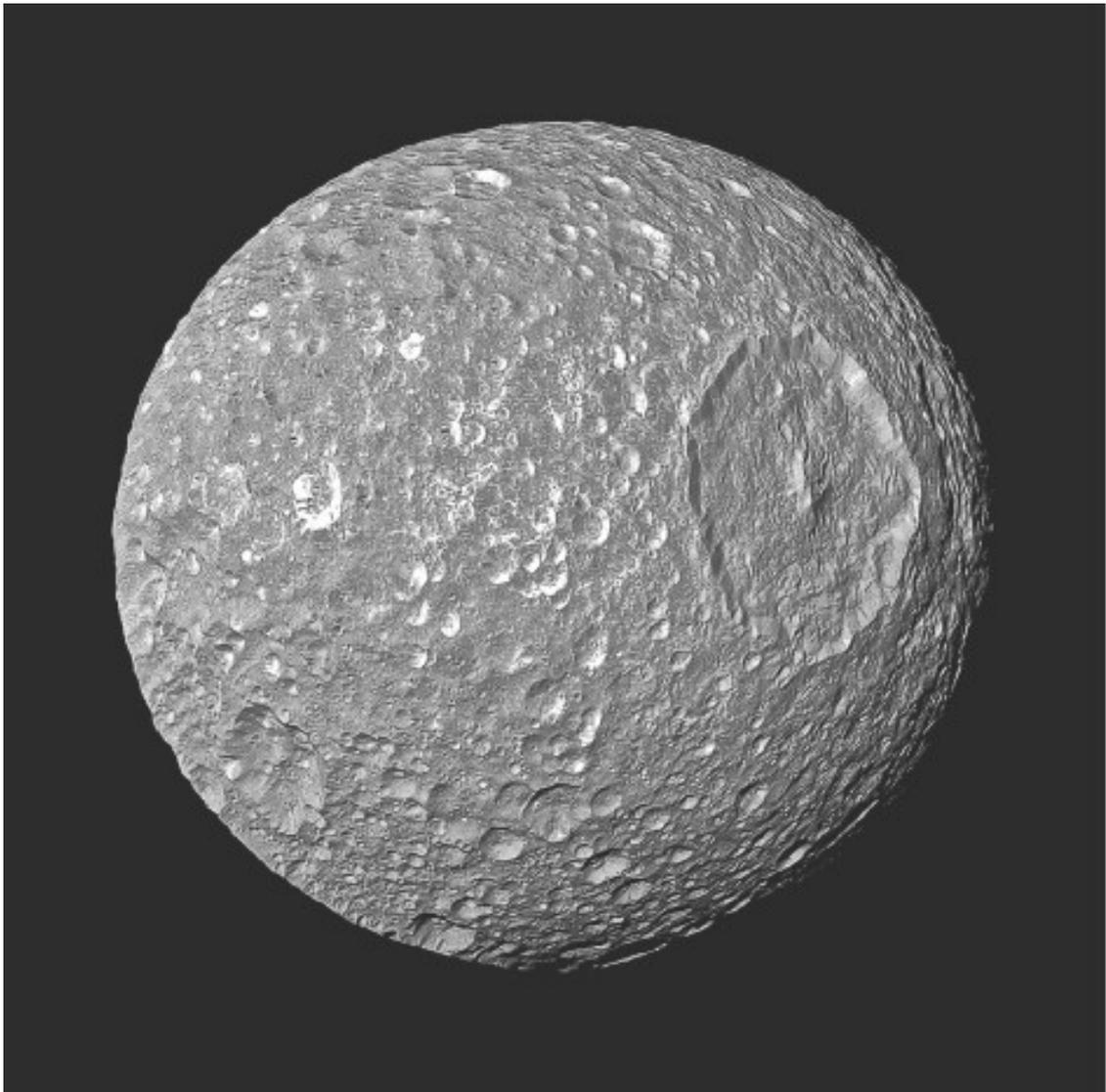


Рис. 54. Мимас

Энцелад (505 км) – самое яркое тело в Солнечной системе, его поверхность сверкает, как горный ледник, и точно так же иссечена трещинами и разломами (рис. 55).

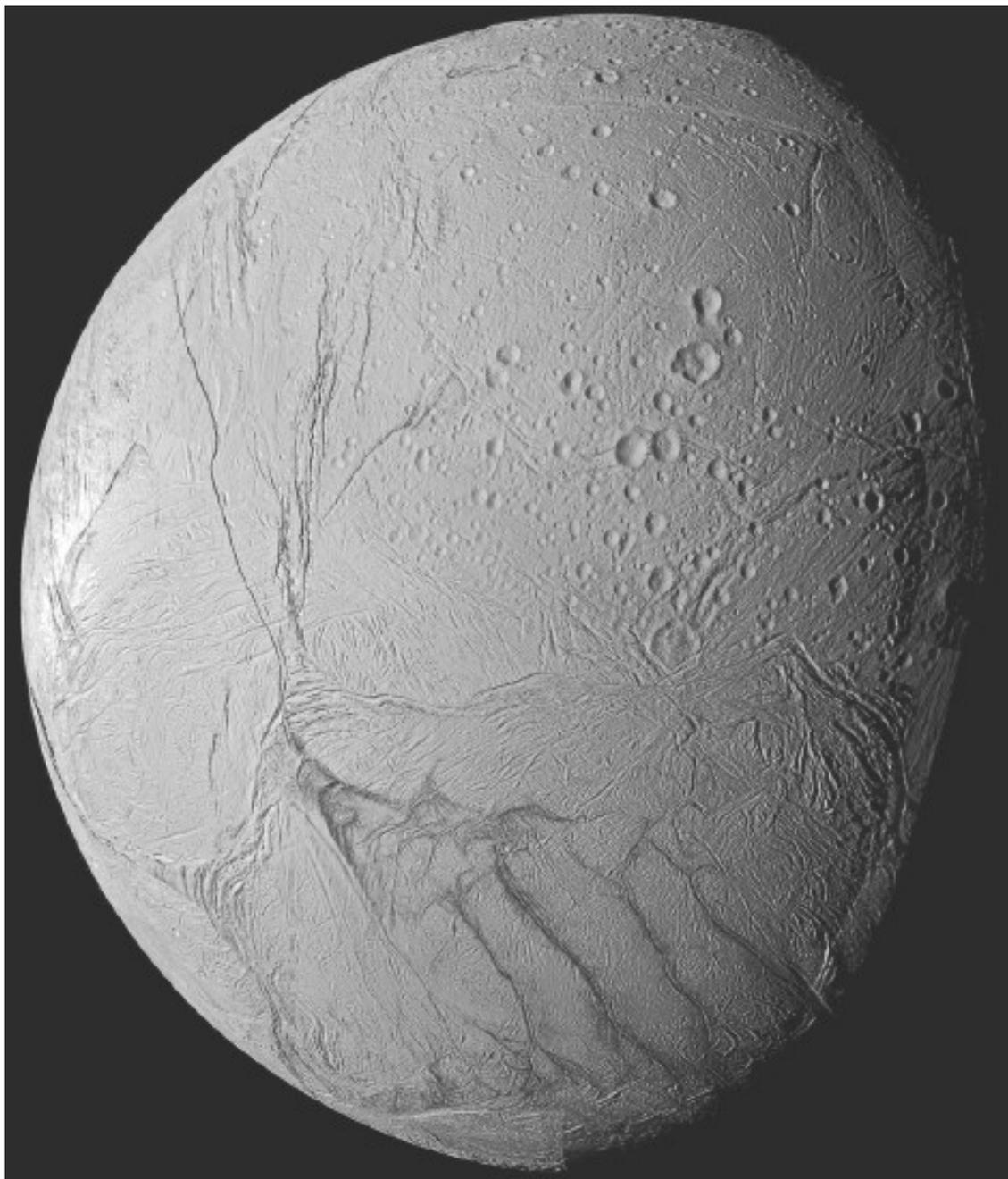


Рис. 55. Энцелад

Интереснейшее явление на Энцеладе – криовулканизм. В отличие от Ганимеда и Титана, вулканическая активность Энцелада постоянна, «лавы» не наблюдается, зато многократно отмечены выбросы ледяного крошева и газов из разломов. Эти ледяные гейзеры подчас бьют на значительную высоту. Ничего удивительного нет в том, что выбросы с Энцелада подпитывают кольцо Е и даже, как недавно выяснилось, кольцо А. «Кассини», все еще работающий в системе Сатурна и уже совершивший более полутора десятков пролетов вблизи Энцелада, 10 октября 2008 году пролетел всего в 25 км от его южной полярной области и осуществил анализ гейзерных выбросов. Они оказались состоящими из водяного пара (65 %), водорода (20 %), а остальное приходится на азот, угарный газ и углекислый газ.

Причина высокой активности столь небольшого тела понятна – приливные воздействия со стороны Сатурна держат недра Энцелада в нагретом состоянии. Однако конкретный меха-

низ выбросов неизвестен, хотя для его объяснения и предложено несколько гипотез. Вероятнее всего, под ледяной поверхностью имеется резервуар жидкой воды, нагреваемой снизу. Излишек тепла сбрасывается вовне при извержениях, как это происходит и с земными гейзерами в совсем других физических условиях. Возможно, в криовулканизме значительную роль играет содержащийся в ледяной оболочке Энцелада аммиак, вступающий в соединение с водой в виде моногидрата или дигидрата и снижающий температуру таяния льда.

Любопытно, что наиболее крупные разломы Энцелада расположены не хаотично, а параллельно друг другу (рис. 56). На фоне этих крупнейших разломов многочисленные прочие трещины выглядят просто морщинами. Не менее любопытно и то, что основная криовулканическая активность сосредоточена в районе полюсов. А вращается вокруг оси Энцелад так, что периоды его вращения и обращения равны, то есть он всегда повернут к Сатурну одним боком, и то его полушарие, что постоянно обращено вперед по ходу орбитального движения, называют «лидирующим», а противоположное – «задним» или «хвостовым».

Жаль, что «Кассини» с его ограниченными возможностями изучения Энцелада остается по сути единственным инструментом нашего познания этого и других спутников. Новых миссий к Сатурну с посадками на спутники пока не планирует ни одно космическое агентство.

Тефия (1066 км) в целом похожа на Луну или Меркурий с той разницей, что имеет ледяную поверхность (рис. 57). Судя по низкой средней плотности ($1,2 \text{ г/см}^3$), Тефия должна состоять преимущественно из льда с вкраплениями горных пород.

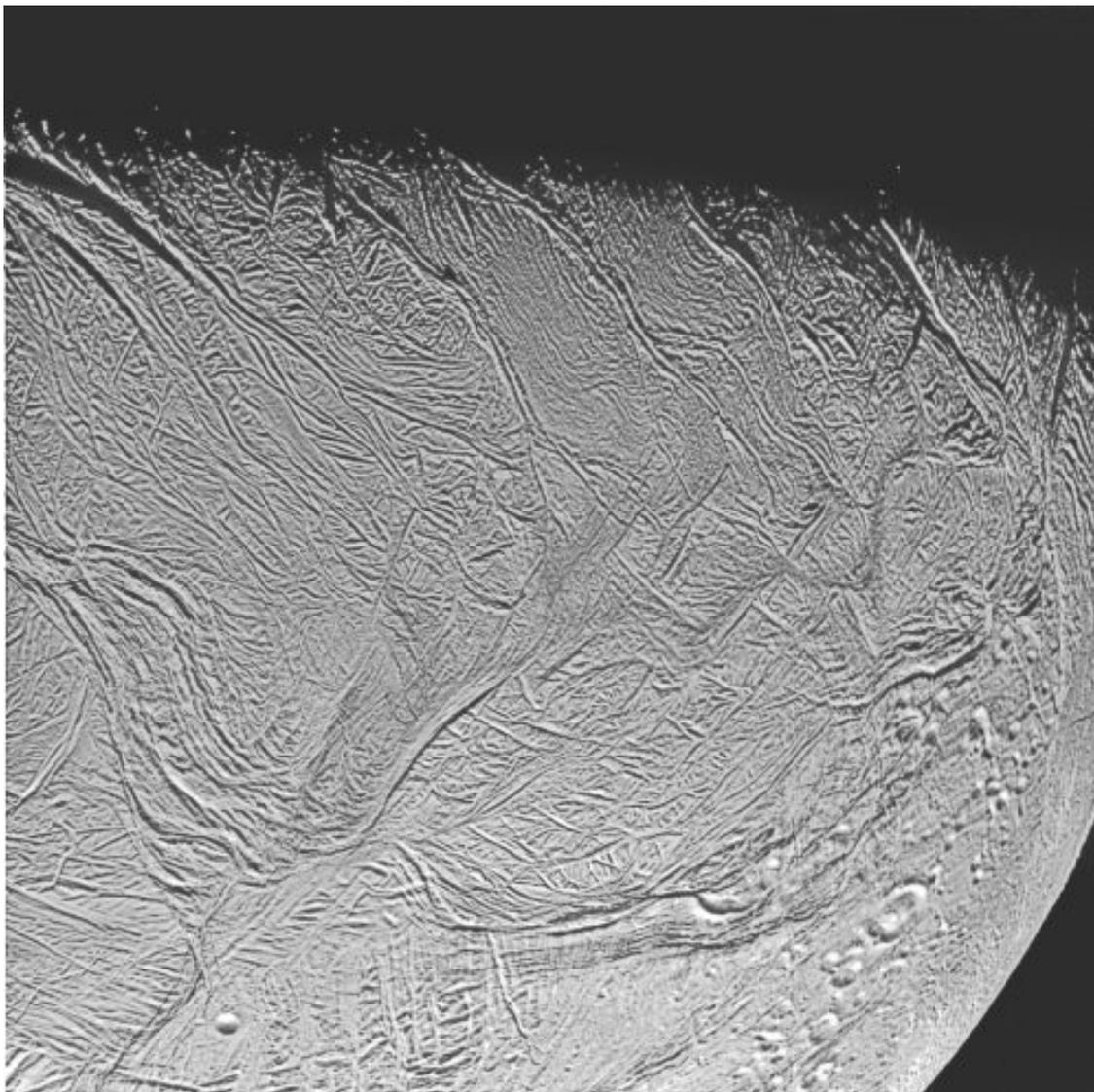


Рис. 56. «Тигровые полосы» – система параллельных разломов на Энциладе

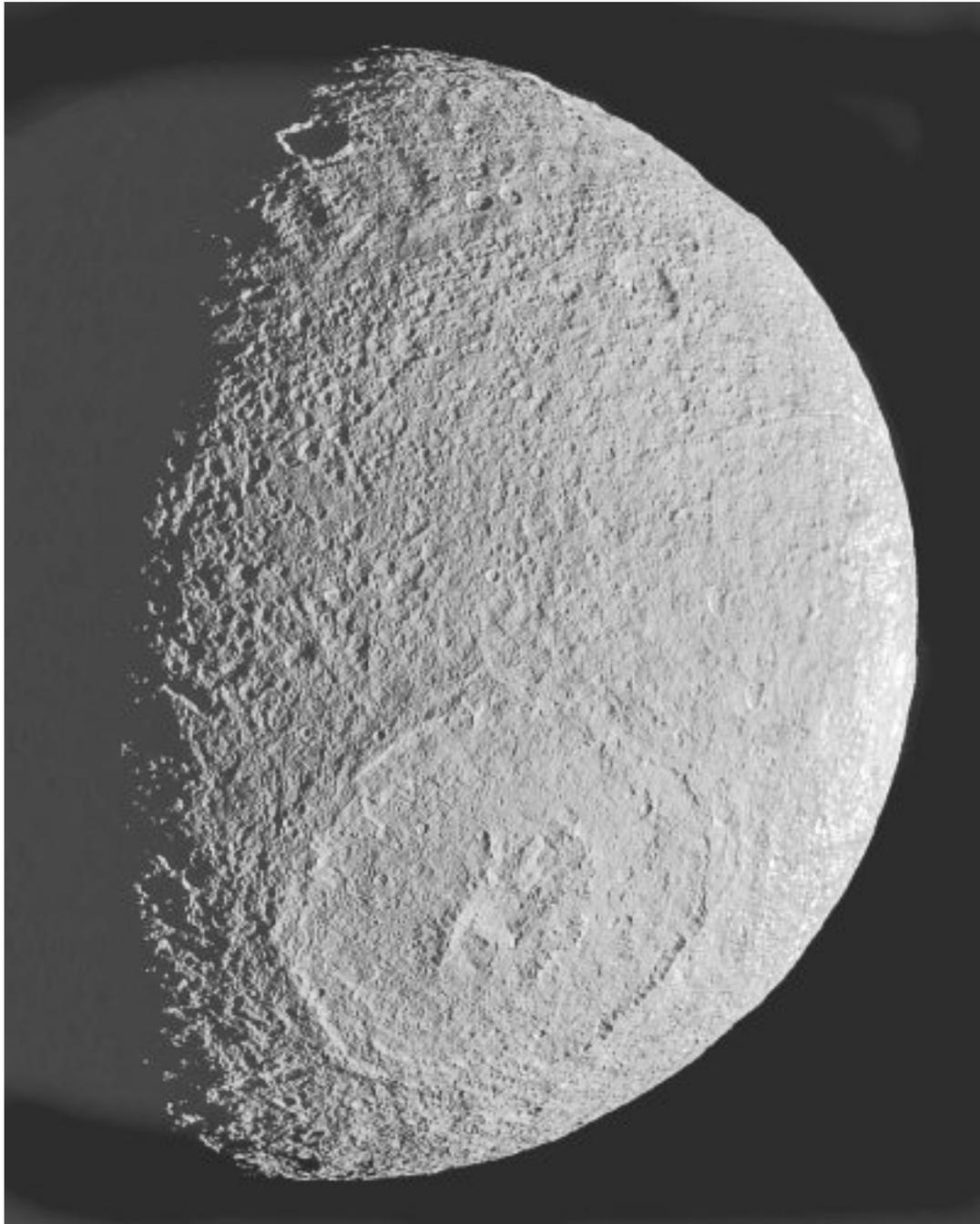


Рис. 57. Тефия с кратером Одиссей

По всей видимости, процентное содержание камней растет с увеличением глубины, но ни о каком металлическом ядре и, соответственно, собственном магнитном поле не может быть и речи. На фото видны многочисленные ударные кратеры и борозды.

Почти каждое тело в Солнечной системе имеет свою «изюминку», иногда не одну. На Тефии их две: большой ударный кратер Одиссей диаметром 450 км и огромная долина, называемая каньоном Итака. Протяженность долины достигает 2000 км, что составляет примерно

три четверти окружности Тефии. Считается, что каньон Итака образовался при затвердении жидкой воды внутри Тефии, из-за чего ее поверхность растрескалась.

Тефия исследовалась аппаратами «Пионер-11», «Вояджер-1», «Вояджер-2» и «Кассини». При помощи «Кассини», пролетевшего вблизи Тефии в сентябре 2005 года, удалось составить карты этого спутника с разрешением 290 м. Наблюдения не выявили какой бы то ни было плазмы в окрестностях Тефии, из чего был сделан вывод о том, что это тело геологически мертво.

Диона (1118 км) демонстрирует нам помимо кратеров светлые полосы на своей поверхности (рис. 58), являющиеся, как не столь давно выяснилось, ледяными хребтами и обрывами. Возможно, они образовались в результате того же процесса, что и каньон Итака на Тефии. Безусловно, Диона – такое же геологически мертвое тело, состоящее из льдов и силикатов и, разумеется, испещренное кратерами.

Рея (1528 км) – второй по величине и яркости спутник Сатурна (рис. 59).

В целом она напоминает Диону и Тефию, но древние ударные образования на ее ледяной поверхности имеют больший диаметр. Рея крупнее Тефии и несколько плотнее ее ($1,3 \text{ г/см}^3$), что и закономерно. Заметная деталь: светлые лучи выбросов пород вокруг сравнительно небольшого и, видимо, молодого кратера.

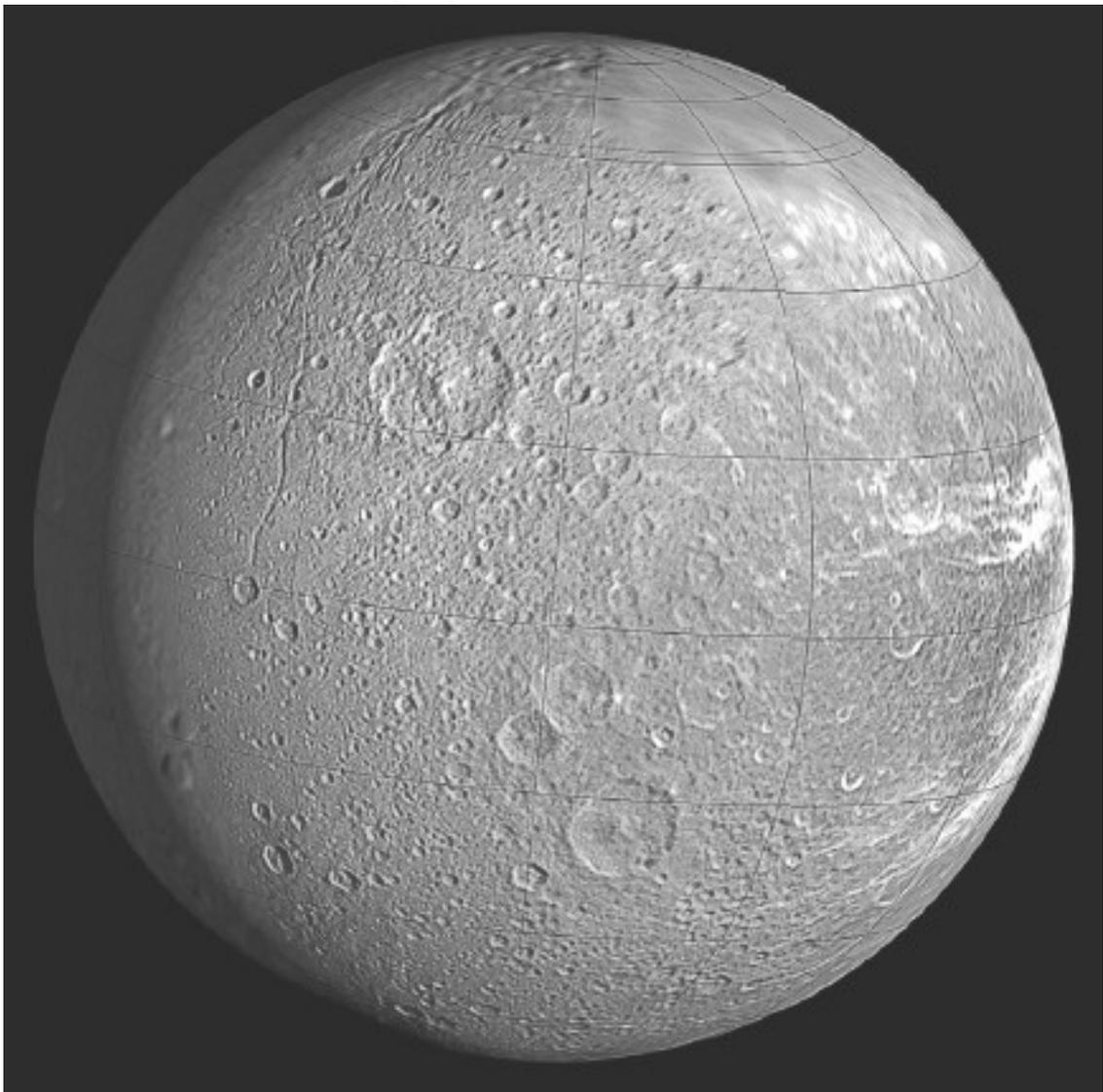


Рис. 58. Диона

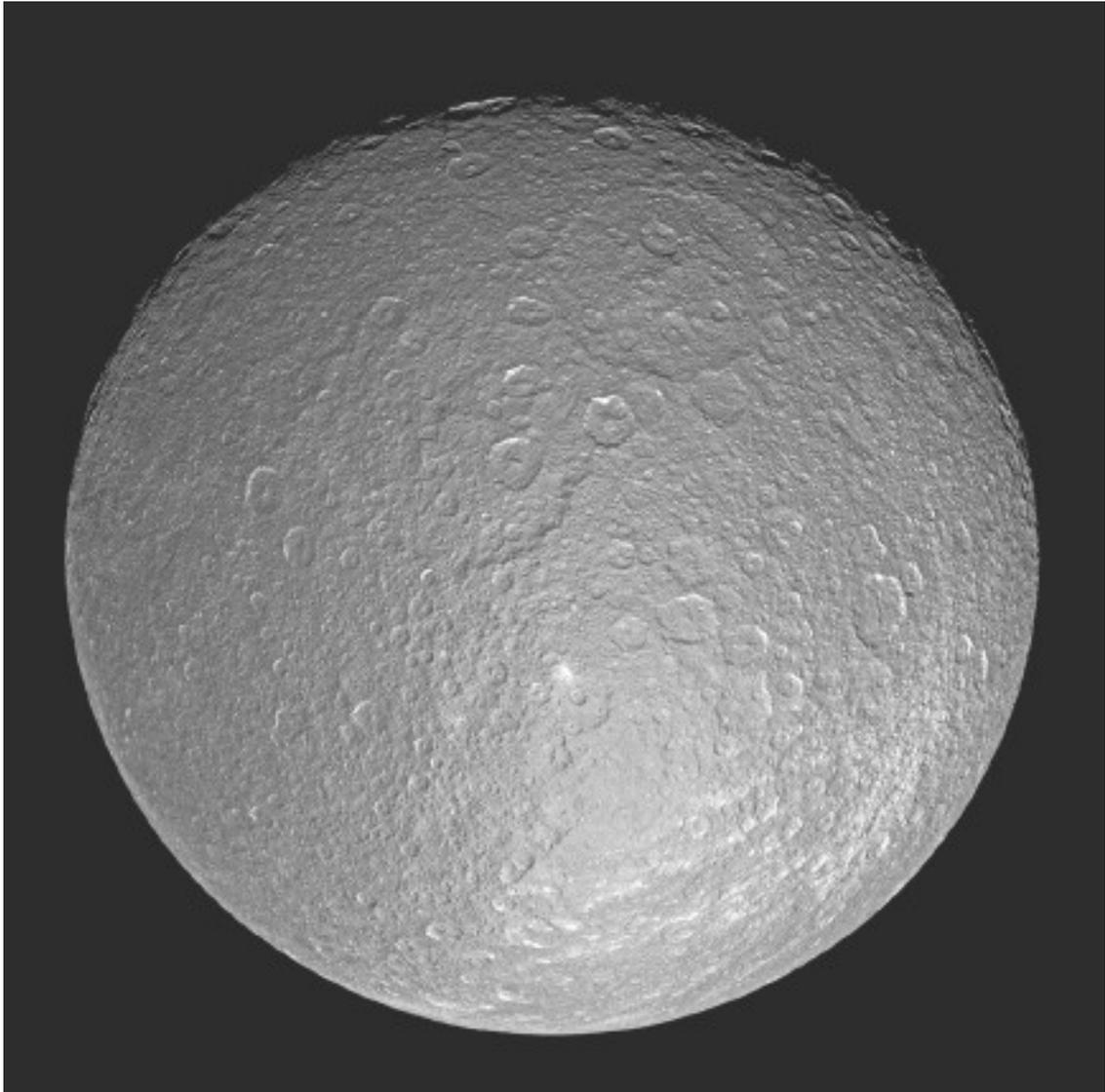


Рис. 59. Рея

На ледяной поверхности спутников Сатурна действуют те же закономерности, что и на чисто каменной поверхности Луны: древние породы, независимо от их состава, подвергавшиеся действию солнечного ветра на протяжении миллиардов лет, приобрели гораздо более темный цвет, чем недавние (в астрономических масштабах времени) выбросы.

Конечно, тела с криовулканизмом того же типа, что на Энцеладе, постоянно «припудривают» себя свежим льдом из глубины, потому-то они так светлы.

В январе 2011 года «Кассини» прошел всего в 69 км от поверхности Реи. Было подтверждено существование глубоких древних разломов, но не было обнаружено ничего похожего на криовулканизм. Какую природу имеют разломы Реи, пока остается только гадать. В целом поверхность этого спутника давно уже не претерпевает заметных изменений, если не считать ударов метеоритов. Однако «Кассини» обнаружил крайне разреженную атмосферу, состоящую в основном из молекулярного кислорода с примесью углекислого газа. Но самое интригующее открытие было сделано раньше, во время пролета «Кассини» вблизи Реи в 2005 году.

У Реи обнаружилась система колец! Приборы «Кассини», регистрирующие поток высокоэнергичных электронов, разогнанных в магнитосфере Сатурна, обнаружил три «провала»

до входа в «электронную тень» Реи, и эти же провалы повторились в «зеркальном» виде после выхода аппарата из тени. Одновременно другие приборы зафиксировали значительное количество пылевых частиц размером более микрона. Значит, все-таки кольца?

На фотоснимках их обнаружить не удалось, что дало аргументы скептикам. Однако они не предложили ничего, что могло бы объяснить повышенную концентрацию пыли и «провалы» в потоке электронов. Строго говоря, кольца Реи, во-первых, наверняка очень разрежены, а во-вторых, не могут существовать продолжительное время, так как орбита Реи проходит внутри радиационных поясов Сатурна. Электромагнитные силы просто «сдуют» кольца за сравнительно небольшое время. Вероятнее всего, кольца Реи образовались сравнительно недавно из вещества, выброшенного при ударе метеорита.

Далее следует Титан, о нем мы уже говорили, а за ним – странный Гиперион (рис. 60). Это довольно темное по сравнению с другими спутниками Сатурна тело при размерах 360 на 226 км все-таки не имеет шарообразной формы. Если оно состояло сплошь из каменных пород, то, вероятно, стало бы шаром, но так как оно, по-видимому, состоит преимущественно из льда, то массы тела не хватило для этого процесса. Так ли это, или неправильная форма спутника имеет иную природу, пока неясно, как непонятны и причины сравнительно темного цвета Гипериона. На фото видно, что поверхность Гипериона крайне изрыта и несколько напоминает губку. Под действием приливных сил со стороны других спутников Сатурна положение оси вращения Гипериона постоянно меняется.

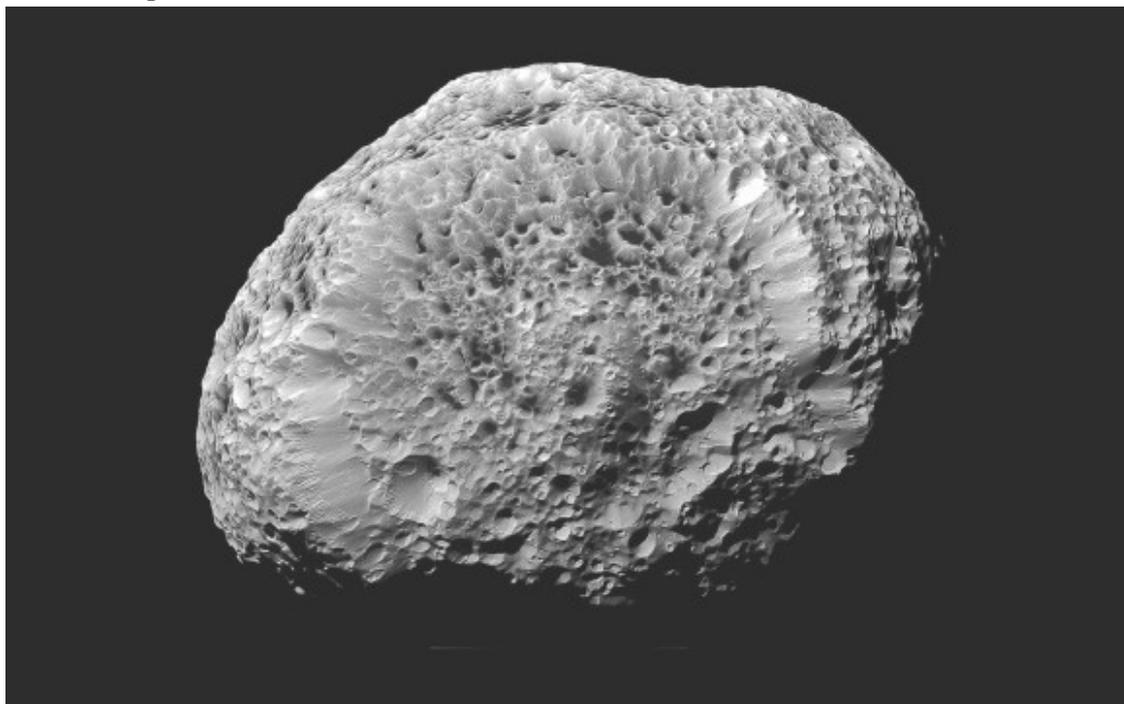


Рис. 60. Гиперион

За Гиперионом следует Япет (1440 км) – крупное тело, тоже во многом сходное с Тетией, но с резко различной яркостью огромных, практически равных целому полушарию участков поверхности (рис. 61). Объяснить это явление криовулканизмом довольно трудно: Япет почти втрое дальше от Сатурна, чем Титан, так что, вероятно, одно из полушарий обязано своему высокому альбедо метеоритной бомбардировке. Еще одна уникальная особенность Япета – длинейший горный хребет, опоясывающий экватор спутника. Высота хребта достигает 13 км. Его происхождение – пока еще загадка.

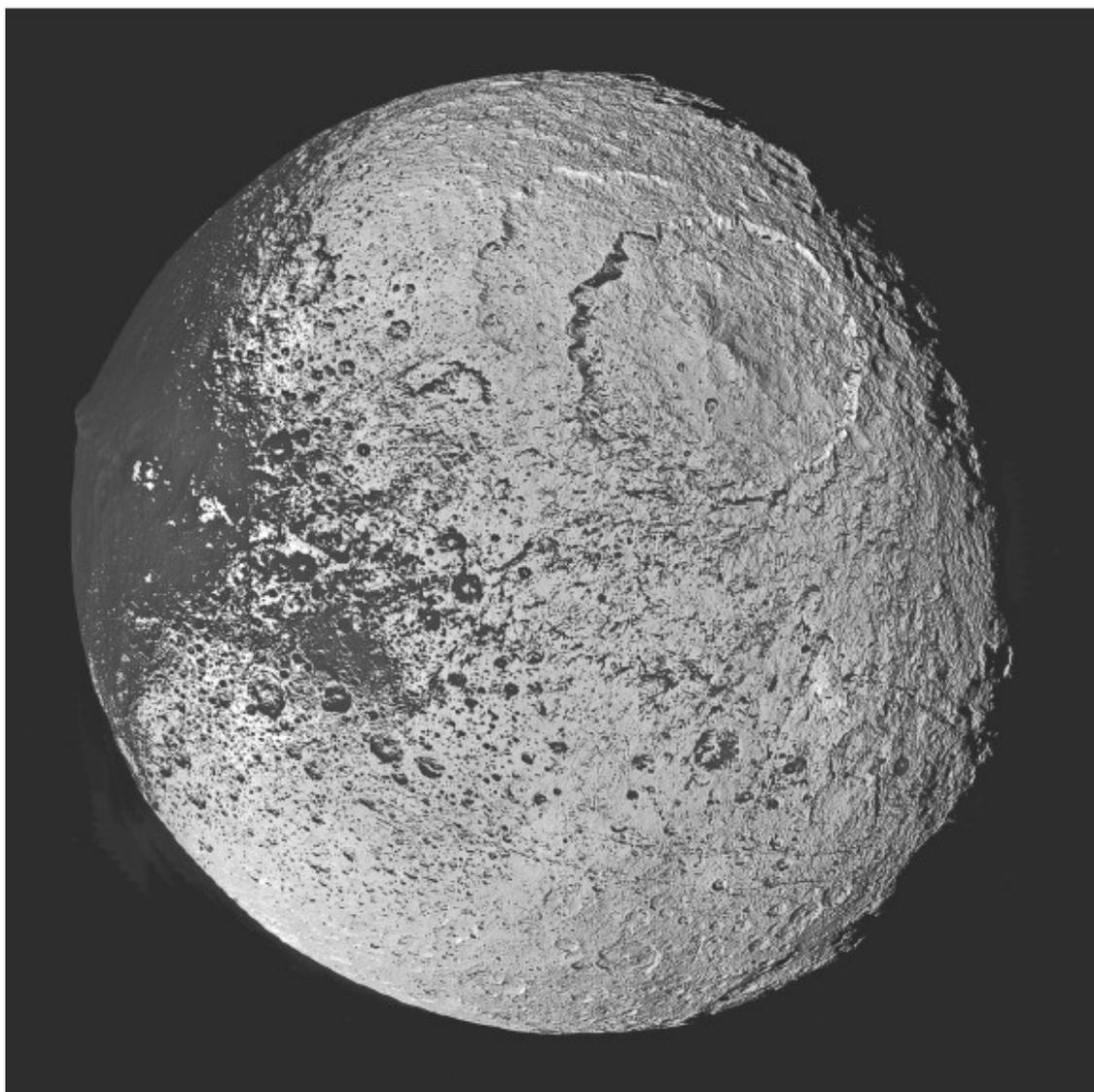


Рис. 61. Япет

И наконец, Феба – очень маленький шарик, удаленный от Сатурна почти на 13 млн км. Как и у дальних спутников Юпитера, у него огромное наклонение плоскости орбиты к плоскости экватора Сатурна, тогда как у других перечисленных выше спутников, за исключением Япета, – меньше двух градусов. Такой наклон плюс значительный эксцентриситет орбиты (0,1633) говорят скорее всего о том, что Феба не образовалась вблизи Сатурна, а была им захвачена.

Кроме перечисленных спутников вокруг Сатурна обращается еще несколько десятков меньших тел; часть их – на внешних орбитах, как Феба, а часть – на внутренних, где они «отвечают» именно за тот вид колец гигантской планеты, который мы и наблюдаем. Конечно, у Сатурна (как и у других газовых планет) открыты еще не все мелкие спутники.

Система Урана в целом похожа на систему Сатурна, но несколько скромнее. Лишь пять спутников Урана можно назвать крупными телами: это Миранда (472 км), Ариэль (ибо км), Умбриэль (1190 км), Титания (1578 км) и Оберон (1530 км). Среди меньших тел опять-таки имеются внутренние спутники, «регулирующие» положение колец, и внешние, начиная от удаленного на 7 млн км Калибана и кончая Сетибосом, чья большая полуось орбиты простирается аж на 18,2 млн км. Как обычно, орбиты внешних спутников имеют большие эксцентриситеты

и наклоны к экватору планеты. Трудно предположить, что Уран и эти спутники образовались в результате одного процесса, скорее, имел место захват. Много мелких спутников Урана были открыты в 1986 году «Вояджером-2», и нет сомнений: открыты еще не все спутники этой планеты. На сегодня их известно 27. Все крупные спутники Урана состоят из смеси льда и горных пород, за исключением Миранды, состоящей, как полагают, преимущественно из льда. Предполагается, что Титания и Оберон могут иметь внутренний океан из жидкой воды на границе ядра и мантии.

Среди спутников Нептуна выделяется крупный Тритон (2700 км), обращающийся практически по круговой орбите почему-то в обратную сторону (см. главу о больших планетах), а также Протей (420 км) и Нереида (340 км) с очень сильно эксцентричной орбитой ($e = 0,7512$). Любопытно, что Нереида была открыта в 1949 году наземными средствами наблюдения, а более крупный Протей – лишь в 1989 году «Вояджером-2». Правда, Нереида ярче тусклого Протея и гораздо дальше отходит на небе от диска планеты, который, будучи несравнимо более ярким, чем спутник, конечно же, мешает наблюдениям. Снимки поверхности Тритона (рис. 62), сделанные «Вояджером-2», выявили мало ударных кратеров, но много кратеров, связанных с геологической активностью. Похоже, это тело нельзя назвать геологически мертвым!

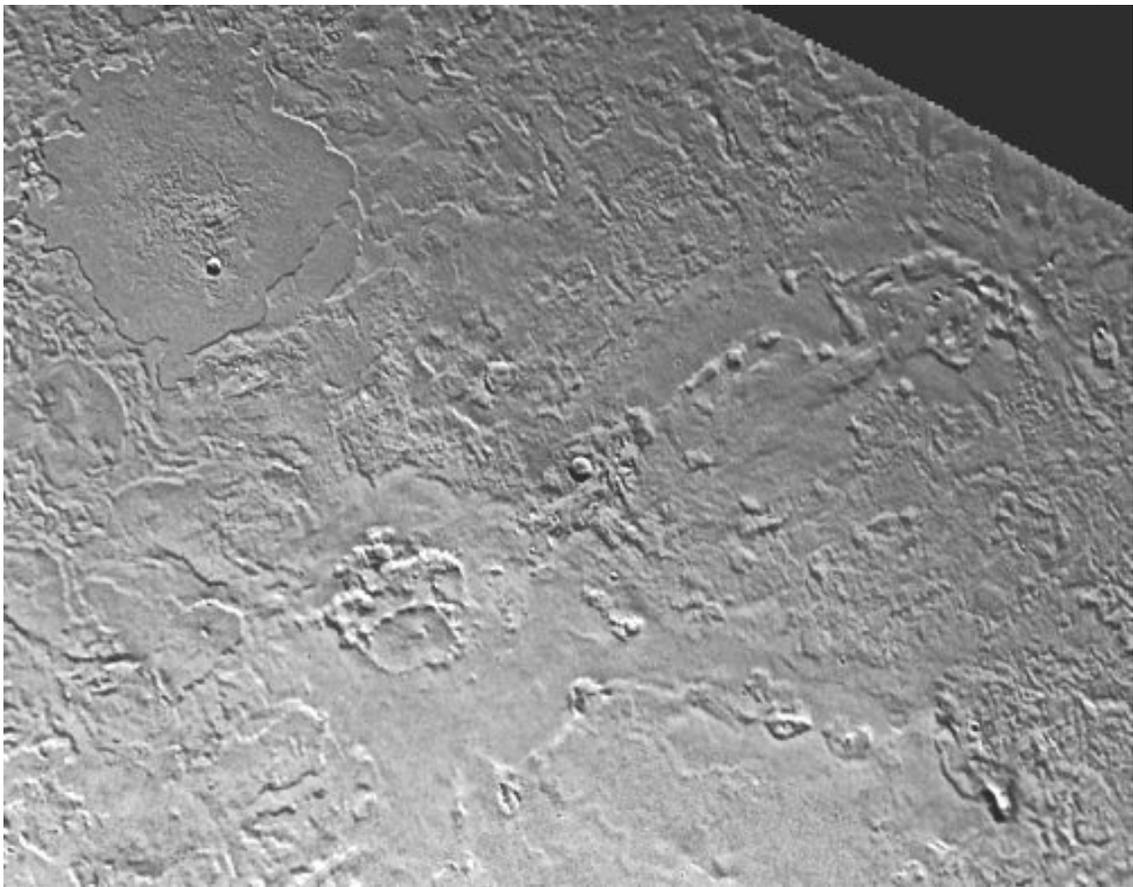


Рис. 62. Поверхность Тритона

На сегодня известно 13 спутников Нептуна, самые далекие из них обращаются вокруг планеты за 26 лет.

Поговорить о спутниках Урана и Нептуна более подробно было бы уместно, если бы на их орбитах годами работали бы аппараты вроде «Галилео» и «Кассини», но так как дело ограничилось лишь пролетом «Вояджера-2», наши знания о спутниках этих планет (да и о самих планетах) пока еще скудны.

Возможно, вам уже бросилось в глаза резкое отличие планет от спутников планет: спутники планет не имеют собственных спутников (временные кольца Реи не в счет). А почему, собственно?

Виновны в этом взаимные возмущения в системе «спутник спутника – спутник – планета – Солнце». Численные расчеты показывают: рано или поздно одно из тел будет выброшено из системы, причем скорее всего эта участь уготована самому маломассивному телу, то есть как раз спутнику спутника. Если он не врежется в спутник или планету, то покинет систему с большой скоростью, но «отомстит» спутнику искажением его орбиты – конечно, если масса «убежавшего» тела не слишком мала. И даже в системе, где мелкое космическое тело является не спутником спутника, а спутником планеты, ему далеко не всегда удастся просуществовать в этом качестве достаточно долго.

Два спутника Марса – Фобос и Деймос – не мешают друг другу: очень уж они малы, их взаимное гравитационное влияние ничтожно. Иное дело, если у планеты имеется спутник массой с Луну.

Почему Земля за миллиарды лет своего существования не захватила в свой гравитационный плен никакой астероид, пусть небольшой? Нет никаких причин, почему это не могло бы случиться, ведь принятая в астрономии условная сфера притяжения Земли довольно велика: миллион километров. Однако почему же в пределах лунной орбиты не обнаружено никаких естественных тел крупнее 5 м, да и на большем отдалении вокруг Земли не обращается ничего заметного?

Причина, как легко догадаться, в Луне, а также в Солнце и планетах. Система «Луна – Земля – Солнце» относительно стабильна, хотя и в ней происходит медленный дрейф орбит; добавление же в систему еще одного тела не приведет ни к чему хорошему. Если бы Земля находилась далеко от Солнца, это стало бы возможным: орбита «лишнего» тела могла бы понемногу эволюционировать, пока не вошла бы с Луной в орбитальный резонанс, обретя тем самым устойчивость. Но гравитационное влияние Солнца и планет гасит эти попытки в зародыше.

Например, среди околоземных астероидов (речь о них пойдет ниже) существует тело с обозначением 2002 AA₂₀, которое описывает вокруг Солнца почти точный круг с радиусом, равным среднему радиусу земной орбиты. К счастью, плоскость его орбиты наклонена относительно эклиптики на 10°. В 2003 году это тело подошло к Земле на 4,5 млн км со стороны, опережающей наше орбитальное движение. Затем оно с каждым витком вокруг Солнца начало удаляться от нас, чтобы через 95 лет догнать Землю с противоположной стороны, ускориться ее притяжением и двинуться в обратном направлении.

Расчеты показали, что в определенных условиях этот астероид все-таки может приблизиться к Земле настолько, что станет ее спутником, правда, очень ненадолго. Лет через 50 он будет выброшен из сферы притяжения Земли и вновь начнет свой странный орбитальный танец. Возможно, подобные «захваты» уже имели место, а ближайшее подобное событие может произойти (но не обязательно произойдет) примерно через 600 лет.

Такие танцы – лишь одно из проявлений орбитальных резонансов в Солнечной системе. Их множество. В данном случае речь шла скорее о квазирезонансном явлении, но существуют и совершенно четкие резонансы. Простейший из них наблюдается, например, в системе «Плутон – Харон», когда спутник не просто повернут к Плутону одной стороной, но и период его обращения в точности равен периоду вращения главного тела системы, то есть оба тела движутся как бы связанные жестким стержнем. До такого состояния тела доходят постепенно, начиная с синхронизации вращения спутника. Такова наша Луна, стремящаяся к резонансу и пока не достигшая его, но уже повернутая к Земле одной стороной. Таковы же Фобос, Титан, Энцелад и ряд других спутников.

Но к резонансам стремятся и движения внутренних планет!

Выше было сказано, что период вращения и период обращения Меркурия связаны строгим соотношением 2:3. Это тоже резонанс. Хорошо известно, что прохождение Меркурия по диску Солнца случается через 7 и 13 лет, а иногда через 33 года. Именно эти числа, никаких других. Прохождения же Венеры по солнечному диску чередуются через 8 и 235 лет. Предыдущее прохождение было 8 июля 2004 года, ближайшее случится 5 июня 2012 года, после чего придется ждать аж 235 лет. Легко видеть, что движения по меньшей мере трех планет (Меркурия, Венеры и Земли) в некоторой степени синхронизированы. При малости гравитационного влияния внутренних планет друг на друга до достижения такого «гармоничного» результата должно было пройти не просто много, а очень много времени.

Конечно, это еще не настоящие резонансные орбиты. Настоящие резонансы демонстрируют некоторые астероиды и некоторые спутники гигантских планет.

Одно лишь перечисление резонансов может занять много страниц. К примеру, спутники Юпитера Ио, Европа и Ганимед находятся в резонансе 1:2:4. Кстати, все галилеевы спутники повернуты к Юпитеру одной стороной.

Спутники Плутона находятся в резонансе 2:3:12.

Некоторые резонансные явления вызывают неустойчивость. Так, например, деление Кассини в кольце Сатурна обязано своему существованию орбитальному резонансу с Мимасом.

Юпитер и Сатурн находятся почти в точном резонансе 2:5.

Бывает и так, что два мелких спутника большой планеты обращаются вокруг нее по одной орбите, при этом находясь строго в противоположных ее точках. Такое явление отмечено, например, в системе Сатурна. Иначе, чем резонансом, такое явление объяснить нельзя. В противном случае было бы достаточно сколь угодно малого изменения орбитальной скорости одного из спутников, чтобы вся эта идиллическая гармония разрушилась.

В целом можно сделать такой вывод: если орбита тела, обращающегося вокруг какой-либо планеты Солнечной системы либо вокруг Солнца, неустойчива, то возможны три варианта. В первом варианте тело будет выброшено либо из Солнечной системы, либо из области притяжения планеты, причем новая орбита, вероятнее всего, будет очень эксцентрической. Второй вариант: столкновение спутника с планетой. Математически это частный случай первого варианта, когда перед выбросом тело проходит столь близко от доминирующего центра тяготения, что «цепляет» поверхность планеты. Наконец, в третьем варианте тело переходит на резонансную орбиту, на которой может оставаться миллиарды лет.

Вопрос, какой из вариантов будет реализован на практике, это только вопрос времени и начальных условий. Множество спутников планет, астероидов и тел пояса Койпера уже находится на резонансных орбитах. Без сомнения, немало тел погибло или покинуло Солнечную систему. Однако у многих тел орбиты не резонансные, а у некоторых и неустойчивые. Как это понять?

Прежде всего, орбитальное движение может и не стать резонансным, если способствующие этому гравитационные силы весьма малы. Если же они достаточно велики для медленного дрейфа орбиты, то одно из двух: либо у тела еще все впереди, либо превращению орбиты тела в резонансную мешает некий посторонний фактор.

Что бы это могло быть? Действие фактора должно быть нерегулярным или вообще разовым, не то он превратится просто-напросто в еще одну силу, способствующую резонансному движению. Речь идет о вторжении во внутренние области Солнечной системы достаточно крупных тел со стороны.

В первую очередь это ледяные тела облака Оорта. Значительная часть их находится на резко эксцентрических орбитах, правда, перигелийные расстояния превышают несколько десятков астрономических единиц. Афелийные же расстояния могут достигать 100 тыс. а.е. Однако малейшее изменение скорости движения в афелии приведет к тому, что орбита изменится весьма сильно. В качестве факторов, способных придать телу облака Оорта некоторый

«импульс», можно указать притяжение ближайших звезд и случайные тесные сближения этих тел друг с другом.

Мы знаем, что из облака Оорта к нам являются кометы с орбитами, близкими к параболическим. Но ледяные ядра комет сравнительно малы. Может ли пересечь, скажем, орбиту Юпитера тело размером с Плутон или хотя бы Кварвар?

Не видно никаких причин, почему бы этого не могло быть в принципе. Тот факт, что за время существования наблюдательной астрономии таких явлений не отмечалось, не должен нас гипнотизировать: ведь четыре века с момента изобретения телескопа – сущий пустяк по астрономическим меркам. Конечно, пролет столь крупных тел вблизи планет (и искажения орбит их спутников) – явление наверняка чрезвычайно редкое, но «редко» не значит «никогда». Нельзя полностью исключить и такого сценария: на заре существования Солнечной системы одна или несколько газовых планет в результате взаимодействия с гравитационными полями Юпитера и Сатурна перешли на орбиту, характерную для долгопериодических комет. Период обращения такой планеты может составлять десятки и сотни тысяч, даже миллионы лет. Если в настоящий момент такое тело находится в десятках тысяч астрономических единиц от нас, то мы его, естественно, не видим. Без сомнения, юпитероподобная планета может быть зафиксирована с большого расстояния, но для этого надо знать, где ее искать. Обшаривать все небо в поисках планеты Икс, которой, возможно, и вовсе нет, никто не станет. У крупнейших наземных и космических телескопов и без того на редкость плотная программа.

Говоря о меньших «посторонних» телах, трудно обойти вниманием пресловутую планету Нибиру, разговоры о которой так сильно волнуют простаков. Вообще-то Нибиру упоминается в вавилонском сказании о сотворении мира «Энума элиш». Скорее всего, под Нибиру древние вавилоняне подразумевали Юпитер и считали эту планету обиталищем некоторых богов из их пантеона.

Каждый, кому нейдет и кто не брезглив, может, покопавшись в Мифологическом словаре, выудить какую-нибудь древнюю легенду – любую, по вкусу, – и дать ей «новую жизнь». В случае с Нибиру это сделала в 1995 году Нэнси Лидер, заявившая о своих контактах с инопланетянами, которые вживили в ее голову специальный имплантат для передачи сообщений. В общем, получается, что Нибиру, тело красного цвета размером с небольшую планету, обращается вокруг Солнца по крайне вытянутой орбите, делая один оборот за 3600 лет и проникая в перигелии внутрь орбиты Юпитера (по другой версии – даже внутрь земной орбиты). Можно подсчитать, что большая полуось орбиты при этом составит примерно 235 а.е. Однако, по версии Нэнси Лидер, Нибиру не простое тело – это огромный космический корабль, населенный некими аннуаками, которых простодушные шумеры и аккадцы считали божествами. Приближение Нибиру к Земле, ожидающееся якобы в декабре 2012 года, грозит-де нам страшными катаклизмами: срывом атмосферной оболочки, сменой полюсов и т. д. Аннуаки со всем присущим разумным существам эгоизмом учиняют безобразия на Земле не просто так, а с целью обеспечить комфортные условия внутри своего корабля. По одной из версий, аннуаки охотятся за золотым запасом Земли, необходимым им для хорошего самочувствия (и мировой финансовый кризис, естественно, их рук дело), по другой же – нацелились на наш генетический материал, из которого намерены фабриковать гибридов. Само собой, их никак не устроит дефектный генетический материал, вот они и провоцируют на Земле катастрофы, дабы покончить с разного рода вредным производством (цунами в Японии и др.).

Как сюжет для фантастического романа это не выдерживает никакой критики – чересчур примитивно. Годится лишь для ядовитой пародии. Если Нэнси Лидер попросту делает бизнес на своих «контактах с аннуаками», то приходится отметить, что она плохо подготовилась, а если ее случай психиатрический, то бывают и более интересные навязчивые идеи.

Любопытно другое: сколько людей, и необязательно слабоумных, рассуждает о Нибиру с выпученными глазами и всерьез опасается глобальных катастроф! А между тем, если визит

этой планеты «намечен» на декабрь 2012 года, то она уже несколько лет должна быть прекрасно видна даже в скромный телескоп, а начиная минимум с 2011 года – и невооруженным глазом! Однако ее нет как нет. Так и хочется спросить этих людей: вы когда-нибудь в средней школе учились? А если да, то зачем вы это делали?

10. Вместо одной – множество. Каменные полчища

С глубокой древности людям были известны пять планет (не считая Земли): Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн. Эта пятерка так въелась в массовое сознание ученых, что никто и не помышлял о том, что вокруг Солнца могут обращаться и другие планеты. Но 13 марта 1781 года Гершель открыл планету Уран, каковую тоже поначалу не признал планетой, решив, что открыл комету, – и великим свойственна слепая вера в старые штампы! Однако недоразумение скоро разъяснилось, и в Солнечной системе стало шесть общепризнанных планет. Но коли так, то почему их только шесть? Может, больше? В конечном счете именно открытие Урана подвигло астрономов на поиски новых планет.

Где их искать – было примерно ясно. Во-первых, на «задворках» Солнечной системы, за орбитой Урана. Во-вторых, астрономов давно интриговала «дыра» между орбитами Марса и Юпитера. Казалось, на весьма значительном расстоянии между ними вполне могла поместиться орбита еще одной планеты. Но почему же она не наблюдалась? Возможно, потому что имеет малые размеры и/или низкое альбедо?

Если дело в малых размерах, то как тогда открыть эту неизвестную планету? Ответ очевиден: воспользоваться буквальным переводом с греческого языка слова «планета», что значит «блуждающая» или попросту «бродяга». Как бы ни мала была планета, на небе она все равно будет выглядеть звездочкой, пусть слабой. Надо только следить за положением слабых звезд в некоторой полосе вблизи эклиптики, и если отыщется звезда, чье смещение на небе резко – на порядки – превышает смещение звезд из-за собственного движения, то кандидат в планеты найден.

Казалось бы, просто. На деле это чрезвычайно долгая, кропотливая и нудная работа, связанная с точным измерением местоположения многих сотен слабых звезд, повторным измерением их местоположения спустя некоторое время и сравнением результатов. Право, на свете есть куда более интересная работа, в том числе и в астрономии. С другой стороны, кому не хочется увековечить свое имя, открыв новую планету?

Еще до открытия Урана немецкий астроном И. Тициус эмпирически нашел, а другой немецкий астроном И. Боде широко распропагандировал правило, связывающее порядковый номер планеты с расстоянием ее от Солнца: $R_n = 4 + 3 \times 2^n$, где R_n – средний радиус орбиты в астрономических единицах, а $n = 0$ для Венеры, 1 для Земли, 2 для Марса и т. д. (Для Меркурия n равен минус бесконечности.) Действительность как будто подтверждала правило Тициуса – Боде: максимальное отличие среднего радиуса орбиты от реального едва превышало 5 % (для Марса). Орбита открытого Гершелем Урана также хорошо вписывалась в правило Тициуса – Боде. Лишь орбита Нептуна резко не согласуется с правилом Тициуса – Боде, но Нептун был открыт лишь в 1846 году, так что правило, оказавшееся впоследствии ошибочным, в конце XVIII столетия принималось многими за истину. Имелась только одна странность: отсутствовала планета с $n = 3$.

Бытовавшие с глубокой древности представления о «гармонии сфер» и о том, что «природа не терпит пустоты», побуждали астрономов верить: неизвестная планета между Марсом и Юпитером действительно существует, вопрос лишь в том, как найти ее. Пусть планета мала, пусть темна – это чисто наблюдательная задача. В распоряжении астрономов уже имелись достаточно крупные телескопы, чтобы решить ее. И вот барон Франц Ксавер фон Цах, бывший в то время главным астрономом Австрийской империи, начал методические поиски недостающей планеты. Увы – для одного астронома эта задача оказалась непосильной. Представьте себе, сколько звездочек ярче, скажем, 9-й звездной величины находится в полосе плюс-минус 10° от эклиптики, и вы поймете всю громоздкость задачи, а если вы когда-нибудь смотрели

на небо в телескоп, то не только поймете, но и ужаснетесь. Ведь необходимо было дважды тщательно измерить координаты каждой звездочки! Тогда Цах понял, что для поисков новой планеты необходимы скоординированные усилия многих астрономов.

В 1800 году Цах разделил зодиакальную область неба на 24 зоны и намеревался предложить 24 астрономам заняться поисками планеты. Нашлись и единомышленники, правда, в меньшем количестве, чем нужно. Времена стояли непростые: уже начались наполеоновские войны, в Европе было неспокойно. И все же Цах надеялся на успех. Но прежде чем были разосланы карты и работа развернулась, в первый день XIX столетия, 1 января 1801 года итальянский астроном Джузеппе Пиаци случайно открыл новую планету между Марсом и Юпитером.

Пиаци не участвовал в программе Цаха – ему только еще собирались предложить это. Будучи профессором астрономии Палермского университета (Сицилия), он занимался рутинной работой по определению положения звезд для каталога. Одно светило 8-й звездной величины привлекло его внимание быстрым движением среди звезд. Пиаци решил, что открыл новую комету – правда, без туманной оболочки, не говоря уже о хвосте, но мало ли во Вселенной всяких «уродцев», не вписывающихся в общие правила! По виду объект был неотличим от звезды, из чего Пиаци сделал правильный вывод, что если это все-таки планета, то очень маленькая.

Шесть недель Пиаци следил за открытым им светилом, пока болезнь не прервала его работу, а по выздоровлении Пиаци не смог найти на небе открытый им объект – так сильно он переместился. Тогда Пиаци разослал письма другим астрономам с сообщением об открытии и просьбой искать «утерянное» светило. Какова его орбита, Пиаци не знал – он не смог вычислить элементы орбиты из своих наблюдений.

И тут очень кстати подоспело открытие, сделанное молодым, а впоследствии великим математиком Карлом Гауссом. Чуть ранее открытия Пиаци он разработал метод вычисления элементов орбит небесных тел. Всего этих элементов шесть. Два из них (большая полуось и эксцентриситет) определяют параметры эллипса, третий показывает ориентацию эллипса в своей плоскости, четвертый и пятый определяют положение орбитальной плоскости относительно основной координатной плоскости (в качестве которой чаще всего берется плоскость эклиптики), и, наконец, шестой элемент определяет положение объекта на орбите в некий начальный момент времени. Гаусс блистательно решил увлекшую его математическую задачу: определить, по скольким наблюдениям движущегося небесного тела можно вычислить все шесть элементов его орбиты. Он математически доказал, что необходимы всего три наблюдения.

Понятное дело, желательно, чтобы эти три наблюдения проводились с достаточно большой разницей во времени, иначе неизбежные погрешности в определении небесных координат объекта приведут к значительной ошибке в вычислении орбиты, – но как раз с этим у астрономов-наблюдателей дело не всегда обстоит хорошо. Впрочем, Пиаци следил за перемещением своей звездочки достаточно долго, чтобы можно было уверенно вычислить орбиту. Она оказалась не кометной, а планетной, правда, со значительным наклоном к эклиптике (более 10°), но зато с эксцентриситетом, равным 0,0789, что меньше, чем у орбиты Марса. При этом орбита нового тела находилась между орбитами Марса и Юпитера и очень хорошо соответствовала правилу Тициуса – Боде.

Почти весь 1801 год новую планету не удавалось найти – мешала погода. К величайшей досаде астрономов, на свете есть такие явления, как сплошная облачность, дождь и снег. Европа вообще не лучшее место для астрономических наблюдений, но в 1801 году погода просто-напросто издевалась над астрономами, испытывая их терпение на прочность. Лишь в последнюю ночь 1801 года небо расчистилось, и уже на следующую ночь утерянная планета была найдена Цахом и – независимо от него – немецким астрономом Генрихом Ольберсом примерно в том месте, где ей и полагалось быть согласно вычислениям по методу Гаусса. «Нет ничего практичнее хорошей теории» – эти слова могли быть сказаны уже в начале XIX века.

Ну что ж, планета была найдена, обе теории – истинная (Гаусса) и ложная (Тициуса – Боде) торжествовали. Пиацци как первооткрывателю была предоставлена честь дать новой планете имя. Верный традиции давать планетам имена античных богов, Пиацци назвал ее Церерой – богиней плодородия и покровительницей Сицилии в древнеримские времена. Казалось, в поисках планеты между Марсом и Юпитером можно поставить жирную точку.

Но! Астрономов все-таки смущали малые размеры планеты – около 960 на 932 км, по современным данным. Но еще важнее было то, что уже 28 марта 1802 года Ольберс открыл вторую планету между Марсом и Юпитером! Ее назвали Палладой. Имея почти такой же период обращения вокруг Солнца (4,613 и 4,619 года соответственно), Паллада удивила значительным углом наклона своей орбиты к эклиптике ($34,84^\circ$) и орбитой, более эксцентричной, чем у Меркурия. Размеры Паллады оцениваются в настоящее время в 570 на 482 км. Но на этом сюрпризы не закончились. В 1804 году немецкий астроном Хардинг открыл Юнону (240 км), а в 1807 году все тот же Ольберс открыл еще одну малую планету – Весту (530 км). Удивительно, что Веста не была открыта раньше: эта планетка, во-первых, имеет небольшой наклон орбиты к эклиптике ($7,135^\circ$), а во-вторых, в своем орбитальном движении время от времени подходит к Земле ближе, чем любая другая малая планета (из числа крупных), становясь видна даже невооруженным глазом как слабая звездочка примерно 5,7 звездной величины. Кроме того, поверхность Весты более светлая, и если Весту и Цереру поместить рядышком на одинаковом расстоянии от нас, то более скромная по размерам Веста окажется чуточку ярче Цереры. По идее именно Веста, а не Церера должна была стать первой из открытых малых планет. Хорошая иллюстрация к справедливому утверждению о том, что открытие почти всегда есть явление вероятностное. Открытие Весты в качестве первой малой планеты было вероятнее – но первой была открыта менее яркая Церера. Что ж, порой случаются и менее вероятные события.

Новонайденные тела были названы (Гершелем) астероидами, то есть звездopodobными. На тот момент времени никакой, даже самый мощный телескоп не мог позволить различить у них диск, и даже при максимальных увеличениях эти планетки все равно выглядели звездами. Название прижилось, хотя и название «малые планеты» также осталось. Впрочем, теперь, говоря о малых планетах, обычно имеют в виду лишь крупнейшие из этого класса небесных тел.

Итак, вместо одной ожидаемой планеты внезапно объявились четыре. Правило Тициуса – Боде подверглось «испытанию на прочность», но пока устояло. Спас его Ольберс, предположив, что некогда между Марсом и Юпитером действительно находилась планета с орбитой, соответствующей правилу Тициуса – Боде, однако в результате какого-то древнего катаклизма она была раздроблена на куски, наиболее крупными из которых и являются четыре новооткрытых объекта. А коли так, то наверняка есть и другие осколки, и следует их поискать.

Идея Ольберса показалась привлекательной многим астрономам. Гипотетическую бывшую планету, расколотую на части, стали называть «планетой Ольберса». Через полтора века московский астроном С.В. Орлов предложил назвать эту планету Фазтоном – в честь мифологического персонажа, сына бога Гелиоса, который допустил однажды отпрыска к управлению солнечной колесницей, не приняв предварительно у него экзамен по вождению. В результате Зевсу пришлось срочно вмешаться и истратить одну молнию на самонадеянного юношу, едва не спалившего Землю.

Название понравилось и широко распространилось. Оно и сейчас в ходу у тех немногих, кто еще верит в то, что между Марсом и Юпитером существовала когда-то единая планета. Но подавляющее большинство ученых уже давно отказалось от гипотезы о «планете Ольберса», или Фазтоне. По всей видимости, ее никогда не существовало.

А жаль! Всегда печально расставаться с романтическими представлениями, будь они хоть об истории Солнечной системы, хоть о жизни вообще...

Но как же ученые пришли к выводу о несуществовании Фазтона, коль скоро возможность «пощупать» астероиды предоставилась им лишь в самые последние годы благодаря космическим программам НАСА?

На Землю достаточно часто падают метеориты. Большинство из них содержат железо. Разумеется, это не чистое железо, а природный сплав, содержащий никель, кобальт и ряд других элементов. Справедливо трактуя метеориты как обломки астероидов, ученые обратили внимание: по химическому и изотопному составу шести «ключевых» металлов метеориты достаточно четко делятся минимум на 36 групп (возможно, их несколько больше). Различия внутри группы незначительны, тогда как между группами – существенно. Невозможно предположить, чтобы такое распределение состава получилось при дроблении одного тела. Гораздо вероятнее, что между Марсом и Юпитером, причем на разных расстояниях от Солнца, первоначально образовалось не менее 36 планетоидов с характерным поперечником 1000 км. Формированию вместо них единой планеты наверняка помешало влияние тяготения Юпитера – больше нечему. Орбиты планетоидов пересекались, что отнюдь не полезно для целостности небесных тел. Сталкиваясь и дробясь, эти первичные планетоиды образовали то, что в наше время называется Главным поясом астероидов.

Однако в 1807 году ни о каком поясе речь еще не шла – были известны всего четыре малые планеты. Открытие пятой затянулось до 1845 года, когда немецкий астроном-любитель Генке, наблюдая в небольшой телескоп Весту, заметил рядом с ней звездочку 9,5 звездной величины и вскоре выявил ее астероидную сущность. Вообще надо сказать, что любители астрономии порой делали (и сейчас еще делают, но реже) замечательные открытия. Правда, следует сразу указать, что Генке достиг успеха лишь после 15-летнего упорного труда, вознаградившего его немецкую дотошность, так что тот, кто, наводя на небо телескоп, думает, что сразу откроет что-нибудь новое и замечательнее, серьезно заблуждается. Пятая малая планета получила имя Астрея. Генке не успокоился на достигнутом и в 1847 году открыл шестую малую планету – Гебу. После этого открытия новых астероидов пошли потоком, не прекратились до нашего времени, и нет никаких признаков того, что они когда-нибудь прекратятся.

Правда, открыть между Марсом и Юпитером тело размером хотя бы в 100 км – это уже из области нереального. Если лет 70 назад наибольшее число новооткрытых астероидов приходилось на 15-ю звездную величину, то в наше время шагнуло за 19-ю. Для того чтобы заметить глазом такую слабую звездочку, надо иметь достаточно солидный телескоп. Впрочем, никто сейчас не ищет астероиды прадедовским методом сравнения положений звезд на небе.

Еще в конце XIX века в обиход астрономов вошла фотография. Имея хорошую параллактическую монтировку с часовым механизмом и телескоп на ней (любопытно, что телескоп для астрофотографии – астрограф – может иметь несколько худшее качество оптики, чем телескоп для визуальных наблюдений), можно с помощью разных ухищрений заставить «неподвижные» звезды остаться точками на фотографии с экспозицией в несколько часов. Сейчас это просто, но еще 20 лет назад требовало неотлучного присутствия астронома, который все время должен был глядеть в окуляр вспомогательного телескопа-гида и подкручивать рукоятки тонких движений, чтобы монтировка «вела» небо с высочайшей точностью. Тем не менее в науке «сложно» всегда лучше, чем «невозможно», и астрономы честно мерзли холодными ночами, чтобы получить удовлетворительные кадры. Звезды на них оставались точками, но обладающий собственным движением астероид прочерчивал короткий трек. Таким методом удалось «выловить» множество астероидов.

И все же настал момент (уже в XX веке), когда фотоэмульсия уперлась в пределы своей чувствительности. Какими бы качественными ни были применяемые в астрономии фотопластинки, как бы ни улучшали химики фотоэмульсию, она уже не могла фиксировать еще более слабые движущиеся объекты – а достаточно ярких неоткрытых астероидов уже не осталось. Простейший (с виду) выход из такого положения – увеличение проникающей способности

телескопа, а значит, увеличение диаметра его объектива, размеров и массы. А надо сказать, что стоимость больших телескопов пропорциональна примерно кубу диаметра объектива. Астрономия не ядерная физика – ради каких-то астероидов больших денег на нее государство не даст. В общем, что легко с виду, то сплошь и рядом совсем не просто на практике.

Действовать стали иначе. Снимали один и тот же участок неба с разницей в несколько часов и помещали две фотопластинки в блинк-компаратор – прибор, быстро переключающий изображение с одного кадра на другой и обратно. Обычные звезды при этом оставались на месте, но если какая-нибудь мелкая звездочка начинала «прыгать», то были все основания присмотреться к ней повнимательнее. Почти наверняка она оказывалась астероидом. Применение ПЗС-матриц (ПЗС – прибор с зарядовой связью), способных накапливать световой сигнал, и компьютеров более или менее решило проблему чувствительности. Теперь два кадра снимаются «на цифру», а простенькая программка превращает заурядный персональный компьютер в блинк-компаратор. Астероид «выдает себя с головой».

Обнаружив на небе астероид, необходимо убедиться, не открыт ли он уже кем-нибудь другим. На это существуют электронные базы данных со специальными поисковыми программами. Конечно, чаще всего речь идет об уже известном астероиде. Если астероид все же новый, приходится, как встарь, следить за его движением среди звезд. Как мы помним, по трем наблюдениям можно получить элементы орбиты.

По мере накопления позиционных измерений нового астероида его орбита вычисляется со все более высокой точностью. Астероиду присваивается предварительный номер, выглядящий, например, так: 2011 FA. Этим цифро-буквенным индексом был обозначен первый астероид, открытый в первой половине марта 2011 года. Вообще система предварительной нумерации астероидов выглядит следующим образом: берется год открытия, затем добавляется латинская буква A для первой половины января, B для второй половины января, C для первой половины февраля и т. д. Буква I не используется, всего, следовательно,

25 букв. Вторая буква означает просто порядковый номер астероида во временном интервале, заданном первой буквой. Если же в какой-то половине месяца открыто более 25 астероидов, то счет начинается снова с A, но присваивается цифровой индекс: A₁, B₁, ..., Z₁, A₂ и т. д. Например, обозначение 2015 CA₂ будет соответствовать 51-му астероиду, открытому в первой половине февраля 2015 года.

Но вот наконец наступает момент, когда выясняется: открыт действительно новый астероид (а не переоткрыт уже известный, изменивший свою орбиту). Астероиду присваивается порядковый номер, а первооткрыватель астероида имеет право предложить ему имя. Не назвать, а только предложить! Это имя выносится на рассмотрение специальной Комиссии № 20 МАС, состоящей из и профессиональных астрономов из разных стран (в том числе России). Лишь эта комиссия выносит окончательный вердикт – принять предложенное имя или отвергнуть его.

Мы помним, что первые малые планеты получили традиционные мифологические имена. Но как бы ни была богата фантазия древних греков и римлян, количество мифологических персонажей (а уж тем более богов) все же ограничено. Астероидов гораздо больше. Казалось бы, достаточно открыть Мифологический словарь и бегло просмотреть мифы других народов, чтобы понять: этот источник далеко еще не исчерпан. Но имена иных (не греко-римских) богов стали давать лишь в последнее время телам пояса Койпера. Что же до названий астероидов Главного пояса, то тут еще в XIX веке стал наблюдаться полнейший разнобой. Астероиды называли в честь себя, политических деятелей, любимых женщин и чуть ли не собачек – словом, кто во что горазд. Комиссия № 20 старается не допускать, чтобы на небо попали имена одиозных деятелей и плоские шутки. Комиссия, однако, может снизойти к просьбе известного «ловца астероидов». Так, например, один из многих астероидов, открытых российским любителем астрономии Тимуром Крячко, получил имя

Буре в честь известного хоккеиста. Но все же комиссия отдает предпочтение именам, хоть каким-нибудь боком связанным с астрономией.

У астрономов Советского Союза была традиция давать астероидам женские имена, при необходимости производя их от мужских. Так, например, появились астероиды Владилена, Морозовия (в честь знаменитого шлиссельбуржского узника), Глазенапия (в честь одного из организаторов Русского астрономического общества С.П. Глазенапа), Стругацкия и др. Очень много астероидов было открыто в Симеизской обсерватории (ныне она является частью Крымской астрофизической обсерватории). Естественным образом возникла мысль как-то увековечить поселок Симеиз, назвав его именем астероид. Но как же традиция давать малым планетам женские имена? Очень просто: астероид получил имя «Симеиза», а не «Симеиз». Другой астероид, зарегистрированный под номером 951, получил имя Гаспра в честь еще одного курортного поселка в Крыму. К этому астероиду мы вернемся чуть ниже, а пока лишь отметим, что поселок Гаспра никак не связан с астрономией, если не считать его географической близости к Симеизу.

Впрочем, традиция давать астероидам женские имена начала «хромать» еще в СССР, а в нынешней России она уже не считается обязательным. Астероид Байконур – яркий тому пример.

Выше отмечалось, что, будучи в 2006 году «разжалованным» в астероиды, Плутон получил порядковый номер 134 340. В настоящее время число пронумерованных астероидов превышает триста тысяч. Правда, далеко не все пронумерованные астероиды получили имена, поскольку имя дается космическому телу с хорошо известной орбитой, для чего желательно пронаблюдать астероид хотя бы в течение одного орбитального периода. Многие причины (малый блеск планетки, непогода и др.) приводят к утере обнаруженного астероида. К настоящему времени собственные имена получили немногим более 10 тыс. астероидов, так что большинство этих крошечных планеток так и путешествует в космосе без имени, с одним лишь номером, а то и вовсе с цифро-буквенным индексом.

Одна из причин потери вроде бы уже хорошо известных астероидов – изменение их орбит. Эти изменения обычно не носят периодического характера, как, например, медленный дрейф перигелия земной орбиты. В лучшем случае здесь можно говорить о квазипериодичности.

Причину орбитальных изменений искать недолго – это гравитационные возмущения со стороны планет и других астероидов. Особенно, конечно, влияет притяжение со стороны Юпитера. Мало того что эта планета-гигант – самая массивная в Солнечной системе, так еще и афелии орбит очень многих астероидов находятся достаточно близко от орбиты Юпитера, чтобы влияние тяготения планеты-гиганта стало существенным. Но и притяжением астероидов, как бы мало оно ни было, тоже не следует пренебрегать. В ряде случаев учет этого влияния совершенно необходим.

Например, уже давно было известно взаимное гравитационное влияние Цереры и Паллады. Имея довольно близкие орбиты (если не считать значительной разницы в углах их наклона к эклиптике), они производят взаимные возмущения – конечно, малые по сравнению с притяжением планет, но все же нуждающиеся в учете при решении ряда задач небесной механики. Известно также возмущающее влияние Весты на другую малую планету – Арету. Между прочим, по этим возмущениям удалось вычислить массы Цереры и Паллады, а по движению Ареты, каждые 18 лет приближающейся к Весте на расстояние всего-навсего в 4–5 млн км, оценить массу Весты.

И все же гигант Юпитер здесь доминирует. Юнона может подходить к нему в афелии на 1,9 а.е., а Паллада – на 2 а.е. При этом сила притяжения этих астероидов к Юпитеру всего лишь раз в 300 меньше силы их притяжения к Солнцу. Это много! Притяжение Юпитера корректирует орбиты многих астероидов, добавляя головной боли астрономам, пытающимся вести учет

орбит. А ведь астероидов открывается все больше и больше! Нет ничего удивительного в том, что многие из них теряются после открытия, затем вновь находятся и вновь теряются...

Все же орбиты 97 % астероидов, расположенных между Марсом и Юпитером, находятся в пределах от 2,17 до 3,64 а.е. Это и есть Главный пояс. Более 100 астероидов имеют поперечник 100 км и более. Среднее расстояние астероидов Главного пояса от Солнца равно 2,75 а.е., а средний период обращения – 4,7 года. Нельзя, однако, сказать, что орбиты астероидов распределены в указанных пределах равномерно (или, что более логично, по гауссиане). Если построить гистограмму распределения астероидов по периодам обращения, то окажется, что в ней есть ряд глубоких минимумов («пробелы Кирквуда»). Астероидов с соответствующими им периодами обращения очень мало, а сами эти периоды относятся к периоду обращения Юпитера как 1:2, 1:3, 2:5, 3:7, 5:11 и т. д. Орбиты с такими периодами неустойчивы, и астероиды недолго (по астрономическим меркам, конечно) задерживаются на них. Рано или поздно гравитация Юпитера стаскивает их с «неудобных» орбит, вынуждая двигаться либо по большим, либо по меньшим орбитам.

Однако есть две группы астероидов, чьи периоды обращения относятся к периоду Юпитера как 2:3 и 1:1. Вспомните, что мы говорили о резонансных явлениях. При некоторых условиях периодическое сближение с крупным космическим телом не нарушает орбиту малого тела, а наоборот, стабилизирует ее. Особенно интересна группа астероидов, обращающаяся вокруг Солнца с периодом, равным периоду обращения Юпитера.

Строго говоря, это две группы. Члены одной из них движутся примерно по орбите Юпитера, опережая планету-гигант на 60°; члены другой – отстают от Юпитера на 60°. Говоря более научным языком, эти астероиды находятся в лагранжевых точках L_4 и L_5 . Орбита тела в этих точках отличается особой устойчивостью; не зря в системе Земля – Луна там находятся облака космической пыли. Существует традиция давать этим астероидам имена героев Троянской войны: Ахиллес, Диомед, Агамемнон, Одиссей, Аякс, Приам, Эней, Троил и т. д. Поэтому всю эту группу (точнее, две группы) астероидов чохом называют «троянцами». Известно более 1000 «троянцев». Ничем особо примечательным, кроме орбиты, они вроде бы не отличаются.

Не следует, однако, думать, что «троянцы» движутся строго в лагранжевых точках. Будь так, они просто «легли» бы друг на друга и под действием собственной гравитации постепенно слепились в единое тело – точнее, в два тела, расположенных в точках L_4 и L_5 . На самом деле орбиты «троянцев» заставляют эти тела то приближаться к указанным точкам, то удаляться от них, и столкновения между этими телами пока не отмечены.

Есть и еще одна группа астероидов, не входящих в Главный пояс: «кентавры». Их орбиты расположены между орбитами Сатурна и Урана, то есть столь далеко от Главного пояса, что вряд ли можно предположить генетическую связь между этими двумя группами тел. По-видимому, «кентавры» состоят из силикатов и льдов. Свое название они получили от первого открытого (в 1977 году) астероида из этой группы – Хирона (так звали мудрого кентавра, воспитателя Ахиллеса). Период обращения Хирона около 50 лет. Это весьма крупный астероид, его поперечник оценивается в 600 км.

Есть, наконец, тела пояса Койпера и облака Оорта. Но вернемся к Главному поясу и поговорим об «уродцах», так или иначе выбивающихся из общего правила.

Таких астероидов достаточно много уже потому, что астероидов очень много вообще. Если «в семье не без урода», то в очень большой семье уроды могут быть представлены в большом количестве и ассортименте. Начнем со странных орбит.

Орбита астероида Гидальго лежит так, что в перигелии он приближается к Солнцу ближе Марса, зато в афелии удаляется значительно дальше Юпитера, почти до орбиты Сатурна. Орбита Гидальго больше похожа на кометную, чем на астероидную. Маленький (не более 1 км) астероид Икар едва заходит в афелии за орбиту Марса, зато в перигелии приближается к Солнцу до расстояния в 28 млн км, то есть ближе Меркурия, и разогревается так, что даже

начинает слегка испускать собственное (а не отраженное) излучение в оптическом диапазоне. Астероид Бетулия имеет замечательно большое наклонение плоскости орбиты к эклиптике: 52° . Опять-таки у Икара эксцентриситет орбиты очень велик: 0,83, тогда как его среднее значение для астероидов всего 0,15.

Многие астероиды обнаруживают колебания блеска с периодом порядка нескольких часов. Они наблюдаются у Цереры, Юноны, Гебы, Астреи, Ирис и многих других. Сравнительно небольшие колебания могут свидетельствовать, например, о том, что поверхность астероида имеет неодинаковое альbedo, проще говоря, покрыта кое-где темными или светлыми пятнами. Но некоторые небольшие астероиды, среди которых выделяется Эрос, обнаруживают значительные колебания блеска. У Эроса они доходят до полутора звездных величин, что как-никак означает разницу в 4 раза! Впрочем, это не слишком удивительно: астероиды вращаются (обычно в ту же сторону, в какую движутся по орбите), а малые тела не способны принять форму гидродинамического равновесия. Следовательно, астероиды, кроме самых крупных, представляют собой довольно бесформенные обломки. Их образовалось предостаточно, когда первые 36 планетоидов были раздроблены при взаимных столкновениях. Среди малых астероидов просто по теории вероятностей должны быть тела с *очень* неправильной формой, каковая и проявляется для земного наблюдателя в виде более или менее периодических изменений блеска.

Эрос – одно из таких тел. Этот небольшой астероид был открыт в 1898 году. Еще до космической эры астрономы определили его приблизительные размеры и форму: грушевидная, 38 на 16 км. Более точные сведения мог принести или значительный по апертуре космический телескоп, не зависящий от капризов атмосферы, или посылка к Эросу космического аппарата. Второе, конечно, предпочтительнее: если «увидеть во сто раз лучше, чем услышать», то увидеть с близкого расстояния – еще лучше, а уж «пощупать» – наверняка во сто раз лучше, чем увидеть. Эту задачу триумфально выполнил космический зонд NEAR.

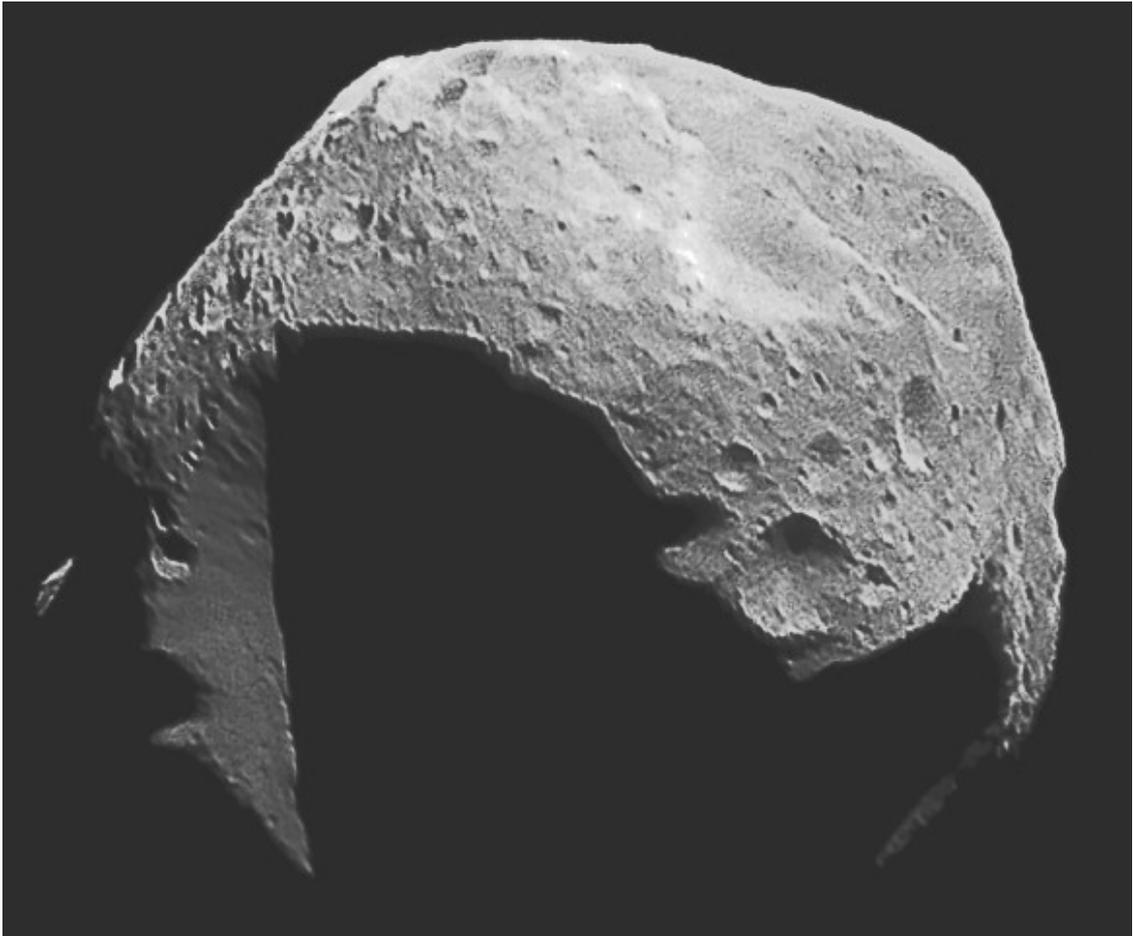


Рис. 63. Астероид Матильда

По пути к Эросу зонд сфотографировал астероид Матильда (рис. 63), отличающийся аномально малой плотностью (лишь чуть выше плотности воды) и состоящий, по-видимому, из пористых пород, а вот с приближением к Эросу поначалу вышла неувязка: из-за сбоя в системе ориентации зонд прошел в 3000 км от цели. Казалось, что программа NEAR если и не потерпела полный крах, то во всяком случае принесла гораздо меньше пользы, чем предполагалось. Однако вскоре было найдено решение: потратить часть топлива, предназначенного для маневров возле астероида, на то, чтобы пустить зонд по новой траектории и вновь сблизить его с Эросом. Попытка удалась, и спустя 13 месяцев, 14 февраля 2000 года, NEAR вышел на орбиту вокруг астероида (рис. 64).

Эрос оказался продолговатым телом сложной формы размером $33 \times 13 \times 13$ км. Зонд передал на Землю громадный – в 10 раз больше запланированного – объем информации. Отчасти это было связано с дерзким, почти авантюрным решением: истратить остатки топлива, чтобы мягко посадить аппарат на поверхность астероида. Надо заметить, что зонд совершенно не предназначался для посадки...



Рис. 64. Астероид Эрос

Однако удача улыбнулась специалистам из НАСА. 13 февраля 2001 года зонд коснулся поверхности Эроса на скорости 1,5 м/с и остался цел. Гамма-спектрограф зонда начал собирать данные прямо с поверхности, что на порядок точнее, чем с орбиты. Кроме того, были получены снимки поверхности Эроса с разных высот – последний был сделан с высоты 120 м. Посадка и затевалась, собственно, ради получения снимков высокого разрешения (рис. 65), а уж выдержит ли аппарат посадку, нет ли – не знал никто.

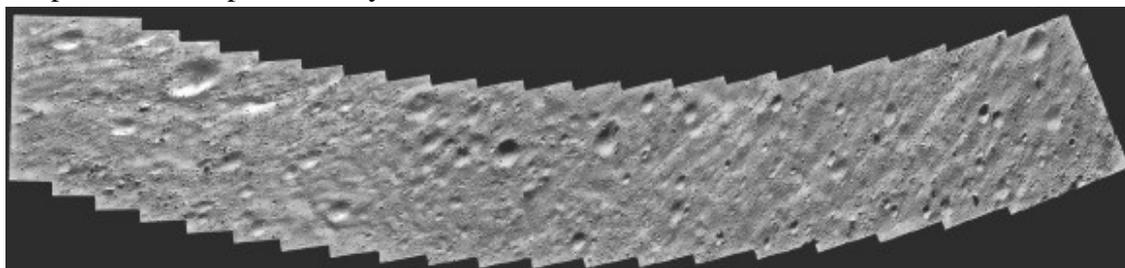


Рис. 65. Поверхность Эроса

К счастью, все обошлось благополучно, и копилка человеческих знаний о Солнечной системе несколько пополнилась.

Удивительна сглаженная форма астероида – явного обломка. Странны образования, названные «прудами», – плоские участки на дне кратеров, образованные рыхлым материалом. Реголит в «прудах» ведет себя подобно жидкости: его поверхность всегда строго перпендикулярна вектору силы тяжести в данном месте. Текучесть реголита на небольшом астероиде оказалась большим сюрпризом.

Впрочем, ни Эрос, ни Матильда не были первым астероидом, сфотографированным с близкого расстояния. Первым стал астероид Гаспра, сфотографированный 29 октября 1991 года автоматической межпланетной станцией «Галилео» с расстояния 16 тыс. км (рис. 66). Разрешение на фото – порядка 60-100 м. Хорошо видно, что Гаспра является неправильным телом (с наибольшим поперечником около 16 км), несущим на себе следы ударов мелких астероидов

и также сглаженным. Тот же «Галилео» 28 августа 1993 года прошел мимо Иды – более крупного астероида размером 53 на 28 км (рис. 67, 68). Ида преподнесла сюрприз: у нее оказался маленький (1,5 км) спутник Дактиль. Вообще говоря, наличие у некоторых астероидов спутников предполагалась уже давно, так как колебания блеска некоторых астероидов очень уж напоминали колебания блеска затменно-переменных звезд. В 1978 году был косвенно открыт спутник астероида Геркулина. Позднее были открыты спутники у астероидов Сильвия и Камилла. Но до миссии «Галилео» Ида ни в чем подобном не подозревалась...

Кстати уж. Наблюдения последних лет показали, что встречаются – в виде исключения, конечно, – не только астероиды со спутниками или пары близко расположенных астероидов примерно равного размера, обращающиеся вокруг общего центра массы, но и контактно-двойные астероиды. Эти тела попросту лежат друг на друге; происхождение таких пар – пока еще загадка. К ним, по-видимому, относится, например, периодически сближающийся с Землей астероид Тоутатис.



Рис. 66. Астероид Гаспра

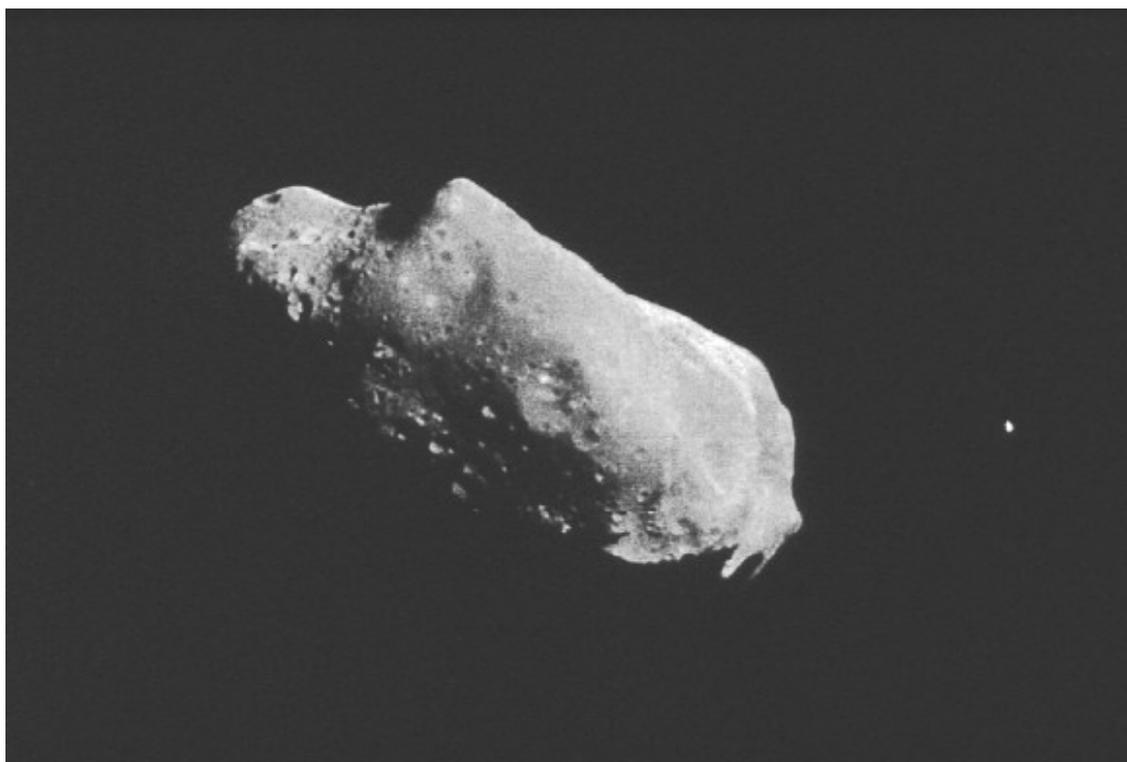


Рис. 67. Астероид Ида со спутником Дактиль



951 Гаспра – 18,2 × 10,5 × 8,9 км



433 Эрос – 33 × 13 км



243 Ида – 58,8 × 25,4 × 18,6 км



253 Матильда - 66 × 48 × 44 км

Рис. 68. Сравнительные размеры Матильды, Иды, Эроса и Гаспры

Вообще с внешним видом небольших астероидов получается нечто странное. Они представляют собой отнюдь не ошестинившиеся скалами-бивнями тела сложной формы, как в голливудском фильме «Армагеддон», а эдакие картофелины со сглаженными выступами. Невозможно предположить, чтобы в результате соударений и дробления более крупных тел получались не угловатые, а «окатанные» обломки. Не менее трудно предположить, что острые углы постепенно сгладились под действием собственной, весьма слабой гравитации небольших астероидов. Создается впечатление, что «шлифующие» соударения происходили при очень малых относительных скоростях, но как такое могло быть – не вполне понятно. Практически все гипотезы, предложенные для объяснения этого феномена, весьма уязвимы для критики.

16 июля 2011 года на орбиту вокруг Весты вышел космический аппарат Dawn («Утренняя заря»). Переданные им снимки (рис. 69) подтвердили сделанный ранее вывод о том, что Веста, во-первых, не вполне шарообразна (578 на 560 на 458 км), а во-вторых, вращается с периодом 5,342 часа.

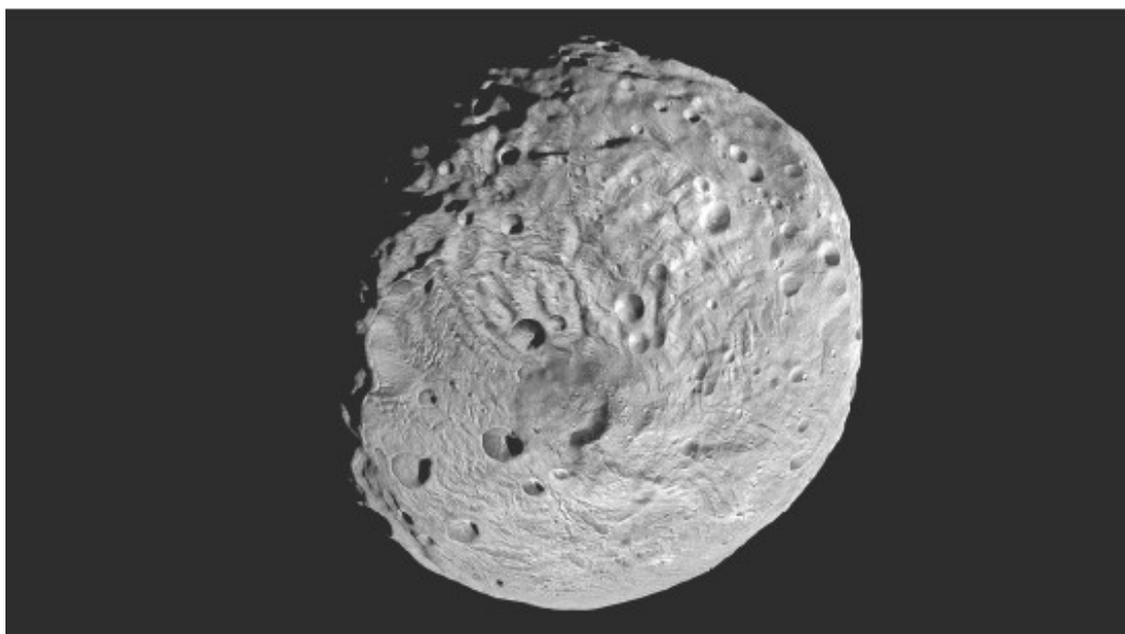


Рис. 69. Астероид Веста

На поверхности Весты обнаружены кратеры до 150 км диаметром и до 7 км глубиной и борозды. Самый же крупный кратер, получивший имя Рея Сильвия, попросту чудовищен: 460 км в поперечнике, то есть практически равен поперечнику планеты! Неясно, как Веста смогла уцелеть после удара, оставившего такой кратер. Возможно, этим ударом и объясняется не вполне шарообразная форма Весты. Однако, несмотря на форму, нет сомнений в том, что благодаря гравитационной дифференциации Веста имеет железо-никелевое ядро, окруженное мантией из горных пород.

В 2015 году Dawn должен долететь до Цереры и заняться ее изучением. Будем ждать...

Недавно выяснилось, что ни Веста, ни Церера не одиноки на своих орбитах: по тем же примерно траекториям обращается вокруг Солнца целое сообщество: 51 астероид на орбите Цереры и 44 на орбите Весты. Вероятно, не все из этих тел еще выявлены. Моделирование показывает, что эти тела могут оставаться на данных орбитах миллиарды лет. Вспомните, что говорилось выше о резонансах.

Говоря об астероидах, трудно обойти молчанием фильмы, подобные «Армагеддону», сколь занимательные по сюжету, столь же и вопиющие в смысле научной недостоверности. Конечно, показанный в фильме астероид может существовать лишь в чем-то воспаленном воображении. Но может ли астероид упасть на Землю?

Еще как может. В геологической истории Земли остались следы падения довольно крупных космических тел. Что до метеоритов (о них мы поговорим в следующей главе), являющихся обломками астероидов, то они падают на Землю довольно часто. Но, оставив пока в покое сталкивающуюся с Землей космическую мелочь, поговорим о более крупных телах.

Всякий, кто видел в телескоп или мощный бинокль лунные кратеры, может убедиться в том, что наш естественный спутник буквально избит метеоритами. Полезно еще раз напомнить: диаметр метеоритного кратера как минимум на порядок больше размера метеорита, породившего кратер. Если выстрелить пулей в какую-нибудь ровную рыхлую поверхность (например, песчаную), то в результате всегда получится более или менее круглая ямка, под каким бы углом пуля ни вошла в песок. И, естественно, диаметр ямки всегда намного больше калибра пули. Стокилометровый кратер может получиться от падения десятикилометрового астероида – или даже еще меньшего, если столкновение произошло на большей скорости. Размеры кратера определяются прежде всего кинетической энергией врезавшегося в поверхность тела (зависящей, как мы помним из школьной физики, от квадрата скорости) и – в меньшей степени – минеральным составом тела и характеристиками пород, принявших на себя удар. Какие же скорости относительно Земли могут иметь астероиды?

Скорость движения Земли по орбите составляет, грубо говоря, 30 км/с. Скорость тела, падающего на Солнце из бесконечно удаленной точки, равна у орбиты Земли, опять-таки грубо говоря, 42 км/с. Если тело движется вокруг Солнца в плоскости земной орбиты по очень сильно вытянутому эллипсу с эксцентриситетом, близким к единице, и проходит перигелий где-то внутри земной орбиты, то его скорость в перигелии не будет сильно отличаться от 42 км/с. Примем это значение.

Стало быть, если такое тело догоняет Землю, то разница их орбитальных скоростей составит всего 12 км/с; если же тело летит строго навстречу, то соударение может произойти на скорости 72 км/с. Разница в энергии удара, как легко подсчитать, составит аж 36 раз. Но! Как мы знаем, астероиды обращаются вокруг Солнца в ту же сторону, что и Земля. Кроме того, астероиды в подавляющем большинстве не имеют сильно эксцентричных орбит, их афелии расположены не на бесконечности, а что касается «кентавров», то они не залетают во внутренние области Солнечной системы. Поэтому мы будем правы, если примем, что скорость удара астероида о Землю не превысит 30 км/с.

Тоже, согласитесь, немало. К тому же распределение астероидов по размерам чисто максвелловское: чем они мельче, тем их больше. Нет никаких сомнений в том, что число астероидов с поперечником свыше 1 км значительно превышает 100 тыс.

Еще меньших тел – многие миллионы. Это естественно. Распределение Максвелла вообще чрезвычайно характерно как для природы, так и для человеческого общества: например, ему подчиняется статистика банковских вкладов, численность вида животных в зависимости от среднего размера особи и т. д. Словом, у нас гораздо больше шансов столкнуться с малым астероидом, нежели с большим.

Тут обычно вспоминают Тунгусский метеорит. О нем написано столько всего, в том числе ненаучных фантазий, что приличность самой темы выглядит несколько сомнительной в порядочном обществе. Однако факт есть факт: произошел мощнейший взрыв. Если он действительно был вызван метеоритом, то, согласно расчетам, данный метеорит представлял собой каменное тело поперечником примерно 50 метров. Такое тело уже можно назвать астероидом. По всей видимости, в Солнечной системе миллиарды подобных тел. Результаты столкновения Тунгусского метеорита с Землей 30 июня 1908 года широко известны: воздушный взрыв,

ывал леса на расстоянии до нескольких десятков километров от эпицентра (рис. 70), разрушения в небольшом поселке, отстоящем от места взрыва на 60 км, явственные следы термического воздействия на стволы деревьев, 20-километровый столб дыма и т. д. Однако экспедиция Л. А. Кулика обнаружила лишь несколько небольших, заполненных водой кратеров в болотистой почве, а также тектиты (остывшие капли расплавленного песка) и следы никелистого железа. Никаких осколков метеорита не было найдено. Они не найдены и по сию пору, несмотря на почти ежегодные экспедиции, в связи с чем возникает вопрос: а было ли тунгусское тело вообще астероидом? Ответа пока нет.

Как бы то ни было, Тунгусский метеорит ясно показал, что бывает, когда с Землей сталкивается космическое тело размером с многоэтажный дом. Остается только радоваться, что это тело «догадалось» упасть в глухой «ненаселенке», где не наделало больших бед. Были люди, сбитые с ног взрывной волной и получившие ушибы, один эвенк сломал при падении руку, погибло много оленей, но жертв среди людей вроде бы не было – хотя кто может поручиться за каких-нибудь таежных охотников-аборигенов? Кто в те годы считал беспаспортных детей природы?



Рис. 70. Вывал леса вблизи места взрыва Тунгусского метеорита

Вернемся к телам, которые наверняка были астероидами и которые оставили заметные следы на теле Земли. Широко известен Аризонский метеоритный кратер, известный также как Овраг Дьявола (рис. 71). Эту почти круглую воронку диаметром 1200 и глубиной до 180 м выбил в пластах известняка и песчаника железо-никелевый метеорит поперечником около 60 м, столкнувшийся с Землей на скорости порядка 20 км/с. Такое тело мы тоже можем считать маленьким астероидом. Его падение произошло около 50 тыс. лет назад. Удивительно, однако, что у индейцев навахо существовала легенда о том, что некогда в тех местах спустился с неба бог на огненной колеснице. Казалось бы, в те времена никаких людей на территории Северной Америки еще не было. И тут одно из трех: либо мы недооцениваем способность наших пред-

ков совершать далекие путешествия, либо оценка возраста кратера неверна, либо (что скорее всего) пресловутая огненная повозка – просто деталь мифа, выдуманная для пушшего воздействия на слушателей и случайно совпавшая с тем, что имело место на самом деле: огненный шар с дымным хвостом, грохот, дрожь земли и т. д.



Рис. 70. Аризонский метеоритный кратер

Овраг Дьявола был открыт белыми людьми лишь в 1891 году, а в 1906 году было доказано его метеоритное (а не вулканическое или карстовое) происхождение. Кратер окружен валом высотой до 45 м. Вал состоит из мощных каменных пластов известняка и песчаника, разломанных и местами поставленных торчком. Дно кратера заполнено обломками и «горной мукой» – тончайшей пылью из раздробленных пород. В самом кратере, на его валу и на расстоянии до нескольких километров были найдены тысячи кусков ржавого метеоритного железа. Проведенное в 1927 году бурение показало, что основное тело метеорита лежит под южным валом кратера на глубине свыше 400 м. Были проекты его разработки как железо-никелевого месторождения, но оказалось, что в коммерческом плане игра не стоит свеч: не столь уж велика эта масса никелистого железа...

Существуют и другие, меньшие по размерам, метеоритные кратеры, выбитые в геологически недавнее время железными метеоритами. Но нас по понятным причинам прежде всего интересуют следы падения крупных астероидов, способных, как это кажется публике, уничтожить не какой-нибудь поселок, а как минимум мегаполис, а то и все живое на Земле.

На нашей планете, в отличие от Луны, где выбитые ударами астероидов кратеры сохраняются миллиардами лет, существует ветровая и водная эрозия. Существуют, наконец, зоны субдукции, где океанические плиты «ныряют» в мантию, безвозвратно унося на себе следы древних космических ударов. По этим причинам многие крупные кратеры – а в том, что их должно быть больше, чем на Луне, нет никаких сомнений – попросту исчезли с лица Земли. Но все же в настоящее время на земной поверхности насчитывается около 230 больших ударных

кратеров. Часто их называют астроблемами – «звездными ранами». Наибольшая из астроблем – Садбери (Канада) имеет диаметр 200 км и весьма почтенный возраст: 1,85 млрд лет. Удар, оставивший кратер такого размера, мог быть нанесен примерно 20-километровым астероидом. Тел подобного размера среди астероидов – тысячи.

И лишь немногие из них «удостоили своим посещением» Землю за последние сотни миллионов лет. О чем это говорит?

О том же, о чем поведала ученым Луна: интенсивная астероидная бомбардировка внутренних планет Солнечной системы окончилась не менее 2–3 млрд лет назад. В те времена на Земле жили лишь одноклеточные существа в первобытных океанах – и выжили, несмотря ни на какие «гостинцы», прилетавшие из космоса. Собственно, из непрерывности биологической эволюции на Земле следует то, что последние 3,85 млрд лет наша планета не сталкивалась с телом, достаточно крупным, чтобы столкновение сделало жизнь на Земле невозможной.

Разумеется, высшие существа, к числу которых причисляет себя человек, не столь устойчивы к внешним воздействиям, как бактерии. Широкую публику особенно интригует вымирание динозавров на мел-палеогеновой границе. Постулируется тезис: если динозавры вымерли вследствие падения астероида (хотя накапливается все больше данных, говорящих о том, что это не так), то человечество-то при таком же катаклизме уж точно вымрет если не полностью, то на девяносто девять процентов. Оставшиеся, разумеется, либо будут либо сидеть в подземных убежищах, переживая многолетнюю «астероидную зиму» и подъедая остатки запасов, либо одичают и начнут слоняться в поисках пищи, отнимая ее у слабых. Чем не сюжет для апокалиптического романа или не сценарий для фильма? Ведь при ударе крупного астероида в атмосферу будет выброшено раз в 60 больше раздробленных в пыль земных пород, чем весит сам астероид. Заметная часть выброшенной пыли попадет в стратосферу, где «застрянет» на целые годы, преградив солнечным лучам доступ к поверхности. Как следствие, прекратится фотосинтез, погибнут растения, а вслед за ними и животные. В атмосфере же образуется устойчивая температурная инверсия (наверху тепло, внизу холодно), из-за чего температура у земной поверхности понизится на десятки градусов, а естественное перемешивание воздушных слоев прекратится. Естественно, высшей жизни при таком раскладе ничего не «светит».

Автором импактной (ударной) гипотезы вымирания динозавров надо считать американского физика Луиса Альвареса. Еще в 60-е годы прошлого века в геологических слоях возрастом около 67 млн лет была обнаружена иридиевая аномалия – тонкий слой с избыточным (в данном случае в 20 раз) содержанием иридия. Попытки объяснить эту странность пролетом Солнца сквозь богатую тяжелыми металлами оболочку вспыхнувшей сверхновой не выдержали критики. Было подсчитано, что для получения Землей наблюдаемого количества иридия сверхновая должна была вспыхнуть чрезвычайно близко от Солнца – ближе, чем Альфа Центавра. К тому же изотопный состав вещества оболочки сверхновой, попавшего на Землю, был бы иным. В 1980 году Альварес предположил, что иридиевая аномалия – следствие астероидного удара.

Если не все метеориты, то очень многие содержат железо. Астероиды, естественно, тоже. Иридий хорошо растворяется в железе (потому-то его так мало в земной коре – он почти весь находится в железном ядре Земли). Но в метеоритном железе иридия много (относительно, конечно). Стало быть, если вещество астероида распылить по всей земной атмосфере и дать ему осесть на земную поверхность, то и получится иридиевая аномалия. Она будет присутствовать в слое соответствующего возраста повсеместно, в какой бы точке планеты мы ни брали пробы. Следовательно, астероидный импакт был, а его датировка хорошо совпадает с мел-палеогеновой границей, то есть как раз с тем временем, когда вымерли динозавры. Связать одно с другим было уже нетрудно, и Альварес предположил, что гибель динозавров «на совести» астероида. Некоторое время оставалась загадка: а где же кратер? Потом на полуострове Юкатан был найден кратер Чиксулуб диаметром 180 км, и все стало на свои места.

Частично. Да, иридиевая аномалия – имеется. Да, найден кратер соответствующего возраста. Да, примерно 67 млн лет назад с Землей столкнулся астероид поперечником не менее 10 км. Да, выброшенная при ударе пыль распространилась по всей планете. Что из этого следует?

Публике все ясно: ну конечно же, из этого следует, что астероид Альвареса угробил динозавров, а если бы этого не случилось, то еще неизвестно, какая группа позвоночных произвела бы в ходе эволюции разумное существо. Возможно, это были бы вовсе не млекопитающие, а потомки сравнительно «мозговитых» (для рептилий) мелких динозавров-теропод вроде рапторов. Подумать только, само происхождение человека зависело от космической случайности! А уж тем более вся человеческая история. Прилетит из космоса такая вот штука, как в фильме (название), – и привет горячий, капут нашей цивилизации. Если, конечно, мы не вложим средства в обнаружение потенциально опасных астероидов, а там и – как знать – не пересмотрим соответствующие соглашения и не выведем на орбиту космические станции с ядерными арсеналами на борту, чтобы атаковать зловредный астероид еще на дальних подступах. Ясно ведь, что средства космической атаки лучше постоянно держать на орбите, а не запускать с мыса Кеннеди «в пожарном порядке», завися от каждого паршивого тропического шторма...

Меньше всего мне хотелось бы пускаться в рассуждения на тему, кому выгодно создание подобных настроений в широких слоях населения. Скажу лишь, что выведение ядерного оружия в космос сродни изгнанию беса дьяволом. Кто как, а автор этой книги отнюдь не почувствует себя более защищенным, если над его головой зависнут ядерные боеголовки. Когда-нибудь впоследствии – может быть, но не в нашу эпоху. Слишком уж велик будет соблазн использовать их по иному назначению – если не как средство нападения, то уж во всяком случае как средство шантажа.

Вернемся, однако, к астероиду Альвареса и выслушаем представителей другой стороны. Подавляющее большинство палеонтологов (а кому, как не им, в этом вопросе карты в руки?) крайне скептически относятся к импактным гипотезам массовых вымираний. Во-первых, они указывают на то, что гораздо более масштабное пермско-триасовое вымирание не маркировано иридиевой аномалией в соответствующих слоях, и сторонникам импактной гипотезы пока еще не удалось подобрать подходящую по датировке асгроблему (хотя ее ищут и еще будут искать²¹). Во-вторых, и это важнее, палеонтологи указывают на то, что мел-палеогеновое вымирание (как и пермско-триасовое) было чисто морским: в океане обрушилась вся пищевая пирамида, из-за чего вымерло значительное число групп морских организмов и некоторые вроде бы сухопутные виды, зависимые от них (например, гигантские рыбоядные парители-птеранодоны). На суше же вымерли последние 7–8 видов динозавров и больше не произошло ничего особо интересного. Да и сами наземные биоценозы позднего мела уже очень походили на современные, если не считать наличия в них динозавров. Последние же, представлявшие собой сборную группу из двух отрядов рептилий, достигли максимального видового разнообразия в начале верхнего мела, то есть за 25–30 млн лет до начала палеогена, после чего их видовое разнообразие монотонно уменьшалось, пока не сошло на нет. Резонно в этой связи задать вопрос: если бы астероид Альвареса пролетел мимо Земли, то вымерли бы динозавры примерно в те же сроки? Палеонтологи уверенно отвечают: да, вымерли бы. Как вымирает всякая группа видов, чья экологическая ниша перестала существовать.

В этой связи показательны змеи, ящерицы, черепахи и особенно крокодилы, представленные в то время как водными, так и сухопутными формами. Они-то почему выжили? Ведь вследствие температурной инверсии суша просто обязана была на годы покрыться снегом, а водоемы – толстым слоем льда. Так на каком же основании крокодилы дожили до наших дней, а не остались, подобно динозаврам, лишь в геологической летописи? Какой такой биологиче-

²¹ Не так давно прозвучала гипотеза о том, что искать ее надо в Антарктиде под двухкилометровым слоем льда. Но если не найдут и там, будут говорить, что асгроблема была на морском дне и вместе с ним давно погрузилась в мантию. – *Примеч. авт.*

ский секрет, присущий крокодилам и позволивший им выжить, не был присущ динозаврам? Увы, такого секрета не усматривается...

На вопрос о странной избирательности вымирания сухопутной биоты, как и на многие другие вопросы, импактная гипотеза не дает ответа. По всей видимости, имело место следующее. Астероид действительно столкнулся с Землей. Однако выброшенная при ударе пыль не осталась в стратосфере на годы, как полагают сторонники «астероидной зимы», механически перенесшие на нее результаты численного моделирования «ядерной зимы», а опустилась вниз достаточно быстро, видимо, уже за несколько недель. Модель «ядерной зимы» предполагала полное уничтожение не менее ста крупнейших городов, чьи горючие материалы, обращенные в сажу, будут выброшены высоко в атмосферу, где и останутся надолго благодаря легкости и рыхлости частичек сажи. В случае астероидного удара выброшенной окажется не сажа, а минеральные частицы, что заметно меняет дело. Всякому, кто в начальных классах повторял опыт из учебника природоведения по отмучиванию смеси песка и глины, ясно: скорость опускания частиц в среде, обладающей какой-то плотностью (в воде или воздухе – безразлично), зависит прежде всего от характеристик самих частиц. В среде с заданной плотностью крупные частицы будут опускаться быстрее мелких, плотные – быстрее рыхлых. Минеральные частицы осядут на поверхность Земли гораздо быстрее, чем частицы сажи. «Ядерная зима» может оказаться долгой – «астероидная зима» будет кратковременной.

Что верно, то верно: падение астероида Альвареса приблизительно совпало не только с резким уменьшением видового состава морской биоты, но и с вымиранием последних динозавров. «Не слишком ли много совпадений?» – вправе спросить недоверчивый читатель. Обращая внимание на слово «приблизительно», ибо найдены палеогеновые динозавровые фауны, пережившие удар астероида. Что до морских организмов, то их «мгновенное» вымирание было мгновенным лишь в геологическом масштабе времени, и целый ряд морских групп вымер до падения астероида, а не после. По-видимому, вымирание динозавров не имеет никакого отношения ни к вымиранию морских видов, ни к астероиду.

Строго говоря, нет ни единого бесспорного доказательства вымирания на Земле хотя бы одного вида вследствие соударения нашей планеты с космическим телом. Импактные гипотезы кажутся убедительными лишь тем, кто плохо представляет себе, на какие экосистемные кризисы способна биосфера Земли без всякого вмешательства извне.

Впрочем, все эти рассуждения все же не отменяют астероидной опасности. Если не все человечество, то по крайней мере некоторая его часть действительно может погибнуть или серьезно пострадать от падения астероида. Думаю, что читатель, как и я, не горит желанием оказаться вблизи места падения километрового и даже стометрового астероида в момент, когда он пробивает атмосферу и грохочущим пылающим шаром несется к земле, чтобы вонзиться в нее, практически не потеряв скорости. При падении даже небольшого астероида в населенной местности разрушения и жертвы обеспечены. По-видимому, лучший на сегодня способ избежать больших бед – отслеживать сближающиеся с Землей астероиды и при необходимости эвакуировать население из расчетной точки падения космического тела. Работы по поиску сближающихся с Землей астероидов ведутся при помощи сравнительно небольших автоматических телескопов. Уже «выловлено» более 1500 потенциально опасных астероидов, и считается, что предстоит еще «выловить» примерно столько же. Можно с большой долей уверенности утверждать, что уже известны орбиты более 90 % околоземных астероидов поперечником более 1 км. Но большей частью это тела меньшего размера. Их делят на несколько типов.

Тип Амура. Перигелийные расстояния этих астероидов меньше, чем 1,33 а.е., но больше, чем афелийное расстояние Земли (1,017 а.е.). Их орбиты подходят к орбите Земли с внешней стороны, не пересекая ее. Таким образом, в ближайшее время столкновение с этими астероидами нам не грозит.

Тип Аполлона. Эти астероиды имеют перигелийное расстояние, меньшее 1,017 а.е., и большие полуоси орбит, превышающие 1 а.е., то есть эти астероиды проникают внутрь орбиты Земли, и столкновение их с Землей в нашу эпоху в принципе возможно. Это наиболее многочисленная группа.

Тип Атона. К нему относят астероиды с большими полуосями орбит меньше 1 а.е., но с афелийными расстояниями, большими, чем перигелийное расстояние Земли (0,983 а.е.). Их орбиты лежат большей частью внутри орбиты Земли и только в афелийной части выходят за ее пределы. Столкновение их с Землей также возможно.

Тип X. Орбиты этих астероидов полностью лежат внутри орбиты Земли. Столкновение их с Землей в ближайшую эпоху невозможно. Астероиды этого типа невелики и немногочисленны. Первый из них был открыт на 2,24-метровом телескопе в 1998 году и получил обозначение 1998DK₃₆. Это всего лишь 40-метровое тело, в афелии сближающееся с Землей на 1,2 млн км. Астероиды типа X труднее обнаруживать из-за их угловой близости к Солнцу. В случае (гипотетическом) падения данного астероида на Землю он, видимо, был бы назван метеоритом. Вообще четкой границы по размерам между метеоритами и астероидами не существует. Иногда сообщается, например, о 10-20-метровом астероиде, пролетевшем мимо Земли. Столь ничтожные тела причисляются к астероидам по сути только потому, что они еще не упали на Землю.

Наконец, в 2010 году канадскими астрономами был найден 300-метровый астероид, движущийся приблизительно по орбите Земли, временами приближающийся к ней на 20 млн км, а временами удаляющийся от нее на расстояние до 60 млн км. В ближайшие миллионы лет столкновение с этим объектом нам не грозит. В принципе на земной орбите не исключено наличие «троянцев», более мелких, чем на орбите Юпитера, и обнаруженный астероид может оказаться первым объектом такого рода – хотя «троянцу» следовало бы находиться примерно в 150 млн км от Земли. Еще одно подтверждение того, что природа гораздо на выдумки.

Как видим, столкнуться с Землей в ближайшую эпоху могут лишь астероиды типов Аполлона и Атона. Трудно предположить, чтобы астероиды типов Амура и X так изменили свою орбиту за короткое время, чтобы их столкновение с Землей стало возможным. В указанных пределах нет достаточно массивных тел (вроде Юпитера), способных заставить астероид резко изменить орбиту. Гравитация Земли, Венеры, Марса влияет на орбиты этих астероидов слабо. Слаб также эффект Ярковского. Суть этого любопытного эффекта в том, что астероид нагревается Солнцем с одной стороны, после чего нагретая сторона, повернувшись (мы помним, что астероиды вращаются в ту же сторону, в какую движутся по орбите), отдает тепловые фотоны мировому пространству, за счет чего астероид приобретает некий реактивный импульс, ускоряющий его движение. Однако эффект Ярковского следует учитывать лишь для малых астероидов, сильно сближающихся с Солнцем. В окрестностях орбиты Земли он слаб.

Разумеется, астероид может поменять орбиту вследствие столкновения с другим астероидом или крупным метеоритом. Отследить последнее решительно невозможно. К счастью, такие столкновения происходят чрезвычайно редко – гораздо реже, чем на Землю падает тело вроде Тунгусского метеорита. Ведь астероид – гораздо меньшая мишень, чем Земля, и к тому же обладает совершенно ничтожным тяготением.

В той же, если не большей мере изменения элементов орбит характерны для астероидов типов Аполлона и Атона. Тут уже может вмешаться гравитация системы Земля – Луна. Поэтому отслеживание и прогнозирование таких изменений – задача, не лишняя смысла. Не будем, однако, забывать, что большинство астероидных орбит имеет значительные углы наклона к эклиптике, так что астероидов, точно пересекающих земную орбиту, практически нет. Например, тот самый Эрос, на поверхность которого совершил посадку зонд NEAR, имеет угол наклона орбиты к эклиптике 10,83°, а гораздо меньший (порядка 900 м) астероид Икар – целых 22,86°. Существуют, правда, и околоземные астероиды с малым углом наклона плос-

кости орбиты к эклиптике, но их немного. Среди них выделяется 4-километровый Тоутатис. Вообще же среди околоземных астероидов мало крупных (километровых и более) объектов. Преобладает мелочь.

Специально для любителей слегка пощекотать себе нервы приведу несколько дат расчетных сближений (ближе 2 млн км) околоземных астероидов с Землей:

- 18 января 2022 года с Землей на расстояние 1975 тыс. км сблизится астероид 1994 PC₁ поперечником 1,7 км.
- 26 октября 2028 года мимо Земли на расстоянии 957 тыс. км пролетит полуторакилометровый астероид 1997 XF₁₁.
- 24 марта 2051 года с Землей на расстояние 1825 тыс. км сблизится астероид Асклепий. Его поперечник оценивается в 300 м.
- 10 января 2053 года мимо Земли на расстоянии 1316 тыс. км пролетит еще один небольшой астероид: 1988 TA. Его поперечник – 270 м.
- 14 февраля 2060 года с Землей на расстояние 1197 тыс. км сблизится 900-метровый астероид Нерей. Он же пройдет мимо Земли 11 декабря 2021 года на более солидном расстоянии 3934 тыс. км.
- 21 октября 2069 года с Землей на расстояние 987 тыс. км сблизится астероид Хатор поперечником 350 м. Этот же астероид вернется в 2086 году и 21 октября пройдет ближе: «всего» в 833 тыс. км.

Страшно? Мне как-то не очень. Особенно если вспомнить, что в сентябре 2004 года мимо Земли на расстоянии в 1,5 млн км прошел уже упомянутый астероид Тоутатис. Шуму в СМИ было много, а в реальности лишь телескопическая звездочка довольно быстро проползла по небу и ушла, чтобы вновь вернуться в 2069 году. Но тогда, по расчетам, она пройдет еще дальше от Земли, чем в прошлый раз.

Приятно сознавать, что совсем недавно, 9 ноября 2011 года, основные российские СМИ сообщили о пролете в 325 тыс. км от Земли 300-400-метрового астероида 2005 YU₅₅ спокойно, без чересчур заметного желания напугать обывателя. Это даже удивительно.

Разумеется, расчеты могут оказаться не вполне точными. Может случиться и так, что астероид подойдет к Земле ближе, чем было рассчитано. Сравните, однако, диаметр Земли (12 800 км) с минимальными расстояниями до астероидов из вышеприведенного списка и прикиньте вероятность столкновения. Она будет ничтожной. Что до тяготения Земли, то полезно вспомнить, что лишь вблизи земной поверхности первая космическая скорость равна 7,8 км/с, а чем дальше от Земли, тем она меньше. Луна, например, путешествует по орбите со средней скоростью всего 1,023 км/с – это и есть первая космическая скорость на среднем расстоянии до Луны (384 тыс. км). Пусть даже астероид зайдет внутрь лунной орбиты – все равно его скорость относительно Земли почти наверняка не позволит ему быть притянутым Землей. Конечно, его орбита несколько изменится, но это уже другой вопрос.

Проще говоря, вероятность столкновения известного астероида с Землей крайне мала – она во всяком случае не превышает вероятности единственным сделанным вслепую выстрелом поразить в десятку мишень в тире. Вспомните об этом, когда вновь услышите сообщения СМИ о грядущем сближении очередного астероида с Землей, дополненные пророчествами всевозможных кассандр о том, что расчеты астрономов неверны и нам угрожает страшная опасность...

Не вредно будет повторить: собственно, тела значительных размеров потому и падают на Землю так редко, что почти все, что могло упасть, уже упало, причем давным-давно – в протерозое и архее.

Иное дело – малые тела. Существуют не очень уверенные подсчеты, согласно которым тела, подобные Тунгусскому, должны падать на Землю в среднем раз в триста лет (по другим подсчетам – раз в тысячу лет). Прикинем вероятность гибели от феномена типа Тунгусского.

При энергии 15 Мт зона поражения составит 1200 км^2 . Годичную вероятность столкновения Земли с телом, подобным Тунгусскому, примем равной 0,003. Далее возьмем площадь Земли, щедро включив в нее океаны и Антарктиду, и найдем, что в зоне поражения окажется (в среднем, конечно) 14 тыс. человек. Отсюда следует, что вероятность погибнуть в течение года от падения такого небесного тела для каждого отдельно взятого человека составляет один к 130 млн, то есть 0,0008 смертей на 100 тыс. жителей планеты. Для России с ее несколько меньшей, чем средняя, плотностью населения, эта вероятность еще раза в полтора ниже.

Много это или мало? Ничтожно мало. Это на много порядков меньше вероятности погибнуть в природной или техногенной катастрофе, стать жертвой войны или террористов, насмерть отравиться консервами и т. д. Если вы пользуетесь транспортом, живете в доме с электричеством, едите продукты из магазина и с рынка, держите домашних животных и не дрожите ежеминутно за свою жизнь, то вам и подавно нечего бояться столкновения Земли с астероидом. За вас теория вероятностей.

11. Метеориты и космическая минералогия

30 ноября 1954 года жительница городка Силакога (США, Алабама) Энн Ходжес возлежала на софе в своем таунхаусе, рассеянно слушая большой ламповый приемник – в те годы эра телевидения еще толком не наступила. За этим занятием дама задремала. Внезапно каменный метеорит весом около 4 кг пробил крышу, попал в приемник, совершенно разрушил его и, отскочив, поставил женщине синяк на ногу. Это был (и остается таковым) единственный строго документированный случай попадания метеорита в человека. Случаев же, описанных лишь очевидцами события, гораздо больше.

Исторические хроники, летописи и изустные предания доносят до нас истории о том, как метеориты ранили и убивали людей, разрушали различные строения. Возможно, наиболее масштабная катастрофа такого рода произошла в 1490 году в Шаньси (Китай), когда (вроде бы) погибло 10 тыс. человек. Немецкий исследователь метеоритов Б. Шульц приводит и другие, правда, куда менее грандиозные безобразия небесных камней. Например, в 1650 году небольшой метеорит упал на территорию монастыря Санта-Мария делла Паче в Милане, где и застрял в груди францисканского монаха. Метеорит весил всего 8 г и был извлечен, но рана монаха воспалилась и привела к смерти. Неясно, правда, виновен ли тут метеорит или виновны хирурги того времени, ничего не знавшие об асептике. Ясно лишь, что коль скоро столь малый – размером в пулю – метеорит застрял в человеческом теле, то скорость его была достаточно высока. Следовательно, этот метеорит-крошка не мог быть «автономным» метеоритом – в таком случае он затормозился бы в атмосфере (если бы не сгорел) и выпал на Землю со скоростью свободного падения малого тела в атмосфере. Шишку на тонзуре монаха такой камешек посадить мог бы, но застрять в груди, подобно пуле, – однозначно нет. Если 8-граммовый метеорит сохранил скорость у земли, значит, он был фрагментом более крупного метеорита, расколовшегося на части сравнительно невысоко над землей. Такое тело, тормозясь в атмосфере, могло сохранить достаточно высокую скорость вплоть до столкновения с земной поверхностью.

«Вы пробовали зашвырнуть комара? Он не летит. Точнее, он летит, но сам по себе и плюет на вас», – шутил Михаил Жванецкий. А почему комар летит по своей воле, а не по параболе, как предписывает ему классическая механика? Почему камень можно забросить гораздо дальше, чем песчинку? Почему винтовочная пуля улетает километра на три-четыре, а снаряд тяжелого орудия при той же начальной скорости – раз в пять дальше?

Ответ прост: потому что масса тела зависит от куба его радиуса, а площадь поверхности – только от квадрата. Сила же трения о воздух зависит от площади поверхности тела. Следовательно, чем выше отношение масса/поверхность, тем меньше тормозится тело (любое, не только метеорит) в атмосфере. В 1929 году в Японии на маленькую девочку упал метеорит массой всего в несколько граммов и запутался в ее платье, не причинив девочке никакого вреда.

Но мы забежали вперед. Вернемся к истории взаимоотношений людей с космическими камнями. По-видимому, о падающих с неба камнях знали уже древние – египтяне, шумеры, индусы, китайцы и другие народы. В книге Иисуса Навина в главе X, стих II написано следующее: «Когда же азекеяне бежали от израильтян по скату горы Вефоронской, Господь бросал на них с небес большие камни до самого Азека, и они умирали: больше было тех, которые умерли от камней града, нежели тех, которых умертвили мечи сынов Израилевых». Если речь идет не о метафоре (что вряд ли) и не о заурядном камнепаде в горах, если все это не выдумка от начала до конца, то очень возможно, что злосчастные азекеяне попали под метеоритный дождь, случающийся чаще всего вследствие дробления очень большого, но не очень прочного метеорита еще довольно высоко в атмосфере.

Событие, напоминающее метеоритный дождь, описано и в 105-й Суре Корана.

Издrevле почитаемый мусульманами черный камень в храме Кааба почти наверняка является метеоритом. Образец, по понятным причинам, получить невозможно, хотя и без ученых камень подвергается некоторой «утруске»: говорят, что, зацелованный миллионами паломников, он уже уменьшился по сравнению с первоначальной величиной чуть ли не вдвое.

В этой связи вспоминается, что рассказывают сотрудники Минералогического музея РАН об одном из экспонатов метеоритной коллекции, невзрачном с виду сером камне: «Этот метеорит распался в воздухе на три куска. Один утонул в болоте, второй у нас, а третий местные жители растолкли в порошок и съели». Зачем съели? Наверное, решили, что господь не зря послал им гостинец и надо приобщиться к благодати. Вроде все выжили после этой процедуры, и на том спасибо.

Тит Ливий писал, что около 200 года до н. э. во Фригии упал железный метеорит. Он был перевезен в Рим, где в течение веков служил предметом поклонения. В I веке н. э. Плиний сообщил об упавшем в 465 году до н. э. крупном метеорите, падение которого якобы предсказал философ Анаксагор: «Камень этот показывают и по сей день: он величиной с груженный воз и опаленного цвета... Однако сам факт частого падения камней с неба не подлежит сомнению».

В русской истории первый рассказ о падении метеорита содержится в Лаврентьевской летописи за 1091 год.

Плиний несколько не преувеличил, говоря о частом падении камней с неба. Правда, такие понятия, как «часто» или «редко», всегда относительны. Действительно, каждый год на Землю падает несколько метеоритов, не успевших сгореть в атмосфере. Однако представим себе размеры Земли, сравним их с полем зрения человека и не станем удивляться тому, что подавляющее большинство людей никогда не видело падения метеорита. Гораздо проще найти давным-давно выпавший метеорит, чем наблюдать его путь по небу и подобрать его еще «свеженьким».

За одну только кайнозойскую эру на Землю выпало предостаточно небесных камней. Можно считать, что на каждом квадратном километре земной поверхности в почвенных слоях находится в среднем один метеорит.

Был случай, когда метеорит нашли в детской песочнице. Конечно, он не выпал прямо в песочницу, а был привезен из карьера вместе с песком. Был случай, когда лот, опущенный с борта научно-исследовательского судна для забора пробы донного грунта, подцепил вместе с грунтом и метеорит. Выпавшие еще в мезозое метеориты находили в мраморах. В Антарктиде есть места, где понемногу сползающий с ледяного купола лед натывается на скалы и не ползет дальше к океану, а медленно тает – точнее сказать, испаряется под солнечными лучами. Всем известно, как вытаивают, выступая на поверхность, камни из ледников. Точно так же вытаивают из антарктического льда и метеориты, упавшие на ледяной купол, может быть, миллионы лет назад. Организуются даже специальные экспедиции для поиска таких метеоритов. Хорошими «хранилищами» для древних метеоритов являются также каменистые (не песчаные) пустыни.

Около 5 % найденных метеоритов – железные, примерно 70 % – железо-каменные, 1–2% приходится на долю углистых хондритов, представляющих собой рыхлые шлаки, а остальное – чисто каменные метеориты. Впрочем, не исключено, что процент каменных метеоритов на самом деле выше, поскольку их порой трудно отличить на вид от заурядных камней чисто земного происхождения. В прошлые же века, когда люди не могли и мечтать о масс-спектрографах (поскольку не знали, что это такое), им непросто было идентифицировать даже железный метеорит, если только он не упал на их глазах. Ведь самородное железо, не имеющее отношения к камням с неба, все-таки изредка встречается (там, где имеются железные руды и восстановительная среда). Понятно, что это большая экзотика, космическое железо встречается гораздо чаще самородного земного, но об этом знаем мы – и не знали ученые прошлых веков. Ясно, что с идентификацией каменных метеоритов проблем у них было намного больше.

Ничего удивительного нет в том, что наука XVIII века отрицала саму возможность падения камней с неба. «В наше время было бы непростительно верить таким сказкам», «Если бы я сам увидел падение метеорита, то не поверил бы своим глазам», – вот типичные высказывания не каких-то твердолобых обскурантов, а вполне серьезных ученых того времени. Сам Лавуазье представил в 1772 году доклад группы ученых в Парижскую академию наук с заключением о том, что камни, которым приписывается небесное происхождение, суть не что иное, как обыкновенные земные булыжники, черная корка на них – след удара молнии, а «падения камней с неба физически невозможны». В 1790 году во Франции близ городка Барботан упал метеорит, что было документально засвидетельствовано бургомистром и городской ратушей. Известный химик Клод Бертолле откликнулся на это: «Как печально, что целый муниципалитет заносит в протокол народные сказки, выдавая их за действительно виденное, тогда как не только физической причиной, но и вообще ничем разумным это нельзя объяснить», – а Парижская академия выразила издевательское сожаление по поводу того, что Барботан имеет столь глупого бургомистра.

Однако не будем высокомерно посмеиваться над учеными. Что в 1790 году было известно науке о малых телах Солнечной системы? Ровным счетом ничего. Астрономы знали Солнце, Землю, еще шесть планет (включая открытый Гершелем Уран), несколько спутников планет – и все. До открытия первого астероида еще оставалось и лет, а до осознания того факта, что малых планет не одна, не две, не четыре, а великое множество, – и того больше. Бертолле был прав: наука того времени не могла объяснить падение небесных камней ничем разумным. Имелись, правда, свидетельства древних ученых и современных очевидцев, но разве мало было в европейской истории случаев временных массовых помешательств? Видели чертей, кикимор, призраков умерших, ведьм на помелах и прочее, что только может породить человеческое воображение при спящем разуме. Почему бы серьезному ученому XVIII столетия не счесть небесные камни небывальщиной из того же ряда? Пожалуй, он даже должен был так поступить – вплоть до получения более убедительных доказательств.

В 1772 году академик Петербургской академии наук П. Паллас в ходе своей экспедиции обратил внимание на странную массу «самородного железа» весом более 600 кг, найденную местным кузнецом еще в 1749 году. Паллас с большими трудностями доставил ее в Петербург. Масса состояла не из чистого железа, а из железа с каменными (оливиновыми) включениями. Теперь такие метеориты называются палласитами в честь Палласа, а сам привезенный им метеорит и поныне именуется «Палласовым железом». Фрагменты некоторых палласитов очень красивы в виде полированных пластинок и могут служить ювелирными украшениями.

В 1794 году немецкий физик Э. Хладни издал небольшую книжку «О происхождении найденной Палласом и других подобных ей железных масс и о некоторых связанных с этим явлениях природы». В ней и последующих публикациях он убедительно доказывал космическое происхождение Палласова железа и других «упавших с неба» камней. Хладни был не каким-то бургомистром провинциального городка, а серьезным ученым, поэтому отмахнуться от его работ оказалось сложнее. Разгорелась дискуссия, в которой приняли участие многие выдающиеся ученые того времени, в том числе Ольберс и Лаплас. Трудно сказать, как долго сохранялась бы неопределенность, если бы в 1803 году в районе французского города Эгль (опять Франция!) не выпал целый метеоритный дождь из 3000 каменных осколков. Лишь после исследования данного феномена ученый мир признал: падение камней с неба возможно. Не забудем, что к тому времени были уже открыты Церера и Паллада. Ученым оставалось сделать лишь один логический шаг: предположить, что в Солнечной системе могут существовать и другие тела, не являющиеся спутниками планет, и что эти тела могут быть сколь угодно малыми. А если так, то почему бы им иногда не сталкиваться с Землей и не выпадать на нее в виде метеоритов?

С этого времени берет свое начало метеоритика – наука на стыке астрономии и геологии. Соответственно, занимаются ею либо астрономы, либо геологи. Материал для изучения постоянно пополняется, так как, во-первых, находятся метеориты, упавшие давным-давно, а во-вторых, падают новые метеориты.

Найденный метеорит называется (надо же его как-то назвать) по имени ближайшего к месту находки населенного пункта, а если такового нет, то берется любой местный топоним, например название горы, реки или пустыни. Типичные названия: метеорит Бендл, метеорит Богуславка, метеорит Саратов, метеорит Карманово и т. п.

Все знают, что такое метеоры. Малый камешек или песчинка, влетая в атмосферу Земли со скоростью в несколько десятков километров в секунду, начинает светиться из-за трения о воздух уже на высоте 120 км. Обычно метеор гаснет на высоте не более 70 км – песчинка «сгорает», и светиться больше нечему. «Сгорает» – это фигура речи, а не описание процесса. Из-за трения о воздух поверхность космического тела разогревается настолько, что приобретает пластичность, и молекулы воздуха буквально сдирают поверхность метеорита слой за слоем. Известны метеориты, чей пролет в атмосфере не сопровождался вращением, – они часто похожи на головки снарядов со следами «обработки» их атмосферой (рис. 72). Понятно, что метеорная песчинка будет «сработана» полностью задолго до соприкосновения с земной поверхностью, а метеорит может и уцелеть.



Рис. 72. Конический метеорит Каракол, обточенный атмосферой

Оставим пока в покое метеорные дожди, о которых время от времени сообщают СМИ. Поговорим о них позже. Сейчас нас интересуют только *спорадические*, то есть случайные, одиночные метеоры. Они могут прилетать из любой точки неба. Внезапно вспыхнул метеор, прочертил небо, секунда – и нет его. Красивое, но заурядное явление.

Метеоры ярче минус восьмой звездной величины называют *болидами*. Для сравнения: яркость полной Луны составляет -12,74 звездной величины. Наверняка многим читателям доводилось наблюдать болиды. Чаще всего причиной болида является камешек массой в

несколько граммов, полностью сгорающий в атмосфере. Здесь надо еще сказать, что яркость болида (как и обычного метеора) зависит не только от его массы, но и от скорости вхождения в атмосферу. Маленький, но быстрый камешек начнет светиться раньше и будет светить ярче, но и сгорит быстрее. Медленный, но более массивный камешек начнет светиться на меньшей высоте и не даст столь яркого следа, зато он имеет некоторые (небольшие, впрочем) шансы достигнуть земной поверхности, потеряв лишь часть массы.

Если в атмосферу влетает большой камень, то он вызывает очень яркий болид. За ним тянется хвост дыма, а пролет небесного камня сквозь атмосферу сопровождается грохотом, напоминающим громовые раскаты. Очень яркие болиды видны и днем. Часто, хотя и не всегда, пролет яркого болида заканчивается падением метеорита.

Немногим (в процентном отношении) землянам повезло наблюдать такое событие. Автор этой книги, увы, может похвастать лишь одним наблюдением действительно яркого болида, сопровождавшегося слабым звуком, и никогда не прикасался к только что упавшему метеориту. Те, кому повезло больше, рассказывают, что свежесвыпавший метеорит горяч лишь в тонком поверхностном слое и за считанные минуты остывает. Это и не удивительно, если учесть, что температура тела, нагреваемого Солнцем на расстоянии Земли, составляет 4 °С. Рассказы о якобы царящем в ближнем космосе жутком холоде, лишь немного превышающем абсолютный ноль, – такие же легенды, как мифы Древней Греции. Обычно свежесвыпавший метеорит покрывает черной коркой и нередко издает весьма противный запах.

След метеорита в атмосфере чаще всего кажется прямым. На самом деле он прямой лишь вначале и загибается к Земле по мере потери метеоритом скорости. Когда потерявший скорость метеорит падает по вульгарной параболе, как простой камень, за ним, как правило, уже не тянется дымный шлейф. Изредка (один случай из тысячи) метеорит ведет себя в атмосфере странно: вместо более-менее прямого движения он выписывает дугу, никак не связанную с земным притяжением. Объясняется это просто: скорость вращения метеорита вокруг своей оси была очень уж высока, так что получился полет, известный в футболе как «резаный мяч». В пустоте такое тело летит, конечно, лишь по своей орбите без всяких выкрутасов, но при взаимодействии с набегающим потоком воздуха меняет траекторию с, грубо говоря, прямой на закрученную.

Недавно выпавшие метеориты особенно ценны для науки. В СССР лицу, доставившему метеорит в Комитет по метеоритам Академии наук, выплачивалась денежная премия. Выплачивается она и в США, однако «рыночная» стоимость метеорита гораздо выше. Существуют частные коллекционеры метеоритов, проводятся ежегодные ярмарки, аукционы и т. д. Продаются образцы метеоритов и у нас. Как следствие, с начала 90-х годов количество новых метеоритов, доступных российским ученым для исследования, устремилось к нулю.

Однако и в прошлые времена лишь 1–2% доставленных в Академию образцов оказывались метеоритами. Слишком уж похожи на метеориты некоторые земные камни и продукты разнообразных технологий! Некоторые шлаки или плавный базальт, использующийся для самых разных целей, имеют явственно оплавленную поверхность, способную ввести в заблуждение неопытного метеоритчика. К сожалению, до сих пор не создан атлас шлаков, напоминающих метеориты, но не являющихся ими.

Не раз метеориты попадали в дома, пробивали насквозь автомобили (рис. 73), застревали в заборах, кровлях и т. д. Говорят, будто как-то раз метеорит угодил прямо в корыто прачки. К описанным случаям утопления громадными метеоритами морских судов следует относиться с известной долей осторожности: в таких случаях, как правило, не сохраняется доказательств в виде обломков метеорита, а свидетельские показания – не всегда надежная вещь, особенно когда речь идет о получении страховки. Были случаи падения мелких метеоритов, не сопровождавшиеся никакими особыми эффектами – просто камешки выпадали со скоростью сво-

бодного падения. Вообще диапазон скоростей метеоритов у поверхности Земли (и, соответственно, возможных разрушений) очень велик.

И все же большинство метеоритов падают на поверхность Земли с дозвуковой скоростью: обычно в диапазоне 50-150 м/с. Большинство, но не все.



Рис. 73. Этому автомобилю не повезло – его пробил метеорит

Скорость метеорита у земли определяется прежде всего массой метеорита и углом, под которым он входит в атмосферу. От угла зависит путь метеорита в воздухе и, естественно, время торможения. При очень малом угле, когда метеориту предстоит почти касательное столкновение с Землей, возможен эффект отскока от атмосферы – совсем как отскакивает плоский камешек от поверхности воды. И такие случаи были зафиксированы (методами радиолокации). Если же угол входа в атмосферу больше 3-4°, то космическому телу предстоит не очень-то веселое (с его «точки зрения») путешествие сквозь воздушную броню Земли.

В ней метеориту приходится весьма несладко. Молекулы воздуха тормозят его движение и выбивают молекулы с его поверхности. За счет торможения идет нагрев поверхности, что дополнительно стимулирует потерю метеоритом вещества. Подсчитано, что при вертикальном падении более 10 % первоначальной скорости может сохранить 1,5-метровый ледяной метеорит, 0,6-метровый каменный и 0,2-метровый железный. Конечно, лишь в том случае, если в атмосфере не произойдет дробления тела.

А оно не только возможно, но и очень вероятно. Допустим, тело падает на Землю со скоростью 20 км/с. Тогда на высоте 30 км аэродинамические напряжения в нем составят 10 МПа (100 атмосфер), а на высоте 20 км достигнут почти 100 МПа (1000 атмосфер). Далеко не всякий метеорит выдержит такие нагрузки.

И действительно, очень часто метеориты раскалываются еще в воздухе, образуя от единиц до тысяч осколков. Упомянутый в начале этой главы метеорит, поставивший синяк американской домохозяйке, также являлся осколком, ибо до падения метеорита наблюдался взрыв болида и был найден еще один осколок массой 1,7 кг. Если осколков много, говорят о метеоритном дожде. Перечень наблюдавшихся метеоритных дождей довольно велик. Например, метеорит Юртук, упавший в 1932 году в Днепропетровской области, выпал в виде «дождя» (собрано 32 обломка). Гораздо более масштабный метеоритный дождь случился 12 февраля 1947 года в отрогах хребта Сихотэ-Алинь на Дальнем Востоке. В радиусе до 400 км наблюдался яркий болид с мощным дымным следом, который не рассеивался два часа. Далеко разносились грохот и гул. Когда до места падения добралась экспедиция Академии наук, то оказалось, что метеорит успел раздробиться в атмосфере и выпал «дождем» на характерной площади в виде эллипса («эллипс рассеяния») площадью 3 км². Метеорит оказался железным. В тайге были найдены 24 кратера, диаметр наибольшего из них составил 27 м. Крупнейший обломок метеорита имел массу 1745 кг, а более мелкие обломки попадались тысячами. Многие из них зарылись в почву (теперь, после многих экспедиций, вооруженных металлоискателями, она в эллипсе рассеяния перекопана метра на два вглубь), другие просто торчали в стволах и ветвях деревьев. Всего было собрано около 27 т оплавленных железных обломков. И размеры кратера, выбитого наибольшим обломком, и высокие скорости более мелких кусков однозначно говорят о том, что метеорит, чей поперечник, по расчетам, составлял 2,5 м, а масса достигала 70 т, сохранил значительную часть своей космической скорости и раздробился сравнительно невысоко над землей – однако и не над самой поверхностью, поскольку мелкие обломки успели оплавиться со всех сторон.

Действительно, если метеорит разрушается в воздухе, то чаще всего это происходит на высоте 10–15 км. Иногда выше, иногда ниже – это в первую очередь зависит от механической прочности космического тела. В случае Сихотэ-Алинского метеорита мы видим, что обломки не успели погасить скорость в атмосфере и выпали со скоростями, во всяком случае превышающими скорость свободного падения. Может показаться странным, что разрушился железный метеорит, поскольку мы привыкли к тому, что железные предметы довольно прочны. Но вспомним, какое железо в метеоритах. Дело не в том, что оно содержит примеси никеля, кобальта, меди, фосфора, серы и других металлов и неметаллов. Дело в том, что кристаллы железа в метеоритах – крупные и очень крупные. Многие земные кристаллы (например, каменной соли, кальцита, галенита, но не горного хрусталя!) раскалываются по спайности на меньшие кристаллы – кубические, ромбические и др. Если поверхность железного метеорита отшлифовать, затем отполировать и протравить слабой кислотой, то на ней проступит рисунок, напоминающий изморозь на окне (рис. 74). Этот рисунок называют видманшtedтеновыми фигурами. У земного самородного железа не бывает никаких видманшtedтеновых фигур.

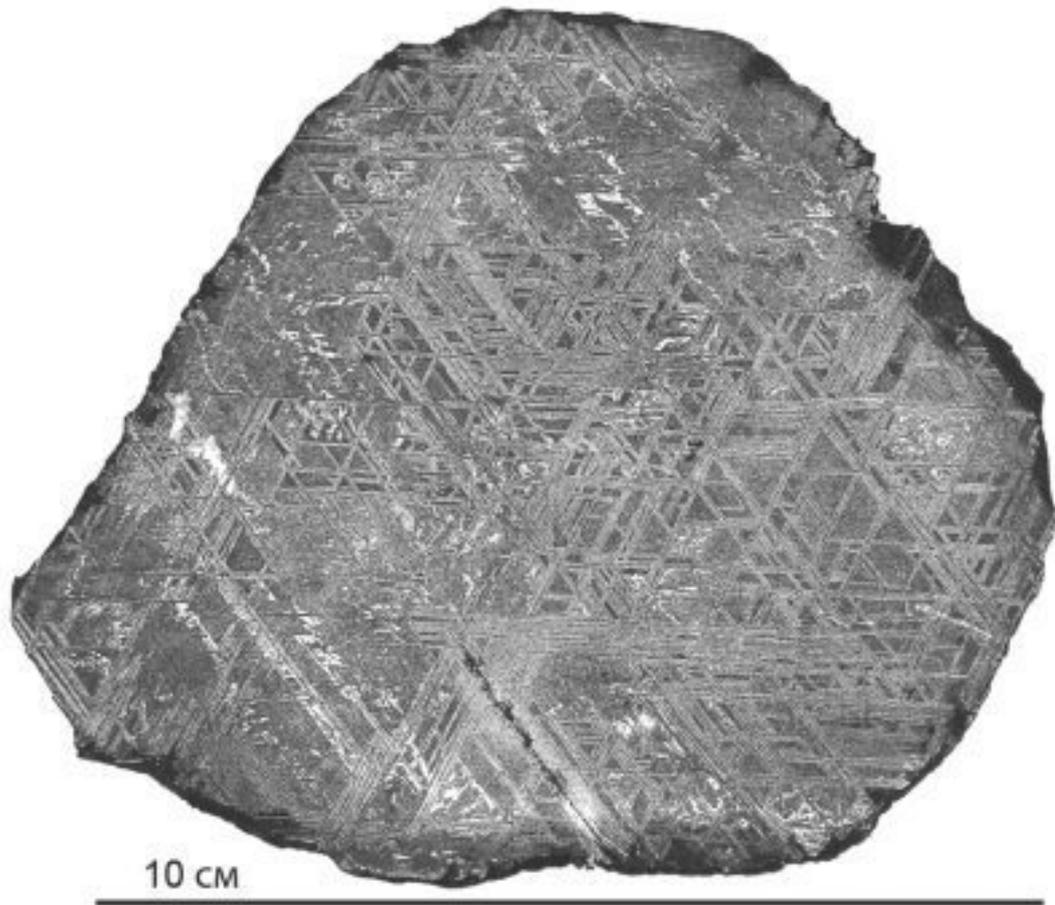


Рис. 74. Видманштедтеновы фигуры

Оно и понятно: в отличие от самородного железа земного происхождения метеоритное железо образовалось в недрах древних, ныне разрушенных планетоидов с относительно постоянными на протяжении миллионов лет физическими условиями, благоприятствующими росту кристаллов. Видманштедтеновы фигуры суть не что иное, как проросшие друг сквозь друга кристаллы двух различных кристаллических форм железа – камасита и тэнита, различающихся содержанием никеля. Минералогам хорошо известны подобные проростки в земных минералах. Выше мы говорили о более чем метровом кристалле метеоритного железа (камасита) в метеорите Богуславка. Это, конечно, редкость, но факт, что кристаллы железа в метеоритах весьма велики и могут раскалываться по спайности. Вот и ответ на вопрос, почему танковая броня может выдержать удар снаряда, а железный метеорит разваливается на части от давления воздушного потока.

Все же каменные метеориты разваливаются в воздухе чаще железных. Самые крупные из найденных «цельных» метеоритов как раз железные. Крупнейшим считается метеорит Западная Гоба (чаще называемый просто Гоба), найденный в Намибии. Нет никаких свидетельств того, что его падение наблюдалось хотя бы древним человеком, 60-тонный метеорит, представляющий собой грубый параллелепипед, до сих пор лежит там же, где был обнаружен. Раньше он покоился просто в яме, теперь вокруг него сооружен маленький амфитеатр (рис. 75). Климат пустыни способствует тому, что метеорит практически не пострадал от коррозии.



Рис. 75. Метеорит Гоба

Кстати, широко распространенное мнение, будто метеоритное железо не ржавеет ни на воздухе, ни в воде, поскольку из-за высокого содержания никеля походит на нержавеющую сталь, не соответствует действительности. Почти все железные метеориты, достаточно долго пролежавшие в земле, сильно проржавели. Имеющийся у автора кусочек Сихотэ-Алиньского метеорита покрылся тонким слоем ржавчины всего за несколько лет пребывания в московской квартире. Естественно, в почве процессы окисления идут куда быстрее.

Это особенно хорошо видно при взгляде на метеорит Вилламет (Вилламетте), найденный в 1902 году в США и хранящийся в Американском музее естественной истории в Нью-Йорке (рис. 76). Точное время его падения не установлено. Около 12 500 лет назад ледник вынес его в долину реки Вилламет в штате Орегон.

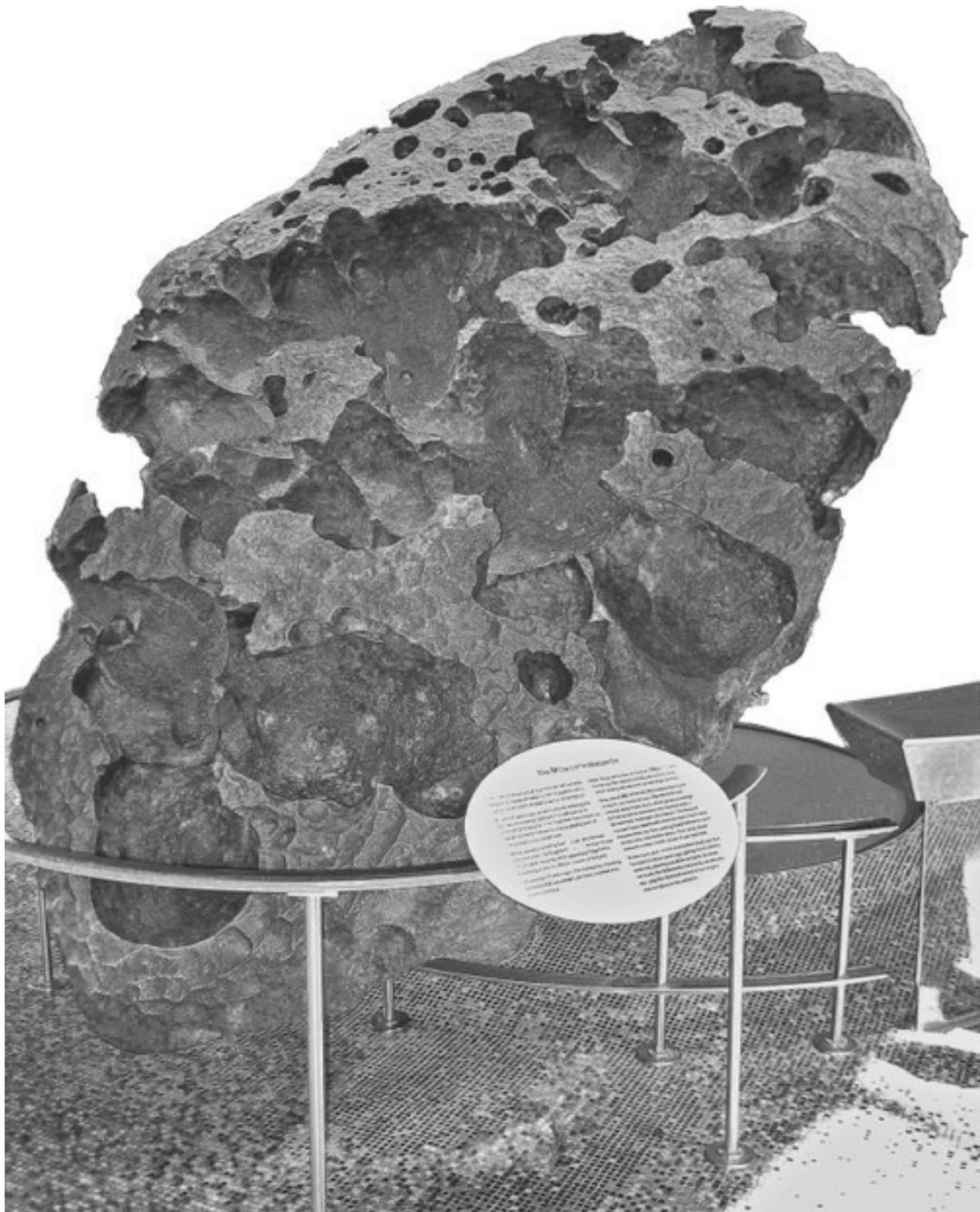


Рис. 76. Метеорит Вилламет

Продолжительное пребывание в почве в местности с умеренным климатом сделало свое дело: ржавчина проела в теле метеорита многочисленные и весьма глубокие «зоны поражения», а последующее выветривание превратило их в каверны. Для местных индейцев метеорит служил культовым объектом в течение многих поколений. Считалось, что он упал с Луны (не так уж глупы были индейцы!) и служит связующим началом между стихиями огня, воды и воздуха. Дождевую воду, собравшуюся в кавернах метеорита, индейские знахари пытались использовать для лечения болезней. Также в нее обмакивали наконечники стрел. Масса метеорита составляет 15,6 т, но первоначально она была значительно больше, не достигая, впрочем, массы метеорита Гоба.

Как видим, эти два метеорита прорвались сквозь атмосферу без фрагментации. Еще несколько железных метеоритов имеют массу свыше 10 т. Существуют сведения о колоссальном метеорите, будто бы находящемся в пустыне Ардар (Мавритания) и имеющем длину 100 м при высоте 45 м. Масса такого метеорита (если он действительно существует) должна быть около 100 тыс. т. Этот метеорит еще не исследовался учеными. В Европу был доставлен его (его ли?) фрагмент, однозначно признанный фрагментом железного метеорита.

Сколь бы фантастичными ни казались подобные сообщения, отвергать их с порога, видимо, не стоит. Колоссальный железный метеорит, лежащий в пустыне «куском», – это, конечно, нонсенс. Однако все возможно. Показало же бурение в Овраге Дьявола наличие на глубине свыше 400 м большой массы никелистого железа! Следовательно, возможно «захоронение» метеорита в земных породах без дробления его в атмосфере или при ударе. Ветровая эрозия земной поверхности, особенно активная в пустынях, вполне может обнажить метеорит-гигант спустя геологически непродолжительное время. Во всяком случае, интрига пока сохраняется...

В чисто каменных метеоритах тоже есть железо: около 25 % по массе. Оно, однако, находится там в виде химических соединений, преимущественно окислов и силикатов. В каменных метеоритах много кислорода, кремния и магния; вообще же их состав напоминает земные породы, особенно поднятые с больших глубин. Еще один аргумент в пользу теории (по существу никем уже не оспариваемой) о том, что как «нормальные» астероиды, так и выпадающие на Землю метеориты являются осколками древних планетоидов, погибших при взаимных столкновениях.

Возраст метеоритов известен и почти одинаков: около 4,5 млрд лет. Содержащиеся в старой литературе более почтенные оценки возраста метеоритов (скажем, 7,6 млрд лет) следует считать ошибочными, связанными с тогдашним несовершенством радиоизотопных методов датировки, тогда как сейчас эти методы дают погрешность не более 1–2%. Сходство возрастов метеоритов имеет минимум два следствия.

Во-первых, первичные планетоиды между орбитами Марса и Юпитера образовались примерно в то же время, что и Земля, и образовались достаточно быстро, максимум за 100 млн лет, а скорее всего, гораздо быстрее. Большинство из них успело просуществовать вполне заметное время. Во всяком случае, гравитационная дифференциация вещества в них не только началась, но и успела далеко продвинуться. О том же, кстати, говорят теоретические выкладки.

Во-вторых, в Солнечной системе, по-видимому, нет «пришельцев» – метеоритов из других звездных систем. Если же они все-таки есть, то крайне малочисленны и практически не имеют шансов попасть на Землю. А жаль! Пройдет еще невесть сколько лет (или столетий?), прежде чем в руки ученых попадет твердое вещество, образовавшееся вблизи другой звезды в совсем другое время и, возможно, совсем на другом краю Галактики...

Пока же приходится исследовать то, что сформировалось у нас «под боком», в Солнечной системе. Помимо грубого деления метеоритов на железные, железо-каменные, каменные и углистые хондриты существует более детальная классификация. Она отражает минеральный состав и связана с классификацией астероидов, разделенных на несколько типов по их альбедо.

К типу С принадлежат астероиды с низким альбедо. Их состав: силикаты и углерод. Это самый распространенный тип астероидов – но не метеоритов. Метеоритный аналог – углистые хондриты.

У типа S альбедо умеренное. Состав: силикаты и металл. Типичные представители: Флора, Эвномия, Гаспра, Ида. Свободного железа в них до 25 %. По-видимому, эти астероиды представляют собой осколки нижней мантии довольно большого родительского тела, успевшего заметно проэволюционировать. Среди метеоритов им соответствуют железо-каменные метеориты.

Тип **М** объединяет астероиды также с умеренным альбедо, но более высоким содержанием металлов. Об их составе можно сказать так: металл с примесями. Метеоритный аналог: железоникелевые энстатитовые хондриты. (Под хондритами понимаются метеориты с хондрами – примесями в виде более или менее крупных включений металла, обычно округлых. Энстатит – минерал из группы пироксенов, класса силикатов.)

К типу **Е** относятся чисто каменные астероиды с высоким альбедо и силикатным составом. Этому типу соответствуют энстатитовые ахондриты, то есть каменные метеориты, лишённые хондр.

У типов **Р** и **Q** альбедо варьирует в пределах от среднего до высокого. Состав: оливин, пироксен и металл. Метеоритный аналог: обычные хондриты.

К типу **V** принадлежат каменные астероиды с составом: пироксен + фелдспар. Метеоритные аналоги отсутствуют.

Наконец, тип **A** объединяет астероиды, состоящие из оливина и металла. Альбедо умеренное. Этим астероидам соответствуют брахиниты.

Больше всего в космосе астероидов типов **C**, **S** и **M**. В Главном поясе их количественное соотношение составляет 7:5:1. Однако среди астероидов, сближающихся с Землей, соотношение иное: 3:7:1, а если брать только найденные метеориты, то количество углистых хондритов среди них еще меньше: 1–2%. В общем-то это не удивительно, если учесть низкую механическую прочность этого типа метеоритов. Фрагментация на довольно большой высоте и полное сгорание обломков в атмосфере – вот, по-видимому, удел большинства из них.

Странно, что астероиды типа **Q** обнаружены только среди астероидов, сближающихся с Землей, а в Главном поясе почему-то нет. Эту загадку еще предстоит разрешить.

Полагаю, вы заметили, что, говоря об астероидах и каменных метеоритах, нам постоянно приходится упоминать силикаты.

Это и не удивительно: кремний и кислород – чрезвычайно распространенные во Вселенной элементы и, естественно, одни из основных «строительных материалов» для твердых тел. В земной коре доля силикатов достигает 80% по массе. Весьма распространенный (хотя бы в виде песка) на земной поверхности кварц – оксид кремния – сильно уступает по распространенности солям кремниевой кислоты – разнообразным силикатам. Речной или карьерный песок совсем не обязательно кварцевый – он может быть продуктом разрушения тех или иных полевых шпатов (тоже силикаты), причем это даже более вероятно. То же самое, и с еще большей силой, наблюдается в мантии. Базальты – те же силикаты. Силикатом является и оливин (помните «оливиновый пояс» из «Гиперболоида инженера Гарина»?), имеющий химическую формулу $(Mg, Fe)_2SiO_4$, и если содержащие оливин метеориты выведены в отдельный тип, то это сделано только потому, что такие метеориты многочисленны и отличны от прочих.

Словом – скучно для дилетанта, а порой и для геолога. Разнообразные силикаты и железо, железо и разнообразные силикаты... Немного соединений серы и фосфора – обычно в виде мельчайших включений, выглядящих на полированной поверхности метеорита под микроскопом как золотистые искорки. Совсем редко – мелкие (доли миллиметра) кристаллики алмазов. Еще некоторые минеральные включения. И – практически всё. Нет даже намека на огромное минеральное богатство, характерное для нашей планеты.

Ничего удивительного. Если на планетоиде нет текучей воды и заведомо нет жизни, то какого же минерального богатства можно ожидать? Откуда ему взяться? В отсутствие воды и жизни на планетоиде может реализоваться лишь ограниченный набор физических условий, в которых возникают минералы. Не зря на Земле их насчитывается несколько тысяч – куда больше, чем в метеоритах!

Правда, в углистых хондритах неоднократно было найдено органическое вещество: аминокислоты, карбоновые кислоты, простые и даже сложные сахара, а также несколько родственных сахарам кислот и спиртов, в частности глицерин. Из этого факта родилась популярная

гипотеза: жизнь на Земле возникла из «материала», доставленного из космоса астероидами и кометами. Однако от несложных органических соединений до такого сложнейшего явления, как жизнь, «семь верст и все лесом» – это первое. В метеоритном органическом веществе отсутствует «хиральная чистота», обязательная для органики живых организмов, – это второе. И третье: откуда следует, что физические условия на астероидах и кометах сильнее благоприятствовали органическому синтезу, чем условия на древней Земле? Похоже, дело обстоит как раз наоборот. Почти наверняка какое-то количество несложной органики попадало на катархейскую Землю из космоса, но оно не шло ни в какое сравнение с объемом той же самой органики, синтезирующейся на самой Земле в результате добиологических процессов. Нет никаких оснований утверждать, что «первотолчком» к возникновению жизни на Земле послужила «гуманитарная помощь» из космоса.

В качестве «экзотики» можно еще упомянуть о кристалликах каменной соли, обнаруженных в метеорите, упавшем в 1998 году в Техасе, США. Этот метеорит оказался в руках ученых спустя менее двух суток после падения. Исследователям пришлось признать, что кристаллики соли в теле метеорита имеют космическое происхождение. В соляных кристалликах обнаружены крошечные пустоты, заполненные водой. Одновременно та же группа ученых сообщила о найденных капельках воды в теле другого метеорита.

Это как будто говорит о том, что 4,5 млрд лет назад вода в крайне молодой Солнечной системе не была редкостью. Хотя... она и теперь далеко не редкость. Ледяные панцири спутников больших планет и кометы указывают на это с полной определенностью. Пожалуй, даже странно, что вода в метеоритах не была обнаружена раньше. Иной вопрос: имела ли она в жидком виде на поверхности тех злосчастных планетоидов, что породили Главный пояс астероидов? Скорее нет, чем да.

О метеоритах можно говорить еще долго и детально: описывать многочисленные случаи падения (рис. 77), вид и состав конкретных метеоритов и т. д. Пожалуй, в популярной книжке нет смысла этого делать. Зато есть смысл поговорить о том, сколько всего в Солнечной системе «каменной мелочи».



Рис. 77. Метеоритный кратер

Самое наглядное ее проявление – *зодиакальный свет*. В южных широтах (обычно не более 50° широты) в весеннее время после захода Солнца и наступления темноты в отсутствие Луны и при хорошей прозрачности неба можно видеть слабо светящийся туманный конус, наклонно поднимающийся из-за западного горизонта. В осеннее время то же явление можно наблюдать на востоке перед рассветом. Угол наклона конуса к вертикали равен географической широте места наблюдения. Чем ближе к экватору, тем ярче зодиакальный свет и тем вертикальнее «высовывается» из-за горизонта конус. В экваториальных областях яркость зодиакального

света сравнима с яркостью Млечного Пути. В редких случаях и только при безупречно прозрачном и темном небе два конуса – западный и восточный – сливаются. В месте их контакта порой наблюдается *противосияние* – размытое округлое пятно света, выглядящее как вздутие на слабо светящейся полосе.

Что же это такое – зодиакальный свет?

Об этом говорит сама его «геометрия». В пределах Солнечной системы путешествуют по своим орбитам многие миллиарды мелких астероидов и просто камней размером от глыб до песчинок и пылинок. Вся эта несусветная толпа малых и мельчайших тел концентрируется к плоскости эклиптики, образуя колоссальный диск, утолщенный посередине. Мы тоже находимся в плоскости эклиптики и видим диск с ребра – утолщенный ближе к Солнцу и утончающийся по мере удаления от него. Спектр зодиакального света однозначно показывает, что светят (отраженным светом, естественно) именно камни, камешки и пылинки, а не межпланетный газ. Природа противосияния тривиальна: частицы, расположенные дальше от Солнца, чем Земля, отражают свет всей поверхностью, как Луна в полнолуние, а не частью ее, как, скажем, Луна в первой четверти.

В средних широтах нужны особое везение и настойчивость, чтобы увидеть зодиакальный свет – особенно в последние десятилетия, когда световое загрязнение неба бытовыми и промышленными источниками света увеличилось колоссально. Автору этой книги, увы, лишь раз довелось наблюдать зодиакальный свет, причем не в России, а несколько южнее – в Эгейском море. Да и то мешал свет городков и деревень на греческих островах. Однако автору известно об успешных наблюдениях зодиакального света гораздо севернее – в Воронежской области, например.

Короче говоря, камней, летающих в пределах Солнечной системы, не просто много, а очень-очень много. Правда, и пространство, в котором они распределены, очень даже не маленькое. Во всяком случае, американские «Пионеры» и «Вояджеры» пролетели сквозь Главный пояс астероидов без каких бы то ни было столкновений, грозящих им повреждением. Были столкновения с крупными пылинками массой в десятки миллиграммов, не приведшие к поломке бортовой аппаратуры, – и не было ни единого столкновения с более крупными телами. Показательно, не правда ли?

Что до нас, остающихся на Земле, то вероятность «поймать» на голову упавший с крыши кирпич и особенно сосульку на много порядков выше вероятности погибнуть или получить ранение вследствие падения метеорита. Будем жить спокойно.

12. Кометы и метеорные потоки

Время от времени среди «неподвижных и вечных» звезд на небе возникают странные светила – туманные звезды с длинными хвостами, иногда прямыми, а иногда изогнутыми, иногда узкими, а иногда веерообразными. Греки прозвали их косматыми светилами. Слово «комета» как раз и означает «косматый», «волосатый». Крупные кометы представлялись грекам головами с длинными развевающимися волосами.

Практически все популяризаторы астрономии начинали рассказ о кометах с описания страха, который они нагоняли на невежественных людей во все исторические времена. Тема заезженная, но «вкусная». Не намереваясь уделять ей много места, все-таки не стану ее игнорировать.

Во все века кометы пугали людей до чрезвычайности и, убежден, кое-где пугают и теперь. Тысячи «неподвижных» звезд и пять блуждающих по небосводу планет – к этому люди привыкли как минимум с палеолита. Метеоры трактовались как сорвавшиеся с твердого небесного свода звезды. Это тоже было понятно: ведь любой плохо закрепленный предмет рано или поздно падает. Но кометы?! Мало того что в их появлении не усматривалось никакой системы, мало того что одни кометы пролетали по небу быстро, всего за несколько дней, а другие задерживались на целые месяцы, так эти светила еще были ко всему прочему снабжены хвостами! Это было до одури непонятно, а непонятное пугает.

Когда логические объяснения отсутствуют, свои услуги всегда готова предложить религия. Испуг народа сужает поле возможных объяснений: комета есть либо порождение темных сил, либо свидетельство гнева верховного божества, с которым в принципе можно договориться, изменив поведение и, естественно, увеличив приношения в храмы. Дабы паства уверовала в то, что комета появилась на небе не зря, ее всегда можно связать с каким-нибудь бедствием: войной, эпидемией, неурожаем и т. д., – а такого рода событий в истории человечества всегда было предостаточно. Особенно беспокоились правители, не страдавшие в массе своей от избытка скромности и почему-то полагавшие, что небо специально создано для размещения на нем персональных посланий в их адрес. Появление кометы чаще всего трактовалось ими как предупреждение о смерти или как минимум крупных неприятностях. Дешифровка «небесных посланий» возлагалась на придворных астрологов – должность выгодная, но порой небезопасная. Убедить мнительного правителя в том, что комета ему не угрожает, – не самая простая задача. Тут уж следовало быть не столько хорошим наблюдателем и расчетчиком, сколько хорошим психологом.

И уж во всяком случае человеком не из болтливых. Если уж никак не получалось убедить правителя в том, что небесное знамение сулит ему благо, а не вред, то необходимо было по крайней мере держать язык за зубами. Не доверяя догадливости звездочетов, китайский император издал указ от 840 года: «Императорским астрономам возбраняется всякое общение с прочими чиновниками и с простым людом». А как же иначе! Ведь верное истолкование небесного знамения (а за неверное подчас рубили головы) было никак не меньшей государственной тайной, чем сведения о запасах зерна или мобилизационные планы.

Можно предсказать солнечное или лунное затмение. Можно вычислить, в каком созвездии будет находиться та или иная планета через десять или сто лет. Но никому из астрономов древности не удавалось предсказать появление на небе кометы. Они всегда появлялись «вдруг».

Неожиданное не только пугает. Неожиданное заставляет задуматься и искать взаимосвязи. То, что не укладывается в систему, должно иметь какое-то объяснение, а иначе – зачем оно? Так работает человеческий мозг.

В течение колоссального отрезка времени – от древних цивилизаций, а то и раньше, и до Нового времени – люди были убеждены, что кометы не появляются на небе «просто так». Неудивительно, что они постоянно находили тому подтверждения. История человеческой цивилизации – увы, не ровная и безопасная дорога: войны неизбежны, неурожаи и эпидемии тоже, время от времени происходят стихийные бедствия, цари смертны, и любую комету несложно связать не с одним бедствием, так с другим. Вот что записал некий монах в Киевской летописи за 1066 год:

«В сии же времена бысть знамение на западе, звезда превелика, лучи имущи акы кровавы, всходящи с вечера по заходе солнечном и пребысть за 7 дней; се же проявление не на добро, по сем бо баше усобица много и нашествие поганых на русскую землю, си бо звезда бе акы кровавы, проявляющи кровопролитие».

И что же? Не прошло и двух лет, как в пределы Руси вторглись половцы, русские дружины потерпели поражение, в Киеве народ поднял восстание, изгнав князя Изяслава и поставив на княжение Всеслава, затем Изяслав вернул себе Киев, и все это, разумеется, сопровождалось кровопролитием, как и предсказывал летописец. Вся штука, однако, в том, что предсказать подобные неприятности мог практически кто угодно и в какой угодно стране. Присущие людям геоцентризм и антропоцентризм – лишь верхушка айсберга. Очень часто люди мыслят и действуют так, будто других стран и частей света вообще не существует. За современными примерами далеко ходить не надо: если в голливудском фильме происходит какая-либо мировая катастрофа, то главные неприятности (и героизм при преодолении оных) почти всегда выпадают на долю США.

А между тем комета была видна не только на Руси, но и по всей Европе. «Как следствие» случилось то, что А.К. Толстой описал в балладе «Три побоища». Гаральд Норвежский, зять Ярослава Мудрого, пошел войной на Англию, был разбит и убит. Недели через две Гаральд Английский потерпел от нормандского герцога Вильгельма сокрушительное поражение при Гастингсе и также был убит, а Англия, пройдя через всевозможные кровавые безобразия, попала под нормандское владычество. Кто предупреждал обо всем этом? Ну, конечно же, комета!

Неясно, правда, кому она сулила победу, а кому поражение. «Из нас двоих кому-то должно было повезти», – здраво говорил

Юрий Деточкин. Мысль простая и понятная любому средневековому правителю. Так что они не были склонны отказаться от сулящей выгоды войны из-за кометы.

Существуют и куда более ранние письменные свидетельства о появлении комет. Вот строки из «Книги князя страны Хуай-Нань» II века до н. э., повествующие о гораздо более ранних событиях XI века до н. э.: «Царь Ву идет походом на Жоу лицом к востоку и приветствует Юпитер, прибывает к Ки – и он разлился, подходит к Гонтоу – и он пал; появляется комета, протягивая свою рукоять к народу Иин».

Из отрывка не вполне понятно, кому предвещает несчастье комета, протягивая «рукоять» (хвост) в его сторону. Похоже, сами китайцы не достигли понимания в этом вопросе. Но ясно, что царь Ву не прервал военный поход из-за кометы, понимая, что она подчеркивает и без того очевидное: пан или пропал.

Что до народа, то он подавно не ждал от кометы ничего хорошего, в лучшем случае надеясь, что несчастье падет на голову правителя, обойдя стороной простой люд. Не всегда, однако, появление яркой кометы предшествовало несчастью. Например, изогнутый хвост очень яркой кометы 1456 года был похож то ли на крест, то ли на ятаган. На Западе и на Востоке сие трактовалось как предзнаменование скорой грандиозной войны между христианским и мусульманским мирами. И что же? Ничего особо грандиозного в ближайшие годы не произошло, и интенсивность войн (они-то велись всегда то здесь, то там) была во всяком случае не выше средней.

Но случаев «удачных» предсказаний было куда больше. Комета 60 года н. э., по свидетельству Тацита, однозначно предсказывала свержение и смерть Нерона. Народ поверил, тем более что верить очень хотелось. Как сообщает Светоний, другой император, Веспасиан, на чье правление также пришлось появление яркой кометы, повел контрнаступление на идеологическом фронте. Обладая завидным здравомыслием, Веспасиан нисколько не испугался, а чтобы в народе болтали меньше вздора, объявил, что хвостатая звезда предвещает зло парфянскому царю, а не ему.

Интересно, что сказал по поводу той же кометы парфянский царь?

Очень яркая комета 1811 года – к чему она? Ну ясно: к нашествию Наполеона на Россию. Кто бы сомневался. А комета 1825 года? Тоже не ахти какой бином Ньютона: эта комета предвещала кончину кроткому государю Александру Первому, а прочим слоям русского населения намекала на грядущее восстание на Сенатской площади и бунт Черниговского полка. А как насчет кометы Когоутека в начале 1974 года? Надо полагать, что она предвещала энергетический кризис, охвативший западный мир...

Но шутки в сторону. «Появления комет опасны потому, что их делают опасными люди», – справедливо пишет английский популяризатор науки Н. Колдер. Даже если массовый психоз каким-нибудь чудом не вызовет кровавые беспорядки, то сама жизнь в состоянии непрерывного стресса – сомнительное удовольствие. Мало того что сколько-то истерично настроенных людей обязательно покончит с собой или примет участие в изуверских ритуалах типа «черной мессы», так еще и вырастет опасность эпидемий, не раз выкашивавших, как мы знаем, население европейских средневековых городов. Продолжительный стресс плохо влияет на иммунитет, а о санитарии тех времен можно говорить только с приставкой «анти».

В честь комет иной раз выбивались медали, и нет сомнений, что это делалось по поводу избавления стран и народов от какой-то страшной беды, предсказанной хвостатым светилом. Одно из первых изображений кометы выткала на гобелене, известном теперь как гобелен из Байё, Матильда Фландрская, жена Вильгельма Завоевателя (рис. 78). Художественные достоинства этой работы сомнительны, а комета здорово смахивает на медузу. Два с половиной века спустя итальянский художник Джотто ди Бондоне на фреске «Поклонение волхвов» изобразил по памяти комету 1301 года. Она послужила натурой для Вифлеемской звезды (рис. 79).

Сравним эти изображения с тем, что написал во Франции некий Симон Гуляр о комете 1527 года: «Она навела столь великий ужас, что иные от страха умерли, а другие захворали. Сотни людей видели ее, и всем она казалась кровавого цвета и длинной. На вершине ее различали согнутую руку, держащую тяжелый меч и как бы стремящуюся им поразить. Над острием меча сверкало три звезды, и та, что прикасалась к нему, превосходила своим блеском остальные. По обеим сторонам от лучей кометы видели множество секир, кинжалов и окровавленных шпаг, среди которых множество отрубленных голов со взъерошенными волосами и бородами производили страшное зрелище».



Рис. 78. Гобелен из Байё. В левом верхнем углу – комета Галлея

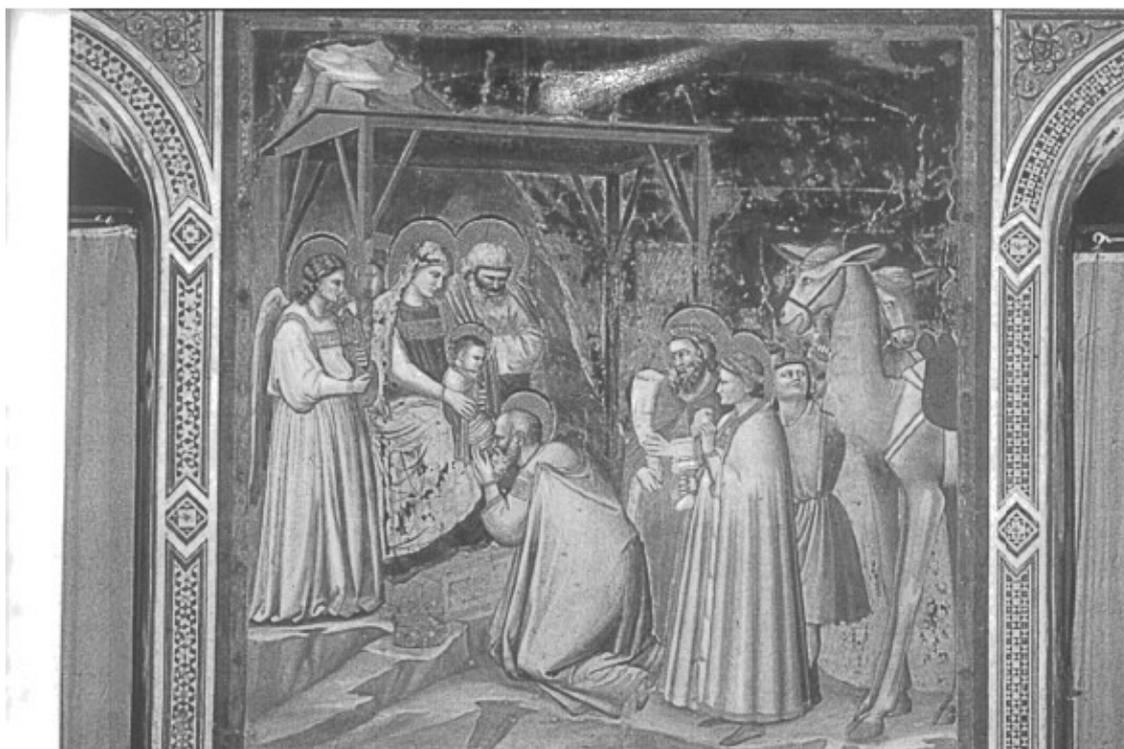


Рис. 79. Изображение кометы на фреске Джотто «Поклонение волхвов»

Что ж, никто и не сомневается в том, что даже у простодушных людей в достаточной степени развито воображение и что массовый психоз – вещь совершенно иррациональная. Лично мне чрезвычайно интересно было бы увидеть комету с красноватым («кровавым») оттенком, но увы – в кометах, которые мне посчастливилось наблюдать как невооруженным глазом, так и в телескоп, не набралось бы «крови» и на то, чтобы напоить комара. Все они были какими-то белесыми...

Замечу в скобках: сколько-нибудь заметный цвет имеют лишь те протяженные небесные объекты, которые обладают достаточной яркостью. За цветовое восприятие отвечают колбочки на сетчатке глаза, а они, в отличие от палочек, обеспечивающих лишь черно-белое зрение, «включаются» лишь при достаточной освещенности. Поэтому ночью все кошки серы. По той же причине для того, чтобы насладиться цветным изображением протяженного космического объекта, будь то комета или далекая туманность, нужен мощный телескоп, а еще лучше – фотоснимок. Комета, чей цвет отличался от белесого при наблюдении невооруженным глазом, должна была иметь феноменальную яркость.

Одну из первых попыток понять физику комет, не впадая в мистические толкования, предпринял Аристотель. Великий рационалист предположил, что кометы суть не что иное, как земные испарения, поднимающиеся в «зону огня» и там воспламеняющиеся в виде гигантских огненных факелов. Такому знатоку природы, каким был Аристотель, наверняка было известно о выбросах горючих газов из болот и деятельности грязевых вулканов, так что его предположение, при всей кажущейся нелепости, все-таки было попыткой объяснить феномен комет с точки зрения современной ему науки. Все же ряд вопросов оставался неясным: почему, например, кометы, различаясь между собой по виду, все-таки имеют сходные детали строения (голова, хвост) и почему одни кометы видны на небе целыми месяцами, медленно перемещаясь среди созвездий, а другие проскакивают небосвод за считанные дни. Похоже, Аристотель выдвинул гипотезу о земных парах просто за неимением лучшей. Показательно, что христи-

анская церковь, объявив учение Аристотеля об эпициклах истиной в последней инстанции, не особенно настаивала на кометной гипотезе великого грека.

В Европе *научный* интерес к кометам возродился лишь в позднем Средневековье. Немецкий астроном Региомонтан (Иоганн Мюллер) положил начало регулярным и тщательным наблюдениям каждой появившейся и видимой невооруженным глазом (поскольку телескоп еще не был изобретен) кометы. Для астронома «наблюдать» не означает просто «глазеть». Региомонтан описал траекторию движения по небу кометы 1472 года, ежедневно отмечая ее положение на небе и направление хвоста. Другой астроном, Апиан, наблюдая за кометой 1531 года, установил, что кометный хвост всегда направлен в противоположную сторону от Солнца.

Уже одно это заставило трещать по швам «испарительную» гипотезу Аристотеля. Кометы сделали попытку «прописаться» среди небесных тел. Правда, они двигались по небу нелогично и подчас очень быстро, из-за чего возникало множество вопросов. Однако выдающийся наблюдатель Тихо Браге, достигший невероятной по тем временам точности измерения координат светил в 2–3 дуги, определил в 1577 года параллакс яркой кометы, следя за ней со своими учениками из двух удаленных друг от друга обсерваторий. Параллакс кометы оказался гораздо меньше лунного, из чего был сделан совершенно правильный вывод: комета находится гораздо дальше Луны.

Как это часто бывает, бесспорные факты не сразу привели к пересмотру представлений о кометах. На первом астрономическом съезде в 1665 году, созванном в Париже по приказу Людовика XIV, обсуждался как раз кометный вопрос. Король, нескромно сравнивавший себя с Солнцем, был обеспокоен появлением яркой кометы в конце 1664 года и требовал от астрономов разъяснений. Несмотря на научную базу в виде наблюдений Региомонтана, Апиана и Тихо Браге, было высказано много фантастических гипотез, свидетельствующих о самых замшелых представлениях о строении Солнечной системы. Высказывались, впрочем, и гипотезы, основанные на гелиоцентрической системе Коперника и на результатах наблюдений.

В 1619 году Иоганн Кеплер предположил, что причиной отклонения кометных хвостов в сторону от Солнца является давление света (открытое и измеренное П.Н. Лебедевым лишь в 1899 году). Для того времени это была очень смелая гипотеза. Но еще большее значение для понимания природы комет имело открытие Кеплером трех основных законов небесной механики, позволивших вычислять кометные орбиты. Вытянутые, с большими эксцентриситетами, они как нельзя нагляднее иллюстрировали законы Кеплера, хотя сам Кеплер неодобрительно, чтобы не сказать враждебно, отнесся к идее, будто кометы подчиняются тем же законам движения, что и планеты. Он считал, что кометы движутся по прямым линиям, а если в их траектории все же наблюдается отклонение от прямой, то оно есть следствие движения Земли вокруг Солнца. Движение комет, по Кеплеру, происходит по реактивному принципу: из кометы выбрасывается вещество, она вспыхивает и летит более или менее прямолинейно; во всяком случае, та часть ее пути, что доступна наблюдениям, почти не отличается от прямой.

Казалось бы, курьез. Великий астроном не заметил того, что было у него в руках! Он отказался признать, что кометы – создания эфемерные и какие-то невразумительные – движутся по открытым им законам. Но этот случай – очень хорошая иллюстрация того, как движется научная мысль и какую роль играют в данном процессе старые, устоявшиеся представления. То ли это вериги на ногах, то ли сандалии Гермеса с крылышками для полета – сразу и не разберешь. Случается и так, и этак. Человеческий разум несовершенен, и заблуждения в науке столь же неизбежны, как – да простится мне такое сравнение – мотания пьяного от забора к забору. Для тех, кого покорило, приведу более лестную аналогию: муравьи, тянущие гусеницу. Они мешают друг другу, и вроде каждый тащит добычу в свою сторону, порой совсем противоположную нужному направлению, однако суммарный вектор движения гусеницы все же направлен к муравейнику.

Ошибочную теорию прямолинейного движения комет разрабатывал другой великий астроном – Ян Гевелий – и усложнил ее до чрезвычайности. Эта теория была еще жива в конце XVII века, когда английский астроном Эдмунд Галлей пытался с ее помощью объяснить движение кометы 1680 года.

Галлей не преуспел в задуманном: траектория кометы ни в какую не желала укладываться в предписанные ей Кеплером рамки. В 1684 году измученный бесплодными поисками «прямолинейного» решения Галлей обратился за консультацией к сэру Исааку Ньютону – и очень хорошо сделал. Во-первых, Ньютон подсказал Галлею траекторию кометы – она оказалась весьма сильно вытянутым эллипсом, близким уже к параболе. Во-вторых, Галлей убедил Ньютона упорядочить его расчеты и опубликовать теорию всемирного тяготения, которую замкнутый и неторопливый Ньютон, может быть, и не опубликовал бы никогда без воздействия со стороны более экспансивного коллеги.

С этого времени появилась возможность точно рассчитывать кометные орбиты. Этим активно занимался сам Галлей, издавший в 1704 году книгу «Обзор кометной астрономии», где был помещен первый каталог элементов орбит 24 комет, наблюдавшихся с 1337 по 1698 год. В этой книге он отметил удивительный факт: элементы орбит трех комет (1531, 1607 и 1682 годов) оказались весьма близки. Галлей предположил, что речь идет об одной и той же комете, наблюдавшейся в трех возвращениях к Солнцу. Правда, не совсем совпадал период обращения: 76 лет и 2 месяца в первом случае и 74 года 10,5 месяца во втором. Галлей совершенно правильно объяснил эту нестыковку влиянием тяготения больших планет и предсказал появление той же кометы в 1758 году.

И комета действительно появилась в самом конце 1758 года. Теперь это самая знаменитая комета, заслуженно названная кометой Галлея (рис. 80). Обычно комета получает имя первооткрывателя (или первооткрывателей, если таковых несколько), но порой бывают исключения. Например, «утраченная», долго не наблюдавшаяся комета, вновь обнаруженная совсем не там, где ей полагалось быть, другим наблюдателем, может получить двойное имя. Случай с Галлеем в сущности того же рода: Галлей заведомо не был первооткрывателем «своей» кометы, наблюдавшейся людьми еще до нашей эры, и тем не менее комета получила его имя, на которое уже никто не дерзнул посягнуть. Предсказать возвращение кометы и ее примерный путь по небу – о, это было очень много для начала XVIII века!



Рис. 80. Комета Галлея в 1910 году

С тех пор комета Галлея исправно возвращалась к Солнцу в 1835, 1910 и 1986 годах. К великому сожалению, предыдущее ее возвращение к Солнцу оказалось крайне неудачным: во время прохождения кометой перигелия Земля находилась по другую сторону от Солнца, так что роскошного зрелища не получилось. В феврале-марте 1986 года комета была видна низко над горизонтом, она уже удалялась от Солнца и имела шестую звездную величину, то есть была практически недоступна невооруженному глазу. Следующего ее появления следует ожидать в 2061 году. В данный момент комета Галлея продолжает удаляться от Солнца, уже пересекла орбиту Нептуна и пройдет афелий в 2023 году. Согласно второму закону Кеплера, скорость этой кометы в афелии очень низка: около 500 м/с. Ясно, что кометы с очень вытянутыми орбитами непропорционально большую часть времени «отдыхают» вдали от Солнца, бредя по орбите еле-еле, а к нам являются ненадолго, пролетая мимо нас обидно быстро, зато порой в очень пышном виде.

Галлей пытался доказать тождественность еще некоторых наблюдавшихся в историческое время комет и вроде бы даже доказал, но более детальные расчеты выявили ошибочность его вычислений. Однако главное было сделано: появилось доказательство того, что кометы – если не все, то многие – являются такими же телами Солнечной системы, как и планеты.

Разница заключалась главным образом в том, что орбиты большинства комет сильно, порой даже очень сильно вытянуты и не склонны концентрироваться к плоскости эклиптики. Углы наклона орбит многих комет очень велики. Некоторые кометы, и среди них комета Галлея, вообще обращаются вокруг Солнца в другую сторону, нежели планеты.

Существуют периодические и непериодические кометы. Первые либо наблюдались в двух и более появлениях, либо вычисленный эксцентриситет их орбит не дотягивает до единицы и можно вычислить, хотя бы приблизительно, период их обращения вокруг Солнца. Известны

кометы с периодами обращения в десятки и сотни тысяч лет. Иногда даже миллионы. Например, комета Делевана имеет афелий, удаленный на 170 тыс. а.е., и период ее должен быть около 24 млн лет.

Периодические кометы уже давно начали классифицировать. Было замечено, что они образуют как бы несколько семейств. Самые короткопериодические кометы с периодами от 3,3 до 10,5 года (в среднем 6 лет) относятся к семейству Юпитера, вблизи орбиты которого лежат афелии орбит этих комет. Это самое многочисленное семейство, причем эти кометы имеют прямое движение, а наклон их орбит к эклиптике невелик. Похоже, Юпитер «терпит» возле себя только такие кометы.

Кометы с периодами обращения от 10,99 до 17,93 года (в среднем 13 лет) относятся к семейству Сатурна, и среди них уже есть «уродцы», движущиеся в обратном направлении (комета Перрайна). Кометы с периодами, тяготеющими к 33 годам, принадлежат семейству Урана, а к 75 годам – Нептуна. Таким образом, комета Галлея с ее 75-76-летним периодом является типичным представителем комет семейства Нептуна – типичным во всем, если не считать ее большой яркости, вызванной близостью кометы к Солнцу в перигелии. Что до обратного движения по орбите, то среди комет семейств Урана и Нептуна это уже не редкость.

Вообще чем более удален от нас афелий кометы и чем больше ее период обращения, тем менее можно ожидать, что ее движение будет обязательно прямым и с малым углом наклона орбиты к эклиптике. Возникает ощущение, что очень долгопериодические кометы приходят к нам из некоего удаленного от Солнца облака, более или менее сферического.

И это действительно так. Облако Оорта содержит, по-видимому, многие миллиарды преимущественно ледяных тел небольших (по космическим меркам) размеров, каждое из которых потенциально может стать ядром кометы. Вполне вероятно, что облако Оорта представляет собой лишь внешнее протяженное гало, которое окружает намного более богатое «хранилище» комет (банк Хиллса) с внешними границами порядка 20 тыс. а.е. и триллионами кометных ядер в запасе. Правда, в отличие от тел облака Оорта с их крайне вытянутыми, почти параболическими орбитами, тела банка Хиллса не имеют привычки врываться во внутренние области Солнечной системы без какого-либо вмешательства со стороны. Таким вмешательством может быть, например, притяжение близко пролетевшей звезды – но и тогда тела банка Хиллса пополняют сначала облако Оорта, а уж затем устремляются к Солнцу. Впрочем, наличие банка Хиллса пока лишь предполагается. Важно то, что кометных ядер на дальней периферии Солнечной системы очень-очень много, хотя их суммарная масса невелика. Иоганн Кеплер однажды сказал: «Комет в Солнечной системе столько же, сколько рыб в океане», – и вряд ли сильно преувеличил. Выше мы договорились считать границами Солнечной системы те весьма отдаленные области, где притяжение соседних звезд начинает преобладать над притяжением Солнца. С этим уточнением высказывание Кеплера кажется вполне обоснованным.

Первое – и предельно ложное – представление о хвостатых светилах человек часто получает еще в детстве из книги Туве Янссон «Муми-тролль и комета». Там комета – раскаленное космическое тело. Не отстал и Жюль Верн, поместивший героев романа «Гектор Сервадак» на поверхность кометы и даже заставивший их отапливать жилища ручейками лавы из раскаленного кометного ядра. Что ж, старые представления о кометах были именно такими...

Но откуда кометы берутся? Советский астроном С.К. Всехсвятский стоял на той довольно древней точке зрения, что кометы являются выбросами с больших планет. Позднее возникли представления о том, что ядра комет – все-таки по преимуществу ледяные тела, но образовались они во внутренних областях Солнечной системы, а в облако Оорта были выброшены гравитацией Юпитера и Сатурна. Этих воззрений до сих пор придерживаются некоторые астрономы. По скромному и совершенно не авторитетному мнению автора этой книжки логичнее считать, что ледяные тела – прародительницы комет – сформировались все же на больших удалениях от Солнца из остатков вещества, не пошедшего на формирование Солнца и планет.

Так или иначе, теперь достоверно известно, что ядро кометы – это просто большая грязная ледышка, довольно рыхлая, похожая на покрытый грязной коркой весенний сугроб. В позапрошлом и отчасти прошлом веке многими учеными допускалось, что ядро кометы может представлять собой не одно, а несколько тел, связанных взаимной гравитацией. Мы знаем теперь, что это не так.

Еще в 1986 году около ядра кометы Галлея прошли советские аппараты «Вега-1», «Вега-2», за ними европейский «Джотто» – и с ядрами комет все стало ясно: единые тела. Следующая встреча космического аппарата с кометой состоялась лишь в 2004 году, когда АМС Stardust сблизился на расстояние 240 км с ядром кометы Вильда-2 и собрал частицы кометной пыли, которые позднее доставил на Землю. В возвращаемой капсуле оказалось около 30 частиц кометного вещества – немного, конечно, но куда лучше, чем ничего.

Качественно новый – экспериментальный! – этап в изучении комет наступил 4 июля 2005 года, когда специальный снаряд зонда Deep Impact врезался в ядро кометы Темпеля-1. Снаряд летел не совсем точно, и чуть было не случилось промаха, но «чуть», как известно, не считается. Удар снаряда выбил из ядра кометы облако вещества, которое и было подвергнуто исследованию. Выяснилось, что ядро этой кометы – рыхлое, пористое образование. Состав ядра – разные льды (водяной, аммиачный, метановый и др.), силикаты в виде пылинок и ряд простых органических веществ. По-видимому, ядро кометы Темпеля-1 – вполне типичное кометное ядро, не отличающееся какой-либо уникальной «изюминкой», так что можно сказать, что миссия Deep Impact просветила нас насчет кометных ядер вообще.

На большом расстоянии от Солнца газы, естественно, выморожены и присутствуют в виде льдов, но по мере приближения к Солнцу льды начинают испаряться. Ядро кометы окутывается туманной оболочкой – *комой*. Прежде ее часто называли головой кометы. Кома намного крупнее ядра; ядро по сравнению с ней – как клоп в перине. Кома кометы Галлея в максимальном развитии раза в полтора превышает диаметр орбиты Луны, а кома знаменитой кометы 1811 года, описанной Львом Толстым в «Войне и мире», была еще вдвое больше, то есть превосходила диаметр Солнца.

Что является отличительным признаком кометы – хвост? Нет, кома. Хвост у нее может и не развиться. Если комета слабая, если она проходит перигелий далеко от Солнца, даже лучшие телескопы могут и не обнаружить у нее хвоста. Хотя он, конечно же, есть всегда, пусть очень слабый. Ведь давление света и солнечный ветер в любом случае действуют на кому, «сдувая» ее вещество прочь от Солнца.

Хвосты порой бывают колоссальных размеров – миллионы и десятки миллионов километров (рис. 81). Не раз наблюдались кометные хвосты чудовищной длины – больше расстояния от Земли до Солнца. Рекорд здесь поставила комета 1882 II – длина ее хвоста превысила 900 млн км, то есть шесть астрономических единиц! Причиной тому было чрезвычайно близкое прохождение от Солнца – на расстоянии всего 450 тыс. км. Неудивительно, что эта комета по сию пору считается самой яркой: в наибольшем блеске она имела звездную величину -16,9, то есть сияла на небе значительно ярче полной Луны. Второе место по длине хвоста вроде бы держит комета 1843 года: 330 млн км.

С запуском космического аппарата SOHO, выведенным на окоლოსолнечную орбиту и предназначенным для исследования солнечной короны, и развитием Интернета появилась возможность открыть комету, буквально не вставая с дивана. Свежие снимки ближайших окрестностей Солнца, сделанные SOHO, появляются в сети регулярно, и на них иногда можно видеть, как распускают хвосты окоლოსолнечные кометы (рис. 82 на цветной вклейке).

Их ядра наверняка весьма малы – иначе эти кометы были бы обнаружены задолго до приближения к Солнцу. Почти все эти кометы исчезают навсегда, испаренные солнечным излучением без остатка. Некоторые из этих комет даже врезаются в Солнце.

Сами по себе эти кометы-малютки (яркими их делает только губительная близость перигелия к нашему светилу) не так уж интересны, зато они лишний раз показывают нам, сколько в космосе мелких тел, большинство из которых мы просто не в состоянии обнаружить.

Не бывает двух совершенно одинаковых комет – каждая имеет свои характерные особенности и только ей присущий вид. В первую очередь индивидуальная «физиономия» кометы определяется хвостом. Хвосты бывают разные и поддаются классификации. Встречаются хвосты прямые и изогнутые, узкие, как спица, и пушистые, напоминающие луч прожектора и похожие на веер. В первом приближении можно сказать, что наблюдаются два основных типа хвостов: пылевые и газовые. Не так уж редко у кометы развиваются хвосты обоих типов. Такой была относительно недавняя яркая комета Хейла – Боппа (рис. 83 на цветной вклейке), прекрасно видная невооруженным глазом даже в залитом светом центре мегаполиса и радовавшая любителей астрономии в течение нескольких месяцев.

Давление солнечного света по-разному действует на пыль и газ. Газовые хвосты обычно прямые и направлены строго прочь от Солнца. Пылевые хвосты часто изогнуты и выдают траекторию кометы, так как вытянуты вдоль ее орбиты. Состав газовых хвостов: окись и двуокись углерода, азот, циан, гидроксил и т. д. В спектре кометы 1957d были обнаружены линии излучения кислорода.

Средний размер частичек пыли в кометных хвостах – около 100 нм (од мкм), то есть это очень мелкая пыль. Хотя в гуще этой мелочи могут находиться и крупные песчинки, и даже большие камни. Все зависит от того, насколько близко комета подходит к Солнцу в перигелии, и от свойств кометного ядра.

Бывают и комбинированные хвосты. Иногда наблюдаются хвосты, направленные в сторону Солнца, что, казалось бы, ни в какие ворота не лезет. Однако это всегда лишь кажется: на самом деле хвост направлен все-таки от Солнца, но под углом к основному хвосту, а Земля расположена так, что хвост кажется направленным на Солнце, что, конечно, нелепо.

Иногда хвосты, якобы направленные к Солнцу, имеют вид тонких длинных лучей. Такой была, например, комета Аренда – Ролана в 1957 году (рис. 84). Могло бы показаться, что направленный к Солнцу хвост имеет реальную физическую природу, то есть представляет собой узкую струю газа, по какой-то случайности вырвавшуюся из ядра кометы в направлении Солнца, – но это не так.



Рис. 84. Комета Аренда – Ролана

Комы и хвосты возникают только во взаимодействии с солнечным излучением и солнечным ветром. Предположим, к Солнцу приближается долгопериодическая комета. Вдали от Солнца она лишена комы и хвоста: составлявшие их газы либо вымерзли и осели на ядро, либо улетучились в космическое пространство. Вся комета состоит пока только из ядра – глыбины грязного льда поперечником в несколько километров. Обнаружить такую комету где-нибудь на расстоянии орбиты Сатурна практически нереально.

Но вот комета приближается к орбите Юпитера. Здесь еще очень холодно, но все же гораздо теплее, чем на периферии Солнечной системы, да и солнечный ветер уже заметен

и выбивает из ядра молекулы. Лды наиболее летучих газов из ядра кометы начинают испаряться, и ядро одевается туманной оболочкой, пока еще слабой. Однако из-за нее яркость кометы возрастает, и у земных наблюдателей появляется реальный шанс обнаружить такую комету.

По мере дальнейшего приближения к Солнцу кома вокруг ядра кометы растет, причем ускоренными темпами. Если обыкновенное твердое тело по мере приближения к Солнцу увеличивает свою яркость в квадратичной зависимости, то комета – примерно в четвертой степени. Приблизившись к Солнцу вдвое, она засияет в 16 раз ярче. Происходит это, естественно, из-за того, что процесс испарения ядра ускоряется все сильнее и сильнее. Кома растет, появляется хвост. Но вот комета достигает орбиты Земли, где солнечное излучение нагревает тело до 4 °С. При этой температуре бурно испаряются лды ядра: углекислотный, метановый, аммиачный и даже водяной. Поверхность ядра обычно покрыта грязной коркой, и газы, взламывая ее, вырываются из ядра настоящими гейзерами. Некоторое представление об этом процессе может дать голливудский фильм «Столкновение с бездной», где этакая струя вышвырнула в космос одного из копошащихся на поверхности ядра астронавтов. Сценарий вполне возможный!

Не раз в ядрах комет наблюдались взрывоподобные процессы, когда из головы кометы вылетало облачко и быстро двигалось вдоль хвоста. Сильны взрывы и наблюдаемы или слабы и ненаблюдаемы, суть одна: вещество уходит из ядра кометы. При каждом возвращении кометы к Солнцу она теряет часть массы (иногда до 1 %), и притом лды теряются активнее силикатов. Как следствие, чем большее число раз комета возвращалась к Солнцу, тем толще минеральная (опять-таки преимущественно силикатная) корка на поверхности ее ядра, и тем большую силу должны развить образующиеся под коркой газы, чтобы проломить преграду и вырваться в космос. При этом газы увлекают с собой множество минеральных частиц. Образно говоря, со старых комет песок сыплется – и образует пылевые хвосты. Но очень старая, много раз возвращавшаяся к Солнцу комета может быть одета такой плотной «броней», что газы уже бессильны проломить для себя широкие проходы и истекают вовне лишь по трещинам. Такие кометы подчас обманывают наблюдателей, сияя на несколько звездных величин слабее, чем ожидалось. Например, широко разрекламированная в СМИ комета Когоутека (1973f) в начале 1974 года не оправдала надежд и едва-едва была видна невооруженным глазом. Причину объяснили те же СМИ, и, против своего обыкновения, объяснили квалифицированно: газы не смогли взломать толстую корку на поверхности ядра. Вообще прогнозам насчет ожидаемого блеска комет не следует очень уж доверять.

Противоположный пример: комета Холмса. Это заурядная комета из семейства Юпитера, открытая еще в XIX веке. Как все кометы этого семейства, она слабая, поскольку уже давно короткопериодическая и слишком часто проходила перигелий, так что минеральной «грязи» на ее поверхности предостаточно. Во время очередного возвращения к Солнцу в 2007 году никто не ждал от этой кометы чудес. Слабая, телескопическая, она была интересна лишь немногим астрономам, занимающимся кометами, да небольшому числу любителей, владеющих солидными телескопами. И вот 24 октября 2007 года комета Холмса вспыхнула, да еще как! Из тусклого объекта 17-й звездной величины она засияла как светило 3-й величины, то есть увеличила свою светимость более чем в полмиллиона раз! Комета была прекрасно видна как «лишняя» туманная звезда в созвездии Персея. Округлая кома этой кометы достигла в диаметре 1,4 млн км, то есть немного превзошла диаметр Солнца, что нечасто бывает с кометами. И это при ядре поперечником всего-навсего 3,6 км! Профессиональные астрономы и любители с восторгом накупились на комету. В те дни ее наблюдали миллионы людей. Правда, длинного яркого хвоста наблюдатели не дождались – с трудом различался лишь какой-то неубедительный «крысиный хвостик», но дело тут было в неудачном взаимном расположении Солнца, Земли и кометы – хвост почти весь прятался за комой.

Комета Холмса и прежде иногда преподносила сюрпризы, вспыхивая на 3–4 звездных величины, но чтобы сразу на 14 звездных величин – такого еще не бывало и никем не ожидалось. О причинах вспышки, впрочем, не пришлось гадать, они были очевидны: взлом газами толстого слоя грязной корки и взрывоподобное истечение их в пространство. Учитывая значительное на тот момент расстояние кометы от Солнца, можно предположить, что ядро кометы испытало столкновение с крупным метеоритом (или маленьким астероидом, не суть важно), каких в Солнечной системе многие миллионы. Метеорит, естественно, пробил минеральную корку на поверхности ядра и, во-первых, выбросил в пространство великое множество ледяных осколков, а во-вторых, уничтожил преграду на пути газов, стремящихся вырваться наружу.

Сказанное заставляет задуматься: так ли уж вечны кометы? Ведь при каждом приближении к Солнцу они безвозвратно теряют часть вещества – теряют даже в том случае, если в ядро не врежется какой-нибудь метеорит. Ядро кометы слишком мало, чтобы по мере удаления от Солнца вновь собрать своим притяжением значительную часть комы, а тем более хвоста. Размеры ядер многих комет измерены и находятся в диапазоне от какой-нибудь жалкой сотни метров до десятков километров. Ядро знаменитой кометы Галлея – грушевидное тело с максимальным поперечником около 6 км (рис. 85). Где уж столь малому телу притянуть обратно потерянные газ и пыль! Очень не зря кометы образно именуется «видимым ничто» – громадные размеры комы и хвоста при совершенно ничтожной массе. На рис. 86 показано ядро другой кометы.

Показательна нетипичная комета Вискара 1901 года, имевшая четыре очень ярких хвоста, раскинутых веером, и ядро, лишённое туманной оболочки. Как мог произойти такой «уродец»? Вероятно, следующим путем: газ бурно фонтанировал сквозь проломы в минеральной корке, и скорость его истечения была достаточно высока, чтобы он сразу же улетал в пространство, образуя хвосты и не задерживаясь в крайне слабом гравитационном поле ядра.

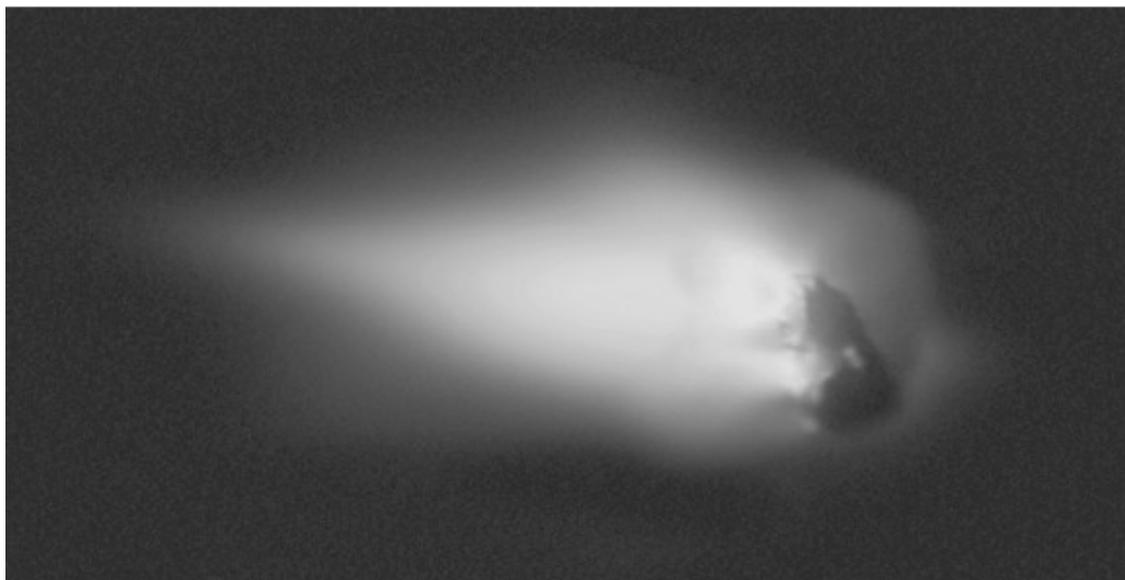


Рис. 85. Ядро кометы Галлея

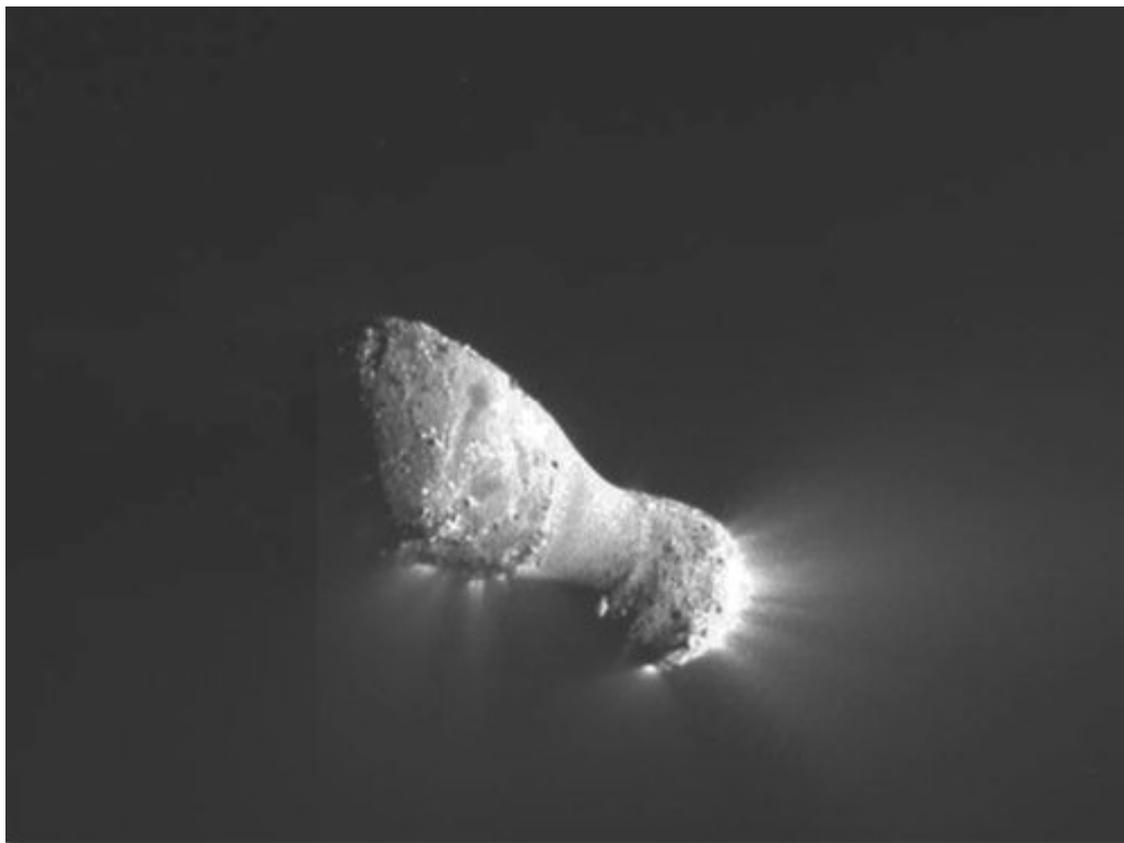


Рис. 86. Ядро кометы Хартли-2

В фантастическом рассказе «Союз пяти» А.Н. Толстой говорил устами одного из персонажей о влиянии тяготения кометы Биелы на стабильность системы Земля – Луна. Сейчас эти строки нельзя читать без улыбки. Притяжение комет столь ничтожно мало, что ученым, занимающимся вопросами небесной механики, и в голову не придет учитывать его в расчетах. Если что и пострадает при тесном сближении кометы и любой из планет, так это комета. Ощутит ли на себе мчащийся автомобиль воздействие комара, пролетевшего рядом и попавшего в вихревой поток? Ни в малейшей степени. Несладко придется комару, а не автомобилю.

Непрочность комет показала всему миру как раз комета Биелы, разделившаяся в 1845 году надвое на глазах изумленных наблюдателей. Ее наблюдали двойной в 1852 году, после чего потеряли. По-видимому, комета разрушилась полностью, дав начало метеорному потоку.

Распадались на части и другие кометы, например, комета Брукса в 1889 году явилась в сопровождении четырех «попутчиков» – небольших комет, каждая из которых, однако, имела хвост. В следующие появления наблюдалась только главная комета, а «попутчики», несомненно отпочковавшиеся от нее, исчезли. Разваливались и некоторые другие кометы.

Закономерен ли такой итог их жизни? По-видимому, нет. Приглядимся повнимательнее к семейству Юпитера. Оно многочисленно (рис. 87), но в нем нет ярких комет. Каждый год «ловцы комет» открывают новые кометы из этого семейства, и все они телескопические, причем нужен не самый скромный телескоп, чтобы зафиксировать комету хотя бы на фотографии. Комы этих комет малы и слабы, хвосты коротки и тоже слабы. Вполне естественно: за свою долгую жизнь эти кометы отдали уже очень много газа и гораздо меньше (в процентном отношении) пыли. Их ядра покрыты толстой коркой, и можно с полной уверенностью утверждать, что в очередном перигелии из такого ядра выделится мало газа, если только ядро не стукнет метеорит. А что же будет с этими кометами дальше?

Ответ очевиден и скучен: очень старые кометы практически перестают выделять газ даже в перигелии и все больше начинают напоминать астероиды. И действительно, такие объекты известны. Они образуют как бы промежуточный класс между кометами и астероидами. Бывает, что такой объект считается кометой, а бывает, что астероидом. Некоторые из этих тел носят двойные обозначения – как кометы и как астероиды.

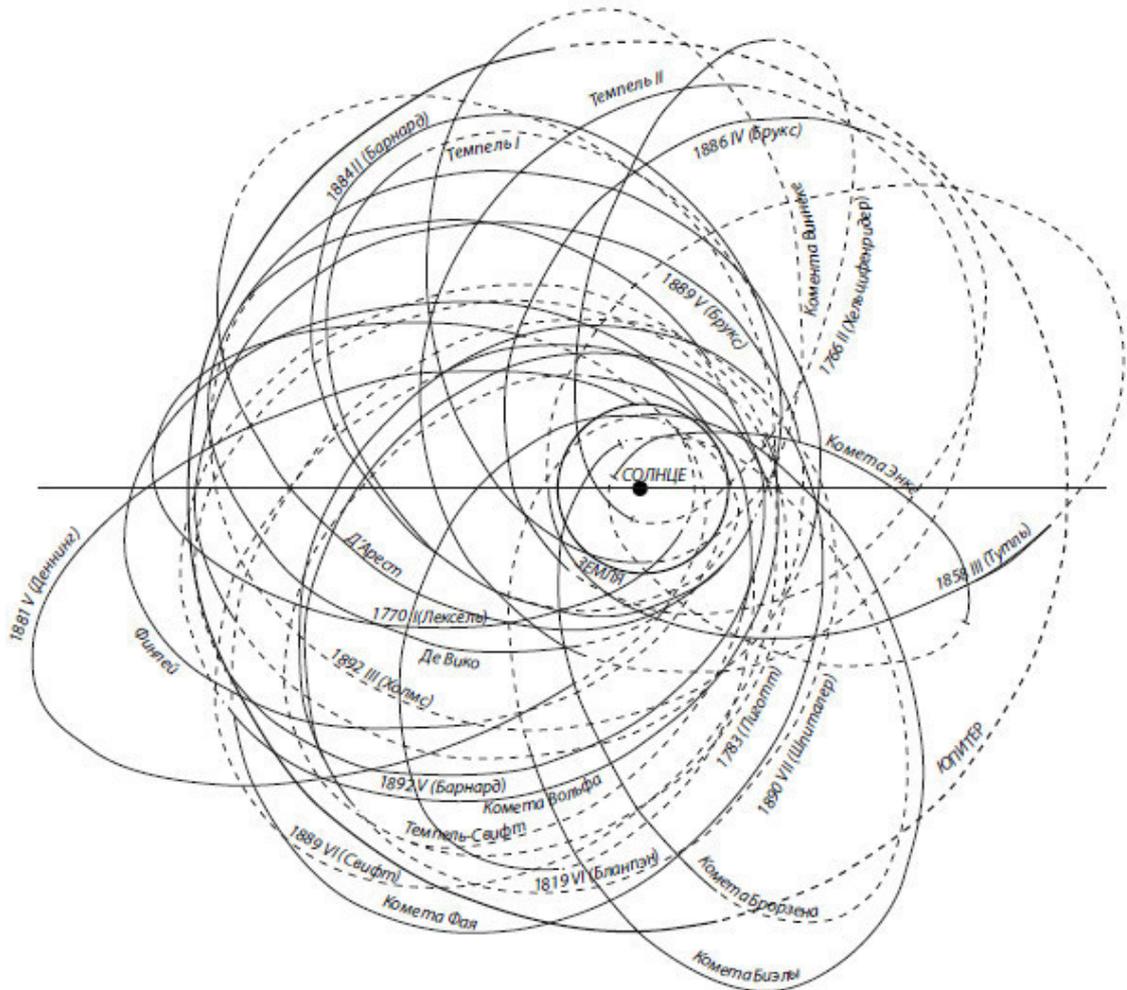


Рис. 87. Орбиты некоторых комет системы Юпитера

Если говорить об орбитах, то прежде всего приходит на ум комета Отерма из семейства Юпитера. Орбита этой кометы типично астероидная. Она целиком заключена между орбитами Марса и Юпитера, и, если бы не слабая туманная оболочка вокруг этого объекта, считаться бы ему зарядным астероидом.

Другой пример – астероид Фаэтон из числа потенциально опасных для Земли объектов. Когда выяснилось, что «планеты Ольберса» никогда не бывало, припасенное для нее имя Фаэтон оказалось невостребованным, и его дали маленькому пятикилометровому астероиду, который, двигаясь по сильно вытянутой орбите, в перигелии приближается к Солнцу втрое ближе Меркурия. Очень похоже на то, что Фаэтон – не настоящий астероид, а «выгоревшее» кометное ядро, в котором уже просто не осталось льда. Если это так, то комета-прародительница имела когда-то очень солидное ядро, наверняка не менее 10-20 км в поперечнике, а может быть, и гораздо больше.

Наиболее ярки долгопериодические или вовсе непериодические кометы. Оно и понятно: их визиты во внутренние области Солнечной системы редки, и потеря вещества для них не

столь актуальна. Хотя... это лишь вопрос времени. Возьмем хоть ярчайшую комету Донати 1858 года. По некоторым свидетельствам, эта комета была так ярка, что предметы в ее свете отбрасывали заметные тени. В следующий раз эта комета вернется в XXXIX веке, иными словами, период ее обращения – около 2000 лет. Не слишком удивительно, что комета была столь яркой! Однако нет сомнений, что комета Донати (и уж тем более комета Галлея) когда-нибудь потеряют столько льда, что не будут превосходить яркостью слабенькие кометы системы Юпитера. Произойдет это еще нескоро, но обязательно, если только какая-нибудь причина не заставит комету изменить орбиту так, что она станет гиперболической, ведущей в бесконечность...

Главная из этих причин – гравитация планет-гигантов. Второстепенная – реактивный эффект при выбрасывании струй газа. Между прочим, из-за реактивного эффекта приближение даже хорошо известных комет до сих пор не может быть предсказано абсолютно точно. Разница во времени в несколько суток и в положении на небе в несколько градусов – вполне заурядные явления.

Но сближения комет с Юпитером влияют на их орбиты гораздо сильнее. Именно Юпитер виновен в том, что некоторые периодические кометы после сближения с ним навсегда покидают пределы Солнечной системы. Нередко бывает и наоборот: комета с практически параболической орбитой, сблизившись с Юпитером, становится периодической кометой. Бывают и более изощренные сценарии.

В марте 1993 года известные «ловцы комет» Кэролайн и Юджин Шумейкеры совместно с Дэвидом Леви открыли новую комету, получившую название кометы Шумейкеров – Леви-9.

Уже на момент открытия ядро кометы выглядело разрушенным и распавшимся на несколько фрагментов. Вычисления показали, что 9 июля 1992 года комета прошла чрезвычайно близко от Юпитера – на расстоянии половины его радиуса. Притяжение планеты-гиганта разорвало ядро кометы минимум на 22 фрагмента и перевело их с гелиоцентрической орбиты на околоюпитерианскую. Поскольку ядро кометы изначально было весьма солидным (20-километровым), каждый фрагмент представлял собой небольшую, но полноценную комету. У всех была кома, а у многих и заметный хвост. Вытянувшись цепочкой, этот кометный выводок (рис. 88 на цветной вклейке) совершил один оборот вокруг Юпитера по очень вытянутому эллипсу с двухлетним орбитальным периодом. Расчеты показали, что первый оборот осколков кометы вокруг Юпитера будет и последним. И действительно, в июле 1994 года фрагменты кометы Шумейкеров – Леви посыпались на Юпитер. Один за другим кометные ядра вонзались в облачный покров гигантской планеты, каждый раз вызывая колоссальный взрыв. К великому сожалению, все до единого фрагменты упали на невидимой с Земли стороне Юпитера. Астрономы чуть локти себе не кусали: самое «вкусное» осталось за кадром. Но Юпитер вращается быстро, и уже очень скоро астрономы смогли наблюдать округлые темные пятна – пробоины в облачности, обнажившие глубокие слои атмосферы.

Можно не сомневаться, что столкновение ядра кометы с Землей приведет к последствиям вполне катастрофическим. По мнению многих специалистов, Тунгусский метеорит был все же не каменным телом, а ядром маленькой кометы. На это косвенно указывают необычайно светлые ночи, наблюдавшиеся по всей Земле в течение нескольких суток до столкновения. Совсем не исключено, что они были вызваны свечением атомов земной атмосферы, возбужденных столкновениями с молекулами кометной головы. Почему эта комета не наблюдалась астрономами до столкновения – не вопрос. Можно не сомневаться, что даже в наши дни, когда на орбите работают спутники с инфракрасными телескопами (ими-то и открывается сейчас большинство комет), некоторые кометы все же ускользают от взгляда астрономов. Во-первых, это мелкие кометы. Во-вторых (к Тунгусскому телу это не относится), это кометы с очень большими перигелийными расстояниями, лежащими где-то за орбитой Юпитера, а то и дальше. В-третьих, комета может «подкрасться» со стороны Солнца. И, наконец, в-четвертых,

комета может быть просто пропущена по чистой случайности. В наши дни это, по-видимому, происходит редко, но в том, что это все же иногда бывает, нет никаких сомнений.

Тунгусский взрыв был эквивалентен взрыву 10–15 мегатонн тротила. И это сделало тело всего лишь 50-метрового размера. Сам характер вывала леса указывал на то, что взрывная волна огибала неровности рельефа, что характерно для объемного взрыва. Таким он по идее и должен был быть, если бы в атмосферу Земли влетело на космической скорости тело, состоящее из метанового льда.

А теперь представим себе, что с Землей готово столкнуться не 50-метровое, а километровое (или больше) кометное ядро, причем скорость его относительно Земли может намного превышать скорость астероидов и достигать 72 км/с. Представили? Ничего хорошего нас в этом случае не ждет. Можно лишь говорить с большой уверенностью, что само по себе столкновение Земли с ядром кометы не вызовет гибели всего человеческого рода, но все равно последствия такого импакта станут для человечества крайне болезненными. Хуже всего, если удар последует внезапно, как это было в 1908 году в бассейне Подкаменной Тунгуски, и придется на территорию одной из стран – членов «ядерного клуба», причем в густонаселенной и стратегически значимой местности. О возможных последствиях подумайте сами. Причина их уже будет чисто человеческой, никак не связанной с космическими феноменами...

Радует лишь то, что прямое попадание ядра мало-мальски крупной кометы в Землю – явление ничуть не более вероятное, чем столкновение Земли с астероидом. В этой связи надо заметить, что жизнь в условиях разнообразных опасностей для каждого конкретного человека не только характерна, но и неизбежна. Живут же неаполитанцы поблизости от Везувия, хорошо известного своим дурным нравом! А сколько людей обитает в сейсмически опасных зонах? А в природных очагах эпидемий? А в зонах тайфунов и торнадо? Погибнуть от действия этих факторов на много порядков вероятнее, чем от столкновения с кометой.

Пока что из известных комет к Земле ближе всего подошла комета Лексея в 1770 году. Минимальное расстояние до нее составило 2,26 млн км. Юпитер изменил орбиту этой кометы, присоединив ее к своему кометному семейству, а спустя два обращения комета снова приблизилась к Юпитеру, после чего ее больше не видели.

Чего совсем не следует бояться, так это отравления земной атмосферы кометными газами при прохождении Земли сквозь кому или хвост кометы. Доказано опытом.

В 1910 году комета Галлея являла собой роскошное зрелище, а ее громадный изогнутый хвост, по-видимому, коснулся Земли. Не только людьми, далекими от науки, но и некоторыми учеными высказывались по этому поводу серьезные опасения. Как уже тогда было известно из данных спектроскопии, хвост кометы содержит газы, вдыхание которых пользы не приносит, в частности циан. Как это часто бывает, журналистская братия раздула предстоящее событие до масштабов грядущей эпической катастрофы. Миллионы людей на Земле опасались, что ядовитый хвост кометы отравит нашу атмосферу и все живое на планете. Не шибко разбирающееся в астрономии православное духовенство из Самары выпустило листовку со следующим замечательным текстом (орфография за исключением устаревших букв сохранена):

«Заклятие против встречи с Галлей:

Ты, чорт, сатана, вельзевул преисподний! Не притворяйся звездой небесной! Не обмануть тебе православных, не спрятать хвостища богомерзкого, ибо нет хвоста у звезд господних! Провались ты в тартарары, в пещь огненную, в кладезь губительную.

А ты, Люцифер, всем чертям чорт, всем бесам бес!

Не боимся мы, христиане благоверные, твоего гада утробного мерзкочревного, Галлей зловонный! Не уморит она нас чадом смердным, газом тлетворным.

Да запечатает господь бог царь небесный уста наши и ноздри ладаном благоуханным!

Галлея свирепая, змеища лютейшая, хвостище поганое!

Обмокни свой хвост в реку огненную, да почернеет он, да опалится, да изжарится, да попадет на завтрак твоему родителю Люциферу!

Не Галлея ты, а анафема анафем!

Сто крат, двести, триста, четыреста, пятьсот, шестьсот шестьдесят шесть, иже в Апокалипсисе написано, будь ты проклята навсегда, запечатана навеки!

Ключ, замок, аминь десять раз!»

Даже завидки берут – умели же духовные лица писать сочные тексты (хотя определенно не знали, кто такой Эдмунд Галлей и как надо правильно называть комету)! Однако легко догадаться, что подобные заклинания действовали на комету не более чем танцы с бубном. Когда же кометный хвост и Земля отошли друг от друга на некоторое расстояние, выяснилось, что страхи были абсолютно беспочвенными. То количество кометного газа, которое оказалось захвачено Землей, растворилось в атмосфере совершенно бесследно, что и неудивительно. Если сравнить довольно солидную массу земной атмосферы с ничтожной массой захваченного газа (вспомним, что хвосты комет сильно разрежены), то станет ясно, что изменение газового состава атмосферы оказалось столь мало, что не могло быть зафиксировано никакими научными методами.

Впрочем, листовки русских монахов – это еще что! В том же 1910 году американская полиция едва успела помешать некоей секте «святых последователей» принести в жертву юную девушку. В католических странах участились самоубийства. О событиях 1910 года Н. Колдер пишет со свойственным ему сарказмом: «Победный марш демократии подорвал веру в то, что кометы нацелены только на сильных мира сего. Многие люди, не имевшие ни малейших прав на королевский сан, кончали жизнь самоубийством, ища спасения от сияющих ужасов ночи, и таким образом комета получала то, что ей положено. А если астрологи считали, что разнообразные испанские и итальянские самоубийства слишком мелки для такого знаменья, у них была возможность поздравить себя с тем, что король Эдуард VII, властелин Британской империи, над которой никогда не заходили ни Солнце, ни комета, тоже незамедлительно скончался по этому сигналу – от кометы, осложненной бронхитом».

Но вернемся к возможному отравлению атмосферы и специально для тех, кого не убеждают слова, не подкрепленные цифрами, прикинем концентрацию в ней циана, предположив наихудший сценарий. Допустим, мимо Земли пролетает весьма солидная комета с массой ядра 10^{15} кг. Пусть ядро кометы потеряло 1 % массы на образование комы и хвоста (что очень много) и пусть 10 % этой массы составляет ядовитый циан (что тоже очень много). Пусть Земля умудрилась притянуть 1 % этого количества газа (что невероятно много). Пусть притянутый Землей газ сразу же равномерно рассеялся в атмосфере (что тоже невероятно, но будем усугублять ситуацию по максимуму). Получим массу циана в 10^{10} кг, смешавшуюся с воздухом. Масса земной атмосферы составляет $5,16 \times 10^{18}$ кг. Следовательно, концентрация циана составит, грубо говоря, 2×10^{-9} . Заставим теперь каждого человека интенсивно дышать, вдыхая 4 литры воздуха каждые 3 секунды. Выйдет, что за сутки человек прокачает через свои легкие 28 800 литров воздуха, что соответствует 37 килограммам. За сутки человек вдохнет около 0,074 мг зловердного циана. Смертельная для человека доза синильной кислоты составляет 0,05 г (цианистого калия – впятеро больше, как ни странно); это количество и возьмем за основу. В результате окажется, что человек, дыша, как спортсмен после тренировки, получит свои 50 мг где-то за 675 суток. А теперь вспомним, что далеко не весь вдыхаемый циан поглощается организмом, как поглощается им далеко не весь вдыхаемый кислород, и увеличим «роковой» 675-суточный срок примерно вчетверо. Затем учтем процессы нейтрализации и вывода циана из организма, а также еще более актуальные процессы нейтрализации циана в природной среде, примем во внимание то, что циан менее ядовит, чем цианиды, не говоря уже о

синильной кислоте, – и поймем, что бояться нам совершенно нечего. Промышленные выбросы в атмосферу гораздо опаснее кометных газов.

Не раз высказывались предположения о том, что именно кометы доставили на Землю воду – как будто она не содержалась в достаточном количестве в земных породах. Некоторые ученые допускали и допускают, что и сама жизнь (в виде микробов) была занесена на Землю кометами. Вряд ли это предположение можно подтвердить. Существует и такое мнение: некоторые болезни попадают к нам с нынешних комет. Колдер фыркает по этому поводу: «Ну конечно же, а свиньи умеют летать».

О кометах вообще и о некоторых из них в частности (о комете Галлея, например) написаны целые книги, в том числе немало популярных. Это и неудивительно: очень уж завораживающий вид имеет яркая комета на небосводе. Если любитель астрономии с телескопом вздумает наблюдать астероиды, то его скорее всего ждет разочарование: в свой любительский телескоп он заведомо не увидит диска даже крупнейших из них. Иное дело – кометы. Многие из них можно при благоприятных условиях наблюдать в небольшие телескопы, а яркие кометы, хорошо видимые невооруженным глазом, появляются в среднем раз 5–6 за столетие. Но «в среднем» не означает «равномерно во времени». Иногда несколько ярких комет следуют друг за другом, а бывает и так, что ярких комет нет в течение целых десятилетий. К примеру, такая ситуация сложилась во второй половине XX века. На протяжении примерно тридцати лет после великолепной кометы Икейя – Секи (1965 год) появлялись лишь слабые кометы, в лучшем случае едва-едва видимые невооруженным глазом, и вдруг одна за другой пошли яркие кометы: Хиакутаке (1996), Хейла – Боппа (1996–1997), Икейя – Чжана (2001) и др.

Открыть комету – мечта многих любителей астрономии и некоторых профессиональных астрономов. В СССР несколько комет открыл Г.Н. Неуймин, часть из них была открыта еще в дореволюционной России. Не раз открывали кометы и другие отечественные астрономы (особенно из Симеизской обсерватории) и любители, например К.И. Чурюмов и Н.С. Черных. Открытиями комет прославились супруги Шумейкеры из США, Минору Хонда и Каору Икейя из Японии, француз Понс, чех Мркос, австралиец Бредфилд и др. Многие из них никогда не были профессиональными астрономами.

Достоин удивления, что одну из своих комет Бредфилд открыл в бинокль! Еще интереснее то, что среди открытых им 12 комет нет ни одной периодической.

Бредфилд вел поиск с небольшим телескопом в радиусе 60° от Солнца. Именно там наиболее велик шанс найти яркую комету раньше, чем это сделает какой-нибудь космический телескоп. Некоторую роль сыграло и то, что южное полушарие Земли вплоть до последних десятилетий было гораздо хуже оснащено астрономическими обсерваториями и любителей там тоже было меньше. Но упорство Бредфилда в любом случае достойно большого уважения и вполне заслуженно было вознаграждено открытиями.

Комет открыто уже достаточно много, поэтому каждой новой комете помимо имени первооткрывателя присваивается цифробуквенный индекс. Лишь околосолнечные кометы не получают названий, потому как нет смысла давать имя тому, что совсем скоро исчезнет. В прежние века, когда много хвостатых странниц ускользало от внимания астрономов, а яркие кометы, как и сейчас, появлялись не так уж часто, кометы обозначались просто по году, а иногда также месяцу наблюдения, порой с добавлением эпитетов. Например: Большая июньская комета 1845 года. Позднее кометы, наблюдавшиеся в течение года, стали обозначаться так: год наблюдения и латинская буква, соответствующая порядковому номеру открытой или отождествленной кометы. Например, обозначение 1960d означало, что это четвертая комета, наблюдавшаяся в 1960 году. Комета могла быть как новой, так и известной периодической в очередном возвращении к Солнцу.

Параллельно прижилась и другая система регистрации, в которой указывался год ее последнего прохождения перигелия (если комета наблюдалась в этом возвращении) и римская

цифра, соответствующая числу ее предыдущих наблюдавшихся возвращений. Пример: комета 2009IV. Такая система регистрации была более удобна для статистики.

Но первая система перестала устраивать астрономов, поскольку практически в каждом году число наблюдавшихся комет уже превышало количество букв в латинском алфавите, и к тому же было бы неплохо отразить в обозначении физическую природу объекта. В 1995 году систему изменили. Обозначение года осталось, но теперь ему предшествует префикс C/. Остальное уже напоминает новые обозначения астероидов. Скажем, комета Хиакутаке (рис. 89 на цветной вклейке) получила обозначение C/1996 B₂, что означает: этот объект является кометой, он был открыт в 1996 году во второй половине января (B), вторым по счету (2).

Если период кометы не превышает 200 лет или ее возвращение к Солнцу наблюдалось более одного раза, то комета переходит в разряд периодических. Ей присваивается порядковый номер, префикс убирается, зато добавляется латинская буква P. Пример: обозначение 55P получила известная комета Темпеля – Туттля.

Если ядро кометы развалилось на фрагменты, то каждый из них получает свое обозначение: 96P-A, 96P-B и т. д. Кометам, чью орбиту не удалось вычислить, дают префикс X/. А для утерянных либо столкнувшихся с чем-нибудь комет введен префикс D/. Реальные примеры в течение только одного года: X/1998 G₃ и D/1998 Y₁.

Но хватит об обозначениях. Поговорим о том, что происходит с веществом, выброшенным кометами. Газы комы и хвоста, естественно, улетучиваются и рассеиваются в пространстве, это можно видеть, наблюдая удаляющуюся от Солнца комету. Хвост ее, направленный от Солнца, то есть вперед по ходу движения, с каждым днем становится короче, а кома тускнеет, уменьшаясь в размерах. Параболическая скорость возле ядра кометы не превышает нескольких метров в секунду, поэтому газы уходят в пространство практически беспрепятственно. А что же пыль?

Пылевые хвосты, как мы знаем, распределяются вдоль кометной орбиты (потому-то они нередко кривые). Каждая пылинка имеет свою начальную скорость, а кроме того, на пылинки действует притяжение других тел Солнечной системы. Вид пылевых хвостов наглядно иллюстрирует это: узкие у головы кометы, они заметно расширяются на больших расстояниях от головы. Что же происходит дальше?

С древнейших времен человечество знакомо с метеорами (рис. 90). Одиночные метеоры, в появлении которых не удается уловить никакой закономерности, называются *спорадическими*. Часто, однако, метеоры вылетают из одной точки неба, которая называется *радиантом* метеорного потока. По созвездию, в котором находится радиант, и называется метеорный поток: Леониды (Лев), Персеиды (Персей), Геминиды (Близнецы), Урсиды (Малая Медведица) и т. д. Всего насчитывается около 80 известных и довольно постоянных метеорных потоков. В тех случаях, когда два метеорных потока имеют близкие радианты, находящиеся в пределах одного созвездия, указывается ближайшая яркая звезда. Скажем, в созвездии Водолея (латинское название: Аквариус) расположены радианты двух метеорных потоков: эта-Акварид и дельта-Акварид.

Естественно, веерообразное расхождение метеоров в атмосфере – кажущееся, обусловленное проекцией. На самом деле метеоры летят практически параллельно друг другу. В популярной литературе издавна используется такая аналогия: если вы стоите на железнодорожных путях и смотрите вдоль них, то рельсы кажутся сходящимися вдаль, хотя на самом деле они параллельны.

Метеорный поток наблюдается, когда Земля пересекает орбиту какой-либо кометы. Возможно, это бывшая орбита, а комета давно уже движется по новой траектории или вообще перестала существовать, а возможно, речь идет об известной орбите известной кометы – это не важно. Важно то, что комета успела «насорить», и частицы этого космического сора, вле-

тая в земную атмосферу со скоростями, означающими для них летальный исход, сгорают на больших высотах.



Рис. 90. Фото метеора

Старые метеорные потоки уже очень сильно растрепаны и распределены вдоль орбиты кометы довольно равномерно. Таковы Персеиды, чей максимум приходится на 12 августа. Примерно с 20 июля по 20 августа Земля проходит сквозь широко «раздувшийся» метеорный рой Персеид, и часовое число метеоров, вылетевших из созвездия Персея, не превышает 10–20. Около 12 августа на графике активности потока наблюдается узкий максимум, когда часовое число метеоров достигает 100, а затем оно быстро спадает до обычной величины. Забавно, что в древней Спарте совет старейшин, всегда стремившийся не давать слишком много воли царям, придумал злую шутку: раз в 9 лет 11 как раз в августе! – жрецы смотрели в звездное небо, и, если видели падающую звезду, это значило, что какой-либо из царей (их было два) провинился перед богами. Надо очень постараться, чтобы не заметить августовской ночью метеор, а значит, царская власть то и дело висела на волоске. Спартанцы, с презрением относившиеся к таким «ненужным» материям, как наука и философия, поневоле были народом богобоязненным, знамениям верили, и злополучному монарху могло помочь лишь заступничество оракула.

Порой случаются и настоящие метеорные дожди (рис. 91). Они не раз были зафиксированы в исторических хрониках. В Никоновской летописи за 1533 год имеется запись: «Тоя осени, октомврия месяца 24, в ноци с пятницы на субботу в граде Москве видеша мнози люди: звезды по небу протягахуса, яко же вервии, летаху с востока на зимний запад».



Рис. 91. Метеорный дождь

Говоря о метеорных дождях, никак нельзя обойти молчанием прямою противоположность Персеидам – Леониды. Это молодой поток. Его максимум обычно приходится на 18 ноября, но далеко – и очень далеко! – не каждый год оказывается урожайным на метеоры этого потока. Родоначальница Леонид хорошо известна – это комета 55P Темпеля – Туттля²² с периодом обращения около 33 лет. В разные – и вполне исторические – годы эта комета выбросила локальные рои, некоторые из них немного опережают комету, некоторые немного отстают и притом несколько отклоняются от орбиты кометы-прародительницы. Как следствие, иногда Земля попадает либо в основной рой, либо в один из локальных, и тогда на Земле наблюдается не просто метеорный поток, а самый настоящий метеорный дождь. Чем новее рой, сквозь который пронесется Земля, тем интенсивнее наблюдаемый всплеск активности Леонид.

Комета Темпеля – Туттля относится к семейству Урана. В некотором отношении она антипод кометы Галлея, поскольку улетает в афелии в прямо противоположную область неба. Но период обращения кометы Темпеля – Туттля намного меньше: всего 33,3 года. Как следствие, Земля может пройти (но не обязательно проходит!) сквозь самую гущу метеорного роя раз в 33 или 34 года. В остальные годы часовое число Леонид, как правило, незначительно, и дилетанты, задравшие головы к небу в «неурожайный» год, остаются разочарованными: на что, мол, тут смотреть?

А и верно: особенно не на что. В обычные годы Леониды ничуть не интенсивнее большинства других метеорных потоков, а то и слабее их. Лишь вблизи «заветного» года, наступающего лишь трижды в столетие, есть смысл заняться «ловлей» Леонид.

Между прочим, именно для метеорного потока Леонид было впервые (в 1833 году) установлено существование радианта, а также периодичность. Эти факты не могли быть объяснены

²² Такие транскрипции имен первооткрывателей этой кометы устоялись в русском языке. Современные СМИ часто называют это небесное тело кометой Темпеля – Таттла или Тампла – Таттла. Возможно, это фонетически ближе к истине, но я счел уместным оставить традиционное название. – *Примеч. авт.*

ничем, кроме космического происхождения «падающих звезд». Вот так – довольно поздно – было доказано, что метеоры все-таки не земные испарения, каковыми их считали древние греки и каковыми их продолжали считать некоторые ученые еще каких-нибудь двести лет назад...

Самый мощный метеорный дождь из всех зафиксированных наблюдали жители США в ночь с 16 на 17 ноября 1966 года. По приблизительным подсчетам, за один час небо прочерчивало от 60 тыс. до 144 тыс. метеоров – зрелище воистину феерическое. Конечно, это были Леониды. В виде метеорного дождя они наблюдались также в 1799 году (первый научно описанный метеорный дождь), в 1833-м, в 1866-м и т. д. В 1833 году часовое число Леонид достигло 70 тыс. Казалось, будто над Землей бушует метель.

Зато в 1899 и 1933 годах Леониды совсем не порадовали: метеоров было очень мало. Причину не пришлось долго искать: комета Темпеля – Туттля тесно сблизилась с Юпитером, «подкорректировавшим» ее орбиту, а заодно и орбиту метеорного роя.

Эта комета в последний раз проходила перигелий в 1998 году. Естественно, ожидался всплеск активности Леонид, и прогнозы радовали: до 5000 метеоров в час. Однако на самом деле часовое число метеоров достигло лишь 360, что очень много для любого другого потока, но обидно мало для Леонид. Один из прогнозов на 1999 год сулил 500 метеоров в час, а другой предсказывал три максимума с интенсивностью 500, 5500 и 160 метеоров в час соответственно. В реальности действительно наблюдались три максимума, причем второй из них был самым интенсивным (3700 метеоров в час), а ошибка во времени наступления этого максимума составила всего 8 минут.

В 2001 году Леониды вновь выдали два пика с максимальной активностью до 2800 метеоров в час, а после 2002 года активность этих метеоров упала до часового числа в 10–15 метеоров. В следующий раз комета Темпеля – Туттля вернется к Солнцу в 2033 году, но всплеска активности Леонид, увы, не прогнозируется, так как комета вновь пройдет близко к Юпитеру. Впрочем, есть еще надежда на ошибку в прогнозе...

Любопытное наблюдение провели 18 ноября 1999 года несколько американских исследователей метеоров. Снабдив свои телескопы видеокамерами, они направили их на не освещенную Солнцем часть Луны с целью зарегистрировать вспышки от падения крупных метеорных частиц. В отличие от Земли, снабженной атмосферной броней, Луна не может предложить метеорам сгореть в атмосфере и вынуждена терпеть их попадания. Само собой, при столкновении с поверхностью Луны на скорости в несколько десятков километров в секунду метеорное тело мгновенно превратится в облачко раскаленного газа. Со стороны это должно выглядеть как кратковременная вспышка.

Таки вышло. Сразу несколько наблюдателей сообщили о вспышках на Луне, а трем из них удалось снять вспышки на видеокамеру. Самая яркая вспышка была 3-й звездной величины. Покадровый просмотр показал, что она видна и на двух соседних кадрах.

Все-таки приятно, что наша планета одета атмосферой, не пропускающей метеорные частицы...

Резкими усилениями активности, вполне достойными назваться метеорными дождями, могут нас порадовать и другие метеорные потоки. Так, например, 9 октября 1933 года на пике активности метеорного потока Драконид наблюдался самый настоящий метеорный дождь. Правда, пик оказался довольно узким, а сами метеоры были неяркими.

А от чего вообще зависит яркость метеора? От двух очевидных причин: массы влетевшего в атмосферу метеорного тела и от его скорости. Массы песчинок или камешков, вызывающих видимые невооруженным глазом метеоры, лежат в пределах от миллиграммов до граммов, а теоретический диапазон скоростей относительно Земли известен: от 12 до 72 км/с. Естественно, метеор будет тем ярче и белее, чем массивнее и быстрее была породившая его частица. По скорости пальму первенства следует отдать Леонидам: 71 км/с. Леониды и Земля движутся

почти точно навстречу друг другу. Дракониды же неярки и желтоваты, так как их скорость относительно Земли всего 23 км/с.

А бывают ли скорости метеорных частиц, превышающие 72 км/с? Да, случается и такое диво. Причин может быть две. Во-первых, влияние Юпитера. Уж если он может выбросить из Солнечной системы комету, то почему он не может сделать то же самое с метеорным потоком или его частью? В некоторых случаях Земля может оказаться на пути таких выброшенных частиц, разогнанных до солидных скоростей.

Вторая причина интереснее: высокоскоростные метеорные частицы могут прийти к нам из других звездных систем. В самом деле, коль скоро Солнце окружено обширнейшим облаком Оорта, у нас нет никаких оснований утверждать, что соседние звездные системы лишены такого же «украшения» на дальней периферии. Если это так, то и вокруг других звезд должны обращаться кометы, а если там есть еще и планеты (а почему бы нет?), то иногда кометы должны выбрасываться из своих звездных систем и попадать в другие системы, в том числе Солнечную. То же касается и кометного мусора – метеорных частиц. Возможна и иная причина распространения по Галактике метеоров: вспышки сверхновых звезд.

Сообщения о внесолнечных метеорах поступали еще с 30-х годов XIX века. Дело в том, что скорость метеора в атмосфере измерить нетрудно, например, сфотографировав его трек с применением стробоскопа. И если скорость превышает 72 км/с, то...

Еще надежнее методы радиолокации, позволяющие к тому же работать по метеорам днем и в любую погоду. Радиоволны отражаются от метеорных следов, чем издавна пользуются как радиолюбители, устанавливающие межконтинентальные связи в УКВ-диапазоне как раз во время активности метеорных потоков, так и специалисты по метеорам. В 1997–1998 годах Дэвид Мейзел из США и его коллеги измерили величину и направление скорости в околоземном пространстве для 2100 метеоров. Анализ их орбит показал, что 140 из них двигались в окрестностях Земли с гиперболическими скоростями. Причину высоких скоростей примерно 40 из них можно отнести на счет влияния планет-гигантов, но остальные – определенно прилетели к нам из других звездных систем, причем большая их часть явилась из созвездий Парусов и Близнецов.

А может ли таким же образом явиться к нам чужая комета? Может – но пока ни одной такой кометы не зарегистрировано.

Причины очевидны. Сравним площадь всего неба с площадью, ограниченной, скажем, радиусом орбиты Юпитера при взгляде на нее с Альфы Центавра, и поймем, что у выброшенной из этой звездной системы кометы есть лишь ничтожнейший шанс попасть во внутренние области Солнечной системы, где комета будет замечена. Практически нет сомнений в том, что на самых дальних границах Солнечной системы, где притяжение Солнца уравновешено притяжением соседних звезд, идет обмен ледяными телами, но мы этого не видим. Нужен уж очень точный «снайперский выстрел», чтобы астрономы увидели на небе комету, порожденную «чужим» ледяным ядром, и, измерив ее скорость, убедились в том, что орбита кометы резко гиперболическая. Правда, не стоит забывать, что орбиты комет исследуются немногим более трехсот лет – срок по астрономическим меркам ничтожный. Подождем еще...

Ежедневно на Землю выпадает несколько тонн метеорного вещества в диапазоне от мельчайших пылинок до камешков. Вся эта мелочь благополучно сгорает в атмосфере – как правило, на высотах от 120 до 70 км. Можно вычислить реальный путь метеора в атмосфере, если наблюдения будут вести два наблюдателя, разнесенные на несколько десятков километров и точно сверившие свои часы. Если, например, оба наблюдателя заметят в 23 ч 15 мин. 03 с яркий метеор и зарисуют его след на звездной карте, то реальный путь метеора можно получить из простых геометрических построений.

Многие знают такой феномен, как серебристые облака (рис. 92–93 на цветной вклейке). В средних широтах их можно наблюдать месяца за полтора до летнего солнцестояния и месяца

полтора после него через два-три часа после захода солнца в северо-западной части неба, а под утро – в северо-восточной. Они сияют на небе не каждую ночь, но все же достаточно часто. Сама возможность наблюдать серебристые облака говорит об их чрезвычайной высоте над земной поверхностью. Ведь они светят отраженным светом Солнца, находящегося далеко под горизонтом. Как же они образуются?

Обычные облака гуляют в тропосфере, редко забираясь выше 10-12 км. Выше нет условий для конденсации пара. Однако на высоте 82 км (плюс-минус километр) существует узкий высотный «коридор», где конденсация водяного пара в облака вновь становится возможной. Для образования капельки нужна лишь «затравка» – мельчайшая пылинка, вокруг которой будет конденсироваться пар. Для провоцирования дождя в засуху или, скажем, для того, чтобы тучи пролились дождями на подступах к мегаполису, не испортив его жителям праздник, люди используют йодистое серебро или сухую углекислоту, распыляя эти вещества в воздухе при помощи самолетов или зенитных орудий. Каждая мельчайшая частичка этих веществ становится центром конденсации, и готово – пошел дождь.

Из серебристых облаков дожди не идут – все-таки очень мало влаги на больших высотах. Но самим своим происхождением серебристые облака все-таки обязаны твердым частицам – метеорным. Это убедительно доказала спектроскопия, обнаружившая в серебристых облаках линии натрия, кальция и других элементов, совсем не характерных для атмосферы. Но важно еще раз подчеркнуть: основа серебристых облаков все-таки водяная, а мельчайшие пылинки – недогоревшие фрагменты метеорных частиц – играют лишь роль центров конденсации паров в капельки. Казалось бы, серебристые облака – чисто метеорологический феномен, однако они по традиции все еще числятся «по ведомству» астрономии. Это отголосок тех времен, когда считалось, что серебристые облака состоят исключительно из метеорной пыли.

Несомненно, у пытливого читателя уже возник вопрос: все ли метеорные частицы из потоков столь мелки, что сгорают в атмосфере, и нет ли среди них солидных глыб? Ведь бурное, а подчас и взрывообразное истечение газов из ядра кометы наверняка способно вырвать и унести в космос не только мелкие частицы грязной корки, покрывающей ядро, но и более крупные фрагменты, каменные или ледяные. И читатель прав: многие метеорные потоки богаты яркими болидами (рис. 94 на цветной вклейке).

Правда, это богатство и калибр камней часто переоцениваются. Вот отрывок из все того же рассказа «Союз пяти» А.Н. Толстого:

«Потоки звезд все гуще бороздили небо. Началось падение аэролитов. Извиваясь, как змеи, раскаляясь до ослепительнозеленого цвета, они силились пробить воздушную броню Земли и распадались в пыль. Их встречали криками, как борцов, идущих к финишу. Вот один, другой, третий аэролит устремились со страшной высоты прямо на площадь. Испуганно кое-где вскочили люди. Площадь затихла. Но, не долетев, разорвались воздушные камни, и только издали громохнул гром».

Красочно, но не очень вероятно. Впрочем, как утверждал Честертон, «самое странное в чудесах то, что они случаются». Разумеется, это происходит чрезвычайно редко, иначе речь не шла бы о чудесах. 13 августа 1930 года в небе над бразильской сельвой взорвалось некое космическое тело. По словам наблюдателей-индейцев из поселка Куруса, с неба с оглушительным грохотом упали три огненных шара, а почва под ногами содрогалась, как при землетрясении. Наблюдался пеплопад. Позднейшие исследования, проведенные в том районе, выявили в джунглях три крупные депрессии, расположенные цепочкой. Наибольшая из них имеет диаметр около 1 км и окружена четко выраженной кольцеобразной структурой. Нет сомнения: над сельвой взорвалось что-то похожее на Тунгусский метеорит, только энергия взрыва была на порядок меньше: около 1 Мт. Что бы там могло взорваться?

Возможно, не зря дата феномена практически совпала с максимумом Персеид. На эту связь указывает также ориентация цепочки депрессий в направлении север – юг. Более убедительно

тельных доказательств нет, но нет и никаких причин, почему бы от ядра кометы 109P/Свифта – Туттля, считающейся прародительницей Персеид, не могли отколоться достаточно крупные фрагменты минеральной корки и даже льда. А если так, то столкновение их с Землей или каким-нибудь другим космическим телом – лишь вопрос времени.

Практически всегда – очень большого времени. Так что нет особых поводов для беспокойства.

13. Планетные системы у других звезд

Боюсь, у читателя еще не сложилось представление о Солнечной системе как части Галактики. Все-таки плотность звезд в галактических окрестностях Солнца мала для того, чтобы звезды периодически пролетали друг около друга, обмениваясь планетами и другими телами. Нам нечего бояться того, что какая-нибудь «шальная» звезда или черная дыра утащит Землю прочь от Солнца, как в знаменитом рассказе Ф. Лейбера «Ведро воздуха». Если когда-нибудь и произойдет сближение Солнца с другой звездой, то оно, во-первых, вряд ли будет достаточно тесным, а во-вторых, никто не даст гарантию, что к тому времени на Земле еще сохранится цивилизация. Сожалеть о первом не стоит, а что до второго, то вся футурология бессильна в этом вопросе. В конце концов, может быть, наши потомки раньше доберутся до звезд, чем звезды до них?

Крайне любопытно: что они там найдут? Часть – пока малую – ответа на этот вопрос можно получить уже сегодня.

То, что звезды – это далекие солнца, стало известно довольно давно. Если в XVI веке еще было много сомневающихся, и среди них великий наблюдатель Тихо Браге, то в «просвещенном» XVIII столетии таковых практически не осталось. После того как в середине XIX века были измерены параллаксы некоторых звезд, картина окончательно прояснилась: наше Солнце – лишь одна из великого множества звезд, расположенных чаще всего на больших расстояниях друг от друга.

Солнце имеет планеты. Почему бы и другим звездам не быть окруженными планетными семьями? Что мешает такому предположению? Разве что пресловутый «антропный принцип» мог бы ему помешать, но, во-первых, он не был еще сформулирован, когда люди задумались о планетах возле других звезд, а во-вторых, этот принцип разумно привлекать лишь в том случае, когда никакие мыслимые наблюдения и эксперименты не могут прийти на помощь, скажем, в вопросе «почему основные физические константы имеют именно такое численное значение, а не другое?». Что до планет возле других звезд, то еще сто лет назад стало ясно, что их обнаружение хотя и чрезвычайно затруднено, более того, невозможно при существовавших тогда средствах наблюдения, но в будущем – как знать?

Для писателей-фантастов планеты возле других звезд были такой же обыденностью, как Луна или Венера. Некоторые описывали гигантские звезды, окруженные сотнями планет, – и не очень-то напрягали при этом фантазию. Обыкновенная экстраполяция. Самое интересное, что с позиций современной науки в таком предположении нет ничего фантастического: ведь массивная звезда образуется из *очень* массивного газово-пылевого облака, причем собственно в звезду превращается лишь часть его (тем меньше в процентном отношении, чем массивнее звезда), а остальное либо выметается прочь световым давлением и рассеивается в пространстве, либо конденсируется в спутники, которые могут быть даже звездами, а уж планетами и подавно. Во всяком случае, вещества для формирования планет вокруг массивных протозвезд более чем достаточно. Напротив, при формировании маломассивных красных и коричневых карликов почти все вещество протозвездного облака уходит на создание звезды, и для планет, во всяком случае крупных, может просто не хватить «строительного материала». Положение меняется, когда маломассивная протозвезда является спутником более массивной протозвезды-соседки, окруженной достаточно плотным газово-пылевым диском, – тогда процесс формирования планет у маломассивной звезды будет сходен с процессом формирования спутников крупных планет Солнечной системы, скажем, Юпитера.

В целом процесс формирования планет при формировании звезд есть, по-видимому, процесс неизбежный, и чисто умозрительные построения мыслителей ушедших веков (Джордано Бруно и др.) о множественности миров получили полную поддержку со стороны совре-

менной нам науки, что бывает нечасто. Но каким образом могла бы быть открыта планета у одной из ближайших звезд?

Тем же самым, каким в XIX и XX веках были открыты невидимые спутники звезд, слишком массивные, чтобы быть планетами. Понятно, что методы измерений физических характеристик звезд постоянно совершенствуются, это банальность. Чуть-чуть меньшая банальность – то, что совершенствование методов позволило совершить качественный скачок и выявлять на расстояниях в десятки и сотни световых лет уже не тусклые звезды-спутники, а планеты.

Способов три основных и два с крайне ограниченным применением. О некоторых уже говорилось выше, но повторить будет не вредно. Итак, первый из основных способов: выявление волнообразности линии собственного движения звезды. Второй: выявление периодического смещения спектральных линий вследствие ускорения либо замедления движения звезды под действием притяжения планеты (или планет). Третий: обнаружение периодического уменьшения светимости звезды при прохождении планеты по ее диску – совсем как в затменно-переменных звездах. Этот способ годится лишь в том случае, если направление на звезду практически совпадает с плоскостью ее орбиты – или орбита планеты очень мала.

Но именно третьим способом было открыто множество экзопланет – так называют планеты, обращающиеся возле других звезд (от греческого «экзо» – «вне», «снаружи»). Увидеть или сфотографировать их с помощью телескопа крайне сложно, вот и приходится «ловить» периодические слабые колебания яркости звезды. Проблема визуального обнаружения заключается и в слабости самой планеты, и, главное, в ореоле вокруг звезды. Планета попросту тонет в нем. Даже при самых благоприятных атмосферных условиях или, допустим, при наблюдениях из космоса звезда никогда не бывает точкой. Ее изображение, даваемое телескопом, всегда состоит из центрального пятна и окружающих его концентрических *колец Эри*, быстро слабеющих по мере удаления от центрального пятна. На пятно в идеальном (практически недостижимом) случае приходится 84 % света звезды, а остальное – на кольца. (Чем хуже оптика телескопа, тем шире кольца и тем больше света «перекачивается» в них из центрального пятна.) Таковы законы оптики, спорить с ними бесполезно. Угловые размеры пятна и колец зависят лишь от апертуры оптического инструмента. Апертуру телескопа (иногда называемую входным отверстием и часто – диаметром объектива, хотя для некоторых оптических систем апертура не равна диаметру объектива) нельзя увеличивать до бесконечности – этому мешают технологические и финансовые причины. Но можно применить оптическую интерферометрию, когда два или более разнесенных телескопа объединены в систему. Технологически это очень непросто, но возможно. Например, телескоп VLT (Very Large Telescope), построенный в пустынном чилийском высокогорье, состоит из четырех 8,2-метровых зеркал, способных работать как порознь, так и совместно. Разрешающая способность такой системы определяется уже не апертурой одного зеркала, а базой – расстоянием между зеркалами. С помощью оптической интерферометрии «ловцы» экзопланет пытаются увидеть то, что никакими другими способами увидеть не удастся. В последние годы это начало получаться, но пока очень редко. Вдобавок оптическая интерферометрия – пока еще не способ открыть экзопланету, а лишь возможность увидеть экзопланету, открытую другим способом.

Четвертый способ, имеющий гораздо более ограниченное применение, чем затменный, основан на эффекте *гравитационного микролинзирования*. Из общей теории относительности следует, что в поле тяготения световые лучи должны искривляться, как траектория стального шарика, пущенного по полу и прокатившегося по пологой ямке между ее краем и центром. Метод гравитационного линзирования широко применяется для исследования самых дальних областей Вселенной, когда гравитационная линза (скажем, далекая галактика, едва-едва заметная в крупнейшие современные телескопы) повышает яркость объекта (скажем, очень далекого квазара), находящегося далеко за линзой, и делает возможным его обнаружение. Гравитационное микролинзирование – в принципе то же самое, но на меньших расстояниях и с меньшими

массами гравитационных линз. В качестве линзы может выступать, например, обыкновенная звезда.

Метод обнаружения экзопланет при помощи гравитационного микролинзирования сродни проверке качества оптики телескопа по реальному небу. Исследователей не слишком интересует то, что находится за линзой, – лишь бы там находилось что-нибудь излучающее (например, галактика). Исследованию подлежит сама звезда, являющаяся гравитационной линзой. Если у этой звезды имеются планеты, то их можно обнаружить по несимметричности кривой блеска и некоторым другим эффектам. Приятно, что этот метод чувствителен к планетам малой массы, вплоть до земной. По состоянию на сентябрь 2011 года этим методом открыто 13 экзопланет.

Наконец, пятый способ и вовсе экзотический. Он годится только для поиска планет, обращающихся вокруг нейтронных звезд, причем не всех из них, а только тех, которые являются пульсарами. Нейтронная звезда образуется при взрыве сверхновой, причем опять-таки не всякой сверхновой. При взрыве звезды ее внешние слои разлетаются с большой скоростью во все стороны, образуя характерную расширяющуюся туманность, а ядро, согласно теоретическим моделям, может превратиться либо в нейтронную звезду, либо в черную дыру, либо ядро вообще разрушится, и тогда на месте звезды не останется просто ничего. Конкретный сценарий взрыва зависит прежде всего от массы звезды. В нейтронные звезды превращаются ядра сравнительно небольшой массы.

Что такое нейтронная звезда? Это весьма небольшой объект с характерным радиусом всего-навсего 10 км при типично звездной массе, состоящий преимущественно из чрезвычайно плотно «упакованных» нейтронов. В начале своей жизни нейтронная звезда чрезвычайно сильно намагничена и бешено вращается.

К примеру, нейтронная звезда, находящаяся в центре знаменитой Крабовидной туманности – остатка взрыва сверхновой в 1054 году, – имеет период вращения вокруг своей оси 0,033 с, и найдены нейтронные звезды, вращающиеся еще быстрее. Правда, с течением времени вращение нейтронных звезд понемногу (очень понемногу!) замедляется, но молодые нейтронные звезды вращаются невероятно быстро. Оно и понятно: ведь им при рождении досталась значительная часть момента вращения погибшей при взрыве звезды, а радиус нейтронной звезды крайне мал. Естественно, нейтронная звезда будет крутиться с бешеной скоростью.

Нейтронной звезде достается и магнитное поле «родительской» звезды, вследствие чего напряженность магнитного поля у поверхности нейтронной звезды просто чудовищна. Собственно, наличие мощнейшего магнитного поля при чрезвычайно быстром вращении и сделало нейтронные звезды (во всяком случае молодые) легко наблюдаемыми в радиодиапазоне объектами. Если магнитное поле нейтронной звезды дипольное, то в ее магнитосфере формируются два конуса излучения радиоволн, а поскольку магнитные полюса вообще редко совпадают с полюсами вращения, нейтронная звезда начинает излучать импульсы радиоволн по принципу проблескового маячка. Все молодые нейтронные звезды являются *пульсарами*. Со временем, однако, магнитное поле нейтронной звезды слабеет, а вращение замедляется (все правильно: за мощнейшее радиоизлучение надо чем-то платить), и нейтронная звезда перестает быть пульсаром. Правда, она может стать им опять, если вновь раскрутится, поглотив сколько-то вещества со стороны и если ее магнитное поле не сильно ослабло. Этим «посторонним» веществом может стать газ, перетекший на нейтронную звезду от «нормальной» звезды-соседки, или планетное вещество, выпавшее на нейтронную звезду. Вот о планетах и поговорим.

Если у пульсара имеются планеты, то его излучение носит осциллирующий, то есть «дрожящий», характер. По этому «дрожанию» в принципе можно определить параметры планет.

Первые экзопланеты у нейтронной звезды PSR 1257+12 были открыты в 1991 году. Эти планеты были признаны вторичными, образовавшимися уже после взрыва сверхновой. Всего

же у нейтронных звезд по состоянию на март 2010 года открыто пять планет – три планеты у одной звезды и две у другой.

Но человека по понятным причинам в первую очередь интересуют планетные системы, где могла бы существовать жизнь. В этом смысле планеты, обращающиеся вокруг нейтронных звезд, ничем не радуют. Если планета образовалась до взрыва и как-то пережила его, то на ней *уже* не может быть жизни, а если она возникла после взрыва сверхновой, то на ней *еще* не может быть жизни. Тут надо еще заметить, что планеты, обращающиеся вокруг нейтронных звезд по небольшим орбитам, относительно недолговечны. Такая система излучает гравитационные волны, тем более мощные, чем ближе к нейтронной звезде орбита планеты. Энергия, уходящая с гравитационными волнами, берется, конечно же, из энергии орбитального движения планеты. По этой причине планета будет мало-помалу приближаться к нейтронной звезде, пока не пересечет предел Роша и не будет разорвана приливными силами. Вещество планеты со временем выпадет на нейтронную звезду и может продлить ее жизнь в качестве пульсара – тем дело и кончится. Поэтому перейдем к экзопланетам, обращающимся вокруг обычных звезд.

История вопроса такова. В начале XX века американский астроном Э. Барнард обнаружил, что наибольшим видимым движением по небу обладает тусклый красный карлик 9,5 звездной величины, являющийся ближайшей к нам звездой после тройной системы Альфа Центавра. Эта невзрачная звездочка, типичный представитель многочисленного класса весьма слабых звезд правой части главной последовательности, в которых едва-едва идет протон-протонная реакция, обладает на диво заметной прытью: за 180 лет перемещается по небу на расстояние, равное лунному диаметру. Если бы таким видимым движением обладали яркие звезды, то рисунки созвездий и границы между ними пришлось бы то и дело корректировать. Выше уже говорилось о том, что эта ничтожная звезда, находящаяся сейчас в созвездии Змееносца, получила громкое имя Летящей звезды Барнарда.

В начале 1960-х научный мир был потрясен: опять-таки американский астроном Питер ван де Камп объявил об обнаружении им волнообразности траектории движения Летящей звезды. Величина смещения звезды соответствовала массе невидимого спутника, равной всего-навсего полутора массам Юпитера! Энтузиасты могли сами додумать остальное: коль скоро вокруг звезды Барнарда обращается массивная газовая планета (или планеты), то по аналогии с Солнечной системой там должны быть и меньшие тела, напоминающие планеты земной группы. Неужели получила подтверждение гипотеза о повсеместной распространенности планетных систем?

Да, получила, но гораздо позднее. Другие исследователи, набросившиеся на звезду Барнарда после сообщения ван де Кампа, не нашли в ее движении никакой волнообразности. Видимо, ван де Камп не сумел учесть какую-то систематическую инструментальную ошибку и принял ее за реальную волнообразность траектории звезды.

Первая реальная экзопланета была обнаружена Б. Кэмпбеллом, Г. Уолкерсом и С. Янгом лишь в 1988 году у оранжевого субгиганта Гамма Цефея А, но это открытие было подтверждено лишь в 2002 году. С тех пор сообщения об открытии все новых экзопланет стали поступать по нарастающей, и теперь этим никого не удивишь, если только новая экзопланета не обладает какими-нибудь уникальными свойствами. Открытие экзопланет стало своего рода спортивным состязанием между разными группами ученых и даже любителей. Ведь, в отличие, скажем, от ядерной физики, астрономия открыта для любителей, а затраты, необходимые на постройку и оборудование обсерватории, не уступающей профессиональной, хотя и весьма значительны, но все же не запредельно велики.

Подавляющее большинство экзопланет открывается в наше время методом измерения лучевых скоростей звезд и затменным методом, причем последний преобладает. В последние годы к поиску были подключены космические средства наблюдения. Орбитальный телескоп COROT, запущенный Европейским космическим агентством и ведущий съемку кривых блеска

звезд, открыл к началу 2010 года 7 экзопланет и один коричневый карлик. Но гораздо лучших результатов удалось достигнуть с помощью космической обсерватории «Кеплер» (НАСА), запущенной в феврале 2009 года и выведенной на самостоятельную околосолнечную орбиту.

Основу «Кеплера» составляет телескоп системы Шмидта с апертурой 0,95 м. Эта оптическая система является широкоугольной и может обозревать довольно значительный участок неба. Телескоп «Кеплер» ведет непрерывный мониторинг одного участка неба в созвездиях Лебеда и Лиры. Площадь участка – чуть более 50 квадратных градусов. Важно, что этот участок находится вблизи Млечного Пути и «Кеплер» обозревает в основном плоскую подсистему Галактики, то есть преимущественно звезды второго поколения, вполне способные иметь твердые планеты. «Кеплер» одновременно следит за 150 тысячами звезд, регистрируя незначительные колебания их блеска. По состоянию на середину сентября 2011 года «Кеплер» уверенно открыл 21 экзопланету и 1235 надежных кандидатов в экзопланеты, которые, однако, требуют подтверждения своего существования. Учитывая затменный метод, не позволяющий регистрировать планеты, не проходящие по диску звезды, это очень и очень немало! Сколько всего звезд из числа исследуемых «Кеплером» имеют планеты, остается только гадать, но ясно главное: планетные системы у других звезд – скорее норма, чем исключение, и нам не следует ни чересчур задаваться, ни впадать в ужас от нашего одиночества во Вселенной: наша Солнечная система очень далеко не единственная планетная система.

Впрочем, есть основания признать ее не вполне типичной. Во-первых, потому, что орбиты планет Солнечной системы почти круговые, а треть обнаруженных экзопланет обращается вокруг своих звезд по сильно вытянутым орбитам. Во-вторых, удивляет количество «горячих юпитеров» – больших экзопланет, обращающихся по очень коротким орбитам в непосредственной близости от своих звезд. Так, например, экзопланета, обнаруженная у звезды 51 Пегаса, имеет массу около 0,45 массы Юпитера и делает полный оборот вокруг звезды всего-навсего за 4,23 суток. Экзопланета у звезды Тау Волопаса массивнее: 3,7 массы Юпитера, но период ее обращения короче: 3,31 суток. Это лишь типичные примеры, а вообще их очень много.

Конечно, обнаружению в первую очередь «горячих юпитеров» помогает затменный метод: ведь чем планета ближе к звезде, тем выше вероятность того, что ее орбита позволит нам наблюдать изменение яркости звезды при прохождении планеты по ее диску. Кроме того, чем планета крупнее, тем легче ее обнаружить. И тем не менее количество «горячих юпитеров» удивляет. Может ли юпитероподобная планета сформироваться так близко к звезде, а тем более к мощно излучающей протозвезде? Скорее нет, чем да, – и все же с результатами надежных наблюдений особо не поспоришь.

Выдвинуто несколько гипотез, пытающихся объяснить данный феномен. Любопытна гипотеза Д. Лина, П. Боденхаймера и Д. Ригардгона (США). Они предполагают, что любая протопланета, находящаяся в протопланетном диске, должна со временем мигрировать в сторону центра системы. Причин две. Во-первых, материя, образующая протопланетный диск, теряет вследствие трения свою механическую энергию, стремясь приблизиться к молодой звезде и даже выпасть на нее. Поток материи увлекает за собой протопланету, как ветер увлекает воздушный шар. Вторая причина – резонансные отношения протопланет со спиральными волнами плотности в диске. Эта гипотеза предполагает, что в молодой Солнечной системе первоначально сформировалось несколько юпитероподобных планет, причем все они были ближе к Солнцу, чем Юпитер, и жизнь их была кратковременна: еще до исчезновения протопланетного диска они выпали на Солнце. Само собой, когда диска не стало, исчезла причина приближения планет к Солнцу.

Гипотеза эта, уязвимая для критики и вызывающая ожесточенные споры, все же помогает объяснить, почему многие юпитероподобные экзопланеты находятся так близко к своим светилам: либо протопланетные диски исчезли несколько раньше, чем планеты упали на свои

звезды, либо они еще не исчезли и падение продолжается. А раз оно шло или идет, то мы можем застать его в любой фазе! Между прочим, очень молодые экзопланеты в протопланетных дисках уже обнаружены, таким объектом, например, является весьма массивная (10 масс Юпитера, почти коричневый карлик!) экзопланета в газовой-пылевой диске, окружающей звезду TW Гидры. Это звезда типа Т Тельца, то есть еще не «севшая» на главную последовательность и в некотором смысле еще не звезда, а протозвезда. Возраст ее оценивается всего-навсего в 5-10 млн лет, и планета, конечно, не старше звезды. Радионаблюдения выявили также падение на звезду части вещества протопланетного диска. Это самая молодая экзопланета из всех обнаруженных. Кстати, радиус ее орбиты всего 6 млн км, а период обращения – 3,56 суток. Если гипотеза о выпадении на молодую звезду близких экзопланет верна, то в перспективе планету ждет очень «горячая» встреча со звездой.

Из слов о трудности обнаружения экзопланет, о малости изменений характеристик звезд, вызванных наличием планет, кто-нибудь может сделать вывод о том, что экзопланеты могут быть обнаружены лишь у звезд, находящихся поблизости от Солнца. В общем-то это большей частью так, но только слово «поблизости» надо понимать широко. Например, дальние окраины нашего звездного комплекса, выделяющегося на небе как пояс Гулда или даже соседний спиральный рукав нашей Галактики, – это тоже «поблизости». Ведь все в этом мире относительно. В качестве примера можно привести хотя бы поступившее в 2010 году сообщение об открытии экзопланеты у звезды HIP 13 044 в созвездии Печи, находящейся на расстоянии 2200 световых лет от нас. Показательно, что экзопланета была открыта не «Кеплером», а при помощи наземного астрономического оборудования, принадлежащего Европейской южной обсерватории (ESO), находящейся в Чили. Сама по себе экзопланета не очень интересна – это типичный «горячий Юпитер» с массой 1,3 массы Юпитера, средним радиусом орбиты 0,12 а.е. и периодом обращения 16 суток и 5 часов. Он даже не самый горячий из «юпитеров». Любопытно не столько экзопланета, сколько сама звезда.

Она принадлежит к «потoku Хелми» и движется вместе с подобными ей звездами не так, как полагалось бы двигаться объектам нашей Галактики. В этом и состоит разгадка: звезды «потoka Хелми» некогда принадлежали карликовой эллиптической галактике, слившейся с Млечным Путем миллиарды лет назад. Мы знаем, что большинство звезд в эллиптических галактиках – старые звезды, образовавшиеся практически одновременно еще на стадии сжатия протогалактического облака и не оставившие в галактике достаточно газа для дальнейшего звездообразования. Конечно, в молодых эллиптических галактиках взрывались сверхновые, хоть в какой-то степени обогащая межзвездную среду газом и тяжелыми элементами, но второе поколение звезд получалось крайне малочисленным. Большинство звезд в эллиптических галактиках – субкарлики почтенного возраста с низким содержанием тяжелых элементов.

HIP 13 044 как раз такая звезда. Она несколько менее массивна, чем Солнце, но уже «отсидела» на главной последовательности положенный ей срок и превратилась в красный гигант. Интересно, что один (а может, и не один) из ее близких спутников уцелел при этом катаклизме. Среди звезд эллиптических галактик, даже ближайших, являющихся спутниками Млечного Пути, пока не обнаружены звезды с экзопланетами (все-таки эти галактики находятся далеко от нас), но «поток Хелми» состоит как раз из таких звезд и проходит сравнительно недалеко – очень любезно с его стороны! Теперь мы знаем, что и вокруг звезд первого поколения могли формироваться планеты.

Кстати, а каковы те звезды, вокруг которых обнаружены экзопланеты или кандидаты в экзопланеты? Бытовавшая лет 40–50 назад гипотеза о том, что планетные системы могут иметь лишь звезды более «поздних» спектральных классов, чем F2²³, ничуть не подтвердилась. Экзо-

²³ Так как эти звезды, как правило, медленно вращаются, предполагалось, что часть момента вращения «забрали» планеты. – *Примеч. авт.*

планеты были обнаружены у звезд всех основных спектральных классов: у красных и голубых гигантов, у бело-голубых, белых, желтоватых, желтых, оранжевых и красных звезд. Преобладает, конечно, оранжево-красная гамма, что и понятно: маломассивные звезды классов К и особенно М являются самими распространенными в Галактике. Если выстроить «по росту» (диаметру) 1235 звезд, имеющих кандидатов в экзопланеты по данным «Кеплера», и добавить сюда Солнце, то оно окажется примерно посередине этой шеренги. Так что и в этом отношении мы более чем типичны.

Звезда, имеющая экзопланеты, не обязана быть одиночной. Экзопланеты обнаружены в двойных и даже тройных звездных системах. Более того, найдены и одиночные экзопланеты, не связанные со звездами. Естественно, речь идет об очень крупных (для планеты) объектах, приближающихся уже к коричневым карликам. Иначе они просто-напросто не были бы обнаружены – даже методом микролинзирования. Такие экзопланеты могут формироваться точно так же, как звезды, с той разницей, что этот процесс занимает у них очень много времени. Но нас, конечно, гораздо сильнее интересуют экзопланеты, связанные со звездами, да еще находящиеся в «зоне жизни», да еще похожие на Землю...

Чувствительность аппаратуры «Кеплера» позволила окончательно покончить с монополией «юпитеров» – стали открываться «экзонептуны», причем в большом количестве (662 из 1235). Но для нас, конечно, интереснее планеты, хоть сколько-нибудь похожие на Землю. В числе упомянутых 1235 кандидатов в экзопланеты находится 68 объектов, сравнимых по размерам с Землей. Строго говоря, поиск таких экзопланет и есть главная задача «Кеплера».

Помните планету у «железной звезды» из знаменитого романа И.А. Ефремова «Туманность Андромеды»? Масса в двадцать с лишним раз больше Земли, тройная тяжесть на поверхности... Нечто массивнее Нептуна, только находящееся ближе к центральному светилу. Неуютное место. Конечно, такую планету никто не станет сравнивать с Землей – сравнивают менее массивные экзопланеты. И все-таки все они, открытые на сегодняшний день, массивнее Земли; наименьшая из них по массе (Глизе 581 e) в 1,7 раза массивнее Земли – и это еще нижняя граница оценки ее массы. Неудивительно, что за подобными экзопланетами закрепилось прозвище «сверхземли».

Первая «сверхземля» (7,5 массы Земли), обращающаяся вокруг нормальной (не нейтронной) звезды, была открыта в 2005 году у звезды Глизе 876. Не следует думать, как это делают забывшие школьную физику люди, что сила тяжести на поверхности такой экзопланеты в 7,5 раза превысит силу тяжести на поверхности Земли. Из ньютонова закона всемирного тяготения следует, что при увеличении массы планеты и неизменной плотности сила тяжести на ее поверхности будет возрастать не линейно, а как корень кубический. Так что если средняя плотность экзопланеты у звезды Глизе 876 равна земной, то сила тяжести на ее поверхности превысит земную лишь в 1,95 раза – все равно многовато, но уже легче. А если принять то же предположение, рассматривая «сверхземлю» у звезды MOA-2007-BLG-192Lb, имеющую массу 3,3 массы Земли, то выйдет, что сила тяжести составит там «всего» 1,49 земной – тренированный человек сможет выдержать ее довольно продолжительное время.

Но главное – главное! – состоит в том, что меньшие экзопланеты пока просто не открыты, а не в том, что их не существует. Взглянем на Солнечную систему – разве мелкие тела численно не преобладают в ней над крупными? Можно поставить годовое жалование против старой подметки на то, что планеты вроде Земли, Венеры или Марса распространены в Галактике куда более широко, чем «горячие юпитеры», «экзо-нептуны» и «сверхземли». Риска проиграть никакого!

Но если у массивной экзопланеты и плотность высокая, тогда, конечно, другое дело. В 2009 году среди экзопланет объявился рекордсмен по малости размеров: диаметр экзопланеты Kepler-10b всего в 1,4 раза больше диаметра Земли, и при этом ее масса почти в 5 раз превышает земную. У этой экзопланеты потрясающе высокая средняя плотность: $8,8 \text{ г/см}^3$ – выше

плотности железа и меди! Стало быть, человек на этой экзопланете весил бы раза в два с половиной больше, чем на Земле.

К счастью, человеку делать там совершенно нечего. Экзопланета Kepler-iob обращается вокруг своей звезды по орбите радиусом всего 0,017 а.е., что в 20 с лишним раз меньше среднего расстояния между Солнцем и Меркурием, и вдобавок повернута к светилу одной стороной, как Луна к Земле. Температура на освещенной стороне этой планеты превышает 1500 °С. Пожалуй, не следует особенно расстраиваться из-за того, что этот поджаренный мирок удален от нас на расстояние в 600 световых лет...

Возле некоторых звезд открыты не только отдельные экзопланеты, но и целые семьи экзопланет. На сегодняшний день рекордсменом считается звезда, получившая обозначение Kepler-11 и по основным физическим параметрам похожая на Солнце. Вокруг этой звезды, чья видимая яркость не достигает и 14-й звездной величины, обращается целых 6 экзопланет с массами от 2 до 13,5 земных, причем у пяти из них радиусы орбит настолько малы, что их массы удалось вычислить по взаимному гравитационному влиянию. Эти пять орбит целиком поместились бы внутри орбиты Меркурия, и лишь орбита шестой экзопланеты, самой дальней из обнаруженных, располагалась бы между орбитами Меркурия и Венеры. Эта экзопланета вчетверо крупнее Земли по диаметру, а год на ней длится 118 земных суток.

Необычно и странно! Мы психологически готовы к тому, что такая «суতোлка» на ближних орбитах может возникнуть у тусклой маломассивной звезды, но не у звезды, похожей на Солнце. Устойчивы ли орбиты этих экзопланет и не грозит ли одной или нескольким из них быть выброшенными из системы взаимными гравитационными возмущениями, а оставшимся перейти на резко эллиптические орбиты? И нет ли в той системе меньших экзопланет, более похожих на Землю, на более дальних орбитах?

Возможно, и есть. Не исключены и газовые гиганты вроде Юпитера и Сатурна, если только плоскости их орбит хотя бы слегка наклонены к лучу зрения. Ведь уже из того факта, что эта планетная система была открыта «Кеплером», использующим затменный метод, следует, что мы находимся почти точно в плоскости орбит обнаруженных шести экзопланет. «Почти» – этим все сказано. Удаленная экзопланета, проходя между нами и своей звездой, уже не будет проецироваться на диск звезды, и «Кеплер», разумеется, ничего не зафиксирует. Часто ли мы с вами можем наблюдать прохождение Меркурия и Венеры по диску Солнца?

Естественно, нас прежде всего интересуют экзопланеты с условиями, в принципе допускающими возникновение и развитие жизни. Обнаружены ли такие экзопланеты?

Да. Не станем размышлять на тему, может ли зародиться небелковая жизнь на планете, покрытой жидким аммиаком или метаном. Но на 54 из 1235 экзопланет, найденных «Кеплером», в принципе может существовать жидкая вода. Не такой уж малый процент, особенно если учесть, что землеподобные планеты хуже «ловятся», а значит, реально их может быть гораздо больше.

В оптимистическом предположении, выдвинутом американским астрономом Уэсли Траубом, около трети похожих на Солнце звезд имеют по меньшей мере одну землеподобную планету, где может существовать жидкая вода, а значит, возможна жизнь. Так ли это? А если так, то радоваться ли нам тому, что мы, возможно, не одни во Вселенной, или, напротив, опасаться?

И под конец главы – чуточку экзотики. В 1997 году автор этой книги написал роман «Ватерлиния», где выдумал насквозь жидкую планету Капля. По диаметру она была вдвое больше

Земли и состояла практически из одной воды – лишь в самом центре могло быть небольшое ядро из горных пород и своеобразного льда, находящегося под большим давлением. И что же? В 2009 году астрономы нашли экзопланету GJ 1214 Б, предположительно состоящую на 75 % (по массе) из воды и только на 25 % – из каменных пород и железа. Теоретические

выкладки показывают, что планета массой 6–8 масс Земли, образовавшаяся далеко от своей звезды и состоящая преимущественно из льда, может на ранней стадии эволюции системы мигрировать ближе к звезде, где и «растает». Нормальной газовой планетой она не станет (мала масса), но вполне может стать водной планетой.

Собственно говоря, каждый фантаст отлично знает: ничего (ну почти ничего) нельзя выдумать. Особенно в астрономии. Вселенная настолько разнообразна и удивительна, что почти любой мыслимый феномен существует в ней на самом деле!

14. Перспективы близкие и далекие

Ежесекундно Солнце теряет 4600 т вещества, преобразующегося по формуле Эйнштейна в электромагнитное излучение различных длин волн и нейтрино. Много это или мало? Как-никак такова масса довольно солидного товарного поезда.

Это ничтожно мало по сравнению с массой Солнца ($1,989 \times 10^{30}$ кг). Не надо бояться, что Солнце, постепенно «облегчаясь» (также за счет испускания солнечного ветра), начнет слабее притягивать Землю, из-за чего Земля перейдет на более высокую орбиту, год станет длиннее, а климат – холоднее. Наоборот, нам со временем может стать очень жарко! Точнее, не нам, а нашим очень-очень отдаленным потомкам в оптимистическом предположении, что они у нас будут. Мы помним, что Солнце эволюционирует поперек главной последовательности диаграммы Герцшпрунга – Рессела, а не вдоль нее. Следовательно, светимость Солнца понемногу возрастает, хотя температура поверхности может слегка уменьшиться за счет некоторого, пока еще незначительного «разбухания» нашего светила. Некоторые ученые делают вывод, что первые температурные неприятности проявятся уже через 100 млн. лет.

Но главная неприятность ждет Землю, когда весь водород в зоне энерговыделения «выгорит» и в центральных областях Солнца останется лишь гелий. Поскольку сила тяжести уже не будет компенсирована давлением горячего газа, внутренние области Солнца начнут сжиматься, а их температура увеличится. С Солнцем начнет происходить то же самое, что уже произошло с миллиардами других звезд: оно начнет пытаться подстроить свою структуру к изменившимся условиям. Наконец температура в центре Солнца превысит 100 млн К, и тогда начнется – пока еще вяло, но с повышением температуры все активнее – тройная гелиевая реакция.

Напомню: суть ее в том, что два ядра гелия сливаются, образуя ядро радиоактивного (и, следовательно, неустойчивого) изотопа бериллия-8. Почти наверняка новообразованное ядро тут же и распадется. Но может случиться так, что оно поглотит еще одну альфа-частицу, превратится в ядро устойчивого углерода-12 и выделит при этом 7,3 МэВ. Вроде бы и немного, гораздо меньше, чем при реакциях превращения водорода в гелий, но последствия возгорания тройной гелиевой реакции для звезды колоссальны.

Заурядная звезда главной последовательности превращается в красный гигант. Ее светимость увеличивается минимум в сотню раз, тогда как температура поверхности падает – за счет чудовищного «разбухания». Процесс этот далеко не мгновенный, он длится сотни тысяч, если не миллионы, лет. Взглянем на рис. 95. Эта диаграмма Герцшпрунга – Рессела построена для звезд шарового скопления М3, имеющих практически одинаковый и весьма почтенный возраст. На ней видно, как звезды левой части главной последовательности, в ядрах которых уже выгорел водород, *постепенно* переходят в область красных гигантов. Никаких «скачков» – лишь плавная эволюция.

Но результат все равно один. Для ближних планет он окажется крайне плачевен. Превратившись в красный гигант, Солнце будет иметь радиус, примерно равный радиусу орбиты Венеры. Разумеется, Венера, не говоря уже о Меркурии, будет испарена. Испарится и Земля, да и на Марсе, пожалуй, станет жарковато. Более-менее сносные условия для жизни белковых тел могут возникнуть лишь на спутниках Юпитера.

Радовать может лишь то, что это случится еще нескоро, никак не раньше, чем через 5 млрд лет. Может быть, это произойдет через 7 или 8 млрд лет – конкретный срок зависит от того, какая из существующих моделей Солнца более справедлива. Солнце – звезда среднего возраста, ей еще светить и светить в «штатном» режиме. Но печальный финал все равно неизбежен.

Так что же – нашим далеким потомкам придется переселиться на Ганимед или как-то (допустим, используя притяжение управляемых астероидов) оттащить Землю на более дальнюю орбиту? Или же они, памятуя об относительной недолговечности красных гигантов, вообще отправят Землю в далекое путешествие к другой звезде, помоложе, как это сделало человечество в романе Ф. Карсака «Бегство Земли»? Тут возникает ряд сомнений.

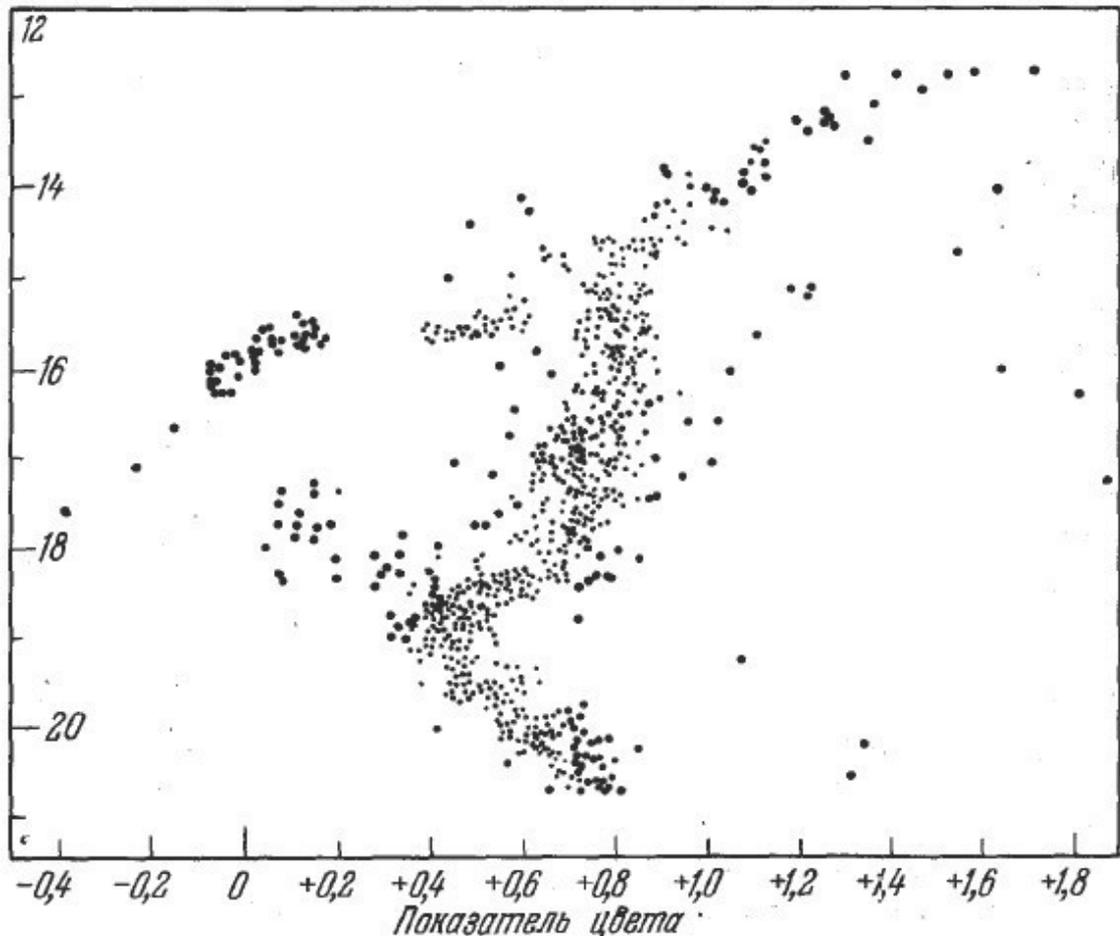


Рис. 95. Диаграмма Герципрунга – Рессела для шарового скопления М3

Во-первых, с такой проблемой могут столкнуться не наши потомки, а потомки совсем других земных существ, если человек окажется настолько глуп, что уничтожит тем или иным путем сам себя. Но это пока лишь оговорка. Существеннее другое: все меры по выживанию землян, какие мы можем предложить сейчас, наверняка будут выглядеть в глазах наших (или не наших?) потомков не менее смешными, чем выглядит в наших глазах путешествие на Луну на воздушном шаре или гребной звездолет-трирема. Мы не в состоянии предвидеть, куда качнутся технологии через двадцать лет, так что же мы можем сказать о знаниях и технологиях, которые могут возникнуть через миллиарды лет? Абсолютно ничего.

Но предположим, что и спустя многие миллионы лет на Земле будет существовать именно человеческая, а не какая-нибудь иная цивилизация. Сделаем и другое предположение: человек не превратится в этакое космического бога, способного творить миры, путешествовать по Вселенной на сколь угодно большое расстояние за приемлемое время и изменять по своей прихоти законы природы. Конечно, человечество станет более могущественным, но и только. Что тогда?

Тогда ему придется столкнуться с факторами, управлять которыми он окажется не в силах. Даже оставаясь еще в пределах главной последовательности, Солнце будет понемногу

увеличивать свою светимость. Есть основания полагать, что прошло уже три четверти периода существования биосферы Земли и что через миллиард лет наша планета будет иссушена и стерилизована. Конечно, нельзя недооценивать способности жизни приспосабливаться к медленно меняющимся условиям и даже в какой-то степени регулировать их, создавая приемлемую среду обитания, – однако даже бактерии гибнут на горячей сковородке, а из вареного яйца еще никто не вывел цыпленка. В биосфере могут возникать стабилизирующие обратные связи, но лишь до поры до времени. Однажды глубина отрицательных обратных связей окажется уже недостаточной, и тогда система рухнет. Нам сейчас не особо интересно, случится ли это через миллиард лет или, допустим, через два миллиарда. Важно, что это вообще случится, и притом неотвратимо.

Само собой, это произойдет лишь в том случае, если жизнь на Земле не погибнет раньше в результате какого-нибудь космического катаклизма. Трудно даже представить себе катаклизм столь грандиозных масштабов, что в его итоге погибнут даже бактерии в глубинных горных породах и на океаническом дне. Вероятно, речь может идти лишь о таких принципиально случайных событиях, как пролет Солнца вблизи сверхновой (явление чрезвычайно редкое), близкий гамма-всплеск (еще более редкое) или столкновение Земли с космическим телом размером с Луну, в крайнем случае с Цереру, явившимся из облака Оорта. Правда, за последние 4,5 млрд лет таких неприятностей с Землей не случалось, и можно утверждать наверняка, что вероятность их в будущем крайне мала, однако ее нельзя считать равной нулю. Впрочем, и тогда трудно вообразить себе гибель всего живого на Земле, если только наша планета сохранится как единое тело. Способность некоторых бактерий к выживанию в редкостно неблагоприятных условиях широко известна. И если в результате катаклизма на планете исчезнет высшая жизнь, то у низших организмов появится еще один шанс начать все заново.

То же можно сказать о сценарии самоуничтожения человечества в результате войн, угасания его вследствие вырождения и т. п. Даже если одномоментно будут пущены в ход все существующие запасы средств массового уничтожения, жизни множества видов простейших это не повредит. Когда утверждают, что человек может уничтожить «все живое на Земле», то человеку явно льстят. Его могущество пока не столь велико, да никто и не ставит целью стерилизацию земной литосферы на несколько километров вглубь. Так что как минимум простейшая прокариотная – а может быть, и эукариотная – жизнь сохранится на Земле в любом случае. Успеет ли она вновь развиться до появления разумных существ до того, как поджарится, – это, как говорится, уже не наши проблемы.

Жаль только, что мы до сих пор не знаем, единична ли наша цивилизация во Вселенной и стоит ли жалеть о неудаче поставленного Природой эксперимента под названием «жизнь». Жалеть можем, конечно, только мы. Если обитаемых миров во Вселенной великое множество, то вряд ли кто-нибудь всплакнет о погибшей земной биоте; если мы единственные – то тем более.

Будем все же оптимистами: предположим, что человечество не самоубьется и не погибнет в каком-нибудь случайном космическом катаклизме. Тогда в ближайшие 100 млн лет биосфера Земли может столкнуться с дефицитом углекислого газа. Это противоречит расхожим представлениям о постепенном нарастании концентрации CO_2 в атмосфере и может вызвать удивление у тех, кто знает, что количество углекислого газа, растворенного в морской воде, на два порядка превышает его содержание в атмосфере. Да тут еще человек с его неумным стремлением жечь ископаемое топливо... Откуда взяться дефициту?

От разрушительного действия на горные породы. В 1982 году Д. Лавлок и М. Витфилд опубликовали работу, в которой показали, что в результате прогрессирующего (из-за нагрева атмосферы) разрушения горных пород усилится поглощение углекислого газа, и наступит момент, когда его атмосферная концентрация уже не будет достаточной для фотосинтеза. Правда, алармистские взгляды Лавлока и Витфилда были признаны большинством ученых

чересчур пессимистичными: в 1992 году К. Кальдер и Д. Кастинг опубликовали работу, в которой учли ряд дополнительных факторов и пришли к выводу о том, что биосфера отрегулирует и этот процесс. Совсем иной поворот наступит, когда способности регулирования будут исчерпаны.

Вот тогда-то и нагрянет то самое глобальное потепление, которым почему зря пугают нас с телеэкранов. Включится положительная обратная связь: повышение концентрации CO_2 в атмосфере приведет к ее нагреву вследствие парникового эффекта, от атмосферы нагреются океаны, а ведь растворимость газов в воде тем ниже, чем выше температура. Так что растворенный в океанах углекислый газ будет выделяться в атмосферу, еще больше усугубляя парниковый эффект; в таких условиях процесс поглощения углекислоты горными породами не сможет отвести излишек CO_2 из атмосферы. Результат понятен: Земля вскоре станет «пуста и безвидна», наподобие Венеры.

Когда это случится? Через миллиард лет? Больше? Меньше? Все зависит от действия множества мелких факторов, учесть которые пока невозможно. Можно лишь утверждать, что это случится.

Для наших потомков все остальное по сути зависит лишь от понимания, что такое человек и зачем он нужен. Загадочная, но по-своему замечательная фраза «Нужны ли мы нам?» из книги «Понедельник начинается в субботу» братьев Стругацких тут как нельзя более уместна. Хотим ли мы, чтобы человечество не вымерло со временем, как какой-нибудь несуразный индрикотерий, а устремилось в вечность, преобразуя себя и Вселенную? Согласны ли мы с тезисом, что человечество с его уже прошедшими тысячелетиями истории – пока всего лишь новорожденный организм, если не эмбрион, и у него еще все впереди? А если согласны и хотим, то чем мы готовы поступиться ради этого?

Боюсь, что немногим. Интерес большинства людей к потомству не простирается далее внуков; человек «ан масс» не склонен брать на себя ответственность за более отдаленных и к тому же еще не рожденных потомков. Интерес к далекому будущему мало распространен и сугубо академичен. Увы, увы. По мнению автора, концепция «жить, чтобы жить» приличествует не человеку и даже не обезьяне, а допотопному трилобиту – и рано или поздно приведет к тому же финалу, к какому пришли трилобиты. Концепция «жить, чтобы лучше жить» уже более продвинута, ею могли бы удовлетвориться австралопитеки. Казалось бы, в голове современного человека должна сидеть как минимум концепция «жить, чтобы потомки жили лучше, полнее и интереснее», – но чего нет, того нет. Наше интеллектуальное отличие от человека древнего мира по большому счету состоит лишь в том, что мы восприняли идею эволюции, тогда как философы древности воображали, будто жизнь уныло движется по кругу. Информированнее мы стали; мудрее – нет.

И точно так же не любим поступаться частным ради общего, личным ради общественного, сиюминутным ради завтрашнего.

Вопрос: когда человек полетит на Марс и другие планеты?

Контрвопрос: а что там делать?

Этот контрвопрос задают не миллионы – миллиарды людей. Действительно, если не брать в расчет военные программы, то практической отдачи в наличных деньгах программы полета к другим планетам (и освоения их) не принесут. Не окупаются даже попытки наладить космическое производство сверхчистых материалов на орбитальных станциях. Лишь связные и навигационные спутники приносят ощутимую пользу «в наличных». Воззрения неумемных оптимистов о неизбежности цветения яблонь на Марсе в последние десятилетия как-то сами собой сошли на нет. Даже если на Марсе найдутся редкие металлы и ювелирные алмазы (что вряд ли), стоимость их транспортировки на Землю окажется чересчур высокой. Выдумки фантастов о гигантских кораблях-рудовозах, бороздящих Галактику, – они выдумки и есть. С точки зрения чистой экономики попытки освоения планет пока бесперспективны, игра не стоит свеч.

Многие возразят: а как же новое знание? Разве оно не стоит того, чтобы раскошелиться? Браво. Аплодирую. Беда лишь в том, что подавляющее большинство жителей Земли предпочтет тратить деньги на решение чисто земных проблем (которые не решаются, несмотря на денежные вливания, но это уже другой разговор). Сможем ли мы смотреть в глаза матери, чей ребенок должен умереть от голода? Наверное, нет. И в результате деньги, которые могли бы пойти на космические программы, будут истрачены на подкармливание тех, кто и без того сыт, а ребенок все равно умрет.

Константин Эдуардович Циолковский полагал, что главным стимулом к созданию «эфирных городов» и колонизации планет станет грядущее перенаселение Земли, и космос окажется тем местом, куда можно будет отводить человеческие излишки, создавая им вполне приемлемую жизнь. По Циолковскому, «эфирный город» – это большой цилиндр на околоземной или околосолнечной орбите, где сила тяжести обеспечивается вращением цилиндра, энергетика – Солнцем, а продукты питания выращиваются на месте. Заманчиво ли жить в таком цилиндре? Как-то не очень. Ни пойти в лес или на речку, ни искупаться в море, ни увидеть настоящее небо над головой, и что-нибудь вкусненькое – только когда придет грузовоз с Земли. Полная автономность «эфирного города» возможна, но это будет скучная автономность. Появись сейчас «эфирные города» – надо думать, туда пожелали бы перебраться лишь люди из африканских районов тотального недоедания, а прочие отвернулись бы, саркастически усмехаясь: «Мазохистов нет». То же можно сказать о поселениях на Луне, Марсе и т. д. Работать там вахтовым методом – пожалуйста, поселиться навсегда – нет. Персонаж романа «Солярис» Лема утверждал, что людям не нужна Вселенная как таковая – человек хочет расширить Землю до масштабов Вселенной. Он был прав. Но до терраформирования планет путь куда более долгий, чем до пилотируемого полета к ним. О сфере Дайсона – предельном варианте «эфирного города» – и говорить не хочется. Конечно, было бы заманчиво использовать *всю* энергию Солнца, излучаемую им в пространство, но как это сделать (и нужно ли делать) – ответа нет, и нескоро будет.

Между тем вопрос перенаселения планеты, похоже, со временем разрешится сам собой. При жизни Циолковского на Земле жило всего-то 2 млрд человек. Несколько позднее был сделан прогноз: к 2000 году на Земле будет жить 6–7 млрд человек, а после 2030 года наступит коллапс. Численность населения будет продолжать расти примерно до 2050 года, после чего начнет уменьшаться вследствие банального вымирания (голод, загрязнение среды). При этом пик численности населения превысит 20 млрд человек.

Давно подсчитано: если превратить в сельхозугодья практически всю площадь материков Земли, не занятую промышленностью и жильем и подходящую по климатическим условиям, то Земля будет способна прокормить 30–40 млрд человек. (Правда, тотально сводить леса и осушать болота ради пашен – плохая идея.) Подсчитано также, что ущерб для биосферы Земли не будет еще фатальным, если численность землян не превысит 9 млрд человек.

Самое интересное: похоже, так оно и произойдет. Численность человечества достигла 7 млрд лишь в конце 2011 года. Прирост населения в Китае уже практически нулевой, он снижается в Индии и много где еще. Человеку, живущему в достатке и образованному настолько, чтобы не заниматься тупой работой и не возводить в абсолют религиозные предписания, уже не захочется бурно размножаться. Есть основания надеяться, что к 2050 году население Земли стабилизируется на отметке 9–10 млрд человек, после чего начнет медленно уменьшаться за счет повсеместного снижения рождаемости. В Европе и России этот процесс идет уже давно. Как бы в 2100 году не пришлось спешно принимать меры для увеличения рождаемости в странах, ныне удручающих своей плодовитостью!

Все это ставит крест на «эфирных городах» как местах обитания человеческих излишков. Излишков, похоже, не будет. Это и хорошо, и плохо. Плохо – потому что нашей цивилизации грозит «закукливание» на поверхности небольшого шарика Земли. Нет понятного всем стимула – нет и космической экспансии. Правда, согласно доктрине энерговитализма, чело-

век создан Природой как тотальный преобразователь всего и вся: ему непременно надо куда-нибудь проникать и что-нибудь строить: здания, партии, общественные отношения, да хоть финансовые пирамиды, – а если строить нечего, то он будет разрушать, это тоже какая-никакая деятельность. Хочется возразить, поставив в пример Обломова, но это ведь литературный герой, родившийся в воображении писателя фантом, бог с ним. Забудем также о тех миллионах людей, которым хочется «просто жить», – в нормальных условиях погоды они не делают. Примем: человек есть преобразователь. Точка. Да, но разве нечего преобразовывать на Земле? Правнукам хватит. И можно ведь утолить жажду преобразования, не строя, а разрушая! После чего вновь появятся возможность и желание построить что-нибудь.

Замкнутый круг. Вселенной в нем нет места.

Но как же быть с очень-очень нескорым, но неизбежным превращением Солнца в красный гигант? А с принципиальной возможностью «случайных», но губительных космических катастроф?

Может быть, человек будущего – это властелин Галактики, а может быть, и нет. Не исключено, что наши отдаленные потомки сумеют справиться не только с неизбежной гибелью Солнца, но и с также, по-видимому, неизбежным распадом протонов в очень отдаленном будущем. Тогда у них (не протонов, а наших потомков) просто не останется иного выхода, кроме как создать для своих нужд новую вселенную с более приемлемыми физическими законами. Почему бы и нет? Если мы ощущаем себя в какой-то степени демиургами лишь на Земле (да и то раз за разом получаем от природы по носу), то у наших потомков может быть (и по идее должен быть) совсем другой масштаб. Отсидеться не получится – надо либо идти вперед, либо заранее смириться с мыслью о неизбежном вымирании нашего биологического вида. Важно понять: Вселенной мы в высшей степени безразличны. Но она не должна быть безразлична нам, иначе когда-нибудь мы закономерно примкнем к ископаемым трилобитам, а Вселенная смастерит вместо нас другой инструмент для своего познания и преобразования. У нее для этого «под рукой» бездна времени и огромное количество «экспериментальных площадок».

На этой «оптимистической» ноте позвольте и закончить книгу. Кто не задумался – я не виноват.

2011 год

Литература

1. Астрономический календарь. М.: Космоинформ, 1970–2011.
2. *Беляев Н.А., Чурюмов К.И.* Комета Галлея и ее наблюдение. М.: Наука, 1985.
3. *Бронштэн В.А., Гришин Н.И.* Серебристые облака. М.: Наука, 1970.
4. *Воронцов-Вельяминов Б.А.* Очерки о Вселенной. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1952.
4. *Гребенников Е.Л., Рябов Ю.Л.* Поиски и открытия планет. М.: Наука, 1975.
5. *Громов А.Н., Малиновский А.М.* Вселенная. Полная биография. М.: Эксмо, 2010.
6. *Еськов К.Ю.* Удивительная палеонтология. М.: Энас, 2008.
7. *Ефремов Ю.Н.* Звездные острова. Фрязино: Век 2, 2005.
8. *Ефремов Ю.Н.* Млечный путь. Фрязино: Век 2, 2006.
9. *Зигель Ф.Ю.* Астрономы наблюдают. М.: Наука, 1985.
10. *Жарков В.Н.* Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983.
11. *Кащеев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М.Ф.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Наука, 1967.
12. *Климишин И.Л.* Астрономия наших дней. М.: Наука, 1980.
13. *Коитиро Томита.* Беседы о кометах / Пер. с япон. М.: Знание, 1982.
14. *Колдер Н.* Комета надвигается / Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
15. *Кононович Э.В.* Солнечная корона. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1958.
16. *Кузьмин А.Д.* Планета Венера. М.: Наука, 1981.
17. *Куликовский П.Г.* Справочник любителя астрономии. М.: УРСС, 2002.
18. *Лидсей Д.Э.* Рождение Вселенной. М.: Весь Мир, 2005.
19. *Маров М.Я.* Планеты Солнечной системы. М.: Наука, 1981.
20. *Мартынов Д.Я.* Курс общей астрофизики. М.: Наука, 1988.
21. *Машбиц Б.М., Федьинский В.В.* Падающие звезды и метеориты. М.: ОГИЗ – Государственное антирелигиозное издательство, 1934.
22. *Мухин Л.М.* Мир астрономии. М.: Молодая гвардия, 1987.
23. *Новиков И.Д.* Как взорвалась Вселенная. М.: Наука, 1988.
24. *Новиков И.Д.* Эволюция Вселенной. М.: Наука, 1990.
25. *Прошлое и будущее Вселенной.* М.: Наука, 1986.
26. *Сажин М.В.* Современная космология в популярном изложении. М.: УРСС, 2002.
27. *Сурдин В.Г.* Неуловимая планета. Фрязино: Век 2, 2006.
28. *Сурдин В.Г.* Рождение звезд. М.: УРСС, 1997-
29. *Угроза с неба: рок или случайность? / Под ред. А.А. Боярчука.* М.: Космоинформ, 1999.
30. *Ходжс П.* Галактики. М.: Наука, 1992.
31. *Черепашук А.М., Чернин А. Д.* Вселенная, жизнь, черные дыры. Фрязино: Век 2, 2003.
32. *Шкловский И.С.* Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1980.
33. *Шкловский И.С.* Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М.: Наука, 1984.

Цветные иллюстрации



Рис. 1. Гигантская эллиптическая галактика NGC4486 с галактиками-спутниками



Рис. 2. Гигантская спиральная галактика M101 класса Sc

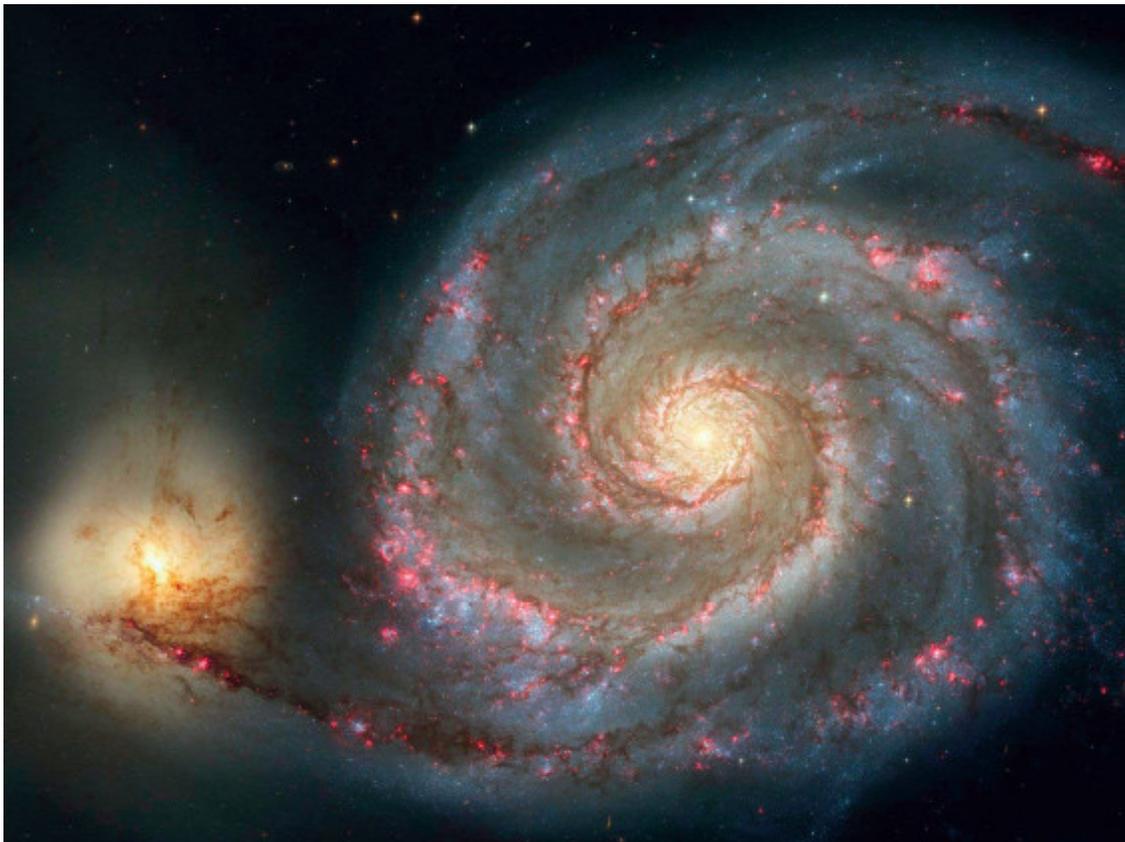


Рис. 3. Спиральная галактика M51 «Водоворот», взаимодействующая с неправильной галактикой



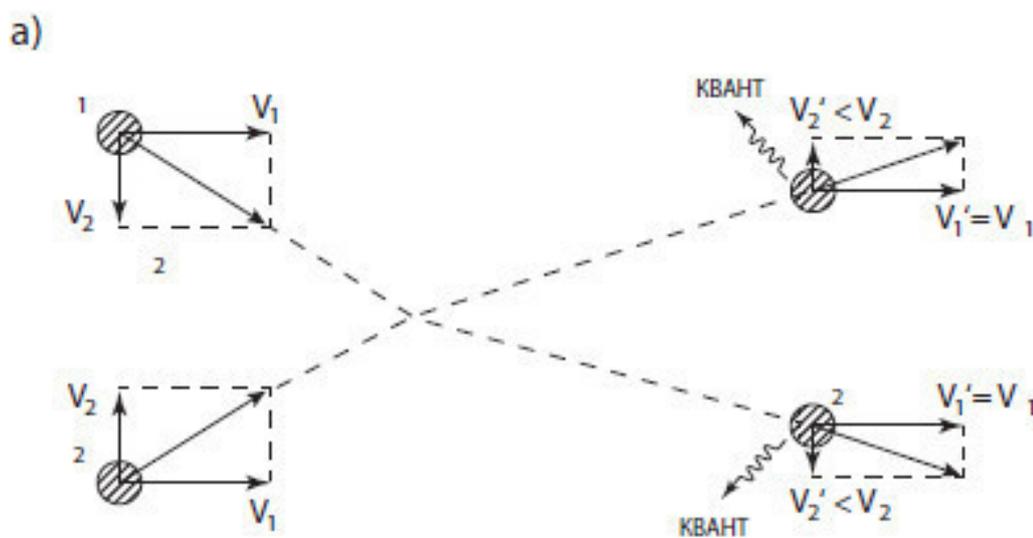
Рис. 4. Спиральная галактика M104 «Сомbrero» класса Sa



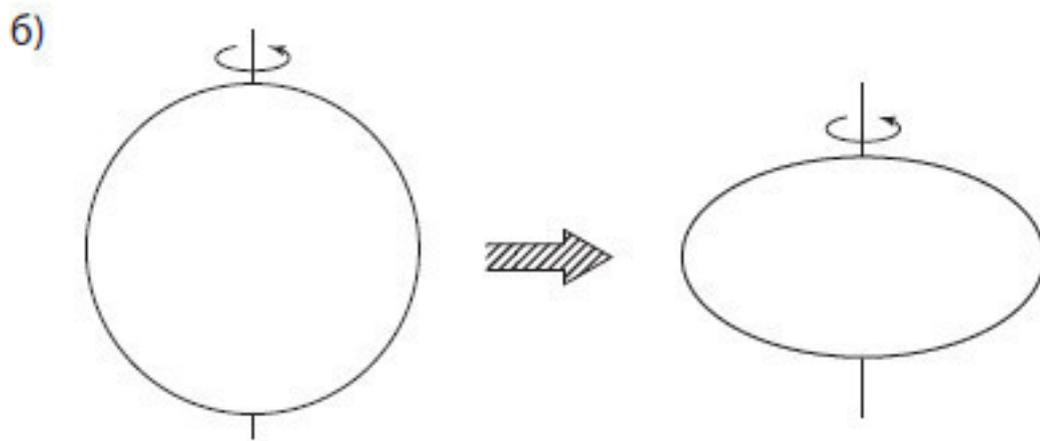
Рис. 5. Галактика Мюд класса SBb, похожая на нашу



Рис. 6. Неправильная галактика NGC1313



a)



б)

Рис. 7. Неупругие столкновения частиц во вращающемся газовом облаке приводят к его сплющиванию



Рис. 8. Планетарная туманность M57 «Кольцо»

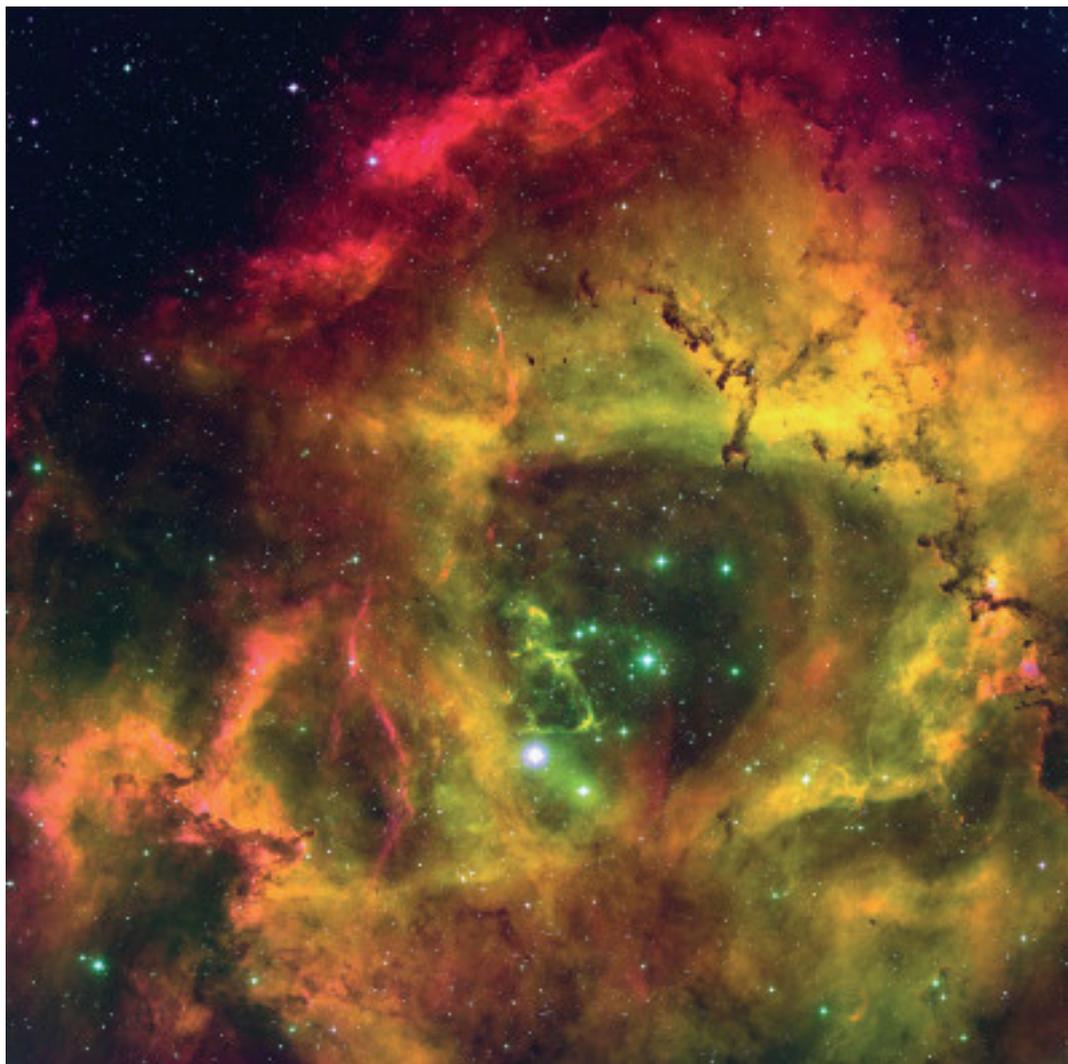


Рис. 9. Планетарная туманность NGC23g2 «Эскимос»



Рис. 10. Планетарная туманность M27 «Гантель»



Рис. 11. Большая туманность Ориона M42



Рис. 12. Рассеянное звездное скопление Мб



Рис. 14. Рассеянное скопление Плеяды (M45), погруженное в отражательную туманность

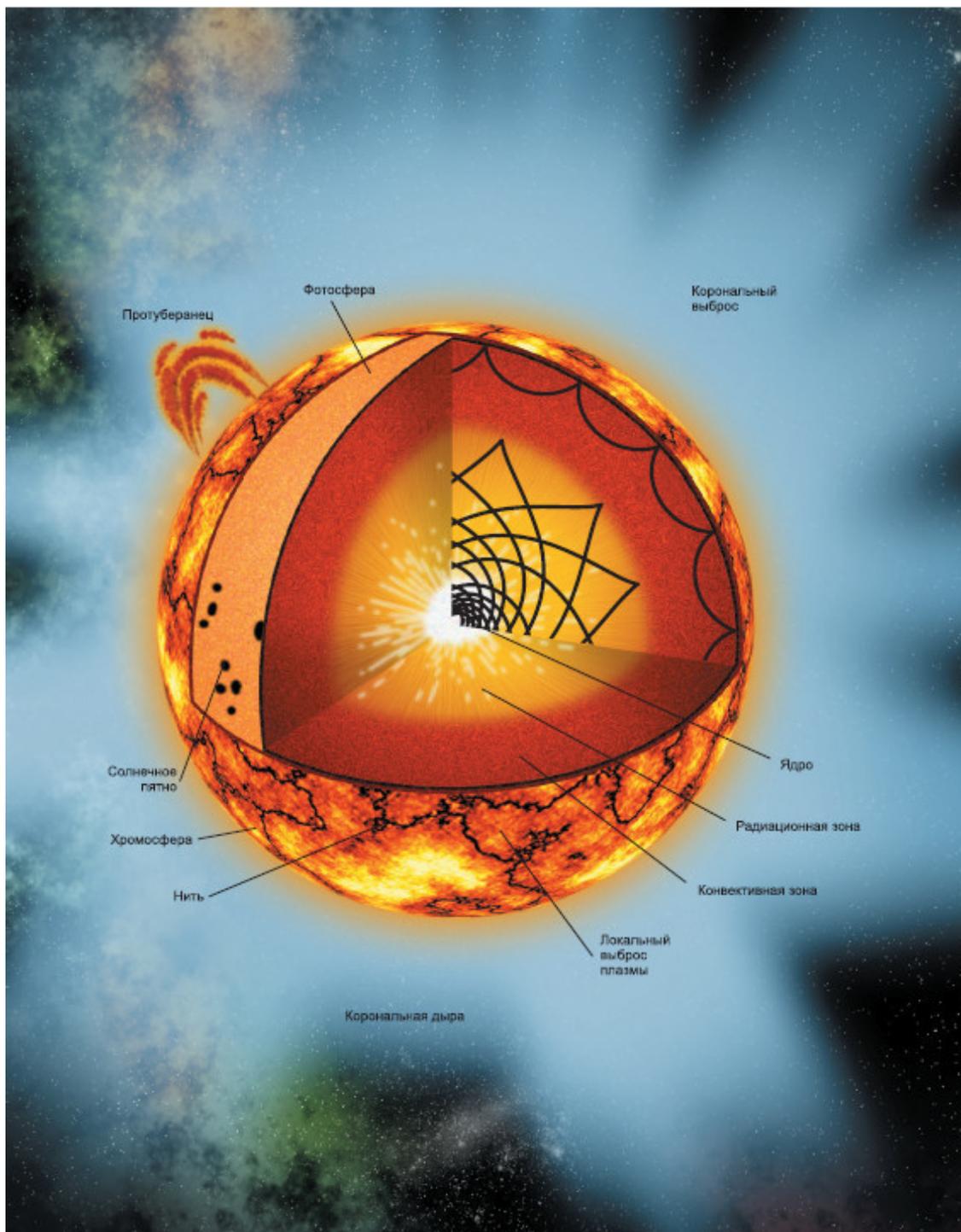


Рис. 20. Внутреннее строение Солнца

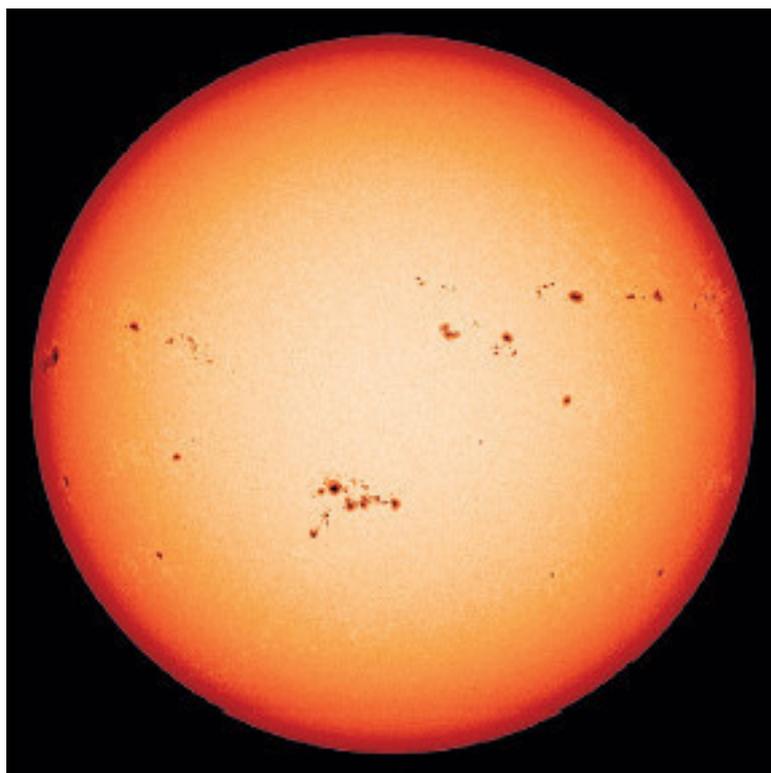


Рис. 21. Вид Солнца вблизи максимума цикла

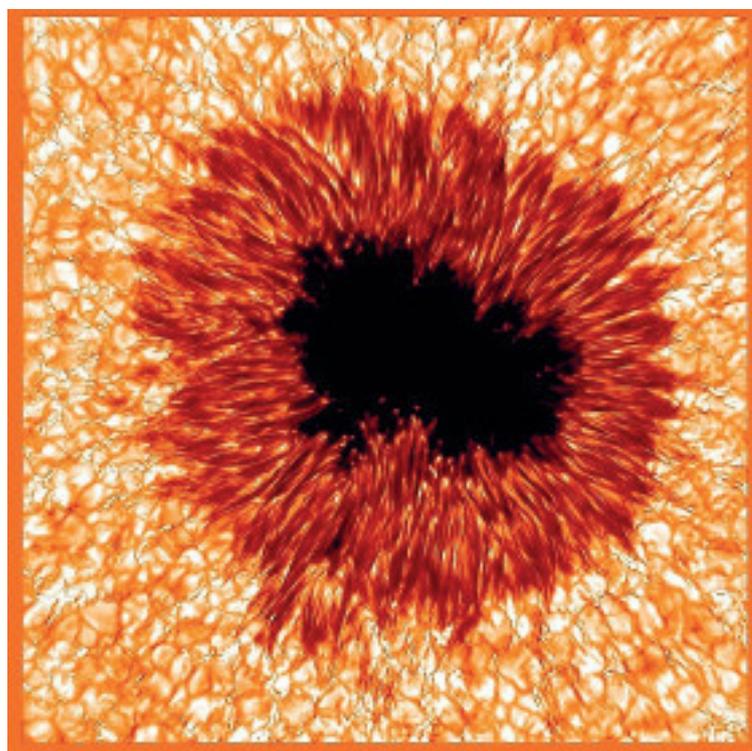


Рис. 22. Солнечное пятно и грануляция

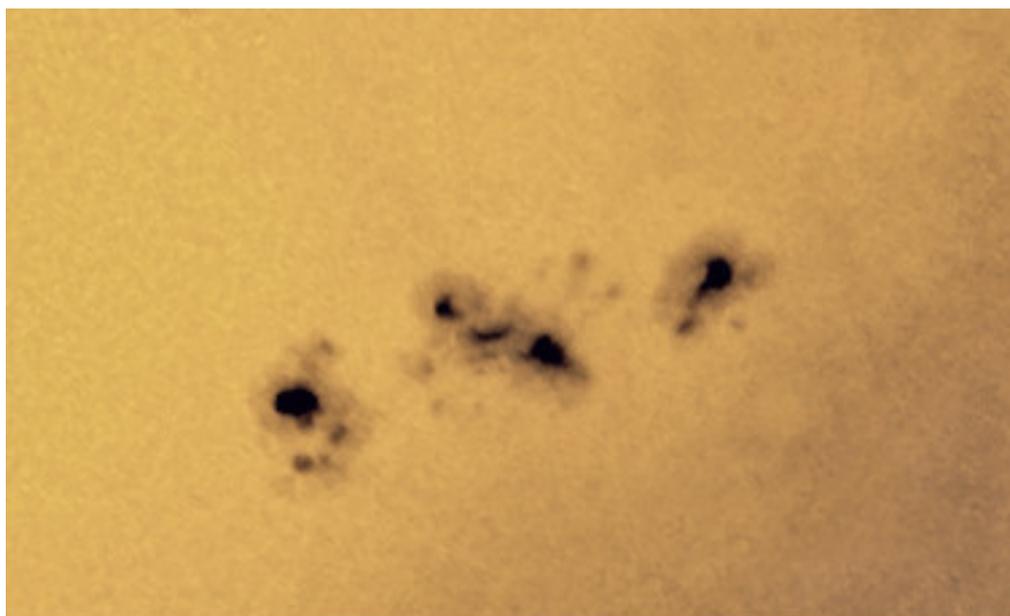


Рис. 23. Характерная группа солнечных пятен



Рис. 25. Полярное сияние

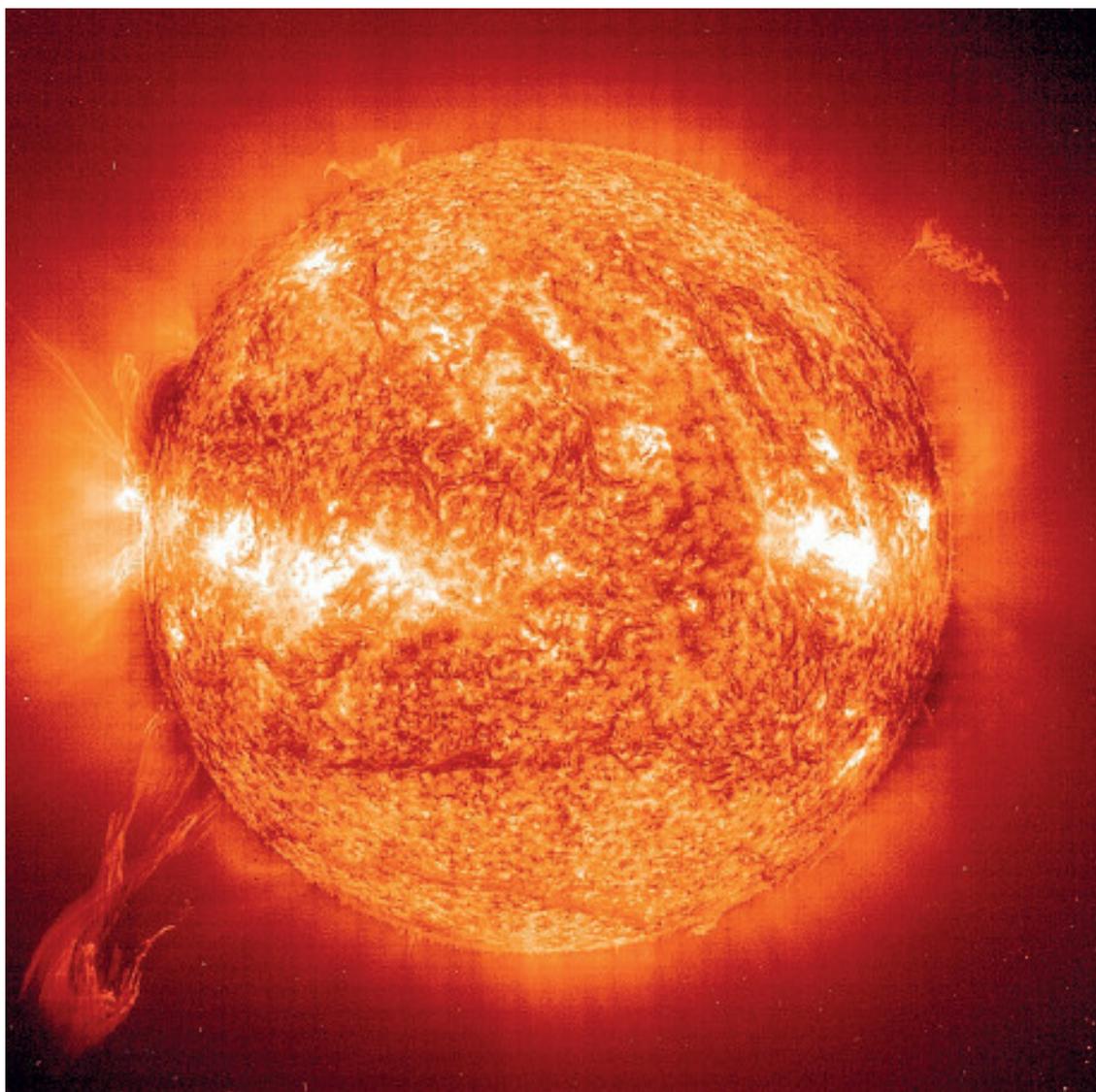


Рис. 26. Эруптивный протуберанец

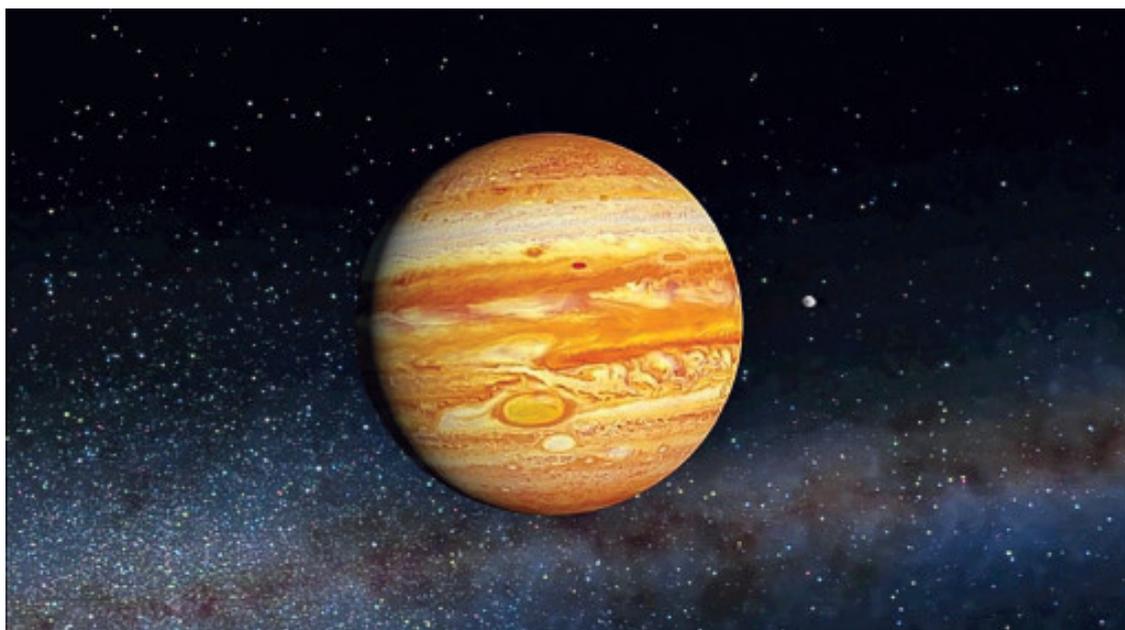


Рис. 37. Юпитер во всей красе



Рис. 38. Большое Красное Пятно на Юпитере – колоссальный долгоживущий вихрь

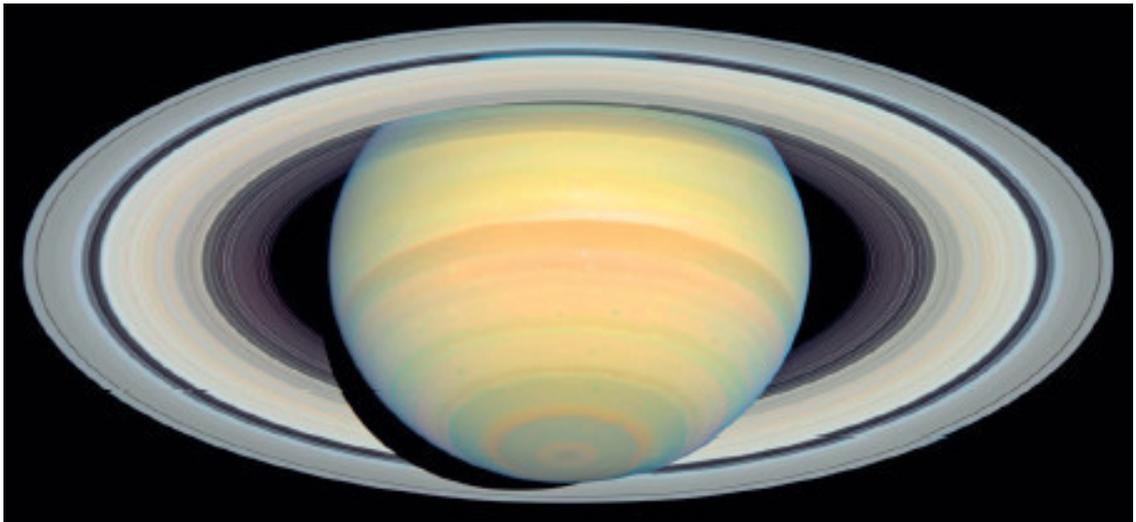


Рис. 39. Сатурн

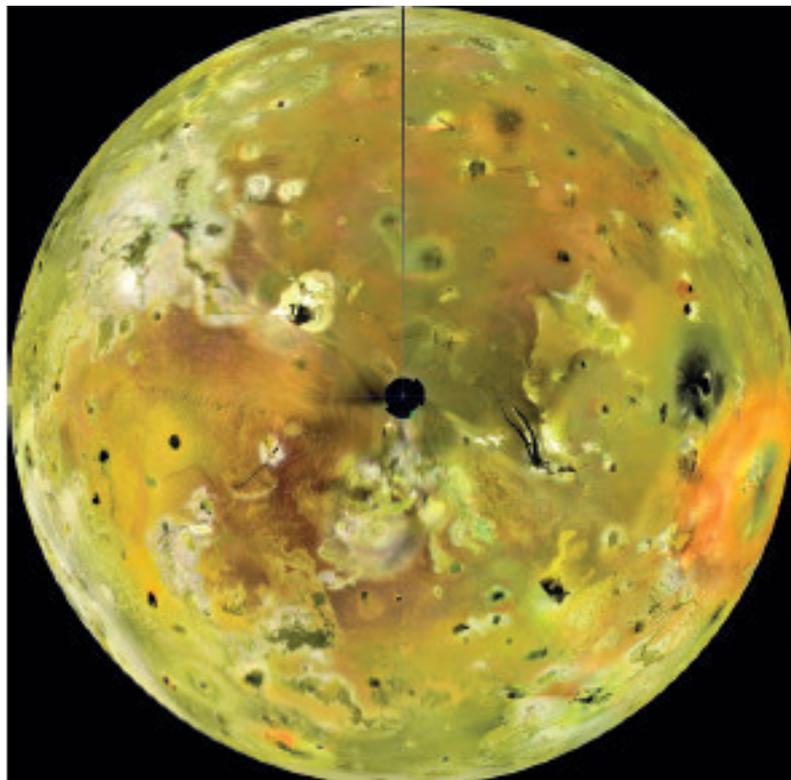


Рис. 46. Ио – вулканический мир

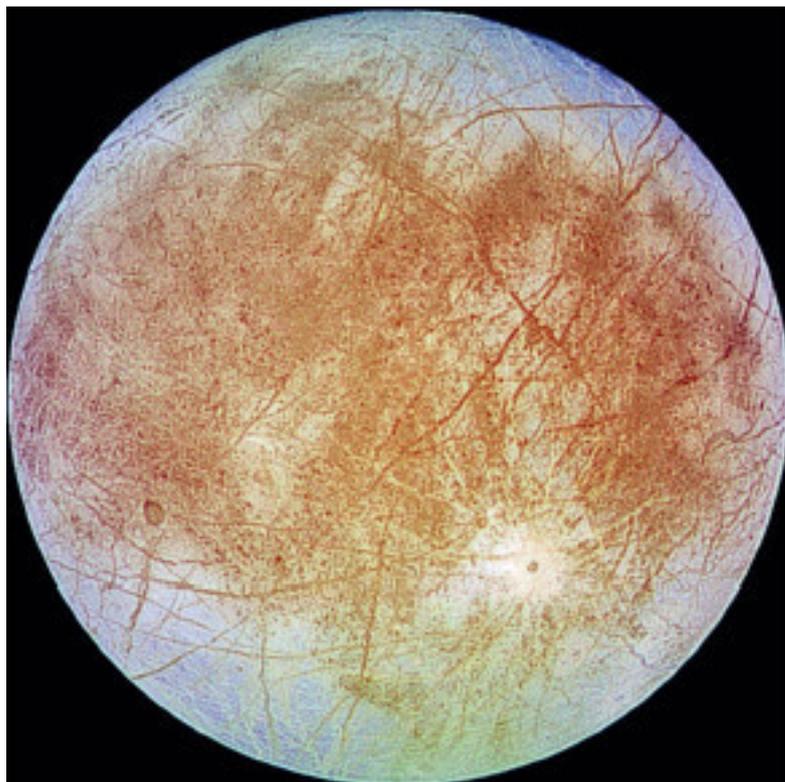


Рис. 47. Европа покрыта ледяным панцирем

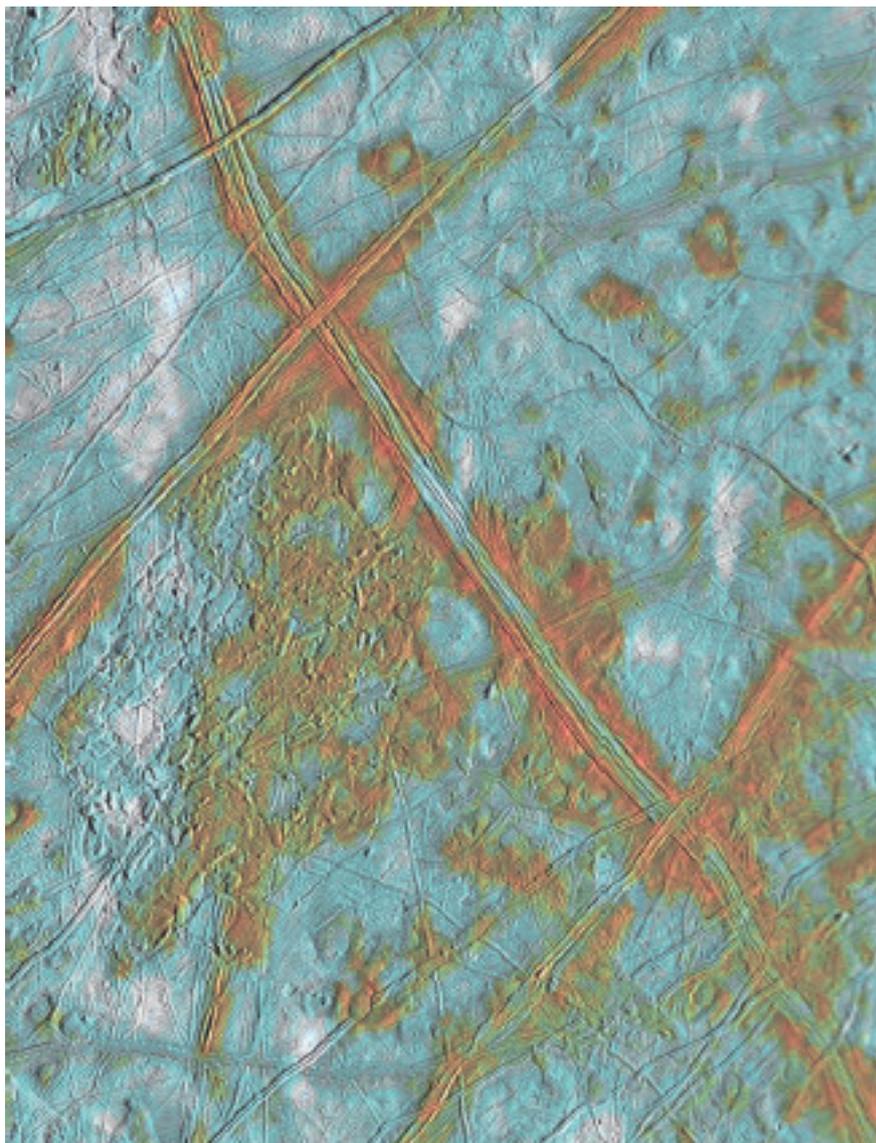


Рис. 48. Трещины ледяного панциря Европы



Рис. 49. Ударный кратер на Европе



Рис. 50. Ганимед



Рис. 51. Каллисто

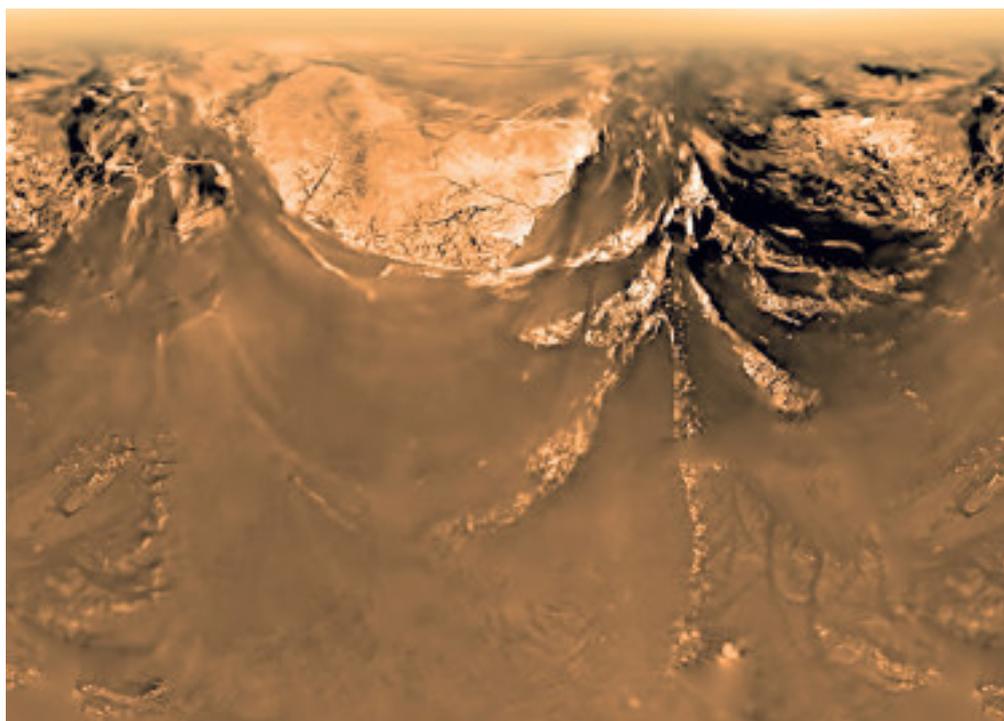


Рис. 52. Поверхность Титана



Рис. 81. Комета Макнота

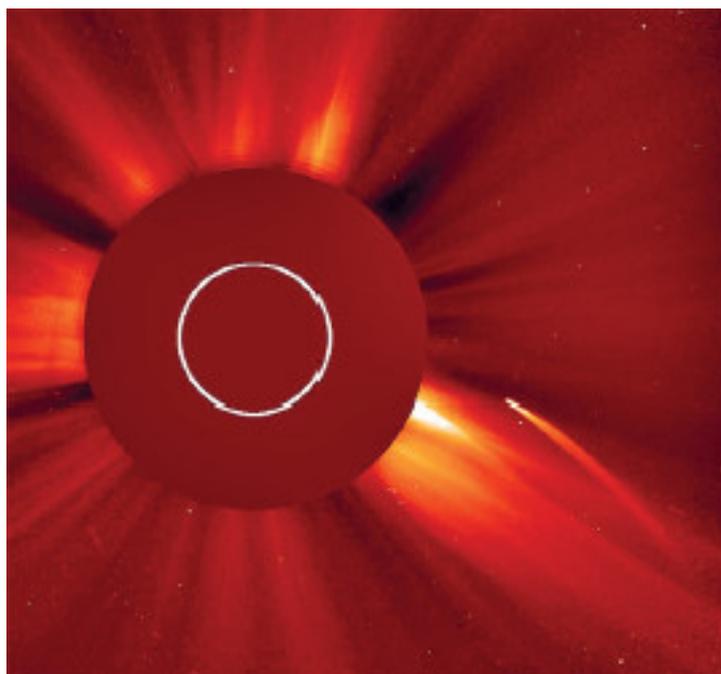


Рис. 82. Эта околосолнечная комета скоро исчезнет навсегда



Рис. 83. Комета Хейла – Боппа

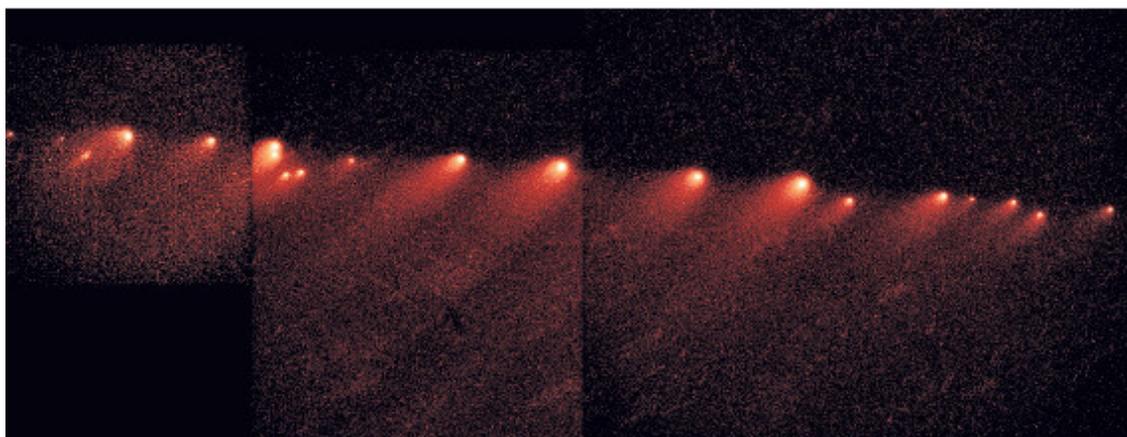


Рис. 88. Кометный «поезд» из фрагментов кометы Шумейкеров – Леви-9



Рис. 89. Комета Хиакутаке



Рис. 92. Серебристые облака



Рис. 93. Серебристые облака



Рис. 94. Болид